



HAL
open science

L'utilisation du fer dans l'architecture gothique : les cas de Troyes et de Rouen.

Maxime L'Heritier

► **To cite this version:**

Maxime L'Heritier. L'utilisation du fer dans l'architecture gothique : les cas de Troyes et de Rouen.. Histoire. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I, 2007. Français. NNT : . tel-00295179

HAL Id: tel-00295179

<https://theses.hal.science/tel-00295179>

Submitted on 11 Jul 2008

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.

UNIVERSITE PARIS I PANTHEON-SORBONNE

U.F.R. D'ARCHEOLOGIE

Année 2007

Thèse sous la direction de M. le professeur Paul BENOIT

pour obtenir le grade de docteur de l'université

Discipline : archéologie

Présentée et soutenue publiquement par

Maxime L'HERITIER

**L'UTILISATION DU FER DANS L'ARCHITECTURE GOTHIQUE :
LES CAS DE TROYES ET ROUEN**

Volume I

Texte

Jury

M. le professeur Paul BENOIT

Mme le professeur Joëlle BURNOUF

**M. Philippe LARDIN, maître de conférences
habilité à diriger les recherches**

**M. Philippe DILLMANN, chargé de recherches
au C.N.R.S. habilité à diriger les recherches**

**Mme Isabelle PALLOT-FROSSARD,
directeur du L.R.M.H.**

**M. Stéphane LEQUIEN, directeur du
LPS, laboratoire mixte CEA-CNRS**

**Mme Florence JOURNOT, maître de
conférences**

REMERCIEMENTS

Je remercie en premier lieu M. le professeur Paul Benoit de m'avoir guidé vers ce sujet de recherche et de m'avoir transmis les connaissances et l'énergie nécessaires pour mener à bien ce travail. Merci de m'avoir fait confiance et de m'avoir soutenu pendant ces années. Je suis également très reconnaissant à Paul Benoit et à l'école doctorale de l'université Paris 1 de m'avoir octroyé une allocation de recherche qui m'a permis de travailler pendant trois ans sans soucis financiers.

Un grand merci à Philippe Dillmann pour avoir supervisé une grande partie de ce travail. Merci, Philippe pour ton aide précieuse tout au long de cette recherche, pour ces nombreux moments passés autour de la ferraille et pour ton dynamisme, véritable moteur de la recherche en archéométrie.

Merci à toute l'équipe du Laboratoire Pierre Süe et en particulier à son directeur, Stéphane Lequien, pour m'avoir accueilli dans ses locaux ainsi que pour le grand intérêt qu'il porte à l'archéométrie et à l'archéologie au sein de son laboratoire.

Je remercie également M. Pallot et M. Moufle, Architectes en Chef des Monuments Historiques, ainsi que les Conservations Régionales des Monuments Historiques qui m'ont autorisé à circuler dans les édifices, y compris dans les parties hautes, et à y effectuer des prélèvements. Merci en particulier à M. Thérain et M. Pous du Service Départemental de l'Architecture et du Patrimoine de la Seine-Maritime et M. Carreras du S.D.A.P. de l'Aube, qui m'ont ouvert les portes des édifices et m'y ont accompagné à de nombreuses reprises.

Merci à tous ceux qui ont partagé avec moi la passion des prospections dans les églises et avec qui j'ai visité de nombreux monuments. Merci à Christophe Colliou et Frédéric Epaud qui m'ont précédé en Normandie, à Cédric Roms pour son accueil à Troyes, à Arnaud Timbert et à ses étudiants qui m'ont fait découvrir les bijoux picards et enfin à tous ceux qui ont participé aux « missions de prélèvement ».

Un très grand merci à Joséphine Rouillard pour les nombreuses heures qu'elle a consacrées, non seulement à la correction de mes transcriptions et à leur mise en forme, mais aussi à la relecture de la plus grande partie de mon travail. Merci, Joséphine pour ton soutien et pour l'aide technique et scientifique dans ces dernières semaines difficiles.

Merci également à mes autres relectrices, Marie-Pierre, Bea, Fanny et Marion. Merci, Bea pour ton soutien le plus complet pendant ces trois années. Je remercie enfin mes parents et tous ceux qui ont, d'une manière ou d'une autre, participé à l'élaboration de ce mémoire.

INTRODUCTION

I. AVANT-PROPOS

« La vraie architecture n'admet pas le fer comme élément matériel de construction »¹. Il me semble essentiel d'ouvrir ce travail par cette citation du critique d'art britannique J. Ruskin datée de 1849, car les premières constatations sur l'utilisation du fer dans les édifices gothiques partent de cette controverse. Longtemps a en effet prévalu une conception de cette architecture comme une architecture du « tout pierre », où la stabilité du monument résulte uniquement d'un parfait équilibre entre les forces des différentes masses lithiques. Cette vision est déjà celle de Philibert Delorme au milieu du XVI^e siècle, lorsqu'il évoque les « abus » des ouvriers qui emploient le fer de manière immodérée dans leurs constructions². Près de trois cents ans plus tard, en plein XIX^e siècle, ses propos, alimentés par les nombreux chantiers de restaurations qui mettent les édifices à nu, sont repris et largement développés par les architectes de l'époque. On assiste alors à une véritable profusion de citations hostiles au fer, matériau « disgracieux »³ qui ne peut être utilisé que par des « constructeurs ignorants et maladroits »⁴, s'aidant de cet artifice car ils sont incapables d'élever un édifice uniquement en pierre, qui tiendrait par le seul contrebutement de ses poussées internes. Et lorsque la présence du fer ne peut être niée, sa fonction ne peut être conçue autrement que pour un maintien provisoire ou une consolidation liée à une réparation ultérieure⁵. « La règle, c'est, je crois, que les métaux peuvent s'employer comme *ciment*, non comme *soutien* » conclut J. Ruskin⁶.

¹ J. Ruskin en 1849 dans « La lampe de vérité », section X. Pour l'édition actuelle, RUSKIN (J.), *Les sept lampes de l'architecture*, Paris, Les presses d'aujourd'hui, 1980, rééd. et traduction de l'édition de 1880, p. 42.

² « et sans les poûtres souvent les dictes murs tomberaient, qui sont retenus par grandes barres de fer, & grandes clefs qu'ils mettent sur lesdictes poûtres à travers des murailles au droit des cheines de pierre de taille, afin que les murs ne reculent. En cela y a un grand abus que les ouvriers font. Car si on leur avoit baillé l'œuvre à la charge de n'y mettre du fer, ils seroient contraincts de faire mieux les murailles & de plus grande grosseur & force qu'ils ne font », DELORME (Ph.), *Architecture, livre X, « Des nouvelles inventions pour bien bastir »*, chapitre IV. Pour l'édition actuelle, DELORME (Ph.), *Architecture de Philibert de l'Orme*, Rouen, D. Ferrand, 1648, rééd. Bruxelles, P. Madraga, 1981, livre X, chapitre IV, p. 282.

³ D'après l'expression « disgracieux chaînages », ENLART (C.), *Manuel d'archéologie française, depuis les temps mérovingiens jusqu'à la Renaissance. I, Architecture religieuse*, Paris, A. Picard, 1919-1920, p. 46.

⁴ ID., *Ibid.*

⁵ GAU (M.), « De l'emploi du fer comme moyen de consolidation dans les monuments gothiques », *Revue générale de l'architecture et des travaux publics*, 1841, p. 23-26. Ces propos sont à relier à ceux de R. Brown rapportés par Henry J. Cowan, « Des tirants en fer furent utilisés dans un nombre important de cathédrales mais apparemment plus comme un moyen correctif (ou palliatif) qu'un élément originel du projet », COWAN (H. J.), *The masters builders*, New York, 1977, p. 159.

⁶ RUSKIN (J.), *Les sept lampes de l'architecture...*, *op. cit.*, p. 42.

Viollet-le-Duc, qui dans son discours reste le plus modéré, est très partagé sur la question et parle en quelque sorte de l'utilisation du fer au cours de la période médiévale comme s'il s'agissait d'un mal nécessaire. Car outre cette conception de l'architecture gothique faite de préjugés, le fer est également critiqué pour son comportement en corrosion, à l'origine de dégradations sur les édifices, puisqu'il peut engendrer un gonflement qui « fait éclater les matériaux les plus résistants et les plus compacts »⁷. Cette corrosion est très certainement au premier chef des défauts du fer en tant que matériau de construction qui lui ont valu cet extrême dénigrement.

Cette controverse sur l'emploi du fer dans l'architecture gothique, si elle s'est essentiellement développée au XIX^e siècle, dure tout au long du XX^e siècle. L'usage du fer n'est donc jamais mentionné ou alors fortement minimisé. M. Férauge cite par exemple le glossaire de la collection Zodiaque qui, au terme « tirant », affirme que « les constructeurs français du Moyen Age ont su habilement ne pas avoir besoin de ces étrépillons qui sont d'un emploi fréquent en Italie »⁸. De même, au milieu des années 1980, R. Bechmann écrit encore qu'à l'époque gothique, dans l'architecture, « clous et ferrures, tirants, chaînages, étaient évités ou économisés dans toute la mesure du possible » à cause des faibles quantités de fer disponibles⁹. Pourtant à la même époque, certains architectes, historiens, archéologues et métallurgistes, en France, mais aussi en Allemagne et en Angleterre, en s'appuyant sur les constatations de ceux-là même qui, un siècle auparavant critiquaient son emploi, commencent à tenter d'évaluer l'importance et le rôle exact de ce métal dans la construction gothique.

Avant d'entrer plus en détail sur les premières études et travaux de recherche concernant l'utilisation du fer dans l'architecture, il appartenait donc de rendre un dernier hommage à cette controverse vieille de près de cinq cents ans et aujourd'hui dépassée¹⁰.

⁷ VIOLLET-LE-DUC (E.), *Entretiens sur l'architecture*, Paris, 1872, tome 2, p. 44. Ce défaut du fer est déjà souligné au XVI^e siècle, DELORME (Ph.), *Architecture de Philibert de l'Orme...*, *op. cit.*, livre X, chapitre IV.

⁸ FERAUGE (M.), MIGNEREY (P.), « Les cathédrales de Bourges et de Reims », *Séminaire « Le fer dans l'architecture gothique »* dirigé par J.-L. TAUPIN, Chaillot, juin 1993, p. 43.

⁹ BECHMANN (R.), *Les racines des cathédrales*, Paris, Payot, 1984, p. 91.

¹⁰ On pourra consulter le mémoire de M. Férauge et P. Mignerey qui conclut sur une étude bibliographique fortement empreinte de cette controverse, FERAUGE (M.), MIGNEREY (P.), « Les cathédrales de Bourges et de Reims »..., *op. cit.*

II. ETAT DE L'ART

Le XIX^e siècle et Viollet-le-Duc

Malgré une pensée souvent partagée, Viollet-le-Duc est le premier - et le seul parmi les architectes du XIX^e siècle - à faire en partie fi des préjugés de l'époque et à consacrer une partie non négligeable de son œuvre à la question de l'utilisation du fer dans les églises gothiques. Fort de ses nombreuses observations sur un grand nombre d'édifices, notamment sur les chantiers de restaurations qu'il dirige personnellement comme ceux de la Sainte-Chapelle ou de la cathédrale Notre-Dame de Paris, il constate que bon nombre de ces monuments font l'emploi d'éléments de fer. Mais, contrairement à nombre de ses contemporains, sa réflexion ne s'arrête pas à de simples observations ou critiques à l'égard du fer, qui, par sa corrosion, cause parfois la ruine des maçonneries. Il tente tout d'abord de comprendre et de classer les différents emplois du fer qu'il rencontre dans les édifices gothiques.

Il distingue deux groupes d'éléments qu'il présente dans deux articles de son encyclopédie : « armature » et « chaînage »¹¹. Les armatures comprennent les éléments de fer qui, installés dans une fenêtre, servent au maintien de la structure vitrée. Selon lui, dès le début de l'architecture gothique, on « tenait à donner [aux fenêtres] une largeur et une hauteur considérable : force était donc de diviser leur vide par des armatures de fer, les panneaux de verre assemblés avec du plomb ne pouvant excéder une surface de 60 à 80 cm carrés sans risquer de se rompre »¹². Il établit que le développement de ces armatures à la période gothique est lié à l'augmentation de la taille des fenêtres et donc de la surface vitrée¹³. Les chaînages correspondent quant à eux aux barres de fer ou à la succession de crampons noyés dans l'épaisseur d'un mur, afin d'empêcher les écartements et la dislocation des constructions en maçonnerie¹⁴. Viollet-le-Duc place également dans cette catégorie les tirants courant d'un mur à l'autre, généralement positionnés au niveau des sommiers des colonnes et servant à contenir les poussées qui s'exercent sur les piles¹⁵. La dichotomie entre

¹¹ VIOLLET-LE-DUC (E.), *Dictionnaire raisonné...*, *op. cit.*

¹² ID., *Ibid.*, tome 1, p. 463.

¹³ ID., *Ibid.*, tome 1, p. 465.

¹⁴ ID., *Ibid.*, tome 2, p. 396.

¹⁵ ID., *Ibid.*, tome 2, p. 396.

« armatures » et « chaînage » n'est cependant pas stricte : de nombreuses barres de chaînages ceignent les murs des églises en passant à travers les grandes fenêtres. Ces tirants qui traversent les meneaux des fenêtres pour former des chaînages continus entrent également dans la composition des vitraux et n'en restent donc pas moins intégrés à « l'armature des fenêtres ». Viollet-le-Duc cite en particulier les cas de la cathédrale de Carcassonne, celle de Narbonne, l'église Saint-Ouen de Rouen ou encore la Sainte-Chapelle de Paris¹⁶.

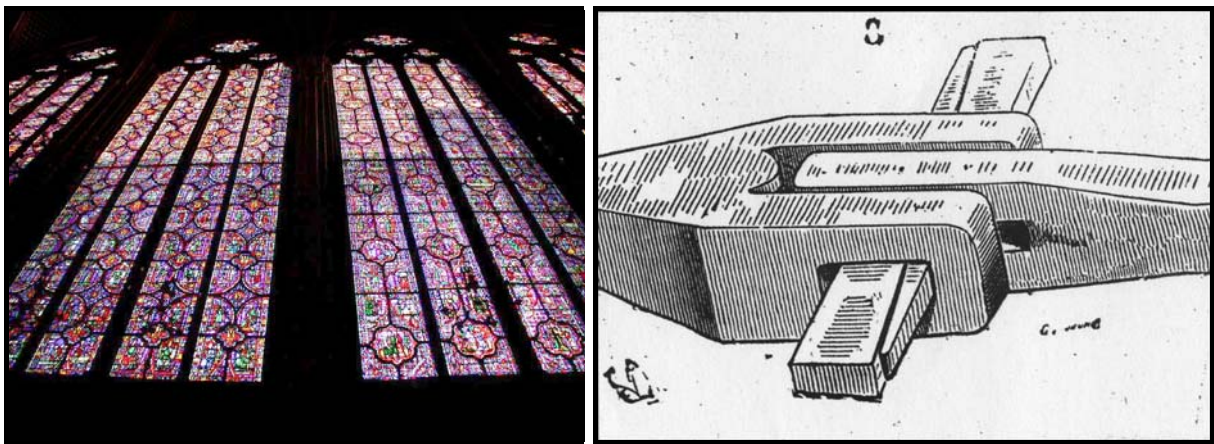


Figure 1 : Vitraux de la Sainte-Chapelle de Paris et détail du chaînage traversant les baies, dessin Viollet-le-Duc¹⁷.

Ses observations sur les différents édifices gothiques français le mènent donc à la conclusion que le fer était perçu par les architectes médiévaux comme un élément structurel à part entière de la construction ogivale¹⁸. Il va même plus loin, en affirmant que les architectes « ne croyaient pas pouvoir se passer du fer dans les combinaisons des maçonneries destinées à résister à la poussée des voûtes élevées : c'est ainsi qu'on peut expliquer la prodigieuse quantité des chaînes et de crampons de fer qu'on retrouve dans les maçonneries de ces époques »¹⁹. Il ajoute enfin que « ce n'est que le manque de ressources suffisantes qui forçait les architectes à ne pas prodiguer le fer dans leurs constructions ». Il est donc le premier à

¹⁶ ID., *Ibid.*, tome 2, p. 401-402.

¹⁷ ID., *Ibid.*, tome 2, p. 404.

¹⁸ « Le fer fut appelé à jouer un rôle assez important dans l'art de bâtir avec la construction ogivale », ID., *Ibid.*, tome 1, p. 461.

¹⁹ ID., *Ibid.*, tome 1, p. 461.

établir un lien entre l'avènement du gothique et l'essor des fers de construction à la même époque. Selon lui, les raisons de l'utilisation du fer doivent donc se trouver dans les fondements mêmes de l'architecture gothique et il insiste ainsi sur ses deux usages principaux : le maintien en place des vitraux et le renfort de la maçonnerie.

Le XX^e siècle, destructions et prise de conscience

Après le siècle des restaurations vint celui des destructions, les deux guerres mondiales n'ayant pas épargné une partie de ces grands monuments, à l'image du bas-côté sud de la cathédrale de Rouen, complètement éventré par une bombe en avril 1944. Ces destructions entraînent consolidations, rénovations et reconstructions ; nombre de maçonneries sont de nouveau mises à nu. Cependant, aucune nouvelle considération sur l'emploi du fer dans ces édifices ne voit le jour, bien que les architectes et leurs chefs de chantiers aient probablement observé un grand nombre de ses usages lors des restaurations. Pire, les anciens préjugés refont surface et, pour des raisons esthétiques, certains architectes en viennent à supprimer des tirants de fer encore en place dans les édifices. L'exemple le plus célèbre est certainement celui de la cathédrale de Beauvais, dont l'architecte fit retirer les tirants qui reliaient les culées entre elles. Les dernières déposes ont eu lieu dans les années 1980 et ont mis en péril la statique de l'édifice²⁰.

Premières recherches sur les édifices

C'est précisément à partir des années 1980 que l'intérêt pour l'emploi du fer dans l'architecture connaît un regain d'intérêt, en particulier par l'intermédiaire d'Alain Erlande-Brandenburg et de Jean-Louis Taupin.

Le premier, fort de sa connaissance et de ses observations sur de nombreux édifices gothiques, souligne de nouveau l'abondant emploi de fer qui y est fait. Reprenant les constatations de Viollet-le-Duc, en plus de nouvelles découvertes, comme les tirants du bras sud du transept de la cathédrale de Soissons, il insiste en particulier sur le fait que, contrairement aux idées admises par de nombreux architectes au XX^e siècle, ce fer n'est pas

²⁰ TAUPIN (J.-L.), « Le fer des cathédrales », *Monumental*, 1996, p. 18-27.

un rajout postérieur fait par des restaurateurs maladroits et datant de la période moderne ou de l'ère de la construction en métal, mais qu'il a bien dans la plupart des cas été mis en place dès l'origine de la construction au XII^e ou au XIII^e siècle²¹. Il contribue également très largement à la diffusion de ce savoir, par l'intermédiaire de ses grands ouvrages généraux sur l'histoire de l'architecture ou encore d'articles plus spécialisés dans des revues grand public, où il mentionne l'emploi particulier du fer qu'ont fait les bâtisseurs de l'époque gothique et en particulier de la période rayonnante²².

Le second, fort des mêmes convictions sur les emplois du fer dans les églises et cathédrales gothiques, est à l'origine de la première étude intégrale d'un monument dans cette optique : la cathédrale de Bourges, qui fait l'objet d'un mémoire présenté par M. Férauge et P. Mignerey²³. Dans ce travail, ils insistent en particulier sur le renforcement du triforium, qui est un point faible de la structure gothique « car la ligne des poussées, cheminant depuis les voûtes, semble, selon les schémas d'analyse conventionnels, passer au droit du passage ménagé dans la pile et les contraintes augmentent brusquement à ce niveau »²⁴. Le triforium de la cathédrale de Bourges présente en particulier un chaînage au sol dans les parties orientales ainsi que des tirants reposant sur une grande partie des murs diaphragmes²⁵. De plus, parmi la demi-douzaine de tirants et chaînages qu'ils ont identifiés sur l'ensemble de la cathédrale, M. Férauge et P. Mignerey sont les premiers à faire la distinction entre différents rôles dans les usages architecturaux du fer. Ils les classent selon trois groupes :

- les éléments métalliques mis en place *a priori*, en vue d'une consolidation provisoire ;
- les éléments métalliques mis en place *a priori*, en vue d'une consolidation définitive ;
- les éléments métalliques mis en place *a posteriori*, en vue d'une consolidation définitive.

Les éléments de fer ne jouent en effet pas nécessairement un rôle de soutien permanent lié soit à la conception de l'édifice, soit à une éventuelle consolidation ou restauration après coup. Nombreux sont les exemples où tirants et chaînages ont une fonction

²¹ ERLANDE-BRANDENBURG (A.), « L'architecture rayonnante et le métal », *Dossiers d'archéologie*, n° 219, déc. 1996 - janv. 1997, p. 46-53.

²² ERLANDE-BRANDENBURG (A.), *L'art gothique*, Paris, Citadelles et Mazenod, 2004, 621 p. ; ERLANDE-BRANDENBURG (A.), « L'architecture rayonnante et le métal »..., *op. cit.*

²³ FERAUGE (M.), MIGNEREY (P.), « Les cathédrales de Bourges et de Reims »..., *op. cit.*

²⁴ ID., *Ibid.*, p. 13. Ils étayent leur propos d'une épure de Méry réalisée sur la cathédrale de Meaux selon laquelle dans les piles, les contraintes sont près de sept fois plus importantes au droit du triforium.

²⁵ ID., *Ibid.*, p. 6 et 13.

provisoire à un certain moment de la vie de l'édifice. M. Férauge et P. Mignerey évoquent en particulier le problème du temps de séchage des mortiers. Pendant la prise totale des mortiers, qui peut prendre un temps très variable²⁶, l'édifice gothique est susceptible de se déformer et nécessite donc éventuellement un soutien provisoire, apporté suivant le cas par des tirants ou un chaînage de fer. J.-L. Taupin se pose même la question de savoir si la pierre elle-même « soumise à contrainte et dessiccation ne subit pas des déformations »²⁷. Le problème de l'arrêt des chantiers constitue une autre nécessité de l'emploi de fers de soutien provisoires. Comme le fait remarquer J.-L. Taupin, quel que soit le sens de construction, « la nécessité de constituer sur toute sa hauteur une partie de l'édifice incomplet en longueur, conduit à des arrêts de chantier sur des césures vertigineuses, formant une dissymétrie structurelle inquiétante »²⁸. Des dissymétries structurelles ont par ailleurs été relevées par M. Férauge et P. Mignerey au niveau des chaînages de la cathédrale de Bourges : le chaînage au sol du triforium oriental s'interrompt à la septième travée, ce qui correspond à un arrêt de chantier connu pour la cathédrale²⁹. Bien qu'elle soit brisée et ne soit donc plus en tension, cette chaîne est toujours en place. Sa rupture, suivie d'une réparation, est en outre la preuve qu'elle a été soumise à des forces importantes à un moment donné³⁰. M. Férauge et P. Mignerey ont également mis en évidence l'existence d'autres tirants à caractère provisoire, cette fois dans le triforium occidental³¹. Ceux-ci, scellés dans la maçonnerie, n'ont pu être déposés qu'après avoir été sciés.

Les résultats de ce travail, présentés au séminaire de J.-L. Taupin intitulé « Le fer dans l'architecture gothique », marquent un pas dans la recherche. En effet, contrairement aux remarques et observations des précédents chercheurs, qui relevaient davantage de la collection d'exemples sur un grand nombre d'édifices, ils ne s'intéressent qu'à un seul monument, dans le détail. Au-delà des nouvelles découvertes avec la mise en évidence de plusieurs chaînages et tirants de fer à divers endroits de la structure de la cathédrale de Bourges, ils posent également les premiers jalons d'une méthodologie prospective la plus exhaustive possible appliquée à un édifice.

²⁶ M. Férauge et P. Mignerey citent l'exemple de la cathédrale de Rouen où, après les bombardements de la Seconde Guerre Mondiale, des mortiers médiévaux n'ayant pas encore totalement fait leur prise ont été retrouvés, *ID.*, *Ibid.*, p. 14.

²⁷ TAUPIN (J.-L.), « Le fer des cathédrales »..., *op. cit.*

²⁸ *ID.*, *Ibid.*

²⁹ FERAUGE (M.), MIGNEREY (P.), « Les cathédrales de Bourges et de Reims »..., *op. cit.*, p. 13.

³⁰ *ID.*, *Ibid.*, p. 14.

³¹ *ID.*, *Ibid.*, p. 15.

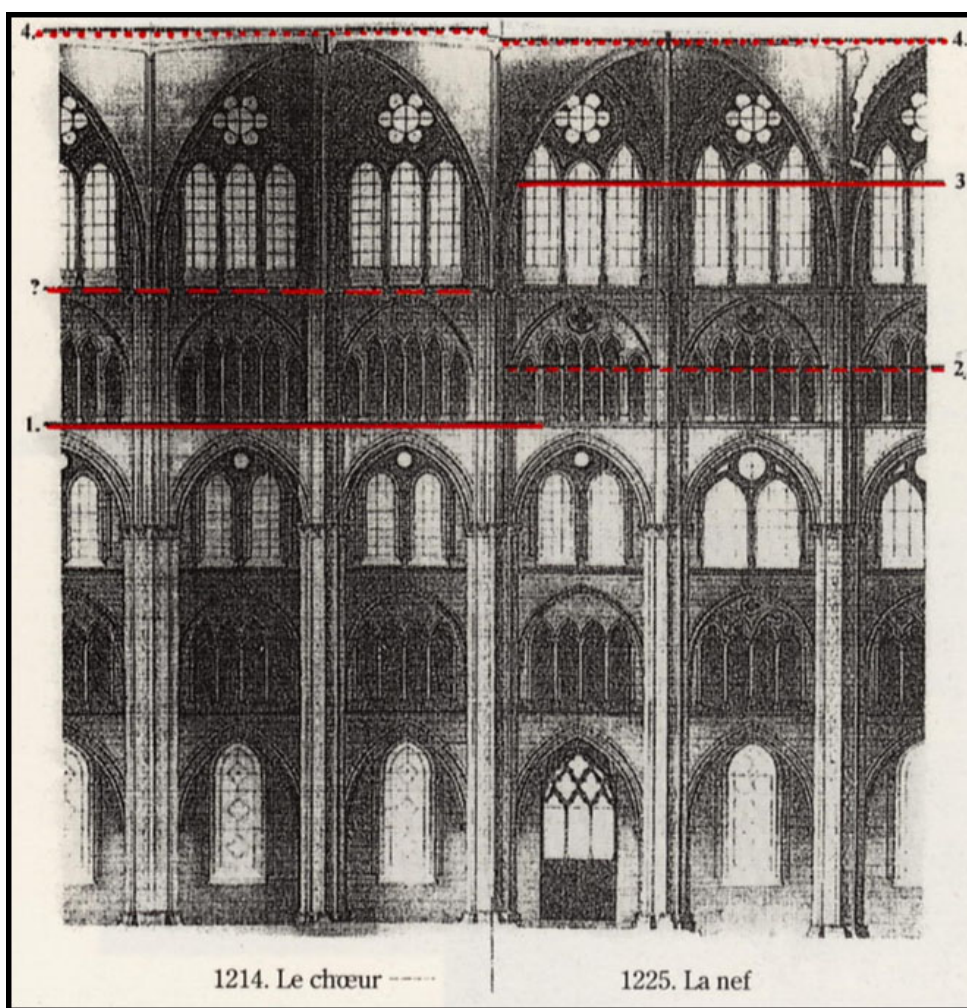


Figure 2 : Chaînages et tirants relevés dans la cathédrale de Bourges d’après M. Férauge et P. Mignerey³².

Recherches dans les archives comptables

En parallèle à ces travaux qui se basent uniquement sur les monuments, se développe la recherche dans les sources écrites, approche qui permet notamment d’aborder la problématique sur les quantités de fer employées sur les chantiers et le coût qu’elles représentent. Le premier ouvrage réunissant la synthèse de plusieurs travaux de recherche est l’édition réalisée par P. Benoit et O. Chapelot en 1985 du colloque « Pierre et Métal dans le

³² FERAUGE (M.), MIGNEREY (P.), « La cathédrale de Bourges et l’utilisation du fer dans l’architecture », *Bulletin Monumental*, 1996, p. 129-148.

bâtiment au Moyen Age »³³. Si aucune étude architecturale d'église n'est présentée dans cet ouvrage, plusieurs contributions montrent l'importance de l'étude des sources comptables et en particulier des comptes de construction, pour aborder l'aspect économique de l'utilisation des métaux dans le bâtiment, avec les quantités mises en œuvre et le coût pour le chantier, mais aussi les problématiques liées à l'origine des ces matériaux et leur approvisionnement³⁴. Dans le cas du dôme de Milan, Ph. Braunstein identifie en particulier trois régions fournissant le fer utilisé sur le chantier, qui arrive sous forme de produits semi-finis ; entre 1387 et 1391, ce fer représente entre 3,3 et 7,9 % des dépenses faites par la fabrique pour l'achat des matériaux³⁵. Dans les comptes de construction des Célestins de Sens étudiés par D. Cailleaux, cette part est de 16,5 % pour la période 1477-1482, soit un peu plus de 7 % des dépenses totales³⁶. La question de l'origine des matériaux et de leur approvisionnement pour les chantiers de construction est également abordée de manière globale pour certaines régions, notamment par O. Chapelot pour le Châtillonnais et par J.-M. Yante pour le pays Mosan³⁷. O. Chapelot met en évidence une diversité de provenances, qu'elle classe en trois parties : « régionale, interrégionale et internationale ». D'après elle, les fers de provenance locale représenteraient environ les trois quarts des besoins de la région³⁸. En conclusion de ce colloque, P. Benoit insiste sur l'importance des résultats obtenus grâce à l'étude des sources écrites médiévales mais déplore l'absence de véritable étude archéologique des monuments, dont il qualifie l'apport complémentaire « d'indispensable »³⁹.

A la même époque, W. Haas présente succinctement l'étude de quelques églises du Haut-Palatinaat, parmi lesquelles la cathédrale de Ratisbonne⁴⁰. Outre la présentation des différents éléments de fer repérés, l'originalité de son travail réside dans la présentation d'estimations sur les quantités de fer mises en œuvre dans chaque église, en particulier dans

³³ CHAPELOT (O.), BENOIT (P.), éd., *Pierre et métal dans le bâtiment au Moyen Age*, Paris, EHESS, 1985, 370 p., réimpression, Paris, 2001.

³⁴ Ces considérations ne se limitent pas au fer ; les problématiques liées au plomb sont également abordées à plusieurs reprises au cours du colloque.

³⁵ BRAUNSTEIN (Ph.), « Le dôme de Milan sort de terre », dans CHAPELOT (O.), BENOIT (P.), éd., *Pierre et métal...*, *op. cit.*, p. 81-102.

³⁶ CAILLEAUX (D.), « Les comptes de construction des Célestins de Sens, 1477-1482 : édition et commentaire », dans CHAPELOT (O.), BENOIT (P.), éd., *Pierre et métal...*, *op. cit.*, p. 117-156.

³⁷ CHAPELOT (O.), « Les ouvriers du métal en Bourgogne à la fin du Moyen Age : l'exemple du Châtillonnais », dans CHAPELOT (O.), BENOIT (P.), éd., *Pierre et métal...*, *op. cit.*, p. 305-318 ; YANTE (J.-M.), « Provenance, acheminement et mise en œuvre du fer dans le bâtiment : le cas du pays mosan XIVe-XV^e siècles », dans CHAPELOT (O.), BENOIT (P.), éd., *Pierre et métal...*, *op. cit.*, p. 293-303.

³⁸ CHAPELOT (O.), « Les ouvriers du métal en Bourgogne... », *op. cit.*

³⁹ BENOIT (P.), « Métal et construction en France au Moyen Age », dans CHAPELOT (O.), BENOIT (P.), éd., *Pierre et métal...*, *op. cit.*, p. 359-367.

⁴⁰ HAAS (W.), « Die Rolle des Eisens in der vorindustriellen Architektur dargestellt an ostbayerischen Beispielen », dans *Die Oberpfalz ein Europäisches Eisenzentrum 1600 Jahre Grosse Hammereinung*, Amberg, Ostbayern Bergbau-und Industrie Museum, 1987, p. 495-504.

leurs fenêtres. Pour les armatures de vitraux, cette masse varie entre 3,6 tonnes pour une petite église et 13,5 tonnes pour la cathédrale de Ratisbonne. Il se risque même à chiffrer la masse des petits éléments de fer enfouis dans la maçonnerie pour donner une estimation globale. Il considère que dans une cathédrale comme celle de Ratisbonne, à chaque mètre cube de pierre correspondent en moyenne 10 kg d'éléments de fer servant à les maintenir. Ceci amène à environ 40 tonnes la masse de fer totale qui serait mise en œuvre dans l'édifice⁴¹. Bien qu'elles puissent aujourd'hui être discutées, ces premières estimations qui datent du début des années 1980 sont vingt ans plus tard toujours les seules disponibles pour des églises gothiques⁴².

L'approche par le matériau et l'archéologie du fer

Avec cette étude, W. Haas est de plus le premier à mettre en relation l'étude du fer dans le bâti avec les conditions techniques et économiques qui ont permis son utilisation. Il lie d'ailleurs directement le début de la période gothique et l'essor de l'emploi du fer dans la construction avec l'âge d'or de l'ordre cistercien et l'extension de la production de fer, qui constituent ce qu'il nomme une « révolution » au milieu du XII^e siècle⁴³. Bien qu'il n'aille pas plus loin dans l'analyse, W. Haas ouvre avec ses propos sur une autre problématique, qui rejoint le domaine de l'histoire des techniques et de l'archéologie du fer.

Le Moyen Age est en effet le siège de mutations majeures dans l'histoire de la métallurgie du fer, qui ont notablement influencé les conditions de production. L'introduction du martinet, marteau hydraulique destiné à travailler le fer, constitue la première étape dans la mécanisation de la métallurgie médiévale (cf. Figure 3). Il faut très certainement attribuer à B. Gille les premières hypothèses quant au rôle majeur joué par les moines blancs dans son développement⁴⁴. Dans les sources écrites, la mention la plus ancienne attestée d'un marteau hydraulique remonte à 1135 à l'abbaye de Clairvaux⁴⁵. Les évidences archéologiques les plus

⁴¹ ID., *Ibid.*

⁴² Les deux autres estimations connues pour la période médiévale ne concernent pas des églises. Il s'agit de l'étude du donjon du château de Vincennes réalisée par J. Chapelot et de celle du Palais des Papes en Avignon par Ph. Bernardi.

⁴³ HAAS (W.), « Die Rolle des Eisens... », *op. cit.*

⁴⁴ [GILLE (B.)], « Les origines du moulin à fer », *Revue d'histoire de la sidérurgie*, t. I, 3, 1960, p. 23-32.

⁴⁵ VERNA (C.), BENOIT (P.), « La sidérurgie de Clairvaux au Moyen Age », dans *Histoire de Clairvaux. Actes du Colloque, juin 1990*, Bar-sur-Aube, 1991, p. 85-111.

précoces datent également du XII^e siècle⁴⁶. Selon P. Benoit, même si l'histoire des débuts du martinet est encore mal connue, tout converge pour affirmer que les Cisterciens maîtrisaient l'eau pour travailler le fer aux XII^e et XIII^e siècles, non seulement dans le berceau de l'Ordre (Bourgogne, Champagne, Franche-Comté), mais également dans des régions plus éloignées (Angleterre, Suède), confirmant la diffusion de l'innovation dans toute l'Europe⁴⁷. L'introduction du marteau hydraulique facilite grandement le travail de forge, notamment la phase de cinglage de la loupe de fer obtenue par réduction du métal selon le procédé de réduction directe. Il permet également de mettre cette loupe en forme à moindre effort notamment sous forme de barres. Cette première étape de la mécanisation de la métallurgie du fer contribue à fortement baisser les coûts de production et à rendre ainsi le fer beaucoup plus disponible sur le marché du métal médiéval⁴⁸.

Cette problématique est reprise plus tard par Paul Benoit, dont l'équipe, parallèlement à ses recherches sur la construction des bâtiments médiévaux et modernes à travers les sources écrites, travaille également sur l'histoire et l'archéologie des mines et de la métallurgie. Pendant les années 1980, elle est à l'origine de nouvelles études métallographiques sur plusieurs corpus d'objets. Elle présente en particulier l'analyse métallographique de fers à cheval et de divers outils de mineurs, marteaux et pointerolles⁴⁹. Ces analyses permettent de caractériser la structure métallographique du produit fini (fer, acier) ainsi que certaines étapes de la chaîne opératoire dont il est issu, avec éventuellement la mise en œuvre de techniques spécifiques. Pour les pointerolles par exemple, P. Benoit, Ph. Fluzin et I. Guillot ont pu être déterminer qu'elles sont constituées d'un corps en fer doux avec insert d'une pointe en acier à son extrémité, qui a par la suite été trempée pour la rendre plus dure. Sur certaines de ces pointerolles, plusieurs recharges de la pointe par soudure de petites pièces d'acier, traces de réparations ultérieures témoignant de la vie de l'objet, ont

⁴⁶ ASTILL (G.), *A medieval industrial complex and its landscape : the metalworking watermills and workshops of Bordesley abbey*, York, CBA research report 92, 1993, p. 259-291.

⁴⁷ BENOIT (P.), « L'industrie cistercienne (XII^e - première moitié du XIV^e siècle) », dans HETZLEN (Ch.), VOS (R. de), *Monachisme et technologie dans la société médiévale du X^e au XIII^e siècle, Actes du colloque scientifique international, Cluny, 4-6 septembre 1991*, Cluny, E.N.S.A.M., 1994, p. 51-108 ; BENOIT (P.), BERTHIER (K.), « L'innovation dans l'exploitation de l'énergie hydraulique d'après le cas des monastères cisterciens de Bourgogne, Champagne et Franche-Comté », dans BECK (P.), dir., *L'innovation technique au Moyen Age, Actes du VI^e Congrès international d'Archéologie médiévale*, Paris, 1998, p. 58-66.

⁴⁸ BENOIT (P.), « Au four et au moulin... », *op. cit.*, p. 293-301.

⁴⁹ BERTIN (F.), BENOIT (P.), GUILLOT (I.), « Etude métallographique de fers à chevaux médiévaux », dans PLEINER (R.), éd., *Archaeometallurgy of iron. Symposium Liblice 1967-1987*, 1987, p. 445-458 ; GUILLOT (I.), FLUZIN (P.), BENOIT (P.), BÉRANGER (G.), « Études paléométallurgiques comparatives d'outils miniers du 15^e et 16^e siècle », dans *Archaeometallurgy of copper and iron in Western Europe*, Mayence, 1986, 15 p. ; GUILLOT (I.), FLUZIN (P.), BENOIT (P.), « Mise en forme et utilisation de marteaux de mineurs du 16^e siècle : l'apport de la métallographie », dans PLEINER (R.), éd., *Archaeometallurgy of Iron...*, *op. cit.*, p. 459-474.

également pu être appréhendées. Ces études sont également l'occasion de revenir sur cette première grande mutation dans l'histoire de la métallurgie médiévale qu'est l'introduction du marteau hydraulique. Constatant une certaine homogénéité de structure dans les fers à cheval du XIV^e siècle qu'elle analyse, F. Bertin pose la question d'un meilleur contrôle de la production à cette époque et évoque la possibilité d'une influence du martinet à ce niveau⁵⁰.

Ces différents travaux de l'équipe, sur les techniques de construction d'une part et sur l'histoire de la métallurgie du fer d'autre part, vont finalement se rejoindre de manière concrète au début des années 1990, toujours à l'initiative de P. Benoit, qui, comme W. Haas, fait le lien entre l'abondance de fer sous forme de barres retrouvées dans les édifices gothiques du XIII^e siècle et le développement du marteau hydraulique à cette même époque⁵¹. C'est donc en 1994 et sous l'impulsion de Ph. Fluzin, P. Benoit et J.-L. Taupin, que naît la première étude archéométallurgique sur un édifice gothique : la cathédrale de Beauvais⁵². Ces travaux, dont les résultats sont partiellement repris par J.-L. Taupin dans son article consacré au « fer des cathédrales »⁵³, donnent des premiers éléments de réponse sur la nature du matériau qui a été employé dans la structure d'un édifice gothique, mais ils sont surtout les premiers à mettre l'accent sur l'importance d'aborder la question de l'utilisation du fer dans l'architecture gothique sous un nouvel angle, celui du matériau, afin de mettre en évidence les procédés techniques qui ont conduit à son élaboration. A la suite de ces premiers résultats, P. Benoit et Ph. Fluzin sont à l'origine, dès l'année suivante, du lancement d'un programme de recherche sur « la détermination des procédés d'élaboration et de transformation des métaux ferreux en fonction de l'évolution historique des procédés » dont les monuments sont partie intégrante⁵⁴. Au-delà de la seule identification de l'éventuelle empreinte laissée par le travail au marteau hydraulique sur la microstructure de l'objet, cette étude, objet de la thèse de Ph. Dillmann, s'intéresse plus particulièrement à la différenciation entre les fers issus du procédé de réduction directe de ceux provenant de la filière indirecte, par l'étude de la

⁵⁰ BERTIN (F.), BENOIT (P.), GUILLOT (I.), « Etude métallographique de fers à chevaux médiévaux »..., *op. cit.*

⁵¹ BENOIT (P.), *Les mutations techniques et scientifiques de la fin du Moyen Age et de la Renaissance*, Lille, Micro-éditions universitaires, 1994, p. 128-129.

⁵² ROBIN (R.), TERNON (E.), *Etude mécanique d'éléments métalliques de la cathédrale gothique de Beauvais*, UVTX de l'université de Compiègne sous la direction de Paul BENOIT, 1994, n. p. Les analyses ont été réalisées sous la direction d'I. Guillot.

⁵³ TAUPIN (J.-L.), « Le fer des cathédrales »..., *op. cit.*

⁵⁴ FLUZIN (Ph.), DILLMANN (Ph.), BENOIT (P.), « Apport des études métallographiques à la détermination des procédés d'élaboration et de transformation des métaux ferreux en fonction de l'évolution historique et des procédés technologiques », *Fer, fonte, acier dans l'architecture*, *Bulletin de L'ICOMOS*, n° 36-37, p. 32-35.

composition des inclusions non métalliques contenues dans la matrice de ces fers anciens⁵⁵. Les bâtiments médiévaux, modernes et contemporains deviennent un support de travail qui lui permet de constituer une partie de son corpus de référence avec des échantillons bien datés par le bâti. Les résultats obtenus par Ph. Dillmann sont capitaux pour l'étude de la métallurgie du fer à la période médiévale. Il touchent en effet directement à la seconde grande mutation de la métallurgie médiévale : l'introduction du procédé de réduction indirect, qui va progressivement supplanter la filière directe, plus traditionnelle.

Dans le royaume de France, jusqu'au XV^e siècle, la réduction du minerai de fer se fait essentiellement selon le procédé direct. Cette réduction directe a lieu en bas fourneau (cf. Figure 4), structure qui ne permet pas d'atteindre la température de fusion du fer (1535 °C). Le fer ne passe donc pas à l'état liquide et forme une loupe qui doit être cinglée, c'est-à-dire énergiquement battue à chaud pour éliminer les scories qu'elle contient. Celles-ci renferment les composés non réduits de la charge, dont la gangue du minerai et une partie des oxydes de fer. En effet avec ce procédé, un grand nombre de composés du minerai ne sont pas réduits ; outre le carbone du charbon, certains éléments tels le phosphore, peuvent se retrouver en grandes quantités dans le métal. De plus, avec cette perte importante dans les scories, le rendement d'une opération de réduction directe est faible et le fer obtenu est en outre plus ou moins homogène car les températures et les pressions au sein du bas fourneau sont très hétérogènes. D'après l'étude de la dimension des fourneaux ainsi que l'apport de l'archéologie expérimentale, M. Leroy et P. Merluzzo estiment à environ une demi-douzaine de kilogrammes la masse de métal maximale produite en une opération de réduction⁵⁶. D'autre part, les récentes recherches de P. Crew sur le site de Llwyn Du (Pays de Galles) montrent quant à elles que la taille des loupes produites par ces bas fourneaux peut aller de quelques kilogrammes à environ une douzaine⁵⁷.

⁵⁵ DILLMANN (Ph.), *Diffraction X, Microdiffraction X et Microfluorescence X sous Rayonnement Synchrotron et analyses comparées pour la caractérisation des inclusions. Application à l'étude de l'évolution historique des procédés d'élaboration des objets ferreux (procédés direct et indirect)*. Thèse de doctorat de l'université de Technologie de Compiègne présenté sous la direction de G. BERANGER, 1998, 302 p.

⁵⁶ Les fourneaux étudiés ont une cuve d'environ 35 cm de diamètre et une hauteur de cheminée avoisinant le mètre, LEROY (M.), MERLUZZO (P.), FLUZIN (Ph.), LECLERE (D.), AUBERT (M.), PLOQUIN (A.), « La restitution des savoir-faire pour comprendre un procédé technique : l'apport de l'expérimentation en archéologie du fer », dans PETREQUIN (P.), FLUZIN (Ph.), THIRIOT (J.), BENOIT (P.), dir., *Arts du feu et production artisanale, XX^{es} Rencontres internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes*, Antibes, APDCA, 2000, p. 37-52.

⁵⁷ CREW (P.), CHARLTON (M.), « The anatomy of a furnace... and some of its ramifications », dans *Metallurgy - a touchstone for cross-cultural interaction, British Museum, 28th - 30th April 2005*, sous presse.

L'utilisation de l'énergie hydraulique pour actionner les soufflets qui alimentent les fourneaux en air est à l'origine du changement de procédé technique. Cette ventilation fournie par la force hydraulique permet d'atteindre des températures beaucoup plus élevées, supérieures à 1600 °C, donnant ainsi à la fois la capacité de fondre de métal et celle de l'affiner. C'est le passage à la filière de réduction indirecte⁵⁸. La filière indirecte s'articule en deux temps : réduction et affinage. La réduction s'effectue en phase liquide dans un haut fourneau ($T^{\circ} > 1535 \text{ }^{\circ}\text{C}$) (cf. Figure 5). À cette température, le carbone diffuse plus facilement dans le fer liquide et le produit obtenu est alors de la fonte, un alliage contenant plus de 2 %_{mass} de carbone⁵⁹. La gangue entre également en fusion et est évacuée sous la forme d'un laitier, scorie vitrifiée pauvre en fer de faible densité, qui se sépare aisément du métal fondu avec peu de pertes. À l'état liquide, cette fonte peut être directement moulée, mais une fois refroidie, trop dure et cassante, elle est impropre au forgeage. Elle doit donc être affinée, c'est-à-dire transformée en fer ou en acier forgeable, pour pouvoir être ensuite travaillée à la forge. Dans un foyer ouvert, elle est mise en contact avec l'air de la tuyère et avec des scories d'affinage pour provoquer l'oxydation de certains éléments de la fonte. Ce procédé qui, au Moyen Âge, se déroule essentiellement en phase solide, permet d'éliminer le carbone ainsi qu'une partie des autres impuretés contenues dans le métal⁶⁰. Si la capacité de production de fonte d'un haut fourneau de la fin de la période médiévale est aujourd'hui connue et, d'après les recherches de D. Arribet-Deroin sur le haut fourneau de Glinet, pourrait s'élever à plusieurs centaines de kilogrammes⁶¹, la phase d'affinage reste encore à l'heure actuelle fort peu documentée et il est difficile d'estimer précisément son rendement.

⁵⁸ L'utilisation du soufflet hydraulique pour les bas fourneaux de réduction directe n'a pas encore été prouvée pour les périodes antérieures au XV^e siècle, bien qu'elle soit parfois fortement supposée. Voir à ce titre VERNA (C.), *Le temps des moulins. Fer, technique et société dans les Pyrénées centrales (XIII^e-XVI^e siècles)*, Paris, Publications de la Sorbonne, 2001, p. 85.

⁵⁹ La fonte est attestée en Chine dès le IV^e siècle avant J.-C. par Needham, cité dans FLUZIN (Ph.), « Notions élémentaires de sidérurgie », dans ECHARD (N.), dir., *Métallurgies africaines. Nouvelles contributions*, Paris, Musée de l'homme, 1983, p. 13-44. En Europe, des masses de fonte ont également été découvertes dans des fourneaux à fer du Val Gabbia datant de la période lombarde, CUCINI TIZZONI (C.), TIZZONI (M.), éd., *La miniera perduta. Cinque anni di ricerca archeometallurgica nel territorio di Bienna*, Bienna, 1999, 247 p. Il s'agit cependant probablement d'une obtention accidentelle, comme on en retrouve très ponctuellement sous forme de petites billes dans les scories de réduction du procédé direct.

⁶⁰ En toute rigueur, la température de fusion de la lédéburite (solution de carbone dans la fonte) étant de l'ordre de 1050 °C, l'affinage se déroule tout d'abord en phase liquide. Au fur et à mesure de la décarburation, la température de fusion augmente et l'on se retrouve en phase solide.

⁶¹ D. Arribet-Deroin estime la masse de fonte maximale produite en une coulée par le haut fourneau de Glinet entre 500 et 800 kg en s'appuyant sur les dimensions de son creuset et son avant-creuset, ARRIBET-DEROIN (D.), *Fondre le fer en gueuses au XVI^e siècle : le haut fourneau de Glinet en pays de Bray*, Thèse de doctorat d'Archéologie de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne sous la direction de P. BENOIT, 2001, p. 503.

Les principales données quantitatives sur cette opération datent de l'époque moderne⁶², époque où le procédé était bien maîtrisé. Il est probable qu'à ses balbutiements pendant la période médiévale, les rendements étaient moindres. Un haut fourneau comme celui de Glinet est néanmoins capable de produire, d'après le détail des livraisons, mille livres de fer tous les mois, voire deux ou trois fois par mois⁶³. Ces quantités de fer ne semblent donc pas nécessairement excéder celles de grands complexes fonctionnant selon le procédé de réduction directe comme ceux décrits par C. Verna pour les Pyrénées ariégeoises⁶⁴.

L'origine précise de cette métallurgie indirecte reste toutefois problématique. Les études récentes tendent à montrer que les régions d'Europe du Nord et du Nord-Ouest ont abrité de nombreux foyers où ce type de métallurgie s'est mis en place de manière très précoce. M. Sönnecken et H. L. Knau ont notamment identifié l'utilisation du procédé indirect en Allemagne, dans la vallée de la Volme, dès le XIII^e siècle⁶⁵. Le haut fourneau de Lapphyttan, étudié par G. Magnusson dans le district de Norberg en Suède, donne quant à lui un premier exemple de production et d'affinage de fonte, dès le XII^e siècle⁶⁶. Sa datation semble toutefois contestée. Les exemples se multiplient au cours du XIV^e siècle : la production de fer selon la filière indirecte est attestée dans le comté de Namur vers 1345⁶⁷, et à peine plus de trente ans après, en 1377, dans le sud de la Champagne, sur le site d'Estissac (Aube) situé en bord de Vanne⁶⁸. Une dizaine d'années plus tard, il est présent dans la région du Nivernais⁶⁹. Grande est l'influence de maîtres de forge wallons et allemands dans l'implantation de cette métallurgie indirecte dans le nord-est de la France dès

⁶² BENOIT (S.), « La consommation de combustible végétal et l'évolution des systèmes techniques », dans WORONOFF (D.), dir., *Forges et forêts. Recherches sur la consommation proto-industrielle de bois*, Paris, 1990, p. 87-150. La perte de matière serait de l'ordre d'un tiers à cette période, une tonne et demie de fonte produisant environ une tonne de fer.

⁶³ ARRIBET-DEROIN (D.), *Fondre le fer en gueuses...*, op. cit., p. 211.

⁶⁴ VERNA (C.), *Le temps des moulines...*, op. cit., p. 85. Elle estime la production hebdomadaire de la forge d'Albiès à 16 à 20 quintaux, soit entre 672 et 1092 kg de fer, à partir de la redevance fixe de deux quintaux de cette forge. Elle n'a toutefois aucune information sur le nombre de feux composant ces structures de production, ni sur le nombre d'hommes qui y travaillaient.

⁶⁵ SÖNNECKEN (M.), « Eisendarstellung im Flosshofen », *Der Märker*, n° 21, 1972, p. 4-5 ; KNAU (H. L.), HORSTMANN (D.), SÖNNECKEN (M.), « La production de fonte dans la haute vallée de la Volme : Contribution à l'étude de la sidérurgie en Westphalie occidentale », dans BECK (P.), dir., *L'Innovation technique au Moyen Age...*, op. cit., p. 152-159).

⁶⁶ MAGNUSSON (G.), « Lapphyttan. An example of medieval iron production », dans *Medieval Iron in Society, Papers presented at the Symposium in Norberg*, Stockholm, 1985, p. 21-60 ; BLÖRKENSTAM (N.), FORNANDER (S.), « Metallurgy and technology at Lapphyttan », dans *Medieval Iron...*, op. cit., p. 184-225.

⁶⁷ GILLARD (A.), *L'industrie du fer dans les localités du comté de Namur et de l'Entre-Sambre-et-Meuse de 1345 à 1600*, Bruxelles, 1971, 263 p.

⁶⁸ ROUILLARD (J.), *L'homme et la rivière : histoire du bassin de la Vanne au Moyen Age (XII^e-XVI^e siècle)*, Thèse de doctorat d'histoire de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne sous la direction de M. BOURIN, 2003, p. 401.

⁶⁹ HERCHIN (M.), *L'implantation de hauts fourneaux dans les vallées de la Nièvre et de l'Yeuve à l'époque moderne*, Mémoire de DEA d'Histoire de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne sous la direction de P. BENOIT, 2001, 72 p.

le tournant des XIV^e et XV^e siècles⁷⁰. La métallurgie allemande est en effet très active à cette même période : vers 1385, W. von Stromer dénombre 74 maîtres de forges et 80 gros marteaux dans la seule région du Haut-Palatinat⁷¹. Au cours de la seconde moitié du XV^e siècle, ces mêmes métallurgistes wallons contribuent à la diffusion du procédé dans l'ouest de la France. D. Arribet-Deroin date son apparition dans le Perche aux années 1470 et dix ans plus tard dans le pays de Bray⁷², les structures les plus précoces du site de Glinet (Seine-Maritime), haut fourneau et affinerie en pays de Bray normand datant pour leur part de 1480⁷³. Elle cite également le cas plus précoce mais plus isolé de la forge du Becquet en 1451⁷⁴.

De manière plus générale, dans le nord du royaume de France, les deux procédés coexistent pendant une période comprise entre la fin du XIV^e et le XVI^e siècle⁷⁵. A partir du XVI^e siècle, le procédé indirect supplante presque complètement le procédé direct. En revanche, dans d'autres régions, comme le Midi pyrénéen, différents types de fours de réduction directe, moulins et forges à la Catalane, continuent à assurer le gros de la production jusqu'à l'aube du XX^e siècle⁷⁶.

Dans sa thèse soutenue en 1998, Ph. Dillmann réussit donc à établir plusieurs critères permettant de discriminer dans les cas favorables, ces deux filières de réduction⁷⁷. En mettant en place une méthode d'analyse applicable à tout corpus d'objets ferreux, il réalise ainsi une avancée majeure pour toute étude métallographique sur la période médiévale qui est directement concernée par cette évolution des procédés techniques de production du fer.

⁷⁰ BELHOSTE (J.-F.), CLAERR-ROUSSEL (C.), LAUSS (F.), PHILLIPE (M.), VION-DELPHIN (F.), *La métallurgie comtoise XV^e-XIX^e siècle*, Besançon, l'Inventaire, 1994, p. 20-21 et p. 49-50 ; ROUILLARD (J.), *L'homme et la rivière...*, *op. cit.*, p. 402.

⁷¹ STROMER (W. von), « Die Grosse Hammereinung vom 7. Januar 1387. Kartell und Innovationen als Antwort auf eine Krise », dans *Die Oberpfalz ein Europäisches Eisenzentrum...*, *op. cit.*, p. 147-190.

⁷² BELHOSTE (J.-F.), LECHERBONNIER (Y.), ARNOUX (M.), ARRIBET (D.), AWTY (B. G.), RIOULT (M.), *La métallurgie normande, XII^e-XVIII^e siècles. La révolution du haut fourneau*, Caen, l'Inventaire, 1991, p. 51.

⁷³ ARRIBET-DEROIN (D.), *Fondre le fer en gueuses...*, *op. cit.*

⁷⁴ BELHOSTE (J.-F.), LECHERBONNIER (Y.), ARNOUX (M.), ARRIBET (D.), AWTY (B. G.), RIOULT (M.), *La métallurgie normande...*, *op. cit.*, p. 51.

⁷⁵ BENOIT (P.), *Les mutations techniques et scientifiques...*, *op. cit.*, p. 132-141.

⁷⁶ VERNA (C.), *Le temps des moulins...*, *op. cit.*, p. 324 ; CANTELAUBE (J.), *La forge à la catalane dans les Pyrénées ariégeoises, une industrie à la montagne (XVII^e-XIX^e)*, Toulouse, 2005, 814 p.

⁷⁷ DILLMANN (Ph.), *Diffraction X, Microdiffraction X et Microfluorescence X...*, *op. cit.* ; DILLMANN (Ph.), FLUZIN (Ph.), CHEVALLIER (P.), « Determination of iron making processes using synchrotron microprobe », dans JEREM (E.), BIRO (K. T.), éd., *Archaeometry 98, Proceedings of the 31st Symposium*, Archaeopress – Archaeolingua, BAR, 2002, p. 327-334.

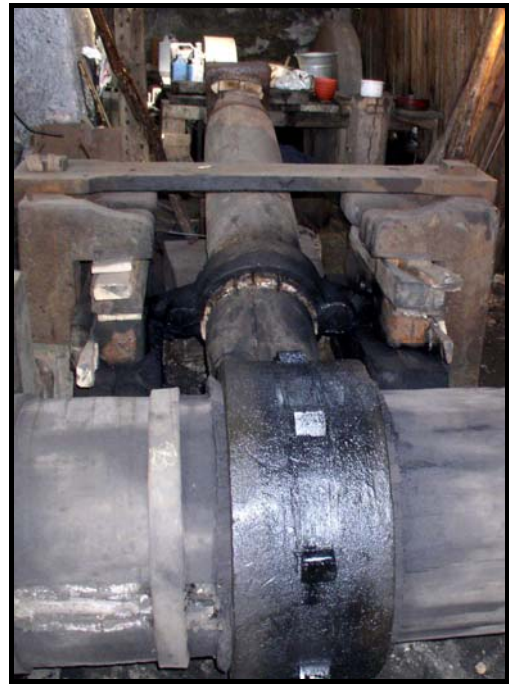
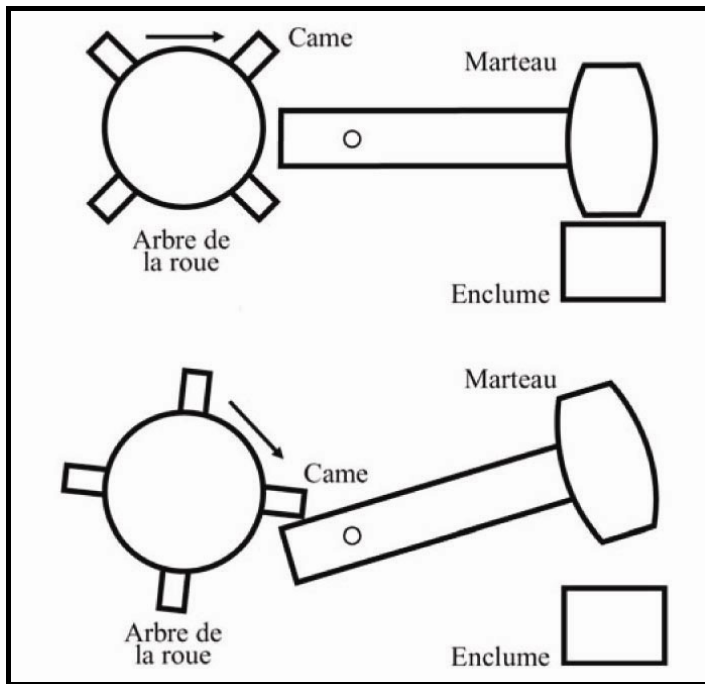


Figure 3 : Principe du marteau hydraulique d'après J. Rouillard⁷⁸ et marteau hydraulique encore en activité, forge de J. Bröstl à Medzev (Slovaquie).

⁷⁸ ROUILLARD (J.), *L'homme et la rivière...*, op. cit., p. 254.

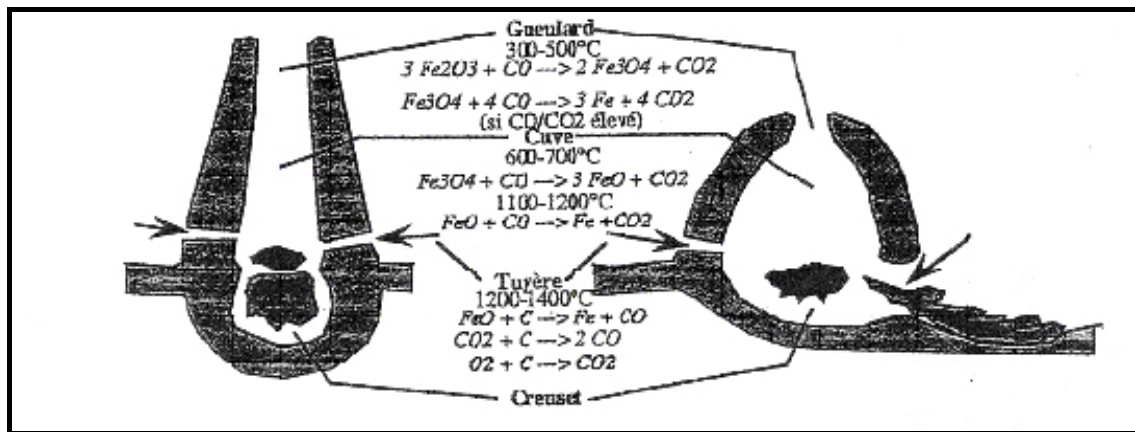


Figure 4 : Coupe schématique de deux bas fourneaux d'après V. Seernels⁷⁹.

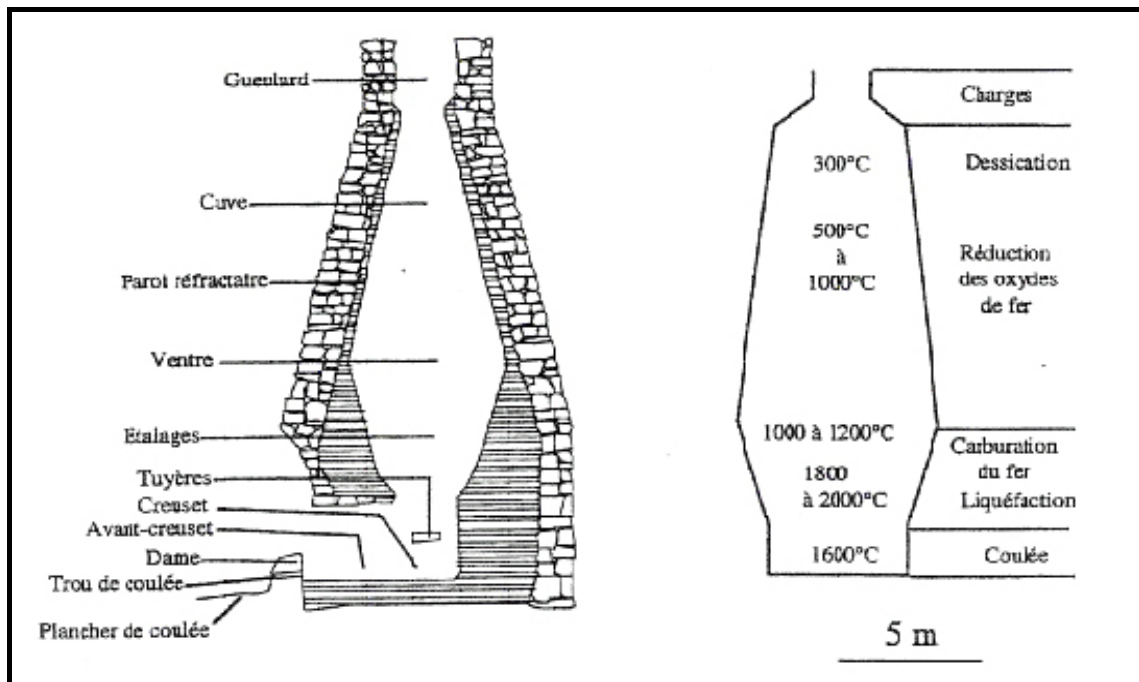


Figure 5 : Coupe schématique d'un haut fourneau (à gauche), d'après C. Mahé-Le Carlier⁸⁰ ; températures de fonctionnement dans un haut fourneau contemporain (à droite), d'après Ph. Fluzin⁸¹.

⁷⁹ SEERNELS (V.), « L'apport des analyses chimiques de minerais, scories, et produits associés à l'étude de la sidérurgie ancienne », dans MANGIN (M.), dir., *La sidérurgie ancienne de l'est de la France dans son contexte européen, Actes du colloque de Besançon*, Paris, Les Belles Lettres, 1994, p. 75-82.

⁸⁰ MAHE-LE CARLIER (C.), *Caractérisation pétrographique et chimique d'analogues de déchets vitrifiés actuels : les scories de la métallurgie ancienne. Etude de l'altération naturelle et expérimental*, Partie I : Pétrographie et archéométrie, Thèse de doctorat de sciences appliquées de l'Institut National Polytechnique de Lorraine sous la direction d'A. PLOQUIN, 1997, 378 p.

⁸¹ FLUZIN (Ph.), « Notions élémentaires de sidérurgie... », *op. cit.*

Application à une première étude interdisciplinaire : le Palais des Papes en Avignon

Si les monuments historiques ont été un support de travail pour la recherche de Ph. Dillmann, ils sont également parmi les premiers à bénéficier de l'application de cette nouvelle méthode qu'il a développée. En compagnie de Ph. Bernardi, il lance la première étude interdisciplinaire d'envergure sur l'emploi du fer dans la construction d'un édifice médiéval : le Palais des Papes d'Avignon, alliant étude des sources écrites, repérage des éléments de fer dans le bâti et analyses métallographiques d'échantillons prélevés sur site, afin d'aborder conjointement les différentes problématiques soulevées depuis une vingtaine d'années sur un seul et même monument⁸². Les premiers résultats de cette étude sont très prometteurs. Dans les livres de comptes du Palais des Papes, Ph. Bernardi relève l'achat de près de 16,5 tonnes de barres et agrafes de fer pour la construction du palais neuf de Clément IV, en à peine une année entre mars 1347 et février 1348⁸³, confirmant ainsi, après W. Haas, l'usage massif du fer dans ces grands monuments de la période médiévale. Ph. Dillmann fait pour sa part l'analyse métallographique de huit échantillons de fer prélevés sur le monument⁸⁴. Il montre que tous sont issus du procédé de réduction directe, bien qu'ils soient de qualités différentes. Six d'entre eux présentent une structure fer-acier hétérogène ainsi qu'une mauvaise propreté inclusionnaire, traduisant une production de métal de moindre qualité à partir d'une loupe hétérogène. Il observe également sur certaines barres des vaguelettes qu'il interprète comme des traces de forge au marteau hydraulique, celles-ci étant visiblement trop larges pour être le résultat d'un travail manuel au marteau. Ce sont par ailleurs à ce jour les premières preuves archéologiques de l'utilisation du marteau hydraulique sur un élément métallique⁸⁵. La mise en relation de ces résultats corrobore d'après lui le fait que, « la production donne la priorité à la quantité de métal fourni plutôt

⁸² BERNARDI (Ph.), DILLMANN (Ph.), « La place du métal dans la construction », dans VINGTAIN (D.), éd., *Monument de l'Histoire - Construire, reconstruire le Palais des Papes, XIV^e - XIX^e siècles*, Avignon, Editions RMG - Palais des Papes, 2002, p. 63-67 ; DILLMANN (Ph.), BERNARDI (Ph.), « Premiers résultats métallographiques sur les tirants de fer du Palais des Papes d'Avignon. Eléments de réflexion sur la qualité et la provenance des matériaux ferreux utilisés dans la construction monumentale au Moyen Age », dans NOËL (R.), PAQUAY (I.), SOSSON (J.-P.), éd., *Au-delà de l'écrit. Les hommes et leurs vécus matériels au Moyen Age à la lumière des sciences et des techniques. Nouvelles perspectives*, Louvain-la-Neuve, Typologie des Sources du Moyen Age occidental (hors-série), 2003, p. 241-279.

⁸³ BERNARDI (Ph.), DILLMANN (Ph.), « La place du métal dans la construction »..., *op. cit.*

⁸⁴ DILLMANN (Ph.), BERNARDI (Ph.), « Premiers résultats métallographiques... », *op. cit.*

⁸⁵ Son utilisation avait cependant été mise en évidence bien auparavant, BENOIT (P.), *Les mutations techniques et scientifiques...*, *op. cit.*, p. 129.

qu'à la qualité »⁸⁶. Les coupes des deux derniers échantillons présentent cependant une structure aciérée beaucoup plus homogène avec une bien meilleure propreté inclusionnaire, ce qui prouve la volonté d'utiliser un matériau aux qualités mécaniques bien supérieures à un endroit précis⁸⁷.

La naissance d'une étude

Redevenue une question d'actualité il y a environ une vingtaine d'années, les avancées successives dans la recherche ont depuis lors permis la définition d'une problématique multiple, liée non seulement à l'architecture du bâtiment mais également à l'histoire des techniques. Les approches développées sont multiples et l'appréhension des divers questionnements ne semble pouvoir se concevoir sans étude interdisciplinaire. Pourtant, jusqu'ici, peu de travaux se sont appuyés sur l'ensemble des sources disponibles : prospections, archives comptables médiévales et analyses métallographiques. Les études réalisées par des architectes, les premières en la matière à faire réellement état de l'importance du fer dans les édifices gothiques, sont la plupart du temps orientées uniquement sur les emplois du fer dans le bâtiment et celles des historiens des sources écrites ne font que rarement référence au bâti. De plus, aucune de ces études n'a utilisé la même méthode de recherche, ni défini de problématique précise et presque aucune ne s'est intéressée au matériau proprement dit par l'intermédiaire d'analyses métallographiques. A l'heure où cette recherche a débuté, la seule étude complète sur un monument médiéval était celle réalisée par Ph. Bernardi et Ph. Dillmann sur le Palais des Papes d'Avignon. Elle ne concernait donc pas une église gothique. L'archéologie du bâti a, pour sa part, intégré assez tardivement la problématique de l'utilisation du fer dans l'architecture médiévale. Alors qu'historiens des textes, architectes et historiens d'art avaient souligné son importance depuis plus de quinze ans, le numéro des *Dossiers d'archéologie* consacré à la construction au Moyen Age paru en mars 2000, s'il fait part des nouvelles recherches sur certains matériaux comme la brique ou le mortier, ne fait aucune mention du fer comme matériau de construction⁸⁸. Ce désintérêt, aujourd'hui comblé, est probablement en partie responsable du retard de la recherche dans ce domaine accusé au début des années 2000. A cette époque, le

⁸⁶ DILLMANN (Ph.), BERNARDI (Ph.), « Premiers résultats métallographiques... », *op. cit.*

⁸⁷ ID., *Ibid.*

⁸⁸ « Comment construisait-on au Moyen Age », *Les dossiers d'archéologie*, n° 251, mars 2000, 87 p.

rôle que peut jouer le fer au sein de ces édifices a encore trop tendance à être minimisé par certains chercheurs. R. Bechmann écrit en 1998 notamment au sujet des vitraux des églises que leur structure est faite « de minces barres de fer maintenues par une résille de pierre »⁸⁹. Lapsus ou contresens ? Dans un cas comme dans l'autre, ses propos traduisent la réminiscence de préjugés tenaces comme quoi l'architecture gothique est une architecture uniquement de pierre, qui ne pourront être infirmés que lorsque l'importance et les fonctions précises de ce métal dans la structure de la construction seront établies.

L'apport d'une nouvelle contribution à cette problématique s'avérait donc essentielle à ce stade de la réflexion. C'est pourquoi, parallèlement à l'étude sur le Palais des Papes d'Avignon, un autre travail de recherche sur la construction médiévale voit le jour sur une église du nord de la France : la cathédrale de Rouen. Cette étude, lancée sous l'impulsion de P. Benoit et toujours en collaboration avec Ph. Dillmann, constitue mon sujet de D.E.A.⁹⁰.

D'un travail de maîtrise d'archéologie réalisée sur les fers à cheval médiévaux, à l'étude d'un joyau de l'art gothique, il y a toujours ce même dénominateur commun : le fer. Outre la réalisation d'une étude archéologique d'un corpus d'objets, cette maîtrise sur les fers à cheval a également été l'occasion de me former aux techniques de métallographie « classique », mais également aux nouvelles méthodes d'analyse inclusionnaire développées par Ph. Dillmann dans son équipe de recherche, constituée de chercheurs du Laboratoire Métallurgie et Culture (UMR 5060 I.R.A.MAT.) et du Commissariat à l'Energie Atomique (C.E.A), basée au Laboratoire Pierre Süe du C.E.A./Saclay⁹¹. C'est donc sensibilisé aux diverses problématiques de la métallurgie médiévale que j'abordais ce travail sur la cathédrale de Rouen, puis son extension en thèse aux autres églises de la ville et à la ville de Troyes.

⁸⁹ BECHMANN (R.), « Du roman au gothique : une course fervente vers le gigantisme », *Historia*, Hors Série n° 9801, Janv. 1998, p. 26-34.

⁹⁰ L'HERITIER (M.), *L'utilisation du fer dans la construction gothique. L'exemple de la cathédrale de Rouen*, Mémoire de DEA d'archéologie de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne sous la direction de P. BENOIT, 2003, 174 p.

⁹¹ L'HERITIER (M.), *Approches typologique et archéométallurgique du fer à cheval médiéval*, Mémoire de maîtrise d'archéologie de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne sous la direction de P. BENOIT et J. BURNOUF, 2002, 142 p.

III. PROBLEMATIQUE

Cette thèse d'archéologie vise donc à la mise en place d'une méthode de recherche et son application sur plusieurs églises médiévales, afin d'analyser l'importance du fer dans le bâti et les procédés métallurgiques employés pour sa production. La revue des études des vingt dernières années sur l'utilisation du fer dans l'architecture a montré qu'elle soulève de multiples questionnements.

La première interrogation, lorsque la problématique de l'utilisation du fer dans l'architecture est abordée, est naturellement d'ordre architectural, à savoir à quels endroits et dans quels buts le fer a été utilisé. L'aspect économique du chantier de ces monuments est étroitement lié à cette problématique. Il touche en particulier aux quantités de fer mises en œuvre dans ces édifices aux différentes époques, ainsi que leur coût suivant les capacités de production et la disponibilité des matériaux. Parmi les dépenses engagées pour se procurer le métal, quelles sont les plus importantes ? Se pose également la question de la caractérisation des différentes étapes de la chaîne opératoire ayant produit les éléments de fer mis en œuvre, seconde partie de la problématique qui porte davantage sur les techniques de production et le matériau en lui-même. Quelles structures de production ont permis d'alimenter les chantiers de ces grands édifices, quelles étaient la nature, la qualité et la résistance de ces fers mis en œuvre dans le bâti, quels sont les acteurs qui ont contribué à leur production et à leur commerce, quel travail ont-ils réalisé à la forge pour les mettre en forme ? Ce dernier aspect de la recherche constitue également une contribution à l'histoire de la métallurgie du fer, par l'étude de l'évolution et de la succession des filières techniques productrices de fer à l'époque médiévale, à travers leurs influences sur la nature et la disponibilité du matériau pour les chantiers de construction.

La nécessité d'aborder cette problématique multiple selon une approche interdisciplinaire doit une nouvelle fois être soulignée, car ce n'est que par la confrontation des informations des différentes sources que certaines réponses pourront être apportées. Aussi, la recherche sur chacun des édifices a fait appel aux trois types de sources archéologiques et historiques disponibles : les données des prospections, c'est-à-dire le repérage des fers encore en place dans le bâti, les données textuelles avec l'étude des comptes de construction médiévaux et enfin les données archéométallurgiques avec l'analyse

d'échantillons de fer prélevés *in situ* dans ces églises ou provenant de déposes consécutives à des restaurations en cours.

Le choix du corpus d'édifices s'est porté sur les églises de deux grandes villes de l'époque médiévale : Troyes et Rouen. Ces deux villes constituaient en effet pour trois raisons majeures un champ d'étude adapté aux problématiques soulevées.

Tout d'abord, l'étude parallèle des églises rouennaises et troyennes offre de bonnes perspectives pour établir pour la première fois des comparaisons sur l'emploi du fer entre deux régions de l'art gothique, l'école normande et l'école champenoise. De plus, la chronologie des édifices choisis, qui couvre pour les deux villes une très large partie de la période gothique, allant de la fin du XII^e siècle jusqu'au XVI^e siècle pour les derniers travaux, permet ainsi d'aborder cette question de manière diachronique et éventuellement de pouvoir proposer une évolution sur la présence du fer dans ce type d'architecture. A Rouen, la « ville aux cent clochers » chère à Victor Hugo⁹², trois églises ont été étudiées. La plus ancienne est la cathédrale, reconstruite au début du XIII^e siècle, mais qui subit de nombreuses modifications jusqu'au début du XVI^e. Vient ensuite l'église Saint-Ouen, dont la construction a débuté en 1318 dans un pur style rayonnant tardif, pour se terminer au milieu du XVI^e siècle, puis l'église Saint-Maclou élevée entre le milieu du XV^e et le début du XVI^e siècle à la période flamboyante. La ville de Troyes compte pour sa part la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul, commencée vers 1208 et construite par étapes jusqu'au XVII^e siècle, pour laquelle les comptes de la fabrique sont conservés à partir de la fin du XIV^e siècle, l'église Saint-Urbain, canon du gothique rayonnant édifié en partie entre 1263 et 1286⁹³, dont l'immensité des vitrages a fait s'interroger certains chercheurs sur ses conditions d'équilibre, l'église Saint-Jean-au-Marché, débutée dans la première moitié du XIII^e siècle, mais dont la nef subit de nombreux travaux aux XIV^e et XV^e siècles et dont le chœur est totalement reconstruit au XVI^e siècle et enfin l'église Sainte-Madeleine, construite au tournant des XII^e et XIII^e siècles et dont le chœur est refait au début du XVI^e siècle. La bonne conservation des comptes des fabriques de la plupart de ces églises, qui présentent en outre des séries remarquables pour au moins trois des monuments étudiés, la cathédrale de Rouen, la cathédrale de Troyes et l'église Saint-Jean-au-Marché, permet d'envisager une étude précise des sources écrites pour ces édifices.

⁹² Citation de « A mes amis L. B. et S.-B. », dans *Les feuilles d'automne*, Paris, 1831.

⁹³ Les parties hautes de la nef ne furent construites qu'au XIX^e siècle après une importante campagne de restauration.

Les régions troyenne et rouennaise sont en outre deux zones métallurgiques particulièrement importantes au Moyen Age et au début de l'époque moderne, qui connaissent une chronologie différente dans les mutations de la métallurgie du fer. En l'état actuel des connaissances, l'introduction du marteau hydraulique remonte au moins à la première moitié du XII^e siècle en Champagne, alors que son implantation n'est attestée qu'à la fin du XV^e siècle en Normandie⁹⁴. De même, le procédé de réduction indirecte n'est pas connu avant la fin du XV^e siècle en Normandie, alors qu'il est présent dès la fin du XIV^e siècle en Champagne⁹⁵. Ces différences chronologiques sont l'occasion d'étudier l'influence éventuelle des mutations de la métallurgie médiévale sur l'utilisation du fer dans l'architecture gothique de chacune des deux régions.

Enfin, ces deux régions sont depuis plusieurs années un champ d'étude privilégié par les chercheurs de l'Equipe d'Histoire des Techniques (UMR 8589 LAMOP) emmenée par P. Benoit, qui sont à l'origine des études les plus récentes en particulier dans le domaine de la sidérurgie. Reprenant les hypothèses de B. Gille, P. Benoit et ses collaborateurs ont notamment étudié le fort impact de la métallurgie monastique dès le XII^e siècle dans la région champenoise, avec le développement des abbayes cisterciennes, qui ont conduit à cette introduction très précoce du marteau hydraulique⁹⁶. La récente thèse de J. Rouillard sur la vallée de la Vanne, affluent de l'Yonne, s'est également intéressée, par l'intermédiaire des aménagements hydrauliques, à la question du développement de la sidérurgie indirecte en forêt d'Othe⁹⁷. En Normandie, les travaux de D. Arribet-Deroin sur l'introduction de la filière indirecte avec l'étude du site de production de Glinet ainsi que les recherches de C. Colliou sur le procédé direct viennent compléter ce tableau pour la métallurgie⁹⁸. Une autre partie des travaux de l'Equipe d'Histoire des Techniques s'intéresse aux chantiers de construction. Dans la même optique, il faut évoquer pour Rouen l'ensemble des recherches de Ph. Lardin sur les chantiers du bâtiment en Normandie orientale pendant le Moyen Age, qui, à partir de

⁹⁴ BELHOSTE (J.-F.), LECHERBONNIER (Y.), ARNOUX (M.), ARRIBET (D.), AWTY (B. G.), RIOULT (M.), *La métallurgie Normande...*, *op. cit.*, p. 35 ; BENOIT (P.), BERTHIER (K.), « L'innovation dans l'exploitation de l'énergie hydraulique... », *op. cit.*

⁹⁵ ROUILLARD (J.), *L'homme et la rivière...*, *op. cit.*, p. 401 ; BELHOSTE (J.-F.), LECHERBONNIER (Y.), ARNOUX (M.), ARRIBET (D.), AWTY (B. G.), RIOULT (M.), *La métallurgie Normande...*, *op. cit.*, p. 51.

⁹⁶ [GILLE (B.)], « Les origines du moulin à fer »..., *op. cit.* ; BENOIT (P.), BERTHIER (K.), « L'innovation dans l'exploitation de l'énergie hydraulique... », *op. cit.* ; VERNA (C.), *Les mines et les forges des Cisterciens en Champagne méridionale et en Bourgogne du Nord, XII^e-XV^e siècles*, Paris, A.E.D.E.H.-Vulcain, 1995, 96 p.

⁹⁷ ROUILLARD (J.), *L'homme et la rivière...*, *op. cit.*, p. 400-410.

⁹⁸ ARRIBET-DEROIN (D.), *Fondre le fer en gueuses...*, *op. cit.* ; BELHOSTE (J.-F.), LECHERBONNIER (Y.), ARNOUX (M.), ARRIBET (D.), AWTY (B. G.), RIOULT (M.), *La métallurgie Normande...*, *op. cit.* ; COLLIU (C.), « Prémices à une approche de la métallurgie par procédé direct en pays de Bray », dans WATTE (J.-P.), dir., *Haute Normandie Archéologique*, Bulletin n° 9, Rouen, CRAHN, 2004, p. 67-68 ; COLLIU (C.), *Rapport de fouille, Le Chemin du Flot, parcelle 136, commune de La Ferté St-Samson*, DFS, Service Régional de l'Archéologie de Haute Normandie, Rouen, 2005, 22 p.

l'étude des sources écrites, développe en particulier cette problématique de l'approvisionnement en fer pour les chantiers de construction rouennais, reprenant notamment les interrogations sur l'origine du fer qui y est consommé et la part des importations de « fer d'Espagne »⁹⁹. En Bourgogne occidentale, D. Cailleaux a également réalisé l'étude d'un chantier de construction, celui du transept de la cathédrale de Sens, par l'intermédiaire de l'étude des comptes de la fabrique, qui lui permettent d'aborder plusieurs emplois du fer dans la construction ainsi que certaines questions liées à l'approvisionnement de la matière première sur le chantier¹⁰⁰. Enfin, pour la ville de Troyes, les travaux de C. Roms sur la fourniture de pierre pour les chantiers troyens, qu'il poursuit aujourd'hui en thèse, constituent l'incontournable pendant lithique à l'étude que nous entreprenons sur le métal¹⁰¹. Ces nombreuses recherches passées ou en cours, qu'elles traitent de la métallurgie ou des chantiers de construction, sont autant de références indispensables pour notre travail, qui se trouve ainsi intégré au sein d'un programme de recherche collectif beaucoup plus vaste. Si les études sur la métallurgie et ses mutations au cours du Moyen Age ou encore sur l'économie et l'approvisionnement des chantiers médiévaux sont plutôt nombreuses pour les deux régions étudiées, on peut en revanche déplorer l'absence de véritable étude archéologique du bâti sur les édifices sélectionnés.

Avant de revenir sur les différents aspects de cette problématique, les méthodes développées pour cette étude vont être présentées, puis chaque édifice du corpus fera l'objet d'une description détaillée tant au niveau de son bâti et des emplois du fer, que de la documentation écrite.

⁹⁹ LARDIN (Ph.), *Les chantiers du bâtiment en Normandie orientale (XIV^e-XVI^e s.), les matériaux et les hommes*, Villeneuve d'Ascq, Presses universitaires du Septentrion, 2001, 852 p. ; LARDIN (Ph.), *Les chantiers du bâtiment en Normandie orientale à la fin du Moyen Age (Matériaux et ouvriers)*, Thèse de doctorat d'Histoire de l'université de Rouen sous la direction de J.-P. LEGUAY, 1995, 677 p.

¹⁰⁰ CAILLEAUX (D.), *La cathédrale en chantier. La construction du transept de Saint-Etienne de Sens d'après les comptes de la fabrique 1490-1517*, Paris, CTHS, 1999, 667 p.

¹⁰¹ ROMS (C.), *Les carrières de pierre de Tonnerre aux époques médiévale et moderne*, Mémoire de Maîtrise d'archéologie de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne sous la direction de P. BENOIT, 2002, 258 p. ; ROMS (C.), *La pierre de Tonnerre dans la construction religieuse troyenne aux époques médiévale et moderne : la cathédrale Saint-Pierre et Saint-Paul*, Mémoire de D.E.A. d'archéologie de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne sous la direction de P. BENOIT, 2003, 152 p.

IV. SOURCES MANUSCRITES

A partir de la première moitié du XIII^e siècle, chaque église se dote d'un office chargé de la gestion de l'église : la fabrique. Elle gère notamment les travaux de construction, les vastes campagnes de restaurations ainsi que l'entretien de l'édifice. Les chanoines qui ont la gestion de la fabrique sont chargés de la bonne présentation des comptes de dépenses et recettes, qui proviennent des revenus du temporel du chapitre. Les modes de fonctionnement et d'organisation des fabriques sont similaires dans l'ensemble de la chrétienté¹⁰².

La plupart des comptes de fabrique étudiés se trouvent aux Archives départementales de l'Aube et de la Seine-Maritime. Quelques comptes sont néanmoins conservés aux Archives nationales et au département des manuscrits occidentaux de la Bibliothèque nationale de France.

Archives nationales

KK 398 B, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 22 juillet 1375 au 27 juillet 1376, registre, papier, 14 folios.

¹⁰² CAILLEAUX (D.), *La cathédrale en chantier...*, *op. cit.*, p. 157 et suivantes.

Archives départementales de l'Aube

Comptes de la fabrique de l'église cathédrale de Troyes, G 1559 à G 1588 et G 4417

Avec plus de 140 années comptables conservées entre la fin du XIII^e et le début du XVI^e siècle, les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes font partie des fonds les plus riches pour une église gothique. La période comprise entre 1370 et 1520, qui a vu l'achèvement de la nef ainsi que de nombreux travaux au transept et sur les portails, présente, avec 120 années comptables conservées sur 150, une série quasi-continue et complète. Le dernier compte dépouillé est celui de l'année 1520 avant l'érection de la façade occidentale, car, bien que les travaux continuent sur la cathédrale, les comptes du XVI^e siècle ne mentionnent plus le détail des dépenses du serrurier. Les comptes de la cathédrale de Troyes peuvent donc être considérés comme représentatifs de la construction d'un édifice gothique du XIV^e au XVI^e siècle.

L'ensemble des comptes est assez dispersé ; la majeure partie est toutefois conservée aux Archives départementales de l'Aube, mais les comptes les plus anciens de la fin du XIII^e et du XIV^e siècle se trouvent pour la plupart dans le département des manuscrits occidentaux de la Bibliothèque nationale de France. Un registre est même conservé aux Archives nationales et deux autres datant du début du XV^e siècle se trouvent à l'étranger : un aux archives du British Museum (ms 15803) pour les années 1401-1403 et un au Trinity College de Dublin (ms 1775-9) pour l'année 1407-1408. Les Archives départementales de l'Aube ne disposent pas de copie de ces comptes qui n'ont donc pas pu être consultés.

Les comptes de la fin du XIII^e siècle sont assez peu détaillés : seule une dichotomie entre dépenses communes et dépenses d'ouvriers y est faite. Ils ont en général pour terme le jour de la Sainte-Madeleine, soit le 22 juillet. En revanche, dans les comptes de 1333 à 1340, le terme échoit le jour de la Saint-Pierre-et-Paul, c'est-à-dire le 29 juin. Les dépenses du serrurier y sont présentées dans le chapitre *expensis pro dicta fabrica per tempus predictum*. A partir de 1366, les comptes adoptent un format qu'ils gardent jusqu'à la période moderne avec séparation des différents types de dépenses, dont un chapitre de « dépenses pour forge ». L'année comptable commence et échoit le plus souvent à la Sainte-Madeleine, comme au début du XIII^e siècle. Au milieu du XV^e siècle, les manuels de la fabrique et les comptes des Pardons de l'église disponibles ont néanmoins des termes variables.

La présentation et l'écriture des comptes sont en général soignées. Seuls les registres correspondant aux années de crise, notamment aux alentours de 1420, montrent une véritable absence de soin dans la tenue des comptes. Si les microfilms remplaçant les registres aux Archives départementales de l'Aube sont de bonne qualité, on peut regretter que parfois, les sommes les plus proches de la rainure aient été coupées lors des prises de vue. Chaque mention finit par une somme et chaque chapitre finit par la somme totale. Une somme totale des recettes et dépenses est ensuite présentée en fin de registre. L'argent est compté en livres, sous, deniers, oboles et picles tournois.

G 1559, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 26 juillet 1366 au 25 juillet 1367 (fol. 1 r° à 20 v°), du 25 juillet 1367 au 23 juillet 1368 (fol. 21 r° à 40 v°), du 24 juillet 1379 au 22 juillet 1380 (fol. 41 r° à 58 v°), du 22 juillet 1386 au 28 juillet 1387 (fol. 59 à 80 v°), du 28 juillet 1387 au 26 juillet 1388 (fol. 81 r° à 108 v°), du 28 juillet 1409 au 27 juillet 1410 (fol. 109 r° à 143 v°) et du 27 juillet 1410 au 26 juillet 1411 (fol. 144 r° à 175 v°) registre, papier, 175 folios.

G 1560, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 26 juillet 1411 au 24 juillet 1412 (fol. 1 r° à 32 v°) et double de l'année 1379-1380 (fol. 33 r° à 54 v°), registre, papier, 54 folios.

G 1561, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 24 juillet 1412 au 23 juillet 1413 (fol. 1 r° à 49 v°), du 23 juillet 1413 au 22 juillet 1414 (fol. 50 r° à 82 v°), du 22 juillet 1414 au 28 juillet 1415 (fol. 83 r° à 115 v°), du 28 juillet 1415 au 26 juillet 1416 (fol. 116 r° à 147 v°), du 26 juillet 1416 au 25 juillet 1417 (fol. 148 r° à 174 v°), du 25 juillet 1417 au 24 juillet 1418 (fol. 175 r° à 200 v°), du 24 juillet 1418 au 23 juillet 1419 (fol. 201 r° à 233 v°), du 23 juillet 1419 au 28 juillet 1420 (fol. 234 r° à 262 v°), du 28 juillet 1420 au 27 juillet 1421 (fol. 263 r° à 284 v°), du 27 juillet 1421 au 26 juillet 1422 (fol. 285 r° à 309 v°) et du 26 juillet 1422 au 25 juillet 1423 (fol. 310 r° à 345 v°), registre, papier, 345 folios.

G 1562, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 25 juillet 1423 au 23 juillet 1424 (fol. 1 r° à 24 v°), du 22 juillet 1425 au 28 juillet 1426 (fol. 25 r° à 40 v°), du 28 juillet 1426 au 27 juillet 1427 (fol. 41 r° à 58 v°), du 27 juillet 1427 au 25 juillet 1428 (fol. 59 r° à 82 v°),

du 25 juillet 1428 au 24 juillet 1429 (fol. 83 r° à 104 v°), du 22 juillet 1431 au 27 juillet 1432 (fol. 105 r° à 124 v°), du 27 juillet 1432 au 26 juillet 1433 (fol. 125 r° à 148 v°), du 26 juillet 1433 au 25 juillet 1434 (fol. 149 r° à 171 v°), du 27 juillet 1438 au 26 juillet 1439 (fol. 172 r° à 220 v°), du 26 juillet 1439 au 24 juillet 1440 (fol. 221 r° à 243 v°), du 24 juillet 1440 au 23 juillet 1441 (fol. 244 r° à 270 v°), du 23 juillet 1441 au 22 juillet 1442 (fol. 271 r° à 288 v°) et du 22 juillet 1442 au 28 juillet 1443 (fol. 289 r° à 308 v°), registre, papier, 308 folios.

G 1563, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 28 juillet 1443 au 26 juillet 1444 (fol. 1 r° à 20 v°), du 26 juillet 1444 au 25 juillet 1445 (fol. 21 r° à 42 v°), du 25 juillet 1445 au 24 juillet 1446 (fol. 43 r° à 64 v°), du 24 juillet 1446 au 23 juillet 1447 (fol. 65 r° à 84 v°), du 23 juillet 1447 au 28 juillet 1448 (fol. 85 r° à 104 v°), du 28 juillet 1448 au 27 juillet 1449 (fol. 105 r° à 131 v°), du 27 juillet 1449 au 26 juillet 1450 (fol. 132 r° à 162 v°), du 26 juillet 1450 au 25 juillet 1451 (fol. 163 r° à 184 v°), du 25 juillet 1451 au 23 juillet 1452 (fol. 185 r° à 224 r°) et compte du Pardon du 15 avril 1452 au 23 juillet 1452 (fol. 225 v° à 268 v°), registre, papier, 268 folios.

G 1564, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique 25 juillet 1462 au 24 juillet 1463 (fol. 1 r° à 71 v°), double du précédent (fol. 72 r° à 143 v°), du 24 juillet 1463 au 23 juillet 1464 (fol. 144 r° à 234 v°) et double du précédent (fol. 235 r° à 323 v°), registre, papier, 323 folios.

G 1565, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 24 juillet 1468 au 23 juillet 1469 (fol. 1 r° à 66 v°), du 23 juillet 1469 au 22 juillet 1470 (fol. 67 r° à 147 v°), du 22 juillet 1470 au 28 juillet 1471 (fol. 148 r° à 214 v°), du 28 juillet 1471 au 26 juillet 1472 (fol. 215 r° à 279 v°) et du 26 juillet 1472 au 25 juillet 1473 (fol. 280 r° à 332 v°), registre, papier, 332 folios.

G 1566, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 26 juillet 1472 au 25 juillet 1473 (fol. 1 r° à 277 v°) et du 25 juillet 1473 au 24 juillet 1474 (fol. 278 r° à 335 v°), registre, papier, 335 folios.

G 1567, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 23 juillet 1475 au 28 juillet 1476 (fol. 1 r° à 58 v°), du 28 juillet 1476 au 27 juillet 1477 (fol. 59 r° à 118 v°), du 27 juillet 1477 au 26 juillet 1478 (fol. 119 r° à 164 v°), du 26 juillet 1478 au 25 juillet 1479 (fol. 165 r° à

211 v°), du 25 juillet 1479 au 23 juillet 1480 (fol. 212 r° à 332 v°) et du 23 juillet 1480 au 22 juillet 1481 (fol. 272 r° à 313 v°), registre, papier, 313 folios.

G 1568, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 28 juillet 1482 au 27 juillet 1483 (fol. 1 r° à 93 v°), du 27 juillet 1483 au 25 juillet 1484 (fol. 94 r° à 157 v°), du 25 juillet 1484 au 24 juillet 1485 (fol. 158 r° à 206 v°), du 24 juillet 1485 au 23 juillet 1486 (fol. 207 r° à 254 v°), du 23 juillet 1486 au 22 juillet 1487 (fol. 255 r° à 305 v°) et du 22 juillet 1487 au 27 juillet 1488 (fol. 306 r° à 363 v°), registre, papier, 363 folios.

G 1569, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 27 juillet 1488 au 26 juillet 1489 (fol. 1 r° à 67 v°), du 26 juillet 1489 au 25 juillet 1490 (fol. 68 r° à 131 v°), du 24 juillet 1491 au 22 juillet 1492 (fol. 132 r° à 172 v°), du 22 juillet 1492 au 28 juillet 1493 (fol. 173 r° à 224 v°), du 28 juillet 1493 au 7 mai 1494 (fol. 225 r° à 284 v°) et du 7 mai 1494 au 26 juillet 1495 (fol. 285 r° à 431 v°), registre, papier, 431 folios.

G 1570, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 26 juillet 1495 au 24 juillet 1496 (fol. 1 r° à 95 v°), double du précédent (fol. 96 r° à 171 v°), du 24 juillet 1496 au 23 juillet 1497 (fol. 172 r° à 299 v°), double du précédent (fol. 300 r° à 313 v°) registre, papier, 313 folios.

G 1571, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 23 juillet 1497 au 22 juillet 1498 (fol. 1 r° à 75 v°), double du précédent (fol. 76 r° à 140 v°), du 22 juillet 1498 au 28 juillet 1499 (fol. 141 r° à 233 v°), double du précédent (fol. 234 r° à 281 v°), du 28 juillet 1499 au 26 juillet 1500 (fol. 282 r° à 350 v°), double du précédent (fol. 351 r° à 409 v°), du 26 juillet 1500 au 25 juillet 1501 (fol. 410 r° à 459 v°), double du précédent (fol. 460 r° à 524 v°) registre, papier, 524 folios.

G 1572, Evêché de Troyes, manuel de la fabrique du 23 juillet 1452 au 22 juillet 1453 (fol. 1 r° à 30 v°), du 26 juillet 1472 au 25 juillet 1473 (fol. 31 r° à 63 v°), du 25 juillet 1473 au 24 juillet 1474 (fol. 64 r° à 112 v°), du 24 juillet 1474 au 23 juillet 1475 (fol. 113 r° à 147 v°), du 24 juillet 1496 au 23 juillet 1497 (fol. 213 r° à 232 v°), du 28 juillet 1499 au 26 juillet 1500 (fol. 233 r° à 284 v°), du 26 juillet 1500 au 25 juillet 1501 (fol. 285 r° à 334 v°), registre, papier, 334 folios.

G 1573, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 25 juillet 1501 au 24 juillet 1502, registre, papier, 125 folios.

G 1574, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 24 juillet 1502 au 23 juillet 1503 (fol. 1 r° à 75 v°), double du précédent (fol. 76 r° à 298 v°), du 23 juillet 1503 au 28 juillet 1504 (fol. 299 r° à 367 v°), double du précédent (fol. 368 r° à 471 v°), registre, papier, 471 folios.

G 1575, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 28 juillet 1504 au 27 juillet 1505 (fol. 1 r° à 41 v°), double incomplet du précédent (fol. 42 r° à 53 v°), registre, papier, 53 folios.

G 1576, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 28 juillet 1504 au 27 juillet 1505 (fol. 1 r° à 59 v°), manuel de la fabrique du 28 juillet 1504 au 27 juillet 1505 (fol. 60 r° à 128 v°), comptes de la fabrique du 27 juillet 1505 au 26 juillet 1506 (fol. 129 r° à 193 v°), manuel de la fabrique du 27 juillet 1505 au 26 juillet 1506 (fol. 194 r° à 254 v°), double du compte du 27 juillet 1505 au 26 juillet 1506 (fol. 255 r° à 298 v°), registre, papier, 298 folios.

G 1577, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 26 juillet 1506 au 25 juillet 1507 (fol. 1 r° à 136 v°), double du précédent (fol. 137 r° à 259 v°), manuel de la fabrique du 26 juillet 1506 au 25 juillet 1507 (fol. 260 r° à 328 v°), compte de la fabrique 25 juillet 1507 au 23 juillet 1508 (fol. 329 r° à 408 v°), double du précédent (fol. 409 r° à 484) registre, papier, 484 folios.

G 1578, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 23 juillet 1508 au 22 juillet 1509 (fol. 1 r° à 186 v°), double du précédent (fol. 187 r° à 315 v°), registre, papier, 315 folios.

G 1579, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 22 juillet 1509 au 28 juillet 1510, registre, papier, 118 folios.

G 1580, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 28 juillet 1510 au 27 juillet 1511 (fol. 1 r° à 273 v°), double incomplet du précédent (fol. 274 r° à 327 v°), double du précédent (fol. 329 r° à 442 v°), registre, papier, 442 folios.

G 1581, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 27 juillet 1511 au 25 juillet 1512 (fol. 1 r° à 115 v°), manuel de la fabrique du 27 juillet 1511 au 25 juillet 1512 (fol. 116 r° à 222 v°), double du compte de la fabrique du 27 juillet 1511 au 25 juillet 1512 (fol. 223 r° à 337 v°), registre, papier, 337 folios.

G 1582, Evêché de Troyes, manuel de la fabrique du 25 juillet 1512 au 24 juillet 1513 (fol. 1 r° à 76 v°), comptes de la fabrique du 25 juillet 1512 au 24 juillet 1513 (fol. 77 r° à 170 v°), double du précédent (fol. 171 r° à 261 v°), registre, papier, 261 folios.

G 1583, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 24 juillet 1513 au 23 juillet 1514 (fol. 1 r° à 108 v°), manuel de la fabrique du 24 juillet 1513 au 23 juillet 1514 (fol. 109 r° à 201 v°), double du compte de la fabrique du 24 juillet 1513 au 23 juillet 1514 (fol. 202 r° à 307 v°), registre, papier, 307 folios.

G 1584, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 23 juillet 1514 au 22 juillet 1515 (fol. 1 r° à 114 v°), double du précédent (fol. 115 r° à 229 v°), manuel de la fabrique du 23 juillet 1514 au 22 juillet 1515 (fol. 230 r° à 316 v°), registre, papier, 316 folios.

G 1585, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 27 juillet 1516 au 26 juillet 1517 (fol. 1 r° à 100 v°), double du précédent (fol. 101 r° à 199 v°), registre, papier, 199 folios.

G 1586, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 26 juillet 1517 au 25 juillet 1518 (fol. 1 r° à 114 v°), double du précédent (fol. 115 r° à 229 v°), manuel de la fabrique du 26 juillet 1517 au 25 juillet 1518 (fol. 250 r° à 316 v°), registre, papier, 316 folios.

G 1587, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 25 juillet 1518 au 24 juillet 1519 (fol. 1 r° à 137 v°), manuel de la fabrique du 25 juillet 1518 au 24 juillet 1519 (fol. 138 r° à 249 v°), double du compte de la fabrique du 25 juillet 1518 au 24 juillet 1519 (fol. 250 r° à 362 v°), registre, papier, 376 folios.

G 1588, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 24 juillet 1519 au 22 juillet 1520 (fol. 1 r° à 238 v°) et du 22 juillet 1520 au 28 juillet 1521 (fol. 239 r° à 355 v°), registre, papier, 355 folios.

G 4417, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 23 juillet 1452 au 22 juillet 1453 (fol. 1 r° à 15 v°), comptes du Pardon du 23 juillet 1452 au 22 juillet 1453 (fol. 16 r° à 54 v°), double du compte de la fabrique du 23 juillet 1452 au 22 juillet 1453 (fol. 55 r° à 68 v°), double du compte du Pardon du 23 juillet 1452 au 22 juillet 1453 (fol. 69 r° à 99 v°), comptes de la fabrique du 22 juillet 1453 au 28 juillet 1454 (fol. 100 r° à 115 v°), manuel de la fabrique du 1^{er} octobre 1453 au 1^{er} octobre 1454 (fol. 116 r° à 136 v°), manuel du Pardon du 27 juillet 1455 au 25 juillet 1456 (fol. 137 r° à 169 v°), manuel de la fabrique du 1^{er} octobre 1454 au 1^{er} octobre 1455 (fol. 170 r° à 195 v°), manuel du Pardon du 25 juillet 1456 au 24 juillet 1457 (fol. 196 r° à 221 v°), manuel de la fabrique du 24 juillet 1457 au 23 juillet 1458 (fol. 222 r° à 235 v°), comptes de la fabrique du 13 août 1460 au 28 avril 1461 (fol. 236 r° à 272 v°), état de la fabrique du 26 mai 1460 au 14 août 1460 (fol. 273 r° à 284 v°) et état de la fabrique du 1^{er} avril 1461 au 15 mai 1461 (fol. 285 r° à 296 v°), registre, papier, 296 folios.

Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes, 10 G 102 à 10 G 133

Bien qu'ils ne concernent aucunement la construction de l'édifice, les comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes sont plutôt bien conservés pour la fin du XIV^e et le XV^e siècle, avec une cinquantaine d'années comptables disponibles aux Archives départementales de l'Aube. Outre l'établissement d'une cloche, les dépenses, très faibles, sont représentatives de l'entretien de l'église.

A part au début du XV^e siècle où une douzaine d'années comptables commencent et se terminent à la Saint-Rémi, c'est-à-dire le 1^{er} octobre, tous les autres comptes ont pour terme la Saint-Urbain, soit le 25 mai. Pour chaque année, les dépenses de la fabrique sont séparées en « dépenses pour ouvrages » et « dépenses communes », les dépenses pour forges étant réparties entre les deux chapitres suivant leur nature. L'écriture des comptes et leur présentation sont soignées, ce qui rend leur lecture aisée. Chaque mention se termine par une somme et un total des recettes et des dépenses de l'année est disponible en fin de registre. L'argent est compté en monnaie tournois.

10 G 102, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1382 au 25 mai 1382, registre, papier, 10 folios.

10 G 103, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1383 au 25 mai 1384, registre, papier, 11 folios.

10 G 104, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1384 au 25 mai 1385, registre, papier, 10 folios.

10 G 105, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1385 au 25 mai 1386, registre, papier, 10 folios.

10 G 106, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1386 au 25 mai 1387, registre, papier, 10 folios.

10 G 107, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1388 au 25 mai 1389, registre, papier, 10 folios.

10 G 108, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1389 au 25 mai 1390, registre, papier, 22 folios.

10 G 109, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1393 au 25 mai 1394, registre, papier, 12 folios.

10 G 109bis, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 28 mars 1400 au 1^{er} octobre 1401 (fol. 1 r^o à 4 r^o), du 1^{er} octobre 1401 au 1^{er} octobre 1402 (fol. 4 v^o à 12 r^o), du 1^{er} octobre 1402 au 1^{er} octobre 1403 (fol. 12 v^o à 17 r^o), du 1^{er} octobre 1403 au 1^{er} octobre 1404 (fol. 17 v^o à 21 v^o), du 1^{er} octobre 1404 au 1^{er} octobre 1405 (fol. 22 r^o à 26 v^o), du 1^{er} octobre 1405 au 1^{er} octobre 1406 (fol. 27 r^o à 33 r^o), du 1^{er} octobre 1406 au 1^{er} octobre 1407 (fol. 33 v^o à 38 r^o), du 1^{er} octobre 1407 au 1^{er} octobre 1408 (fol. 38 v^o à 43 v^o), du 1^{er} octobre 1408 au 1^{er} octobre 1409 (fol. 44 r^o à 48 v^o), du 1^{er} octobre 1409 au 1^{er} octobre 1410 (fol. 49 r^o à 54 r^o), du 1^{er} octobre 1410 au 1^{er} octobre 1411 (fol. 54 v^o à 59 r^o), du 1^{er} octobre 1411 au 1^{er} octobre 1412 (fol. 59 v^o à 68 v^o), registre, papier, 68 folios.

10 G 110, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1422 au 25 mai 1423, registre, papier, 8 folios.

10 G 110bis, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1423 au 25 mai 1424, registre, papier, 6 folios.

10 G 111, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1424 au 25 mai 1425, registre, papier, 7 folios.

10 G 112, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1425 au 25 mai 1426, registre, papier, 8 folios.

10 G 113, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1429 au 25 mai 1430, registre, papier, 10 folios.

10 G 114, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1430 au 25 mai 1431, registre, papier, 8 folios.

10 G 115, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1424 au 25 mai 1425 (fol. 1 v° à 8 v°), du 25 mai 1425 au 25 mai 1426 (fol. 9 r° à 16 v°), du 25 mai 1426 au 25 mai 1427 (fol. 17 r° à 24 v°), du 25 mai 1427 au 25 mai 1428 (fol. 25 r° à 32 v°), du 25 mai 1428 au 25 mai 1429 (fol. 33 r° à 43 v°), double du précédent (fol. 44 r° à 46 v°), du 25 mai 1429 au 25 mai 1430 (fol. 47 r° à 52 v°) et du 25 mai 1430 au 25 mai 1431 (fol. 53 r° à 64 v°), registre, papier, 64 folios.

10 G 116, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1433 au 25 mai 1434, registre, papier, 8 folios.

10 G 117, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1434 au 25 mai 1435, registre, papier, 6 folios.

10 G 118, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1435 au 25 mai 1436, registre, papier, 6 folios.

10 G 119, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1443 au 25 mai 1444, registre, papier, 6 folios.

10 G 120, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1450 au 25 mai 1451, registre, papier, 8 folios.

10 G 121, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1451 au 25 mai 1452, registre, papier, 10 folios.

10 G 122, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1453 au 25 mai 1454, registre, papier, 8 folios.

10 G 123, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1461 au 25 mai 1462, registre, papier, 8 folios.

10 G 124, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1465 au 25 mai 1466, registre, papier, 8 folios.

10 G 125, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1466 au 25 mai 1467, registre, papier, 8 folios.

10 G 125bis, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1467 au 25 mai 1468, registre, papier, 8 folios.

10 G 126, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1468 au 25 mai 1469, registre, papier, 9 folios.

10 G 127, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1469 au 25 mai 1470, registre, papier, 8 folios.

10 G 128, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1473 au 25 mai 1474, registre, papier, 10 folios.

10 G 128bis, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1476 au 25 mai 1477, registre, papier, 13 folios.

10 G 129, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1478 au 25 mai 1479, registre, papier, 12 folios.

10 G 130, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1480 au 25 mai 1481, registre, papier, 13 folios.

10 G 131, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes, double du précédent, registre, papier, 13 folios.

10 G 132, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1481 au 25 mai 1482, registre, papier, 13 folios.

10 G 133, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1499 au 25 mai 1500, registre, papier, 10 folios.

10 G 133bis, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes du 25 mai 1546 au 25 mai 1547, registre, papier, 23 folios.

Comptes de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes, 15 G 27 à 15 G 78

Si les registres de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché sont peu nombreux pour le XV^e siècle avec un seul registre antérieur à 1500, celui de l'année 1441-1442, ils constituent en revanche une série de comptes presque continue pour le XVI^e siècle alors qu'est décidée la reconstruction du chœur de l'église. Une quarantaine d'années comptables est conservée jusqu'en 1570. Tous les registres se trouvent aux Archives départementales de l'Aube.

Despence en salaire du Sacriste etc
par les sacristes marisiers. Durant l'année pite
Le salaire de celluy qui conduit l'orloge de ladite eglise
qui est pour chascun an La somme de six livres s
pource. *vllz*

Et autres choses concernant le mestier de sacriste
Ainsi et par la forme et maniere qui ensuyt

Et premiers.

*Paye le 25^e de may 1551 a
Guille^{me} Royer sacriste 200
mon mon orloge l'orloge
de six mon fini le sacriste
de six s'or sacriste sacriste
En paye de sacriste s'or sacriste l'orloge*

*Paye au sacriste Royer de six livres
de six s'or sacriste sacriste
de six s'or sacriste sacriste*

*Paye au sacriste Royer de six livres
de six s'or sacriste sacriste*

*Paye le 25^e de may 1551 a Guille^{me} Royer
sacriste de six livres de six s'or sacriste
sacriste de six s'or sacriste sacriste
sacriste de six s'or sacriste sacriste*

Guille^{me} Royer sacriste

Figure 6 : Extrait d'un registre de compte de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes, Archives départementales de l'Aube, 15 G 62, fol. 31 r°.

Les années comptables ont pour la plupart pour début et terme le premier dimanche d'octobre et correspondent à une période de un ou deux ans. Un même registre regroupe parfois deux années comptables sans détail intermédiaire. La plupart des registres ne sont cependant pas des « comptes de la fabrique » à proprement parler, mais des « manuels de comptes », c'est-à-dire une version intermédiaire dans laquelle le receveur du chapitre prend en note les différentes dépenses. L'écriture y est très inégale, souvent fort peu soignée et parfois difficilement déchiffrable, la présentation est assez anarchique bien que les données concernant la forge soient le plus souvent réunies dans un seul et même chapitre, celui des dépenses du serrurier. Chaque mention se termine en général par une somme, mais aucune somme totale n'est calculée et certaines données sont probablement manquantes. La monnaie des comptes est le tournois.

15 G 27, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes du 3 mai 1441 au 3 mai 1442, registre, papier, 103 folios.

15 G 29, Manuel des dépenses de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes du 15 août 1506 au 2 octobre 1508, registre, papier, 90 folios.

15 G 30a, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes du 2 octobre 1508 au 2 octobre 1509 (fol. 1 r° 117 v°), du 2 octobre 1509 au 9 octobre 1510 (fol. 118 r° à 151 v°), du 9 octobre 1510 au 9 octobre 1511 (fol. 152 r° à 207 v°) et du 9 octobre 1511 au 9 octobre 1512 (fol. 208 r° à 251 v°), registre, papier, 251 folios.

15 G 32a, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes du 9 octobre 1512 au 9 octobre 1513 (fol. 1 r° 54 v°) et du 9 octobre 1513 au 9 octobre 1514 (fol. 55 r° à 115 v°), registre, papier, 115 folios.

15 G 37, Manuel de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes du 6 octobre 1522 au 6 octobre 1524, registre, papier, 168 folios.

15 G 41, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes du 7 octobre 1526 au 7 octobre 1527, registre, papier, 164 folios.

15 G 42, Comptes de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes du 7 octobre 1527 au 7 octobre 1528, registre, papier, 175 folios.

15 G 44bis, Manuel des dépenses de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes du 8 octobre 1529 au 2 octobre 1530, registre, papier, 247 folios.

15 G 46, Manuel des dépenses de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes du 5 octobre 1533 au 3 octobre 1535, registre, papier, 206 folios.

15 G 47, Manuel des dépenses de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes du 3 octobre 1535 au 7 octobre 1537, registre, papier, 135 folios.

15 G 49, Manuel des dépenses de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes du 7 octobre 1537 au 5 octobre 1539, registre, papier, 249 folios.

15 G 51, Manuel des dépenses de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes du 5 octobre 1539 au 2 octobre 1541, registre, papier, 119 folios.

15 G 55, Manuel des dépenses de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes du 4 octobre 1545 au 2 octobre 1547, registre, papier, 252 folios.

15 G 57, Manuel des dépenses de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes du 2 octobre 1547 au 6 octobre 1549, registre, papier, 120 folios.

15 G 59, Manuel des dépenses de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes du 6 octobre 1549 au 4 octobre 1551, registre, papier, 72 folios.

15 G 62, Manuel des dépenses de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes du 4 octobre 1551 au 2 octobre 1552, registre, papier, 118 folios.

15 G 64, Manuel des dépenses de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes du 2 octobre 1552 au 1^{er} octobre 1553, registre, papier, 110 folios.

15 G 68, Manuel des dépenses de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes du 7 octobre 1554 au 6 octobre 1555, registre, papier, 86 folios.

15 G 70, Manuel des dépenses de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes du 6 octobre 1555 au 4 octobre 1556, registre, papier, 83 folios.

15 G 72, Manuel des dépenses de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes du 4 octobre 1556 au 3 octobre 1557, registre, papier, 141 folios.

15 G 74, Manuel des dépenses de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes du 3 octobre 1557 au 2 octobre 1558, registre, papier, 75 folios.

15 G 76, Manuel des dépenses de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes du 2 octobre 1558 au 1^{er} octobre 1559, registre, papier, 87 folios.

15 G 78, Manuel des dépenses de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes du 6 octobre 1560 au 5 octobre 1561, registre, papier, 123 folios.

15 G 86, Manuel des dépenses de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes du 6 octobre 1566 au 5 octobre 1567, registre, papier, 120 folios.

15 G 89, Manuel des dépenses de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes du 2 octobre 1569 au 1^{er} octobre 1570, registre, papier, 101 folios.

Comptes de la fabrique de l'église Sainte-Madeleine de Troyes, 16 G 45 à 16 G 59

Les premiers comptes de la fabrique conservés pour l'église Sainte-Madeleine de Troyes datent de l'extrême fin du XV^e siècle. Une quinzaine d'années comptable est conservée pour la première moitié du XVI^e siècle.

Les comptes consultés ont tous la Saint-Rémi, soit le 1^{er} octobre, pour début et terme. Les dépenses pour forge sont classées dans les dépenses communes et extraordinaires, sauf pendant la période de construction du jubé, entre 1508 et 1517, où elles sont majoritairement

concentrées dans le chapitre correspondant, « Maçonnerie et ouvrage du jubé ». Cependant, outre les dépenses pour le jubé, les mentions sont souvent un résumé des travaux du serrurier pendant un terme de trois ou six mois qui ne précise pas le détail de ses ouvrages.

Chaque mention se termine par une somme et chaque année par une somme totale des dépenses. L'argent est compté en monnaie tournois.

16 G 45, Comptes de la fabrique de l'église Sainte-Madeleine de Troyes au 1^{er} octobre 1497 au 1^{er} octobre 1498, registre, papier, 52 folios.

16 G 46, Comptes de la fabrique de l'église Sainte-Madeleine de Troyes du 1^{er} octobre 1502 au 1^{er} octobre 1503, registre, papier, 99 folios.

16 G 47, Comptes de la fabrique de l'église Sainte-Madeleine de Troyes du 1^{er} octobre 1511 au 1^{er} octobre 1512 (fol. 1 r^o à 82 v^o), du 1^{er} octobre 1512 au 1^{er} octobre 1513 (fol 83 r^o à 157 v^o) et du 1^{er} octobre 1513 au 1^{er} octobre 1514 (fol 158 r^o à 243 v^o), registre, papier, 243 folios.

16 G 48, Comptes de la fabrique de l'église Sainte-Madeleine de Troyes du 1^{er} octobre 1514 au 1^{er} octobre 1515 (fol. 1 r^o à 75 v^o) et du 1^{er} octobre 1515 au 1^{er} octobre 1516 (fol 76 r^o à 209 v^o), registre, papier, 209 folios.

16 G 55, Comptes de la fabrique de l'église Sainte-Madeleine de Troyes du 1^{er} octobre 1513 au 1^{er} octobre 1534 (fol. 1 r^o à 33 v^o), du 1^{er} octobre 1534 au 1^{er} octobre 1535 (fol 34 r^o à 72 v^o) et du 1^{er} octobre 1535 au 1^{er} octobre 1536 (fol 73 r^o à 122 v^o), registre, papier, 122 folios.

16 G 57, Comptes de la fabrique de l'église Sainte-Madeleine de Troyes du 1^{er} octobre 1536 au 1^{er} octobre 1537 (fol. 1 r^o à 32 v^o), du 1^{er} octobre 1537 au 1^{er} octobre 1538 (fol 33 r^o à 69 v^o) et du 1^{er} octobre 1538 au 1^{er} octobre 1539 (fol 70 r^o à 102 v^o), registre, papier, 102 folios.

16 G 58, Comptes de la fabrique de l'église Sainte-Madeleine de Troyes du 1^{er} octobre 1539 au 1^{er} octobre 1540 (fol. 1 r^o à 29 v^o) et du 1^{er} octobre 1540 au 1^{er} octobre 1541 (fol 30 r^o à 57 v^o), registre, papier, 57 folios.

16 G 59, Comptes de la fabrique de l'église Sainte-Madeleine de Troyes du 1^{er} octobre 1541 au 1^{er} octobre 1542 (fol. 1 r^o à 71 v^o) et du 1^{er} octobre 1542 au 1^{er} octobre 1543 (fol 72 r^o à 120 v^o), registre, papier, 120 folios.

Archives départementales de la Seine-Maritime

Comptes de la fabrique de l'église cathédrale de Rouen, G 2481 et G 2483 à G 2530

Les premières années comptables de la fabrique de l'église cathédrale de Rouen conservées correspondent au registre G 2483, qui couvre les années 1383 à 1387¹⁰³. La conservation est ensuite assez lacunaire jusqu'au milieu du XV^e siècle. L'ensemble des comptes conservés, soit 48 années comptables pour la période 1383-1513, se trouve aux Archives départementales de la Seine-Maritime.

Les registres G 2481 à G 2491 correspondent le plus souvent à une année comptable ayant pour début et terme la date de la Nativité de saint Jean-Baptiste, soit le 24 juin¹⁰⁴. Pour chaque année, les recettes et dépenses sont séparées en deux ou quatre termes, selon des périodes régulières d'environ trois ou six mois. Lorsque l'année est séparée en deux termes, chaque terme se divise lui-même en deux parties. Les registres G 2492 et suivants correspondent également le plus souvent à une seule année comptable mais ont quant à eux la date de la Saint-Michel, soit le 29 septembre pour début et terme¹⁰⁵. Pour chaque année, les recettes et dépenses sont séparées par catégories et non par trimestres ou semestres. Dans la partie « Mises », on retrouve principalement les dépenses pour *charpenterie*, *machonnerie*, *plomberie*, *couverture* et *voirrerie*. Les dépenses pour forge ne font pas l'objet d'un chapitre particulier et sont distribuées suivant ce à quoi elles étaient destinées. Le dernier compte consulté est celui de l'année 1512-1513 avant une lacune d'une dizaine d'années. Des

¹⁰³ Le registre G 2481 est postérieur au registre G 2483. Il avait été enregistré par erreur sous le numéro 2481 qu'il a conservé depuis.

¹⁰⁴ Le seul registre particulier est G 2483, qui comprend, outre les mentions de recettes et de dépenses pour quatre années comptables, un manuel des dépenses des serruriers. Le registre G 2487 couvre quant à lui dix années comptables.

¹⁰⁵ Il s'agit de la fête en mémoire de la dédicace de l'église Saint-Michel sur le mont Gargan en 493, jour où sont honorés tous les anges, et en particulier l'archange saint Michel, GIRY (P.), *Vie des Saints. Nouvelle et superbe édition revue et améliorée*, Paris, Victor Palmé, 1880, p. 482.

sondages ont toutefois été effectués dans les comptes G 2526 à G 2530 pour le début des années 1520, mais les dépenses du serrurier n’y étaient jamais détaillées.

Les comptes de la fabrique de la cathédrale de Rouen comprennent les travaux d’entretien réalisés dans l’ensemble archiépiscopal, c’est-à-dire à la fois dans la cathédrale et les autres bâtiments du chapitre mais également sur d’autres édifices possédés par le chapitre, notamment bon nombre de maisons rouennaises. Il est donc souvent difficile de distinguer les dépenses faites pour l’œuvre même de la cathédrale, de celles faites « dans le corps de l’église » mais pas dans la cathédrale elle-même¹⁰⁶ et aussi des dépenses réalisées hors du corps de l’église. Si ce dernier chapitre est parfois mis à part dans les comptes sous le titre « Mises faites hors du corps de l’église », ce n’est toutefois pas systématique. De plus, certains éléments achetés en gros comme les clous, avec une seule mention par an, ne permettent bien souvent pas de faire la distinction entre ce qui a été utilisé dans et hors l’église. Il est toutefois évident que l’entretien de la cathédrale elle-même représente la plus grande partie des dépenses de la fabrique.

L’écriture des comptes est le plus souvent soignée et la présentation pratique. Seuls les registres G 2483 et G 2487 sont par endroits incomplets, des folios étant en partie déchirés. Chaque mention finit par une somme et chaque chapitre par la somme totale. Une somme totale des recettes et dépenses est ensuite présentée en fin de registre¹⁰⁷. L’argent est compté en livres, sous, deniers et oboles tournois.

Ces comptes de la fabrique sont tardifs par rapport à l’achèvement de la cathédrale de Rouen au milieu du XIII^e siècle. Ils ne concernent donc pas directement sa construction : seules les parties les plus tardives y sont mentionnées, à savoir les élévations du dernier étage de la tour Saint-Romain ou encore de la tour de Beurre à la fin du XV^e siècle. Outre ces quelques éléments, les comptes de la fabrique de la cathédrale de Rouen donnent donc plutôt un aperçu des dépenses nécessaires à l’entretien de la cathédrale, avec malgré tout certains embellissements ou réfections d’importance, comme à la façade occidentale ainsi qu’aux fenêtres hautes. Bien que certaines de ces mentions puissent donner des indices sur les différents emplois du fer dans la structure de la cathédrale, ces comptes ne peuvent être considérés comme étant représentatifs des quantités employées à l’époque de la construction d’un édifice, mais plutôt pour son entretien.

¹⁰⁶ Comme par exemple à la maison de l’œuvre, à l’atelier des maçons, dans la chaufferie...

¹⁰⁷ On a également une somme partielle des recettes et des dépenses à la fin des deux premiers termes dans les registres G 2481 à G 2491.

G 2481, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 24 juin 1406 au 24 juin 1407, registre, parchemin, 20 folios.

G 2483, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1383 au 29 septembre 1387, registre, papier, 163 folios.

G 2484, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 24 juin 1414 au 24 juin 1415, registre, parchemin, 23 folios.

G 2485, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 24 juin 1419 au 24 juin 1420, registre, parchemin, 16 folios.

G 2486, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 24 juin 1420 au 24 juin 1421, registre, parchemin, 16 folios.

G 2487, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 24 juin 1425 au 24 juin 1435, registre, papier, 243 folios.

G 2488, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 24 juin 1426 au 24 juin 1427, registre, parchemin, 20 folios.

G 2489, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 24 juin 1429 au 24 juin 1430, registre, parchemin, 20 folios.

G 2490, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 24 juin 1430 au 24 juin 1431, registre, parchemin, 21 folios.

G 2491, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 24 juin 1431 au 24 juin 1432, registre, parchemin, 24 folios.

G 2492, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1457 au 29 septembre 1458, registre, parchemin, 42 folios.

G 2493, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1459 au 29 septembre 1460, registre, papier, 70 folios.

G 2494, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1460 au 29 septembre 1461, registre, papier, 75 folios.

G 2495, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1460 au 29 septembre 1461, double du compte précédent, registre, papier, 65 folios.

G 2496, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1461 au 29 septembre 1462, registre, papier, 86 folios.

G 2497, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1462 au 29 septembre 1463, registre, papier, 110 folios.

G 2498, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1462 au 29 septembre 1463, double du compte précédent, registre, papier, 110 folios.

G 2499, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1463 au 29 septembre 1464, registre, papier, 98 folios.

G 2500, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1463 au 29 septembre 1464, double du compte précédent, registre, papier, 95 folios.

G 2500bis, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1464 au 29 septembre 1465, registre, papier, 98 folios.

G 2501, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1465 au 29 septembre 1466, double du compte précédent, registre, papier, 121 folios.

G 2502, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1466 au 25 juillet 1467, registre, papier, 60 folios.

G 2503, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 25 juillet 1467 au 29 septembre 1468, registre, papier, 144 folios.

G 2504, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1467 au 29 septembre 1470, registre, papier, 34 folios.

G 2505, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1468 au 29 septembre 1469, registre, papier, 142 folios.

G 2513, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1488 au 29 septembre 1489, registre, papier, 94 folios.

G 2514, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1489 au 29 septembre 1490, registre, papier, 97 folios.

G 2515, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1492 au 29 septembre 1493, registre, papier, 95 folios.

G 2516, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1497 au 29 septembre 1498, registre, papier, 80 folios.

G 2517, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1498 au 29 septembre 1499, registre, papier, 72 folios.

G 2518, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1499 au 29 septembre 1500, registre, papier, 64 folios.

G 2519, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1501 au 29 septembre 1502, registre, papier, 76 folios.

G 2520, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1504 au 29 septembre 1505, registre, papier, 54 folios.

G 2521, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1505 au 29 septembre 1506, registre, papier, 54 folios.

G 2522, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1507 au 29 septembre 1508, registre, papier, 46 folios.

G 2523, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1508 au 29 septembre 1509, registre, papier, 76 folios.

G 2524, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1511 au 29 septembre 1512, registre, papier, 79 folios.

G 2525, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1512 au 29 septembre 1513, registre, papier, 72 folios.

G 2526, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1522 au 29 septembre 1523, registre, papier, 70 folios.

G 2527, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1523 au 29 septembre 1524, registre, papier, 58 folios.

G 2528, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1524 au 29 septembre 1525, registre, papier, 52 folios.

G 2529, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1525 au 29 septembre 1526, registre, papier, 74 folios.

G 2530, Evêché de Rouen, comptes de la fabrique du 29 septembre 1527 au 29 septembre 1527, registre, papier, 77 folios.

Comptes de la fabrique de l'église Saint-Maclou de Rouen, G 6874 à G 6879

La conservation des comptes de la fabrique de l'église Saint-Maclou de Rouen est assez lacunaire pour la période de l'élévation de l'église entre le deuxième tiers du XV^e siècle et le premier quart du XVI^e siècle. Seuls les comptes référencés sous les cotes G 6874, G 6876, G 6878 et G 6879, respectivement des années comptables 1436-1437, 1443-1446, 1476-1479 et 1514-1517 correspondent aux dépenses de la fabrique, soit seulement dix années pour une période de construction de plus de 80 ans. Tous ces comptes sont conservés aux Archives départementales de la Seine-Maritime et consultables sous la forme de microfilms.

A l'exception du compte de 1436-1437, les comptes conservés correspondent à une période de trois années comptables qui ne sont pas traitées séparément. Les dépenses sont ordonnées par thème, celles pour forge se trouvant dans le chapitre *Serruriers et mareschaux et fondeure*. Chaque mention finit par une somme et le procureur indique également le total des dépenses et recettes pour les trois années en fin de registre. L'argent est compté en monnaie tournois.

Si l'écriture des comptes est assez soignée, la qualité des microfilms disponible est plutôt mauvaise, probablement à cause de la forte détérioration des documents originaux, ce qui rend la lecture parfois difficile, certaines mentions semblant presque effacées. De plus, le texte proche de la rainure a parfois été coupé dans les prises de vues des folios rendant certaines sommes incertaines. L'aide de Ph. Lardin qui avait pu consulter les registres originaux plusieurs années auparavant et qui nous a généreusement transmis une partie de ses données, publiées et non publiées, a alors été d'une grande utilité, permettant notamment de rectifier certains passages devenus illisibles. La thèse de L. E. Neagley, qui présente la transcription de nombreuses mentions, a également été consultée. En comparant les différentes sources, un problème de foliotation a été soulevé pour la plupart des années comptables. Les registres ne sont en effet pas foliotés et une différence de parfois plus de quarante folios a été remarquée entre les microfilms consultés et les données de Ph. Lardin et L. E. Neagley. Ces derniers ayant eu accès aux registres originaux, il serait assez vraisemblable que toutes les pages des registres n'ont pas été microfilmées, probablement des pages restées vierges. Dans la suite de ce travail, il a été décidé de garder la foliotation du microfilm qui est celle à laquelle tout lecteur a directement accès aux Archives départementales, comme cela a été notre cas.

G 6874, MF 2MI 125, registre, comptes de la fabrique du 1^{er} juillet 1436 au 1^{er} juillet 1437, papier, 73 folios.

G 6876, MF 2 MI 127, registre, comptes de la fabrique du 16 septembre 1443 au 16 septembre 1446, papier, 103 folios.

G 6878, MF 2MI 129, registre, comptes de la fabrique du 22 septembre 1476 au 1^{er} novembre 1479, papier, 184 folios.

G 6879, MF 2MI 130, registre, comptes de la fabrique du 1^{er} novembre 1514 au 1^{er} novembre 1517, papier, 100 folios.

Bibliothèque nationale de France, Département des manuscrits occidentaux

nouv. acq. lat. 1949, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 29 juin 1333 au 29 Juin 1334 (fol. 1 r° à 3 v°), du 29 juin 1334 au 29 Juin 1335 (fol. 4 r° à 6 v°), du 29 juin 1335 au 29 Juin 1336 (fol. 7 r° à 9 v°), du 29 juin 1336 au 29 Juin 1337 (fol. 10 r° à 13 v°), du 29 juin 1337 au 29 Juin 1338 (fol. 18 r° à 21 r°), du 29 juin 1338 au 29 Juin 1339 (fol. 14 r° à 17 v°), registre, parchemin, 21 folios.

nouv. acq. lat. 1950, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 29 juin 1339 au 29 juin 1340, registre, parchemin, 8 folios.

ms. lat. 9111, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique de 1293 à 1301 (fol. 206 r° à 222 r°), du 22 juillet 1386 au 28 juillet 1387 (fol. 1 r° à 24 v°), du 28 juillet 1387 au 26 juillet 1388 (fol. 25 r° à 47 v°), du 26 juillet 1388 au 25 juillet 1389 (fol. 48 r° à 71 v°), du 25 juillet 1389 au 24 juillet 1390 (fol. 72 r° à 99 v°), du 24 juillet 1390 au 23 juillet 1391 (fol. 100 r° à 131 v°), du 23 juillet 1391 au 28 juillet 1392 (fol. 134 r° à 157 r°), du 28 juillet 1392 au 27 juillet 1393 (fol. 160 r° à 175 v°), du 27 juillet 1393 au 26 juillet 1394 (fol. 178 r° à

192 r°), du 26 juillet 1394 au 25 juillet 1395 (fol. 193 r° à 205 r°), du 25 juillet 1395 au 23 juillet 1396 (fol. 223 r° à 234 v°), du 23 juillet 1396 au 22 juillet 1397 (fol. 235 r° à 248 v°), du 22 juillet 1397 au 28 juillet 1398 (fol. 249 r° à 266 r°) et du 28 juillet 1398 au 27 juillet 1399 (fol. 267 r° à 281 r°), registre, parchemin, 345 folios.

ms. lat. 9112, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 19 avril 1372 au 24 juillet 1373 (fol. 21 r° à 48 v°), du 22 juillet 1380 au 28 juillet 1381 (fol. 2 r° à 18 r°), du 28 juillet 1381 au 27 juillet 1382 (fol. 50 r° à 68 r°), du 27 juillet 1382 au 26 juillet 1383 (fol. 70 r° à 86 v°), du 26 juillet 1383 au 24 juillet 1384 (fol. 91 r° à 110 v°) et du 24 juillet 1384 au 23 juillet 1385 (fol. 112 r° à 134 r°), double (fol. 165 r° à 186 v°), registre, parchemin, 187 folios.

ms. lat. 9113, Evêché de Troyes, comptes de la fabrique du 24 juillet 1373 au 23 juillet 1374 (fol. 1 r° à 15 v°), du 26 juillet 1377 au 25 juillet 1378 (fol. 18 r° à 29 v°) et du 25 juillet 1378 au 24 juillet 1379 (fol. 30 r° à 44 r°), registre, parchemin, 44 folios.

Bibliothèque nationale de France, Département des estampes

Le département des estampes de la Bibliothèque nationale de France possède un grand nombre de représentations anciennes, dessins, gravures et photographies, des villes du royaume de France et de leurs églises. L'ensemble des dossiers concernant les villes étudiées a été dépouillé afin de servir d'illustration ou d'apport iconographique.

Ville de Troyes : cotes **H 111 484** à **H 111 723** dont en particulier :

H 111 488 : Carte de la ville de Troyes en 1679.

H 111 490 : Vue de la ville de Troyes en 1621.

H 111 531 : Vue imaginée de la façade de la cathédrale de Troyes au XIX^e siècle, gravure de Ch. Fichot.

H 111 534 : Vue du Beau Portail de la cathédrale de Troyes au XIX^e siècle, gravure de Ch. Fichot.

H 111 540 : Vue du chevet de la cathédrale de Troyes au XIX^e siècle, gravure de Ch. Fichot.

H 111 559 : Dessin du jubé de l'église Sainte-Madeleine en 1560.

H 111 565 : Vue du revers du jubé de l'église Sainte-Madeleine au XIX^e siècle, gravure de Ch. Fichot.

Ville de Rouen : cotes **H 151 924** à **H 153 109** dont en particulier :

H 151 960 : Carte de la ville de Rouen en 1703.

Rés. Ve-1510-Fol, G 68937 : Principaux monuments de Rouen par Bisson au XIX^e siècle.

V. SOURCES IMPRIMEES NON EDITEES

Archives de la Médiathèque du Patrimoine, site de Croisilles, Paris

Les archives de la Médiathèque du patrimoine regroupent l'ensemble des documents relatifs aux restaurations et à l'entretien des édifices depuis le milieu du XIX^e siècle. Le fonds est extrêmement varié alliant plans, photographies, rapports comptables, études préalables à la restauration, comptes-rendus des ouvrages exécutés, correspondance...

Cathédrale de Rouen

- **0081/076/0085 à 117** : Archives des travaux de restauration de 1908 à 1984.
- **ETU/0585** : Achèvement de la restauration de la façade nord, J.-M. Jantzen, mars 1994.
- **ETU/0462** : Tour sud de la façade occidentale (tour de Beurre). Etude préliminaire à une restauration générale, J.-M. Jantzen, décembre 1992.
- **01/23/027** : Restaurations de la façade occidentale, fin du XX^e siècle.
- **1991/004/0027 doc. n° 821** : Dossier du comité scientifique pour la restauration et la conservation de la cathédrale Notre-Dame de Rouen, séance du 25 mai 1993.
- **1991/004/0027 doc. n° 826** : Etude historique et archéologique des restaurations de la façade occidentale, portails nord et central, 1993.
- **2000/061/0005 doc. n° 75** : Réalisation d'un programme de vitraux, restauration de la tour Saint-Romain, reprise des dépôts entrepris en 1946 au château de Châteaudun, procès-verbaux de réunions du comité scientifique pour la conservation, 1990-1997.
- Dossier de classement de la cathédrale Notre-Dame de Rouen, XIX^e et XX^e siècles.

Eglise Saint-Ouen de Rouen

- **0081/076/0134 à 141** : Archives des travaux de restauration de 1837 à 1992.

- **1999/001/0144 carton n°28** : Etude pour la restauration des chéneaux de l'église Saint-Ouen, 1999.
- **4° ETU 1715** : Etude pour la restauration de la façade nord, D. Moufle, fin du XX^e siècle.
- Etude préalable à la restauration de la tour couronnée, D. Moufle, 2000.

Eglise Saint-Maclou de Rouen

- **0081/076/0127 à 133** : Archives des travaux de restauration de 1846 à 1985.
- **0080/036/0021** : Remise en état de la nef et de la chapelle dite du curé, des arcs-boutants et des fenêtres hautes de la nef, restauration du chœur, devis, rapports de MM. Chauvel et Froidevaux, correspondance 1974-1981.

Cathédrale de Troyes

- **0081/010/0078 à 81** : Archives des travaux de restauration de 1839 à 1993.
- **1997/010/0050** : Correspondance administrative 1970-1979.
- **1997/010/0037** : Devis, rapport de restauration de la partie supérieure face sud de la tour Saint-Paul, restauration du grand orgue 1964-1970.
- **1998/003/0060** : Restauration de la façade nord de la tour Saint-Pierre (16 à 42 mètres), 1998.
- **1998/003/0061** : Restauration de la façade nord de la tour Saint-Pierre, J.-M. Musso, 1998.
- **PAT/0154** : Restauration de la façade nord de la tour Saint-Pierre, J.-M. Musso, fin du XX^e siècle.
- **DOE/0127** : Restauration des vitraux du chœur, XX^e siècle.
- **DOE/0083** : Façade nord de la tour Saint-Pierre (0/16 m), fin du XX^e siècle.
- **DOE/0074** : Façade nord de la tour Saint-Pierre (16/42 m), fin du XX^e siècle.
- **1997/023/0021** : Façade nord de la tour Saint-Pierre (42/70 m), 1997.

Eglise Saint-Urbain de Troyes

- **0081/010/0106 et 107** : Archives des travaux de restauration de 1839 à 1982.
- **1996/025/0081** : Bibliographie, XIX^e et XX^e siècles.
- **1998/003/0062 et 63** : Rapports de restauration du chœur, 1998.
- **PAT/0177** : Restauration des fenestrages, des contreforts du chœur, des vitraux et de la couverture, J.-M. Musso, 1991.
- **ETU/0181** : Analyse de la stabilité des superstructures de l'abside. Etude Préalable, fin du XX^e siècle.
- **DOE/0036** : Dossier des ouvrages exécutés, fin du XX^e siècle.
- **DOE/0002** : Dossier des ouvrages exécutés. Reprise des fondations du chœur, fin du XX^e siècle.

Clichés n° : **cl. 4125, MH 313274, 4594 et 4595, 3976, AP03CTV144 et 145, MH 313275 à MH 313278**, XIX^e siècle.

Eglise Saint-Jean-au-Marché de Troyes

- **0081/010/0082 à 85** : Archives des travaux de restaurations de 1854 à 1994.
- **1994/027/0001** : Photos de Troyes par G. Lancelot au XIX^e siècle.
- **1997/010/0037** : Devis. Couverture nord du chœur et arcs-boutants, 1974-1978.
- **1996/025/0081** : Bibliographie. Casier archéologique, XIX^e et XX^e siècles.
- **ETU/0499** : Etude préalable à la restauration, J.-M. Musso, 1992.

Eglise Sainte-Madeleine de Troyes

- **0081/010/0086 à 89** : Archives des travaux de restauration de 1909 à 1978.
- **1997/010/0039** : Devis pour la restauration des couvertures du chœur et des chapelles rayonnantes, réfection des corniches et arcs-boutants au-dessus des chapelles du chœur et correspondance, 1956-1969.
- **1996/025/0081** : Bibliographie. Casier archéologique, XIX^e et XX^e siècles.

Archives d'Eric Pallot, A.C.M.H.

E. Pallot, Architecte en Chef des Monuments Historiques pour le département de l'Aube nous a autorisé à consulter son fonds d'archives personnel, qui concerne les restaurations les plus récentes des édifices troyens effectuées par lui-même, mais aussi par son prédécesseur, J.-M. Musso ainsi que les études pour les projets de restauration à venir.

Cathédrale de Troyes

- Rapport de synthèse sur la restauration de la tour Saint-Pierre 3^e phase (42 m à 70 m). J.-M. Musso, novembre 1996.
- Restauration de la façade nord de la tour Saint-Pierre. Bordereau de prix unitaires. J.-M. Musso, fin du XX^e siècle.
- Rapport n° 584, Troyes 10-Aube. Cathédrale. Conservation de la pierre avant nettoyage. J.-M. Musso, 20 avril 1984.
- Cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul. Troyes, Aube. Purge septembre 1995. Document Chatignoux.
- Etude préalable à la restauration de la façade occidentale. E. Pallot, juin 2003

Eglise Saint-Urbain

- La collégiale Saint-Urbain : les travaux de restauration de Selmersheim au XIX^e siècle.
- Dossier : documents/presse, XIX^e et XX^e siècles.

Eglise Saint-Jean

- Dossier documents historiques et archéologiques, XIX^e et XX^e siècles.
- Dossier A.C.M.H, XIX^e et XX^e siècles.
- Dossier Restauration de la partie orientale phase 2, fin du XX^e siècle.

VI. SOURCES EDITEES

ARBOIS DE JUBAINVILLE (H.), *Documents relatifs à la construction de la cathédrale de Troyes*, Troyes, Dufey-Robert Libraire, 1862, 64 p.

ASSIER (A.), *Comptes de l'œuvre de l'église de Troyes avec notes et éclaircissements*, Troyes, Bouquot, 1855, 72 p.

ASSIER (A.), *Comptes de la fabrique de l'église Saint-Jean de Troyes suivis de pièces curieuses et inédites et d'une notice sur les mémoires historiques des Antiquités de la ville de Troyes par Louis Duhalle*, Troyes, Bouquot, 1855, 75 p.

CROSSLEY (D.), *Sidney ironworks accounts, 1541-1573*, Londres, 1975, 269 p.

DESIRE dit GOSSET (G.), *La mense épiscopale de Coutances en 1440*, 1998, Saint-Lô, Société d'archéologie et d'histoire de la Manche, 89 p.

GADAN (J.F.) « Comptes de l'église de Troyes 1375-1385 », *Le bibliophile Troyen*, II, Troyes, 1851, 60 p.

LALORE (Ch.), *Cartulaire de Saint-Pierre de Troyes. Chartes de la collégiale de Saint-Urbain de Troyes*, Collection des principaux cartulaires du diocèse de Troyes, tome 5, Paris-Troyes, 1880, 446 p.

QUICHERAT (J.), « Notice sur plusieurs registres de l'œuvre de la cathédrale de Troyes », *Mémoire de la Société des Antiquaires de France*, XIX, Paris, 1849, p. 41-83.

QUICHERAT (J.), « Documents inédits sur la construction de Saint-Ouen de Rouen. Mélange d'archéologie et d'histoire », *Bibl. Ecole des Chartes*, tome III, Paris, Picard, p. 464-476.

VII. BIBLIOGRAPHIE

ADAM (J.-P.), *La construction romaine : matériaux et techniques*, Paris, Picard, 1984, 367 p.

Aix-en-Othe. La mémoire d'une commune de l'Aube, Troyes, ARPA, 1988, 351 p.

ALANIELE (J.), GILET (F.), « Le concile de Troyes, 1128 ou la naissance de l'ordre du Temple », dans *Mémoire de Champagne, Tome I, Actes du 2^e mois médiéval*, Langres-Saint-Geosmes, Dominique Gueniot, 2000, p. 11-45.

ALVES (G.), ANDRE (L.), BERTRAND (P.), CHEVILLOT (C.), ISNARD (I.), PERCHET (D.), PHILIPPE (M.), ROBERT-DEHAULT (E.), VERNA (C.), *La métallurgie de la Haute-Marne du Moyen Age au XX^e siècle*, Tours, l'Inventaire, 1997, 305 p.

AMOUDRUZ (F.), CHAPELOT (J.), CLEMENT (S.), *Les éléments métalliques (fer et plomb) dans l'architecture du donjon du château de Vincennes. Étude préliminaire*, Vincennes, ERCVBE, 1997, 103 p.

ARLAUD (C.), BURNOUF (J.), « L'archéologie du bâti médiéval urbain », *Les nouvelles de l'archéologie*, n° 53-54, automne-hiver 1993, p. 5-69.

ARNAUD (A.-F.), *Voyage archéologique et pittoresque dans le département de l'Aube et dans l'ancien diocèse de Troyes*, Troyes, 1837, 243 p.

ARNOUX (M.), « Moulins à fer et procédé indirect. Innovation technique et conditions géographiques dans la sidérurgie européenne », dans GALETTI (P.) et RACINE (P.), *I mulini nell'Europa medievale, Atti del convegno di San Quirino d'Orcia, 21-23 settembre 2000*, Bologne, CLUEB, 2003, p. 317-328.

ARNOUX (M.), *Mineurs, férons et maîtres de forge : études sur la production du fer dans la Normandie du Moyen Age, XI^e-XV^e siècles*, Paris, CTHS, 1993, 646 p.

ARNOUX (M.), « Le cas normand : établissements et sidérurgie dans le pays d'Ouche (XI^e-XV^e siècle) », dans BENOIT (P.), CAILLEAUX (D.), éd., *Moines et métallurgie dans la France médiévale*, Paris, A.E.D.E.H., 1991, p. 13-44.

ARRIBET-DEROIN (D.), *Fondre le fer en gueuses au XVI^e siècle : le haut fourneau de Glinet en pays de Bray*, Thèse de doctorat d'archéologie de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne sous la direction de P. BENOIT, 2001, 799 p.

ARRIBET-DEROIN (D.) *et al.*, *Rapport de la fouille programmée du site de Glinet à Compainville*, 2004, 110 p.

ARRIBET-DEROIN (D.) *et al.*, *Fouille programmée du site de Glinet à Compainville (Seine-Maritime), Rapport intermédiaire*, 2005, 118 p.

ARVIEU (C.), GUILLOT (I.), *Atlas de Métallographie*, Compiègne, UTC, 1997, 132 p.

ASTILL (G.), *A medieval industrial complex and its landscape : the metalworking watermills and workshops of Bordersley abbey*, York, CBA research report 92, 1993, p. 259-291.

AUMARD (S.), « L'emploi du plomb dans la cathédrale Saint-Etienne d'Auxerre », dans *L'emploi du fer et du plomb dans l'architecture gothique, Actes du colloque de Noyon, 16-17 novembre 2006*, sous presse.

BALCON (S.), *La cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes*, Paris, Editions du Patrimoine, 2001, 64 p.

BARRALIS (J.), MAEDER (G.), *Précis de métallurgie. Elaboration, structure, propriétés et normalisation*, Paris, Nathan-AFNOR, 1994, 231 p.

BARTEL (R.), SCHIEMANN (L.), JAGFELD (M.), « Static analysis and evaluation of a gothic « choir-window » consisting of a filigree tracery and slender stone ribs », dans *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, Madrid, 2003, p. 333-340.

BARTHELEMY (comte E. de), *La ville de Sézanne et l'abbaye du Reclus. Notes historiques*, Troyes, Dufour-Bouquot, 1879, 23 p.

BAUTIER (R.-H.), « Notes sur le commerce du fer en Europe occidentale du XIII^e au XVI^e siècle », *Revue d'histoire de la sidérurgie*, t. 1, n^o 4, Nancy, 1960, p. 7-35.

BAUTIER (R.-H.), « Notes sur le commerce du fer en Europe occidentale du XIII^e au XVI^e siècle », *Revue d'histoire de la sidérurgie*, t. 1, n^o 4, Nancy, 1960, p. 35-61.

BAYLE (M.), *L'architecture Normande au Moyen Age. Regards sur l'art de bâtir*, Caen, Presses Universitaires de Caen, 1997, 385 p.

BAYLE (M.), *L'architecture normande au Moyen Age. Les étapes de la création*, Caen, Presses universitaires de Caen, 1997, 414 p.

BECHMANN (R.), *Les racines des cathédrales*, Paris, Payot, 1984, 330 p.

BECHMANN (R.), « Du roman au gothique : une course fervente vers le gigantisme », *Historia*, Hors Série n^o 9801, janv. 1998, p. 26-34.

BECK (P.), BRAUNSTEIN (Ph.), PHILIPPE (M.), « Le bois, le fer et l'eau en forêt d'Othe à la fin du Moyen Age : bilan et perspectives », *Cahiers du Centre de Recherches historiques de l'EHESS*, n^o 13, octobre 1994, p. 1-13.

BELHOSTE (J.-F.), « Fabrication et mise en œuvre du fer dans la construction, grandes étapes d'évolution (XIII^e-XIX^e siècles) », *Monumental*, 1996, p. 9-17.

BELHOSTE (J.-F.), « Mutations techniques et filières marchandes dans la sidérurgie alpine entre le XIII^e et le XVI^e siècle », dans BRAUNSTEIN (Ph.), dir., *La sidérurgie alpine en Italie (XII^e-XVII^e siècles)*, Rome, Ecole Française de Rome, 2001, p. 515-592.

BELHOSTE (J.-F.), CLAERR-ROUSSEL (C.), LAUSS (F.), PHILLIPE (M.), VIONDELPHIN (F.), *La métallurgie comtoise, XV^e-XIX^e siècles*, Besançon, l'Inventaire, 1994, 412 p.

BELHOSTE (J.-F.), LECHERBONNIER (Y.), ARNOUX (M.), ARRIBET (D.), AWTY (B.G.), RIOULT (M.), *La métallurgie normande, XII^e-XVIII^e siècles. La révolution du haut fourneau*, Caen, l'Inventaire, 1991, 322 p.

BELHOSTE (J.-F.), LEON (P.), « Naissance d'une sidérurgie moderne aux confins du Berry (fin XIV^e-XV^e s.) », dans *Mélanges Jean-Yves Ribault, Cahiers d'archéologie et d'histoire du Berry*, 1996, p. 45-52.

BENOIT (P.), *Les mutations techniques et scientifiques de la fin du Moyen Age et de la Renaissance*, Lille, Micro-éditions universitaires, 1994, 402 p.

BENOIT (P.), « L'industrie cistercienne (XII^e - première moitié du XIV^e siècle) », dans HETZLEN (Ch.), VOS (R. de), *Monachisme et technologie dans la société médiévale du X^e au XIII^e siècle, Actes du colloque scientifique international, Cluny, 4-6 septembre 1991*, Cluny, E.N.S.A.M., 1994, p. 51-108.

BENOIT (P.), « Au four et au moulin : innovation et conjoncture », dans BECK (P.), dir., *L'innovation technique au Moyen Age, Actes du VI^e Congrès international d'Archéologie médiévale*, Paris, 1998, p. 293-301.

BENOIT (P.), « Le métal en France au XV^e siècle », dans PRIGENT (C.), dir., *Art et société en France au XV^e siècle*, Paris, Maisonneuve et Larose, 1999, p. 503-513.

BENOIT (P.), « Métal et construction en France au Moyen Age », dans CHAPELOT (O.), BENOIT (P.), éd., *Pierre et métal dans le bâtiment au Moyen Age*, Paris, EHESS, 1985, réimpression, Paris, 2001, p. 359-367.

BENOIT (P.), « La marque du fer », *Les cahiers de Science et Vie*, n° 69, *Sciences et techniques des bâtisseurs de cathédrales*, juin 2002, p. 50-53.

BENOIT (P.), « L'eau et le fer : la mécanisation de la sidérurgie », *Dossier pour la Science, Les sciences au Moyen Age*, oct-jan 2003, p. 98-102.

BENOIT (P.), BERTHIER (K.), « L'innovation dans l'exploitation de l'énergie hydraulique d'après le cas des monastères cisterciens de Bourgogne, Champagne et Franche-Comté », dans BECK (P.), dir., *L'innovation technique au Moyen Age, Actes du VI^e Congrès international d'Archéologie médiévale*, Paris, 1998, p. 58-66.

BENOIT (P.), BRAUNSTEIN (Ph.), éd., *Mines, carrières et métallurgie dans la France médiévale*, Paris, CNRS, 1983, 415 p.

BENOIT (P.), CAILLEAUX (D.), éd., *Moines et métallurgie dans la France médiévale*, Paris, A.E.D.E.H., 1991, 365 p.

BENOIT (P.), DILLMANN (Ph.), FLUZIN (Ph.), « Iron, cast iron and bronze. New approach of the artillery history », dans MAGNUSSON (G.), *The importance of Ironmaking. Technical innovation and social change*, Stockholm, Jernkontorets Bergshistorica Utskott, 1996, p. 241-257.

BENOIT (P.), GUILLOT (I.), PLOQUIN (A.), « Les forges minières au Moyen Age et à la Renaissance : approches archéologique et paléométallurgique », dans *Campagnes médiévales : l'homme et son espace, Etudes offertes à Robert Fossier*, Paris, Presses de la Sorbonne, 1995, p. 639-652.

BENOIT (P.), SPORTES (N.), « Exploitation du fer et droits d'usage : l'exemple de l'abbaye de Pontigny », dans BENOIT (P.), CAILLEAUX (D.), éd., *Moines et métallurgie dans la France médiévale*, Paris, A.E.D.E.H., 1991, p. 179-191.

BENOIT (S.), « La sidérurgie du Châtillonnais après l'avènement du procédé indirect c. 1480-c. 1570 », dans BENOIT (P.), BRAUNSTEIN (D.), éd., *Mines, carrières et métallurgie dans la France Médiévale*, Paris, CNRS, 1983, p. 77-116.

BENOIT (S.), « La consommation de combustible végétal et l'évolution des systèmes techniques », dans WORONOFF (D.), dir., *Forges et forêts. Recherches sur la consommation proto-industrielle de bois*, Paris, 1990, p. 87-150.

BERANGER (G.), HENRY (G.), SANZ (G.), *Le livre de l'acier*, Paris, Londres, New York, 1994, 1491 p.

BERNARD (C.), « La serrurerie parisienne à la fin du Moyen Age », dans BENOIT (P.), BRAUNSTEIN (Ph.), dir., *Hommes et travail du métal dans les villes médiévales*, Paris, AEDEH, 1988, p. 9-27.

BERNARDI (Ph.), DILLMANN (Ph.), « La place du métal dans la construction », dans VINGTAIN (D.), éd., *Monument de l'Histoire - Construire, reconstruire le Palais des Papes, XIV^e-XIX^e siècles*, Avignon, Editions RMG - Palais des Papes : Avignon, 2002, p. 63-67.

BERNARDI (Ph.), DILLMANN (Ph.), « Stone skeleton or iron skeleton: The provision and use of metal in the construction of the Papal Palace at Avignon in the 14th century », dans BORK (R.), dir., *De Re Metallica. The uses of metal in the Middle Ages*, Ashgate, 2005, p. 297-315.

BERTIN (F.), BENOIT (P.), GUILLOT (I.), « Etude métallographique de fers à chevaux médiévaux », dans PLEINER (R.), éd., *Archaeometallurgy of iron. Symposium Liblice 1967-1987*, 1987, p. 445-458.

BERTIN (G.), BOUQUEREL (F.), DURAY (J.-P.), LE BOSSE (M.), *Guide de la cathédrale de la ville et du pays de Sées*, Condé-sur-Noireau, éd. Charles Corlet, 1995, 107 p.

BESSAC (J.-C.), BURNOUF (J.), JOURNOT (F.), PRIGENT (D.), SAPIN (C.) et SEIGNE (J.), dir., *La construction de pierre*, Paris, Errance, 174 p.

BIBOLET (F.), ROUQUET (Ch.), BOISSEAU (A.), SAINT-MARS (E.), *Histoire de Troyes*, Troyes, Editions de la Maison du Boulanger, 1997, 319 p.

BLÖRKENSTAM (N.), FORNANDER (S.), « Metallurgy and technology at Lapphyttan », dans *Medieval Iron in Society, Papers presented at the symposium in Norberg*, Stockholm, 1985, p. 184-225.

BLAIR (J.), RAMSAY (N.), éd., *English medieval industries*, Londres, 1991, 446 p.

BLONDEL (N.), *Le Vitrail : Vocabulaire typologique et technique*, Paris, Edition du Patrimoine, 2000, 436 p.

BOILEAU (E.), *Le livre des métiers, publié par René de Lespinasse et François Bonnardot*, Genève, 1980, 420 p.

BORJON (M.), dir., *Cathédrale Notre-Dame de Rouen (Seine-Maritime). Façade occidentale. Étude documentaire*, GRAHAL, 1993, 245 p.

BONGARTZ (N.), *Die Fruhen Bauteile der Kathedrale in Troyes, Architekturgeschichtliche Monographie*, Stuttgart, Hochscholsammlung Philosophie, Kulturgeschichte, 1979, 492 p.

BOTTINEAU-FUCHS (Y.), « La statuaire monumentale de la cathédrale de Rouen (XIV^e-XV^e siècles) », dans LEMAGNEN (S.), MANNEVILLE (P.), éd., *Chapitres et cathédrales en Normandie, Actes du XXXI^e Congrès des Sociétés historiques et archéologiques de Normandie, Caen, Musée de Normandie*, 1997, p. 375-406.

BOTTINEAU-FUCHS (Y.), *Haute-Normandie gothique : architecture religieuse*, Paris, Picard, 2001, 402 p.

BOUTIOT (M.), *Notice historique sur Vendevre et ses environs*, Troyes, Bouquot, 1858, 163 p.

BOUTIOT (T.), *Notes sur les anciennes exploitations métallurgiques des contrées composant le département de l'Aube*, Paris, Imprimerie impériale, 16 p.

BOUTIOT (T.), *Dictionnaire topographique du département de l'Aube comprenant les noms de lieu anciens et modernes*, Paris, Imprimerie Nationale, 1874, 230 p.

BRANNER (R.), « Les débuts de la cathédrale de Troyes », *Bulletin monumental*, CXVIII, Paris, 1960, p. 111-122.

BRAUNSTEIN (Ph.), « Les forges champenoises de la comtesse de Flandres (1372-1404) », *Annales ESC*, juillet-août 1987, p. 747-777.

BRAUNSTEIN (Ph.), « Le dôme de Milan sort de terre », dans CHAPELOT (O.), BENOIT (P.), éd., *Pierre et métal dans le bâtiment au Moyen Age*, Paris, EHESS, 1985, réimpression, Paris, 2001, p. 81-102.

BRAUNSTEIN (Ph.), CHAPELOT (O.), « Mines et métallurgie en Bourgogne à la fin du Moyen Age : première esquisse », dans BENOIT (P.), BRAUNSTEIN (Ph.), éd., *Mines, carrières et métallurgie dans la France médiévale*, Paris, CNRS, 1983, p. 31-66.

BRUNET (E.), « La restauration de la cathédrale de Soissons », *Bulletin Monumental*, LXXXVII, Paris, A. Picard, 1928, p. 65-100.

BUCHWALD (V. F.), WIVEL (H.), « Slag analysis as a method for the characterization and provenancing of ancient iron objects », *Materials Characterization*, 40, New York, 1998, p. 73-96.

BUCHWALD (V. F.), *Iron and steel in ancient times*, Copenhague, 2005, 372 p.

CAILLEAUX (D.), « Les serruriers de Sens à la fin du Moyen Age », dans BENOIT (P.) et BRAUNSTEIN (Ph.), dir., *Hommes et travail du métal dans les villes médiévales*, Paris, AEDEH, 1988, p. 83-108.

CAILLEAUX (D.), « Les religieux et le travail du fer en Pays d'Othe », dans BENOIT (P.), CAILLEAUX (D.), éd., *Moines et métallurgie dans la France médiévale*, Paris, A.E.D.E.H., 1991, p. 193-212.

CAILLEAUX (D.), *L'œuvre de la croisée de la cathédrale de Sens*, Thèse de doctorat d'histoire de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne sous la direction de L. PRESSOUYRE, 1994, 1101 p.

CAILLEAUX (D.), *La cathédrale en chantier. La construction du transept de Saint-Etienne de Sens d'après les comptes de la fabrique 1490-1517*, Paris, CTHS, 1999, 667 p.

CAILLEAUX (D.), « Les comptes de construction des Célestins de Sens, 1477-1482 : édition et commentaire », dans CHAPELOT (O.), BENOIT (P.), éd., *Pierre et métal dans le bâtiment au Moyen Age*, Paris, EHESS, 1985, 370 p., réimpression, Paris, 2001, p. 117-156.

CALI (F.), MOULINIER (S.), *L'ordre ogival, essai sur l'architecture gothique*, Paris, Arthaud, 1963, 264 p.

CANTELAUBE (J.), *La forge à la catalane dans les Pyrénées ariégeoises, une industrie à la montagne (XVII^e-XIX^e)*, Toulouse, 2005, 814 p.

CARMENT LANFRY (A.-M.), *La cathédrale Notre-Dame de Rouen*, Rouen, Société des Amis des Monuments rouennais, 1977, 257 p.

CHABAT (P.), *Dictionnaire des termes employés dans la construction*, Paris 1875, 1482 p.

CHALINE (J.-P.), DELSALLE (L.-R.), *La cathédrale de Rouen : seize siècles d'histoire*, Rouen, Société d'Histoire de Normandie, 1996, 279 p.

CHAPELOT (J.) « Le donjon et son enceinte. Une résidence royale », *Les Dossiers d'Archéologie*, n° 289, déc. 2003-janv. 2004, p. 60-73.

CHAPELOT (O.), « Les ouvriers du métal en Bourgogne à la fin du Moyen Age : l'exemple du Châtillonnais », dans CHAPELOT (O.), BENOIT (P.), éd., *Pierre et métal dans le bâtiment au Moyen Age*, Paris, EHESS, 1985, 370 p., réimpression, Paris, 2001, p. 305-318.

CHAPELOT (O.), BENOIT (P.), éd., *Pierre et métal dans le bâtiment au Moyen Age*, Paris, EHESS, 1985, 370 p., réimpression, Paris, 2001.

Chapitres et Cathédrales de Normandie, Caen, Musée de Normandie, 1997, 670 p.

CHAUSSIN (C.), HILLY (G.), *Cours de métallurgie*, Paris, Dunod, 1967, 352 p.

CHAUVEL (A.), « Les destructions le sauvetage », *Les monuments historiques de la France* n°2, *la Cathédrale de Rouen*, Paris, 1956, p. 55-92.

CHITTY (W.-J.) *et al.*, « Contribution of archaeological analogues to the comprehension of long term corrosion of concrete reinforcement », *Journal de Physique IV*, 2006. 136, p. 295-304.

CHOISY (A.), *Histoire de l'architecture*, 2 vol., tome 2, Paris, Gauthier-Villars, 1899, 800 p.

CLEMENT-CHARPENTIER (S.), « Le rôle des éléments métalliques dans la conception du donjon de Vincennes », dans CHAPELOT (O.), dir., *Du projet au chantier. Maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre aux XIV^e-XVI^e siècles*, Paris, EHESS, 2001, p. 405-431.

COLLIOU (C.), « Prémices à une approche de la métallurgie par procédé direct en pays de Bray », dans WATTE (J.-P.), dir., *Haute Normandie Archéologique*, Bulletin n° 9, Rouen, CRAHN, 2004, p. 67-68.

COLLIOU (C.), *Rapport de fouille, Le Chemin du Flot, parcelle 136, commune de La Ferté St Samson*, DFS, Service Régional de l'Archéologie de Haute Normandie, Rouen, 2005, 22 p.

COLMET DAAGE (P.), *La cathédrale de Coutances*, Paris, H. Laurens, 1933, 112 p.

« Comment construisait-on au Moyen Age », *Les dossiers d'archéologie*, n° 251, mars 2000, 87 p.

Corpus Vitrearum. Les vitraux de Champagne-Ardenne, Paris, CNRS, 1992, 456 p.

Corpus Vitrearum. Les vitraux de Haute-Normandie, Paris, CNRS, 2001, 494 p.

COSTE (A.), *L'architecture gothique : lectures et interprétations d'un modèle*, Saint-Etienne, 1997, 231 p.

COWAN (H. J.), *The masters builders*, New York, 1977, 314 p.

CRETE-POTIN (I.), *Eglise et vie chrétienne dans le diocèse de Troyes du IV^e au IX^e siècle*, Villeneuve-d'Ascq, Presses universitaires du Septentrion, 2002, 446 p.

CREW (P.), CHARLTON (M.), « The anatomy of a furnace... and some of its ramifications », *Metallurgy - a touchstone for cross-cultural interaction, British Museum, 28th 30th April 2005*, sous presse.

CREW (P.), CREW (S.), « The experimental production of bar iron », dans MANGIN (M.), éd., *La sidérurgie ancienne de l'est de la France dans son contexte européen, archéologie et archéométrie, Actes du colloque de Besançon, 10-13 novembre 1993*, Paris, Les Belles Lettres, 1994, p. 175-176.

CUCINI TIZZONI (C.), TIZZONI (M.), éd., *La miniera perduta. Cinque anni di ricerche archeometallurgiche nel territorio di Bienno*, Bienno, 1999, 247 p.

DAVIES (M.), « The application of the Harris Matrix to the recording of standing structures », dans HARRIS (E.) *et al*, éd., *Practices of archaeological stratigraphy*, Londres-San Diego, 1993, p. 167-180.

DE COURCEL (V.), « La cathédrale de Troyes », dans *Guide archéologique du congrès de Troyes*, 1955, p. 9-25.

DECROCK (B.), « Le fer dans la cathédrale Notre-Dame de Reims : état de la question », dans *L'emploi du fer et du plomb dans l'architecture gothique, Actes du colloque de Noyon, 16-17 novembre 2006*, sous presse.

DELAINÉ (M.-N.), « Les anciens traités de serrurerie », *Revue d'Histoire de la Sidérurgie*, 1970, p. 111-119.

DELORME (Ph.), *Architecture de Philibert de l'Orme*, Rouen, D. Ferrand, 1648, rééd. Bruxelles, P. Madraga, 1981, 348 p.

DEMOUY (P.), MANGUE (M.), *La cathédrale de Troyes*, Colmar, 1976, 24 p.

DESAULTY (A.-M.), *Etude métallographique de culots d'affinage du site de Glinet (XVI^e siècle)*, Rapport de stage du DEA Archéomatériaux de l'université Bordeaux 3 sous la direction de M. SCHVOERER, 2004, 85 p.

DEVILLE (A.), *Revue des architectes de la cathédrale de Rouen jusqu'à la fin du XVI^e siècle*, Rouen, 1848, 92 p.

Dictionnaire des Eglises de France, tome IVB, Normandie, Paris, R. Laffont, 1968.

DIDER (abbé C.), *Notice historique et religieuse sur le bourg et les seigneurs de Doulevant-le-Château*, Wassy, 1871, 189 p.

DIDEROT (D.), d'ALEMBERT (J.), *L'encyclopédie, Recueil de planches sur les sciences, les arts libéraux, les arts mécaniques avec leurs explications*, vol IV, Paris, 1145 p.

DIDEROT (D.), d'ALEMBERT (J.), *Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, Paris, 1753, 21 vol.

DILLMANN (Ph.), *Diffraction X, Microdiffraction X et Microfluorescence X sous Rayonnement Synchrotron et analyses comparées pour la caractérisation des inclusions. Application à l'étude de l'évolution historique des procédés d'élaboration des objets ferreux (procédés direct et indirect)*. Thèse de doctorat de l'université de Technologie de Compiègne présenté sous la direction de G. BERANGER, 1998, 302 p.

DILLMANN (Ph.), « Corrosion des objets archéologiques ferreux », *Techniques de l'Ingénieur*, 2005, COR 675, p. 1-20.

DILLMANN (Ph.), *Etude des alliages ferreux anciens : élaboration, utilisation, dégradation. Apport des techniques microfaisceau*, Habilitation à diriger des recherches présentée sous la direction de G. BERANGER et Ph. FLUZIN, 2006, 58 p.

DILLMANN (Ph.), « De Soissons à Beauvais : le fer des cathédrales de Picardie », dans *L'emploi du fer et du plomb dans l'architecture gothique, Actes du colloque de Noyon, 16-17 novembre 2006*, sous presse.

DILLMANN, (Ph.), ARANDA (R.), L'HERITIER, (M.), FLUZIN, (Ph.), « Forging of iron-steel artefacts: archaeology, experiments and archaeometry », *1st International Conference of Paleosiderurgy and industrial Heritage Recovery. Iron, history and heritage, 11-13 Mai 2005*, sous presse.

DILLMANN (Ph.), BERNARDI (Ph.), « Premiers résultats métallographiques sur les tirants de fer du Palais des Papes d'Avignon. Eléments de réflexion sur la qualité et la provenance des matériaux ferreux utilisés dans la construction monumentale au Moyen Age », dans NOËL (R.), PAQUAY (I.), SOSSON (J.-P.), éd., *Au-delà de l'écrit. Les hommes et leurs vécus matériels au Moyen Age à la lumière des sciences et des techniques. Nouvelles perspectives*, Louvain-la-Neuve, Typologie des Sources du Moyen Age occidental (hors-série), 2003, p. 241-279.

DILLMANN (Ph.), BERNARDI (Ph.), FLUZIN (Ph.), « Use of iron for the building of medieval monuments. The Palais des Papes in Avignon and other french buildings », dans *Archaeometallurgy in Europe 1*, Milan (24-26 septembre 2003), 2003, AIM, p. 199-208.

DILLMANN (Ph.), FLUZIN (Ph.), CHEVALLIER (P.), « Determination of iron making processes using synchrotron microprobe », dans JEREM (E.), BIRO (K. T.), éd., *Archaeometry 98, Proceedings of the 31st Symposium*, Archaeopress – Archaeolingua, BAR, 2002, p. 327-334.

DILLMANN (Ph.), FLUZIN (Ph.), URTEAGA (M.), « Refining of an experimental biscaïan bloom from Agorregi », dans *Early ironworking in Europe, Archaeology and experiment, International conference, CSA-UISPP 19 to 25th september 1997*, Plas Tan Bwlch, 1997, p. 73-75.

DILLMANN (Ph.), L'HERITIER (M.), « Tracing supply and smelting processes by slag inclusions analyse of ferrous alloys employed for the construction of French medieval monuments », *Journal of Archaeological Science*, sous presse.

DILLMANN (Ph.), L'HERITIER (M.), « Utilisation des alliages ferreux dans la construction monumentale du Moyen Age. Vers une méthodologie commune des études archéologique et

archéométrique », dans *Les matériaux européens de l'architecture, apport de l'archéométrie à l'archéologie du bâtiment, Liège, 17-19 janvier 2005*, à paraître.

DILLMANN (Ph.), MAZAUDIER (F.), HOERLE (S.), « Advances in understanding atmospheric corrosion of iron I - Rust characterisation of ancient ferrous artefacts exposed to indoor atmospheric corrosion », *Corrosion Science*, 2004, 46 (6), p. 1401-1429.

DUHAMEL DU MONCEAU (H.-L.), *Art du serrurier*, Paris, 1767, 302 p.

DURAND (G.), *Monographie de l'église Notre-Dame cathédrale d'Amiens*, tome 1, 1901, 535 p.

ENLART (C.), *Manuel d'archéologie française, depuis les temps mérovingiens jusqu'à la Renaissance. I, Architecture religieuse*, Paris, A. Picard, 1919-1920, 937 p.

EPAUD (F.), *L'évolution des techniques et des structures de charpenterie du XI^e au XIII^e siècle en Normandie. Une approche des charpentes par l'archéologie du bâti*, Thèse de doctorat d'histoire de l'université de Rouen sous la direction de A.-M. FLAMBARD HERICHER, Rouen, 2002, 560 p.

ERLANDE-BRANDENBURG (A.), *L'art gothique*, Paris, Citadelles et Mazenod, 2004, 621 p.

ERLANDE-BRANDENBURG (A.), « L'architecture rayonnante et le métal », *Dossiers d'archéologie*, n° 219, déc. 1996-janv. 1997, p. 46-53.

ERLANDE-BRANDENBURG (A.), MEREL-BRANDENBURG (A.-B.), *Histoire de l'architecture française. Du Moyen Age à la Renaissance, IV^e siècle-début XVI^e siècle*, Paris, 1995, 478 p.

FAGNIEZ (G.), *Etudes sur l'industrie et la classe industrielle à Paris aux XIII^e et XIV^e siècles*, Paris, 1877, 426 p.

FERAUGE (M.), MIGNEREY (P.), « Les cathédrales de Bourges et de Reims », *Séminaire « Le fer dans l'architecture gothique »* dirigé par J.-L. TAUPIN, Chaillot, juin 1993, 79 p.

FERAUGE (M.), MIGNEREY (P.), « La cathédrale de Bourges et l'utilisation du fer dans l'architecture », *Bulletin Monumental*, 1996, p.129-148.

FICHOT (Ch.), *Statistique monumentale de l'Aube*, Troyes, tome IV, 1900, 547 p.

FLUZIN (Ph.) « Notions élémentaires de sidérurgie », dans ECHARD (N.), dir., *Métallurgies africaines. Nouvelles contributions*, Paris, Musée de l'homme, 1983, p. 13-44.

FLUZIN (Ph.), « Ponte di val Gabbia III (Bienna). Les premiers résultats des études métallographiques », dans *Il ferro nelle Alpi. Atti del convegno*, Bienna, 1998, p. 24-31.

FLUZIN (Ph.), DILLMANN (Ph.), BENOIT (P.), « Apport des études métallographiques à la détermination des procédés d'élaboration et de transformation des métaux ferreux en fonction de l'évolution historique et des procédés technologiques », *Fer, fonte, acier dans l'architecture, Bulletin de L'ICOMOS*, n° 36-37, p. 32-35.

FLUZIN (Ph.), HERBACH (R.), DILLMANN (Ph.), « Etudes métallurgiques et thermodynamiques des expérimentations de la forge d'AGORREGI Espagne », dans *La ferreria y los molinos de Agorregi-Aia, Gipuzkoa, Diputacion Foral de Gipuzkoa*, San Sebastian, European community, 2002, p. 123-163.

GANDEMER (H.), *Basilique Saint-Urbain*, Troyes, 1968, n. p.

GASPERINI (A.), DUVAL (G.), PERROT (F.), « L'abbatiale Saint-Ouen à Rouen », *Monuments Historiques*, 103, Paris, 1979, p. 17-32.

GAU (M.) « De l'emploi du fer comme moyen de consolidation dans les monuments gothiques », *Revue générale de l'architecture et des travaux publics*, 1841, p. 23-26.

GAUTHIER (H.), éd., *Archives de la Commission des Monuments historiques, tome IV, Haute-Normandie : plans et dessin*, Paris, Ministère de la Culture, 1994, 494 p.

GILBERT (A. P. M.), *Description historique de l'église Saint-Ouen de Rouen*, Rouen, J. Frères, 1822, 73 p.

GILLARD (A.), *L'industrie du fer dans les localités du comté de Namur et de l'Entre-Sambre-et-Meuse de 1345 à 1600*, Bruxelles, 1971, 263 p.

GILLE (B.), *Histoire des techniques*, Tours, Encyclopédie de la Pléiade, 1978, 1652 p.

GILLE (B.), « L'évolution de la technique sidérurgique », *Revue d'Histoire de la Sidérurgie*, 1970, p. 121-242.

[GILLE (B.)], « Les origines du moulin à fer », *Revue d'histoire de la sidérurgie*, t. I, 3, 1960, p. 23-32.

GILLE (G.), « L'industrie métallurgique champenoise au Moyen Age », *Revue d'Histoire de la Sidérurgie*, 1960, p. 13-20.

GIRY (P.), *Vie des Saints. Nouvelle et superbe édition revue et améliorée*, Paris, Victor Palmé, 1880, 695 p.

GODEFROY (F.), *Dictionnaire de l'ancienne langue française et de tous ses dialectes du IX^e au XV^e siècle*, Paris, Librairie des Sciences et des Arts, 1938, 10 vol.

GONON (T.), *Les cloches en France au Moyen Age. Etude archéologique et historique*, Thèse de doctorat d'archéologie de l'université de Lyon 2 présentée sous la direction de J.-F. REYNAUD, 2002, 4 vol.

GOODWAY (M.), FISHER (R.M.), « Phosphorus in low carbon iron : its beneficial properties », *Historical Metallurgy*, vol. 22, p. 21-23.

GOURDAIN (G.), « Travaux neufs et réparations dans la cathédrale de Rouen au 15^e siècle », dans LEMAGNEN (S.), MANNEVILLE (P.), éd., *Chapitres et cathédrales en*

Normandie, Actes du XXXI^e Congrès des Sociétés historiques et archéologiques de Normandie, Caen, Musée de Normandie, 1997, p. 407-416.

GRODECKI (L.), « Les vitraux », *Les monuments historiques de la France n° 2, la cathédrale de Rouen*, 1956, p. 101-110.

GRODECKI (L.), « Nouvelles découvertes sur les vitraux de la cathédrale de Troyes », *Sonderdruck aus Intuition und Kunstwissenschaft*, Berlin, 1973, p. 191-203.

GUERARD (A.), *Statistique historique du département de la Marne*, Châlons, 1862, 619 p.

GUILLOT (I.), FLUZIN (P.), BENOIT (P.), BÉRANGER (G.), « Études paléométallurgiques comparatives d'outils miniers du 15^e et 16^e siècle », dans *Archaeometallurgy of copper and iron in Western Europe*, Mayence, 1986, 15 p.

GUILLOT (I.), FLUZIN (P.), BENOIT (P.), « Mise en forme et utilisation de marteaux de mineurs du 16^e siècle : l'apport de la métallographie », dans PLEINER (R.), éd., *Archaeometallurgy of Iron. Symposium Liblice 1967-1987*, 1987, p. 459-474.

GUYOTJEANNIN (O.), PYCKE (J.), TOCK (B.-M.), *Diplomatique médiévale*, Paris, Brépols, 1993, 442 p.

HAAS (W.), « Die Rolle des Eisens in der vorindustriellen Architektur dargestellt an ostbayerischen Beispielen », dans *Die Oberpfalz ein Europäisches Eisenzentrum 1600 Jahre Grosse Hammereinung*, Amberg, Ostbayern Bergbau und Industrie Museum, 1987, p. 495-504.

HERCHIN (M.), *L'implantation de hauts fourneaux dans les vallées de la Nièvre et de l'Ixerre à l'Epoque moderne*, Mémoire de DEA d'histoire de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne sous la direction de P. BENOIT, 2001, 72 p.

HOERLE (S.) *et al.*, « Advances in understanding atmospheric corrosion of iron II - mechanistic modelling of wet-dry cycles », *Corrosion Science*, 2004, 46 (6), p. 1431-1465.

HUGO (V.), « A mes amis L. B. et S.-B. », dans *Les feuilles d'automne*, Paris, 1831.

HURE (A.), « Origine et formation du fer dans le Sénonais. Ses exploitations et ses fonderies dans l'Yonne », *Bulletin de la société des sciences de l'Yonne*, 73, Auxerre, 1919, p. 33-106.

HURE (A.), « Le fer et ses antiques exploitations dans le Sénonais et dans le Jovinien », *Bulletin de la société des sciences de l'Yonne*, 87, Auxerre, 1933, p. 85-89.

JOLIBOIS (E.), *La Haute-Marne ancienne et moderne, dictionnaire géographique, statistique, historique et biographique*, Avallon, FERN, 1967, 564 p.

JOURNOT (F.), « L'archéologie du bâti », dans BESSAC (J.-C.), BURNOUF (J.), JOURNOT (F.), PRIGENT (D.), SAPIN (C.) et SEIGNE (J.), dir., *La construction de pierre*, Paris, Errance, p. 133-150.

JOUSSE (M.), *La fidelle ouverture de l'art de serrurier, où l'on void les principaulx préceptes, desseings et figures touchant les expériences et opérations manuelles dudit art*, La Flèche, 1627, 152 p.

JUHIN (A.), *Structure métallographique et comportement mécanique des tirants de fer du donjon du château de Vincennes*, Mémoire de M2 de Science des matériaux et nano objets (universités Paris 6 Pierre et Marie Curie et Paris-Sud 11) sous la direction de Ph. DILLMANN et I. GUILLOT, 2005, 129 p.

KIMPEL (D.), « L'organisation de la taille des pierres sur les grands chantiers d'églises du XI^e au XIII^e siècle », dans CHAPELOT (O.), BENOIT (P.), éd., *Pierre et métal dans le bâtiment au Moyen Age*, Paris, EHESS, 1985, 370 p., réimpression, Paris, 2001, p. 209-217.

KIMPEL (D.), SUCKALE (R.), *L'architecture gothique en France 1130-1270*, Paris, Flammarion, 1990, 575 p.

KNAU (H. L.), HORSTMANN (D.), SÖNNECKEN (M.), « La production de fonte dans la haute vallée de la Volme : Contribution à l'étude de la sidérurgie en Westphalie

occidentale », dans BECK (P.), dir., *L'innovation technique au Moyen Age. Actes du VI^e Congrès international d'Archéologie médiévale*, Paris, Errance, p. 152-159.

L'HERITIER (M.), *Approches typologique et archéométallurgique du fer à cheval médiéval*, Mémoire de maîtrise d'archéologie de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne sous la direction de P. BENOIT et J. BURNOUF, 2002, 142 p.

L'HERITIER (M.), *L'utilisation du fer dans la construction gothique. L'exemple de la cathédrale de Rouen*, Mémoire de DEA d'archéologie de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne sous la direction de P. BENOIT, 2003, 174 p.

L'HERITIER (M.), « L'utilisation du fer à la cathédrale de Rouen à l'époque médiévale », dans WATTE (J.-P.), dir., *Haute Normandie Archéologique*, Bulletin n° 9, Rouen, CRAHN, 2004, p. 69-78.

L'HERITIER (M.), *L'utilisation du fer dans les églises Saint-Ouen et Saint-Maclou de Rouen. Etude archéologique et archéométallurgique*, Rapport d'activité archéologique, 2004, 135 p.

L'HERITIER (M.), *L'utilisation du fer dans les églises Saint-Urbain, Saint-Jean, Sainte-Madeleine et à la cathédrale de Troyes. Etude archéologique et historique*, Rapport d'activité archéologique, 2005, 165 p.

L'HERITIER (M.), DILLMANN (P.), BENOIT (P.), « Analyse métallographique de fers à cheval médiévaux. Mise en forme et origine du métal. », *La Revue d'Archéométrie*, 27, 2003, p. 193-206.

L'HERITIER (M.), DILLMANN (Ph.), BENOIT (P.), « Premiers résultats métallographiques sur les fers de construction de la cathédrale Notre-Dame de Rouen. », dans HERVIEU (J.-P.), DESIRE dit GOSSET (G.), BARRE (E.), éd., *Les arts du feu en Normandie, Actes du 39^e Congrès organisé par la Fédération des Sociétés historiques et archéologiques de Normandie (Eu, 21-24 octobre 2004)*, Caen, Annales de Normandie, 2005, p. 287-314.

L'HERITIER (M.), JUHIN (A.), DILLMANN (Ph.), ARANDA (R.), BENOIT (P.), « Utilisation des alliages ferreux dans la construction monumentale du Moyen Age. État des lieux de l'avancée des études métallographiques et archéométriques. », *La Revue d'Archéométrie*, 29, 2005, p. 117-127.

LA BUNODIERE (H. de), *Notice archéologique et historique sur l'église Saint-Ouen de Rouen*, Paris, E. Dumont, 1895, 68 p.

LABORDE (L. de), *Les ducs de Bourgogne. Etude sur les lettres, l'art et l'industrie pendant le XV^e siècle et plus particulièrement dans les Pays-Bas et le duché de Bourgogne*, t. III, Paris, Plon, 1852, p. 475-481.

LAFOND (J.), *Le vitrail*, Paris, Florilège, 1962, 221 p.

LAFOND (J.), PERROT (F.), POPESCO (P.), *Corpus Vitrearum Medii Aevi. France. Volume IV.2/1, Département de la Seine-Maritime. Les vitraux de l'église Saint-Ouen de Rouen*, Paris, CNMH-CNRS, 1970, 256 p.

LALORE (Ch.), « Documents sur l'abbaye Notre-Dame-aux-Nonnains de Troyes », *Mémoires de la société académique d'agriculture, des sciences, arts, et belles lettres du Département de l'Aube*, n° 38, 1874, p. 5-147.

LANFRY (G.), *La cathédrale dans la cité romaine et la Normandie ducale*, Rouen, 1956, 93 p.

LANFRY (G.), *La cathédrale après la conquête de la Normandie et jusqu'à l'occupation anglaise*, Rouen, 1960, 87 p.

LANGLOIS E.-H., *Notice sur l'incendie de la cathédrale de Rouen occasionné par la foudre, le 15 septembre 1822, et sur l'histoire monumentale de cette église : ornée de six planches*, Rouen, 1823, 180 p.

LAPORTE (dom J.), *Dictionnaire topographique du département de Seine-Maritime comprenant les noms de lieux anciens et modernes élaboré au 19^e siècle par Charles de Beaurepaire archiviste de Seine-Inférieure*, Paris, Bibliothèque nationale, 1982, 1188 p.

LARDIN (Ph.), *Les chantiers du bâtiment en Normandie orientale à la fin du Moyen Age (Matériaux et ouvriers)*, Thèse de doctorat d'histoire de l'université de Rouen sous la direction de J.-P. LEGUAY, 1995, 677 p.

LARDIN (Ph.), « La crise monétaire de 1420-1422 en Normandie », dans *L'argent au Moyen Age, Actes du XXVIII^e Congrès de la SHMES*, Paris, Publications de la Sorbonne, 1998, p. 101-144.

LARDIN (Ph.), *Les chantiers du bâtiment en Normandie orientale (XIV^e-XVI^e s.), les matériaux et les hommes*, Villeneuve d'Ascq, Presses universitaires du Septentrion, 2001, 852 p.

LAUZANNE (S.), « L'apport des cartulaires à l'histoire des mines, des carrières et de la métallurgie dans la France du Nord-Est », dans BENOIT (P.), BRAUNSTEIN (Ph.), éd., *Mines, carrières et métallurgie dans la France médiévale*, Paris, CNRS, 1983, p. 17-30.

LE MAHO (J.), « Les fouilles de la cathédrale de Rouen de 1985 à 1993. Esquisse d'un premier bilan », *Archéologie Médiévale*, XXIV, 1994, p. 7-49.

LECHEVALLIER (G.), DILLMANN (Ph.), BENOIT (P.), FLUZIN (Ph.), « L'affinage wallon des fontes phosphoreuses : approche expérimentale et historique », dans PETREQUIN (P.), FLUZIN (Ph.), THIRIOT (J.), BENOIT (P.), dir., *Arts du feu et production artisanale, XX^{es} Rencontres internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes*, Antibes, APDCA, 2000, p. 171-182.

LEDIT (Ch.), *Les hautes verrières de la cathédrale de Troyes*, Troyes, 1948, 81 p.

LEGROS (V.), *Archéologie de l'objet métallique aux époques médiévale et moderne entre Somme et Oise : approche typologique et fonctionnelle*. Tome 2 : Le mobilier métallique, Thèse de doctorat d'archéologie présenté sous la direction de P. RACINET, 2001, 259 p.

LEFEBVRE (E.), « La cour des Libraires de la cathédrale Notre-Dame de Rouen », dans LEMAGNEN (S.), MANNEVILLE (P.), éd., *Chapitres et cathédrales en Normandie, Actes du XXXI^e Congrès des Sociétés historiques et archéologiques de Normandie*, Caen, Musée de Normandie, 1997, p. 417-424.

LEFEBVRE (E.), *La place et le rôle des métaux dans l'architecture gothique à travers l'exemple de la cathédrale d'Amiens. Étude de cas : le chaînage du triforium de la cathédrale d'Amiens*, Mémoire de M1 d'archéologie médiévale sous la direction de MM. Ph. RACINET et A. TIMBERT, Université de Picardie-Jules-Verne (Amiens), 2006, 127 p.

LEFEBVRE (E.), « Les tirants de fer de la cathédrale Notre-Dame d'Amiens », dans *L'emploi du fer et du plomb dans l'architecture gothique, Actes du colloque de Noyon, 16-17 novembre 2006*, sous presse.

LELUBRE (C.), « Etude de la stabilité d'une cathédrale gothique par modélisation sur ordinateur. La cathédrale Saint-Michel à Bruxelles », *Culture et recherche*, n° 53, Paris, Ministère de la Culture, Mission de la recherche et de la technologie, juillet 1995.

LEMAGNEN (S.), MANNEVILLE (P.), éd., *Chapitres et cathédrales en Normandie, Actes du XXXI^e Congrès des Sociétés historiques et archéologiques de Normandie*, Caen, Musée de Normandie, 1997, 670 p.

LEROY (M.), *La sidérurgie en Lorraine avant le haut fourneau ; étude du développement historique et des conditions techniques de l'utilisation du minerai oolithique lorrain (la minette) en métallurgie de réduction directe*, Thèse de doctorat de l'université de Besançon, Paris, CNRS, 1997, 304 p.

LEROY (M.), « Autour de la « minette » : la perduration de la production de fer en bas-fourneau en Lorraine à la fin du Moyen Age », dans BECK (P.), dir., *L'innovation technique au Moyen Age, Actes du VI^e Congrès international d'Archéologie médiévale*, Paris, 1998, p. 145-150.

LEROY (M.), MERLUZZO (P.), FLUZIN (Ph.), LECLERE (D.), AUBERT (M.), PLOQUIN (A.), « La restitution des savoir-faire pour comprendre un procédé technique : l'apport de l'expérimentation en archéologie du fer », dans PETREQUIN (P.), FLUZIN (Ph.), THIRIOT (J.), BENOIT (P.), dir., *Arts du feu et production artisanale, XX^{es} Rencontres internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes*, Antibes, APDCA, 2000, p. 37-52.

LESAGE (G.), *Géographie du département de la Marne*, Paris, 1839, 600 p.

LOISEL (A.), *La cathédrale de Rouen*, Paris, H. Laurens, 1910, 136 p.

LOTH (J.), *La cathédrale de Rouen*, Rouen, Fleury, 1879, 622 p.

LOTH (abbé J.), *Saint-Maclou de Rouen : l'église, la paroisse*, Rouen, Lecerf Fils, 1913, 153 p.

MAHE-LE CARLIER (C.), *Caractérisation pétrographique et chimique d'analogues de déchets vitrifiés actuels : les scories de la métallurgie ancienne. Etude de l'altération naturelle et expérimentale – Partie I : Pétrographie et archéométrie*, Thèse de doctorat de sciences appliquées de l'Institut National Polytechnique de Lorraine sous la direction d'A. PLOQUIN, 1997, 378 p.

MAGNUSSON (G.), « Lapphyttan. An example of medieval iron production », dans *Medieval Iron in Society, Papers presented at the Symposium in Norberg*, Stockholm, 1985, p. 21-60.

MANGIN (M.), dir., *Le fer*, Paris, Errance, coll. Archéologiques, 2004, 239 p.

MASSON (A.), *L'église abbatiale de Saint-Ouen de Rouen*, Paris, H. Laurens, 1927, 95 p.

MERLET (M. L.), « Compte de l'œuvre de la cathédrale de Chartres en 1415-1416 », *Bulletin archéologique du Comité des Travaux historiques et scientifiques*, 1889, 1, p. 35-93.

MINOIS (D.), *Le vitrail à Troyes : les chantiers et les hommes (1480-1560)*, Paris, PUPS, 2005, 475 p.

MOLANDA (D.), « Le plomb en Pologne au Moyen Age et au XVI^e siècle », dans CHAPELOT (O.), BENOIT (P.), éd., *Pierre et métal dans le bâtiment au Moyen Age*, Paris, EHESS, 1985, 370 p., réimpression, Paris, 2001, p. 321-329.

MOLLAT (M.), *Le commerce maritime normand à la fin du Moyen Age : étude d'histoire économique et sociale*, Paris, Plon, 1952, 617 p.

MOLLAT (M.), *Histoire de Rouen*, Toulouse, Privat, 1969, 444 p.

MONNIER (E.), « Des monuments qui jouent avec la mécanique », *Les cahiers de Science et Vie*, n° 69, Sciences et techniques des bâtisseurs de cathédrales, juin 2002, p. 12-21.

MONTEILLARD (N.), *La métallurgie à Rouen de la fin du XIV^e au début du XVI^e siècle*, mémoire de maîtrise d'histoire de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne sous la direction de R. FOSSIER et P. BENOIT, 1987, 77 p.

MONTELLARD (N.), « Artisans et artisanat du métal à Rouen à la fin du Moyen Age », dans BENOIT (P.) et BRAUNSTEIN (Ph.), dir., *Hommes et travail du métal dans les villes médiévales*, Paris, AEDEH, 1988, p. 109-126.

MURRAY (S.), *Building Troyes cathedral. The late gothic campaigns*, Bloomington, Indiana university Press, 1987, 257 p.

NEAGLEY (L. E.), *The parish church of Saint-Maclou : a study of Rouennais flamboyant architecture*, Thèse de doctorat de l'université d'Indiana, 1983, 484 p.

NEAGLEY (L. E.), *Disciplined exuberance : the Parish Church of Saint-Maclou and late Gothic architecture in Rouen*, University Park, Penn : The Pennsylvania State university Press, 1998, 168 p.

NECHTINE (E.), « Les artisans du métal à Paris », dans BENOIT (P.), BRAUNSTEIN (Ph.), dir., *Hommes et travail du métal dans les villes médiévales*, Paris, AEDEH, 1988, p. 28-60.

NEFF (D.), *Étude du comportement du phosphore lors des procédés sidérurgiques anciens*, Mémoire de stage pour le D.E.A. « Archéomatériaux », 2000, 69 p.

NEFF (D.), DILLMANN (P.), « Phosphorus localisation and quantification in archaeological artefacts by micro-PIXE analyses », *Nuclear Instruments and Method in Physics Research*, 2001, p. 675-680.

NEFF (D.), DILLMANN (Ph.), L'HERITIER (M.), QUERRIEN (A.), « Etude métallographique de fers à cheval et d'outillage agricole du site de Montbaron. Eléments de réflexion sur la qualité des matériaux employés en sidérurgie médiévale », *Archéologie Médiévale*, XXXIV, CNRS, 2004, p. 133-146.

ORDERIC VITAL, *Historiae ecclesiasticae*, Paris, éd. Le Prevost et Delisle, 1838-1855, 2 tomes.

OUIIN-LACROIX (Ch.), *Histoire de l'église et de la paroisse de Saint-Maclou de Rouen*, Rouen, Mégard, 1846, 280 p.

PEROUSE DE MONTCLOS (J.-M.), dir., *Guide du patrimoine. Champagne Ardenne*, Paris, 1995, 432 p.

PERROT (F.), *Le Vitrail à Rouen*, Rouen, Le Cerf, 1972, 62 p.

PERROT (F.), « Des verriers à la corbeille », *Les cahiers de Science et Vie*, n° 69, Sciences et techniques des bâtisseurs de cathédrales, juin 2002, p. 58-61.

PERROT (F.), GRANBOULAN (A.), *Vitrail : Art et Lumière*, Paris, Rempart, 1988, 111 p.

PIASKOWSKI (J.), « Proposals for a standardization of the criteria for determining technological processes in early iron and steel metallurgy », dans SCOTT (B. G.), CLEERE (H.), dir., *The crafts of the blacksmith*, Belfast, 1984, p. 157-168.

PIASKOWSKI (J.), « A standardization procedure for the presentation of the results of metallographic examinations of early iron implements », dans SCOTT (B. G.), CLEERE (H.), dir., *The crafts of the blacksmith*, Belfast, 1984, p. 169-178.

PIASKOWSKI (J.), « Metallographic examinations of ancient and medieval iron implements found on the territories of Poland », dans PLEINER (R.), éd., *Archaeometallurgy of iron 1967-1987, Symposium Liblice 1987*, Prague, 1987, p. 407-427.

PIASKOWSKI (J.), « Phosphorus in iron ore and slag and in bloomery iron », *Archaeomaterials*, vol. 3, n° 1, 1989, p. 47-59.

PIETRESSON DE SAINT-AUBIN (P.), « Troyes et ses églises », *Bulletin de la société de Géographie de Lille*, t. 77, Lille, 1935, p. 130-145.

PIETRESSON DE SAINT-AUBIN (P.), « L'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes », *Congrès archéologique de France, CXIII*, Troyes, 1955 (publié en 1957), p. 85-95.

PIGEON (Mgr. E.-A.), *Histoire de la cathédrale de Coutances*, Coutances, 1876, 392 p.

PISSOT (M. C.-E.), *Notice historique sur Doulevant-le-Château*, Wassy, 1874, 192 p.

POMMERAYE (dom F. de), *Histoire de l'abbaye royale de Saint Ouen divisée en cinq livres*, Rouen, 1662, 500 p.

POMMERAYE (F.), *Histoire de l'église cathédrale de Rouen, métropolitaine et primatiale de Normandie divisée en cinq livres*, Rouen, Imprimeurs ordinaires de l'archevêché, 1686, 693 p.

POKORNY (A.), POKORNY (J.), *Inclusions non métalliques dans l'acier*, Techniques de l'ingénieur, traité Matériaux métalliques, doc. n° M220, Paris, 1998, 36 p.

QUANTIN (M.), « L'exploitation du fer dans le département de l'Yonne et les pays voisins, dans les temps anciens et au Moyen Age », *Annuaire de l'Institut des Provinces et des Congrès Scientifiques*, Paris, 1853, p. 32-42.

QUANTIN (M.), *La cathédrale de Troyes*, Troyes, La Renaissance, 1964 (12^e édition), 16 p.

REVEYRON (N.), *Chantiers lyonnais du Moyen Age : Saint-Jean, Saint-Nizier, Saint-Paul*, DARAA n° 28, Lyon, ALPARAA, 380 p.

REY (A.), *Dictionnaire culturel en langue française*, Paris, Editions Le Robert, 2005, 4 vol.

RITTER (G.), *Les vitraux de la cathédrale de Rouen XIII^e, XIV^e, XV^e et XVI^e siècles*, Cognac, 1926, 106 p.

ROBIN (R.), TERNON (E.), *Etude mécanique d'éléments métalliques de la cathédrale gothique de Beauvais*, UVTX de l'université de Compiègne sous la direction de P. BENOIT, 1994, n.p.

ROMS (C.), *Les carrières de pierre de Tonnerre aux époques médiévale et moderne*, Mémoire de Maîtrise d'archéologie de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne sous la direction de P. BENOIT, 2002, 258 p.

ROMS (C.), *La pierre de Tonnerre dans la construction religieuse troyenne aux époques médiévale et moderne : la cathédrale Saint-Pierre et Saint-Paul*, Mémoire de D.E.A. d'archéologie de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne sous la direction de P. BENOIT, 2003, 152 p.

RONDELET (J.-B.), *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, Paris, 1802-1814, 5 tomes.

ROSEROT (A.), *Dictionnaire topographique du département de la Haute Marne comprenant les noms de lieu anciens et modernes*, Paris, Imprimerie Nationale, 1903, 221 p.

ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée des sources d'une histoire de la Cathédrale de Troyes*, tome I, Construction, Troyes, Paton, 1966, 277 p.

ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée des sources d'une histoire de la Cathédrale de Troyes*, tome II, Mobilier, Troyes, Paton, 1966, 301 p.

ROUILLARD (J.), *L'homme et la rivière : histoire du bassin de la Vanne au Moyen Age (XII^e-XVI^e siècles)*, Thèse de doctorat d'histoire de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne sous la direction de M. BOURIN, 5 vol, 2003, 1199 p.

ROUILLARD (J.), « L'eau en champagne du Sud et en Bourgogne du Nord : les abbayes cisterciennes de Pontigny et Vauluisant (Yonne, France) d'après les cartulaires (XII^e-XIV^e siècles) », dans PRESSOUYRE (L.), BENOIT (P.), dir., *L'hydraulique monastique : milieux, réseaux, usages*, Grâne, 1996, p. 363-381.

ROUSSEL (abbé Ch.), *Le diocèse de Langres : histoire et statistique*, 4 vol., Langres, 1875

ROUSSEL (abbé Ch.), *Département de la Haute-Marne : dictionnaire historique des communes*, 1875, Paris, rééd. 2005, 625 p.

RUSKIN (J.), *Les sept lampes de l'architecture*, Paris, Les presses d'aujourd'hui, 1980, rééd. et traduction de l'édition de 1880, 252 p.

SALZMAN (L. F.), *Building in England down to 1540*, Oxford, 1952, 629 p.

SANDRON (D.), *Amiens. La cathédrale*, Paris, éditions du Zodiaque, 2004, 223 p.

SAUVAGET (A.), *Le Collègue, manuel théorique et pratique à l'usage des forgerons, taillandiers, serruriers, maréchaux-ferrants et de leurs apprentis*, Quincy, 1889, 164 p.

SCHLICHT (M.), *La cathédrale de Rouen vers 1300*, Caen, Société des Antiquaires de Normandie, 2005, 421 p.

SEERNELS (V.), « L'apport des analyses chimiques de minerais, scories, et produits associés à l'étude de la sidérurgie ancienne », dans MANGIN (M.), dir., *La sidérurgie ancienne de l'est de la France dans son contexte européen, Actes du colloque de Besançon*, Paris, Les Belles Lettres, 1994, p.75-82.

SEYFRIED (P.), *Die ehemalige Abteilkirche Saint-Ouen in Rouen*, Weimar, VDG, 2002, 190 p.

SMITH (C. S.), « Production de fer à la fenderie de Saugus aux alentours de 1660 », *Revue d'histoire de la sidérurgie*, tome VII, 1, 1966, p. 7-16.

SMITH (R. D.), BROWN (R. R.), *Bombards. Mons Meg and her sisters*, Royal Armouries monograph 1, Londres, 1989, 112 p.

SÖNNECKEN (M.), « Eisendarstellung im Flosshofen », *Der Märker*, n° 21, 1972, p. 4-5.

STEWART (J. W.), CHARLES (J. A.), WALLACH (E. R.), « -Iron-phosphorus-carbon system, Part 1- Mechanical properties of low carbon iron-phosphorus alloys », *Materials Science and Technology*, vol. 16, Cambridge, 2000, p. 275-282.

STEWART (J. W.), CHARLES (J. A.), WALLACH (E. R.), « -Iron-phosphorus-carbon system, Part 2- Metallographic behaviour of Oberhoffer's reagent », *Materials Science and Technology*, vol. 16, Cambridge, 2000, p. 283-290.

STEWART (J. W.), CHARLES (J. A.), WALLACH (E. R.), « -Iron-phosphorus-carbon system, Part 3- Metallography of low carbon iron-phosphorus alloys », *Materials Science and Technology*, vol. 16, Cambridge, 2000, p. 291-303.

STROMER (W. von), « Die Grosse Hammereinung vom 7. Januar 1387. Kartell und Innovationen als Antwort auf eine Krise », dans *Die Oberpfalz ein Europäisches Eisenzentrum 1600 Jahre Grosse Hammereinung*, Amberg, Ostbayern Bergbau und Industrie Museum, 1987, p. 147-190.

STROOBANTS (A.), « Le fer forgé dans l'architecture à Gand, Bruges et Anvers à la fin du Moyen Age », dans CHAPELOT (O.), BENOIT (P.), éd., *Pierre et métal dans le bâtiment au Moyen Age*, Paris, EHESS, 1985, 370 p., réimpression, Paris, 2001, p. 273-291.

TAUPIN (J.-L.), « Le fer des cathédrales », *Monumental*, 1996, p. 18-27.

TAUPIN (J.-L.), « Le fer des cathédrales, la naissance d'une réflexion et son évolution : l'exemple de Beauvais », dans *L'emploi du fer et du plomb dans l'architecture gothique, Actes du colloque de Noyon, 16-17 novembre 2006*, sous presse.

TAYLOR (J.), *Voyages pittoresques et romantiques dans l'ancienne France*, Paris, 1857, 2 vol.

THIERRY (A.), éd, *Recueil des monuments inédits de l'histoire du Tiers Etat, t 1, Les pièces relatives à l'histoire de la ville d'Amiens depuis l'an 1057 jusqu'au XV^e siècle*, F. Didot Frères, Paris, 1850, p. 675-778.

TIMBERT (A.), « L'emploi du plomb et du support monolithique dans l'architecture gothique du Nord de la France au XII^e siècle : les exemples des cathédrales de Soissons, Laon, Noyon et Senlis », dans *L'emploi du fer et du plomb dans l'architecture gothique, Actes du colloque de Noyon, 16-17 novembre 2006*, sous presse.

TOMAN (R.), dir., *L'art gothique*, Cologne, 1998, 521 p.

VEGA (E.), *Contribution à l'étude des fers phosphoreux en sidérurgie ancienne. Comparaison des procédés directs et indirects*. Mémoire de stage pour le D.E.A. « Archéomatériaux », 2001, 54 p.

VEGA (E.), DILLMANN (Ph.), FLUZIN (Ph.), « Contribution à l'étude du fer phosphoreux en sidérurgie ancienne », *La Revue d'Archéométrie*, 2002, p. 197-208.

VEGA (E.), DILLMANN (Ph.), L'HERITIER (M.), FLUZIN (P.), CREW (P.), BENOIT (P.), « Forging of phosphoric iron. An analytical and experimental approach », dans *Archaeometallurgy in Europe*, Milan, 2003, AIM, p. 337-346.

VERNA (C.), « La sidérurgie cistercienne en Champagne méridionale et en Bourgogne du nord », *Flaran 3, L'économie cistercienne*, Auch, 1983, p. 207-212.

VERNA (C.), *Les mines et les forges des Cisterciens en Champagne méridionale et en Bourgogne du Nord, XII^e-XV^e siècles*, Paris, A.E.D.E.H.-Vulcain, 1995, 96 p.

VERNA (C.), « Les cisterciens auteurs et témoins du renouveau sidérurgique », dans *La métallurgie de la Haute-Marne*, Cahiers du patrimoine, n° 48, 1997, p. 17-21.

VERNA (C.), *Le temps des moulins. Fer, technique et société dans les Pyrénées centrales (XIII^e-XVI^e siècles)*, Paris, Publications de la Sorbonne, 2001, 425 p.

VERNA (C.), BENOIT (P.), « La sidérurgie de Clairvaux au Moyen Age », dans *Histoire de Clairvaux. Actes du Colloque, juin 1990*, Bar-sur-Aube, 1991, p. 85-111.

VIARD (J.), *Etat des abbayes cisterciennes au commencement du XIV^e siècle*, extrait de la revue d'histoire de l'église de France, Paris, 1910, 21 p.

VIOLLET-LE-DUC (E.), *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI^e au XVI^e*, 10 tomes, 1854-1868, rééd. Paris, 1997

VIOLLET-LE-DUC (E.), *Entretiens sur l'architecture*, 2 tomes, Paris, 1872, 491 p. et 450 p.

WILCOX (R.P.), *Timber and iron reinforcement in early buildings*, Londres, 1981, 112 p.

YANTE (J.-M.), « Provenance, acheminement et mise en œuvre du fer dans le bâtiment : le cas du pays mosan XIV^e-XVI^e siècles », dans CHAPELOT (O.), BENOIT (P.), éd., *Pierre et métal dans le bâtiment au Moyen Age*, Paris, EHESS, 1985, 370 p., réimpression, Paris, 2001, p. 293-303.

VIII. METHODES

L'objectif de ce travail est de déterminer les usages du fer dans sept églises gothiques, trois rouennaises et quatre troyennes, de les comparer, d'étudier les questions de l'approvisionnement du chantier, de la nature du matériau employé, des différentes étapes de la chaîne opératoire qui ont permis de le produire et par ce biais, d'approcher les grandes évolutions de la métallurgie médiévale et d'appréhender leurs éventuelles influences sur l'emploi du fer dans l'architecture de ces églises. Ces différents aspects qui ont été mis en exergue dans la problématique ont conditionné la mise en œuvre et l'utilisation de méthodes adaptées, présentées dans la partie suivante. Elles concernent l'étude réalisée sur les sources comptables, l'approche prospective du bâti, puis les principes et techniques des analyses métallographiques.

L'étude des sources comptables : approche des comptes médiévaux

Lorsqu'ils étaient conservés, les comptes de la fabrique des différents édifices étudiés ont été consultés. La fabrique, office chargé de la gestion de l'église, s'occupe des travaux de construction et d'entretien du gros œuvre, dont on cherche précisément à évaluer la dépense en fer qu'ils représentent. Parmi les sept églises du corpus, seule l'abbatiale Saint-Ouen de Rouen ne possède aujourd'hui plus aucun compte pour la période médiévale. La conservation de ces registres est variable pour les autres églises, trois d'entre elles, la cathédrale de Rouen, la cathédrale de Troyes et l'église Saint-Jean-au-Marché présentant de longues séries presque continues. Il ne s'agit pas ici de réaliser une édition exhaustive des textes disponibles, mais d'utiliser une méthode de traitement des données permettant d'en extraire le maximum d'informations possible, notamment sur la question du coût des dépenses de serrurerie, car ces archives sont les seules sources permettant de les aborder.

La première étape du travail réalisé sur les registres de comptes de ces édifices concerne la transcription de l'intégralité des dépenses liées au fer, à la forge ou au forgeron, sur un fichier informatique de traitement de texte. Ainsi, pour chaque année comptable conservée, le chapitre dénommé « dépenses pour serrurerie » ou encore « dépenses pour forge » et, en son absence, le chapitre des « dépenses communes » a été intégralement dépouillé. Les chapitres concernant éventuellement les autres dépenses ayant directement trait à la construction, notamment les dépenses pour les *garnisons de l'église*, pour maçonnerie, pour charpenterie et pour couverture ont également fait l'objet d'une attention particulière, ainsi que les dépenses pour journées de maçons, les éléments de fers mis en œuvre n'étant parfois uniquement détaillés que dans cette partie. Pour chaque année, les sommes totales des dépenses et des recettes ont été relevées lorsqu'elles étaient mentionnées par le procureur. Les registres de comptes ont été dépouillés de la première année comptable conservée jusqu'à l'arrêt des principaux travaux de construction, en général dans le courant du XVI^e siècle, d'autant plus que pour certains édifices, cette période correspond également à une diminution de la précision des données écrites par le procureur. Une partie des mentions

relevées est présentée comme pièces justificatives en Annexe 1, selon les normes proposées par O. Guyotjeannin¹⁰⁸.

Des erreurs d'interprétation sur la terminologie de certains éléments de fer, notamment dans l'étude des comptes médiévaux, ont été relevées chez plusieurs auteurs, certes non spécialistes en matière de métallurgie, mais elles les ont amenés à faire de fâcheux contresens. C'est pourquoi nous avons imaginé la présentation d'un lexique des éléments de fer, afin d'éclaircir certaines zones d'ombre du vocabulaire de ces armatures de fer et de ne laisser ainsi aucune équivoque sur la nature des termes qui seront employés. Ce lexique est présenté à la fin du second volume de texte. Il se fonde à la fois sur les définitions de certains dictionnaires d'architecture comme le *Dictionnaire raisonné de l'architecture médiévale* de Viollet-le-Duc¹⁰⁹ ou le *Dictionnaire des termes employés dans la construction* de P. Chabat¹¹⁰, mais également sur des dictionnaires généraux contemporains et sur l'expérience acquise sur le vocabulaire des comptes de construction. La terminologie de l'époque médiévale est également présentée dans ce lexique. Si elle est la plupart du temps sémantiquement assez voisine de ces termes contemporains, la plus grande richesse des termes ainsi que certains faux amis incitait cependant à donner leur définition, des erreurs d'interprétation étant fréquemment notées chez certains auteurs¹¹¹.

Après transcription, chaque mention ou groupe de mentions concernant un même ouvrage dans le bâtiment est ensuite traité de manière individuelle pour les informations qu'il peut apporter sur : la nature des éléments de fer mis en œuvre, leur localisation plus ou moins précise dans le bâti, leur coût, leur masse globale, leurs dimensions, l'origine du fer employé pour l'ouvrage, le nom du forgeron qui a effectué le travail... L'ensemble de ces informations n'est certes jamais disponible. Le plus fréquemment seule la dénomination des éléments de fer achetés par la fabrique, la partie de l'église où ils ont été employés, leur coût et parfois leur masse sont mentionnés. Ces informations permettent parfois de reconstituer la dépense en fer pour un ouvrage précis qui pourra éventuellement être comparé avec les données des prospections. Dans ce cadre, une attention particulière a été portée aux mentions

¹⁰⁸ GUYOTJEANNIN (O.), PYCKE (J.), TOCK (B.-M.), *Diplomatique médiévale*, [Paris], Brépols, 1993, 442 p.

¹⁰⁹ VIOLLET-LE-DUC (E.), *Dictionnaire raisonné...*, *op. cit.*

¹¹⁰ CHABAT (P.), *Dictionnaire des termes employés dans la construction*, Paris 1875, 1482 p.

¹¹¹ On peut citer pour exemple la définition affligeante de la pose d'un vitrail faite par G. Gourdain « Le montage des verrières était fait avec des morceaux d'acier qui rouillaient rapidement. Cette ferraille était récupérée pour être refondue. (...) Le plus souvent, on dispose trois grandes barres scellées au moyen d'anneaux (*annuli seu circuli*). Les panneaux de vitrail sont attachés par des sortes d'agrafes nommées paillettes », GOURDAIN (G.), « Travaux neufs et réparations dans la cathédrale de Rouen au 15^e siècle », dans LEMAGNEN (S.), MANNEVILLE (P.), éd., *Chapitres et cathédrales en Normandie, Actes du XXXI^e Congrès des Sociétés historiques et archéologiques de Normandie*, Caen, Musée de Normandie, 1997, p. 407-416.

d'achat des armatures de vitraux afin de tenter de retrouver, parallèlement aux prospections, le dessin des armatures médiévales et les quantités de fer qui y ont été employées. Pour les plus précises, une tentative d'approche de la section des barres et tirants de fer est envisageable. Enfin, les mentions de provenance du fer acheté par la fabrique sont, malgré leur rareté, l'unique source primaire permettant de restituer les circuits d'approvisionnement pour le chantier de l'église.

La somme totale des « dépenses pour forge » a enfin été calculée pour chaque année comptable complète, afin de pouvoir être comparée aux dépenses totales engagées par la fabrique sur le monument, pendant les périodes d'entretien et celles de construction. Le coût relatif des dépenses pour forges par rapport à l'ensemble de la construction a ainsi pu être estimé. Seuls les comptes des fabriques des cathédrales de Rouen et de Troyes ont pu faire l'objet d'une analyse chiffrée plus détaillée, séparant les types de dépenses, car ils présentent de longues séries continues et leur données sont suffisamment précises. Les comptes des églises Saint-Maclou de Rouen, Sainte-Madeleine et Saint-Urbain de Troyes sont trop lacunaires pour être traités de la sorte : ils ne fournissent que des informations ponctuelles sur certains aspects de la construction ou de l'entretien de l'édifice. Ceux de l'église Saint-Jean-au-Marché manquent quant à eux souvent de précision bien qu'ils présentent une série presque continue tout au long du XVI^e siècle, car il s'agit non pas de comptes définitifs, mais de manuels de comptes, version intermédiaire dans laquelle le procureur prend en note les différentes dépenses. L'écriture y est fort peu soignée, aucune somme totale n'y est réalisée et certaines données sont probablement manquantes.

Les données sont traitées de la manière suivante : pour chaque année comptable toutes les dépenses sont reprises une à une dans le détail et classées, d'après le contenu de leurs mentions, selon différents types. Les principales dépenses relevées sont celles :

- pour le fer d'œuvre : cette dépense concerne l'ensemble des éléments de fer destinés directement à l'architecture qu'ils soient liés à la maçonnerie ou la charpenterie, barres, agrafes, goujons, crampons, tirants, chaînages... ;
- pour verrerie ou pour les fers à vitraux : sous partie du fer d'œuvre, il s'agit des fers liés aux baies et verrières de l'église (barlotières-tirants, barlotières, verges, clavettes...) ;
- pour les outils : elles concernent les dépenses relatives à facture et l'entretien des différents outils, essentiellement ceux des maçons mais aussi des autres ouvriers, charpentiers, carriers... ;

- pour les engins : dépense pour la ferrure des engins de levage et de transport. La ferrure des chevaux de trait ou de bât associés y est parfois jointe ;
- pour les cloches : dépense pour la facture et l'entretien des éléments de fer relatifs aux cloches ;
- de petite serrurerie : elles concernent tous les éléments se rapportant à la ferrure des portes ou à des serrures ;
- pour les différents types de clous ;
- pour le mobilier et les boîtes : ce type comprend l'ensemble des dépenses pour l'achat ou l'entretien du mobilier, utilitaire comme purement décoratif : lutrins, croix en fer forgé... Pour la cathédrale de Troyes s'ajoute une dépense particulière pour la facture et de l'entretien des boîtes du Synode ;
- « pour forge » : dépenses exprimées comme telles (*pro forgia*) et sans précision supplémentaire.

Enfin, toutes les dépenses n'entrant pas clairement dans une des catégories exprimées ci-dessous, le plus souvent par manque de précision ou absence de détail des parties du serrurier, ont été classées dans un dernier groupe.

Le traitement des données a été réalisé sur un tableur, avec une feuille par année comptable et une feuille regroupant l'ensemble des résultats et permettant la construction de graphiques représentant l'évolution des différents types de dépenses au cours du temps (cf. Figure 8 et Figure 9). L'ensemble de ces informations permet de corréler l'évolution des diverses dépenses de serrurerie avec l'histoire de la construction du monument.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD		
1		OUTILS						SERRURERIE						VERRERIE						CLOUS				FER D'ŒUVRE								
2																																
3		livres	sous	deniers	oboles			livres	sous	deniers	oboles			livres	sous	deniers	oboles			livres	sous	deniers	oboles			livres	sous	deniers	oboles			
4				20							15			13	16	8	1				63	7						5				
5				20						6				14	2	2					47	8							26			
6				24						5				14	4			1										7	6			
7				28						10				14	5	4												4	2			
8					16					12	6																	4	2			
9										12	6																					
10																																
11																																
12																																
13		0	92	16	0			0	45	27	0			55	27	14	2			0	110	15	0			0	20	36	0			
14	total	4 l.	13	4 d.	0 ob.		total	2 l.	7	3 d.	0 ob.		total	56 l.	8	3 d.	0 ob.		total	5 l.	11	3 d.	0 ob.		total	1 l.	3	0 d.	0 ob.			
15		livres	sous	deniers	oboles			livres	sous	deniers	oboles			livres	sous	deniers	oboles			livres	sous	deniers	oboles			livres	sous	deniers	oboles			
16																																
17	soit				1120 d.					567 d.						13539 d.					1335 d.							276 d.				
18					4,7 l.					2,4 l.						56,4 l.					5,6 l.							1,2 l.				
19	ou				6,5%					3,3%						78,4%					7,7%							1,8%				
20																																
21																																
22	total	17278	72 l.																													
23																																
24																																
25																																
26																																
27																																
28																																
29																																
30																																
31																																
32																																
33																																
34																																
35																																
36																																
37																																
38																																
39																																
40																																

Figure 8 : Exemple de fichier de traitement des données pour une année comptable.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	compte	dépense totale	dépenses pour forge	% des dépenses pour forge	année	dépenses pour forge	vérif		Outils	Petite serrurerie	Fer d'œuvre	Fers à vitreaux	Clous	Boîtes et mobiliers	Engins	Cloches	Indéterminés	pro forgia
2	Bib. Nat. lat. 9111	119,21	4,41	3,69%	1293-1294	4,41	4,41		0	0	0	0	0	2,6	0	0,8	0	1
3	Bib. Nat. lat. 9111	2471	3,21	1,30%	1294-1295	3,21	3,41		0,4	0,2	0	0	0,5	0	0,1	2	0,2	0
4	Bib. Nat. lat. 9111	246,91	5,71	2,31%	1295-1296	5,71	5,71		0	0	0	0	0,9	0,5	0	2,3	0	2
5	Bib. Nat. lat. 9111	259,41	11,11	4,28%	1296-1297	11,11	111		0	0	0,2	0,9	1,9	1,3	1,9	1,8	0	3,2
6	Bib. Nat. lat. 9111	254,11	22,11	8,70%	1297-1298	22,11	221		0	0	0	0	1,1	1,8	0	18,1	0	1,2
7	Bib. Nat. lat. 9111	3481	12,81	3,68%	1298-1299	12,81	131		0	1,7	0	0	6,1	0	0	2,6	0	2,3
8	Bib. Nat. lat. 9111	210,91	12,21	5,78%	1299-1300	12,21	121		0	0,3	0	0	3,1	2,2	0	4,9	0	1,7
9	Bib. Nat. lat. 9111	217,81	9,11	4,18%	1300-1301	9,11	91		0	0,8	0	0	2	2,4	0	2,6	0	1,2
10					lacune	01	01											
11	Nouv. Acq. Lat. 1949	277,81	6,11	2,20%	1333-1334	6,11	6,11		0	0	0,8	2,7	0	0	0	2,6	0	0
12	Nouv. Acq. Lat. 1949	190,81	51	2,62%	1334-1335	51	51		0	0	0,1	0,2	0,7	2,7	0	1,3	0	0
13	Nouv. Acq. Lat. 1949	301,51	2,91	0,96%	1335-1336	2,91	2,91		0,3	0,1	0,3	0	0,2	1,6	0	0,4	0	0
14	Nouv. Acq. Lat. 1949	366,51	30,81	8,40%	1336-1337	30,81	311		0,3	0,4	0	8	1	1,6	0	16,8	2,9	0
15	Nouv. Acq. Lat. 1949	322,31	12,81	3,97%	1337-1338	12,81	131		0	0,1	8,3	0	1	2	0,3	1,1	0	0
16	Nouv. Acq. Lat. 1949	249,91	5,81	2,32%	1338-1339	5,81	5,81		0	2,3	0	0	1,9	0	0	1,6	0	0
17	Nouv. Acq. Lat. 1950	260,81	8,91	3,41%	1339-1340	8,91	91		0,4	0,2	2,8	2,5	0	1,6	0	0	0	1,5
18					lacune	01	01											
19	G 1559	558,41	19,81	3,55%	1366-1367	19,81	201		7,2	1,3	3,3	1,7	2,1	3,6	0	0,7	0,1	
20	G 1559		9,91		1367-1368	9,91	101		3,1	0,2	1,2	0	2,5	1,3	0,6	1	0,1	
21					lacune	01	01											
22	Bib. Nat. lat. 9112	4041	20,71	5,12%	1372-1373	20,71	211		5,3	5,3	0	1	1	7,8	0	0	0,3	
23	Bib. Nat. lat. 9112	163,21		0,00%								0						
24	Bib. Nat. lat. 9113	4051	10,11	2,49%	1373-74	10,11	101		2,7	2,8	0,8	0	1,5	1,3	0	1	0	
25					lacune	01	01											
26	A.N. KK 398B	544,41	141,11	25,92%	1375-76	141,11	1411		1	0,1	0,1	133,9	1	1,6	0	0	3,6	
27	voir biblio				lacune ?	01	01											
28	Bib. Nat. lat. 9113	3661	991	27,05%	1377-1378	991	991		2	3	0,1	73,5	1,2	10,8	0	7	1,4	
29	Bib. Nat. lat. 9113	550,51	117,11	21,27%	1378-1379	117,11	1171		0,2	2,5	0,9	99,5	1,6	6,9	0	0	5,5	
30	G 1559	5961	951	15,94%	1379-1380	951	951		0	17,4	0,5	66,3	0,2	1,1	0	8,3	1,2	
31	Bib. Nat. lat. 9112	4301	40,21	9,16%	1380-1381	40,21	401		0,7	3,1	0,6	25,7	4,5	5,4	0	0,2	0	

Figure 9 : Exemple de fichier récapitulant le détail des dépenses pour forges sur l'ensemble des années comptables d'une église.

Etude du bâti par prospections

Le repérage et la constitution d'une base de données

La seconde étape de ce travail est de relever les occurrences du fer dans les églises médiévales troyennes et rouennaises. L'approche a donc tout d'abord consisté en une prospection sur l'ensemble de chaque édifice, afin de recenser tous les éléments de fer qu'il était possible d'appréhender. Tous ont été rentrés dans une base de données présentée en Annexe 2. Visuelle dans un premier temps, cette prospection a porté une attention toute particulière aux vitraux et fenêtres des églises dont tous les éléments ont été comptabilisés et mesurés avec la plus grande précision afin d'en avoir une quantification la plus juste possible. Les autres éléments identifiés, agrafes, barres de fer, tirants et autres goujons ont également tous été photographiés et mesurés lorsqu'ils étaient accessibles. Lorsque cela était nécessaire, des relevés en plan ont également été réalisés pour certaines parties des édifices afin de comprendre l'agencement des éléments entre eux et avec la maçonnerie. Sauf mention contraire, l'ensemble des relevés, dessins et clichés photographiques sont de l'auteur. D'anciens relevés réalisés par les architectes en charge des chantiers de restauration à partir du XIX^e siècle ont également été utilisés pour permettre de situer les différentes pièces de fer. Enfin, une attention particulière a été donnée aux éléments de pierre brisés encore en place, qui laissent parfois apparaître des armatures de fer. Afin de compléter ces investigations, une prospection au détecteur de métaux a été faite, notamment pour tenter de déceler d'éventuels tirants intégrés à la maçonnerie et la présence d'éléments invisibles comme des agrafes ou des goujons. Les limites de cette prospection, notamment en termes de profondeur de détection et de précision, sont bien entendu intrinsèques à l'appareil. Les modèles que nous avons utilisés, deux détecteurs de type « poêle à frire », le premier de marque SCOPE pour les églises rouennaises et le second de marque MINELAB (EXPLORER III) pour les églises troyennes¹¹², permettent de détecter les éléments métalliques enfouis à une profondeur de 40 cm au maximum, lorsque l'objet est situé dans l'axe du détecteur. Cependant, plus l'élément détecté est profond, moins la précision de l'écho obtenu est importante et plus la localisation est donc approximative. Deux éléments distincts et distants d'une dizaine de centimètres environ peuvent par exemple donner un écho continu. L'EXPLORER III était

¹¹² Je remercie à ce titre P. Lemoine pour m'avoir aidé dans cette prospection à Rouen, en m'accompagnant avec son appareil sur les hauteurs des édifices.

équipé d'un récepteur sensible à la teneur en fer de l'objet-cible détecté. Fer et non ferreux donnent donc avec cet appareil des réponses sonores très différentes, permettant aisément de distinguer les armatures de fer des autres métaux. Les structures mixtes, comme un vitrail ou un armature de fer enrobée de plomb, donnent des réponses intermédiaires qui vont dépendre des quantités respectives de matériaux ferreux et non ferreux. Il est ainsi parfois possible avec cet appareil de détecter des éléments de fer même lorsqu'ils sont liés à d'autres métaux. Contrairement à l'EXPLORER III, la poêle à frire de marque SCOPE ne permettait pas de faire une discrimination entre les différents métaux. Ceci peut paraître problématique quand on sait les importantes quantités de plomb également employées dans les édifices gothiques, en particulier pour le scellement des fers. Elle a donc surtout été employée pour mesurer le prolongement de certains éléments de fer dans la maçonnerie (cf. Figure 10), ainsi que pour vérifier le caractère systématique de l'emploi de goujons ou d'agrafes, qui avaient été repérés à par endroits grâce à des observations faites sur des blocs de pierre brisés. Sans ces informations, les échos obtenus ne pouvaient faire la part entre un fer, un plomb, et un fer lié au plomb. Pour certaines configurations de la maçonnerie, on a parfois supposé une utilisation conjointe des deux métaux car, d'après les observations réalisées, cela semble être la situation la plus fréquente pour la liaison des pierres à l'intérieur de la maçonnerie. Ces prospections au détecteur de métaux n'ont cependant pas pu être réalisées aux abords de certaines structures qui aurait pourtant mérité étude : les vitraux. En effet, le champ magnétique dégagé par les armatures de fer et le réseau de plomb du vitrail est bien trop important et brouille tous les autres signaux dans un rayon d'un bon mètre. Cela s'est trouvé particulièrement gênant à l'église Saint-Ouen et à la cathédrale de Troyes, qui possèdent des triforiums vitrés, qui, en les ajoutant aux nombreux câbles électriques des systèmes d'éclairage présents à ce niveau, ont rendu toute prospection impossible.

Les limites des investigations, tant visuelles qu'à l'aide des poêles à frire, sont directement liées aux facilités de déplacement sur les édifices. En l'absence d'échafaudages, de nombreuses parois, intérieures comme extérieures, restent hors d'atteinte. Si les éléments sont parfois visibles, il est impossible de mesurer leurs dimensions. De même, en l'absence de grand chantier de restauration, l'intérieur des maçonneries est insondable. L'apport des prospections au détecteur de métaux ne permet pas de pallier ce manque, notamment pour toutes les parois qui restent inaccessibles. Même à l'aide d'une petite échelle, le rayon d'action avec le détecteur n'est que de 3 à 4 m au dessus du niveau de chaque passage. A la cathédrale de Rouen, de Troyes ainsi qu'aux églises Sainte-Madeleine et Saint-Urbain de Troyes, les prospections ont du se limiter aux couloirs de circulation, en général présents à

chaque étage ainsi que dans les éventuelles tours. L'église Sainte-Madeleine a vu des prospections réduites faute d'accès. Seule la tour située sur le bras sud présentait de tels passages. Aux églises Saint-Ouen, Saint-Maclou de Rouen et Saint-Jean-au-Marché de Troyes, en plus de ces couloirs, nous avons pu bénéficier de la présence d'échafaudages grâce à des chantiers de restauration. A Saint-Ouen et à Saint-Maclou, ces chantiers se situaient au niveau des tours de la croisée et ont permis d'accéder aux parois extérieures à différentes hauteurs. A Saint-Jean-au-Marché de Troyes, le chantier prévoyait la restauration des façades nord et sud du chœur de l'église. Initialement du côté nord, les échafaudages ont été déplacés sur la façade sud au cours de nos prospections, permettant ainsi un accès au chéneau du comble haut, trop étroit pour être emprunté en temps normal, ainsi que par endroits aux parements des façades sur presque toute la hauteur de l'édifice. Les soubassements des charpentes du bas-côté sud et du vaisseau central ont également pu être appréhendés, car la couverture et certaines pièces de bois faisaient partie des restaurations effectuées. Cependant, là où l'archéologue gagne en accessibilité, le détecteur de métaux perd en efficacité. Tout comme aux abords des vitraux et des réseaux électriques, il est en effet impossible d'utiliser un détecteur de métaux sur un échafaudage lui-même fait de métal.



Figure 10 : Prospections au détecteur de métaux au niveau de barlotières-tirants et de balustrades, église Saint-Ouen.

Le recensement des éléments de fer effectué, s'il se veut donc le plus représentatif possible des différentes utilisations du fer dans ces monuments, n'a toutefois aucunement la prétention d'être totalement exhaustif. Tous les éléments de fer qui ne sont pas susceptibles d'intervenir structurellement à quelque niveau que ce soit, à savoir les gonds de porte, les grilles de fer et autres éléments de serrurerie au sens actuel du terme ainsi que l'emploi des clous, qui ne sont pas des pièces structurelles à proprement parler, ont donc volontairement été laissés de côté. De plus, ce type d'investigation et la méthode utilisée ont en effet les limites intrinsèques qui viennent d'être décrites. Afin de pouvoir espérer mettre en évidence une plus grande partie des éléments éventuellement enfouis dans les maçonneries, deux outils auraient été nécessaires : une nacelle auto-portante, afin d'accéder aux parties hautes sans être limité aux seuls couloirs de circulation et un appareil de détection radar, seul instrument véritablement adapté pour le sondage des maçonneries lorsqu'elles dépassent une certaine épaisseur. Le coût financier de ces méthodes ainsi que la difficulté technique et logistique qu'elles représentaient nous ont fait renoncer à les employer.

Suite à ce repérage des éléments, diverses problématiques se posent : quantifier la masse de fer présente dans une partie ou dans la totalité de l'édifice, identifier la présence de certains chaînages sans démonter les maçonneries ou encore apporter une datation absolue ou relative aux éléments de fer découverts.

Le phasage des éléments de fer

Une des nombreuses problématiques de ce travail est de réaliser un phasage des structures en fer découvertes. Ce phasage ne consiste pas en une série de datations au sens le plus strict du terme, mais consiste à évaluer la contemporanéité des armatures de fer avec le bâti dans lequel elles s'insèrent. Pour cela, plusieurs moyens ont été utilisés.

Tout d'abord certains aspects stratigraphiques du bâti ont été pris en compte. Ainsi, une agrafe ou une barre passant sous une pile, un socle de colonne ou dans une maçonnerie n'ayant pas été restaurée, a nécessairement été mise en place antérieurement (cf. Figure 11). Il est évident que dans un système d'agrafes sur un sol de circulation, l'ensemble des agrafes ne passe pas sous les piles, cependant, une seule agrafe suffit pour attester de l'authenticité du système. Afin de déterminer, dans certains cas, les parties du bâti qui sont encore en place et les restaurations, une observation par comparaison des enduits et des marques d'outils a été nécessaire. Il n'a pas s'agit de faire de manière systématique une étude d'archéologie du bâti avec des relevés précis de l'ensemble des structures, mais plutôt d'utiliser les informations disponibles, afin de donner une datation relative et de proposer éventuellement une datation

absolue. Parfois, il est bien impossible d'arguer de la datation des éléments de fer découverts. En l'absence d'autres informations, des agrafes sur une balustrade peuvent avoir été mises en place juste après l'élévation de la balustrade ou plusieurs centaines d'années plus tard.

Outre le bâti, les mentions découvertes dans les archives médiévales, modernes ou contemporaines permettent parfois de dater des éléments identifiés sur place. Enfin, pour les parties les plus anciennes de nos édifices (XIII^e et XIV^e siècles), la discrimination des procédés de réduction par l'analyse des inclusions permet de déterminer si le fer est issu d'une restauration postérieure ou s'il est a priori bien en place¹¹³.



Figure 11 : Agrafes passant dans ou sous un mur, église Saint-Ouen.

Les estimations des quantités de fer

Un aspect de ce travail consiste à tenter d'évaluer les quantités de fer présentes dans chaque édifice. Si une estimation globale est toujours difficile à proposer, à cause des nombreux éléments enfouis dont la présence est parfois insoupçonnée, des estimations locales, pour une partie ou l'autre de l'édifice, à partir de la mise en évidence du caractère systématique d'une utilisation particulière du fer, ont pu être faites plus fréquemment. En l'absence de prélèvement complet des éléments considérés permettant de les peser, la masse

¹¹³ Voir « étude métallographique ».

de fer a toujours été calculée à partir du volume de la pièce par la formule suivante :

$$m = \frac{v * 7,8}{1000} \text{ où } m \text{ est la masse, } v \text{ le volume en cm}^3 \text{ et } 7,8 \text{ la densité du fer}^{114}. \text{ Le volume a}$$

quant à lui été obtenu en multipliant la surface s de la section de l'objet par sa longueur totale L , soit : $v = s * L$. La masse totale est ensuite obtenue en multipliant le nombre de pièces de fer supposées identiques.

Ce calcul trouve une application toute particulière pour les vitraux des églises, afin de tenter de déterminer les quantités de fer qu'ils contiennent actuellement. Pour chaque fenêtre, la largeur totale de la baie a été mesurée sur place et dans le cas d'une baie à lancettes multiples, la largeur moyenne d'une lancette a été estimée. Lorsque la fenêtre comportait des éléments de fer verticaux, leur hauteur a également été mesurée. Si les fenêtres étaient inaccessibles et que ces différentes dimensions ne pouvaient être déduites par la mesure d'une fenêtre identique, les données disponibles dans les *Corpus Vitrearum* de l'Aube et de la Seine-Maritime ont alors été utilisées¹¹⁵. Cependant, en comparant les longueurs données par cet ouvrage et les mesures réalisées sur place sur des fenêtres accessibles, une différence pouvant aller jusqu'à quelques dizaines de centimètres a été notée. C'est pour cette raison que les informations données par cet ouvrage n'ont été utilisées qu'en dernier recours. Cette situation fut néanmoins assez rare et n'influera pas sur l'ordre de grandeur final de la quantité de fer employée dans les vitraux d'un édifice, car la majeure partie des fenêtres, même hautes, sont accessibles. Seules les baies hautes de l'église Sainte-Madeleine n'ont pas pu être mesurées. Parallèlement à ces mesures de longueur, des sections moyennes ont été estimées pour chaque type d'élément différent : barlotières, barlotières-tirants, feuillard, vergettes. Pour l'ensemble tenon/clavette, un volume total a directement été estimé. Le nombre d'éléments par baie a ensuite été comptabilisé. Afin de faciliter le calcul pour les armatures de la partie supérieure du réseau, essentiellement des barlotières et des vergettes dont les longueurs peuvent être variables et ne correspondent pas à la largeur d'une lancette comme en partie inférieure, un nombre de barlotières ou de vergettes « équivalent en longueur » a été donné. De même pour les ronds, carrés et triangles de fer : leur circonférence a été estimée par rapport à la largeur des lancettes. Puis, par multiplication, une masse totale de fer par fenêtre est obtenue, et enfin par somme, la masse totale sur une partie ou sur

¹¹⁴ La formule donnée avec un volume en cm^3 à l'avantage d'être adaptée aux sections rencontrées pour les fers de construction.

¹¹⁵ *Corpus Vitrearum. Les vitraux de Champagne-Ardenne*, Paris, CNRS, 1992, 456 p. ; *Corpus Vitrearum. Les vitraux de Haute-Normandie*, Paris, CNRS, 2001, 494 p. ; LAFOND (J.), PERROT (F.), POPESCO (P.), *Corpus Vitrearum Medii Aevi. France. Volume IV.2/1, Département de la Seine-Maritime. Les vitraux de l'église Saint-Ouen de Rouen*, Paris, CNMH-CNRS, 1970, 256 p.

l'ensemble de l'édifice. Les masses ainsi obtenues sont des masses de fer visibles. L'ensemble de ces résultats est disponible en Annexe 4. Une augmentation d'environ 10 % permet de comptabiliser la longueur des ancrages¹¹⁶. L'erreur relative sur ces estimations ne doit pas excéder 10 %.

La question des tirants

Une des questions récurrentes, lorsque l'on étudie la mise en œuvre de tirants de fer dans les baies d'une église gothique, est de savoir s'ils forment des chaînages structurels enserrant à plusieurs niveaux la maçonnerie des édifices. On remarque que, pour un même groupe de fenêtres, ils sont bien souvent situés à la même hauteur d'une baie à l'autre donnant ainsi une impression de continuité. Il convient alors de déterminer s'ils sont effectivement reliés les uns aux autres à l'intérieur de la maçonnerie, soit par un système d'œil et de crochet, soit à l'aide d'une ancre ou encore par l'intermédiaire d'un élément tiers, comme une agrafe de raccord.

En l'absence d'un démontage partiel ou total de la maçonnerie au niveau de la pile, il est plutôt difficile d'appréhender cette liaison. En effet, il est tout d'abord impossible de suivre ces tirants au détecteur de métaux dans les piles, non seulement car la proximité du vitrail rend délicate toute prospection magnétique et mais aussi car les piles sont en général trop épaisses pour espérer détecter les tirants en leur cœur, fussent-ils continus. Le mode de détection le plus approprié pour ce type de recherche est la détection radar, qui permet d'avoir une image plus ou moins précise de l'ancrage en question. Elle est cependant difficile à mettre en place et très onéreuse, c'est pourquoi nous ne l'avons pas utilisée. Nous avons donc dû trouver des méthodes de prospections applicables de manière beaucoup plus systématique, afin de déterminer si ces barres sont éventuellement reliées les unes aux autres, formant ainsi des chaînages continus.

La première méthode consiste simplement en l'observation scrupuleuse des pierres dans lesquelles ces tirants sont ancrés. Si l'ancrage se fait au niveau d'un joint entre deux pierres, alors il est possible que le tirant se poursuive dans la maçonnerie à une plus grande profondeur. En revanche, lorsqu'un trou est creusé au milieu d'une face du bloc de pierre pour permettre l'ancrage du tirant, il est alors fort peu probable que les tirants soient liés entre eux (cf. Figure 12). En effet, il ne semble pas envisageable qu'un bloc ait été percé de part en

¹¹⁶ Elle correspond à un ancrage de 4 cm de chaque côté pour une barlotière de 80 cm et de 30 cm pour un tirant de 6 m de long, longueurs moyennes observées lors de restaurations. Ces chiffres seront discutés ultérieurement par l'apport de certains comptes.

part pour permettre le passage d'un tirant. Outre la fragilisation du bloc, cela engendrerait de nombreux problèmes de mise en œuvre. On peut donc en conclure que, dès lors que l'ancrage d'un tirant ne passe pas au niveau d'un joint de pierre, celui-ci n'est probablement ancré dans la maçonnerie qu'au maximum sur une dizaine de centimètres et ne peut donc être relié aux tirants adjacents.

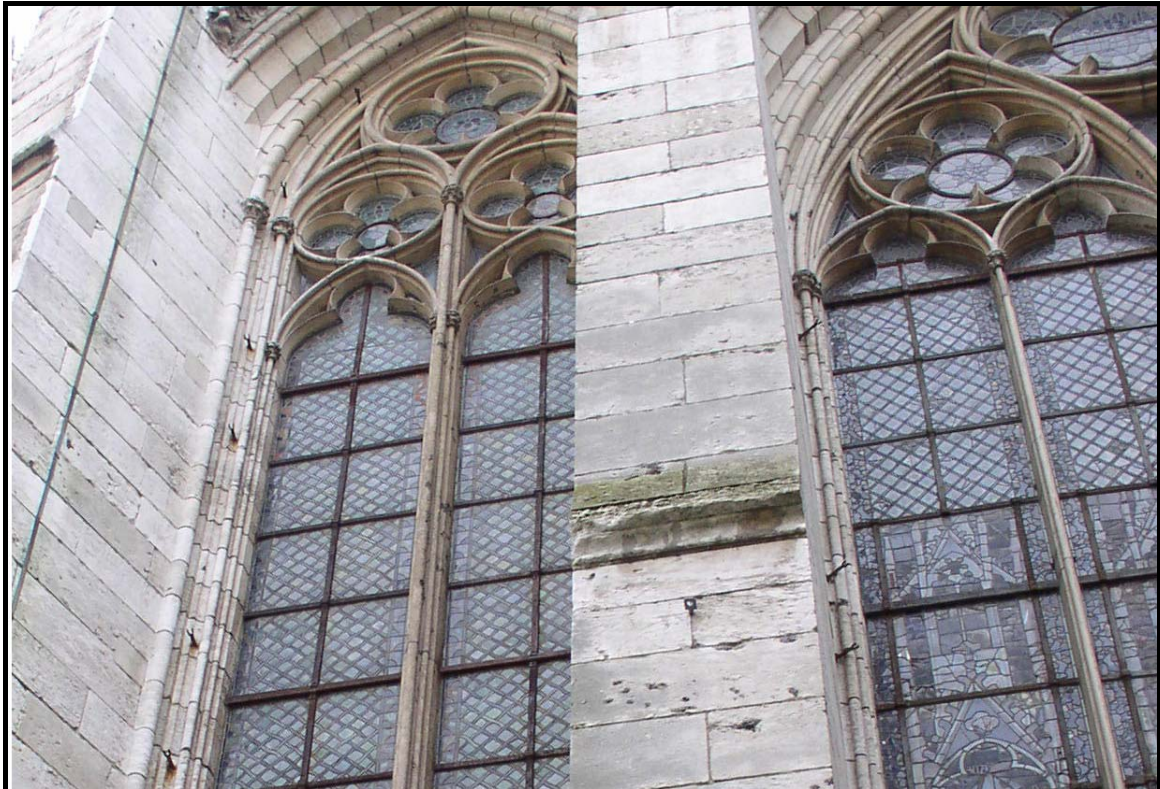


Figure 12 : Exemple de tirant s'ancrant au niveau d'un joint (tirant haut) et de tirant s'ancrant en pleine pierre et ne pouvant pas former de chaînage (tirant bas).

Une fois ces premières observations réalisées, qui permettent de réduire le nombre de chaînages potentiels, une autre méthode de prospection a été mise en place. Son principe est simple : il s'appuie sur la conductivité électrique des alliages ferreux. Si les tirants sont effectivement continus ou bien reliés deux à deux et en tension, la conductivité électrique doit être assurée. Au niveau pratique, un système constitué d'une petite lampe de poche (ampoule et pile de 4,5 V) reliée à deux fils électriques munis de deux pinces crocodiles à leurs extrémités a été mis en œuvre (cf. Figure 13). Un point de contact est réalisé sur les deux

éléments de fer à tester et les pinces y sont attachées : si la lampe s'allume, la continuité électrique, et donc mécanique, est assurée. Si la lampe ne s'allume pas, les deux éléments ne sont donc pas en contact direct. Cependant, il ne faut pas oublier que la goethite, produit de l'oxydation du fer, n'est pas conductrice et pourrait fausser les résultats de ces prospections. Quelques points sont donc à préciser. S'il est impossible de connaître l'état de corrosion des tirants à l'intérieur des maçonneries, il est toutefois fort rare d'avoir des tirants complètement corrodés sur toute l'épaisseur de leur section, surtout avec les types de scellements utilisés au Moyen Age, comme le scellement au plomb qui prévient bien de la corrosion. Des tests ont été réalisés sur des pièces encore en tension à la cathédrale de Troyes ; la conductivité était bien conservée¹¹⁷. Pour conclure, si la lampe ne s'allume pas :

- soit les tirants ne sont pas liés, il n'y a donc pas de chaînage ;
- soit les tirants sont liés, mais ils ne sont plus - ou n'ont jamais été - en tension et une couche d'oxydation suffisamment importante s'est formée au niveau du contact entre les deux éléments.

Comme expliqué précédemment, ce type de prospection est dans tous les cas fort dépendant de la situation des éléments dans l'édifice. Dans les plus grandes baies, les barres les plus hautes des fenêtres, situées à plusieurs mètres de hauteur, n'ont le plus souvent pas pu faire l'objet d'une étude pour des raisons d'accessibilité évidentes.

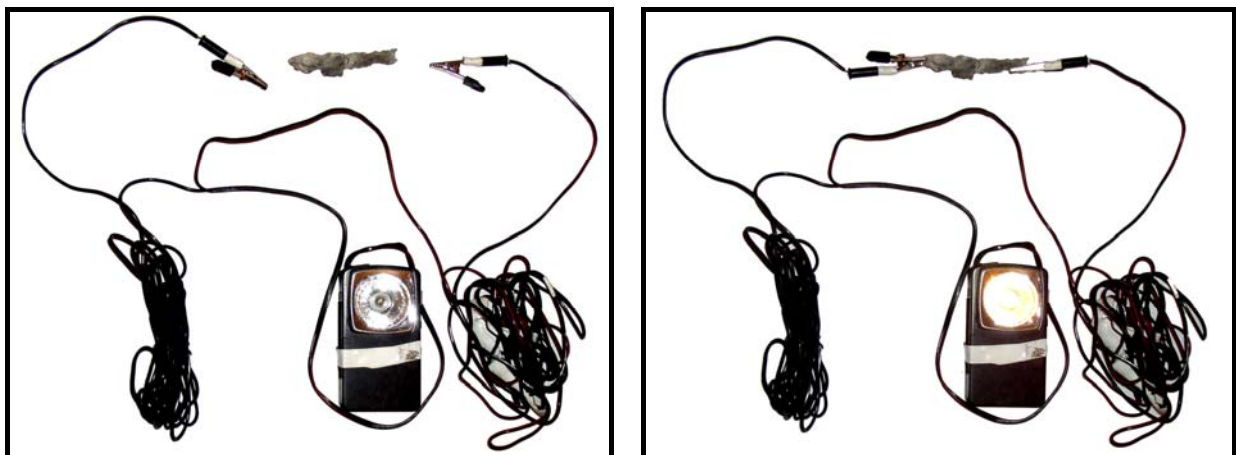


Figure 13 : Système utilisé pour déterminer la continuité électrique des tirants.

¹¹⁷ Tests réalisés :

- à la cathédrale de Troyes sur le cerclage présent dans la tourelle d'escalier située dans l'angle nord-est du croisillon nord du transept, à hauteur du plafond du triforium ;
- à la cathédrale d'Amiens, sur différents éléments des chaînages présents dans le triforium.

Etude métallographique

Il s'agit, par l'intermédiaire de l'analyse métallographique d'un corpus de fers prélevés sur les églises troyennes et rouennaises, de tenter de répondre aux deux principales interrogations liées au matériau préalablement soulevées dans la problématique. La première de ces questions concerne la nature du matériau employé dans la construction : s'agit-il de fer, d'acier, d'un mélange des deux ? La matrice de ces fers contient-elle beaucoup d'inclusions non métalliques ? Le phosphore y est-il présent en grandes quantités ? Ces différentes caractéristiques de la structure métallographique des objets ferreux permettent d'aborder la notion de qualité de ces matériaux qui peut être extrêmement variable¹¹⁸. Cette « qualité » pourra éventuellement être mise en relation, d'une part avec les prix trouvés dans les comptes et d'autre part avec le comportement mécanique du métal et son usage dans le bâtiment. Existe-t-il des emplois de matériaux spécifiques à des endroits précis de leur structure ? La seconde question est liée à l'étude des différentes étapes de la chaîne opératoire menant du minerai au produit métallique fini ou semi-fini et en particulier à l'influence de l'introduction du marteau hydraulique et de la filière de réduction indirecte à la fin du Moyen Age. On tentera donc, par le biais de ces analyses, d'identifier dans le matériau les éventuelles relations entre ses caractéristiques et les deux grandes mutations de la métallurgie médiévale.

Constitution du corpus d'étude

Afin d'aborder ces problématiques, nous avons eu la possibilité d'effectuer 74 prélèvements d'éléments de fer (cf. Tableau 1) grâce au concours de différents organismes, comme les S.D.A.P. de la Seine-Maritime et de l'Aube, les ateliers de restauration Legrand (Rouen), mais également grâce au soutien et par l'accord des Conservations Régionales des Monuments Historiques et de M. E. Pallot et D. Moufle, Architectes en Chef des Monuments Historiques. Pièces parfois entières, lorsqu'il s'agissait d'éléments déjà déposés consécutivement à des restaurations, ou fragments centimétriques de fers encore en place dans le bâtiment, mais ne jouant plus de rôle statique, le corpus est très varié et concerne toutes les périodes de construction, allant du début du XIII^e siècle jusqu'aux restaurations du XIX^e siècle. Tous les spécimens sont soumis au même protocole de

¹¹⁸ Dans le terme « qualité » il ne faut entendre aucun jugement de valeur. On entend ici plutôt « type de structure métallographique ».

préparation. Après découpage, la zone sélectionnée est enrobée à froid sous résine, puis la surface à examiner fait l'objet d'un dégrossissage et prépolissage aux papiers de carbure de silicium (SiC), grades 80 à 4000. Le polissage final se fait à la pâte diamantée, 3 et 1 μm , afin d'obtenir un poli miroir qui permet l'observation de la section au microscope optique en réflexion.

Edifice	Nombre de prélèvements
Eglise Saint-Ouen de Rouen	24
Cathédrale de Rouen	15
Cathédrale de Troyes	15
Eglise Sainte-Madeleine de Troyes	13
Eglise Saint-Jean-au-Marché	6
Eglise Saint-Maclou	1
Eglise Saint-Urbain	0
Total	74

Tableau 1 : Nombre de prélèvements effectués pour analyses métallographiques par édifice.

Etude du matériau

Le premier questionnement porte sur la caractérisation de la composition et de la microstructure des fers de construction employés. L'étude de la nature du matériau passe par la mise en œuvre de plusieurs méthodes, qui relèvent en général des techniques d'analyse utilisées de manière classique en métallographie¹¹⁹.

Chaque section fait tout d'abord l'objet d'un premier repérage au microscope optique afin d'évaluer la propreté inclusionnaire, c'est-à-dire la proportion d'inclusions présentes dans la matrice métallique (nombre, dimensions...) et de détecter d'éventuelles lignes de soudure. Pour tenter de sortir des caractérisations assez subjectives de la propreté inclusionnaire pour les objets archéologiques, une nouvelle méthodologie descriptive a été

¹¹⁹ Citons par exemple les méthodes employées par J. Piaskowski pour l'étude de nombreux corpus d'objets. Voir entre autres PIASKOWSKI (J.), « Metallographic examinations of ancient and medieval iron implements found on the territories of Poland », dans PLEINER (R.), éd., *Archaeometallurgy of iron 1967-1987, Symposium Liblice 1987*, Prague, 1987, p. 407-427.

mise en œuvre¹²⁰ ; elle s'appuie sur la norme AFNOR NF A04-106, corrigée d'un facteur 10, ce qui permet de garder les mêmes images types données par cette dernière (cf. Figure 14 et Figure 15)¹²¹. Le protocole appliqué est le suivant. L'objet, une fois poli, est observé à la loupe binoculaire. Des photographies de toute la surface sont réalisées de telle manière que la surface de chaque photographie soit un cercle de diamètre 8 mm¹²². Ces images sont ensuite agrandies d'un facteur 10 et comparées aux images types de la norme AFNOR de même diamètre, soit 8 cm. A chaque image est affecté un numéro de 1 à 5 suivant la quantité et la taille des inclusions, auquel est ajouté une étoile (*) pour ne pas confondre la norme AFNOR et sa modification¹²³ (cf. Figure 15). Les inclusions sortant du cadre de la norme sont notées à part. Les résultats peuvent ensuite être présentés sous forme d'histogramme et de moyenne. Si l'objet possède une excellente propreté inclusionnaire (1* en moyenne), il se prête alors à une étude selon la norme AFNOR sans modification.

Ensuite, l'attaque au réactif Nital 4 % révèle la structure métallographique de l'échantillon, avec ses différents degrés de carburation. Les observations sont faites à la fois en macroscopie et en microscopie optique. La localisation des zones aciérées qui prennent parfois la forme de structures en bandes (SB) est notée. De même, les structures particulières traduisant l'utilisation d'un procédé thermochimique spécifique (trempe, cémentation...). Le réactif Nital est également susceptible de révéler des « structures fantômes » (SF)¹²⁴, apparaissant lorsque l'on fait légèrement varier la mise au point de l'image. Elles sont en fait de légères variations de la teneur en phosphore dans la matrice métallique de l'objet et caractérisent en outre sa nature phosphoreuse pour des teneurs entre 1000 et 4000 ppm¹²⁵. Des photographies représentatives de chaque type de zone identifiées sont réalisées (cf. Figure 16), puis un dessin de la structure métallographique globale de chaque échantillon.

¹²⁰ Il n'est en effet pas possible de juger de cette propreté inclusionnaire selon des critères de métallurgie contemporaine : actuellement, les quantités et les tailles des inclusions sont bien inférieures à celles rencontrées dans les fers avant l'apparition des procédés d'élaboration en phase liquide (Bessemer, Thomas – deuxième moitié du XIX^e siècle).

¹²¹ Voir POKORNY (A.), POKORNY (J.), *Inclusions non métalliques dans l'acier*, Techniques de l'ingénieur, traité Matériaux métalliques, doc. n° M220, Paris, 1998, 36 p.

¹²² Dans la norme AFNOR, il s'agit initialement d'un cercle de diamètre 0,8 mm.

¹²³ Nous n'avons pas utilisé les séries "fines" et "épaisses" de la norme AFNOR, correspondant à l'épaisseur des inclusions, qui apparaissaient trop peu représentatives.

¹²⁴ BUCHWALD (V. F.), WIVEL (H.), « Slag analysis as a method for the characterization and provenancing of ancient iron objects », *Materials Characterization*, 40, New York, 1998, p. 73-96.

¹²⁵ STEWART (J. W.), CHARLES (J. A.), WALLACH (E. R.), « -Iron-phosphorus-carbon system, Part 3- Metallography of low carbon iron-phosphorus alloys », *Materials Science and Technology*, vol. 16, Cambridge, 2000, p. 291-303.

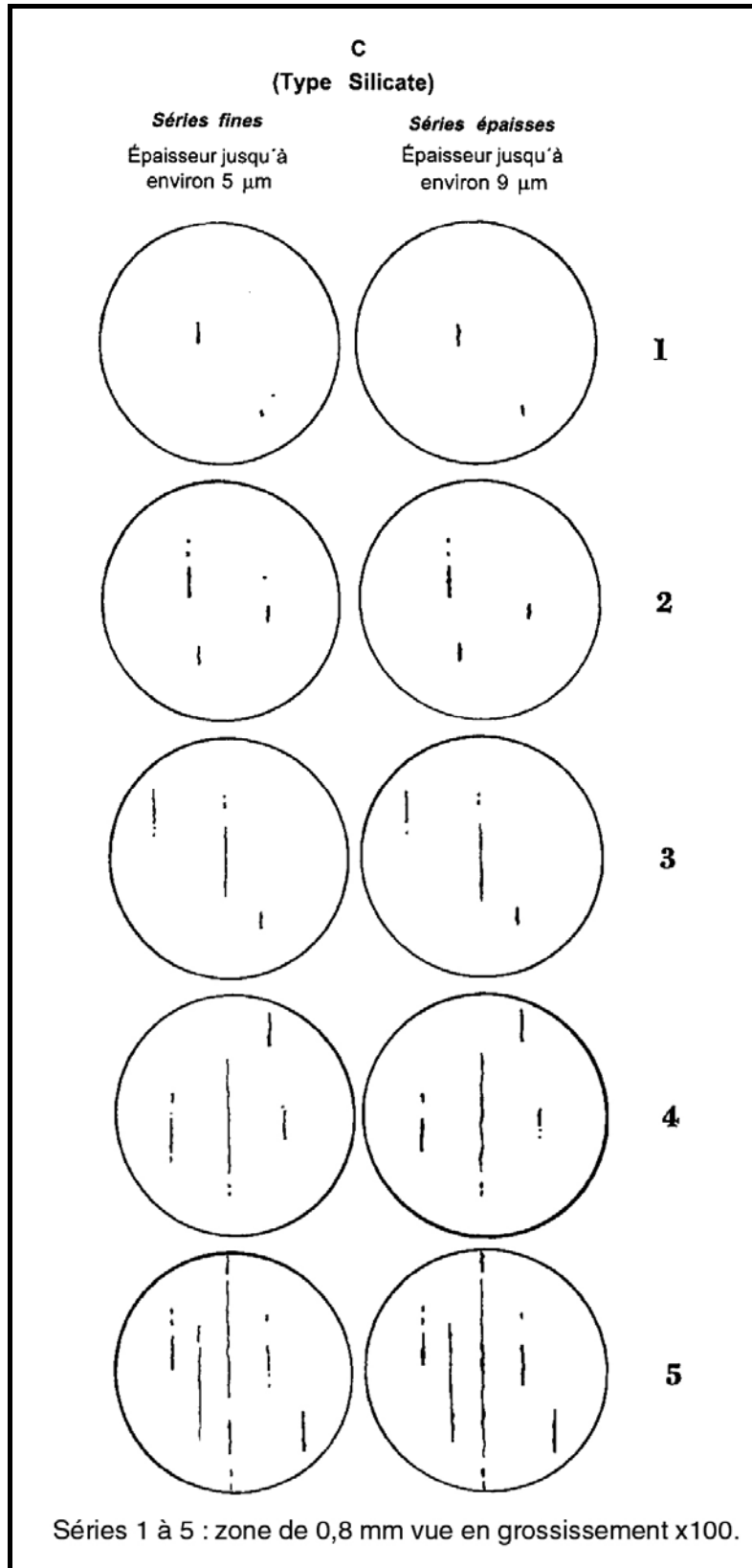


Figure 14 : norme AFNOR NF A04-106.

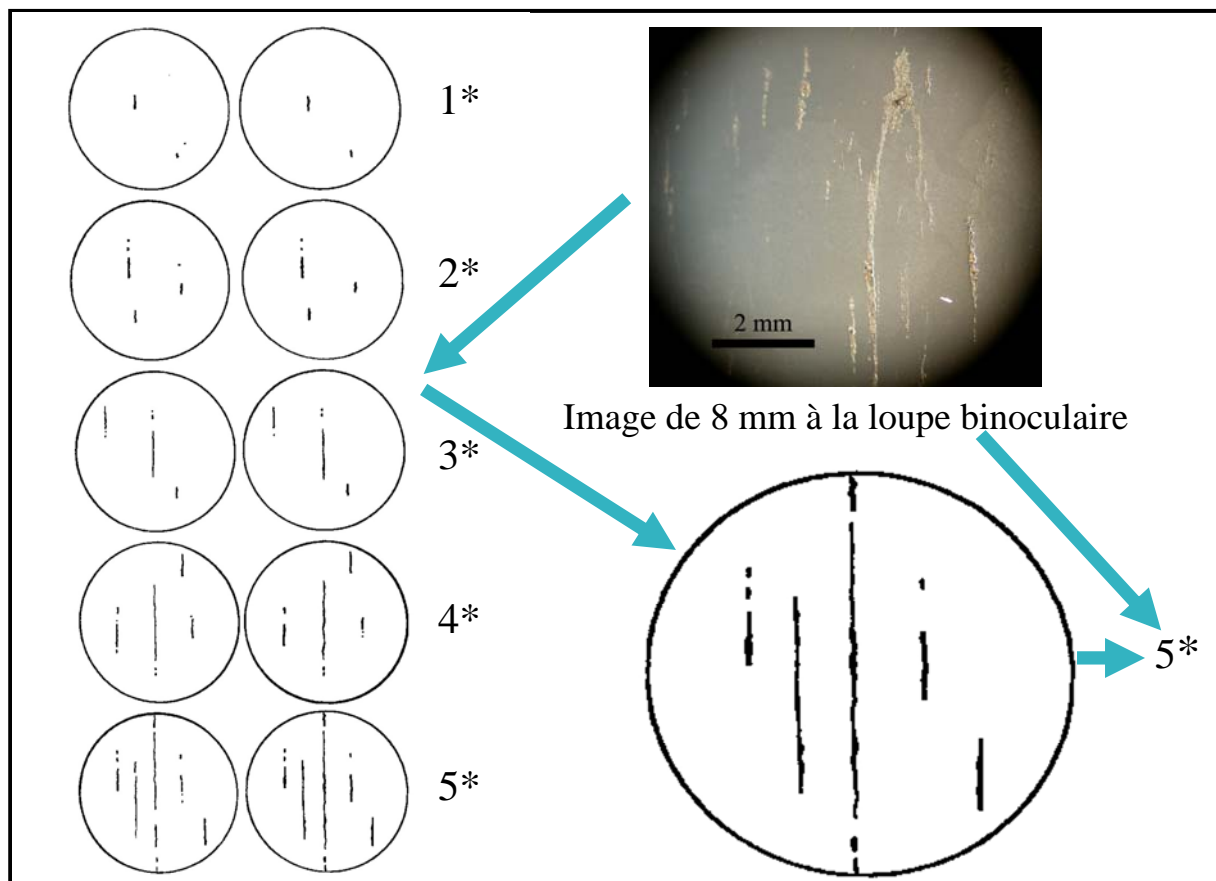


Figure 15 : Modification de la norme AFNOR NF A04-106 et exemple d'application.

Après un nouveau polissage, la répartition quantitative du phosphore dans la matrice est également mise en évidence par attaque au réactif cuivrique de Oberhoffer pour les échantillons ferritiques. Les observations sont de nouveau faites à la fois en macroscopie et au microscope optique, avec photographie des éventuelles structures caractéristiques. Enfin, pour quelques uns d'entre eux, les éléments mineurs de la matrice métallique et en particulier le phosphore, ont été dosés en Spectrométrie X Dispersive en Longueur d'Onde (WDS pour Wavelength Dispersive Spectrometry) à la microsonde de Castaing.

L'ensemble de ces techniques d'analyses permet de classer les différents échantillons suivant leurs teneurs en carbone, mais aussi leur éventuelle nature phosphoreuse caractérisée par dosages ou par la présence de structures fantômes. La définition de l'indice de propreté inclusionnaire révèle également la qualité du travail de cinglage de la loupe, destinée à expurger les inclusions. Enfin les ultimes étapes du travail de forge peuvent être appréhendées, en particulier les éventuels procédés thermo-chimiques employés par le

forgeron pour améliorer les caractéristiques mécaniques de son matériau. Ces analyses permettent donc dans un premier temps d'aborder la nature du travail effectué par les ouvriers du fer ainsi que la qualité du produit fini pour les mettre en regard avec son utilisation dans le bâtiment.

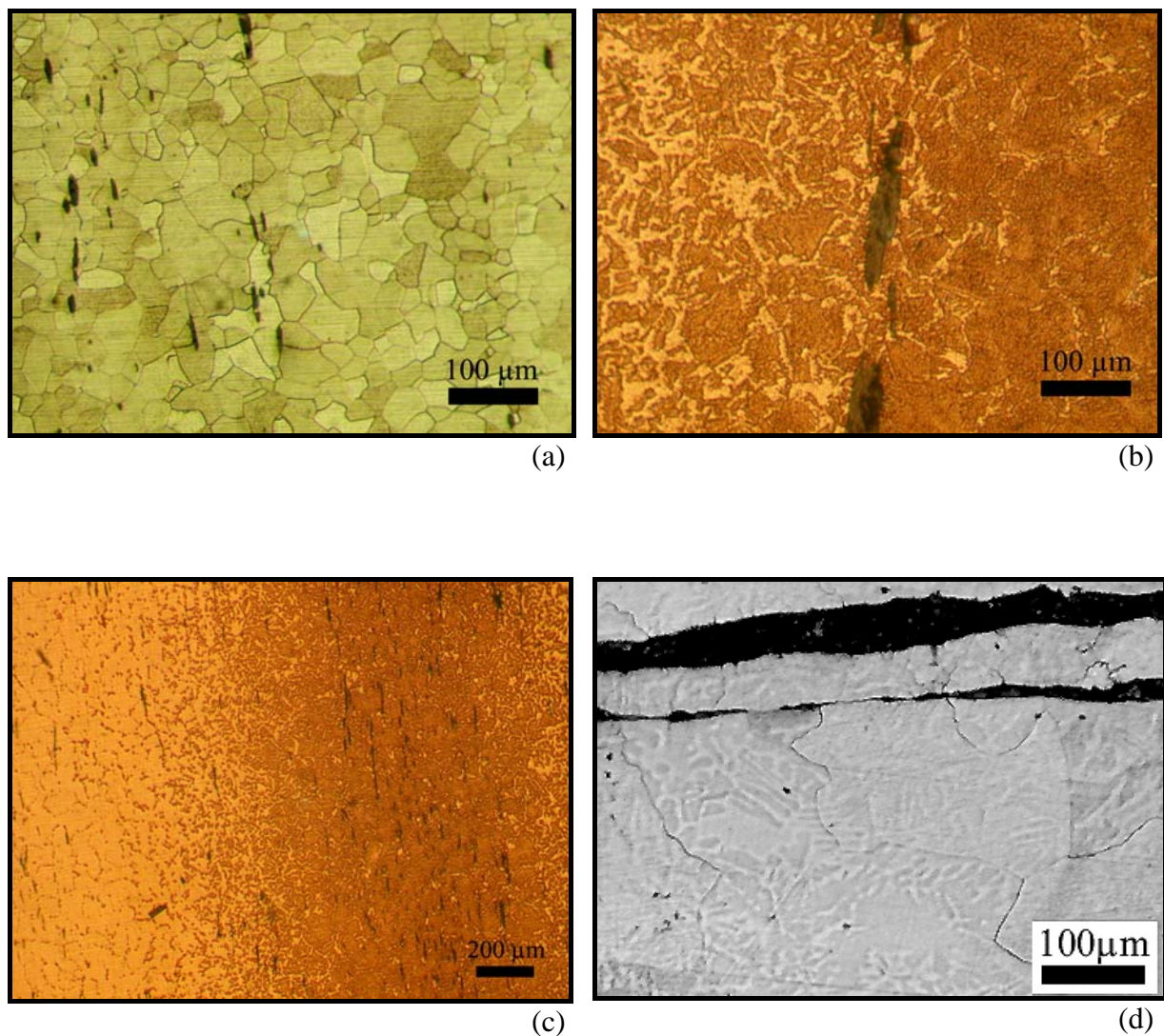


Figure 16 : Différents types de structures métallographiques. (a) ferrite, (b) perlite, (c) zone de transition, (d) structures fantômes. En noir, inclusions non métalliques.

En revanche, si cette notion de qualité du matériau a bien été abordée, aucun essai de résistance des matériaux n'a été réalisé sur les objets du corpus. La principale raison réside dans les petites dimensions des éléments de fer analysés, bien trop faibles pour qu'ils soient soumis aux tests de traction. Aussi devons nous nous contenter de faire référence aux études existantes¹²⁶.

L'origine du matériau

Le second questionnement porte davantage sur l'origine du matériau et la caractérisation des procédés métallurgiques dont il est issu. Les méthodes développées pour tenter de répondre à cette problématique se concentrent sur l'étude de la composition des inclusions non métalliques. Leur présentation nécessite en premier lieu de revenir sur les mécanismes de formation de ces inclusions.

D'après les conditions locales de température et de pression au sein du fourneau, les composés présents dans le minerai, mais provenant aussi d'autres parties du système, comme le charbon de bois ou les parois du four, seront plus ou moins réduits pendant l'opération de réduction. Le Tableau 2 et la Figure 17 montrent le comportement des éléments majeurs pour les deux chaînes opératoires, la filière directe et la filière indirecte.

Elément	Procédé direct	Procédé indirect / Réduction	Procédé indirect / Affinage
Fe	(M/O)	M*	M/O
Si	O	(M/O)	O
Mn	O	M/O (sulfates)	O
Al	O	O	-
P	(M/O)	M Fe ₃ P	(M/O)
Ca	O	O	-
K	O	O	-
Ti	O	(M/O) Carbonitrides	O

Tableau 2 : Comportement de certains composés présents dans le minerai et le charbon pendant la chaîne opératoire. M : totalement ou principalement réduit, O : principalement non réduit (M/O) : plus ou moins réduit suivant les conditions locales dans le fourneau.

* La teneur en oxydes de fer des laitiers est très faible (< 10 %mass).

¹²⁶ JUHIN (A.), *Structure métallographique et comportement mécanique des tirants de fer du donjon du château de Vincennes*, Mémoire de M2 de Science des matériaux et nano objets (universités Paris 6 Pierre et Marie Curie et Paris-Sud 11) sous la direction de Ph. DILLMANN et I. GUILLOT, 2005, 129 p.

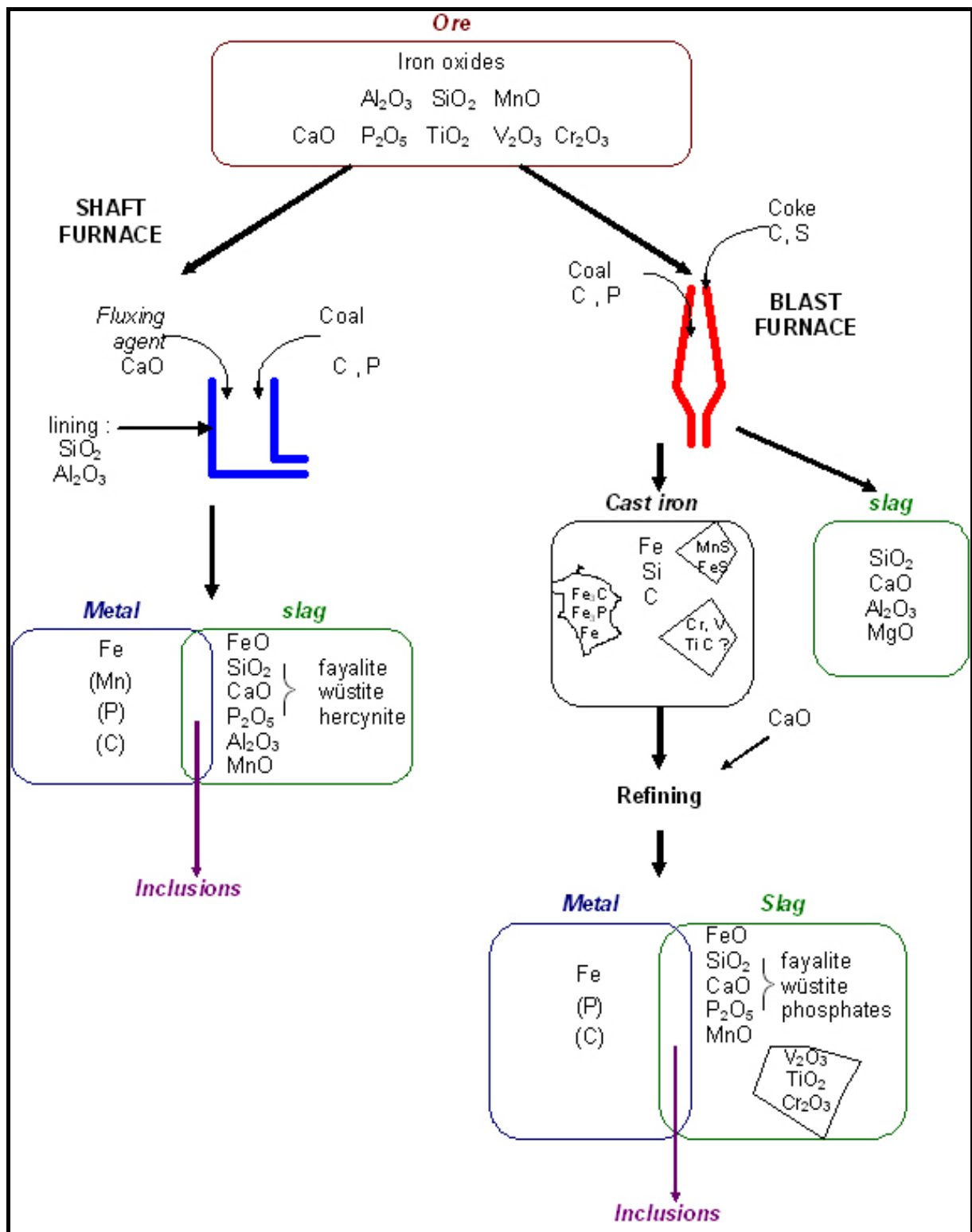


Figure 17 : Partition des éléments et phases formées en fonction des procédés de réduction, d'après Ph. Dillmann¹²⁷.

¹²⁷ DILLMANN (Ph.), FLUZIN (Ph.), CHEVALLIER (P.), « Determination of iron making... », *op. cit.*

Pour le procédé direct, certains composés comme les oxydes de fer et de phosphore sont plus ou moins réduits et leur teneur dans la scorie, et donc dans les inclusions, dépend directement du rendement de la réduction. Pour le procédé indirect, les oxydes de fer, de silicium et de phosphore sont totalement réduits dans la fonte ; pour ces éléments, ce sont les conditions de l'affinage qui vont influencer la composition finale des inclusions provenant de cette étape. En revanche, certains composés ne sont pas réduits au cours de l'opération de réduction ou sont, dans le cas de la filière indirecte, complètement réoxydés à la fin du processus. Ils sont appelés « composés non réduits ». Les oxydes de magnésium (MgO), aluminium (Al₂O₃), potassium (K₂O) et calcium (CaO) sont les plus pertinents pour les deux procédés, ainsi que l'oxyde de silicium (SiO₂) pour la filière directe, car ils sont présents en quantités détectables à l'EDS (pour Energy Dispersive Spectrometrie)¹²⁸. Ainsi, s'ils sont présents dans le système au cours de la chaîne opératoire, soit dans le minerai, les parois du fourneau ou le charbon, ces composés non réduits se retrouveront dans les scories et les inclusions. De plus, pour une opération de réduction donnée, les différents rapports entre ces éléments ne sont pas susceptibles d'évoluer dans les scories macroscopiques en fonction de la variation locale de rendement de la réduction des oxydes de fer. Ils ont donc peu de chance d'être identiques pour deux opérations de réduction distinctes avec des minerais différents. Dans les inclusions, du fait de la fragmentation de celles-ci durant les divers processus de post-réduction de la chaîne opératoire, cette constance des rapports est néanmoins susceptible de se perdre. Cependant, il a été montré que, dans certains cas favorables, ce rapport était remarquablement conservé¹²⁹. Ces observations sur des fers archéologiques ont été confirmées par l'apport de l'archéologie expérimentale : les rapports entre les différents composés non réduits n'évoluent pas de la loupe de fer aux différents produits semi-finis obtenus. Ils ne changent pas non plus pour deux opérations réalisées avec le même système minerai-argile-charbon, preuve que ces rapports constituent une sorte de signature du système (cf. Figure 18)¹³⁰. Ceci implique, pour un lopin qui présenterait des zones hétérogènes (fer/acier), une origine commune (même réduction) de ces différentes zones. Certaines structures, notamment les structures en bandes, seraient donc éventuellement la conséquence d'une hétérogénéité intrinsèque au lopin de fer utilisé et non nécessairement la marque du

¹²⁸ Un Microscope Electronique à Balayage est couplé au système de détection par EDS. Tous les appareils et techniques de dosage employés sont explicités en Annexe 5.

¹²⁹ L'HERITIER (M.), *Approches typologique et archéométallurgique...*, op. cit., p. 118 ; L'HERITIER (M.), DILLMANN (P.), BENOIT (P.), « Analyse métallographique de fers à cheval médiévaux. Mise en forme et origine du métal. », *La Revue d'Archéométrie*, 27, 2003, p. 193-206.

¹³⁰ DILLMANN (Ph.), L'HERITIER (M.), « Tracing supply and smelting processes by slag inclusions analyse of ferrous alloys employed for the construction of French medieval monuments », *Journal of Archaeological Science*, sous presse.

corroyage de morceaux de fer et d'acier d'origines différentes dans une optique de recyclage¹³¹. De même, certaines lignes de soudure doivent, d'après l'homogénéité des inclusions, plutôt être interprétées comme les marques d'un repli effectué à la forge pendant la phase d'épuration. D'autres études montrent par ailleurs que, lorsqu'il s'agit au contraire d'une soudure de matériaux d'origines différentes, les rapports considérés sont en général bien distincts (cf. Figure 19)¹³².

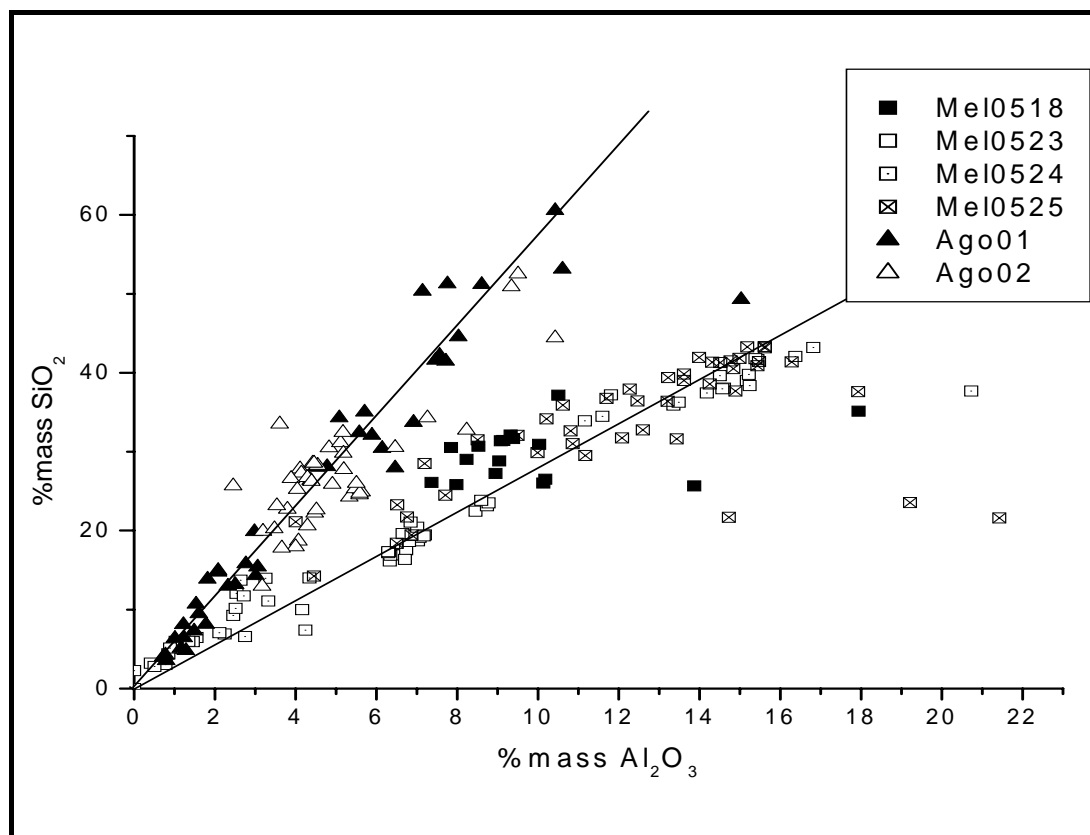


Figure 18 : Mise en évidence de la signature chimique d'un système par archéologie expérimentale (Agorregi et Melle)¹³³

¹³¹ L'HERITIER (M.), DILLMANN (Ph.), BENOIT (P.), « Premiers résultats métallographiques sur les fers de construction de la cathédrale Notre-Dame de Rouen. », dans HERVIEU (J.-P.), DESIRE dit GOSSET (G.) ; BARRE (E.), éd., *Les arts du feu en Normandie, Actes du 39^e Congrès organisé par la Fédération des Sociétés historiques et archéologiques de Normandie (Eu, 21-24 octobre 2004)*, Caen, Annales de Normandie, 2005, p. 287-314.

¹³² L'HERITIER (M.), DILLMANN (P.), BENOIT (P.), « Analyse métallographique... », *op. cit.* ; DILLMANN (Ph.), ARANDA (R.), L'HERITIER (M.), FLUZIN (Ph.), « Forging of iron-steel artefacts: archaeology, experiments and archaeometry », *1st International Conference of Paleosiderurgy and industrial Heritage Recovery. Iron, history and heritage, 11-13 Mai 2005*, soumis.

¹³³ DILLMANN (Ph.), L'HERITIER (M.), « Tracing supply and smelting processes... », *op. cit.*

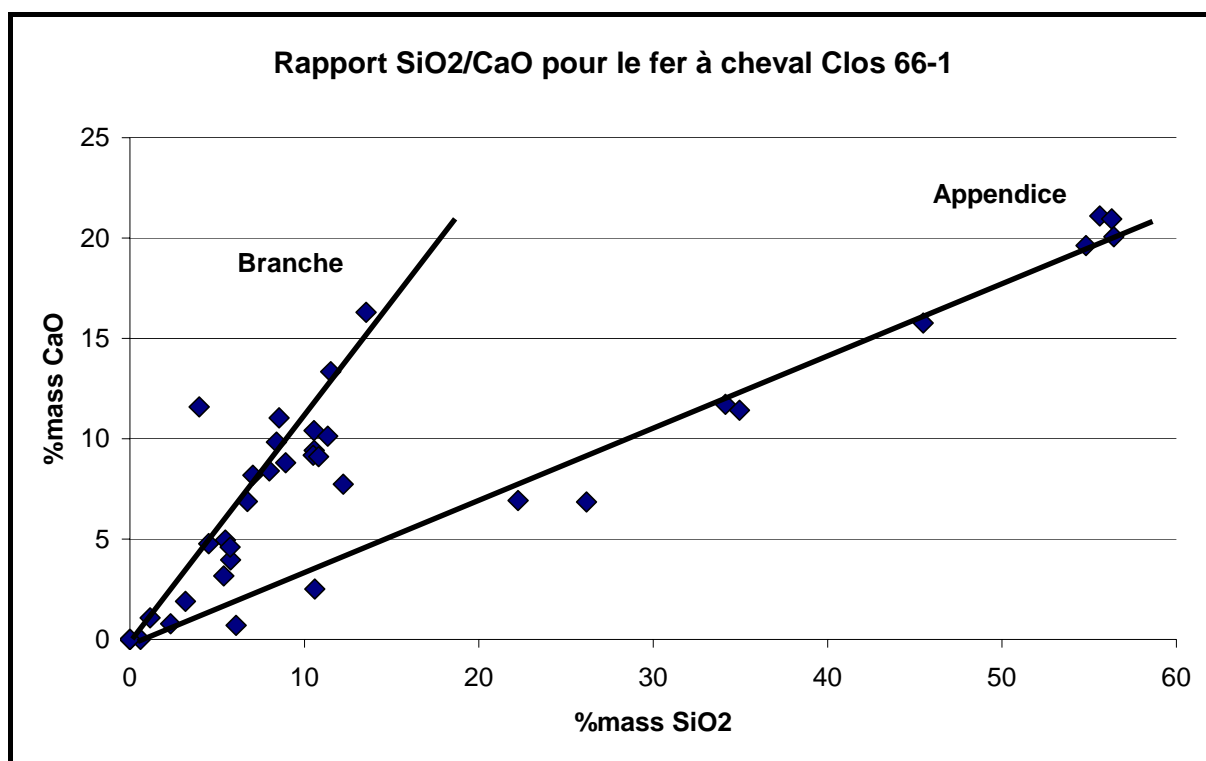


Figure 19 : Mise en évidence de deux fers d'origines différentes composant deux parties d'un même fer à cheval¹³⁴.

Ce rapport n'est cependant pas conservé de manière systématique : la fragmentation des inclusions peut conduire à un « effet de pépite », qui aura tendance à exacerber certaines phases, surtout sur des inclusions de petites dimensions¹³⁵. Des ajouts de sable ou d'argile au cours des opérations de post-réduction peuvent également venir perturber la stabilité de ces rapports¹³⁶. De manière générale, plus un objet est manufacturé, plus la composition de ses inclusions sera susceptible d'avoir été modifiée par les ajouts réalisés par le forgeron. Au contraire, c'est plus rarement le cas pour les produits semi-finis rencontrés dans l'architecture. Il est donc nécessaire d'analyser de manière systématique un grand nombre d'inclusions pour chaque objet et de les étudier selon une méthodologie bien précise.

Ces constatations ont donc guidé la mise en place d'une méthodologie pour l'exploitation des données sur la composition des inclusions des fers anciens. Après l'étude

¹³⁴ D'après L'HERITIER (M.), DILLMANN (P.), BENOIT (P.), « Analyse métallographique... », *op. cit.*

¹³⁵ DILLMANN (Ph.), L'HERITIER (M.), « Tracing supply and smelting processes... », *op. cit.*

¹³⁶ DILLMANN (Ph.), ARANDA (R.), L'HERITIER (M.), FLUZIN (Ph.), « Forging of iron-steel artefacts... », *op. cit.*

métallographique de la matrice décrite plus haut, comprenant notamment la localisation des inclusions, des éventuelles lignes de soudures ainsi que des zones phosphoreuses ou aciérées, le protocole d'analyse suivant a été appliqué de manière systématique :

- analyse en EDS d'un nombre représentatif d'inclusions par zone d'intérêt (entre 30 et 50 inclusions en général) ;
- chaque rapport entre deux composés non réduits composant ces inclusions est représenté de manière graphique et une régression linéaire lui est appliquée. Si le coefficient de détermination R^2 est supérieur à 0,7, alors le rapport est considéré comme constant. Si ce n'est pas le cas, mais qu'un comportement linéaire peut toutefois être observé, les inclusions erratiques sont supprimées¹³⁷.

La teneur moyenne de chaque élément est ensuite déterminée pour l'ensemble des inclusions correspondant à chaque alignement de l'échantillon. Cette moyenne peut être pondérée par la surface, dans le cas où les dimensions de chaque inclusion ont été mesurées lors du dosage. Cette « inclusion moyenne » qui représente la signature chimique de l'échantillon sert de point de départ pour une grande partie des traitements et analyses effectuées sur l'objet.

Appliquée aux problématiques relatives aux fers architecturaux, cette nouvelle approche, qui passe par l'étude de l'homogénéité des inclusions d'un même objet, permet de déterminer si ces fers sont issus d'un fer neuf ou s'ils proviennent plutôt de la récupération de vieux lopins de fers corroyés ensemble. De plus, en comparant entre elles les signatures chimiques des différents échantillons, par exemple en utilisant le rapport $\frac{\%_{\text{mass}} \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ moy}}{\%_{\text{mass}} \text{SiO}_2 \text{ moy}}$

et $\frac{\%_{\text{mass}} \text{K}_2\text{O} \text{ moy}}{\%_{\text{mass}} \text{CaO} \text{ moy}}$, allié à la présence ou l'absence d'autre éléments comme le phosphore ou

le manganèse, il est également possible d'étudier leur compatibilité et savoir ainsi s'ils sont susceptibles de provenir d'un même atelier de production ou si, au contraire, alors même que les échantillons sont issus d'un corpus d'objets homogènes, les provenances sont multiples. Sur un même bâtiment, une approche diachronique de l'évolution des sources d'approvisionnement est également envisageable, par l'application de cette méthode à un corpus d'échantillons significatifs (cf. Figure 20).

¹³⁷ Elles sont alors suivies d'une étoile dans l'Annexe 5 réservée aux résultats métallographiques.

Une seconde application de cette méthodologie est liée à la détermination du procédé de réduction qui a été utilisé pour produire le métal de l'objet. Cette question est essentielle à notre recherche pour deux raisons. Tout d'abord, car il est fondamental de déterminer si la diffusion du procédé indirect au cours du Moyen Age a eu une quelconque influence sur la mise en œuvre du fer dans l'architecture gothique. Or, en l'absence de mentions plus précises des comptes sur l'origine des fers achetés par la fabrique de la cathédrale, l'étude du matériau est la seule qui permette de la caractériser. De plus, ce travail rejoint un programme de recherche bien plus vaste de l'équipe « Archéomatériaux » du Laboratoire Pierre Süe, à savoir une tentative d'approche de l'implantation de la filière de réduction indirecte dans différentes régions du royaume de France, non par l'étude des premières mentions attestées dans les sources écrites, mais à travers la diffusion des nouveaux produits.

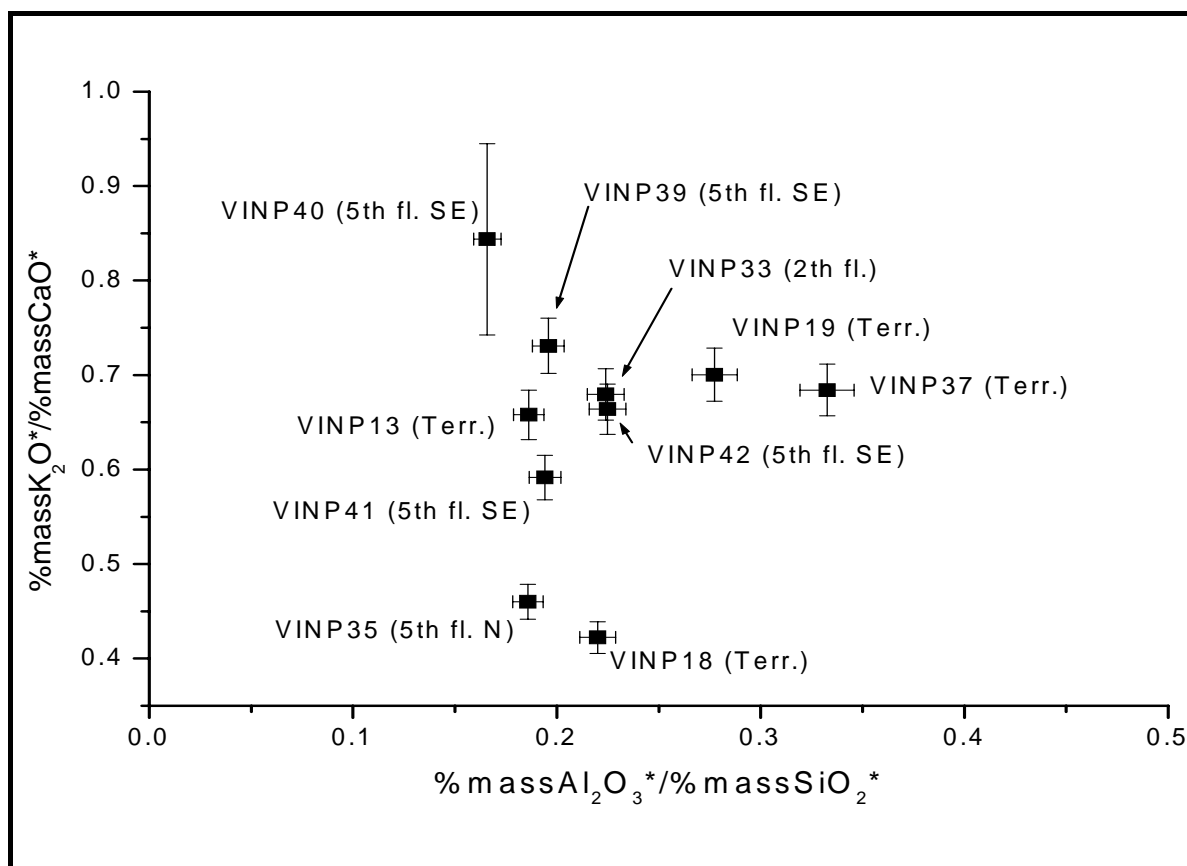


Figure 20 : Rapports des composés non réduits des inclusions d'échantillons prélevés au donjon du château de Vincennes montrant des fournitures d'origines différentes¹³⁸.

Le %_{mass}* correspond à la moyenne pondérée.

¹³⁸ D'après DILLMANN (Ph.), L'HERITIER (M.), « Tracing supply and smelting processes... », *op. cit.*

Comme énoncé précédemment dans le Tableau 2, les éléments présents dans le système minéral-charbon-paroi peuvent avoir un comportement différent suivant le procédé de réduction. Deux familles ont été mises en évidence.

Des analyses récentes¹³⁹, réalisées sur plus de 170 artefacts dont la filière de réduction, directe ou indirecte (affinage wallon, comtois ou puddlage), était connue avec certitude, montrent clairement que certains éléments du premier groupe, à savoir Mg, Al et K peuvent être présents en quantités significatives dans les inclusions provenant du procédé direct par rapport à celles issues du procédé indirect. Ceci peut être expliqué par le fait que, si ces éléments sont présents dans le minéral en fortes quantités, ils passent complètement dans la scorie pendant la réduction et donc dans les inclusions pour le procédé direct. Dans le cas du procédé indirect, ils sont en revanche évacués dans le laitier et ne passent pas dans la fonte ; comme les inclusions sont créées lors de l'affinage par oxydation des éléments contenus dans la fonte, elles ne peuvent pas en contenir d'importantes quantités. Bien évidemment, si des ajouts sont réalisés lors de l'affinage, ces éléments se retrouveront dans les inclusions. En particulier, l'ajout de calcium dans le foyer d'affinage pour éliminer le phosphore plus facilement est une pratique attestée dès le XVII^e siècle¹⁴⁰. Pour cette raison, les teneurs en calcium peuvent être aussi importantes dans les inclusions issues de l'un ou l'autre procédé, et il ne peut pas être considéré comme un élément discriminant. D'autres éléments, comme le magnésium et le potassium, peuvent également être apportés par le charbon de bois. Malgré cette possible pollution pendant l'affinage, les teneurs en Mg et K restent beaucoup plus faibles dans les inclusions du procédé indirect, comparativement à celles du procédé direct. Ces éléments permettent donc de faire la différence entre les deux procédés, s'ils sont présents dans le minéral initial en quantités suffisantes.

Dans la seconde famille d'éléments, il a été observé que le phosphore peut être présent en quantités bien plus importantes dans les inclusions du procédé indirect que dans celles du procédé direct. Ces très fortes teneurs peuvent être expliquées par une réduction totale des oxydes de phosphore en haut fourneau. Le phosphore est alors concentré dans la fonte sous forme d'eutectiques phosphoreux et peut atteindre 2 %_{mass} dans la composition de

¹³⁹ DILLMANN (Ph.), *Etude des alliages ferreux anciens : élaboration, utilisation, dégradation. Apport des techniques microfaisceau*, Habilitation à diriger des recherches présentée sous la direction de G. BERANGER et Ph. FLUZIN, 2006, 58 p. ; DILLMANN (Ph.), L'HERITIER (M.), « Tracing supply and smelting processes... », *op. cit.*

¹⁴⁰ LECHEVALLIER (G.), DILLMANN (Ph.), BENOIT (P.), FLUZIN (Ph.), « L'affinage wallon des fontes phosphoreuses : approche expérimentale et historique », dans PETREQUIN (P.), FLUZIN (Ph.) THIRIOT (J.) BENOIT (P.), dir., *Arts du feu et production artisanale...*, *op. cit.*, p. 171-182.

cet alliage. Ensuite, pendant l'affinage, la majeure partie du phosphore est réoxydé conduisant parfois à ces très fortes teneurs dans les inclusions. C'est pourquoi le phosphore peut être présent en bien plus grandes quantités dans les inclusions de la filière indirecte. Le silicium n'est pas réduit en bas fourneau et passe donc totalement dans la scorie ; les inclusions issues du procédé direct sont donc très riches en silicium. Par conséquent, bien qu'une petite partie du SiO₂ soit réduite dans le haut fourneau et qu'il soit parmi les premiers éléments à être réoxydé lors de l'affinage, il est présent en plus faibles quantités dans les inclusions du procédé indirect. Le fer a pour finir un comportement particulier : il est bien évidemment réduit quelle que soit la filière considérée. Toutefois, il a déjà été évoqué que, dans le procédé direct, des conditions locales de température et de pression peuvent conduire à des inclusions à très faibles teneur en FeO. En revanche, dans le cas du procédé indirect, les inclusions sont formées lors de la phase d'affinage dans des conditions relativement oxydantes ; le fer étant de loin l'élément le plus présent dans la fonte, de grandes quantités de fer sont oxydées dans les techniques d'affinage les plus anciennes (avant le procédé Bessemer) et se retrouvent donc dans les inclusions issues de cette filière.

Par conséquent, ces différentes observations permettent de proposer un diagramme qui prend en compte le comportement des différents éléments : il met en relation la teneur moyenne en phosphore des inclusions de l'échantillon avec le rapport $\frac{\%_{\text{mass}} \text{MgO} + \%_{\text{mass}} \text{Al}_2\text{O}_3 + \%_{\text{mass}} \text{K}_2\text{O} \text{ moy}}{\%_{\text{mass}} \text{FeO} \text{ moy}}$. Le diagramme obtenu met en évidence des domaines exclusifs des filières directe et indirecte (cf. Figure 21). Au centre existe cependant une zone commune d'indétermination où les deux procédés ne peuvent pas être distingués. Néanmoins, la plupart des échantillons peuvent être très clairement discriminés.

Ce diagramme étalon a servi de base pour déterminer le procédé duquel un objet est issu : après dosage des inclusions au MEB, les valeurs moyennes des composés correspondants sont calculées, l'échantillon est intégré dans le diagramme et le procédé dont il provient apparaît en lecture directe. Pour les spécimens tombant dans la zone indéterminée, il a également été fait appel à un second facteur qui permet de discriminer les fers issus de l'affinage de la fonte. Ph. Dillmann a en effet déterminé que les fers issus de filière indirecte sont les seuls à présenter des inclusions possédant de fortes teneurs en chrome, titane et vanadium (de l'ordre de quelques pourcents) avec présence éventuelle d'oxyde de vanadium sous forme de phases angulaires, dans des teneurs allant localement jusqu'à plusieurs

dizaines de pourcents de V_2O_5 et Cr_2O_5 (cf. Figure 22)¹⁴¹. Les éléments V, Ti et Cr, lorsqu'ils sont présents dans le minerai, se retrouvent en effet dans la fonte sous forme de carbures angulaires (VC , TiC et Cr_xC_y). C'est l'oxydation de ces carbures dans le foyer d'affinage qui va provoquer, dans les inclusions, une augmentation locale très forte de la teneur en ces éléments, les phases angulaires étant des réminiscences des carbures angulaires. En filière directe, les scories et inclusions auront globalement des teneurs en ces éléments du même ordre de grandeur que celles du minerai. Mais, malgré la multiplication des méthodes, il est parfois impossible d'émettre une hypothèse sur le procédé de réduction dont provient un objet, lorsque la composition de ses inclusions n'est pas suffisamment caractéristique - par exemple si les teneurs des différents composés non réduits sont trop faibles dans le minerai dont l'objet est issu.

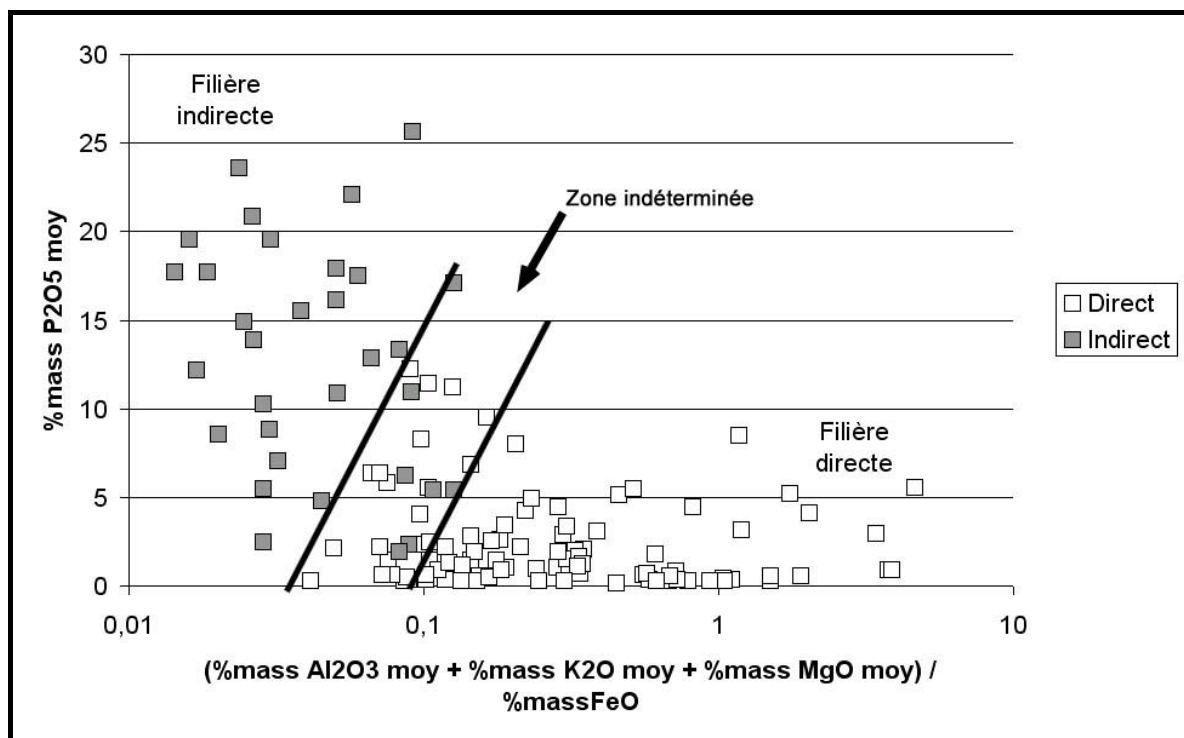


Figure 21 : Graphique de référence pour la discrimination des procédés de réduction¹⁴².

¹⁴¹ DILLMANN (Ph.), *Diffraction X, Microdiffraction X et Microfluorescence X...*, op. cit. ; DILLMANN (Ph.), FLUZIN (Ph.), CHEVALLIER (P.), « Determination of iron making... », op. cit.

¹⁴² D'après DILLMANN (Ph.), *Etude des alliages ferreux anciens...*, op. cit. ; DILLMANN (Ph.), L'HERITIER (M.), « Tracing supply and smelting processes... », op. cit.

On voit donc que l'étude inclusionnaire, associée aux techniques de métallographie plus traditionnelles, permet d'aborder une grande partie des interrogations soulevées sur l'emploi du fer dans l'architecture gothique, à savoir la mise en évidence de la qualité du matériau, la caractérisation de certaines étapes du travail de forge ainsi que la détermination du procédé de réduction dont il est issu. Les différents résultats de ces analyses sont présentés en Annexe 5. Il y sera toutefois fait référence chaque fois qu'il sera jugé nécessaire tout au long de notre discours.

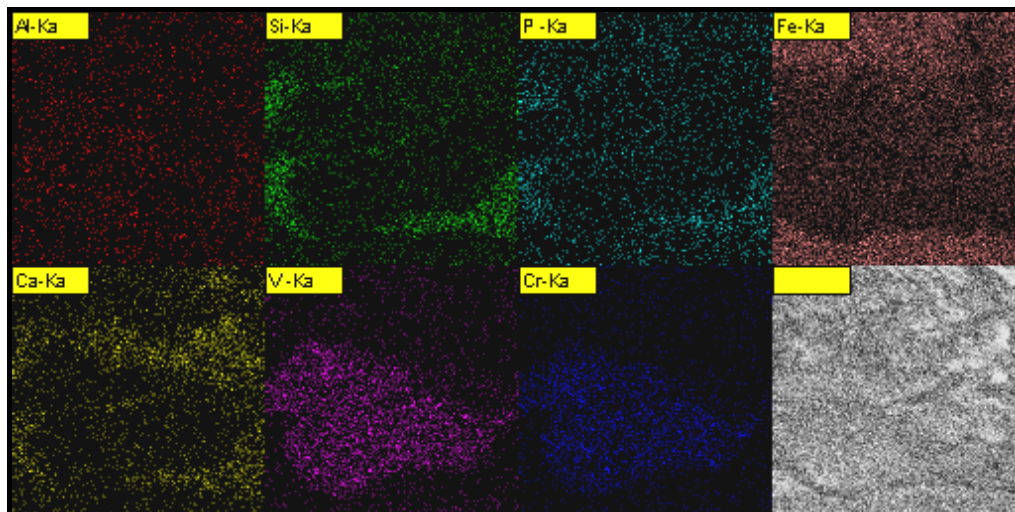


Figure 22 : Exemple de phase d'oxyde de chrome et de vanadium marqueur des inclusions de fers issus de la filière indirecte¹⁴³.

¹⁴³ D'après L'HERITIER (M.), DILLMANN (P.), BENOIT (P.), « Analyse métallographique... », *op. cit.*

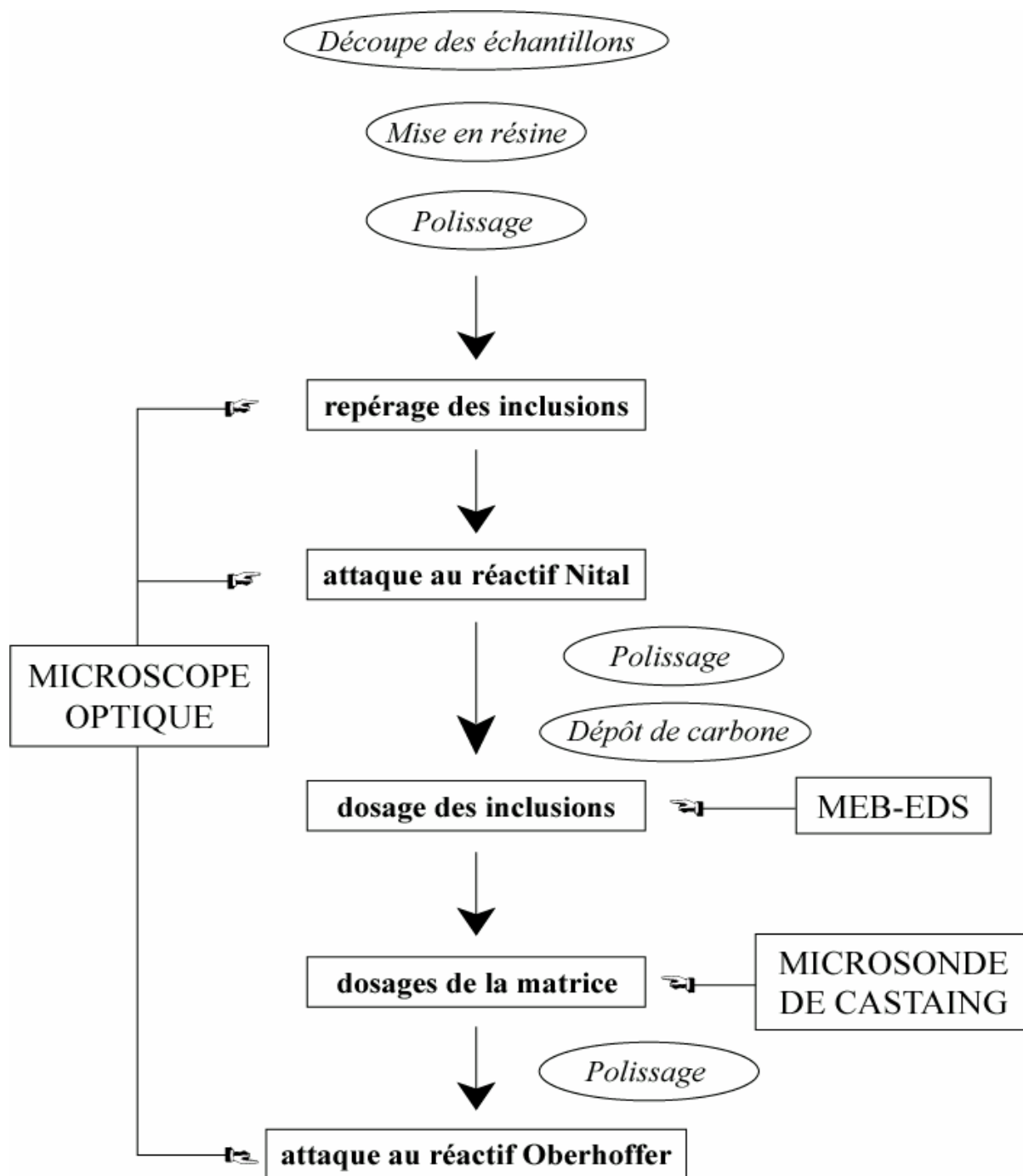


Figure 23 : Mode opératoire des analyses métallographiques.

Synthèse

L'exposé des méthodes développées dans ce travail, avec leur portée et surtout leurs limites, montre la nécessité d'aborder les différentes problématiques liées à l'utilisation du fer dans l'architecture gothique de manière interdisciplinaire. De plus, le besoin de mettre en œuvre des méthodes ou techniques nouvelles en prospections et en métallographie est la preuve qu'il existe encore bien des progrès à faire dans le développement des outils de recherche pour répondre à des problématiques spécifiques. Comme précisé, d'autres méthodes pourraient encore être exploitées pour une étude plus complète.

Enfin, les informations apportées par les différents types de sources, si elles peuvent parfois se croiser, sont bien souvent exclusives et apportent chacune un éclairage différent sur la question. Dans la présentation de chacune des sept églises qui va suivre, elles ont toutefois été confrontées à chaque fois que cela était rendu possible.



Figure 24 : Localisation de l'étude.

L'UTILISATION DU FER
DANS LES EGLISES ROUENNAISES

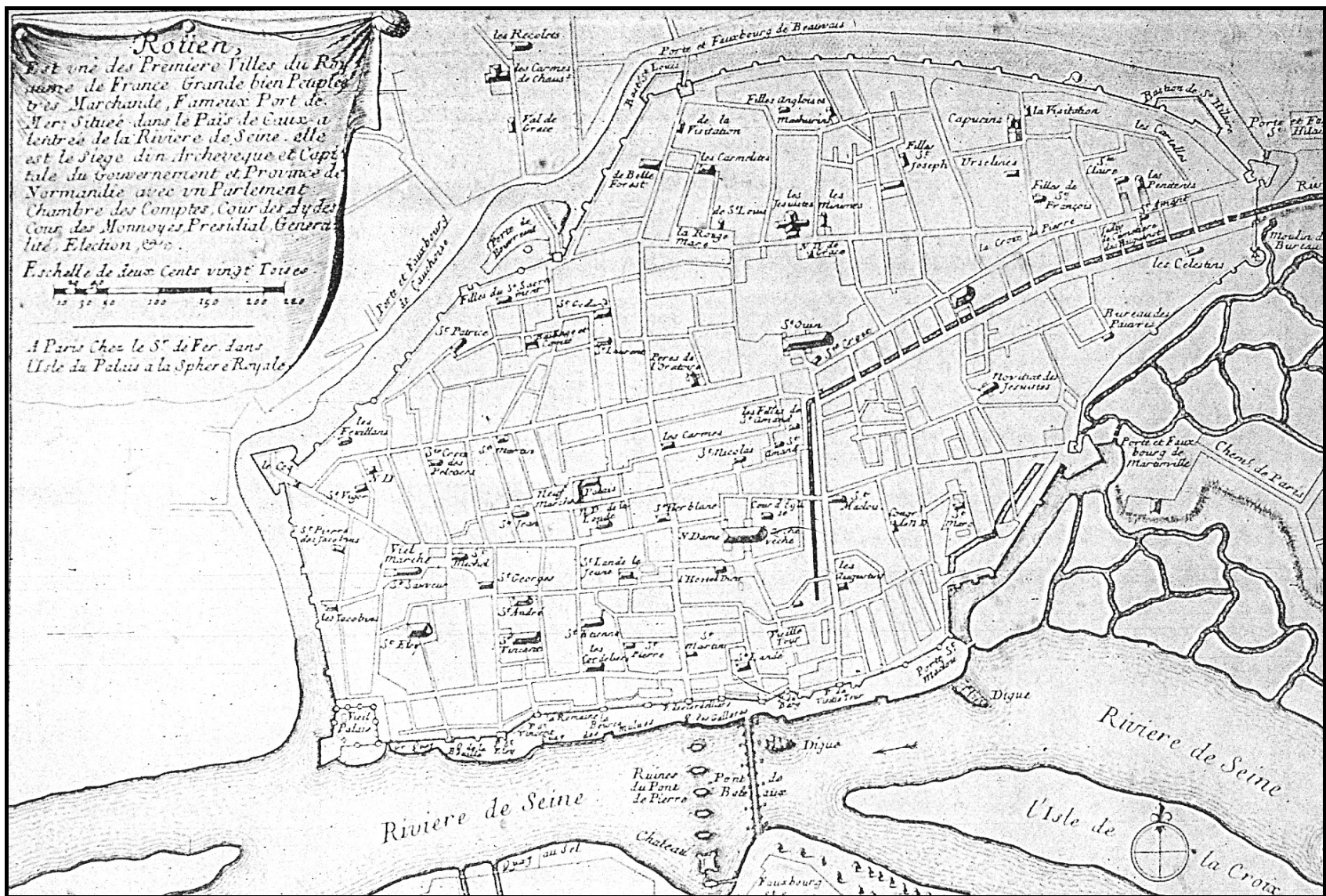


Figure 25 : Plan du centre ville de Rouen en 1703, d'après Bibl. nat., Estampes, H 151690.

I.1 LA CATHEDRALE NOTRE-DAME DE ROUEN

I.1.1 Histoire et description

La construction de la cathédrale romane de Rouen commence dans les dernières années du règne de Richard I^{er}, à l'époque où la ville de Rouen est capitale des ducs de Normandie¹⁴⁴. Elle est consacrée sous l'archiépiscopat de Maurille, peu avant 1063¹⁴⁵. Vers 1140-1150, elle se voit adjoindre une tour campanile, connue sous le nom de tour Saint-Romain, dans la partie nord du massif occidental. Un pont situé à plus de 11 m de hauteur reliait cette tour à la nef¹⁴⁶. L'ancien massif occidental est ensuite détruit dans les années 1180, sous l'impulsion de l'archevêque Rotrou et de son successeur Gautier le Magnifique, afin d'élever une nouvelle façade avec trois grands portails¹⁴⁷. A la Pâques de l'an 1200, un incendie ravage la partie orientale de la ville de Rouen, détruisant les églises paroissiales et l'ensemble de la cathédrale, selon une chronique rouennaise¹⁴⁸. J. le Maho a retrouvé les traces de cet incendie lors des fouilles de la cour d'Albane, qui jouxte au nord la nef de l'édifice¹⁴⁹. Les dégâts n'ont probablement pas été aussi importants que le laisse transparaître la chronique¹⁵⁰ ; F. Epaud a par ailleurs identifié des bois de charpente du XII^e siècle en réemploi dans la charpente gothique¹⁵¹.

Sous l'impulsion de Jean Sans Terre, roi d'Angleterre et duc de Normandie et malgré le siège de Rouen par l'armée de Philippe Auguste, l'architecte Jean d'Andely entreprend donc la reconstruction de l'édifice à partir de 1200, date qui marque traditionnellement le

¹⁴⁴ Orderic Vital, *Historiae ecclesiasticae*, Paris, éd. Le Prevost et Delisle, 1838-1855, tome II, p. 365.

¹⁴⁵ ID., *Ibid.*, p. 365.

¹⁴⁶ LOISEL (A.), *La cathédrale de Rouen*, Paris, H. Laurens, 1910, p. 10.

¹⁴⁷ BAYLE (M.), *L'architecture Normande au Moyen Age. Les étapes de la création*, Caen, Presses Universitaires de Caen, 1997, p. 185.

¹⁴⁸ « *Hoc anno, IV idus Aprilis, in nocte Paschae combusta est tota ecclesia Rotomagensis cum omnibus campanis, libris et ornamentis et maxima pars civitatis et multae ecclesiae* », Recueil des Historiens de France, tome XVIII, p. 338, cité par DEVILLE (A.), *Revue des architectes de la cathédrale de Rouen jusqu'à la fin du XVI^e siècle*, Rouen, 1848, 92 p.

¹⁴⁹ LE MAHO (J.), « Les fouilles de la cathédrale de Rouen de 1985 à 1993. Esquisse d'un premier bilan », *Archéologie Médiévale*, XXIV, 1994, p. 7-49.

¹⁵⁰ LOISEL (A.), *La cathédrale de Rouen...*, *op. cit.*, p. 11.

¹⁵¹ EPAUD (F.), *L'évolution des techniques et des structures de charpenterie du XI^e au XIII^e siècle en Normandie. Une approche des charpentes par l'archéologie du bâti*, Thèse de doctorat d'histoire de l'université de Rouen sous la direction de A.-M. FLAMBARD HERICHER, Rouen, 2002, p. 133.

début du chantier de la cathédrale gothique. Les travaux sont rapidement menés d'ouest en est, en prenant appui sur les éléments conservés de l'ancienne cathédrale romane, à savoir la tour Saint-Romain, la façade occidentale et en reprenant des éléments de la nef restés intacts. En 1204, la Normandie repasse sous l'autorité du roi de France et Philippe Auguste entre à la cathédrale de Rouen, autre preuve que l'édifice ancien n'était pas entièrement détruit¹⁵². Ces changements politiques ne bouleversent cependant pas le chantier de la cathédrale : une fois la nef et le transept achevés, vient l'élévation du chœur gothique entre 1220 et 1237, date de la consécration de la cathédrale par l'archevêque Pierre de Colmieu¹⁵³.

La cathédrale gothique présente un plan à trois nefs, une nef centrale et deux collatéraux qui se poursuivent dans le transept et dans le chœur formant un déambulatoire. Tous sont couverts de voûtes d'ogives quadripartites sur plan barlong. La nef construite par l'architecte Jean d'Andely présente une élévation à quatre étages, comprenant des grandes arcades surmontées d'un niveau de fausses tribunes, un triforium ajouré et un étage de fenêtres hautes (cf. Figure 26). Le triforium était initialement constitué sur toute la longueur d'arcs de décharge surbaissés surmontant une coursière pourvue d'une balustrade. Dans le transept et le chœur, le maître d'œuvre supprime l'étage de fausses tribunes pour élever les grandes arcades jusqu'au niveau du triforium, orné alors d'une série de colonnettes remplaçant la balustrade et surmontant une arcature en tiers-point. A la croisée du transept se dresse une tour-lanterne construite sur une voûte octopartite.

La cathédrale subit de nombreuses modifications dans les siècles suivants. Dès la fin du XIII^e siècle, elle se voit adjoindre des chapelles latérales dans les bas-côtés de la nef, entre les contreforts, qui nécessitent la destruction des murs gouttereaux et leur reconstruction 4 m plus loin¹⁵⁴. A la même époque, l'architecte Jean Davi élève les portails des pignons du transept avec de grandes roses rayonnantes sur un triforium à claire-voie, en commençant par le bras nord, vers 1280¹⁵⁵. Le début du XIV^e siècle voit l'agrandissement de la chapelle axiale, la chapelle de la Vierge, finie en 1316 d'après la datation de sa charpente¹⁵⁶. Aux années plus prospères du XIII^e et du début du XIV^e siècle, marquées à Rouen par l'établissement de la constitution de 1321 qui vient régler provisoirement les heurts entre les gens du commun et

¹⁵² LOISEL (A.), *La cathédrale de Rouen...*, op. cit., p. 11.

¹⁵³ BAYLE (M.), *L'architecture Normande au Moyen Age. Les étapes...*, op. cit., p. 185 ; BOTTINEAU-FUCHS (Y.), *Haute-Normandie gothique : architecture religieuse*, Paris, Picard, 2001, p. 286.

¹⁵⁴ BOTTINEAU-FUCHS (Y.), *Haute-Normandie gothique...*, op. cit., p. 287.

¹⁵⁵ BAYLE (M.), *L'architecture Normande au Moyen Age. Les étapes...*, op. cit., p. 188.

¹⁵⁶ EPAUD (F.), *L'évolution des techniques...*, op. cit., p. 131.

les gros bourgeois¹⁵⁷, succèdent des troubles liés à la guerre de Cent ans. Bien que Rouen ne soit pas directement touchée par la guerre avant le début du XV^e siècle, avec son siège par l'armée anglaise en juillet 1418 puis sa prise en janvier 1419, les effets indirects, tels les pestes et les famines viennent inévitablement s'ajouter aux tensions locales entre les différentes couches de la population¹⁵⁸. Cependant, d'une manière générale, et outre lors du siège de Rouen par l'armée anglaise, le chantier de la cathédrale semble assez peu marqué par la conjoncture économique et politique pourtant difficile du pays et de la région. Après une cinquantaine d'années sans œuvre majeure, le chantier reprend au niveau de la façade occidentale dès les années 1360. Vers 1370, l'architecte Jean Périer en fait percer la rose¹⁵⁹, puis l'embellissement de la façade se poursuit jusqu'au début du XV^e siècle et comprend notamment la sculpture d'une riche statuaire monumentale¹⁶⁰. Parallèlement débute un programme de transformations de l'ensemble des fenêtres hautes de la cathédrale qui commence à la fin du XIV^e siècle avec les fenêtres de la nef¹⁶¹, se poursuit avec celles du chœur entre 1430 et 1433, au moment même où Jeanne d'Arc est exécutée dans la ville¹⁶². Enfin, cette campagne se termine dans les transepts au cours de la seconde moitié du XV^e siècle, alors que la ville de Rouen est repassée sous l'autorité française¹⁶³. La transformation des fenêtres hautes de la nef voit la modification du triforium de Jean d'Andely dans les quatre dernières travées : la balustrade est supprimée et remplacée par une claire-voie¹⁶⁴. A la fin du XV^e siècle l'architecte Guillaume Pontifs fait élever le dernier étage de la tour Saint-Romain (1468-1478)¹⁶⁵. Il entreprend également, à partir de 1485, la construction d'une seconde tour campanile au sud de la façade occidentale¹⁶⁶. Cette tour, nommée tour de Beurre au XVII^e siècle, car une partie des frais de sa construction a été couverte par le produit d'une

¹⁵⁷ MOLLAT (M.), *Histoire de Rouen*, Toulouse, Privat, 1969, p. 96.

¹⁵⁸ ID., *Ibid.*, p. 99.

¹⁵⁹ BAYLE (M.), *L'architecture Normande au Moyen Age. Les étapes...*, *op. cit.*, p. 188.

¹⁶⁰ BOTTINEAU-FUCHS (Y.), « La statuaire monumentale de la cathédrale de Rouen (XIV^e-XV^e siècles) », dans LEMAGNEN (S.), MANNEVILLE (P.), éd., *Chapitres et cathédrales en Normandie...*, *op. cit.*, p. 375-406.

¹⁶¹ BOTTINEAU-FUCHS (Y.), *Haute-Normandie gothique...*, *op. cit.*, p. 287.

¹⁶² Arch. dép. Seine-Maritime, G 2487 et G 2489-2491 ; PJ n° 4 ; PJ n° 5 ; PJ n° 6 ; PJ n° 7 ; PJ n° 8.

¹⁶³ « Les chanoines demandèrent en 1479 à l'architecte de reprendre les fenêtres hautes du transept d'autant que de 1450 à 1455, on avait déjà agrandi celle du bras sud près de la croisée. Cela est partiellement fait d'août 1484 à novembre 1485 », BOTTINEAU-FUCHS (Y.), *Haute-Normandie gothique...*, *op. cit.*, p. 288-289. Et le 19 décembre 1479, « afin qu'il y ait de l'harmonie dans la construction de l'édifice, on fera, aux fenêtres du côté gauche de la croisée c'est-à-dire du côté du portail des Libraires, des verrières et des meneaux, dans le même genre qu'au côté droit ».

¹⁶⁴ CARMENT LANFRY (A.-M.), *La cathédrale Notre Dame de Rouen*, Rouen, Société des Amis des Monuments Rouennais, 1977, p. 71.

¹⁶⁵ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2503-2510.

¹⁶⁶ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2512-2521.

aumône de carême payée par les habitants de Rouen pour pouvoir manger du beurre en cette période de jeûne, est achevée en 1506¹⁶⁷. Cette façade est finalement restaurée sous la direction de Roulland le Roux au début du XVI^e siècle¹⁶⁸. Il fait également construire le dernier étage de la tour-lanterne qui est par la suite pourvue d'une flèche en bois rappelant l'ancienne flèche du XIII^e siècle¹⁶⁹.

Les siècles suivants voient uniquement des restaurations locales souvent consécutives à des destructions ; aucun changement majeur n'a lieu dans la structure de l'édifice. La plus célèbre est sans doute le remplacement par l'architecte Alavoine de la flèche en bois de la tour-lanterne, après qu'elle a subi un ultime incendie le 5 septembre 1822¹⁷⁰, par une flèche en fonte de 8000 tonnes, dont la construction s'étale entre 1826 et 1882.

Général	Longueur hors œuvre	144 m
	Longueur dans l'œuvre	136,86 m
Nef	Longueur de la nef	60 m
	Largeur de la nef	24,20 m
	Largeur du vaisseau central	11,30 m
	Hauteur sous voûte du vaisseau central	28 m
	Hauteur sous voûte des collatéraux	14 m
Transept	Longueur hors œuvre du transept	57 m
	Longueur dans l'œuvre du transept	53,65 m
	Largeur du transept	24,60 m
	Hauteur de la tour-lanterne	51 m
Chœur	Longueur du chœur	34,30 m
	Largeur du chœur	28 m

Tableau 3 : La cathédrale Notre-Dame de Rouen en chiffres

¹⁶⁷ Son nom provient peut-être également de sa couleur jaune que lui confère la pierre de l'Oise, qui contraste avec la couleur blanche du reste de la cathédrale, construite en pierre de Vernon ou en pierre blanche de carrières locales (pierre de Caumont par exemple).

¹⁶⁸ BOTTINEAU-FUCHS (Y.), *Haute-Normandie gothique...*, op. cit., p. 288.

¹⁶⁹ BAYLE (M.), *L'architecture Normande au Moyen Age. Les étapes...*, op. cit., p. 191.

¹⁷⁰ LANGLOIS E.-H., *Notice sur l'incendie de la Cathédrale de Rouen : occasionné par la foudre, le 15 septembre 1822, et sur l'histoire monumentale de cette église : ornée de six planches*, Rouen, 1823, 180 p.



Figure 26 : Vue intérieure de la nef de la cathédrale de Rouen.

Afin d'être présentés de la manière la plus objective possible, les différents emplois du fer découverts dans la structure de la cathédrale de Rouen ont été classés d'après leur localisation dans l'édifice, concevant ainsi une sorte d'itinéraire dans le monument. Chaque étage fait donc l'objet d'un chapitre, les tours et les portails étant, pour leur unité architecturale, traités séparément. Seuls les vitraux ont été regroupés dans une première partie, car, présents sur l'ensemble de l'édifice et à presque tous les étages, il n'apparaissait pas opportun de dissocier leur étude de la même manière.

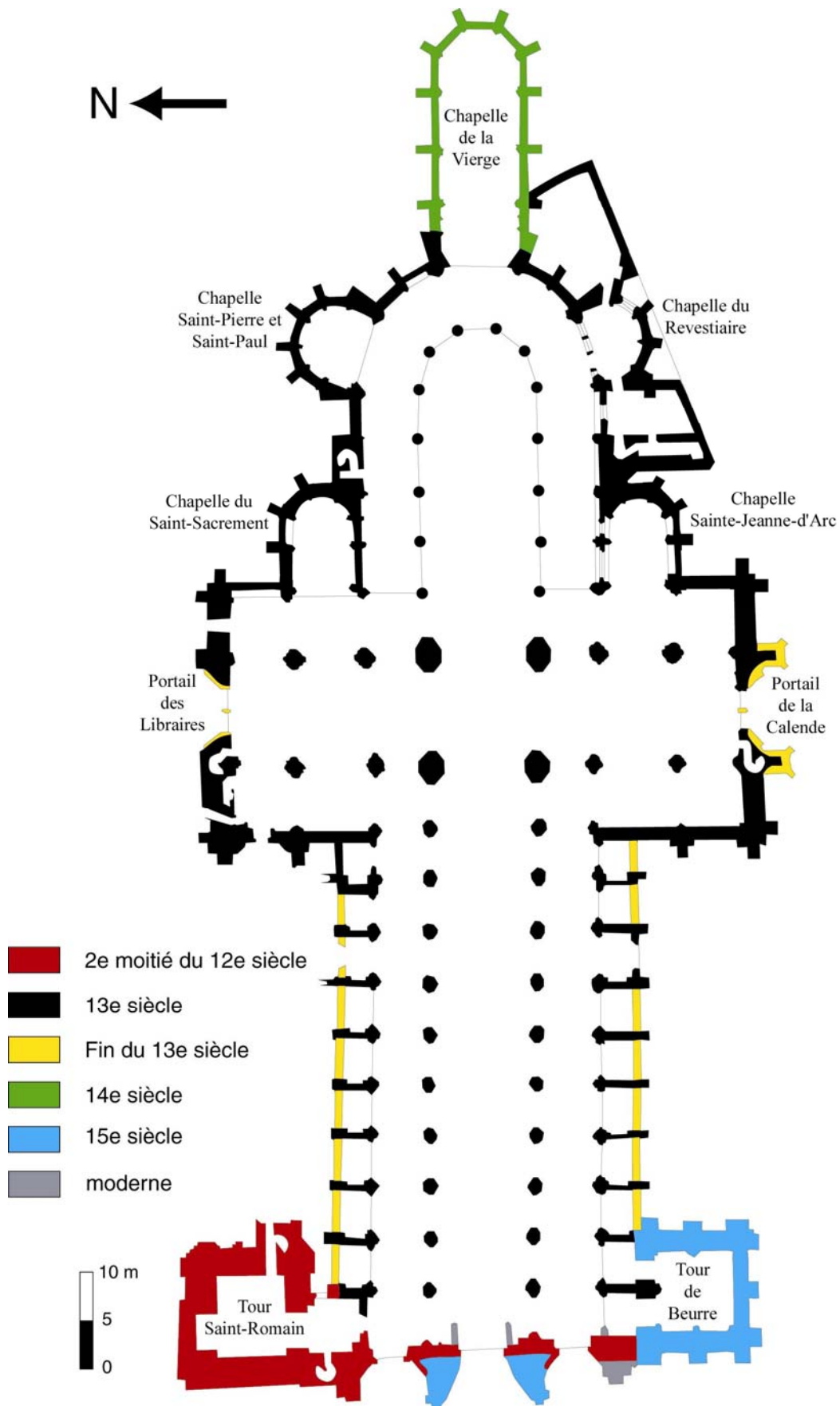


Figure 27 : Plan des différentes phases de construction de la cathédrale de Rouen, dessin M. L'Héritier d'après un plan du S.D.A.P. de la Seine-Maritime.

I.1.2 Les armatures de vitraux

I.1.2.1 Historique des vitraux

La cathédrale de Rouen offre un aperçu de l'Art du Vitrail du début du XIII^e siècle à la fin du XX^e siècle. Les nombreuses destructions et réaménagements dont elle a fait l'objet sont la principale cause de cette grande diversité. Le plus grand fléau qui s'est abattu sur les vitraux de la cathédrale sont les bombardements de la Seconde Guerre mondiale qui ont soufflé toutes les verrières qui n'avaient pas été déposées. Des études antérieures à ces faits permettent de restituer certains éléments désormais disparus¹⁷¹. Cependant, de nombreuses restaurations et mutilations avaient déjà eu lieu auparavant. La principale conséquence pour ces vitraux, outre leur richesse historique, est que peu d'entre eux sont à leur emplacement d'origine sans avoir subi de multiples restaurations et que tous ont fait l'objet d'une ou plusieurs dépositions. L'histoire des vitraux de la cathédrale de Rouen est en effet étroitement liée à celle de la cathédrale elle-même.

I.1.2.1.1 Avant le XIII^e siècle

L'incendie qui a ravagé la partie est de la ville au jour de Pâques 1200 n'a rien laissé des vitraux que la cathédrale pouvait abriter à l'époque. Seuls quelques fragments de vitraux carolingiens ont été retrouvés en fouilles par J. Le Maho lors des fouilles de la cour d'Albane¹⁷². Dépourvus de leurs armatures, ils ne concernent cependant pas notre étude.

I.1.2.1.2 Le XIII^e siècle

Selon Ritter, la pose des vitraux dans la cathédrale aurait été parallèle à sa construction¹⁷³. Selon des considérations stylistiques, les spécialistes ont reconnu deux campagnes de vitrage de la cathédrale dans la première moitié du XIII^e siècle¹⁷⁴, la première

¹⁷¹ Voir les études respectives de J. Lafond dans LOISEL (A.), *La cathédrale de Rouen...*, *op. cit.* et G. Ritter, RITTER (G.), *Les vitraux de la cathédrale de Rouen XIII^e, XIV^e, XV^e et XVI^e siècles*, Cognac, 1926, 106 p.

¹⁷² LE MAHO (J.), « Les fouilles de la cathédrale de Rouen... », *op. cit.*

¹⁷³ RITTER (G.), *Les vitraux...*, *op. cit.*, p. 7.

¹⁷⁴ *Corpus Vitrearum. Les vitraux de Haute-Normandie...*, *op. cit.*, p. 332.

concernant plutôt les fenêtres de la nef (1200-1210) et la seconde celles du transept et du chœur (1220-1240).

Cette première vitrerie subit de graves bouleversements dès la fin du XIII^e siècle, avec l'adjonction des chapelles entre les contreforts dans les bas-côtés de la nef. Les anciennes fenêtres sont donc détruites, mais une partie des vitraux qu'il faut adapter aux nouvelles fenêtres à quatre lancettes est conservée¹⁷⁵. Ceux-ci ont donc été partiellement mutilés et reposés dans le plus grand désordre. Ces vitraux, dénommés Belles Verrières dès le XIV^e siècle, subsistent actuellement dans deux chapelles du côté nord de la nef, les troisième et quatrième chapelles en partant de l'ouest, respectivement dédiées à saint Jean et saint Sever. Les Belles Verrières occupent le registre supérieur dans ces deux chapelles, le registre inférieur, laissé vide au XIII^e siècle à la demande des confréries, sera complété par la suite. D'après Jean Lafond, les fenêtres des chapelles du collatéral sud possédaient également leurs Belles Verrières jusqu'au XIX^e siècle.

Les cinq vitraux actuellement en place dans le déambulatoire appartiennent quant à eux à la deuxième campagne de vitrerie de la cathédrale (1220-1240). Dans l'ensemble assez épargnés par les restaurations, ce sont les seuls vitraux du XIII^e siècle qui nous sont intégralement parvenus dans leurs emplacements d'origine. Il s'agit du vitrail de saint Julien l'Hospitalier offert par les marchands de poissons et des deux vitraux de la vie de saint Joseph pour le déambulatoire nord ainsi que des vitraux de la Passion et du Bon Samaritain du côté sud. Tous se situent dans des fenêtres à lancette unique assez larges, de 1,80 à 2,45 m, ce qui implique l'utilisation de montants de fer verticaux afin de maintenir le vitrail en place (cf. Figure 28). Le vitrail de la vie des saints Pierre et Paul date lui aussi de la même époque. Provenant de la chapelle du même nom, il a été déplacé au XIX^e siècle dans la chapelle du Revestiaire.

D'après les recherches de Jean Lafond, certaines fenêtres du transept de la cathédrale et de la chapelle Sainte-Jeanne-d'Arc possédaient encore au XIX^e siècle des panneaux de grisaille datant de la première moitié du XIII^e siècle¹⁷⁶, ce qui pourrait indiquer que l'intégralité du transept de la cathédrale était vitré à cette époque. On retrouve d'ailleurs de tels panneaux de grisaille intégrant quelques scènes figurées de couleur, dans les trois baies de la chapelle du Saint-Sacrement. L'ensemble, très restauré au XX^e siècle, n'en est pas moins à son emplacement d'origine. Là aussi, il s'agit de fenêtres à lancettes uniques, larges de 1,10 à

¹⁷⁵ D'après J. Lafond il s'agissait de fenêtres à lancettes jumelles, LOISEL (A.), *La cathédrale de Rouen...*, *op. cit.*, p. 111.

¹⁷⁶ LOISEL (A.), *La cathédrale de Rouen...*, *op. cit.*, p. 114.

1,68 m, un peu plus étroites que les précédentes, mais nécessitant néanmoins la présence de montants de fer verticaux pour le maintien du vitrail.



Figure 28 : Vitraux de la cathédrale de Rouen. A gauche, vitrail de saint Julien l'Hospitalier, déambulatoire nord, milieu du XIII^e siècle. A droite, Vitrail de la chapelle de la Vierge, deuxième travée nord, début du XIV^e siècle.

1.1.2.1.3 Fin du XIII^e et XIV^e siècles

En 1278, l'archevêque Guillaume de Flavacourt confie à l'architecte Jean Davi la tâche de construire de larges roses dans les pignons du transept, pour en remplacer les fenêtres hautes. Seule la rose nord dite des Libraires possède encore en partie sa vitrerie d'époque, certes restaurée, avec trente-deux médaillons datant de la fin du XIII^e siècle, entourés de

panneaux de grisaille destinés à éclaircir l'ensemble¹⁷⁷. Les lancettes situées à l'étage inférieur sont également vitrées de grisailles à cette époque.

Guillaume de Flavacourt fait par la suite reconstruire la chapelle de la Vierge (1302-1316) ; la réalisation des vitraux des parties droites en est à peu près contemporaine. Ces vitraux alliant figuration de personnages et décor losangé ont pour la plupart subi depuis lors de nombreuses restaurations, mais ils sont toujours en place dans leurs fenêtres d'origine. Ces fenêtres ont chacune deux ou quatre lancettes larges d'un mètre environ, ce qui impose là encore l'utilisation de montants pour maintenir la composition vitrée (cf. Figure 28).

I.1.2.1.4 Fin du XIV^e et XV^e siècles

Les travaux sur les fenêtres et les vitraux ne reprennent ensuite qu'à la fin du XIV^e siècle avec la transformation d'une partie des fenêtres hautes de la nef à partir de 1370¹⁷⁸. Les anciennes fenêtres à lancettes jumelles, ressemblant aux fenêtres conservées dans les croisillons nord-est et sud-ouest, font alors place à de nouvelles fenêtres plus larges à quatre lancettes. Ces fenêtres ne seront vitrées qu'au début du XVI^e siècle d'une vitrerie de grisaille losangée¹⁷⁹. A la transformation des fenêtres hautes de la nef succède celle des fenêtres hautes du chœur entre 1430 et 1433, suivies des fenêtres les plus orientales de la nef, qui sont immédiatement vitrées et font l'objet d'un détail très soigneux dans les comptes de la fabrique de la cathédrale¹⁸⁰. Les scènes figurées ornant les baies d'axe sont toujours en place, bien que très restaurées avec seulement quelques panneaux d'origine, alors que les vitreries losangées des travées droites ont elles aussi été soufflées pendant la guerre.

Le milieu du XV^e siècle voit également le vitrage de la plupart des fenêtres basses des chapelles de la nef par le verrier Guillaume Barbe. Entre 1465 et 1470, il vitre notamment toutes les fenêtres du bas-côté nord et complète la place laissée libre sous les Belles Verrières, vitraux qui sont tous encore en place (cf. Figure 29)¹⁸¹.

¹⁷⁷ *Corpus Vitrearum. Les vitraux de Haute-Normandie...*, op. cit., p. 333.

¹⁷⁸ BOTTINEAU-FUCHS (Y.), *Haute-Normandie gothique...*, op. cit., p. 287.

¹⁷⁹ *Corpus Vitrearum. Les vitraux de Haute-Normandie...*, op. cit., p. 335.

¹⁸⁰ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2487 et G 2489-2491, PJ n° 4 ; PJ n°5 ; PJ n° 6 ; PJ n° 7 ; PJ n° 8.

¹⁸¹ *Corpus Vitrearum. Les vitraux de Haute-Normandie...*, op. cit., p. 335. Le vitrage des premières et septièmes chapelles a été détruit au cours des bombardements de la deuxième guerre mondiale.



Figure 29 : Vitraux de la cathédrale de Rouen. A gauche, vitrail de la chapelle Saint-Jean-de-la-nef. Registre supérieur, « belles verrières » du début du XIII^e siècle. Registre inférieur, complément vers 1470. A droite, vitrail de la chapelle Saint-Julien, vers 1470.

1.1.2.1.5 Début du XVI^e siècle

Le début du XVI^e siècle voit tout d'abord l'installation de la chapelle Saint-Etienne-la-Grande-Eglise au rez-de-chaussée de la nouvellement construite tour de Beurre, avec la commande de vitraux pour ses fenêtres. Ces vitraux sont toujours à leur emplacement d'origine. Puis, entre 1509 et 1521, l'architecte Roulland le Roux fait reconstruire et vitrer la rose occidentale initialement construite en 1370 par Jean Périer¹⁸². Enfin, en 1518, la confrérie de Saint-Romain s'installe dans la chapelle du bras sud du transept. A cette

¹⁸² *Ibid.*, p. 335.

occasion, elle en fait agrandir les baies, afin d'accueillir les deux vitraux commandés, connus sous les noms du Panégyrique de saint Romain et du Privilège de saint Romain¹⁸³.

1.1.2.1.6 Restaurations et destructions contemporaines

De nombreuses restaurations sont effectuées au cours des siècles suivants, en particulier au XIX^e siècle, ce qui entraîne la perte de certains vitraux de la cathédrale. Les événements de la Seconde Guerre mondiale ont cependant des effets beaucoup plus désastreux sur sa vitrerie, malgré les précautions prises en déposant la plupart des verrières en 1939. Au nombre des destructions se comptent notamment tous les vitraux ne comprenant pas des scènes figurées, comme ceux de la balustrade des Libraires et ceux des fenêtres hautes, à l'exception des trois baies d'axe du chœur et d'une travée droite. Les bombardements de 1944 ont également détruit la rose occidentale et le remplage de la rose des Libraires, dont les verrières avaient toutefois été déposées.

Après la guerre, la plupart des vitraux sont reposés à l'emplacement qu'ils occupaient auparavant et l'on fait appel à Max Ingrand, grand maître verrier contemporain, pour composer de nouvelles verrières aux emplacements laissés vides. C'est ainsi que le collatéral sud de la nef, complètement détruit en 1944 à l'exception de la chapelle Sainte-Catherine (cf. Figure 30), arbore désormais des vitraux du XX^e siècle. Quelques éléments de vitraux anciens sont également repris dans certaines de ces nouvelles compositions, comme pour le vitrail des Dormants d'Ephèse¹⁸⁴ ou celui de la légende de saint Vincent¹⁸⁵, dont les panneaux datent du XIII^e siècle. D'autres vitraux sont enfin acquis et placés dans la cathédrale en provenance d'autres édifices, au nom desquels l'église Saint-Vincent : il s'agit des vitraux de l'abside de la chapelle de la Vierge et du premier étage de la tour Saint-Romain.

¹⁸³ *Ibid.*, p. 335.

¹⁸⁴ Initialement dans le collatéral sud de la nef, ces panneaux se trouvent actuellement dans la chapelle Saint-Pierre-et-Paul.

¹⁸⁵ Initialement dans les neuvième et dixième chapelles sud de la nef et ce jusqu'au XIX^e siècle, ils ont fait, après leur dépose pendant la seconde guerre mondiale l'objet d'une recomposition en 1980. Ils se trouvent actuellement dans le croisillon nord-ouest du transept, *Ibid.*, p. 333.



Figure 30 : Les bombardements du 21 avril 1944, le bas-côté sud de la cathédrale de Rouen détruit, cliché G. Lanfry.

1.1.2.2 Tentative de phasage et de restitution des armatures de fer

Au vu de cette histoire pour le moins mouvementée, il apparaît difficile de faire l'état des lieux des vitraux qui furent présents dans la cathédrale à une époque donnée au cours du Moyen Age. S'il reste possible de déterminer une datation approximative de chacun des vitraux actuellement présents dans la cathédrale et retrouver la marque de leurs éventuelles restaurations, notamment grâce aux livres de comptes dont on dispose depuis la fin du XIV^e siècle ainsi qu'aux différentes considérations stylistiques, le même constat apparaît beaucoup moins évident lorsque l'on s'intéresse à la structure même de ces vitraux, c'est-à-dire aux armatures métalliques qui permettent de les maintenir en place.

Afin d'essayer de déterminer quels sont les éléments susceptibles d'être encore en place, une liste des vitraux faits ou refaits après la guerre a été dressée afin de procéder par élimination. Ensuite, les observations sur place ont permis d'obtenir quelques informations

supplémentaires, l'objectif premier étant de tenter de reconstituer la structure vitrée et surtout les armatures aux différentes époques de l'histoire de la cathédrale.

Le plan en Figure 31 montre les vitraux qui ont été refaits après la Seconde Guerre mondiale, et dont l'armature de fer date donc de la seconde moitié du XX^e siècle, soit toutes les fenêtres des chapelles du collatéral sud, qui s'est effondré pendant la deuxième guerre mondiale¹⁸⁶, mais aussi toutes les nouvelles compositions réemployant parfois des panneaux de vitrail plus anciens, soit les quatre fenêtres de la chapelle Sainte-Jeanne-d'Arc, la fenêtre méridionale de la chapelle Saint-Pierre-et-Paul, qui représente les Dormants d'Ephèse, ainsi que les vitraux des croisillons nord-ouest et sud-ouest. Il faut enfin leur rajouter la rose des Libraires, soufflée en 1944, bien qu'elle se trouve encore à son emplacement d'origine. L'observation *in situ* de certains de ces vitraux permet enfin de remarquer que quelques fers n'ont ni trace de rouille, ni patine due à la corrosion, ce qui exclut la possibilité de fers médiévaux¹⁸⁷.

Mais dans la plupart des cas, ces fers à vitraux sont très corrodés et il n'est donc pas possible de faire ainsi la part entre un fer médiéval et un fer plus récent. De plus l'observation des montants en pierre des fenêtres ne nous apporte aucune information : tous ont en effet été défoncés à la suite des nombreuses poses et reposes des vitraux de la cathédrale et sont colmatés par un remplissage moderne, probablement contemporain des restaurations et de la repose ayant suivi la Seconde Guerre mondiale.

Certains indices permettent néanmoins d'obtenir d'autres informations, notamment lorsqu'on s'intéresse à des critères de régularité et d'irrégularité. Les pannetons des barlotières qui maintiennent le vitrail des baies d'axe du chœur sont tous identiques : ils présentent une forme ovale parfaite qui laisse à présumer d'un usinage plutôt récent. Au contraire, la forme rectangulaire très irrégulière des pannetons des grosses barlotières hautes de ces mêmes fenêtres va dans le sens de leur ancienneté. De plus, ces grosses barlotières se retrouvent tout autour de l'édifice, dans les fenêtres hautes du chœur comme dans celles du transept et de la nef. Les photographies prises juste après les destructions de la Seconde Guerre mondiale montrent bien que, si les vitraux et la plupart des barlotières basses, de plus

¹⁸⁶ A l'exception, peut être de la barlotière haute de la chapelle Sainte-Catherine.

¹⁸⁷ Notamment le revers du vitrail des Dormants d'Ephèse. Pour plus d'information sur la corrosion atmosphérique des fers on pourra se référer à HOERLE (S.) *et al.*, « Advances in understanding atmospheric corrosion of iron II - mechanistic modelling of wet-dry cycles », *Corrosion Science*, 2004, 46 (6), p. 1431-1465 ; DILLMANN (Ph.), MAZAUDIER (F.), HOERLE (S.), « Advances in understanding atmospheric corrosion of iron I - Rust characterisation of ancient ferrous artefacts exposed to indoor atmospheric corrosion », *Corrosion Science*, 2004, 46 (6), p. 1401-1429.

petites dimensions, ont été emportées, cette grosse barlotière est au contraire bien restée en place. Son origine est donc potentiellement plus ancienne. Des barlotières de plus petites dimensions, mais d'aspect semblable à ces grosses barlotières, sont également conservées par endroits dans les fenêtres hautes. Mais la plupart des barlotières présentes à l'heure actuelle dans les parties hautes de l'édifice sont, d'après leur forme, soit en T, soit munies de pannetons de forme ovale parfaitement régulière, issues des restaurations après guerre.

Le problème posé par le sens de l'expression « armature d'origine » jaillit déjà. S'il est parfaitement clair dans le cas des fenêtres du déambulatoire, de la chapelle de la Vierge et de la tour de Beurre car elles ont été vitrées peu de temps après leur construction et que, depuis lors, elles n'ont subi aucune modification, il est beaucoup moins évident dans le cas des chapelles de la nef et des fenêtres hautes¹⁸⁸, suivant que l'armature en fer a subi des modifications importantes lors de la pose du vitrail, plusieurs siècles après la construction des fenêtres. Il reste néanmoins pour l'instant difficile de trancher un tel problème.

A l'exception des nouvelles compositions, suite aux destructions du XX^e siècle, la plupart des vitraux médiévaux encore en place dans la cathédrale se trouvent néanmoins à leur emplacement d'origine. Comme c'est essentiellement la composition du vitrail qui détermine l'agencement des barlotières, il est donc certain que les armatures métalliques, qu'elles aient ou non été remplacées sont dans une certaine mesure représentatives du dessin du châssis de la fin l'époque médiévale. Plus difficile est la reconstitution de la structure vitrée du début du XIII^e siècle. Les informations manquent pour l'agencement des vitraux des fenêtres de la nef et les fenêtres hautes, toutes transformées par la suite. Les vitraux du déambulatoire et de la chapelle du Saint-Sacrement sont donc désormais les seuls témoins en place de cette époque.

1.1.2.3 Les barlotières-tirants

Au delà de ces considérations sur leur éventuelle datation, les observations sur les barlotières des fenêtres hautes de la cathédrale fournissent d'autres informations quant à leur rôle architectural. On remarque en effet la présence de barres de fer de forte section dans les

¹⁸⁸ A l'exception des Belles Verrières et des fenêtres hautes de l'abside.

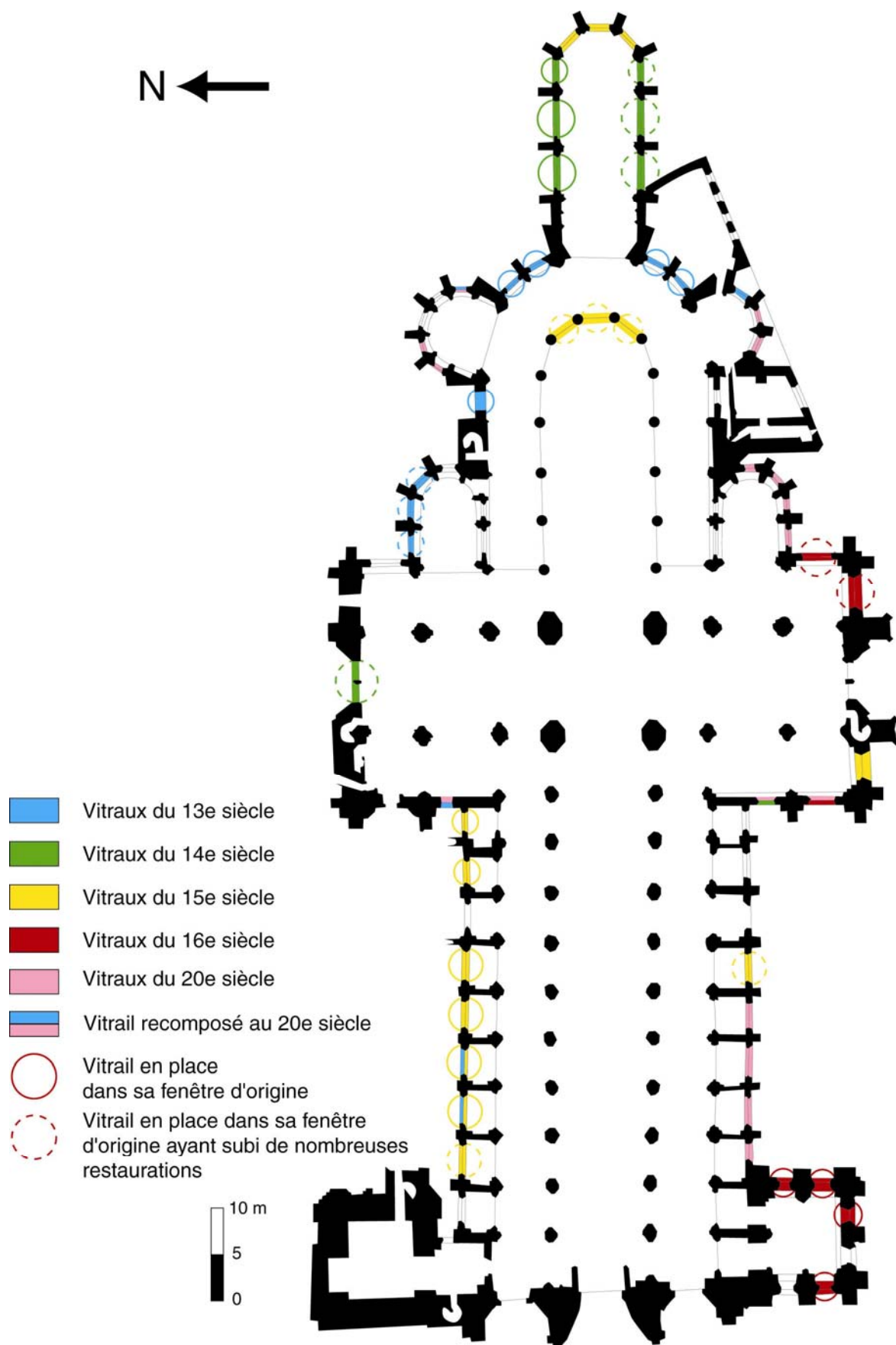


Figure 31 : Plan des vitraux de la cathédrale de Rouen avec leur datation.

fenêtres¹⁸⁹, alors que les simples barlotières ont des dimensions beaucoup plus modestes¹⁹⁰. Ces grosses barres jouent effectivement un rôle dans la fixation du vitrail, puisqu'elles sont le plus souvent pourvues de tenons, servant à recevoir feuillard et clavette pour bloquer les panneaux de verre, bien que cela ne soit pas systématique.

Les simples barlotières sont à la cathédrale de Rouen des éléments de fer assez courts, ne dépassant pas la longueur d'une lancette dans les fenêtres à lancettes multiples¹⁹¹, soit environ 70 à 80 cm, parfois 100 à 110 cm pour les plus larges¹⁹². Ces éléments ne sont pas continus de lancette en lancette et *a fortiori* de travée en travée, comme l'indiquent certaines discontinuités ponctuelles¹⁹³. La barlotière est liée au panneau de vitrail qu'elle maintient en place et ces panneaux, de dimensions assez régulières en général à l'intérieur d'une même fenêtre, peuvent être de tailles légèrement différentes et entraîner ainsi un décalage. La continuité de ces éléments de travée en travée n'est donc pas envisageable.

En revanche, les grosses barlotières relevées au niveau des fenêtres hautes, montrent une certaine régularité tout le long de la nef. Ces barlotières se trouvent à la même hauteur de la troisième à la septième travée du côté nord comme du côté sud. La disposition change à partir de la huitième travée, puisque l'on peut observer deux barres, semblant également continues de la huitième à la dixième travée. La disposition de ces barres à la onzième travée semble légèrement différente. Cette rupture entre les septième et huitième travées se retrouve également au niveau de l'architecture du triforium. Lors de la réfection des fenêtres hautes, à partir de 1370, le maître d'œuvre Jean Périer prend tout d'abord le parti de conserver l'ancien triforium, composé d'un arc de décharge et d'une balustrade, en coupant la colonnette qui partait du milieu de la balustrade et montait jusqu'au niveau des baies hautes pour créer une avant-fenêtre à deux lancettes, comme celles conservées en parties basse dans les croisillons nord-est et sud-ouest du transept. A partir de la huitième travée, le maître d'œuvre change de conception et remodèle le triforium pour l'harmoniser avec les fenêtres hautes : il s'agit désormais d'un triforium à claire-voie, dont le remplage s'inscrit dans la continuité du glacié de la fenêtre¹⁹⁴. Tous les auteurs mentionnent cette phase de restauration comme une phase

¹⁸⁹ Section moyenne de 5,2 cm x 2 cm. La section de ces barres est de 6 cm x 2,5 cm à 5 cm x 2 cm dans les fenêtres hautes du chœur, où elles ont pu être mesurée grâce à la présence d'un échafaudage sur une des baies des travées droites.

¹⁹⁰ Section moyenne 3,2 cm x 1 cm.

¹⁹¹ Comme celles des chapelles de la nef, des fenêtres hautes ou des fenêtres de la chapelle de la Vierge

¹⁹² Ceci correspond aux dimensions visibles.

¹⁹³ Ceci n'est pas le cas de tous les édifices. Les barlotières de la cathédrale du Mans sont continues à l'intérieur d'une même fenêtre, TAUPIN (J.-L.), « Le fer des cathédrales »..., *op. cit.*

¹⁹⁴ CARMENT LANFRY (A.-M.), *La cathédrale Notre-Dame...*, *op. cit.*, p. 71.

continue à la fin du XIV^e siècle¹⁹⁵. La découverte de la mention de la vitrerie d'une des baies hautes les plus orientales de la nef dans le compte de 1434-1435 amène à penser, comme auraient pu l'indiquer de simples considérations stylistiques, avec cette rupture complète entre les septième et huitième travées, que cette restauration des fenêtres hautes de la nef de la cathédrale de Rouen s'est bien faite en deux temps. La première phase, probablement contemporaine de la fin du XIV^e siècle, aurait vu la réfection des fenêtres jusqu'à la septième travée, la seconde, commencée au milieu des années 1430, aurait quant à elle concerné les quatre travées orientales. Une importante lacune dans les comptes de la fabrique de la cathédrale entre 1435 et 1457 empêche malheureusement d'en savoir davantage. La rupture dans le chantier, tout du moins dans la conception architecturale, mais vraisemblablement aussi chronologique, se retrouve donc aux deux niveaux, avec pour les fenêtres hautes cette différence dans le nombre et la position des barres de fer les étré sillonnant. Tous ces éléments vont en la faveur de grands tirants de fer, posés au moment de la reconstruction des fenêtres hautes à la fin du XIV^e siècle ou au milieu du XV^e siècle, ces tirants ayant pour but non seulement de maintenir en place une première vitrerie, mais surtout d'apporter un soutien architectonique à la structure en pierre.

Ces observations qui sont très nettes au niveau des fenêtres hautes de la nef peuvent également s'appliquer à d'autres parties de l'édifice. Les fenêtres hautes du transept ont trop souffert lors de la Seconde Guerre mondiale et nombre d'entre elles ont perdu leurs armatures métalliques anciennes, remplacées par des structures contemporaines. En revanche, il est possible de répéter le même schéma pour les travées droites des fenêtres hautes du chœur : chaque fenêtre possède deux tirants, un en partie haute et un en partie médiane, situés chaque fois à la même hauteur. Au contraire, au niveau de l'abside, bien que l'on observe toujours deux barlotières-tirants par fenêtre, la discontinuité entre les baies est flagrante. Ces barlotières-tirants sont également présentes dans la plupart des fenêtres basses, notamment dans les chapelles de la nef et dans les travées droites de la chapelle de la Vierge au nombre de trois ou quatre par baie. Certaines baies à lancette unique, comme celles du déambulatoire nord du chœur montrent également de tels tirants. Dans certains cas, ces tirants ne sont pas fixés au vitrail. Leur rôle est alors bien défini : ils servent uniquement de soutien à la structure en pierre.

¹⁹⁵ BOTTINEAU-FUCHS (Y.), *Haute-Normandie gothique...*, *op. cit.*, p. 287 ; BAYLE (M.), *L'architecture Normande au Moyen Age. Les étapes...*, *op. cit.*, p. 188 ; CARMENT LANFRY (A.-M.), *La cathédrale Notre-Dame...*, *op. cit.*, p. 71.

Deux questions se posent au sujet de ces tirants. La première est de savoir s'ils sont bien tous continus à l'intérieur d'une même travée, comme ils semblent l'être d'après les observations. La seconde, plus problématique, est de savoir si certains d'entre eux sont liés les uns aux autres à dans la maçonnerie des piles pour former un ou plusieurs chaînages continus enserrant l'édifice.

Les observations faites sur les fenêtres hautes de la cathédrale de Rouen montrent que ces tirants ne sont pas systématiquement continus au sein d'une même travée. Les preuves de la continuité comme de la discontinuité ont essentiellement été apportées par les prospections électriques et l'étude de la discontinuité des meneaux au niveau du passage de ces grosses barres pour faciliter leur mise en place.

Dans chaque fenêtre observée, le tirant haut est continu de manière systématique. En revanche, le tirant bas, lorsqu'il existe, montre la plupart du temps un meneau central monolithique ne permettant pas une continuité du tirant (cf. Figure 32). La lampe témoin du système de prospection électrique est venue confirmer ces hypothèses en ne s'allumant pas une seule fois dans une telle disposition. C'est notamment le cas des travées orientales de la nef ainsi que des quatre travées droites occidentales du chœur. Bien que certaines montraient un meneau en deux parties, aucune continuité électrique n'a pu être détectée.

Cependant, pour certaines fenêtres, notamment celles de la travée droite la plus orientale des fenêtres hautes du chœur, le meneau central est discontinu au passage du tirant et la lampe témoin s'est allumée par deux fois. Les fenêtres du rond-point ont quant à elles une disposition différente puisqu'elles ne possèdent que trois lancettes ; il n'y a donc pas de meneau « central » et la continuité des tirants a toujours été prouvée. Les fenêtres hautes du chœur ne montrent donc aucune unité quant à la continuité des tirants.

Dans les fenêtres basses, les prospections électriques n'ont pas pu être réalisées. Néanmoins, pour toutes les fenêtres à plusieurs lancettes, les meneaux sont toujours discontinus au passage des tirants, hauts comme bas ou médians. Ces observations vont bien dans le sens de la continuité des tirants.

La seconde interrogation réside dans l'éventuelle liaison de ces tirants dans les piles pour former des chaînages. L'observation des piédroits des baies est ici encore riche d'enseignements. Dans la majeure partie des fenêtres, les tirants bas ou médians ne sont pas ancrés dans les piédroits au niveau d'un joint de pierre ; par conséquent, ils ne peuvent pas traverser les piliers pour être reliés aux tirants voisins et ne forment donc assurément pas de

chaînage. N'étant pour la plupart pas continus à l'intérieur même de la travée, il semblait évident qu'ils ne formaient pas chaînage entre les différentes travées. En revanche, les tirants hauts, continus, passent systématiquement au niveau d'un joint entre deux pierres. Dans les fenêtres de la chapelle de la Vierge, sur les trois cours de tirants, seul le tirant médian est ancré en pleine pierre.



Figure 32 : Continuité du tirant haut prouvée par la discontinuité des meneaux (joint de plomb visible) et discontinuité du tirant bas prouvée par la continuité du meneau central, fenêtres hautes de la cathédrale de Rouen.

Une prospection électrique a donc été réalisée sur certaines baies qui étaient accessibles, en particulier les baies hautes de la nef et du chœur. La lampe témoin ne s'est jamais allumée, ce qui indique que les barres ne constituent pas une chaîne tendue. Les mentions des archives qui relatent la réfection des fenêtres hautes du chœur ne font par ailleurs jamais mention d'une mise en œuvre sous forme de chaînage, chaque fenêtre

semblant bien indépendante l'une de l'autre¹⁹⁶. De même la mention de vitrerie des baies basses de la tour de Beurre en 1487-1488 donne la longueur des grands barreaux mis en œuvre : ils font chacun huit pieds de long, soit environ 2,60 m pour des fenêtres de 190 cm de large¹⁹⁷. Ces barres sont donc ancrées dans la pierre d'environ 35 cm de chaque côté, soit un peu plus d'un pied. On peut par conséquent également exclure ici l'hypothèse de la liaison des barres entre elles dans les piles, qui mesurent plus d'un mètre de large. Il ne semble donc pas que les barlotières-tirants mises en œuvre dans les fenêtres de la cathédrale de Rouen forment chaînage. La seule inconnue reste au niveau de la chapelle de la Vierge dont la construction est trop précoce par rapport aux comptes conservés et dont les tirants sont restés inaccessibles. Ses baies, mesurant plus de 20 m², sont les plus grandes de l'édifice et sa structure montre que la pierre y a été réduite à son strict minimum : il est donc toujours possible d'envisager l'existence de chaînages venant la conforter.

1.1.2.4 Estimations des quantités de fer

D'après les estimations réalisées, la masse de fer visible actuellement présente dans les fenêtres de la cathédrale représente 50 à 100 kg par fenêtre haute, 150 à 200 kg par fenêtre des chapelles la nef à quatre lancettes, environ 200 kg par baie à lancette unique du déambulatoire et environ 350 à 400 kg de fer par fenêtre de la chapelle de la Vierge. Au total, elle s'élève donc à 8,2 tonnes pour les fenêtres basses, et 2,8 tonnes pour les fenêtres hautes, auxquelles il faut ajouter les 600 kg des fenêtres du deuxième étage de la tour-lanterne, soit un total de 11,6 tonnes. Ce total passe à 13,7 tonnes si l'on restitue les barlotières et vergettes manquantes aux fenêtres hautes qui n'ont plus leur vitrail de grisaille d'origine¹⁹⁸. Cette masse résulte essentiellement des barlotières et montants de fer (5,2 tonnes) et des barlotières-tirants (5 tonnes). Viennent ensuite les vergettes (1,8 tonnes) et les feuillards (1,1 tonne). Les autres éléments, comme les clavettes et les tenons, n'en représentent qu'une faible partie.

Ajoutons qu'il ne s'agit là que de la masse de fer visible : cette quantité peut encore augmenter si l'on y ajoute la longueur des ancrages de toutes ces barres de fer. Des observations sur une des fenêtres hautes au nord-est du transept, qui n'est pas encore vitrée,

¹⁹⁶ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2487 et 2489-2491, PJ n° 4 ; PJ n° 5 ; PJ n° 6 ; PJ n° 7.

¹⁹⁷ PJ n° 14. En prenant une valeur du pied de 0,324 m.

¹⁹⁸ La restitution a été effectuée à partir des quelques fenêtres où tirants et barlotières ont survécu à la seconde guerre mondiale et sont actuellement encore en place. Le nombre de vergettes a été estimé.

ont permis d'appréhender la nature des ancrages correspondant à l'emplacement de petites barlotières aujourd'hui disparues. Ces ancrages ne dépassent pas 3 à 4 cm de profondeur de chaque côté, ce qui semble logique au vu de l'épaisseur des montants de pierre de l'ordre de la dizaine de centimètres pour les plus fins. L'augmentation en longueur et donc en masse de ces barlotières est d'environ 10 %, soit 500 kg sur l'ensemble de la cathédrale. En considérant une augmentation équivalente pour les tirants, soit un ancrage d'une vingtaine de centimètres de chaque côté pour des barres de 4 m de long, on ajoute encore environ 500 kg au total. La masse de fer contenue dans les fenêtres de la cathédrale de Rouen peut donc s'élever à près de 15 tonnes.

L'évaluation de la quantité de fer présente au début du XIII^e siècle est beaucoup plus difficile, la plupart des fenêtres et armatures de cette époque ayant disparu. Les anciennes fenêtres basses de la nef étaient des fenêtres à lancettes jumelles, dont une empreinte demeure à l'entrée de la tour Saint-Romain. Les anciennes fenêtres hautes étaient quant à elles des fenêtres semblables aux fenêtres conservées dans la partie basses des transepts au nord-est et au sud-ouest¹⁹⁹. Un calcul a donc été effectué à titre indicatif afin d'avoir accès à un ordre de grandeur. Pour cette estimation un nombre de barlotières, feuillards, vergettes et tenons a été évalué par fenêtre en s'appuyant sur les fenêtres conservées dans le transept et en restituant leurs dimensions. On arrive ainsi à un total d'environ 30 kg par fenêtre haute et 45 kg par fenêtre basse de la nef. La quantité de métal actuellement présente dans les fenêtres du déambulatoire et des chapelles rayonnantes à l'exception de la chapelle de la Vierge a également été comptabilisée. Il fait état d'un total minimum d'environ 5 tonnes, auxquelles cinq autres tonnes viennent s'ajouter entre la fin du XIII^e siècle et le début du XIV^e siècle, avec l'évolution des fenêtres basses de la nef, due à la construction des chapelles latérales et l'agrandissement de la chapelle de la Vierge²⁰⁰.

¹⁹⁹ Voir « historique des vitraux de la cathédrale ».

²⁰⁰ Nous avons repris directement la quantité de fer actuellement contenu dans les fenêtres des chapelles de la nef, en considérant que ces fenêtres étaient nécessairement vitrées à l'époque et donc pourvues d'éléments métalliques pour maintenir cette vitrerie en place. Il reste néanmoins tout à fait possible que les compléments apportés à la fin du XV^e siècle par Guillaume Barbe aient modifié les armatures métalliques du XIII^e siècle.

I.1.2.5 L'apport des archives comptables à l'étude des armatures de vitraux

L'enjeu de l'analyse des sources écrites quant aux armatures de vitraux est double : permettre tout d'abord de reconstituer une partie des armatures d'origine, afin de voir si elles correspondent éventuellement parfois à celles qui sont actuellement en place, mais aussi tenter d'approcher la dimension des barres utilisées à l'époque, notamment en termes de section. En effet, les barlotières et autres vergettes sont des éléments constamment soumis à restaurations, comme en attestent par ailleurs les archives du patrimoine conservées depuis le milieu du XIX^e siècle, et il est probable que les éléments actuels ne sont pour la plupart, voire en totalité, pas les éléments d'origine.

Les comptes de la fabrique, tardifs, ne concernent cependant qu'une mince partie des vitraux de la cathédrale. Fort heureusement, un certain nombre d'entre eux ont été faits ou refaits au cours du XV^e siècle. Il s'agit en particulier des baies hautes du chœur et des vitraux des chapelles de la nef.

I.1.2.5.1 Réfection des fenêtres hautes du chœur et de la nef

Les travaux aux baies hautes du chœur suivent à près d'un demi-siècle d'intervalle la réfection d'une partie des baies hautes de la nef, non documentée par les archives. Dans les mentions des comptes de la fabrique, les fenêtres hautes du chœur sont divisées en deux groupes : les *parva forma* qui désignent les cinq fenêtres du rond-point et les dix *magna forma*, grandes fenêtres des travées droites. La réfection commence au cours du terme de Pâques à la Saint-Jean Baptiste en 1430 par les trois premières « formes du chœur de l'église nouvellement refaites »²⁰¹, puis l'année suivante c'est au tour des quatrième et cinquième *parva forma* et des deux premières *magna forma* les plus orientales²⁰². Les huit grandes formes restantes sont refaites travée par travée d'est en ouest jusqu'au terme de l'année 1433 terminant à la Saint-Jean-Baptiste à raison de quatre baies par année comptable²⁰³. Deux ans plus tard, après Pâques 1435, commence la réfection des fenêtres hautes orientales de la nef avec la vitrerie de *la première fourme de voerre en la neif en costé de devoers l'eaue de Sainne*²⁰⁴, c'est-à-dire au sud. C'est la seule mention conservée dans les comptes pour les

²⁰¹ PJ n° 4.

²⁰² PJ n° 5.

²⁰³ PJ n° 6 ; PJ n° 7.

²⁰⁴ PJ n° 8.

fenêtres de la nef à cause de la lacune qui suit l'année 1435. Tous les éléments de fer nécessaires à la reconstruction de ces fenêtres sont fournis par le serrurier ou *faber* Jehan Paen, qui œuvre à cette époque à la cathédrale.

Pour chaque baie, le procureur mentionne non seulement les types d'éléments employés dans l'armature et la masse totale de fer mise en œuvre dans la fenêtre, mais également un détail précis avec :

- le nombre de pièces pour chaque type d'élément ;
- le plus souvent des sommes partielles de la masse par type d'élément ;
- la quantité de « vieux fer » récupérée dans l'ancienne fenêtre.

A ces informations s'ajoutent naturellement le coût total des armatures de fer par fenêtre, avant et après déduction de la reprise de « vieux fer », ainsi que la surface de verre mise en œuvre par le maître-verrier Jean de Senlis.

Item eidem Paen, pro III^{cia} magna forma supra chorum ecclesie de novo clarificata, pro III^{bus} magnis barrellis de ferro novo ponderant VIII^{xx} XIX l. Item pro tribus anulis seu circulis de ferro novo ponderant XLI l. cum dimidia. Item pro XIII barrellis loquetatis unacum LXXIX virgis ponderant VII^{xx} XIX l. Somma totalis de dicto ferro novo, III^c LXXIX l. cum dimidia, pro qualiter libra, XIII d., valent XX l. XI s. I d. ob. Item pro I^c et dimidio de pailletis de ferro pro situando penellos de victro, pro quoliter C, III s., valent VI s. Somma XX l. XVII s. I d. ob. De qua somma sunt deducendis pro III^c XXXVII l. de ferro antiquo in dicta forma reperto, pro qualiter libra, V d. valent VII l. V d. t. Sic restat hic poni in misia omnibus deductis, prout patet per cedula dicti Paen, XIII l. XVI s. VIII d. ob.²⁰⁵

Les éléments mis en œuvre sont toujours les mêmes, même si leur nombre et leurs dimensions diffèrent d'une fenêtre à l'autre, surtout entre les *parva* et les *magna forma*²⁰⁶. On retrouve systématiquement des *anulis* ou *circulis* de la partie supérieure du remplage, deux ou trois *magnis barrellis*, des *barrellis loquetatis* ou *fers loquetés*, des *virgis* et des *paillettis*. Le détail de ces armatures élément par élément donné par les comptes est présenté dans le Tableau 4.

²⁰⁵ PJ n° 6, fol. 13 r°.

²⁰⁶ Le terme de « forme » (*forma*) désigne une baie.

	<i>Magnis barrellis</i>	<i>Anulis ou circulis</i>	<i>Barrellis loquetatis</i>	<i>Virgis</i>	Total	Kg	<i>Paillettes</i>
<i>1^a parva forma</i>	2 64 l.	3 9,5 l.	> 2 +	> 52 = 88,25 l.	161,75 l.	79 kg	300
<i>2^a parva forma</i>	2 64 l.	3 +	11 +	58 = 95 l.	159 l.	78 kg	
<i>3^a parva forma</i>	2 64 l.	3 +	11 +	58 = 95 l.	159 l.	78 kg	
<i>4^a parva forma</i>	2 64 l.	3 20 l.	12+2 +	74 = 141 l.	225 l.	110 kg	100
<i>5^a parva forma</i>	2 64 l.	3 20 l.	12+2 +	74 = 144 l.	228 l.	111,5 kg	100
<i>1^a magna forma</i>	3 179 l.	3 41,5 l.	14 +	79 = 159 l.	379,5 l.	185,5 kg	150
<i>2^a magna forma</i>	3 178 l.	3 41,5 l.	14 +	79 = 159 l.	378,5 l.	185 kg	150
<i>3^a magna forma</i>	3 179 l.	3 41,5 l.	14 +	79 = 159 l.	379,5 l.	185,5 kg	150
<i>4^a magna forma</i>	3 179,5 l.	3 42,5 l.	14 +	80 = 161 l.	383 l.	187,5 kg	150
<i>5^a magna forma</i>	3 181 l.	3 44 l.	14 +	80 = 160,5 l.	385,5 l.	188,5 kg	150
<i>6^a magna forma</i>	3 180,5 l.	3 42,5 l.	14 +	80 = 162 l.	385 l.	188 kg	150
<i>7^a magna forma</i>	3 ? l.	3 ? l.	14 +	81 ? l.	411,5 l.	201 kg	150
<i>8^a magna forma</i>	3 ? l.	3 ? l.	14 +	81 ? l.	386 l.	189 kg	-
<i>9^a magna forma</i>	3 ? l.	3 ? l.	14 +	81 ? l.	406 l.	198,5 kg	150
<i>10^a magna forma</i>	3 ? l.	3 ? l.	14 +	81 ? l.	385 l.	188 kg	150
<i>1^{ère} fourme de la neif</i>	2 p + 1 g 113 l.	2 p + 1 g 25 l.	8 +	61 83 l.	221 l.	108 kg	?

Tableau 4 : Décompte et masse des éléments de fer mis en œuvre par fenêtre, lors de la réfection des fenêtres hautes du chœur de la cathédrale de Rouen d'après les comptes de la Fabrique²⁰⁷.

²⁰⁷ D'après PJ n° 4 ; PJ n° 5 ; PJ n° 6 ; PJ n° 7 ° ; PJ n° 8.

Ce détail très précis permet de comparer les données médiévales aux armatures actuelles en terme de masse, mais aussi quant au nombre de tirants, barlotières et vergettes par baie. En vue de cette comparaison, la reconstitution des armatures de vitraux des baies hautes du chœur d'après les éléments encore en place est exposée dans le Tableau 5.

	Barlotières-tirants	Anneaux	Barlotières	Vergettes	Clavettes et tenons	Masse estimée (kg)	Masse des comptes (kg)
Abside	2	3	9	40	60	88-89 kg	78-110 kg
Travées droites	2	3	12	50	100	133-134 kg	185-201 kg
Nef 11 Sud	2	3	8	45	65	100 kg	108 kg

Tableau 5 : Reconstitution des éléments composant les armatures de vitraux des fenêtres hautes du chœur et de la fenêtre de la nef, d'après les éléments encore en place.

Il apparaît donc que la quantité de fer dans les baies hautes du chœur a été largement sous-estimée pour les travées droites, de près de 50 %. En revanche, pour la fenêtre de la nef et les trois fenêtres de l'abside qui sont encore vitrées, on retrouve presque la même masse et le même nombre d'éléments que dans les textes, preuve que l'aspect des baies encore pourvues de leurs vitraux d'origine n'a que peu évolué au cours des siècles.

Dans toutes les fenêtres²⁰⁸, les deux barlotières supplémentaires par fenêtre pourraient être des petites barlotières du réseau qui ont disparu. Le nombre bien plus important de vergettes peut quant à lui être attribué à un défaut de comptabilisation des vergettes du réseau, ainsi qu'à une probable répartition plus dense des vergettes dans les intervalles laissés entre les barlotières²⁰⁹. La masse des anneaux avait également été sous-estimée pour les travées droites.

La plus grande interrogation réside néanmoins dans la présence de trois *magnis barrellis* dans les grandes fenêtres des travées droites, alors que l'on en observe plus que deux. Dans les petites fenêtres de l'abside, on a toujours la présence de deux tirants par baie comme dans les textes. Plusieurs hypothèses peuvent être émises quant à la « disparition » de cette barlotière-tirant. On peut tout d'abord évoquer la non continuité des tirants bas, dans les

²⁰⁸ Sauf celle de la nef pour laquelle la restitution semble fidèle aux archives.

²⁰⁹ Pour faciliter les calculs, le nombre de vergette donné par fenêtre est un nombre de vergette équivalent à une vergette « standard » faisant la longueur d'une lancette. Dans le réseau, les vergettes étant plus courtes, un nombre moins important que le nombre de vergettes réel a été comptabilisé pour réaliser les estimations.

baies des quatre travées droites les plus occidentales, qui semblent composés de deux barres distinctes ancrées de part et d'autre du meneau central. On aurait donc un total de trois tirants, un long en haut, et deux courts pour composer le tirant bas. Cette théorie n'est cependant pas valable pour la cinquième travée où la continuité du tirant bas a été électriquement prouvée. De plus, elle semble assez compromise par la mention relative à la fenêtre de la nef pour laquelle le serrurier Jehan Paen forge *deux petis barreaux de fer et ung grant (...) pesans CXIII livres dudit fer*²¹⁰. Cette mention traduit parfaitement la disposition des barres explicitée précédemment, avec une grande barlotière-tirant en partie supérieure et, en partie médiane, deux plus petites alignées pour paraître comme une grande, disposition que l'on retrouve dans la fenêtre de la onzième travée du côté nord qui fait face à celle-ci. La fragilisation du meneau central entraînée par cette mise en œuvre ne semble toutefois pas avoir porté préjudice au remplage de ces fenêtres. La dénomination des *III^{bus} magnis barrellis* ne semble donc pas correspondre à une telle disposition et plaide plutôt pour des grands tirants continus. L'aspect discontinu des tirants médians de certaines des fenêtres hautes du chœur n'est alors peut-être pas d'origine, contrairement à ceux de la nef. Ceci nous guide vers une seconde hypothèse permettant d'expliquer la « disparition » de ce troisième tirant, selon laquelle il a effectivement été posé entre 1430 et 1433, mais a été déposé consécutivement à une des nombreuses restaurations qu'ont subies les vitraux de la cathédrale de Rouen. Ces restaurations auraient alors vu un remplacement presque complet des meneaux et peut-être également le remplacement du tirant médian, ou tout du moins sa découpe en deux tirants plus petits pour certaines travées. Si cette hypothèse pourrait désormais paraître la plus plausible, il est toutefois légitime de s'interroger sur la nécessité de mettre trois tirants dans ces baies qui ne mesurent que 5,5 m de haut et dont la hauteur des meneaux n'excède pas 3,5 m²¹¹.

En plus des informations sur ces éléments de fer mis en place lors de la réfection des fenêtres, les comptes de la fabrique renseignent également sur les quantités de fer déposées provenant des anciennes fenêtres du XIII^e siècle, dont l'architecture a été modifiée. Outre une preuve supplémentaire de la récupération du métal, qui, au vu des quantités de « ferro antico » récupérées par le forgeron, environ 2 tonnes en trois ans, autorise à s'interroger sur la véritable signification du terme « ferro novo », il s'agit surtout là de l'unique source dont dispose l'historien pour tenter de reconstituer les armatures de la vitrerie haute de la

²¹⁰ PJ n° 8.

²¹¹ Les baies hautes de l'église Saint-Ouen sont bien plus grandes et n'ont elles-mêmes que deux tirants chacune.

cathédrale de Rouen au XIII^e siècle, quand l'ensemble des fenêtres a été refait dans le courant des XIV^e et XV^e siècles. Le forgeron récupère ici environ 160 livres par *parva forma* et 330 livres par *magna forma* (cf. Tableau 6). Ces quantités sont, dans l'ensemble, à peine inférieures à celles mises en œuvre au XV^e siècle ; elles sont même presque égales pour les trois baies centrales de l'abside et pour la fenêtre de la nef. Il est donc fort vraisemblable que la vitrerie des fenêtres hautes du chœur de la cathédrale a nécessité environ 2 tonnes de fer dès le début du XIII^e siècle. Une reconstitution pour la nef, à partir de la première fenêtre haute, donnerait ainsi un total d'au moins 2,5 tonnes.

	<i>Ferro novo</i>	<i>Ferro antico</i>	<i>Ferro antico</i>
1 ^a <i>parva forma</i>	161,75 l.	504 l.	246,5 kg
2 ^a <i>parva forma</i>	159 l.		
3 ^a <i>parva forma</i>	159 l.		
4 ^a <i>parva forma</i>	225 l.	164 l.	80 kg
5 ^a <i>parva forma</i>	228 l.	162 l.	79 kg
1 ^a <i>magna forma</i>	379,5 l.	337 l.	165 kg
2 ^a <i>magna forma</i>	378,5 l.	332 l.	162,5 kg
3 ^a <i>magna forma</i>	379,5 l.	337 l.	165 kg
4 ^a <i>magna forma</i>	383 l.	334 l.	163,5 kg
5 ^a <i>magna forma</i>	385,5 l.	335 l.	164 kg
6 ^a <i>magna forma</i>	385 l.	333 l.	163 kg
7 ^a <i>magna forma</i>	411,5 l.	336 l.	164,5 kg
8 ^a <i>magna forma</i>	386 l.	331 l.	162 kg
9 ^a <i>magna forma</i>	406 l.	324 l.	158,5 kg
10 ^a <i>magna forma</i>	406 l.	324 l.	158,5 kg
1 ^{ère} <i>fourme de la nef</i>	221 l.	220 l.	107,5 kg
Total des fenêtres hautes du chœur	4833,25 l.	4153 l.	2031 kg

Tableau 6 : Masse de fer mise en œuvre (*ferro novo*) et masse de fer récupérée (*ferro antico*) lors de la réfection des fenêtres hautes du chœur de la cathédrale de Rouen, d'après les comptes de la Fabrique²¹².

²¹² D'après PJ n° 4 ; PJ n° 5 ; PJ n° 6 ; PJ n° 7°; PJ n° 8.

I.1.2.5.2 Les fenêtres des chapelles de la nef

Construites à la fin du XIII^e siècle, les chapelles de la nef n'ont été vitrées en intégralité que dans la deuxième moitié du XV^e siècle, par le maître-verrier Guillaume Barbe, entre 1465 et 1470, période pour laquelle les comptes de la fabrique sont conservés. Si le détail précis des panneaux de verre mis en œuvre par le verrier est mentionné dans les comptes, ce n'est pas le cas des armatures de fer. Les informations délivrées par le procureur sont en général succinctes et ne permettent pas d'établir de reconstitution ou de comparaison avec les vitraux actuels.

Du 25 juillet à la Saint-Michel 1467, Guillaume Barbe œuvre aux chapelles Sainte-Catherine, Saint-Jacques et Saint-Christophe²¹³. Malgré l'achat par la fabrique de 174 livres de fer au maréchal Jehan de Monville, seul est donné le détail de huit barlotières neuves pesant 13,5 l. et de dix-huit autres refaites *pour mectre en la fourme de voire de la chappelle Sainte Katherine*²¹⁴. Entre la Saint-Michel 1467 et le même jour en 1468, Guillaume Barbe travaille aux vitraux des chapelles de Nonancourt, Saint-Mellon et Sainte-Agathe. Le serrurier Jean de Herupy fournit alors *XXIII verges à voire pesant XXVII l. (...) et plusieurs aultres besongnes faictes par lui touchant le fait de la dicte oeuvre*²¹⁵. Malgré une dépense totale s'élevant à 11 l. 13 s. et 2 d. t., rien n'est ajouté sur le compte des autres verrières. De même l'année suivante, allant de la Saint-Michel 1468 à la Saint-Michel 1469. Guillaume Barbe continue son travail à la chapelle Sainte-Agathe, pour laquelle il fait quatre images de verre et il œuvre également aux chapelles de Marie-Madeleine, de Notre Dame de Pitié et de saint Julien²¹⁶. Le détail des travaux de serrurerie s'arrêtent quant à eux à l'achat de *XXVI verges à voirrier pesant XXII livres et dye barreaux loquetiers avecque les locquetieres et cent et demi de pailleicte employés en la fourme de voire de la chappelle Marie Magdalene*, payés le 24 mars 1469 à Jehan de Monville²¹⁷, et de *XIII verges à voirre pour la chappelle Sainte Agathe poisent XVIII l. et demie* forgées par Jean de Herupy et payées par le fabrique le dernier jour de septembre²¹⁸.

L'apparent petit nombre d'éléments de fer achetés entre 1467 et 1469 pour les verrières des chapelles de la nef est semble-t-il trompeur. On aurait pourtant pu imaginer que le verrier n'ait qu'à reprendre la structure d'une précédente vitrerie provisoire possédant ses

²¹³ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2503, fol. 18 v^o.

²¹⁴ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2503, fol. 20 v^o.

²¹⁵ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2503, fol. 137 r^o.

²¹⁶ PJ n^o 12, fol. 125 r^o.

²¹⁷ PJ n^o 12, fol. 134 v^o-135 r^o.

²¹⁸ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2505, fol. 135 v^o-136 r^o.

propres armatures pour installer ses nouvelles œuvres. Cependant, au cours de ces deux années comptables, les dépenses pour forges atteignent respectivement environ 100 l. 18 s. 7 d. t. et 81 l. 12 s. 6 d. ob. t., chiffres rappelant les valeurs atteintes lors de la période de vitrerie haute du chœur entre 1430 et 1433. D'autre part, les dépenses pour forge indéterminées représentent alors entre 60 et 70 % du total de ces dépenses pour forge avec environ 55 à 60 l. t. Bien que les mentions de serrurerie ne le laissent pas transparaître, les dépenses pour fers à vitraux sont donc vraisemblablement plus importantes qu'elles ne paraissent. Cela ne doit toutefois pas occulter complètement le fait que des anciennes armatures existaient dans certaines chapelles, comme dans la chapelle Sainte-Catherine où Jean de Monville *refait XVIII barreaux loquetiers*²¹⁹ et que les besoins en fer étaient donc nécessairement moindres que pour des fenêtres nouvellement construites.

I.1.2.5.3 Les vitraux de la librairie

Fort peu d'informations sont disponibles dans les comptes au sujet des vitraux ornant la librairie de la cathédrale de Rouen, refaite au cours de la seconde moitié du XV^e siècle. Les parties du serrurier Jean de Hérupy ne sont pas détaillées et on sait seulement qu'il a *fait plusieurs besongnes pour ladicte librairie comme (...) barreaux à mettre aux cleres voyes de hault de ladicte librairie*²²⁰. Les travaux à la librairie seront décrits de manière plus précise ultérieurement, dans la partie correspondante.

I.1.2.5.4 Réfection des fenêtres hautes du transept

Après celles du chœur et de la nef, une partie des fenêtres hautes du transept est également refaite à neuf pendant la deuxième moitié du XV^e siècle. Malgré la conservation d'une partie des comptes, ces travaux sont très mal documentés. On sait néanmoins qu'au cours de l'année comptable 1484-1485, le maître-verrier Guillaume Barbe fait une *fourme de voirre blanc mis en gros plomc bordée de couleurs, laquelle siet à la croisée de la dite eglise dessus la chappelle Saint Jehan* et une autre *sur la chappelle Saint Sever*²²¹. Mais ici encore, le travail de forge du serrurier Jean de Herupy, qui monte à près de 32 l. t., n'est

²¹⁹ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2503, fol. 20 v^o.

²²⁰ PJ n^o 13.

²²¹ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2511, fol. 68 r^o et 68 v^o. Ces deux chapelles semblent pourtant situées dans la nef, du côté nord.

complètement détaillé que dans sa quittance qui n'a pas été conservée. Le détail partiel ne donne que *IIII grans barreaux mis à une grande fourme de voirre à la croisee du costé des fons* ainsi que *XI rons, fournis de loqueteaux et X verges à voirre mis à la dicte fourme*²²². Bien qu'il s'agisse visiblement d'une fenêtre située dans le transept nord avec cette appellation « du côté des fonds », la baie en question n'a pas pu être identifiée avec plus de précision.

I.1.2.5.5 Les baies basses de la tour de Beurre.

Après une lacune de trois ans dans les comptes, on retrouve toujours le même Jean de Hérupy, surnommé Castille, travaillant cette fois aux verrières de la nouvelle tour. Il fournit *XII grans barreaux de fer de VIII pies de long, fournis de IIII^{XX} XVI loquetieres et de XLVIII tourellieres* ainsi que des verges pour ces verrières²²³. On reconnaît ici les douze tirants armant les six fenêtres de la chapelle Saint-Etienne-la-Grande-Eglise au rez-de-chaussée de la tour de Beurre. Chacun est donc pourvu de huit tenons et quatre tourellières, qui représentent probablement les anneaux extérieurs encore visibles à l'heure actuelle et destinés à passer des barres de fer verticales servant à protéger le vitrail. Il a de plus déjà été évoqué précédemment que, d'après leurs dimensions et la largeur des baies correspondantes, ces tirants sont ancrés sur une profondeur d'un pied de chaque côté dans les piédroits.

I.1.2.6 Synthèse sur les armatures des vitraux

La structure vitrée de la cathédrale de Rouen a relativement peu évolué depuis la fin du Moyen Age et le dessin actuel des armatures en place semble donc assez représentatif de celui de la fin du XV^e siècle. La restitution de la première vitrerie de la cathédrale, dont il ne reste aucun élément pour la nef et pour l'ensemble des fenêtres hautes, est quant à elle beaucoup plus incertaine.

Les estimations chiffrées donnent un total de 14 tonnes pour l'ensemble des armatures de vitraux. Les comptes semblent cependant indiquer que, pour certaines baies du milieu du XV^e siècle, les armatures de fer en place étaient plus importantes que celles que nous avons

²²² Arch. dép. Seine-Maritime, G 2511, fol. 75 r^o.

²²³ PJ n^o 14.

comptabilisées. De plus, ils mentionnent la récupération de nombreux éléments de fer ayant appartenu aux fenêtres primitives. Les archives comptables viennent donc ici confirmer et préciser la validité des estimations réalisées en prospection et offrent de plus une vision diachronique des châssis vitrés, que les armatures actuelles ne peuvent fournir. Ces données, tout en informant sur les pratiques de récupération du métal, permettent de restituer partiellement les armatures originelles du début du XIII^e siècle et vont dans le sens d'une utilisation abondante, dès les premières périodes de la construction.

I.1.3 Autres emplois du fer découverts dans la structure de la cathédrale de Rouen

I.1.3.1 Recherche de chaînages intégrés à la maçonnerie

Avant de commencer notre itinéraire dans la structure de la cathédrale de Rouen, il semble capital d'indiquer que, malgré les inspections au détecteur de métaux, aucun chaînage intégré à la maçonnerie n'a pu être mis en évidence sur l'ensemble de l'édifice, que ce soit dans le triforium oriental, le triforium occidental ou encore les combles²²⁴. Les prospections n'ont pu s'étendre au niveau des fausses tribunes, faute d'accessibilité. L'étude des quelques murs diaphragmes conservés dans les combles du triforium n'a pas donné plus de résultats²²⁵, ni les observations faites au niveau des arcs-boutants du chœur²²⁶.

I.1.3.2 Au rez-de-chaussée

I.1.3.2.1 Barres en soutien d'arcature

Un certain nombre de tirants et de petites barres de fer ont été découverts au rez-de-chaussée de la cathédrale.

Quatre arcatures sont en particulier renforcées par des tirants de fer, passant au niveau des sommiers des colonnes qui les soutiennent. Les deux premières se trouvent dans le collatéral sud de la nef, au niveau des arcs qui composaient les fenêtres des anciennes chapelles des deux premières travées, et qui marquent désormais l'entrée de la chapelle Saint-Etienne-la-grande-église au rez-de-chaussée de la tour de Beurre (cf. Figure 33). Les deux autres se trouvent dans le transept, l'une du côté est du croisillon nord et l'autre dans la partie

²²⁴ Ajoutons qu'aucun désordre lié à la corrosion et au gonflement d'un chaînage n'a pu être relevé. Dans le cas des grands combles, les deux premières assises de pierre sont une réfection. Si un chaînage existe, il se trouve donc nécessairement intégré aux assises inférieures.

²²⁵ La plupart sont complètement absents. Seul le côté sud dans le comble du triforium oriental offre une succession de huit murs encore en place, dont seulement trois sont partiellement détruits.

²²⁶ Ces arcs-boutants ont cependant probablement été remaniés au XIX^e siècle.

ouest du croisillon sud : elles renforcent les arcs constituant les avant-fenêtres des baies géminées construites au XIII^e siècle (cf. Figure 34). Ces tirants ont une fonction assez similaire à celle des grosses barlotières placées en position haute dans les fenêtres, si ce n'est que la surface qu'ils traversent n'est pas vitrée. Si les avant-fenêtres des croisillons du transept n'ont sans nul doute jamais été vitrées, les arcatures des anciennes chapelles de la nef à l'entrée de la chapelle Saint-Etienne-la-Grande-Eglise étaient, à l'instar de toutes les chapelles de la nef, très probablement pourvues de vitraux avant l'élévation de la tour de Beurre. Les tirants que l'on observe actuellement se situent par ailleurs à la même hauteur que ceux des baies des chapelles voisines et leur rôle doit être rapproché de celui des barlotières-tirants précédemment évoquées.

Aucune mesure de la section de ces barres n'a pu être entreprise, pour des raisons d'inaccessibilité évidentes. Il s'agit toutefois de barres de fer de section sub-rectangulaire, dont la longueur dépend de la portée de l'arc qu'ils viennent renforcer : ils mesurent donc tous entre 4 et 5 m de long. On peut en outre rapprocher leur section de celle des grosses barlotières, soit environ 10 cm² en moyenne. Ces tirants représentent donc entre 30 et 40 kg chacun.

Les datations de ces éléments peuvent uniquement faire l'objet d'hypothèses, leur position à plusieurs mètres du sol ayant fortement limité les investigations. Il est néanmoins possible de présager de leur ancienneté, puisque ces barres servent de soutien à des parties primitives de l'édifice, qui n'ont fait l'objet d'aucun désordre structurel exceptionnel nécessitant de telles mesures palliatives. Les baies géminées du transept avec leurs avant-fenêtres sont les fenêtres originelles, construites dans le premier tiers du XIII^e siècle. Quant aux barres de fer situées en position haute à l'entrée de la chapelle Saint-Etienne-la-Grande-Eglise, elles correspondent, comme il a été évoqué, aux anciennes fenêtres des chapelles des premières travées sud de la nef. Lors de leur édification, à la fin du XIII^e siècle, ces fenêtres comportaient vraisemblablement des tirants hauts comme ceux que l'on retrouve dans toutes les autres fenêtres de ces chapelles. Il est donc probable que les tirants qui y sont encore à l'heure actuelle remontent à l'ouverture de ces chapelles à l'extrême fin du XIII^e siècle.

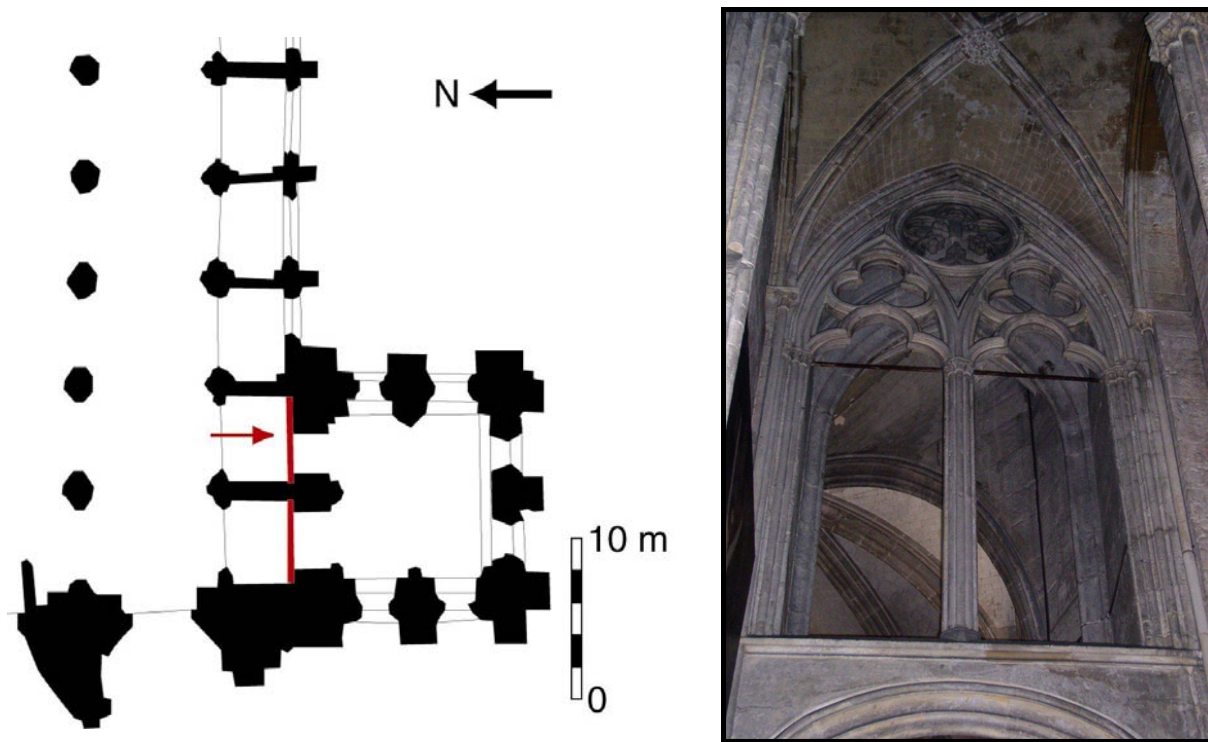


Figure 33 : Tirant des arcs à l'entrée de la tour de Beurre, première travée sud de la nef (en haut à droite) et seconde travée sud (en bas).

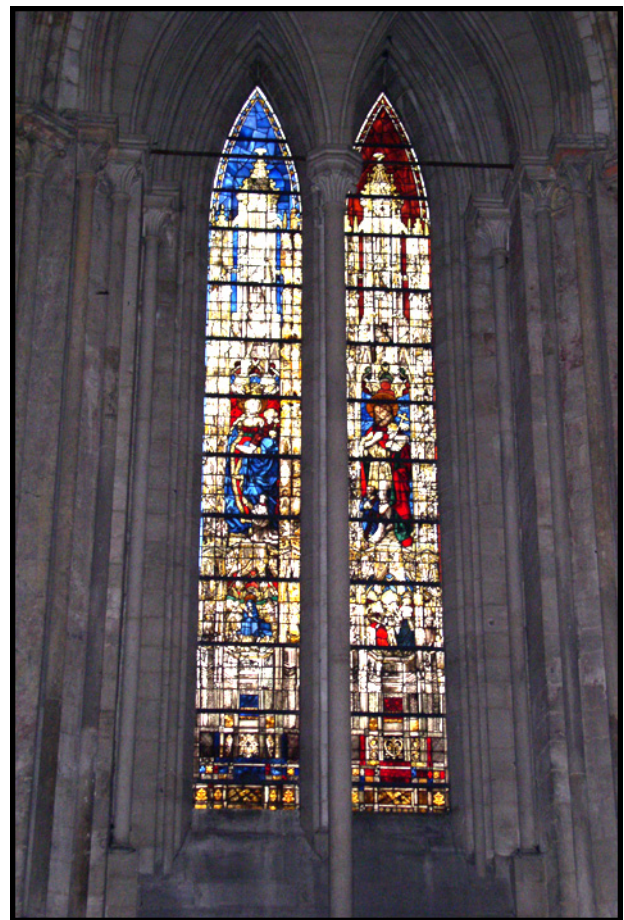
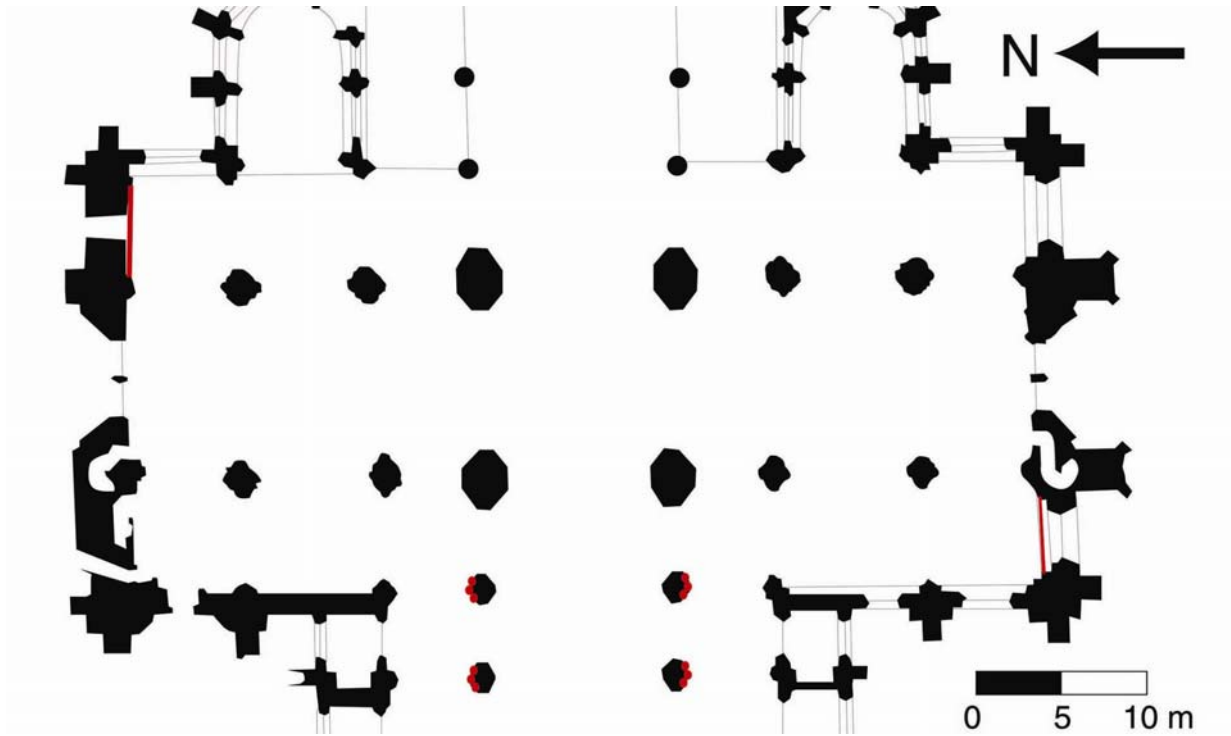


Figure 34 : Tirants des avant-baies du transept de la cathédrale de Rouen, au nord-est (à gauche) et au sud-ouest (à droite).

1.1.3.2.2 Petites barres de fer attachant des colonnettes

Du côté des collatéraux, les piles de la nef sont toutes pourvues de cinq colonnettes qui servent à soutenir des passages en saillie triangulaires, constituant un chemin de circulation au niveau des fausses tribunes²²⁷. Chacune des trois colonnettes centrales a un fût en deux parties, jointes par l'intermédiaire d'une bague de pierre²²⁸. En revanche, les deux colonnettes latérales, adossées aux piles, sont en général seulement constituées de la partie supérieure du fût, reposant sur une saillie aménagée sur la paroi de la pile²²⁹. Les trois colonnettes centrales sont reliées aux piles par des petites barres de fer, au nombre de deux par colonnette²³⁰ : une en partie supérieure qui passe au niveau de la jonction entre le fût et le chapiteau et une en partie médiane qui vient s'ancrer à hauteur du joint entre la bague et la partie inférieure du fût (cf. Figure 35)²³¹. Ces barres sont donc au nombre de six par pile et quatre pour les deux piles les plus occidentales, soit un total de 128 petites barres de ce type. Toutes sont de section sub-carrée à sub-rectangulaire ; seules certaines colonnettes des piles de la nef du côté sud présentent des fers de section circulaire correspondant à une restauration d'après-guerre. Les dimensions précises de ces barres n'ont évidemment pas pu être mesurées faute d'accessibilité.

Le rôle joué par ces petites barres est évident : les colonnettes qu'elles soutiennent ont une base très instable, puisqu'elles reposent sur un élément rapporté à la pile et qu'elles doivent elles-mêmes supporter, en plus de leur propre poids, celui du passage disposé en encorbellement. Il convient donc d'éviter qu'elles ne déversent du côté des collatéraux, à cause de poussées obliques. Le fait qu'elles aient été remplacées après la guerre dans le collatéral sud, les anciennes barres ayant probablement été détruites ou pour le moins endommagées par les bombardements de 1944, confirme leur importance dans l'équilibre de ce système.

Ces attaches des colonnes sur les piles de la nef apparaissent comme des éléments nécessaires à la statique de ces colonnes et du passage en saillie des fausses tribunes. Il est donc permis de concevoir que ces éléments aient été posés dès leur élévation, lors de la construction de la nef au début du XIII^e siècle. Ils ne peuvent y être antérieurs car à la fin du

²²⁷ Les deux piles situées à l'extrémité occidentale de la nef ne sont pourvues que de quatre colonnettes chacune.

²²⁸ Pour les piles situées aux extrémités de la nef, il n'y a que deux colonnettes centrales.

²²⁹ Sur certaines piles, elles sont cependant de la même hauteur que les autres colonnettes et ne sont dans ce cas pas adossées aux piles. Elles semblent alors être le résultat de restaurations. Elles ne sont cependant toujours pas pourvues de petites barres de fer les reliant aux piles.

²³⁰ Les colonnettes sont en réalité reliées à des colonnettes appareillées engagées dans les piles.

²³¹ Les barres sont également ancrées dans les joints de l'appareil des colonnettes engagées aux piles.

XII^e siècle, le projet initial pour la cathédrale gothique était une élévation quadripartite avec de réelles tribunes²³². De telles colonnettes n'auraient donc pu y trouver leur place, puisqu'elles sont liées à la réalisation des fausses tribunes, selon la nouvelle conception imaginée par Jean d'Andely au début du XIII^e siècle. Une étude précise des ancrages serait nécessaire afin de confirmer ces hypothèses.

En estimant la longueur de ces barres à une soixantaine de centimètres, ancrages compris, et leur section à environ 5 cm², chaque barre pèse environ 2 kg, soit un total de près de 250 kg pour l'ensemble des piles de la nef.

Dans la chapelle du Revestiaire, au sud du chœur, d'autres petites barres du même type ont également été découvertes (cf. Figure 35). Cette chapelle rayonnante, élevée à la fin du premier tiers du XIII^e siècle, se compose de trois lancettes vitrées entourées par deux lancettes aveugles, qui sont décorées par une arcature de deux arcs. Les deux colonnettes centrales sur lesquelles reposent ces deux arcs montent de la coursive, passant au pied des baies, au sommet de l'arcature situé juste en dessous de la voûte de la chapelle. Toutes deux sont attachées aux murs attenants par trois petites barres de fer. Ces six barres sont ancrées au niveau d'un joint entre deux parties du fût, la barre supérieure étant située à hauteur de la jonction entre le fût et le chapiteau. Ces barres, également inaccessibles, sont de section sub-rectangulaires comme les précédentes. Elles mesurent environ 50 cm de long chacune dans leur partie visible, longueur correspondant à la distance du mur à la colonnette.

Ces barres apportent un soutien probablement non négligeable à ces colonnettes à l'allongement exceptionnel. Leurs fûts mesurent en effet près de 9 m de haut pour une vingtaine de centimètres de diamètre et ne sont constitués que de trois tronçons de pierre disposés en délit.

La datation de ces barres est liée à celle des colonnettes dont les différents tronçons des fûts semblent constitués d'une pierre assez homogène. Les ancrages n'ont de plus pas fait l'objet de remaniements importants, même si une étude plus précise serait nécessaire. L'hypothèse la plus vraisemblable serait donc qu'elles ont été installées à la fin du premier tiers du XIII^e siècle lors de la construction de la chapelle.

Enfin, les piles fasciculées encadrant les entrées des chapelles de la nef sont ornées de colonnettes qui y sont presque adossées. Celles-ci sont rattachées à la pile par une petite barre

²³² CARMEN LANFRY (A.-M.), *La cathédrale Notre-Dame...*, op. cit., p. 75.

de fer au niveau des joints entre deux tronçons de leurs fûts. Ces colonnettes sont essentiellement observables dans le collatéral nord, les chapelles basses du collatéral sud ayant été reconstruites après leur destruction lors de la Seconde Guerre mondiale. Ces barres ne mesurent que quelques centimètres de long, longueur de l'espace compris entre la colonnette et la pile. Malgré leurs petites dimensions, leur rôle est similaire à celles des barres de la chapelle du Revestiaire. L'apparente absence de restauration au niveau de certaines de ces colonnettes tendrait également à dater le système du début du XIII^e siècle.

Élément de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Tirants	Arcatures des avant-baies du transept	2	L ≈ 4 à 5 m	≈ 70 kg	Début XIII ^e s.
Tirants	Arcatures des deux premières chapelles sud de la nef	2	L ≈ 4 à 5 m	≈ 70 kg	Fin XIII ^e s.
Barres	Colonnettes de la chapelle du Revestiaire	6	L ≈ 50 cm	-	Mi XIII ^e s.
Barres	Colonnettes des piles de la nef au niveau des fausses-tribunes	128	L ≈ 60 cm	≈ 250 kg	Début XIII ^e s.
Barres	Colonnettes décorant les piles encadrant les chapelles de la nef	-	L = qqes cm	-	Début XIII ^e s. ?

Tableau 7 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au rez-de-chaussée de la cathédrale de Rouen.

1.1.3.3 Au niveau du triforium

L'étage du triforium comprend la galerie intérieure, les combles latéraux ainsi que le passage extérieur aménagé sur la toiture des chapelles de la nef et autour des chapelles du chœur. Si les prospections dans les combles se sont révélées stériles, celles réalisées au détecteur de métaux au niveau des balustrades et colonnettes intérieures sont en revanche riches d'enseignements.

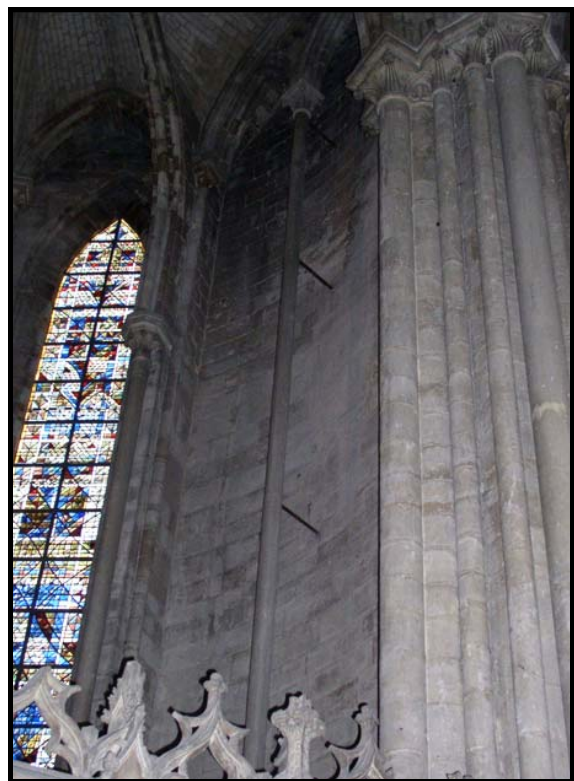
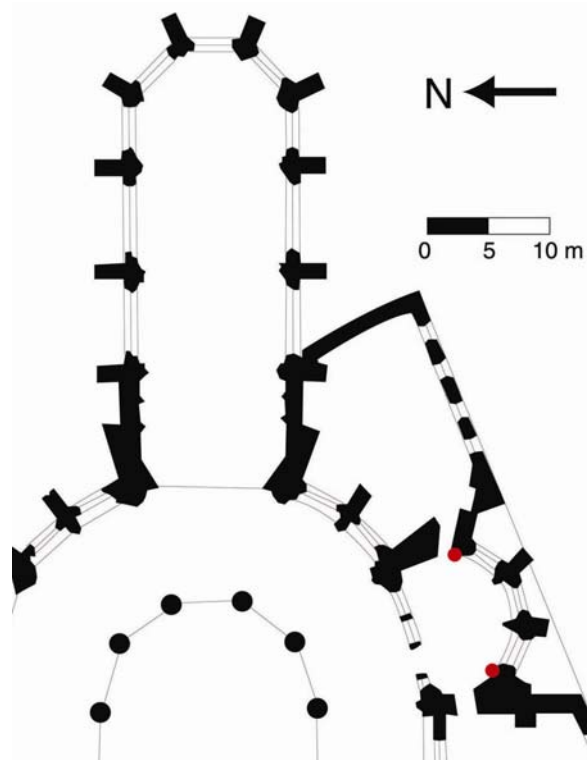
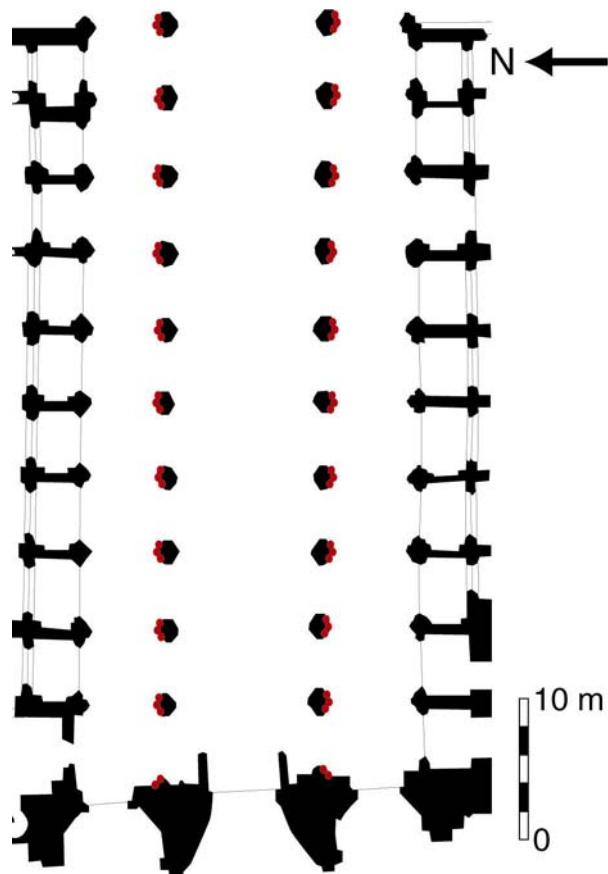


Figure 35 : En haut, petites barres de fer reliant les colonnettes aux piles de la nef de la cathédrale de Rouen, en bas, barres des colonnettes de la chapelle du revestiaire.

I.1.3.3.1 Balustrade intérieure de la nef

Dans la nef, le triforium est ceint par d'une balustrade reposant sur une arcature de petites colonnettes pour les sept travées occidentales. Dans les quatre travées orientales, la balustrade a été supprimée au profit d'une claire-voie, ajoutée lors de la transformation des fenêtres hautes, probablement à partir de 1435.

I.1.3.3.1.1 Eléments visibles

On note tout d'abord la présence de quatre goujons situés sur cette balustrade au centre des sixième et septième travées nord et des cinquième et sixième travées sud (cf. Figure 37). Ces goujons sont coulés au plomb dans des socles circulaires, dont certains font une légère saillie vers l'intérieur de la nef. Les balustrades des autres travées ne présentent pas de goujon, mais certaines ont malgré tout un socle circulaire avec l'empreinte d'un logement de goujon. C'est notamment le cas des quatrième et cinquième travées nord et de la septième travée sud. Dans les trois travées occidentales, la présence de ce socle n'est pas systématique. Un examen précis de ces balustrades révèle par ailleurs que, malgré une unité apparente au premier abord, leurs dessins varient presque à chaque travée. Ces goujons correspondent à l'emplacement d'anciennes colonnettes qui prenaient leur assise au milieu de la balustrade du triforium et faisaient partie de la structure des avant-fenêtres des anciennes baies hautes de la nef²³³. Elles ont été supprimées lors de la réfection des fenêtres hautes à la fin du XIV^e siècle et au XV^e siècle, mais certains des goujons ont été conservés en place sur la balustrade. A l'origine, il devait y avoir un goujon par colonnette, soit un par travée. Certaines de ces balustrades ont donc sans doute été modifiées par la suite, supprimant ce socle destiné à accueillir le fût des colonnettes. Aucune trace nette de reprise dans les balustrades des travées occidentales de la nef ne permet d'aller plus loin dans la réflexion. Ces quatre goujons, datant donc du début du XIII^e siècle, ont été prélevés pour analyses métallographiques sous les références ROU TS5, ROU TS6, ROU TN6 et ROU TN7, suivant la travée dans laquelle ils se trouvaient. Malgré des longueurs visibles similaires, comprises entre 7 et 11 cm, ces quatre goujons ont des formes très diverses²³⁴. Les deux plus petits, ROU TS5 et TN6, sont cylindriques avec une section grossièrement circulaire de 2 à 2,5 cm de diamètre. ROU TS6 a quant à lui une section sub-carrée de 2 cm de côté et ROU TN7 à la forme la plus originale

²³³ LANFRY (G.), *La cathédrale après la conquête de la Normandie et jusqu'à l'occupation anglaise*, Rouen, 1960, p. 75.

²³⁴ Leur longueur totale peut être estimée au double de leur longueur visible.

puisque, de section oblongue d'environ 2 cm x 1 cm de côté à sa base, il s'affine en biseau en partie supérieure pour ne plus mesurer que 1 cm x 0,3 cm. La masse d'un de ces goujons est comprise entre 200 et 600 g, suivant sa section et sa longueur.

Quelques crochets ont également été relevés ancrés dans les piles dans l'axe de la claire-voie ou de la balustrade. Les crochets présents dans un édifice peuvent être la marque d'anciens tirants de fer ou de bois, de fonction provisoire. Toutefois, leur répartition est ici loin d'être régulière. De plus, leur faible section d'à peine 0,5 cm² ainsi que leurs ancrages peu profonds de l'ordre du centimètre laissent plutôt à penser qu'il s'agissait là de crochets destinés à accrocher un quelconque élément de décor.

I.1.3.3.1.2 Prospections au détecteur de métaux

Cette balustrade du triforium a également fait l'objet de prospections à la poêle à frire. Au sud comme au nord, des échos ont été relevés au niveau de la jointure entre les deux assises de pierre supérieures pour les cinq premières travées (cf. Figure 36). Dans les travées nord, ce signal commence à environ 30 cm du bord de la pile, se prolonge à travers toute la longueur de la balustrade, en ne s'interrompant que sur une dizaine de centimètres au niveau d'un renflement dû à la présence d'une grosse colonnette centrale²³⁵. Il s'arrête ensuite de manière symétrique dans la pile suivante, à environ 30 cm de la fin de la balustrade. Le début et l'arrêt du signal correspondent à chaque fois à l'engravement dans les piles des éléments de pierre terminaux constituant chaque balustrade. Pour les travées sud, il est systématiquement continu sur toute la longueur de la balustrade, cependant le renflement de la colonnette central est moins important qu'au nord. De même, l'engravement des pierres étant, à certains endroits, moins important qu'au nord, l'écho se prolonge dans les piles sur une longueur parfois moindre. A part ceux correspondant aux engravements, aucun autre signal n'a été perçu à l'intérieur des piles. Ces échos font penser à l'utilisation d'agrafes pour renforcer la maçonnerie de ces balustrades, la continuité du signal pouvant être expliquée par un espace relativement faible entre chaque agrafe. Aucun écho n'a été relevé dans les sixièmes et septièmes travées. Un examen plus attentif de ces balustrades, plus basses et moins trapues, révèle qu'elles ont fait l'objet d'une reprise totale, sauf au niveau de la colonnette centrale, à l'image de la sixième travée sud sur la Figure 37. On peut supposer que ces balustrades étaient auparavant renforcées de la même manière que les autres.

²³⁵ Seule la première travée au nord a montré un écho discontinu sur toute la longueur de la balustrade.

D'autres signaux ont également été perçus en sondant les colonnettes constituant l'arcature de la balustrade. De la première à la cinquième travée, la plupart des colonnettes, au nombre de cinq à neuf par travée, ont donné un écho à leur base et à leur sommet (cf. Figure 36). Les seules colonnettes qui n'en ont fourni aucun étaient des colonnettes clairement identifiables comme étant des réfections. Dans les sixième et septième travées, en revanche, seules les colonnettes centrales de plus grande section, qui n'ont pas fait l'objet de reprises ont donné un tel signal. Ces prospections attestent donc bien l'utilisation de goujons de manière systématique dans ces petites colonnes, au moins pour les cinq premières travées de la nef. Un socle de colonnette brisé dans la quatrième travée nord révèle effectivement la présence d'un goujon de fer coulé au plomb, ce qui vient confirmer ces hypothèses.

A partir de la huitième travée, les balustrades font place à des claires-voies. Les différentes pierres composant leurs meneaux sont liaisonnées au plomb, ce qui a empêché toute discrimination au détecteur de métaux pour l'identification d'éventuels goujons.

I.1.3.3.1.3 Phasage des éléments découverts

Ces agrafes et goujons présents dans la structure des balustrades occidentales du triforium de la nef de la cathédrale datent fort probablement de la construction de ces balustrades. En effet, même si quelques remaniements sont perceptibles, aucun ne pourrait expliquer une dépose complète qui aurait permis d'installer ces éléments de fer à toutes les travées. Le caractère systématique et régulier des échos ainsi que leur absence dans les travées entièrement restaurées plaident donc pour une installation au début du XIII^e siècle. Avant leur modification les anciennes balustrades des quatre travées orientales de la nef étaient sans doute également pourvues des mêmes éléments de fer.

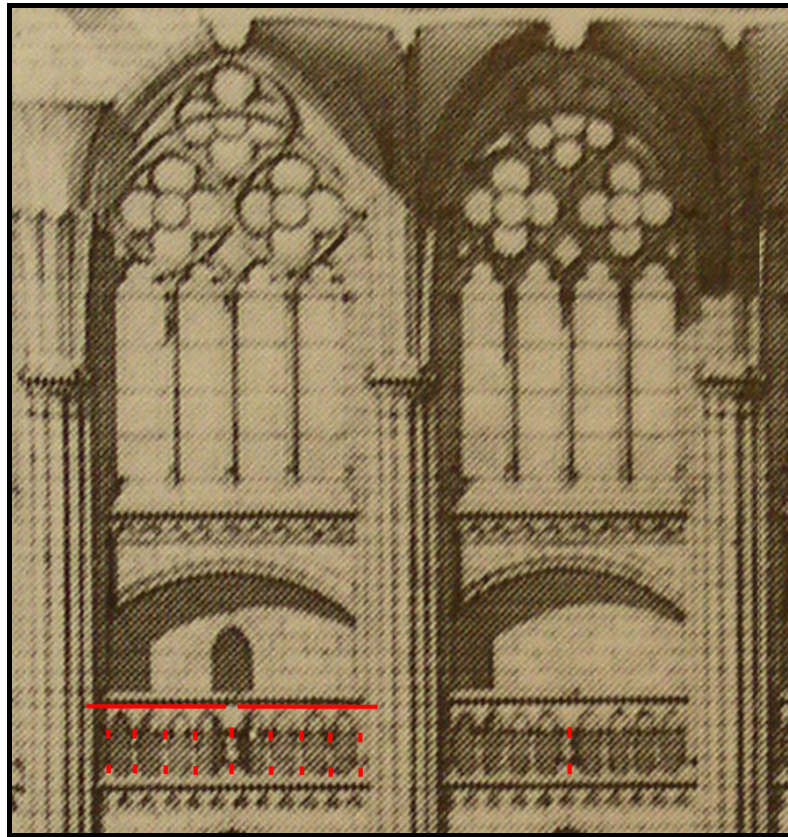


Figure 36 : Résultats des prospections au détecteur de métaux dans le triforium de la nef de la cathédrale de Rouen. En haut, cartographie des échos relevés d'après un dessin de Sauvageot ; à gauche, travées 1 à 5 ; à droite, travées 6 et 7. En bas, localisation de l'écho horizontal obtenu au niveau de ces balustrades, cliché Ph. Dillmann.

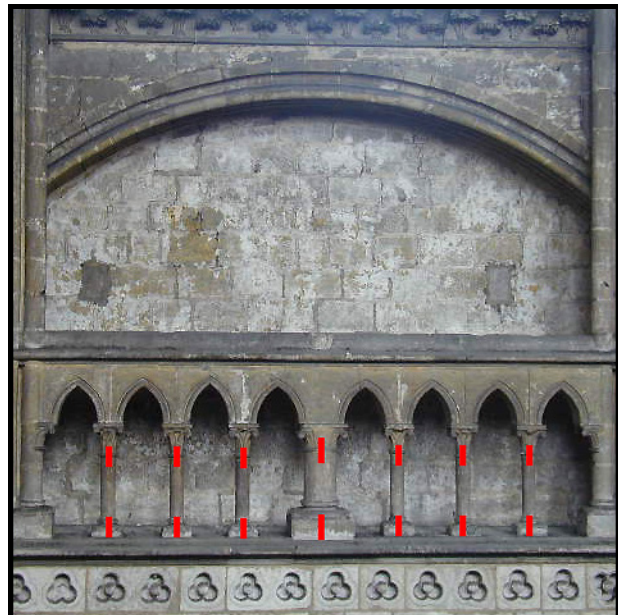
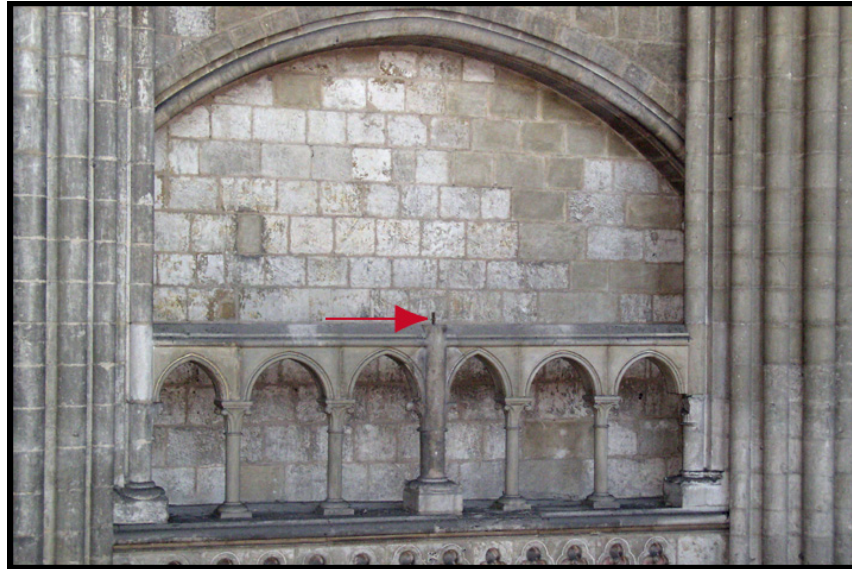


Figure 37: Goujons dans les triforiums de la cathédrale de Rouen. En haut, vue générale du triforium de la nef de la cathédrale de Rouen, 6^e travée sud. Au centre, goujons de la 6^e travée nord (à gauche) et de la 7^e travée nord avec partie de son scellement au plomb (à droite). En bas, localisation des échos correspondant à la présence de goujons, triforium du chœur (à gauche), triforium de la nef travées 1 à 5 (à droite).

I.1.3.3.1.4 Analyses métallographiques

Quatre goujons ont donc pu être prélevés sur la balustrade du triforium de la nef pour analyses métallographiques. Tous ont fait l'objet d'une section longitudinale sur toute la longueur du prélèvement.

Les quatre sections observées présentent un faciès hétérogène avec des zones ferritiques et des zones carburées, pouvant aller jusqu'à la composition de l'eutectoïde (cf. Figure 38). Seule la structure de ROU TS6a ne titre au maximum que jusqu'à 0,5 %_{mass} de carbone. Trois des quatre sections étudiées, ROU TS5a, ROU TS6a et ROU TN6a, ont toutefois une matrice à très nette dominante ferritique avec uniquement quelques plages très carburées. La répartition de ces zones carburées est assez aléatoire, même si un léger allongement dans le sens de la longueur des objets est perceptible. Seul ROU TN7a présente une répartition particulière : la ligne de séparation entre la zone ferritique et la zone aciérée qui le compose est transversale à l'échantillon, la pointe du goujon étant entièrement carburée et le corps totalement ferritique. De plus, sa zone carburée porte la marque d'une structure de trempe, caractérisée par la formation de bainite et de martensite, structures absentes des trois autres sections étudiées (cf. Figure 39). Elles caractérisent un refroidissement rapide de l'acier, en le plongeant dans un liquide (eau, huile...), ce qui le rend beaucoup plus dur, mais aussi plus cassant. Cet échantillon possède une répartition assez remarquable avec sa pointe en acier trempé, mais on peut s'interroger sur l'aspect volontaire d'un tel traitement, ne serait-ce qu'en comparant ROU TN7 aux trois autres goujons. Aucun ne porte la marque d'une trempe, ni d'un quelconque traitement destiné à en renforcer la structure. Il n'y avait donc sans doute pas d'utilité à tremper de tels éléments ; la structure de ROU TN7 doit donc plutôt s'interpréter comme le réemploi d'une pièce déjà trempée, hypothèse qui est également appuyée par la forme en pointe particulière de ce goujon, qui est très différente des trois autres goujons de section grossièrement carrée ou cylindrique.

Des structures nommées « structures fantômes », caractéristiques d'une forte variation microscopique de la teneur en phosphore de la matrice ont été observées sur les échantillons ROU TS6a et ROU TN6a (cf. Figure 39). Elles ne peuvent apparaître que pour des teneurs en phosphore comprises entre 0,1 et 0,4 %_{mass}²³⁶. Les deux sections analysées à la microsonde de Castaing, ROU TS5a et TS6a, ont révélé des teneurs en phosphore très inégales. Malgré la présence de structures fantômes, ROU TS6a apparaît comme relativement peu phosphoreuse,

²³⁶ VEGA (E.), DILLMANN (Ph.), FLUZIN (Ph.), « Contribution à l'étude du fer phosphoreux en sidérurgie ancienne », *La Revue d'Archéométrie*, 2002, p. 197-208.

avec une moyenne de 390 ppm de phosphore sur 60 dosages. Elle est donc à la limite des normes actuelles pour la teneur maximale en phosphore d'un fer²³⁷, mais peut cependant atteindre localement des teneurs en phosphore supérieures à 1000 ppm, susceptibles de fragiliser considérablement la matrice métallique. ROU TS5a qui ne présentait pourtant pas de structures fantômes est bien plus riche en phosphore que la section précédente, avec une teneur moyenne de 1160 ppm pour un maximum de plus de 2000 ppm (cf. Tableau 8)²³⁸.

Spécimen	Nombre de dosages	Teneur en P min	Teneur en P max	Teneur en P moy
ROU TS5a	16	230 ppm	2060 ppm	1160 ppm
ROU TS6a	61	< 170 ppm	1160 ppm	390 ppm

Tableau 8 : Teneur en phosphore de la matrice des sections ROU TS5a et ROU TS6a.

De nombreuses inclusions sont présentes dans la matrice des quatre sections. De taille micrométrique à millimétrique, elles sont en général assez fines et allongées dans le sens de la longueur de l'objet. Les indices de propreté inclusionnaire moyens estimés varient de 1,9* à 3,3* soit une propreté assez bonne à plutôt médiocre (cf. Tableau 9). Sur les sections ROU TN6a et ROU TN7a, deux alignements particuliers d'inclusions dans le sens transversal de l'objet ont été observés. Pour ROU TN6a, ces inclusions épousent la forme des joints de grains d'austénite révélés à l'attaque Oberhoffer, prenant parfois des formes en L ou en U très caractéristiques (cf. Figure 40). Il est impossible d'imaginer l'obtention de telles formes même à la suite d'une soudure. De plus, la répartition mésoscopique de la teneur en phosphore montre clairement, par sa symétrie, qu'il s'agit du même matériau de part et d'autre de cet alignement d'inclusions. Cette structure fait donc réellement penser à une fissure qui se serait développée aux joints de grains lors du martelage et dans laquelle les inclusions à l'état liquide se seraient infiltrées²³⁹. Cette fissure serait apparue dans une des phases finales du martelage, puisqu'elle n'a été pas été réduite et que les inclusions n'ont pas été franchement aplaties. Dans le cas de ROU TN7, ces inclusions sont de forme plus linéaire

²³⁷ Dans les fers actuels, la teneur en phosphore acceptable est de 400 ppm, STEWART (J. W.), CHARLES (J. A.), WALLACH (E. R.), « Iron-phosphorus-carbon system, Part 1- Mechanical properties of low carbon iron-phosphorus alloys », *Materials Science and Technology*, vol. 16, Cambridge, 2000, p. 275-282.

²³⁸ Rappelons que la présence de structures fantômes est une condition suffisante mais non pas nécessaire pour déterminer si un fer est phosphoreux.

²³⁹ Cette fissure apparaît comme non continue dans le plan de coupe, mais il n'a cependant pas été possible de l'appréhender en trois dimensions. La présence d'inclusions assure que cette structure s'est formée à chaud.

et peuvent faire penser à une ligne de soudure résultant de l'ajout d'une pièce de métal ou du repli du lopin originel sur lui-même, les inclusions résiduelles étant le fait d'une épuration peu soignée.

Les dosages révèlent que les rapports entre les différents composés non réduits des inclusions ne sont pas toujours stables à l'intérieur de chaque spécimen, notamment le rapport K_2O/CaO pour ROU TS5 et ROU TS6. ROU TN7 voit certains rapports parfaitement conservés comme Al_2O_3/CaO et d'autres, comme Al_2O_3/SiO_2 , semblent montrer plusieurs alignements. Le goujon ROU TN6 montre enfin une assez bonne stabilité dans tous les rapports. A part pour ce dernier, il est donc difficile d'établir si les autres goujons ont été mis en forme à partir d'un fer neuf. ROU TN7 pourrait même être issu du corroyage d'au moins deux fers d'origines différentes. En revanche, d'après ces mêmes rapports, il est clair que ces quatre goujons sont tous issus de fers d'origines différentes malgré leur proximité tant chronologique que spatiale dans l'édifice (cf. Figure 41). La composition moyenne des inclusions de ROU TN7 et ROU TS6 est caractéristique des fers du procédé direct (cf. Figure 42). ROU TN6 et de ROU TS5 sont en revanche dans la zone d'indétermination, mais la présence d'inclusions vitreuses à très forte teneur en aluminium et faible teneur en fer dans ROU TS5 et surtout la datation de ces goujons au début du XIII^e siècle vont également plutôt dans le sens de fers de réduction directe.

Les quatre goujons analysés provenant du triforium de la nef de la cathédrale de Rouen montrent donc un fer de qualité assez médiocre, chargé d'inclusions, parfois phosphoreux et dont les éventuelles zones aciérées sont réparties de manière aléatoire. Outre leur mise en forme, le seul traitement de forge spécifique identifié, une trempe en pointe de goujon, semble accidentelle. Enfin, malgré une même chronologie de mise en place, ils sont très nettement issus de fers d'origines différentes, trois d'entre eux provenant de plus peut-être de la récupération de vieux fers. Tous semblent malgré tout composés de fers de réduction directe.

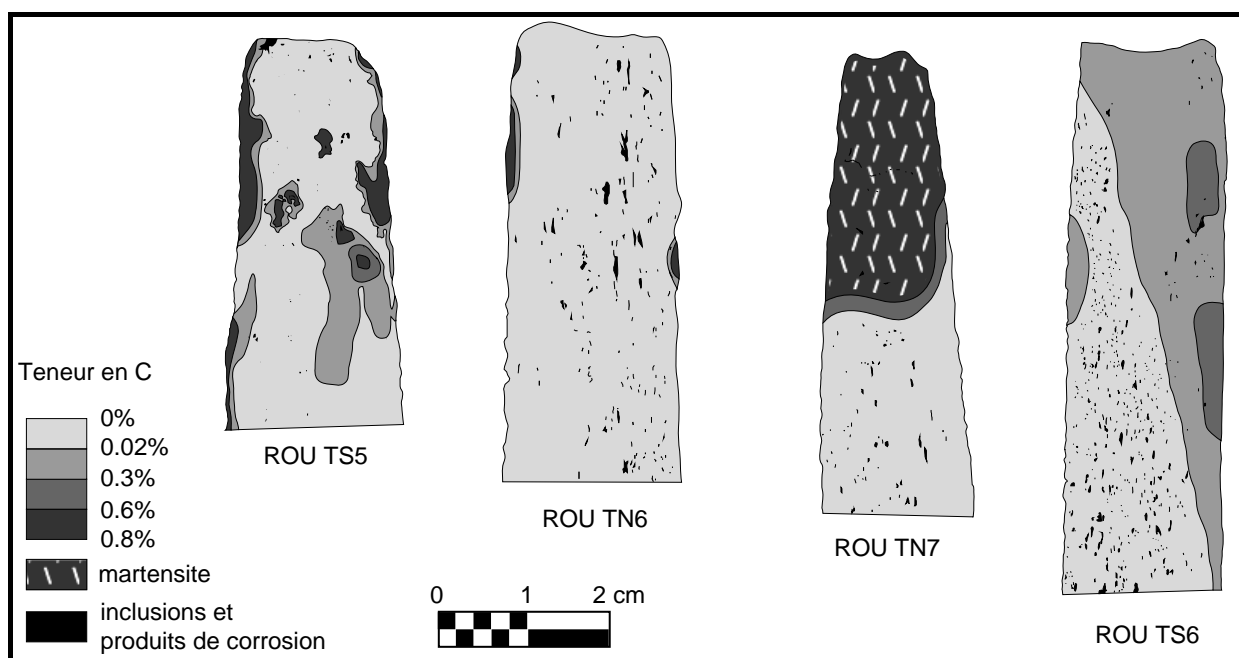


Figure 38 : Structure métallographique des goujons prélevés dans le triforium de la cathédrale de Rouen.

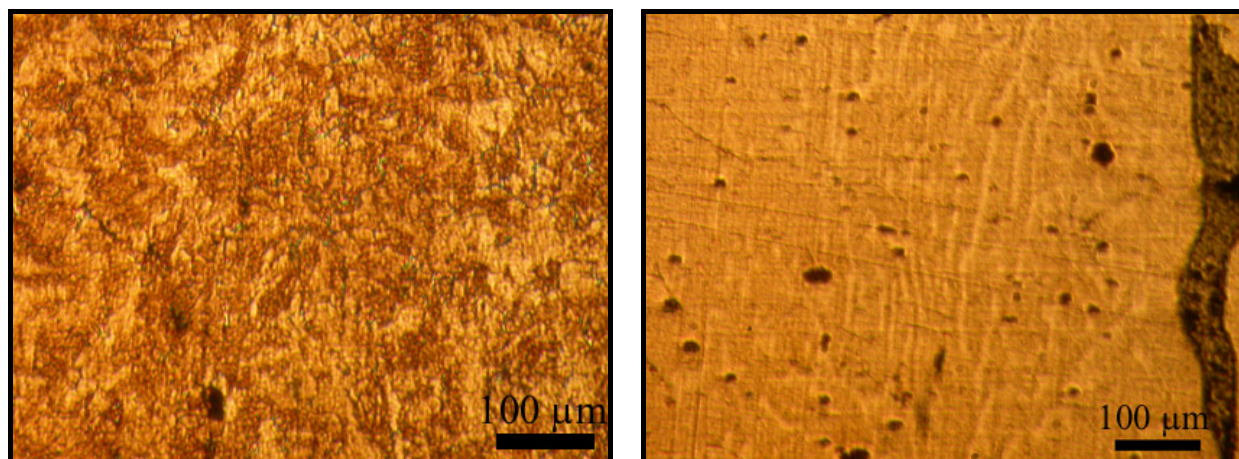


Figure 39 : Structure martensitique, ROU TN7, attaque Nital (à gauche) ; structures fantômes, ROU TN6, attaque Nital (à droite).

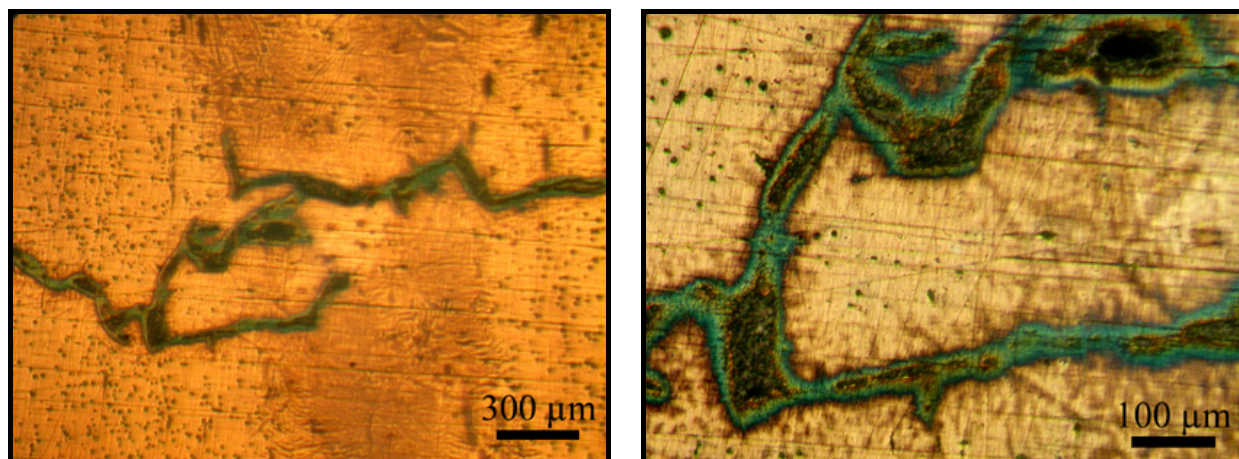


Figure 40 : Fissure de l'échantillon ROU TN6, attaque Oberhoffer.

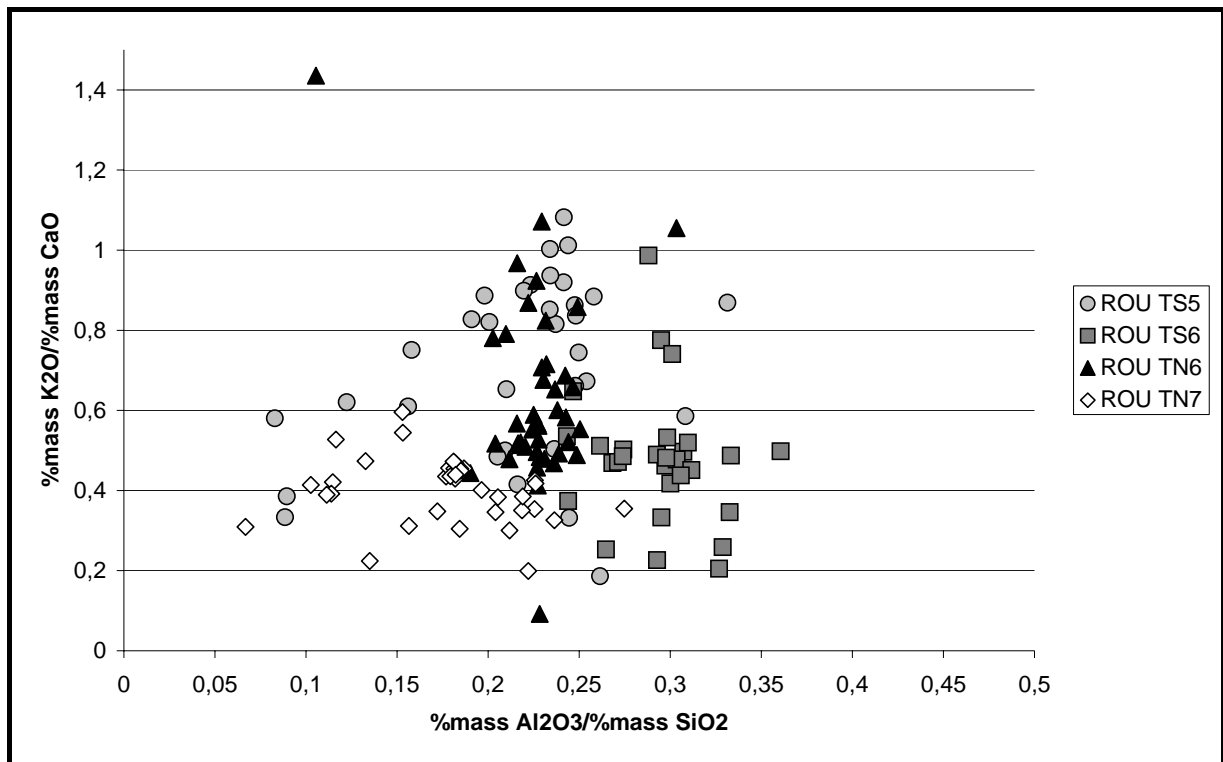


Figure 41 : Comparaison des rapports $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ et $\text{K}_2\text{O}/\text{CaO}$ pour les quatre goujons prélevés dans le triforium de la cathédrale de Rouen.

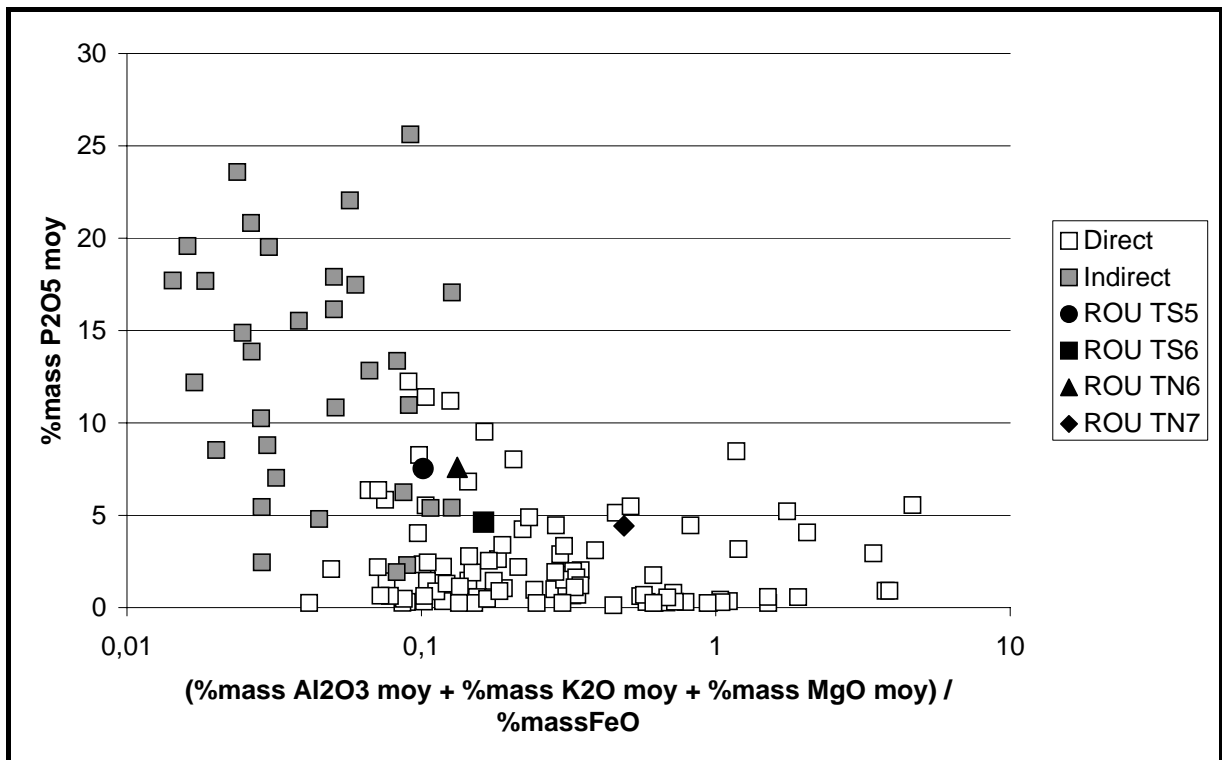


Figure 42 : Discrimination des procédés de réduction pour les quatre goujons prélevés dans le triforium de la cathédrale de Rouen.

Echantillon	Datation	Teneur en C	Fer phosphoreux	Indice de propreté	Procédé de réduction	Lopin originel
ROU TS5a	Déb. XIII ^e s.	0-0,8 % _{mass}	OUI	1,9*	Direct ?	-
ROU TS6a	Déb. XIII ^e s.	0-0,8 % _{mass}	OUI (SF)	3*	Direct	-
ROU TN6a	Déb. XIII ^e s.	0-0,5 % _{mass}	OUI (SF)	3,3*	Direct ?	1 seul lopin ?
ROU TN7a	Déb. XIII ^e s.	0-0,8 % _{mass} + Martensite	NON	2,1*	Direct	Corroyage de 2 lopins ?

Tableau 9 : Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les goujons du triforium de la cathédrale de Rouen.

1.1.3.3.2 Barres en linteaux

Quatre barres de fer placées sous des linteaux se trouvent également dans le prolongement de la galerie du triforium qui passe devant la façade occidentale. Le seuil de ce passage est, au nord comme au sud, renforcé par deux barres en linteaux complètement ancrées dans la pierre et recouvertes entièrement de plomb (cf. Figure 43). La longueur de ces barres correspond à peu près à la largeur du linteau, soit entre 32 et 40 cm, et leurs largeurs sont assez homogènes, comprises entre 2,4 et 2,7 cm.

La mise en œuvre de ces barres est quasiment impossible sans reprise de la structure en pierre. La datation est donc donnée par la maçonnerie, qui n'a semble-t-il pas subi de reprises importantes à cet endroit précis. Elles datent donc probablement de la fin du XII^e ou du début du XIII^e siècle.

1.1.3.3.3 Colonnades du transept et de la nef

Les triforiums du chœur et du transept sont tous deux constitués d'une rangée de colonnettes monolithiques. Les prospections au détecteur de métaux ont permis de relever des échos à la base et au sommet de la plupart des colonnettes qui ont été sondées (cf. Figure 37). En revanche, à chaque travée, les colonnettes engagées dans les piles attenantes situées aux deux extrémités n'en donnaient logiquement pas, puisqu'elles font partie de l'appareillage de la pile elle-même. Parmi toutes les autres, seules celles dont le fût a été partiellement restauré n'ont donné aucun signal sur les parties qui ont été changées. L'ensemble de ces échos, associé aux observations précédemment évoquées, notamment sur le pied de colonnette brisé dans le triforium de la nef, laisse à penser que l'ensemble de ces éléments est goujonné à la

base et au sommet. Ces goujons sont scellés au plomb comme l'indique la présence de trous de coulée. Une galette de plomb est également présente sur chaque colonnette entre le fût et le chapiteau (cf. Figure 46). L'absence de marques de reprises importantes, ainsi que la présence d'enduits sur certaines des galettes de plomb laisse présager que le goujonage, tout comme les colonnettes, date de la première période de construction au début du XIII^e siècle²⁴⁰.

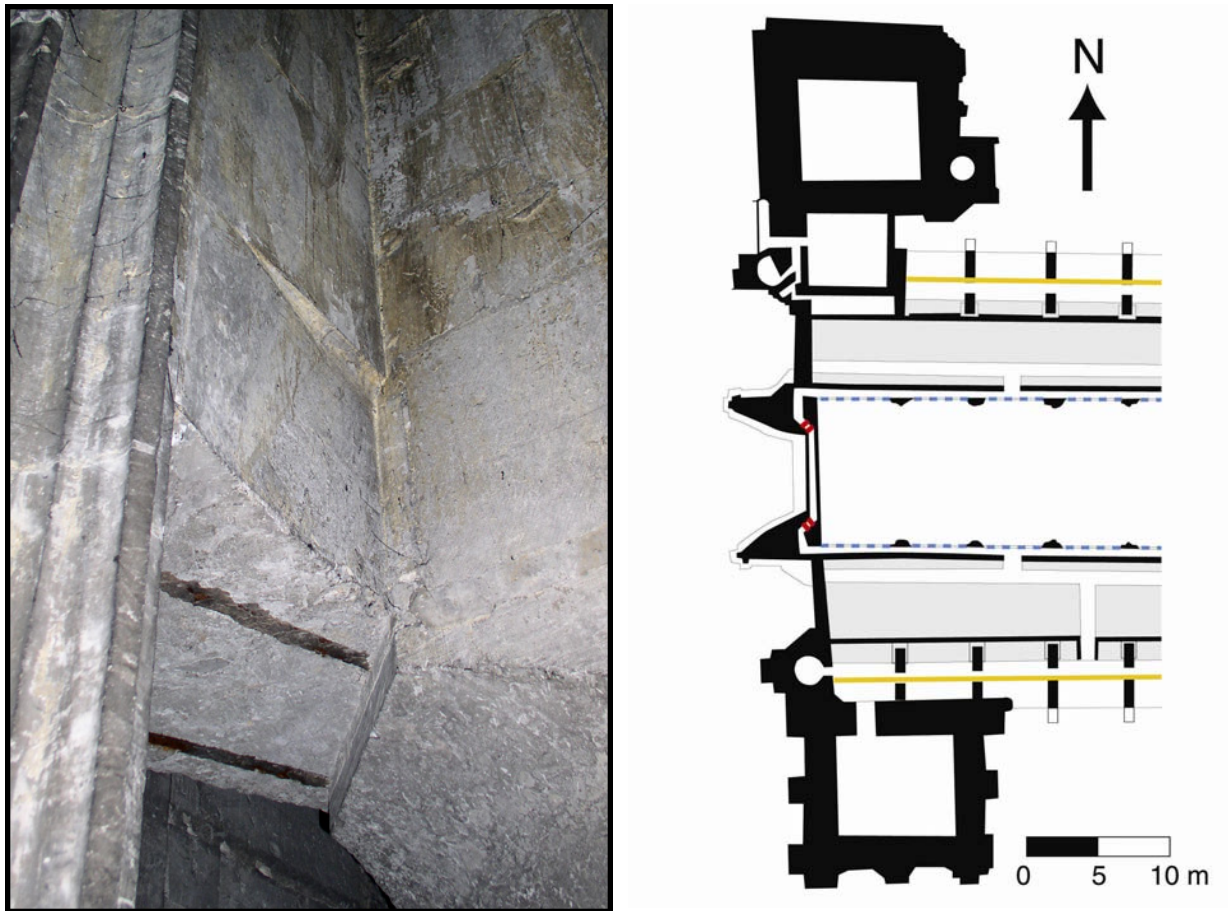


Figure 43 : Barres en linteau dans le passage occidental du triforium de la nef de la cathédrale de Rouen. Sur le plan à droite, barres en linteau en rouge, agrafes détectées au détecteur de métaux en bleu et anciennes balustrades renforcées d'agrafes en jaune.

²⁴⁰ A. Timbert a fait des constatations similaires sur l'emploi de galettes de plomb et de goujons pour les supports monolithiques de certaines églises gothiques de Picardie, TIMBERT (A.), « L'emploi du plomb et du support monolithique dans l'architecture gothique du Nord de la France au XII^e siècle : les exemples des cathédrales de Soissons, Laon, Noyon et Senlis », dans *L'emploi du fer et du plomb dans l'architecture gothique, Actes du colloque de Noyon, 16-17 novembre 2006*, sous presse.

1.1.3.3.4 Etrésillons des colonnettes du triforium du transept

Dans la colonnade du triforium du transept, en plus des goujons découverts au détecteur de métaux, des petites attaches de fer plus ou moins horizontales sont présentes entre chacune de ces colonnettes, à hauteur du milieu du fût (cf. Figure 45). Soixante-dix étrésillons de ce type ont pu être recensés entre les colonnettes, vingt-six intervalles laissés libres correspondant probablement à des attaches ayant disparu. Ces étrésillons sont constitués d'une barre de fer de section rectangulaire ou carrée suivant les cas, terminée à chaque extrémité par une partie transversale en forme d'arc de cercle épousant le fût de la colonnette. Cette partie en arc de cercle vient s'encaster dans un système de petites attaches en fer scellées au plomb dans l'épaisseur du fût. Leur longueur est rythmée par l'espace entre deux colonnettes soit 50 cm pour les petites travées latérales et 58 cm pour les travées centrales. La section de la barre est assez variable, les valeurs extrêmes étant de 1,5 cm x 3 cm à 2 cm x 2 cm. De même, le façonnage des extrémités, notamment la longueur et l'épaisseur des parties en arc de cercle, est assez différent d'une agrafe à l'autre.

La fonction de tels éléments n'est pas clairement identifiable. Elles font certes penser à des barres servant à régler l'écartement entre deux colonnes, à l'instar des tirants renforçant des arcatures qui ont été précédemment évoqués. Cependant, de telles barres sont en général situées beaucoup plus haut, au niveau du chapiteau de la colonne et non au milieu du fût comme c'est ici le cas. On remarque néanmoins que, là où ces barres manquent, les colonnettes semblent avoir pris une inclinaison plus ou moins importante. L'absence d'étrésillons dans le triforium du chœur dont l'architecture est pourtant exactement identique à celui du transept ne semble en revanche pas avoir ébranlé l'équilibre des colonnettes, qui sont toutes encore bien droites. Le rôle architectonique de ces barres est donc loin d'être certain. Leur utilisation comme simple garde-corps paraît également peu vraisemblable, ce triforium ne constituant pas un passage de circulation.

Tout comme leur rôle, leur origine est difficile à définir. Le triforium du transept a été construit dans le premier quart du XIII^e siècle et n'a pas subi de modification depuis lors. Le système de fixation de ces barres rend leur pose difficile après la pose des colonnes, bien que d'un point de vue pratique, il semble plus probable qu'elles aient été installées après l'achèvement de la colonnade. Les dimensions des scellements au plomb des petites attaches dans chaque colonnette laissent envisager des creusements importants, afin de permettre la mise en place des barres une fois les colonnettes construites. Dans le cas d'une installation contemporaine de la construction au XIII^e siècle, il est possible d'envisager que la difficulté

de mise en œuvre aura fait renoncer le maître d'œuvre à en installer d'autres dans le triforium du chœur.

Les extrémités de l'arc de cercle de deux attaches différentes ont été prélevées dans le bras nord-ouest du triforium du transept sous les références ROU ET1 et ET2, afin de tenter d'apporter une réponse à ces interrogations sur l'origine de ces éléments. Une section longitudinale a été effectuée sur chacun de ces prélèvements.

La section ROU ET1a est totalement ferritique avec des structures fantômes traduisant un fer phosphoreux, alors que sur la section ROU ET2a, on retrouve une hétérogénéité de la teneur en carbone avec une alternance de bandes ferritiques et aciérées. Les deux sections diffèrent également quant à leurs inclusions. ROU ET1a possède peu d'inclusions, qui sont de taille microscopique, très fines et très allongées, et leur composition moyenne est caractéristique des fers de réduction indirecte²⁴¹. En revanche, les inclusions de ROU ET2 sont représentatives du procédé direct (cf. Figure 44). De plus, leurs rapports sont homogènes sur l'ensemble de la surface étudiée. Les inclusions des deux objets ne sont donc évidemment pas compatibles et soulèvent encore davantage d'interrogations sur leurs origines. L'hypothèse la plus séduisante en l'état actuel des connaissances serait celle d'une installation de ces attaches lors de la période de transition entre les procédés d'élaboration du fer, c'est-à-dire à peu près entre le milieu du XV^e siècle et le milieu du XVI^e siècle. Il n'est cependant pas possible de déterminer la part des attaches réalisées en fer de réduction directe et celle en fer de réduction indirecte, au vu de ces résultats obtenus seulement à partir de deux objets. Il est possible que ROU ET1 soit une exception, dans ce cas l'origine des attaches serait plutôt médiévale, peut-être du XIII^e siècle, et ROU ET1 correspondrait à une réfection ultérieure de la période moderne. Il est tout aussi probable que ROU ET2 soit l'exception, les attaches trouveraient alors leur origine plutôt dans la période moderne et ROU ET2 serait la marque du réemploi d'un fer de réduction directe. Dans tous les cas, de plus amples investigations et d'autres analyses sur ces attaches seraient nécessaires pour confirmer l'une des hypothèses et aborder un aspect statistique.

²⁴¹ Six inclusions seulement ont été dosées sur cette section en raison de sa petite taille et de sa bonne propreté inclusionnaire.

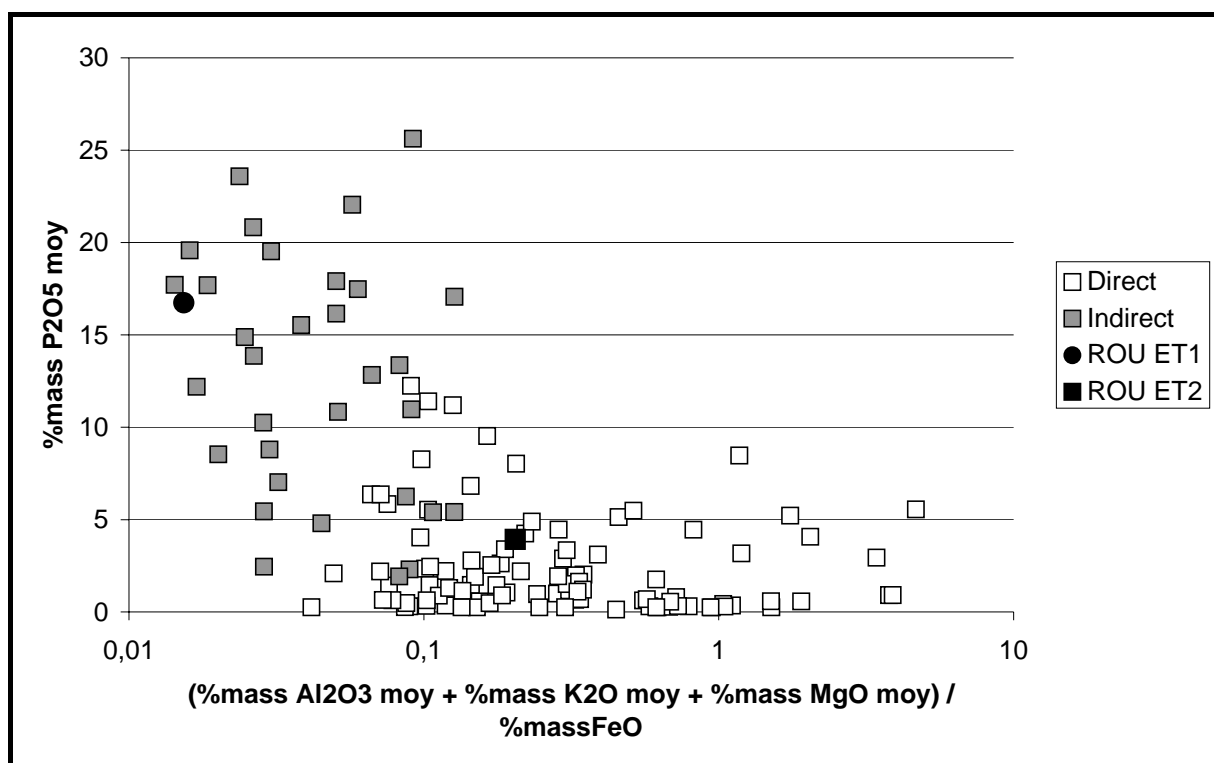


Figure 44 : Discrimination des procédés de réduction pour les deux étrépillons prélevés dans le triforium de la cathédrale de Rouen.

Echantillon	Datation	Teneur en C	Fer phosphoreux	Indice de propreté	Procédé de réduction	Lopin originel
ROU ET1a	?	< 0,02 % _{mass}	OUI (SF)	-	Indirect	-
ROU ET2a	?	0-0,8 % _{mass} + SB	NON ?	-	Direct	1 seul lopin

Tableau 10: Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les étrépillons du triforium de la cathédrale de Rouen.

1.1.3.3.5 Empreintes dans le triforium du chœur

A l'exception des goujons de colonnettes, aucun autre élément de fer n'a été mis en évidence dans le triforium du chœur. En revanche, des marques en creux ont été observées de manière régulière sur tout le pourtour du triforium. Il s'agit d'empreintes horizontales situées à environ 1 m du sol, sur un parement accolé aux piles de part et d'autre de chaque travée (cf. Figure 46). Leur section est de 5 cm x 2 cm pour une dizaine de centimètres de long, ce qui

pourrait correspondre à un éventuel tirant de fer. Ces marques ne sont pourtant pas des logements, mais bien des empreintes en surface du parement, de sorte qu'il est difficile d'imaginer qu'elles aient pu servir d'ancrage à de quelconques éléments de fer. Il n'est par ailleurs pas évident d'établir une hypothèse satisfaisante quant à leur véritable fonction. Leur position n'est cependant pas sans rappeler celle des attaches de colonnettes du transept. Il n'est donc pas impossible qu'elles soient la marque d'un ancien garde-corps.

I.1.3.3.6 Estimations des quantités de fer contenues dans le triforium

Une estimation de la quantité de fer contenue dans les galeries du triforium peut être réalisée. Pour les agrafes enfouies dans les balustrades, si l'on prend une section moyenne de 5 cm², en considérant une longueur totale d'environ 4 m par travée²⁴², elles représentent plus de 15 kg par balustrade, soit plus 330 kg sur l'ensemble du triforium de la nef au début du XIII^e siècle, quand toutes les travées étaient construites à l'identique. Selon la même restitution, les goujons des colonnettes constituant ces mêmes balustrades étaient alors près de 300²⁴³. En prenant un poids moyen de 250 g par goujon pour ces petites colonnettes, ils représentent environ 75 kg de fer. Les colonnettes du triforium du transept et du chœur sont quant à elles au nombre de 149. Avec un poids moyen de 500 g pour leurs goujons supposés plus gros, elles comportent alors près de 150 kg de fer. Les attaches des colonnettes dans le transept sont au nombre de 96 en restituant les attaches manquantes. Avec une section moyenne calculée de 4 cm², le poids unitaire est compris entre 1,5 et 2 kg suivant que l'attache est de grande ou petite taille. L'ensemble représente donc un total de 170 kg de fer. Enfin, les quatre barres en linteau représentent quant à elles à peine une quinzaine de kilogrammes. Le total des petits éléments de fer contenus dans la galerie du triforium s'élève donc à environ 750 kg de fer, posés pour la plupart au cours du premier tiers du XIII^e siècle.

I.1.3.3.7 Balustrades et cheminement extérieur²⁴⁴

Dans la nef, à hauteur du triforium, le cheminement se fait sur les toitures des chapelles construites à la fin du XIII^e siècle. La balustrade qui les ceint n'est pas renforcée par

²⁴² La longueur des pattes de chaque agrafe pouvant compenser l'espace inter-agrafe.

²⁴³ Avec un nombre moyen de sept colonnettes par travée et deux goujons par colonnette.

²⁴⁴ Les observations se sont ici concentrées sur le côté nord, les arcs-boutants et chapelles sud ayant pour la plupart été détruits lors des bombardements de 1944.

des agrafes, mais ornée de petits gâbles surmontés de pinacles à intervalles réguliers. Des trous de coulées situés à divers endroits sur ces pinacles suggèrent un renfort intérieur au moyen de goujons probablement de fer. Cette balustrade ne peut être antérieure à la fin du XIII^e siècle, période à laquelle les chapelles ont été ajoutées entre les arcs-boutants. Il semble qu'elle a fait l'objet de restaurations importantes.

Toujours dans la nef, la circulation de travée en travée est facilitée par des passages ménagés dans chaque arc-boutant. Sur la paroi de chaque arc, à environ 90 cm du sol, au niveau de chaque passage, côté extérieur, se trouve l'empreinte d'un ancien logement (cf. Figure 47). Ces logements sont rectangulaires ou presque carrés mesurant 4 à 5 cm de haut pour 3,5 à 4,5 cm de large. Ils font quelques centimètres de profondeur mais sont actuellement bouchés au mortier, de sorte que leur profondeur réelle ne peut être appréhendée. Ces empreintes ne sont absentes que lorsque cette partie de l'arc-boutant a été refaite. Un peu petits pour être les logements d'anciens tirants, ces empreintes correspondent davantage à la localisation de l'ancienne balustrade extérieure du triforium élevée au début du XIII^e siècle, alors que les chapelles de la nef n'existaient pas encore, l'enfilade des passages ménagés dans les arcs-boutants constituant probablement l'ancien chéneau de circulation que cette balustrade venait ceindre. Avec l'ajout des chapelles, cette balustrade, devenue inutile et gênant de plus l'installation des nouvelles toitures, a dû être supprimée et remplacée par celle que l'on voit actuellement. Les logements découverts dans les arcs-boutants sont sans doute les vestiges de l'attache de cette ancienne balustrade, faite au moyen de goujons ou d'agrafes de fer. Ce système n'a pas pu être mis en évidence dans le chœur où la balustrade a été fortement restaurée.

Toujours sur ces mêmes parois des arcs-boutants, des logements de plus grande dimension sont visibles plus en hauteur de manière presque systématique. On retrouve ces mêmes logements également dans le chœur. Leur section exacte n'a pas pu être mesurée. D'après leur taille, il s'agit de trous de boulins, marques des anciens tirants de bois qui étré sillonnaient les arcs-boutants pendant leur élévation.

Enfin, les culées de ces arcs-boutants contiennent des niches où sont le plus souvent installées des statues. Les angles de ces niches sont marqués par deux ou quatre colonnettes. Celles qui sont brisées laissent apparaître, au niveau du socle et du chapiteau, un fragment de goujon de fer coulé au plomb ou le logement qui y est associé.

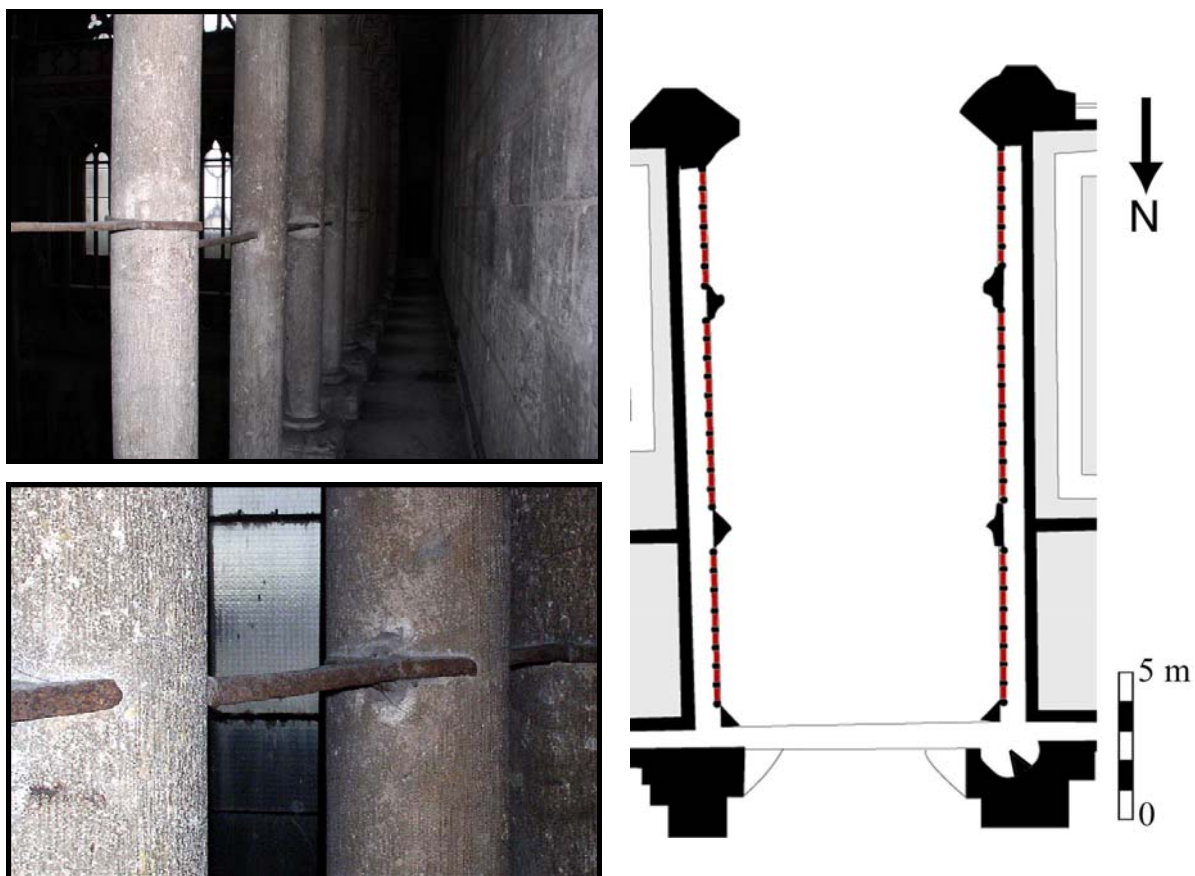


Figure 45 : Renforcement des colonnettes du triforium du transept et du chœur de la cathédrale de Rouen : étrésillons et plan de localisation dans le transept nord.



Figure 46 : En bas à gauche, goujon scellé au plomb dans une colonnette. En bas à droite, empreintes dans le triforium du chœur.

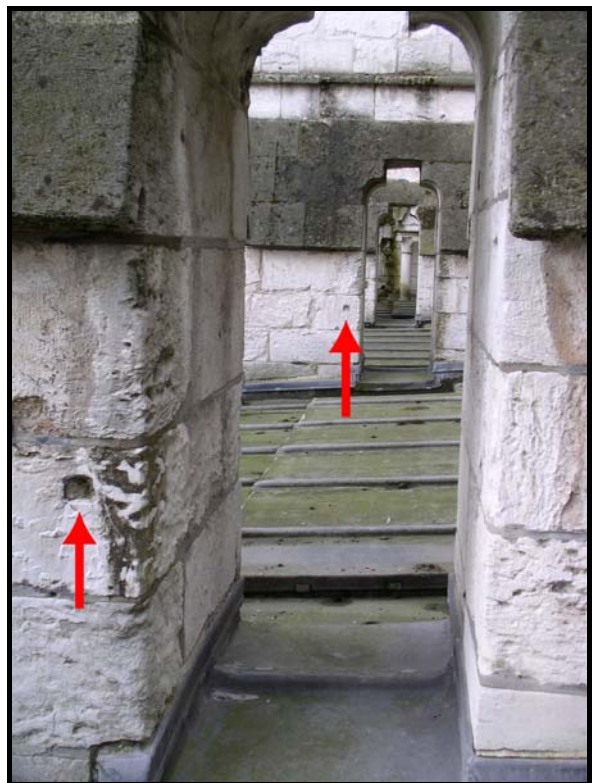


Figure 47 : Empreintes marquant l'agrafage d'anciennes balustrades de la cathédrale de Rouen. En haut, balustrade des fenêtres hautes de la nef, côté nord, clichés Ph. Dillmann. En bas à gauche, modification du tracé de la coursive et de la balustrade des fenêtres hautes de la nef. En bas à droite, empreintes dans les arcs-boutants de la nef côté nord.

Élément de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Goujons	Sur la balustrade (nef ouest)	4 en place	L = 15 à 20 cm Sect. variable	< 2 kg	Début XIII ^e s. (Fer direct)
Agrafes ?	Intégrées sous la rampe de la balustrade (nef ouest)	-	-	≈ 330 kg	Début XIII ^e s.
Goujons	Dans les colonnettes composant la balustrade (nef ouest)	300	-	≈ 75 kg	Début XIII ^e s.
Crochets	Ancrés dans les piles à hauteur du triforium (nef).	-	-	-	-
Goujons	Colonnes composant les triforiums du chœur et du transept	≈ 300	-	≈ 150 kg	1 ^{ère} moitié du XIII ^e s.
Etrésillons	Entre les colonnettes (transept)	70 (96)	L = 50 à 58 cm	≈ 170 kg	? (Fer direct et indirect)
Barres	Linteaux des passages au revers de la façade occidentale	4	L = 32 à 40 cm l = 2,4 à 2,7 cm	-	Fin XII ^e , début XIII ^e s.
Ancrages	Piles du triforium du chœur	2 par pile	5 x 2 cm	-	?
Ancrages	Arcs-boutants de la nef : marques de l'ancienne balustrade ?	2 par arc	4 x 4 cm à 5 x 5 cm	-	Début XIII ^e s.

Tableau 11 : Récapitulatif des éléments de fer découverts dans le triforium de la cathédrale de Rouen.

1.1.3.4 A l'étage des fenêtres hautes

Au niveau des fenêtres hautes, les prospections se sont bien évidemment concentrées sur les vitraux. Les vestiges de quelques agrafes de fer sont également présents à cet étage.

1.1.3.4.1 Balustrade extérieure de la nef

La balustrade qui ceint la nef au niveau des fenêtres hautes est une réfection du XIX^e siècle. Au niveau des angles avec les transepts, le passage originel a été bouché et le tracé du cheminement et donc de la balustrade, auparavant à angle droit, ont été modifiés (cf. Figure 47). Pourtant, cette nouvelle balustrade étant moins haute que la précédente, les marques de la balustrade originelle se retrouvent dans les supports des arcs-boutants. A

chaque travée, dans la paroi du support de l'arc, ont été observés un ou deux logements remplis de plomb, avec parfois la présence d'un petit fragment de fer plat. L'ancienne balustrade datant probablement du XIII^e siècle était donc attachée à la maçonnerie par des agrafes, qui ont dû être coupées lorsqu'elle a été supprimée²⁴⁵. Un petit fragment d'une de ces agrafes, qui dépassait légèrement du support de l'arc, a pu être prélevée et analysée sous la référence ROU AG1 (cf. Figure 47). Une section transversale, ROU AG1a, a été réalisée sur ce prélèvement.

La surface polie ROU AG1a est totalement ferritique et possède la marque de structures fantômes : il s'agit donc nécessairement d'un fer phosphoreux. Cette section présente également de nombreuses inclusions cristallisées, très fines et très allongées dans le sens de la largeur de l'agrafe. D'une inclusion à l'autre, les rapports entre les différents composés non réduits sont assez variables, ce qui interdit de formuler toute hypothèse sur l'origine de ce fer. De même, la composition moyenne de ses inclusions le situe dans la zone indéterminée, qui ne permet pas de discriminer les fers de réduction directe et de réduction indirecte (cf. Figure 52). Outre le fait que cette agrafe est faite de fer phosphoreux assez mal épuré et n'ayant subi aucun traitement de forge particulier, les analyses métallographiques n'ont pas apporté d'autres informations sur cet élément.

1.1.3.5 Dans le grand comble et au niveau des chéneaux hauts

La partie occidentale de la charpente de la nef de la cathédrale de Rouen est la charpente originelle du XIII^e siècle. Construite au moyen de bois de réemploi provenant de la charpente de la première église gothique²⁴⁶, elle présente la particularité de mettre en œuvre quelques éléments de fer²⁴⁷. Le reste de la charpente, incendiée en 1822 lorsque la flèche de bois a été frappée par la foudre, date du XIX^e siècle²⁴⁸. L'étage des combles hauts ne se résume toutefois pas à la charpente de l'édifice : comme aux niveaux inférieurs, barres et goujons de fer sont toujours présents sur les parties extérieures.

²⁴⁵ Aucune similitude n'a pu être établie avec le chœur de l'édifice, puisqu'il n'est pas pourvu de balustrade à cette hauteur.

²⁴⁶ Certains bois ont été datés de 1195 par dendrochronologie, EPAUD (F.), *L'évolution des techniques...*, *op. cit.*, p. 141.

²⁴⁷ ID., *Ibid.*, p. 148.

²⁴⁸ ID., *Ibid.*, p. 131.

1.1.3.5.1 Chevilles en fer dans les assemblages de la charpente

Des chevilles en fer ont été retrouvées sur la quasi-totalité des assemblages de pied de poinçons et de poteaux latéraux dans les entrants de la partie occidentale de la charpente de la nef de la cathédrale (cf. Figure 48)²⁴⁹. Il s'agit de chevilles en fer forgé de section ronde de 2,5 à 3 cm de diamètre, mesurant entre 26 et 35 cm de long, avec une pointe en forme de pyramide tronquée. L'une d'entre elles, qui a été retrouvée en position secondaire dans les voûtains de la nef, a pu être prélevée en totalité pour analyses métallographiques sous la référence ROU CH1 (cf. Figure 50).

Les exemples connus d'utilisation de chevilles en fer pour le renforcement des assemblages au niveau de la charpente sont très rares au XIII^e siècle ; cette découverte reste donc assez exceptionnelle pour l'époque²⁵⁰. L'emploi de ces chevilles pour renforcer les assemblages de pied des poinçons s'explique néanmoins aisément²⁵¹ : ils sont en effet soumis à un énorme travail de traction car les forces s'exerçant sur le poinçon montant sur toute la hauteur de la charpente par l'entremise des arbalétriers qui appuie fortement dessus tendent à le faire remonter. Dans une telle position, des chevilles en bois n'offriraient pas une résistance suffisante et risqueraient de se briser. En revanche, les assemblages du pied des poteaux latéraux sont soumis à un travail de compression qui est beaucoup moins important, et l'utilisation de chevilles en fer pourrait sembler inutile là où des chevilles en bois auraient suffi²⁵². Je tiens par ailleurs à remercier Frédéric Epaud pour son explication *in situ* des forces en présence dans la charpente de la cathédrale et ses conclusions sur l'utilisation des chevilles en fer.

La contemporanéité de ces chevilles avec la construction de la charpente est confirmée par le fait « qu'elles sont toutes bloquées dans leur logement d'origine suite au séchage du bois qui s'est effectué après leur mise en place » et par le « blocage définitif des assemblages dès la pose de la couverture »²⁵³. Elles datent donc du début du XIII^e siècle.

²⁴⁹ Il s'agit donc bien des parties conservées de la charpente du XIII^e siècle.

²⁵⁰ ID., *Ibid.*, p. 148. Il cite également le cas de l'abbaye de Bonport à Pont-de-l'Arche (Eure) datée du début du XIII^e siècle.

²⁵¹ ID., *Ibid.*, p. 148.

²⁵² ID., *Ibid.*, p. 148.

²⁵³ ID., *Ibid.*, p. 148.

L'emploi d'éléments de fer, en particulier de chevilles carrées, dans la charpente de la cathédrale est également attesté dans les comptes de la fabrique de la cathédrale à la fin du XIV^e siècle²⁵⁴.

Une section longitudinale a été réalisée sur la pointe de la cheville ROU CH1 (cf. Figure 50). La surface polie présente une alternance de zones ferritiques et aciérées pouvant aller jusqu'à la perlite pure. Ces zones carburées prennent plus ou moins la forme de bandes au sein de la matrice ferritique (cf. Figure 51). Le dosage de la matrice à la microsonde de Castaing a donné des teneurs en phosphore comprises entre 170 et 2000 ppm, pour une moyenne de 400 ppm²⁵⁵. Ce fer est donc localement phosphoreux mais correspond en moyenne aux normes actuelles en terme d'acceptabilité de la teneur en phosphore. Une porosité de forme grossièrement triangulaire et de plus d'un demi centimètre de côté est visible dans la matrice de la section ROU CH1a. Elle atteste un travail de compactage qui n'a pas été mené complètement à son terme. La matrice comporte également de nombreuses inclusions allongées dans le sens de la longueur de l'objet. Outre la présence de cette porosité, l'indice de propreté inclusionnaire estimé par la modification de la norme AFNOR est plutôt bon avec 2,1*.

Le dosage des inclusions montre que, outre les importantes teneurs en oxydes de fer, de silicium, d'aluminium de potassium et de calcium, les inclusions de ROU CH1a se caractérisent aussi par des teneurs exceptionnelles en MnO avec près de 10 %_{mass} moyens sur l'ensemble de la surface étudiée et des valeurs dépassant localement les 17 %_{mass}²⁵⁶. Les rapports des composés non réduits sont relativement stables pour l'ensemble des inclusions de la section polie étudiées, privilégiant l'hypothèse d'un fer neuf. Leur composition moyenne est de plus caractéristique des fers de réduction directe, ce qui est bien compatible avec la conclusion de F. Epaud sur l'origine de cette cheville (cf. Figure 52).

²⁵⁴ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2483, fol. 26 v°.

²⁵⁵ La valeur de 170 ppm correspond à la limite de détection de l'appareil pour le phosphore.

²⁵⁶ Les dosages réalisés à la microsonde de Castaing dans la matrice n'ont cependant pas trouvé de trace de ce manganèse à l'état réduit dans le fer, les valeurs étant presque systématiquement inférieures à la limite de détection de l'appareil. Sur les quinze dosages effectués, un seul a été supérieur à la limite de détection de l'appareil pour le manganèse (environ 700 ppm), avec 780 ppm, malgré la méthode de dosage utilisée permettant de diviser par deux cette limite de détection. Les quatorze autres dosages étaient donc inférieurs à 350 ppm.



Figure 48 : Cheville en fer encore en place dans un assemblage poinçon/entrait de la charpente du XIII^e siècle de la nef de la cathédrale de Rouen et dessin de la cheville déposée, ROU CH1.

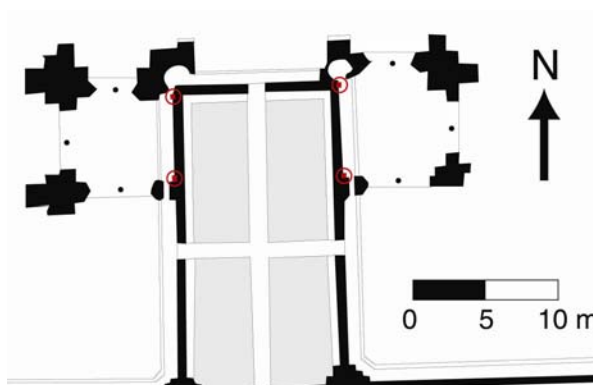


Figure 49 : Petites barres des colonnettes supportant les tours des façades latérales de la cathédrale de Rouen.

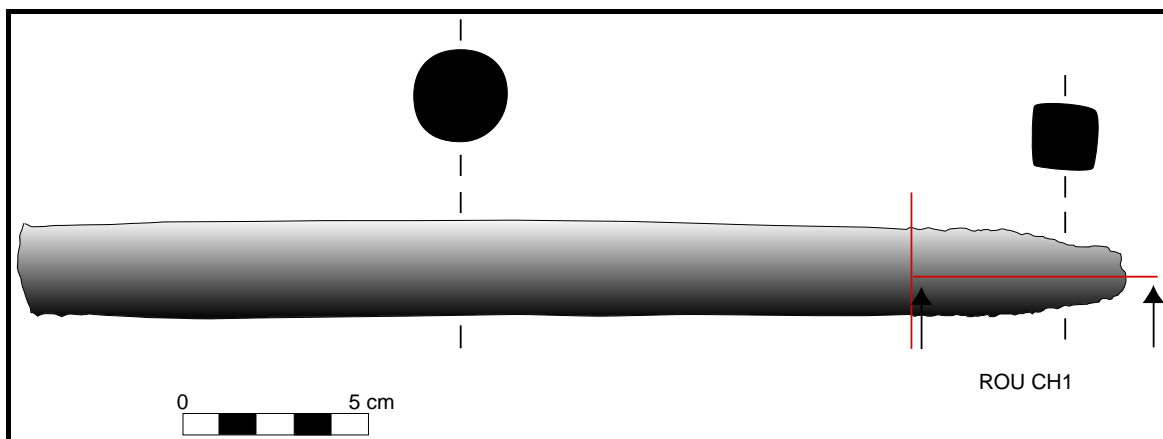


Figure 50 : Cheville prélevée dans un voûtain de la nef avec schéma de découpe pour analyse.

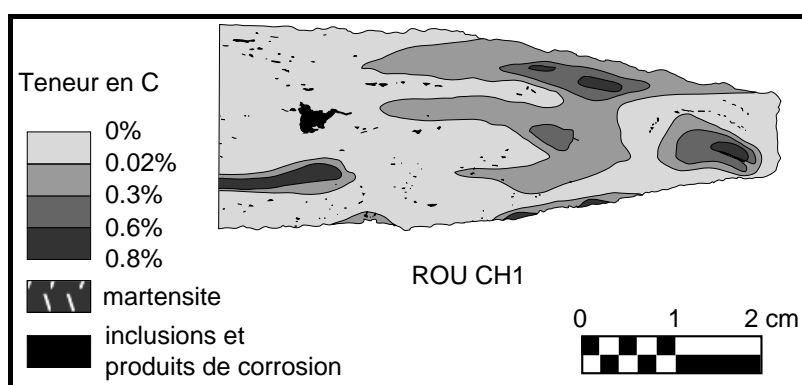


Figure 51 : Structure métallographique de la section ROU CH1a.

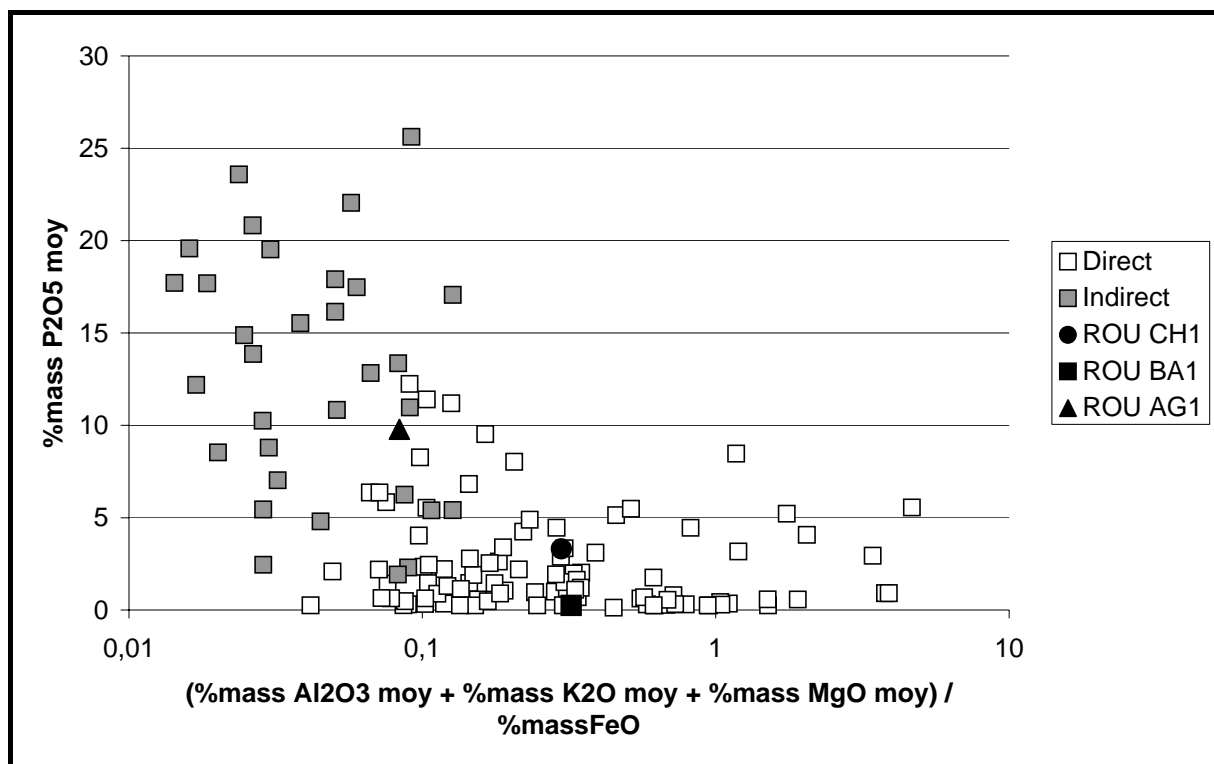


Figure 52 : Discrimination des procédés de réduction pour les échantillons ROU CH1, ROU BA1 et ROU AG1 de la cathédrale de Rouen.

1.1.3.5.2 Balustrade extérieure

Cette riche balustrade, ornée de pinacles entre chaque travée, a été réalisée par Roulland le Roux au début du XVI^e siècle²⁵⁷. Les archives de restauration datant des années 1990 attestent la présence de goujons à la base des pinacles détruits sur la balustrade du chéneau²⁵⁸. Cette phase de restauration a vu le remplacement complet de ces pinacles.

1.1.3.5.3 Petites barres des cheneaux du transept

Au niveau des cheneaux des transepts, les quatre tours encadrant les transepts reposent chacune, du côté du comble, sur deux colonnettes montant depuis le chéneau. Chacune de ces colonnettes est placée à une cinquantaine de centimètres de l'angle maçonné de la tour. Pour sept des colonnettes, la maçonnerie située dans l'espace laissé vide est soutenue par une barre de fer reliant la colonnette à l'angle de la tour (cf. Figure 49). Seule la colonnette septentrionale située dans le croisillon sud-est du transept n'en est pas pourvue.

Si leur longueur visible est fixe à environ 46 cm, ces barres ont des sections très variables d'un exemple à l'autre. Trois d'entre elles sont disposées à plat, avec des sections allant de 3 x 1,5 cm à 2,8 x 1,8 cm, la quatrième est presque carrée (2,2 x 2 cm) et les deux dernières sont posées de chant, l'une d'entre elle ayant une section maximale de 2 x 4 cm.

Aucune marque particulière de reprise ne semble venir indiquer que ces éléments pourraient être issus d'une restauration. Il faudrait alors dater le système de l'élévation des tours au tournant des XIII^e et XIV^e siècles. L'absence d'une des barres au sud-est ne semble pas non plus être le résultat d'une réfection, mais semble plutôt devoir être attribuable à un oubli lors de la construction.

1.1.3.5.4 Barres en linteaux

Les passages de porte situés aux extrémités des cheneaux de la nef et permettant d'accéder aux escaliers menant respectivement à la tour de Beurre et à la tour Saint-Romain sont renforcés par deux barres de fer. Ces barres ne sont pas scellées dans le linteau qu'elles soutiennent, mais uniquement dans les piédroits. Celles du côté de la tour Saint-Romain ne

²⁵⁷ CARMENT LANFRY (A.-M.), *La cathédrale Notre-Dame...*, op. cit., p. 25.

²⁵⁸ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° ETU/0585. Restauration menée par J.-M. Jantzen.

sont pas parfaitement parallèles à l'axe de la porte. Ces barres ont une longueur visible comprise entre 53 et 58 cm au sud et entre 72 et 78 cm au nord, leur plus grande longueur étant due à leur orientation non parallèle, mais surtout à l'absence de corbeaux soutenant le linteau contrairement au sud. Leurs sections sont presque carrées et toutes assez similaires, allant de 2,4 x 2,2 cm à 2,5 x 2,6 cm.

Aucune reprise majeure n'est visible à cet endroit de la structure. Le mur nord côté tour Saint-Romain possède en effet un placage contemporain qui recouvre l'ancienne maçonnerie. Toutefois, si elles ne sont pas recourbées à leurs extrémités, ce que nous ignorons, leur mode de mise en œuvre permet à ces barres d'être intégrées à la maçonnerie sans déposer aucune pierre. La question de leur origine peut donc être soulevée.

1.1.3.5.5 La tour-lanterne

La tour-lanterne de la cathédrale Notre-Dame de Rouen comporte deux étages surmontés d'une flèche. Le premier étage est contemporain de la construction de l'église gothique, dans le premier tiers du XIII^e siècle, et le second a été élevé par Roulland le Roux, après l'incendie de la flèche de bois qui ornait la croisée en 1514²⁵⁹. La flèche, reconstruite en bois après cet incendie, malgré le projet de Roulland le Roux d'élever une flèche de pierre, est à nouveau frappée par la foudre en 1822. La flèche actuelle, construite au XIX^e siècle par l'architecte J.-A. Alavoine est une flèche de fonte de plus de 8000 tonnes reposant sur une structure en acier ; elle culmine à 151 m. L'emploi des alliages ferreux pour la construction de cette flèche ne relève pas de ce travail pour des raisons de chronologie.

Le premier étage de la tour-lanterne, de plan trapézoïdal, est constitué d'une galerie ceinte par une arcature, sur laquelle repose le parement intérieur de la maçonnerie de l'étage supérieur. Ces arcs se divisent chacun en deux petits arcs surmontés de quadrilobes, donnant ainsi une alternance de supports forts et faibles. Des tirants viennent retenir ces supports en les reliant les uns aux autres au niveau du tailloir de leurs chapiteaux (cf. Figure 53). Visibles sur tout le pourtour de l'arcature, ils sont au nombre de trente-deux. Leurs ancrages n'ont pas pu être observés avec précision ; on remarque cependant que, dans les tailloirs des chapiteaux, des logements ont été creusés pour les recevoir. Les dimensions de ces tirants n'ont pas pu être mesurés ; ils semblent arborer une section carrée de quelques centimètres de côté et la

²⁵⁹ BAYLE (M.), *L'architecture Normande au Moyen Age. Les étapes...*, op. cit., p. 191.

partie visible de chacun d'entre eux ne dépasse pas une cinquantaine de centimètres. Leurs sections semblent de plus assez homogènes d'un tirant à l'autre.

Ces tirants amènent un double questionnement. Constituent-ils un chaînage continu enserrant l'arcature du premier étage de la tour-lanterne ? Et à quelle époque ont-ils été installés ? La première de ces interrogations ne pourra trouver de réponse qu'en cas de démontage de la maçonnerie ou d'installation d'un échafaudage permettant d'étudier de plus près les ancrages de ces tirants dans les tailloirs des chapiteaux. S'il s'agit véritablement d'un cerclage continu, alors ce dernier n'a pu être installé qu'*a priori*, lors de la première phase de construction au XIII^e siècle. En revanche, si ces tirants ne constituent pas un chaînage continu, alors ils ont pu être rajoutés à n'importe quelle période de la construction, mais plus probablement lors d'une des trois importantes phases de travaux à la tour-lanterne : au début du XIII^e siècle lors de la construction du premier étage, au début du XVI^e siècle, lors de l'élévation du deuxième étage, ou encore dans le courant du XIX^e siècle, lors de l'installation de la flèche. L'analyse métallographique et notamment l'étude des inclusions d'un de ces tirants pourrait permettre de faire la différence entre un fer médiéval du XIII^e de réduction directe et un fer du XIX^e siècle issu de la filière indirecte. Les indices sont toutefois fort peu nombreux pour permettre d'abonder dans le sens d'un chaînage continu ou de simples tirants de dimensions réduites. Le rôle d'un cerclage à ce niveau de l'édifice est compréhensible si l'on considère la charge supportée par cette arcature avec le poids des étages supérieurs. Cependant, pendant près de 300 ans, du XIII^e au début du XVI^e siècle, avant que Roulland le Roux ne vienne la coiffer d'un second étage, la tour-lanterne ne comptait qu'un seul niveau surmonté d'une flèche de bois. La charge portant sur l'arcature était donc moindre. De plus, l'alignement de certains tirants ne semble pas parfait sur plusieurs clichés de la tour-lanterne. Une légère déviation entre deux chaînons du même chaînage peut toutefois être envisageable si leur mode d'assemblage leur permet de pivoter légèrement autour d'un axe vertical. Cependant, une des déviations observées est située de part et d'autre d'un support faible, ce qui signifierait qu'un assemblage entre deux chaînons se trouve dans ce support. Une telle mise en œuvre, qui aurait tendance à fragiliser ces supports plus étroits pourrait sembler étrange. Elle n'est toutefois pas impossible, comme en témoignait le tirant bas en deux parties ancré de part et d'autre du meneau central d'une fenêtre haute de la nef²⁶⁰.

²⁶⁰ Voir le chapitre sur les armatures de vitraux de la cathédrale de Rouen.

Ces maigres informations iraient plutôt dans le sens d'une série de tirants non liés les uns aux autres, peut-être installés par Roulland le Roux en prévision de la charge du second étage de la tour-lanterne. Il ne s'agit cependant que d'hypothèses nécessitant vérification.

Ce premier étage de la tour, originellement surmonté d'une flèche en bois et surnommé la « grêle tour » dans les comptes médiévaux fait l'objet de nombreuses mentions dans les premiers comptes de la fabrique conservés entre 1383 et 1387. C'est un total d'au moins 180 livres de fer qui a été mis en œuvre à la tour pendant cette période sous différentes formes (cf. Tableau 12). Le plus souvent il s'agit de bandes de longueur variable ou de fiches de fer qui sont simplement mises *en la gresle tour*. Elles semblent souvent associées au renfort des éléments élancés comme les colonnettes, à l'image de ces quatre bandes de fer et un goujon servant à *afermier une des filloles avec le corps de la tour*²⁶¹, ces deux fiches *mises en un fleuron*²⁶², ou encore ces deux tirants *pesant XXVIII l. de fer mis des II costes d'une foillolle en la grelle tour pour tenir la plus ferme ensemble*²⁶³. Lors de la dépose de certaines colonnes en pierre de la façade nord de la tour-lanterne pendant la campagne de restauration de 1942, il a par ailleurs été remarqué que leurs différents « morceaux étaient reliés entre eux par des goujons et scellés dans le mur par des agrafes »²⁶⁴. De manière générale, ces bandes et autres éléments de fer semblent davantage liés à la consolidation de petites pièces de pierre rajoutées qu'au gros œuvre de la maçonnerie. Certaines semblent enfin également entrer dans la structure dans la charpente, puisqu'elles sont mises en place par les charpentiers²⁶⁵.

Les comptes médiévaux et modernes n'apportent guère d'informations sur les travaux du serrurier au second étage de la tour lors de sa construction. Les registres concernant les années 1520, faisant suite à une lacune importante au milieu des années 1510, ne donnent aucun détail sur son œuvre.

A cet étage ont été découvertes des barres de fer situées une dizaine de centimètres au dessus du rebord intérieur situé au pied de chaque fenêtre. Ces barres sont pour la plupart de section carrée d'environ 2 cm x 2 cm. Certaines arborent cependant une section circulaire. Ces barres servent d'appui à des feuilles de plomb qui forment des gouttières au pied des

²⁶¹ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2483, fol. 2 r°. Une « fillole » désigne un élément vertical, colonnette, pilier ou tourelle, GODEFROY (F.), *Dictionnaire de l'ancienne langue française et de tous ses dialectes du IXe au XVe siècle*, Paris, Librairie des Sciences et des Arts, 1938, vol. IV, p. 4.

²⁶² Arch. dép. Seine-Maritime, G 2483, fol. 38 v°.

²⁶³ PJ n° 1.

²⁶⁴ Médiathèque du Patrimoine, doc n° 0081/076/0095, « Décompte des travaux de maçonnerie exécutés en 1942 », mémoire n° 515.

²⁶⁵ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2483, fol. 52 v° et 58 v°.

fenêtres. Si la présence de telles gouttières à l'intérieur de l'édifice peut paraître surprenant, ces barres ne semblent toutefois pas avoir d'autre rôle architectural. La forme parfaitement cylindrique de certains de ces tirants indique qu'ils ont vraisemblablement été installés bien plus tardivement que le XVI^e siècle.

De nombreux anneaux sont enfin présents dans cette partie de la tour, scellés dans les murs de tous côtés. Il s'agit probablement d'aménagements contemporains de l'élévation de la flèche au XIX^e siècle.

Elément	Quantité	Description
Bandes	25	Dont 4 de 3 pieds de long et 2 de 5 pieds de long et une d'½ pied de long,
Fiches	31	Dont au moins 9 brettées
Equerres	7	
Broques	4	
Tirants	2	
Chevilles	3	Dont 1 de 1,5 pied de long.
Goujons	1	

Tableau 12 : Liste par type des éléments de fer mis en œuvre à la tour-lanterne de la cathédrale de Rouen entre 1383 et 1387 d'après les comptes de la fabrique.

Elément de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Chevilles	Assemblages des entrants de la charpente occidentale de la nef.	-	L = 26 à 35 cm d = 2 à 3 cm	20-30 kg	Début XIII ^e s. (Fer direct)
Goujons	Pinacles sur la balustrade extérieure	-	-	-	Début XVI ^e s.
Barres	Colonnets des chéneaux des transepts	7	L = 46 cm Sect. = 1,5 x 3 cm à 2 x 2 cm.	10-15 kg	XIII ^e s. - XIV ^e s.
Barres	Linteaux des passages menant aux tours de la façade ouest	2 + 2	L = 53 à 78 cm Sect. ≈ 2,5 x 2,5 cm	15-20 kg	-
Tirants (agrafes ?)	Sommet de l'arcature du 1 ^{er} étage de la tour-lanterne	32	L ≈ 50 cm	50- 100 kg	?
Barres	Au pied des fenêtres du 2 ^e étage de la tour-lanterne	-	Sect. ≈ 2 x 2 cm	-	XIX ^e s. ?

Tableau 13 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au niveau du grand comble et de la tour-lanterne de la cathédrale de Rouen.

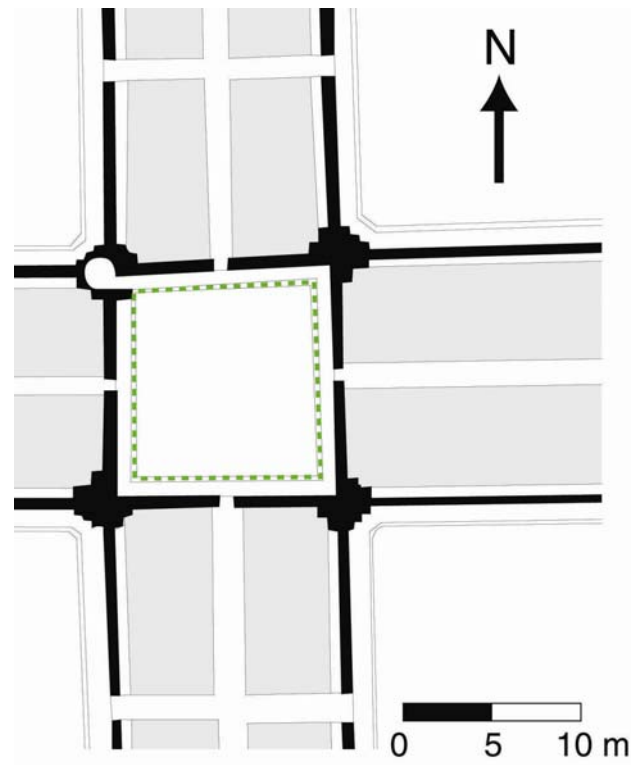
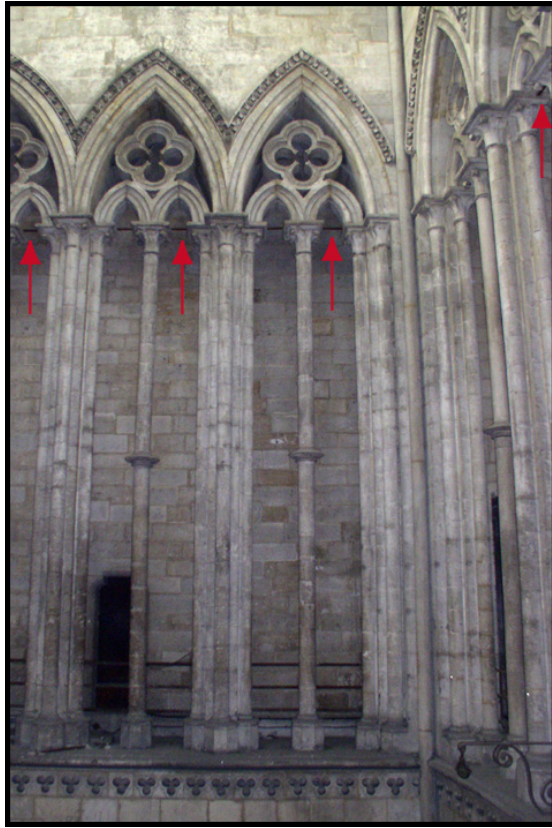


Figure 53 : Tirants ou agrafes présents dans l'arcature du premier étage de la tour-lanterne de la cathédrale de Rouen.

1.1.3.6 Sur les portails latéraux

Construits à la fin du XIII^e siècle²⁶⁶, le portail des Libraires au nord et celui de la Calende au sud, tous deux surmontés d'un gâble fleuri, sont ornés en partie inférieure par de nombreuses statues. En partie haute, ils sont flanqués de deux tours quadrangulaires évidées, encadrant la rose et le second gâble qui la coiffe (cf. Figure 54).

1.1.3.6.1 Statues et attaches de statues

Les portails des Libraires et de la Calende possèdent tous deux un riche décor sculpté, comptant plus d'une soixantaine de statues monumentales en façade. Ces statues sont le plus souvent installées dans des niches construites sur les côtés des portails, sous les voussoirs ou dans les contreforts. Elles y sont retenues par un système d'attache ancré dans leur dos venant s'insérer dans un crochet scellé dans la paroi. Du côté du portail des Libraires, certaines d'entre elles sont également maintenues en place par un système de barres de fer courant à leurs pieds.

Ces systèmes d'attaches de statues, qui concernent aussi d'autres parties de l'édifice, seront détaillés de manière plus précise dans un chapitre séparé.

1.1.3.6.2 Balustrade au revers du portail de la Calende

La balustrade à claire-voie située à hauteur du triforium, au revers du portail de la Calende, est renforcée par des agrafes placées au niveau de la jointure entre différentes pierres (cf. Figure 55). Six agrafes y ont été dénombrées. Ces agrafes sont entièrement scellées au plomb et mesurent toutes une cinquantaine de centimètres, pour une largeur de 2,5 cm environ.

Devant la rose sud, les différents blocs de pierre qui composent la balustrade du portail de la Calende sont, comme à l'étage inférieur, liés les uns aux autres par des agrafes complètement scellées au plomb. Elles sont de plus petites dimensions, ne mesurant qu'environ 27 cm de long pour 2,5 cm de large. A l'ouest, la balustrade est également

²⁶⁶ BAYLE (M.), *L'architecture Normande au Moyen Age. Les étapes...*, op. cit., p. 188.

raccordée à la maçonnerie par une attache de fer oblique, qui n'est cette fois pas recouverte de plomb.

Si ces agrafes ont, d'après leur mise en œuvre, pu être ajoutées à n'importe quelle période de la construction, le type de scellement ainsi que l'apparente absence de restaurations majeures sur ces balustrades semblent aller dans le sens d'une installation contemporaine de l'élévation de ces balustrades et claires-voies.

1.1.3.6.3 Le gâble du Portail de la Calende

Les différents blocs de pierre constituant le gâble qui surmonte la rose du portail de la Calende sont eux aussi reliés entre eux par des agrafes de fer. Ces agrafes, au nombre de sept, sont ancrées sur les deux côtés obliques du gâble. La dernière n'est qu'une moitié d'agrafe, l'autre moitié ayant été probablement supprimée à la suite d'une restauration. Toutes ces agrafes sont scellées au plomb sur toute leur longueur mais n'en sont pas totalement recouvertes. Avec environ 65 cm chacune, elles sont bien plus longues que les exemplaires qui ont été découverts jusqu'à présent sur les balustrades. Leur largeur est quant à elle de 2,5 cm. Les agrafes étant encore partiellement engravées, il n'a pas été possible d'appréhender leur épaisseur. Plusieurs d'entre elles dépassent de la pierre d'au moins 1 cm.

Lors des investigations, le gâble de la Calende était en attente de restauration et muni d'un filet de protection pour prévenir l'éventuelle chute de pierres. Les besoins de renforcer sa structure, ne serait-ce que de manière préventive, sont donc réels. Aucune information stratigraphique ne permet cependant d'affirmer que ces agrafes datent de l'origine de la construction, à la fin du XIII^e siècle.

1.1.3.6.4 Barres en linteau au revers des portails

Au revers des portails se trouvent en outre quelques barres soutenant les linteaux des passages, seuils et couloirs permettant d'y pénétrer et d'y circuler. Elles sont ici au nombre de six, cinq étant du côté du portail de la Calende.

Le seuil permettant de pénétrer au revers de la rose de la Calende est, à l'est comme à l'ouest, renforcé par une barre de fer au niveau du linteau de la porte (cf. Figure 56). Cette barre est engravée dans la pierre qu'elle soutient, mais ne semble pas y être scellée au plomb. Elle n'est de plus pas disposée parallèlement à l'axe de la porte, mais de manière légèrement oblique. Les dimensions des barres est et ouest sont similaires, avec 3 à 3,3 cm de largeur sur

une épaisseur presque identique²⁶⁷. Leurs sections sont donc presque carrées. Elles sont visibles sur des longueurs respectives de 40 et 51 cm.

Le passage situé à l'est du portail de la Calende se poursuit par un petit couloir qui est à son autre extrémité également renforcé par une barre en linteau. Sa mise en œuvre est similaire aux précédentes, si ce n'est qu'elle est pour sa part bien perpendiculaire à l'axe du couloir. Elle mesure 4,5 cm de large pour une longueur visible de 40 cm.

A l'étage supérieur, les seuils des deux tourelles d'escalier, occidentale comme orientale, sont armés d'une barre en linteau. Celles-ci sont de dimensions similaires à la précédente, puisqu'elles mesurent environ 4,7 cm de large pour 40 cm de longueur visible. Elles sont entièrement engravées dans leur linteau, de fait, l'épaisseur n'a pu être mesurée. La particularité de ces barres, outre leurs importantes dimensions, est qu'elles épousent la forme légèrement curviligne du linteau de la tourelle d'escalier.

Le principe est identique à ces deux derniers exemples du côté du portail des Libraires, mais une seule barre y a été repérée. Elle se trouve à l'étage des fenêtres hautes, à la sortie de la tourelle d'escalier orientale (cf. Figure 56). Légèrement curviligne, cette barre mesure près de 4 cm de large pour une longueur visible de 65 cm.

Aucun de ces éléments initialement installés dans le courant du XIII^e siècle ne semble avoir fait l'objet de reprise en sous-œuvre nécessaire à l'installation des barres. L'aspect de certains linteaux, notamment les larges barres curvilignes, suggérerait cependant davantage un fer issu de restaurations.

1.1.3.6.5 La librairie

Au cours du XV^e siècle, la librairie de la cathédrale est construite immédiatement à l'ouest du portail nord, auquel elle finit par donner son nom²⁶⁸. Les archives conservées pour l'année 1478-1479 correspondent à une seconde campagne de travaux, une première librairie ayant été construite aux alentours de 1428, les dépenses engendrées n'apparaissant alors pas dans les comptes de la fabrique²⁶⁹.

Ces comptes font état de l'achat d'un grand nombre d'éléments de fer au serrurier Jean de Hérupy dit Castille, suggérant une reconstruction presque complète de cette partie de

²⁶⁷ Les épaisseurs ont pu être mesurées car les linteaux étaient brisés par endroits.

²⁶⁸ Le portail nord, actuel portail des Libraires, portait autrefois le nom de portail des Boursiers.

²⁶⁹ LEFEBVRE (E.), « La cour des Libraires de la cathédrale Notre-Dame de Rouen », dans LEMAGNEN (S.), MANNEVILLE (P.), éd., *Chapitres et cathédrales en Normandie...*, op. cit., p. 417-424.

l'édifice, qui est confirmée par les dépenses de maçonnerie, de charpenterie et de couverture. Les dépenses pour forge ne sont malheureusement que peu détaillées à cette époque dans les comptes. Elles le sont uniquement dans la cédule du serrurier, qui compte cette année-là cinq feuillets²⁷⁰. La somme assez importante de 78 l. t. qu'il reçoit comprend donc l'ensemble de ses ouvrages de l'année. Il semble néanmoins que les travaux réalisés pour la librairie elle-même en représentent la majeure partie.

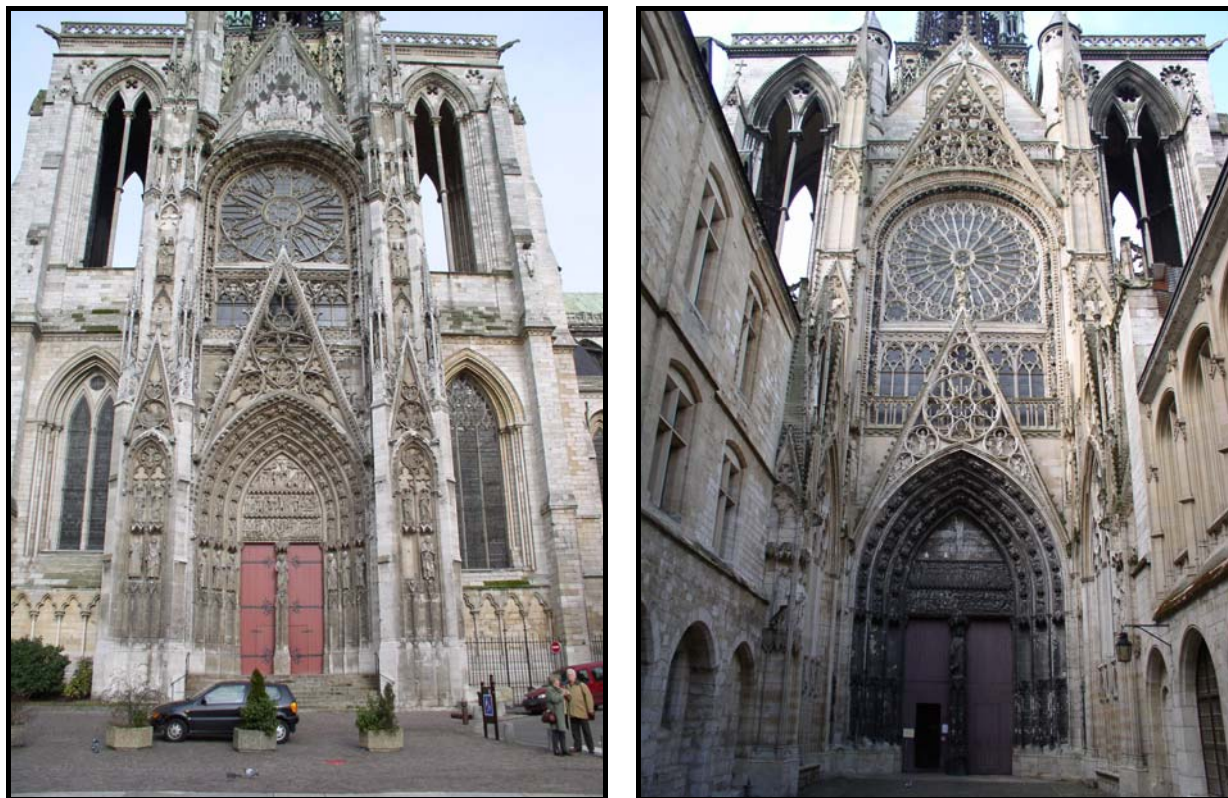


Figure 54 : Les portails latéraux de la cathédrale de Rouen. A gauche, portail sud dit « de la Calende » ; à droite, portail nord dit « des Libraires ».

²⁷⁰ PJ n° 13.

Jean de Hérupy fournit pour l'œuvre de la librairie plusieurs barreaux, certains à *soustenir les trefs*, c'est-à-dire les poutres ou entrails de la charpente, et d'autres à *mettre aux cleres voyes de hault de la dicte librairie avec des longues verges*²⁷¹. Une fenêtre est quant à elle aussi équipée d'une *trillie*, ou grille de fer, sans doute pour prévenir d'éventuelles intrusions. Des barreaux de fer sont également *mis dedens le degré par on l'en va à la dicte librairie*, soit dans l'escalier que l'on voit au revers du portail des Librairies²⁷². Enfin, *trois serrures avecques quatre clefs* sont nécessaires pour les trois portes de la librairie, ainsi que des longues verges pour les lutrins²⁷³.

Aucune prospection n'a été réalisée dans la librairie de la cathédrale. Les comptes montrent, certes à un degré moindre, que le fer est employé pour les mêmes usages dans la librairie que dans la cathédrale elle-même : dans la charpenterie avec les poutres, dans les baies, les fenêtres, dans la maçonnerie avec l'escalier, ainsi que pour les serrures et le mobilier.



Figure 55 : Agrafes au portail de la Calende. A gauche, au revers, sur la balustrade à hauteur du triforium ; à droite, agrafe du gâble.

²⁷¹ *Ibidem.*

²⁷² *Ibidem.*

²⁷³ *Ibidem.*

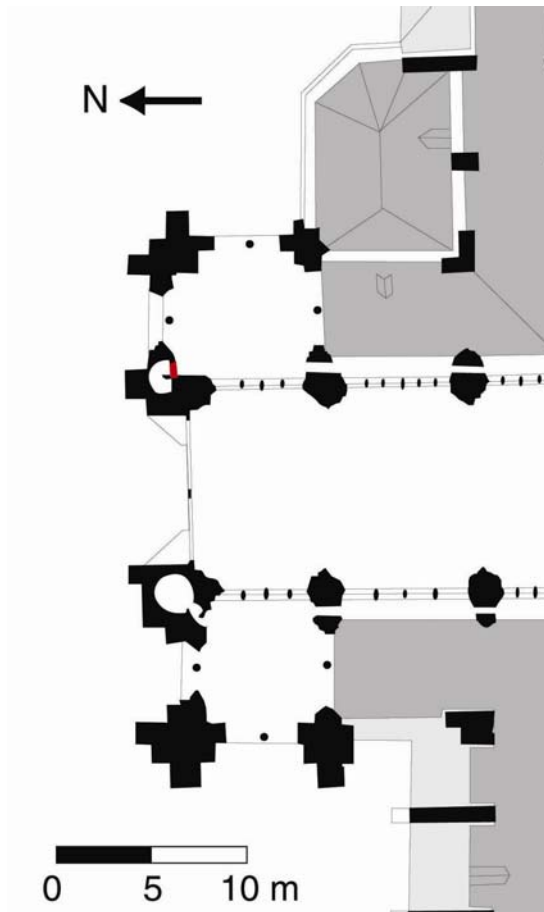
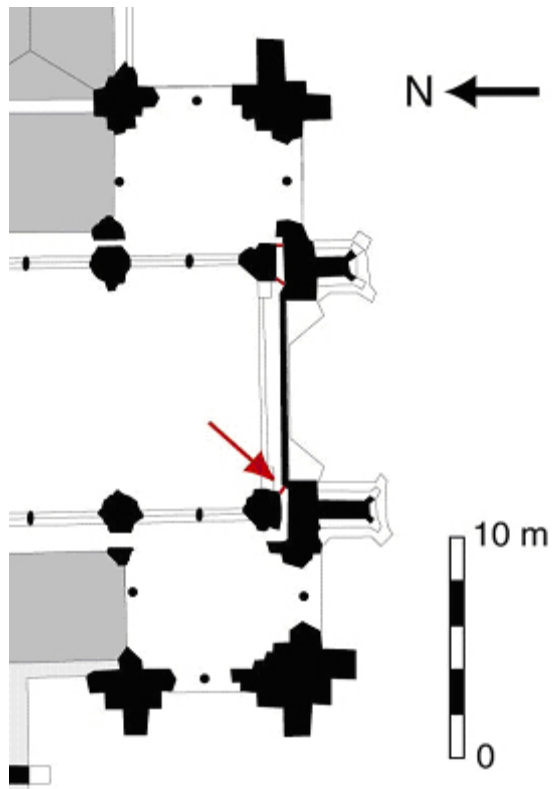


Figure 56 : Barres en linteaux au revers des portails latéraux de la cathédrale de Rouen à l'étage des fenêtres hautes. En haut, portail de la Calende, en bas, portail des Libraires.

Élément de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Crochets et attaches	Statues et niches des statues	-	Voir le chapitre correspondant	-	XIII ^e s. - XIV ^e s.
Barres	Au pied des statues	-	-	-	XIII ^e s. - XIV ^e s.
Agrafes	Balustrade du triforium au revers du portail de la Calende	6	L = 50 cm l = 2,5 cm	10-15 kg	XIII ^e s. - XIV ^e s.
Agrafes	Balustrade des fenêtres hautes au revers du portail de la Calende	5	L = 27 cm l = 2,5 cm	5-10 kg	XIII ^e s. ?
Agrafes	Gâble du portail de la Calende	7	L = 65 cm l = 2,5 cm	20-25 kg	Fin du XIII ^e s. ?
Barres	Barres en linteaux dans les passages aux revers des portails	6	L = 40 à 65 cm	25-50 kg	?
Divers	Libraire	-	-	-	1478-1479

Tableau 14 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au niveau des portails latéraux de la cathédrale de Rouen.

1.1.3.7 Sur la façade occidentale

Cette façade connaît plusieurs phases de constructions pendant la période médiévale, d'autant plus si on y associe celles des tours latérales. Originellement bâtie au début du XIII^e siècle, au sud de la tour Saint-Romain qui existait déjà, la façade occidentale doit attendre la fin du XIV^e siècle pour voir ses premiers grands travaux d'embellissement, menés par le maître d'œuvre Jean Périer, puis par Jean de Bayeux et Janson Salvart, avec notamment l'établissement de la première rose ainsi que l'installation de la statuaire monumentale. A la fin du XV^e siècle, la tour de Beurre s'élève au sud, puis au début du XVI^e siècle, Roullant le Roux reconstruit la partie centrale de la façade, rose incluse, qui avait subi des désordres structurels survenus suite à l'implantation de la tour de Beurre.

Cette façade surprend à la fois par l'importance de sa statuaire monumentale, et par la profusion de fleurons et de pinacles qu'elle révèle dans ses parties hautes (cf. Figure 57). Le fer joue un rôle essentiel dans ces deux aspects du décor.

1.1.3.7.1 Les campaniles et les pinacles de la façade occidentale

Le pignon de la façade occidentale est entouré par quatre petits campaniles, deux situés au nord et deux au sud. Leur arcature est actuellement renforcée par des tirants de bronze. De plus, la multitude de pinacles qui l'entourent y sont tous rattachés par une ou plusieurs petites barres semblant être en inox (cf. Figure 57). Ces campaniles avaient été originellement édifiés aux XIII^e et XIV^e siècles, mais les trois campaniles les plus méridionaux ont été renversés par une tempête en 1683 et rétablis dans un style différent entre 1844 et 1905²⁷⁴. Le campanile le plus proche de la tour Saint-Romain, nommé campanile A est « le seul document ancien qui subsiste sur les quatre campaniles de la façade ouest »²⁷⁵. L'inspecteur général adjoint des monuments historiques notait alors que « très ouvragé et maintenu en tous sens par des armatures métalliques, [ce campanile] constitue une œuvre assez précaire. L'oxydation des ferrures et les agents atmosphériques ont fait éclater la pierre »²⁷⁶. L'architecte en chef A. Chauvel parle quant à lui de « chaînages en fer qui, en rouillant, font éclater la pierre »²⁷⁷. Les photos prises à cette époque montrent bien la présence de barres de fer, dont certaines sont de section plutôt importante. On compte au moins six barres pour chacun des quatre pinacles situés autour du campanile. Elles ont été déposées au début des années 1940 et remplacées par les tirants de bronze et les petites barres d'inox que l'on voit actuellement.

L'emploi de telles barres de fer pour attacher les pinacles et colonnettes de la façade occidentale est également attesté dans les comptes de la fabrique, en particulier pendant l'année 1385-1386, lors des travaux menés par Jean Périer, où le serrurier Jourdain de l'Estre fournit *ung fer quarre de VII piez de longt ou environ mis au travers des pignacles de par coste pesant XIII l. I quarteron* ainsi qu'*un fer ront de environ VI piés de longt mis en la foillole ou l'en a mis un post pesant VI l. I quarteron*²⁷⁸. Ces deux fers qui mesurent environ entre 1,9 m et 2,3 m n'ont, d'après leur masse pas une section importante : elle serait d'environ 4 cm², soit 2 cm de côté pour le fer carré et 2 cm², et 1,5 cm de diamètre pour le fer rond. Ces barres peuvent très bien correspondre aux plus fines de celles décrites précédemment.

²⁷⁴ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 01/23/027.

²⁷⁵ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 0081/076/0095, « Rapport de A. Chauvel », daté du 15 novembre 1941.

²⁷⁶ J. Trouvelot, inspecteur général adjoint des monuments historiques dans Médiathèque du Patrimoine, doc n° 0081/076/0094, « Rapport de A. Chauvel » daté du 26 mai 1938.

²⁷⁷ *Ibidem*.

²⁷⁸ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2483, fol. 62 r°.

Les pinacles de la façade occidentale ne sont pas seulement attachés aux maçonneries adjacentes par des barres de fer, mais aussi renforcés intérieurement par de plus petits éléments. A la fin de l'année 1387, la semaine après la fête des saints Pierre et Paul, le même Jourdain est payé 32 s. t. *pour autres parties ouvrées en graffes, gouions et vertevelles, baillés par parties à maistre Johan Perier en euvre par les massons au pignacle du coste de l'o, lesquelles parties le dit Perier m'a baillé en gros le pesant à XXXII l. de fer*²⁷⁹. Les comptes mettent donc ici en évidence la mise en œuvre de près de 16 kg de fer en agrafes et goujons pour un seul des pinacles de la façade situé à côté de la rose. Les restaurations effectuées aux campaniles et aux pinacles dans les années 1940 ont effectivement vu la dépose de nombreux goujons et agrafes dans ces parties. Au moins 21 trous ont été faits par pignacle pour retirer ces éléments²⁸⁰.

I.1.3.7.2 Les fenestragés et les niches de statues

La façade de la cathédrale est ornée de sept fenestragés en majorité aveugles, répartis de part et d'autre de la rose occidentale : trois au sud et quatre au nord. Tous sont surmontés de gâbles. Sous leurs arcatures, ils abritent une série de niches et piédestaux destinés à recevoir des statues. Trois de ces fenestragés sont ajourés dans leur partie supérieure : le fenestragé le plus au nord et les deux fenestragés centraux de chaque côté. L'arc du fenestragé est alors renforcé par un tirant de bronze. Avant les récentes restaurations, il est probable que ces barres étaient de fer.

Certaines de ces niches, situées dans les angles des fenestragés, possèdent à l'avant deux montants de pierre qui viennent soutenir leur toit. Un de ces montants brisés, dans l'angle nord mitoyen de la tour Saint-Romain, laisse apercevoir l'empreinte d'un goujon à son sommet. La base du montant était inaccessible.

Enfin, la totalité des statues de la façade étaient maintenues en place dans leur niche par un système d'attaches ancrées dans leur dos venant s'accrocher sur un crochet scellé dans le mur de fond de la niche. Tous les détails de ces attaches seront étudiés dans un chapitre distinct. Ces attaches de fer ont désormais été déposées et remplacées par des éléments de bronze.

²⁷⁹ PJ n° 1. « L'o » désigne la rose d'après sa forme.

²⁸⁰ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 0081/076/0095, « Mémoire n° 2 de restauration du campanile A : pinacles d'angle ».

1.1.3.7.3 Balustrades à claire-voie

Deux balustrades à claire-voie, situées respectivement au-dessus du portail central à hauteur du gâble et au-dessus de la rose, décorent le portail occidental. Une balustrade identique se trouve également au revers de la façade, à hauteur du triforium. Elle est désormais masquée par l'orgue.

Chacune de ces balustrades comporte au moins une dizaine de meneaux. Ceux de la partie supérieure de la façade ont en partie été remplacés lors de la restauration qui s'est terminée en 2004. Lors des prospections, des morceaux de meneaux brisés ont été retrouvés au sol. Certains présentaient l'empreinte de trous de coulée. L'un d'entre eux, brisé dans l'épaisseur, laissait apparaître en coupe le canal de coulée oblique encore rempli de plomb et la cavité dans laquelle le goujon de fer était logé (cf. Figure 58). L'empreinte de ce goujon mesure environ 2,5 cm de diamètre pour 10 cm de long.

Les meneaux de la balustrade au revers de la façade présentent également à leur base, de manière systématique, la trace d'un trou de coulée (cf. Figure 58). Ces meneaux sont en excellent état et n'ont pas fait l'objet de restauration. Ils sont sans doute assemblés par des goujons de fer, au même titre que leurs homologues de l'avant de la façade.

1.1.3.7.4 Le revers de la façade

D'autres éléments de fer ont été découverts au revers de la façade occidentale. Au sol du couloir qui passe derrière la grande rose occidentale se trouvent deux tirants, disposés de manière quasi-symétrique, le premier côté tour de Beurre, le second côté tour Saint-Romain (cf. Figure 59). Un engravement est aménagé dans les pierres du dallage pour les recevoir. Cependant, un sol de plâtre recouvre le tout et les deux tirants ne sont apparents que sur des espaces réduits d'environ 50 cm de long où le sol est endommagé. Il a néanmoins été possible de suivre leur progression au détecteur de métaux, de la porte donnant sur le passage extérieur longeant les fenêtres hautes, jusqu'au pied de la rose occidentale. Bien que leur disposition soit symétrique, leur orientation ne l'est pas tout à fait, mais c'est surtout par leurs dimensions que ces tirants diffèrent le plus : ils ont respectivement une section rectangulaire de 2,3 x 1 cm pour le tirant côté tour Saint-Romain et de 2 x 0,3 cm pour celui côté tour de Beurre. Les faibles dimensions de ces éléments ne permettent pas de formuler d'hypothèse satisfaisante quant à leur rôle dans la structure de l'édifice. Leur position laisserait à penser qu'ils servent à solidariser un élément de la façade occidentale avec le reste de l'édifice, mais leur fragilité intrinsèque, surtout pour le tirant sud, semble infirmer cette supposition. Attendu que cette

partie de l'édifice a connu trois phases de construction : au début du XIII^e siècle, à la fin du XIV^e siècle lors de l'embellissement de la façade, et la dernière au début du XVI^e siècle, quand Roulland le Roux refit complètement la partie centrale du portail occidental et sa grande rose, il est difficile d'apporter une datation même approximative à ces tirants. Même si l'argumentaire fait défaut, il semblerait plus probable qu'ils soient liés à une des deux phases de réfection.

Enfin, quatre agrafes ont été repérées sur les balustrades encadrant les deux passages qui relient le vaisseau central au dos deux campaniles latéraux de la façade. Chaque passage est encadré par une balustrade à l'ouest et une à l'est. Dans le passage nord, chaque balustrade compte une agrafe ; en revanche, au sud, la balustrade ouest compte deux agrafes alors que celle de l'est n'en a aucune. Toutes ces agrafes sont entièrement recouvertes par le plomb qui les scelle.

Élément de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Barres	Reliant les pinacles aux campaniles	-	-	-	XIII ^e - XIV ^e s.
Goujons, agrafes	Pinnacle de la façade	-	-	≈ 15 kg	1387
Tirant	Fenestrages de la façade	3	-	-	Fin XIV ^e s.
Crochets et attaches	Statues et niches des statues	-	Voir le chapitre correspondant	-	XIV ^e s. - XV ^e s.
Goujons	Meneaux des claires-voies	-	-	-	XIV ^e - XVI ^e s.
Tirants	Au sol du revers de la rose	2	L > 1 m Sect.= 2,3 x 1 cm et 2 x 0,3 cm	< 5 kg	?

Tableau 15 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au niveau de la façade occidentale de la cathédrale de Rouen.

1.1.3.8 Dans la tour Saint-Romain

La tour Saint-Romain comprend à la fois la partie de l'édifice la plus ancienne, et une des plus tardives, son dernier étage ayant été construit dans le style flamboyant à la fin du XV^e siècle, entre 1468 et 1478 (cf. Figure 57). C'est sur cette dernière partie que les informations sont les plus nombreuses, grâce à la conservation de quelques années comptables.

Les parties inférieures de la tour Saint-Romain, fondées à la fin du XII^e siècle, semblent renfermer fort peu d'éléments de fer. Les premiers étages sont aveugles et les grandes baies des étages supérieurs ne montrent aucun tirant. Les seules armatures de fer qui ont pu être appréhendées en prospection se trouvent dans un couloir reliant deux escaliers entre la tour Saint-Romain et la nef de l'église, entre le niveau des fausses tribunes et celui du triforium.

Au plafond de ce petit couloir de quelques mètres de long, six barres de fer parallèles ont été relevées. Les deux barres méridionales, espacées d'une soixantaine de centimètres, sont complètement engravées dans le bloc de pierre qu'elles supportent et elles y sont scellées au plomb. En revanche, les quatre barres les plus au nord ne sont espacées l'une de l'autre que d'une trentaine de centimètres, elles ne sont pas engravées dans la pierre et sont même, pour certaines situées, quelques centimètres en dessous du niveau du plafond. La maçonnerie a cependant davantage souffert de dégradations à cet endroit qu'au niveau des deux premières barres. Il est donc fort possible que ces premières barres aient auparavant été scellées comme les précédentes. De plus, au niveau de leurs ancrages dans les murs, certaines de ces barres sont très fortement corrodées, conséquences de probables infiltrations d'eau et leur ruissellement. Les cinq barres les plus au sud mesurent entre 75 et 85 cm de longueur visible, ce qui correspond à la largeur du couloir. La barre la plus au nord est un peu plus longue, avec 103 cm, car elle se trouve à la jonction du couloir avec l'escalier, espace un peu plus large. Ces barres sont toutes de sections rectangulaires et posées à plat. Les sections varient entre 2,5 et 3 cm de large pour 1,5 à 2,5 cm d'épaisseur. Une nouvelle fois, la barre la plus au nord est légèrement plus grosse, avec une section de 3,3 x 2,7 cm. L'origine des deux premières barres ne peut faire de doute : ainsi engravées dans la pierre et scellées au plomb, elles n'ont pu être rajoutées sans une dépose complète de la maçonnerie. Il n'est pas possible d'être aussi catégorique pour les quatre autres barres qui, par leur positionnement, auraient pu faire l'objet d'un rajout postérieur. Ces six barres font toutefois partie du même système qui est donc à dater du tournant des XII^e et XIII^e siècles. Une esquille de la troisième barre en partant du

nord, celle qui est le plus rongée par la corrosion et n'est plus à même de jouer aucun rôle par sa perte de section, a été prélevé sous la référence ROU BA1.

La surface étudiée est à forte dominante ferritique avec quelques zones légèrement carburées, titrant jusqu'à 0,2 %_{mass} de carbone. La matrice de l'échantillon contient de très nombreuses inclusions, assez fines et peu allongées. Elles sont exemptes de phosphore et contiennent en revanche d'importantes quantités de manganèse, avec en moyenne plus de 5 %_{mass} de MnO. Les rapports des composés non réduits de ces inclusions sont homogènes sur toute la section, mais la petite taille de la surface étudiée ne peut caractériser l'origine du fer de l'ensemble de la barre de laquelle elle est issue, qui mesure plus d'un mètre de long. La composition moyenne des inclusions est toutefois caractéristique des fers de réduction directe, ce qui est bien compatible avec la datation proposée par l'étude du bâti.

Au dernier étage de la tour, des tirants de bronze sont présents en haut du remplage des baies non vitrées (cf. Figure 57). Ils sont probablement venus remplacer leurs équivalents de fer au cours d'une phase de restauration des XIX^e ou XX^e siècles. Ces tirants devaient représenter environ 300 kg de fer²⁸¹.

Si aucun autre élément de fer n'a pu être observé en prospection à cet étage de la tour, les archives médiévales renseignent néanmoins sur la présence d'agrafes de fer intégrées à la maçonnerie. En effet, en 1477-1478, alors que la construction de la tour est déjà bien avancée, le maréchal Simon Dréon est payé *pour sa peine d'avoir employé huit vings XIII livres et demye de fer de la garnison de l'œuvre à faire crampons pour cramponner les pilliers et gimberges de la tour Saint Romain*²⁸². Le terme de « gimberge » désigne le rampant d'un pignon²⁸³. Il semble donc que ces 85 kg de crampons ont été mis dans la partie supérieure de l'étage, à la fois dans les piliers corniers ou médians et sur l'entablement des baies. Deux ans après, quatre nouvelles agrafes de fer sont mises en haut de la tour, sans que l'on sache précisément à quel endroit²⁸⁴. Les données des comptes médiévaux ne renseignent certes pas systématiquement sur la mise en œuvre de fer pendant la construction, mais elles sont complétées par les archives de restauration du début du XX^e siècle : un devis de restauration daté de 1908 atteste la présence de goujons, crampons et agrafes de fer dans cet étage supérieur de la tour Saint-Romain, notamment au niveau des meneaux, des fenestrages, des

²⁸¹ En considérant une section de 10 cm² identique à la section moyenne des tirants de baies vitrées.

²⁸² Arch. dép. Seine-Maritime, G 2508, fol. 50 v^o et 51 r^o.

²⁸³ GODEFROY (F.), *Dictionnaire de l'ancienne langue française...*, op. cit., vol. IV, p. 385

²⁸⁴ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2510, fol. 68 v^o et 69 r^o.

balustrades et des pinacles²⁸⁵. Ces fers, ancrés pour la plupart en profondeur dans la maçonnerie, sont probablement contemporains de la construction de la tour. Ces pièces ont alors été remplacés par des éléments de cuivre.

Enfin, la présence de gonds et crampons pour attacher les statues du dernier étage de la tour est attestée par les comptes de la fabrique²⁸⁶. Il en sera question ultérieurement.

1.1.3.9 Dans la tour de Beurre

La construction de la tour de Beurre au sud de la façade occidentale fait suite à l'achèvement de la tour Saint-Romain à la fin du XV^e siècle.

A l'exception des armatures de vitraux du rez-de-chaussée et des attaches de statues déjà mentionnées, aucun autre élément de fer n'a été découvert en prospection dans les trois premiers étages de la tour. Ceux-ci sont en effet essentiellement décorés d'arcatures aveugles ou pourvues d'ouvertures très étroites ne nécessitant pas la présence de tirants. Les archives médiévales ne donnent aucun renseignement supplémentaire

En revanche, le quatrième étage est quant à lui ceint de baies à deux étages renforcées en leur partie supérieure par des tirants (cf. Figure 57). On en retrouve également dans les arcades du couronnement octogonal. Autrefois de fer, des tirants en inox leur ont été substitués dans les années 1990, à cause de leur oxydation qui fissurait les meneaux²⁸⁷. Ces archives de restauration font état d'une dépose de 28,5 m linéaires de barres de fer. D'après les sections relevées sur d'autres tirants de l'édifice, ils représentent environ 250 kg. Par ailleurs, d'après ces mentions, il ne semble pas que ces tirants étaient reliés les uns aux autres pour former un chaînage.

Les comptes médiévaux attestent également de la présence de barres et crampons de fer dans les parties hautes de la tour. En effet, bien que la destination précise des éléments de fer achetés ne soit pas précisée, les seules mentions relatives à l'achat de fers datent de 1504 à 1506, période qui correspond à l'achèvement de la tour et donc nécessairement à ses parties hautes. Elles font état de la mise en œuvre de *XIII* crampons pour la machonnerie de la

²⁸⁵ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 0081/076/0091.

²⁸⁶ PJ n° 12, fol. 51 r° et fol. 134 v°-135 r°.

²⁸⁷ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 01/23/027.

*neuve tour pesant XL l.*²⁸⁸, ainsi que de *VIII barreaux de fer en façon de crampons pesans IIII^{XX} VI l. mis en la tour neuve*²⁸⁹, tous payés 8 d. t. la livre. Ces huit barreaux de fer qui pèsent en moyenne 5 kg chacun pourraient fort bien être les tirants que l'on voit dans les baies non vitrées. La mention nous apprend en outre qu'ils sont forgés « en façon de crampons », c'est-à-dire qu'ils sont donc repliés à leurs extrémités. Leurs pattes leur permettent d'être plus solidement ancrés dans la maçonnerie et de mieux travailler en tirant. Ces huit barres et quatorze crampons ne semblent être qu'une partie minime des éléments de fer mis en œuvre dans la tour de Beurre, si on se rapporte à l'ampleur des dégâts constatés sur les parties supérieures de la tour au début des années 1940, dus à l'oxydation d'éléments de fer. Outre la fissuration des meneaux déjà évoquée, ces archives mentionnent la présence d'agrafes et de goujons de fer « sur la partie octogonale de la tour de Beurre, au sommet, sous la balustrade », qui font éclater la pierre, ainsi que la fissuration des assises supérieures des faces nord et est de la tour, car elles sont cramponnées par des agrafes en fer²⁹⁰. Tous ces éléments de fer ont été remplacés par des goujons de bronze de cuivre ou encore des os bien secs.

Élément de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Barres	Plafond du couloir entre la tour Saint-Romain et la nef	6	L = 75 à 103 cm Sect. = 1,5 x 2,5 cm à 2,5 x 3 cm	50-60 kg	Fin XII ^e - déb. XIII ^e s.
Tirants	Baies de la tour Saint-Romain	-	-	≈ 300 kg	Fin XV ^e s.
Crampons	Piliers de la tour Saint-Romain	-	-	≈ 85 kg	1477-1478
Attaches de statues	Tour de Beurre	-	Voir Chapitre correspondant.	-	Fin XV ^e s.
Tirants	Baies de la tour de Beurre	-	-	≈ 250 kg	Déb. XVI ^e s.
Crampons, barres...	Tour de Beurre	-	-	≈ 60 kg	1504-1506

Tableau 16 : Récapitulatif des éléments de fer découverts dans les tours de la façade occidentale de la cathédrale de Rouen.

²⁸⁸ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2520, fol. 43 r^o.

²⁸⁹ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2521, fol. 48 v^o et fol. 49 r^o.

²⁹⁰ Médiathèque du Patrimoine, doc. n^o 0081/076/0093 et 0081/076/0094.



Figure 57 : Façade occidentale de la cathédrale de Rouen. En haut, vue générale et vue du haut de la tour Saint-Romain avec tirants dans les baies. En bas à gauche, anciens renforcements en fer des fleurons du campanile A de la façade, cliché G. Lanfry. En bas à droite, tirants dans les baies de la tour de Beurre.



Figure 58 : Présence de meneaux goujonnés sur la façade occidentale de la cathédrale de Rouen.

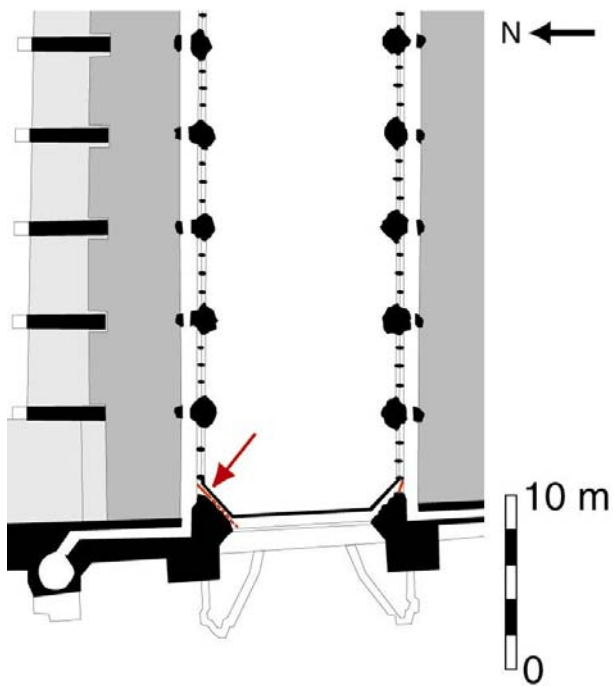


Figure 59 : Tirant au revers de la façade occidentale derrière la grande rose.

1.1.3.10 Les attaches de statues

Une des caractéristiques de la cathédrale de Rouen est sa riche statuaire monumentale. Elle s'exprime en particulier sur la façade occidentale, sur laquelle, à la fin du XIV^e siècle, Jean Périer a fait construire plusieurs étages de niches, afin d'installer ces statues. Cette façade compte à elle seule 78 statues indépendantes, 20 appartenant aux contreforts. Sur les côtés, on trouve également 33 statues sur la tour de Beurre, et 44 au dernier étage de la tour Saint-Romain. Les autres portails comptent eux-aussi un grand nombre de statues : 41 en façade et 11 au revers pour le portail de la Calende, 21 en façade et 9 au revers pour le portail des Libraires. Quelques statues ornent pour finir le dernier étage de la tour-lanterne. On décompte donc actuellement au moins 237 statues sur la cathédrale de Rouen. L'abbé J. Loth affirme, pour sa part, qu'avant les ravages des huguenots et de la Révolution, le nombre de statues présentes sur la seule façade occidentale, tours comprises, était de 261²⁹¹.

Lors de la restauration de la façade occidentale, de la tour de Beurre et de leur statuaire monumentale, la présence d'attaches de statues, permettant de les fixer dans leur niche et prévenir ainsi d'éventuelles chutes, a été attestée. Le comité scientifique pour la restauration et la conservation de la cathédrale Notre-Dame de Rouen a fait le constat de nombreuses fracturations, dues à la présence de ces crampons de fer, et a opté pour leur remplacement par des crampons en bronze, moulés sur leur modèle²⁹². Toutes les statues de la façade occidentale ainsi que neuf statues de la tour de Beurre ont alors été déposées pour restauration dans les ateliers Legrand. Toutes possédaient de telles attaches²⁹³. Six ont pu être prélevées pour analyse métallographique, à savoir celles provenant des statues 301, 314 et 316 de la façade occidentale et des statues 35/1, 35/2 et 35/3 de la tour de Beurre (cf. Figure 61)²⁹⁴. Les crochets scellés au fond des niches ont eux aussi été déposés, laissant des marques bien visibles sur la façade. L'ensemble de la statuaire monumentale de la façade a été reposé au cours de l'année 2004.

L'observation des autres portails, notamment le portail de la Calende, a également permis de relever la présence de ces attaches sur des statues, qui sont encore en place dans leur niche. En outre, là où les statues sont manquantes, l'empreinte d'un crochet ou de son scellement, le plus souvent réalisé au plomb, est bien visible (cf. Figure 60). Il est donc

²⁹¹ LOTH (J.), *La cathédrale de Rouen*, Rouen, Fleury, 1879, p. 155.

²⁹² Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 1991/004/0027, dossier. n° 821.

²⁹³ *Ibidem*.

²⁹⁴ Elles sont étudiées sous les références respectives ROU 301, ROU 314, ROU 316, ROU 35/1, ROU 35/2 et ROU 35/3 correspondant aux numéros des statues.

raisonnable de penser qu'à chaque statue de taille humaine, ainsi positionnée dans une niche, correspond un couple attache/crochet permettant d'assurer sa stabilité.

1.1.3.10.1 Typologie

Ces attaches de statues arborent plusieurs types de formes différents (cf. Figure 60). Toutes se composent néanmoins d'un œil de forme ovale de quelques centimètres de large, destiné à recevoir le piton du crochet fixé au mur, et d'un corps rectiligne dont les extrémités se séparent en deux pattes accrochées dans le dos de la statue. Seuls deux exemplaires sont beaucoup plus fins et ont un œil plus plat, de forme rectangulaire et de moins d'un centimètre de large. La forme de leur corps n'a pas pu être appréhendé car il se trouve encore noyé dans une masse de plomb. Leur référence permettant de retrouver leur localisation dans l'édifice a de plus été perdue par les entreprises de restauration lors de la dépose, ce qui ne nous permet pas de formuler plus d'hypothèses à leur sujet. Mais leur finesse ainsi que la petite taille de leur œil conduisent à s'interroger sur le type de statues qu'elles pouvaient servir à accrocher. Toutes les autres attaches semblent formées à partir d'une barre de fer, repliée sur elle-même à la forge pour lui donner cette forme caractéristique. Trois groupes se distinguent.

Le premier est constitué d'attaches de grandes dimensions, mesurant entre 16,5 et 19 cm avec un large œil ovale d'au moins 5 cm de long sur 3 cm de large. Sur certains exemples la longueur de cet œil peut atteindre près de 10 cm. La section de la barre de fer initiale avant travail à la forge est à peu près carrée, d'environ 2 cm x 2 cm. Elle mesurait une cinquantaine de centimètres de long. Ces attaches se caractérisent également par une soudure qui semble bien réalisée au niveau du repli en partie médiane. Les quatre attaches ROU 301, 314, 316 et 35/1 appartiennent à ce premier groupe. Leur masse est comprise entre 1 et 1,3 kg.

Le second groupe est constitué d'attaches dont la forme de l'œil et les dimensions sont similaires au premier groupe, mais dont la section de la barre initiale est différente, beaucoup plus plate, d'environ 3 cm x 1 cm. Cette section n'a été que très peu modifiée par le travail de forge, qui s'est limité à un repli sommaire. En partie médiane, les deux branches ne se touchent même pas, là où on observait une soudure en partie médiane pour les attaches du premier groupe. Aucune agrafe de ce groupe n'a été prélevée pour analyses métallographiques.

Les attaches du troisième groupe sont de dimensions légèrement plus petites, mesurant une quinzaine de centimètres. Elles se caractérisent par un œil de forme circulaire très nette d'environ 3 cm de diamètre. Elles ont été forgées par repli sur elle-même d'une barre de fer

d'environ 2 x 2 cm de section et 30 à 35 cm de long. Cette section se trouve modifiée autour de l'œil où le métal a été fortement aplati, preuve d'un martelage ardu de la barre de fer. Les attaches ROU 35/2 et 35/3 font partie de ce dernier groupe. Leur masse est comprise entre 600 et 800 g.

La plupart de ces attaches étaient scellées au plomb dans le dos de la statue ; c'était en particulier le cas des agrafes ROU 301, 314 et 316 provenant de la façade occidentale. L'attache de la statue 301 était encore presque entièrement recouverte de sa gangue de plomb. D'autres étaient scellées au mortier, comme les attaches ROU 35/2 et 35/3 de la tour de Beurre. Des traces de liant hydraulique ont été relevées sur ces deux crampons.

1.1.3.10.2 Datation

La datation de ces éléments passe nécessairement par la datation des statues, elles-mêmes liées aux travaux de construction des éléments porteurs.

Les portails des Libraires et de la Calende ont été construits dans cet ordre à la fin du XIII^e siècle et les statues mises en place à la même période, dans les années 1280 à 1330²⁹⁵. Cette statuaire, en particulier celle du portail de la Calende a subi d'importantes restaurations au XIX^e siècle : de nombreuses statues y ont été partiellement ou complètement refaites²⁹⁶. On ne dispose en revanche d'aucune information sur les barres et attaches de statues visibles sur ces portails. Certaines d'entre elles sont néanmoins associées à des statues originelles, notamment les statues de Saintes du portail nord²⁹⁷. Il y a donc fort lieu de croire que ces éléments ont pour la plupart été installés au tournant des XIII^e et XIV^e siècles.

Beaucoup plus d'informations sont disponibles sur la façade occidentale, car la première période d'importants travaux dont elle a fait l'objet à la fin du XIV^e et au début du XV^e siècle coïncide avec les premières années comptables conservées pour les comptes de la fabrique, mais aussi car elle a fait l'objet de récentes études et d'une importante restauration à la fin du XX^e siècle. Ces travaux d'embellissement de la façade occidentale commencent en 1362, sous l'impulsion du maître d'œuvre Jean Périer. En 1370, « les sculpteurs travaillent à la réalisation des statues pour le grand portail »²⁹⁸, le début de leur pose ayant lieu dans les années suivantes. Les sculptures encadrant la rose (301-306 et 401-406) seraient les plus

²⁹⁵ BOTTINEAU-FUCHS (Y.), « La statuaire monumentale... », *op. cit.*

²⁹⁶ SCHLICHT (M.), *La cathédrale de Rouen vers 1300*, Caen, Société des Antiquaires de Normandie, 2005, p. 29 et p. 86-87.

²⁹⁷ ID., *Ibid.*, p. 29.

²⁹⁸ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2115, fol. 65 r^o.

anciennes et auraient été mises en place pendant le dernier quart du XIV^e siècle²⁹⁹. Y. Bottineau-Fuchs les attribue à l'atelier de Jean Périer, mort en 1387³⁰⁰. Outre les mentions de taille et de sculpture de ces statues, les comptes de la fabrique font également en 1383 état d'achat de *de LVI l. de fer ouvré en XV graffes et XV pengnez pour les avanpiz de dedens au pié de l'o nouvel*³⁰¹. Si rien n'atteste ici de manière explicite la présence d'attaches de statues, on peut néanmoins s'interroger sur la forme et la fonction de ces éléments. Les *graffes* suggèrent un élément dont l'extrémité est recourbée à angle droit et le terme de *pengnez*, proche du français actuel poignée, pourrait évoquer la forme en arc-de-cercle de ces attaches³⁰². De plus, l'endroit auquel elles sont destinées, *les avanpiz de dedens au pié de l'o nouvel*, représentent sans doute les fenestragés de la façade situé sous la rose, le terme d'avant-pic désignant un avant-mur³⁰³. Enfin, la masse de fer mise en œuvre, 1,8 kg par couple en moyenne, et la période de leur achat correspondent parfaitement aux premières statues mises en place sur la façade occidentale à la fin du XIV^e. L'attache ROU 301 qui se trouvait au revers de la statue de saint Pierre pourrait faire partie de ce lot.

A la mort de Jean Périer, Jean de Bayeux lui succède jusqu'en 1398 et travaille aux fenestragés situés du côté sud, au dessus du portail Saint-Etienne. Les autres statues du registre médian méridional qui représentent des rois et prophètes de l'ancien testament sont attribuées à son atelier, parmi lesquelles les n° 314 et 316³⁰⁴. Cette campagne de travaux sur la façade occidentale se finit en 1421. Jenson Salvart a alors succédé à Jean de Bayeux depuis 1398. Il travaille notamment aux statues qui orneront le portail Saint-Jean situé au nord du grand portail : au cours de l'année 1420-1421, 19 statues sont sculptées par « l'imaginier » Jean le Hun et posées sur le portail en question³⁰⁵. La même année, afin d'asseoir ces *ymages* audit portail, le fèvre Robert La Taille forge *XXIII^{or} vertevelles et XXIII crampons de fer (...) pesans en somme VI^{xx} III l. de fer*³⁰⁶. Le terme de serrurerie « vertevelle » est une allusion à la forme de ces éléments, les vertevelles étant des pièces de fer plates et ansées³⁰⁷. Cela correspond parfaitement aux attaches de statues retrouvées en place sur la plupart des statues

²⁹⁹ BORJON (M.), dir., *Cathédrale Notre Dame de Rouen (Seine-Maritime). Façade occidentale. Étude documentaire*, GRAHAL, 1993, p. 17.

³⁰⁰ BOTTINEAU-FUCHS (Y.), « La statuaire monumentale... », *op. cit.*

³⁰¹ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2483, fol. 5 v°.

³⁰² La définition précise de ce terme n'a pas été trouvée dans les ouvrages spécialisés.

³⁰³ GODEFROY (F.), *Dictionnaire de l'ancienne langue française...*, *op. cit.*, vol. I, p. 511.

³⁰⁴ BOTTINEAU-FUCHS (Y.), « La statuaire monumentale... », *op. cit.*

³⁰⁵ PJ n° 2, fol. 5 v°.

³⁰⁶ PJ n° 2, fol. 5 r°.

³⁰⁷ LEGROS (V.), *Archéologie de l'objet métallique aux époques médiévale et moderne entre Somme et Oise : approche typologique et fonctionnelle*. Tome 2 : Le mobilier métallique, Thèse de doctorat d'Archéologie présenté sous la direction de Ph. RACINET, 2001, p. 147.

de la cathédrale de Rouen, dont l'oeil rappelle l'aspect des vertevelles. Les crampons désigneraient alors les crochets destinés à recevoir l'anneau de ces vertevelles. Le prix de ces attaches, plus de 17 l. t., n'est néanmoins pas caractéristique du travail de forge effectué par le serrurier. En effet, dans tout le royaume de France, cette période voit une inflation des prix suite à l'invasion anglaise : à Rouen en 1420-1421 le prix du fer change constamment et monte jusqu'à 6 s. t. la livre³⁰⁸.

La partie centrale de la façade occidentale est alors terminée. Elle ne subira de nouvelles modifications qu'au XVI^e siècle, modifications qui ne viendront toutefois pas perturber la statuaire. La fin du XV^e siècle voit en revanche le développement des parties latérales de cette façade, avec la construction du dernier étage de la tour Saint-Romain, puis l'élévation de la tour de Beurre au sud de la façade, toutes deux ornées de nombreuses statues.

Les 44 statues qui ornent le dernier étage de la tour Saint-Romain datent de l'époque de son élévation, à la fin du XV^e siècle³⁰⁹. En 1468-1469, alors que commencent les travaux à la tour Saint-Romain, on trouve deux mentions d'achats au maréchal Jean de Monville de *VIII grans gonlx avecque VIII crampons pour tenir les ymages*³¹⁰. La première de ces deux mentions, en chapitre de maçonnerie, précise que ces gonds et crampons sont à *mettre es pilliers corniers pour tenir les ymages*³¹¹, la seconde, au chapitre des mises extraordinaires, qu'ils sont destinés à *tenir les ymages lesquelles seront mises en la tour Saint Romain*³¹². Il semble donc bien que seize gonds et crampons sont achetés cette année là pour l'attache des futures statues de la tour Saint-Romain³¹³. Sur le plan sémantique, on peut se demander si les gonds ne sont pas plutôt les éléments fixés dans la paroi du mur ; les crampons recouvreraient alors la fonction des précédentes vertevelles.

La pose des statues de la tour de Beurre est également contemporaine de son élévation au tournant des XV^e et XVI^e siècle (1485-1506). Les 12 statues du premier étage sont des réemplois de statues provenant du portail occidental, alors que les 21 statues du deuxième

³⁰⁸ LARDIN (Ph.), « La crise monétaire de 1420-1422 en Normandie », dans *L'argent au Moyen Age, Actes du XXVIII^e Congrès de la SHMES*, Paris, Publications de la Sorbonne, 1998, p. 101-144 ; LARDIN (Ph.), *Les chantiers du bâtiment en Normandie orientale (XIV^e-XVI^e s.)...*, op. cit., p. 270-271.

³⁰⁹ CARMENT LANFRY (A.-M.), *La cathédrale Notre Dame...*, op. cit., p. 181.

³¹⁰ PJ n° 12, fol. 51 r° et fol. 134v°-135 r°.

³¹¹ PJ n° 12, fol. 51 r°.

³¹² PJ n° 12, fol. 134v°-135 r°.

³¹³ La ressemblance entre les deux mentions pourrait faire penser qu'il s'agit d'une mention répétée par erreur dans deux chapitres différents. Il ne s'agirait alors que de huit gonds et crampons. Ces mentions ne donnant pas de détail complet, elles ne peuvent être discriminées par ce biais. Cependant, malgré leur proximité, les sommes semblent bien différentes.

étage datent de la période de construction de la tour³¹⁴. Les crampons ROU 35/2 et ROU 35/3 sont probablement les attaches d'origine de ces statues, datant de l'extrême fin du XV^e ou du début du XVI^e siècle. En revanche, le crampon ROU 35/1 dont la forme se rapproche bien plus des crampons de la façade occidentale ROU 301, 314 et 316 est à l'évidence un réemploi : il faut donc faire remonter sa datation aux siècles précédents, entre 1362 et 1421.

Dans les comptes de la fabrique de l'année 1511-1512, une dernière mention fait état, entre autres parties du serrurier Martin Le Bourt, de l'achat de *sept grans crampons et sept gons pesans XLIII l.*³¹⁵. Bien que cette mention fasse penser aux deux précédentes de 1468-1469, il n'est ici nullement spécifié qu'il s'agit d'éléments destinés à « tenir des ymages ». Cependant, avec 43 livres pour sept gonds et sept crampons, le poids d'un couple s'élève à 6,1 livres, soit environ 3 kg, ce qui n'est pas incompatible avec les attaches de statues étudiées. On sait de plus qu'au cours de cette année comptable, de nombreuses statues sont réalisées pour le portail occidental³¹⁶. La pose de ces nouvelles statues marque la fin des travaux de réparation entrepris sur le portail dès 1509, suite aux dégradations causées par l'implantation de la tour de Beurre³¹⁷.

Pour finir, les statues se trouvant au dernier étage de la tour-lanterne sont contemporaines de sa construction par l'architecte Roulland le Roux, qui a fait suite à l'incendie de la « grêle tour » en 1514³¹⁸.

Un siècle plus tard, entre 1616 et 1629, sont attestées diverses réparations de statues ainsi que le don de nouvelles statues pour le portail³¹⁹. Les attaches formées à partir de barres de fer très aplaties pourraient correspondre à l'utilisation d'un métal de fenderie pour ces restaurations et dons de nouvelles statues au XVII^e siècle³²⁰. La confirmation pourrait être apportée par analyse métallographique.

³¹⁴ CARMENT LANFRY (A.-M.), *La cathédrale Notre Dame...*, *op. cit.*, p. 185.

³¹⁵ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2524, fol. 74 r^o.

³¹⁶ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2524, fol. 63 v^o-64 r^o.

³¹⁷ CHALINE (J.-P.), DELSALLE (L.-R.), *La cathédrale de Rouen : seize siècles d'histoire*, Rouen, Société d'Histoire de Normandie, 1996, p. 105-106.

³¹⁸ CARMENT LANFRY (A.-M.), *La cathédrale Notre Dame...*, *op. cit.*, p. 198.

³¹⁹ Médiathèque du Patrimoine, 2000/061/0005 doc. n^o 75.

³²⁰ L'épaisseur de ces barres est légèrement inférieure au centimètre. Cela correspond aux données fournies par C. Smith pour la fenderie de Saugus au milieu du XVII^e siècle dont les barres ont une épaisseur allant de 7 à 8 mm, SMITH (C. S.), « Production de fer à la fenderie de Saugus aux alentours de 1660 », *Revue d'histoire de la sidérurgie*, tome VII, 1, 1966, p. 7-16.

I.1.3.10.3 Estimation de la quantité de fer

Les estimations en masse pour les attaches de statue ont été réalisées à partir des données fournies par l'étude des six attaches qui nous ont été confiées pour analyse métallographique. Leur masse moyenne est de 1 kg. Il n'a pas été possible d'avoir accès aux dimensions des crochets, qui n'ont en général pas été conservés, mais d'après les observations *in situ*, notamment sur les statues encore en place du portail de la Calende, il semble raisonnable d'estimer que ces crochets pesaient environ le même poids que les crampons. La mention d'achat de ces attaches de statues dans les comptes de la fabrique permet d'établir plusieurs comparaisons : en 1420-1421, 24 *vertevelles* et 24 *crampons* pèsent en tout 123 livres, soit environ 60 kg. En moyenne, chaque couple *vertevelle/crampon* fait donc 5,1 l., soit environ 2,5 kg. Il s'agit là d'attaches de la façade occidentale dont la masse se situe entre 1 et 1,3 kg d'après les objets étudiés, donc 2 à 2,6 kg par couple en rajoutant l'estimation de masse des crochets, ce qui correspond parfaitement à l'ordre de grandeur indiqué par les comptes. Il est donc possible de conclure que le crochet devait bien peser approximativement le même poids que l'attache auquel il était lié. Chaque couple crochet/attache totaliserait donc 2 à 2,5 kg en moyenne. La dernière mention datant de 1511-1512, sur laquelle quelques réserves ont été émises, donne une indication de masse légèrement supérieure avec 3 kg en moyenne par couple. Cela n'est toutefois pas incompatible avec les résultats précédents.

En considérant comme expliqué précédemment que la totalité des statues de taille humaine disposées dans des niches à la cathédrale de Rouen sont pourvues d'un tel système d'attache, soit un minimum de 237 statues, la quantité de fer utilisée serait de l'ordre de 500 à 600 kg. En restituant l'ensemble des statues de la cathédrale, ce chiffre pourrait atteindre près d'une tonne de fer, environ un tiers provenant des portails latéraux donc probablement de la fin du XIII^e ou du début du XIV^e siècle, un tiers de la façade occidentale soit de la transition entre les XIV^e et XV^e siècles, et un tiers des tours campaniles et des nouveaux travaux à la façade soit du tournant des XV^e et XVI^e siècle.



Figure 60 : Différents types d'attache de statue. En haut à gauche, barre au pied des statues du portail des Libraires. En haut à droite, crochets d'attache des statues sectionnés sur le portail des Libraires. En bas, dépôt d'attaches aux ateliers Legrand, cliché C. Colliou.

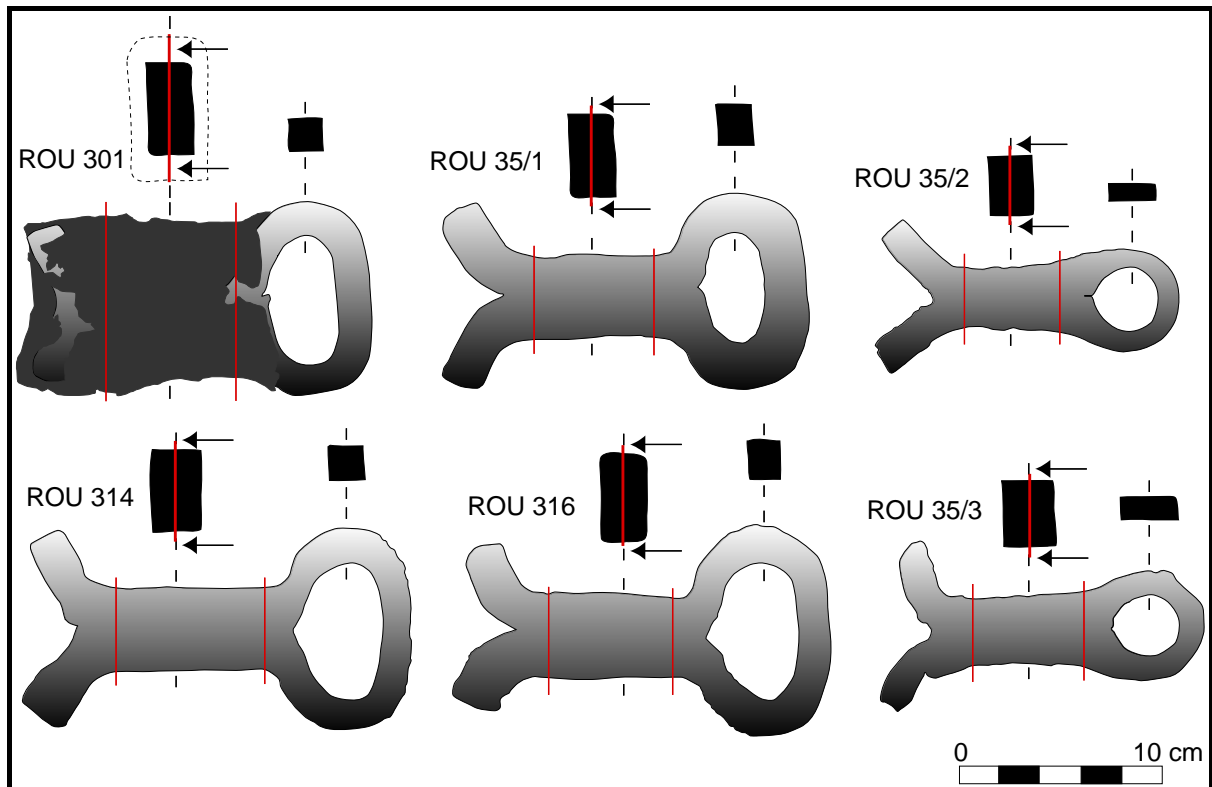
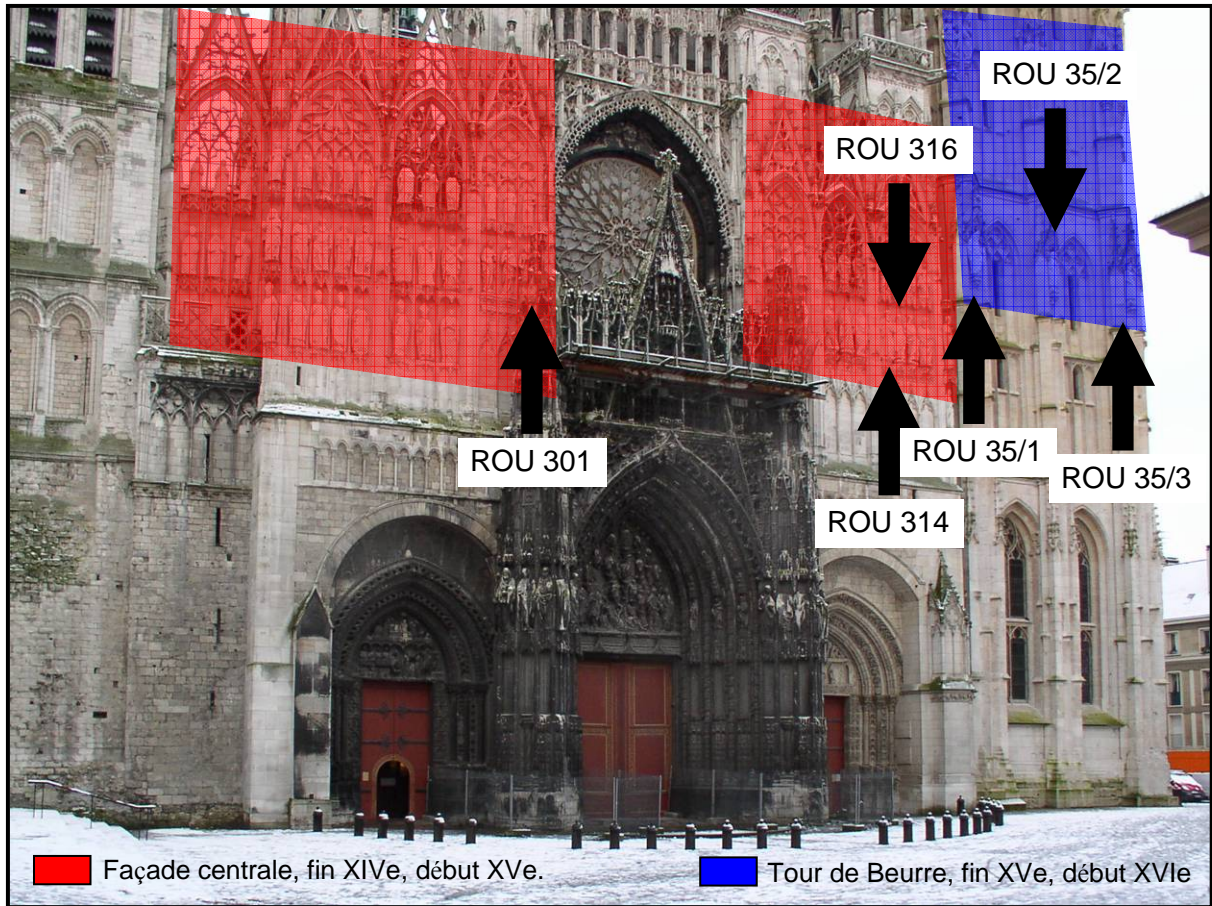


Figure 61 : Corpus d'étude pour les attaches de statue de la cathédrale de Rouen avec localisation.

I.1.3.10.4 Etude métallographique

Six attaches de statues de la façade occidentale de la cathédrale de Rouen ont donc pu faire l'objet d'analyses métallographiques. D'après leur situation sur l'édifice et l'étude stylistique des statues auxquelles elles étaient liées, quatre d'entre elles datent de la fin du XIV^e siècle ou du début du XV^e siècle et les deux dernières du tournant des XV^e et XVI^e siècles. Une seule section a été découpée par attache, toujours au niveau de la partie médiane où la barre de fer a été repliée et soudée sur elle-même, afin d'appréhender la qualité de cette soudure (cf. Figure 61 et Tableau 17).

Référence	Localisation de l'objet source	Description de l'échantillon	Datation
ROU 301a	Façade Occidentale, attache de la statue 301	Coupe transversale dans l'épaisseur au niveau de la soudure en partie médiane.	1370-1387
ROU 314a	Façade Occidentale, attache de la statue 314	Coupe transversale dans l'épaisseur au niveau de la soudure en partie médiane.	1387-1398
ROU 316a	Façade Occidentale, attache de la statue 316	Coupe transversale dans l'épaisseur au niveau de la soudure en partie médiane.	1387-1398
ROU 35/1a	Tour de Beurre, attache de la statue 35/1	Coupe transversale dans l'épaisseur au niveau de la soudure en partie médiane.	1362-1421
ROU 35/2a	Tour de Beurre, attache de la statue 35/2	Coupe transversale dans l'épaisseur au niveau de la soudure en partie médiane.	fin XV ^e , déb XVI ^e
ROU 35/3a	Tour de Beurre, attache de la statue 35/3	Coupe transversale dans l'épaisseur au niveau de la soudure en partie médiane.	fin XV ^e , déb XVI ^e

Tableau 17 : Liste des échantillons analysés sur les attaches de statue de la façade occidentale de la cathédrale de Rouen.

I.1.3.10.4.1 Teneur en carbone

Sur les six sections analysées, seules ROU 35/2a et ROU 35/3a ont une matrice à dominante ferritique avec des zones carburées ne dépassant pas 0,2 %_{mass} de carbone : elles ne présentent aucune zone fortement aciérée. Les quatre autres spécimens ont une composition fer/acier très hétérogène allant de la ferrite pure à la perlite pure, soit 0,8 %_{mass} de carbone, en passant par des structures ferrito-perlitiques à teneurs en carbone intermédiaires (cf. Figure 62). La matrice des sections ROU 301a et ROU 316a est à forte dominance perlitique. Sur les six sections polies, les zones carburées prennent la forme de bandes parallèles bien marquées,

de quelques millimètres à un peu plus d'un centimètre de large, orientées selon une direction perpendiculaire au sens de martelage (cf. Figure 62 et Figure 63). Elles sont la preuve de l'aplatissement d'une structure intrinsèquement hétérogène. En revanche aucune symétrie de la structure fer/acier n'a pu être observée de part et d'autre de la soudure médiane, ce qui prouve la totale hétérogénéité des barres de fer qui ont servi à les façonner.

La soudure en partie médiane des attaches de statues est de manière générale plutôt de bonne qualité. Elle est néanmoins de facture inégale suivant les échantillons. Elle se révèle presque parfaite pour ROU 301a, 314a, 316a et 35/1a, pour lesquels aucune trace n'est visible sur la quasi-totalité de la section étudiée. En revanche, pour ROU 35/2a et 35/3a la soudure n'est effectuée que sur la moitié de la longueur de la section. Il est en outre possible de suivre la ligne de soudure à l'endroit où elle a été effectuée à l'aide du microscope optique (cf. Figure 65). Aucune inclusion résiduelle ne semble toutefois avoir été piégée dans la matrice lors de la soudure.

La nature du matériau et le travail de forge réalisé semblent donc déjà bien séparer les attaches de statue de la fin du XIV^e siècle de celles de la fin du XV^e siècle.

I.1.3.10.4.2 Teneur en phosphore

Des « structures fantômes », caractéristiques de fortes variations microscopiques de la teneur en phosphore de la matrice, pour des teneurs localement comprises entre 0,1 et 0,4%_{mass}, ont été observées sur les échantillons ROU 35/2a et ROU 35/3a. La répartition mésoscopique et microscopique du phosphore dans la matrice métallique des différents échantillons a pu être appréhendée de manière qualitative par attaque au réactif de Oberhoffer ainsi que de manière quantitative par dosages à la microsonde électronique. L'attaque Oberhoffer révèle sur les deux sections une alternance de zones à dominante claire, riches en phosphore, et sombres, plus pauvres. Cette répartition prend, comme pour les zones aciérées, la forme de bandes orientées selon une direction perpendiculaire au plan de frappe, les zones les plus pauvres en phosphore concordant avec d'importants alignements d'inclusions (cf. Figure 64). Dans ces zones de concentrations différentes, des variations plus ténues de nature microscopiques, correspondant aux « structures fantômes », sont également observables par endroits sur ces deux spécimens.

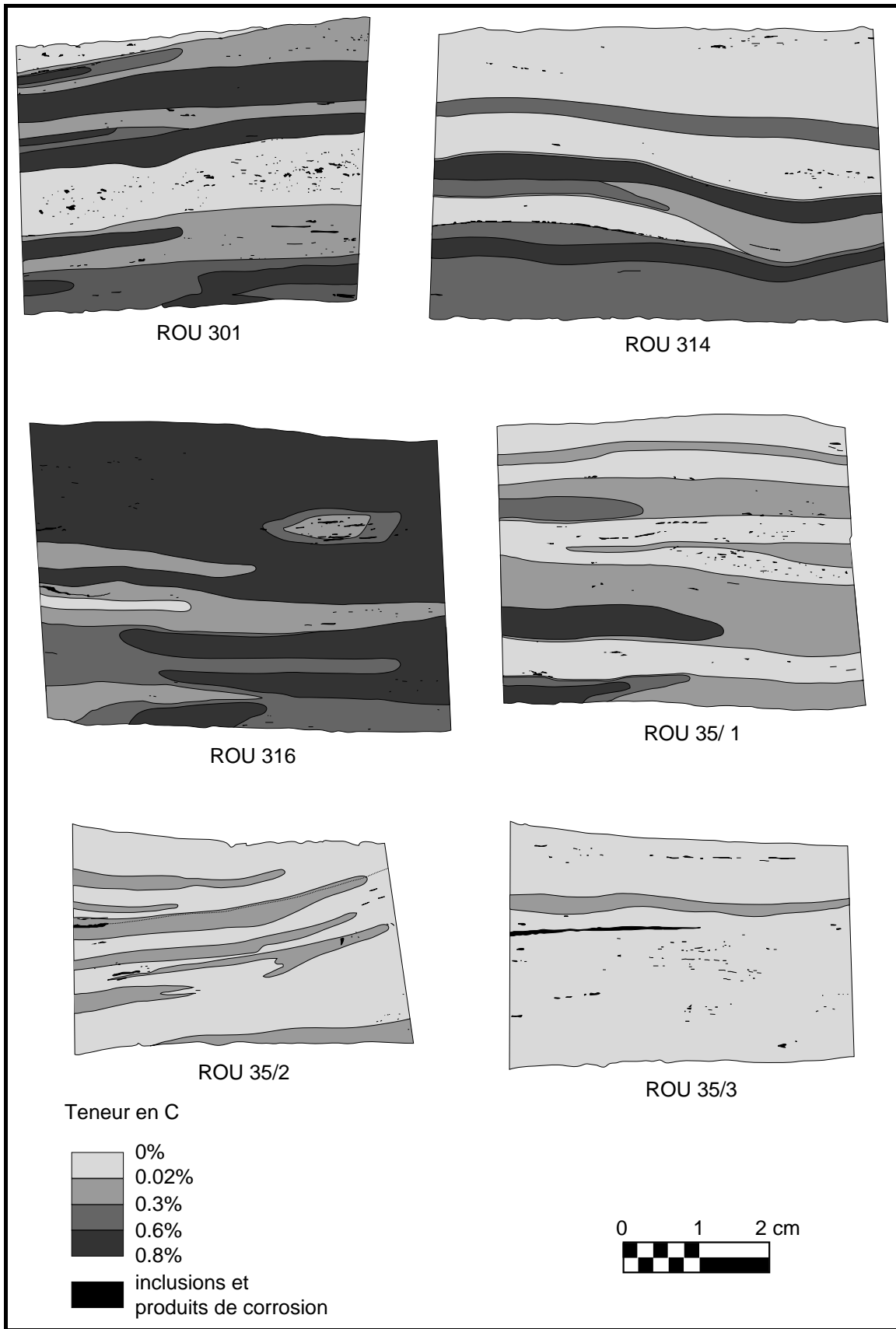


Figure 62 : Structure métallographique des attaches de statues analysées sur la façade de la cathédrale de Rouen.



Figure 63 : Micrographie de l'échantillon ROU 314a, attaque Nital.

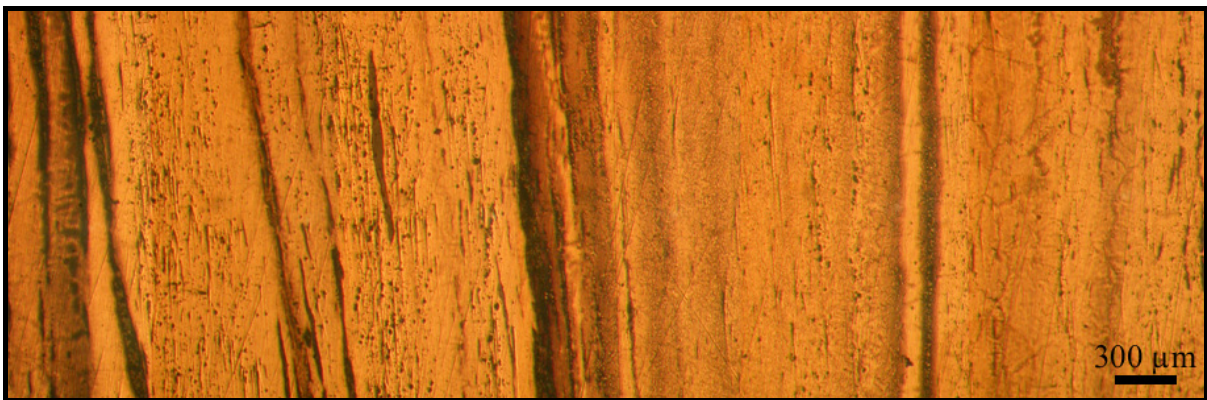


Figure 64 : Micrographie de l'échantillon ROU 35/3a, attaque Oberhoffer.

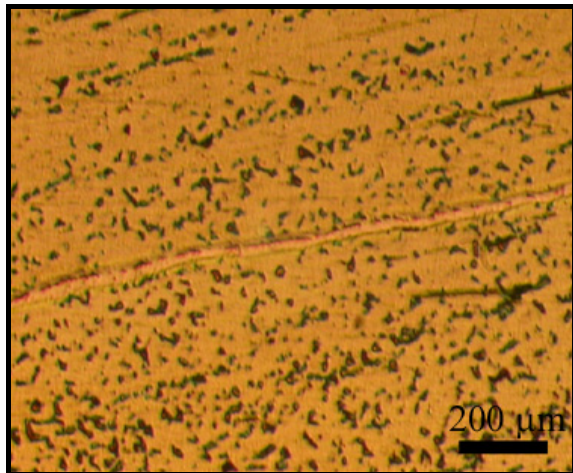


Figure 65 : Ligne de soudure médiane, échantillon ROU 35/2a, attaque Nital.

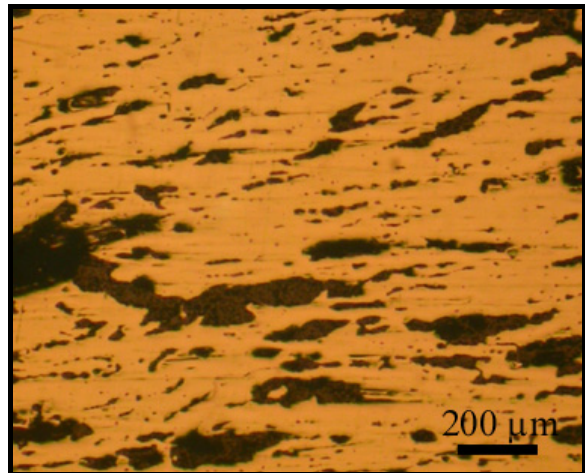


Figure 66 : Zone de mauvaise propreté inclusionnaire, échantillon ROU 301a.

Les analyses effectuées à la microsonde de Castaing permettent de quantifier plus précisément ces teneurs en phosphore (cf. Tableau 18). Les matrices des deux spécimens ROU 35/2a et ROU 35/3a ont une moyenne assez élevée aux alentours de 1300 ppm, avec des valeurs maximales atteignant près de 4000 ppm. On retrouve d'importantes variations à l'échelle microscopique, que laissaient présager la présence de ces structures fantômes. Les zones les moins phosphoreuses titrent moins de 250 ppm de phosphore. De telles teneurs et de telles variations ne sont pas sans incidence sur le forgeage de ces matériaux.

Spécimen	Nombre de dosages	Teneur en P min	Teneur en P max	Teneur en P moy
ROU 35/2a	60	< 170 ppm	3940 ppm	1300 ppm
ROU 35/3a	58	250 ppm	4390 ppm	1390 ppm

Tableau 18 : Teneurs en P des matrices des échantillons ROU 35/2a et 35/3a par dosage à la microsonde de Castaing.

I.1.3.10.4.3 Etude inclusionnaire

De nombreuses inclusions sont visibles à l'œil nu sur les six spécimens ; elles mesurent de quelques millimètres à plus d'un centimètre de long. En microscopie optique, on observe également de nombreuses inclusions de la taille de la dizaine de micromètres. La répartition des inclusions à l'intérieur de la matrice métallique est, dans la plupart des cas, très hétérogène, ce qui est d'autant plus remarquable pour les échantillons avec la plus faible propreté inclusionnaire qui possèdent alors des zones avec une très forte concentration d'inclusions, comme la section ROU 301a où elles se concentrent selon une bande centrale (cf. Figure 66). Mais ceci est aussi perceptible pour d'autres sections, comme ROU 35/1a où elles se répartissent aussi sous forme de bandes, ou encore ROU 316a où elles forment une sorte d'œil. On a donc le plus souvent, quelle que soit la propreté inclusionnaire générale de l'échantillon, des zones relativement propres côtoyant des zones de très faible propreté inclusionnaire. Après attaque au réactif Nital, pour les quatre attaches de statue présentant une structure fer/acier très hétérogène, ces zones de très faible propreté inclusionnaire semblent plutôt correspondre aux zones ferritiques ou à plus faible teneur en carbures. En revanche, pour les deux sections presque exclusivement ferritiques, aucune répartition particulière des inclusions n'a pu être appréhendée. L'application de la modification de la norme AFNOR donne une propreté inclusionnaire moyenne de 2,2* à 3,8*, soit une propreté moyenne à médiocre (cf. Tableau 19). On remarque que les quatre attaches de statue datant de la fin du

XIV^e siècle ont des propriétés moyennes très voisines aux alentours de 3*. Il n'est toutefois pas possible de regrouper les échantillons de manière logique d'après ces données.

Les dosages au MEB révèlent que ces inclusions sont assez homogènes à l'intérieur de chaque section étudiée. Les rapports des composés non réduits font preuve d'une constance remarquable pour tous les échantillons. De même, aucune différence notable n'a pu être remarquée entre les inclusions d'un même objet de part et d'autre de la soudure médiane. Il semble donc que ces attaches sont toutes issues du repli et de la soudure à la forge d'une barre de fer neuf.

Ces dosages permettent de séparer les six sections en deux groupes. Le premier comprend les spécimens de la fin du XIV^e siècle, ROU 301a, 314a, 316a et 35/1a dont les inclusions sont riches en oxydes d'aluminium, silicium potassium et calcium. Elles sont en outre assez riches en manganèse, avec en moyenne 1,5 %_{mass} de MnO pour ROU 301a et entre 4 et 5 %_{mass} pour les trois autres sections, et très pauvres ou exemptes de phosphore, avec des valeurs moyennes en P₂O₅ inférieures au pourcent. Dans les zones carburées, des inclusions vitreuses à très faible teneurs en oxydes de fer ont de plus été découvertes sur ces quatre échantillons. D'après leur composition moyenne, ces inclusions sont caractéristiques des fers de la filière de réduction directe (cf. Figure 67).

Le second groupe comprend les deux sections faites sur les agrafes de la fin du XV^e siècle, ROU 35/2a et 35/3a. Contrairement aux précédentes, leurs inclusions sont bien plus pauvres en oxydes d'aluminium et de potassium avec des moyennes de 1 à 2 %_{mass}. Elles sont également plus riches en phosphore, avec des teneurs maximales de P₂O₅ de plus de 20 %_{mass} pour des moyennes allant de 7 à 10 %_{mass} environ. D'importantes teneurs en Cr₂O₃ et en V₂O₅ ont également été dosées dans certaines inclusions de ces deux sections. En particulier ROU 35/2 présentait des phases angulaires d'oxydes de chrome et vanadium. La composition moyenne des inclusions de ces deux échantillons classe ROU 35/3 en bordure de la zone caractéristique des fers de réduction indirecte. ROU 35/2 se trouve quant à lui dans la zone indéterminée (cf. Figure 67). La présence des inclusions d'oxyde de chrome et de vanadium caractéristiques de la phase d'affinage va cependant plutôt dans le sens d'un fer issu de la filière indirecte.

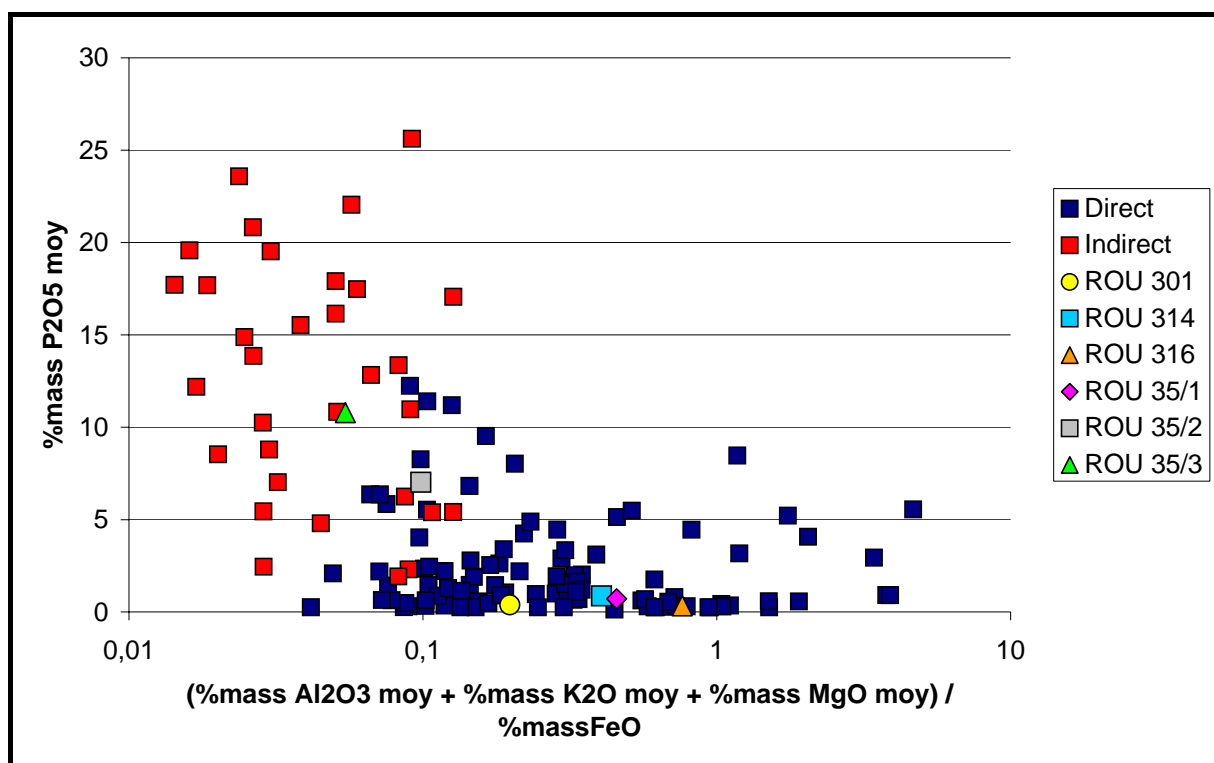


Figure 67 : Discrimination des procédés de réduction pour les six attaches de statues prélevées sur la façade occidentale de la cathédrale de Rouen.

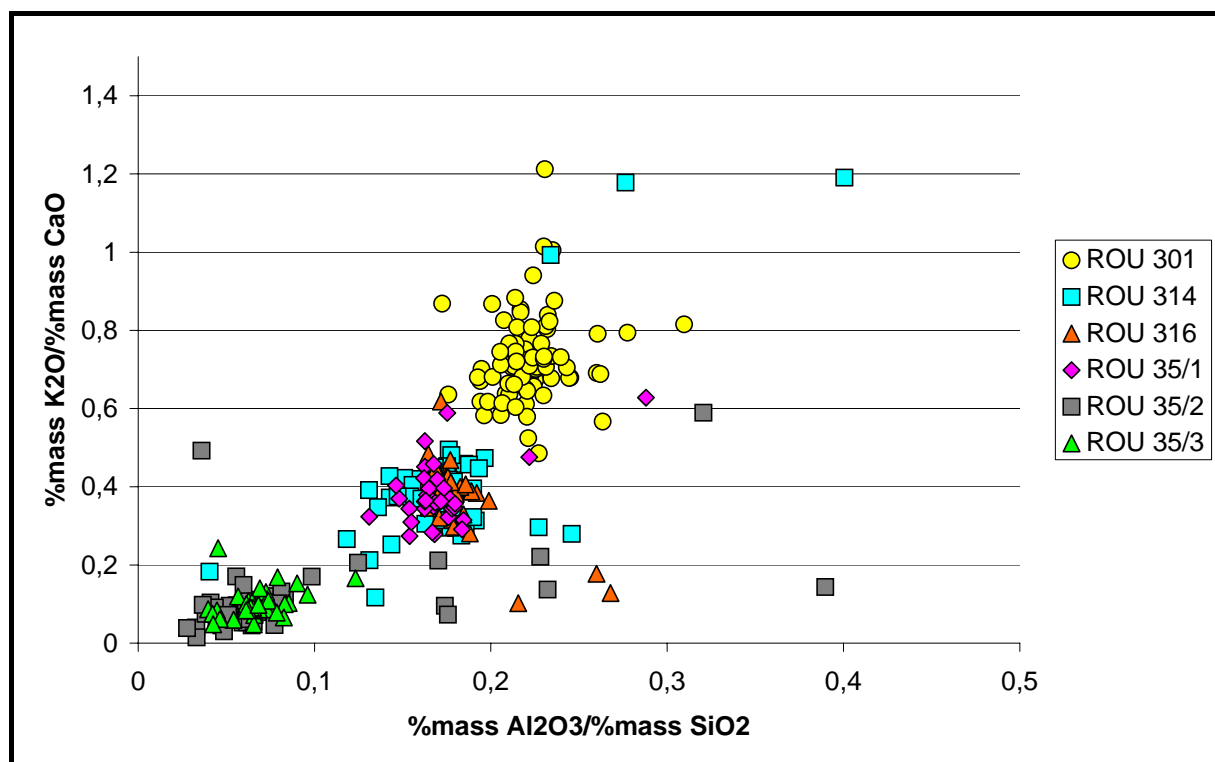


Figure 68 : Comparaison des rapports $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ et $\text{K}_2\text{O}/\text{CaO}$ pour les six attaches de statues prélevées sur la façade occidentale de la cathédrale de Rouen.

L'étude des rapports des composés non réduits des inclusions de ces objets montre une compatibilité entre plusieurs d'entre eux (cf. Figure 68). D'après ces rapports, ROU 314 et ROU 316 pourraient ainsi avoir une origine commune, ce qui n'est pas étonnant vu qu'ils appartenaient à la même campagne d'installation de statues entre 1387 et 1398. Les teneurs en MnO et P₂O₅ moyennes des inclusions de ces objets viennent confirmer cette compatibilité. L'attache ROU 35/1, qui était quant à elle en position secondaire sur la tour de Beurre, semble également provenir du même lot d'attaches d'après la composition de ses inclusions. Elle provient donc probablement de la même campagne de construction, correspondant à l'installation des statues au dessus du portail St Etienne par Jean de Bayeux entre 1387 et 1398. En revanche, les rapports Al₂O₃/SiO₂ et K₂O/CaO des inclusions de l'attache ROU 301 sont nettement différents, de même que leurs teneurs en MnO et P₂O₅. Cette attache datait plus vraisemblablement de la période 1370-1387, pendant laquelle Jean Pérrier conduisait les travaux. Le fait que l'attache soit issue d'un fer d'origine différente traduit donc une évolution dans les sources d'approvisionnement entre les différentes campagnes de construction du portail. Pour finir, les deux attaches de la tour de Beurre qui sont probablement issues du procédé de réduction indirecte semblent également compatibles, d'après les rapports de leurs composés non réduits. Aux trois périodes représentées par les attaches de statues étudiées correspondent donc trois fers d'origines bien distinctes.

Echantillon	Datation	Teneur en C	Fer phosphoreux	Indice de propreté	Procédé de réduction	Lopin originel
ROU 301a	1370-1387	0 à 0,8 % _{mass} + SB	NON ?	3,1*	Direct	1 seul lopin
ROU 314a	1387-1398	0 à 0,8 % _{mass} + SB	NON ?	2,8*	Direct	1 seul lopin
ROU 316a	1387-1398	0 à 0,8 % _{mass} + SB	NON ?	2,6*	Direct	1 seul lopin
ROU 35/1a	1362-1421	0 à 0,8 % _{mass} + SB	NON ?	2,6*	Direct	1 seul lopin
ROU 35/2a	fin XV ^e , déb. XVI ^e s.	0 à 0,2 % _{mass} + SB	OUI (SF)	2,2*	Indirect	1 seul lopin
ROU 35/3a	fin XV ^e , déb. XVI ^e s.	0 à 0,2 % _{mass} + SB	OUI (SF)	3,8*	Indirect	1 seul lopin

Tableau 19: Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les attaches de statue de la façade occidentale de la cathédrale de Rouen.

I.1.3.11 Synthèse

Si aucun chaînage n'a été découvert dans la maçonnerie de la cathédrale de Rouen, les prospections ont montré l'utilisation de nombreux petits éléments de fer, barres, agrafes et goujons, servant à l'accroche du décor : colonnettes, balustrades, statues... Ce phénomène trouve la meilleure illustration sur la façade occidentale de la cathédrale de Rouen. Toutes ces petites pièces de fer semblent bien avoir été mises en œuvre à partir du début du XIII^e siècle, comme le montrent notamment d'anciennes colonnettes et balustrades aujourd'hui disparues et dont seules subsistent les marques des agrafes ou goujons qui les renforçaient.

I.1.4 Autres dépenses pour forge dans les comptes de la fabrique de la cathédrale de Rouen

Les prospections ainsi que les informations, parfois éparses, recueillies dans les comptes de la fabrique de la cathédrale de Rouen, ont donné un aperçu de l'utilisation du fer dans la cathédrale à la période médiévale malgré les restaurations ultérieures. Les archives comptables permettent en outre d'avoir accès à des informations sur les acteurs du chantier, les maréchaux et serruriers, le coût de leurs ouvrages, ainsi que de restituer l'évolution chronologique des dépenses de serrurerie dans la limite de la conservation des registres.

I.1.4.1 Approche chronologique

I.1.4.1.1 Années 1383-1387

Les premiers comptes conservés sont marqués par des dépenses pour forge assez moyennes, à peu près comprises entre 30 et 40 l. t. Les clous et le fer d'œuvre constituent l'essentiel des achats de la fabrique. Jourdain de l'Estre est le principal *faber* ou serrurier travaillant à cette époque pour le compte de la fabrique de la cathédrale, mais les réparations des marteaux sont le plus souvent faites par un autre *faber* du nom de Guillaume Minuit. Le prix de la livre de fer ouvrée est fixe pendant toute la période, à 12 d. t. La plupart des clous et autres petits éléments de fer sont quant à eux fournis par le cloutier Regnault Canal.

Sont à noter en particulier pour cette période, des dépenses assez importantes pour les travaux à la tour-lanterne et au portail occidental ainsi que l'achat de nombreux clous avec près de 35 l. t. dépensées entre juin 1383 et juin 1386. Ces clous, destinés à l'ouvrage des charpentiers, des plombiers et des couvreurs de tuile sont mis en œuvre en divers endroits de la cathédrale, tant à la *gresle tour* qu'en d'autres lieux *en tour l'église*³²¹.

³²¹ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2483, fol. 53 r°.

I.1.4.1.2 Années 1407-1421

Dans cette période, seulement quatre années comptables sont conservées. Les dépenses sont plutôt faibles, comprises entre 10 et 30 l. t. environ, et souvent indéterminées. Elles sont marquées par la forge d'éléments de fer pour les engins du chantier la façade occidentale, notamment cet *engin des establies du portail Saint Johan* que l'on retrouve en 1415 et en 1420³²².

L'année 1420-1421 pour laquelle les dépenses de forge s'élèvent à 78 l. t. correspond à la période d'inflation qui touche le royaume de France et particulièrement la ville de Troyes au début de l'occupation anglaise³²³. Le prix de la livre de fer, compris entre 10 et 12 d. t. dans la décennie précédente, s'envole alors parfois à plus de 5 s. t. L'importance des dépenses en fer d'œuvre qui représentent le quart du total de l'année sont en fait essentiellement dues à l'achat des attaches de statues mentionnées précédemment et payées 17 l. 18 s. 9 d. t. à 2 s. et 11 d. la livre de fer, soit plus du triple du prix habituel.

I.1.4.1.3 Années 1425-1435

C'est la première série importante de comptes pour la cathédrale de Rouen, grâce à la conservation du registre G 2487 regroupant à lui seul ces dix années comptables. Le serrurier Johan Paen réalise au cours de cette période la quasi-totalité des travaux de forge pour le chantier de la cathédrale, tandis que les clous et autres petites pièces de serrurerie sont fournies par le féron Michel Canal, probable parent de Regnault, qui apparaît dans les comptes dès l'année 1414. Le prix de la livre de fer ouvrée passe de 18 d. t. en 1427 à 13 s. t. en 1430 et reste stable jusqu'en 1435.

Outre des dépenses en petite serrurerie assez élevées dépassent pour plusieurs années les 10 l. t., essentiellement pour des réparations comme en 1426-1427³²⁴, ces années sont marquées par la modification des baies hautes du chœur de l'église, entraînant une hausse considérable des dépenses pour forge, qui passent d'une moyenne annuelle de 20 à 30 l. t. à plus de 70 l. t. dès l'année 1430-1431 (cf. Figure 69). Elles dépassent même les 100 l. t. pour l'année comptable 1432-1433, où les quatre dernières grandes fenêtres sont réalisées, avant de retomber à une moyenne habituelle plus faible de 20 à 30 l. t. dès l'année suivante. Entre 1429 et 1433, les dépenses pour fers à vitraux sont alors comprises entre 50 et 80 % du total de

³²² Arch. dép. Seine-Maritime, G 2484, fol. 20 v° et G 2486, fol. 13 r°.

³²³ LARDIN (Ph.), « La crise monétaire de 1420-1422... », *op. cit.*

³²⁴ PJ n° 3.

serrurerie. Payés 13 s. t. la livre, le prix des fers à vitraux n'est pas différent de celui des autres ouvrages réalisés par le serrurier, si ce n'est que ce dernier récupère également le fer contenu dans les anciennes fenêtres au prix de 6 s. t. la livre de « vieux fer »³²⁵. Aucune autre dépense particulière n'est à noter au cours de cette période, l'essentiel des occupations du chantier étant concentrées sur ces vitraux et l'ensemble des travaux en découlant : maçonnerie, vitrerie, serrurerie, etc.

I.1.4.1.4 Années 1457-1469.

Après une lacune de vingt ans dans les archives, cette période constitue la seconde et dernière série continue avec une dizaine d'années comptables entre 1459 et 1469. Les dépenses y sont très faibles, comptant en général moins de 20 l. t. jusqu'en 1465 et sont essentiellement le fruit de dépenses pour clous nécessaires pour les couvertures, notamment celle de la tour Saint-Romain en 1459-1460 et celle de la tourelle en 1462-1463 et d'ouvrages aux diverses serrures de l'église comme en 1461-1462³²⁶.

A partir de 1465 s'observe une brutale hausse des dépenses pour forge jusqu'à plus de 60 l. t. et dépassant même légèrement les 100 l. t. en 1467-1468 (cf. Figure 70). Cette période correspond malheureusement au début des mentions non détaillées sur le travail du serrurier et les indéterminés représentent plus de la moitié des dépenses. On sait qu'entre 1465 et 1470, le maître-verrier Guillaume Barbe orne de vitraux les chapelles de la nef qui ne l'étaient pas, et complète celles qui ne l'étaient que partiellement³²⁷ ; les dépenses pour verrerie étant particulièrement importantes dans les comptes entre 1467 et 1469³²⁸. Il est donc fort vraisemblable que cette hausse des dépenses pour forge soit, comme entre 1430 et 1433, la conséquence des travaux aux verrières de l'église. Certaines dépenses ponctuellement importantes viennent également amplifier ce phénomène, comme l'achat de nombreux clous pour diverses couvertures en 1465-1466 et la forge d'un grand candélabre pour la chapelle de la Vierge l'année suivante³²⁹. Le début de la construction du dernier étage de la tour Saint-Romain, à partir de 1468, ne semble par ailleurs pas engendrer de dépenses particulières.

La fabrique fait, à partir de cette période, le plus souvent appel à au moins trois ouvriers du fer issus de corporations différentes. Le cloutier fournit les clous et parfois des

³²⁵ Voir par exemple PJ n° 5, fol. 17 r°.

³²⁶ PJ n° 9.

³²⁷ *Corpus Vitrearum. Les vitraux de Haute-Normandie...*, op. cit., p. 335.

³²⁸ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2503, fol. 123 r° et v° ; G 2505, fol. 125 r°.

³²⁹ PJ n° 10 ; PJ n° 11.

petits éléments de fer pour les serrures. Yvon de Collandes s'acquitte de cette tâche entre 1457 et 1467 et est remplacé par Nicolas Prière à partir du compte de 1467-1468. Michel Canal qui assurait auparavant l'intégralité de ce travail est également présent de manière épisodique jusqu'en 1462. Le maréchal et le serrurier forgent quant à eux le fer sous ses diverses formes pour le chantier de la cathédrale, tous deux effectuant aussi bien des travaux de petite serrurerie que des agrafes ou des fers à vitraux. A partir de 1458, le maréchal semble s'occuper seul de la réparation des outils des ouvriers. Ainsi, le maréchal Jehan de Monville, présent dès l'année 1458, et le serrurier Jehan de Hérupy dit Castille, qui habite la paroisse Saint-Maclou et apparaît dès 1459, mais n'est présent de manière régulière qu'à partir de 1466, sont les principaux ouvriers du fer sur le chantier de la cathédrale à cette période. Le prix de la livre de fer ouvrée n'évolue pas entre 1457 et 1469 ; il est fixe, à 11 d. t.

I.1.4.1.5 Années 1475-1512

Ces quarante années comprises entre la fin du XV^e et le début du XVI^e siècle ne comptent aucune série de plus de trois ans sans lacune. A peine la moitié des années comptables est conservée pour cette période et il devient donc difficile de suivre les travaux engagés avec précision, d'autant plus que les dépenses pour forge ne sont presque jamais détaillées à l'exception des clous et des outils. En moyenne, les dépenses pour forges représentent entre 20 et 40 l. t. pendant cette période. Trois années voient une dépense particulièrement élevée (cf. Figure 70). Il s'agit de l'année comptable 1478-1479 avec 97 l. 16 s. 1 d. t. et une cédula du serrurier s'élevant à 78 l. t., dont une grande partie est relative aux travaux d'établissement de la nouvelle librairie³³⁰, de l'année 1501-1502 où la dépense de 325 l. 11 s. 8 d. t. est essentiellement due à la fonte et l'installation de la cloche Georges d'Amboise dans la tour de Beurre, qui représente plus de 87 % des dépenses pour forge de l'année, et en 1512-1513 avec plusieurs dépenses importantes, dont une pour les grilles du trésor de l'église³³¹, le tout montant à environ 91 l. 11 s. 2 d. t. Les travaux de construction menés sur la cathédrale avec l'élévation du dernier étage de la tour Saint-Romain dans les années 1470 puis de la tour de Beurre à partir de 1485, et enfin la reconstruction d'une partie de la façade occidentale ne semblent pas avoir une influence sur les dépenses pour forge autres que les dépenses pour outils. En effet, à partir du compte de 1485, la moyenne des

³³⁰ PJ n° 13.

³³¹ PJ n° 16.

dépenses pour les outils, qui était de 5,5 l. t. entre 1383 et 1435 et de 2,7 l. t. entre 1457 et 1480 passe brutalement à près de 15,5 l. t. entre 1484 et 1513 soit plus du tiers des dépenses pour forge (cf. Figure 70). C'est bien le nombre d'outils réparés et non le prix des actes de réparation qui augmente de manière significative, avec chaque année plus de 400 marteaux reforgés et plusieurs dizaines d'aciérages représentatifs de l'activité intense sur le chantier. En revanche, les autres dépenses, toujours indéterminées, ne font que rarement l'objet de mentions particulières relatives à la construction et quand elles existent, elles représentent des sommes plutôt modestes. Ces hypothèses sont cependant tributaires de la grande fréquence des lacunes des registres de comptes.

Plusieurs serruriers et maréchaux se succèdent sur le chantier, le travail du maréchal consistant au cours de cette période essentiellement dans la réparation des outils. Les principaux serruriers sont Jean de Hérupy, déjà présent depuis les années 1460, et qui œuvre jusqu'en 1490, puis Laurence de Hérupy dès 1492 pour une dizaine d'années, remplacé en 1504 par Martin le Bourt. Le cloutier Nicolas Prière fournit la fabrique au moins jusqu'en 1499, puis à son décès sa femme Marguerite, et enfin Pierre, probablement leur fils, à partir de 1504. Celui-ci meurt quelques années plus tard, et à partir de 1511, un autre cloutier, Pierre Cusquel, apparaît dans les comptes de la fabrique. Le prix de la livre de fer ouvrée, de 10 d. t. la livre à la fin des années 1470, passe à 9 d. t. à la fin des années 1480 et enfin à un minimum de 8 d. t. aux alentours de 1505. Dès le début des années 1510, il remonte à 9 d. t.

Cette période voit également l'achat par deux fois de fer d'Espagne. En 1501-1502, année de l'installation de la cloche, Benest Canellier fournit pour 24 l. 2 s. 9 d. t. de fer d'Espagne pour employer à son battant³³². Quelques années plus tard, le 8 juin 1508, le serrurier Martin le Bourt fournit *ung tourillon de fer d'Espagne mis à la roe de l'engin du portail Sainct Romain, pour ce que l'autre avoit esté rompu en tournant à la roe, pesant pesant XXVII l., au prix de X d. la livre, soit 1 à 2 d. t. de plus que le prix du fer de l'époque*³³³.

³³² PJ n° 15, fol. 71 r°.

³³³ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2522, fol. 40 v°.

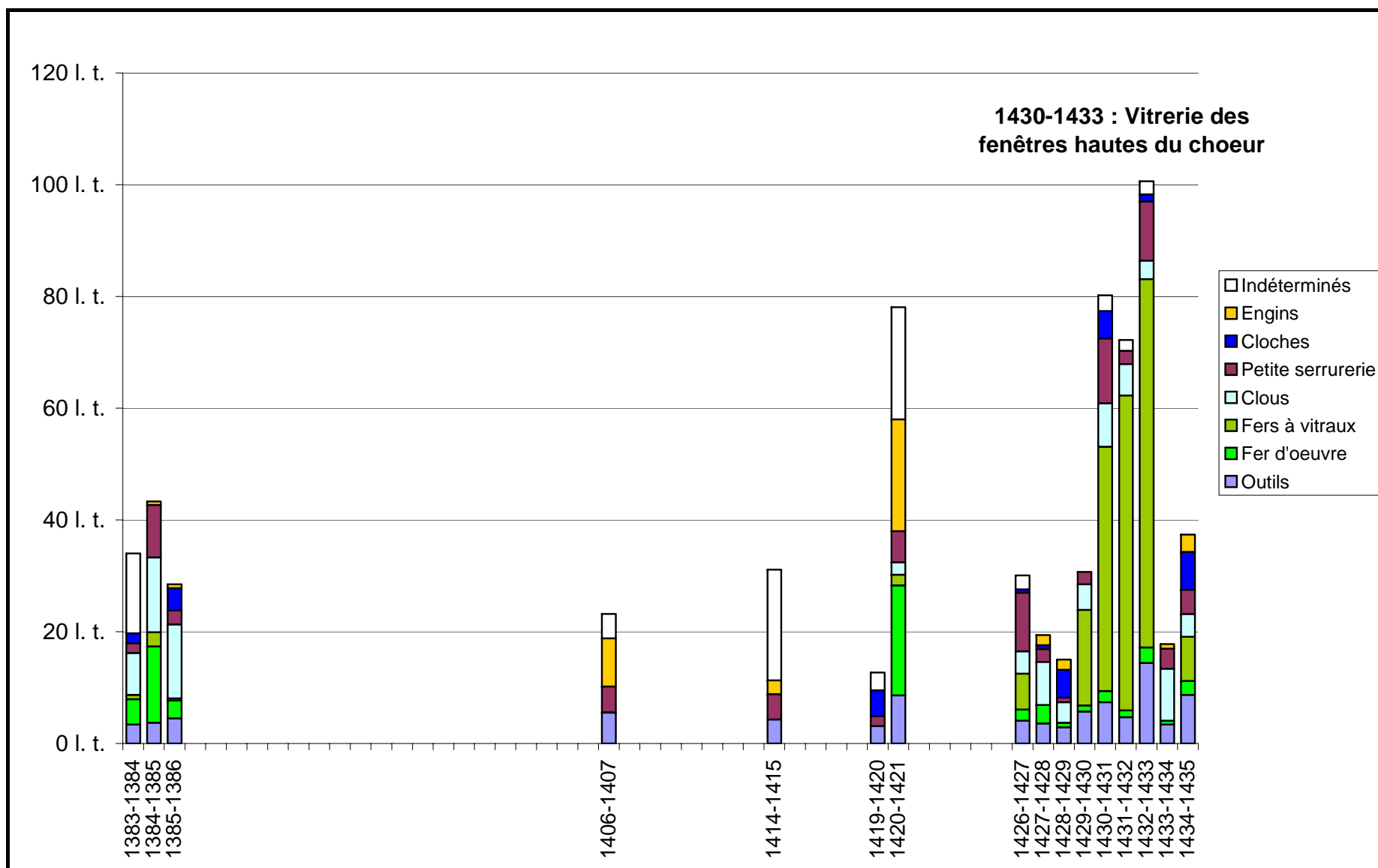


Figure 69 : Détail des dépenses pour forges engagées par la fabrique de la cathédrale de Rouen entre 1383 et 1435.

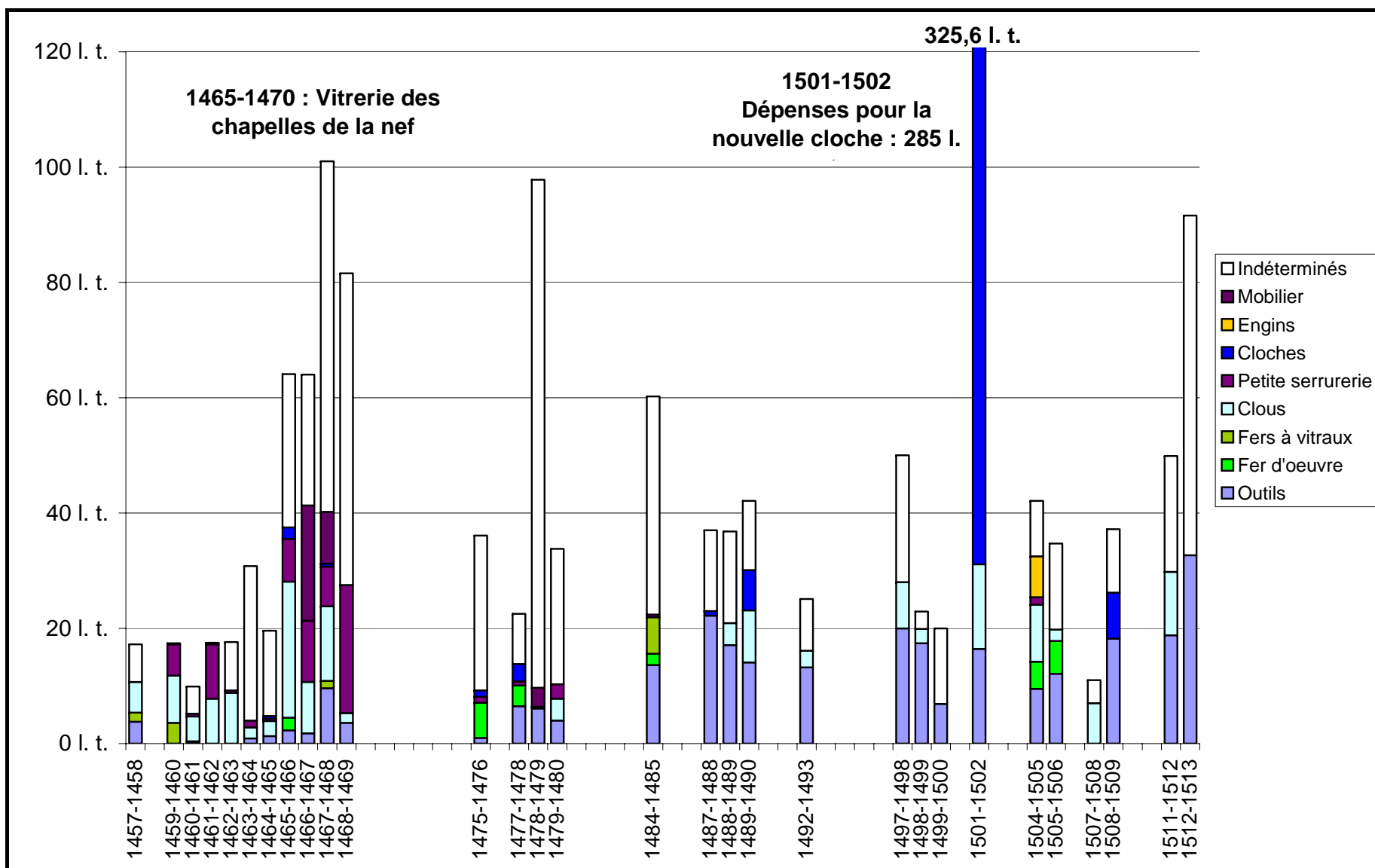


Figure 70 : Détail des dépenses pour forges engagées par la fabrique de la cathédrale de Rouen entre 1457 et 1512.

1.1.4.2 Approche thématique

Les dépenses pour forge engagées par la fabrique de la cathédrale ne se limitent donc pas aux seuls achats d'agrafes, goujons et barlotières pour les vitraux. Sur les quarante-huit années comptables étudiées entre la fin du XIV^e et le début du XVI^e siècle, ces achats ne représente que 14 % du total des dépenses pour forge, dont à peine 4 % pour le fer d'œuvre qui n'est pas directement lié au vitrail. Ces chiffres doivent cependant être nuancés par l'importance des indéterminés qui constituent environ un tiers du total des dépenses totales. Leur grande proportion est la conséquence du manque de détail des mentions à partir de la seconde moitié du XV^e siècle et du compte de l'année 1457-1458 qui fait suite à une lacune de plus de vingt ans. Dans les comptes suivants, la plupart du temps seuls les clous et les dépenses pour outils font l'objet d'une comptabilité séparée, les autres dépenses n'étant, malgré des sommes parfois importantes comme en 1468-1469, désigné que sous le vocable de *plusieurs aultres ferreures et besongnes faictes par le dit serrurier, comme plus à plain est desclaré en ses parties et quictance*³³³. Il est donc probable qu'une large partie de ces indéterminés soient des achats de fer d'œuvre pour les vitraux ou pour la maçonnerie. Dans les comptes de la fin du XIV^e et du début du XV^e siècle où les indéterminés ne représentent qu'une dizaine de pourcents, la part du fer d'œuvre, fer à vitraux compris monte à 40 % des dépenses pour forge, dont les trois quarts environ pour les vitraux. De manière générale sur l'ensemble des comptes, la proportion du fer d'œuvre, fer à vitraux compris, ne peut excéder la moitié des dépenses totales de forge, même en y ajoutant les indéterminés. Les périodes de plus forte dépense correspondent toutefois le plus souvent à des campagnes de vitrerie, fenêtres hautes du chœur entre 1430 et 1433, chapelles basses de la nef entre 1465 et 1470.

Si l'on excepte maintenant ce fer d'œuvre dont il a longuement été question, sur les six autres catégories selon lesquelles les dépenses pour forges ont été classées, deux principaux types se détachent : les fers à outils et les clous, qui représentent respectivement 11,5 et 16,5 % des dépenses totales pour forge engagées sur les quarante-huit années étudiées (cf. Figure 71 et Figure 72). Il convient également de s'arrêter sur les dépenses pour les cloches et en particulier sur cette année exceptionnelle de 1501-1502.

³³³ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2505, fol. 130 v°.

I.1.4.2.1 Les outils

Les dépenses pour les outils consistent essentiellement en la réparation des outils des maçons et en particulier de leurs « marteaux »³³⁴. Ces derniers ne font pas l'objet d'un décompte détaillé avant l'année 1457-1458, le procureur de la fabrique se contentant de donner pour chacun des quatre termes, la somme versée au *faber* pour leur entretien³³⁵. La fabrique dépense alors en moyenne environ 5 l. t. par an pour les outils.

A partir de 1457, les mentions se font plus précises : le procureur donne non seulement de manière presque systématique le détail du travail effectué par le forgeron, mais aussi le nombre d'outils réparés et le prix unitaire. Ce travail se décompose essentiellement en deux tâches : la *forge* des outils, correspondant à leur remise en forme, et leur *achéreuse*, c'est-à-dire l'aciérage de leur tranchant³³⁶. Le prix d'une forge est de 5 d. t. et celui d'un aciérage de 2 s. 6 d. t. jusqu'au début du XVI^e siècle³³⁷. Dans la plupart des cas, ces réparations concernent les marteaux-taillants, mais le prix du travail est indépendant de l'outil réparé : marteau-taillant, ciseau ou encore riffle. L'entretien d'autres outils est également mentionné séparément, notamment des *raffileures* ou *relimeures* de scie, *rafusteures* de pelle ou *rapointeures* de pince. Tous concernent donc la forge de la partie travaillante de ces outils, qui s'émousse et se déforme au fur et à mesure de leur utilisation. A la fin du XV^e siècle, un valet de l'œuvre est par ailleurs fréquemment rémunéré pour *avoir porté les marteaux a la forge* afin que le maréchal les répare³³⁸. L'achat d'outils neufs, plus rare, est néanmoins bien présent dans les comptes : scies, marteaux, pelles, pinces, pics, truelle, etc. Le prix de ces outils semble correspondre à celui de leur masse en livres de fer ouvré lorsqu'elle est mentionnée.

Les dépenses pour outils constituent une dépense assez constante de la fabrique, avec une médiane de 4,2 l. t. sur l'ensemble des comptes étudiés, ce qui correspond à la forge de 30 à 80 marteaux au début des années 1460. La hausse très importante du nombre de *forgeures* et *achéreures* de marteaux dès 1467-1468 et qui s'accroît encore à partir de 1485 est, comme il a été évoqué, caractéristique de l'activité intense du chantier à cette époque

³³⁴ Le terme de marteau employé dans les comptes désigne le marteau taillant-droit employé par le maçon pour tailler les blocs de pierre. Ces marteaux taillants peuvent également être brettelés.

³³⁵ *Item Johanni paen fabro pro fabricatura martellorum a festo sancti Johannis Baptiste usque ad diem sancti Michaelis XXV s. X d. t.*, Arch. dép. Seine-Maritime, G 2489, fol. 5 v^o.

³³⁶ La technique d'aciérage employée, par cémentation ou soudure d'un insert en acier, n'est pas précisée et aucun indice probant comme l'achat de billes d'acier ne permet de conclure.

³³⁷ Au début de l'année comptable 1457-1458, les prix sont respectivement de 6 d. t. et 3 s. t. mais ils changent au cours de l'année et restent fixes par la suite.

³³⁸ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2511, fol. 54 v^o.

avec l'élévation du dernier étage de la tour Saint-Romain puis la fondation de la tour de Beurre (cf. Figure 74). Le nombre de marteaux reforgés atteint le nombre de 575 forgeures et 82 acherures en 1487-1488 et dépasse même 710 actes en 1512-1513.

I.1.4.2.2 Les clous

Il ne s'agit pas ici d'entrer dans le détail du nombre de clous dépensés sur le chantier de la cathédrale, chose par ailleurs impossible au regard des mentions dont nous disposons dans les comptes.

Seules les années comptables comprises entre 1457 et 1468³³⁹ font état d'un décompte suffisamment précis pour se permettre de se livrer à de tels calculs. Pour les autres années, les mentions d'achats de clous sont le plus souvent regroupées en une somme comprenant les achats de toute une année, hormis quelques mentions détaillées éparses. Ces informations permettent assez souvent d'établir l'importance des clous dans les dépenses pour forge. Les achats de clous sont parfois mélangés avec des achats de plus petites pièces, le plus souvent de serrurerie, achetées en gros chez un féron ou un cloutier³⁴⁰. Il est alors bien plus difficile de faire la part entre les clous et ces autres éléments de fer. De nombreux types de clous sont achetés par la fabrique, les principaux étant les clous à plomb, à nef, à essende, à latte, ou encore à bande. Ils sont souvent caractérisés par leur masse au millier allant de 4 à 100 livres, les plus gros pesant donc près de 50 g chacun. Ces clous sont ensuite mis en œuvre tant par les charpentiers que les plombiers et les couvreurs.

Lorsque l'on peut les isoler, les dépenses pour clous sont en général inférieures à 10 l. t. par an. Elles sont complètement indépendantes des autres dépenses, ainsi entre 1459 et 1463, année pour lesquelles les dépenses pour forge sont très faibles, entre 10 et 18 l. t., les dépenses pour clous sont elles toujours comprises entre 4 et 8 l. t., représentant alors près de 50 % du total³⁴¹. Quelques années dépassent légèrement cette limite, et on a également une dépense exceptionnelle de 23 l. 12 s. 4 d. ob. t. de clous en 1465-1466, correspondant à un détail d'environ 50000 clous, dont plus de 33000 clous à essende employés pour la réfection

³³⁹ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2492-2503.

³⁴⁰ *Item Michaeli Canal ferron pro pluribus maneriebus clavorum, gonds, tourous, vertevelles, crampons, quevilles, euces, bendes, gaffes, fers apelle et pluribus aultres menues choses prizes en son hostel par ceste annee par le varlet de l'œuvre et par les ouvriers, par compte fait, VII l. IX s.*, Arch. dép. Seine-Maritime, G 2486, fol. 16 v°.

³⁴¹ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2493-2498.

de diverses couvertures (cf. Figure 73)³⁴². A trois ou quatre livres le millier pour les clous à essende³⁴³ et dix livres en moyenne pour le reste des clous, une telle dépense représente au plus 350 l. de fer en clous sur l'année. Si cela peut représenter un travail de forge important, les masses mises en œuvre semblent en revanche relativement faibles si on les compare aux ouvrages de fer d'œuvre.

1.1.4.2.3 Les cloches et l'année 1501-1502

Les dépenses pour cloches engagées par la fabrique de la cathédrale de Rouen sont en règle générale plutôt faibles, avec à peine plus d'une livre tournoi en moyenne au cours du XV^e siècle. Elles atteignent pourtant le record de 285 l. 8 s. 2 d. t. en l'année comptable 1501-1502, qui voit l'installation de la cloche fondue en l'honneur du cardinal Georges Ier d'Amboise qui administre la Normandie à cette époque. Les travaux de serrurerie représentent environ 45 % du total des dépenses pour cette cloche. Cet ouvrage de forge des armatures de la cloche est le seul qui semble nécessiter une organisation particulière parmi l'ensemble des dépenses de serrurerie étudiées pour la cathédrale de Rouen.

Plusieurs serruriers travaillent à *la facon de la feraille de la dicte cloche*³⁴⁴, Laurens de Hérupy dit Castille et ses valets, serrurier habituel du chantier de la cathédrale, mais aussi Nicolas Lambert, Gilet du Mesnil et d'autres *mareschaux et serruriers* dont les noms ne sont pas mentionnés³⁴⁵. Le maître charpentier Jehan le Tieullier travaille également avec le serrurier Gilet du Mesnil, l'armature de la cloche étant sans doute constituée d'un assemblage de pièces de fer et de bois. Une partie de 1649 livres du fer mis en œuvre est pesé en la Vicomté avant d'être transporté par chariot à la cathédrale. Le travail des serruriers est rarement détaillé bien que son coût soit très élevé, à l'image de Laurens Castille qui reçoit cette année-là à lui seul 196 l. 15 s. t. Parmi les divers ouvrages, seule la forge et les réparations du battant de la cloche font l'objet de mentions plus précises, notamment car celui-ci s'est *rompu pour ce qu'il n'estoit point de bon fer*³⁴⁶, ce qui vaut au serrurier Colin Lambert qui l'avait forgé d'être traduit en justice³⁴⁷. La forge du nouveau battant demande une certaine organisation pour la fabrique. Il semble en effet qu'il était originellement prévu

³⁴² Arch. dép. Seine-Maritime, G 2501.

³⁴³ DIDEROT (D.), d'ALEMBERT (J.), *Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, Paris, vol. 3, p. 549.

³⁴⁴ PJ n° 15, fol. 65 r°.

³⁴⁵ PJ n° 15, fol. 71 r°.

³⁴⁶ PJ n° 15, fol. 69 r°.

³⁴⁷ PJ n° 15, fol. 69 r°-v°.

de le forger dans la *forge de Guillaume de Chartres*, située à *Long Paon*³⁴⁸, cependant cela s'avère impossible *pour ce qu'on eust brullé les maisons estans près la dicte forge*³⁴⁹. Fer et soufflets servant à l'ouvrage sont donc ramenés à Rouen le 8 août 1501³⁵⁰, et une enclume est installée dans la cour d'Albane qui jouxte le bas-côté nord de la nef de la cathédrale, là où le battant sera finalement forgé³⁵¹. Le serrurier Gilet du Mesnil et le maître charpentier Jehan le Tieullier travaillent ensuite à l'ouvrage douze jours de fin août à début septembre, en compagnie de *plusieurs mareschaulx et serruriers*³⁵². Ils sont payés en tout plus de 65 l. 10 s. t. et mettent en oeuvre 24 l. 3 s. 11 d. de fer d'Espagne achetés à Benest Canellier pour l'oeuvre du battant. Une fois le battant terminé, le matériel est ensuite rapporté le 15 septembre à Long Paon³⁵³.

Outre le coût exceptionnel de la besogne, qui, au prix moyen de 8 d. t. la livre, correspondrait à la mise en oeuvre de plus de 8500 livres de fer, la forge de l'armature du bourdon Georges d'Amboise au début du XVI^e siècle est, probablement par l'importance des pièces à forger, le témoin de la mise en oeuvre d'une logistique particulière qui conduit un nombre important de forgerons à travailler ensemble sur le chantier même de la cathédrale de Rouen.

1.1.4.3 Synthèse sur les dépenses pour forge

Les comptes de la fabrique de la cathédrale de Rouen permettent donc de relativiser l'importance du fer d'oeuvre qui ne représente qu'une assez faible part des dépenses pour forges. Si l'on excepte la dépense extraordinaire pour l'établissement de la cloche en 1501-1502, les campagnes de vitrerie avec l'achat de fers à vitraux constituent les plus fortes dépenses de la fabrique au cours du XV^e siècle. En revanche, les périodes de construction ne semblent pas faire l'objet d'une hausse particulière des dépenses en fer d'oeuvre par rapport à l'entretien annuel de l'édifice. Seul le nombre d'outils, dont la réparation est à la charge de la fabrique, augmente de manière radicale.

³⁴⁸ LAPORTE (dom J.), *Dictionnaire topographique du département de Seine-Maritime comprenant les noms de lieux anciens et modernes élaboré au 19^e siècle par Charles de Beaurepaire archiviste de Seine-Inférieure*, Paris, Bibliothèque Nationale, 1982, tome I, p. 570.

³⁴⁹ PJ n° 15, fol. 70 v°.

³⁵⁰ *Ibidem*.

³⁵¹ PJ n° 15, fol. 71 r°.

³⁵² *Ibidem*.

³⁵³ PJ n° 15, fol. 71 r°-v°.

Le travail de forge est réalisé par des maréchaux et serruriers urbains qui fournissent eux-mêmes le fer dans la plupart des cas et les clous sont achetés auprès de cloutiers ou de férans. Outre deux mentions de fer d'Espagne, l'origine du fer acheté par la fabrique n'est jamais mentionnée. Ces deux mentions interviennent toutefois dans deux cadres bien précis, puisqu'il s'agit à chaque fois de remplacer ou de reforge un objet qui a été brisé, tout d'abord le battant de la cloche en 1501-1502 puis le tourillon de la roue d'un engin en 1507-1508³⁵⁴. Il semble donc bien ici que le fer d'Espagne soit, tout du moins dans l'esprit des constructeurs, un fer de meilleure qualité.

³⁵⁴ PJ n° 15, fol. 71 r° ; Arch. dép. Seine-Maritime, G 2522, fol. 40 v°.

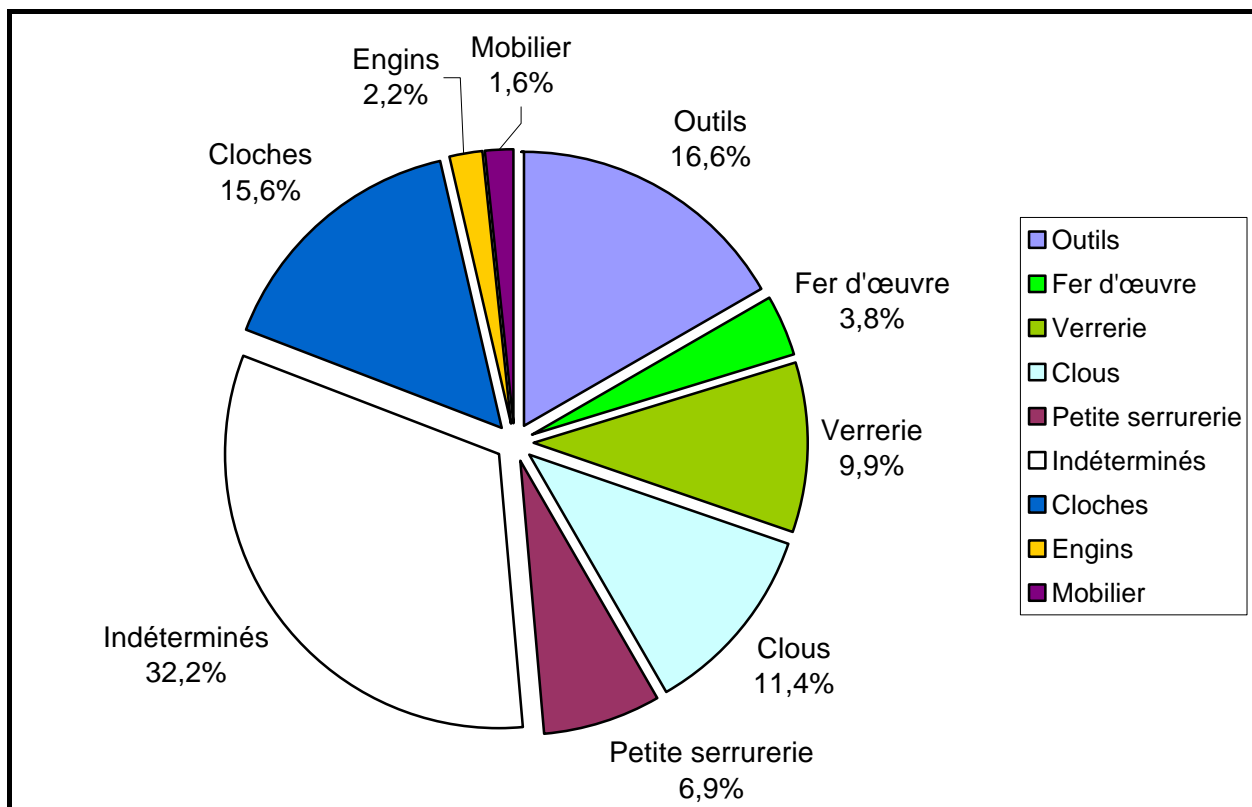


Figure 71 : Répartition des dépenses pour forge dans les comptes de la fabrique de la cathédrale de Rouen entre 1383 et 1512.

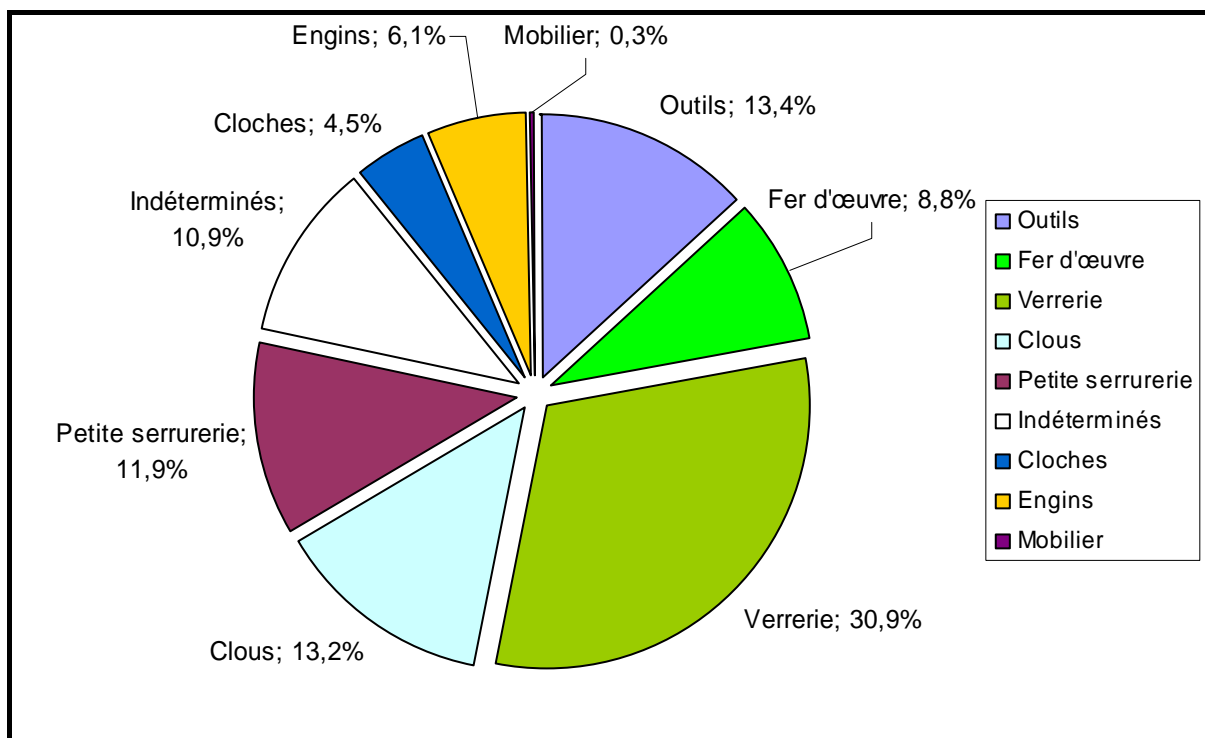


Figure 72 : Répartition des dépenses pour forge dans les comptes de la fabrique de la cathédrale de Rouen entre 1383 et 1435.

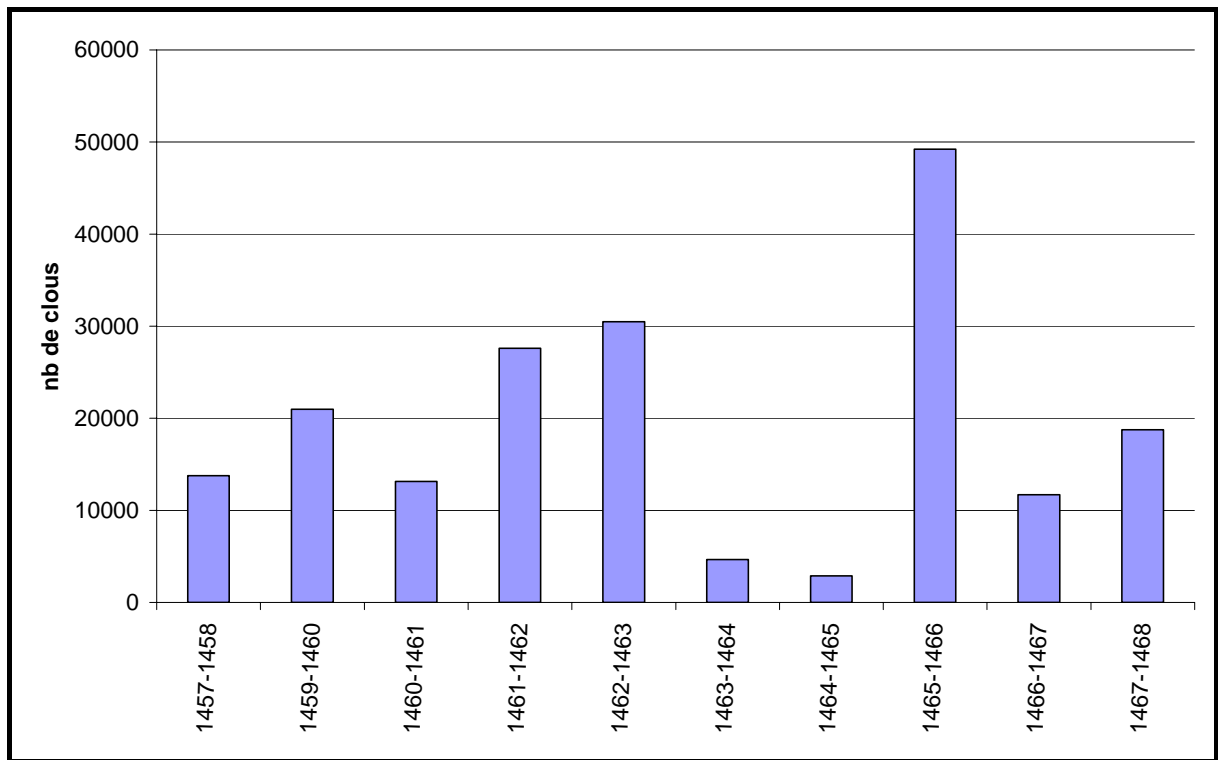


Figure 73 : Nombre de clous achetés par la fabrique de la cathédrale de Rouen entre juin 1457 et 1467.

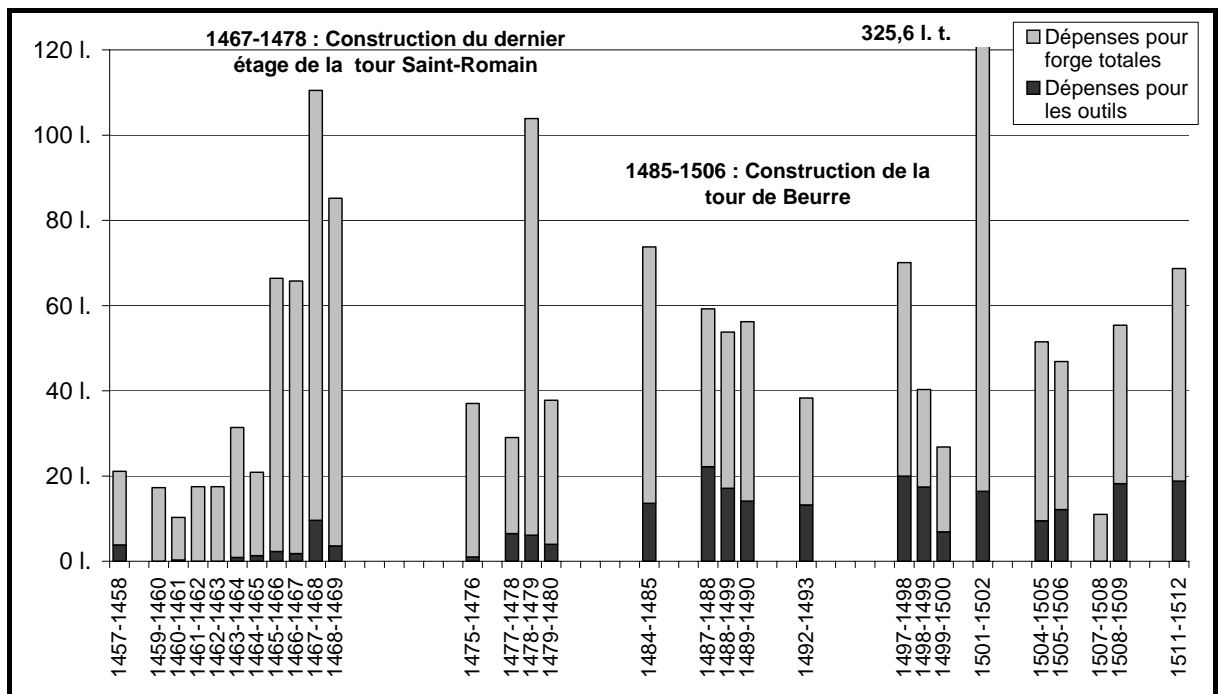


Figure 74 : Dépenses pour forges dont dépenses pour outils sur le chantier de la cathédrale de Rouen entre 1457 et 1512 d'après les comptes de la fabrique.

I.1.5 Synthèse : l'emploi du fer à la cathédrale de Rouen

Bien qu'aucun chaînage n'ait été découvert dans la maçonnerie de la cathédrale de Rouen, les résultats des prospections et les données des archives comptables montrent que le fer a joué un rôle important dans la construction de l'édifice. Les vitraux semblent avoir été le principal consommateur de fer sur le chantier avec environ 15 tonnes mises en œuvre pour leurs armatures, en barres, vergettes et tirants au cours des différentes campagnes de vitreries, tonnage auquel il faut encore rajouter les quantités employées lors des nombreuses modifications des baies de l'édifice. Pour le XV^e siècle, ces fers à vitraux représentent environ un tiers de la totalité des dépenses de serrurerie engagées par la fabrique.

Mais le fer est également sous de nombreux autres aspects dans la structure de la cathédrale de Rouen et en particulier sous forme de petits éléments, goujons, agrafes et petites barres de fer servant de soutien local à divers éléments de maçonnerie : balustrades, colonnettes, pinacles, statues... Si la part de ces éléments est difficile à estimer de manière globale, les quelques estimations ponctuelles réalisées montrent qu'elle se chiffre en tonnes.

Ajoutons pour finir que les seules parties de la cathédrale pour lesquelles les comptes de construction sont conservés sont les tours de la façade occidentale qui ne semblaient pas faire un emploi démesuré d'éléments de fer. La mise en œuvre de fers de construction dans la structure gothique : piliers, grandes baies et arcs-boutants, n'a pas pu être mise en évidence dans cette étude. D'autres emplois du fer seront donc peut-être encore à découvrir lors de futures restaurations.

I.2 L'ÉGLISE SAINT-OUEN DE ROUEN

I.2.1 Historique

Les origines de la première abbaye remontent au VI^e siècle, avec sa fondation en 536 par Clotaire I^{er}³⁵⁵ ; Saint-Ouen, évêque de Rouen, y est inhumé en 684. L'abbaye, qui comprenait une basilique chrétienne, voit, au milieu du XI^e siècle, la construction d'un nouveau sanctuaire, consacré en 1126. Cette nouvelle église abbatiale de type roman est ravagée par un premier incendie en 1136, puis par un second en 1248³⁵⁶. Reconstituée à plusieurs reprises, son chevet s'écroule finalement au début du XIV^e siècle³⁵⁷. Seule reste de l'ancien édifice roman une chapelle absidiale, nommée tour aux clercs, donnant dans le croisillon nord du transept.

L'église abbatiale est alors immédiatement reconstruite sous l'impulsion de l'abbé Jean Roussel, dit Marc d'Argent, à partir de 1318, à une période prospère de la ville dont l'apogée est marquée par la constitution de 1321³⁵⁸. A sa mort en 1339, le chœur et ses chapelles rayonnantes sont achevés ainsi que la majeure partie du transept. Mais à partir de cette date, avec la conjoncture politique et les troubles qui touchent le royaume de France, l'abbaye n'est alors plus à même de consacrer d'importantes ressources pour la construction de son église et le rythme des travaux se ralentit alors considérablement. La construction du transept continue ainsi par petites étapes pendant plus d'un siècle³⁵⁹ : on sait qu'en 1396, Jean de Bayeux, également maître d'oeuvre la cathédrale de Rouen, travaille au voûtement du croisillon nord³⁶⁰. Mais le transept n'est achevé qu'en 1441, après constatation de l'état alarmant de l'édifice par l'architecte Colin de Berneval, qui succède en 1441 à son père

³⁵⁵ LA BUNODIERE (H. de), *Notice archéologique et historique sur l'église Saint-Ouen de Rouen*, Paris, E. Dumont, 1895, p. 7 ; POMMERAYE (dom F. de), *Histoire de l'abbaye royale de Saint Ouen divisée en cinq livres*, Rouen, 1662, p. 116.

³⁵⁶ GILBERT (A. P. M.), *Description historique de l'église Saint-Ouen de Rouen*, Rouen, J. Frères, 1822, p. 16.

³⁵⁷ MASSON (A.), *L'église abbatiale de Saint-Ouen de Rouen*, Paris, H. Laurens, 1927, p. 10.

³⁵⁸ Gilbert donne la date du 25 mai 1318, GILBERT (A. P. M.), *Description historique... op. cit.*, p. 18. La plupart des auteurs s'accordent sur cette date. Pommeraye donne également 1318, POMMERAYE (dom F. de), *Histoire de l'abbaye... op. cit.*, p. 189. Une étude plus récente menée par P. Seyfried voit le début de la construction comme nécessairement postérieur à 1319, SEYFRIED (P.), *Die ehemalige Abteilkirche Saint-Ouen in Rouen*, Weimar, VDG, 2002, p. 46. Elle semble cependant assez controversée quant à certains de ses résultats.

³⁵⁹ MASSON (A.), *L'église abbatiale...*, *op.cit.*, p. 12

³⁶⁰ ID., *Ibid.*, p. 12.

Alexandre. Il mentionne ces observations dans un rapport à l'abbé de Saint-Ouen le 23 janvier 1441, concluant à l'achèvement immédiat des « bandes et fournements » des croisillons pour contrebuter les piliers du transept³⁶¹.

Dans l'intervalle, le portail sud, dit portail des Marmousets, a été élevé. Selon Masson, il est assurément antérieur à l'achèvement du transept au milieu du XV^e siècle et date plus probablement de la fin du XIV^e siècle³⁶². Le début de l'élévation de la tour de la croisée avec son premier étage aveugle a également lieu au XIV^e siècle³⁶³. Quant au second, avec ses baies à remplage flamboyant, il serait quant à lui légèrement antérieur à 1441³⁶⁴.

En 1459, Charles VII demande des indulgences à Pie II pour obtenir de nouvelles offrandes venant des fidèles, afin de pouvoir terminer la construction de l'édifice. Elles sont obtenues par le cardinal d'Estouteville en 1464, qui peut alors faire continuer l'élévation de la nef³⁶⁵. Celle-ci ne comprenait à l'époque que deux travées, les neuvième et dixième de l'édifice actuel en partant de l'ouest. Selon Masson, elle se fait en trois temps³⁶⁶. Avant 1492 sont dressés les piliers et les murs des travées entre le transept et le portail des Ciriers, soit les travées six à huit. Entre 1492 et 1515, sous l'abbé Antoine Bohier, ces travées sont voûtées et leurs fenêtres vitrées ; les murs et piliers des dernières travées de la nef sont également élevés. On achève également à cette époque le couronnement de la tour de la croisée³⁶⁷. La construction des voûtes et la pose des vitraux de ces ultimes travées a lieu par la suite, de sorte que la nef est achevée en 1540. Une image du livre des fontaines de Jacques le Lieur donne, en 1525, une vision des cinq dernières travées de la nef en construction (cf. Figure 76).

L'église Saint-Ouen de Rouen connaît assez peu de modifications après son relatif achèvement au début du XVI^e siècle. La façade occidentale, commencée également pendant le deuxième quart du XVI^e siècle, est toujours en travaux en 1540. Elle n'est terminée qu'au milieu du XIX^e siècle. Les travaux sont menés par Grégoire, qui élève les deux tours de la

³⁶¹ « Lesquels pilliers touraulx ne sount point contrebuttes de leurs bendes et founieements devers leur croysie », QUICHERAT (J.), « Documents inédits sur la construction de Saint-Ouen de Rouen », *Mélange d'archéologie et d'histoire*, Paris, Picard, 1886, p. 215-227. Si les « fournements » semblent bien désigner les fenêtres ou baies, la définition exacte du terme « bende » est aujourd'hui encore controversée. Elles pourraient désigner la partie de la maçonnerie située immédiatement sous les baies, aujourd'hui habituellement dénommée bandeau.

³⁶² MASSON (A.), *L'église abbatiale...*, *op.cit.*, p. 49 et p. 65.

³⁶³ ID., *Ibid.*, p. 46.

³⁶⁴ ID., *Ibid.*, p. 46.

³⁶⁵ GILBERT (A. P. M.), *Description historique...*, *op. cit.*, p. 21-22 ; POMMERAYE (dom F. de), *Histoire de l'abbaye...*, *op. cit.*, p. 192.

³⁶⁶ MASSON (A.), *L'église abbatiale...*, *op.cit.*, p. 17.

³⁶⁷ ID., *Ibid.*, p. 48.

façade jusque là inachevées. Le projet voit une certaine modification des parties existantes qui n'était pas du goût de tous³⁶⁸.

I.2.2 Description architecturale

L'abbatiale Saint-Ouen de Rouen présente un plan à trois nefs, une nef centrale et deux collatéraux, qui sont discontinus au niveau des transepts et reprennent dans le chœur formant un déambulatoire. Tous sont couverts de voûtes d'ogives quadripartites sur plan barlong. Le chœur et le transept sont pourvus de chapelles latérales dans leurs parties droites, alors que la nef en est exempte. Cinq chapelles rayonnantes viennent également s'ouvrir sur le déambulatoire du chœur. A la croisée du transept se dresse une tour couronnée à trois niveaux, qui n'est pas lanterne, contrairement à de nombreux édifices normands. Elle abrite en revanche les cloches de l'église. Bâtie sur plan carré pour ses deux premiers niveaux, elle a un couronnement de forme octogonale qui culmine à près de 80 m de hauteur.

L'ensemble de l'édifice présente la même élévation malgré les ruptures chronologiques observées dans sa construction. Il s'agit d'une élévation classique à trois étages, comprenant des grandes arcades surmontées d'un triforium ajouré et d'un étage de fenêtres hautes. Le triforium, continu sur toute la longueur de l'édifice, se compose d'une balustrade surmontée d'une baie à meneaux. En revanche, l'église ne fait pas preuve d'une parfaite unité de style. Commencée sous un gothique rayonnant tardif, dont font preuve le chœur, le transept, ainsi que le début de la nef, elle est terminée pendant la période flamboyante, comme en témoignent les cinq dernières travées de la nef ainsi que le dernier étage de la tour de la croisée.

L'église Saint-Ouen de Rouen se caractérise en particulier par la richesse de ses vitraux et l'ampleur de sa surface vitrée, de l'ordre de 4350 m². Bien qu'elles n'atteignent pas les dimensions de celles de la cathédrale de Beauvais, les baies de l'église Saint-Ouen sont de grandes dimensions, avec environ 52 m² pour ses fenêtres hautes du chœur, et jusqu'à 60 m² pour certaines des verrières basses. L'étude de ses vitraux et l'estimation des quantités de fer qu'ils contiennent sont donc du plus grand intérêt pour ce travail.

³⁶⁸ ID., *Ibid.*, p. 19-22.



Figure 75 : Eglise Saint-Ouen de Rouen vue de la flèche de la cathédrale.

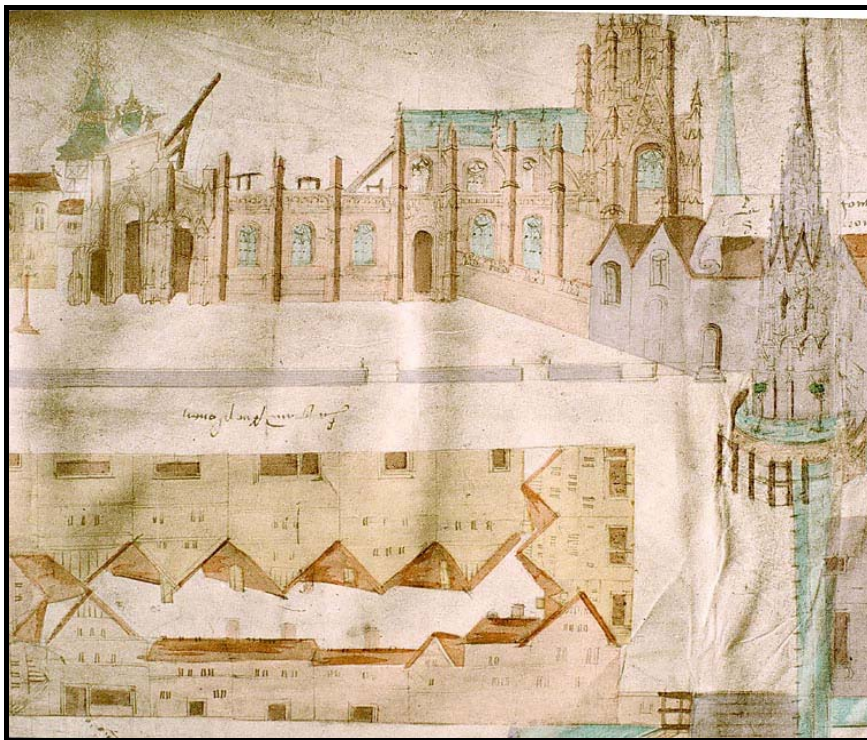


Figure 76 : Aquarelle de 1525 du Livre des Fontaines de Jacques le Lieur³⁶⁹.

³⁶⁹ Reproduction fac-similé par Victor Sanson, Rouen, 1911.

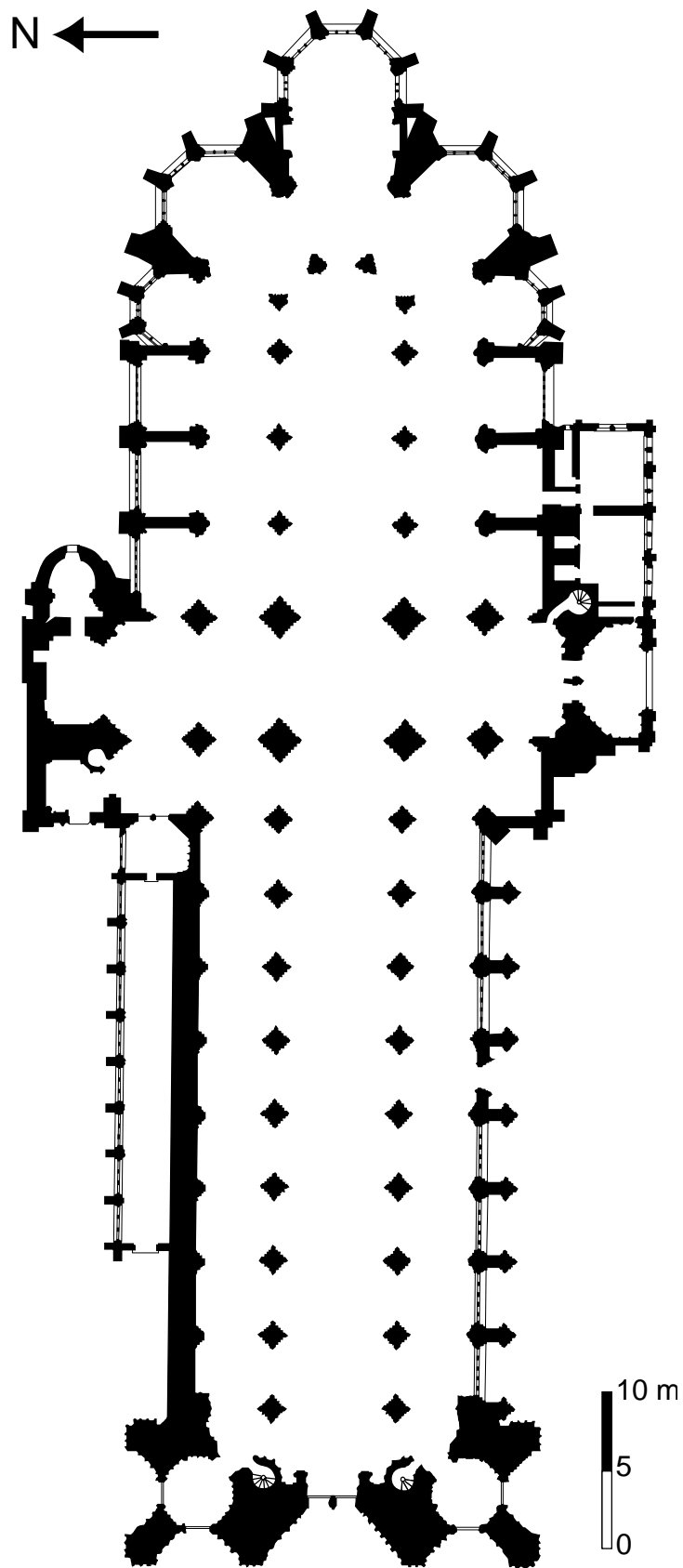


Figure 77 : Plan de l'église Saint-Ouen de Rouen, dessin M. L'Héritier d'après un plan de H. Jullien³⁷⁰.

³⁷⁰ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 1989/004/032.

En l'absence de comptes conservés pour l'église Saint-Ouen, les recherches des éléments de fer contenus dans sa structure se sont limitées aux seules prospections. Les vitraux des très larges baies de l'édifice recèlent en particulier de grandes quantités de fer. Son emploi ne se limite toutefois pas seulement aux nombreuses barlotières et vergettes : d'autres parties de la structure, notamment le triforium et la tour de la croisée possèdent également un grand nombre d'armatures. Tout comme pour la cathédrale de Rouen, dans un souci de clarté et d'objectivité, les résultats de ces prospections sont présentés par étage en progressant des parties basses de l'église aux parties hautes. Chaque étage présente de plus une certaine unité dans les emplois du fer, justifiant une telle présentation. Toutefois, certains éléments architecturaux que l'on rencontre sur l'ensemble de l'édifice, comme les gargouilles ou les pinacles, seront traités séparément en fin d'exposé. Enfin, les armatures des vitraux, présents à tous les niveaux de l'édifice et dont l'unité ne saurait être brisée, ont été dissociés de cette présentation spatiale. Elles font l'objet du chapitre suivant.

I.2.3 Les armatures des vitraux

I.2.3.1 Historique des vitraux de l'église Saint-Ouen

Les vitraux de l'église Saint-Ouen font état d'une conservation assez remarquable. Ayant il est vrai connu plusieurs campagnes de restaurations, tous les panneaux ne sont bien évidemment pas d'origine. Cependant, la plupart se trouvent à leur emplacement originel³⁷¹.

Les vitraux du chœur sont les plus anciens. Contemporains de sa construction, ils dateraient selon Lafond du deuxième quart du XIV^e siècle³⁷². Les vitraux du transept sont quant à eux contemporains de son achèvement au milieu du XV^e siècle³⁷³. La tradition attribue le dessin d'une des roses latérales à Alexandre Berneval, maître maçon de l'église de

³⁷¹ Voir l'étude des vitraux par J. Lafond, MASSON (A.), *L'église abbatiale... op.cit.*, p. 74 et suivantes ; LAFOND (J.), PERROT (F.), POPESCO (P.), *Corpus Vitrearum Medii Aevi. France. Volume IV.2/1, Département de la Seine-Maritime. Les vitraux de l'église Saint-Ouen de Rouen*, Paris, CNMH-CNRS, 1970, 256 p.

³⁷² Etude des vitraux par J. Lafond, MASSON (A.), *L'église abbatiale...*, *op.cit.*, p. 75.

³⁷³ ID., *Ibid.*, p. 86.

1422 à sa mort en 1441, et celui de la seconde à son fils Colin qui lui succède. Enfin, les vitraux de la nef datent de l'extrême fin du XV^e ou du XVI^e siècle et sont l'œuvre d'Arnoult de Nimègue³⁷⁴.

1.2.3.2 La question des tirants

Comme à la cathédrale de Rouen, on remarque, dans la plupart des verrières, la présence de barlotières de section beaucoup plus importantes que les autres (cf. Figure 78). Alors que les simples barlotières ont une section d'environ 1 cm x 3,5 cm, ces grosses barres ont des sections oscillant entre 2 cm x 4 cm et 2 cm x 5 cm. Leur nombre par fenêtre dépend directement de la taille de celle-ci : elles sont le plus souvent deux par fenêtre haute, une pour les baies du triforium et trois pour les fenêtres basses, les plus grandes, si l'on excepte celles du côté nord de la nef qui sont tronquées et n'en comptent que deux. Les observations révèlent qu'il s'agit bien de barlotières-tirants, continues au sein d'une même travée, les meneaux des remplages étant toujours discontinus au niveau de ces grosses barres, permettant une mise en œuvre plus facile lors de leur installation. De plus, les prospections de nature électrique réalisées sur l'édifice ont toujours établi cette continuité à divers endroits pour les baies du triforium et la barre inférieure des baies hautes, les autres étant inaccessibles.

La principale interrogation réside dans la continuité de ces barres à l'intérieur des piles, afin de constituer ainsi un ou plusieurs chaînages enserrant l'édifice. Les documents des archives de restauration ne nous renseignent pas sur ce point et les comptes médiévaux ont tous disparus. La prospection à l'aide d'un détecteur de métaux étant très difficile au niveau des vitraux, il n'a pas été possible d'étudier leur continuité par ce biais ; à divers endroits, il a toutefois été possible de suivre ces barres sur une longueur d'au moins 20 cm, ce qui nous donne un minimum pour la profondeur de leurs ancrages. Les résultats de ces sondages n'ayant pas donné toutes les informations souhaitées, nous avons donc également mené une prospection électrique, sur les tirants accessibles évoqués précédemment. La lampe témoin ne s'est jamais allumée, ce qui nous précise que ces barres, si elles sont jointes les unes aux autres, ne sont pas en tension. Il n'y a donc pas d'effet de chaînage permanent à l'heure actuelle.

³⁷⁴ ID., *Ibid.*, p. 88.

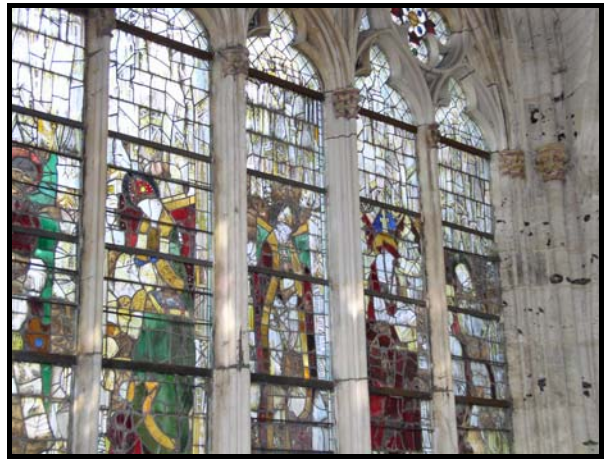


Figure 78 : A gauche, vitraux des fenêtres hautes du transept de l'église Saint-Ouen et leurs armatures de fer. A droite, vitrail des fenêtres hautes du chœur avec la présence de barlotières-tirants. En bas, vue des baies hautes de la nef et de leurs tirants.

1.2.3.3 Estimations

Les estimations pour l'église Saint-Ouen de Rouen se basent uniquement sur des calculs réalisés sur les armatures de fer encore en place. L'exceptionnelle conservation de ses vitraux, qui ont subi peu de déplacements et de modifications, laisse présager que la composition des armatures a relativement peu évolué depuis le Moyen Age.

D'après les estimations réalisées, les grandes baies hautes des travées droites du chœur comptent à elles seules environ 300 kg de fer chacune et environ 200 kg pour celles de la nef. Les fenêtres les plus fortement armées sont les fenêtres basses des travées droites du chœur, dont certaines comportent environ 450 kg de fer. En tout, près de 22,8 tonnes de fer visibles seraient mises en oeuvre dans les fenêtres de l'abbatiale, avec environ 9,5 tonnes pour les fenêtres du chœur, 3,3 t pour celles du transept et 9,8 t pour celles de la nef. Ce chiffre passe à environ 25 tonnes en comptabilisant la dimension des ancrages des barres et barlotières. Sur ces 25 tonnes, près de dix auraient donc été posées dans la première moitié du XIV^e siècle entre 1318 et 1339, dates de la première campagne pendant laquelle le chœur a été élevé.

I.2.4 Autres éléments de fer découverts en prospection dans la structure de l'église Saint-Ouen

Les premiers éléments de fer visibles dans l'architecture de l'église Saint-Ouen se découvrent avant même de pénétrer dans l'édifice par l'entrée actuelle, située à l'extrémité du bras sud du transept et plus connue sous le nom de portail des Marmousets .

Avant d'entrer dans la description détaillée de ces éléments, il apparaît important de signaler qu'aucun chaînage noyé dans les maçonneries n'a été mis en évidence à l'aide du détecteur de métaux. Les investigations ont essentiellement porté sur les triforiums du chœur et du transept. Aucun écho significatif n'a été relevé au niveau des piles, ni de la corniche. Les investigations ont cependant été perturbées, tout d'abord par les vitraux, et surtout au niveau du sol par la présence de câbles servant à alimenter l'éclairage de l'édifice. Les parties inférieures de certains arcs-boutants du chœur ont également été sondées sans plus de succès.

I.2.4.1 Sur le portail des Marmousets

I.2.4.1.1 Les tirants des arcatures

Le portail des Marmousets, construit vers le tournant des XIV^e et XV^e siècles montre les premiers tirants de fer de l'église Saint-Ouen. Les arcatures ouest et est du porche sont toutes deux renforcées par deux cours de tirants superposés (cf. Figure 81). Le tirant inférieur se trouve environ à mi-hauteur des baies alors que le supérieur passe au niveau du départ du réseau du remplage. L'observation des meneaux, dont les joints sont systématiquement situés au niveau du passage des tirants, semble bien montrer qu'il s'agit de quatre tirants, chacun étant continu sur toute la longueur de l'arc.

Leur longueur visible est de 1,8 m environ avec une largeur de 1,5 à 2 cm pour 4,5 à 5 cm d'épaisseur. Ils pèsent donc entre 10 et 15 kg chacun. Tous sont scellés au plomb dans les meneaux, comme dans les piédroits. L'absence de marque de reprise importante ainsi que l'aspect irrégulier du profil des tirants laissent supposer qu'ils datent bien de la période de

construction du portail, soit vers la fin du XIV^e siècle ou le début du XV^e. Malgré la masse relativement importante de chacune des barres, aucune soudure n'a été détectée sur celles-ci. Les observations n'ont cependant pas été minutieuses, faute d'accessibilité. De plus, il se pourrait que d'éventuelles soudures soient masquées aux endroits où les tirants traversent les meneaux.

Afin de confirmer qu'il ne s'agit pas d'une restauration moderne ou contemporaine et afin d'évaluer la qualité du matériau constituant ces tirants, une esquille du tirant supérieur est a été prélevée pour analyse sous la référence OUEEN 01. La section observée présente un faciès hétérogène avec divers degrés de carburation, allant de la ferrite exempte de carbone à la perlite pure, soit 0,8 %_{mass} de carbone (cf. Figure 79). La matrice métallique renferme également un certain nombre d'inclusions. La section ayant été réalisée de manière oblique, la forme et la direction des inclusions n'est pas caractéristique du forgeage. Pour ces mêmes raisons, la modification de la norme AFNOR n'a pu être appliquée pour estimer la propreté inclusionnaire. Une tentative d'estimation de la porosité de la section à la loupe binoculaire donne un pourcentage global de 2 % de porosité. Les inclusions microscopiques, invisibles à la loupe binoculaire, ne sont toutefois pas comptabilisées dans un tel calcul. La plupart de ces inclusions ont un aspect vitreux. Les différents rapports entre les composés non réduits sont bien conservés d'une inclusion à l'autre, montrant que les zones carburées et ferritiques proviennent d'un même lopin de fer (coefficient de détermination R² compris entre 0,75 et 0,95 pour tous les rapports). Vu la masse moyenne de ces barres, 10 à 15 kg, il aurait pu être intéressant d'effectuer plusieurs prélèvements aux deux extrémités d'une même barre, pour voir si elle a été forgée à partir d'au moins deux loupes différentes, malgré l'apparente absence de soudure. Les conditions de prélèvement plutôt ardues ne permettaient pas d'envisager un tel protocole. Ces inclusions sont également plutôt riches en manganèse, avec en moyenne plus de 4 %_{mass} de MnO et des teneurs locales pouvant atteindre 7 %_{mass}, mais sont en revanche pauvres en phosphore avec moins de 1,5 %_{mass} de P₂O₅ moyen. La composition moyenne globale des inclusions de la section OUEEN 01a est clairement caractéristique du procédé direct (cf. Figure 80), infirmant ainsi toute hypothèse sur un ajout ou une restauration moderne ou contemporaine pour ces tirants.



Figure 79 : Micrographie de l'échantillon OUEN 01a, attaque Nital.

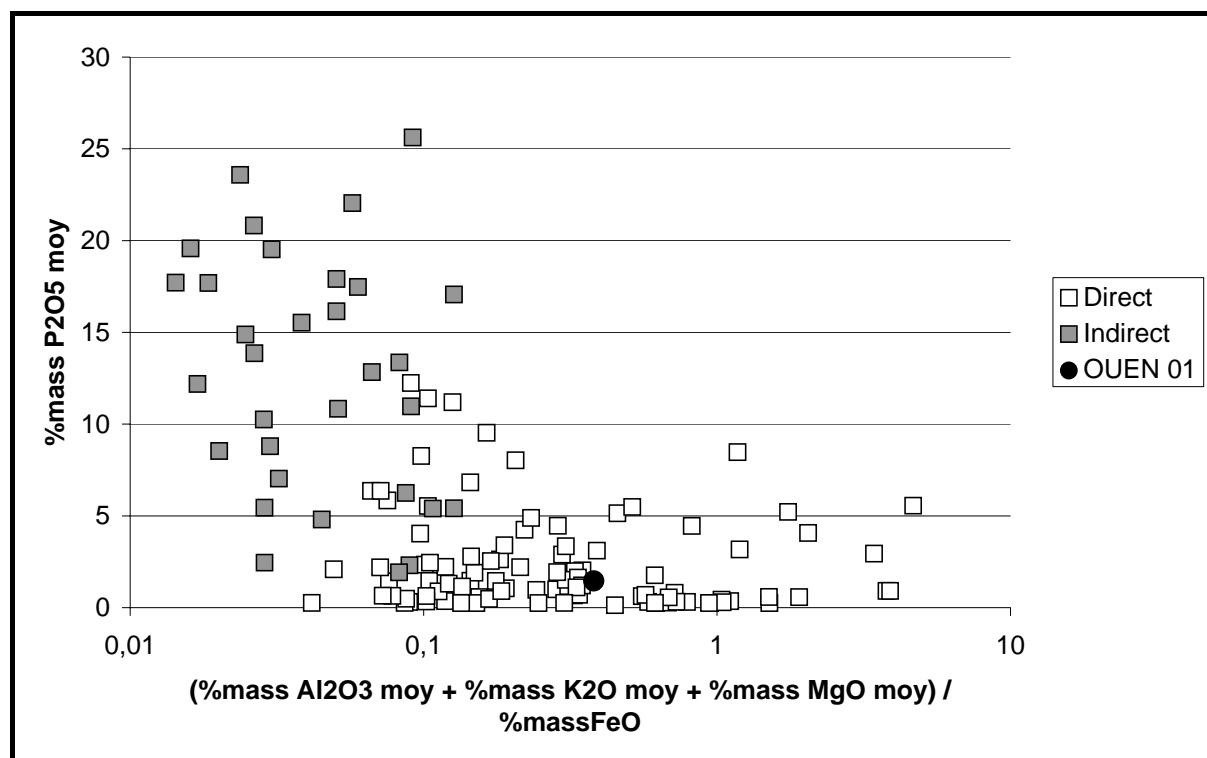


Figure 80 : Discrimination des procédés de réduction pour l'échantillon OUEN 01.

1.2.4.1.2 Les piédroits du portail

Les observations sur les piédroits du portail des Marmousets, ornés de niches et de réseaux sculptés, révèlent la présence de plusieurs éléments de fer.

Deux des niches, situées de manière symétrique aux angles sud-est et sud-ouest, ont encore un crochet ancré dans leur paroi. Leurs extrémités recourbées sont encore habillées de plomb. D'autres niches portent la marque d'un crochet sectionné. La présence d'un crochet ou de son ancrage n'est toutefois pas systématique. Les dimensions de ces crochets n'ont pas pu être mesurées, puisque ces niches sont situées en hauteur. Désormais inutiles, ces crochets

étaient auparavant probablement destinés à l'attache de statues. Ils permettent de restituer en partie le décor sculpté du portail sud de l'église, dont les statues ont été détruites par les calvinistes en 1562³⁷⁵. Actuellement, seules les statues de la façade occidentale, construite au XIX^e siècle, sont encore présentes sur l'édifice. Seul le portail des Marmousets porte encore la marque de l'ancrage des anciennes statues. De plus, lorsqu'il est brisé, le fin décor sculpté ornant les socles des niches laisse apparaître un certain nombre de goujons verticaux enrobés de plomb. Inaccessibles, ces goujons n'ont pu faire l'objet davantage d'investigations.

Enfin, chaque piédroit du portail des Marmousets est décoré sur sa face sud de trois niches laissant également supposer qu'elles ont auparavant servi de support à des statues, bien qu'elles ne soient pas pourvues de crochet ou d'ancrage de crochet. En partie supérieure, chacune des niches est ornée d'un réseau de plusieurs trilobes surmontés d'un fronton triangulaire. Un cliché de C. Colliou pris en mai 2002 montre qu'une sorte de grosse agrafe de fer était présente dans la maçonnerie à la base du fronton le plus oriental, qui était brisé. Lors de nos prospections réalisées à l'automne 2003, cette barre avait disparu (cf. Figure 81). Il n'a donc pas été possible d'obtenir d'informations supplémentaires à son sujet. S'agissait-il d'une sorte de barre en linteau servant à renforcer l'assise du fronton ou d'une simple agrafe reliant ensemble deux pierres contiguës ? Son emplacement, qui semble plutôt en profondeur dans la maçonnerie sur le cliché de C. Colliou, alimenterait plutôt la seconde hypothèse. Dans tous les cas et encore plus s'il s'agit d'une simple agrafe, on peut supposer que les niches adjacentes construites presque à l'identique, voire même l'ensemble de la maçonnerie des piédroits du portail des Marmousets, sont renforcées de la même manière par des agrafes. La situation en hauteur de ces niches interdit de le vérifier en l'absence d'échafaudages.

1.2.4.1.3 Le linteau du portail

Le linteau du portail sud est également renforcé par des éléments de fer. Une grande barre de fer, engravée dans la face inférieure du linteau, est visible sur toute sa longueur de part et d'autre du trumeau (cf. Figure 81). Ce dernier masquant la partie centrale du linteau et par conséquent la barre de fer, il est impossible de savoir s'il s'agit d'une seule longue barre d'environ 3,5 m de long ancrée dans les piédroits du portail ou plutôt de deux barres de moins grande longueur (environ 1,50 m), chacune ancrée dans un piédroit et dans la partie

³⁷⁵ GILBERT (A. P. M.), *Description historique... op. cit.*, p. 33.

supérieure du trumeau. Si le rôle de cette barre est uniquement de venir doubler le rôle du trumeau, en assurant un soutien au linteau et au tympan du portail, alors une seule barre suffit. Si en revanche, l'architecte a voulu assurer une meilleure assise au trumeau, en cas de poussées obliques venant des parties supérieures, ou encore empêcher son déversement avant qu'il ne soit chargé par le tympan, peut-être en l'attente du programme sculpté le décorant, deux barres sont alors nécessaires.

Cette ou ces barres sont de grande largeur, même si, faute d'accès, elles n'ont pas pu être mesurées précisément. Elles sont également entièrement recouvertes de plomb. Un tel scellement requiert une mise en œuvre spécifique. En effet, à cause de la gravité, afin de pouvoir recouvrir de plomb la face inférieure de la barre, il faut que le coulage soit réalisé au sol préalablement à la mise en place de la pièce. La barre est donc forcément contemporaine du linteau. Un ajout postérieur à la construction originelle nécessiterait une importante reprise en sous-œuvre, avec la dépose du linteau, des parties supérieures du trumeau et des piédroits du portail. Aucune trace d'une telle restauration n'a pu être appréhendée dans la maçonnerie. L'hypothèse de datation la plus probable est donc que cette ou ces barres en linteau sont contemporaines de l'élévation du portail à la fin du XIV^e siècle.

Agrafes, goujons, restes d'attaches de statue, bande de fer en linteau... la part des éléments visibles découverts sur le portail des Marmousets semble faible comparativement à ceux potentiellement encore ancrés en profondeur dans les maçonneries. Ces éléments ne pourront pas être mis au jour en l'absence de travaux sur cette partie de l'édifice. En cas de restauration, il conviendra toutefois de tenir compte de ces premières informations afin de mieux appréhender *a priori* la part du métal à cet endroit de la construction.

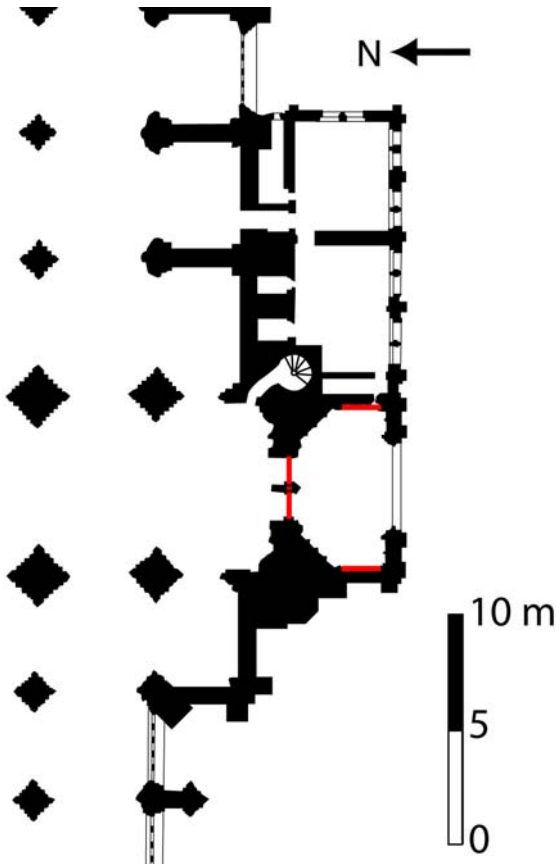
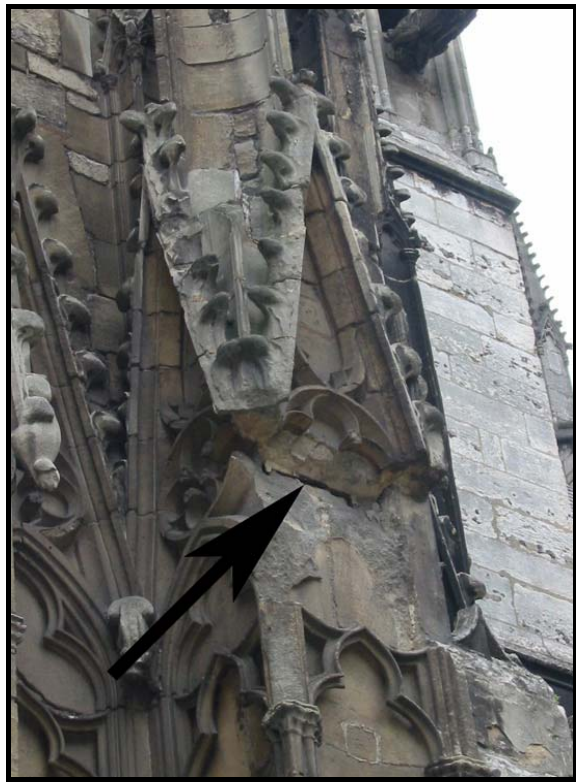


Figure 81 : Eglise Saint-Ouen de Rouen : portail des Marmousets. En haut, vue générale et barre de fer dans la maçonnerie, cliché C. Colliou. En bas, localisation et cliché des tirants des arcatures latérales et du linteau du portail.

1.2.4.2 Au niveau du rez-de-chaussée

Le rez-de-chaussée de l'abbatiale Saint-Ouen est de loin le niveau de l'église où le moins d'éléments de fer ont été repérés, à l'exception bien évidemment des armatures des vitraux. Les prospections au détecteur de métaux effectuées au niveau des parties inférieures des différentes piles, sur environ 3 à 4 m de hauteur, ont toutes donné une réponse négative. La plupart des éléments de fer découverts sont des crochets servant à l'attache d'un mobilier de l'époque moderne, tableaux ou statues, dans les chapelles du chœur.

Seuls les vestiges de barres de fer au niveau des piles de la troisième travée du chœur, à environ 4 m du sol, méritent une description un peu plus détaillée. Du côté sud, se trouvent deux barres sectionnées, une sur chaque pilier, et du côté nord on voit deux empreintes de barres déposées. Il est néanmoins impensable d'imaginer des tirants, même provisoires, à une si faible hauteur. Ces barres faisaient peut-être plus probablement partie d'une ancienne clôture servant à délimiter le chœur, remplacée plus tardivement par celle actuellement en place, véritable ouvrage de fer forgé. La datation de cette éventuelle ancienne clôture n'est pas nécessairement contemporaine de l'élévation de cette partie de l'édifice, au cours de la première moitié du XIV^e siècle.

Élément de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Tirants	Dans les arcatures latérales du portail des Marmousets	4	L = 1,8 m Sect. = 1,5 x 4,5 cm à 2 x 5 cm	40-60 kg	Fin XIV ^e s. (fer direct)
Barre	Petit fronton du portail des Marmousets .	1	-	-	Fin XIV ^e s. (?)
Goujons	Meneaux des niches du portail	-	-	-	Fin XIV ^e s. (?)
Crochets	Niches du portail	2	-	-	Fin XIV ^e s. (?)
Barre	Sous le linteau du portail des Marmousets	1 (?)	L = 3,5 m	-	Fin XIV ^e s. (?)
Barres	Logements ou fragments entre les piliers du chœur	4	-	-	?

Tableau 20 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au rez-de-chaussée de l'église Saint-Ouen de Rouen et sur le portail des Marmousets.

1.2.4.3 Dans le triforium et au niveau des combles bas

En s'élevant dans l'édifice, le visiteur arrive à hauteur du triforium. Outre les barreaux de fer des baies vitrées desquelles il est orné, le triforium de l'église Saint-Ouen possède également de nombreux autres éléments de fer. Rappelons qu'il se compose d'une balustrade à claire-voie, identique sur tout l'édifice.

1.2.4.3.1 Les tirants

Dans chaque travée, cette claire-voie abrite, dans sa partie supérieure, un tirant de fer, qui court au niveau du départ du réseau de pierre (cf. Figure 82 et Figure 83). Ces tirants ont une section assez importante, proche de celle des tirants des baies vitrées de l'édifice ou encore de ceux du portail des Marmousets, soit 2 cm x 4,5 cm en moyenne, qu'il n'a pas été permis de mesurer précisément, faute d'accessibilité, puisqu'ils sont situés à près de 5 mètres de hauteur par rapport au sol du triforium. Cette section varie légèrement d'une travée à l'autre et même parfois à l'intérieur d'une même travée. Il ne s'agit pas nécessairement d'un indice de la présence de plusieurs barres de sections différentes, mais plutôt d'une hétérogénéité intrinsèque à chaque tirant. A certains endroits, on peut d'ailleurs observer cette variation de section sur le même tirant.

La principale interrogation réside dans la continuité de ces tirants. Ils sont bien continus à l'intérieur d'une même travée, comme l'indiquent certains meneaux brisés (cf. Figure 84). De plus, la faible largeur de ces meneaux de pierre rendrait peu probable le fait qu'ils servent d'ancrage à des barres d'une telle section. Il est donc logique qu'il y ait un unique tirant par travée. Le doute subsiste par contre quant à savoir si ces tirants sont liés les uns aux autres à l'intérieur des piles, constituant ainsi un chaînage. Les questions d'accessibilité interdisant toute prospection de nature électrique - de même nous avons déjà évoqué les limites de ce type de prospection - nous nous restreindrons à quelques remarques. Ces tirants présentent tout d'abord un alignement assez remarquable, ce qui n'est pas toujours le cas dans certaines baies vitrées. De même, leurs ancrages dans les piles se font toujours au niveau d'un joint entre deux assises et non dans la masse d'un seul bloc de pierre. Ces deux remarques montrent qu'il est parfaitement possible que ces tirants soient liés les uns aux

autres et aient été installés et assemblés lors de l'élévation même des piles. Il s'agit cependant uniquement d'une condition nécessaire et non d'une preuve de leur continuité.

Tous ces tirants sont scellés au plomb. Entre les meneaux et le départ du réseau, le scellement est apparent de tous côtés, formant un mince joint de plomb plat, alors qu'au niveau des piles, il n'apparaît qu'à l'endroit où le tirant s'y enfonce, le joint entre les pierres étant fait au mortier. Il n'est pas impossible qu'il s'agisse d'un canal accompagnant le tirant au centre du pilier. De plus, l'analyse de ces ancrages et des traces de restaurations montre que, si les réseaux ont parfois pu être remaniés, les ancrages de ces tirants dans les piles datent quant à eux nécessairement de la période de construction originelle. Il ne peut s'agir là d'ajouts consécutifs à une restauration.

Qu'ils soient ou non chaînés, ces tirants représentent environ 200 m de barres de fer d'environ 9 cm² de section, soit 1,5 tonnes de fer. Les plus longs mesurent au moins 6,5 m pour leur partie visible, soit environ 7 m de long en tout, et pèsent donc près de 50 kg pièce. Même ceux, plus petits, de 4 à 5 m de long, pèsent chacun environ 30 à 35 kg. Si la quantité de fer nécessaire à l'élaboration de ce système est certes importante, c'est plus la dimension de chacune des barres qu'il s'agit de relever. Tout comme les grosses barlotières-tirants des vitraux, il s'agit de pièces de très grandes dimensions qui nécessitent des structures de production adaptées.

1.2.4.3.2 Des crochets à la base du triforium

Dans le chœur, des crochets sont présents sur les piles juste au dessous du niveau du triforium. On compte trois crochets par pile : un au centre et un sur chaque côté. Ces crochets pourraient aller deux par deux, celui du centre étant à peu près dans l'axe de son homologue sur la pile d'en face, et ceux des côtés se trouvant respectivement dans le prolongement d'un crochet de la pile précédente et d'un de la pile suivante. M. Férauge propose un système similaire pour la cathédrale de Bourges, avec chaque crochet d'une pile forte allant rejoindre celui d'une pile faible, les voûtes d'ogives étant sexpartites³⁷⁶.

Ceci donnerait un système complexe, si le but de ces crochets était de maintenir des tirants. Les tirants des crochets destinés à relier une pile aux piles précédentes et suivantes en viendraient même à se croiser. De plus, si l'on s'attarde sur le mode d'ancrage de ces crochets, on remarque que bon nombre manquent et que tous sont scellés dans le joint

³⁷⁶ FERAUGE (M.), MIGNEREY (P.), « Les cathédrales de Bourges et de Reims »..., *op. cit.*, p. 31.

séparant deux assises de pierre sur la pile. Ces ancrages très peu profonds ont parfois conduit à leur descellement et vont plutôt dans le sens d'une utilisation pour l'accroche d'éléments de décor divers : lampes, banderoles, tapisseries... et non comme supports de tirants.

Comme l'affirme d'ailleurs M. Férauge dans le cas de la cathédrale de Bourges, il est toujours extrêmement difficile de déterminer le rôle de tels crochets, même s'ils vont deux par deux, car il n'est pas toujours aisé d'imaginer des barres de fer de plus de 15 m de long traversant le vaisseau central. Le problème n'est pas le même dans le cas des collatéraux³⁷⁷.

1.2.4.3.3 Des vestiges de barres de fer

A hauteur du triforium, les deux piles de la croisée marquant l'entrée du chœur présentent chacune la marque de quatre barres de fer ayant été sectionnées. Elles semblent être d'assez faible section. Inaccessibles, peu d'hypothèses peuvent être formulées sur leur compte. Au vu de leur section, il semblerait étrange qu'elles viennent jouer un rôle architectonique dans la structure de l'édifice. Peut-être faisaient-elles partie d'une ancienne clôture provisoire venant fermer le chœur, avant le milieu du XV^e siècle et l'achèvement du transept.

1.2.4.3.4 Agrafes sur la balustrade de la claire-voie

La balustrade de la claire-voie est quant à elle par endroits renforcée par des petites agrafes (cf. Figure 82). Elles sont présentes dans le chœur, mais pas dans la nef, ni dans les transepts.

Ces agrafes sont toutes scellées au plomb. Elles sont complètement ancrées dans les éléments de pierre et sont presque toujours totalement recouvertes de plomb, ce qui rend impossible une approche précise de leurs dimensions (cf. Figure 85). Elles semblent toutes de tailles assez similaires avec une longueur visible de 37 à 40 cm sans les retours, pour 1 à 1,2 cm de large. Ce sont des agrafes de taille moyenne, pesant chacune entre 500 g et 1 kg, suivant leur épaisseur que l'on peut estimer entre 1 et 2 cm environ.

³⁷⁷ ID., *Ibid.*, p. 31.

Si les meneaux portent parfois la marque de restaurations (cf. Figure 86), ce n'est pas le cas des blocs de pierre qui constituent la balustrade. L'hypothèse la plus probable est donc que ces agrafes fassent partie de la construction originelle, entre 1318 et 1339.

La disposition et le nombre de ces agrafes sont fonctions du nombre d'éléments de pierre employés pour la construction de la balustrade et de leur agencement, qui s'avère être extrêmement régulier et identique de travée en travée : on compte cinq blocs de pierre par travée pour les balustrades des travées droites et trois blocs pour les travées de l'abside, soit respectivement quatre et deux jointures entre blocs, toutes liées par des agrafes. De plus, si l'on sépare les travées droites en douze intervalles et les travées de l'abside en six intervalles, d'après la découpe ordonnée par les meneaux de la claire-voie, les jointures de pierre et donc les agrafes se trouvent systématiquement aux troisième, cinquième, huitième, et dixième intervalles pour les travées droites et aux troisième et quatrième intervalles pour l'abside, soit une répartition parfaitement régulière et symétrique, montrant l'insertion de ces agrafes dans une construction faite selon un système de modules pour les blocs de pierre. On a donc au total au moins trente-quatre agrafes situées de manière régulière sur tout le pourtour de la balustrade, dont la quasi totalité est encore en place. L'existence d'agrafes au niveau du passage de la balustrade sous les piles n'a pas pu être appréhendée, des dalles de pierre plaquées verticalement contre la balustrade en partie inférieure des piles masquant les joints entre les différents blocs. Cependant, à un endroit, la pierre de la balustrade qui pénètre sous la pile porte l'empreinte d'un logement d'agrafe (cf. Figure 86). La première hypothèse est qu'il s'agit d'une ancienne agrafe, retirée à la suite d'une restauration postérieure. Si le bloc de pierre de la pile posé sur la balustrade a pu être changé, le bloc de pierre de la balustrade qui passe sous la pierre n'est pas visible. Il est donc difficile de savoir s'il a fait l'objet de restaurations. La seconde hypothèse serait qu'il s'agit d'une erreur de taille d'un ouvrier qui a taillé un logement d'agrafe sur une pierre qui n'en nécessitait point. S'il paraît plus raisonnable d'opter pour la première hypothèse, seul le démontage de la partie concernée apportera la véritable réponse.

1.2.4.3.5 Agrafes sur la balustrade extérieure des combles du triforium

La balustrade extérieure dans le chœur à l'étage du triforium présente les vestiges d'un système de consolidation au moyen d'agrafes, semblable à celui qui se trouve à l'intérieur. Alors que le système de la balustrade intérieure, à l'abri des intempéries, est remarquablement conservé, à l'extérieur, sur environ cent vingt éléments de pierre, seules

trois agrafes entières, huit fragments d'agrafes, des moitiés pour la plupart, et trois logements d'agrafe, ont été repérés (cf. Figure 87). Cette balustrade, encore très dégradée à l'heure actuelle, a fait l'objet de nombreuses restaurations ; de plus, à certains endroits, elle est absente et remplacée par un garde-corps provisoire en bois. Certaines agrafes ont même été sectionnées lors de la restauration de l'élément de balustrade qu'elles servaient à consolider. Leur prolongement à l'intérieur des maçonneries sur lesquelles la balustrade vient s'appuyer, à l'intersection avec les culées des arcs-boutants, a pu être mis en évidence à l'aide d'un détecteur de métaux.

Le fait que certaines agrafes sont partiellement prises dans ces maçonneries prouve le caractère originel du système, malgré le faible nombre d'agrafes conservées (cf. Figure 87). Les restaurations ultérieures semblent par ailleurs ne pas avoir accordé beaucoup de crédit à ces agrafes qui ont été tordues ou sectionnées quand elles ne pouvaient être enlevées. Il paraît donc vraisemblable que la balustrade de la coursive extérieure du triforium dans le chœur était renforcée d'une série d'agrafes, dès sa construction dans la première moitié du XIV^e siècle. Celles-ci étaient non seulement situées tout au long de la balustrade, mais également sur les éléments de pierre perpendiculaires à cette balustrade, qui surmontent les contreforts des chapelles et servent d'appuis à des pinacles, comme l'indiquent la marque d'ancrage en forme de T à ces intersections. Peut être avait-on des agrafes d'une forme particulière à cet endroit ; aucune ne nous est cependant parvenue.

Les agrafes subsistantes sont toutes scellées au plomb. Les dimensions mesurées sont aux alentours de 35 à 45 cm de long, pour 1 à 1,5 cm de large sur environ 2 cm d'épaisseur. Ces chiffres ne portent toutefois que sur un corpus d'objets très limité. Sauf exception, tous ces exemplaires semblent être plus épais que larges. Les traces d'ancrages relevées sont parfaitement compatibles avec ces données. Une des agrafes, pour laquelle il a été permis d'observer l'extrémité, révèle que sa partie coudée est striée de petites encoches, quatre par face, soit huit en tout, certainement destinées à ce qu'elles accrochent mieux à la gangue de plomb qui les scelle et les protège de l'humidité et la corrosion. Cette agrafe a été prélevée sous la référence OUEN 02³⁷⁸.

³⁷⁸ Les résultats des analyses métallographiques de cette agrafe sont présentés dans le chapitre suivant, conjointement aux autres agrafes prélevées dans le chœur de l'église Saint-Ouen.

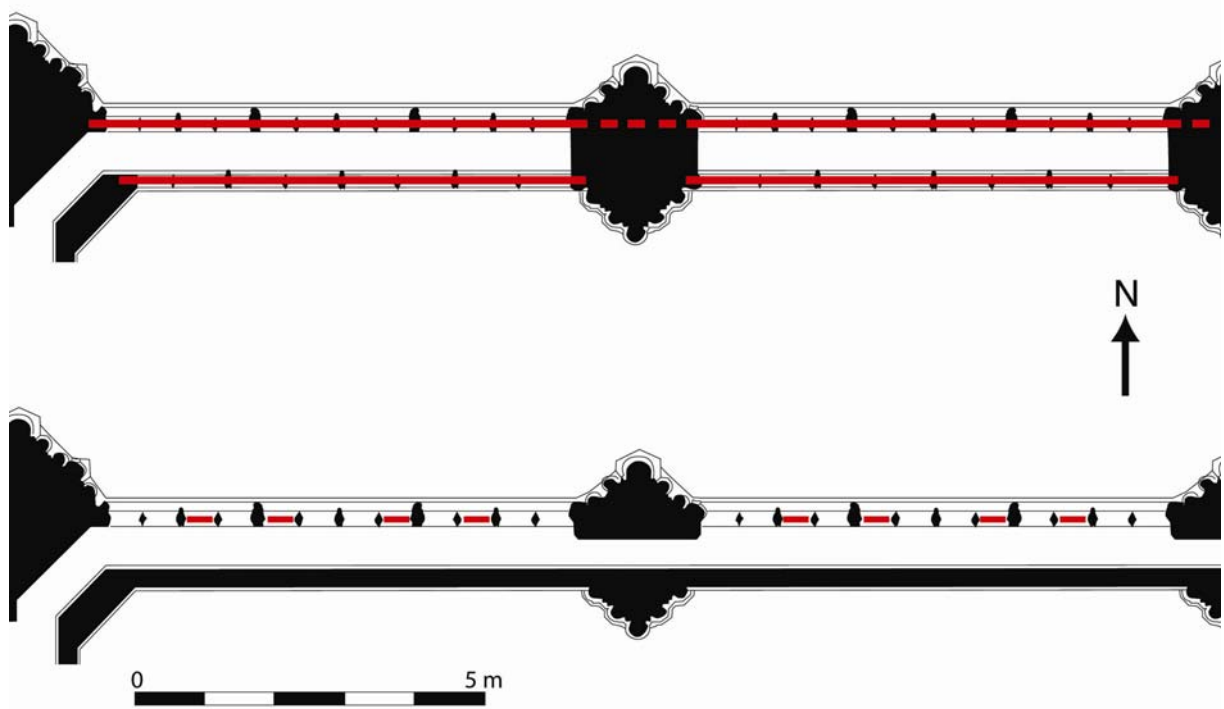


Figure 82 : Agrafes et tirants dans le triforium du chœur de l'église Saint-Ouen de Rouen, plan des travées occidentales. En haut, plan à hauteur des tirants. En bas, plan à hauteur de la balustrade, dessin M. L'Héritier d'après un plan de D. Moufle, A.C.M.H.



Figure 83 : Tirants en partie haute du remplage du triforium du transept



Figure 84 : Tirant en partie haute du triforium du chœur, clichés P. Benoit et M. L'Héritier.

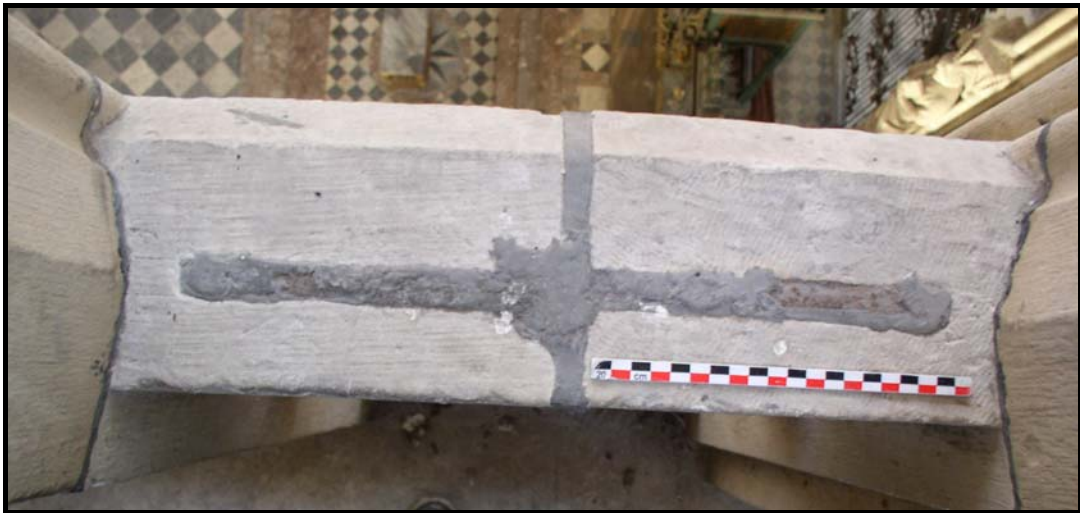


Figure 85 : Agrafe de la balustrade intérieure du triforium du chœur.



Figure 86 : A gauche, logement d'agrafe passant sous la maçonnerie d'une pile. A droite, agrafe et marque d'une réfection des meneaux.



Figure 87 : Agrafes coupées ou tordues et logements d'agrafes vides suite à des restaurations au niveau de la balustrade extérieure du triforium du chœur.

De telles agrafes ne sont pas présentes sur les autres balustrades, que ce soit au niveau du triforium ou des chéneaux supérieurs. Seules trois agrafes ont été repérées dans la nef. Situées sur une fissure dans la pierre d'une balustrade, elles correspondent probablement à une consolidation contemporaine. En effet, ces agrafes, très plates et non scellées au plomb, sont de facture parfaitement régulière, toutes trois ayant exactement les mêmes dimensions : 21 cm de long, 1,5 cm de large et une épaisseur de 0,5 cm. Avant la restauration de la façade nord, réalisée au cours des années 1990, D. Moufle (A.C.M.H.) note qu'au niveau de certaines balustrades, des crampons en métal reliaient parfois entre eux les différents éléments³⁷⁹. Il précise que cet emploi semble revêtir un caractère exceptionnel, mais ne donne aucune précision supplémentaire sur ces agrafes. S'agissait-il de consolidations exceptionnelles, à l'image du côté sud de la nef, ou alors d'un emploi semblant plus systématique, comme dans le chœur pour lequel seulement 10 % des éléments d'origine subsistent encore à l'heure actuelle ? En l'absence des objets en question et de leur localisation précise, il est impossible de répondre à cette question.

1.2.4.3.6 Course des fenêtres hautes

Outre une nouvelle fois les vitraux, les seuls éléments de fer découverts au niveau de fenêtres hautes se limitent à une série d'agrafes sur la course longeant les fenêtres hautes du chœur.

Ces agrafes, ancrées dans le sol, relient une à une les pierres constitutives de la course. On compte quarante-huit agrafes entières, deux moitiés et trois empreintes d'agrafes dans cette position. Les douze joints ne comportant aucune marque correspondent à des éléments qui ont été refaits, identifiables par des pierres ou des joints de nature différentes.

Ces agrafes ont des longueurs très variables, allant d'environ 30 à près de 90 cm, retours non compris, pour des largeurs de 0,8 à 1,7 cm. Quatre-vingt-dix pourcents des agrafes sont longues de 35 à 55 cm, toujours hors retour, et larges de 1 à 1,5 cm, avec des valeurs médianes respectives de 45 cm et 1,2 cm³⁸⁰. Si l'on restreint la fourchette autour de cette valeur médiane, on trouve que 60 % des agrafes ont une longueur comprise entre 40 et

³⁷⁹ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 4° ETU 1715 par D. Moufle.

³⁸⁰ La valeur médiane est ici préférée à la valeur moyenne à cause des deux agrafes dont la longueur est bien supérieure au reste du lot, avec plus de 80 cm. La longueur moyenne est de 47 cm.

50 cm (cf. Figure 88). Contrairement aux largeurs, la variabilité des longueurs d'une agrafe à l'autre est donc grande. Ces agrafes ne sont donc pas standardisées. Peu d'épaisseurs ont pu être mesurées, les agrafes étant pour la plupart encore en place dans leur logement et peu altérées. D'après les quelques mesures effectuées, il semble qu'elle soit systématiquement supérieure à 2 cm et plutôt voisine de 2,5 cm. On aurait donc, comme sur la balustrade du triforium du chœur, des agrafes plus épaisses que larges. Les rares longueurs de retours ayant pu être appréhendées sont comprises entre 5 et 10 cm. Il faudrait donc rajouter au moins 10 à 20 cm à la longueur visible pour obtenir la longueur totale de chaque agrafe, correspondant à la longueur de la barre utilisée pour leur mise en forme. Toutes ces agrafes sont scellées au plomb et en sont encore partiellement ou totalement recouvertes, selon leur état de conservation. Celles dont l'extrémité était visible présentaient également des marques d'encoche, au nombre de quatre par face, parfois peu lisibles à cause de la corrosion.

Comme pour les balustrades, la plupart des agrafes de la coursive extérieure des fenêtres hautes du chœur de l'église Saint-Ouen auraient parfaitement pu être ajoutées à une période bien ultérieure à son élévation. Entre les travées, au niveau des ouvertures ménagées sous les supports des arcs-boutants, quelques unes de ces agrafes longent cependant les blocs de maçonnerie. C'est notamment le cas de la neuvième agrafe en partant du nord (cf. Figure 89). Son scellement est partiellement recouvert par la couche de mortier servant de joint entre les pierres de la coursive et la maçonnerie de l'arc-boutant, mais il ne passe toutefois pas sous le bloc de pierre. En l'absence d'analyse du mortier, il est donc impossible de déterminer de cette manière la datation relative de cette agrafe. On peut néanmoins émettre le raisonnement suivant : si la maçonnerie des arcs-boutants était déjà construite avant la décision d'ajouter des agrafes, pourquoi les bâtisseurs auraient-ils creusé leurs logements aussi proches des blocs de pierre alors que la coursive fait une bonne cinquantaine de centimètres de largeur ? Il est bien plus simple de concevoir que ce sont les supports des arcs qui, *a posteriori*, sont venus presque recouvrir les agrafes déjà mises en œuvre. L'hypothèse d'un creusement de ces logements d'agrafes avant l'élévation des arcs-boutants et par conséquent contemporain de la phase de construction du chœur dans la première moitié du XIV^e siècle paraît donc plus vraisemblable.

Deux de ces agrafes, qui, brisées par la corrosion et sorties de leurs logements, ne jouaient plus aucun rôle d'attache ont été prélevées sous les références OUEN 06 et OUEN 07, pour tenter d'obtenir des éléments de datation relative, qui permettraient de confirmer ou d'infirmer l'hypothèse d'une primo-utilisation. Il s'agit respectivement de la troisième agrafe située dans l'abside et de la quatrième agrafe située dans les travées droites

du côté nord³⁸¹. Deux autres agrafes découvertes en position secondaire dans les combles du triforium s'apparentent fortement à ces agrafes des fenêtres hautes, tant au niveau de leur forme que de leurs dimensions. Elles portent les références OUEN 18 et OUEN 19 et ont également fait l'objet d'analyses métallographiques. De même, l'agrafe OUEN 02, bien que prélevée à l'étage inférieur, s'apparente également à ce groupe d'agrafes. Ces cinq agrafes ont donc été étudiées conjointement lors des analyses métallographiques.

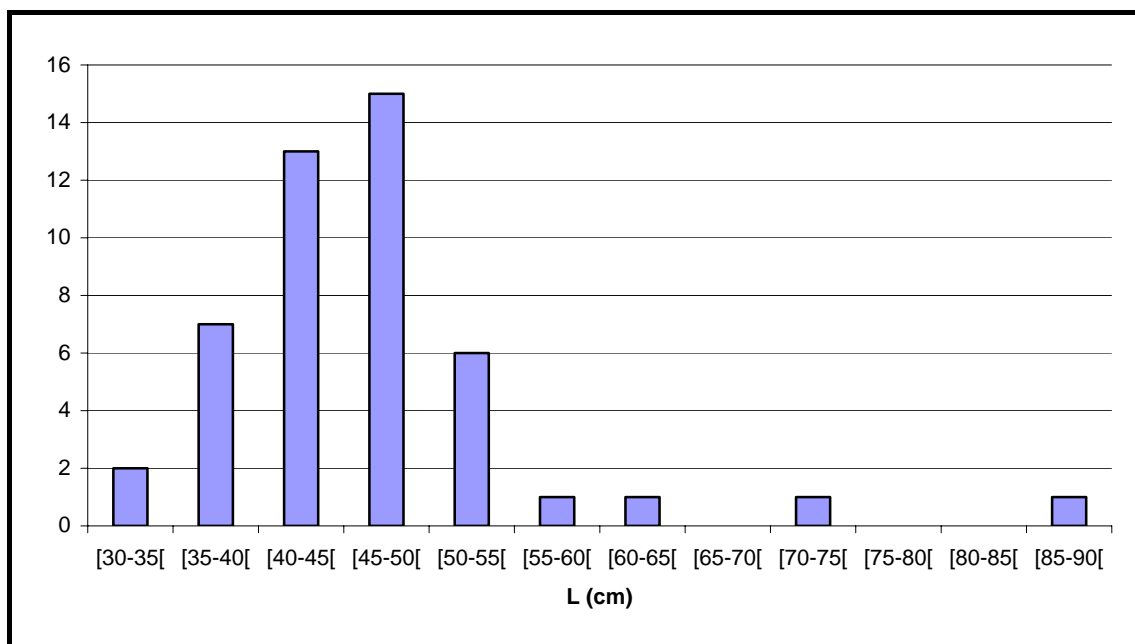


Figure 88: Longueurs des agrafes de la coursive des fenêtres hautes du chœur de l'église Saint-Ouen de Rouen.

³⁸¹ Les numéros des agrafes ont été attribués en ordre croissant en partant de l'angle nord-ouest du chœur et en faisant le tour de la coursive juste qu'à l'angle sud-ouest.



Figure 89 : Agrafes de la coursiue des fenêtrés hautes du chœur de l'église Saint-Ouen de Rouen. En bas, agrafe longeant la maçonnerie de l'arc-boutant.

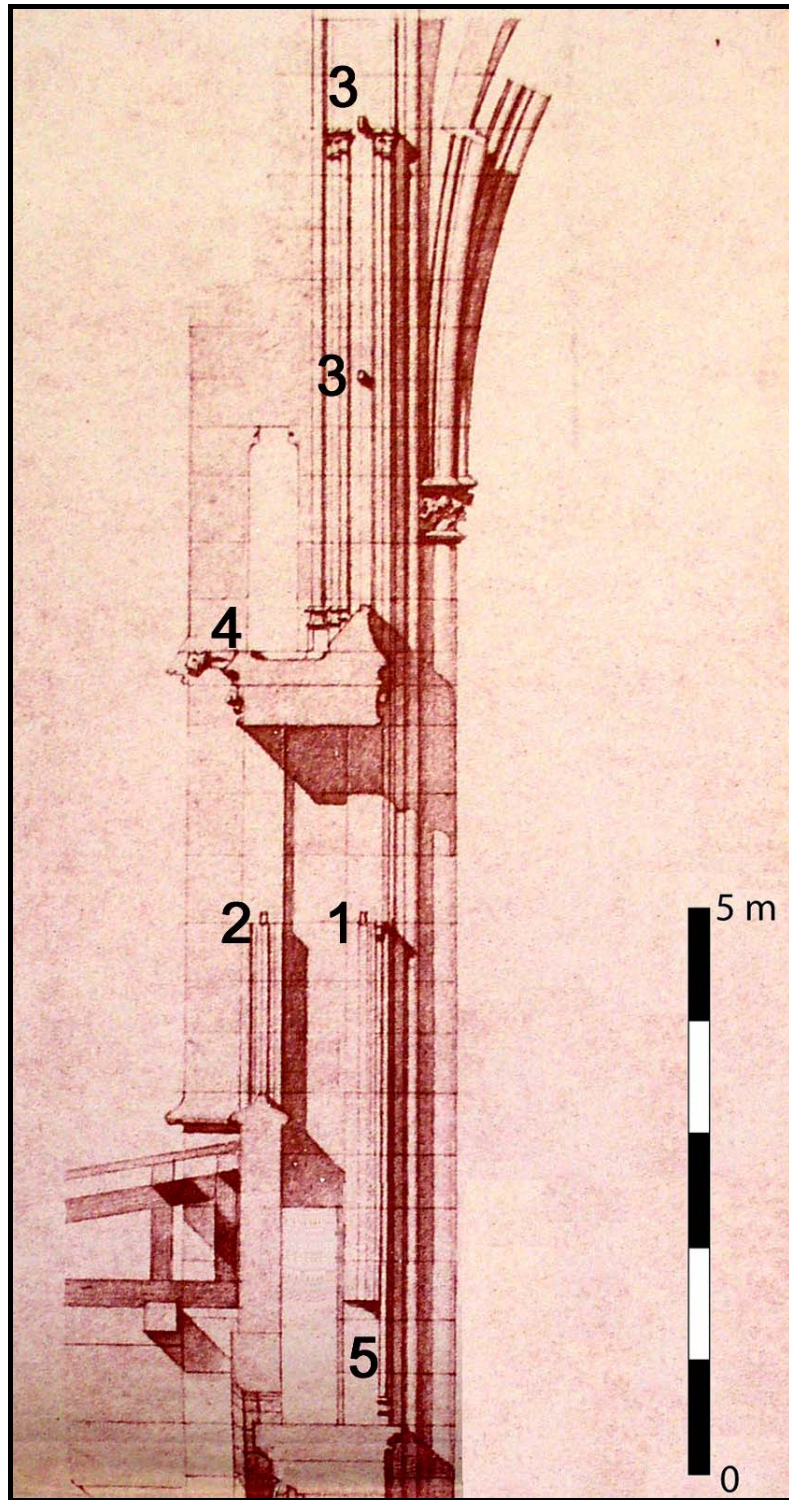


Figure 90 : Plan en coupe de l'étage du triforium et des fenêtres hautes de l'église Saint-Ouen dans le chœur avec localisation des agrafes et tirants de fer, d'après un plan de H. Jullien³⁸².

1. Tirant de la balustrade à claire-voie du triforium.
2. Tirant des baies du triforium.
3. Tirants des baies hautes.
4. Agrafes de la coursive des fenêtres hautes du chœur.
5. Agrafes de la balustrade à claire-voie du triforium du chœur.

³⁸² Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 1989/004/032.

1.2.4.3.7 Analyses métallographiques des agrafes prélevées dans le chœur de l'église

Cinq agrafes de formes et de dimensions similaires ont donc été prélevées dans le chœur de l'église Saint-Ouen, dont la construction date de la première moitié du XIV^e siècle (cf. Tableau 21). Seule l'une des trois agrafes découvertes dans le bâti est assurément datée de cette période. Les deux autres auraient en effet pu être ajoutés à une période ultérieure, même si cela apparaît peu probable. L'hypothèse de datation des deux dernières agrafes, découvertes en position secondaire n'a été émise que par analogie de forme. Deux découpes ont été faites sur les agrafes OUEN 02, 06, 07 et 19, l'une dans le sens longitudinal au niveau d'une patte et l'autre de manière transversale dans le corps de l'agrafe. Seule une section transversale a été réalisée pour l'agrafe OUEN 18 (cf. Figure 91).

Référence	Description	Localisation	Datation
OUEN 02	Agrafe	Balustrade extérieure au niveau du triforium du chœur.	1318-1339
OUEN 06	Agrafe	Coursive extérieure des fenêtres du chœur, abside. Agrafe n° 23.	1318-1339 (?)
OUEN 07	Agrafe	Coursive extérieure des fenêtres hautes du chœur, travées nord. Agrafe n° 4.	1318-1339 (?)
OUEN 18	Agrafe	En position secondaire dans les combles du triforium du chœur.	1318-1339 (par analogie)
OUEN 19	Agrafe	En position secondaire dans les combles du triforium du chœur.	1318-1339 (par analogie)

Tableau 21 : Liste des échantillons analysés dans le chœur de l'église Saint-Ouen de Rouen.

Les deux sections découpées sur OUEN 02 présentent une structure métallographique hétérogène alliant en surfaces équivalentes zones ferritiques et zones carburées allant jusqu'à la composition de l'eutectoïde, soit 0,8 %_{mass} de carbone (cf. Figure 92 et Figure 93). Ces zones de carburation différentes prennent plus ou moins la forme de bandes parallèles sur les deux spécimens, marque de l'allongement à la forge d'un lopin hétérogène. Les sept autres sections observées sont toutes à forte dominance ferritique (cf. Figure 93). Certains ne présentent aucune zone carburée, comme OUEN 07b, d'autres ne présentent que quelques zones ferrito-perlitiques faiblement carburées titrant moins de 0,3 %_{mass} de carbone, comme OUEN 06a, OUEN 07a et OUEN 19b. En revanche, les quelques zones aciérées présentes sur

les sections OUEN 06b, OUEN 18a et OUEN 19a sont bien plus carburées, avec des teneurs en carbone atteignant au moins 0,6 %_{mass} et composées parfois de perlite pure. Seule la section OUEN 18a possède très localement la marque d'une structure de trempe, avec la formation de bainite et de martensite³⁸³. Dans ce cas, il semble peu probable que cette trempe résulte d'une action volontaire de la part du forgeron. En effet, les zones martensitiques et bainitiques occupent une très petite surface ne montrent pas une répartition particulière. Il est également légitime de s'interroger sur la nécessité de tremper une agrafe au risque peut-être de la rendre plus cassante. Ces structures résultent donc peut-être simplement d'une trempe suite à un refroidissement un peu trop rapide à l'air libre hors du foyer de forge, après la mise en forme de l'objet.

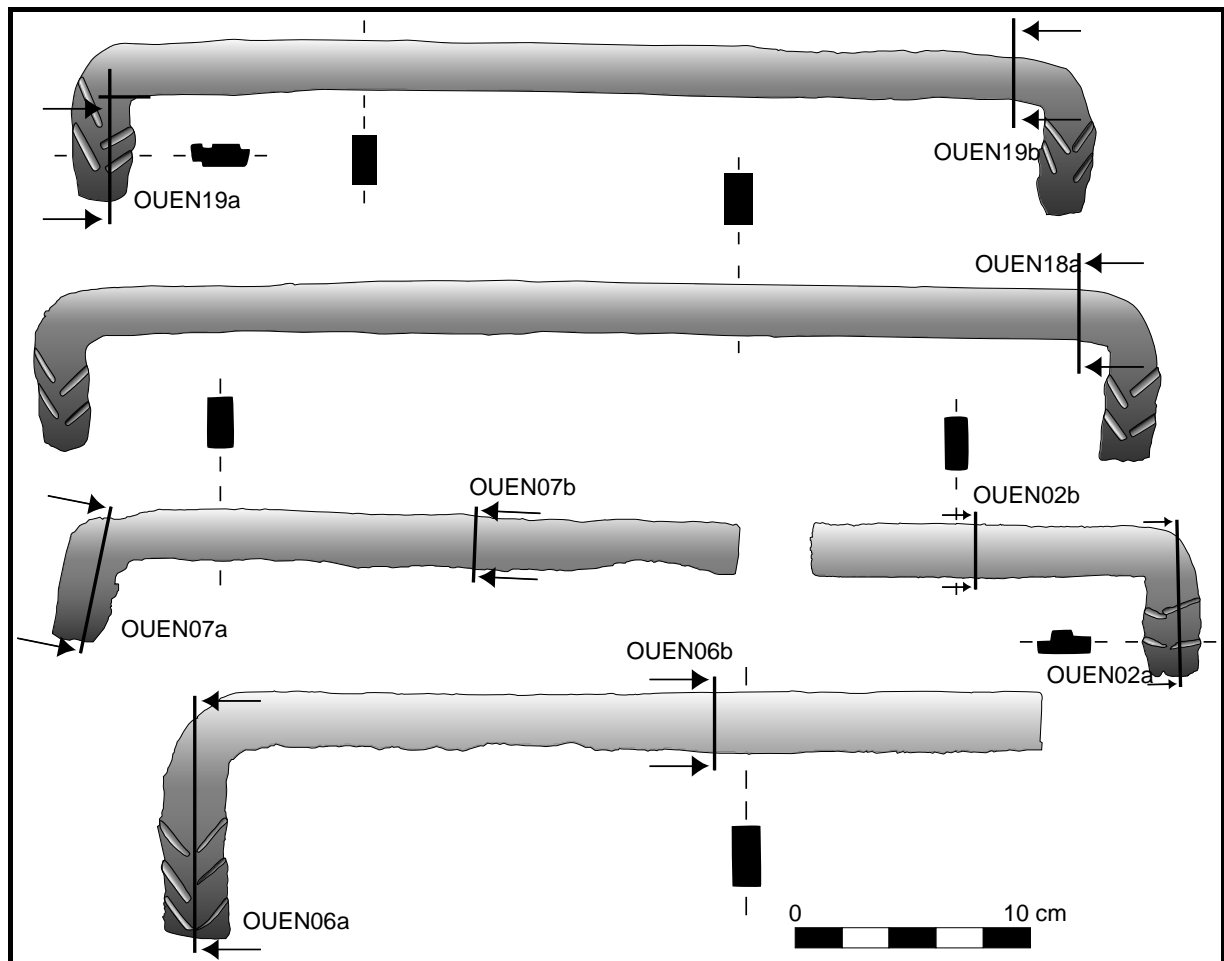


Figure 91 : Corpus d'étude métallographique pour les agrafes prélevées dans le chœur de l'église Saint-Ouen de Rouen avec localisation des sections.

³⁸³ Cette zone est toutefois de bien trop faible surface pour avoir été représentée sur le schéma en Figure 93. Elle se trouve à l'endroit de la zone perlitique, proche de la surface de l'échantillon.

Les grains de ferrite sont de tailles variables sur toutes les sections, pouvant aller de 20 à 150 μm . Ils ne sont cependant pas systématiquement équiaxes. Les échantillons OUEN 18a et 19a ont des grains encore légèrement écrouis. Cette forme est caractéristique de l'absence de recristallisation après forgeage, ce qui signifie que ces objets n'ont pas subi de recuit final.

Le cas de OUEN 06b est également à souligner. Ce spécimen présente à l'attaque Nital la marque d'une ligne de soudure traversant tout l'échantillon dans le sens de sa plus grande longueur (cf. Figure 94). Cette ligne, relativement droite, est légèrement courbée à ses deux extrémités. Il s'agit là d'une soudure parfaitement effectuée sans la moindre inclusion résiduelle. Il pourrait s'agir d'un repli du lopin originel correctement corroyé ou encore de la soudure de deux pièces de métal distinctes. La marque d'une telle soudure n'a pas été retrouvée dans OUEN 06a, l'autre spécimen découpé sur le même objet, ni dans les trois autres agrafes. Des analyses supplémentaires, notamment la découpe d'un troisième spécimen dans l'agrafe OUEN 06 seraient peut-être nécessaires pour saisir l'étendue et comprendre la nature de cette soudure.

Toutes les sections réalisées sur les agrafes OUEN 06, 07, 18 et 19 présentaient dans certaines zones ferritiques des structures nommées « structures fantômes », caractéristiques d'une forte variation microscopique de la teneur en phosphore de la matrice pour des teneurs comprises entre 0,1 et 0,4 %_{mass}. Les matrices de ces échantillons n'ont pas pu être dosées à la microsonde afin d'avoir une valeur plus précise de cette teneur. La répartition du phosphore dans la matrice métallique a cependant pu être observée par attaque au réactif Oberhoffer sur les sept spécimens issus de ces quatre objets. Elle révèle, sur chacun des échantillons analysés, une alternance de zones à dominante claire, riches en phosphore, et d'autres à dominance plus foncée, plus pauvres en phosphore. Pour les sections OUEN 06a, 07a et 19a, pour lesquels la découpe du spécimen est longitudinale à l'objet, cette répartition prend la forme de bandes orientées selon une direction perpendiculaire au plan de frappe, rappelant les structures révélées à l'attaque Nital.

Les variations du phosphore dans la matrice métallique étant en générale assez importantes, l'attaque Oberhoffer est un très bon indicateur de la mise en forme de l'objet. Sur le spécimen OUEN 06a, on perçoit une courbure de la structure en bandes phosphoreuses au niveau du coude de l'agrafe, indiquant qu'elle a bien été forgée à chaud à la forge, comme il pouvait sembler évident. De même, OUEN 19a montre également une déformation locale de la structure en bandes au niveau d'une barbelure, expression d'un forgeage à chaud. Dans

le cas de OUEN 06b, deux zones de teneurs différentes sont clairement identifiables de part et d'autre de l'échantillon (cf. Figure 94). Elles sont réparties autour d'une ligne identifiée comme une ligne de soudure à l'attaque Nital. Il semblerait donc que l'on ait eu soudure de deux pièces de métal ayant des teneurs en phosphore différentes.

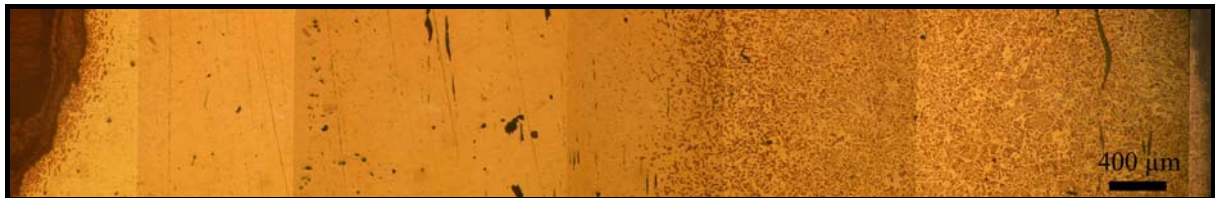


Figure 92 : Micrographie de l'échantillon OUEN 02a, attaque Nital.

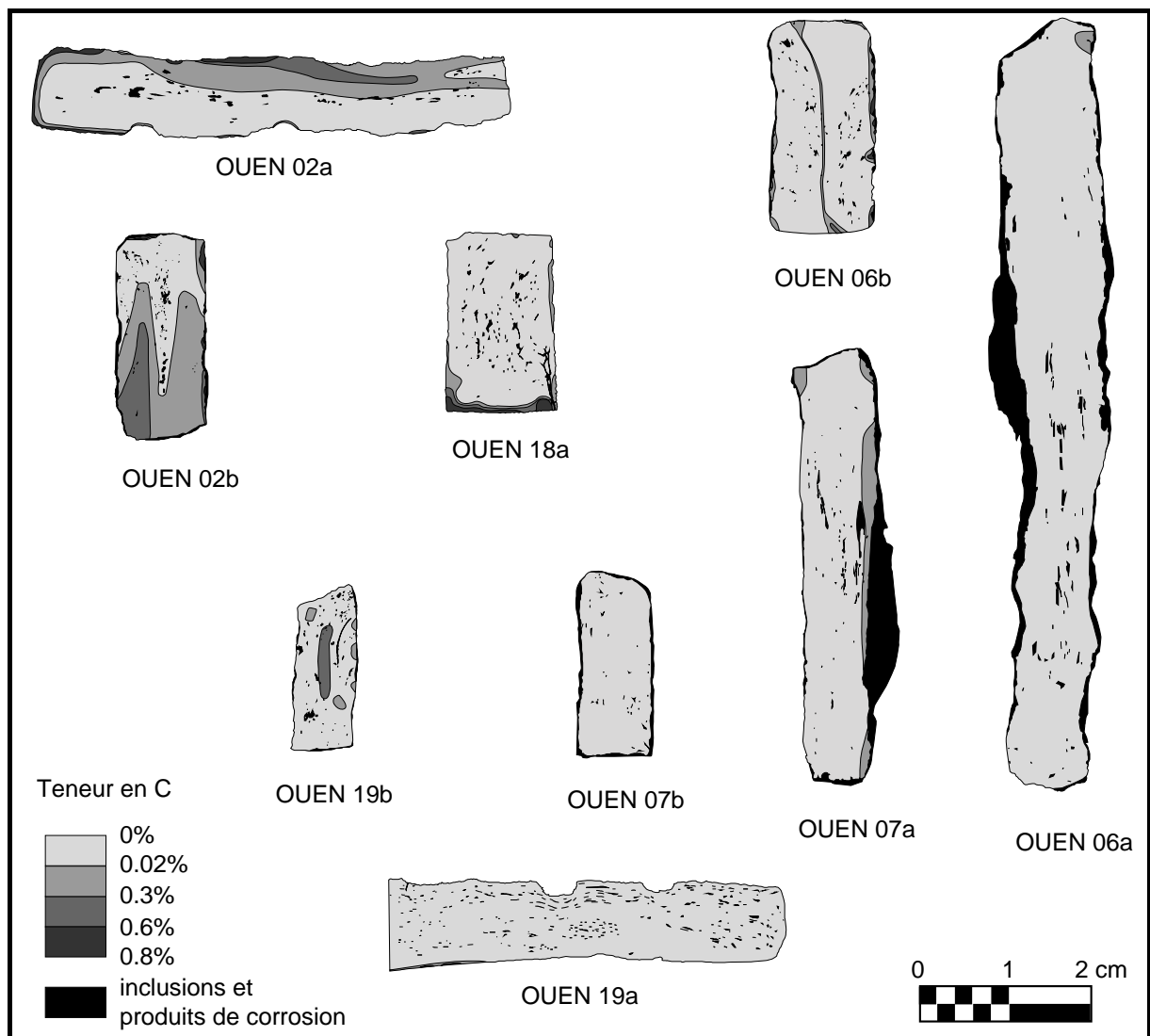


Figure 93 : Structure métallographique des agrafes prélevées dans le chœur de l'église Saint-Ouen de Rouen.

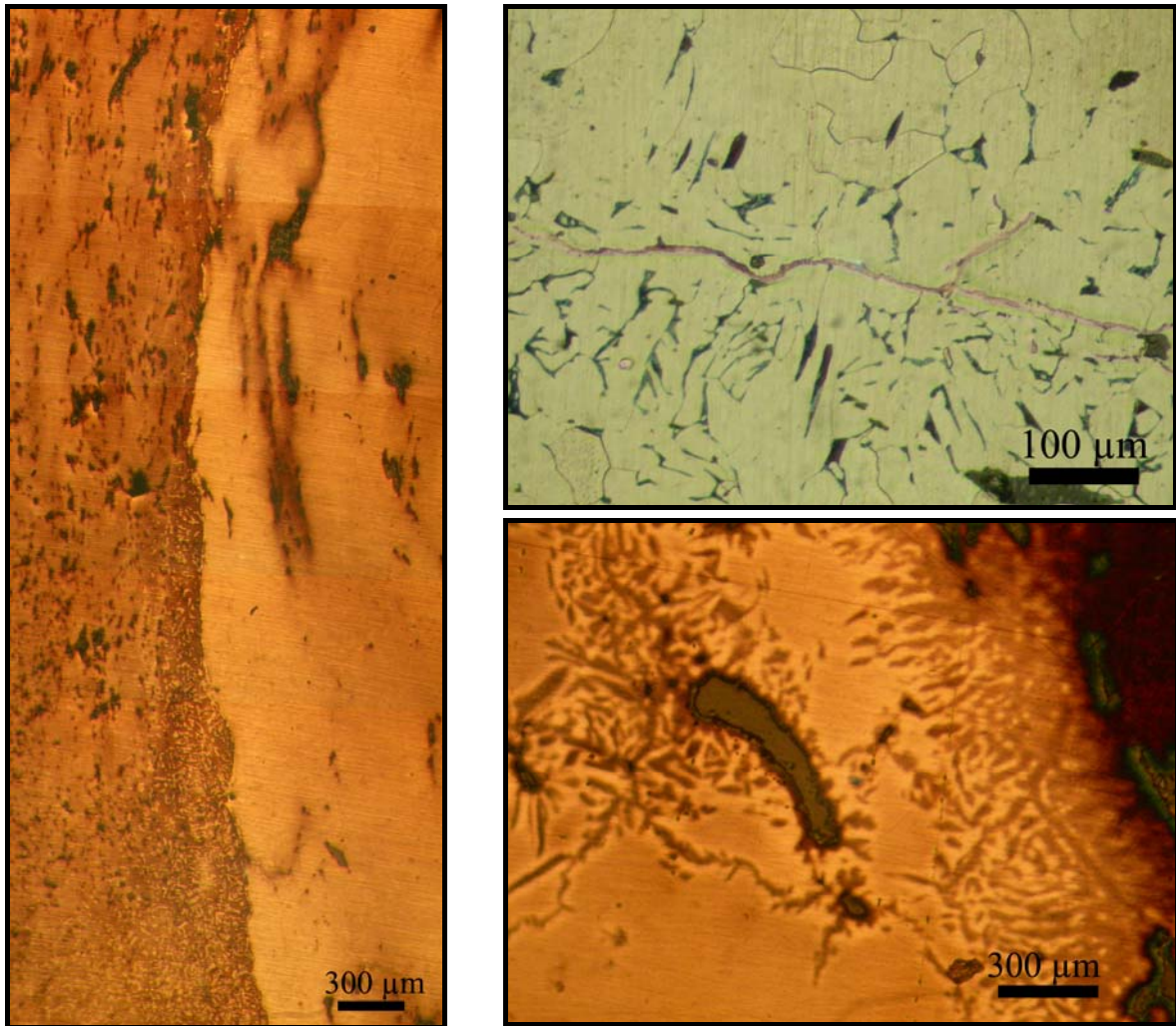


Figure 94 : A gauche, soudure marquée par une différence entre les teneurs en phosphore de la matrice métallique (zone claires plus riches en phosphore), OUEN 06b, attaque Oberhoffer. En haut a droite, soudure de OUEN 06b, attaque Nital. En bas à droite, variations microscopiques en phosphore dans la matrice métallique, OUEN 06b, attaque Oberhoffer.

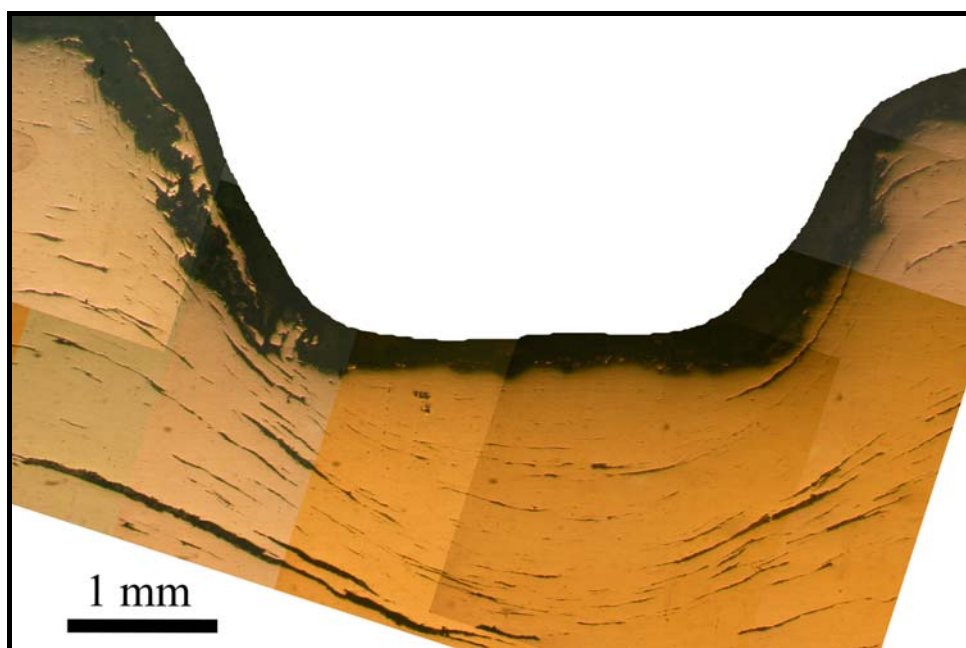


Figure 95 : Détail d'une barbelure avec déformation locale des inclusions, échantillon OUEN19a.

Les neuf sections possèdent toutes de nombreuses inclusions non métalliques, pour la plupart cristallisées et constituées d'une matrice de fayalite où ont poussé des dendrites de wüstite. Elles n'ont pas d'orientation particulière sur les échantillons découpés dans le sens transversal et sont plutôt allongées pour ceux découpés dans le sens longitudinal, conséquence de l'aplatissement nécessaire à la mise en forme de l'objet. L'allongement et la direction des inclusions viennent confirmer les informations sur le forgeage de ces agrafes et de leurs barbelures appréhendées avec l'attaque Oberhoffer, notamment sur les spécimens de l'agrafe OUEN 02, qui, trop carburés, n'avaient pas pu être soumis à cette attaque. Pour les agrafes qui ont été découpées au niveau de leur coude, OUEN 07a et OUEN 09a, l'incurvation des inclusions montre bien que cette mise en forme s'est effectuée à chaud à la forge. De même, la courbure des inclusions au niveau des barbelures qu'on observe sur certaines agrafes ou goujons (OUEN 02a, OUEN 08a et OUEN 19a) est la marque qu'elles ont été formées par repoussement à chaud et non par enlèvement de matière qui les aurait découpées.

La modification de la norme AFNOR a pu être appliquée aux quatre sections découpées dans le sens longitudinal. Compris entre 2,3* pour OUEN 19a et 3,1* pour OUEN 02a et 06a, cet indice révèle donc un degré de propreté relativement homogène d'un objet à l'autre et que l'on peut qualifier de moyen à médiocre pour des fers anciens.

Après dosage, la composition des inclusions montre une certaine homogénéité entre les inclusions d'une même section et même entre les sections découpées sur un même objet. Les coefficients de détermination R^2 pour les rapports entre les éléments Al, Si, Mg, K et Ca sont supérieurs à 0,6 dans 90 % des cas et à 0,7 dans 75 %. Cette homogénéité des inclusions à travers l'ensemble d'un objet montre que chaque agrafe est issue de la forge d'un lopin de fer neuf et non d'un corroyage de fers d'origines différentes (cf. Figure 96 et Figure 97). L'hypothèse du recyclage doit sans doute être ici écartée. De même, la soudure appréhendée sur la section OUEN 06b doit plutôt être interprétée comme une marque de repli lors du compactage d'une loupe hétérogène.

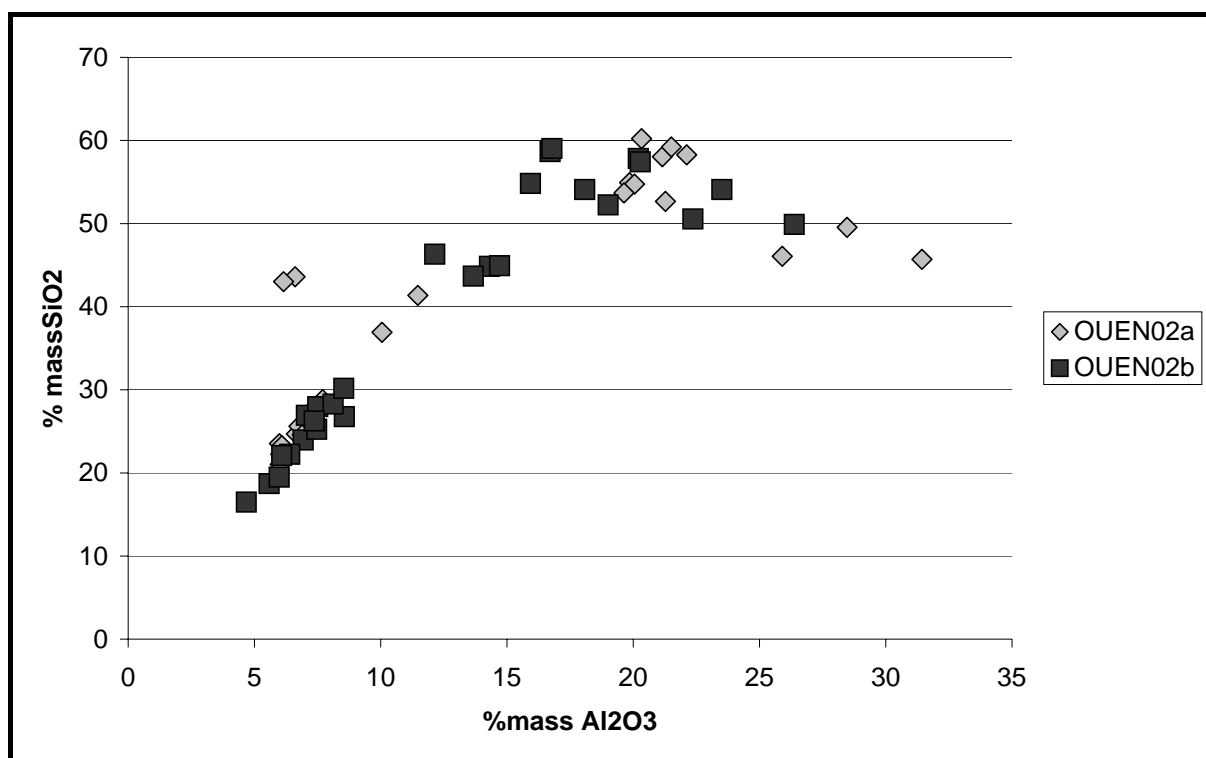


Figure 96 : Homogénéité du rapport $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ pour les inclusions des deux sections prélevées sur l'agrafes OUEN 02.

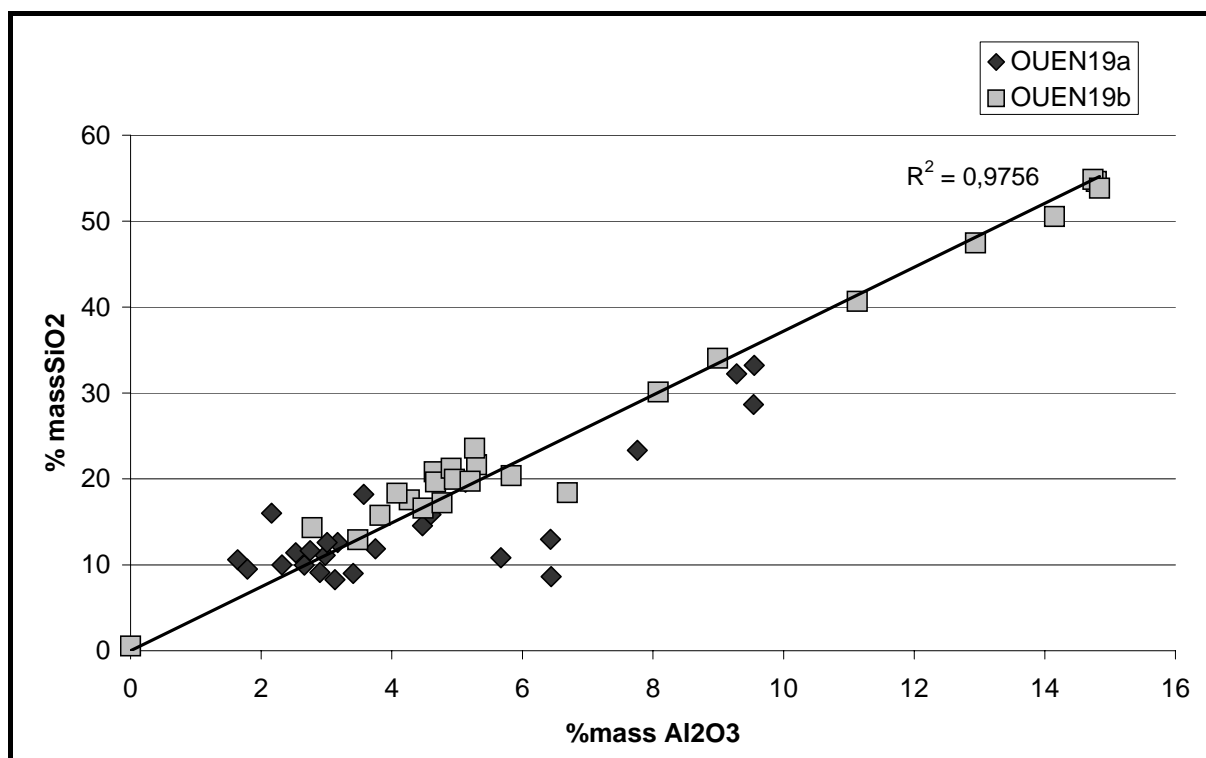


Figure 97 : Homogénéité du rapport $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ pour les inclusions des deux sections prélevées sur l'agrafes OUEN 19.

Ces agrafes formant un groupe homogène, tant au niveau de leur forme que de leur situation dans l'édifice, il est légitime de s'interroger sur leur provenance, à savoir si elles ont été produites à partir du même fer ou à partir de fers d'origines différentes. Pour les agrafes OUEN 02, 06, 07 et 19, les rapports précédemment évoqués entre les différents composés non réduits pourraient être compatibles, même s'ils ne correspondent pas parfaitement. L'agrafe OUEN 18 se distingue quant à elle nettement du lot notamment avec des rapports $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ et $\text{K}_2\text{O}/\text{CaO}$ bien plus faibles (cf. Figure 98). La prise en considération d'autres éléments, comme le phosphore et le manganèse, montre cependant qu'il s'agit de fers d'origine différentes. En effet, OUEN 02 n'a pas de MnO dans ses inclusions, contrairement aux trois autres agrafes. De plus les teneurs en MnO de ces trois agrafes ne sont pas comparables : si OUEN 06 et 19 sont relativement pauvres avec 0,7 %_{mass} MnO en moyenne et environ 3 %_{mass} maximum, OUEN 07 atteint par endroits près de 7,5 %_{mass} de MnO pour une moyenne de 3,8 %_{mass} sur l'ensemble des inclusions dosées. Le même raisonnement sur le phosphore permet de séparer les objets pas ou peu phosphoreux comme OUEN 02 et 06 avec 2-3 %_{mass} de P_2O_5 en moyenne, des objets très phosphoreux comme OUEN 07, 18 et 19 dont les teneurs maximales peuvent atteindre 25 %_{mass} de P_2O_5 pour une moyenne de 8-10 %_{mass}.

Pour les spécimens prélevés sur l'agrafe OUEN 02, on remarque que les inclusions les plus pauvres en fer, correspondant donc aux endroits du fourneau où la réduction du minerai a été la plus efficace, semblent également montrer que le silicium a subi un début de réduction (cf. Figure 96). En effet, à mesure que la teneur en oxydes de fer diminue, alors que les teneurs dans tous les éléments non réduits ne cesse d'augmenter, celle de la silice ne dépasse jamais 60 %_{mass} et semble même légèrement décroître par la suite. Cela montre que les conditions de température et de pression au sein du bas fourneau ont localement permis de réduire la silice du minerai³⁸⁴.

La composition globale des inclusions étudiées sur chaque objet montre que OUEN 02, 06 et 07 sont issus de fer de réduction directe (cf. Figure 99). Pour OUEN 02, l'analyse confirme donc les données de l'étude du bâti, qui prônaient une installation des agrafes de la balustrade du triforium au moment de sa construction. Pour OUEN 06 et 07, ces informations confirment également l'hypothèse d'une installation des agrafes de la coursive au moment de sa construction. Le cas de OUEN 18 et 19 est un peu plus particulier, puisqu'il

³⁸⁴ La température de réduction de la silice à pression atmosphérique est de l'ordre de 1700 °C.

s'agissait d'agrafes trouvées hors contexte. La tentative de discrimination par la composition globale des inclusions les place dans la zone indéterminée, assez proche de la limite avec le domaine exclusif du direct (cf. Figure 99). De plus, aucune des inclusions analysées sur ces échantillons ne possédait de marque caractéristique de la réduction indirecte. Au contraire, des inclusions vitreuses à fortes teneurs en aluminium et faibles teneurs en fer situées en zone carburée, davantage caractéristiques de la réduction directe ont pu être observées sur les deux objets. Ces deux agrafes découvertes en position secondaire ont donc probablement été réalisées en fer de réduction directe au moment de la construction de l'édifice. D'après toutes les données recueillies sur ces agrafes, tant au niveau de leur forme que de leur composition, il est difficile de savoir s'il elle appartenaient à la balustrade de triforium ou à la coursive des fenêtres hautes. Au vu du grand nombre d'agrafes manquantes sur la balustrade du triforium, dont des pans entiers ont été déposés, la probabilité que ces deux agrafes proviennent de cette balustrade semble plus importante. L'hypothèse d'une troisième source pour ces agrafes n'est toutefois pas à écarter.

Echantillon	Datation	Teneur en C	Fer phosphoreux	Indice de propreté	Procédé de réduction	Lopin originel
OUEN 02a	1318-1339	0 à 0,8 % _{mass}	NON ?	3,1*	Direct	1 seul lopin
OUEN 02b	1318-1339	0 à 0,8 % _{mass}	NON ?	-	Direct	
OUEN 06a	1318-1339	0 à 0,1 % _{mass}	OUI (SF)	3,1*	Direct	1 seul lopin
OUEN 06b	1318-1339	0 à 0,8 % _{mass}	OUI (SF)	-	Direct	
OUEN 07a	1318-1339	0 à 0,3 % _{mass}	OUI (SF)	2,3*	Direct	1 seul lopin
OUEN 07b	1318-1339	< 0,02 % _{mass}	OUI (SF)	-	Direct	
OUEN 18a	1318-1339	0 à 0,8 % _{mass} + Martensite	OUI (SF)	-	Direct ?	1 seul lopin
OUEN 19a	1318-1339	0 à 0,6 % _{mass}	OUI (SF)	2,5*	Direct ?	1 seul lopin
OUEN 19b	1318-1339	0 à 0,3 % _{mass}	OUI (SF)	-	Direct ?	

Tableau 22: Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les cinq agrafes provenant du chœur de l'église Saint-Ouen de Rouen.

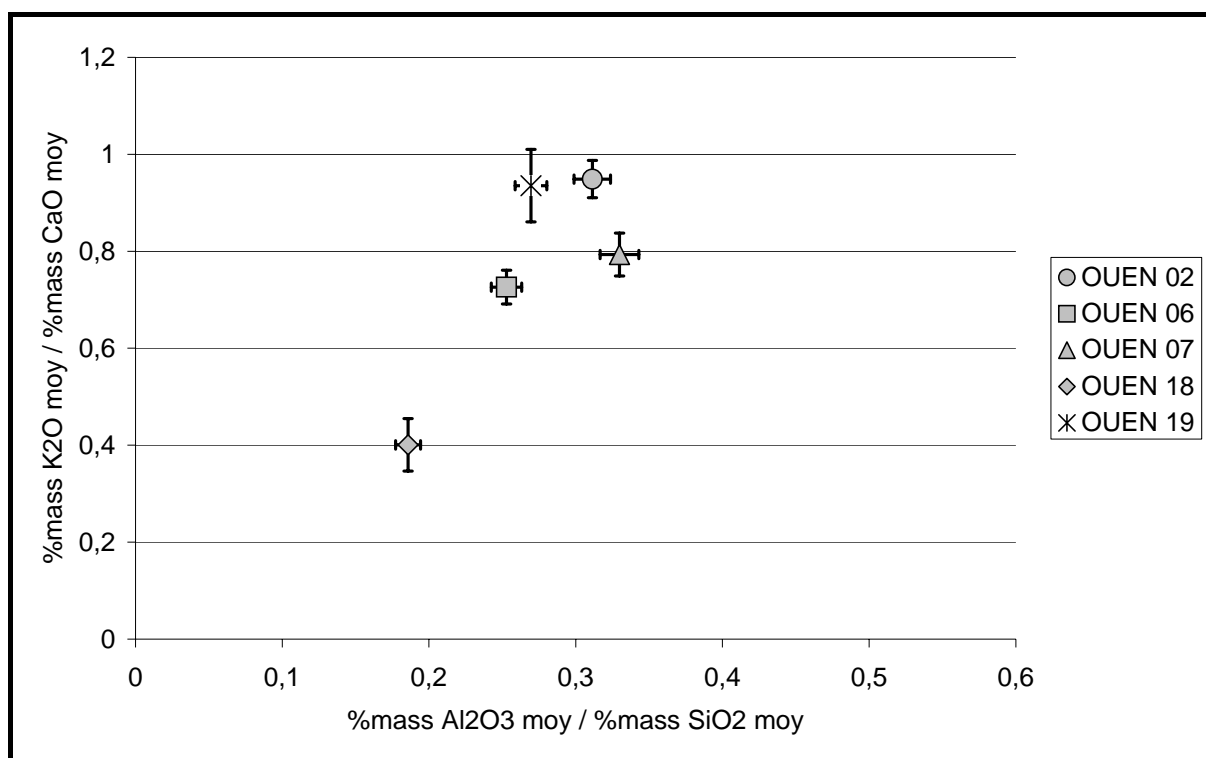


Figure 98 : Comparaison des rapports $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ et $\text{K}_2\text{O}/\text{CaO}$ pour les inclusions des cinq agrafes provenant du chœur de l'église Saint-Ouen de Rouen (1 pt = moyenne de 30 à 50 inclusions environ).

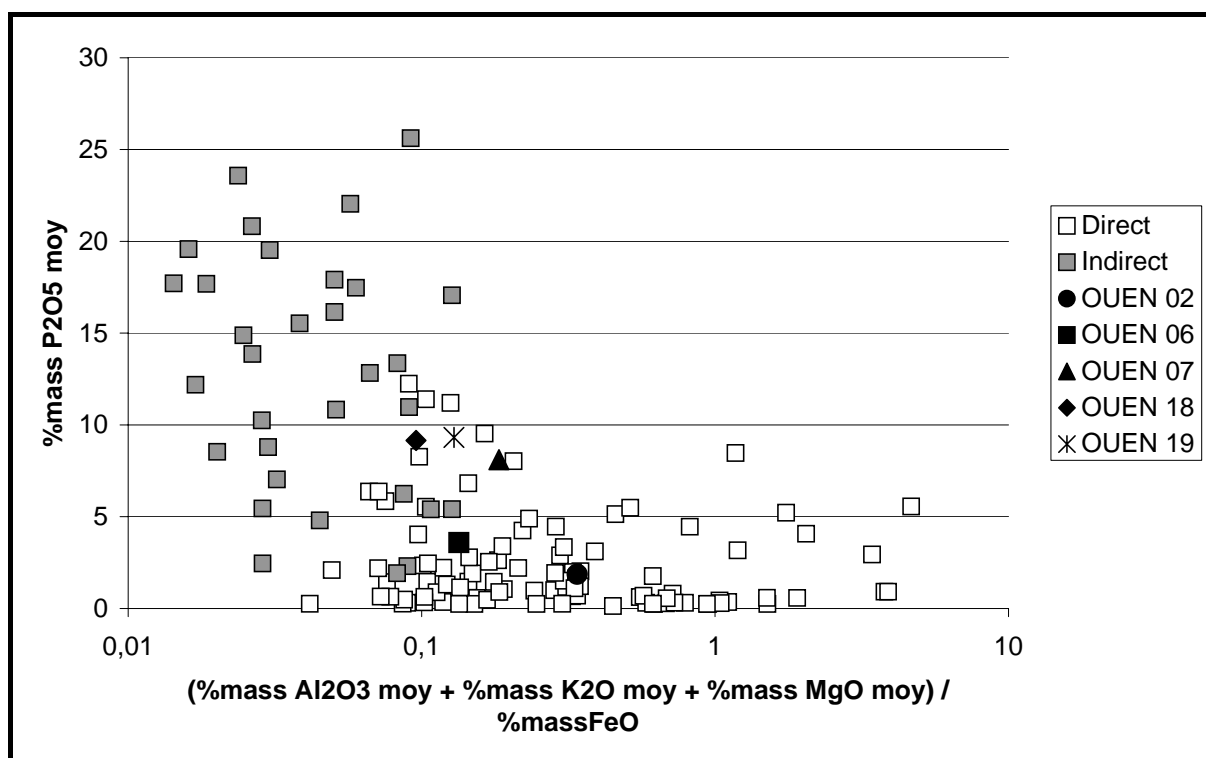


Figure 99 : Discrimination des procédés de réduction pour les cinq agrafes provenant du chœur de l'église Saint-Ouen de Rouen.

1.2.4.3.8 Une barre en linteau

Une première barre en linteau se trouve à l'étage des fenêtres hautes au revers du portail sud. Elle renforce le linteau de l'entrée donnant sur la rose, côté est. Cette barre n'est pas engravée dans la pierre qu'elle soutient. D'une longueur visible de près de 50 cm, elle a une section de 1,5 cm sur plus de 3,5 cm en épaisseur.

Cet exemple de barre assez isolé trouve cependant écho à l'étage supérieur.

Elément de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Tirants	Dans la claire-voie du triforium	43	L = 4 à 7 m Sect. \approx 9 cm ²	1,5 t.	XIV ^e s. - XVI ^e s.
Barres	Fragments ancrés dans les piles de la croisée	4	-	-	?
Crochets	Sur les piles au niveau du triforium	3 par pile	-	-	?
Agrafes	Sur la balustrade de la claire-voie du triforium du chœur	34	L = 37 à 40 cm l = 1 à 1,2 cm	20-40 kg	1318-1339
Agrafes	Sur la balustrade extérieure	11 (120)	L = 35 à 45 cm l = 1 à 1,5 cm e \approx 2 cm	10-15 kg (100-150 kg)	1318-1339 (fer direct)
Agrafes	Sur la coursive extérieure des fenêtres hautes du chœur	50 (65)	L = 30 à 90 cm l = 0,8 à 1,7 cm e \approx 2,5 cm	50-75 kg	1318-1339 (fer direct)
Barre	Linteau au revers du portail sud	1	L = 50 cm Sect. = 1,5 x 3,5 cm	2 kg	?

Tableau 23 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au niveau du triforium, des combles bas et des fenêtres hautes de l'église Saint-Ouen de Rouen.

1.2.4.4 Dans le grand comble et les chéneaux supérieurs

L'étage des combles ne présente pas d'intérêt particulier pour les combles eux-mêmes, aucun élément particulier n'y ayant été découvert. L'attention a donc été reportée sur la coursive extérieure et sa balustrade ainsi que sur la base de la tour de la croisée et sur le beffroi qui s'y trouve.

1.2.4.4.1 *Les balustrades extérieures*

Contrairement aux balustrades des étages inférieurs qui, dans le chœur, présentaient des agrafes, la balustrade des combles en est exempte sur toute sa longueur. Les prospections au détecteur de métaux montrent qu'elle possède des renforts métalliques internes, probablement des goujons horizontaux reliant les blocs de la balustrade les uns aux autres. En l'absence d'éléments brisés, il est impossible de savoir s'il s'agit uniquement d'un coulage de goujons de plomb ou si ces goujons sont bien de fer enrobé de plomb³⁸⁵. Ces balustrades ne sont cependant pas les balustrades originelles, comme l'indique un rapport de restauration des archives du patrimoine³⁸⁶.

Un goujon vertical a également été découvert sur cette balustrade dans le transept nord-ouest. Il est ancré sur un socle situé sur la balustrade au milieu d'une travée, socle destiné à porter un pinacle comme l'indiquent ses homologues restaurés dans les années 1990 sur la façade nord de la nef³⁸⁷. Ce socle, bien qu'intégré à la balustrade entre deux travées fait une légère saillie vers l'extérieur. Contrairement aux balustrades proprement dites, ces blocs de pierre raccordant les balustrades entre les travées sont plus profondément ancrés dans le sol et ne sont pas nécessairement déposés lorsqu'il y a restauration des balustrades. Ce goujon, encore scellé au plomb dans le socle de pinacle, a une longueur visible de 13 cm. Sa section est subcirculaire, d'un diamètre variant entre 3 et 4 cm, cette variation étant probablement due à la corrosion. Sur sa partie visible, il possède des encoches pour qu'il accroche davantage à sa gangue de plomb (cf. Figure 130). Ces encoches, similaires à celles des agrafes mais de taille plus importante, sont au nombre d'une douzaine et sont réparties de manière assez désordonnée sur toute sa surface. Ce goujon a été prélevé sous la référence OUEEN 08 pour analyses métallographiques³⁸⁸.

Deux traces d'ancrage de forme plutôt circulaire pouvant correspondre à de tels goujons ont également été relevées sur cette même balustrade, une du côté du transept nord-est, l'autre à l'extrémité du transept sud-est. Du côté nord-est, le logement de goujon se

³⁸⁵ La présence de plomb est assurée par le joint vertical de plomb entre deux pierres de la balustrade.

³⁸⁶ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 1999/001/0144, carton n°28.

³⁸⁷ D'après les archives disponibles à l'entreprise de maçonnerie Lanfry, le bloc de pierre où se trouve ce goujon et les travées attenantes étaient originellement compris dans la tranche de restauration la plus orientale de la façade nord. Les travaux de restaurations semblent toutefois s'être limités strictement à la nef, puisque ce pinacle et la balustrade qui le portait n'ont pas été remplacés.

³⁸⁸ Les résultats des analyses de ce goujon seront présentés ultérieurement, conjointement à d'autres éléments découverts dans la structure de pinacles.

trouve également dans un bloc de pierre servant de raccord aux balustrades entre les travées et faisant une légère saillie pour porter un pinacle ou une statue. Au sud-est en revanche, le bloc de pierre où se trouve le logement ne fait pas saillie, et marque la fin de la balustrade de ce côté. Il est antérieur à la balustrade qui est actuellement visible, et porte même la trace d'un logement latéral, potentiellement la marque de l'accroche d'une ancienne balustrade, peut-être par un élément de fer. Le logement de goujon à son sommet montre qu'il devait également être décoré d'un petit pinacle ou d'une petite statue.

1.2.4.4.2 Barres de fer en linteaux

Sur les dix barres en linteau découvertes dans la structure de l'église Saint-Ouen, neuf se trouvent à l'étage des combles hauts. Dans le croisillon nord du transept, deux barres se trouvent dans la tourelle de l'angle nord-est et deux empreintes de barres dans celle de l'angle nord-ouest. Une autre barre vient, entre ces deux tourelles, marquer l'entrée des combles du transept nord. Enfin, quatre autres se trouvent au premier étage de la tour de la croisée, au niveau des entrées nord, sud et est, qui distribuent la circulation dans les combles. Seule l'entrée ouest donnant sur la nef en est exempte (cf. Figure 100). La quatrième est au niveau de l'entrée de la tourelle d'escalier dans l'angle nord-ouest, qui mène au deuxième étage de la tour.

Toutes les barres du niveau des combles et les empreintes correspondantes affleurent le niveau du linteau et sont coulées au plomb sans en être recouvertes dans leur partie inférieure. Ces barres ont toutes des dimensions similaires : une longueur visible de 30 à 35 cm environ pour une largeur de 0,5 à 1,5 cm, les largeurs les plus faibles correspondant aux pièces les plus corrodées. Les empreintes de la tourelle nord-ouest donnent une largeur de 1,7 cm. L'épaisseur n'a pu être évaluée que pour celles dont le linteau est par endroits légèrement brisé. Elle semble être en général supérieure à 2 cm. Les empreintes donnent quant à elles une épaisseur de 2,6 cm. Il s'agit donc de barres environ une fois et demie plus épaisses que larges. Les prospections au détecteur de métaux ont permis d'évaluer que le prolongement de ces barres dans les murs est d'au moins 20 cm de part et d'autre, ce qui confirme les observations sur les empreintes de la tourelle nord-ouest (voir Figure 101). Pour 30 à 35 cm visibles, on arrive à une longueur totale de près de 75 cm, pattes comprises, en comptant environ 6 cm par patte, soit un peu plus du double de la longueur visible initiale. Du fait de leur section réduite, ces barres représentent une très petite quantité de fer, avec à peine 2,5 kg pièce.

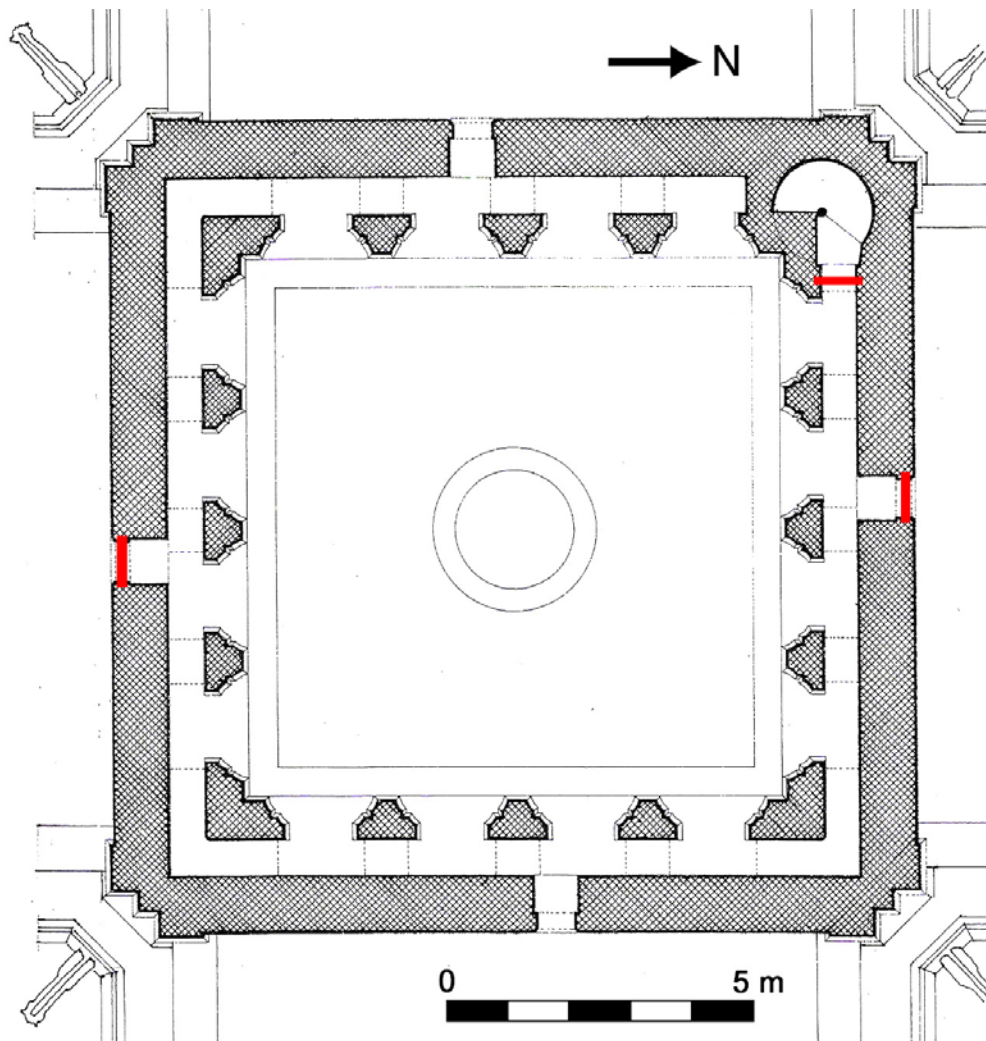


Figure 100 : Barres en linteau à l'étage des combles de l'église Saint-Ouen de Rouen. En haut, plan de la croisée du transept avec leur localisation, d'après un plan de D. Moufle, A.C.M.H.³⁸⁹ En bas à gauche, barre en linteau à l'entrée est de la croisée. En bas à droite, empreinte d'une barre en linteau déposée au niveau du chéneau du transept nord.

³⁸⁹ Médiathèque du Patrimoine, « Etude préalable à la restauration de la tour couronnée », D. Moufle, 2000.



Figure 101 : Mise en évidence de la longueur d'ancrage des barres en linteau dans la maçonnerie par l'intermédiaire d'un détecteur de métaux, croisée du transept de l'église Saint-Ouen.

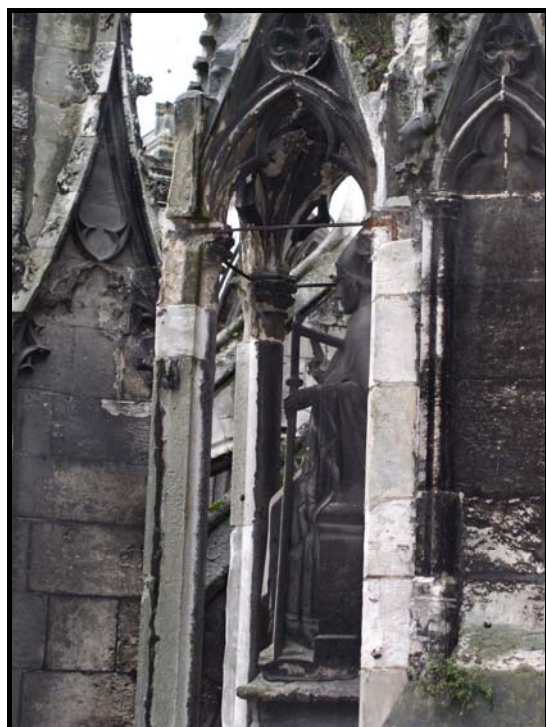


Figure 102 : A gauche, barres de fer dans une niche d'arc-boutant abritant une statue. A droite, chevilles dans le beffroi des cloches de l'église Saint-Ouen.

1.2.4.4.3 *Autres barres de fer*

Des barres de fer similaires se trouvent dans une niche abritant une statue qui orne l'arc-boutant situé dans l'angle de la nef et du transept sud (cf. Figure 102). Au nombre de trois, elles sont également recourbées à leurs extrémités, qui s'enfoncent ainsi dans les poteaux corniers. Elles ne servent pas à renforcer un linteau, mais seulement les arcs de la niche où se trouve la statue.

1.2.4.4.4 *Chevilles dans la charpente du beffroi*

A la base de la tour de la croisée commence le beffroi qui porte les cloches de l'église. Les différents éléments de bois de ce beffroi sont assemblés par tenons et mortaises. Des chevilles viennent bloquer ces assemblages. La plupart sont en bois, mais certaines sont en fer (cf. Figure 102). Au premier niveau de cette charpente, le seul ayant pu être appréhendé pour des raisons évidentes d'accessibilité, ces chevilles se trouvent dans des assemblages spécifiques. Elles sont donc disposées de manière régulière : deux par poteau d'angle et trois pour chacun des deux poteaux latéraux des côtés ouest et est de la charpente, soit vingt chevilles en fer en tout pour ce premier niveau ; tous les autres assemblages sont chevillés au moyen de chevilles de bois. Cette charpente date du tout début du XVIII^e siècle³⁹⁰.

La disposition bien particulière de ces chevilles en fer laisse envisager qu'elles ont été mises en œuvre au niveau d'assemblages où les contraintes mécaniques sont plus importantes et pour lesquels de simples chevilles en bois auraient peut-être eu une résistance trop limitée. Une étude plus poussée des forces en jeu sur cette charpente serait nécessaire afin de confirmer ou d'infirmer ces suppositions.

Ces chevilles en fer ont une section circulaire et une pointe de forme variable, se rapprochant d'une forme pyramidale de base rectangulaire. Le diamètre maximal en est d'environ 2,4 à 2,8 cm contre 1,2 à 1,6 cm pour le diamètre minimal, avec des longueurs assez stables de près de 33 cm. Trois pointes de chevilles ont été prélevées pour analyse métallographique sous les références OUEN 15, OUEN 16 et OUEN 17 (cf. Figure 103).

³⁹⁰ H. de la Bunodière cite un extrait du « Livre huitième des choses notables de l'abbaye », LA BUNODIERE (H. de), *Notice archéologique ...op. cit.*, p. 33. A. P. M. Gilbert en fait également mention et cite quant à lui les « Mémoires manuscrits sur l'abbaye de Saint-Ouen », GILBERT (A. P. M.), *Description historique... op. cit.*, p. 38.

Une section a été réalisée sur chacune des trois pointes de chevilles. Toutes ont une matrice complètement ferritique (cf. Figure 104). A l'attaque Nital, les trois sections présentent également des « structures fantômes », caractéristiques d'un fer phosphoreux (cf. Figure 105). Les matrices de ces sections comportent également de nombreuses inclusions, fines et assez allongées. L'indice de propreté inclusionnaire mesuré pour chacune d'entre elle donne une propreté plutôt moyenne à médiocre, comprise entre 2* pour OUEN 16a et 3* pour OUEN 15a (cf. Tableau 24). L'observation au microscope optique révèle que ces inclusions sont pour la plupart constituées d'une matrice de fayalite avec des dendrites de wüstite en plus ou moins grande quantité. Le dosage des inclusions de ces trois sections montre qu'elles sont essentiellement constituées d'oxydes de fer et de phosphore avec 12 à 21 %_{mass} de P₂O₅. Elles sont en revanche très pauvres en aluminium et potassium. Ces faibles teneurs en éléments non réduits rendent difficile l'étude de l'homogénéité des inclusions, le seul rapport réellement exploitable étant le rapport SiO₂/CaO, qui n'est pas forcément le plus fiable, le calcium pouvant provenir d'ajouts lors de la phase d'affinage pour la réduction indirecte et former des phases entraînant des « effets de pépité ». Ce rapport ne semble d'ailleurs assez constant que pour l'échantillon OUEN 16a, avec un coefficient de détermination R² de 0,87. La pointe de cette cheville est donc sans doute issue d'un fer homogène. Un prélèvement à l'autre extrémité de la cheville serait nécessaire pour conclure qu'elle est toute entière issue d'un fer « neuf ». Au vu du faible nombre d'éléments considérés, il est néanmoins difficile de savoir si la dispersion pour les spécimens OUEN 15a et 17a est due à un « effet de pépité » ou si elle est la conséquence d'un mélange de fers d'origines différentes. En l'absence de marques de soudures, la première hypothèse reste privilégiée. Malgré ces approximations, les trois objets semblent toutefois issus de métaux d'origines distinctes. Les sections OUEN 15a et 17a possèdent en outre certaines inclusions présentant des phases d'oxydes de chrome et de vanadium. D'après la composition de leurs inclusions et la présence de ces phases caractéristiques, ces trois chevilles sont issues de fer de réduction indirecte, ce qui est parfaitement compatible avec leur datation aux alentours de 1700 (cf. Figure 106).

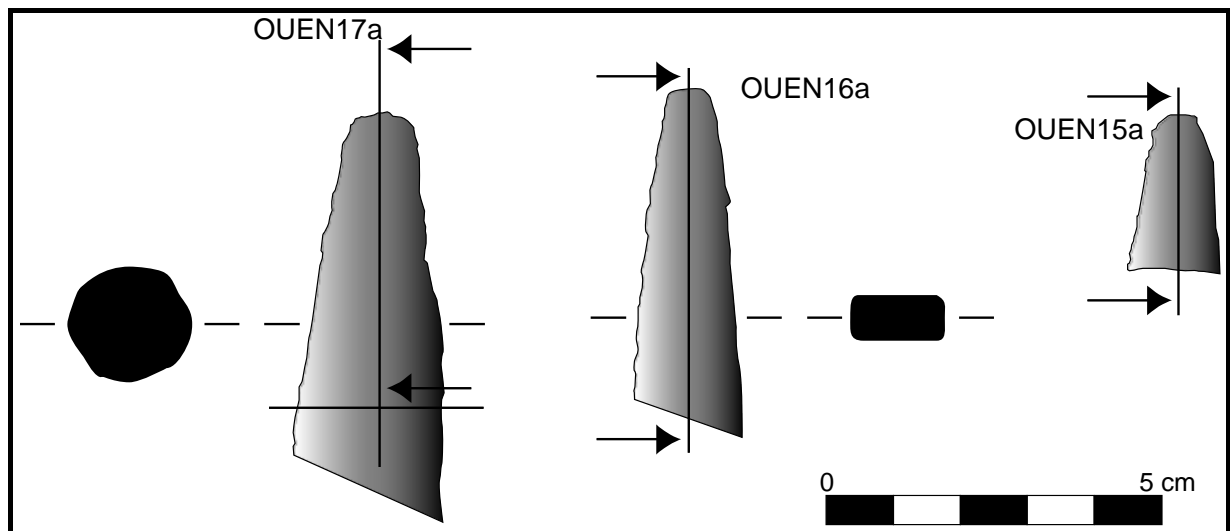


Figure 103 : Corpus d'étude métallographique pour les chevilles du beffroi de l'église Saint-Ouen de Rouen avec localisation des sections.

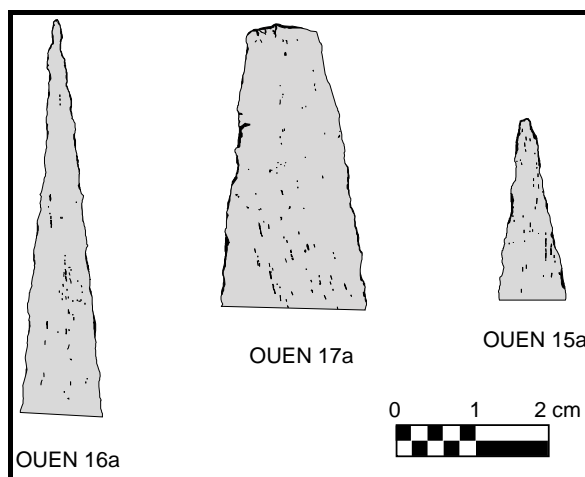


Figure 104 : Structure métallographique des chevilles du beffroi de l'église Saint-Ouen de Rouen.

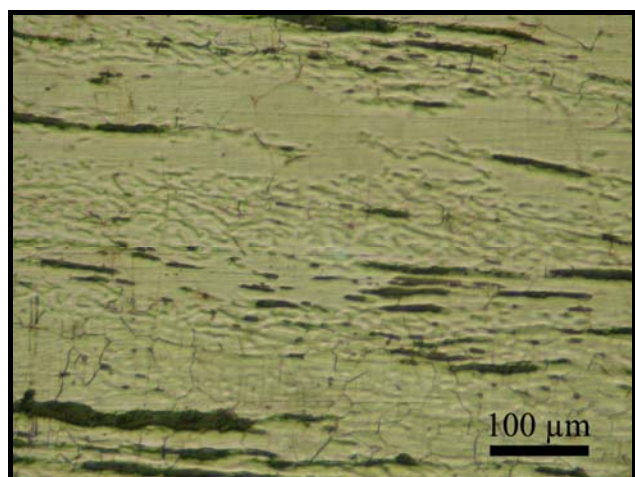


Figure 105 : Structures fantômes, OUEN 15a, attaque Nital.

Echantillon	Datation	Teneur en C	Fer phosphoreux	Indice de propreté	Procédé de réduction	Lopin originel
OUEN 15a	Vers 1700	< 0,02 % _{mass}	OUI (SF)	3*	Indirect	?
OUEN 16a	Vers 1700	< 0,02 % _{mass}	OUI (SF)	2*	Indirect	1 seul lopin
OUEN 17a	Vers 1700	< 0,02 % _{mass}	OUI (SF)	2,3*	Indirect	?

Tableau 24: Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les trois chevilles prélevées dans le beffroi de l'église Saint-Ouen de Rouen.

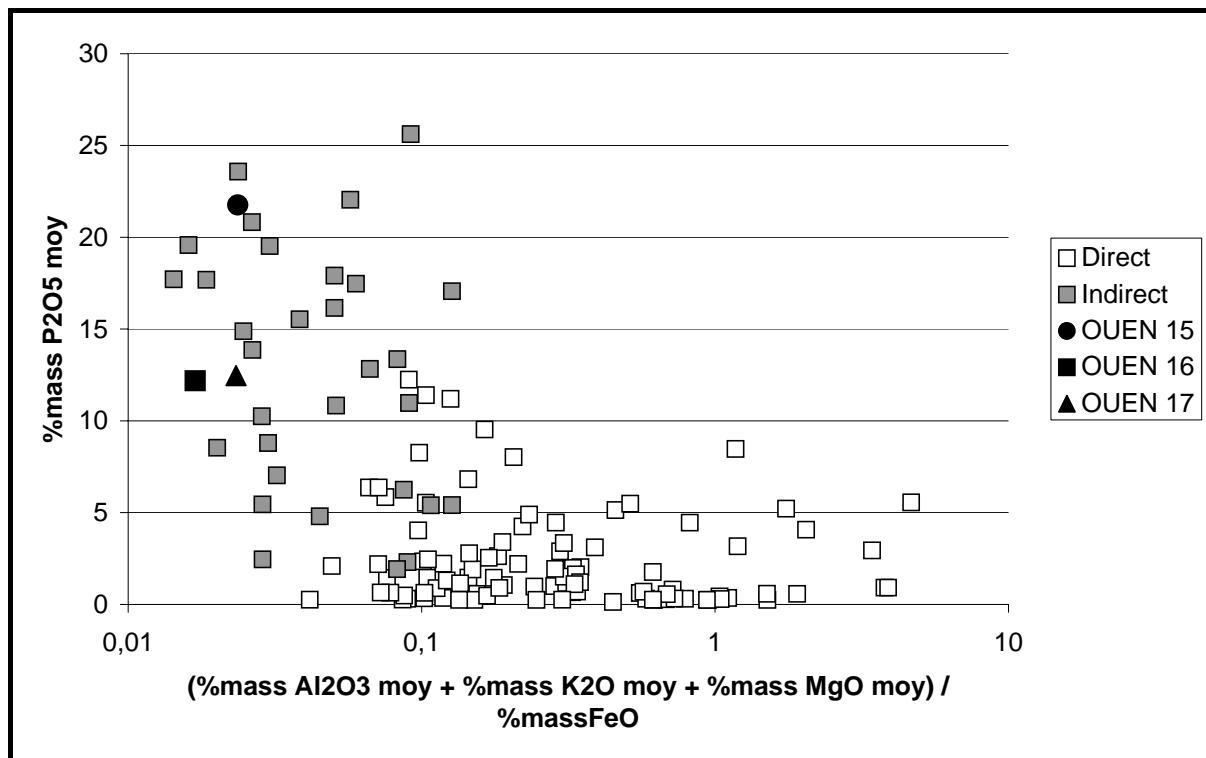


Figure 106 : Discrimination des procédés de réduction pour trois chevilles prélevées dans le beffroi de l'église Saint-Ouen de Rouen.

Elément de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Goujon	Socle de pinacle sur la balustrade extérieure	1	L = 13 cm Diam.. = 3 à 4 cm	1 kg	?
Barres	Linteaux	9	L ≈ 75 cm l = 0,5 à 1,7 cm e > 2 cm	5-10 kg	XIV ^e -XV ^e s.
Barres	Niche de statue sur un arc-boutant dans le transept nord	3	-	-	?
Chevilles	Assemblages du beffroi	20	L ≈ 33 cm Diam. = 2,4 à 2,8 cm	20-25 kg	1700

Tableau 25 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au niveau du grand comble de l'église Saint-Ouen de Rouen.

1.2.4.5 Deuxième étage de la tour de la croisée

Partie la plus haute de l'édifice, la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen est probablement celle où le plus d'éléments de fer ont été mis au jour. Le deuxième étage de la tour, qui sert toujours d'abri aux cloches de l'église, recèle en particulier quantité d'agrafes et de tirants de fer.

1.2.4.5.1 Les tirants de la claire-voie

La structure du deuxième étage de la tour de la croisée est composée de deux parements délimitant un couloir de circulation. Le parement intérieur, qui entoure directement le beffroi, est constitué de meneaux ; le parement extérieur se compose quant à lui de balustrades surmontées de baies à meneaux. On dénombre cinq cours de tirants à cet étage de la tour : trois au niveau du parement intérieur et deux à l'extérieur (cf. Figure 107 et Figure 126). Les tirants du parement extérieur passent, l'un au niveau d'une première série de petites arcatures, situées à peu près à mi-hauteur de la baie, et l'autre en partie supérieure, à la base du réseau des arcades. Les trois cours de tirants internes semblent également être répartis de manière régulière sur la hauteur de la claire-voie, bien que leur appréhension soit plus difficile en raison des abat-sons placés entre les meneaux. Tous les ancrages sont faits au plomb.

Les restaurations précédés d'une étude préalable réalisée en 2000 ont été engagées depuis l'année 2005 sur la tour couronnée de l'église Saint-Ouen, notamment à cause de la corrosion de ces tirants de fer qui ont fait éclater un certain nombre des meneaux des baies. Les scellements au plomb n'ont en effet pas empêché le ruissellement et l'infiltration des eaux et ont au contraire plutôt joué un rôle de réservoir d'humidité, ce qui explique la corrosion extrême des fers à ce niveau de l'édifice. Ces restaurations ont néanmoins permis d'avoir un meilleur accès aux tirants du parement externe, grâce à la présence d'échafaudages extérieurs. Les observations ont été effectuées sur les faces ouest et nord, correspondant à la première tranche de restauration en cours au printemps 2006 (cf. Figure 108). Les sections de tirants mesurées sont rectangulaires allant de 2 à 3 cm sur 6 à 7 cm. A quelques endroits, ces tirants se dédoublent dans le sens de l'épaisseur, formant alors deux barres distinctes ayant le même profil et la même section sub-carrée (cf. Figure 108). Il est fort vraisemblable que l'intégralité de ces tirants - ou tout du moins une grande partie d'entre eux - soit le résultat de la superposition par soudure à la forge de deux barres de section carrée d'environ 2,5 à 3 cm

de côté. On peut en effet suivre la marque de cette soudure sur toute la longueur de certains tirants. Les cours de tirants du parement intérieur sont de plus petite section, surtout la barre médiane, et les marques d'une telle mise en forme n'ont pas été appréhendées. On a toutefois pu observer un vice de mise en forme à l'endroit où un de ces tirants est brisé, juste avant de pénétrer dans la maçonnerie : sur toute la longueur de ce tirant, on observe une diminution de section, en particulier de l'épaisseur, comme si le tirant, à l'origine trop court, avait dû être étiré afin de pouvoir être disposé dans la baie (cf. Figure 108).

En 2004, nous faisons l'hypothèse de la continuité de ces tirants à l'intérieur des angles de la tour, afin de constituer un chaînage (cf. Figure 107)³⁹¹. Les restaurations ont permis de mettre en évidence ces liaisons pour les deux cours de tirants du parement extérieur et ont donc confirmé la présence d'au moins deux chaînages enserrant le deuxième étage de la tour de la croisée.

Les deux chaînages sont identiques dans leur façon et leur mise en œuvre. Ils sont constitués comme suit. Sur chaque face de la tour, chaque chaînage se compose de quatre chaînons distincts. Les deux chaînons centraux traversant les baies étaient visibles avant restauration ; ils ont été décrits précédemment. Les restaurations montrent qu'ils sont ancrés d'environ 50 cm dans les piédroits, ce qui leur donne une longueur totale de près de 3,6 m. Les deux chaînons latéraux mesurent environ 2 m de long et ont une section deux fois plus petite, à peu près carrée de 2,5 à 3 cm de côté. Ces éléments latéraux semblent identiques aux barres à partir desquelles les gros chaînons sont formés par superposition et soudure. Presque totalement ancrés dans la maçonnerie, bien que parfois affleurant le parement extérieur³⁹², ils étaient intégralement scellés au plomb. Cependant, la couche de plomb, très inégalement répartie, et souvent d'épaisseur inférieure au millimètre, s'est souvent décollée et n'a pas pu empêcher les infiltrations d'eau et la corrosion de ces éléments. Les quatre chaînons sont à leurs deux extrémités systématiquement recourbés à l'instar d'agrafes. La liaison entre les chaînons est assurée par des sortes d'yeux de fer de forme oblongue, mesurant 10 cm de large sur 17 cm de long (cf. Figure 108). La section des barres les composant est carrée, d'environ 2 cm de côté. Les chaînons viennent s'y accrocher par leurs extrémités recourbées³⁹³. Dans les angles, le système est identique : les barres latérales des deux faces différentes viennent

³⁹¹ L'HERITIER (M.), *L'utilisation du fer dans les églises Saint-Ouen et Saint-Maclou de Rouen. Etude archéologique et archéométallurgique*, Rapport d'activité archéologique, 2004, p. 20.

³⁹² Un tirant apparaît au niveau d'une petite fenêtre éclairant l'escalier qui se trouve dans l'angle nord-ouest.

³⁹³ L'assemblage décrit ici n'a pas été observé pour la jonction entre les deux grosses barres au milieu de chaque face. Cependant, au vu de l'homogénéité des autres jonctions il paraîtrait étrange qu'il ne soit pas identique. Les restaurations futures viendront sûrement confirmer cette hypothèse.

s'accrocher à un œil du même type (cf. Figure 108). Ces assemblages semblent pourtant très instables et peu adaptés à des tensions extrêmes. Tout d'abord les extrémités recourbées des chaînons ne dépassent pas sous les yeux où ils s'accrochent et ne viennent donc pas s'ancrer dans la pierre. Le chaînage est donc en quelque sorte indépendant de la maçonnerie : il repose uniquement dessus. Enfin un jeu important a été observé au niveau de chaque assemblage : la tension du système ne semble assurée que par la présence du plomb. Au vu de ces observations, il semble que ces chaînages ne soient pas destinés à supporter des tensions continues et trop importantes. Protection contre des événements climatiques exceptionnels ? Mesure de sécurité prévisionnelle pour la charge du troisième étage de la tour couronnée ? Les hypothèses quant à son installation sont nombreuses. Au vu des importantes dégradations qu'ont subi ces chaînages, certains étant même rompus, il est évident qu'ils ne peuvent plus jouer un rôle primordial dans la statique de la tour.

Ces chaînages représentent une importante masse de fer, avec la mise en œuvre de barres de fer de grandes dimensions. D'après la longueur et la section des différents éléments, un gros chaînon central pèse en moyenne 45 kg et correspond à la superposition par soudure de deux barres de 22,5 kg chacune. Un petit chaînon latéral pèse quant à lui 12,5 kg. De même chaque œil fait environ 1,5 kg. Avec huit gros et huit petits chaînons ainsi que seize yeux par chaînage, on arrive à un total de près de 500 kg de fer, soit 1 tonne pour les deux chaînages du parement extérieur. Les barres du parement intérieur sont de sections plus petites et leur continuité n'a pas été prouvée. En prenant une section moyenne de 10 cm², ils représentent quand même au moins 300 kg de fer chacun, soit un total d'environ 2 tonnes pour l'ensemble de ces chaînages.

Avant restauration, une esquille millimétrique de ce chaînage a été prélevée pour analyse sur la barre qui passe dans la tourelle d'escalier située au nord-ouest, sous la référence OUEEN 11. Elle sera l'occasion de voir si ces importantes barres de fer sont faites ou non d'un fer issu de la filière indirecte, déjà présente dans certaines régions de France en cette première moitié de XV^e siècle, époque à laquelle cet étage de la tour de la croisée a été élevé³⁹⁴. Les travaux actuellement en cours sur la tour ne semblent pas pouvoir permettre d'envisager la dépose de morceaux de tirants de plus grande taille, le parti pris de la restauration étant de conserver le maximum d'éléments anciens. Même les tirants brisés du parement intérieur sont destinés à être reforgés pour pouvoir être remis en place.

³⁹⁴ En Normandie, le procédé indirect ne semble se développer qu'à partir de la seconde moitié du XV^e siècle, D. Arribet-Deroin dans BELHOSTE (J.-F.), LECHERBONNIER (Y.), ARNOUX (M.), ARRIBET (D.), AWTY (B.G.), RIOULT (M.), *La métallurgie normande...*, op. cit., p. 51.

Outre les tirants, le deuxième étage de la tour de la croisée recèle au moins une centaine d'agrafes, à la fois au sol et sur les balustrades.

I.2.4.5.2 Agrafes sur la balustrade à claire-voie

A l'image du triforium du chœur, le parement extérieur au deuxième étage de la tour de la croisée est pourvu d'une balustrade qui est renforcée par une série de petites agrafes. On en compte vingt-sept encore en place pour une seule disparue, sur les vingt-neuf jointures de pierres de la balustrade pouvant être ainsi renforcées (cf. Figure 109). L'utilisation d'agrafes revêt donc ici aussi sans aucun doute un caractère systématique.

Toutes ces agrafes sont abondamment scellées au plomb. Vingt-quatre sont encore entières et la plupart en bon état. Certaines sont néanmoins corrodées et plus ou moins sorties de leur logement. Leurs dimensions admettent peu de variations : des longueurs visibles mesurant entre 16 et 21 cm, avec une répartition régulière autour de la moyenne 18,5 (cf. Figure 113). Les deux retours mesurés font l'un 2,2 cm, l'autre 3,5 cm, on a donc des longueurs totales qui n'excèdent probablement pas les 30 cm. Ces agrafes sont donc de petite taille par rapport à celles qu'il nous a jusqu'à alors été permis de rencontrer sur l'édifice. Les largeurs sont comprises entre 1,5 et 2 cm pour 1,8 cm en moyenne (cf. Figure 114) et les épaisseurs entre 0,7 et 1,4 cm (1,1 cm en moyenne). Il s'agit donc là pour la première fois d'agrafes plus larges qu'épaisses.

Les deux niveaux supérieurs de ce même parement, situés respectivement juste au dessus du passage de chaque chaînage, sont identiquement garnis de petites d'agrafes en tous points semblables (cf. Figure 110). Elles n'ont pas été mesurées et analysées faute d'accessibilité.

Il est impossible d'être certain de l'origine de ces agrafes de par leur position stratigraphique. Elles auraient toutes pu être ajoutées à tout moment, même si le caractère systématique de leur emploi montre qu'il ne s'agit vraisemblablement pas là d'une consolidation ultérieure ponctuelle, suite à un désordre. Au contraire, en considérant l'accessibilité réduite aux agrafes des deux niveaux supérieurs, il semblerait plus logique qu'elles soient toutes issues de la phase initiale de construction, pendant la première moitié du XV^e siècle, car les échafaudages permettant leur mise en œuvre étaient encore en place.

Deux des agrafes de la balustrade basse qui étaient sorties de leur logement ont été prélevées sous les références OUVEN 09 et OUVEN 10.

1.2.4.5.3 Agrafes au sol du couloir de circulation

Le sol du deuxième étage de la tour est également le siège de la mise en œuvre de nombreuses agrafes.

Dix agrafes sont tout d'abord au sol au beau milieu du couloir de circulation (cf. Figure 111). La plupart ont une orientation radiale. Elles sont toutes coulées au plomb et ont des longueurs visibles plutôt stables, comprises entre 30 et 36 cm pour la plupart. L'une d'elle dépasse les 38 cm et une autre, beaucoup plus petite, n'en fait que 23. Toutes ces agrafes font environ 1 cm de large, la seule épaisseur mesurée étant de 2,2 cm. Une seule de ces agrafes est brisée. Une section en a été prélevée sous la référence OUVEN 22. Une esquille a également été prélevée sur l'agrafe située au niveau du pas de la porte de la tourelle d'escalier sous la référence OUVEN 23.

D'autres agrafes sont situées sous les parements extérieur et intérieur qui encadrent ce couloir (cf. Figure 111). Elles apparaissent aux endroits où des pierres manquent et sont toujours orientées parallèlement aux parois. Toutes coulées au plomb, elles sont dans un bon état de conservation. Le nombre précis de ces agrafes n'a pas pu être mis en évidence, la plupart étant occultées par les pierres encore en place. Elles semblent de facture et de dimensions assez similaires à leurs homologues du couloir de circulation. Si les observations réalisées pendant la restauration de la tour ont permis de mettre en évidence leur présence de manière plus systématique, il n'a pas été possible d'effectuer de mesures sur ces séries d'agrafes. Une restitution du système d'agrafes au sol du deuxième étage de la tour de la croisée est proposée en Figure 109. La grande quantité d'agrafes présente à ce niveau permet d'imaginer un ensemble d'agrafes peut-être aussi important aux assises inférieures. Celles-ci ne pourront être découvertes qu'à la suite de restaurations en profondeur de la tour³⁹⁵.

³⁹⁵ Les restaurations actuellement prévues sur la tour ne comprennent que la remise en état des façades. Le sol du deuxième étage de la croisée est plutôt en bon état.

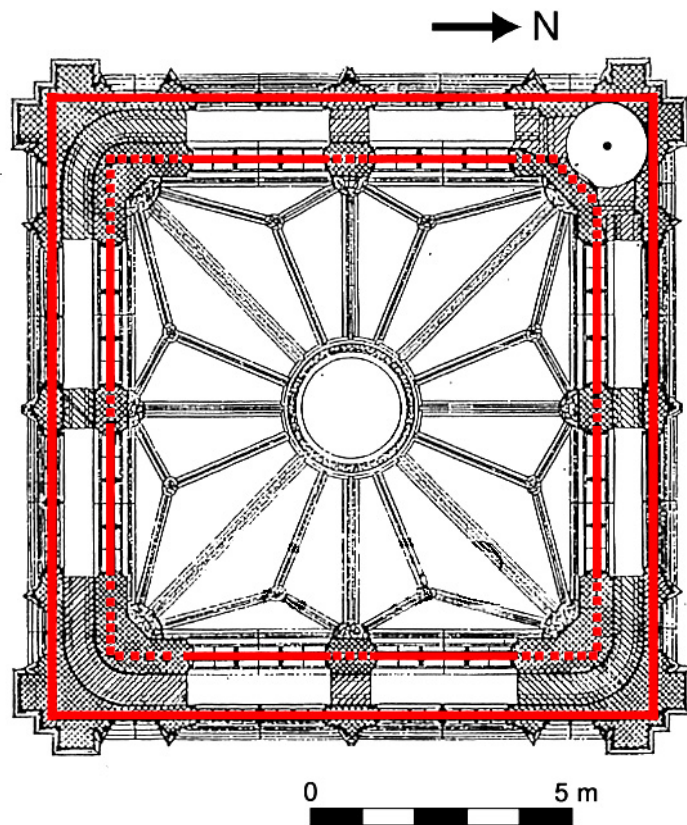


Figure 107 : Tirants du 2^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen, dessin M. L'Héritier d'après un plan de D. Moufle, A.C.M.H.³⁹⁶

³⁹⁶ Médiathèque du Patrimoine, « Etude préalable à la restauration de la tour couronnée », D. Moufle, 2000.



Figure 108 : Tirants du deuxième étage de la tour de la croisée. En haut, tirants du parement extérieur ; au milieu, systèmes de liaison des tirants ; en bas, tirants du parement intérieur.

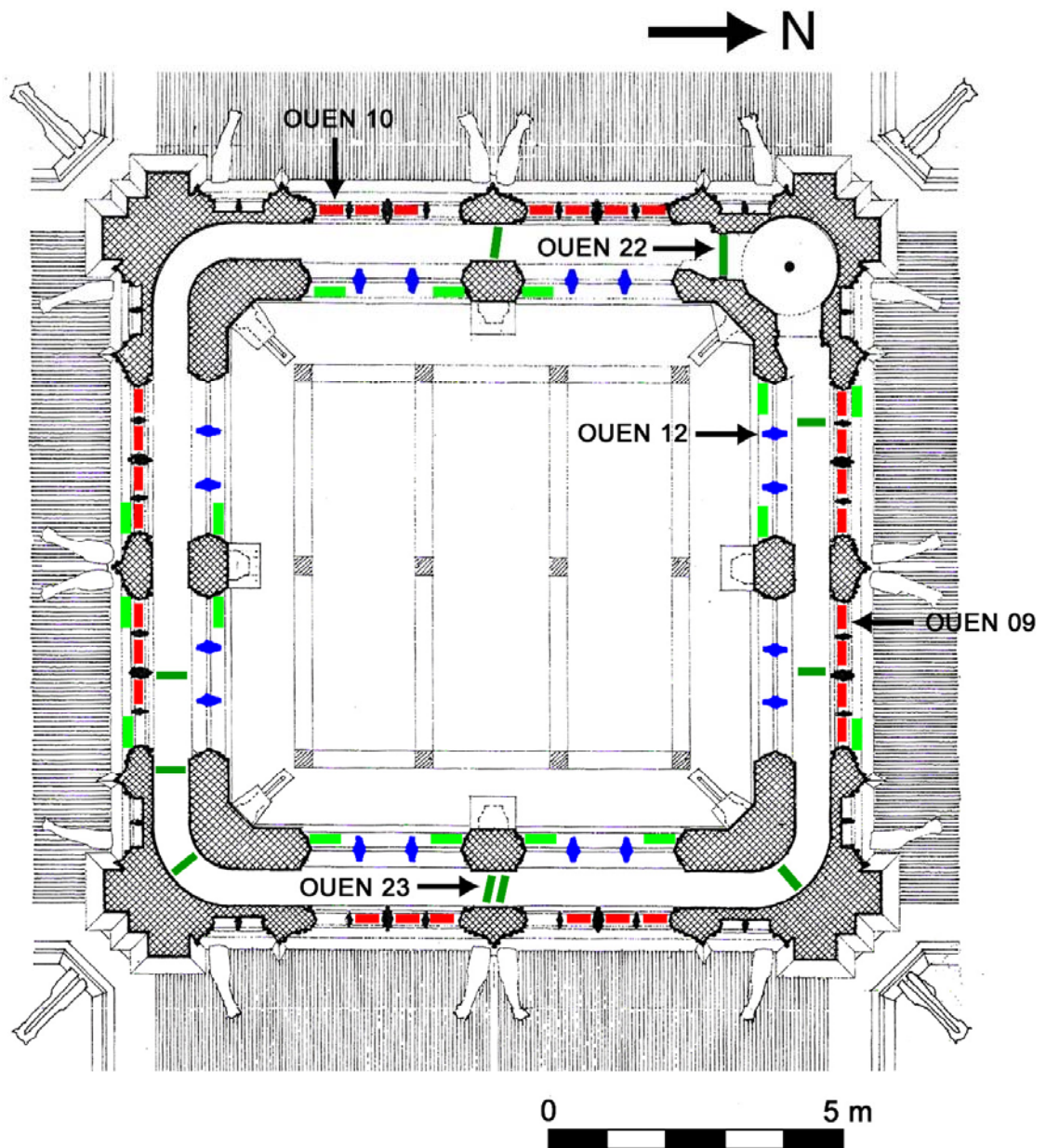


Figure 109 : Plan des agrafes et barres de fer retrouvées au deuxième étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen, dessin M. L'Héritier d'après un plan de D. Moufle, A.C.M.H.³⁹⁷.

En rouge, agrafes de la balustrade de la claire-voie extérieure (deux niveaux d'agrafes).

En vert foncé, agrafes au sol du couloir de circulation.

En vert clair, agrafes passant sous les pierres des parements intérieurs et extérieurs. Toutes n'ont pas été appréhendées.

En bleu, meneaux goujonnés de barres de fer (systématisation par détecteur de métaux).

³⁹⁷ *Ibidem*.

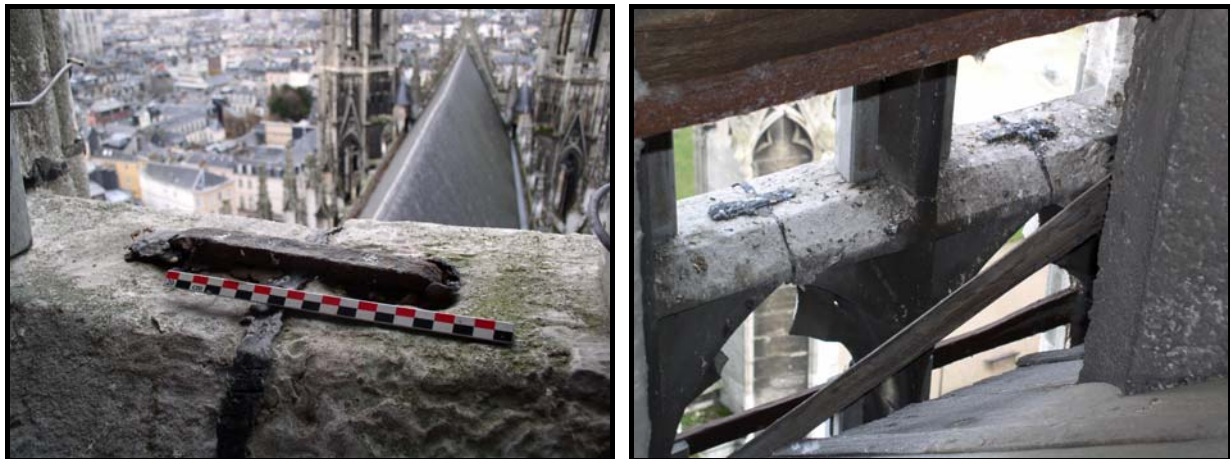


Figure 110 : Agrafes de la balustrade à claire-voie au 2^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen.



Figure 111 : Agrafes au sol du 2^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen.



Figure 112 : Petites barres de fer goujonnant les meneaux du parement intérieur du 2^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen.

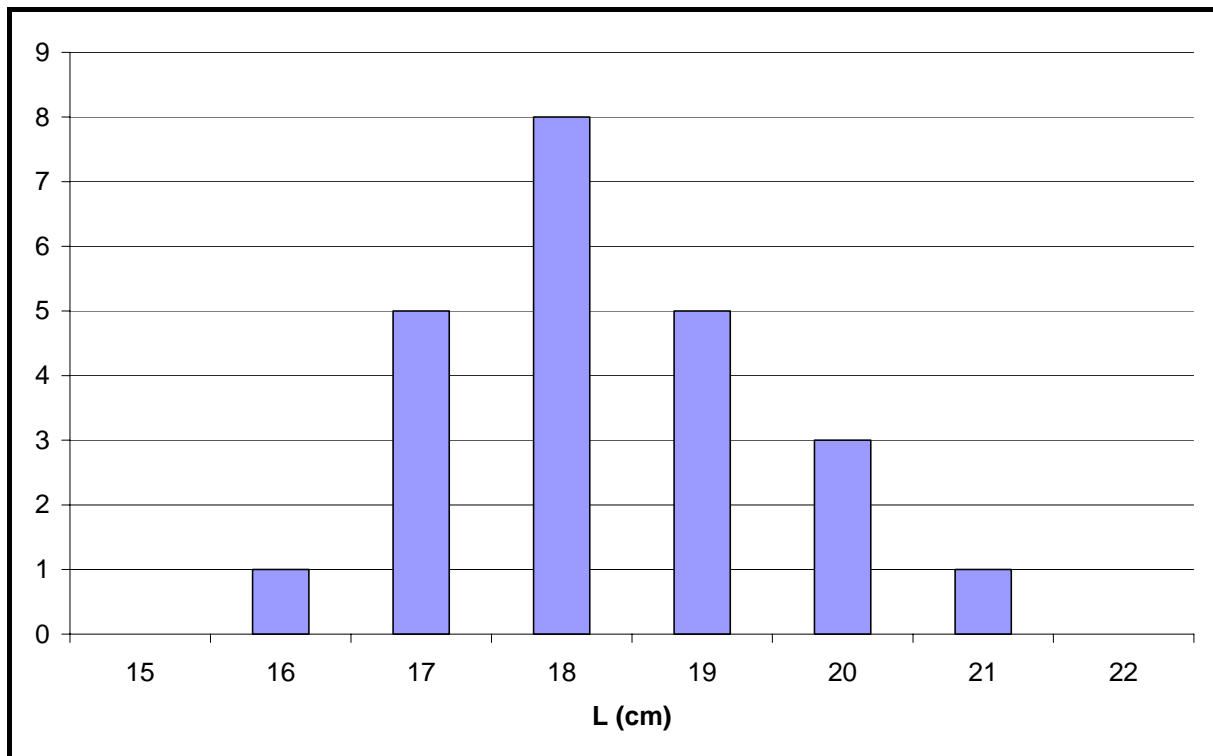


Figure 113 : Longueurs des agrafes de la balustrade de la claire-voie au deuxième étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen de Rouen.

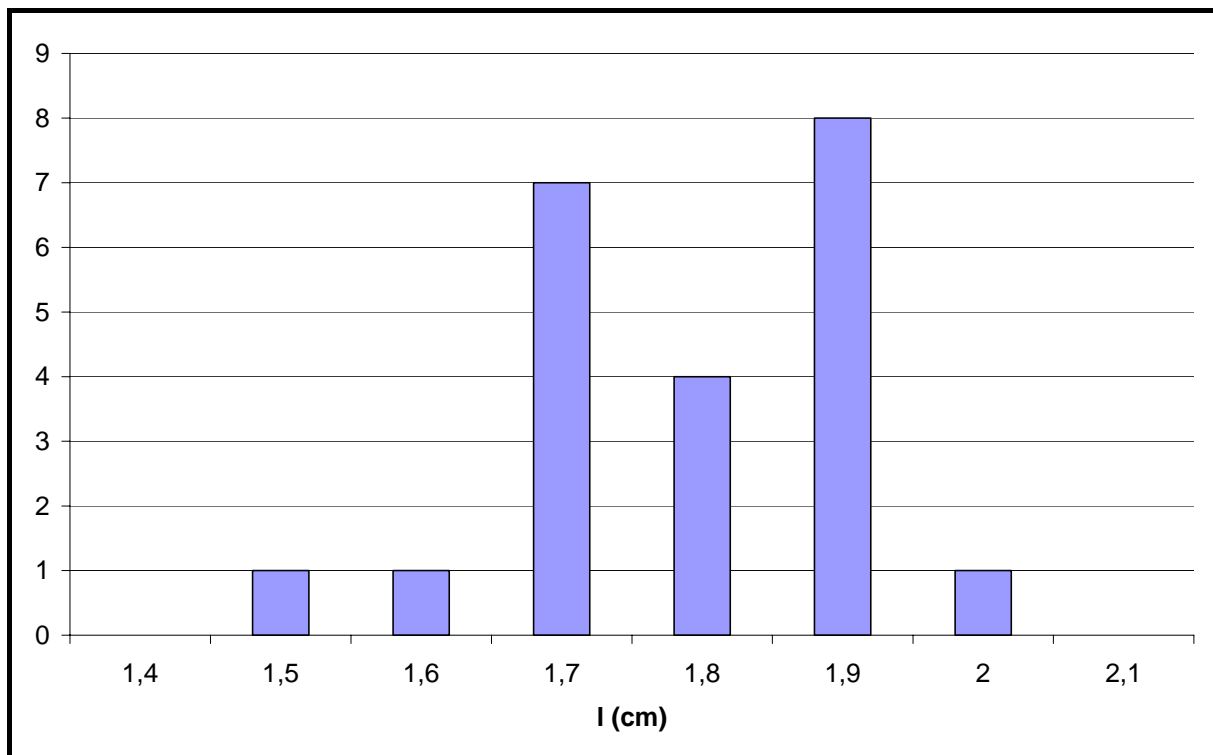


Figure 114 : Largeurs des agrafes de la balustrade de la claire-voie au deuxième étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen de Rouen.

1.2.4.5.4 Agrafes dans la tourelle d'escalier

Trois agrafes se trouvent enfin dans le parement intérieur de la tourelle d'escalier, au niveau du deuxième étage de la tour. Ces trois agrafes en place servent à liaisonner des pierres dans un plan vertical. Elles sont de dimensions assez similaires : 32 à 33 cm de long et 1 à 1,2 cm de large, pour des épaisseurs au moins deux fois supérieures. On comprend toutefois mal leur présence à cet endroit précis de la structure, qui ne semble pas avoir connu de désordres particuliers.

1.2.4.5.5 Goujons dans les meneaux

Des goujons ont également été découverts à la base des meneaux du parement intérieur de ce deuxième étage de la tour de la croisée (cf. Figure 109). Initialement mis en évidence grâce à un meneau brisé sur la face nord du parement, le caractère systématique de l'emploi de goujons dans ces meneaux a été confirmé grâce au détecteur de métaux.

L'observation sur le meneau brisé montre que ce dernier est en fait consolidé par deux goujons parallèles, tous deux scellés au plomb (cf. Figure 112). Le premier est de section plus ou moins carrée de 1,5 à 2 cm de côté sur au moins 21 cm de long. Le second, brisé et très corrodé, n'avait plus sa forme ni sa dimension originelles ; il a permis d'effectuer un prélèvement sous la référence OUVEN 12.

1.2.4.5.6 Analyses métallographiques des éléments du deuxième étage de la tour de la croisée

Six prélèvements ont donc été réalisés au deuxième étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen, élevé pendant la première moitié du XV^e siècle. Il s'agit de deux agrafes de balustrade, deux agrafes au sol, d'un goujon et d'une esquille de tirant (cf. Figure 115). Si seules les datations du tirant et du goujon sont assurées par leur position dans le bâti, l'emploi très symétrique et systématique d'agrafes au sol et sur les balustrades, notamment à des endroits désormais inaccessibles, donnent des éléments probants pour émettre l'hypothèse d'une datation contemporaine de la période de construction. Seul le goujon OUVEN 12 a fait l'objet d'une coupe transversale et d'une coupe longitudinale. Une unique section par objet a été réalisée sur chacun des cinq autres éléments.

Référence	Description	Localisation	Datation
OUEN 09	Agrafe	Balustrade extérieure du 2 ^e étage de la tour de la croisée	1 ^e moitié du XV ^e s.
OUEN 10	Agrafe	Balustrade extérieure du 2 ^e étage de la tour de la croisée	1 ^e moitié du XV ^e s.
OUEN 11	Esquille de tirant	Tirant bas du parement extérieur du 2 ^e étage de la tour de la croisée.	1 ^e moitié du XV ^e s.
OUEN 12	Goujon (fragment)	Meneau du parement intérieur au 2 ^e étage de la tour de la croisée.	1 ^e moitié du XV ^e s.
OUEN 22	Agrafe	Sol du 2 ^e étage de la tour de la croisée	1 ^e moitié du XV ^e s.
OUEN 23	Agrafe (?)	Sol du 2 ^e étage de de la tour de la croisée au niveau du pas de la porte de l'escalier.	1 ^e moitié du XV ^e s.

Tableau 26 : Liste des échantillons analysés au 2^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen de Rouen.

Les sections OUEN 12a et 22a ont une structure complètement ferritique. Les cinq autres spécimens montrent en revanche une structure extrêmement hétérogène, alliant zones plus ou moins carburées pouvant titrer jusqu'à 0,8 %_{mass} de carbone (cf. Figure 116). Malgré la présence de zones fortement carburées, la section OUEN 12b reste à forte dominance ferritique. Ces zones de différents degrés de carburation prennent la forme de bandes parallèles sur les sections OUEN 09a et 10a, découpées dans le sens longitudinal (cf. Figure 117). Ces bandes marquent l'aplatissement et l'allongement à la forge d'un lopin de structure hétérogène. Sur OUEN 09a, elles épousent la courbure de la patte de l'agrafe.

Des sept sections observées, seule OUEN 12a présentait des structures fantômes après attaque Nital, preuves de la présence de phosphore dans la matrice métallique dans des teneurs de 0,1 à 0,4 %_{mass}. Cette section étant entièrement ferritique, elle a pu être soumise à l'attaque Oberhoffer, qui révèle une distribution très hétérogène du phosphore avec une alternance de bandes claires et sombres d'épaisseur millimétrique, dont la disposition rappelle celle des bandes aciérées visibles à l'attaque Nital sur d'autres échantillons (cf. Figure 117). Elle n'est que le résultat de l'allongement d'une structure intrinsèquement hétérogène. Des variations de nature microscopiques de la teneur en phosphore ont également observables après attaque.

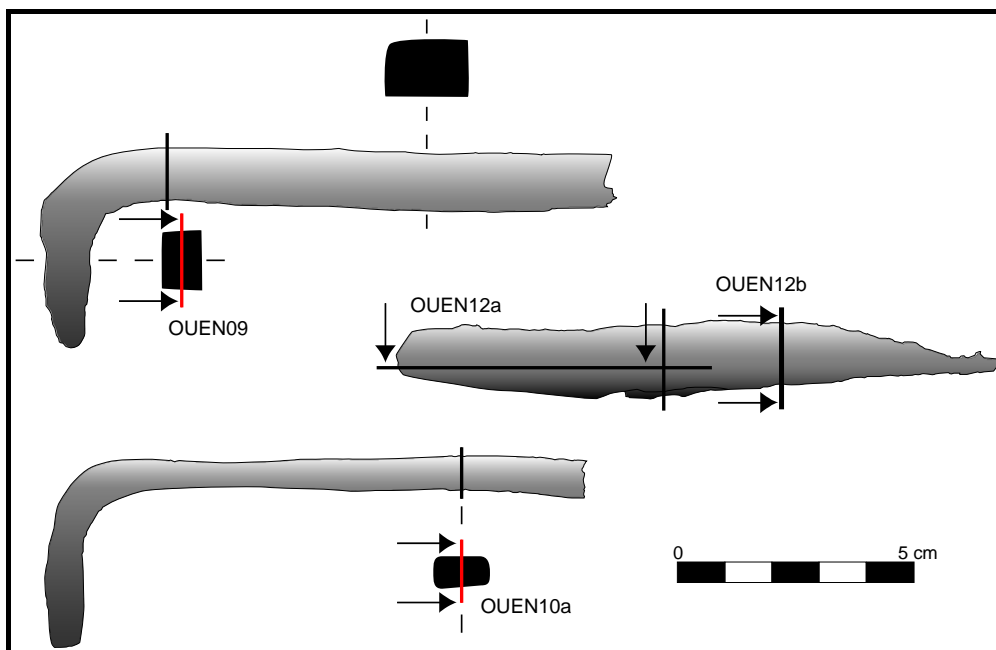


Figure 115 : Corpus partiel d'étude métallographique pour le 2^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen de Rouen avec localisation des sections.

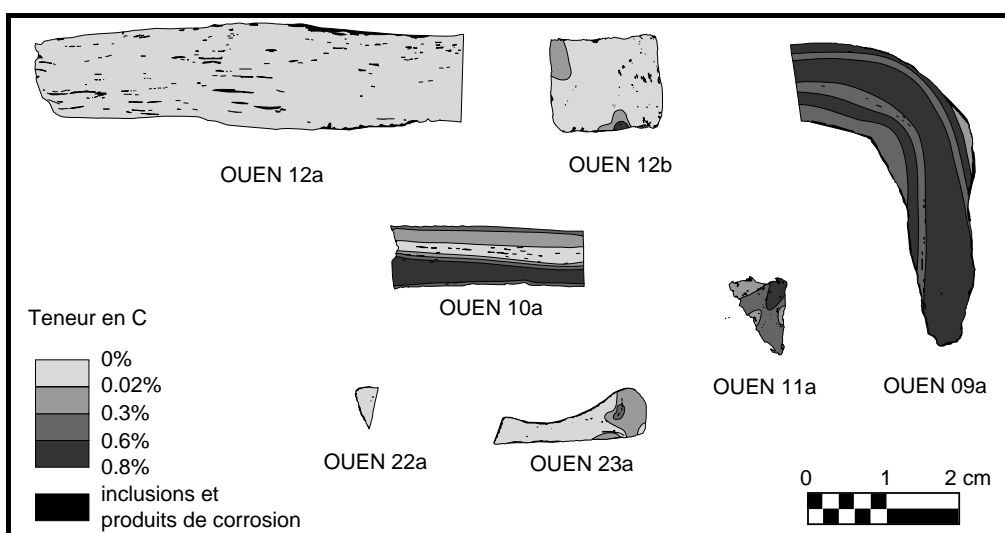


Figure 116 : Structure métallographique des objets du 2^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen de Rouen.

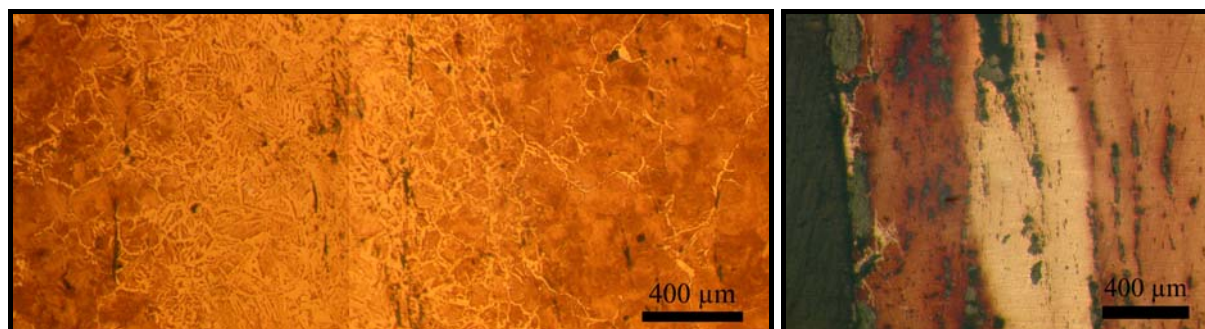


Figure 117 : Structures en bandes, OUEN 09a, attaque Nital (à gauche) et OUEN 12a, attaque Oberhoffer (à droite).

Les sections observées possèdent toutes des inclusions non métalliques. Ces inclusions n'ont aucune forme particulière ni aucune direction d'allongement préférentielle pour les trois esquilles étudiées, OUEN 11a, 22a et 23a. En revanche elles sont souvent fines et très allongées pour OUEN 09a, 10a et 12a découpés dans le sens de la longueur de l'objet. Les degrés de propreté inclusionnaire entre ces trois spécimens sont toutefois très différents, avec une propreté plutôt bonne pour OUEN 09a, dont l'indice est de 1,8* et au contraire des indices très mauvais, respectivement de 4,3* et 4,7*, pour les deux autres spécimens (cf. Tableau 27). Les sections prélevées sur les deux agrafes situées sur la même balustrade montrent donc des indices de propreté inclusionnaire de qualités presque opposées.

Au microscope optique, ces inclusions sont pour la plupart constituées d'une matrice de fayalite dans laquelle des dendrites de wüstite se sont éventuellement développées. Certaines inclusions ont également un aspect vitreux dans les zones carburées. Les éléments majeurs qui composent ces inclusions sont, outre le fer et l'oxygène, l'aluminium, le silicium, le potassium et le calcium. Le manganèse est présent dans les inclusions de tous les spécimens en proportions assez variables : assez faibles dans les inclusions des objets OUEN 12, 22 et 23 avec environ 1%_{mass} de MnO en moyenne, ces quantités sont en revanche plus importantes pour OUEN 11 avec 3,5 %_{mass}, ainsi que pour OUEN 09 et 10 pour lesquels la teneur en MnO moyenne dépasse les 6,5 %_{mass}. Contrairement au manganèse, le phosphore est relativement peu présent quel que soit la section analysée. Même la section OUEN 12a, constituée de fer phosphoreux révélé par les structures fantômes, possède des inclusions relativement pauvres en phosphore, avec au maximum 2 %_{mass} de P₂O₅ pour une moyenne d'à peine 0,6 %_{mass}.

Deux échantillons ont des inclusions de composition un peu particulières. Tout d'abord, OUEN 09a semble présenter, comme l'agrafe OUEN 02 auparavant, un plafond dans sa teneur en silicium, situé aux alentours de 55-60 %_{mass} de SiO₂. Il serait le témoin d'un début de réduction de la silice contenue dans le minerai lors de la phase de réduction. OUEN 12b présente au contraire un groupe d'inclusions enrichies en silicium (cf. Figure 118). Elles sont les témoins d'ajouts de sable, très probablement pendant la phase de post-réduction. Ces grains de sable n'ont pas été partout correctement expulsés et sont venus se mélanger aux inclusions existantes.

Après élimination des inclusions de formation non endogène, l'étude des rapports des composés non réduits révèle une bonne homogénéité à l'intérieur des spécimens issus de OUEN 10, OUEN 11, OUEN 12 et OUEN 23, avec des coefficients de détermination

$R^2 > 0,8$ pour au moins deux rapports par objet. Il semble donc que ces objets sont issus d'un fer neuf et non d'un fer recyclé. La composition des inclusions de OUEEN 09 et OUEEN 22 présente une variabilité plus importante pour certains rapports, traduite par une plus grande dispersion des points sur le graphique (cf. Figure 119). Certains rapports restant néanmoins assez bien conservés, cette variabilité doit plutôt être imputée à un « effet de pépité ». Il est toutefois impossible de conclure sur l'origine du fer de ces deux échantillons. On remarque en outre que certains objets présentent des similitudes dans leurs différents rapports. C'est notamment le cas des agrafes OUEEN 09 et 10 d'une part et OUEEN 22 et OUEEN 23 d'autre part, malgré la dispersion évoquée pour deux de ces objets (cf. Figure 120). De plus, les teneurs en phosphore et en manganèse des inclusions de ces objets sont bien compatibles deux à deux. Il n'est donc pas improbable que d'un côté OUEEN 09 et OUEEN 10 et de l'autre OUEEN 22 et 23 aient une origine commune. Cette hypothèse est d'autant plus vraisemblable que ces deux groupes d'agrafes ont une situation identique dans le bâti : sur la balustrade de la claire-voie pour les premières et au sol du couloir de circulation pour les secondes. Chaque groupe d'agrafes a probablement fait l'objet d'une unique commande auprès du serrurier qui les a forgées. Les rapports des sections analysées sur le goujon OUEEN 12 et le tirant OUEEN 11 sont en revanche bien distincts (cf. Figure 119). Malgré cette diversité dans les origines, la composition globale des inclusions de ces six pièces de fer indique qu'ils sont tous issus de fer de réduction directe (cf. Figure 121). En cette première moitié de XV^e siècle, à l'époque de l'élévation du deuxième étage de la tour de la croisée, le procédé direct semble donc toujours fournir l'intégralité de la matière première pour le chantier de construction de l'abbatiale Saint-Ouen, même pour la forge de tirants de grandes dimensions, avec un poids compris entre 12 et 50 kg. D'après leurs formes, les plus gros de ces tirants semblaient par ailleurs issus de la superposition de barres moins épaisses par soudure à la forge. Ils sont la preuve d'une certaine difficulté à obtenir et à travailler des pièces de fer de grosses sections.

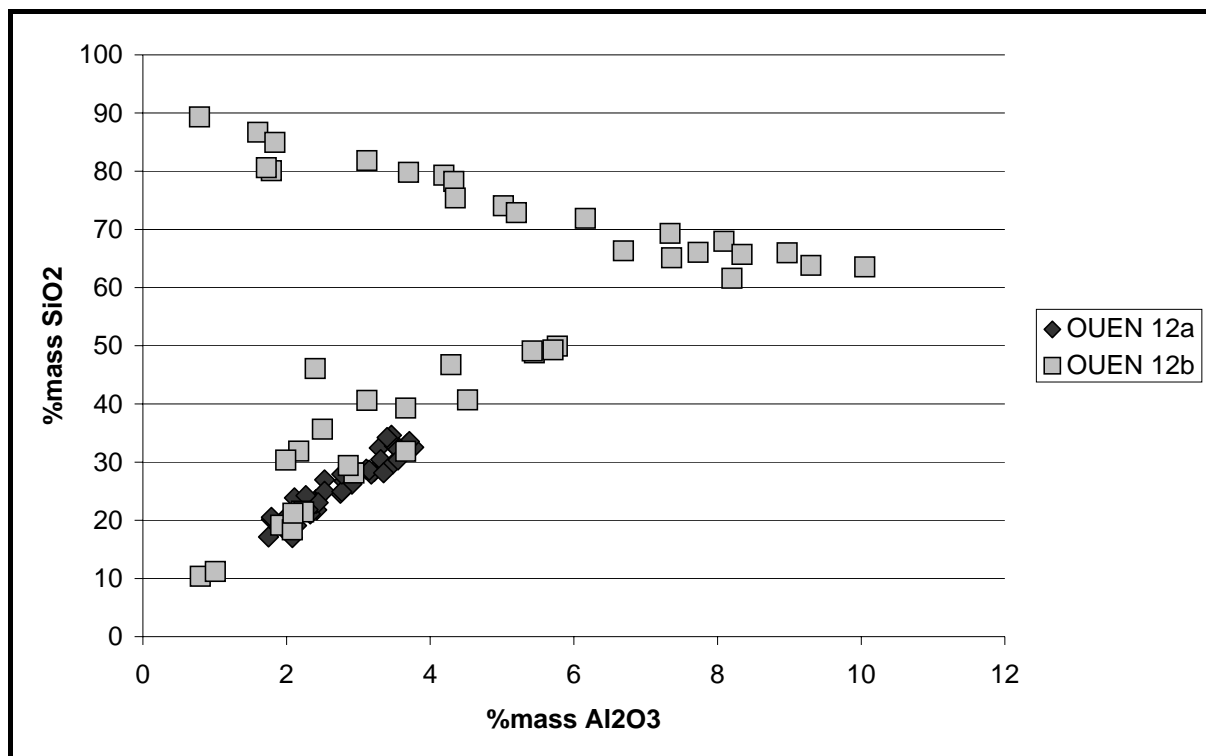


Figure 118 : Comparaison des teneurs en Al₂O₃ et SiO₂ pour les inclusions du goujon OUEN 12 montrant des ajouts de sable.

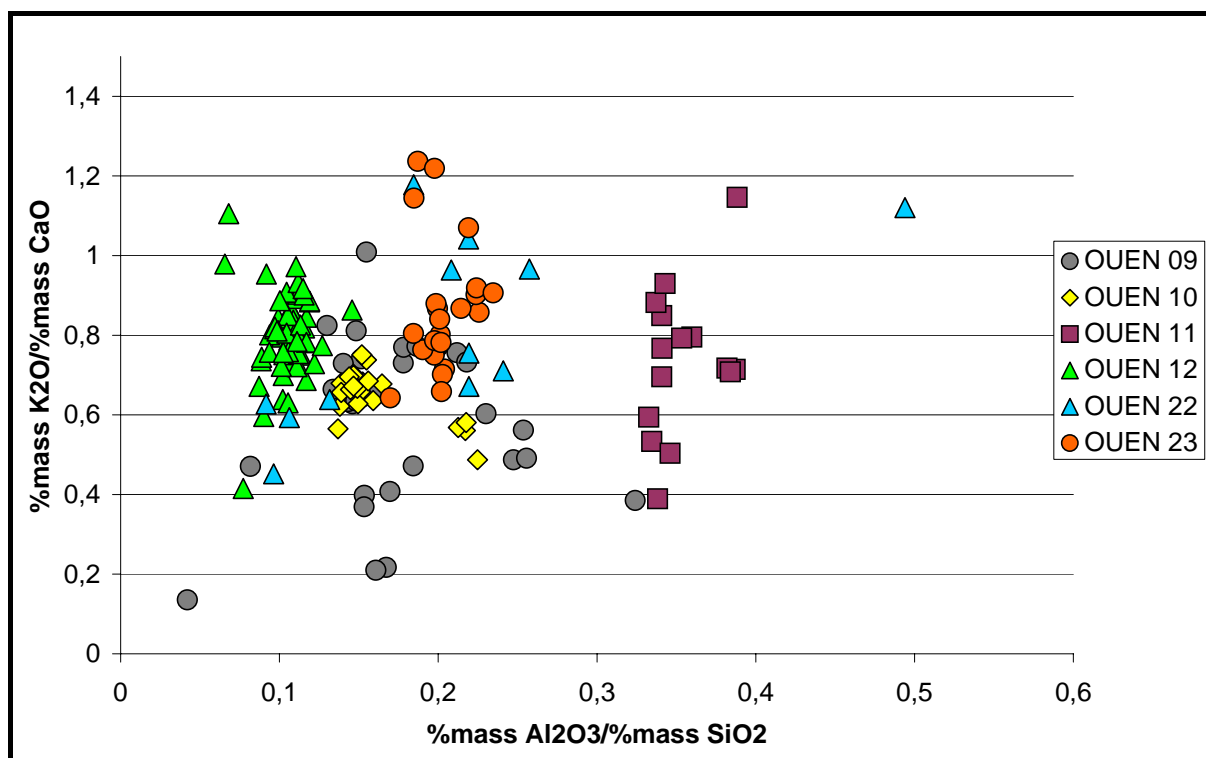


Figure 119 : Comparaison des rapports Al₂O₃/SiO₂ et K₂O/CaO pour les inclusions des objets prélevés au 2^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen de Rouen.

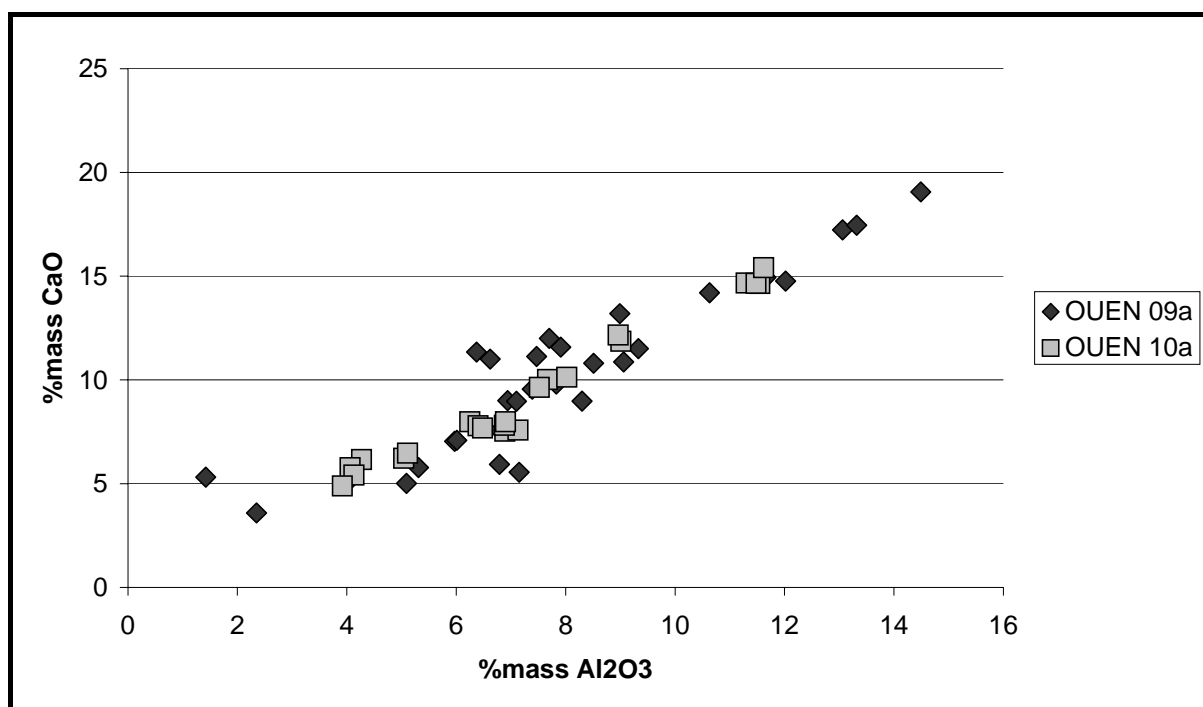


Figure 120 : Comparaison des teneurs en Al₂O₃ et CaO pour les inclusions des sections OUEN 09a et OUEN 10a.

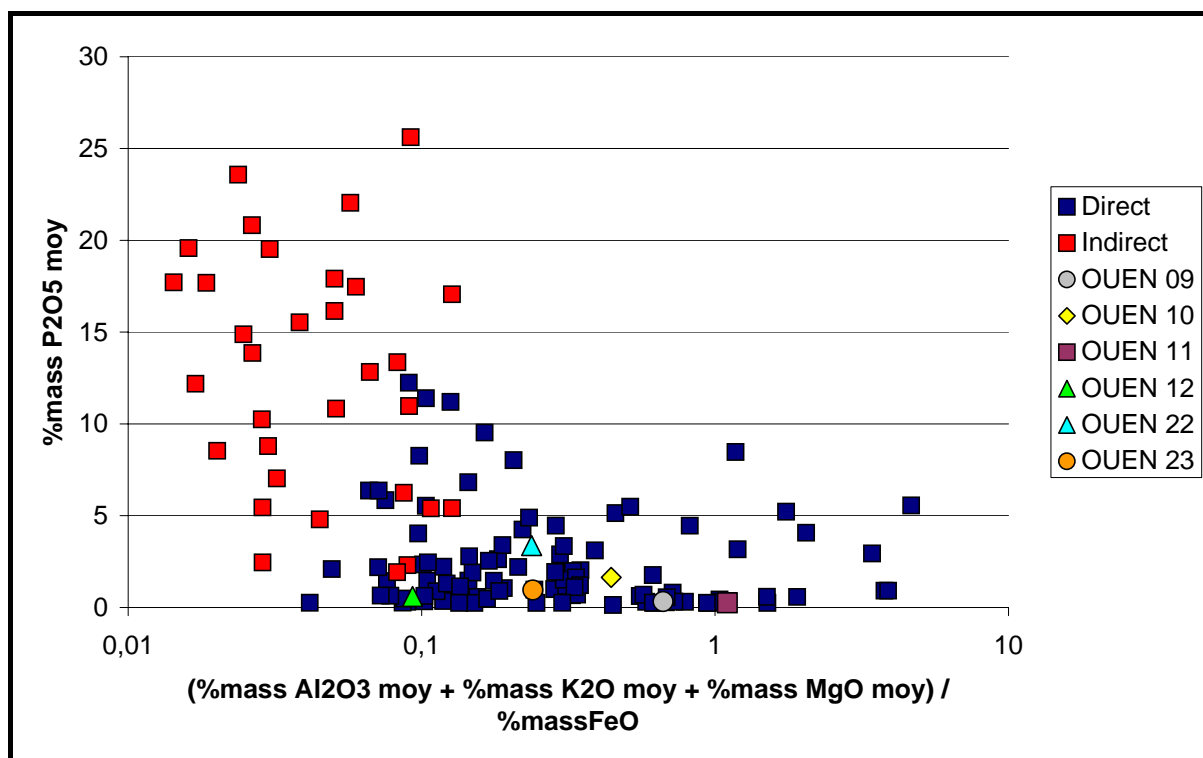


Figure 121 : Discrimination des procédés de réduction pour les objets prélevés au 2^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen de Rouen.

Echantillon	Datation	Teneur en C	Fer phosphoreux	Indice de propreté	Procédé de réduction	Lopin originel
OUEN 09a	1 ^e moitié du XV ^e s.	0,1 à 0,8 % _{mass} + SB	NON ?	1,8*	Direct	?
OUEN 10a	1 ^e moitié du XV ^e s.	0 à 0,8 % _{mass} + SB	NON ?	4,7*	Direct	1 seul lopin
OUEN 11a	1 ^e moitié du XV ^e s.	< 0,02 % _{mass}	NON ?	-	Direct	1 seul lopin
OUEN 12a	1 ^e moitié du XV ^e s.	< 0,02 % _{mass}	OUI (SF)	4,3*	Direct	1 seul lopin
OUEN 12b	1 ^e moitié du XV ^e s.	0 à 0,8 % _{mass}	?	-	Direct	
OUEN 22a	1 ^e moitié du XV ^e s.	< 0,02 % _{mass}	NON ?	-	Direct	1 seul lopin
OUEN 23a	1 ^e moitié du XV ^e s.	0 à 0,6 % _{mass}	NON ?	-	Direct	?

Tableau 27: Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les objets prélevés au 2^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen de Rouen.

Elément de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Chaînages	Parement extérieur de la claire-voie	2	L = 45 m Sect. = 2,5 x 3 cm à 3 x 6 cm.	1 tonne	1 ^{ère} moitié du XV ^e s. (fer direct)
Tirants ou chaînages	Parement intérieur de la claire-voie	3	-	≈ 1 tonne	1 ^{ère} moitié du XV ^e s.
Agrafes	Balustrade de la claire-voie	27 (28)	L = 16 à 21 cm l = 1,5 à 2 cm e = 0,7 à 1,4 cm	10-15 kg	1 ^{ère} moitié du XV ^e s. (fer direct)
Agrafes	Réseau de la claire-voie	Idem.	Idem.	Idem.	1 ^{ère} moitié du XV ^e s.
Agrafes	Sol du couloir de circulation	10	L = 23 à 36 cm l ≈ 1 cm, e ≈ 2,2 cm	5-10 kg	1 ^{ère} moitié du XV ^e s. (fer direct)
Agrafes	Sous les parements intérieur et extérieur	-	-	-	1 ^{ère} moitié du XV ^e s.
Barres goujonnantes	Meneaux du parement intérieur	2 (32)	L > 21 cm Sect. ≈ 1,5 x 2 cm	1 kg (30-35 kg)	1 ^{ère} moitié du XV ^e s. (fer direct)
Agrafes	Tourelle d'escalier	3	L = 32 à 33 cm l = 1 à 1,2 cm	-	?

Tableau 28 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au 2^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen de Rouen.

1.2.4.6 Troisième étage de la tour de la croisée

Elevé au tournant des XV^e et XVI^e siècles, le troisième étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen est composé d'une tour couronnée de forme octogonale soutenue par une arcature. La présence d'éléments de fer, si elle apparaît en premier lieu moins importante qu'à l'étage inférieur, n'est pourtant pas à minimiser.

1.2.4.6.1 Les tirants de l'arcature

Les piliers de l'arcature soutenant la tour couronnée octogonale sont renforcés par deux cours de tirants, soit un total de seize barres de fer, passant comme à l'accoutumée à la naissance du réseau des baies (cf. Figure 126 et Figure 127). Initialement de fer, ces barres ont fait l'objet d'une restauration d'après un rapport daté du 27 septembre 1938³⁹⁸ : douze d'entre elles ont été remplacées par des barres de bronze. D'une section de 1,5 cm de large sur 5 cm et d'une longueur d'environ 3,25 m, toujours selon les données fournies par le mémoire de restauration, ces barres, coulées au plomb, n'étaient apparemment pas liées les unes aux autres à l'intérieur des piliers. Les mesures données attestent que chaque barre pesait 19 kg environ, soit 300 kg pour l'ensemble.

Ces barres sont vraisemblablement placées pour empêcher l'écartement des piédroits, à l'instar des tirants du portail des Marmousets. Bien qu'elles ne soient pas liées les unes aux autres à l'intérieur de chaque pilier, le caractère continu du système lui confère également un rôle de chaînage.

1.2.4.6.2 Le parement intérieur de la tour couronnée

Le parement intérieur de cette tour couronnée est également renforcé par plusieurs séries d'agrafes.

Dans sa partie supérieure, on remarque tout d'abord la présence de plusieurs agrafes, en général dans le sens horizontal, certaines étant néanmoins dans le sens vertical. Placées sans logique apparente, elles semblent correspondre à des consolidations postérieures après fissuration de la pierre. Certaines ne sont d'ailleurs pas situées à cheval sur une jointure, ce qui tendrait à confirmer cette hypothèse.

³⁹⁸ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 081/076/0135.

On observe également la présence de deux chaînages d'agrafes, un au départ de la tour couronnée, l'autre à son sommet (cf. Figure 127). Chaque chaînage est composé d'une série d'agrafes horizontales, une à chaque joint de pierres, soit près de cinquante agrafes pour le chaînage inférieur et trente pour le supérieur. Toutes ces agrafes semblent parfaitement à niveau les unes par rapport aux autres. Au vu du nombre de restaurations qu'a subi cette partie de l'édifice, elles pourraient ne pas dater de la construction originelle. Le rapport préalable à la restauration écrit par D. Moufle en 2000 mentionne ces chaînages d'agrafes sans apporter plus d'informations quant à leur origine. Il affirme que ces agrafes « qui relient sur un lit de pierre tous les éléments importants les uns aux autres » servent à « garantir la continuité horizontale de la couronne »³⁹⁹.

La hauteur à laquelle tous ces éléments sont situés n'a pas permis de mener une investigation plus poussée, nécessaire pour envisager des hypothèses plus solides.

1.2.4.6.3 La balustrade

La balustrade qui fait le tour du troisième étage de la tour de la croisée ne dispose pas d'un système d'agrafage précis. Les deux seules agrafes qui y sont présentes correspondent à une réparation suite à la rupture d'une pierre de la balustrade encore visible aujourd'hui. Coulées au plomb, elles mesurent entre 25 et 30 cm de long pour une section de 1,2 cm de large sur 0,8 cm. Leur période de mise en œuvre est inconnue.

On a en revanche la présence d'un logement d'agrafe sur un des éléments de la balustrade (cf. Figure 127). De dimensions assez similaires à ses homologues de l'étage inférieur, il se démarque par son caractère unique. Ces pierres correspondent-elles à un état antérieur de la balustrade ou chaque jointure était renforcée par une agrafe ? Au cours de la restauration, après dépose de ces balustrades, les marques de plusieurs agrafes sectionnées sont apparues dans les piliers latéraux délimitant ces balustrades (cf. Figure 127). Le fait qu'ils aient été fortement corrodés le jour où nous prospectons plaide pour une découpe plus ancienne, et va donc bien dans le sens de la précédente hypothèse, à savoir qu'une restauration a supprimé la balustrade originelle qui était pourvue d'agrafes.

Chacune de ces balustrades est en sa partie médiane interrompue par un gâble surmonté d'une statue. Les restaurations menées en 2006 ont montré que ces gâbles sont appareillés grâce à des goujons en fer (cf. Figure 127). Chacun des éléments obliques du

³⁹⁹ Médiathèque du Patrimoine, « Etude préalable à la restauration de la tour couronnée », D. Moufle, 2000.

gâble est rattaché aux éléments adjacents par deux goujons. Au niveau du sol, le système est identique, puisque un bloc de pierre présentant une face oblique est inséré dans le sol pour assurer la continuité architecturale du gâble sur la façade à l'étage inférieur. A cet endroit, les goujons semblent intégralement coulés au plomb. En revanche, à hauteur de la balustrade, ils étaient manifestement scellés au plomb dans leur partie inférieure, et au plâtre dans leur partie supérieure. Ce scellement binaire à l'avantage d'éviter de réaliser des trous de coulée : une fois l'élément de pierre inférieur posé, le goujon est installé et coulé au plomb, puis quand le plomb s'est solidifié, le goujon peut-être enduit de plâtre et le bloc de pierre supérieur enchâssé sur le goujon.

Les réseaux intérieurs décorant les gâbles sont également appareillés au moyen de goujons. Avant restauration, une esquille d'un de ces goujons qui dépassait sur une pierre brisée a été prélevée sous la référence OUVEN 14. La balustrade étant changée en quasi-totalité, d'autres goujons seront déposés et pourront également faire l'objet d'analyses métallographiques. Ces goujons sont, d'après leur datation au tournant des XV^e et XVI^e siècles, d'une importance capitale pour tenter de caractériser la période d'introduction de fers issus de la filière indirecte sur les chantiers rouennais.

Certains de ces gâbles possèdent encore d'autres goujons au niveau des feuilles de chou brisées qui les ornent (cf. Figure 127). Les prospections au détecteur de métaux ont montré qu'il ne s'agit pas là d'une utilisation à caractère systématique. Il faut donc plutôt les interpréter comme des consolidations lors de réparations. En effet, les crochets décoratifs font partie intégrante des pierres du gâble ; si l'une d'entre elle vient à se briser, il est plus simple de la compléter en fixant un nouveau crochet au moyen d'un goujon métallique que de changer l'intégralité de la pierre composant le gâble. Ces restaurations de fortune ne semblent toutefois pas durer, comme le montrent ces exemples de crochets brisés d'où dépasse un goujon témoin d'une ancienne réparation. Deux de ces goujons ont été prélevés sur un gâble de la balustrade au troisième étage de la tour de la croisée, sous les références OUVEN 13 et OUVEN 24. Interprétés comme des réparations bien postérieures à la période de construction, ces goujons serviront de comparatif par rapport aux éléments supposés d'époque.

1.2.4.6.4 Analyses métallographiques des goujons du 3^e étage de la tour de la croisée.

En l'attente d'un plus grand nombre de prélèvements consécutifs aux déposes des restaurations en cours, trois goujons provenant du troisième étage de la tour de la croisée ont fait l'objet d'analyses métallographiques. Le premier, OUVEN 14a intégré au réseau inférieur

d'un gâble date vraisemblablement de la période d'élévation de la tour, c'est-à-dire du tournant des XV^e et XIV^e siècles. Les deux autres sont le fruit de restaurations qui ont été attribuées au XIX^e siècle. Deux sections ont été réalisées sur le goujon OUEN 13, une longitudinale et une transversale, en revanche OUEN 24 n'a fait l'objet que d'une section transverse et OUEN 14 d'un prélèvement de la taille d'une esquille.

Référence	Description	Localisation	Datation
OUEN 13	Goujon (moitié)	Crochet d'un gâble décorant la balustrade du troisième étage de la tour de la croisée.	Réfection du XIX ^e siècle ?
OUEN 14	Goujon (fragment)	Remplage de la balustrade du troisième étage de la tour de la croisée.	fin XV ^e , déb XVI ^e s.
OUEN 24	Goujon	Crochet d'un gâble décorant la balustrade du troisième étage de la tour de la croisée.	Réfection du XIX ^e siècle ?

Tableau 29 : Liste des spécimens analysés au troisième étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen de Rouen.

Les quatre sections montrent une forte prédominance des zones ferritiques (cf. Figure 122), mais seul OUEN 13b est constitué uniquement de fer totalement exempt de carbone. L'autre section du même objet, OUEN 13a, possède une fine bande légèrement carburée (0,1 %_{mass} de C). OUEN 14a ne révèle qu'une petite zone à peine plus riche en carbone (0,2 %_{mass} maximum), quant à OUEN 24a, elle présente une zone complètement perlitique qui mesure à peine quelques centaines de micromètres de large.

OUEN 13a et b présentent chacun une soudure témoignant de la mise en forme du goujon. Cette soudure est présente en partie centrale de OUEN 13a et forme un rayon de la section circulaire OUEN 13b (cf. Figure 123). La corrosion a fini par se propager dans cette soudure mal réalisée. Des inclusions y sont cependant toujours présentes. Il semble donc que le goujon OUEN 13 a été obtenu par repli et soudure d'une petite bande de fer très plate sur elle-même, puis par façonnage d'une forme pseudo-circulaire. Aucune soudure de ce type n'est visible sur OUEN 24a, section pourtant issue d'un goujon similaire au goujon OUEN 13.

Des structures fantômes, preuves d'un fer phosphoreux, sont également visibles sur les échantillons OUEN 13a et b. Après attaque au réactif Oberhoffer, ces sections présentent une répartition hétérogène du phosphore. En plus des variations d'échelle microscopique, correspondant aux structures fantômes, cette répartition prend la forme de bandes parallèles

pour OUEN 13a, conséquence de l'aplatissement à chaud d'un lopin originellement hétérogène.

Les inclusions ne sont ni complètement absentes, ni présentes en très grandes quantités sur les quatre sections. Preuve en est l'indice de propreté plutôt moyen de OUEN 13a, 2,5*, le seul qui a pu être évalué. La composition de ces inclusions diffère d'un échantillon à l'autre. Celles de OUEN 14a sont, à l'instar des sections de l'étage inférieur, composées d'oxydes d'aluminium, silicium, calcium, potassium et fer avec également présence d'oxydes de manganèse et de phosphore. Celles de OUEN 13 et 24 sont en revanche constituées à plus de 80 % d'oxydes de fer et de phosphore, avec présence d'oxydes de chrome et de vanadium pour OUEN 24a. La section OUEN 24a présente en outre un petit groupe d'inclusions amorphes à forte teneur en Al, Si, K et faible teneur en oxydes de fer au niveau de sa petite zone carburée.

En raison du faible nombre de composés non réduits présents dans les inclusions de OUEN 13 et 24, il est difficile de savoir si la composition de ces inclusions est réellement homogène. Dans les deux cas, le seul rapport étudiable, à savoir SiO_2/CaO , présente une bonne constance mais est différent pour les deux échantillons qui n'ont donc vraisemblablement pas une origine commune (cf. Figure 124). Une étude des éléments traces serait ici nécessaire pour confirmer qu'il s'agit bien d'un fer neuf homogène. La composition du petit groupe d'inclusions amorphes observées sur OUEN 24a ne rentre pas du tout dans l'alignement créé par les autres inclusions de l'objet, mais ne viennent pas non plus former un autre alignement qui signerait la soudure de deux fers d'origines différentes (cf. Figure 124). De plus, une telle soudure aurait alors probablement été repérée lors des observations au microscope optique. La question sur l'origine exacte de ces inclusions reste donc entière. Au vu de sa composition, il est clair que ce groupe d'inclusions provient d'un apport exogène. Le cas de OUEN 14a, s'il est plus simple, n'apporte pas davantage de réponse. Certains rapports, comme $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$, sont d'une constance presque parfaite ($R^2 > 0,9$), mais la plupart sont très mal conservés. La petite taille de l'échantillon n'ayant permis d'étudier qu'une quinzaine d'inclusions de taille réduite, les variations observées peuvent très bien être la conséquence d'un « effet de pépite » dû au fractionnement des inclusions. Si, comme pour les précédents, l'hypothèse première serait plutôt celle d'un fer homogène, davantage d'analyses seraient nécessaires pour le confirmer, d'autant plus que cette esquille ne correspondait qu'à une très petite partie de l'objet, pouvant ne pas être représentative de son éventuelle hétérogénéité. Enfin, une des inclusions de OUEN 14a est composée à plus de 90 % de silice, preuve de l'emploi de sable pendant la forge.

Les compositions moyennes globales des inclusions de ces trois objets placent très nettement OUEEN 14 dans le domaine des fers de réduction directe et OUEEN 13 et 24 dans celui des fers de réduction indirecte (cf. Figure 125)⁴⁰⁰. Si l'utilisation de fer de réduction indirecte pour des objets identifiés comme étant des réfections de la période contemporaine n'est pas étonnante, la présence d'un fer de réduction directe dans une partie de l'église datant au plus tôt de la dernière décennie du XV^e siècle est plus intéressante. A cette époque en effet, les structures de production fonctionnant selon le procédé indirect sont répandues sur toute la partie nord du royaume de France et au moins depuis une dizaine d'années en Normandie⁴⁰¹. Il apparaît donc essentiel de livrer une étude plus approfondie sur cette partie de l'édifice quand l'avancement des travaux de restauration le permettra, afin de déterminer si ce goujon en fer de réduction directe est un cas isolé ou s'il est représentatif de la consommation du chantier à cette époque.

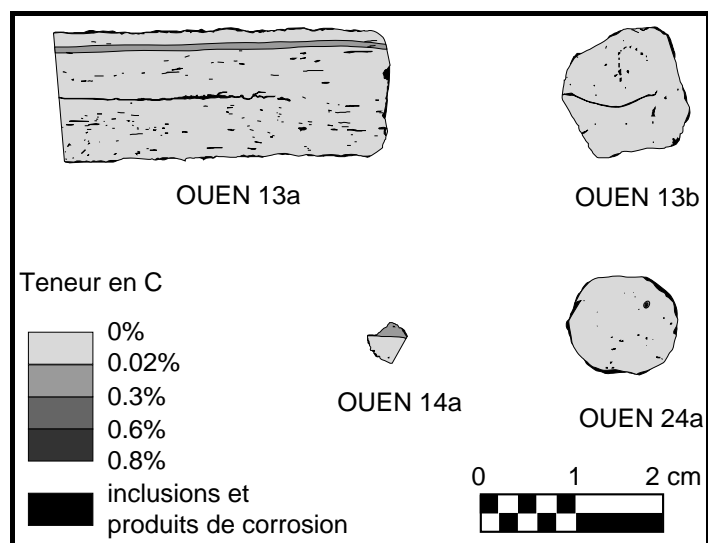


Figure 122 : Structure métallographique des objets du 3^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen de Rouen.



Figure 123 : Fissure due à une mauvaise soudure et alignements d'inclusions, échantillon OUEEN13b.

⁴⁰⁰ La présence du groupe d'inclusions vitreuses d'origine exogène dans OUEEN 24a ne vient rien changer au facteur discriminant obtenu par la composition globale des inclusions d'origine endogène.

⁴⁰¹ Voir la contribution de D. Arribet-Deroin dans BELHOSTE (J.-F.), LECHERBONNIER (Y.), ARNOUX (M.), ARRIBET (D.), AWTY (B.G.), RIOULT (M.), *La métallurgie normande...*, op. cit., p. 51.

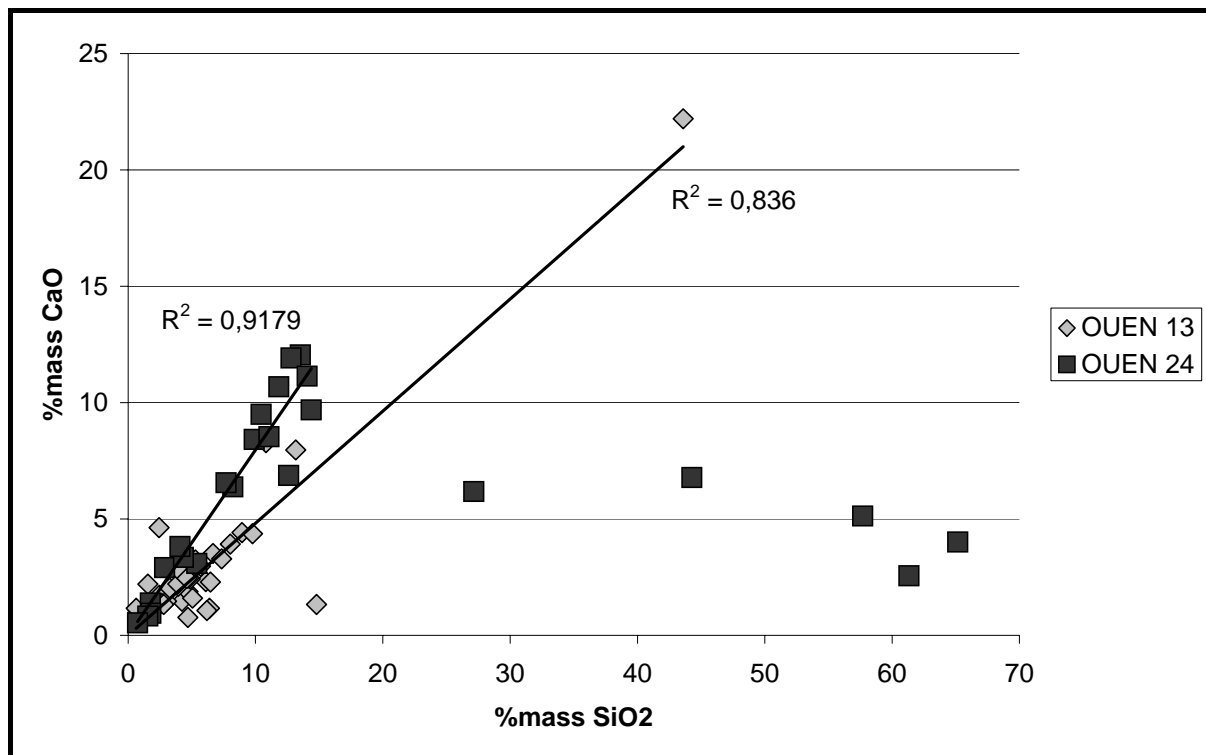


Figure 124 : Comparaison des teneurs en SiO₂ et CaO pour les inclusions de OUEN 13 et OUEN 24.

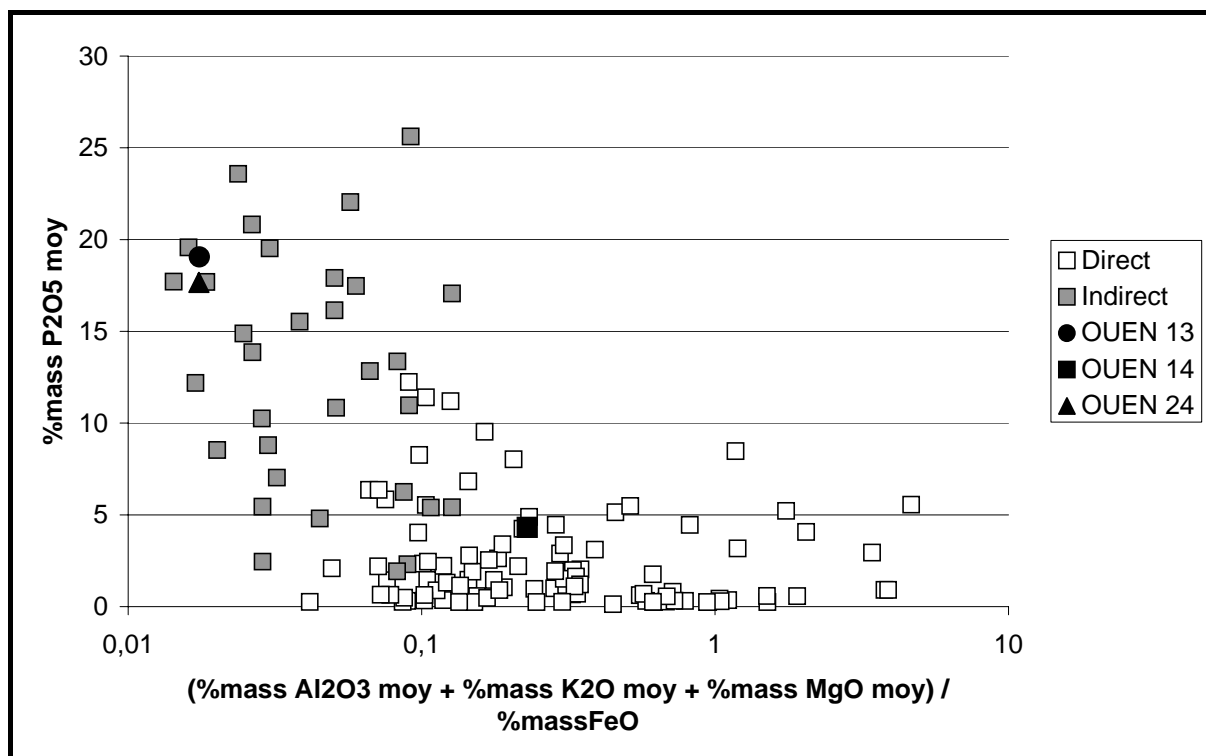


Figure 125 : Discrimination des procédés de réduction pour les objets prélevés au 3^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen de Rouen.

Echantillon	Datation	Teneur en C	Fer phosphoreux	Indice de propreté	Procédé de réduction	Lopin originel
OUEN 13a	XIX ^e s. (?)	0 à 0,1 % _{mass} + SB	OUI (SF)	2,5*	Indirect	?
OUEN 13b	XIX ^e s. (?)	< 0,02 % _{mass}	OUI (SF)	-	Indirect	
OUEN 14a	Fin XV ^e s. - déb. XVI ^e s.	0 à 0,2 % _{mass} + SB	NON ?	-	Direct	?
OUEN 24a	XIX ^e s. (?)	0 à 0,8 % _{mass}	OUI ?	-	Indirect	?

Tableau 30: Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les objets prélevés au 3^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen de Rouen.

Élément de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Tirants	Arcature de la tour couronnée	16	L = 3,25 m Sect. = 1,5 x 5 cm.	300 kg	Fin XV ^e s. - déb. XVI ^e s.
Agrafes	Partie supérieure du parement intérieur de la tour couronnée	-	-	-	Moderne ?
Chaînages d'agrafes	Parement intérieur de la tour couronnée	2	-	-	?
Logement d'agrafe	Visible dans la balustrade extérieure	1	-	-	Fin XV ^e s. - déb. XVI ^e s.
Sections d'agrafes	Dans les parements où s'attache la balustrade extérieure	-	-	-	Fin XV ^e s. - déb. XVI ^e s.
Goujons	Dans les gâbles de la balustrade extérieure	-	-	-	Fin XV ^e s. - déb. XVI ^e s.
Goujons	Dans les feuilles de chou décorant les gâbles.	2	-	-	XIX ^e s. (?)

Tableau 31 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au 3^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen de Rouen.

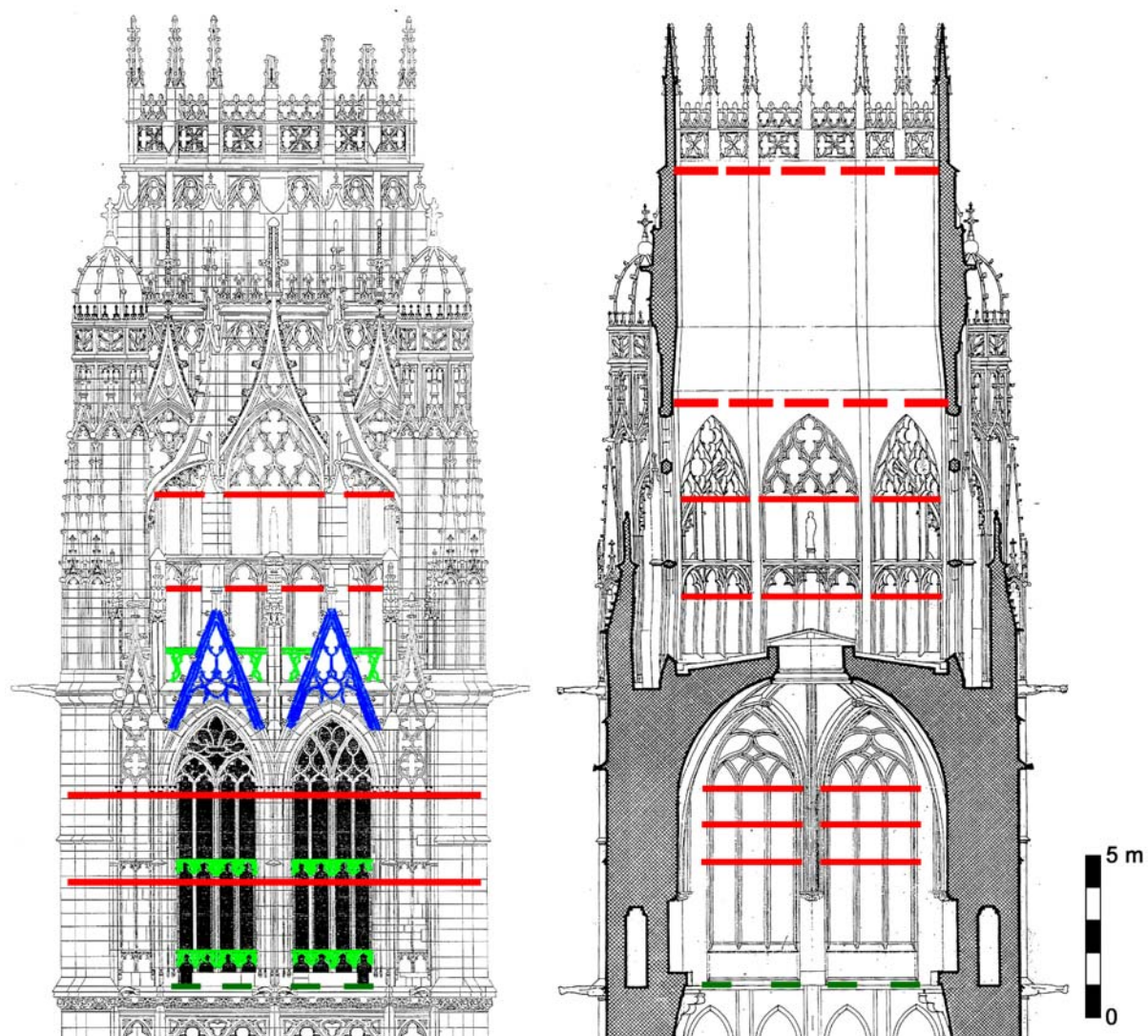


Figure 126 : Élévation et coupe de la partie supérieure de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen d'après un dessin de D. Moufle, A.C.M.H.⁴⁰²

En rouge, tirants et chaînages d'agrafes.

En vert clair, balustrades renforcées au moyen d'agrafes.

En bleu, parties des gâbles renforcées au moyen de goujons.

En vert foncé, agrafes au sol sous la maçonnerie du parement intérieur.

⁴⁰² Médiathèque du Patrimoine, « Etude préalable à la restauration de la tour couronnée », D. Moufle, 2000.

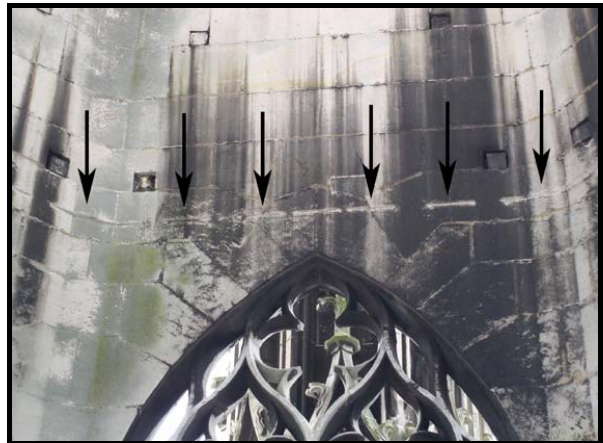


Figure 127 : Eléments de fer au 3^e étage de la tour de la croisée. En haut à gauche, tirants de l'arcature ; en haut à droite, goujon dans le réseau d'un gâble ; au milieu, logement d'agrafe de la balustrade et chaînage d'agrafes dans le couronnement de la tour ; en bas, goujons et section d'agrafe visibles après dépose du gâble et de la balustrade.

1.2.4.7 Sur la façade occidentale

L'ensemble de la façade occidentale a fait l'objet d'une restauration dans les années 1990 qui a donné lieu à une étude préliminaire, réalisée par l'Architecte en Chef des Monuments Historiques D. Moufle⁴⁰³. Il met en évidence l'existence de plusieurs chaînages et tirants dans le massif occidental, dont la construction s'est étalée entre l'extrême fin du XV^e siècle et la fin du XIX^e siècle.

Il note tout d'abord la présence d'un chaînage, apparent sur deux pans des salles aveugles situées dans les tours actuelles et qui sont les vestiges des anciennes tours inachevées de la façade occidentale (cf. Figure 128). Ces chaînages sont donc intégrés à des maçonneries datant du tournant des XV^e et XVI^e siècles. Aucune autre information n'est disponible sur ces éléments, l'accès à ces salles étant impossible ; il faut donc se restreindre à cette seule mention contenue dans l'étude de D. Moufle.

Un second chaînage traverserait le pignon de la nef. Ses deux extrémités sont effectivement visibles dans les tourelles d'escalier latérales qui encadrent la façade. D. Moufle ne donne pas plus d'information à son sujet. On peut cependant affirmer, au vu des assemblages apparents dans les tourelles d'escalier, qu'il semble s'agir de pièces plutôt récentes.

Enfin, les tourelles construites au milieu du XIX^e siècle selon les plans de Grégoire sont, à l'instar du couronnement de la tour de la croisée, renforcées par deux cours de tirants superposés (cf. Figure 129). Six barres composent le cours inférieur et huit le supérieur.

⁴⁰³ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 4°ETU/0585.

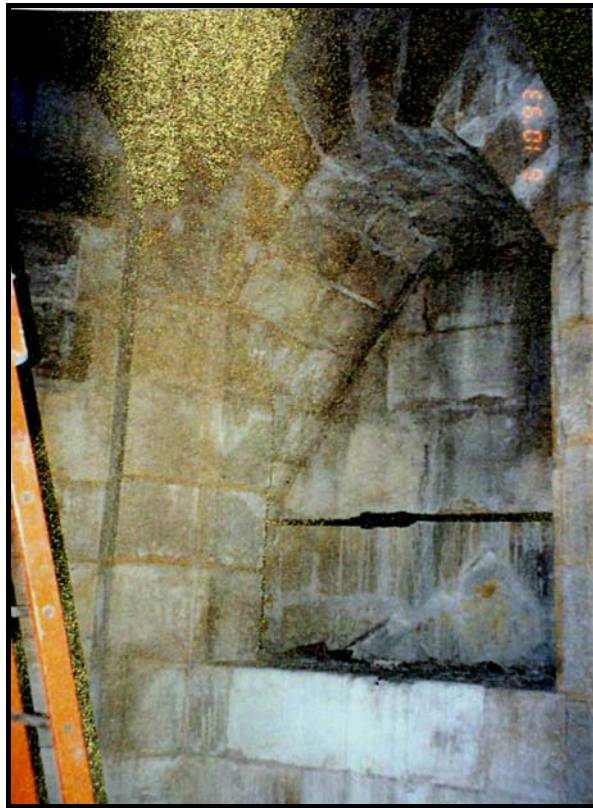


Figure 128 : Chaînage d'une salle aveugle dans le massif occidental de l'église Saint-Ouen, cliché D. Moufle, A.C.M.H.

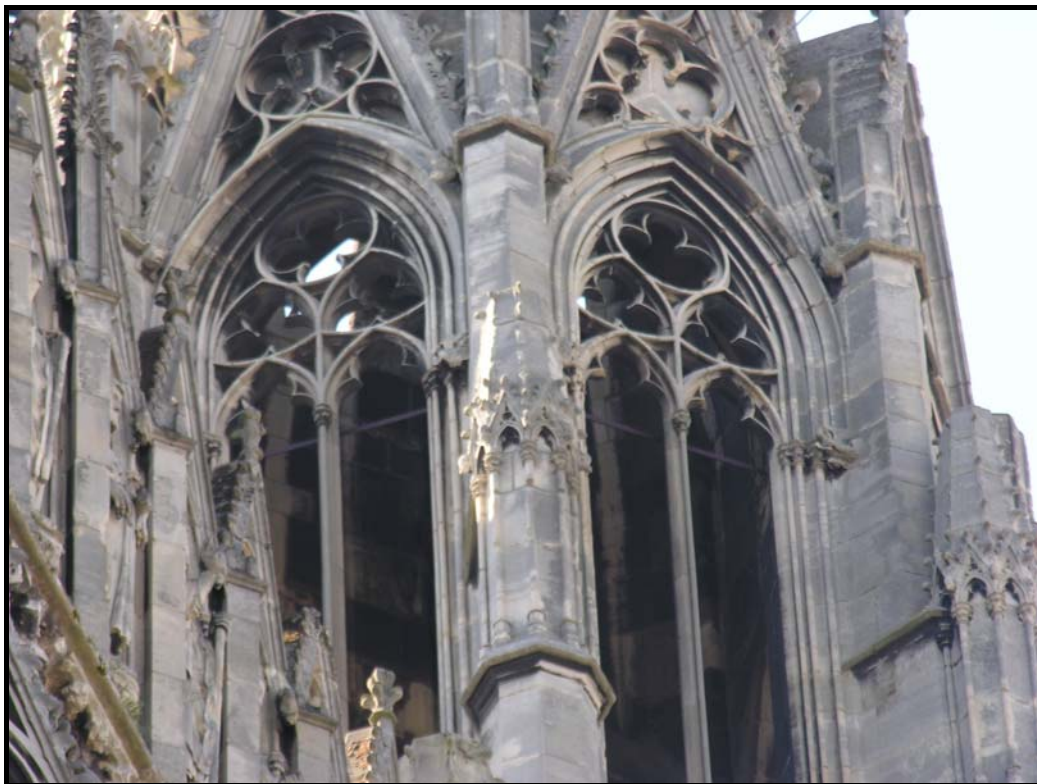


Figure 129 : Tirants de l'arcature des tours du massif occidental de l'église Saint-Ouen, cliché P. Benoit.

1.2.4.8 Emplois du fer généralisés sur l'ensemble de l'édifice

1.2.4.8.1 Agrafes et goujons dans les pinacles

Utilisés en général pour renforcer des éléments élancés, les goujons trouvent à Saint-Ouen une grande place dans la consolidation des pinacles. Entre ceux qui ornent les balustrades et ceux qui surmontent les contreforts et les arcs-boutants pour participer au contrepois de la culée, on compte plus de cent dix pinacles sur tout l'édifice, de tailles certes parfois différentes. Ces pinacles ont, tout comme les balustrades, subi de nombreuses restaurations au cours des siècles.

La plupart de ces pinacles, dont les fleurons sont brisés ou absents, laissent apparaître un goujon servant à les consolider. La plupart de ces goujons, comme ceux des anciens pinacles qui décoraient la corniche de la sacristie, immédiatement à l'est du portail des Marmousets, semblent issus de restaurations contemporaines. Ces goujons sont presque parfaitement cylindriques et ne sont pas coulés au plomb. Les empreintes de goujons relevées sur certaines bases de pinacle sont elles aussi de forme parfaitement régulière.

Seule exception, le goujon prélevé sous la référence OUVEN 08 sur une base de pinacle saillante de la balustrade du comble haut du transept nord-ouest (cf. Figure 130). Ce goujon ainsi que les logements de goujons présents sur la même balustrade ont déjà été évoqués. Ces éléments indiquent bien que l'utilisation de goujons dans les pinacles n'est pas uniquement le fait des restaurations.

Un fleuron monolithique a également été découvert sur le bas-côté ouest du croisillon nord, parmi d'autres éléments consécutifs à une purge réalisée par les ateliers Lanfry. Leurs établissements n'ont pas pu nous fournir plus de précision quant à la provenance exacte des matériaux. D'après les documents que nous avons pu consulter dans les archives de l'entreprise Lanfry, il semble qu'il s'agisse de pierres provenant de cette même face ouest du transept nord. Ce fleuron renferme plusieurs goujons : deux petits à sa base pour le fixer sur son socle et un grand au sommet servant à y installer une statue (cf. Figure 130). Tous ces goujons sont coulés au plomb. Le goujon supérieur, très corrodé, mesure près de 30 cm de long ; il a été prélevé sous la référence OUVEN 04. Les petits goujons inférieurs, ont une forme légèrement pointue ; ils mesurent au moins 20 cm de long. L'un d'eux a été prélevé sous la référence OUVEN 05. Son diamètre maximal est de 1,7 cm. Sur un autre bloc de pierre ajouré qui faisait probablement partie d'un socle de fleuron, on retrouve également un goujon et une agrafe, scellés au plomb (cf. Figure 131). Le goujon servait à attacher l'élément qui

reposait sur ce socle, et l'agrafe servait quant à elle probablement à relier ce bloc à un second identique pour former le socle. Cette agrafe a été prélevée sous la référence OUEN 03.

Un fragment de pinacle a été découvert au même endroit. Il est également pourvu de plusieurs goujons : un sur sa face supérieure et trois sur sa face inférieure, afin de le lier aux deux éléments qui lui sont adjacents (cf. Figure 131). Tous les scellements sont au plomb.

Ces exemples montrent bien que les goujons sont vraisemblablement utilisés à chaque assise du pinacle, de sa base à son sommet. Les photographies de la façade nord prises avant sa restauration abondent également dans ce sens, même si certains éléments avaient déjà probablement fait l'objet de réfections. A l'heure actuelle, nombre de ces goujons ont été remplacés par des goujons de cuivre ou de bronze, comme en attestent les observations réalisées sur l'édifice ainsi que les archives des restaurations de l'église Saint-Ouen conservées à l'Hôtel de Croisilles.

Si l'on s'appuie sur le compte de la fabrique de la cathédrale de Rouen qui mentionne la mise en œuvre d'un peu plus de 15 kg de fer dans un seul de ces pinacles⁴⁰⁴, les cent dix pinacles de l'église Saint-Ouen représenteraient à eux seuls plus de 1,6 tonnes de fer.

D'autres éléments du décor sont également mis en œuvre au moyen de goujons et d'agrafes. Les balustrades ont déjà été évoquées au fur et à mesure de la description de l'édifice ainsi que les meneaux pour le parement intérieur de la tour de la croisée. Les autres meneaux, comme ceux du remplage du triforium ou encore de l'ensemble des baies vitrées de l'église, sont certainement également partiellement renforcés de goujons. Les prospections n'ont cependant pas permis de les mettre en évidence. Ces goujons ne se limitent d'ailleurs pas nécessairement aux meneaux mais peuvent être présents dans l'ensemble des pierres des remplages. Enfin, les colonnes et colonnettes, peut-être moins abondantes à l'église Saint-Ouen qu'à la cathédrale de Notre-Dame de Rouen, ne sont pourtant pas à oublier. Celles qui ornent les portails latéraux à hauteur des chéneaux possèdent par ailleurs bien des trous de coulée, afin de couler le plomb probablement destiné à sceller un goujon de fer.

⁴⁰⁴ PJ n° 1.



Figure 130 : A gauche goujon OUEN 08 à la base d'un pinacle disparu dans le chéneau du transept nord de l'église Saint-Ouen. A droite, goujon OUEN 04 au sommet d'un fleuron déposé provenant d'une purge.



Figure 131 : Fleurons provenant d'une purge du transept nord de l'église Saint-Ouen avec agrafes (OUEN 03) et goujons (OUEN 05).

1.2.4.8.2 Analyses métallographiques des éléments de pinacle du transept nord-ouest

Quatre petits éléments de fer ont été prélevés sur des pinacles, fleurons ou pierres associées dans le transept nord-ouest : trois goujons et une agrafe (cf. Tableau 32). Une section longitudinale a été réalisée sur chacun d'entre eux et une section transversale supplémentaire a été faite sur le goujon OUEN 08.

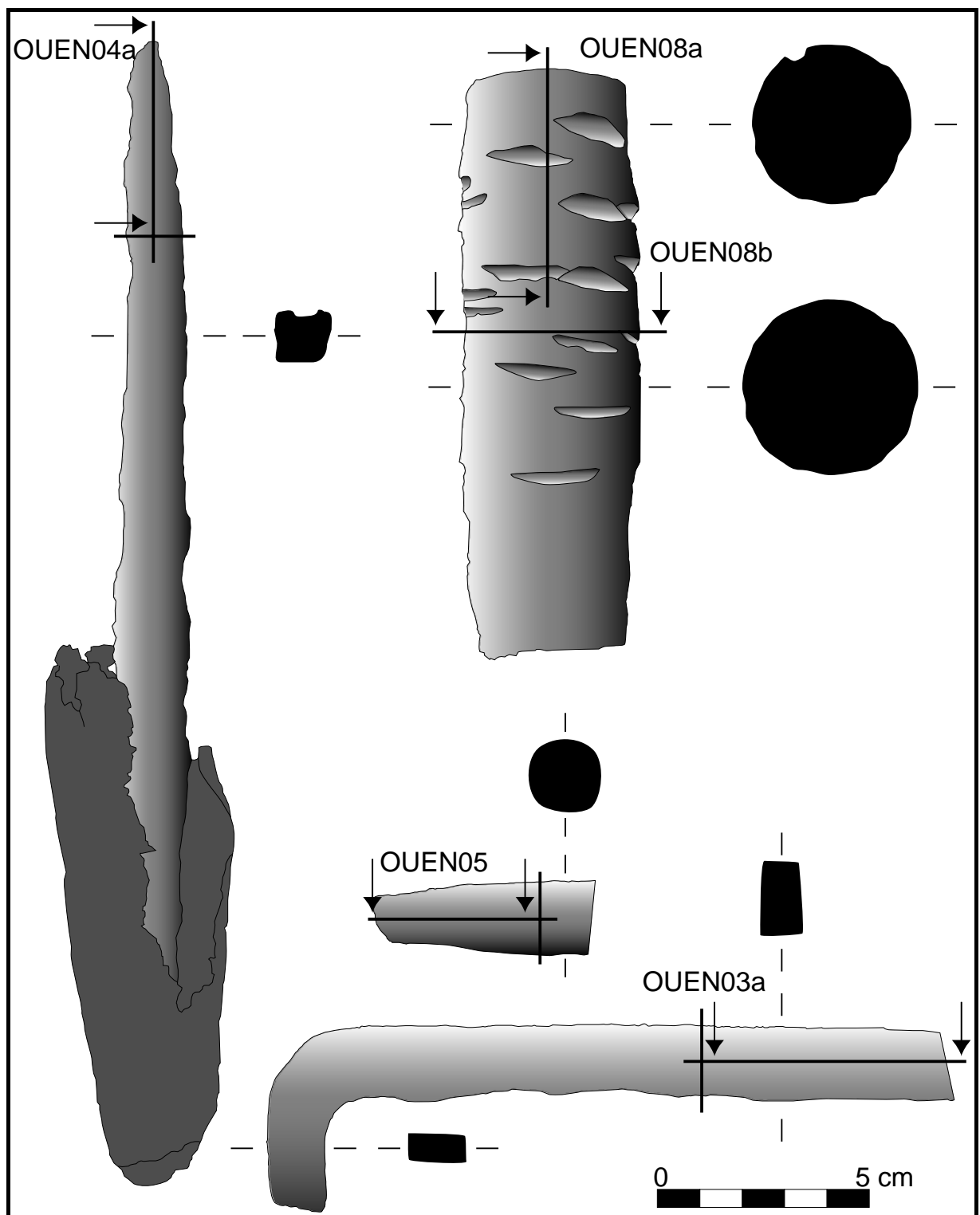


Figure 132 : Corpus d'étude métallographique pour les éléments de pinacles du transept nord-ouest de l'église Saint-Ouen de Rouen avec localisation des sections.

Référence	Description	Localisation	Datation
OUEN 03	Agrafe	Elément déposé dans le transept nord-ouest.	mi XIV ^e – mi XV ^e s. (?)
OUEN 04	Goujon	Fleuron de pinacle déposé dans le transept nord-ouest.	mi XIV ^e – mi XV ^e s. (?)
OUEN 05	Goujon	Fleuron de pinacle déposé dans le transept nord-ouest.	mi XIV ^e – mi XV ^e s. (?)
OUEN 08	Goujon	Base de pinacle de la balustrade du chéneau du transept nord-ouest.	mi XIV ^e – mi XV ^e s. (?)

Tableau 32 : Liste des échantillons analysés provenant de pinacles du transept nord-ouest de l'église Saint-Ouen de Rouen.

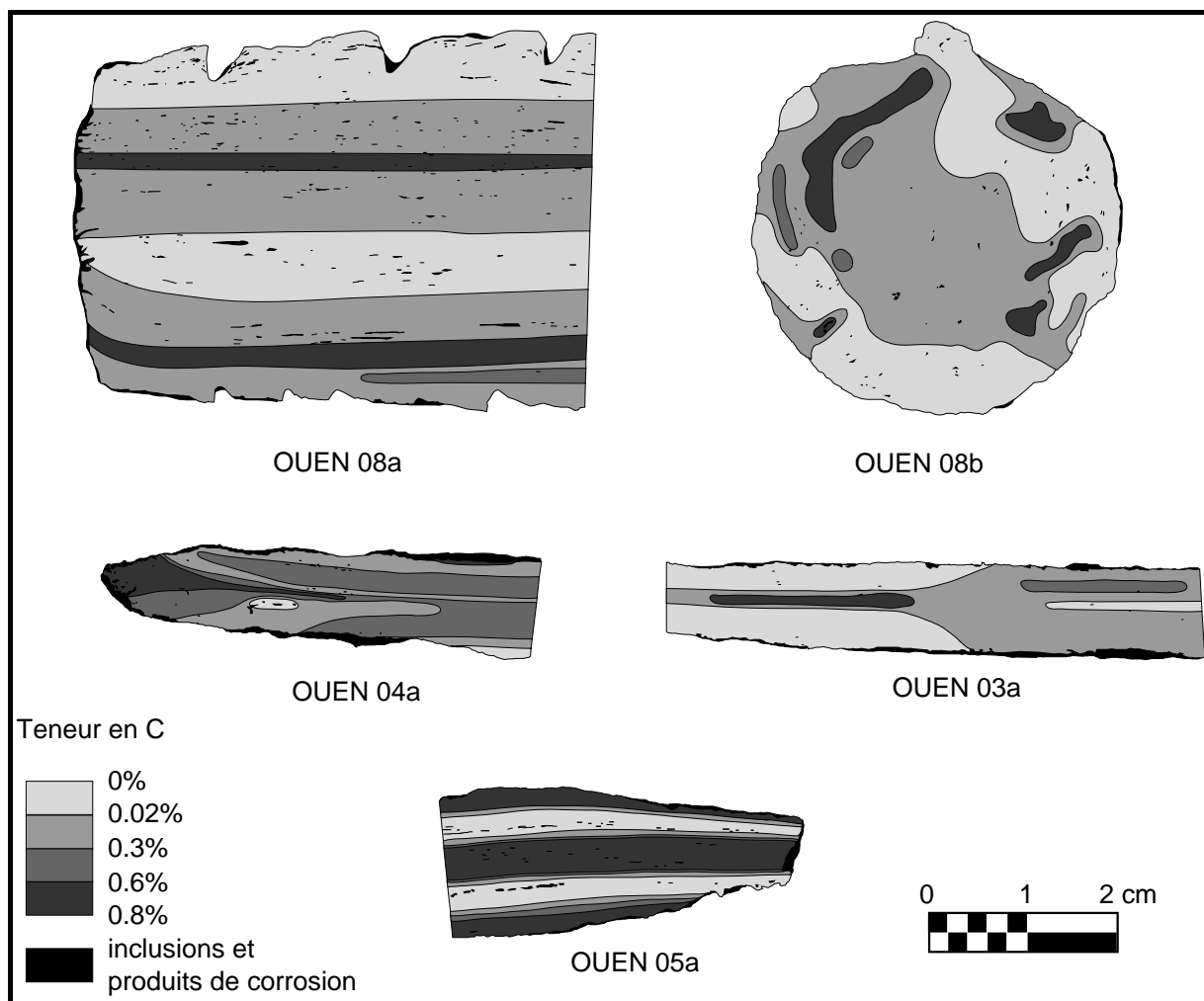


Figure 133 : Structure métallographique des échantillons prélevés dans les pinacles du transept nord-ouest de l'église Saint-Ouen de Rouen.

Les cinq sections présentent un faciès hétérogènes alliant zones très carburées atteignant la composition de l'eutectoïde (0,8 %_{mass} de carbone), zones moins carburées et zones totalement ferritiques dans des proportions variables. La répartition des zones aciérées prend la forme de bandes parallèles pour les quatre sections découpées de manière longitudinale, marquant l'allongement à la forge d'un lopin originellement hétérogène (cf. Figure 134). La section OUEN 08b découpée de manière transversale donne quant à elle une répartition complètement aléatoire, preuve qu'aucun traitement de forge volontaire n'a contribué à l'aciérage de ces objets. Les zones aciérées périphériques de la section OUEN 05a montrent quant à elles des structures martensitiques et bainitiques, caractéristiques d'un traitement de trempe destiné à durcir l'objet. Dans ce cas précis, vu la structure métallographique de l'objet, la trempe n'est probablement pas volontaire et résulte très certainement d'un refroidissement trop rapide à l'air après la dernière chaude à la forge.

Les inclusions, présentes sur l'ensemble des sections, sont pour la plupart très allongées sur les quatre coupes longitudinales. Dans la pointe du goujon OUEN 04, des groupes de petites inclusions n'ont toutefois pas une orientation parallèle à l'allongement de l'objet (cf.) ; leur orientation est bien plus anarchique, comme pour l'ensemble des inclusions de la section transverse OUEN 08b. Ces inclusions sont de tailles très diverses, à l'intérieur même de chaque section et encore davantage d'une section à l'autre. La section OUEN 03a ne possède par exemple que des inclusions de dimensions inférieures au millimètre. Bien qu'elles soient nombreuses, elles sont presque invisibles à l'œil nu ou à faible grossissement, ce qui confère une très bonne propreté inclusionnaire à cette section d'après la modification de la norme AFNOR avec un indice de 1,1*. La norme AFNOR sans modification a donc pu être appliqué à une traversée micrographique de cet échantillon : plus de la moitié des images ont une propreté d'indice 5, pour une moyenne de 4 sur la totalité de la traversée. Une estimation du pourcentage inclusionnaire sur la même traversée révèle qu'elles représentent environ 3,5 à 4 % de la surface de l'objet. Malgré l'apparente propreté de cette section à l'œil nu, surtout en la comparant aux autres objets, le fer qui constitue l'agrafe OUEN 03 est donc quand même de très mauvaise qualité au regard des normes contemporaines. La propreté inclusionnaire des trois goujons, moyenne à mauvaise, avec des indices moyens compris entre 2,3* pour OUEN 04a, et 3,8* pour OUEN 05a, n'a donc pas permis l'application de la norme AFNOR sans modification. A titre de comparaison, un pourcentage a également été estimé pour OUEN 05a à partir d'une traversée micrographique : la quantité d'inclusions y représenterait environ 5 % de la surface totale.

Sur ces trois sections, on note également que les inclusions de plus grande taille sont pour la plupart situées dans les zones ferritiques.

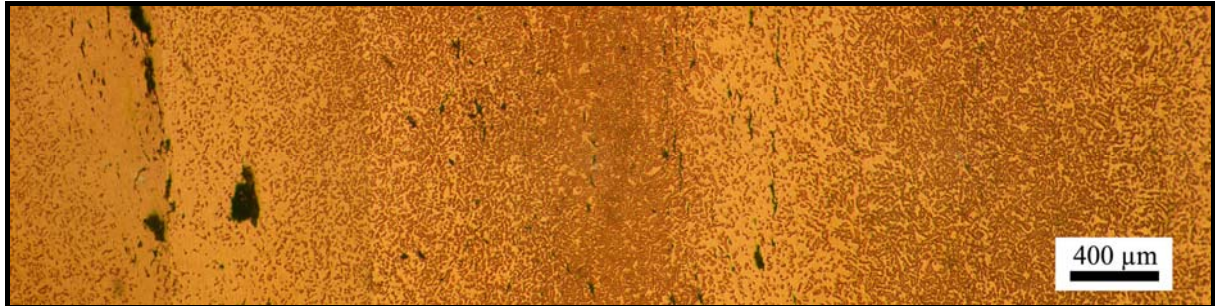


Figure 134 : Micrographie de la section OUEN 04a avec structure en bandes, attaque Nital.

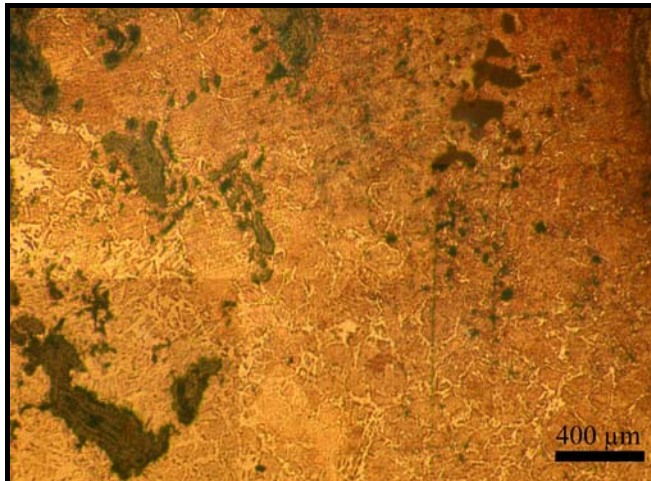


Figure 135 : Pointe de la section OUEN 04a, attaque Nital.

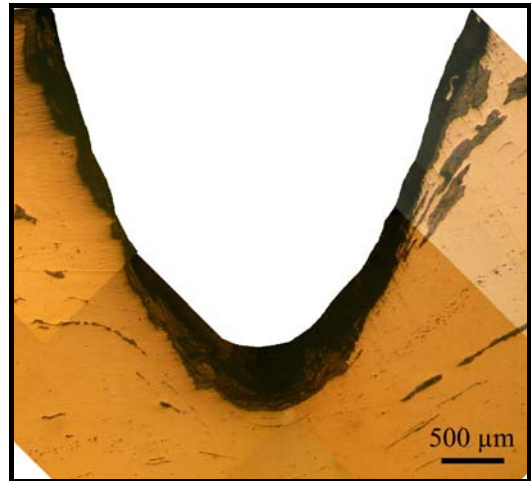


Figure 136 : Repoussement des inclusions au niveau d'une barbelure, section OUEN 08a.

Au niveau de la mise en forme, l'orientation des inclusions ne donne que peu d'informations supplémentaires. Néanmoins, le repoussement de certaines inclusions au niveau des barbelures du goujon OUEN 08 assure qu'elles ont bien été obtenues à chaud à la forge en utilisant un outil non tranchant, puisque les inclusions ne semblent pas avoir été coupées (cf. Figure 136).

Les inclusions des deux sections étudiées sur le goujon OUEN 08 sont constituées en moyenne à plus de 90 %_{mass} d'oxydes de silicium (SiO_2) et de fer (FeO), dans un rapport d'environ un pour deux. Cette moyenne rappelle la composition de la fayalite, Fe_2SiO_4 , principal composé de la matrice inclusionnaire des fers anciens. Parmi les autres éléments

contenus dans ces inclusions, le phosphore est le plus important, avec 5 %_{mass} en moyenne de P₂O₅, mais des teneurs pouvant atteindre localement les 30 %_{mass}. Malgré les faibles teneurs en composés non réduits (Al, K, Mg...), l'étude de l'homogénéité de leurs rapports montre une assez bonne conservation avec un coefficient de détermination R² toujours supérieur à 0,6. Les rapports étant de plus identiques pour les deux sections, le goujon OUEEN 08 est donc vraisemblablement issu d'un fer « neuf ». Les graphiques faisant intervenir le silicium montrent également la présence d'un groupe d'inclusions presque exclusivement constituées de SiO₂, à environ 80 ou 90 %_{mass}, les 10 ou 20 % restants se partageant entre les autres éléments habituellement rencontrés (cf. Figure 137). Ces inclusions traduisent des ajouts de sable au cours du forgeage, lors de soudures ou du repli de la loupe. Cet apport est bien exogène puisque ces inclusions très riches en silicium sortent des rapports Al₂O₃/SiO₂ et SiO₂/CaO établis pour l'échantillon. S'il n'est pas rare de trouver ce type d'inclusions composées de silice presque pure dans la matrice métallique d'un objet, la fréquence à laquelle on les retrouve dans OUEEN 08a et b est plus étonnante : près d'une inclusion sur quatre, parmi celles qui ont été dosées, sont constituées presque uniquement d'oxyde de silicium. Aucune hypothèse plus précise que celle d'un ajout important de sable et de sa mauvaise expulsion, lors des replis du lopin de fer initial, n'a pu être formulée pour expliquer l'importante présence de ce type d'inclusions à ce niveau dans l'objet.

Les inclusions de OUEEN 03a, 04a et 05a contiennent quant à elles les mêmes éléments, à savoir Al, Si, P, K, Ca, Mn et Fe ainsi que de petites quantités de Mg. Les rapports des composés non réduits sont très bien conservés pour OUEEN 03a et 05a avec des coefficients de détermination R² souvent supérieurs à 0,8. Ils diffèrent cependant pour les deux objets, assurant une origine distincte pour les fers les composant (cf. Figure 138). Les rapports de OUEEN 08 sont également distincts des deux précédents. En revanche, OUEEN 04 ne présente pas d'homogénéité dans ses rapports. Deux ou trois rapports distincts semblent même se profiler sur la plupart des graphiques. Contrairement aux autres objets, il semble donc que l'on ait ici l'exemple d'un recyclage par corroyage de fers d'origines différentes.

La composition globale moyennée des inclusions est bien caractéristique du procédé direct pour OUEEN 03, 04 et 05 (cf. Figure 140). Ces éléments situés dans une partie de l'église construite dans la première moitié du XV^e siècle ne sont donc pas issus de restaurations ultérieures. En revanche, pour OUEEN 08, elle situe à la limite de la zone indéterminée et de celle du procédé indirect. Aucune phase caractéristique comme des oxydes de chrome ou de vanadium ne permet d'asseoir plus fermement l'hypothèse d'un fer indirect, filière qui n'est en l'état actuel de la recherche pas encore présente en Normandie à cette

période. Les questions restent donc entières sur la filière d'origine de ce goujon. Il peut en effet s'agir :

- d'un fer de réduction directe issu d'un minerai à très faibles teneurs en aluminium, magnésium et potassium ;
- d'un fer de réduction indirecte datant de la première moitié du XV^e siècle, provenant d'une région où le procédé indirect est déjà bien développé, par exemple le Nord où l'Est du royaume de France ;
- d'un fer de réduction indirecte datant de la première moitié du XV^e siècle, provenant d'une structure précoce installée dans la région normande encore inconnue⁴⁰⁵ ;
- d'un fer de réduction indirecte datant d'une période postérieure, qui marquerait alors une période de restauration sur les pinacles de la balustrade des grands combles du transept nord-ouest.

En l'absence de données supplémentaires, il est difficile de choisir parmi l'une ou l'autre de ces hypothèses.

Echantillon	Datation	Teneur en C	Fer phosphoreux	Indice de propreté	Procédé de réduction	Lopin originel
OUEN 03a	mi XIV ^e – mi XV ^e s. (?)	0 à 0,8 % _{mass} + SB	NON ?	1,1*	Direct	1 seul lopin
OUEN 04a	mi XIV ^e – mi XV ^e s. (?)	0 à 0,8 % _{mass} + SB	NON ?	2,3*	Direct	Corroyage de 3 lopins ?
OUEN 05a	mi XIV ^e – mi XV ^e s. (?)	0 à 0,8 % _{mass} + SB	NON ?	3,8*	Direct	1 seul lopin
OUEN 08a	mi XIV ^e – mi XV ^e s. (?)	0 à 0,8 % _{mass} + SB	NON ?	3,2*	Indirect ?	1 seul lopin
OUEN 08b	mi XIV ^e – mi XV ^e s. (?)	0 à 0,8 % _{mass} + SB	NON ?	-	Indirect ?	

Tableau 33: Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les éléments de pinacle prélevés dans le transept nord-ouest de l'église Saint-Ouen de Rouen.

⁴⁰⁵ Cette hypothèse est la seule qui remettrait en question la période d'introduction du procédé indirect en Normandie. En l'état actuel de la recherche, elle paraît donc peu vraisemblable.

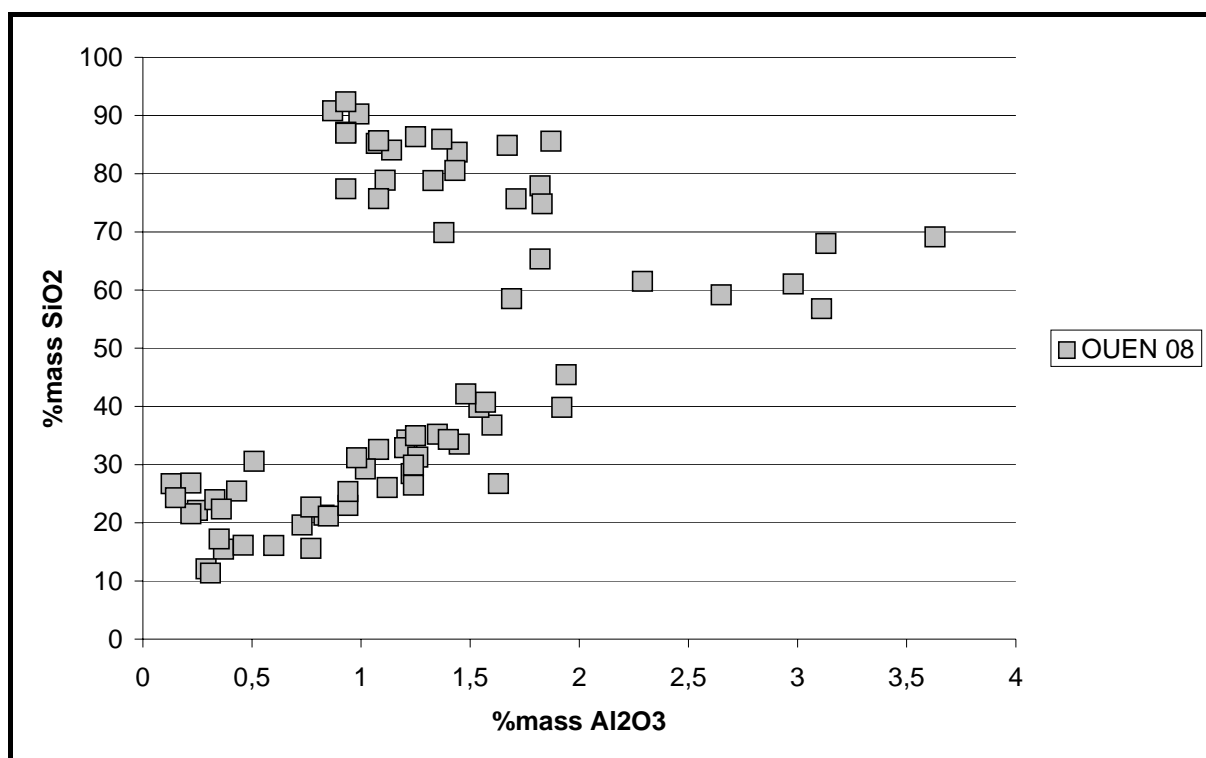


Figure 137 : Comparaison des teneurs en Al₂O₃ et SiO₂ des inclusions du goujon OUEN 08 montrant la présence de grains de sable dans la matrice.

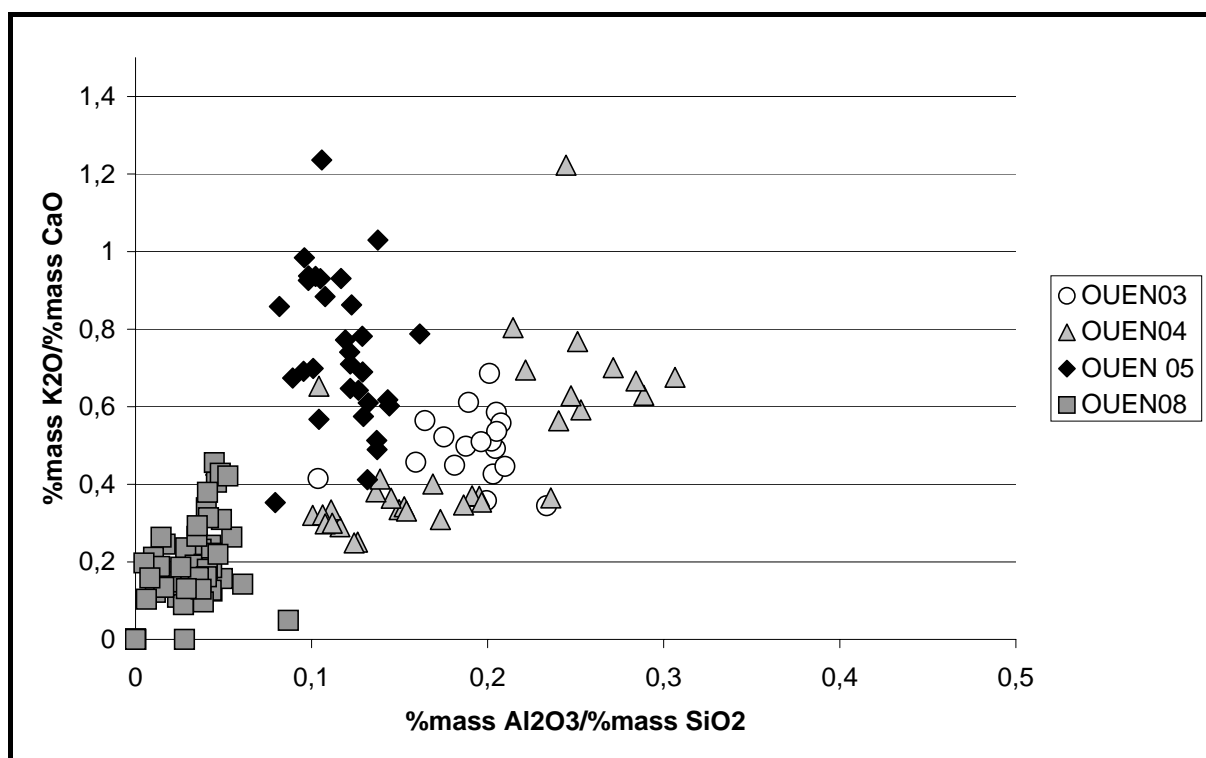


Figure 138 : Comparaison des rapports Al₂O₃/SiO₂ et K₂O/CaO pour les objets provenant des pinacles du transept nord-ouest de l'église Saint-Ouen de Rouen.

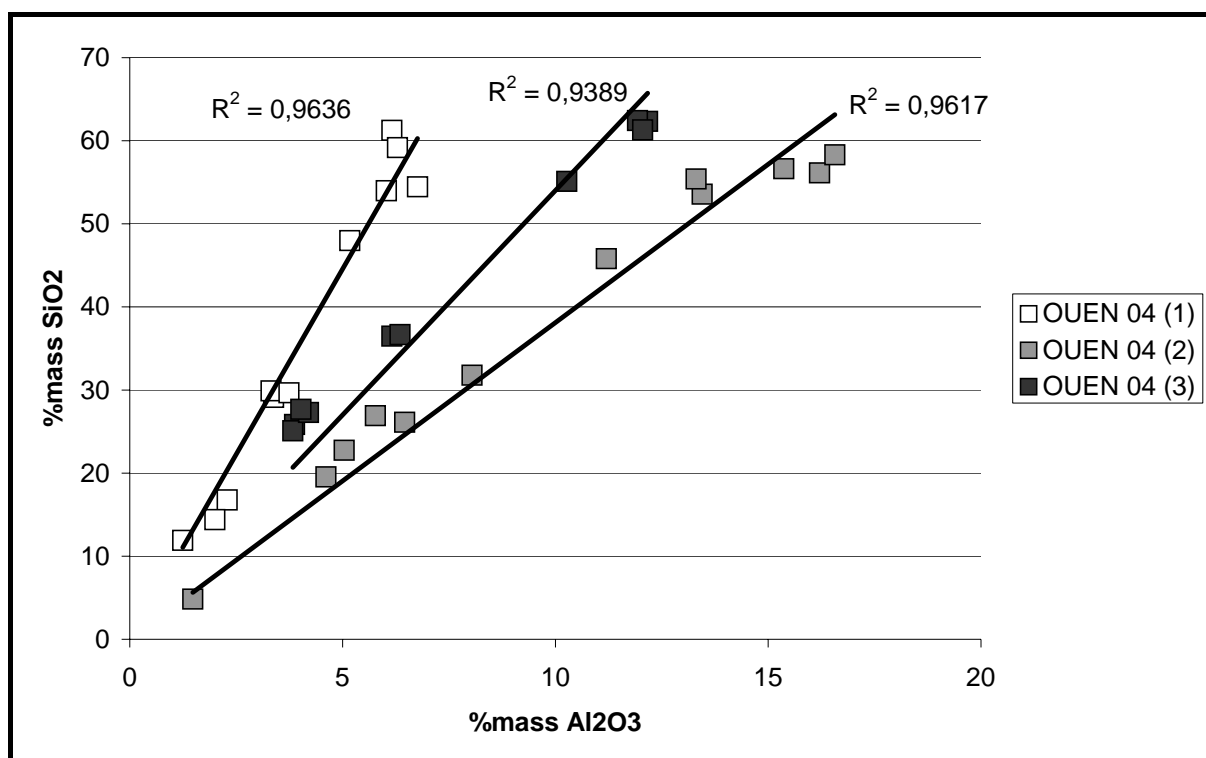


Figure 139 : Comparaison des teneurs en Al_2O_3 et SiO_2 des inclusions du goujon OUEN 04 laissant apparaître trois rapports distincts.

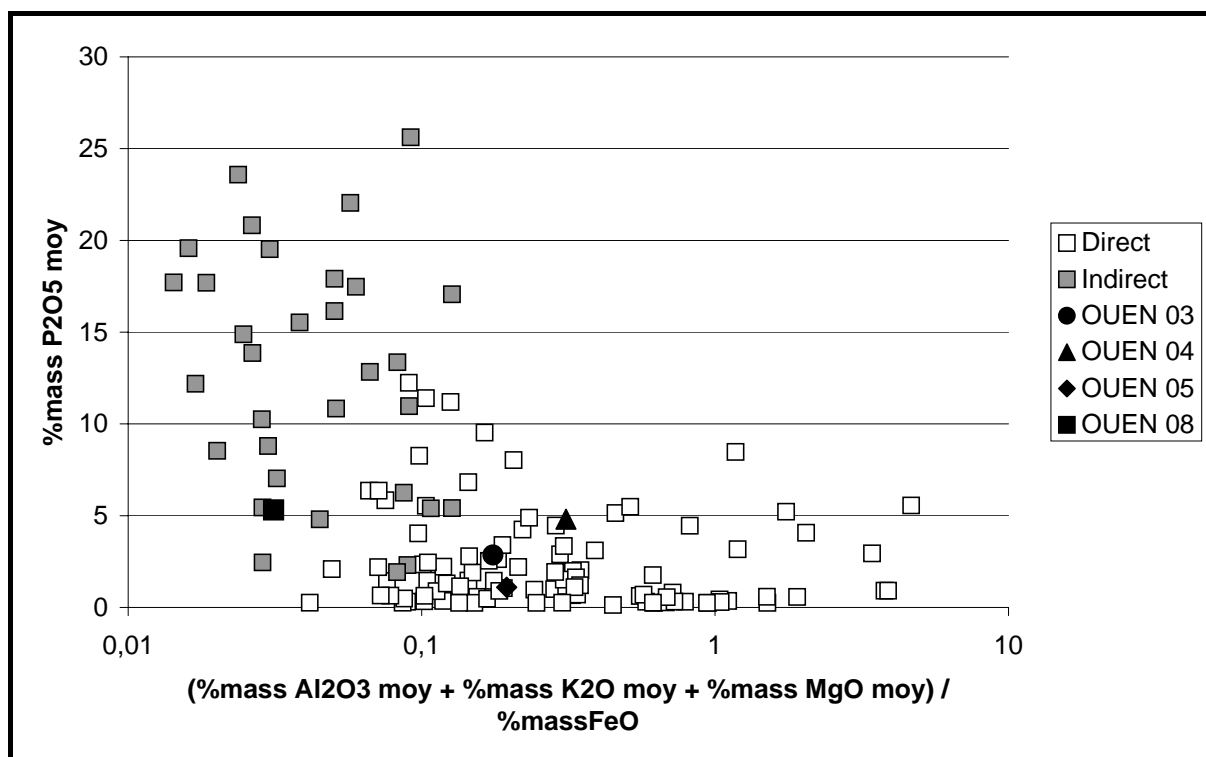


Figure 140 : Discrimination des procédés de réduction pour les objets provenant des pinacles du transept nord-ouest de l'église Saint-Ouen de Rouen.

I.2.4.8.3 Agrafes et goujons dans les gargouilles

L'église Saint-Ouen compte environ deux cents gargouilles, en incluant la vingtaine de gargouilles qui ornent le portail occidental du XIX^e siècle. Les gargouilles sont par nature des éléments très fragiles, susceptibles de subir de nombreuses dégradations. Il est donc probable que nombre d'entre elles ne soient pas des éléments d'origine sur l'édifice ou qu'elles aient subi plusieurs réparations successives.

La plupart des gargouilles, à moitié brisées, montrent qu'elles comportent dans leur structure des éléments de fer. Il s'agit en général d'un goujon, assez souvent accompagné de deux agrafes fichées sur la gargouille (cf. Figure 141). De nombreux exemples se trouvent au deuxième et au troisième étages de la tour de la croisée. Les quelques sondages réalisés avec le détecteur de métaux sur des gargouilles à hauteur du triforium du chœur semblent pourtant indiquer que la plupart des gargouilles non brisées ne sont pas armées de métal. Ces prospections ont toutefois eu un caractère limité, notamment car certaines gargouilles sont recouvertes d'un canal de plomb. De plus, il ne faut pas sous-estimer la restauration qui est très fréquente au niveau de tels éléments saillants.

Certaines de ces agrafes ont pu être mesurées grâce à la présence d'échafaudages extérieurs sur la tour de la croisée pendant les restaurations. Celles de la gargouille de la figure 18 mesurent 36 cm, retours exclus, pour une section carrée de 2 cm de côté.

Il convient donc de s'interroger sur l'origine et le rôle de ces agrafes et goujons. Si un goujon interne peut constituer un élément raidisseur même pour une gargouille taillée dans un seul et même bloc de pierre, en la reliant à la maçonnerie, les agrafes n'ont de sens que si la gargouille est composée de deux blocs de pierre distincts, afin de joindre ces deux éléments entre eux, ou alors si la pierre unique s'est elle-même fissurée (cf. Figure 141). Dans ce cas, il est clair que les agrafes et éventuellement le goujon ont été posés *a posteriori* pour consolider la structure⁴⁰⁶. La différence de patine généralement observable entre les deux blocs de pierre d'une même gargouille abonde également dans le sens de réfections.

L'hypothèse des réparations semble donc la plus probable, les agrafes constituant plus vraisemblablement des éléments de consolidation posés *a posteriori* afin de joindre les deux éléments de pierre. La nécessité de consolidation du joint est ici évidente, car la pierre de tête de la gargouille ne dispose d'aucun autre support.

⁴⁰⁶ Des mentions de restauration de gargouilles de la chapelle Saint-Pierre et Saint-Paul à la cathédrale de Rouen attestent la pose d'un goujon interne, Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 0081/076/0104.



Figure 141 : A gauche, agrafes de restauration dans des gargouilles au 2e étage de la tour de la croisée. A droite, goujon dans une gargouille du chéneau du transept nord.



Figure 142 : Agrafe OUEN 20 et goujon OUEN 21 prélevés dans une gargouille de la nef de l'église Saint-Ouen de Rouen.

Le rôle et l'origine des goujons peuvent cependant être différents. Ils peuvent servir à asseoir plus solidement la gargouille à la corniche à laquelle elle est accrochée, comme cette barre de fer découverte dans une gargouille des chéneaux hauts du transept oriental (cf. Figure 141). Elle est profondément ancrée dans la gargouille et n'a pu être mise en place que lors de son installation initiale. Il s'agirait donc là plutôt d'une utilisation *a priori* et non d'une consolidation postérieure.

Les systèmes de consolidations initiaux sont sans doute très diverses. Certaines gargouilles pourraient être armées d'un goujon ou d'une barre de fer, d'autres non. En revanche, l'utilisation d'agrafes, et peut-être aussi de goujons, pour leur réparation semble beaucoup plus systématique.

Une agrafe et un goujon de gargouille ont été prélevés pour analyse sous les références OUEN 20 et OUEN 21 (cf. Figure 142). Ils proviennent d'une gargouille du chéneau de la nef située entre la première et la deuxième travée du côté sud, trouvée brisée au sol un jour de prospection. Ils y étaient scellés au mortier de chaux.

1.2.4.8.4 Analyses métallographiques des éléments d'une gargouille de la nef

Une section transversale a été réalisée sur l'agrafe et une section longitudinale sur la pointe du goujon. Toutes deux révèlent une structure totalement ferritique avec présence de structures fantômes, témoins d'un fer phosphoreux (cf. Figure 143). L'attaque Oberhoffer montre une répartition du phosphore sous la forme de bandes sur la section longitudinale OUEN 21a, conséquence de l'allongement d'une structure originellement hétérogène (cf. Figure 144). Pour OUEN 20a, on observe localement, dans chacun des quatre coins de la surface polie, une structure en bandes repliées sur elles-mêmes, suivant l'orientation des inclusions (cf. Figure 145). Elles sont probablement l'expression d'une sorte de matage des coins pour former les arêtes de cette agrafe.

Les deux sections présentent de nombreuses inclusions essentiellement biphasées cristallisées. Elles sont très allongées sur OUEN 21a, dont l'indice de propreté inclusionnaire estimé est assez mauvais, avec 3,6*. Outre l'oxygène, la composition chimique des inclusions de OUEN 21a se résume à quatre éléments : Fe, P, S et Si. Les oxydes de fer et de phosphore avec des teneurs moyennes respectives de 73 %_{mass} et 18 %_{mass} représentent plus de 90 % de la composition moyenne globale de ses inclusions. Celles de OUEN 20a ont une composition chimique un peu plus diversifiée, malgré une nette prédominance du fer, du

silicium, du phosphore. Aluminium, calcium et manganèse y sont présents en proportions non négligeables, ainsi que localement des phases d'oxydes de chrome et de vanadium.

Le faible nombre d'éléments composant les inclusions de OUEN 21a interdit tout travail et toute hypothèse sur son éventuelle signature chimique. Pour OUEN 20a, l'absence de magnésium et de potassium réduit également très nettement le nombre de rapports étudiables. Parmi les trois rapports restants, utilisant Al, Si et Ca, seul Al_2O_3/SiO_2 montre une certaine constance. Au vu de la faiblesse des d'informations obtenues, il est ici aussi bien difficile de conclure quant à l'hétérogénéité constatée. Là encore, l'apport d'analyses sur des éléments traces serait essentiel. D'après les compositions moyennes globales de leurs inclusions ainsi que les oxydes de chrome et vanadium découverts sur OUEN 20a, l'agrafe et le goujon sont tous deux en fer de réduction indirecte (cf. Figure 146). D'après les différences de composition, il est néanmoins évident que le goujon et l'agrafe sont issus d'au moins deux fers d'origines distinctes. Ces résultats ne permettent malheureusement pas de répondre à la question de l'origine du goujon et de l'agrafe, à savoir s'ils ont été posés *a priori* ou consécutivement à une restauration. En effet, la nef de l'église est terminée au cours du deuxième quart du XVI^e siècle, époque où la filière indirecte est largement répandue en Normandie. Un fer de réduction indirecte ne peut donc pas être ici le marqueur d'une restauration plus tardive.

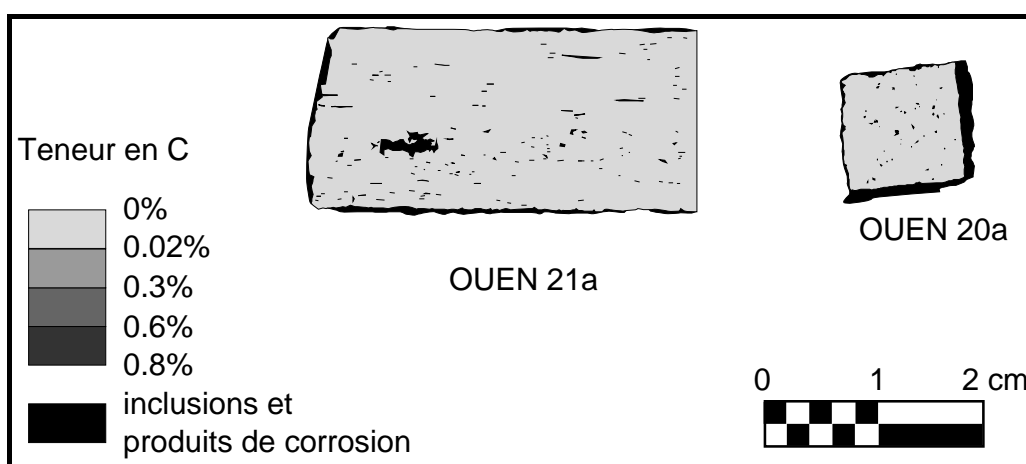


Figure 143 : Structure métallographique des échantillons objets provenant d'une gargouille de la nef de l'église Saint-Ouen de Rouen.

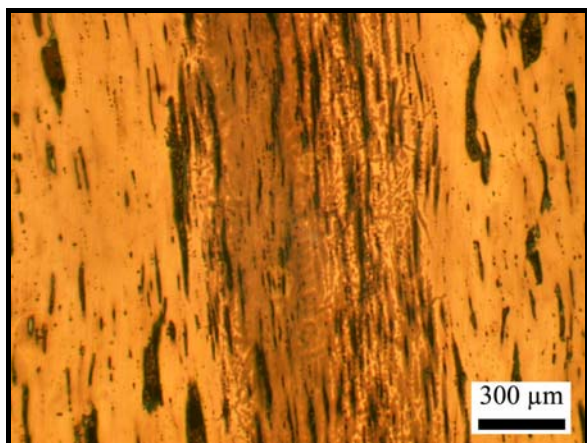


Figure 144 : Structures en bandes et inclusions, section OUEEN 21a, attaque Oberhoffer.

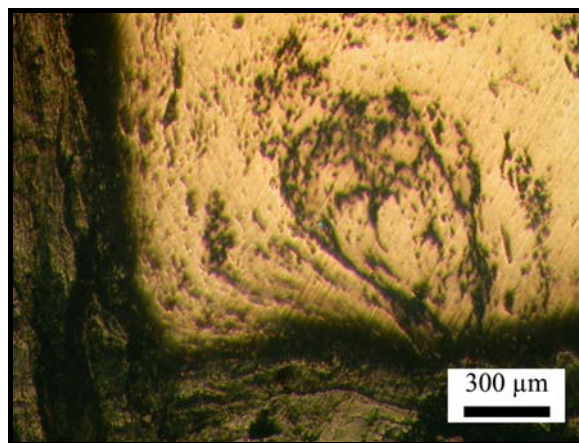


Figure 145 : Repli au niveau de l'arête de l'agrafe OUEEN 20, attaque Oberhoffer.

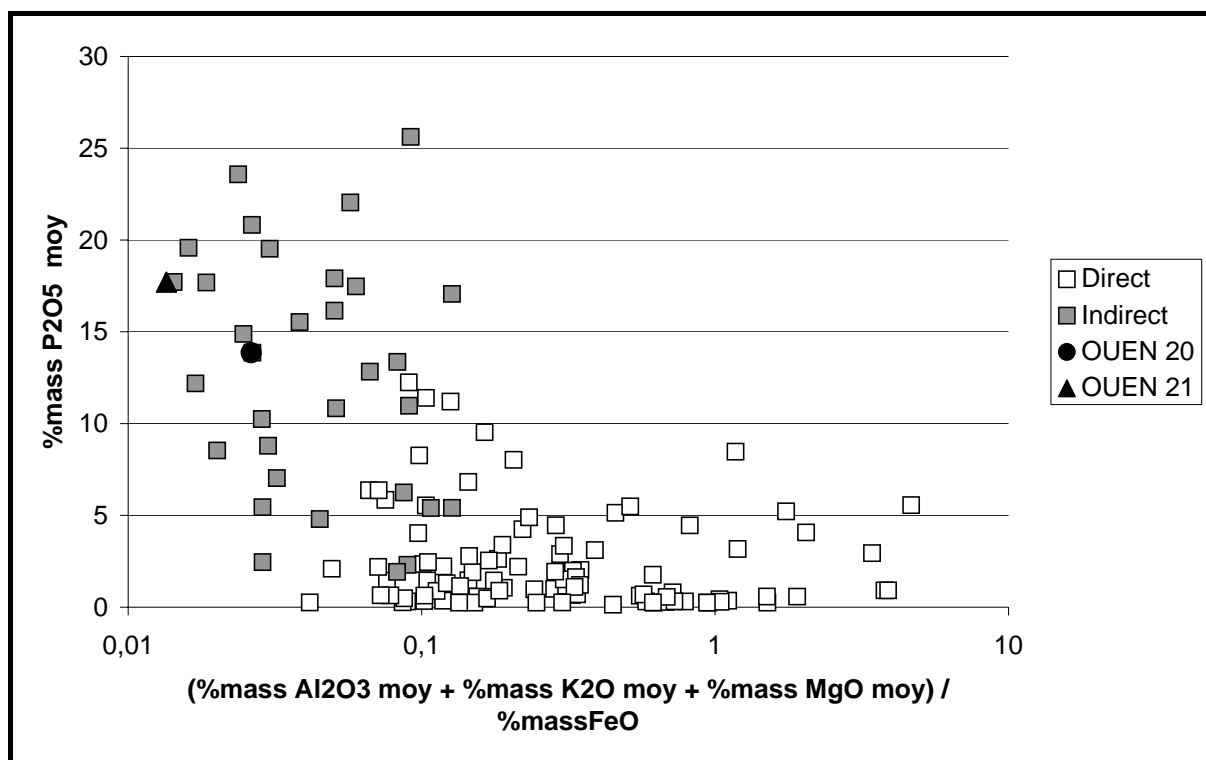


Figure 146 : Discrimination des procédés de réduction pour les objets provenant d'une gargouille de la nef de l'église Saint-Ouen de Rouen.

Echantillon	Datation	Teneur en C	Fer phosphoreux	Indice de propreté	Procédé de réduction	Lopin originel
OUEEN 20a	Post. au XVI ^e s.	< 0,02 % _{mass}	OUI (SF)	-	Indirect	?
OUEEN 21a	Post. au XVI ^e s.	< 0,02 % _{mass}	OUI (SF)	3,6*	Direct	?

Tableau 34: Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les éléments provenant d'une gargouille de la nef de l'église Saint-Ouen de Rouen.

I.2.5 Synthèse sur l'emploi du fer à l'église Saint-Ouen

Avec au moins 25 tonnes de fer dans ses vitraux et au moins 5 tonnes sous forme de tirants et de chaînages, l'église Saint-Ouen dépasse déjà de loin, en termes de quantités de fer mises en œuvre, la cathédrale de Rouen, son aînée d'un siècle, qui est pourtant de dimensions assez semblables. En considérant tous les petits éléments de fer, goujons et agrafes, qui représentent déjà environ 1,5 tonnes pour les seuls pinacles de l'église, de même les nombreuses agrafes qu'il reste à découvrir dans la maçonnerie et bien sûr sans oublier les tirants, il est fort probable que la quantité de fer mise en œuvre à l'église Saint-Ouen dépasse les 50 tonnes, la plupart en fer de réduction directe⁴⁰⁷. Les analyses métallographiques ont en effet systématiquement confirmé que les différentes armatures de fer avaient bien été mises en œuvre à l'époque de la construction de l'église. L'absence de comptes conservés, qui auraient de plus été contemporains de cette construction, est à ce titre plus que regrettable.

Ces importantes quantités de fer employés à Saint-Ouen le sont sous les formes les plus simples : simples barres, agrafes, ou goujons. Le chantier de l'église Saint-Ouen semble néanmoins être le témoin d'une standardisation et une simplification dans les formes des pièces de fer beaucoup plus systématique qu'à la cathédrale. Malgré des variations de longueur importantes, les agrafes mises au sol et sur les balustrades sont identiques et souvent interchangeables. Même les chaînages sont réduits à leur plus simple expression : dans la tour de la croisée, sans extrémité en forme d'œil, chaque chaînon n'est en fait qu'une immense agrafe. La réduction du nombre de formes créées est impressionnante. Parallèlement, les défauts de forge dont ces chaînons ont été l'objet montrent par ailleurs une certaine difficulté à obtenir puis travailler des pièces de très grandes dimensions. Les événements qui secouèrent la France et en particulier la Normandie au cours de la première moitié du XV^e siècle, période de mise en place de ces tirants, ne sont par ailleurs peut-être pas étrangers à ces malfaçons.

⁴⁰⁷ W. Haas estimait la quantité de fer présente dans la cathédrale de Ratisbonne à 40 tonnes, HAAS (W.), « Die Rolle des Eisens »..., *op. cit.*

I.3 L'ÉGLISE SAINT-MACLOU DE ROUEN

I.3.1 Historique

Une première église Saint-Maclou s'élevant à l'emplacement de l'église actuelle aurait été détruite par un incendie au début du XIII^e siècle⁴⁰⁸. Elle est rebâtie au cours du XIII^e siècle, mais, en 1432, il est décidé de la reconstruire de nouveau⁴⁰⁹. Le 16 septembre, Hugues d'Orgues, archevêque de Rouen, accorde une indulgence pour la réparation et la reconstruction de l'édifice du XIII^e siècle⁴¹⁰. En 1436, on paye Pierre Robin, maître maçon pour le dessin du plan de la nouvelle église et en 1437 les comptes attestent que la nef de la vieille église est en train d'être réparée et recouverte, que l'on pose des fondations à l'est du vieux transept détruit et que au moins une chapelle, la chapelle Notre-Dame est déjà élevée⁴¹¹. L'édifice qui se dresse actuellement sous nos yeux est donc commencé durant cette période, au milieu des années 1430. Il est dédié par Georges II d'Amboise le 25 juin 1521, après une période de construction de près d'un siècle⁴¹².

L.E. Neagley donne la chronologie suivante pour la construction de l'église Saint-Maclou, en s'appuyant à la fois sur des considérations stylistiques ainsi que sur les sources écrites⁴¹³. Les travaux débutent entre 1432 et 1437, avec la construction d'une chapelle, la recouverture de la vieille nef et le début des travaux dans le chœur. Entre 1437 et 1450, les chapelles du chœur sont complétées dans leurs parties supérieures, mais elles ne sont pas toutes voûtées. Puis, la construction s'accélère à partir de 1452 avec de nombreuses donations. Une indulgence du cardinal d'Estouteville suggère alors que le chœur est terminé et Jehan Chauvin, maître maçon, travaille au transept et au début de la nef. Sous l'impulsion du cardinal d'Estouteville, puis de Georges I^{er} d'Ambroise, administrateur de la Normandie de 1494 à 1510, les contributions volontaires des habitants permettent en effet de reprendre et d'achever les constructions et restaurations de nombreuses églises paroissiales comme Saint-

⁴⁰⁸ LOTH (abbé J.), *Saint-Maclou de Rouen : l'église, la paroisse*, Rouen, Lecerf Fils, 1913, p.10.

⁴⁰⁹ ID., *Ibid.*, p. 8

⁴¹⁰ NEAGLEY (L. E.), *Disciplined exuberance : the Parish Church of Saint-Maclou and late Gothic architecture in Rouen*, University Park, Penn : The Pennsylvania State university Press, 1998, p.10.

⁴¹¹ ID., *Ibid.*, p. 14.

⁴¹² ID., *Ibid.*, p. 11.

⁴¹³ ID., *Ibid.*, p. 22.

Maclou, dès la seconde moitié du XV^e siècle⁴¹⁴. La construction de la nef a lieu entre 1452 et 1489, certaines chapelles étant achevées dès 1465. La nef est couverte entre 1476 et 1479, la rose est élevée en 1487. La construction de la tour-lanterne commence après 1489 ; elle est achevée après 1514, la flèche datant de 1517.

I.3.2 Description

L'église Saint-Maclou présente un plan à trois nefs, une nef centrale et deux collatéraux qui se poursuivent dans le chœur formant un déambulatoire. Son transept est non saillant. Tous sont couverts de voûtes d'ogives quadripartites sur plan barlong, presque carré dans le cas des voûtes du vaisseau central. Dans les bas-cotés de la nef ainsi que dans le déambulatoire s'ouvrent des chapelles latérales. L'originalité de l'église Saint-Maclou réside dans l'absence de chapelle axiale dans le chœur : les quatre chapelles sont réparties symétriquement autour de l'axe central. L'élévation, uniforme dans tout l'édifice, est à trois étages : grandes arcades, triforium aveugle et fenêtres hautes.

La principale modification que connaît l'église est la démolition de son clocher en 1735, remplacé en 1868 par une flèche en pierre, œuvre de l'architecte Eugène Barthélemy, qui est installée sur la base de la tour-lanterne datant de la fin du XV^e siècle.

⁴¹⁴ MOLLAT (M.), *Histoire de Rouen...*, *op. cit.*, p. 174.



Figure 147 : Vue de la façade de l'église Saint-Maclou, cliché de l'Office du Tourisme de Rouen.

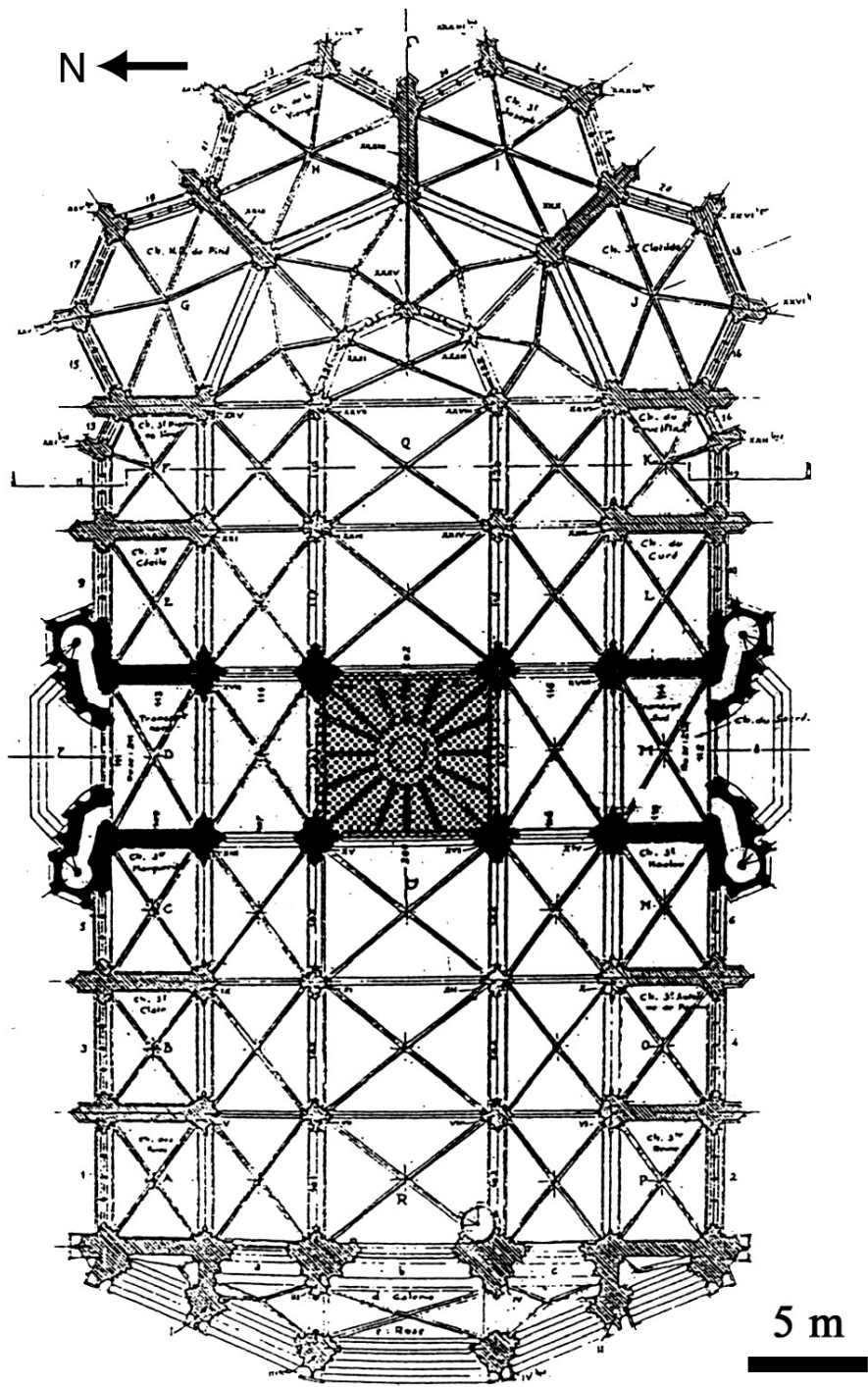


Figure 148 : Plan de l'église Saint-Maclou, S.D.A.P. de la Seine-Maritime.

I.3.3 Les armatures de vitraux

I.3.3.1 Historique des vitraux de l'église Saint-Maclou

Les vitraux de l'église Saint-Maclou sont pour la plupart contemporains de son élévation. Pour le chœur, on date traditionnellement ceux des chapelles entre 1440 et 1450 et ceux des baies hautes de l'abside vers 1460⁴¹⁵. D'après F. Perrot, certains vitraux des baies hautes du chœur sont contemporains des roses du transept de Saint-Ouen, et dateraient donc d'avant 1450⁴¹⁶. Les verrières de la nef et les roses latérales datent de 1470 environ. Enfin, la rose de la façade est offerte en 1487⁴¹⁷.

Ces verrières ont connu quelques modifications et restaurations. Des compositions modernes ou contemporaines ont été créées pour certaines baies des chapelles du déambulatoire. Il s'agit parfois de compositions abstraites, parfois de simples verrières décoratives. De même, à l'exception des fenêtres de l'abside, l'ensemble des baies hautes est vitré de verre blanc ou de grisailles contemporaines⁴¹⁸.

I.3.3.2 Les barlotières-tirants

L'église Saint-Maclou compte, tout comme la cathédrale et l'abbatiale Saint-Ouen, des barlotières faisant tirant dans ses fenêtres (cf. Figure 149). Elles sont au nombre de deux par baie haute ; les fenêtres basses des chapelles du chœur en comptent en général également deux. Ces barres, qui sont continues à l'intérieur d'une baie, comme l'indique la discontinuité des meneaux, ne sont probablement pas reliées les unes aux autres. La barre inférieure ne s'arrête jamais au niveau d'un joint dans les piédroits et la barre supérieure pas de manière systématique. Dans le chœur, on note de plus une différence de niveau entre les tirants de l'abside et ceux des travées droites.

⁴¹⁵ *Corpus Vitrearum. Les vitraux de Haute-Normandie...*, op. cit., p. 360.

⁴¹⁶ PERROT (F.), *Le Vitrail à Rouen*, Rouen, Le cerf, 1972, p. 27.

⁴¹⁷ *Corpus Vitrearum. Les vitraux de Haute-Normandie...*, op. cit., p. 360.

⁴¹⁸ *Ibid.*, p. 360.

1.3.3.3 Estimations des quantités de fer

Les estimations faites sur les quantités de fer présentes dans les vitraux de l'église Saint-Maclou montrent qu'elles ne doivent probablement pas dépasser les 5 tonnes et demie, dont 2,5 tonnes pour le chœur, 1,6 t pour la nef et 1,3 t pour les transepts. Chaque fenêtre représente environ entre 80 et 150 kg de fer. Ces 5,5 tonnes de fer auraient été mises en œuvre dans la seconde moitié du XV^e siècle, d'après les dates de construction des verrières.

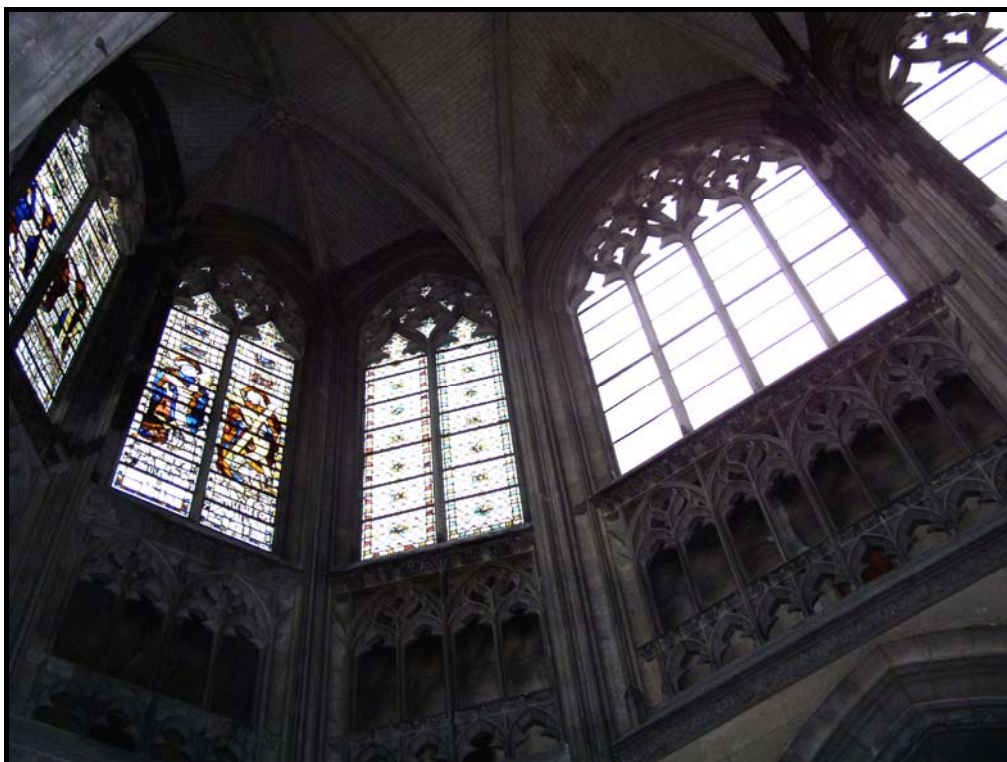


Figure 149 : Fenêtres hautes de l'abside de l'église Saint-Maclou avec leurs tirants.

I.3.4 Tirants et chaînages

I.3.4.1 Les chaînages de la tour-lanterne

Les travaux de restauration entrepris par la conservation régionale des monuments historiques de la Seine-Maritime et réalisés par l'entreprise Lanfry ont permis de mettre en évidence deux chaînages dans la tour-lanterne (cf. Figure 150 et Figure 151).

Le premier est un chaînage rajouté par l'architecte Barthélémy au XIX^e siècle, afin de permettre l'élévation de la nouvelle flèche. Situé au sommet de la tour juste sous la balustrade, son existence et son emplacement étaient déjà connus par les documents d'archives. Ce chaînage contemporain n'étant de toute évidence pas un témoignage des techniques médiévales, ni même modernes, ne retiendra pas notre attention plus longtemps.

Le second chaînage n'était connu par aucun document. Il a été découvert au-dessus des voûtes de la lanterne, environ 1 m sous le précédent, au niveau où la tour passe d'un plan carré à une forme octogonale. Il suit donc à la fois la forme octogonale des parois de la tour et le plan carré qui englobe les tourelles d'escalier et a par conséquent la forme d'un octogone inscrit dans un carré. Il est constitué de grandes barres de fer scellées au plomb dans la maçonnerie et reliées les unes aux autres par un système d'œil et de crochet.

L'emplacement du chaînage ainsi que son scellement indiquent selon D. Moufle, architecte en chef des monuments historiques responsable de cette opération, qu'il s'agit là d'un chaînage de la fin du XV^e siècle ou du début du XVI^e siècle, posé lors de l'édification de la tour-lanterne. Aucune investigation de nature archéologique n'a pu être développée ce qui est fort regrettable. Les seules informations dont nous disposons à son sujet proviennent d'un relevé à l'échelle réalisé par l'entreprise Lanfry, d'une conversation téléphonique avec D. Moufle et d'une photographie réalisée par les services de la DRAC.

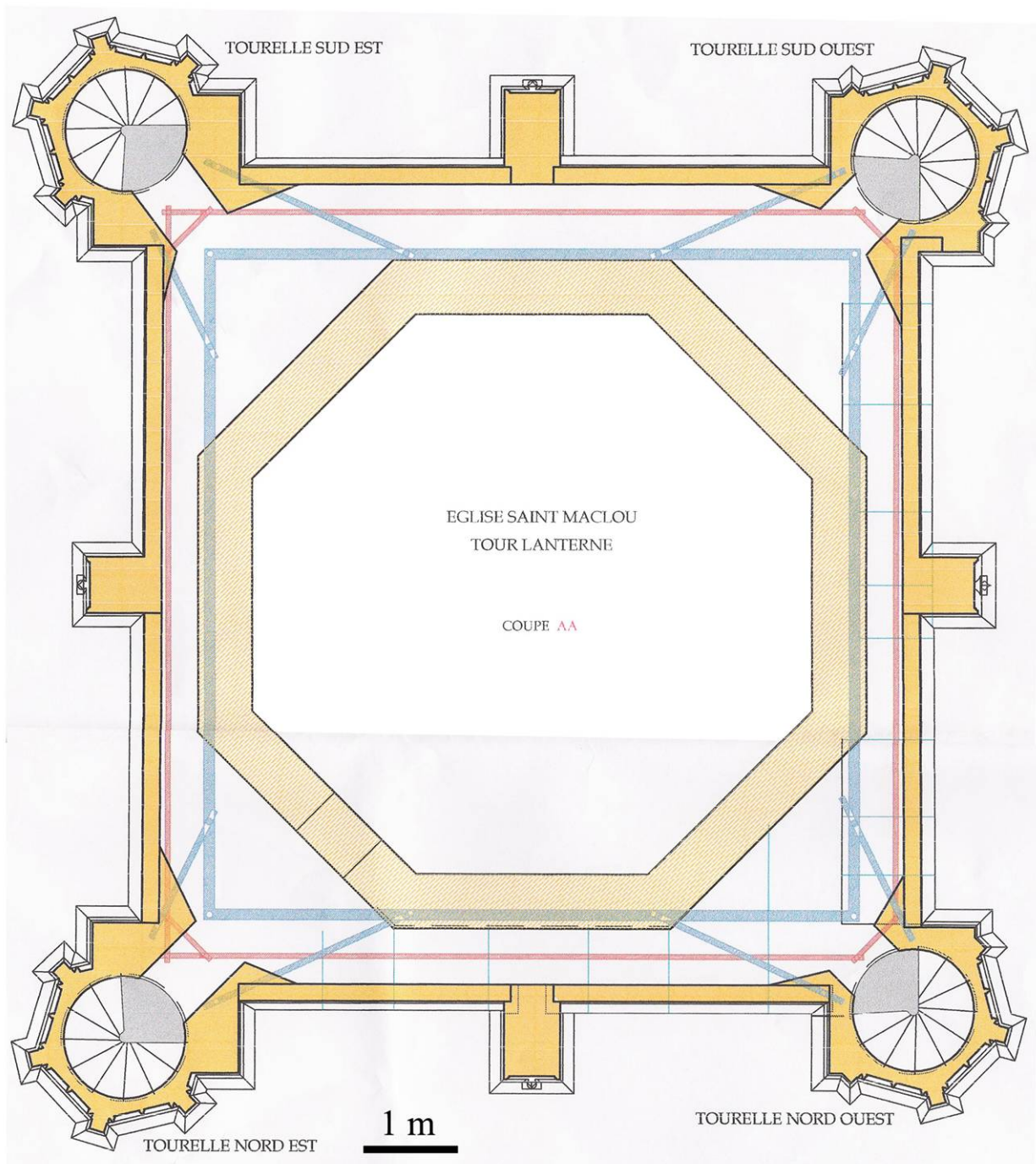


Figure 150 : Chaînages retrouvés dans la maçonnerie de la tour-lanterne de l'église Saint-Maclou. En rouge, chaînage du XV^e siècle. En bleu, chaînage du XIX^e siècle, dessin Entreprise Lanfry.

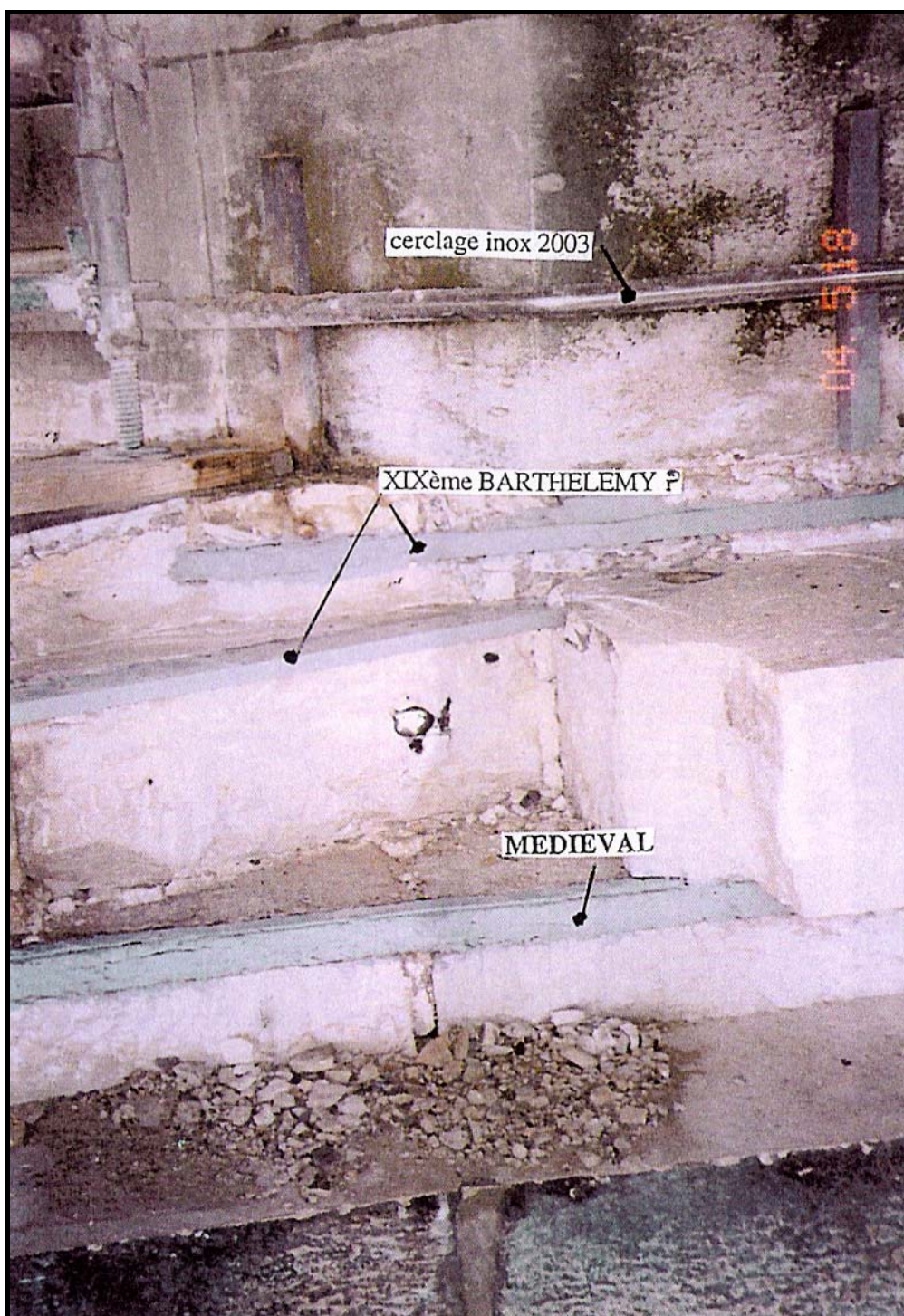


Figure 151 : Chaînages de la tour-lanterne de l'église Saint-Maclou, cliché Entreprise Lanfry.

1.3.4.2 Des chaînages dans les arcs-boutants ?

Deux sources différentes semblent indiquer que certains arcs-boutants sont renforcés de tirants internes.

Tout d'abord, il s'agit des constatations de L.E. Neagley, professeur d'histoire de l'art qui a écrit sa thèse sur l'église Saint-Maclou de Rouen. Au cours de ses prospections dans les années 1970, elle décrit l'utilisation de « tirants » (*rods* en anglais)⁴¹⁹. Cependant dans sa démonstration, elle mentionne comme exemple les meneaux des façades latérales et des roses de la cathédrale d'Evreux⁴²⁰. Le terme « *rod* » semblerait donc ici plutôt faire allusion à des goujons de fer. S'agit-il donc à Saint-Maclou de véritables de tirants ou de simples goujons reliant les pierres des unes aux autres ? La photographie représentant de ces éléments de fer est malheureusement d'assez mauvaise qualité et ne permet pas d'avoir une idée sur la question (cf. Figure 152). De plus, les archives conservées à la médiathèque du patrimoine ainsi qu'à l'entreprise Lanfry ne mentionnent à aucun moment des restaurations l'emploi de tels tirants, ni par ailleurs de goujons. Pourtant selon L.E. Neagley, ces arcs-boutants étaient sur le point d'être restaurés au moment de ces observations dans les années 1970. Dans une correspondance au mois de mars 2004, L.E. Neagley nous a bien confirmé qu'il s'agissait là sans doute de tirants, mais qu'elle ne pouvait pas être certaine de leur datation, même si elle pensait qu'ils appartenaient à la construction d'origine.

La récente campagne de restauration qui porte sur la flèche et la tour-lanterne semble également avoir révélé la présence de tels tirants dans certains arcs-boutants, d'après un relevé fourni par l'entreprise Lanfry. Les services concernés semblent cependant ignorer la raison et la représentativité d'un tel dessin (cf. Figure 152).

⁴¹⁹ « A second device used in maintaining the rigidity of the flyers was the insertion of iron rods connecting the thin sticks of stone », NEAGLEY (L. E.), *The parish church of Saint-Maclou : a study of Rouennais flamboyant architecture*, Thèse de doctorat de l'université d'Indiana, 1983, p. 193.

⁴²⁰ « Iron rods were often used as means of consolidation after the 14th century as at Evreux cathedral in the mullions of the transept facades and roses », NEAGLEY (L. E.), *The parish church of Saint-Maclou...op. cit.*, p. 217.

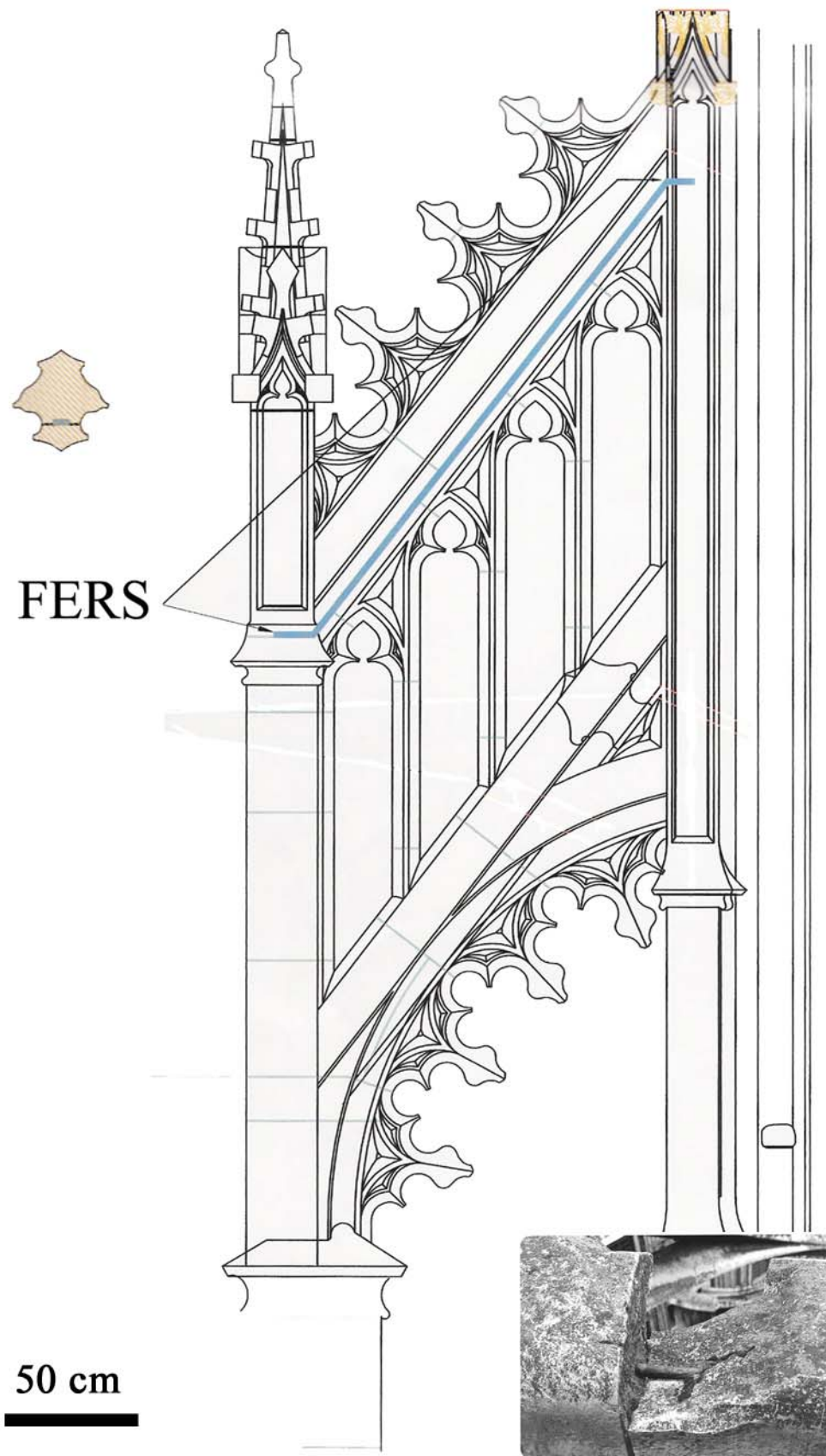


Figure 152 : Fers ancrés dans les arcs-boutants de l'église Saint-Maclou, d'après un plan des ateliers Lanfry. En bas à droite, cliché d'un élément de fer dans les arcs-boutants pris par L.E. Neagley.

I.3.5 Autres éléments de fer découverts en prospection

I.3.5.1 Les petits crochets

Des crochets sont présents à intervalles assez réguliers dans le chœur et le transept de l'église Saint-Maclou. La petite taille de ces éléments, leur situation ainsi que le manque de profondeur de leurs ancrages les réduisent à un rôle de suspension d'éléments de décor ou du luminaire. Il est complètement exclu que des tirants puissent avoir été tendus entre ces différents crochets.

I.3.5.2 Des barres de fer

L'église Saint-Maclou présente aussi quelques barres de fer qui ne sont pas complètement noyées dans la maçonnerie.

Une statue au sommet du gâble central du portail nord est ainsi maintenue en place grâce à une barre de fer ancrée dans son dos. Diverses têtes de gâbles de la façade occidentale sont reliées au mur pignon par le même système : une barre pour chacun des deux gâbles latéraux et deux barres pour le gâble central. Les barres actuellement présentes ne datent probablement pas de l'origine de la construction. Un devis en 1901 sur les restaurations de la façade occidentale prévoit la pose d'un tirant en fer forgé reliant le gâble à l'église⁴²¹. Cependant, des tirants sont déjà visibles sur des photographies de l'église Saint-Maclou prises au milieu du XIX^e siècle par Bisson⁴²². Il est donc fort probable que ces barres, si elles ont été remplacées, ont une origine plus ancienne.

On compte également des barres dans des baies non vitrées situées à hauteur de la naissance d'un arc. Au cours d'un entretien téléphonique, D. Moufle nous a appris que les baies de la tour-lanterne étaient pourvues de telles barres. Ces barres, peu profondément ancrées dans les piédroits et ne constituant donc pas un chaînage continu, avaient disparu lors des bombardements de la Seconde Guerre mondiale.

⁴²¹ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 0081/076/128 (1901-1930), « Devis estimatif du 28 mars 1901 ».

⁴²² Bibl. Nat., Estampes, Rés. Ve-1510-Fol, G 68937. *Principaux monuments de Rouen par Bisson*, planche XI.

Enfin, deux éléments ont attiré notre attention dans le transept nord-est. Il s'agit de deux fragments de barres d'une vingtaine de centimètres de long ancrés et coulés au plomb dans les montants des arcs-boutants, au niveau du couloir de circulation extérieur des fenêtres hautes. Aucune hypothèse n'a été formulée quant à l'origine ou la fonction de ces éléments.

1.3.5.3 Des agrafes

L'église Saint-Maclou compte quelques agrafes ou empreintes d'agrafes traduisant parfois une utilisation systématique de ces éléments.

La balustrade du triforium comporte de nombreux éléments manquants et porte la trace de beaucoup de restaurations. A divers endroits dans le chœur, les piédroits au niveau du passage des arcs-boutants portent la marque d'agrafes qui ont été coupées (cf. Figure 154). De même, certains éléments de jonctions au niveau des angles de la balustrade portent encore la trace de l'ancrage d'agrafes alors que les éléments de balustrades adjacents ont été restaurés (cf. Figure 154). Ces divers éléments penchent en faveur d'un emploi systématique de ces agrafes tout le long de la balustrade du triforium dans la construction originelle, tout du moins pour le chœur. Aucune agrafe n'est pourtant conservée en totalité et il n'a pas été possible d'appréhender leurs dimensions. Un fragment d'une de ces agrafes, coupée au niveau d'un piédroit mais dont l'extrémité dépassait encore un peu, a pu être prélevé pour analyses métallographiques sous la référence MAC AG1.

Deux fragments d'agrafes ont été retrouvés sur la plate-forme de la façade occidentale à hauteur des fenêtres hautes. Elles sont ancrées dans le sol et coulées au plomb. Leur fonction et leur origine restent fort incertaines.

Enfin, un petit fleuron de pinacle dans un couloir de circulation au niveau du triforium du portail sud a été renforcé de deux agrafes. Coulées au plomb, elles servent à maintenir ensemble les trois éléments de pierre constituant le fleuron. Il pourrait aussi bien s'agir d'une consolidation postérieure consécutive à un désordre quelconque que d'un système ainsi prévu initialement.

1.3.5.4 Des goujons

De nombreux goujons ont été mis en œuvre à l'église Saint-Maclou, que ce soit dans la construction originelle ou dans les restaurations actuelles.

Tout d'abord, les gâbles ou encore les pinacles et leurs fleurons, dont on a vu qu'ils pouvaient parfois être consolidés au moyen d'agrafes, sont le plus souvent renforcés au moyen de goujons internes. De nombreux goujons ou empreintes de goujons sont visibles là où des fleurons ou des têtes de gâbles sont tombées. L'église Saint-Maclou compte environ 80 pinacles. Une estimation rapide d'après la mention du compte de la cathédrale de Rouen cité précédemment pour l'église Saint-Ouen, se rapproche des 1,2 tonnes de fer mises en œuvre pour leur réalisation⁴²³.

Les meneaux des baies comportent aussi des goujons internes. Il n'a pas été possible de les observer mais certaines archives de restauration l'attestent. Dans deux comptes successifs de ses exercices de maçonnerie, en 1928 et 1929, l'entreprise Collin facture le « coupement » des anciens goujons en fer et la repose de nouveaux goujons en cuivre. Les meneaux concernés se trouvent au niveau du fenestrage sur la balustrade au dessus du porche d'entrée nord ainsi que dans la tour-lanterne⁴²⁴.

Les restaurations actuelles des balustrades incluent la pose de goujons en cuivre ou en bronze. Les balustrades apparaissant comme initialement pourvues d'agrafes qui ne sont aujourd'hui pas restituées, on peut se demander si ces goujons viennent remplacer l'emploi d'agrafes ou s'ils venaient doubler le rôle des agrafes dans le système initial.

1.3.5.5 Des attaches de statue

La statuaire monumentale de l'église Saint-Maclou a en grande partie disparue mais on a parfois encore la marque du système d'attache de ces statues.

Des crochets sont effectivement présents dans certaines niches des portails ouest et nord de l'église, indiquant assurément que des statues y étaient positionnées et maintenues au

⁴²³ PJ n° 1.

⁴²⁴ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 0081/076/0128, « Exercices de maçonnerie de l'entreprise Collin » pour les années 1928 (réf. n° 31) et 1929 (réf. n° 112).

moyen d'attaches fixées dans leur dos (cf. Figure 154). Ces attaches n'ont pas été retrouvées, mais il est probable qu'elles soient de nature similaire à celles qui ont été découvertes sur la cathédrale Notre-Dame de Rouen, qui datent elles aussi du XV^e siècle. Celles-ci sont formées d'une barre de fer repliée sur elle-même formant un œil à un bout pour recevoir le crochet mural et dont les pattes de l'autre extrémité viennent se ficher dans le dos de la statue.

Un autre type d'attache de statue a été observé sur les statues situées en partie haute de la façade occidentale. Une barre de fer repliée en forme de U autour d'un élément du réseau du gâble contre lequel la statue est adossée vient ficher ses deux extrémités dans son dos.

Elément de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Chaînage	Dans la maçonnerie de la tour-lanterne.	1	-	-	Fin du XV ^e s.
Chaînage	Dans la maçonnerie de la tour-lanterne.	1	-	-	XIX ^e s.
Tirants ou goujons	Dans la maçonnerie de certains arcs-boutants	?	-	-	?
Barres	Attachant les gâbles de la façade occidentale	4	-	-	?
Barre	Attachant une statue du portail nord	1	-	-	?
Goujons	A la base des pinacles et des fleurons de l'édifice	-	-	-	?
Crochets	Dans les niches de statue des portails	-	-	-	?
Barres en U	Attachant les statues de la façade occidentale	2	-	-	?
Agrafes et logements	Sur les balustrades extérieure des combles bas du chœur	-	-	-	Vers 1450.
Agrafes	Plate-forme de la façade occidentale	2	-	-	-
Agrafes	Pinnacle sur le portail sud	2	-	-	-

Tableau 35 : Récapitulatif des éléments de fer découverts à l'église Saint-Maclou de Rouen.



Figure 153: Agrafes coupées et empreintes d'agrafes dans le triforium du chœur de l'église Saint-Maclou.



Figure 154: Crochets d'attaches de statues sur la façade.

I.3.6 Analyses métallographiques

Un unique prélèvement a été réalisé sur l'église Saint-Maclou. Il s'agit d'un fragment d'agrafe qui tenait autrefois la balustrade qui entoure les combles des chapelles basses du chœur à hauteur du triforium. Ce prélèvement intervient en contexte bien daté, puisque le chœur de l'église commencé après 1432 a été terminé aux alentours de 1450. Les balustrades en question, nécessairement construites après l'établissement des chapelles, datent plus probablement de la fin de cette période, donc de la décennie 1440.

La section MAC AG1a présente une structure très carburée titrant entre 0,1 et 0,8 %_{mass} de carbone, avec un gradient dans cette teneur en carbone d'un côté de la section à l'autre (cf. Figure 157). Ce gradient n'est toutefois pas caractéristique d'une structure de cémentation. La partie centrale de l'échantillon contient de nombreuses inclusions assez allongées. Elles représentent environ 2 % de la surface totale de la section étudiée. La possible constance des rapports entre les différents composés non réduits des inclusions n'est que rarement conservée, la plupart des rapports ayant des coefficients de corrélation R² faibles ou négatifs. Certains graphiques montrent par ailleurs l'existence de deux ou trois rapports différents, ce qui irait plutôt dans le sens d'un fer issu de récupération par corroyage à la forge (cf. Figure 155). Il convient cependant d'être prudent car la petite taille de l'échantillon qui rendait nécessaire le dosage de toutes les inclusions, même les plus petites, a aussi pu accentuer d'éventuels « effets de pépite ». Enfin, la composition moyenne des inclusions de l'objet est très nettement caractéristique des fers du procédé direct (cf. Figure 156).

Echantillon	Datation	Teneur en C	Fer phosphoreux	Indice de propreté	Procédé de réduction	Lopin originel
MAC AG1	Vers 1450	0,1 à 0,8 % _{mass}	NON ?	-	Direct	Corroyage de 3 lopins ?

Tableau 36: Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour l'agrafe MAC AG1.

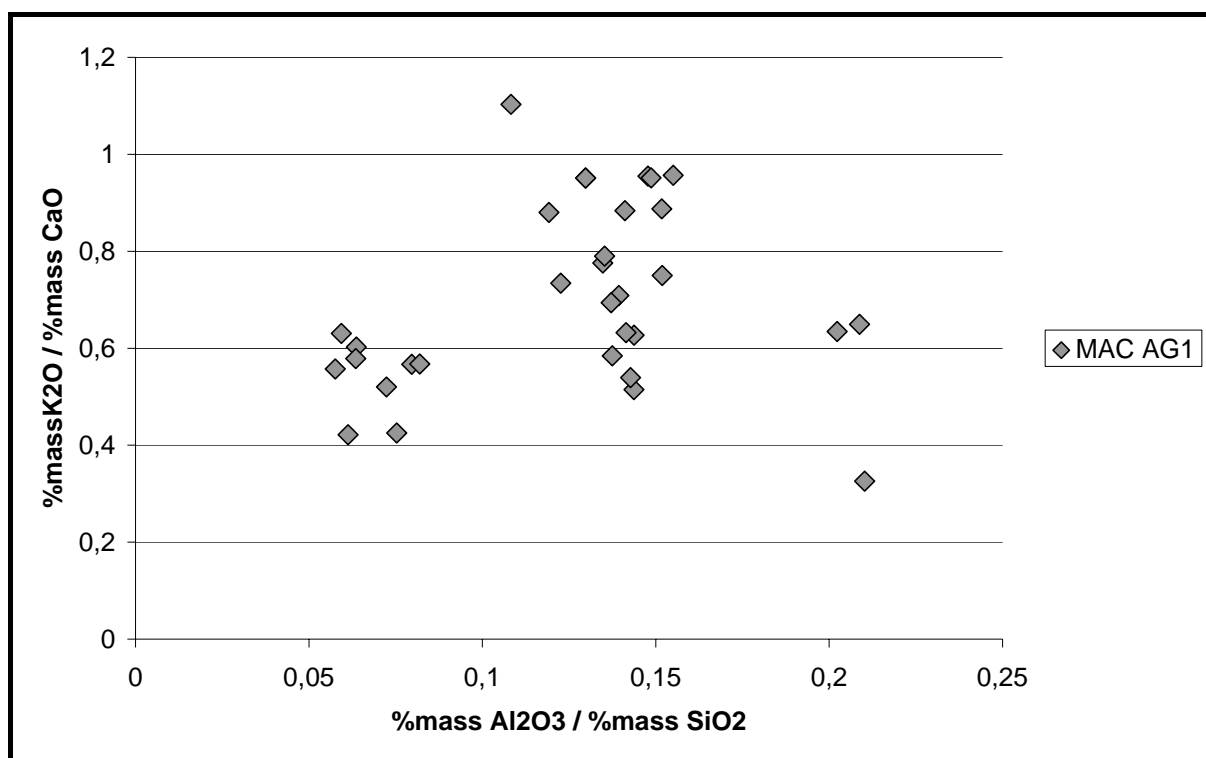


Figure 155 : Comparaison des rapports $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ et $\text{K}_2\text{O}/\text{CaO}$ pour l'agrafe MAC AG1 montrant trois rapports différents.

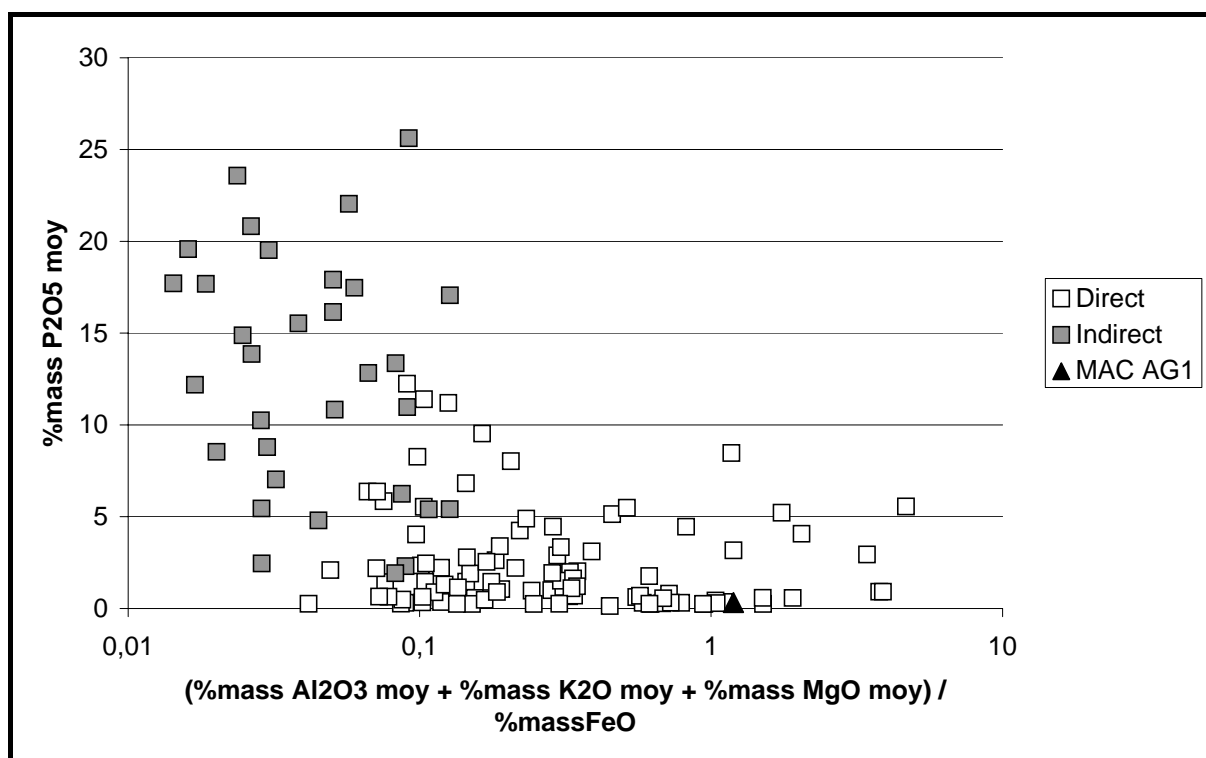


Figure 156 : Discrimination des procédés de réduction pour l'agrafe MAC AG1.

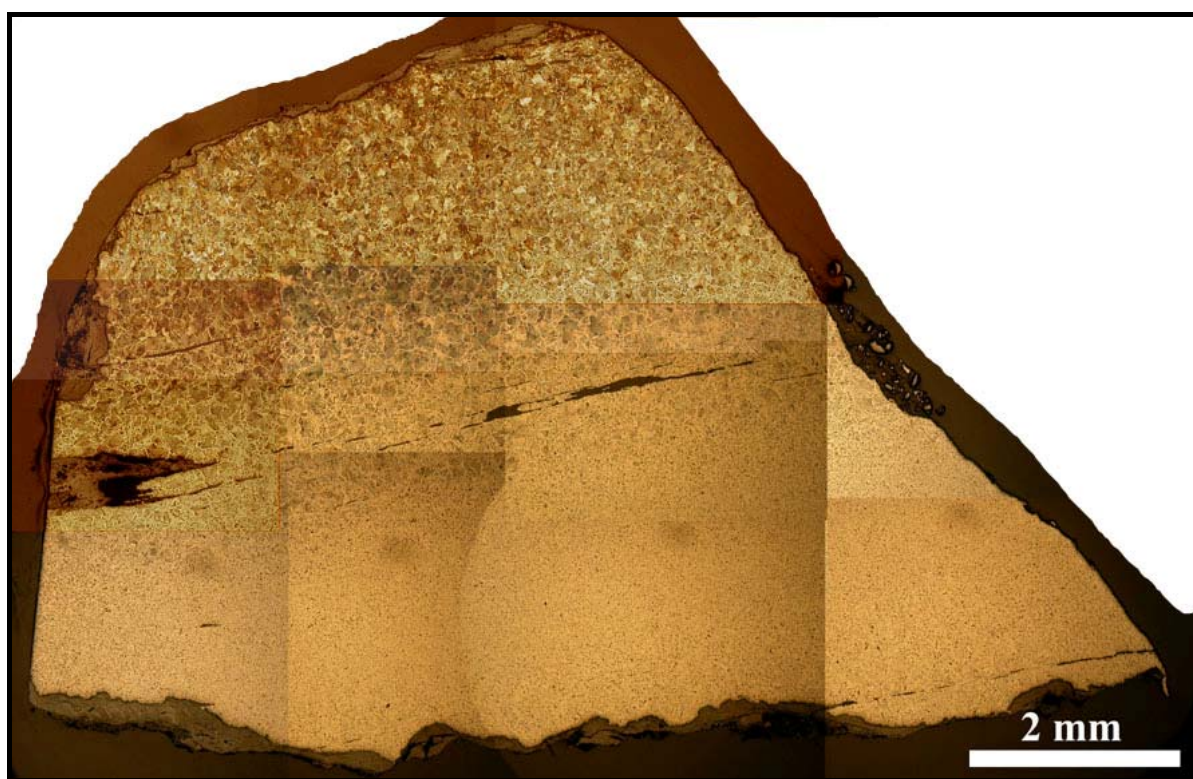


Figure 157 : Micrographie de l'échantillon MAC AG1, attaque Nital.

I.3.7 Apports des comptes de la fabrique

Jusqu'à la fin du XV^e siècle, les dépenses totales engagées par la fabrique de l'église Saint-Maclou de Rouen sont de l'ordre de 500 à 600 l. t. par an, ce qui est assez faible pour l'élévation d'un édifice de ce type, surtout si on les compare aux 1000 l. t. annuelles dépensées par la fabrique de la cathédrale de Rouen uniquement pour son entretien. Le nombre de maçons engagé à plein temps pour la construction de l'église Saint-Maclou n'est par ailleurs pas très important, ce qui explique sa lente élévation.

Les dépenses pour fer y sont très réduites et consistent essentiellement en la réparation et l'aciérage des marteaux des maçons, avec plus de 300 actes de *forgeure* pour certaines années avec des dépenses annuelles comprises entre 5 et 10 l. t., soit entre 1 et 2 % environ des dépenses totales. Le nombre important de ces réparations de marteaux, jointes parfois à celles d'autres outils, est caractéristique de la forte activité sur l'édifice, liée à sa construction. La nature précise de ces marteaux, probablement des sortes de taillant-droits brettelés ou non, n'est pas indiquée. Le mode de réparation ne l'est pas plus. On peut toutefois se figurer que la *forgeure*, valant d'ordinaire 4 doubles, correspond à un refaçonnage de la tête du marteau, alors que l'aciérage, coûtant 2 s. 6 d. t., est probablement l'ajout d'un tranchant en acier rapporté sur le fil de ces taillants⁴²⁵.

Ces importantes dépenses pour marteaux montrent donc bien que l'on se situe dans des périodes de construction⁴²⁶. A l'exception de quelques pièces de serrurerie, très peu d'éléments de fer semblent alors être mis en place. Une mention traite de la mise en place et la réparation de barlotières et vergettes dans une verrière ainsi que de la mise en place de crampons pour tenir les tuyaux des gouttières⁴²⁷. Une autre mention nous donne la mise en place de cinq barreaux de fer dans la piscine de l'église, sans que l'on sache leur fonction exacte ; il y a cependant fort à croire qu'il s'agit là de très petites barres au vu des faibles sommes engagées⁴²⁸.

⁴²⁵ L'hypothèse de la cémentation du tranchant est cependant également envisageable. Pour plus d'information sur les marteaux voir GUILLOT (I.), FLUZIN (P.), BENOIT (P.), « Mise en forme et utilisation de marteaux... », *op. cit.*

⁴²⁶ Le même constat a été précédemment mentionné pour la construction de la tour de Beurre à la cathédrale de Rouen à la fin du XV^e siècle.

⁴²⁷ PJ n° 17.

⁴²⁸ PJ n° 18.

La plus grosse dépense en fer est de caractère ornemental. Il s'agit de l'achat fait vers 1515 à Martin le Bourd, serrurier de la ville de Rouen, d'une croix en fer pour la flèche de l'église, pesant 756 livres et payée 73 l. 17 s. 6 d. t. à 2 sous la livre de fer⁴²⁹. Il convient de remarquer le prix assez élevé de la livre de fer ouvrée, à une époque où il se situe plus volontiers aux alentours de 10 à 12 d. par livre⁴³⁰. Il faut donc supposer qu'un travail particulier expliquant la différence de prix a été réalisé sur cette pièce. En outre, fait intéressant, cette croix ne semble pas avoir été forgée dans un atelier urbain rouennais, mais dans un château, puis après y avoir été pesée elle est portée à l'église⁴³¹. Il est donc probable que sa mise en forme a nécessité l'utilisation d'infrastructures particulières, ce qui semble parfaitement se corréliser avec le prix plus élevé de la livre de fer ouvrée.

Les informations données par les comptes de la fabrique de l'église Saint-Maclou sont donc très limitées. En plus du caractère épars des quelques années conservées, qui ne permet pas de suivre une quelconque tranche des travaux de l'édifice, presque aucune information ne transparaît dans les mentions rencontrées quant à une éventuelle importante utilisation du fer pour sa construction.

I.3.8 Synthèse

Outre le chaînage découvert lors des restaurations de la tour-lanterne qui montre un nouvel exemple du renforcement de ces tours situées à la croisée du transept, l'église Saint-Maclou présente assez peu de particularités quant aux différents emplois du fer. On le retrouve essentiellement sous forme d'agrafes sur les balustrades ou de goujons pour tenir les gâbles, les pinacles ou les meneaux des baies. La seule analyse métallographique qui a pu être réalisée sur l'édifice montre l'emploi d'un métal plutôt carburé issu du procédé de réduction directe.

⁴²⁹ PJ n° 19.

⁴³⁰ LARDIN (Ph.), *Les chantiers du bâtiment en Normandie orientale (XIV^e-XVI^e s.)...*, op. cit., p. 272.

⁴³¹ PJ n° 19.

UNIVERSITE PARIS I PANTHEON-SORBONNE

U.F.R. D'ARCHEOLOGIE

Année 2007

Thèse sous la direction de M. le professeur Paul BENOIT

pour obtenir le grade de docteur de l'université

Discipline : archéologie

Présentée et soutenue publiquement par

Maxime L'HERITIER

**L'UTILISATION DU FER DANS L'ARCHITECTURE GOTHIQUE :
LES CAS DE TROYES ET ROUEN**

Volume II

Texte

Jury

M. le professeur Paul BENOIT

Mme le professeur Joëlle BURNOUF

**M. Philippe LARDIN, maître de conférences
habilité à diriger les recherches**

**M. Philippe DILLMANN, chargé de recherches
au C.N.R.S. habilité à diriger les recherches**

**Mme Isabelle PALLOT-FROSSARD,
directeur du L.R.M.H.**

**M. Stéphane LEQUIEN, directeur du
LPS, laboratoire mixte CEA-CNRS**

**Mme Florence JOURNOT, maître de
conférences**

L'UTILISATION DU FER
DANS LES EGLISES TROYENNES

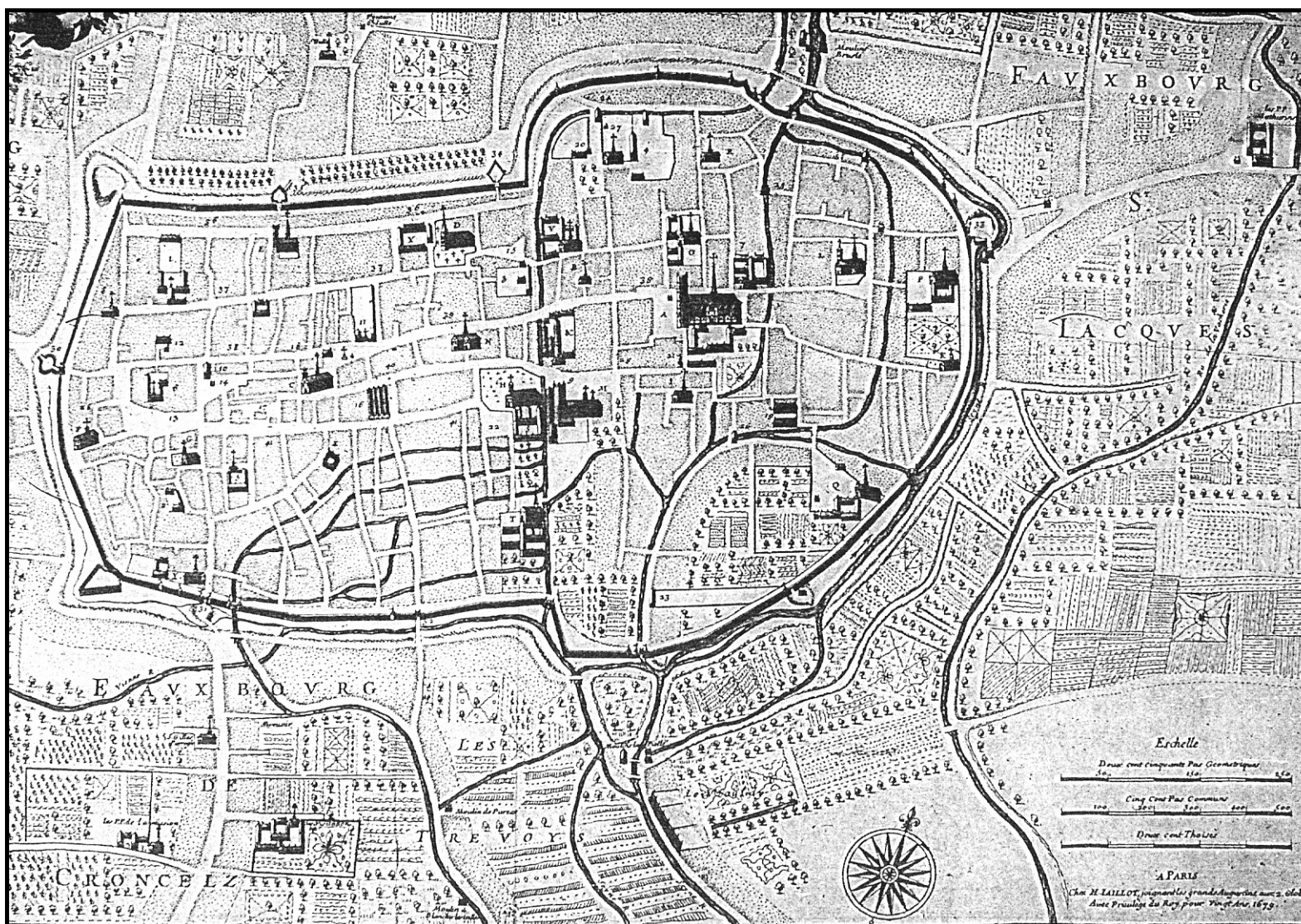


Figure 158 : Plan du centre ville de Troyes en 1679, d'après Bibl. nat., Estampes, H 111488.

II.1 LA CATHEDRALE DE TROYES

II.1.1 Historique

L'origine de la première cathédrale bâtie à Troyes remonte probablement au IV^e siècle, avec la mention du premier évêque en l'an 340 ; l'emplacement exact de cette église n'est cependant pas connu, même par les fouilles qui ont mis au jour des premiers témoins de la construction remontant au IX^e siècle⁴³² : l'édifice qui se dressait alors, après avoir été ravagé par les invasions barbares fait finalement l'objet d'une reconstruction vers 980 sous l'évêque Milon⁴³³. La cathédrale romane, dédiée à Saint-Pierre, est, le 23 juillet 1188, la proie d'un violent incendie « qui consuma presque toute la ville »⁴³⁴ et qui nécessite une nouvelle reconstruction de l'église quelques années plus tard. L'édifice roman n'est toutefois pas complètement ruiné, « il ne disparaîtra donc que progressivement, à mesure que s'élèveront les diverses parties de la nouvelle cathédrale »⁴³⁵ : le clocher porche de la façade occidentale de l'église romane ne sera détruit qu'en 1532, lors de l'élévation de la façade gothique⁴³⁶.

La construction de la cathédrale gothique commence donc au tournant des XII^e et XIII^e siècles, à une période où, quelques années après la mort de Henri I^{er} le Libéral, la ville est une des plus riches du royaume de France, notamment grâce à l'activité de ses foires. L'origine de la cathédrale gothique a longtemps été attribuée à l'évêque Hervé (1207-1223), avec pour date de début de construction l'élévation de la chapelle axiale en 1208⁴³⁷. Des études plus récentes tendent à donner une date un peu plus ancienne pour le début des travaux : ceux-ci commenceraient plutôt par la première chapelle nord du déambulatoire, vers 1199 ou 1200, sous l'impulsion de l'évêque Garnier de Trainel⁴³⁸. En 1220, une fois les parties inférieures achevées, les parties hautes du chœur peuvent être élevées ; elles sont

⁴³² ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée des sources d'une histoire de la Cathédrale de Troyes*, tome I, Construction, Troyes, Paton, 1966, p. 3.

⁴³³ BALCON (S.), *La cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes*, Paris, Éditions du Patrimoine, 2001, p. 7.

⁴³⁴ Grosley cité dans ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, *op. cit.*, p. 9.

⁴³⁵ ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, *op. cit.*, p. 11.

⁴³⁶ BALCON (S.), *La cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul...*, *op. cit.*, p. 8.

⁴³⁷ ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, *op. cit.*, p. 12.

⁴³⁸ BONGARTZ (N.), *Die Fruhen Bauteile der Kathedrale in Troyes*, Architekturgeschichtliche Monographie, Stuttgart, Hochschulsammlung Philosophie, Kulturgeschichte, 1979, p. 122.

terminées dans les années 1235-1240, après la ruine prématurée du bas-côté sud lors d'un ouragan en 1228⁴³⁹.

Le transept, également commencé dans la première moitié du XIII^e siècle, aurait été terminé dès 1260, mais non voûté⁴⁴⁰. Les voûtes ainsi que le toit et la tour de la croisée sont mis en œuvre dans la première moitié du XIV^e siècle⁴⁴¹, et le transept n'est finalement vitré que dans les années 1375-1380⁴⁴².

La nef connaît quant à elle une période de construction encore plus longue. Elle est déjà en travaux pendant la deuxième moitié du XIII^e siècle⁴⁴³ et les trois premières travées sont en cours d'achèvement dans les années 1360⁴⁴⁴. Les chapelles ne faisaient probablement pas partie du plan primitif, comme l'atteste l'étrange raccord en biseau au transept des chapelles les plus orientales⁴⁴⁵.

Période de crise et de guerre, la deuxième moitié du XIV^e siècle marque un très net ralentissement dans le chantier de la cathédrale. La ville de Troyes est depuis 1304 rattachée au royaume de France avec l'ensemble du comté de Champagne, par héritage du Louis X le Hutin et souffre, comme l'ensemble du royaume, des effets collatéraux de la guerre. Rattachée en 1380 au duché de Bourgogne par don de Jean II le Bon à son fils Philippe le Hardi, la région connaît toutefois un regain d'activité jusqu'au début du XV^e siècle⁴⁴⁶. Cependant, malgré des recettes parfois relativement importantes, les dépenses de la fabrique de la cathédrale sont systématiquement faibles, les seules œuvres importantes concernant la vitrerie haute du transept, puis l'élévation d'un jubé dans les deux dernières décennies du XIV^e siècle⁴⁴⁷. En outre, le chantier connaît des déboires avec l'abattement de la rose nord en 1389⁴⁴⁸, puis son effondrement, emportée par la chute de la toiture de la nef à la suite d'une tempête en 1390⁴⁴⁹. Ces dommages nécessitent la reconstruction de certains piliers des années 1360⁴⁵⁰.

⁴³⁹ MURRAY (S.), *Building Troyes cathedral. The late gothic campaigns*, Bloomington, Indiana university Press, 1987, p. 14.

⁴⁴⁰ BALCON (S.), *La cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul...*, *op. cit.*, p. 9.

⁴⁴¹ MURRAY (S.), *Building Troyes cathedral...*, *op. cit.*, p. 27.

⁴⁴² Bibl. nat., ms. lat. 9112.

⁴⁴³ BALCON (S.), *La cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul...*, *op. cit.*, p. 9.

⁴⁴⁴ ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, *op. cit.*, p. 113.

⁴⁴⁵ ID., *Ibid.*, p. 144.

⁴⁴⁶ BIBOLET (F.), ROUQUET (Ch.), BOISSEAU (A.), SAINT-MARS (E.), *Histoire de Troyes*, Troyes, Editions de la Maison du Boulanger, 1997, p. 75.

⁴⁴⁷ ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, *op. cit.*, p. 147-48.

⁴⁴⁸ PJ n° 32.

⁴⁴⁹ ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, *op. cit.*, p. 142.

⁴⁵⁰ Bibl. nat., ms. lat. 9111 129 r°.

La première moitié du XV^e siècle est essentiellement une période de réparations et de reconstructions, à l'image de la consolidation du portail du transept nord de la cathédrale, le Beau Portail, tout d'abord avec la reprise en sous-œuvre d'un pilier intérieur vers 1403⁴⁵¹, puis en 1409 avec le remontage de la rose⁴⁵², enfin vers 1460 avec l'ajout d'une aiguille au centre de la rose et de puissants piliers de part et d'autre du portail⁴⁵³. En 1413 débute également la construction du clocher⁴⁵⁴, l'ancien étant tombé en 1365 à la suite d'une tornade⁴⁵⁵. Ces travaux avancent très lentement et se déroulent sur fond de lutte pour le pouvoir entre le roi de France, celui d'Angleterre et le duc de Bourgogne dans laquelle la ville de Troyes occupe un rôle central, qui se solde par l'invasion du royaume de France par l'armée anglaise et l'établissement, le 21 mai 1420, au sein même de la cathédrale, du traité de Troyes qui dépossède les héritiers du roi de France de leurs possessions⁴⁵⁶. En 1426, à la mort de l'évêque de Troyes Etienne de Givry, le gouvernement anglais confisque les biens du chapitre et des chanoines, car le nouvel évêque, Maître Jean Léguisé, est proche du roi Charles VII. Ce n'est que l'interférence du pape Martin V qui, approuvant l'élection de Jean Léguisé, finit par apaiser la situation. Les travaux du clocher peuvent alors reprendre et ce dernier est finalement achevé en 1437⁴⁵⁷. Sous l'influence de son évêque, la ville de Troyes a, dans l'intervalle, fait allégeance au roi de France en 1429. L'activité reprend alors dès le deuxième tiers du XV^e siècle, et malgré une épidémie en 1445, les conditions politiques et financières permettent alors au chapitre de la cathédrale d'entreprendre l'achèvement de la cathédrale. Les travaux à la nef reprennent dès 1450 et voient l'élévation des trois dernières travées jusqu'en 1502, date du vitrage de la dernière baie haute⁴⁵⁸.

Le début du XVI^e siècle voit l'arrivée du nouveau maître d'œuvre parisien Martin Chambiges sur le chantier de la cathédrale de Troyes. Au moment où il est appelé par le chapitre de la cathédrale de Troyes, dès le mois de juillet 1502, Martin Chambiges, architecte déjà fort renommé et comptant désormais parmi les plus grand bâtisseurs de la période flamboyante, a déjà œuvré sur deux cathédrales majeures de l'art gothique : celle de Sens, dont il a dessiné le transept et dirigé le chantier de 1490 à 1494, puis celle de Beauvais, dont il

⁴⁵¹ ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, *op. cit.*, p. 174.

⁴⁵² ID., *Ibid.*, p. 175.

⁴⁵³ ID., *Ibid.*, p. 197.

⁴⁵⁴ ID., *Ibid.*, p. 178.

⁴⁵⁵ BALCON (S.), *La cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul...*, *op. cit.*, p. 10.

⁴⁵⁶ BIBOLET (F.), ROUQUET (Ch.), BOISSEAU (A.), SAINT-MARS (E.), *Histoire de Troyes...*, *op. cit.*, p. 83.

⁴⁵⁷ ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, *op. cit.*, p. 178.

⁴⁵⁸ ID., *Ibid.*, p. 194.

a également conçu le transept quelques années plus tard⁴⁵⁹. Arrivé à Troyes, il fait élever le grand portail occidental de la cathédrale, dont la première pierre est posée en 1507, et dont l'achèvement est marqué par le vitrage de la rose en 1546, près de quinze ans après la mort de Martin Chambiges⁴⁶⁰. Vient ensuite la construction de la tour Saint-Pierre, dont le premier étage est achevé en 1554 ; elle est finalement couronnée en 1634⁴⁶¹. La tour Saint-Paul ne sera quant à elle jamais élevée au-delà de son premier étage, le couronnement de la tour Saint-Pierre marquant la fin des grands travaux à la cathédrale de Troyes, dont l'édification s'est étalée sur plus de quatre siècles.

II.1.2 Description architecturale

La cathédrale de Troyes présente un plan à cinq vaisseaux, avec une nef centrale ceinte de chaque côté par deux bas-côtés. Ses collatéraux sont discontinus au niveau du transept et reprennent dans le chœur. Après deux travées, le collatéral extérieur aboutit dans les chapelles rayonnantes du chœur, alors que le collatéral intérieur continue pour former un déambulatoire autour du sanctuaire. Tous sont couverts de voûtes d'ogives quadripartites, sur plan barlong pour le vaisseau central, et en général de plan carré pour les collatéraux.

La nef de la cathédrale de Troyes compte sept travées, les deux premières étant intégrées au massif occidental. A partir de la troisième travée, des chapelles s'ouvrent sur les collatéraux extérieurs. Elles sont voûtées sur plan barlong, sauf les plus orientales qui ont un plan trapézoïdal, car elles se raccrochent au transept par un mur oblique. Le transept compte trois travées de chaque côté, qui se terminent par les portails latéraux. Les voûtes d'ogives sont également sur plan barlong, sauf au niveau de la croisée qui reçoit quant à elle un réseau d'ogives sur plan carré. Le chœur de la cathédrale ne compte que trois travées droites avant le rond-point. A partir de la troisième travée et autour de l'abside s'ouvrent sept chapelles rayonnantes, la chapelle axiale nommée chapelle de la Vierge étant un peu plus profonde que les autres avec une travée droite supplémentaire. Du côté sud se trouvent, en lieu et place de chapelles, la sacristie et la salle du chapitre au niveau de la troisième travée droite et, jouxtant la sacristie à l'est, le trésor qui donne dans la première travée de l'abside.

⁴⁵⁹ CAILLEAUX (D.), *La cathédrale en chantier...*, op. cit., p. 227-228.

⁴⁶⁰ ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, op. cit., p. 220.

⁴⁶¹ BALCON (S.), *La cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul...*, op. cit., p. 13.

L'élévation est à trois niveaux sur l'ensemble de la cathédrale, avec un étage de grandes arcades surmontées d'un triforium ajouré et d'un étage de fenêtres hautes. Il n'y a pas d'unité de style entre les différentes parties de la cathédrale : le chœur et le transept présentent, à l'exception des baies restaurées, des remplages de style rayonnant⁴⁶², dans un style parfois tardif pour les fenêtres hautes du transept, alors que la nef est construite dans un style totalement flamboyant.

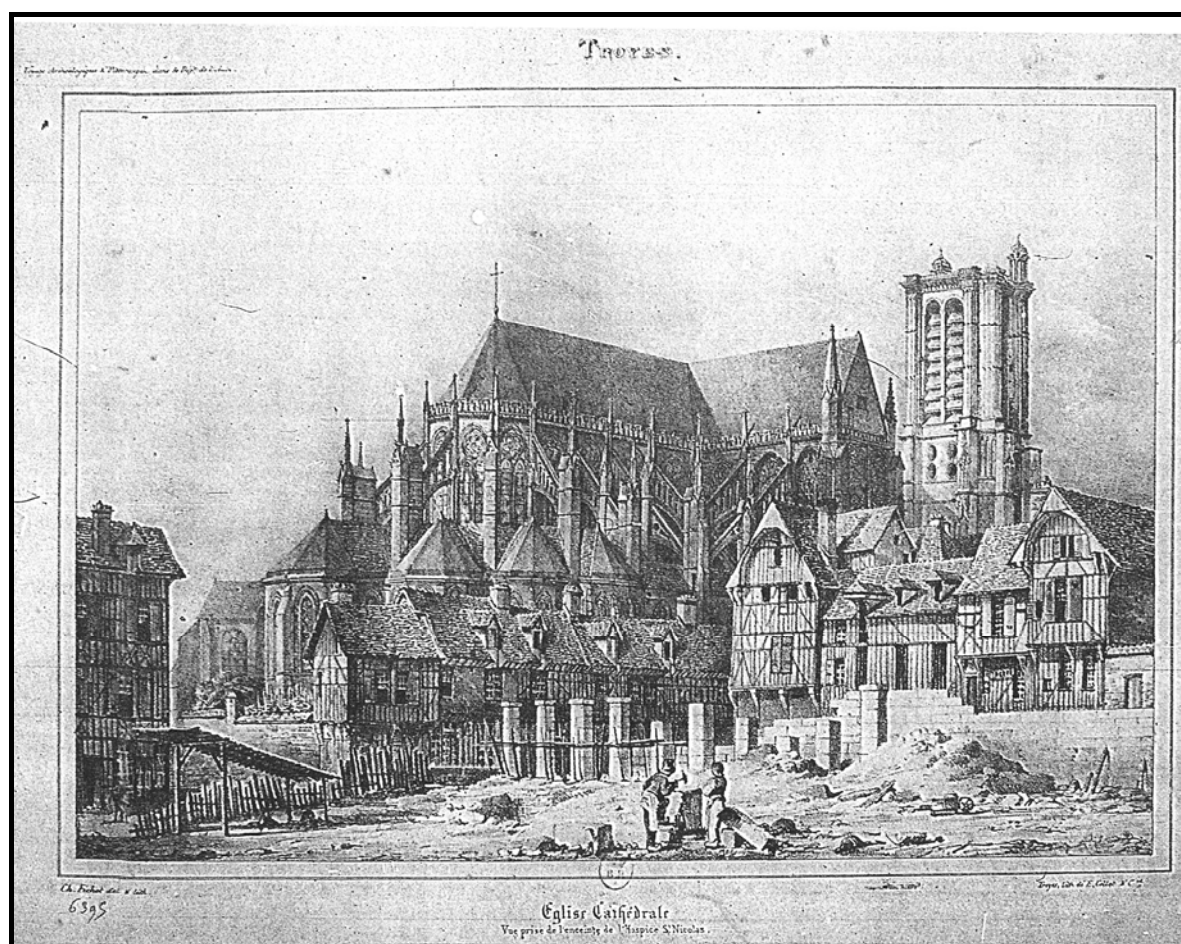


Figure 159 : Vue du chevet de la cathédrale de Troyes au XIX^e siècle, gravure de Ch. Fichot.⁴⁶³

⁴⁶² Les fenêtres hautes orientales du transept ont été restaurées au XVI^e siècle et ont désormais un remplage de style flamboyant.

⁴⁶³ Bibl. nat., Estampes, H 111 540.

Longueur totale	114 m
Largeur de la façade occidentale	45 m
Surface des vitraux	1500 m ²
Hauteur de la nef	29.50 m
Longueur de la nef	55 m
Largeur du vaisseau central	12 m
Longueur du transept	50 m
Largeur du transept	10 m
Longueur du chœur	50 m
Largeur du chœur	40 m

Tableau 37 : La cathédrale de Troyes en chiffres.

Les prospections réalisées à la cathédrale de Troyes et l'étude des archives comptables conservées pour les XIV^e et XV^e siècles offrent quantités d'informations sur les différents emplois du fer dans l'édifice. Comme pour la cathédrale de Rouen et l'église Saint-Ouen, afin de présenter ces résultats de la manière la plus claire et la plus objective possible, les différentes occurrences du fer ont été classées par étage, selon une progression des parties basses vers les parties hautes de la cathédrale. Chaque niveau de l'édifice présente de plus une certaine unité qu'il convient de ne pas briser. Les données textuelles ont systématiquement été reliées aux parties du monument correspondantes quand elles étaient disponibles. Les informations supplémentaires fournies par les comptes de la fabrique sont développées dans le dernier chapitre.

La présentation de certains éléments que l'on retrouve indifféremment à tous les niveaux de l'édifice a toutefois dû être séparée pour éviter les répétitions. C'est le cas des armatures de vitraux et des nombreux chaînages découverts dans les comptes ou en prospection. L'ensemble des résultats qui y sont liés est présenté dans les deux premières parties afin de les mettre en exergue.

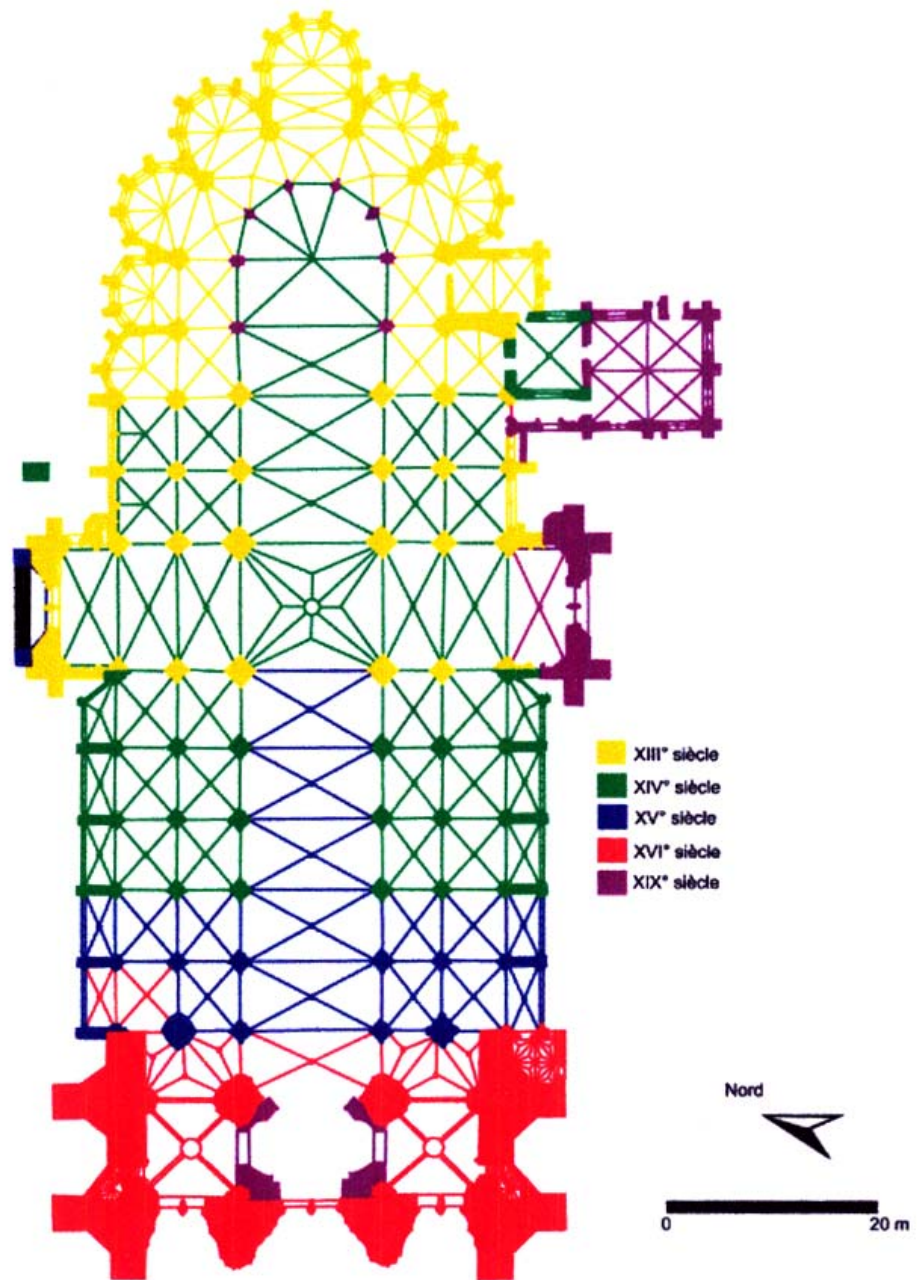


Figure 160 : Plan de la cathédrale de Troyes avec les différentes périodes de construction, d'après C. Roms⁴⁶⁴.

⁴⁶⁴ ROMS (C.), *La pierre de Tonnerre...*, op. cit., p. 91.

II.1.3 L'emploi du fer dans les vitraux de la cathédrale de Troyes

La cathédrale de Troyes constitue un des plus importants ensembles vitrés de France, avec plus de 1500 m² de verrières. Par leur conservation exceptionnelle, elles offrent un aperçu de l'art du vitrail du XIII^e au XIX^e siècle, grâce à l'étalement sur plusieurs siècles de la construction de l'édifice⁴⁶⁵.

II.1.3.1 Historique des vitraux

II.1.3.1.1 XIII^e siècle

La chronologie des vitraux de la cathédrale de Troyes suit à peu près celle de la maçonnerie. Les vitraux les plus anciens se trouvent dans le chœur et datent du début du XIII^e siècle (1200-1220) pour ceux des chapelles basses, et du milieu du XIII^e siècle (1240-1250) pour les baies hautes et celles du triforium, étages reconstruits après la tempête de 1228⁴⁶⁶. La quasi-totalité de ces vitraux sont encore en place dans les fenêtres du chœur, certes non sans avoir subi plusieurs campagnes de restauration.

II.1.3.1.2 XIV^e siècle

Les baies basses des travées les plus orientales de la nef, élevées entre le milieu du XIII^e siècle et le début du XIV^e siècle sont vitrées peu après⁴⁶⁷. Elles conservent encore leurs panneaux d'origine, sauf celle de la quatrième chapelle au sud (baie 49), qui a été refaite en 1625⁴⁶⁸.

Le transept, construit à la même période, n'est pourvu de vitraux qu'à la fin du XIV^e siècle. La campagne de vitrerie dont il fait l'objet entre 1375 et 1380 est par ailleurs bien documentée dans les comptes de la fabrique. Plusieurs peintres verriers se succèdent

⁴⁶⁵ Voir notamment le récent ouvrage de D. Minois sur le vitrail à Troyes, MINOIS (D.), *Le vitrail à Troyes : les chantiers et les hommes (1480-1560)*, Paris, PUPS, 2005, 475 p.

⁴⁶⁶ *Corpus Vitrearum. Les vitraux de Champagne-Ardenne...op. cit.*, p. 218.

⁴⁶⁷ *Ibid.*, p. 218.

⁴⁶⁸ *Ibid.*, p. 224.

alors pour la réalisation de ces vitraux : Guillaume Brisetour, Jaquemin et Jean d'Amery⁴⁶⁹. De ce premier vitrage ne subsistent que trois fenêtres, celle au centre du bras nord-ouest du transept qui figure sainte Catherine (baie 223) et les deux baies du bras sud-ouest les plus proches de la croisée où sont respectivement représentés saint Jean et saint Michel (baies 224 et 226), les autres ayant été modifiées au cours des siècles suivants⁴⁷⁰.

II.1.3.1.3 XV^e siècle et début du XVI^e siècle

La rose nord du transept, vitrée en 1375-1376, connaît ses premiers dommages à peine quinze ans plus tard. Elle doit être renforcée en 1389, après avoir été « abattue par le vent »⁴⁷¹, mais elle choit néanmoins en 1390, après la violente tempête qui abat la couverture de la nef⁴⁷². Elle est reconstruite en 1408-1409, comme en attestent les dépenses mentionnées à cette époque dans les comptes *pour l'ostiau nuef et asseoir, soder et encramponner les cleres voyes dess[oubz] le dit ostiau*⁴⁷³. Son vitrail est réalisé par Guiot Brisetour, le fils de Guillaume.

Il faut ensuite attendre la fin du XV^e siècle pour voir l'installation de nouveaux vitraux dans la cathédrale, suite à l'achèvement de la construction des deux travées occidentales de la nef. Les fenêtres des chapelles sont les premières à recevoir des vitraux, œuvres de Girard de Noguât aux alentours de 1480-1485, mis à part celle de la première chapelle sud, qui ne sera vitrée par Jean Soudain qu'en 1523-1524⁴⁷⁴. Les dix grandes fenêtres hautes de la nef sont quant à elles toutes vitrées entre 1498 et 1502, faisant preuve d'une remarquable unité à l'instar de celles du chœur⁴⁷⁵.

Au cours de la première moitié du XVI^e siècle, la fabrique entreprend de refaire les baies hautes du transept⁴⁷⁶. Il s'agit non seulement d'une modification des vitraux, mais également de l'intégralité du réseau des baies, qui arborent désormais un décor de type flamboyant. Seules trois d'entre elles conserveront leur aspect et leurs vitraux d'origine.

⁴⁶⁹ Voir les comptes des années correspondantes, sous les cotes Bibl. nat., ms. lat 9112, Arch. nat., KK 398 B et Arch. dép. Aube G 1559 ainsi que les extraits de comptes présentés par Gadan, GADAN (J.-F.) « Comptes de l'église de Troyes 1375-1385 », *Le bibliophile Troyen*, II, Troyes, 1851, 60 p.

⁴⁷⁰ *Corpus Vitrearum. Les vitraux de Champagne-Ardenne...op. cit.*, p. 216.

⁴⁷¹ PJ n° 32.

⁴⁷² ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, *op. cit.*, p. 142.

⁴⁷³ PJ n° 39, fol. 125 r°.

⁴⁷⁴ *Corpus Vitrearum. Les vitraux de Champagne-Ardenne...op. cit.*, p. 223 et 226.

⁴⁷⁵ Arch. dép. Aube, G 1571, 1572 et 1573.

⁴⁷⁶ *Corpus Vitrearum. Les vitraux de Champagne-Ardenne...op. cit.*, p. 216-217.

Pour finir la rose occidentale est vitrée par Jean Soudain en 1546-1547⁴⁷⁷.

II.1.3.1.4 Réfections ultérieures

Outre les classiques restaurations nécessaires aux vitraux à cause de la corrosion du verre, mais aussi des armatures de fer, la quasi-totalité des vitraux est conservée. Quelques-uns ont été déplacés, en particulier certaines des chapelles du chœur d'après E. Carson-Pastan⁴⁷⁸, mais nombreux sont ceux qui sont encore en place dans leurs fenêtres d'origine.

Seules exceptions d'importance, la rose sud et les deux baies hautes de la travée la plus méridionale du croisillon sud du transept, qui ont fait l'objet d'une reconstruction totale au cours de la seconde moitié du XIX^e siècle, après la rupture d'un chaînage installé en 1713⁴⁷⁹. Réplique de la rose nord, la nouvelle rose sud est donc une œuvre du XIX^e siècle.

II.1.3.2 Les barlotières-tirants

Outre les éléments classiquement utilisés pour la mise en place d'un vitrail : barlotière, vergette, feuillard, tenon et clavette, on note dans la plupart des verrières la présence de barlotières de section beaucoup plus importante que les autres. Alors que les simples barlotières ont une section d'environ 1 x 3,5 cm², ces grosses barres ont des sections oscillant entre 2 x 4 cm² et 2 x 5 cm². Leur nombre dans chaque fenêtre dépend directement de la dimension de celles-ci. Elles sont au nombre de trois dans les baies hautes du chœur et du transept est, deux par fenêtre haute de la nef, du transept ouest ou des chapelles de la nef, et enfin une seule par fenêtre du triforium. Seules les étroites baies des chapelles du chœur n'en comptent pas.

Les observations révèlent que ces barres sont bien continues au sein d'une même travée, contrairement aux barlotières qui ne font que la longueur d'une lancette. En effet, tout d'abord, les meneaux des remplages sont toujours discontinus au niveau de ces grosses barres, permettant une mise en œuvre plus facile lors de leur installation. De plus, les prospections de nature électrique réalisées sur l'édifice ont toujours établi cette continuité à divers endroits

⁴⁷⁷ *Ibid.*, p. 238.

⁴⁷⁸ *Ibid.*, p. 218-219.

⁴⁷⁹ ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, *op. cit.*, p. 258.

pour les baies du triforium et la barre inférieure des baies hautes, les autres étant inaccessibles.

La principale interrogation réside dans la continuité de ces barres à l'intérieur des piles, pour constituer un ou plusieurs chaînages enserrant l'édifice. Ni les documents des archives de restauration, ni les comptes médiévaux ne nous renseignent sur ce point. Il n'a pas non plus été possible d'étudier leur continuité à l'aide d'un détecteur de métal. L'appareil nous a toutefois permis de suivre ces barres sur une longueur d'au moins 20 cm, donnant ainsi un minimum pour la profondeur de leurs ancrages. Seule l'observation des piles nous apprend que ces barres ne sont pas nécessairement ancrées au niveau d'un joint de pierre. Dans chaque baie, seule la barre la plus haute passe au niveau d'un joint et est donc susceptible de former un chaînage. Nous avons également mené une prospection électrique sur les tirants accessibles, c'est-à-dire ceux du triforium. La lampe témoin ne s'est jamais allumée, ce qui va plutôt dans le sens d'une absence de liaison entre ces barres, même si une trop forte oxydation peut également être la cause de la non conductivité.

II.1.3.3 Estimations des quantités de fer employées dans les vitraux

Si la plupart des vitraux sont bien conservés et s'ils sont encore à leur emplacement d'origine, ce n'est certainement pas le cas du reste des armatures de fer. En atteste la standardisation de la section des vergettes et des barlotières. Les nombreuses restaurations, déposes et reposes successives des vitraux aux XIX^e et XX^e siècles ont vu le remplacement successifs de ces divers éléments, sans compter les nombreuses reforges et changements de fers à vitraux mentionnées dans les comptes médiévaux. Seules les barlotières-tirants, ces grosses barres, sont potentiellement encore en place dans leurs fenêtres d'origine. Elles sont en règle générale fortement ancrées dans la maçonnerie, ce qui rend leur dépose et leur remplacement très difficiles, s'ils ne s'accompagnent pas d'un démontage complet des piédroits des baies.

La plupart des éléments constitutifs des armatures de vitraux sont de simples barres ou verges de longueurs et sections variables. Quelques barlotières circulaires, carrées ou triangulaires, sont visibles dans certaines baies, notamment dans le transept et en particulier dans les roses et leurs galeries inférieures. Seules les chapelles du chœur, vitrées au début du XIII^e siècle, présentent des barlotières de formes plus originales, ovales, losangiques ou

circulaires, s'adaptant à la forme du vitrail. Ces formes typiques du début du XIII^e siècle disparaissent dans les parties hautes et les travées droites du chœur, vitrées plus tardivement et où le panneau de vitrail désormais carré ou rectangulaire est adapté à une armature plus rectiligne. Ces armatures des lancettes des chapelles du chœur représentent un travail de forge nécessairement plus important (cf. Figure 162). En termes de quantités de fer mis en œuvre, elles ne se distinguent toutefois quasiment pas des lancettes où l'armature de fer est complètement rectiligne⁴⁸⁰.

Même si les éléments d'origine ne sont pas conservés, le fait que les vitraux sont assez souvent dans leur fenêtre d'origine assure que le châssis vitré actuel est fortement similaire au châssis en place à la période médiévale, ce qui permet notamment de mener des estimations sur les quantités de fer employées dans chaque fenêtre pour les comparer aux informations données par les livres de comptes et le cas échéant les compléter.

Ces estimations globales donnent une masse de fer de 9,9 tonnes pour les vitraux du chœur, 5,5 t dans le transept et 7,2 t dans la nef, soit un total de près de 25 tonnes sur l'ensemble de la cathédrale en comptabilisant la longueur des ancrages.

II.1.3.4 L'apport des comptes à la connaissance des armatures de vitraux

Les comptes de la fabrique de la cathédrale permettent de suivre, outre les régulières réfections des vitraux, la construction de plusieurs verrières, en particulier celles du transept à la fin du XIV^e siècle et celles de la nef à la fin du XV^e siècle. En plus d'un supplément d'information quant à la masse et la nature des éléments mis en place dans les fenêtres originelles, ces mentions permettent d'effectuer des comparaisons entre les baies médiévales et les baies telles qu'elles apparaissent au début du XXI^e siècle.

II.1.3.4.1 Réflexions sur les baies primitives du chœur

La plupart des baies du chœur sont, en partie haute comme en partie basse, vitrées au cours du XIII^e siècle. Nous ne disposons donc pas des comptes relatifs à la pose de ces vitraux et à l'achat des armatures de fer subséquentes. Seul un compte conservé au milieu du

⁴⁸⁰ On constate une augmentation de la quantité de fer mise en œuvre de l'ordre de 20 % par rapport à des armatures rectilignes.

XIV^e siècle fait état de la réparation, mais aussi de la pose de fenêtres au chapitre de l'église, avec la forge de trois tirants de fer payés 7 l. 10 s. t. ainsi que d'autres barres et gonds « pour le châssis pour les fenêtres »⁴⁸¹.

Mais au début du XV^e siècle, une mention nous indique l'achat de *XXXV coings de fer, chascun d'ung pié de long, mis es verrieres basses d'entour du cuer les quelles sont, pour la plus grant partie en chassis de bois*⁴⁸². Dans la suite du compte, la fabrique acquiert *XV verges de V piés de long pour les dictes verrieres*⁴⁸³, verges qui restent nécessaires quel que soit le type d'armature pour rigidifier les panneaux de vitrail⁴⁸⁴. La grande dimension de ces vergettes, qui mesurent plus de 1,50 m de long, ne semble pouvoir s'adresser qu'aux fenêtres dont les lancettes sont les plus larges, donc vraisemblablement à des baies à lancette unique, comme celles de la chapelle axiale ou de la deuxième chapelle au nord. On a donc ici la preuve que, sans doute depuis le milieu du XIII^e siècle, les baies basses des chapelles du chœur ne sont pas toutes dans un châssis de fer et de pierre mais dans une armature de bois. On ne connaît pas la période où ces châssis de bois ont été retirés pour faire place uniquement au fer et à la pierre. On sait seulement que, près de 25 ans plus tard, en 1426-1427, les châssis de bois des baies de la chapelle Saint-Nicolas, elle-même située dans le chœur, sont pourris et nécessitent réparation⁴⁸⁵. Enfin, en 1485-1486, la fabrique commande au serrurier Perrin L'Avocat *V grans verges et XII chevilles de fer pour tenir les chassis du bois ou sont les verrieres de la chappelle des appotes*⁴⁸⁶. Les exemples de châssis de bois semblent donc plutôt nombreux pour les plus anciennes verrières de la cathédrale de Troyes et ceux-ci semblent avoir perduré pendant la plus grande partie du Moyen Age.

Les autres allusions aux verrières du chœur dans les comptes de la fabrique sont uniquement relatives à des réparations, comme en 1383-1384 où le serrurier Richart est payé 20 s. t. *pour croistre et reforgier XV verges quarrees des verrieres dou cuer et IX montans, faire les ploiz doublez de chascune part et VIII barriaux croistre de chascun chief de*

⁴⁸¹ *Dicta die Jacomardo fabro pro tribus tirannis magnis tam factis et positis in faciendo [fenestras capituli] VII l. X s. t. ;Item Jacomardo fabro pro barris et gonnis pro le chacy pro fenestras capituli X s. t.*, Bibl. nat., nouv. acq. lat. 1949, fol. 12 v^o.

⁴⁸² British muséum, ms. 15803, fol 154 v^o et 155 r^o cité dans ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, op. cit., p. 175.

⁴⁸³ *Ibidem*.

⁴⁸⁴ On peut noter au passage la grande dimension de ces verges, qui ne peut s'adresser qu'aux fenêtres dont les lancettes sont les plus larges, par exemple celles de la chapelle axiale.

⁴⁸⁵ PJ n^o 46.

⁴⁸⁶ Arch. dép. Aube, G 1568, fol. 246 r^o.

*II doiz*⁴⁸⁷. Outre l'évidence d'un réemploi des mêmes armatures de fer après leur allongement à la forge, cette mention renseigne également sur la forme de certaines vergettes qui étaient de section carrée. L'opération de forge ayant conduit à l'allongement, soudure d'un élément rapporté à l'extrémité ou simple étirement avec diminution de section n'est pas explicitée. L'absence de mention de « rajout de livres de fer », que la fabrique aurait du fournir ou payer, irait plutôt dans le sens d'un étirement des pièces. L'allongement des barreaux est par ailleurs d'une longueur de 2 doigts, soit environ 3 à 4 cm de chaque côté, ce qui est bien compatible avec un étirement, bien que la perte de section puisse être localement assez importante.

A l'exception de rares mentions de localisation, par l'intermédiaire d'un nom de chapelle par exemple, il est impossible d'identifier la partie de l'église et encore moins la baie où les réparations ont lieu, d'autant plus que les réparations ne concernent en général pas uniquement les fenêtres du chœur, mais également parfois d'autres fenêtres, voire même « toutes les fenêtres de l'église ». En 1333-1334, le maître verrier Gérard Onguet est payé 10 l. t. pour réparer « toutes les verrières de toute l'église »⁴⁸⁸. La nef haute n'étant pas encore construite et le transept n'étant pas encore vitré, ces « verrières de toute l'église » ne peuvent donc être que les verrières du chœur, ou celles des chapelles des trois premières travées de la nef déjà construites à cette époque. En terme de nombre, ce sont donc essentiellement les verrières du chœur qui sont concernées. A cette dépense de 10 l. t. pour le verrier est associée la forge d'un certain nombre d'armatures de fer, sans la moindre mention explicite de réparation (cf. Tableau 38). De plus, la dépense totale est assez peu élevée comparativement à la quantité d'éléments achetés, avec seulement 2 l. 13 s. 7 d. t. pour plusieurs centaines de verges, des barres, des clous ou clavettes et même plusieurs tirants. Les 100 verges payées 4 s. t. donnent un ordre de grandeur de l'ordre d'une obole par verge alors que quelques années plus tard, en 1337, le prix de la livre de fer ouvrée semble tourner autour de 3 d. ob. t. à 4 d. ob. t. la livre, et l'achat de deux cercles de fer pour les fenêtres revient à 20 s. t.⁴⁸⁹. Deux questions se posent donc ici : pour quelle raison le prix des armatures est-il aussi faible et s'agit-il véritablement d'une réparation ? Ces questions sont évidemment étroitement liées, le faible prix du fer ne pouvant être imputé qu'à deux facteurs : soit le fer mis en œuvre est un fer de l'église et le salaire ne correspond qu'au travail du forgeron, soit il s'agit de la

⁴⁸⁷ Bib Nat., ms. lat. 9112, fol. 106 r°.

⁴⁸⁸ PJ n° 20, fol. 3 r°.

⁴⁸⁹ *Dicta die jacomardo fabro pro II circulis ferreis pro formis XX s. t.*, Bibl. nat., nouv. acq. lat. 1949, fol. 19 r°. Au cours de la même année comptable, on a également l'achat de crampons et tirants de fer pour un prix allant de 8 s. 4 d. t. à 10 s. t. le poids, PJ n° 20, fol. 20 r°. D'après les comptes et les estimations réalisées, la masse d'une vergette est quant à elle en moyenne de l'ordre d'une livre.

réparation et non de la forge complète des éléments précités, induisant un coût encore moindre par élément. Bien que le terme de « réparation » ne soit pas évoqué dans les mentions de forge de ces armatures, la seconde hypothèse paraît néanmoins la plus vraisemblable.

Ouvrage	Prix
100 verges	4 s. t.
3 tirants, 24 gros clous et 100 verges	21 s. 7 d. t.
Tirants, barres et verges.	25 s. 6 d. t.
Clous et verges.	2 s. 6 d. t.
Total	2 l. 13 s. 7 d. t.

Tableau 38 : Réparation aux verrières de la cathédrale de Troyes en 1333-1334⁴⁹⁰.

Ouvrage	Verrière	Localisation	Prix
200 paillettes			8 s. t.
Allonger 38 barreaux	<i>en plusieurs formes tant grandes comme petites</i>		15 s. t.
Allonger 1 gros barreau	<i>forme de la chapelle Saint Pierre et Saint Pol</i>	Chapelle sud du chœur	
Accroître 16 verges	<i>grans formes de costé ledit ostiau à la partie de l'ostel ou demeure ledit Bon Buef</i>	Transept Nord	7 s. 6 d. t.
1 verge neuve de 4,5 pieds de long	<i>en l'une des formes de la chapelle du Sauveur</i>	??	2 s. 6 d. t.
Croître 4 montants	<i>verrieres de la chapelle de Notre Dame darriere</i>	Chapelle axiale	5 s. t.
Total			1 l. 18 s. t.

Tableau 39 : Réparation aux verrières de l'église cathédrale de Troyes en 1409-1410⁴⁹¹.

A partir de la fin du XIV^e siècle, les mentions de réparation sont plus explicites, bien que la localisation des éléments soit toujours aussi difficile à établir. En 1409-1410, la fabrique engage une dépense de 16 l. 10 d. ob. t. *pour rapareiller le verre, alomguir les*

⁴⁹⁰ PJ n° 20, fol. 3 r°.

⁴⁹¹ PJ n° 39, fol. 122 r°.

*vergues de fer et plusieurs des barriaux de la forme empres l'ostiau nuef de la partie devers Bon Buef, comme autre part es verrieres hautes tout autour du cuer et aussi de toutes les chapelles de l'église*⁴⁹², c'est-à-dire presque toutes les verrières de l'église. La dépense pour forge s'y élève à 1 l. 18 s. t. soit à peine 12 % du total. Elle consiste essentiellement en l'allongement de barreaux, de montants, de verges et même d'un gros barreau, mais sans achat d'éléments neufs, à part les clavettes et une verge (cf. Tableau 39) : la fabrique n'a donc qu'à rémunérer le forgeron pour son travail à la forge et non pour le matériau.

De même, quinze ans plus tard, en 1425-1426, le maître verrier Jean de Bar-sur-Aube doit *retenir les verrieres des basses alees autour du cuer et aucunes des haultes et reboucher plusieurs pertuis es verrieres de la nef*⁴⁹³. Si les verrières du chœur semblent principalement concernées par ces restaurations, leurs endroits précis ne sont jamais mentionnés (cf. Tableau 40). L'ouvrage du serrurier, qui comprend ici la fourniture d'un bon nombre de verges et clavettes neuves, parallèlement à la réparation et remise en forme à la forge des vieux barreaux, coûte 6 l. 1 s. 1 d. t. à la fabrique. Cela représente dans ce cas près d'un tiers de la dépense totale de verrerie qui s'élève cette année-là à 18 l. 11 s. 9 d. t.

Ouvrage	Verrière	Prix
700 paillettes		26 s. t.
64 verges tant grandes comme petites pesant 63 l.	<i>Mises es dictes verrieres</i>	63 s. t.
Ressouder plusieurs barreaux et verges à verre. Plusieurs croches et loques aux barreaux. Allonger, raccourcir, redresser et mettre en forme certains barreaux.		32 s. 1 d. t.
Total		6 l. 1 s. 1 d. t.

Tableau 40 : Réparation aux verrières de la cathédrale de Troyes en 1425-1426⁴⁹⁴.

II.1.3.4.2 Les baies hautes du transept

Les vitraux du transept sont mis en place entre 1375 et 1381. Pour cette série, seul le registre correspondant à l'année comptable 1376-1377 est manquant, les autres années sont

⁴⁹² Arch. dép. Aube, G 1559, fol. 121 r°.

⁴⁹³ Arch. dép. Aube, G 1562, fol 36 v°.

⁴⁹⁴ PJ n° 45.

consultables en partie aux Archives nationales (Arch. nat., KK 398 B, 1375-1376), à la Bibliothèque nationale de France (Bibl. nat., ms. lat. 9113, 1377-1378 et 1378-1379 ; ms. lat. 9112, 1380-1381) et aux Archives départementales de l'Aube (Arch. dép. Aube, G 1559, 1379-1380). On dispose également, pour certaines de ces années, d'une édition de comptes non exhaustive réalisée en 1851 par J.-F. Gadan⁴⁹⁵. Cette édition est à prendre avec précaution car, comme le note Mgr. Roserot de Melin, les extraits présentés comme datant de 1378-1379 ne correspondent pas à ceux que l'on retrouve dans le compte de la même année conservé à la Bibliothèque nationale⁴⁹⁶. Nous avons toutes les raisons de croire, qu'il s'agit en réalité d'extraits de cette mystérieuse année 1376-1377, dont le compte aurait par la suite été perdu. En effet, les travaux commencent du côté du *pavement*, c'est-à-dire dans le croisillon nord⁴⁹⁷, probablement peu avant le compte de 1375-1376 puisque nous ne disposons pas des mentions d'achat de toutes les ferrures qui pourraient y correspondre. La rose nord est vitrée cette même année. Dès 1377-1378, les maçons se trouvent dans le croisillon sud du transept, la partie *devers le chapitre* ou *devers le revestiaire*, et ils y restent jusqu'en 1381. Or le compte dont Gadan nous fait l'extrait et qu'il date de 1378-1379 voit un travail des maçons, tout d'abord du côté du pavement, donc au nord, avec des finitions apportées à la rose qui vient d'être construite, puis leur passage au sud pour vitrer la baie où est imaginé Saint-Jean l'Évangéliste, encore actuellement située au milieu du bras sud-ouest du transept. La conjonction de ces éléments semble bien indiquer que ces extraits ne correspondent pas à l'année comptable 1378-1379, ce qui était déjà certain puisque le registre original est conservé, mais plutôt à celle de 1376-1377, année lacunaire de transition entre la vitrerie du croisillon nord du transept et celle du croisillon sud. Malheureusement, Gadan ne présente dans ses extraits aucune mention d'achat d'armatures de fer, alors qu'il y en avait probablement étant donné le grand nombre de baies vitrées cette année-là.

Bien que la série de comptes soit ici très riche, l'intégralité des fenêtres ne peut pas être restituée, puisque la plupart des vitraux ont été modifiés au tournant des XV^e et XVI^e siècles. De la vitrerie originelle ne subsistent que les baies 223, 224 et 226, à savoir la verrière centrale du croisillon nord-ouest représentant sainte Catherine et les deux verrières les plus au nord du croisillon nord-ouest du transept représentant respectivement saint Jean et

⁴⁹⁵ GADAN (J.-F.) « Comptes de l'église de Troyes... », *op. cit.*

⁴⁹⁶ Il ne fait cependant d'autre commentaire que de constater la différence entre le compte existant et les extraits cités par Gadan, ROSEROT DE MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, *op. cit.*, p. 141.

⁴⁹⁷ Le pavement désigne la grande rue de la cité, ancien *decumanus maximus* de la ville.

saint Michel (cf. Figure 161 et Figure 162)⁴⁹⁸. L'histoire et le devenir des autres verrières sont documentés de manière très inégale. De plus, une identification précise n'apporterait que peu d'informations, puisqu'il serait impossible de comparer les armatures actuelles avec les données des comptes.

Sur les quatorze fenêtres vitrées à cette époque, douze baies hautes et deux roses, on ne dispose des dépenses de serrurerie que pour neuf d'entre elles, dont toutes n'ont pas pu être localisées avec certitude. Ces mentions sont en général extrêmement peu détaillées, le procureur se contentant en général d'énumérer la nature des éléments de fer achetés et de donner leur masse totale sans détail, comme dans la mention suivante⁴⁹⁹ :

Audit Richart pour XXXII pois IX l. et demie de fer ouvré, tant en ront de l'ostiau d'en haut comme en plusieurs barriaux, montans, trepiés et verges pour la forme ou l'image de saint Denis, pour chascun pois XXV s., valent XL l. VIII s. IX d. t.

Pour IV^c et demi de paillettes, le cent III s., valent XVIII s. t.

Pour courtoisie faicte aux vallez dudit Richart, II s. VI d. t.

Les éléments de fer dont il est question sont toujours identiques et assez aisément identifiables, puisqu'ils sont fréquemment utilisés dans les comptes médiévaux et qu'ils se rapprochent des termes actuels⁵⁰⁰. Seuls les *trépieds* peuvent amener à interrogation. Il s'agit vraisemblablement d'éléments à trois branches, correspondant peut-être aux pièces que nous avons nommées triangles, d'après leurs formes, comme celle qui se trouve au sommet de la verrière de saint Michel, ou peut-être encore des pièces en forme de T, comme en haut de chaque lancette de cette même verrière.

C'est le serrurier Richart, serrurier principal travaillant à la fabrique depuis au moins 1372, qui œuvre à la fabrication des armatures sur toute la durée du chantier⁵⁰¹. Le prix du poids de fer ouvré, pesant 27 livres poids, est fixe pendant l'intégralité des travaux de 1375 à 1381, à 25 s. t. le poids, soit un peu plus de 11 d. t. la livre. Même l'achat de barreaux en fer d'Espagne, en 1379-1380, pour les verrières du triforium situé sous la rose sud du transept se

⁴⁹⁸ *Corpus Vitrearum. Les vitraux de Champagne-Ardenne...*, op. cit., p. 216.

⁴⁹⁹ PJ n° 25, fol. 36 v°.

⁵⁰⁰ On retrouve les barreaux, montants, verges, ronds, carrés et paillettes.

⁵⁰¹ Seule la rose sud, dernière baie à être vitrée, est faite d'armatures en fer d'Espagne fournies par un autre serrurier : Thomas Grosse Teste.

fait au même prix⁵⁰². On note cependant deux exceptions à un prix légèrement supérieur, de 27 s. t. le poids, soit 12 d. la livre. Tout d'abord en 1375-1376, l'achat des armatures de fer de la rose nord du transept au serrurier Richart, car il s'agit apparemment d'un travail plus minutieux, puisqu'il est précisé que *le dit ouvrage est plus deliez que li autres des dictes formes*⁵⁰³. Ensuite, l'achat de *XXI rodel et XVI quarrez [...] de fer d'Espaingne*⁵⁰⁴ au serrurier Thomas Grosse Tête paraît plus singulier. Le prix légèrement plus élevé de ces armatures n'est peut-être pas dû à leur facture en fer d'Espagne, mais il s'agit peut-être là encore d'une différence de qualité ou de quantité de travail : ronds et carrés nécessitent pour leur fabrication une ou plusieurs soudures à la forge qui ne sont pas nécessaires pour de simples barreaux.

Les quantités de fer mises en œuvre dans les fenêtres du transept d'après les comptes et leur localisation lorsqu'elle a pu être restituée sont listées dans le Tableau 41. Elles y sont mises en relation avec les quantités de verre utilisées pour ces vitraux.

On remarque en premier lieu une extrême variabilité dans les quantités de fer employées dans ces fenêtres hautes, allant presque du simple au double : la verrière de saint Michel n'en contenant que 345 kg contre 595 kg pour celle de saint Mamer. Or ces baies sont actuellement toutes de dimensions à peu près équivalentes, allant de 4,3 à 5,1 m d'après les longueurs que nous avons mesurées. Si la plupart des vitraux ont été modifiés, il est en revanche fort improbable que les dimensions des fenêtres aient elles-mêmes changé, à l'exception peut-être des deux baies les plus au sud, suite à la restauration du portail méridional au cours du XIX^e siècle. De plus, les quantités de verre mises en œuvre par le maître verrier montrent bien que les surfaces vitrées diffèrent beaucoup moins. La verrière de saint Mamer en contient environ 395 pieds carrés, soit 90 pieds de plus que celle de saint Michel. Elle n'est d'ailleurs pas la plus grande, puisque celle de la Résurrection du Christ en a près de 440 pieds. Il s'agit en effet actuellement d'une des baies les plus larges, avec 5,1 m, la verrière de saint Michel avec ses 4,6 m n'étant toutefois pas une des plus petites.

La rose nord et la verrière où est peint saint Michel (baies 219 et 226) sont les seules pour lesquelles on dispose des mentions d'achat des armatures de fer et qui n'ont potentiellement pas fait l'objet par la suite d'une totale modification⁵⁰⁵. Le détail des

⁵⁰² PJ n° 26, fol. 52 r° Le fer d'Espagne, connu pour être de bonne qualité est souvent d'un coût supérieur aux autres fers. Cela ne semble cependant pas être le cas ici.

⁵⁰³ PJ n° 23, fol. 9 r°.

⁵⁰⁴ PJ n° 26, fol. 52 r°.

⁵⁰⁵ La verrière représentant sainte Catherine (baie 223) n'a pas pu être clairement identifiée et celle de saint Jean (baie 224) a vraisemblablement été posée lors de l'année 1376-1377 pour laquelle Gadan omet de

armatures visibles à l'heure actuelle est comparé aux données des comptes dans le Tableau 42 et le Tableau 43.

Année	Fenêtre	Masse de fer	En kg	Paillettes	Verre
1375-76	Rose nord (baie 219).	32,5 poids	429 kg	1000	686 pieds
1375-76	Image de la Vierge Marie (anc. baie 217, milieu du transept NE).	28 poids	370 kg	475	?
1375-76	Forme du milieu devers Maison Dieu St Nicolas.	39 poids et 15 l.	522 kg	400	?
1377-78	Forme où est saint Michel (baie 226, baie nord du transept SO).	26 poids et 3 l.	345 kg	350	304 pieds
1377-78	Forme où est saint Barthélémi ⁵⁰⁶ .	31,5 poids	416 kg	275	341 pieds
1378-79	Forme où est saint Denis (transept SE).	32 poids et 11 l.	428 kg	450	380 pieds
1378-79	Forme où est saint Mamer (transept SE).	45 poids et 2 l.	595 kg	500	395,25 pieds
1379-80	Image de la résurrection NS (anc. baie 216, milieu du transept SE).	33 poids et 9 l.	440 kg	- de 600	438,5 pieds
1380-81	Rose sud.	35 poids et 20,5 l.	472 kg	1000	680 pieds
1380-81	Basses verrières de la rose sud.				260 pieds
Total		302 poids et 60 l.	4017 kg	Env. 5000	

Tableau 41 : Quantités de fer et de verre mises en œuvre dans les fenêtres du transept de la cathédrale de Troyes d'après les comptes de la fabrique⁵⁰⁷.

Verrière	Tirants	Barlotières	Montants	Verges	Cercles	Triangles	Tenons/ Clavettes	Masse estimée
St Michel	2	23	6	58	2	1	521	370 kg
Triforium	1	12	0	24			72	64 kg
Comptes	Barres, montants, verges et trépiéds.						350 ⁵⁰⁸	345 kg

Tableau 42 : Comparaison entre les estimations de terrain et les données des comptes pour la verrière de saint Michel de la cathédrale de Troyes.

mentionner l'achat des armatures de vitraux, GADAN (J.-F.) « Comptes de l'église de Troyes... », *op. cit.*, p. 13. Les verrières du côté est du transept ont toutes été totalement modifiées dans un style flamboyant au XVI^e siècle.

⁵⁰⁶ Bibl. nat., ms. lat. 9113, fol. 26 r^o et 28 r^o.

⁵⁰⁷ PJ n^o 23, fol. 9 r^o ; PJ n^o 24 ; PJ n^o 25, fol. 36 v^o ; PJ n^o 26, fol. 52 r^o ; PJ n^o 27.

⁵⁰⁸ Les clavettes ne sont pas comptabilisées dans la somme en masse donnée par les comptes.

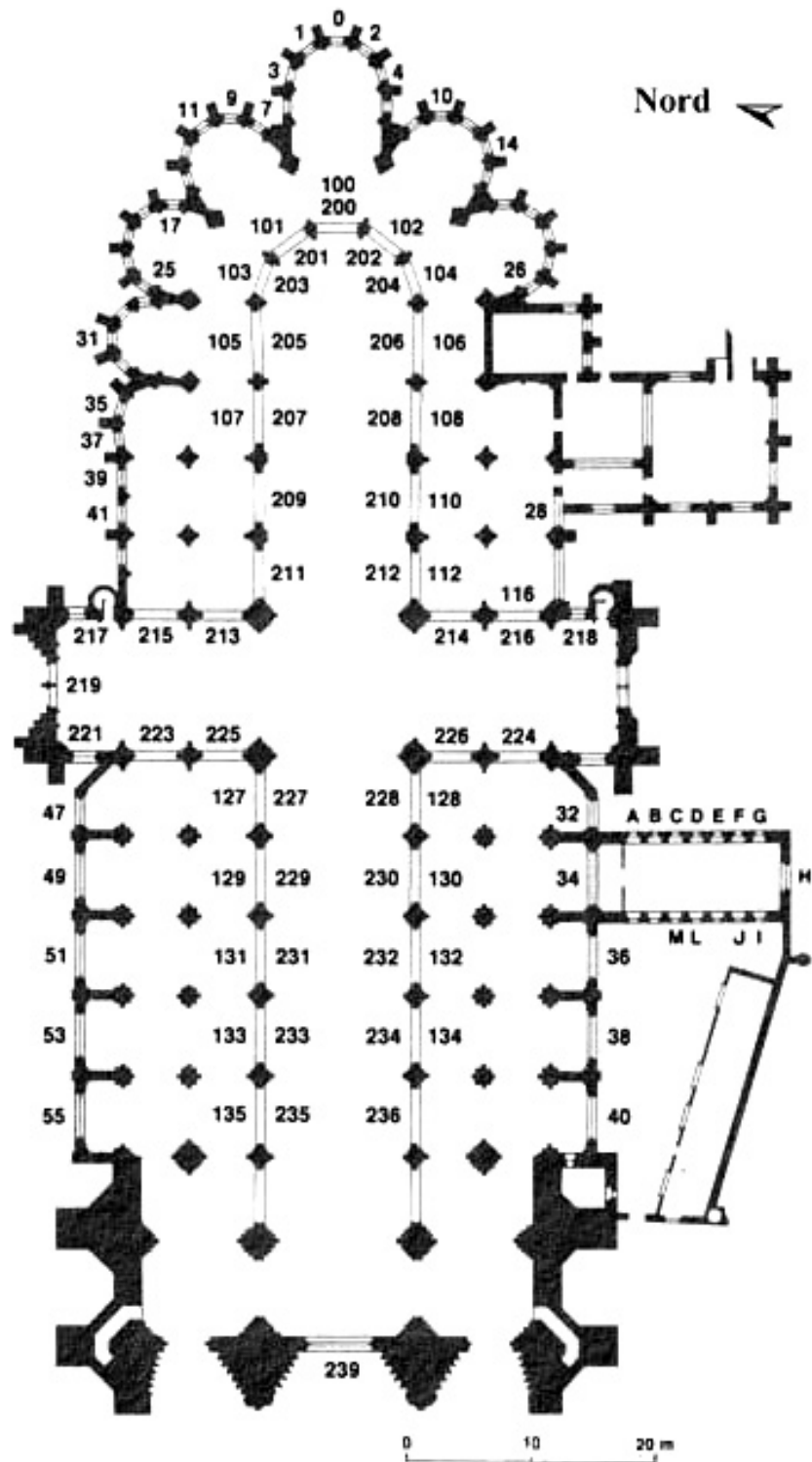


Figure 161 : Plan de la cathédrale de Troyes avec la numérotation des verrières, d'après le *Corpus Vitrearum*⁵⁰⁹.

⁵⁰⁹ *Corpus Vitrearum. Les vitraux de Champagne-Ardenne...*, op. cit., p. 216.

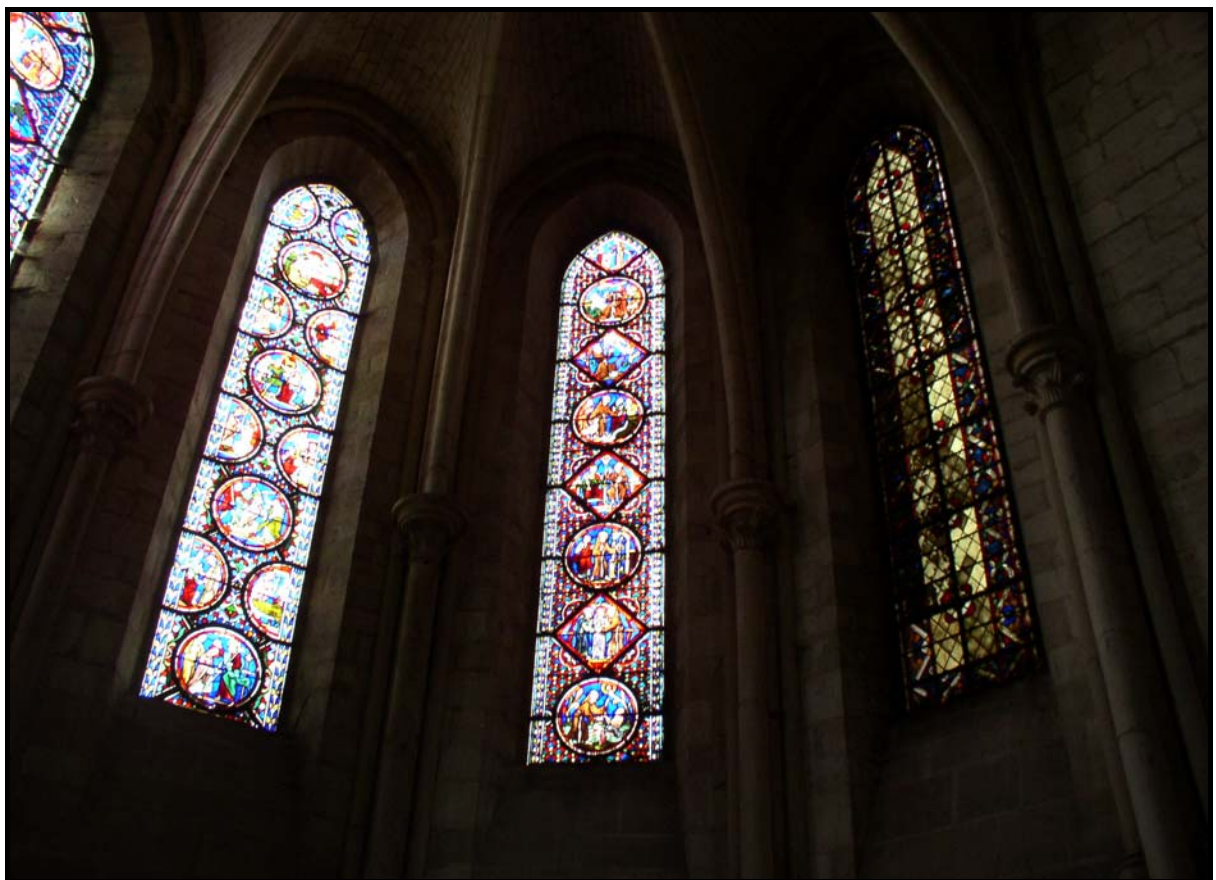
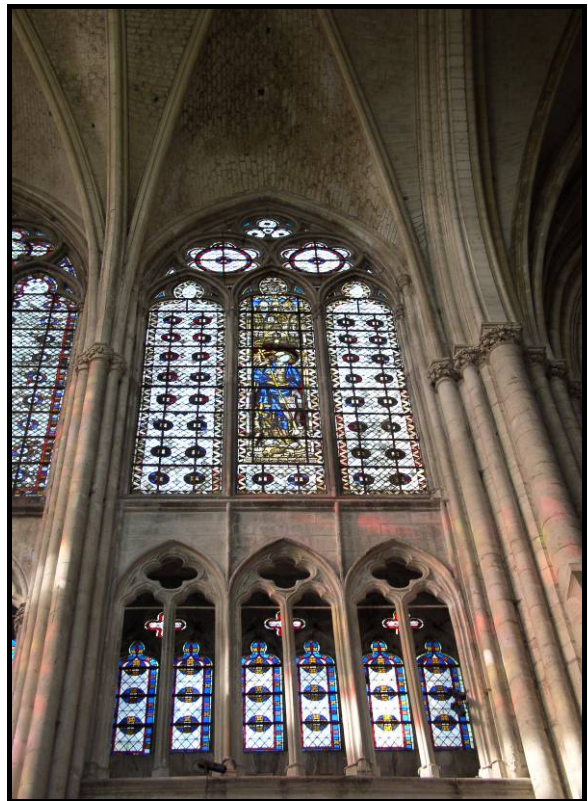


Figure 162 : A gauche, baie haute des travées droites du chœur. A droite, verrière dite « de saint Michel », transept sud-ouest (baie 226). En bas, vitraux de la première chapelle du côté sud du chœur.

Verrière	Tirants	Barlotières	Montants	Verges	Feuillards	Cercles	Tenons/ Clavettes	Masse estimée
Rose nord		36	0	100	36	17	172	144 kg
Triforium	1	36	0	96	48	6	252	221 kg
Comptes	Ronds, Barres, montants, verges et trépieds.						1000 ⁵¹⁰	429 kg

Tableau 43 : Comparaison entre les estimations de terrain et les données des comptes pour la rose nord de la cathédrale de Troyes.

Pour la rose nord, il existe un décalage flagrant entre la masse mise en œuvre estimée et celle des archives de la fabrique, près de trois fois supérieure. Le constat est identique pour le nombre de clavettes. L'erreur est cependant moindre, passant à seulement 20 %, si l'on ajoute au total les armatures de la galerie située sous la rose à l'étage du triforium. Rappelons que dans le cas du croisillon sud, les armatures de la galerie étaient achetées conjointement à celles de la rose elle-même⁵¹¹. Les raisons d'un tel décalage sont directement liées aux nombreuses réparations dont la rose et le portail nord ont fait l'objet dès la fin du XIV^e siècle et tout au long du XV^e. La rose connaît en effet ses premiers désordres dès 1389, avec la chute d'une de ses verrières, *lequel avoit esté abatuz de vent*⁵¹², qui est immédiatement remplacée et consolidée. L'année suivante elle doit être bouchée par des planches de bois et consolidée par des grandes poutres de bois liées par des bandes de fer⁵¹³, témoignage d'un désordre de la maçonnerie bien plus important⁵¹⁴. Elle est enfin refaite « tout de neuf » à partir de 1408⁵¹⁵, mais on ne dispose pas de compte concernant l'éventuel achat d'armatures de fer. D'après les comparaisons entre les données des comptes et les armatures actuelles, il est donc certain que le dessin de la rose a considérablement été modifié à cette époque. En ce qui concerne les éléments de fer qui y sont mis en œuvre, on sait seulement que, l'année suivant cette décision, on travaille à *alonguir XXXVIII barriaux et acroistre XVI verges* pour diverses baies⁵¹⁶, et on

⁵¹⁰ Les clavettes ne sont pas comptabilisées dans la somme en masse donnée par les comptes.

⁵¹¹ Ce n'est peut-être pas le cas de la rose nord pour laquelle on dispose de deux mentions distinctes de pose des vitraux. Les lacunes dans les comptes de 1376-1377 ne permettent cependant pas de trancher.

⁵¹² PJ n° 32.

⁵¹³ PJ n° 33.

⁵¹⁴ D'après les sources historiques, la rose choit pendant la première semaine de janvier 1390, Bibl. nat., ms. lat. 9111, fol. 89 v°. Il ne faut pas se méprendre sur le terme « choir » souvent employé pour des désordres ne touchant parfois qu'une partie mineure de la maçonnerie. Le compte de réparation de l'année suivante montre bien que la rose est toujours en place, bien qu'apparemment fort endommagée, d'après les réparations qui y sont nécessaires.

⁵¹⁵ ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, op. cit., p. 175

⁵¹⁶ PJ n° 39, fol 122 r°.

achète également 214 livres de fer en crampons et goujons *pour l'ostiau nuef et asseoir, soder et encramponner les cleres voyes dess[oubz] ledit ostiau et la viz [...] et pilier qui sont aux deux costes*⁵¹⁷. Pour finir, l'ajout de l'aiguille de pierre au centre de la rose au milieu du XV^e siècle est peut-être également venu supprimer un certain nombre d'armatures de fer. Une autre explication quant à notre sous-estimation réside dans l'importance des éléments de fers cachés dans la maçonnerie des roses. Les blocs de pierre du réseau peuvent en effet être tenues par une grande quantité de goujons de fer que nous n'avons pas comptabilisé dans nos calculs. Le terme de goujon n'apparaît pas dans les mentions d'achat en 1376, mais cela pourrait être imputé au réel manque de détail dont elles font preuve.

Pour la verrière de saint Michel, les estimations sont plutôt proches des données textuelles avec un écart de seulement 10 %, cette fois en la défaveur des comptes de la fabrique. Seul le nombre de clavettes que nous avons comptabilisées semble trop élevé. Il faut donc, dans ce cas, croire que les armatures de la claire-voie du triforium ne sont pas comprises dans la mention d'achat des comptes. Si c'était le cas, l'erreur réalisée serait alors bien plus importante, de l'ordre de 30 %.

La mention d'achat des armatures pour la baie située au milieu du transept sud-est et qui représentait la Résurrection du Christ (ancienne baie 217) donne un détail partiel pour certains éléments : il s'agit de *XVI barriaux pesans VIII pois et demi qui estoient de garnison des autres verrieres precedentes*⁵¹⁸, soit près de 230 livres. En considérant que ces barreaux sont tous de dimensions similaires, on est donc en présence de barres pesant environ 7 kg chacune. Assurément trop petites pour être des tirants, il ne peut donc s'agir que de barlotières de grande longueur ou de forte section. En s'appuyant sur le dessin de la baie représentant saint Jean qui fait face à celle-ci mais dont le dessin originel du remplage a été conservé, une barlotière de 7 kg faisant la largeur d'une lancette, soit 1,40 m, aurait une section de 6 cm², soit presque deux fois la section d'une barlotière classique. Il faut donc peut-être plutôt envisager que ces barreaux n'étaient pas tous de longueurs identiques, les plus courts pouvant constituer des barlotières et certains, plus longs, entrant peut-être plutôt dans la composition des montants verticaux.

⁵¹⁷ PJ n° 39, fol 125 r°.

⁵¹⁸ PJ n° 26, fol. 52 r°.

La rose sud est enfin la seule pour laquelle on dispose d'un détail des armatures mises en place (cf. Tableau 44). La rose sud actuelle étant une composition du XIX^e siècle, il est impossible d'effectuer une quelconque comparaison. On ne peut que remarquer le nombre très important de clavettes (1000), corroboré par les informations sur la rose nord. De même, le nombre de vergettes est très élevé et représente plus de la moitié de la masse totale de fer mise en œuvre, d'autant plus que les barreaux ne sont pas mis en place dans la rose proprement dite, mais dans les verrières situées sous la rose. Ces barreaux pèsent environ 2 kg pièce, soit une section de 3 à 4,5 cm² suivant la largeur des lancettes où ils sont placés⁵¹⁹. Les vergettes étant probablement de tailles très différentes, on ne peut tenir le même raisonnement, un poids moyen d'une livre par vergette n'est toutefois pas incohérent. On peut enfin noter que les barreaux, carrés et ronds, c'est-à-dire les éléments de fer de plus forte section, sont en fer d'Espagne, fer qui a peut-être fait l'objet d'une commande particulière puisqu'il a été acheté lors de l'exercice 1379-1380, année précédant la mise en place du vitrail et l'achat des plus petites pièces, vergettes et clavettes. A cette période, le maître maçon Jean Thierry commençait à peine à *massoner en la roe par devers la court l'official*, début juin 1380⁵²⁰. La rose n'est vitrée qu'au mois de mai 1381, soit près d'un an plus tard⁵²¹. Il est cependant possible que ces armatures de fer de la partie fixe du châssis vitré, grosses barres et barlotières de toutes formes, soient posées au fur et à mesure qu'avancent les travaux de maçonnerie, la partie amovible du châssis, vergettes, feuillards et clavettes, étant quant à elle obligatoirement conjointe à la pose du vitrail. Dans ce cas, il est nécessaire que le dessin du vitrail ait été préalablement connu, déterminant la dimension des ronds et des carrés ainsi que l'écartement entre deux barlotières lors de leur pause.

On ne peut s'empêcher de penser à une commande spéciale quant il s'agit ainsi de fer d'Espagne, contrairement aux éléments de toutes les autres verrières, et il est donc légitime de s'interroger sur la raison qui a poussé la fabrique à s'approvisionner en fer d'Espagne pour cette verrière en particulier. Dans la succession des dépenses pour serrurerie, cette acquisition de pièces en fer d'Espagne se situe juste après la mention de la rupture d'une barre de vitrail qui, d'après le procureur de la fabrique, était de très mauvais fer et a du être reforgé d'un autre fer par le serrurier Richart⁵²². Il est donc envisageable que le receveur de la cathédrale ait par la suite choisi de s'approvisionner en un fer de meilleure qualité, pour s'assurer de la

⁵¹⁹ Largeurs de lancettes classiques comprises entre 60 et 90 cm.

⁵²⁰ Arch. dép. Aube, G 1559, fol. 50 r^o.

⁵²¹ ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, *op. cit.*, p. 144

⁵²² PJ n^o 26, fol. 52 r^o.

résistance des prochains barreaux de vitrail. Le prix de ce fer « d'Espagne » n'excède toutefois pas celui du fer acheté habituellement, et on peut donc également se demander si, au-delà de son origine, ce fer avait dans ce cas une qualité vraiment particulière.

Année	Destination	Élément	Nature du fer	Masse	En kg.
1379-80	Pour la rose avec les basses verrières	21 <i>rodel</i> et 16 <i>quarrez</i>	Fer d'Espagne	351 l.	171,6 kg.
1379-80	Pour les grandes fenêtres sous la rose	26 <i>barriaux</i>	Fer d'Espagne	115 l.	56,2 kg.
1380-81	Pour la rose avec les basses verrières	518 verges, grandes et petites	Non précisé	499,5 l.	244,3 kg.
1380-81	Pour les dites verrières	1000 paillettes	Non précisé		
1380-81	Non précisé	48 grandes verges	Vieilles verges de l'église.	Environ 54 l.	Environ 26,4 kg.
			Total	1019,5 l.	498,5 kg

Tableau 44 : Détail des éléments mis en œuvre pour la rose sud de la cathédrale de Troyes et ses verrières basses entre 1379 et 1381⁵²³.

Tous ces éléments de fer, forgés par le serrurier, sont mis en place par les maçons et leurs aides. Les comptes de la fabrique permettent parfois de suivre le travail de ces ouvriers semaine après semaine. C'est en particulier le cas de deux baies, celle où est imagé saint Denis et celle où est représentée la Résurrection du Christ, pour lesquelles les mentions sont suffisamment détaillées (Tableau 45 et Tableau 46).

Pour la verrière de saint Denis, Jean Thierry, maçon et un ouvrier de bras, Guiot Malprove, travaillent pendant sept jours sur deux semaines consécutives à asseoir les barres de fer. Ils commencent par la partie supérieure, le réseau avec les cercles de fer, où ils oeuvrent pendant deux jours, puis mettent les barreaux dans le remplage les cinq jours suivants, soit un coût de 42 s. t. pour quatorze jours de travail. Les trous pour asseoir les barreaux avaient été faits près de deux mois auparavant. Jean Thierry passe par la suite trois jours avec le verrier pour *asseoir la forme ou est saint Denis*, puis Guiot trois jours également pendant la semaine de la Pentecôte à *garnir de mortier au tour des verrières*⁵²⁴.

Pour la verrière de la Résurrection du Christ, le travail commence également par les parties supérieures du remplage auxquelles Jean Thierry passe trois jours seul pendant la

⁵²³ PJ n° 26, fol. 52 r° ; PJ n° 27.

⁵²⁴ PJ n° 25, fol. 36 v°.

première semaine d'octobre. Les armatures de fer des parties basses ne seront mises que près d'un mois et demi plus tard, au cours de troisième semaine, où Jean Thierry passe également trois jours à l'ouvrage. Il est probable que les mentions ne soient ici pas complètes car on comprendrait mal pourquoi cette verrière aurait été intégralement installée en six jours de travail alors qu'il en a fallu quatorze pour celle de saint Denis. Il est néanmoins très intéressant de noter le délai dans la pose de ces armatures alors que celles de la verrière de saint Denis ont été toutes réalisées dans la foulée.

Ouvrier et qualification	Travail à la forme de saint Denis	Semaine	Nombre de jours	Prix par jour	Total
Jean Thierry, maçon	<i>Faire des troz pour metre les barriaux</i>	Après la Toussaint (semaine après le 1 ^{er} novembre)	Partie de 3 jours	4 s. t.	< 12 s. t.
Jean Thierry, maçon	<i>Asseoir le fer de l'ostiau</i>	De l'Apparition Notre Seigneur (semaine du 25 décembre)	2 jours	4 s. t.	8 s. t.
Guiot Malprove, ouvrier de bras	Idem	Idem	2 jours	2 s. t.	4 s. t.
Jean Thierry	<i>Metre les barriaux en la dicte forme</i>	Après l'Apparition Notre Seigneur (semaine après le 25 décembre)	5 jours	4 s. t.	20 s. t.
Guiot Malprove	Idem	Idem	5 jours	2 s. t.	10 s. t.
		Total	14 jours		< 54 s. t.

Tableau 45 : Travail effectué en 1379 à la cathédrale de Troyes dans la forme où est imaginé saint Denis pour la pose des armatures de fer⁵²⁵.

Ouvrier et qualification	Travail à la forme de la Résurrection Notre Seigneur	Semaine	Nombre de jours	Prix par jour	Total
Jean Thierry, maçon	<i>Asseoir le fer de l'ostiau</i>	1 ^{ère} semaine d'octobre	3 jours	4 s. t.	12 s. t.
Jean Thierry	<i>Metre les barriaux en la dicte forme</i>	3 ^e semaine de novembre	3 jours	4 s. t.	12 s. t.
		Total	6 jours		24 s. t.

Tableau 46 : Travail effectué en 1379 à la cathédrale de Troyes dans la forme où est imaginée la Résurrection Notre Seigneur pour la pose des armatures de fer⁵²⁶.

⁵²⁵ PJ n° 25, fol. 36 r°.

⁵²⁶ PJ n° 26, fol. 50 r°.

II.1.3.4.3 Une vitrerie provisoire dans la nef haute

La nef est en cours de construction au moins depuis le milieu du XIV^e siècle et ne sera achevée qu'à la fin du XV^e siècle. En 1391, les parties basses des trois premières travées sont déjà construites, les collatéraux sont voûtés et certaines baies des chapelles latérales sont déjà vitrées. En revanche, en partie haute, à l'ouest, les piliers s'arrêtent au départ des futures baies du triforium, ceux de l'est ayant quant à eux été reconstruits jusqu'à hauteur des baies hautes après l'effondrement de l'ancienne toiture survenu le jour de Noël 1389⁵²⁷. La toiture, nouvellement reconstruite, et bien que provisoire, est pourvue de baies afin d'éclairer l'église dès l'année suivante. Comme le soulignent S. Murray et D. Minois, le nombre et l'emplacement des fenêtres n'est pas facile à reconstituer à cause d'une certaine confusion dans les textes⁵²⁸. Le dépouillement des archives suggère néanmoins assez clairement le nombre de vingt-six fenêtres, douze du côté nord, douze au sud et deux sur le pignon à l'ouest, en plus d'autres fenêtres du côté sud, qui sont dites être *de maçonnerie*⁵²⁹. Les fenêtres de maçonnerie correspondent à la partie de la nef la plus avancée dans la construction pour laquelle les baies du triforium étaient déjà construites et n'ont pas été endommagées par l'accident de 1389. D'après le détail des armatures, elles sembleraient être au nombre de trois. Cependant, le maître-verrier Guiot Brisetour met cette année-là quatre verrières blanches en forme de pierre⁵³⁰. L'emplacement précis des vingt-six autres baies est plus difficile à reconstituer, notamment pour les vingt-quatre qui sont situées sur les murs gouttereaux⁵³¹. Quelle que soit leur situation, toutes ces baies sont néanmoins situées au sein même de la couverture provisoire de l'édifice et sont vraisemblablement toutes de la même taille⁵³². De plus, elles sont faites de bois et non de maçonnerie, comme en atteste le travail de deux huchiers, payés *pour entailler les colombes de bois des formes ou les verrieres sont assises en la dicte ramee afin de y mettre les barreaux et verges de fer pour mettre et asseoir les dictes*

⁵²⁷ MURRAY (S.), *Building Troyes cathedral...*, *op. cit.*, p. 53. et fig. 25.

⁵²⁸ ID., *Ibid.*, p. 54 ; MINOIS (D.), *Le vitrail à Troyes...*, *op. cit.*, p. 97.

⁵²⁹ S. Murray n'en compte que vingt mais il semble avoir omis une mention, MURRAY (S.), *Building Troyes cathedral...*, *op. cit.*, p. 54.

⁵³⁰ Bibl. nat., ms. lat 9111, fol. 153 v°. On est cependant certain que quatre baies n'étaient pas construites à cette époque du même côté puisque la 4^e travée de la nef n'était pas encore élevée. S. Murray suggère que les deux baies du triforium les plus proches de la pile sud-est du transept étaient déjà construites et n'ont pas été démolies par la chute de la ramée en 1389, MURRAY (S.), *Building Troyes cathedral...*, *op. cit.*, p. 54. Le nombre de quatre verrières, soit deux par baie abonde en son sens. Cependant, le nombre de tirants et de barlotières mis en place dans ces fenêtres en 1391-1392, respectivement trois et six, suggérerait plutôt le nombre de trois baies.

⁵³¹ S. Murray suggérerait la superposition sur deux étages de ces baies, mais il semblait omettre quatre verrières du côté sud et appelait à la plus grande prudence sur son interprétation, ID., *Ibid.*, fig. 25. L'apparente petite taille de ces fenêtres d'après le nombre de pieds de verre achetés peut permettre de supposer que les douze verrières étaient alignées et non superposées.

⁵³² Le décompte des armatures de vitraux décrit *XX fenestres toutes pareilles de haut et large*, PJ n° 34.

*verrières*⁵³³. Comme pour les fenêtres habituelles de maçonnerie, ces fenêtres de bois nécessitent donc bien la présence d'armatures de fer pour y maintenir des verrières. Comme elles sont de dimensions réduites, ne mesurant pas plus de 20 pieds carrés soit environ 2 m², cela engendre une dépense bien moindre en fer, comme en verre, que pour les grandes baies hautes du transept⁵³⁴. La taille des quatre verrières blanches mises dans les fenêtres de maçonnerie n'est pas plus importante⁵³⁵.

Pour les vingt-six fenêtres de bois de cette nouvelle toiture, le fèvre Thomas le Chat forge 538 livres de fer en vergettes et barlotières, auxquelles s'ajoutent les 137 livres des fenêtres de maçonnerie situées au Sud, soit un total de 675 livres de fer (cf. Tableau 47). Le prix est toujours de 25 s. t. le poids de fer, mais la dépense est moindre car le forgeron récupère 875 livres de fer étant en la plomberie⁵³⁶. Le détail des éléments mis en œuvre n'est pas donné sauf pour les fenêtres de maçonnerie du côté sud qui sont notamment pourvues de trois tirants de fer.

Destination	Détail	Masse
20 fenêtres de la ramée neuve, 12 au Nord, 8 au Sud	23 l. par fenêtre	460 l.
Fenêtres de maçonnerie du côté Sud	3 tirants, 6 barlotières, 46 verges	137 l.
6 autres fenêtres d'une <i>moison</i> , 4 du côté sud et 2 au pignon	13 l. par fenêtre	78 l.
Fenêtres de la maçonnerie	250 paillettes	
	Total	675 l.

Tableau 47 : Détail de la dépense en armatures de fer pour les fenêtres de la ramée neuve de la cathédrale de Troyes en 1391-1392⁵³⁷.

Quatre-vingt-dix ans plus tard, alors que les travaux dans la nef ont avancé et que les piliers occidentaux ont été élevés sur toute leur hauteur, une nouvelle toiture provisoire est

⁵³³ Bibl. nat., ms. lat 9111, fol. 154 r°.

⁵³⁴ Guiot Brisetour fait respectivement 8 verrières de 162 pieds puis 18 verrières de 300 pieds pour les fenêtres de la ramée, soit environ 16 à 20 pieds carrés de verre par fenêtre puisqu'il est dit qu'elles sont toutes « de la même taille », Bibl. nat., ms. lat 9111, fol. 153 v°.

⁵³⁵ Pour ces quatre verrières, Guiot Brisetour ne met en œuvre que 66 pieds carrés de verre, Bibl. nat., ms. lat 9111, fol. 153 v°.

⁵³⁶ PJ n° 34.

⁵³⁷ *Ibidem*.

mise en place sur les trois dernières travées de la nef⁵³⁸. Elle est également pourvue de verrières. On compte trente-huit fenêtres dans la nef haute armées de 18 livres de fer chacune et six fenêtres dans la paroi basse totalisant 36 livres de fer (cf. Tableau 48). Ces verrières sont comme les précédentes probablement réalisées dans un cadre de bois, comme en atteste la présence du maître charpentier à la vérification du travail du serrurier⁵³⁹. Elles seront supprimées moins de vingt ans plus tard avec l'installation des baies hautes de la nef et de leurs verrières définitives.

Destination	Détail	Fer	Verre
38 formettes de la nef haute	18 l. par formette	690 l.	490 pieds
Pour les formettes	15 s. t. de paillettes		
6 formettes des parois d'embas		36 l.	72 pieds
	Total	726 l.	562 pieds

Tableau 48 : Détail des dépenses pour les armatures de fer des fenêtres provisoires de la nef en 1482-1483⁵⁴⁰.

II.1.3.4.4 La vitrerie de la Librairie

Les bâtiments annexes de l'église font également l'objet de campagnes de vitrage. C'est le cas de la nouvelle librairie de la cathédrale de Troyes construite dans le prolongement de la quatrième chapelle sud de la nef. Commencée en juin 1478, elle est vitrée dès l'été 1479⁵⁴¹ ; la fabrique achète alors environ 475 kg de fer pour faire des barlotières, vergettes et autres ouvrages pour ses quatorze fenêtres (cf. Tableau 49). Certes moins majestueuses que les grandes baies de la cathédrale gothique, elles requièrent néanmoins une quantité de fer non négligeable : au moins deux barlotières, six verges et 35 kg par fenêtre. Avec environ 31 l. 8 s. 4 d. t. le coût des armatures de verrières représente à lui seul plus de 70 % des dépenses de forge et 7 % des dépenses totales de l'année engagées pour la librairie.

⁵³⁸ S. Murray ne mentionne pas ces travaux et D. Minois parle ici de réparation des anciennes verrières de la toiture de 1391-1392 et non de l'installation de nouvelles verrières sur une nouvelle toiture, MINOIS (D.), *Le vitrail à Troyes...*, *op. cit.*, p. 97. Les archives semblent cependant bien indiquer la construction d'une nouvelle ramée pour couvrir les travées les plus occidentales de la nef, PJ n° 58, fol. 75 r°. L'expression de « nef neuve » ou « ramée neuve » utilisée de manière redondante cette année-là par le procureur ainsi que les importantes dépenses en clous à latte et à ardoise vont également dans le même sens.

⁵³⁹ PJ n° 58, fol. 87 v°.

⁵⁴⁰ PJ n° 58, fol. 87 v° et fol. 88 v°.

⁵⁴¹ ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, *op. cit.*, p. 215.

Ouvrages	Prix
973 l. de fer pour faire les barreaux des fenêtres de la librairie	24 l. 6 s. 6 d. t.
Pour 28 barlotières, 84 verges, paillettes et la ferrure de 3 châssis	6 l. 16 s. t.
Verges de l'ostiau de la librairie	5 s. 10 d. t.
Total des ouvrages de fer pour les verrières de la librairie	31 l. 8 s. 4 d. t.
Total des ouvrages de forge grosse et menue pour la librairie	44 l. 12 s. 8 d. t.
Total des ouvrages de l'année pour la librairie	448 l. 7 s. 11 d. ob.

Tableau 49 : Détail et prix des ouvrages pour la vitrerie de la librairie en 1479-1480⁵⁴².

II.1.3.4.5 Baies basses de la nef

Les baies basses des chapelles orientales étaient déjà vitrées au XIV^e siècle, mais celles des dernières travées ne le sont qu'avec l'achèvement de la nef dans la deuxième moitié du XV^e siècle. Les comptes ne sont pas très détaillés et les achats de fer souvent communs pour plusieurs parties de verrières différentes, comme en 1483-1484 où Perrin L'Avocat fournit *deux^c cinquante cinq livres de fer en barreaux et verges et paillestes pour la verriere du costé des greniers ou sont les fleurs de litz et pour le haut de l'autre devers la rue [ou sont les anges, le crusifiment et l'annunciation]*⁵⁴³. Il s'agit là de la chapelle Saint-Claude, deuxième chapelle au sud en entrant dans l'église (baie 38), aisément reconnaissable à son remplage en forme de fleurs de lys, et de la partie supérieure de la chapelle Hennequin, première chapelle au nord (baie 55), pour laquelle certains vestiges du vitrail d'origine sont encore visibles⁵⁴⁴. Aucun détail n'est donné sur le nombre d'éléments de fer mis en œuvre. Seule la partie centrale de cette *chapelle nouvelle qui est devers le pavement*, donc la chapelle Hennequin, comprend un détail partiel des armatures qui ne sont achetées et posées que l'année suivante (cf. Tableau 50).

Le détail des comptes donne trente barlotières et quatre-vingt-dix vergettes pour une masse d'environ 106 kg, éléments que l'on retrouve à peu près en mêmes quantités en place dans la verrière actuelle. Les comptes ne mentionnent cependant pas la présence des tirants et des clavettes, dont la présence double presque la masse de fer présente dans la fenêtre.

⁵⁴² PJ n° 56.

⁵⁴³ Arch. dép. Aube, G 1568, fol. 155 r°.

⁵⁴⁴ MINOIS (D.), *Le vitrail à Troyes...*, op. cit., p. 55-57.

	Tirants	Barlotières	Verges	Paillettes	Masse de fer	En kg
Comptes		30	80+10		> 217 l.	> 106 kg
Estimations	2	30	80	168		215 kg
Estim. Partielles ⁵⁴⁵		30	80			122 kg

Tableau 50 : Détail des éléments de fer mis dans la verrière de la chapelle nouvelle en 1484-1485 (baie 53, deuxième chapelle nord)⁵⁴⁶.

II.1.3.4.6 Les fenêtres hautes de la nef

Après les fenêtres hautes du transept, celles de la nef représentent la deuxième grande campagne de vitrerie de la cathédrale de Troyes, en partie conservée dans les archives. Mais à la fin du XV^e siècle, les comptes donnent parfois moins de précisions et se contentent de faire la somme des dépenses contenues dans les cédules des serruriers ou autres forgerons, cédules qui ne nous sont le plus souvent pas parvenues.

La vitrerie des fenêtres hautes du chœur commence sur le compte de l'année 1498-1499. Dès 1495, les maçons avaient commencé à *tracer les cleres voyes contre les bancs de la pierre* à la carrière⁵⁴⁷, puis à tailler les pierres pour ces claires-voies l'année suivante⁵⁴⁸, pour enfin appareiller la maçonnerie des dix baies en commençant par le sud, entre 1497 et 1499⁵⁴⁹. Dès l'année 1497, la fabrique se prépare à l'important travail que devra fournir le forgeron. Elle fait tout d'abord construire une forge par deux maçons dans la chaufferie de l'église *pour forger les barreaux qu'il convient pour les formettes*⁵⁵⁰. Elle s'occupe ensuite de l'approvisionnement en fer et en plomb. Il est estimé qu'en chaque verrière, il faut 500 à 600 livres de plomb et 1000 livres de fer, toutes prises dans les garnisons de l'église⁵⁵¹, garnisons que l'on voit régulièrement approvisionnées tous les ans pendant cette période au chapitre « dépenses pour fer et plomb ». Chaque année, la fabrique acquiert donc une certaine quantité de fer auprès de divers marchands, essentiellement Nicolas Berthier et Pierre Paillot, tous deux semblant demeurer à Troyes. Robert Poterat, un autre marchand et le serrurier Pierre Lange fournissent parfois également un complément de fer. C'est en général un valet, parfois

⁵⁴⁵ Sans la masse des tirants ni des clavettes afin de pouvoir comparer les quantités des textes à nos estimations.

⁵⁴⁶ PJ n° 59, fol. 191 v°.

⁵⁴⁷ Arch. dép. Aube, G 1570, fol 39 v°.

⁵⁴⁸ Arch. dép. Aube, G 1570, fol 233 v°.

⁵⁴⁹ Arch. dép. Aube, G 1571, fol 58 r° et fol. 217 r° ; G 1571, fol. 326 v°.

⁵⁵⁰ PJ n° 69, fol. 36 r°.

⁵⁵¹ PJ n° 69, fol. 58 r° ; PJ n° 70, fol. 217 v°.

celui du serrurier lui-même qui est mandé d'aller chercher le fer à l'hôtel des marchands⁵⁵². Le détail de ces dépenses est donné dans le Tableau 51. En cinq ans, la fabrique achète un total de plus de 9200 livres soit environ 4500 kg de fer parmi lesquelles au moins 307 livres sont du fer de Cheingy et 1725 livres du fer du Reclus (cf. Tableau 51 et Figure 164), provenant indifféremment des trois marchands⁵⁵³. L'origine des autres 7200 livres n'est pas mentionnée. Ces 9200 livres représentent environ 920 livres par *formette*, ce qui est très proche des 1000 livres initialement prévues. Le prix à la livre de ces ne varie pas pendant la durée des travaux ; il est fixe, à 25 s. le cent, soit 3 d. t. la livre, à part les premiers achats effectués chez Pierre Paillot qui sont à un prix très légèrement inférieur, de l'ordre de 2,8 d. t. la livre. La dépense totale s'élève à plus de 106 l. t. Ce fer est de toute évidence un fer non ouvré qui se présente le plus souvent sous forme de « bande », c'est-à-dire de barre de fer. Les dimensions de ces bandes sont très certainement variables. A titre indicatif, le manuel de l'année 1500-1501 dit qu'une bande de fer du Reclus achetée cette année-là pèse 36 livres soit environ 15 kg⁵⁵⁴.

C'est semble-t-il le serrurier Pierre Lange qui s'acquitte seul, avec l'aide probable de ses valets, de la tâche de forger les armatures de fer de ces fenêtres pendant les cinq années. Ses parties ne sont que rarement détaillées : c'est seulement sur les comptes de 1500-1501 et 1501-1502 qu'il est spécifié avoir *mys en euvre [...] [du] fer pour les gros ouvrages et verrières*⁵⁵⁵, les mentions précédentes ne faisant qu'état de ses ouvrages *escripts et declarez en une feuille de papier*⁵⁵⁶. Il est payé 34 s. 4 d. t. pour cent livres de fer ouvrées, soit 4 d. t. par livre, ce qui donne un prix total de 7 d. t. pour livre de fer ouvrée avec environ 40 % pour la matière et 60 % pour la façon. Son travail pour les vitraux s'élève pour ces deux dernières années à environ 3200 livres de fer ouvrées pour une somme de 52 l. 19 s. 8 d. t.

Parallèlement à cet approvisionnement en fer, la fabrique achète également au moins 4200 livres de plomb, toujours auprès des mêmes marchands, provenant de Liège, d'Angleterre ou encore de Saint-Lyéart⁵⁵⁷. Ces 4200 livres correspondent environ à 420

⁵⁵² PJ n° 69, fol. 58 v°-59 r° ; PJ n° 72.

⁵⁵³ Cheingy correspond probablement à la forge de Chenegy située dans la forêt d'Othe. Le Reclus semble faire référence à l'abbaye cistercienne du Reclus située dans la Marne. La question de l'origine du fer pour l'approvisionnement du chantier de la cathédrale sera discutée ultérieurement dans la partie correspondante.

⁵⁵⁴ PJ n° 71.

⁵⁵⁵ Arch. dép. Aube, G 1571, fol. 447 v°-448 r° ; G 1573, fol. 52 r°.

⁵⁵⁶ Arch. dép. Aube, G 1571, fol. 64 r° et fol. 223 v°.

⁵⁵⁷ Une différence de qualité est par ailleurs notée entre les différents plombs. Celui de Saint Lyéart *est trop rude et n'est pas si propre à plomber* selon les dires du procureur, et la fabrique achète du plomb de Liège pour le remplacer. Le premier coûte 25 l. t. le millier, contre 28 l. t. pour le plomb de Liège et 27 l. t. pour celui d'Angleterre, Arch. dép. Aube, G 1571, fol. 65 v°, fol. 70 r° et fol. 226 v°.

livres par formette, proches des 500 à 600 livres initialement estimées par le procureur. Il est cependant fort probable que la fabrique ait eu davantage de plomb en garnison que celui mentionné dans ces achats.

Année	Fenêtres	Nature du fer	Masse de fer	Prix
1497-98	Verrières du côté Sud	Pour les barreaux et les menues verges de fer	2053 l.	25 l. 13 s. 4 d. t.
1497-98	Verrières du côté Sud	Pour les verges des remplages et les goujons de la muraille	100 l.	23 s. 4 d. t.
1497-98	Verrières du côté Sud	Pour des verges	150 l.	35 s. t.
1498-99			198 l.	49 s. 6 d. t.
1498-99		Fer de Cheingy	307 l.	76 s. 9 d. t.
1498-99	Pour les verrières	26 grandes bandes de fer	1157 l.	14 l. 9 s. 3 d. t.
1498-99	Pour les verrières	12 grandes bandes de fer	544 l.	6 l. 16 s. t.
1498-99	Pour les verrières	Menues verges	200 l.	50 s. t.
1498-99		Fer du reclus	1200 l.	15 l. t.
1500-01	Fin du carré de la verrière de Thobie (baie 229)	30 barreaux et 84 verges	276 l.	
1500-01	Pour les verrières		200 l.	
1500-01	Verrière que Jean Verrat fait		514 l.	
1500-01		Fer du reclus en bandes.	248 l.	
1501-02	Verrière de la Perricarde (baie 235)	Fer du reclus	513 l.	6 l. 8 s. 3 d. t.
1501-02	Bas de la Perricarde, carré et bas de St Sébastien (baie 233) et bas de Thobie		700 l.	8 l. 15 s. t.
1501-02	Bas de St Sébastien		148 l.	37 s. t.
1501-02	Remplage de la verrière de M. de Metz (baie 227)		98 l.	M. de Metz le paie
1501-02	Châssis de la verrière de M. de Metz		514 l.	M. de Metz le paie
1501-02	Bas de la verrière de M. de Metz		106 l.	M. de Metz le paie
Total			9226 l.	106 l. 4 s. 5 d. t.

Tableau 51 : Fer acheté par la fabrique pour faire les armatures de vitraux des baies hautes de la nef de la cathédrale de Troyes⁵⁵⁸.

⁵⁵⁸ PJ n° 69, fol. 65 v° ; PJ n° 70, fol. 226 r° et fol. 226 r°-v° ; PJ n° 71 ; PJ n° 72.

Rappelons que mille livres de fer ont été utilisées dans chaque formette *pour les quatre gros barreaux goujons et crampons servants à la maçonnerie comme pour les petit barreaux locquettez verges servans aux verrières*⁵⁵⁹. La dichotomie faite par le procureur entre les éléments qui servent à tenir la maçonnerie, à savoir les barlotières-tirants, les goujons et les crampons, et les éléments qui servent à tenir le vitrail, à savoir les simples barlotières et les vergettes, caractérise bien la fonction première de chaque type de fer. Il a déjà été évoqué que les tirants sont le plus souvent pourvus de tenons, ce qui leur donne également un rôle dans le maintien des verrières, mais leur fonction originelle est de porter soutien à la structure de pierre. A l'inverse, les barlotières ne semblent jouer aucun rôle dans la statique de la fenêtre : leur unique fonction est de permettre la pose des vitraux. De même, on apprend que la maçonnerie de ces fenêtres comporte des goujons et des crampons, bien qu'on en ignore les quantités, éléments enfouis dans la maçonnerie et impossibles à mettre en évidence à l'aide d'un détecteur de métal du fait de la proximité immédiate des plombs du vitrail. Ces éléments n'ont donc pas pu rentrer en compte dans nos calculs et estimations.

Si les comptes sont assez précis quant aux quantités de fer achetées et ouvrées, ils le sont moins quant à la nature et au nombre des éléments forgés par le serrurier. La seule certitude ici est que quatre gros barreaux sont mis en œuvre dans chaque formette. A l'heure actuelle, on ne compte que deux barlotières-tirants par baie haute de la nef, et une pour la verrière du triforium, dont la continuité a été vérifiée par conductivité électrique. Même en incluant le vitrail du triforium dans l'ensemble constitué par la « grande formette », une grosse barre semble faire défaut. La seule explication plausible quant à la localisation de cette quatrième barre est qu'elle se trouve non pas dans un vitrail, mais dans l'arcature qui constitue l'avant-baie du triforium⁵⁶⁰.

A part pour ces grosses barres, il est extrêmement difficile de faire des comparaisons entre les armatures des vitraux actuels et les données des archives. On ne peut se fixer que sur les quantités totales mises en œuvre, qui semblent correspondre, avec environ mille livres de fer mises en œuvre dans chaque ensemble constitué par une baie haute et sa verrière basse du triforium (cf. Tableau 52). Les 9057 livres qu'elles représentent sont très proches des 9226 livres achetées par la fabrique, avec un total de 850 à 950 livres par formette, quantité à mettre en relation avec les mille livres estimées par le procureur.

⁵⁵⁹ PJ n° 69, fol. 58 r°.

⁵⁶⁰ Plus de détails seront données sur ces barres au chapitre sur les prospections effectuées dans le triforium.

	Sud 2	Sud 3	Sud 4	Sud 5	Sud 6	Nord 2	Nord 3	Nord 4	Nord 5	Nord 6
Baie haute (kg)	343	350	348	333	310	338	349	355	349	328
Triforium (kg)	100	106	106	106	100	100	106	106	106	91
Total (kg)	443	456	454	438	410	438	454	461	454	419
Total (livres)	906	933	928	896	839	897	929	942	929	857
Somme totale 4429 kg, soit 9057 livres.										

Tableau 52 : Estimation de la quantité de fer mise en œuvre dans les baies hautes de la nef.

Les seules verrières pour lesquelles on trouve un détail partiel et exploitable des armatures de fer sont la verrière de Thobie (baie 229, 5^e fenêtre haute au nord) et celle de M. de Metz (baie 227, 6^e fenêtre haute au nord) (cf. Figure 163).

Une quittance conservée dans le manuel de la fabrique de l'année nous apprend que pour le *parachevement du carre de la verriere de Thobye y a en chacune jour V barreaux et XIII verges pesant ensemble XLVI l. fer et ainssin en fauldra en chacun des aultres V jours pareille partie*⁵⁶¹. Le terme de *jour* désigne ici chacune des six lancettes dont est composée la baie. Actuellement on compte vingt vergettes et huit barlotières par lancette. Le *parachevement du carre* de la verrière ne désigne très probablement qu'une fraction de sa partie centrale et non à la totalité de chaque lancette. Notons néanmoins que la masse totale des éléments de fer cités dans cette mention est rigoureusement identique à nos estimations pour le même nombre d'éléments (cf. Tableau 53).

	Tirants	Barlotières	Verges	Paillettes	Masse de fer	Masse (kg)
Par jour (lancette)		5	14		42 l.	20,5 kg
Pour 6 lancettes		30	84		276 l.	135 kg
Estimation globale	2	52	130	384	-	348 kg
Estim. (une lancette)		8	20		-	-
Estim. partielle ⁵⁶²		30	84		-	136 kg

Tableau 53 : Détail des éléments de fer mis dans la verrière de Thobie en 1500-1501 (baie 229, Nord 5). Comparaison entre les données des comptes de la fabrique et nos estimations⁵⁶³.

⁵⁶¹ PJ n° 71.

⁵⁶² Pour 30 barlotières et 84 vergettes afin d'être directement comparable aux données textuelles.

⁵⁶³ PJ n° 71.

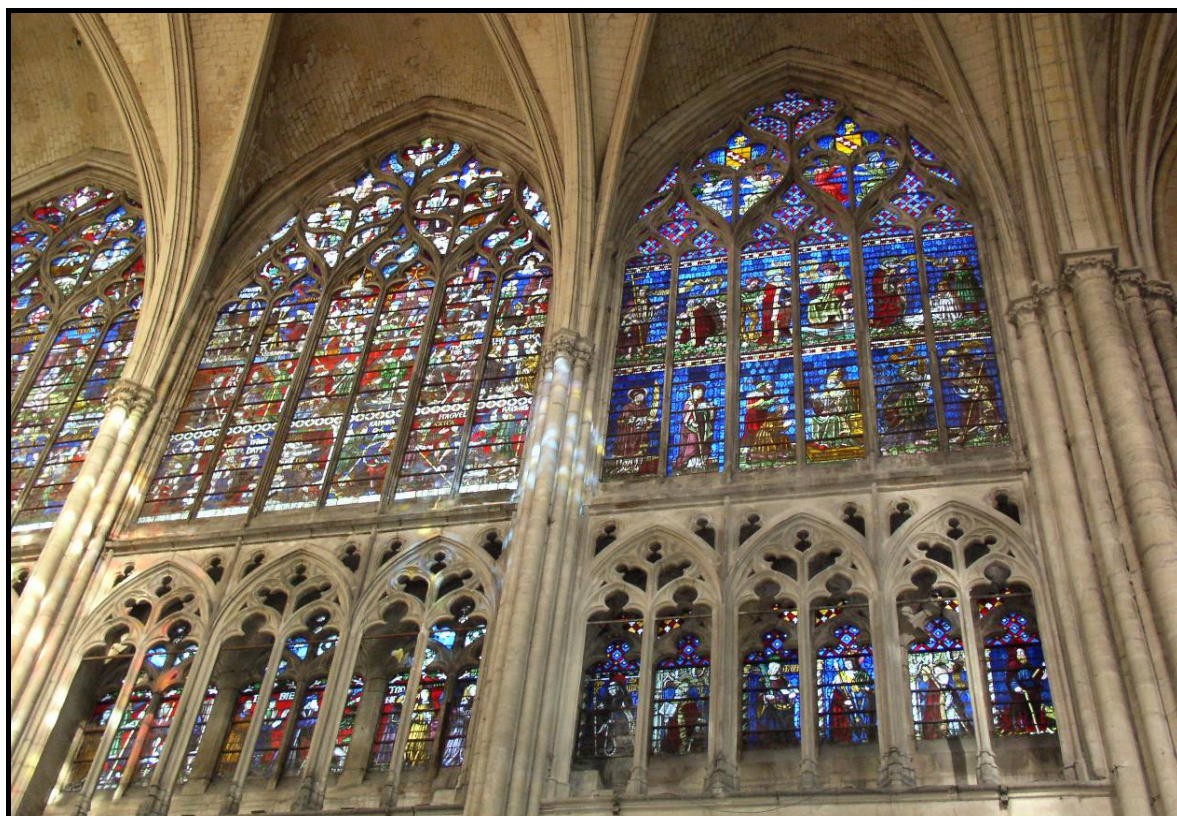


Figure 163 : Baies hautes de la nef : verrières de M. de Metz (baie 227 à droite) et de Thobie (baie 229 à gauche).

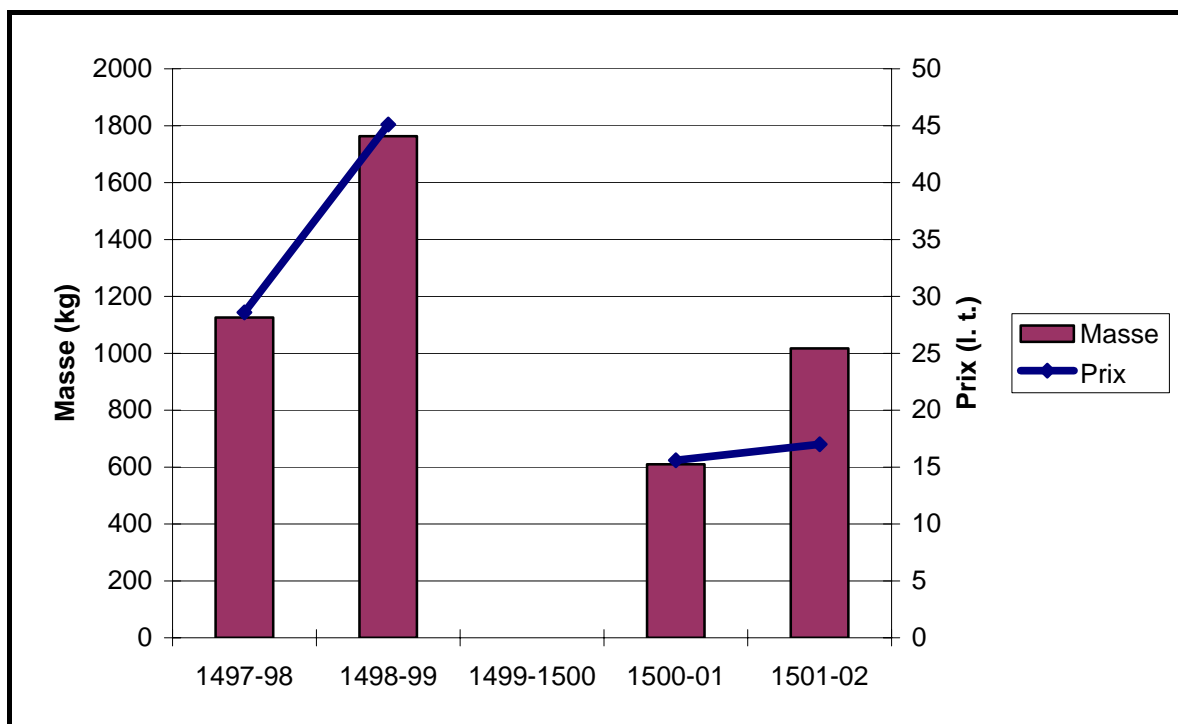


Figure 164 : Masse de fer achetée et coût de la dépense pour les vitrerie des fenêtres haute de la nef de la cathédrale de Troyes entre 1497 et 1502.

Pour la verrière de M. de Metz, on ne dispose que d'un détail en poids pour les différentes parties du vitrail. Celui-ci semble découpée en trois zones : le remplage, le châssis et le bas, pour lesquelles des quantités différentes sont employées (cf. Tableau 54). Si d'après D. Minois, le « bas » de la fenêtre correspond à la baie du triforium située à l'étage inférieur plutôt qu'à la partie basse du remplage de la baie haute⁵⁶⁴, sémantiquement « remplage » et « châssis » sont des termes plutôt vagues, pouvant désigner l'ensemble de la fenêtre. Au vu des quantités mises en œuvre, le remplage semble ici davantage désigner le « haut » de la verrière et le châssis la partie basse, parfois également dénommée « carré ». Mais ce détail est-il complet ? Ne manque-t-il pas la masse des grosses barres ou des tirants ? La comparaison avec nos estimations n'apporte que peu de réponse à ces interrogations. Les 350 kg mis en œuvre dans la verrière de M. de Metz en 1502 dépassent d'environ 20 kg la masse des armatures présentes aujourd'hui dans la même verrière. En revanche, il en manque 70, si le « bas » de la verrière désigne effectivement la baie du triforium. Ces 70 kg pourraient bien correspondre à la masse d'une partie des tirants, chaque tirant pesant environ 30 à 35 kg.

Localisation	Masse (livres)	Masse (kg)	Localisation	Masse (kg)
Remplage	98 l.	47,9 kg		
Châssis	514 l.	251,3 kg	Estimation baie haute	328 kg
Bas	106 l.	51,8 kg	Estimation baie du triforium	92 kg
Total	718 l.	351 kg	Estimation totale	420 kg

Tableau 54 : Détail des éléments mis dans la verrière de M. de Metz en 1502 (baie 227, Nord 6). Comparaison entre les données des comptes de la fabrique et nos estimations⁵⁶⁵.

La deuxième verrière du côté Nord (baie 235), connue sous le nom de « verrière de la Perricarde », d'après le patronyme du mari de sa donatrice, Jean Perricard, fait l'objet d'une réfection étonnante moins de dix ans après sa pose. Le serrurier Jean Clément est payé 10 sous pour *retirer et allongir tous les barreaux grans et menuz avec les verges de l'un des jours de la verrière que a fait faire la Perricarde joignant du gros clochier, pour ce que la maçonnerie avoir prins ung petit defaix*⁵⁶⁶. La structure, dernière verrière du côté occidental, et probablement mal contrebutée vers l'ouest a certainement bougé, entraînant un écartement

⁵⁶⁴ MINOIS (D.), *Le vitrail à Troyes...*, op. cit., p. 64.

⁵⁶⁵ PJ n° 72.

⁵⁶⁶ Arch. dép. Aube, G 1579, fol. 106 r°.

de la dernière lancette qui a conduit la fabrique à allonger les différents éléments de cette dernière. Si la dépose des barlotières et des verges ainsi que leur allongement peut paraître chose aisée pour les ouvriers et le forgeron, ces éléments de faible section n'étant ancrés dans la maçonnerie que peu profondément, la dépose et l'allongement des grands barreaux devient plus problématique et aurait certainement entraîné un coût bien supérieur à la demi livre tournoi. De plus, ceux-ci étant profondément ancrés dans les piédroits, ils n'avaient probablement pas besoin d'être agrandis. Les *barreaux grans et menuz* sont donc vraisemblablement un abus de langage du procureur, toutes les barlotières mesurant nécessairement la même longueur au sein d'une même lancette.

II.1.3.4.7 *Modification des baies du transept.*

Au cours du XVI^e siècle, les baies hautes du transept oriental, dont la vitrerie a été évoquée précédemment, sont complètement modifiées. Non seulement le vitrail et le châssis de fer sont changés, mais c'est aussi tout le remplage rayonnant de ces fenêtres aux larges lancettes qui est *refait tout à neuf* et transformé dans un style flamboyant, *selon les trectz des formettes [...] darrenierement faictes en la nef de ceste eglise*⁵⁶⁷. La rénovation concerne aussi bien les *formettes* d'en haut que le bas de ces mêmes *formettes*, c'est-à-dire les baies du triforium, toutes refaites selon le même dessin, avec des lancettes géminées en arc brisé surmontées d'un oculus qui sont venues remplacer les lancettes géminées surmontées de quadrilobes que l'on voit encore dans le transept ouest. Les travaux commencent en 1504 et la fabrique entreprend conjointement la rénovation des trois *formettes* du côté nord et des trois du sud. La même année, le serrurier Pierre Lange reçoit 1285 livres de fer du Reclus sous forme de trente bandes, achetées à un marchand, afin de forger dix-huit barreaux de fer et des goujons pour les six fenêtres⁵⁶⁸. Le travail nécessite donc plusieurs découpes et soudures afin de faire les barreaux et la perte est importante puisqu'une fois le travail fini, barreaux et goujons ne pèsent plus que 1159 livres. Les 126 livres de « déchet et rougneur » sont ôtées du salaire du serrurier.

Si les goujons servent certainement à relier entre eux les éléments de pierre des remplages : réseaux et meneaux, le terme barreau est quant à lui plutôt vague. Tirant, simple barlotière ? Une estimation du poids de ces barreaux a été réalisée afin de comprendre leur

⁵⁶⁷ Arch. dép. Aube, G 1575, fol. 14 v^o-15 r^o.

⁵⁶⁸ PJ n^o 73.

nature (cf. Tableau 55). Il s'agit donc de gros barreaux dont le poids unitaire avoisine les 25 kg. Ces grosses barres sont à rapprocher des barlotières-tirants que l'on voit encore actuellement dans ces fenêtres hautes. Au nombre de trois par fenêtre, on en compte également dix-huit, pour une masse totale d'environ 530 kg, qui est du même ordre que les 479 kg estimés pour les barreaux forgés par Pierre Lange. Selon toute vraisemblance il s'agit donc bien de la mention d'achat de ces barlotières-tirants, faites en fer du Reclus. Les cinq tirants en place dans les cinq baies du triforium ne semblent donc pas mentionnés⁵⁶⁹.

Éléments de fer	Masse (l.)	Masse (kg)
18 barreaux de fer et les goujons	1159 l.	567 kg
Estimation pour 30 goujons par fenêtre à 1 l. pièce	180 l.	88 kg
18 barreaux de fer	979 l.	479 kg
1 barreau (poids moyen)	54 l.	26,5 kg
Estimation pour les 18 tirants actuels des baies hautes		530 kg

Tableau 55 : Estimation de la masse des barreaux mis en œuvre dans les baies orientales du transept en 1504-1505 et comparaison avec les barlotières-tirants actuellement en place⁵⁷⁰.

Après les ouvrages de maçonnerie, l'année 1505-1506 fait place à la vitrerie avec la dépense de 403 livres de fer pour les barlotières et les vergettes de la première des trois fenêtres du côté septentrional, celle qui est adossée à la pile de la croisée (cf. Tableau 56). Les trois quarts du fer sont issus de la récupération des anciennes verrières. Cette verrière est pourvue de 402,5 pieds de verre par les maîtres-verriers troyens Jean Verrat et Balthazar Godon pour la somme de 120 l. t., verre, plomb et patron compris.

Origine	Matière première	Après forge	Masse	Prix
Pierre Corrad, marchand	4 bandes de fer	Petites verges	103 l.	25 s. 9 d. + 33 s. 4 d.
Des anciennes verrières	Petits barreaux et verges	Petits barreaux et verges	300 l.	75 s. t.
		Total	403 l.	6 l. 14 s. 1 d. t.

Tableau 56 : Dépense de fer pour la 1^{ère} verrière sur l'autel saint Antoine (transept nord, baie 215).

⁵⁶⁹ La travée la plus au nord du transept ne comporte pas de baie au niveau du triforium.

⁵⁷⁰ PJ n° 73, fol. 22 v°-23 r°.

Les deux autres fenêtres du croisillon nord ne sont vitrées ultérieurement que de verre blanc et, contrairement à ces trois verrières qui ont été payées par la fabrique, les trois baies situées du côté méridional ont fait l'objet de dons⁵⁷¹. Les barlotières et les vergettes, armatures de fer ne servant pas à la maçonnerie, ont donc été comptées dans le coût du vitrail et payées par leur donateur. Ces vitraux n'apparaissent donc logiquement pas dans les comptes, ni en verrerie, ni en serrurerie, comme ce fut le cas pour la verrière offerte par M. de Metz dans la nef, dont la mention avait été écrite dans le registre par erreur et avait été rayée par la suite par le procureur⁵⁷². Seule est disponible celle de la verrière la plus au Nord, accolée au Beau Portail, vitrée de 238,5 pieds de verre blanc et de 144,75 de bordure par le maître-verrier Jean Soudain pour près de 48 l. t.⁵⁷³ Le serrurier Nicolas Petit livre 298,5 livres de fer en *barreaux, loquetz et verges* au prix de 15 s. t. la livre⁵⁷⁴. Pour minimiser les dépenses la fabrique lui revend 152 livres de fer de *barreaux rompuz* et 243 livres d'autre *vieille ferraille*⁵⁷⁵.

En estimant à environ 80 kg la masse des trois tirants, on a donc un total respectif d'environ 277 et 226 kg de fer dans ces deux fenêtres, masses qui sont du même ordre de grandeur que les 252 et 231 kg qui ont été estimés d'après les armatures encore présentes en place⁵⁷⁶.

II.1.3.4.8 *La rose occidentale*

Le dernier vitrail d'importance réalisé pour la cathédrale de Troyes est celui de la rose occidentale vitrée par Jean Soudain en 1547⁵⁷⁷. Cette rose contient 552,5 pieds de verre payés plus de 207 l. t. et 674,5 livres de fer toujours forgées par Nicolas Petit à 14 d. t. la livre. Il réalise également *deux chassis de fer oudit aulteau fournyz de leurs cathenas, gonds et clefz* à 55 s. la pièce⁵⁷⁸. Le fer ne semble pas ici provenir de la récupération de vieux fer des anciennes verrières de l'église.

⁵⁷¹ *Corpus Vitrearum. Les vitraux de Champagne-Ardenne...op. cit.*, p. 230.

⁵⁷² PJ n° 72.

⁵⁷³ Arch. dép. Aube, G 1597, fol. 346 v°.

⁵⁷⁴ Arch. dép. Aube, G 1597, fol. 350 r°-v° ; MINOIS (D.), *Le vitrail à Troyes...*, *op. cit.*, p. 385.

⁵⁷⁵ *Ibidem*.

⁵⁷⁶ Ces valeurs ne comptent pas la dimension des ancrages (environ 10 % du total) mais comprennent les clavettes qui ne semblent pas être mentionnées dans le détail des comptes.

⁵⁷⁷ Arch. dép. Aube, G 1599, fol. 185 v°.

⁵⁷⁸ Arch. dép. Aube, G 1599, fol. 187 r° et 341 r°. « L'aulteau » désigne le « petit O », c'est-à-dire la rose.

II.1.3.5 Synthèse sur les vitraux

L'exceptionnelle conservation des vitraux et des registres de comptes de la cathédrale a permis une analyse assez détaillée des armatures de fer des vitraux, notamment pour l'ensemble des baies hautes du transept et de la nef. L'étude conjointe des armatures en place et des mentions comptables permet tout d'abord de valider les estimations quant aux quantités de fer employées pour tenir ces vitraux dans un grand nombre de baies du transept et de la nef. Les archives mentionnent également d'autres éléments, invisibles en détection, en particulier des goujons, présents en grandes quantités dans les réseaux des roses, mais également dans le remplage de chacune des baies. En terme de quantités, ces éléments viendraient alors s'ajouter aux 25 tonnes de fer estimées pour l'ensemble des vitraux. Ces 25 tonnes ne représentent toutefois que l'état actuel des vitraux, certes très proche de celui du milieu du XVI^e siècle, alors que les principaux travaux aux baies et vitraux de l'édifice sont achevés. Les comptes donnent en revanche la vision d'une cathédrale « vivante », en cours de construction avec des structures provisoires ayant parfois duré plusieurs siècles, constamment en cours de réparations. Les vitraux sont au premier chef de cet aspect désormais inaccessible autrement que par les archives médiévales. On y apprend l'existence de verrières dans des cadres en bois provisoires au XV^e siècle, dont l'origine remonte probablement à deux siècles. De même est avérée l'existence de fenêtres provisoires percées dans les parois hautes encore inachevées de la nef de l'édifice, parfois maçonnées et parfois en bois. A cela s'ajoutent les multiples réparations, restaurations nécessitant l'allongement ou le remplacement des armatures. Cette vision de la cathédrale en chantier établit donc ce chiffre avancé de 25 tonnes comme un minimum correspondant davantage à une vision actuelle et figée.

L'histoire de la cathédrale montre évidemment que ces « 25 tonnes de fer » se répartissent en plusieurs campagnes de construction, nécessitant donc un approvisionnement en fer important à certains moments clefs de son élévation, notamment entre 1375 et 1380 pour la vitrerie haute du transept et entre 1498 et 1502 pour celle de la nef haute. Si ces périodes correspondent à une forte hausse dans les dépenses pour forge et une augmentation encore plus importante dans les dépenses totales engagées par la fabrique, notamment à cause de l'achat simultané du verre et le salaire du maître-verrier, les comptes semblent cependant montrer que l'approvisionnement en fer et le travail de forge nécessaire pour le mettre en forme ne nécessitent pas d'importantes contraintes logistiques. En effet, les services d'un seul

serrurier urbain et de son atelier semblent largement suffisants pour subvenir aux besoins du chantier, même en ces périodes de forte consommation. De plus, le prix de ces armatures de fer ne diffère que très rarement de celui des autres éléments achetés à la même époque. La seule particularité est la mention de l'installation d'une forge dans la chaufferie de la cathédrale pour la campagne de vitrerie des années 1498-1502, montrant la nécessité de la présence du forgeron sur le chantier au moins de manière périodique pendant ces travaux. Les équipements disponibles dans cette forge n'étaient probablement pas exceptionnels, sa localisation lui interdisant tout caractère hydraulique.

II.1.4 Chaînages découverts dans la structure de la cathédrale de Troyes

De nombreux chaînages et cerclages de fer ont été découverts en prospection dans la cathédrale de Troyes. D'autres sont mentionnés dans les comptes de la fabrique ou dans les ouvrages consacrés à la cathédrale. Leur identification sur place a souvent été très difficile voire impossible. La mise en parallèle de ces différents chaînages permet de mieux appréhender les liens qui les unissent.

II.1.4.1 Dans le transept nord

II.1.4.1.1 Deux chaînages au plafond du triforium

Dans le croisillon nord du triforium, au plafond de la galerie de circulation intérieure, se trouve un chaînage, à l'est comme à l'ouest (cf. Figure 165). A l'est, il est associé à un cerclage de fer qui se trouve dans la tourelle d'escalier taillée dans le contrefort. A l'ouest, l'absence de tourelle d'escalier n'a pas permis d'observer la manière dont il se rattache à la maçonnerie. Les éléments de ces chaînages sont situés en hauteur et difficiles d'accès, sauf au niveau du cerclage de la tourelle d'escalier où nous avons concentré nos recherches.

Le cerclage se compose de deux éléments courbes de section carrée longeant la maçonnerie de la cage d'escalier et presque entièrement engravés dans la pierre. Ils sont liés entre eux par un assemblage en trait de Jupiter renforcé par deux bagues de forme rectangulaire (cf. Figure 165). Chaque élément mesure environ 280 cm et le diamètre total du cerclage est d'environ 5 m. Le chaînage se rattache au cerclage par l'extrémité en Y de sa barre la plus septentrionale. Entre les deux branches du Y, chacune terminée par un œil, vient s'insérer le cerclage lui aussi pourvu d'un œil à cet endroit. Une ancre verticale de 105 cm de long environ et de 6 cm x 6 cm de section vient alors bloquer le système. Les barres qui composent le chaînage mesurent quant à elles environ 3,5 m de long, pour une section carrée de 6 cm x 6 cm⁵⁷⁹. Il s'agit donc de très grosses pièces pesant environ 100 kg chacune. Elles étaient très certainement au nombre de quatre par chaînage, mais plusieurs d'entre elles

⁵⁷⁹ Section mesurée à l'extrémité de la première chaîne à l'endroit où elle rejoint le cerclage.

manquent désormais du côté est. On aperçoit seulement l'œil de l'extrémité d'un ancrage situé dans une engravure au dos de la pile nord-est de la croisée du transept (cf. Figure 165). Du fait de l'absence de tension générée par la disparition d'un des éléments du chaînage, l'ancre verticale qui bloquait l'ensemble a glissé, entraînée par son poids, pour finalement sortir de son logement. Un petit coin en fer a été inséré dans la partie supérieure de l'assemblage pour enrayer sa chute. Du côté ouest, les trois barres sont encore en place et on peut observer leur système d'assemblage vu de dessous. Il semble que ce soit un assemblage en trait de Jupiter renforcé par deux bagues rectangulaires comme pour le cerclage situé dans la tourelle d'escalier (cf. Figure 165). Cet assemblage est de plus mis en tension par une clavette insérée dans l'espace aménagé entre les deux barres. Les logements dans lesquels passent cerclage et tirants sont de beaucoup plus grandes dimensions que les éléments de fer eux-mêmes. Le logement du cerclage est quant à lui comblé au plâtre ; aucune trace de plomb n'a été retrouvée.

Plusieurs questions se posent pour ces deux chaînages : celle de son rôle et celle de la période de son installation.

Il est tout d'abord certain que ces chaînages ont été rajoutés après la construction du triforium, qui date quant à lui de la deuxième moitié du XIII^e siècle ou du début du XIV^e siècle : en attestent la dimension des logements pratiqués dans les pierres afin de pouvoir les y insérer. La très forte section de ces barres, mais surtout leur mode d'assemblage, avec ce système en trait de Jupiter renforcé par des bagues, plaident pour une mise en place tardive, à la fin de la période moderne ou à l'époque contemporaine. Un prélèvement pour analyses métallographiques a été réalisé à l'extrémité inférieure de l'ancre verticale qui arrête le chaînage dans la tourelle d'escalier nord-est, afin de vérifier la postériorité du système en menant la discrimination des procédés de réduction. La section du spécimen prélevé, analysée sous la référence TROY 15a présente une structure presque totalement ferritique avec quelques petites zones ferrito-perlitiques où la ferrite prend une forme aciculaire. Le pourcentage de carbone ne dépasse toutefois pas 0,3 %_{mass}. La section présente également de très nombreuses inclusions allongées dans le sens de la longueur de l'ancre et plutôt épaisses (cf. Figure 166). L'indice moyen de propreté inclusionnaire estimé est de 3,7*, ce qui est plutôt mauvais. Ces inclusions, très riches en phosphore et en oxydes de fer, sont très pauvres dans tous les autres éléments, ce qui rend la détermination de la constance des composés non réduits plutôt difficile. La composition de ses inclusions est toutefois caractéristique de la filière indirecte, ce qui va bien dans le même sens que les hypothèses précédemment exposées quant à l'origine de ce cerclage (cf. Figure 167).

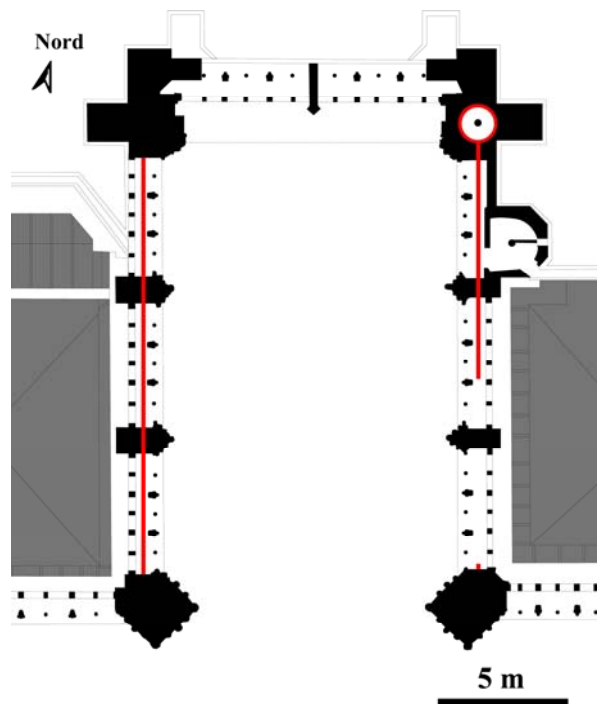


Figure 165 : Cerclage et chaînage au plafond du triforium du transept nord de la cathédrale de Troyes. En haut à gauche, localisation. En haut à droite, partie du chaînage avec vue de l'assemblage entre deux chaînons côté ouest. En dessous, partie terminale du chaînage dans la pile nord-est de la croisée. En bas à gauche, assemblage entre le cerclage et le chaînage dans l'escalier du contrefort nord-est. En bas à droite, assemblage du cerclage.

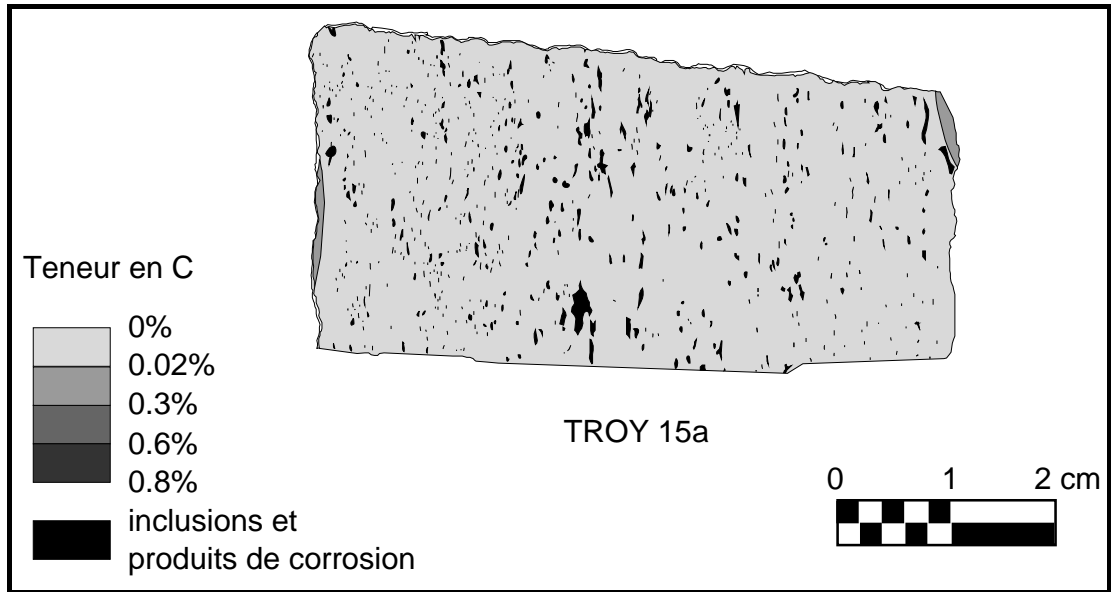


Figure 166 : Structure métallographique de la section TROY 15a.

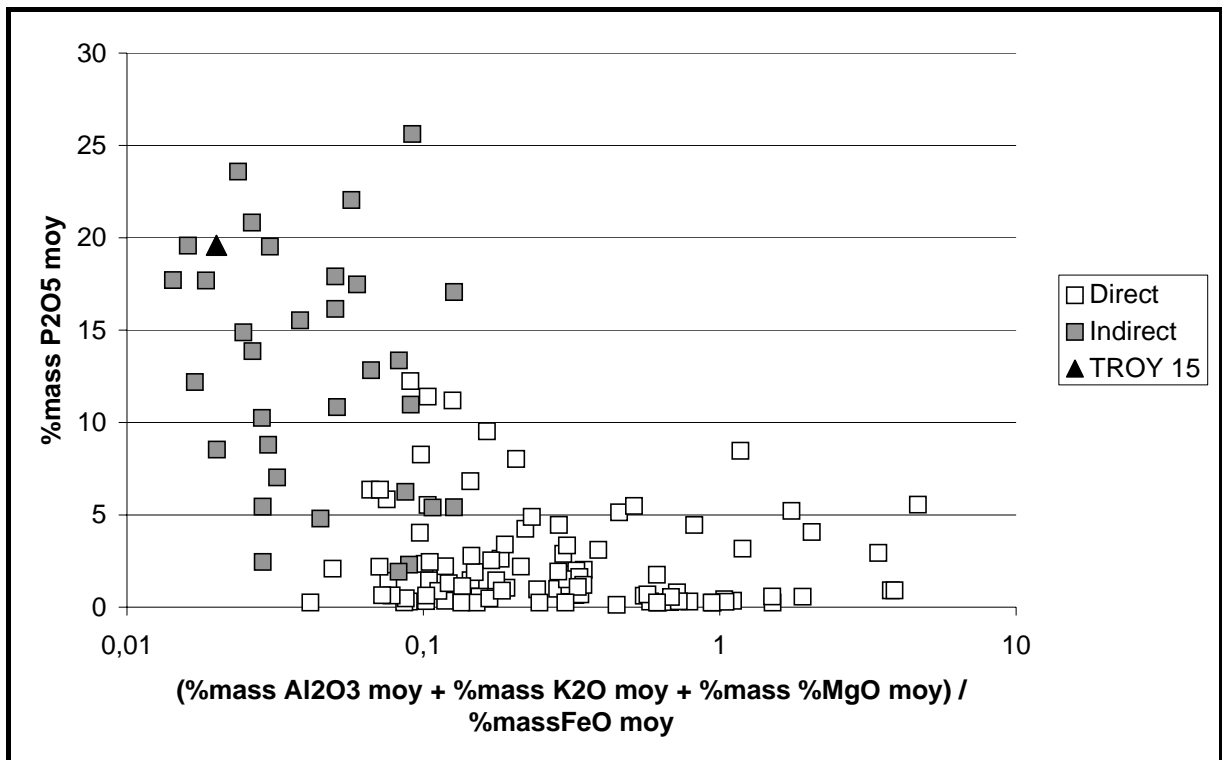


Figure 167 : Discrimination des procédés de réduction pour l'ancrage TROY 15.

Au niveau architectural, ces chaînages relient les contreforts du portail nord aux piles de la croisée. Selon un rapport illustré de E. Millet datant de 1849, ce chaînage, posé pour arrêter le déversement du pignon du transept nord, est « d'un effet tout à fait nul, puisque le tirage de cette chaîne se fait sur un cercle en fer placé à l'intérieur de l'escalier et scellé seulement dans ses parois »⁵⁸⁰. Il ne fait cependant aucune allusion à l'origine de ce chaînage et sa réflexion à son sujet s'arrête là. Aucune autre mention explicite de ce chaînage n'a été retrouvée dans la littérature ni dans les comptes de la fabrique.

II.1.4.1.2 Cerclage haut du contrefort nord-est

Au sommet de la même tourelle d'escalier, un autre cerclage a été découvert (cf. Figure 168). Complètement engravé dans la pierre entre deux assises et recouvert d'un béton gris, ses dimensions n'ont pas pu être appréhendées. Les endroits où le béton manque laissent apparaître un scellement antérieur au plomb. Et les quelques parties qui affleurent montrent qu'il est composé de plusieurs éléments assemblés au moyen d'ancres verticales passant probablement dans des extrémités en forme d'yeux. Sur une moitié du cercle, un assemblage de ce type est visible, et si aucune marque du chaînage n'apparaît dans la deuxième moitié, sa continuité a bien été vérifiée à l'aide du détecteur de métal. Sur la paroi ouest, on trouve une autre ancre verticale (cf. Figure 168). Egaleme nt scellée au plomb, elle semble passer dans un œil dont on voit seulement le bout et qui ressemble à l'extrémité d'une barre de chaînage. Seule la partie inférieure de cette ancre, située en dessous de l'œil est visible. Elle mesure une cinquantaine de centimètres, ainsi, son extrémité inférieure arrive légèrement en dessous du niveau de l'assise où passe le cerclage. La continuité électrique entre cette ancre et le cerclage a donc été étudiée à l'aide d'un ohmmètre. La résistance mesurée était de l'ordre de 1500 ohms : il y a par conséquent une légère continuité électrique, mais il ne semble pas y avoir de liaison directe entre ces éléments, sinon la résistance aurait été nulle. Il s'agit donc soit de la résistance d'une fine pellicule de corrosion, ou alors la résistance de la pierre humide située entre les différents fers. L'unique certitude est que si ces éléments sont reliés l'un à l'autre, ils ne sont plus en tension.

La maçonnerie est très fortement remaniée à ce niveau, surtout en partie supérieure de la tourelle, et il est bien difficile d'arguer de la datation de l'ancre ou du cerclage. On peut

⁵⁸⁰ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 0080/010/0078.

toutefois s'interroger sur leur rôle. Il ne faut tout d'abord pas voir dans le cerclage une mesure de sécurité contre les vents auxquels cette tourelle, située en hauteur, est nécessairement exposée. En effet, un tel système, s'il peut permettre à la tourelle de résister aux pressions centrifuges qu'elle pourrait subir, n'est au contraire d'aucune utilité contre les pressions latérales des rafales de vent. De la manière dont il est disposé, ce cerclage peut en revanche empêcher les parois de la cage d'escalier de déverser vers l'extérieur sous l'influence de la charge des parties supérieures. Si cette hypothèse aurait pu être valable à la base ou au milieu d'une tour, ici, les pressions subies ne sont pas très importantes puisque l'on se trouve au sommet de l'escalier et que peu de maçonnerie surplombe l'ensemble. L'installation d'un chaînage aussi important uniquement dans ce but semble donc pour le moins étrange. De plus, les autres tourelles ne sont apparemment pas pourvues d'un tel système et on comprendrait mal pourquoi seule celle-ci aurait fait l'objet d'un renfort aussi important sans une autre motivation. La dernière hypothèse que nous pouvons formuler et qui pourrait répondre à ce dilemme, est qu'à l'instar du cerclage du triforium, il est lié à un autre élément, possiblement un de ceux que nous allons décrire ci-dessous.

II.1.4.1.3 Chaînage sur le mur est du transept nord

Sur le mur gouttereau du côté est du transept nord, un chaînage de fer qui affleure la maçonnerie a été découvert. Situé entre l'antépénultième et l'avant-dernière assise, il passe juste au dessus des arcs formerets des voûtes du transept (cf. Figure 168). Partant du mur pignon parallèlement à l'axe du transept, on peut le suivre sur presque toute la longueur de la première travée, soit environ 4 m. On le perd progressivement par la suite, car le mortier blanc qui compose le scellement le recouvre alors totalement. Il est cependant fort possible qu'il continue jusqu'à la croisée du transept et vienne s'ancrer au croisement des murs au dessus de la pile nord-est, atteignant ainsi une longueur de 16 m. Le sommet du mur étant inaccessible, puisque le cheminement des combles se situe dans l'axe central du transept, il a fallu se contenter d'observer ce chaînage de loin. Sa mise en œuvre, à l'affleurement des pierres, ainsi que la trace de reprise au niveau de la pierre dans laquelle il vient s'ancrer dans le pignon font penser à un rajout postérieur à la construction originelle.

On a tout d'abord supposé que ce chaînage était directement lié à l'ancre ou au cerclage de la tourelle d'escalier. L'étude de la continuité électrique entre ce chaînage et

l'ancre ou le cerclage retrouvés dans la tourelle d'escalier a donc été réalisée⁵⁸¹. Comme précédemment la résistance mesurée était de l'ordre de 1500 ohms, ce qui pose de nouveau les mêmes interrogations. La seule certitude est que ces éléments, si toutefois ils sont liés entre eux, ne sont plus en tension. De plus, un rapide relevé altimétrique indique que le chaînage se trouve au dessus du niveau du sol du sommet de la cage d'escalier, soit près de 30 cm au dessus du niveau de l'ancre et plus encore du niveau du cerclage. Il faudrait donc qu'il soit courbé dans la maçonnerie pour pouvoir s'y insérer, ou que chacun soit relié à une ancre verticale insérée dans la pierre. Un tel système aurait bien sûr nécessité en premier lieu une dépose complète de la structure pour son insertion, ce qui est néanmoins parfaitement plausible puisque la maçonnerie des dernières assises est fortement remaniée. Cette hypothèse paraît cependant moins probable lorsque l'on relève les propos de l'architecte E. Millet dans un rapport qu'il a écrit en 1849. Il y décrit un chaînage « placé au dessus des grandes voûtes contre le mur du transept », qui « prend l'éperon à son sommet au moyen d'une ancre placée à l'extérieur, mais n'est pas en ligne droite et pose sur les formerets des voûtes »⁵⁸². La description de ce chaînage est bien identique à celui que nous venons de présenter, exception faite de cette ancre extérieure dont il est question. Il semble néanmoins à peu près certain qu'il ne s'agit pas de l'ancre visible dans la tourelle d'escalier, qui ne peut manifestement pas être qualifiée « d'extérieure ». Notons en outre que les observations de Millet ont lieu avant le remplacement du pignon à pan de bois du transept nord par un pignon de pierre en 1900. De plus Millet lui-même effectue de nombreuses restaurations à la cathédrale dans les années qui suivent ce rapport. Il n'est donc pas impossible que cette ancre, s'il s'agit bien du même chaînage, ait été complètement intégrée à la maçonnerie du nouveau pignon de pierre ou encore qu'elle ait été supprimée lors d'une quelconque restauration.

En revanche, le rôle de ce chaînage est plus aisément identifiable. Toujours d'après E. Millet, il fait partie des éléments « qui ont été [...] posés pour arrêter le déversement du pignon du transept nord », à l'instar du chaînage du triforium. Il ajoute également qu'il « semble avoir pour mission d'écraser ces formerets et les meneaux des grandes croisées placées au-dessus »⁵⁸³.

⁵⁸¹ Je remercie à ce titre, M. Anthony Carreras, architecte au S.D.A.P de l'Aube pour m'avoir grandement aidé dans cette tâche.

⁵⁸² Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 0080/010/0078.

⁵⁸³ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 0080/010/0078.

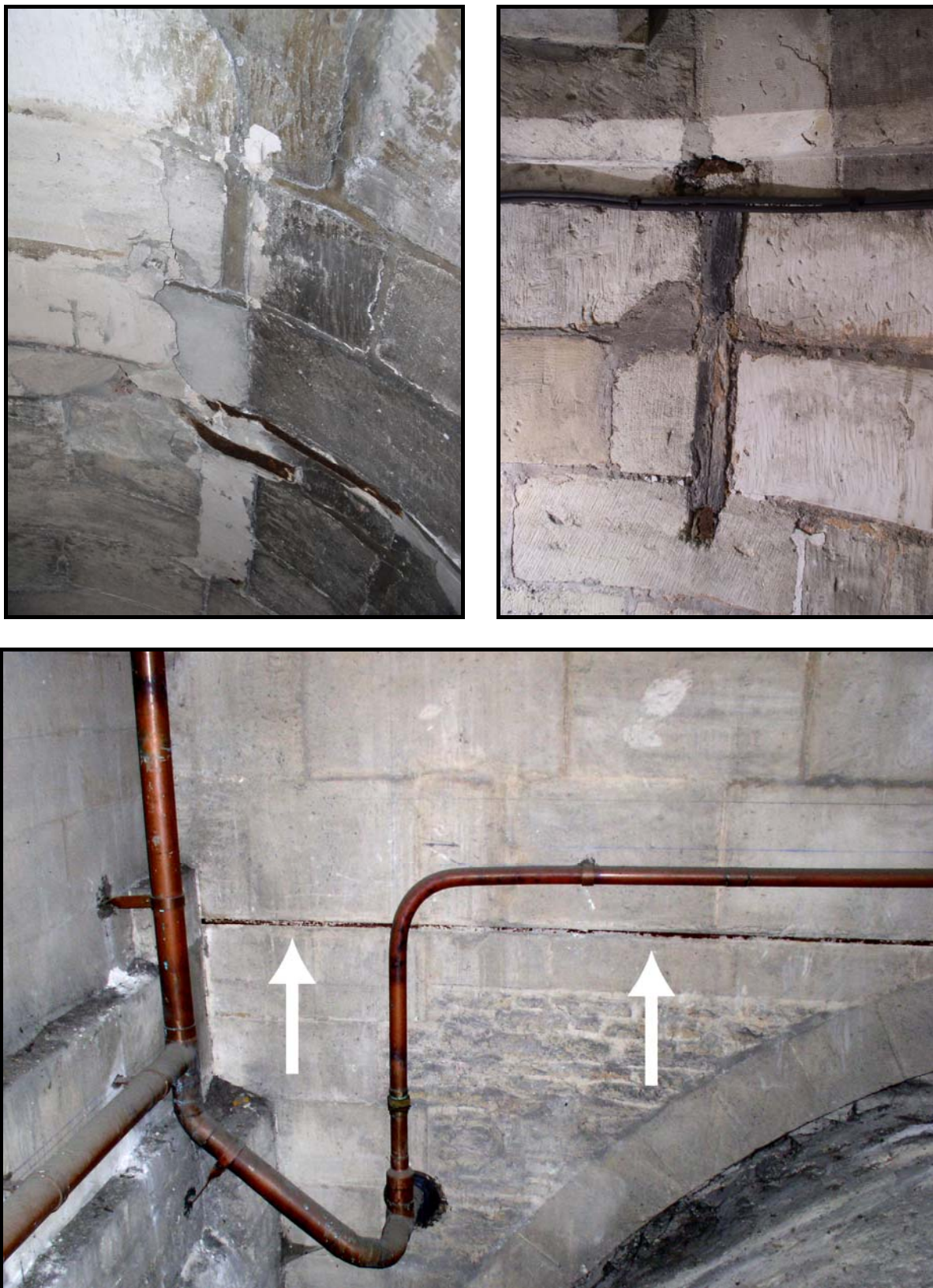


Figure 168 : Cerclage et chaînage sur le mur bahut est du croisillon nord du transept. En haut, cerclage et ancrés dans la tourelle d'escalier, en bas, vue du chaînage engravé entre deux assises de pierre.

II.1.4.1.4 Le chaînage de 1411

Les comptes de la fabrique attestent la mise en place d'un chaînage dans cette partie de l'édifice. En effet, entre fin 1410 et 1413, commande est passée par le procureur pour l'achat et la pose de gros barreaux de fer formant chaînage sur les hautes voûtes. Outre l'importance architecturale des pièces, il s'agit également là d'une commande d'éléments de dimensions exceptionnelles à laquelle il convient de s'intéresser dans le plus grand détail.

Le 17 octobre 1410, la fabrique commande quatre barreaux de fer à Colin Midon de la grosse forge de Doulevans, vraisemblablement Doulevant-le-Château en Haute-Marne. Un accord est passé entre les différentes parties : Colin Midon d'une part, Thomas Michelin le maître maçon et le procureur de la fabrique d'autre part, accord selon lequel le forgeron s'engage à livrer les barreaux avant la Saint-Martin d'hiver. Ce dernier livre effectivement les barreaux un mois plus tard, le 16 novembre 1410 et est payé 7 d. t. la livre pour un poids total de 608 livres, soit 75 kg par pièce en moyenne⁵⁸⁴. De plus d'après l'énoncé de la dépense faite envers Colin Midon : *Depense pour achat de grans barriaux de fer necessaires pour l'eglise outre ceulx qui avoient esté achetés par messire Jehan de Chaonnes*⁵⁸⁵, on sait que d'autres barreaux n'apparaissant pas dans les comptes ont été acquis antérieurement. La fabrique acquiert également l'année suivante *III grosses clefs de fer pour soutenir et esthachier les grans barriaux de fer qui entretiennent les voltes et les pans du mur de la partie de l'oitiau nueuf*⁵⁸⁶, c'est-à-dire la rose nord, fournis cette fois par le serrurier local, Jean Bon Bœuf, ainsi que d'autres éléments de fer, parmi lesquels *III pieces de fer apportées de Venduvre faictes par maniere de grans clefs [...] pesant C l. et servant également à soutenir les barreaux*⁵⁸⁷. Elle achète enfin à Colin d'Echemines, marchand, 55 l. *de fer pour fere grans crampons qui lient lesdits barriaux*, lesquels sont forgés toujours par Bon Boeuf⁵⁸⁸ (cf. Tableau 57).

La mise en place des barreaux commence la semaine du 28 septembre 1411⁵⁸⁹. Thomas Michelin le maître maçon et Gillet de Bonnières, un autre maçon, y travaillent durant six jours et demi ainsi qu'un certain Perrin Guillemart et son valet pendant sept jours. Le détail de leur travail n'est pas précisé dans leurs parties. Bon Bœuf fournit et répare les outils qu'ils ont utilisés, notamment deux grands ciseaux de fer de respectivement 4 et 5 pieds de

⁵⁸⁴ PJ n° 40.

⁵⁸⁵ *Ibidem*.

⁵⁸⁶ PJ n° 41, fol. 14 v°.

⁵⁸⁷ PJ n° 41, fol. 18 v°.

⁵⁸⁸ PJ n° 41, fol. 18 v° et fol. 19 r°.

⁵⁸⁹ PJ n° 41, fol. 18 v°.

long, dont ils se sont servis *pour perser les murs ou sont assises lesdites clefs*, ainsi que d'autres ciseaux et marteaux taillants⁵⁹⁰. Ils emploient également quatre *sextiers de chaux* et trois *mines de ciment* pour l'ouvrage⁵⁹¹.

Elément de fer	Poids	Prix	Forgeron	Prix de la livre de fer
4 gros barreaux de fer	608 l.	17 l. 14 s. 7 d. t.	Colin Midon	7 d. t. la livre de fer ouvrée
Barreaux achetés par Jean de Chaonnes	?	?	?	?
4 grosses clefs de fer	151 l.	4 l. 8 s. 1 d.	Milot le fériz	7 d. t. la livre de fer ouvrée
4 pièces de fer apportées de Vendevre faites par manières de grandes clefs	101 l.	58 s. 11 d. t. + 22 s. 6 d. t.	Bon Boeuf	7 d.t. la livre de fer ouvrée + nouveau travail
55 l. de grands crampons	55 l.	15 s. t. + 22 s. 6 d. t.	Bon Boeuf	3,3 d. t. la livre de fer non ouvrée + travail
2 gros barreaux	266 l. + 54 l.	6 l. t. + 4 l. 11 s. 8 d. t.	Berthelin de Maraix, Perrin de Trémiau et Bon Boeuf	7,4 d. t. la livre de fer ouvrée + réparations
Total	1243 l.	38 l. 13 s. 3 d. t.		

Tableau 57 : Dépenses engagées pour le chaînage posé sur les voûtes du transept nord entre 1410 et 1413⁵⁹².

L'année suivante, on achève la mise en place du système. Deux nouveaux barreaux sont achetés, cette fois au forgeron Berthelin de Maraix⁵⁹³. Ils pèsent en tout 266 livres de fer, mais n'ont *pas este bien sodé* selon l'appréciation des contrôleurs de la fabrique, ce qui, outre un défaut de paiement pour Berthelin, nécessite un nouveau travail sur ces barreaux, effectué par Perrin de Trémiau et Bon Bœuf, qui refont lesdits barreaux et leurs clefs en y ajoutant 2 poids de fer, soit environ 54 livres⁵⁹⁴.

La fin de l'installation des barreaux commence la semaine après la Sainte-Madeleine 1412 avec la dépose de *II postaux des tremiez*⁵⁹⁵ de la maistre volte de la croisee pour

⁵⁹⁰ PJ n° 41, fol. 19 r°.

⁵⁹¹ Il est précisé que le ciment est également employé pour « cimenter en plusieurs lieux es haultes allées », PJ n° 41, fol. 18 v°.

⁵⁹² D'après PJ n° 40 ; PJ n° 41, fol. 18 v° et fol. 19 r° ; PJ n° 42, fol. 19 r°.

⁵⁹³ PJ n° 42, fol. 19 r°.

⁵⁹⁴ PJ n° 42, fol. 19 r° et fol. 19 v°.

⁵⁹⁵ « Remplissage entre les nervures formé de petits moellons nommés pendants », GODEFROY (F.), *Dictionnaire de l'ancienne langue française...*, op. cit., tome VIII, p. 40.

*percer le mur à mettre lesdits barreaux*⁵⁹⁶, travail d'une journée pour deux charpentiers, qui doivent tout d'abord étayer la charpente avant d'ôter les poteaux, puis encore une journée pour le maître maçon Thomas Michelin et ses deux valets, passée à percer le mur en question. La mise en oeuvre des barreaux sera faite plusieurs mois plus tard, pendant la semaine du lundi 13 mars. Deux maçons, Robin de Saumur et Adenet Boulet, ainsi qu'un ouvrier de bras, Jean Nochier y travaillent pendant deux jours, un autre maçon, Hullin, pendant une journée⁵⁹⁷. Ils utilisent une *mine de ciment* et deux *biches de chaux* pour sceller les barreaux et refaire l'ouvrage de maçonnerie autour de ces derniers.

On a donc les évidences de la mise en place dans la maçonnerie haute du transept nord d'au moins six barreaux de fer de 150 à 160 livres chacun. Les dimensions, la forme, la mise en oeuvre des pièces et leur localisation précise ne sont toutefois pas forcément explicites. Très peu d'informations complémentaires ont été trouvées dans la littérature au sujet de ce chaînage. Mgr. J. Roserot de Melin et S. Murray, les deux auteurs principaux et les plus fiables ayant écrit sur la cathédrale, n'y font qu'une brève allusion et ne semblent pas mesurer l'importance des pièces dont il est question. S. Murray ne cite que la pose de « tirants de fer installés sur les voûtes pour renforcer les murs supérieurs de la claire-voie » et lie ces travaux à la construction du clocher⁵⁹⁸. Roserot de Melin se méprend quant à lui sur le nombre de barres de fer lisant « 400 grands barreaux » au lieu de quatre et, sans commenter ce chiffre important, les lie par erreur aux chapelles collatérales du chœur et de la nef. Sans s'apercevoir qu'il s'agit en fait des mêmes éléments, il mentionne ensuite les six grands barreaux de fer qui sont posés sur les hautes voûtes, selon lui « au chœur et au transept », et ne fait pas davantage de commentaire⁵⁹⁹.

Insistons en premier lieu sur le caractère exceptionnel de ces barres de fer. Même sans connaître leurs dimensions exactes, étant seulement précisé pour les quatre premiers barreaux qu'ils seront *du lont et de la devise et de la façon que li a donnée ledit maistre Thomas*⁶⁰⁰, il est évident, au vu de leur poids, qu'il s'agit là de pièces longues et de forte section. Si l'on considère logiquement que ces barres ont une section carrée ou rectangulaire, un poids de 150 à 160 livres, soit environ 75 kg, correspond à une section de 5 cm x 5 cm pour 4 m de long. A titre comparatif, une barlotière-tirant d'une des baies hautes, qui a une section de 10 cm²

⁵⁹⁶ PJ n° 42, fol. 19 r°.

⁵⁹⁷ *Ibidem*.

⁵⁹⁸ MURRAY (S.), *Building Troyes cathedral...*, *op. cit.*, p. 59.

⁵⁹⁹ ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, *op. cit.*, p. 176

⁶⁰⁰ PJ n° 40.

environ et une longueur de 6 m, ne pèse que 50 kg. Dans tous les cas, les sections considérées sont certainement trop importantes pour que ces barres aient pu être forgées aisément avec un marteau ou une simple masse et il est donc compréhensible que la fabrique se soit approvisionnée à des forges disposant du matériel adéquat pour forger ces grosses barres.

Quant aux autres éléments mis en œuvre dans ce chaînage, si la dimension des crampons nous est inconnue, il est possible d'extrapoler celle des clefs puisque l'on connaît leur masse. Les quatre grosses clefs achetées à Milot le Feriz pèsent en tout 151 livres, soit environ 18 kg pièce en estimant qu'elles sont toutes de la même taille. Les quatre qui viennent de Vendevre sont plus petites puisqu'elles ne font que 101 livres, soit environ 12 kg chacune. Cela représente à titre d'exemple des barres de fer de section carrée de 4 cm de côté pour des longueurs respectives de 1,5 m et 1 m.

Evoquons maintenant la localisation de ces différents éléments, leur rôle et leur mise en œuvre. Trois indices permettent d'établir une hypothèse :

- les maçons ont assis six grands barreaux sur les hautes voûtes ;
- le rôle de ce chaînage, selon les propos du procureur de la fabrique est *d'entretenir les voltes et les pans du mur de la partie de l'oitiau nueuf*⁶⁰¹, indiquant qu'il se trouve donc dans les parties hautes du transept nord ;
- le travail des charpentiers préparatoire à la mise en œuvre des barreaux inclut *d'hoster II posteaux des tremiez de la maistre volte de la croissee pour percer le mur à mettre lesdits barreaux*⁶⁰², ce qui suppose donc que le chaînage passe au niveau des hauts murs de la croisée du transept.

Ces données semblent décrire un chaînage qui courrait dans un mur gouttereau du transept nord, s'ancrant d'un côté sur le pignon nord et de l'autre sur le mur de la croisée. A ce titre, il correspond parfaitement avec le chaînage découvert sur le mur est du croisillon nord décrit dans le chapitre précédent. Mais le manque d'informations sur ce chaînage à cause de sa localisation ainsi que le fort remaniement des dernières assises de ces murs incitent à une certaine prudence.

Au sujet de leur mise en œuvre, ces barreaux sont liés par des crampons et attachés par des clefs de fer. Le terme de crampon désigne ici une pièce servant à en attacher deux autres et il semble donc bien que ces crampons sont placés au niveau des assemblages entre les

⁶⁰¹ *Ibidem.* « L'oitiau » désigne la rose.

⁶⁰² PJ n° 42, fol. 19 r°.

barreaux, afin de les lier les uns aux autres et réaliser ainsi un chaînage. Ne connaissant ni la forme de l'extrémité des barreaux, ni la forme exacte de ces crampons, même si on peut imaginer qu'il ressemblent à des sortes d'agrafes, il est difficile d'avoir une idée de la nature de ces assemblages. On peut imaginer que les barreaux, terminés par des yeux sont reliés entre eux par des grosses agrafes. Le terme de clef désigne quant à lui en charpenterie une pièce servant à bloquer un assemblage. S'agirait-il d'ancres verticales, comme celles que l'on a l'habitude de voir aux extrémités des chaînages ? Leurs dimensions sembleraient adéquates, mais pour un chaînage seulement deux ancres sont nécessaires, alors que la fabrique en achète ici huit. L'installation de quatre chaînages distincts justifiant huit ancres paraît peu probable. Il est donc difficile de dire avec certitude la manière dont ces clefs sont utilisées, d'autant plus qu'on ne connaît pas exactement le nombre de gros barreaux mis en place, certains n'ayant visiblement pas fait l'objet d'un achat par l'intermédiaire de la fabrique. Au niveau de la mise en œuvre, la seule certitude est qu'il a fallu percer un mur, pour mettre les barreaux, mais également pour mettre les clefs. Après la pose de tous les éléments, les scellements sont ensuite effectués à la chaux et au ciment, ce qui rapproche encore davantage ce chaînage de celui que nous avons découvert.

Le rôle explicite de ce chaînage est enfin *d'entretenir les voltes et les pans du mur de la partie de l'oitiau nueuf*⁶⁰³. A ce titre, il est étroitement lié aux travaux qui animent à cette époque le portail nord, avec la reconstruction de la rose qui a eu lieu quelques années auparavant. Malgré la commande exceptionnelle que génère ce chaînage, la raison précise de sa mise en place n'est toutefois pas mentionnée dans les comptes ; il ne semble pas lié à des désordres particuliers qui seraient survenus dans l'édifice. Peut-être s'agit-il d'un chaînage reliant la façade au corps de l'édifice pour empêcher son déversement, à l'instar de celui qui sera mis en place en 1713 au transept sud, mais installé ici plutôt de manière préventive. Peut-être est-il également destiné à consolider les parties hautes du transept avant l'élévation du clocher comme le suggère S. Murray.

II.1.4.1.5 Synthèse : les chaînages du transept nord

Nous voyons donc que les interrogations liées aux chaînages de cette partie de l'édifice sont grandes. La relation entre les textes et le terrain, en l'absence de restauration permettant la dépose des pierres et une vision claire de tous les éléments enfouis, est parfois

⁶⁰³ PJ n° 40.

bien difficile à établir. Nous avons donc identifié un cerclage, l'ancre terminale d'un chaînage et un deuxième chaînage, trois éléments qui ne sont semble-t-il pas en connexion directe. De plus les sources écrites nous indiquent la présence d'un troisième chaînage mis en place en 1411, peut-être déposé depuis, mais qui est peut-être également en relation avec un des trois éléments cités ci-dessus, même s'il n'a pas pu clairement être identifié comme l'un d'entre eux. Deux conclusions s'imposent.

Tout d'abord ces chaînages sont les témoins indéniables de la volonté de consolider cette partie de l'édifice à différentes époques. Les accidents et destructions successifs survenus au portail nord au cours des siècles ne sont vraisemblablement pas étrangers à ces nombreux travaux de renforcement. Le transept, partie de l'édifice qui manque intrinsèquement de contrebutement à ses deux extrémités n'a pu qu'être davantage fragilisé suite à ces nombreux désordres. Il n'est donc pas étonnant d'observer la mise en place de tirants et chaînages qui empêchent, de manière plus ou moins habile, l'écartement des formerets et le déversement de la façade nord, non seulement à la fin du Moyen Age avec le chaînage de 1411, mais également plus tard, à la période moderne avec le chaînage au plafond du triforium et le chaînage du mur bahut dont on ignore la datation.

Enfin, en cas de restauration des parties hautes du transept nord, une grande prudence sera nécessaire au vu de tous les éléments qui sont susceptibles être mis au jour et qui servent peut être encore actuellement au soutien de cette partie de l'édifice. Seul une telle entreprise permettra de tirer au clair toutes les interrogations soulevées.

D'autres chaînages ont été découverts hors du transept nord.

II.1.4.2 Le chaînage de 1713

En 1713, un chaînage est installé au portail sud qui connaît alors d'importants désordres : il présentait un surplomb conséquent et son contrefort sud-ouest était séparé des murs⁶⁰⁴. Afin d'endiguer ces désordres, la fabrique fait poser des chaînes de fer sur les trois faces du croisillon, « rattachant la partie supérieure du portail au contrefort et à la tourelle

⁶⁰⁴ De Courcel cité par ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, *op. cit.*, p. 244.

flanqués sur chacun des angles de la croisée »⁶⁰⁵. Les données relatives à la mise en place de ce chaînage trouvent peu d'écho dans la littérature et, les comptes de la fabrique manquant pour l'année 1713, on ne dispose d'aucune information technique supplémentaire à son égard. Par la suite, des références récurrentes y sont faites, où il est mentionné comme « le chaînage de 1713 ». Les plus fréquentes sont en 1840, lors de la rupture de ce chaînage, qui provoque d'importants dégâts dans la maçonnerie du bras sud du transept nécessitant des travaux urgents à la façade méridionale⁶⁰⁶. Ils sont entrepris peu après au milieu du XIX^e siècle et voient la reconstruction totale du portail et de la travée la plus au sud du transept.

II.1.4.3 Les tirants de 1808

Le 8 mai 1808, le serrurier Eyrier forge et fournit *trois fort tirrand de quatorze pied posés au dessus du comble de la nef pesant avec les barres d'assé à moufle, le fort fer carré de 16 lignes le tout ensemble trois cent quarante deux livres*⁶⁰⁷. Il s'agit donc de tirants de section carrée d'environ 3,6 cm de côté et 4,50 m de long, pesant donc près de 45 kg pièce. Les « barres d'acier à moufle » ne pèsent donc en tout que 20 kg environ.

Si les dimensions de ces tirants sont ici précises, l'endroit et la manière de leur mise en oeuvre ne le sont pas tout à fait. Le « dessus du comble de la nef » désigne probablement la charpente située au dessus du vaisseau central de la nef. Il pourrait cependant également s'agir d'un des combles des collatéraux. Le terme « au dessus » n'indique de plus pas si ces tirants ont été installés dans la charpente, dans la maçonnerie ou encore sur la toiture. Leur agencement pose moins de questions : d'après les termes employés ces tirants sont vraisemblablement mis en oeuvre sous forme de chaînage au moyen assemblages à moufle, c'est-à-dire d'assemblages à boucle et double coin⁶⁰⁸. Les « barres d'acier à moufle » seraient alors ces coins servant à bloquer les assemblages. Le rôle du chaînage est donc très certainement d'empêcher l'écartement d'une partie de la structure de la cathédrale, mais comme aucune trace de ces tirants n'a été relevée en prospections et que les informations

⁶⁰⁵ J.-B. Coffinet, annuaire du clergé du diocèse de Troyes, 1841 cité par ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, *op. cit.*, p. 258.

⁶⁰⁶ ID., *Ibid.*, p. 258

⁶⁰⁷ « Mémoire des ouvrages de serrurier que moi Eyrier serrurier à Troyes a faits pour l'entretien de l'église Saint Pierre de Troyes », Arch. dép. Aube, V 114.

⁶⁰⁸ CHABAT (P.), *Dictionnaire des termes...*, *op. cit.*, tome 1, p. 231.

complémentaires sur ces éléments se limitent à une citation par Mgr Roserot de Melin sans le moindre commentaire⁶⁰⁹, il est difficile d'établir une quelconque hypothèse avec des bases solides sur ce renforcement.

Élément de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Chaînages avec ancre et cerclage	Plafond du triforium du transept est et ouest	2	L ≈ 16 m	≈ 1 tonne	Moderne (fer indirect)
Cerclage	Tourelle d'escalier dans l'angle nord est du transept	1	-	-	?
Ancre	Tourelle d'escalier dans l'angle nord est du transept	1	-	-	?
Chaînage	Sur le mur gouttereau est du transept nord	1	L ≈ 16 m	250-500 kg	?
Gros barreaux (+ clefs et crampons).	Sur le mur gouttereau du transept nord ?	> 6	-	> 610 kg	1411-1412
Chaînage	Attachant le portail sud aux angles de la croisée	-	-	-	1713 (rompu en 1840)
Tirants et barres	Sur le comble de la nef	3 + ?	L = 4,5 m Sect. = 3,6 x 3,6 cm	≈ 170 kg	1808

Tableau 58 : Récapitulatif des chaînages découverts à la cathédrale de Troyes.

II.1.4.4 Les chaînages : synthèse

La cathédrale de Troyes présente donc de nombreux chaînages dont la plupart sont encore présents dans la maçonnerie de l'édifice. Si certains avaient une réelle utilité, comme ce chaînage de 1713 dont la rupture a précipité la ruine du transept sud, la fonction de certains autres peut encore laisser à interprétation. Tous - ou presque tous - ces chaînages ont cependant deux dénominateurs communs. D'une part, ils sont presque systématiquement liés

⁶⁰⁹ ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, *op. cit.*, p. 256.

au transept, nord ou sud. D'autre part, il ne s'agit pas de chaînages entrant dans la conception première du monument, mais, systématiquement, de chaînages ajoutés *a posteriori*, généralement afin de pallier certains désordres survenus dans l'édifice.

II.1.5 Les autres utilisations du fer à la cathédrale de Troyes

II.1.5.1 Au rez-de-chaussée

II.1.5.1.1 Barres des colonnettes du rez-de-chaussée

Le pourtour des chapelles du chœur et du transept est orné d'une succession d'arcatures postées légèrement en avant du mur. Ces arcatures comptent 202 colonnettes, d'environ 1,50 m de haut, parmi lesquelles 110 sont attachées au mur au niveau du joint entre le fût et le chapiteau par l'intermédiaire de petites barres de fer (cf. Figure 169). Pour les 92 autres, les murs qui leur font dos ne portent aucune marque laissant imaginer la présence d'une ancienne agrafe qui aurait été ôtée à la suite de restaurations. Ces barres ont une largeur de 1,5 à 2,5 cm, et une épaisseur moyenne de 6 mm environ ; elles sont disposées à plat. Leur longueur visible est de 2 à 7 cm et varie avec la distance de la colonnette au mur. Elles sont scellées au plâtre, sans aucune utilisation de plomb.

Le rôle de ces barres est probablement d'assurer la stabilité des colonnettes en évitant qu'elle s'écarte du mur sous l'influence de forces perpendiculaires à la direction de l'arcature. La disposition et la situation de ces arcatures laisse toutefois présager de forces relativement faibles et surtout, la très faible section des barres dont il est question peut laisser des doutes quant à leur réelle capacité à soutenir les colonnettes.

L'origine de ces éléments peut également soulever quelques interrogations. Dans la situation où elles se trouvent, il est évident que ces barres n'ont pas pu être ajoutées après la pose des colonnettes. Elles auraient pu être posées consécutivement à une dépose des fûts ou des chapiteaux, éléments qui semblent parfois avoir été restaurés, mais certains portent encore des traces de polychromie. Même s'il semble donc plus probable que ces attaches fassent partie de la construction originelle au cours du XIII^e siècle, leur absence sur la moitié des colonnettes, sans qu'il n'y ait sur les murs la trace d'anciens ancrages, pose la question de leur logique de mise en œuvre.

Afin d'apporter des éléments de réponse sur l'origine de ces petites barres, deux prélèvements ont donc été réalisés à deux endroits où ces petites barres étaient brisées : le

premier, TROY 01, dans le chœur au niveau de la troisième travée sud, le second, TROY 02, dans le croisillon nord-est du transept (cf. Figure 169 et Figure 170).

La section longitudinale observée sur TROY 01 présente une structure hétérogène, en partie ferritique et en partie carburée titrant jusqu'à 0,6 %_{mass} de carbone. Les zones de carburation différente s'y répartissent en bandes parallèles et la ferrite y prend une forme globulaire, preuve d'un ultime refroidissement plutôt lent. TROY 02a, section transversale, est en revanche beaucoup moins riche en carbone avec un maximum de 0,1 %_{mass} (cf. Figure 171). De plus, sa structure est majoritairement ferritique et il présente par endroits des structures fantômes, preuves de la présence de phosphore dans la matrice métallique dans des teneurs comprises entre 1000 et 4000 ppm. Aucune soudure et aucune marque d'un traitement de forge spécifique n'ont été identifiées. Sur les deux spécimens, les inclusions sont assez fines et allongées dans le sens de la longueur de l'échantillon. La propreté inclusionnaire de TROY 01a est très mauvaise avec un degré de 4,4*. Un groupe d'inclusions transversales a été relevé sur TROY 02a. L'étude de l'homogénéité des inclusions montre des rapports bien conservés entre les différents composés non réduits, appuyant l'hypothèse que ces fers ne sont pas issus d'un recyclage. En revanche, les rapports sont nettement différents pour les deux échantillons qui ont donc des origines différentes (cf. Figure 172), TROY 02a étant de plus issu d'un minerai phosphoreux vu les importantes teneurs de ses inclusions en P₂O₅ avec près de 8 %_{mass} en moyenne ainsi que la présence des structures fantômes. Enfin, l'étude de la discrimination des procédés de réduction a révélé un fer de réduction directe dans les deux cas (cf. Figure 173). Il s'agit donc vraisemblablement d'un fer d'origine médiévale, ce qui exclut l'hypothèse d'une consolidation de la période moderne ou plus tardive et va au contraire plutôt dans le sens d'une installation contemporaine à la construction originelle.

II.1.5.1.2 Barres des colonnettes des chapelles du chœur

Les vitraux chapelles du chœur sont, à l'extérieur, entourés par deux colonnettes chacun. Certaines d'entre elles, lorsqu'elles ne sont pas trop collées à la paroi, montrent qu'elles sont attachées par de petites barres de fer qui viennent s'insérer au niveau de la jointure entre deux morceaux du fût de la colonnette. Le caractère systématique de ce phénomène n'a pu ni être mis en évidence, ni infirmé, les colonnettes étant hors de portée. Au vu des exemples connus, notamment la cathédrale de Rouen, il est fort possible qu'une telle barre de fer soit scellée dans chaque joint entre deux pierres de colonnettes.

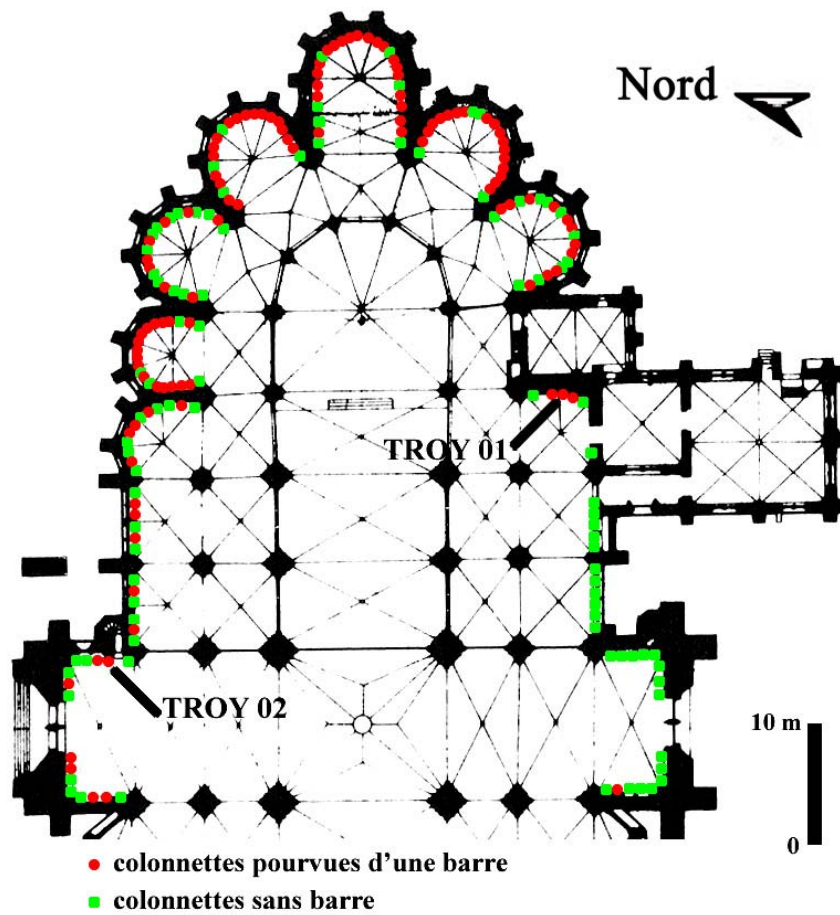


Figure 169 : Petites barres attachant des colonnettes dans le chœur et le transept de la cathédrale de Troyes. Localisation et exemple.

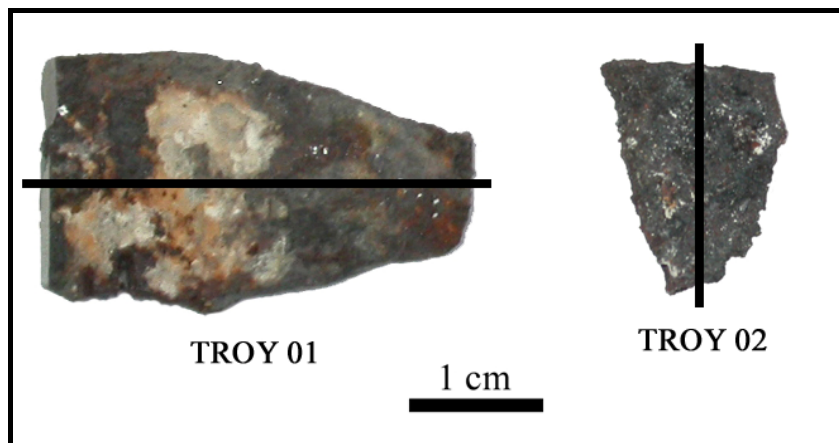


Figure 170 : Corpus d'étude métallographique avec schéma de découpe pour les petites barres des arcatures au rez-de-chaussée du chœur et du transept de la cathédrale de Troyes.

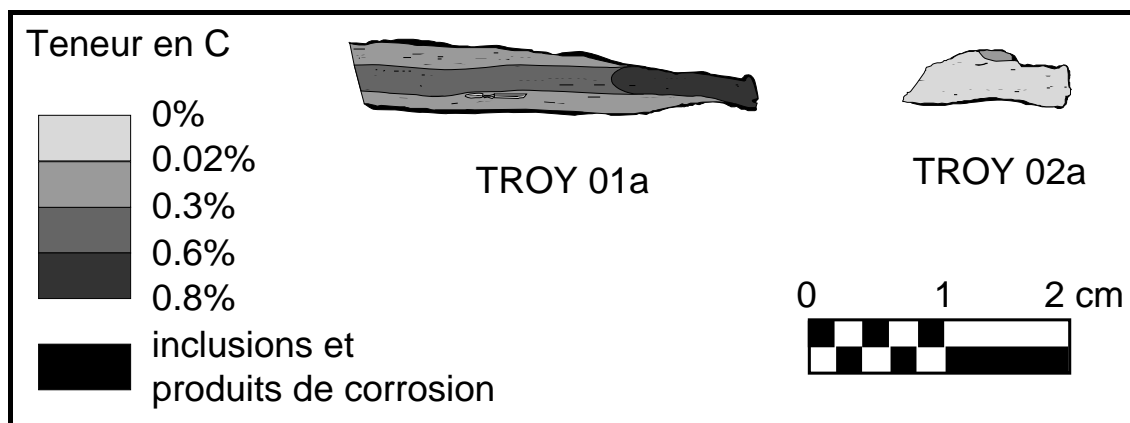


Figure 171 : Structure métallographique des sections TROY 01a et TROY 02a.

Echantillon	Datation	Teneur en C	Fer phosphoreux	Indice de propreté	Procédé de réduction	Lopin originel
TROY 01a	XIII ^e - XIV ^e s.	0-0,8 % _{mass} + SB	NON ?	4,4*	Direct	1 seul lopin
TROY 02a	XIII ^e - XIV ^e s.	0-0,8 % _{mass}	OUI (SF)	-	Direct	1 seul lopin

Tableau 59 : Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les deux petites barres prélevées au rez-de-chaussée de la cathédrale de Troyes.

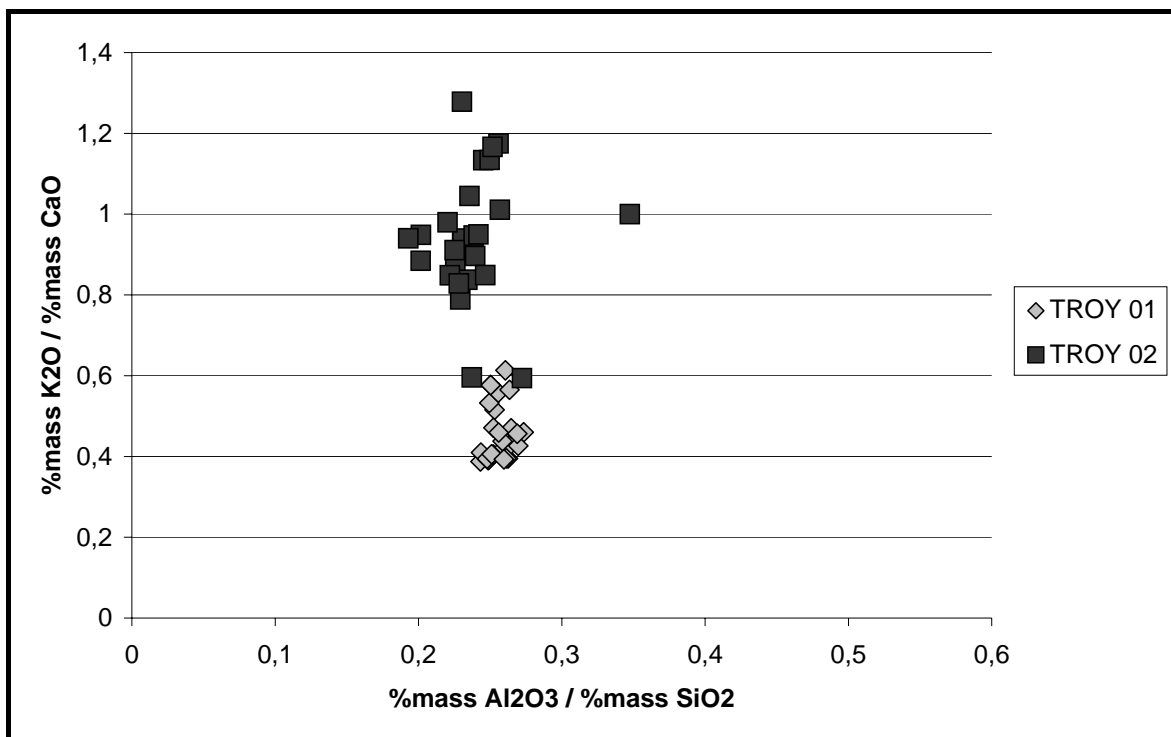


Figure 172 : Comparaison des rapports $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ et $\text{K}_2\text{O}/\text{CaO}$ pour les deux petites barres prélevées au rez-de-chaussée de la cathédrale de Troyes.

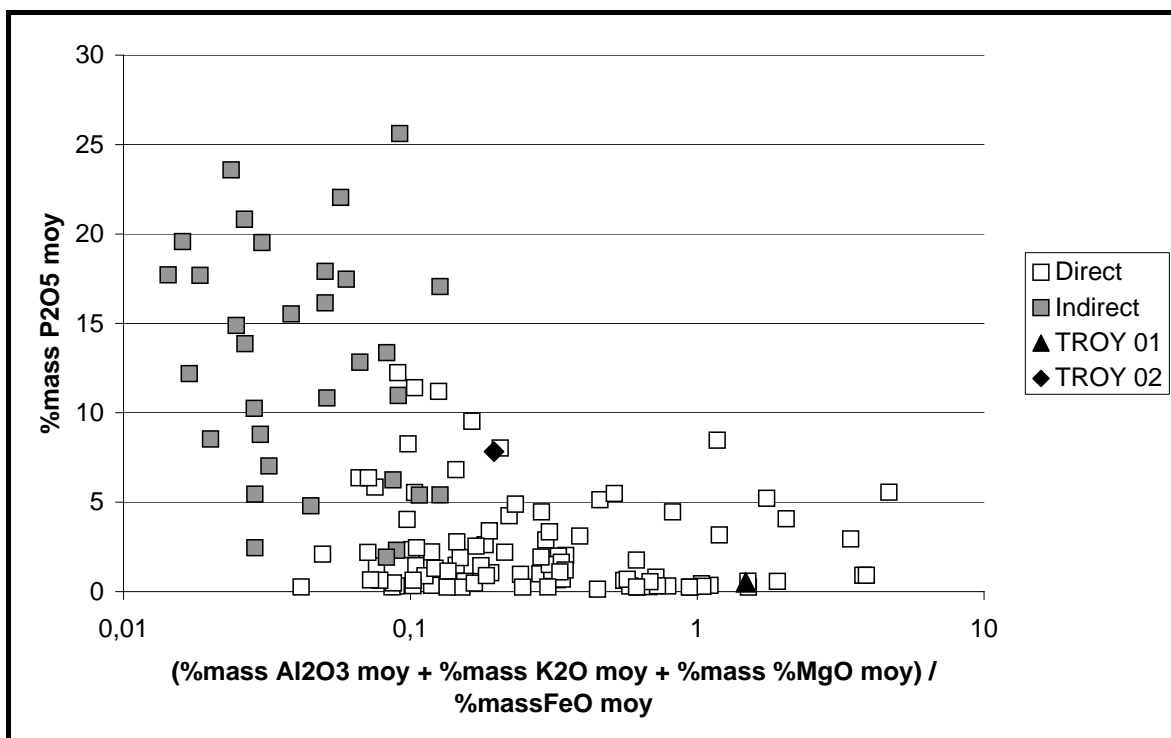


Figure 173 : Discrimination des procédés de réduction pour les deux petites barres prélevées au rez-de-chaussée de la cathédrale de Troyes.

II.1.5.1.3 Bagues de fer autour des piles du chœur

Les piliers du chœur ont tous plusieurs colonnettes qui leur sont adossées. Ces colonnettes constituées de deux blocs monolithiques joints entre eux par une bague sont attachées aux piles par des petits liens de fer qui épousent la forme de la bague et viennent pénétrer dans la pile. Les piles du sanctuaire ont fait l'objet d'importantes reprises par l'architecte E. Millet au XIX^e siècle, il est donc vraisemblable que ces liens datent de l'époque des restaurations.

Elément de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Petites barres	Colonnettes de l'arcature ornant le pourtour du chœur et du transept	101	L = 2 à 7 cm l = 1,5 à 2,5 cm e ≈ 0,6 cm	5-10 kg	XIII ^e - XIV ^e s. (fer direct)
Petites barres	Attachant les colonnettes adossées aux chapelles du chœur	-	-	-	?
Bagues	Autour des colonnettes adossées aux piliers du chœur	-	-	-	XIX ^e s.

Tableau 60 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au niveau du rez-de-chaussée de la cathédrale de Troyes.

II.1.5.2 Au niveau du triforium et des combles bas

Le triforium est habituellement lieu de nombreux renforts, comme l'avait déjà noté M. Férauge dans le cas de la cathédrale de Bourges⁶¹⁰. Celui de la cathédrale de Troyes n'y fait pas exception. Outre les chaînages ajoutés à la période moderne décrits précédemment, les marques de nombreuses barres et agrafes de fer ont pu y être relevées.

⁶¹⁰ FERAUGE (M.), MIGNEREY (P.), « La cathédrale de Bourges... », *op. cit.*

II.1.5.2.1 Les barres de l'arcature du triforium

Dans la partie occidentale de l'édifice, à savoir la nef et la partie ouest du transept⁶¹¹, l'arcature du triforium, composée d'une alternance de deux supports forts et trois supports faibles, est renforcée par des barres de fer reliant ces différentes piles et colonnettes à hauteur de la jointure située entre leur fût et leur chapiteau (cf. Figure 174). Ces barres sont complètement absentes de la partie orientale de l'édifice, plus ancienne. Notons que, du fait de leur situation en hauteur et de la quasi-inaccessibilité du triforium de la nef, les prospections se sont surtout concentrées dans le transept, en particulier dans la travée septentrionale. Les dimensions de ces barres de fer ont été mesurées uniquement dans cette dernière travée du transept nord, là où elles étaient le plus facilement accessibles. Elles y ont une section moyenne rectangulaire de 1 cm x 3,5 cm. L'observation des barres dans les autres travées, même sans les avoir mesurées, montre une extrême variabilité dans les dimensions et dans les formes de leurs sections. D'une travée à l'autre on passe d'une petite section rectangulaire d'environ 1 cm x 3 cm à une bien plus grande, d'environ 2 cm x 5 cm et parfois même à une section carrée de 2 à 3 cm de côté. Ces barres sont liaisonnées au plomb dans le transept et en général au moyen de mortier dans la nef, bien que quelques scellements au plomb aient également été repérés.

Dans le transept occidental et dans la travée la plus méridionale du côté est du transept, une autre série de barres a également été relevée à la même hauteur, mais cette fois perpendiculaires à la galerie de circulation. Ces barres servent à relier les colonnettes, alternances faibles de l'arcature, au mur de fond, c'est-à-dire aux meneaux des baies vitrées (cf. Figure 174). Elles sont au nombre de trois par travée, sauf dans la dernière travée du transept sud, où, à l'est comme à l'ouest, elles sont présentes pour chaque support, fort comme faible, et sont donc au nombre de cinq. Pour les autres travées, les supports forts ne présentent aucun logement permettant de supposer la préexistence de telles barres à leur niveau. La dernière travée du transept sud n'est toutefois pas caractéristique de la structure médiévale de l'édifice car elle a fait l'objet de très importantes restaurations au milieu du XIX^e siècle, lors de la reprise complète du portail méridional⁶¹².

⁶¹¹ A l'exception de la travée la plus au sud, restaurée.

⁶¹² ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, *op. cit.*, p. 258.

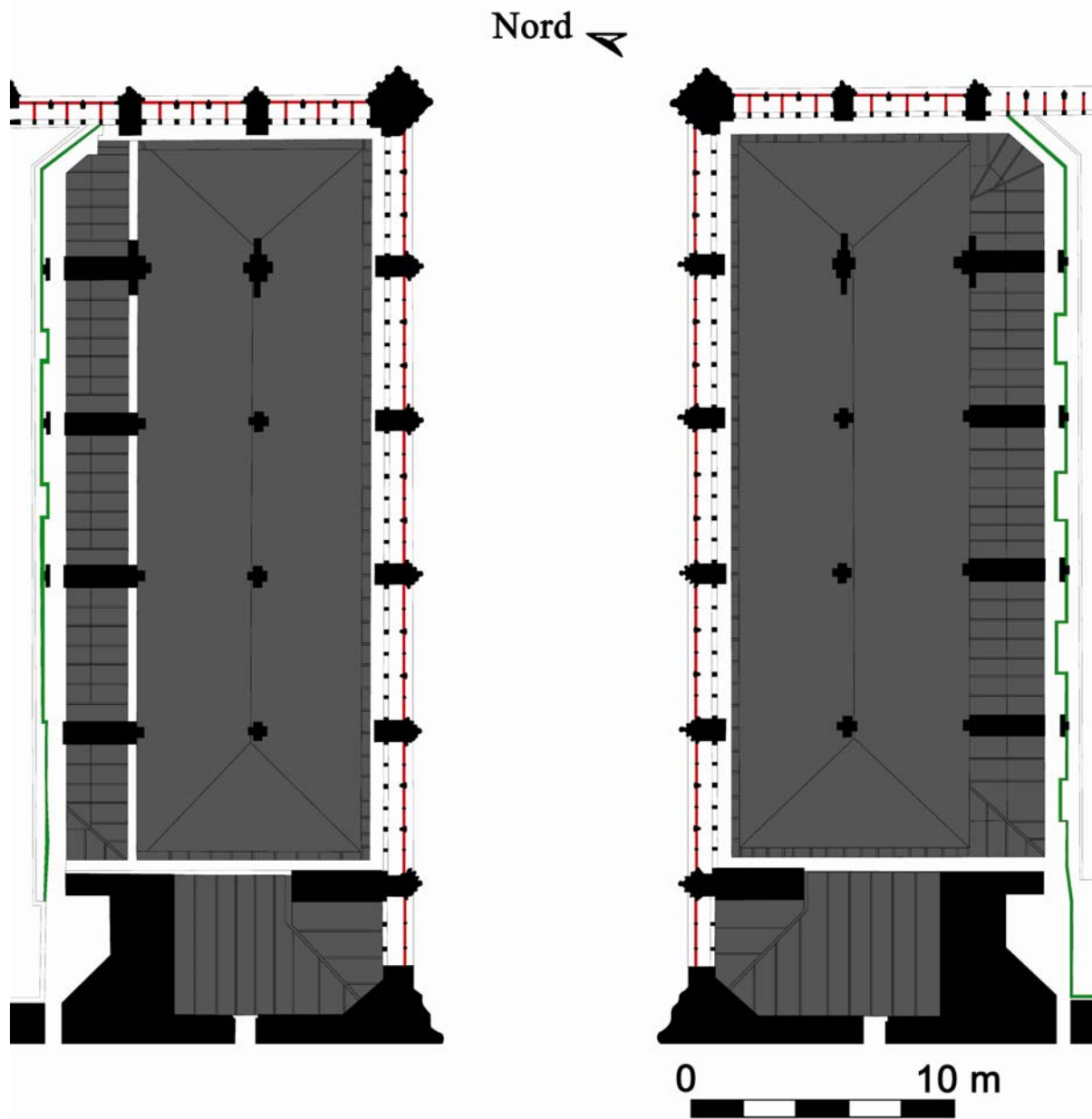


Figure 174 : Barres de l'arcature du triforium de la partie occidentale de la cathédrale de Troyes. En haut à gauche, 1^{ère} travée nord de la nef, en haut à droite, travée la plus au nord dans le nord-ouest du transept. En bas, plan de situation : barres en rouge, balustrades renforcées d'agrafes en vert.

Le rôle apparent que jouent ces deux groupes de barres semble similaire : empêcher les mouvements des supports de l'arcature, parallèlement aux poussées des arcs pour le premier et perpendiculairement pour le second. Les poussées perpendiculaires sont cependant plus occasionnelles, mais c'est peut-être la crainte de poussées parasites de la grande nef sur le transept qui est la cause de la présence de ces barres perpendiculaires dans le triforium du transept, puisqu'on note leur totale absence dans la nef. Seuls les supports faibles, les colonnettes, peut-être les plus propices à subir une déformation du fait de leur élancement, ont été renforcées de cette manière.

Une des premières interrogations venant à l'esprit réside dans la continuité de ces barres à l'intérieur d'une travée et le cas échéant entre les différentes travées pour savoir si elles forment ou non une sorte de chaînage continu. Les prospections électriques réalisées au niveau de la travée septentrionale du triforium ont montré une discontinuité électrique de part et d'autre de chaque alternance forte de l'arcature. On a donc à cet endroit l'existence de trois barres distinctes par travée, qui ne sont pas en tension, ce qui exclut vraisemblablement l'hypothèse d'un chaînage : le rôle de ces barres semble donc se limiter au seul maintien d'un support. La longueur maximale de ces barres est donc d'un tiers de la travée, soit 1,5 à 2 m suivant la travée considérée. Il s'agit donc de barres de relativement petites dimensions, n'excédant pas une masse de 4 à 6 kg. En outre, on a pu vérifier une absence de contact électrique entre les barres parallèles et les barres perpendiculaires au sein des chapiteaux des colonnettes où elles se croisent : il n'y a donc pas non plus tension à ce niveau. Mais dans la nef, l'homogénéité apparente de la section des barres à l'intérieur de chaque travée, bien qu'elles soient parfois de morphologies très différentes de travée en travée irait plutôt dans le sens d'une seule et unique barre par travée. L'étude de continuité électrique n'a cependant pas pu y être réalisée.

Malgré l'existence de comptes de la fabrique avec des séries sans années manquantes pour l'élévation des ultimes parties de la nef, la mention particulière de l'achat et la mise en place de ces barres n'a pas été retrouvée. Il serait toutefois fort probable que l'achat de ces barres soit confondu à celui des fers à vitraux, qui ne font pas du tout l'objet d'un décompte minutieux, mais plutôt d'une estimation non détaillée en masse comme nous l'avons précédemment évoqué. Une mention relative à l'achat des différents éléments de fer nécessaires aux hautes verrières de la nef précise néanmoins *qu'il fault en chascune formette*

[...] quatre gros barreaux [...] servants à la maçonnerie⁶¹³. Or on ne compte dans les grandes fenêtres hautes actuellement que deux barlotières-tirants, trois en y ajoutant celle de la verrière du triforium sans doute associée à la grande baie qui la surmonte. Une explication pour la quatrième barre manquante pourrait être qu'il s'agit de celle de l'arcature du triforium. On aurait alors bien une grosse barre par travée et non trois barres distinctes comme cela a été démontré pour le triforium du transept nord.

Un prélèvement a pu être effectué sur une barre perpendiculaire qui était brisée dans la travée la plus septentrionale du croisillon nord du transept sous la référence TROY 08, notamment pour avoir des informations sur la période de mise en place de ces barres. La section étudiée, découpée dans la longueur de l'objet, montre une structure totalement ferritique (cf. Figure 175). Aucune trace de soudure n'a été observée. Les inclusions sont très nombreuses, fines et très allongées dans le sens de la longueur de l'objet (cf. Figure 176). Le degré de propreté moyen est de 4* ce qui est plutôt mauvais. Les analyses élémentaires des inclusions ont montré, outre une présence assez importante de P₂O₅ (8,5%_{mass} en moyenne), que les rapports entre les différents composés non réduits sont bien conservés (cf. Figure 177). L'étude ne concerne toutefois qu'une petite partie d'une barre de près d'un mètre de long et il n'est donc pas possible de savoir si elle était entièrement issue d'un fer « neuf ». Enfin, la composition des inclusions de TROY 08a est caractéristique des fers du procédé direct (cf. Figure 178). Il est donc fort probable que ces barres transversales de l'arcature du triforium soient contemporaines de la période de construction entre la fin du XIII^e et du XIV^e siècle.

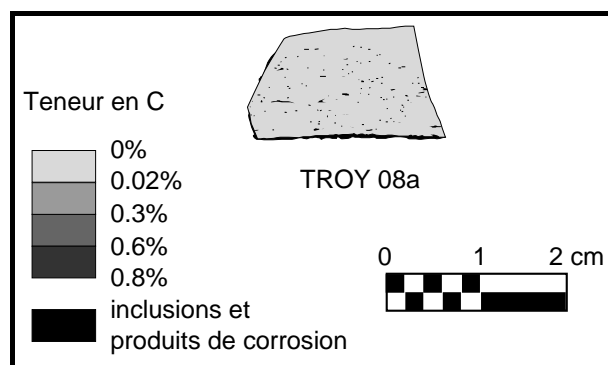


Figure 175 : Structure métallographique de la section TROY 08a.

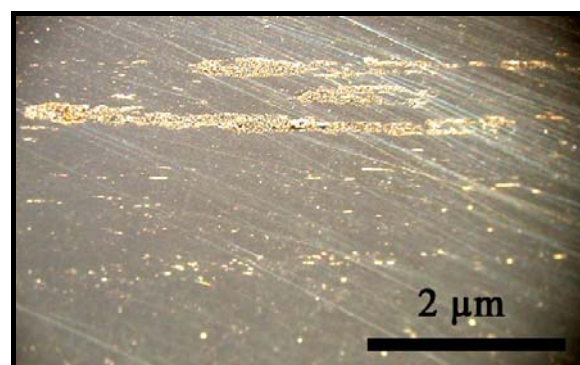


Figure 176 : Inclusions millimétriques vues à la loupe binoculaire, section TROY 08a.

⁶¹³ PJ n° 69, fol. 58 r°.

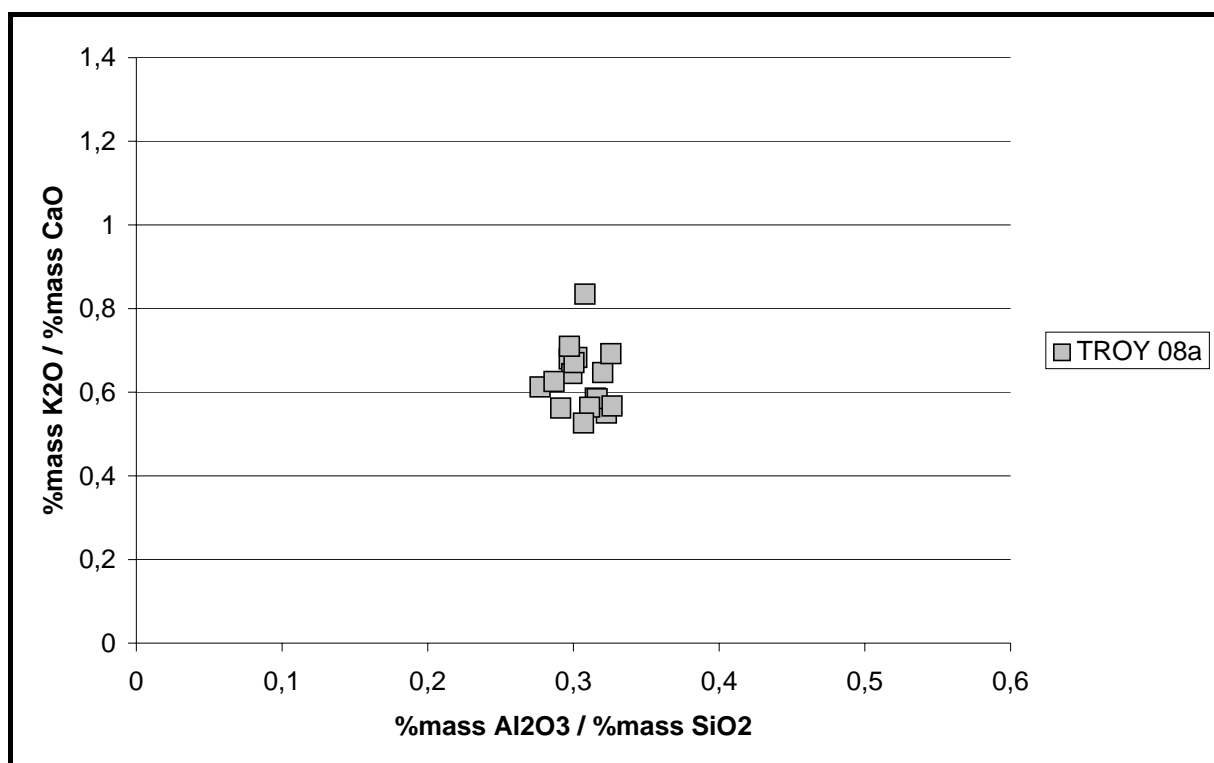


Figure 177 : Comparaison des rapports $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ et $\text{K}_2\text{O}/\text{CaO}$ pour l'échantillon TROY 08a.

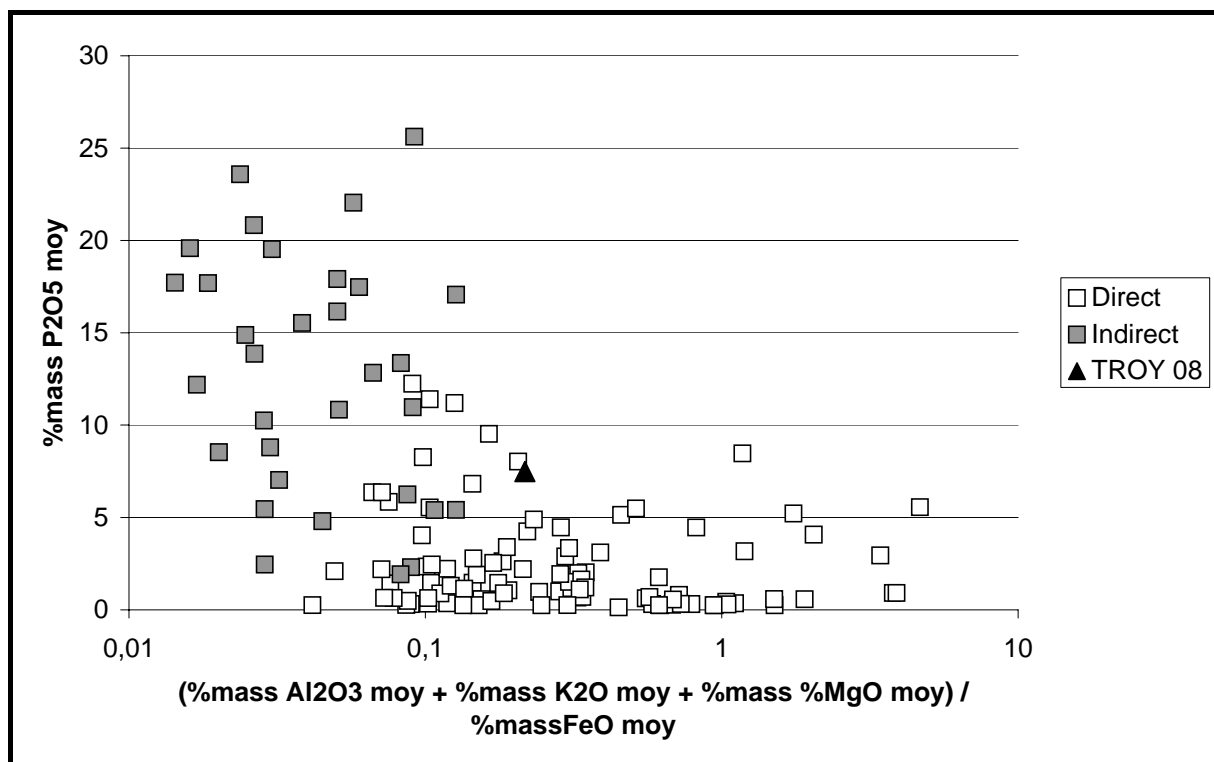


Figure 178 : Discrimination des procédés de réduction pour la barre TROY 08.

Echantillon	Datation	Teneur en C	Fer phosphoreux	Indice de propreté	Procédé de réduction	Lopin originel
TROY 08a	Fin XIII ^e - XIV ^e s.	< 0,02 % _{mass}	OUI ?	4*	Direct	1 seul lopin

Tableau 61 : Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour la barre TROY 08.

II.1.5.2.2 Agrafes au sol

Vingt-six agrafes et une dizaine de logements d'agrafes ont également été retrouvées sur le sol de la galerie intérieure du triforium (cf. Figure 179). La plupart de ces agrafes et logements ont été observés dans la partie est du transept, mais certains logements se trouvent également dans le chœur et un seul dans le transept occidental, à l'extrême nord-ouest du triforium. En revanche, rien n'a été relevé dans les travées de la nef, ni dans les autres travées de la partie ouest du transept. Cependant, les conditions difficiles d'accès au triforium de la nef n'ont pas permis de faire des observations très minutieuses⁶¹⁴. Toutes ces agrafes sont scellées au plomb et en sont même parfois entièrement recouvertes.

Les maçonneries du sol du triforium ont fait l'objet d'une restauration quasi-totale dans le chœur d'après les marques d'outils et la nature des pierres. Les cinq moitiés de logements qui y ont été relevées, au niveau de la première travée sud et de l'amorce du rond-point au nord, sont systématiquement associées à des pierres qui n'ont sans doute pas été changées, notamment celles qui sont situées au niveau du passage des piles ou de supports forts et dont la dépose était probablement plus difficile (cf. Figure 179). Les maçonneries du transept et de la nef sont en revanche exemptes d'importantes restaurations, à l'exception bien sûr de la travée méridionale du transept. L'analyse de la localisation des agrafes et des empreintes semble donc montrer une utilisation uniquement pour les premières phases de construction de la cathédrale (chœur et transept est). De plus, certaines de ces agrafes passent sous les piles et colonnes dessinant l'arcature du triforium, gage de leur antériorité à ces éléments (cf. Figure 179). Ce système d'agrafes est donc contemporain de l'élévation de l'édifice.

Ces agrafes mesurent entre 16 et 28,5 cm pour une largeur comprise entre 1,8 et 3,2 cm. La longueur moyenne est de 20,3 cm avec écart moyen de 3 cm, les deux tiers des agrafes mesurant entre 16 et 20 cm. La largeur moyenne est quand à elle de 2,7 cm avec un

⁶¹⁴ Le triforium de la nef ne dispose pas de balustrade, de garde-corps ni de ligne de vie comme celle installée dans le chœur. De plus, il ne présente pas de couloir de circulation : on accède individuellement à chaque travée par l'intermédiaire d'une trappe ménagée dans un panneau de vitrail.

écart moyen de 0,3 cm ; 80 % des agrafes ont une largeur comprise entre 2,5 et 3 cm. Leur épaisseur n'a pas pu être mesurée à deux exceptions près, elle était alors respectivement de 1,1 cm et 1,6 cm. Aucun mode ne se dégageant tant en longueur qu'en largeur, bien que les autres mesures manquent, on peut vraisemblablement affirmer ne pas être en présence d'agrafes à dimensions fixes et standardisées, d'autant plus qu'aucune relation entre longueur et largeur n'est perceptible.

II.1.5.2.3 Les balustrades

Les balustrades extérieures des combles du triforium possèdent dans la nef plus d'une cinquantaine d'agrafes servant à les renforcer.

Ces agrafes ne sont pas présentes de manière systématique. Du côté nord de la nef, entre la deuxième et la sixième travée, sur 46 jointures de pierres, 23 portent une agrafe, dont deux moitiés d'agrafes, et sept la trace d'un logement dépourvu de son agrafe originelle. Sur les quinze joints restants sans logement ni agrafe, trois au moins portent de nettes traces de restaurations. Les balustrades de la tour Saint-Pierre et de la première travée, correspondant à l'accroche de la tour à la nef, ne présentent aucune marque d'agrafe ni de logement sur les vingt-deux jointures qu'elles comptent. Elles ont fait l'objet d'une restauration complète dans les années 1990⁶¹⁵. Du côté sud, on compte trente agrafes et au moins deux logements sans agrafe pour 68 jointures (cf. Figure 180). Quatre d'entre elles sont situées sur la balustrade de la tour Saint-Paul, contrairement à celle de la tour Saint-Pierre qui en était dépourvue. En revanche, celles de la première et la dernière travée qui servent à lier la nef respectivement à la tour et au transept en sont totalement dénuées. Au niveau des travées centrales on a donc seulement neuf jointures sans agrafe ni logement, dont la plupart portent les marques d'une restauration. A noter également au milieu de la troisième travée, de part et d'autre du gâble décorant la balustrade, la présence de quatre agrafes dans le plan vertical du muret sur lequel le gâble vient s'insérer. Les deux agrafes centrales viennent relier entre eux les blocs de pierre du gâble et de la balustrade. Toutes ces agrafes sont, à quelques exceptions près, scellées au plomb, et en sont même parfois totalement recouvertes.

La longueur et la largeur de ces agrafes ont dans la plupart des cas pu être mesurées, sauf lorsqu'elles passaient dans une pile ou sous un gâble ou que le plomb les recouvraient totalement. Leur longueur est comprise entre 13 et 30 cm pour une largeur de 1,5 à 3 cm (cf.

⁶¹⁵ Restaurations réalisées par J.-M. Musso.

Figure 181). La longueur moyenne est de 18,5 cm avec écart moyen de 3 cm. Les deux tiers des agrafes mesurent entre 15 et 20 cm et 95 % entre 13 et 22 cm, sans réel mode dominant. Leur largeur est au contraire relativement fixe à quelques exceptions près, à 2,1 cm en moyenne avec un écart moyen de 0,15 cm ; 70 % des agrafes ont une largeur comprise entre 2 et 2,1 cm. Aucune distinction n'a pu être réalisée entre les dimensions des agrafes situées au nord et au sud, ni entre les différentes travées (cf. Figure 182 et Figure 183). On notera cependant que les quelques agrafes d'une largeur bien supérieure à la moyenne ($l > 2,5$ cm) sont toutes situées dans les travées les plus occidentales et correspondent peut-être à une installation plus tardive. Seules cinq mesures d'épaisseurs ont pu être prises étant donné que les agrafes sont en général encore engravées dans leur logement. Trois d'entre elles étaient égales à 0,7 cm, une à 1 cm et la dernière était supérieure à 1 cm. On est donc dans tous les cas en présence de petites agrafes dont la masse, en prenant en compte la longueur de leurs pattes, n'excède pas la livre.

L'origine de ces agrafes amène à questionnement. Plus de la moitié des jointures portent soit une agrafe, soit une empreinte, marque d'une restauration ayant néanmoins laissé les traces du système préexistant. De plus, on s'aperçoit à de nombreuses reprises que, lors des restaurations, il y a eu suppression des agrafes là où les pierres ont été changées. Ces arguments vont dans le sens d'un système global d'agrafes installé sur l'ensemble des balustrades de la nef. Ensuite, en considérant le fait que certaines de ces agrafes passent sous un gâble ou dans une culée, il apparaît fort vraisemblable que ces dernières sont contemporaines de la période de la construction des balustrades. Ces arguments vont donc plutôt dans le sens d'une mise en place de la majeure partie des agrafes lors de l'installation des balustrades. L'étude de l'ancienneté de ces fers par dichotomie des procédés de réduction aurait peut-être pu apporter une confirmation supplémentaire à cette hypothèse⁶¹⁶. Il n'a cependant pas été possible de faire des prélèvements sur cette partie de l'édifice, toutes les agrafes encore présentes étant encore bien scellées dans leur logement et jouant encore leur rôle d'attache.

Dans le chœur, on ne retrouve pas la marque d'un tel système. Aucune agrafe et aucun logement n'a été relevé sur l'ensemble de la balustrade, à l'exception faite de la deuxième

⁶¹⁶ L'identification de fers du procédé direct aurait permis de confirmer l'origine médiévale de ces agrafes. En revanche, l'identification de fers de la filière indirecte n'aurait pas été nécessairement la marque d'une restauration. En effet, les parties les plus tardives de l'édifice ont été construites à une période où la filière indirecte était potentiellement déjà fort développée dans l'est de la France. Il n'aurait donc probablement pas été possible de faire la distinction entre un fer indirect de la fin du Moyen Age et un fer de restauration moderne ou du XIX^e siècle.

travée du côté sud. Dans cette travée, deux blocs de pierre composant la balustrade possèdent à chacune de leurs extrémités la moitié d'un logement d'agrafe. Ces blocs sont en pierre blanche d'un aspect totalement différent des autres pierres grises de la balustrade de cette travée et de l'ensemble du chœur. Ces quatre logements sont-ils la marque d'un ancien système identique à celui de la nef et qu'une restauration de l'ensemble de balustrade du chœur aurait fait disparaître ? Cette hypothèse n'est pas à exclure, mais en l'absence d'éléments plus tangibles, il est difficile d'apporter des arguments plus solides.

Élément de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Barres	Arcatures du triforium du transept ouest	15	L = 1,5 à 2 m Sect. \approx 1 x 3,5 cm	60-90 kg	XIII ^e - XIV ^e s.
Barres	Perpendiculaires à l'arcature du triforium du transept ouest	15	L \approx 75 cm Sect. \approx 1 x 3,5 cm	\approx 30 kg	XIII ^e - XIV ^e s. (fer direct)
Barres	Perpendiculaires à l'arcature du triforium de la travée la plus au sud du transept	10	L \approx 75 cm Sect. \approx 1 x 3,5 cm	\approx 20 kg	XIX ^e s.
Tirants	Arcatures du triforium de la nef	12	L = 3 à 6,5 m l \approx 1 à 2 cm e \approx 3 à 5 cm	275-550 kg	Vers 1500.
Agrafes	Sol du triforium du transept est	26	L = 16 à 28,5 cm l = 1,8 à 3,2 cm e \approx 1,1 à 1,6 cm	10-15 kg	XIII ^e - XIV ^e s.
Logements d'agrafes	Sol du triforium du chœur et du transept.	\approx 10			XIII ^e - XIV ^e s.
Agrafes et logements	Balustrades extérieures de la nef	53 + 9	L = 13 à 30 cm l = 1,5 à 3 cm e \approx 1 cm	15-25 kg	XIV ^e - XV ^e s.

Tableau 62 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au niveau du triforium de la cathédrale de Troyes.

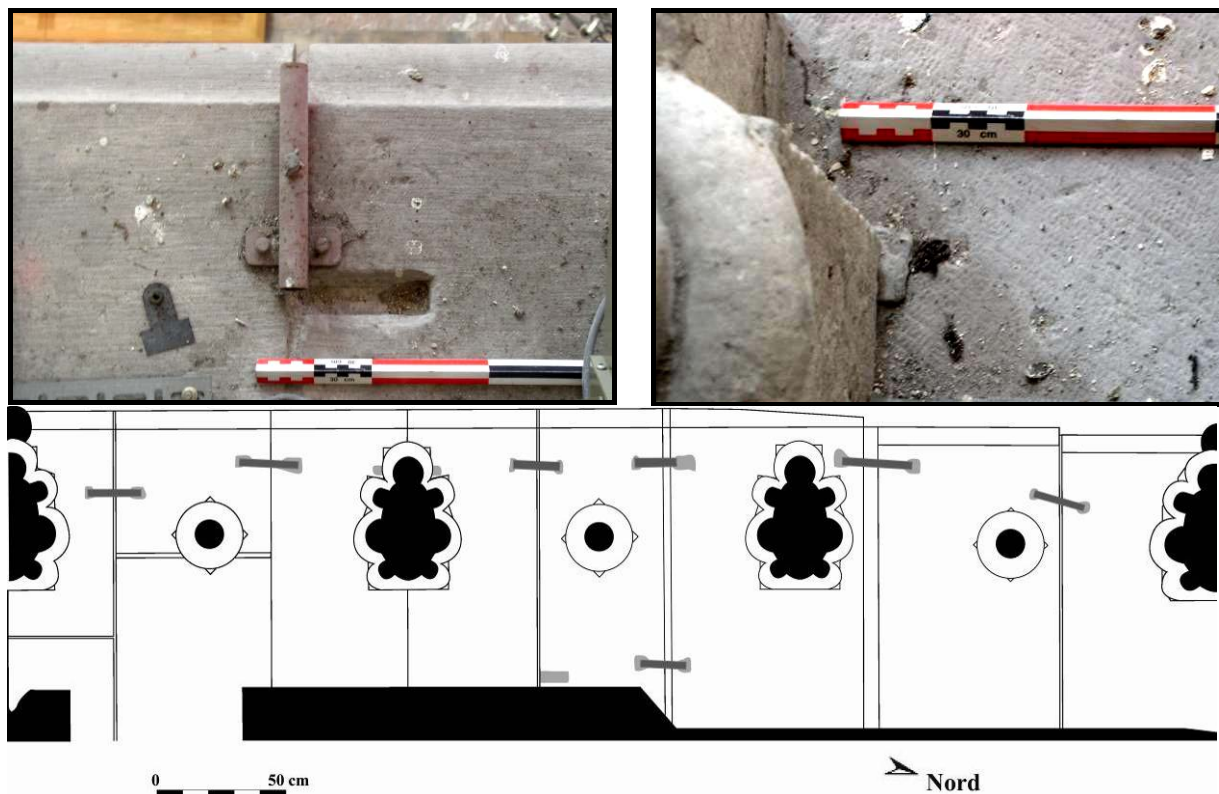


Figure 179 : Agrafes au sol du triforium oriental de la cathédrale de Troyes. En haut à gauche, logement d'agrafe sur la corniche du triforium du chœur. En haut à droite, extrémité d'une agrafe au sol passant sous un support dans le triforium du transept. En bas, plan des agrafes au sol dans la travée la plus au nord-est du croisillon nord du transept.

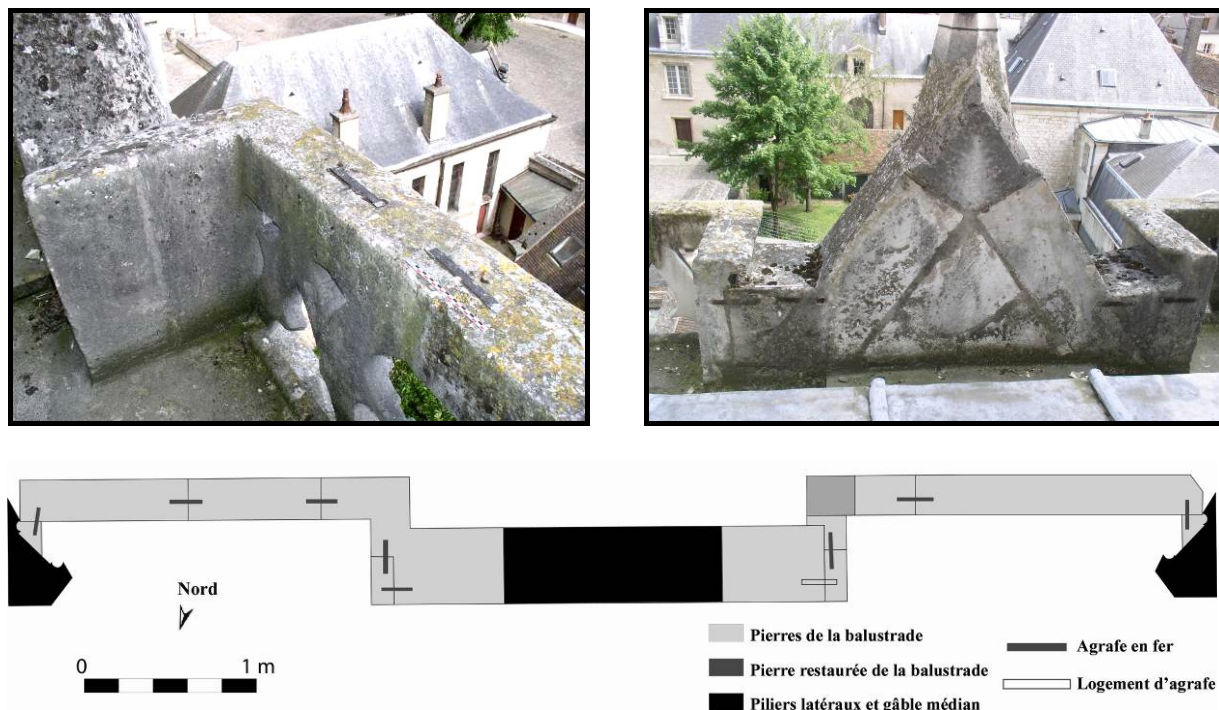


Figure 180 : Agrafes sur les balustrades de la coursive extérieure du triforium de la nef de la cathédrale de Troyes. En haut à gauche, côté sud. En haut à droite, pinnacle médian d'une travée avec agrafes dans le plan vertical. En bas, plan de la balustrade de la 4^e travée côté sud.

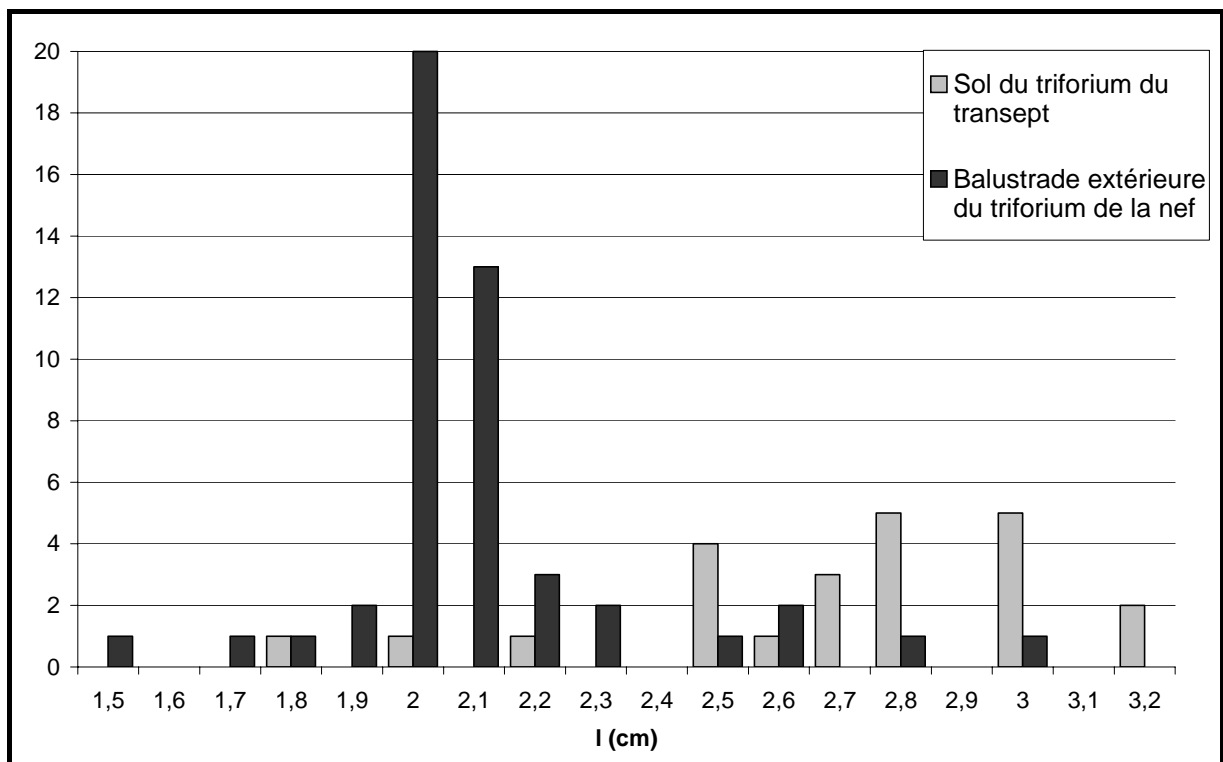
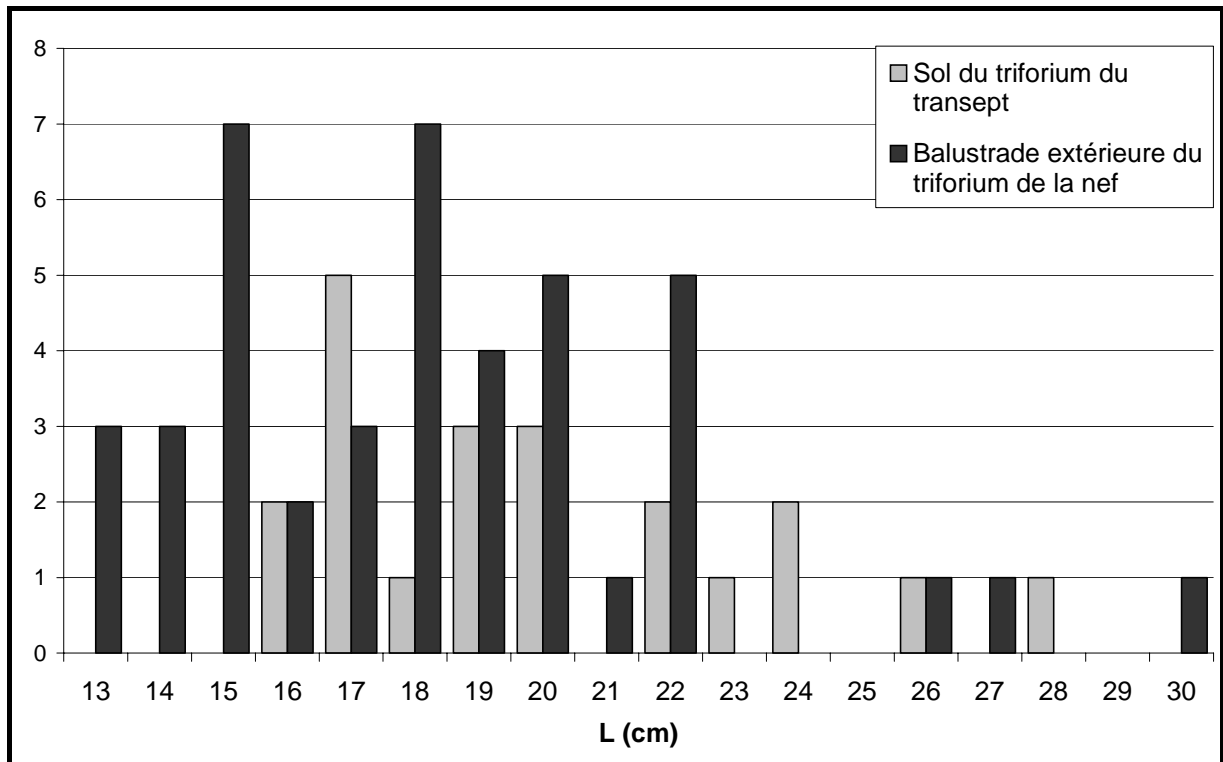


Figure 181 : Longueurs et largeurs des agrafes découvertes à l'étage du triforium de la cathédrale de Troyes.

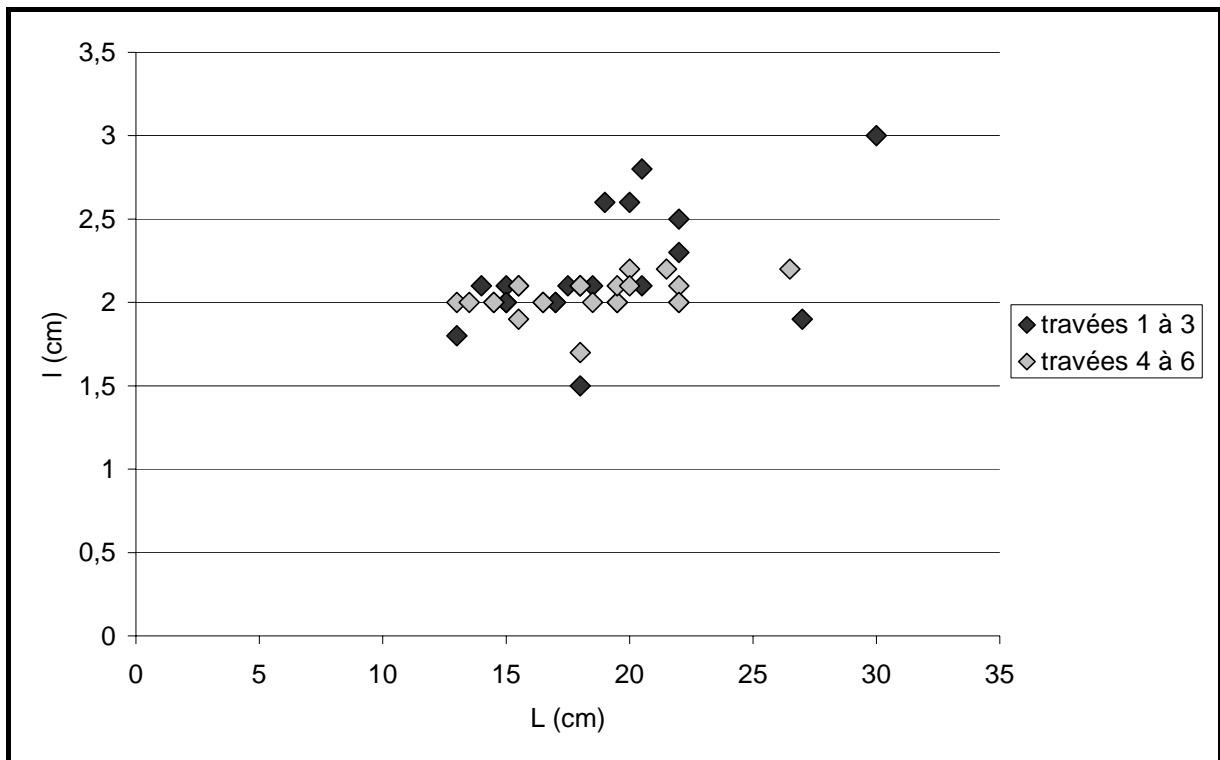


Figure 182 : Comparaison entre les dimensions des agrafes orientales et occidentales de la balustrade extérieure à l'étage du triforium de la nef de la cathédrale de Troyes.

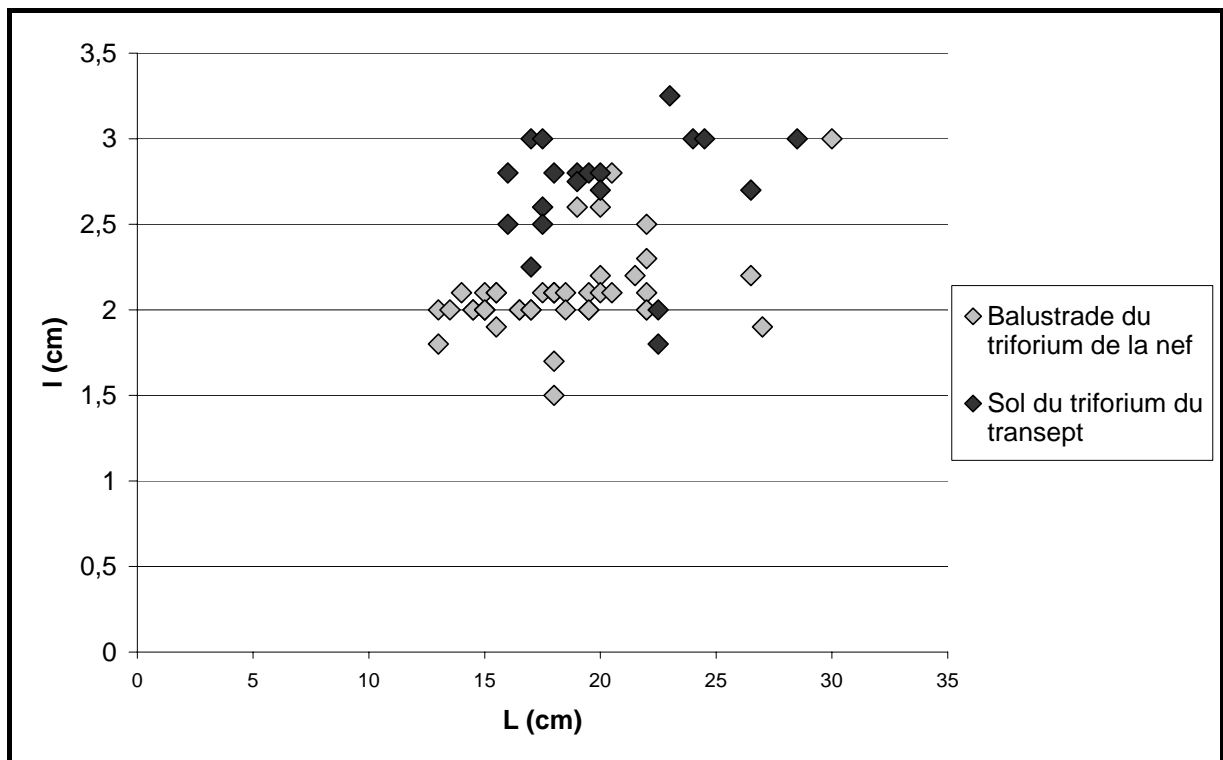


Figure 183 : Comparaison entre les dimensions des agrafes des balustrades de la nef et de la corniche du triforium du transept de la cathédrale de Troyes.

II.1.5.3 Les fenêtres hautes

II.1.5.3.1 Barres des arcs-boutants du chœur

Dans le chœur, les arcs-boutants sont composés d'une double volée d'arcs superposés. La volée inférieure de chaque arc-boutant est soutenue en sa partie supérieure par une colonne légèrement détachée de la pile principale. Sur les douze piles, dix portent la trace d'un scellement à hauteur du joint entre le fût et le chapiteau des colonnes (cf. Figure 184). Les deux piles qui n'en ont pas, à savoir la pile entre les premières et deuxième travées au sud et celle entre les deuxième et troisième travées au nord ont fait l'objet de restaurations. Dans trois ancrages, un fragment de barre de fer de quelques centimètres de long est encore visible. La section originelle exacte de ces barres est difficile à appréhender vu leur stade de corrosion assez avancé. Il s'agit d'une section rectangulaire probablement comprise entre 1,5 cm x 2,5 cm et 2 cm x 3 cm, peut-être même légèrement supérieure. Ces barres sont disposées de chant. Leur longueur originelle équivalait très certainement à la largeur du passage compris entre les piles et les colonnes plus la longueur des ancrages, soit un total d'environ 70 cm.

Le rôle de ces barres était sans doute d'assurer la stabilité de ces colonnes qui portent directement la partie inférieure de l'arc et d'éviter que leur partie supérieure ne soit emportée dans la direction de l'arc-boutant. Les forces résultant des voûtes sont cependant censées se transmettre dans les arcs-boutants de manière tangentielle et les colonnes ne doivent en principe pas y être soumises⁶¹⁷. Peut-être le maître d'œuvre a-t-il néanmoins craint que l'arc-boutant vienne emporter le chapiteau de ces colonnes. Peut-être s'agit-il au contraire d'une mesure de précaution, au cas où des conditions inhabituelles, comme des vents importants, viennent perturber le système et modifier le cheminement des forces. Ce système est totalement absent dans les autres parties de la cathédrale de Troyes, dont les arcs-boutants ne présentent toutefois pas une telle morphologie. On le retrouve en revanche dans le chœur de la basilique de Saint-Denis⁶¹⁸.

⁶¹⁷ Par ailleurs on peut observer qu'actuellement, les colonnes ne sont plus pourvues de telles barres.

⁶¹⁸ L'HERITIER (M.), JUHIN (A.), DILLMANN (Ph.), ARANDA (R.), BENOIT (P.), « Utilisation des alliages ferreux dans la construction monumentale du Moyen Age. État des lieux de l'avancée des études métallographiques et archéométriques. », *La Revue d'Archéométrie*, n° 29, 2005, p. 117-127.

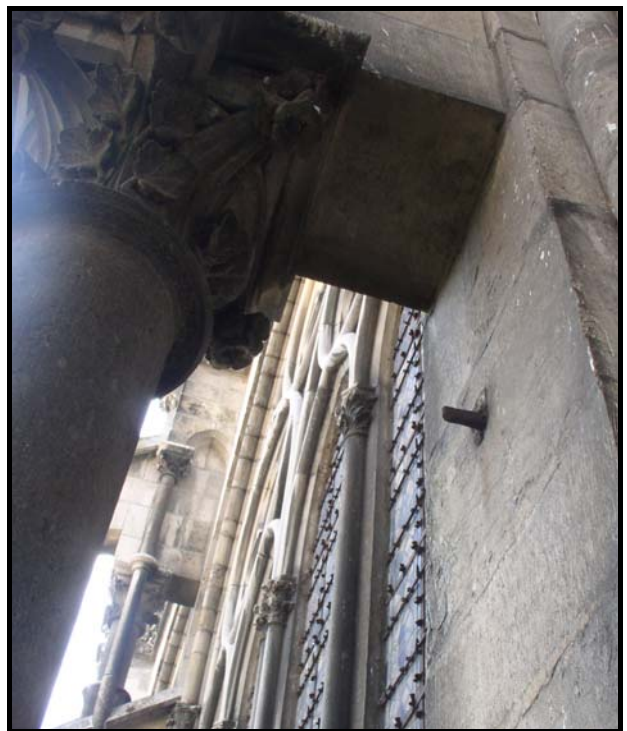
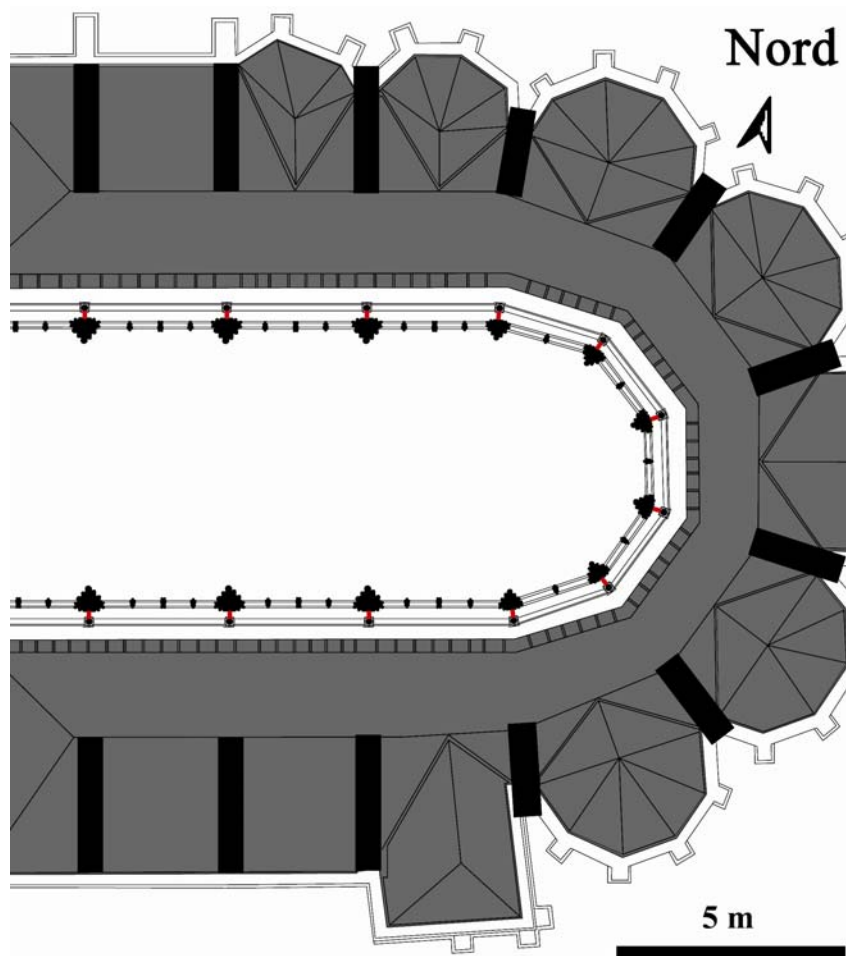


Figure 184 : Barres attachant les colonnettes soutenant les arcs-boutants dans le chœur de la cathédrale de Troyes. En haut, plan de restitution ; en bas, fragment de barre conservé dans une travée droite du chœur côté nord.

L'origine de ces barres amène à interrogation, d'autant plus que le dessin actuel des arcs-boutants est une conception du XIX^e siècle. A l'origine ceux-ci étaient similaires à ceux de la nef, c'est-à-dire composés de deux arcs reliés entre eux par un remplage constitué de petites arcatures (cf. Figure 159)⁶¹⁹. D'après les vestiges visibles, il apparaît plus vraisemblable que ces barres fassent partie du système originel de construction et qu'elles aient été supprimées à la suite de restaurations ultérieures, très probablement celles qui ont précisément touché ces arcs-boutants au cours du XIX^e siècle. Si la maçonnerie des arcs et des colonnes les supportant est fortement remaniée et doit très certainement dater du XIX^e siècle, ce n'est pas le cas des piles. De plus, les deux piles présentant des marques de restaurations sont les deux piles où aucun fragment de barre ou logement associé n'est visible.

Pour tenter d'obtenir confirmation de ces hypothèses, trois prélèvements, TROY 03, 04 et 05, ont ainsi été réalisés sur les trois barres dont une longueur suffisante subsistait, toutes situées sur la façade nord, respectivement sur la pile entre les première et deuxième travées (TROY 03), sur celle entre la dernière travée droite du chœur et le début du rond-point (TROY 04) et enfin sur la pile du rond-point voisine (TROY 05) (cf. Figure 185). Les trois sections, toutes découpées de manière longitudinale, montrent une structure majoritairement ou totalement ferritique. Seul TROY 05a possède une zone faiblement carburée à moins de 0,2 %_{mass} de carbone formant une bande à une extrémité de l'échantillon (cf. Figure 186).

Les trois sections portent également la marque d'une ou plusieurs soudures où des inclusions résiduelles sont restées enfermées. Celle de TROY 05a a favorisé le développement d'une fissure. La forme des inclusions varie sur les trois échantillons. Très fines et allongées dans le pour TROY 05a, elles le sont un peu moins dans le cas de TROY 04a et presque pas pour TROY 03a, qui présente un très grand nombre d'inclusions de toutes tailles et sans orientation particulière. On note aussi dans ce dernier échantillon un groupe de petites inclusions dont la forme suit celle de joints de grain. Plus que les autres, TROY 03 semble avoir fait preuve d'un réel manque de soin dans la phase de forge et d'épuration. Les degrés de propreté inclusionnaire moyens respectifs de ces trois échantillons sont par ailleurs plutôt mauvais, compris entre 3,5* pour TROY 04 et 4,5* pour TROY 05.

Le dosage de ces inclusions montre une composition plutôt homogène à l'intérieur des sections TROY 03a et TROY 04a. De plus, les rapports des composés non réduits de ces deux

⁶¹⁹ MURRAY (S.), *Building Troyes cathedral...*, op. cit., p. 31. Image donnée par ARNAUD (A.-F.), *Voyage archéologique et pittoresque dans le département de l'Aube et dans l'ancien diocèse de Troyes*, Troyes, 1837, planche n°41.

objets sont suffisamment proches pour qu'ils aient éventuellement une origine commune. Les inclusions de TROY 05a ne montrent pas la même constance et semblent au contraire avoir plusieurs rapports distincts (cf. Figure 187). Il s'agit donc soit d'un fer résultant du corroyage de lopins d'origines différentes, soit d'un fer homogène dont les inclusions ont subi un fractionnement conduisant à des « effets de pépite ». L'hypothèse d'un fer issu de recyclage pourrait être compatible avec les lignes de soudure observées. Dans tous les cas, TROY 05 a une origine différente des deux premières barres. En revanche, la discrimination des procédés de réduction par la composition des inclusions montre que les trois objets sont issus d'un fer de réduction directe⁶²⁰ (cf. Figure 188). Il est donc plus probable que ces fers aient été mis lors de la construction des premiers arcs-boutants dans le courant du XIII^e siècle.



Figure 185 : Corpus d'étude métallographique avec schéma de découpe des barres attachant les colonnettes des arcs-boutants du chœur de la cathédrale de Troyes.

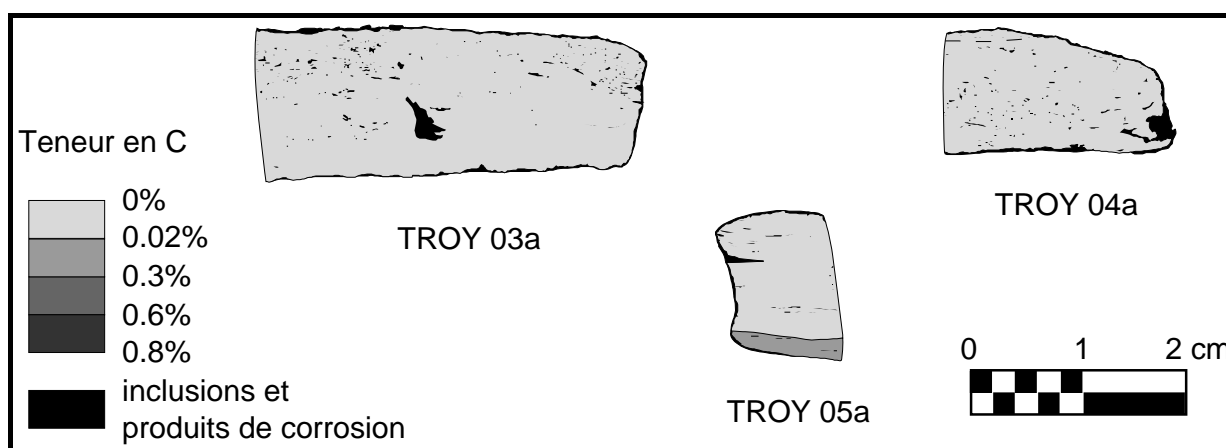


Figure 186 : Structure métallographique des barres attachant les colonnettes des arcs-boutants du chœur de la cathédrale de Troyes.

⁶²⁰ TROY 04 est à la limite de la zone indéterminée mais peut-être considéré comme un fer direct par analogie.

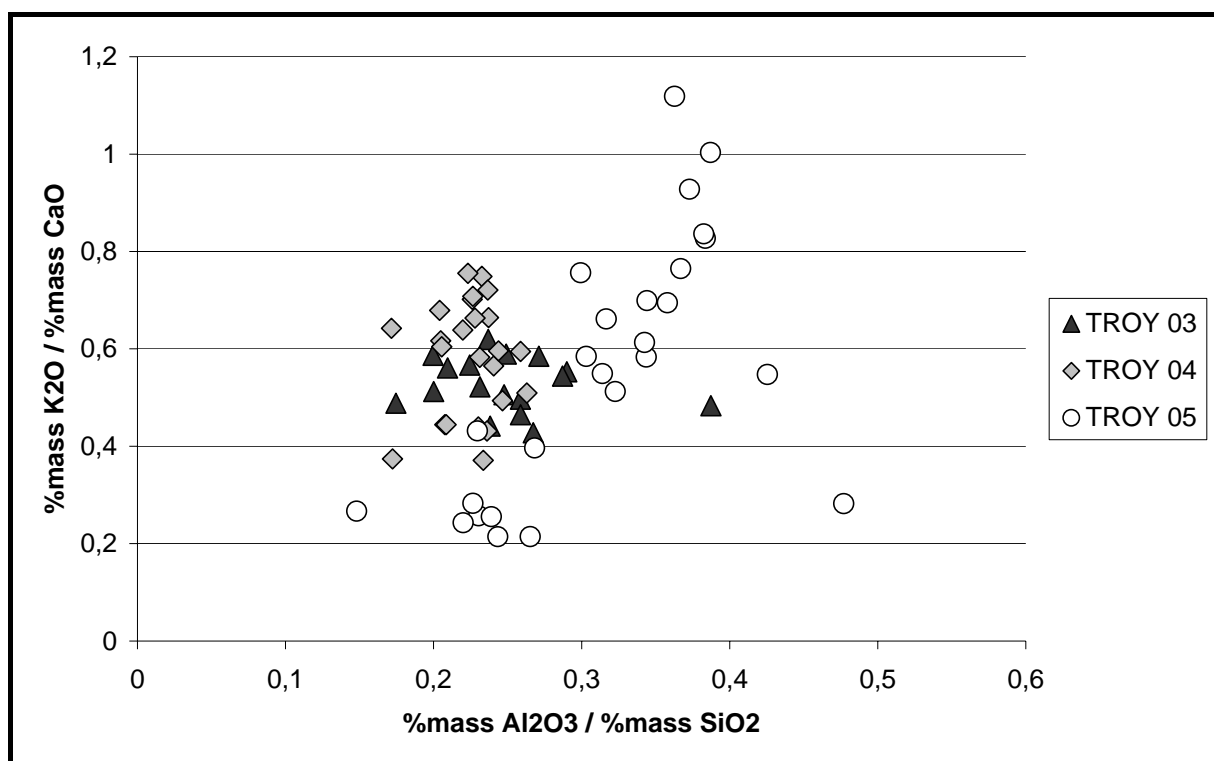


Figure 187 : Comparaison des rapports $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ et $\text{K}_2\text{O}/\text{CaO}$ pour les barres attachant les colonnettes des arcs-boutants du chœur de la cathédrale de Troyes.

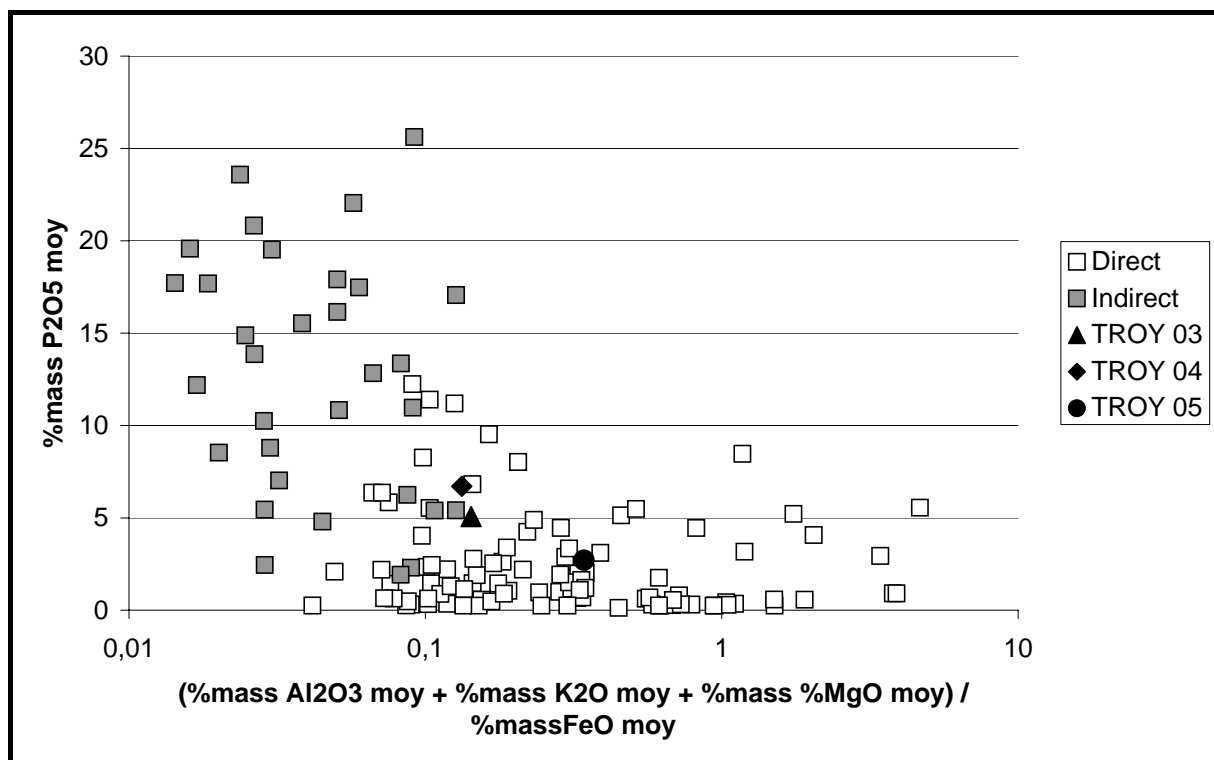


Figure 188 : Discrimination des procédés de réduction pour les barres attachant les colonnettes des arcs-boutants du chœur de la cathédrale de Troyes.

Echantillon	Datation	Teneur en C	Fer phosphoreux	Indice de propreté	Procédé de réduction	Lopin originel
TROY 03a	XIII ^e s.	< 0,02 % _{mass}	?	3,6*	Direct	1 seul lopin
TROY 04a	XIII ^e s.	< 0,02 % _{mass}	?	3,5*	Direct	1 seul lopin
TROY 05a	XIII ^e s.	0 à 0,2 % _{mass} + SB	NON ?	4,5*	Direct	Plusieurs lopins ?

Tableau 63 : Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les barres attachant les colonnettes des arcs-boutants du chœur de la cathédrale de Troyes.

II.1.5.3.2 Agrafes au sol

Tout comme la galerie intérieure du triforium, la coursive extérieure des fenêtres hautes montre plusieurs ensembles d'agrafes reliant les blocs de pierre deux à deux. Ces agrafes ou les logements qui leur correspondent sont en revanche uniquement présents du côté nord de la nef et dans les transepts, sauf au sud-ouest. Ils ne sont cependant pas présents de manière particulièrement régulière sur chaque bras du transept. Au nord-est on compte onze agrafes et une moitié de logement sans agrafe, pour trois agrafes et dix logements au sud-est et quatorze agrafes et une moitié de logement au nord-est. Dans la nef, seuls trois agrafes et deux logements ont été repérés. Toutes les agrafes sont scellées au plomb.

Les dimensions des agrafes du transept sont les suivantes : longueur comprise entre 18,5 et 24,5 cm avec une moyenne de 22,5 cm et un écart moyen de 1,5 cm ; largeur comprise entre 2,7 et 3,2 cm pour une moyenne de 2,9 cm et un écart moyen de 0,1 cm. Les très faibles écarts moyens montrent que l'on a des agrafes de dimensions très régulières. La seule mesure d'épaisseur réalisée a donné une valeur de 0,8 cm.

Les dimensions des agrafes de la nef s'en distinguent totalement, la première mesurant 17 cm de long et 1,8 cm de large et les deux autres ayant des longueurs respectives de 24 et 29 cm pour des largeurs de 4 et 6 cm. Elles ont donc sans doute une toute autre origine.

La question de l'origine de ce système d'agrafes doit également être évoquée. On peut tout d'abord s'étonner de leur présence uniquement dans le transept, qui ne constitue pas une unité chronologique à part entière, sa partie orientale étant plutôt reliée au chœur et sa partie occidentale à la nef. On constate ensuite l'apparente irrégularité de leur disposition et leur absence totale d'un côté du croisillon sud. Pourtant les pierres semblent à cet endroit d'aspect plutôt homogène, si l'on excepte bien sûr la partie méridionale du transept qui s'est effondrée au XIX^e siècle et a entièrement été refaite. On a également la marque d'au moins une

restauration postérieure à l'implantation de ces agrafes, qui a vu le remplacement d'un bloc de pierre dans le sud-est du transept. Pour finir, au nord-est, une des agrafes passe sous la dalle de pierre qui est inséré dans la structure de la grosse pile. Ceci pourrait arguer de l'ancienneté du système, mais une reprise en sous-œuvre n'est pas à exclure à cet endroit même si nous en n'avons pas vu la marque. Même si l'hypothèse d'une installation *a priori* paraît plus séduisante, il est bien difficile d'émettre une conclusion probante au sujet de ces crampons puisque tous les indices les concernant ne vont pas dans le même sens. La mise en place d'agrafes sur les allées de l'église n'est pas étrangère aux comptes de la fabrique, même si on ignore le plus souvent où ces agrafes ont été posées, et leur rôle exact. En 1412-1413, le maître maçon Thomas Michelin assoit *XIX agrappes de fer es alees haultes de l'eglise, en plusieurs lieux*, pesant en tout 28 livres de fer⁶²¹. Vingt-cinq livres de plomb sont également employées à l'ouvrage. De même, en 1417, trois crampons dont l'un pèse trois livres sont posés « sur les allées » et scellés au moyen de 10 livres de plomb⁶²². Il est difficile de comparer ce chiffre avec les masses des agrafes effectivement décelées sur ces allées puisque leur épaisseur nous est inconnue. A titre de comparaison, une agrafe de 30 cm de long pattes comprises et pesant 750 g a une section d'environ 3 cm². D'après leur masse de 1,5 livre pièce, les crampons de 1412-1413 pourraient donc peut-être correspondre aux agrafes repérées sur le transept, ce qui indiquerait qu'elles ont été mises en place postérieurement à la construction. En revanche, le crampon de 3 livres installé en 1417 semble plus proche des dimensions des agrafes de la coursive de la nef.

De même que pour les agrafes des balustrades précédemment évoquées, il n'a pas été possible de faire des prélèvements à ce niveau, les agrafes encore présentes étant encore bien scellées dans leur logement et jouant encore leur rôle d'attache. La question de l'origine de ces agrafes qui aurait pu trouver réponse dans l'ancienneté du fer qui les compose restera donc en suspens.

⁶²¹ PJ n° 42, fol. 19 v° et fol. 20 r°.

⁶²² Arch. dép. Aube, G 1561, fol. 192 r°.



Figure 189 : Agrafes sur la coursiue des fenêtres hautes de la cathédrale de Troyes. En haut, extrémité d'une agrafe qui passe sous le socle d'un pilier ; en bas à gauche, transept nord-ouest travée nord ; en bas à droite, transept nord-est travée centrale.

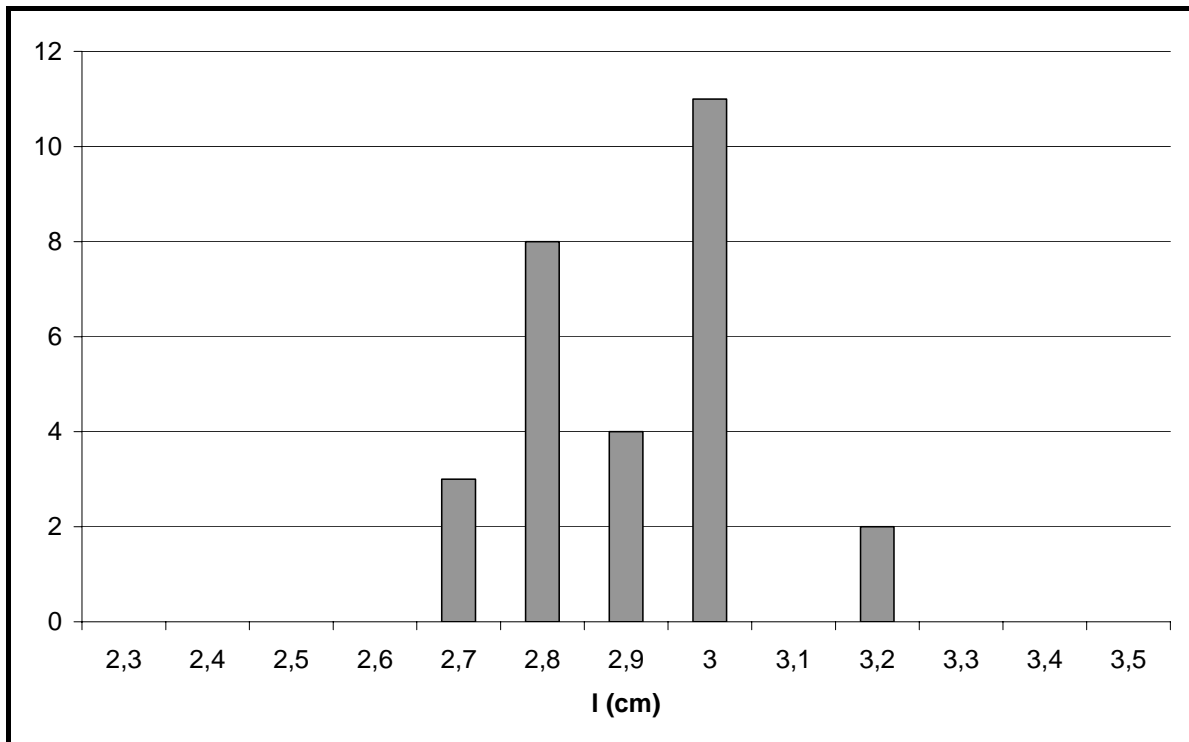
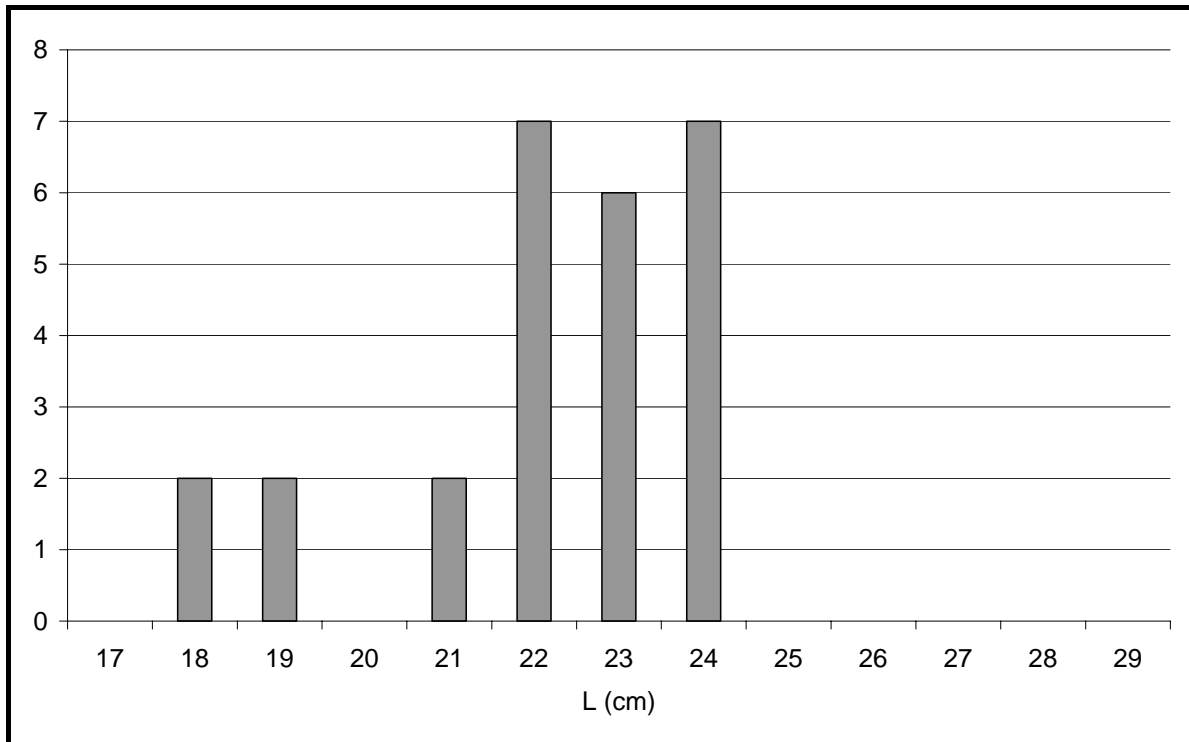


Figure 190 : Longueurs et largeurs des agrafes de la coursive des fenêtres hautes du transept de la cathédrale de Troyes.

Elément de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Barres	Attachant les colonnettes soutenant les arcs-boutant dans le chœur	10 (12)	L ≈ 70 cm Sect.= 1,5 x 2,5 cm à 2 x 3 cm	25-40 kg	XIII ^e s. (fer direct)
Agrafes et logements	Coursive extérieure du transept	28 + 12	L = 18,5 à 22,5 cm l = 2,7 à 3,2 cm e ≈ 0,8 cm	15-20 kg	XIII ^e - XIV ^e s. (?)
Agrafes et logements	Coursive extérieure de la nef côté nord	3 + 2	L = 17 à 29 cm l = 1,8 à 6 cm	-	?

Tableau 64 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au niveau des fenêtres hautes de la cathédrale de Troyes.

II.1.5.4 Les combles hauts

II.1.5.4.1 Agrafes des balustrades

De nombreux logements d'agrafes sont présents au niveau des jointures entre les pierres des balustrades de la nef et du transept occidental. Elles montrent toutes deux la marque d'importantes restaurations, auxquelles aucune agrafe n'a subsisté. Le nombre exact de logements n'a pas pu être comptabilisé avec précision, car, sur de nombreuses jointures, la présence d'un ciment gris empêche de distinguer leur éventuelle présence. Une quarantaine de logements a toutefois été décelée, ce qui correspond à près d'un tiers des jointures. Ils sont répartis de manière très irrégulière sur toute la longueur de la balustrade. Une dizaine d'empreintes d'agrafes placées horizontalement mais dans le plan vertical de la balustrade viennent s'y ajouter. En revanche, dans le chœur, où la balustrade est une modification du XIX^e siècle réalisée par E. Millet, aucune trace d'agrafe n'a été relevée⁶²³.

Ces logements sont presque tout le temps obstrués par un mortier qui empêche d'en observer les formes. Leurs longueurs sont grossièrement comprises entre 20 et 30 cm pour une largeur de 3 à 4,5 cm et une profondeur d'environ 1,5 cm, mesurée sur ceux qui n'étaient pas bouchés. Il est difficile d'apporter plus d'informations sur ce groupe d'agrafes avec le peu

⁶²³ ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, op. cit., p. 265

d'informations dont on dispose à leur sujet. D'après le nombre de logements retrouvés, il semble toutefois bien s'agir d'un système de renfort de l'intégralité de la balustrade, à l'instar des balustrades du triforium. De plus, le fait qu'elles ont été enlevées lors d'une ou plusieurs restaurations penche pour une implantation plus ancienne, peut-être contemporain de l'installation de ces balustrades, mais en l'état actuel des connaissances et en l'absence de matériel à analyser il ne peut s'agir que d'une hypothèse.

II.1.5.4.2 Attaches des boutons de clefs de voûte

Dans le dépôt lapidaire de la cathédrale se trouvent deux systèmes de fer différents pour l'attache de boutons de clefs de voûte.

Le premier se compose d'une barre de 80 cm de long et de section grossièrement carrée mesurant environ de 4 x 4 cm (cf. Figure 191). Ses bords sont chanfreinés, marques très nettes du travail des outils utilisés dans les dernières étapes de sa mise en forme. En partie centrale, les traces d'une soudure sont très nettement visibles, peut-être marque du repli d'une bande de fer sur elle-même afin de forger le corps de la pièce. Dans sa partie supérieure, la barre est percée d'un trou de forme rectangulaire, de 3 cm de haut sur 1 cm de large, permettant le passage d'une clavette. Une petite barre de fer a été enroulée et soudée autour de l'autre extrémité, formant ainsi un cercle de 9 cm de diamètre. Le bouton est pourvu en son centre d'un trou permettant d'y enfiler la barre de fer. En partie inférieure, le petit cercle de fer vient empêcher que le bouton ne tombe et en partie supérieure, la barre traverse les voûtes et une clavette est insérée dans son trou afin de bloquer le système. Les traces restantes sur la barre montrent qu'elle était scellée au plâtre. L'inscription sur le bouton de clef de voûte, initialement situé au dessus de l'orgue, date les différentes pièces de 1701 (cf. Figure 191).

Le second système, encore attaché à son bouton, est constitué d'une agrafe à quatre branches en forme de X (cf. Figure 191). Ses quatre pattes sont scellées au plomb au verso du bouton. Un crochet est soudé au croisement des branches de l'agrafe. Afin de tenir en place le bouton, il devait s'accrocher à un autre crochet pendant du croisement des voûtes. Ce système est fort probablement contemporain du précédent.

II.1.5.4.3 Eléments de charpente

La charpente principale de la cathédrale a été refaite au XVIII^e siècle. De nombreux liens de fer renforcent les assemblages entre les bois de chaque ferme.

Tous les assemblages poinçons-entrails sont consolidés par un étrier en forme de U passant sous l'entrait (cf. Figure 192). Dans sa partie haute, il est fixé dans le poinçon par une barre qui le traverse de part en part. Cette barre est soit arrêtée par une clavette, comme dans certaines fermes de la nef et dans le transept nord, soit par un boulon de forme carrée aux autres endroits.

Ensuite des pattes de fer servent à attacher les assemblages entrain-arbalétrier dans le chœur et dans les deux fermes centrales de chaque croisillon du transept. Ces pattes, fers plats en forme de U font le tour de l'arbalétrier et chaque extrémité est clouée à l'entrait par trois ou quatre clous (cf. Figure 192). Chaque assemblage est renforcé par une patte horizontale, clouée sur le dessus de l'entrait. Certains ont en plus une patte verticale, clouée sur les côtés de part et d'autre de l'entrait.

La ferme occidentale de la charpente de la nef possède, en plus des renforts précédemment cités, un grand nombre d'équerres de fer clouées dans les assemblages entre le poinçon, élément vertical et les faux-entrails horizontaux.

Le coin du boulon servant à fixer l'étrier dans le dernier entrain de la charpente du chœur au niveau du rond-point a été prélevé pour analyses métallographiques sous la référence TROY 14. La datation de ce fer est assurée par celle de la charpente aux alentours de 1700. La section analysée est entièrement ferritique et possède des inclusions fines et allongées. Ces inclusions, riches en P_2O_5 (17,5 %_{mass} en moyenne) n'ont pas de rapport constant pour aucun de leurs composés non réduits, notamment du fait de leurs trop faibles teneurs en ces éléments. Leur composition montre malgré tout qu'il s'agit d'un fer de réduction indirecte, ce qui est parfaitement compatible avec la datation proposée aux alentours de 1700 (cf. Figure 193). Il ne s'agit donc probablement pas de la récupération d'un élément d'une charpente plus ancienne.

Elément de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Logements d'agrafes	Balustrade extérieure du grand comble	> 40	L ≈ 25 à 30 cm	-	?
Barre	Attache d'un bouton de clef de voûte	1	L = 80 cm Sect. = 4 x 4 cm	10 kg	Vers 1700
Agrafe à 4 branches	Attache d'un bouton de clef de voûte	1	-	-	Moderne
Etriers, pattes, équerres	Charpente	-	-	-	Vers 1700

Tableau 65 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au niveau du grand comble de la cathédrale de Troyes.



Figure 191 : Deux systèmes d'attache de boutons de clefs de voûte dans la nef de la cathédrale de Troyes.



Figure 192 : Fers renforçant les assemblages de la charpente principale de la cathédrale de Troyes. A gauche, assemblage poinçon-entrait dans le transept nord ; à droite, assemblage arbalétrier-entrait dans le chœur.

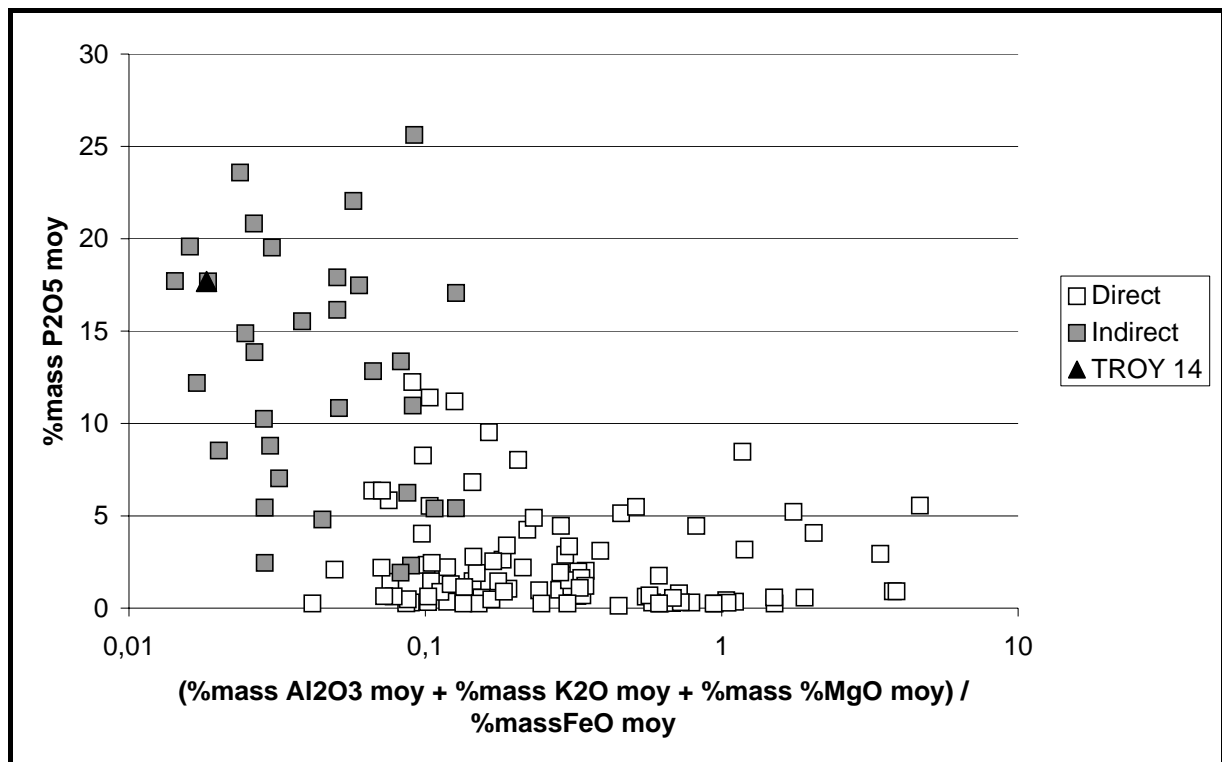


Figure 193 : Discrimination des procédés de réduction pour un boulon de la charpente de la cathédrale de Troyes.

II.1.5.5 Le portail nord

Le portail nord est probablement l'endroit de la cathédrale qui compte le plus d'éléments de fer de types différents (cf. Figure 194), c'est pourquoi nous avons décidé de lui réserver un chapitre propre. Ces divers crampons et barres de fer ne sont pas étrangers à l'histoire des réparations et embellissements successifs du portail que l'on peut suivre dans les comptes de la fabrique.

Rappelons brièvement ses péripéties :

- le portail est initialement construit au XIII^e siècle en calcaire pseudo oolithique jaune⁶²⁴, les parties hautes du transept sont ensuite élevées pendant la première moitié du XIV^e siècle⁶²⁵ ;

⁶²⁴ ROMS (C.), *La pierre de Tonnerre...*, op. cit., p. 94 et 100.

⁶²⁵ MURRAY (S.), *Building Troyes cathedral...*, op. cit., p. 29.

- la rose, vitrée en 1375-1376, s'effondre en 1390 et est remontée en 1408-1409⁶²⁶ ;
- le portail subit des restaurations vers 1401-1403 avec la reprise en sous-œuvre d'un pilier intérieur⁶²⁷ ;
- environ soixante ans plus tard, le maître maçon Antoine Colas fait consolider la rose par une aiguille de pierre car elle menace de s'effondrer⁶²⁸, les contreforts, le gâble et l'archivolte datent également de cette époque, qui voit pour finir l'ajout de sept statues disparues à la Révolution⁶²⁹ ; ces modifications du milieu du XV^e siècle sont réalisées en pierre de Tonnerre⁶³⁰.

II.1.5.5.1 Barres et Tirants de fer

II.1.5.5.1.1 Barres de l'arcature

Tout d'abord, à l'instar du triforium du transept occidental, l'arcature extérieure du portail nord à hauteur du triforium, composée d'une alternance de colonnettes simples, supports faibles et de colonnettes triples, supports forts, est renforcée par deux séries de barres de fer.

La première, installée parallèlement à l'axe de cette arcature comprend douze barres reliant entre eux l'alternance de supports forts et faibles à hauteur de leurs chapiteaux (cf. Figure 195). Les deux barres situées aux extrémités du système viennent se ficher dans la maçonnerie latérale des contreforts du portail. Tous les scellements sont réalisés au plomb. La section de ces barres est plutôt constante, de l'ordre de 2,5 cm de haut sur 0,6 cm de large. Leur longueur visible varie en revanche suivant l'écartement entre les supports : les deux barres des extrémités ont une longueur de 33 cm alors que les autres mesurent 66 cm de long. Il est cependant fort possible que comme leurs homologues du transept ouest et de la nef, il ne s'agisse en réalité que de six barres de plus grande longueur qui seraient continues au travers des supports faibles. La continuité électrique n'a pas été vérifiée à cet endroit.

La seconde série de barres est perpendiculaire à la première. Elle vient relier chaque support fort de l'arcature au mur de fond, c'est-à-dire aux piédroits des lancettes composant la galerie vitrée du triforium située sous la rose (cf. Figure 195). Les supports faibles ne portent aucune trace de logements bouchés, indiquant qu'ils n'ont jamais été pourvus de telles barres.

⁶²⁶ BALCON (S.), *La cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul...*, op. cit., p. 10.

⁶²⁷ ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, op. cit., p. 174.

⁶²⁸ ID., *Ibid.*, p. 197.

⁶²⁹ ID., *Ibid.*, p. 197.

⁶³⁰ ROMS (C.), *La pierre de Tonnerre...*, op. cit., p. 99-101

Contrairement au triforium du transept occidental, ce sont donc ici les supports forts qui possèdent ces barres de renforts. On peut comme précédemment s'interroger sur les raisons qui ont poussé l'architecte à faire un tel choix. Une hypothèse peut être émise quant à la disposition des supports de l'arcature, qui ont tendance à ne pas être bien alignés avec les meneaux et les piédroits du mur de fond. La plus grande largeur des piédroits et des supports forts permet la mise en place de barres perpendiculaires au système alors que pour les supports faibles et les meneaux, la barre aurait dû, dans la plupart des cas, être mise de biais et peut-être risquer de fragiliser davantage le système qu'elle ne l'aurait consolidé. Ces barres, au nombre de cinq, sont posées de chant. Elles sont dimensions assez constantes avec une section de 2,5 cm x 1,5 cm à 2,8 cm x 1,5 cm et une longueur visible de 56 cm, sauf pour la barre centrale qui, écourtée par la présence de la grande aiguille de pierre, ne mesure que 10 cm⁶³¹.

Comme pour les triforiums de la nef et du transept, le rôle de ces deux groupes de barres est d'empêcher les mouvements des supports de l'arcature, parallèlement et perpendiculairement aux poussées des arcs. Les poussées perpendiculaires proviendraient ici plutôt de poussées parasites du transept sur le portail.

Quant à leur origine, on remarque que ces deux séries se rattachent uniquement à des pierres du premier transept⁶³², construit en calcaire jaune et datant de la fin du XIII^e ou du début du XIV^e siècle. De tels renforts d'arcatures sont en effet fréquents pendant le Moyen Age gothique et il serait peu probable que ces éléments aient été rajoutés *a posteriori*. Aucun prélèvement pour analyses métallographiques n'a pu être réalisé pour tenter de confirmer ces hypothèses.

II.1.5.5.1.2 Barres et tirants retenant le gâble

Le gâble fait partie des éléments en pierre de Tonnerre rajoutés au milieu du XV^e siècle par le maître maçon Antoine Colas pour embellir et consolider le portail septentrional. Il se trouve rattaché à la maçonnerie par de solides barres et tirants de fer.

Au sol, deux tirants de fer, l'un à l'est, l'autre à l'ouest de l'aiguille de pierre (cf. Figure 196). Chacun commence sous le bandeau de pierre situé au pied du vitrail, au niveau du piédroit d'une lancette, et part en diagonale par rapport à la galerie pour venir s'ancrer de

⁶³¹. On note à ce propos que cette barre est fichée au niveau d'un joint entre deux pierres de cette aiguille. Il est donc très probable qu'elle soit conservée en totalité à l'intérieur de l'aiguille, qui, rappelons le, fait partie d'une consolidation postérieure.

⁶³² Excepté l'aiguille en pierre de tonnerre du XV^e siècle dont le cas a été expliqué ci-dessus.

manière presque symétrique à la base du gâble. A ce niveau, les deux tirants sont légèrement coudés et subissent une torsion de 90° sur eux-mêmes pour venir épouser la forme de la base du gâble et prendre une direction parallèle à celui-ci avant de plonger dans le sol. Ils sont scellés dans une rigole qui a été creusée dans le sol pour les accueillir et qui actuellement se trouve en très mauvais état, ce qui a permis de relever aisément leurs dimensions. Leur longueur visible est d'environ 130 cm à l'est et 120 cm à l'ouest, pour une section de 3,5 cm de large sur 2,5 cm d'épaisseur dans leur partie rectiligne⁶³³. La période d'installation de ces tirants ne fait pas le moindre doute : leur position stratigraphique dans le sol ainsi que leur rattachement direct à la maçonnerie du gâble le datent de la même période que celui-ci, donc aux alentours de 1460. Des petites esquilles de ces tirants ont pu être prélevés pour analyses métallographiques sous les références TROY 06 (tirant est) et TROY 07 (tirant ouest).

En hauteur, trois barres de fer relie le gâble à l'aiguille en pierre de Tonnerre (cf. Figure 195).

Les deux premières sont disposées de manière symétrique de part et d'autre de l'aiguille et se situent une assise de pierre sous le niveau des chapiteaux des supports de l'arcature. Elles commencent au niveau d'une jointure entre deux pierres de l'aiguille et partent selon une direction perpendiculaire à la galerie, puis se coudent en leur milieu pour venir épouser la forme du gâble où un logement reçoit leur extrémité, qui s'y insère selon un angle très fermé. Il n'a pas été possible de voir si elles y étaient recourbées comme des agrafes. Les deux scellements sont liaisonnés au plomb. Ces barres ont une longueur visible de 80 cm pour une section de 3,5 cm de haut sur 1,6 cm de large.

La troisième, située bien plus haut, passe à travers le réseau de l'arcature pour venir s'insérer dans le gâble. Elle entre dans l'aiguille de pierre perpendiculairement à son arête au niveau d'un joint entre deux pierres et arbore également une forme coudée afin de pénétrer perpendiculairement dans le gâble. Elle ne semble pas scellée au plomb contrairement aux barres précédentes et ses dimensions n'ont pas pu être mesurées du fait de sa situation.

Le rôle de ces barres et tirants est sans équivoque d'assurer la stabilité du gâble. Si l'aiguille de pierre est complètement insérée dans la maçonnerie de la rose, le gâble n'est quant à lui inséré dans la maçonnerie du portail qu'à sa base et à son sommet. Dans sa partie médiane, il n'y est attaché que par l'intermédiaire de ces différentes barres et tirants de fer. Sur le socle disposé au sommet du gâble et destiné à recevoir une statue, on remarque la présence de deux extrémités d'agrafes qui semblent jouer un rôle identique dans son

⁶³³ L'épaisseur n'a été mesurée que du côté ouest.

rattachement à la maçonnerie. On peut aisément comprendre les craintes de l'architecte de voir le gâble flamber ou se déverser une fois qu'il serait complètement chargé, notamment en sa partie haute où son diamètre est moindre. De plus, sa position en avant de la façade le rend naturellement plus exposé aux intempéries que les éléments auxquels il est rattaché et par conséquent plus fragile. Il semblerait donc logique que ces différentes barres et tirants aient été placés pendant l'élévation du gâble, permettant ainsi d'assurer sa stabilité tout au long de sa construction. Mais s'il est certain que les tirants, par leur position stratigraphique datent de la période de sa construction, on ne peut être aussi catégorique pour les barres situées en hauteur. Elles s'insèrent dans la maçonnerie de l'aiguille au niveau d'un joint de pierre, mais pas dans le gâble. De plus, la morphologie des ancrages ainsi que les coulures de plomb qui en sortent semblent plutôt indiquer que ces barres ont été mises en place après la construction de l'aiguille. Il est cependant possible que leur introduction n'y soit que de peu postérieure si la construction du gâble a suivi celle de l'aiguille. Les comptes de 1464 à 1468 concernant cette phase de la construction manquent malheureusement et seule une étude de l'ancrage de ces barres dans le gâble, lors d'une restauration, pourrait permettre de répondre à cette question.

II.1.5.5.1.3 Barres tenant les contreforts

Le gâble et l'archivolte sont entourés par deux piliers en pierre de Tonnerre, chacun surmontés d'un socle de statue. Ces piliers qui datent également du milieu du XV^e siècle sont tout comme le gâble rattachés à la maçonnerie principale au moyen de barres de fer.

Chaque pilier reçoit sur son socle la patte d'une barre de fer recourbée comme une agrafe et qui, passant au travers du réseau supérieur de l'arcature, vient s'ancrer à son autre extrémité dans un angle de la maçonnerie ancienne en calcaire jaune surplombant le passage menant aux galeries intérieures du triforium (cf. Figure 195 et Figure 197). Ces barres sont de forme légèrement courbe afin de passer au travers du réseau de pierre sans le toucher. Les scellements se font au plomb et au niveau d'une jointure entre deux pierres pour la maçonnerie ancienne. La barre du pilier est et celle du pilier ouest ne sont pas disposées de manière symétrique, comme le montre le relevé en plan. Seule la barre côté est a été mesurée ; elle a une longueur visible de 80 cm pour une section de 3 cm de large sur 2,6 cm d'épaisseur.

Le rôle de ces barres est de retenir la partie supérieure des piliers qui recevaient la statue afin d'éviter qu'elle ne déverse. Les piliers étant, contrairement au gâble, partiellement

ancrés dans la maçonnerie en leur partie médiane, il ne semblent donc pas avoir besoin d'autant de renforts visibles que ce dernier.

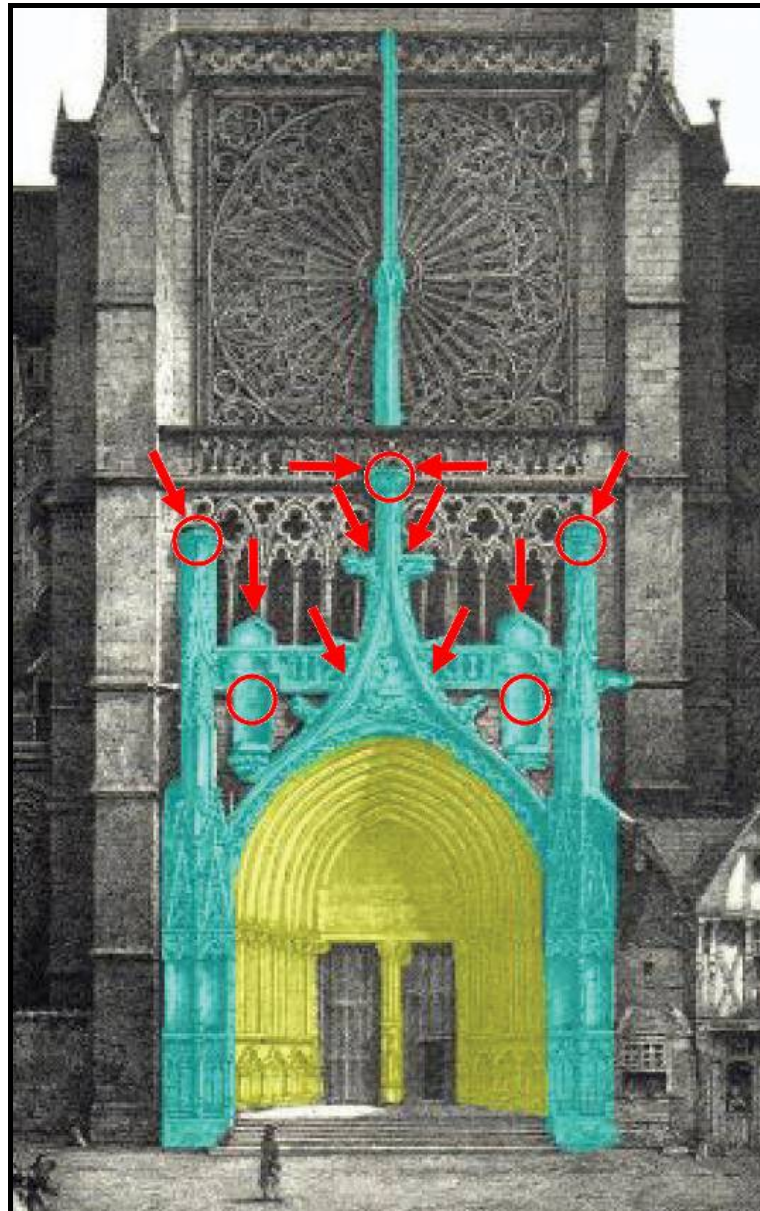


Figure 194 : Vue du portail nord de la cathédrale de Troyes représentant l'emplacement des différents éléments de fer liés au placage en pierre de Tonnerre du XV^e siècle : en jaune, portail du XIII^e siècle en calcaire pseudo-oolithique jaune ; en bleu, consolidations en pierre de tonnerre du XV^e siècle ; flèches rouges, situation des barres attachant le placage en pierre de tonnerre du XV^e siècle ; cercles rouges, emplacement des attaches et goujons de statue, d'après un dessin de Ch. Fichot repris par C. Roms⁶³⁴.

⁶³⁴ ROMS (C.), *La pierre de Tonnerre...*, op. cit., p. 100.

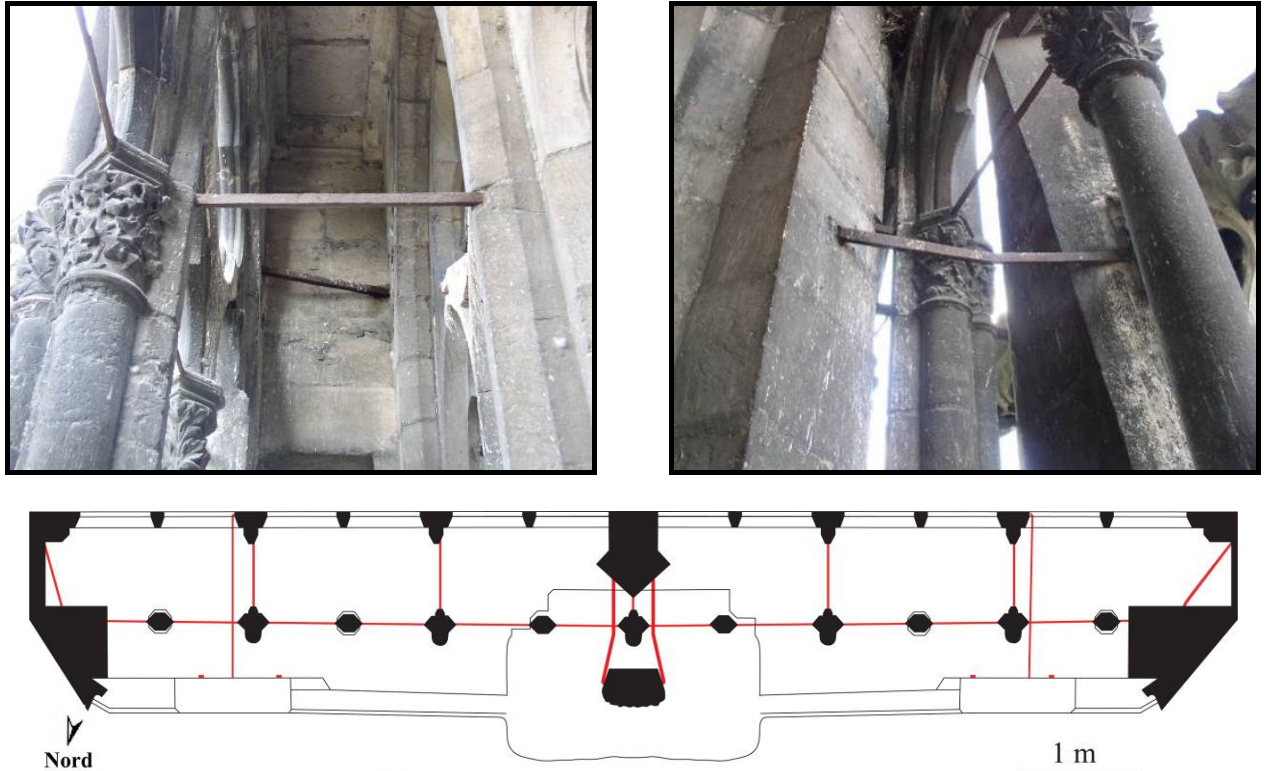


Figure 195 : Barres de fer dans le portail nord de la cathédrale de Troyes à hauteur de la claire-voie du triforium. En haut à gauche, barres de l'arcature du XIII^e siècle et au fond, barre tenant le contrefort est en pierre de tonnerre (XV^e siècle). En haut à droite, barres de l'arcature du XIII^e siècle et barres retenant la pointe du gâble en pierre de tonnerre (XV^e siècle). En bas, plan du portail nord à hauteur des chapiteaux des colonnettes de l'arcature avec les différentes barres (les tirants au sol n'ont pas été représentés pour plus de clarté).

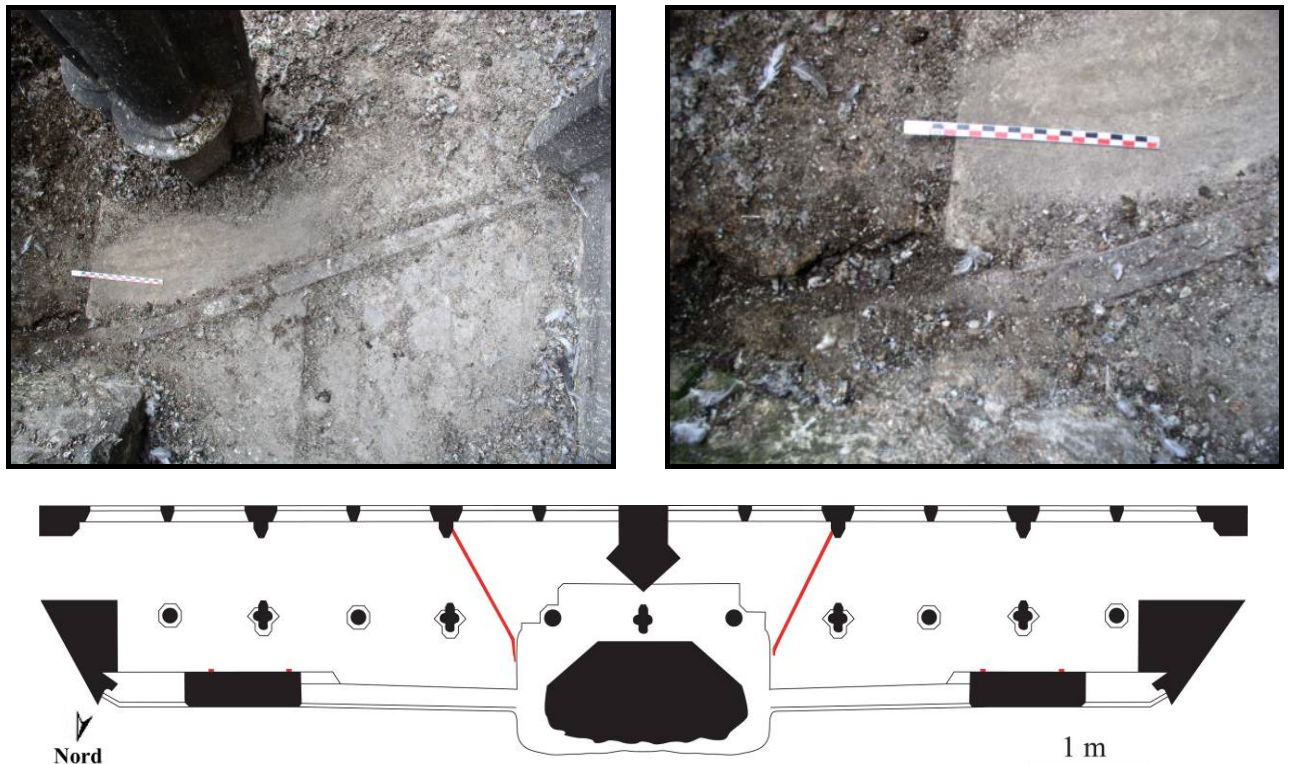


Figure 196 : Tirants au sol retenant le gâble en pierre de tonnerre du Beau Portail de la cathédrale de Troyes. En haut, tirant du côté est avec vue de la torsion du tirant. En bas, plan de situation.

II.1.5.5.1.4 Barres tenant les frontons

De part et d'autre du gâble se trouvent deux petits frontons décoratifs en pierre de Tonnerre qui surmontent la balustrade et se prolongent en leur partie inférieure par une niche pouvant accueillir une statue. De la même manière que les éléments précédents, ils sont tenus par des éléments de fer (cf. Figure 198).

La partie fragile de ces ensembles est leur partie supérieure : le petit fronton triangulaire. Aussi chacun est tout d'abord rattaché à la partie inférieure par deux énormes agrafes verticales de 145 cm de long et d'une section allant de 2,8 cm x 4,7 cm à 3,5 cm x 5 cm. En partie supérieure, ces deux agrafes s'accrochent dans le fronton ; en partie médiane, deux cavaliers en fer les plaquent à la maçonnerie ; leur partie inférieure est quant à elle plantée dans le sol. Chaque fronton reçoit également en son milieu l'extrémité d'une barre de fer de plus d'1,60 m de long qui va s'ancrer dans le piédroit d'une lancette du vitrail. Leur section est de 1,9 cm x 2 cm à l'ouest et 2,5 cm x 2 cm à l'est. Ces barres, contrairement à toutes les précédentes, ne sont pas dans un plan horizontal : leur ancrage dans le mur du fond se fait près d'un mètre plus haut que le sommet du fronton. Parmi tous les scellements, seul celui des cavaliers est réalisé au plomb ; les autres sont faits au mortier. La forte section des agrafes, le système des cavaliers ainsi que leurs arêtes saillantes font penser à un complément ultérieur à la phase de construction du milieu du XV^e siècle. Les grandes barres pourraient quant à elles peut-être dater de cette époque, mais la taille importante de leur logements dans les frontons appuierait plutôt l'hypothèse d'une mise en place également postérieure.

En 2003, C. Roms qui a étudié la fourniture et la mise en œuvre des différents types de pierres dans la cathédrale de Troyes, avait bien caractérisé la nouvelle façade en pierre de Tonnerre du XV^e siècle qui « vient s'appuyer contre l'ancienne ». Il s'interrogeait sur la manière dont « les deux maçonneries s'inséraient l'une dans l'autre » et posait la question de « l'usage de barres de fer pour les rendre solidaires »⁶³⁵. Or, la majorité des tirants de fer qui ont été identifiés est précisément liée au rattachement du placage en pierre de Tonnerre du XV^e siècle à la maçonnerie primitive. Ces données permettent donc de mieux comprendre comment le maître maçon Anthoine Colas a appréhendé la restauration de ce portail et la manière dont il l'a réalisée.

Ce portail nord compte également de nombreux autres éléments de fer dans sa structure.

⁶³⁵ ID., *Ibid.*, p. 101.

II.1.5.5.1.5 Tirant au sol des fenêtres hautes.

Un tirant de dimensions imposantes est posé sur le sol du passage aménagé dans le contrefort ouest du portail au niveau des fenêtres hautes. Il n'est que partiellement engravé dans le sol, a une section de 6,8 x 4,2 cm et est visible sur une longueur de 70 cm environ.

Malgré ses dimensions, il semble peu probable que ce tirant soit contemporain de la première période de construction au tournant des XIII^e et XIV^e siècles. En effet, la maçonnerie est très remaniée à cet endroit, notamment les pierres situées juste au dessus de son engravement du côté ouest, désormais scellées avec un ciment gris. Il y a donc manifestement eu ici une reprise en sous œuvre probablement liée à l'installation du tirant. L'important coulage de plomb qui déborde abondamment du scellement va dans le même sens. Il faut donc très certainement l'associer à une des nombreuses phases de reconstruction de la rose nord et de son portail, soit dans la première moitié du XV^e siècle, soit encore postérieurement.

A ce sujet, le compte de la fabrique de 1438-1439 mentionne l'achat de 201 livres de fer au prix de 10 l. 8 s. 4 d. t. pour faire trois gros barreaux, dont deux pèsent 84 livres et le troisième 40 livres. Ces barreaux sont mis *au bout des pieces qui font la lyaison de l'ostiau, les deux devers la tourelle neusve, et l'autre devers la viez, et le demourant dudit fer a esté employé en agrappes, clefs, grandes chevilles et petites pour ledit ouvrage*⁶³⁶. La grande dimension de ces pièces rappelle la forte section du tirant découvert sur le portail nord. De plus, ils semblent bien liés à une rose et ses tourelles attenantes. Enfin, il s'agit bien là d'un ouvrage de consolidation. Toutefois, en l'absence de plus de précision, il est difficile de savoir si « l'ostiau » en question est bien la rose nord, d'autant plus que les deux autres barreaux n'ont dans ce cas pas été découverts en prospections. L'hypothèse que ce tirant correspond à un des trois barreaux mis en place en 1438-1439 n'est cependant pas à écarter.

Le rôle précis de ce tirant, qui relie la base de la rose au contrefort adjacent, est pour le moins difficile à appréhender et n'a pas fait l'objet d'hypothèses plus concrètes, mais les considérations sur sa période d'installation en font sans nul doute un élément de renfort installé *a posteriori*. Une esquille de ce tirant a pu être prélevée pour être analysée sous la référence TROY 11.

⁶³⁶ Arch. dép. Aube, G 1562, fol. 207 v^o.

II.1.5.5.2 Agrafes et goujons

Outre cette collection de barres et tirants de fer, beaucoup de pièces de fer de plus petites dimensions, essentiellement sous la forme d'agrafes et de goujons ont été relevées, parfois visibles, mais parfois aussi totalement intégrées dans la maçonnerie. Les agrafes visibles sont essentiellement présentes sur les balustrades de cette façade septentrionale.

Au niveau du triforium, des agrafes se trouvent sur le dessus de la balustrade, mais également sur sa face verticale (cf. Figure 198). Elles sont au nombre de douze, disposées symétriquement de part et d'autre du gâble. De chaque côté, la première agrafe, la plus éloignée du gâble, située dans le plan vertical, est courbée et vient rattacher la balustrade au contrefort attenant. Les deux suivantes sont insérées de part et d'autre du petit fronton que nous avons mentionné précédemment. La quatrième lie simplement entre eux deux blocs de pierre de la balustrade. La cinquième, la seule dans le plan horizontal, est également courbée et passe sous le début du décor du gâble. De la dernière on aperçoit juste l'extrémité du scellement : située sur le décor du gâble sous lequel la cinquième venait s'insérer, elle plonge dans la maçonnerie de ce dernier. Ces agrafes sont toutes scellées au plomb. Leurs longueurs sont variables, allant de 18 à plus de 37 cm et leurs largeurs relativement fixes, entre 2,3 et 2,6 cm. Le rôle de ces agrafes est d'attacher les éléments de la balustrade entre eux et aux structures attenantes. Leur ancienneté est quant à elle moins certaine. Seules les deux agrafes qui s'insèrent dans le gâble sont, par leur position stratigraphique, probablement contemporaines de sa construction au milieu du XV^e siècle.

A l'étage supérieur, celui des fenêtres hautes, les agrafes sont uniquement présentes dans le plan vertical et non sur le dessus de la balustrade. Sur douze jointures, quatre seulement sont pourvues d'agrafes, les autres ne possédant aucune marque d'un quelconque logement. On ne peut donc pas ici parler de caractère systématique, ce qui va plutôt dans le sens d'un rajout *a posteriori*. Scellées au plomb, elles sont d'assez grandes dimensions avec une longueur comprise entre 40 et 41,5 cm et une largeur de fixe de 3,2 cm. L'épaisseur n'a pu être mesurée que sur une seule d'entre elles, dont le logement était en partie brisé : elle était de 2,1 cm. Le poids de ces agrafes est donc d'environ 2 kg. Une esquille a pu être prélevée sur celle dont le logement était brisé ; elle a fait l'objet d'analyses métallographiques sous la référence TROY 10. La composition des inclusions de cet échantillon est caractéristique d'un fer de réduction indirecte, ce qui semble bien confirmer qu'il s'agit d'agrafes issues de restaurations ou de rajouts postérieurs à la construction originelle qui est antérieure au début du XIV^e siècle.

Au même étage, on a la mention, en 1413, de la mise en place d'agrafes pesant en tout 20 livres $\frac{3}{4}$, *pour lier les pierres de l'entablement dessubz les cleres voyes devant l'ostiau neuf*⁶³⁷. La masse de ces agrafes et leur localisation sont à peu près compatibles à celles des agrafes de la balustrade. Il a cependant été impossible de vérifier si d'autres agrafes se trouvaient à nos pieds sur l'allée qui passe devant la rose et qui correspondrait peut-être davantage à « l'entablement » susnommé, car le sol est à cet endroit recouvert d'une couverture de plomb. Les hypothèses concernant la localisation précise de ces crampons sont donc fragiles. On a néanmoins ici bien la certitude qu'ils constituent un rajout ultérieur à la première période de construction.

Enfin, au niveau du grand comble, la balustrade est également pourvue d'agrafes, mais cette fois de manière plus systématique, avec cinq agrafes et deux logements sans agrafe pour les douze jointures de pierres. Certaines jointures non consolidées par une agrafe portent nettement des traces de restauration. Les agrafes, toujours coulées au plomb, ont des dimensions bien plus petites mais néanmoins très homogènes en longueur, de 15 à 18 cm, comme en section, de 1,8 cm x 0,5 cm à 2,1 cm x 0,7 cm. L'ancienneté de ces agrafes ne peut pas être certaine, mais la présence de certaines pierres de restauration sans agrafe ainsi que la marque de logements vides sur des pierres restaurées sont des preuves qu'elles ont déjà traversé des campagnes de restauration.

D'autres agrafes sont liées à des éléments verticaux, meneaux ou colonnettes ; leur disposition est étrange. Deux agrafes sont présentes sur un meneau de la galerie vitrée du triforium située sous la rose, du côté intérieur. Situées verticalement de part et d'autre du meneau, ces agrafes sont complètement scellées au plomb dans la pierre. Quatre autres sont présentes sur les deux colonnettes latérales de l'arcature extérieure du portail nord. Placées verticalement de part et d'autre du support à environ 1,50 m de hauteur, elles sont gravées dans la pierre mais seules leurs extrémités sont scellées au plomb. Ces six agrafes ne sont pas situées sur un joint de pierres et aucune trace de fissure n'a été décelée. Les questions de leur rôle et de leur origine restent donc entières.

Le Beau Portail portait également des statues, disparues à la Révolution française. Elles étaient installées dans les niches et sur les socles précédemment cités. Les marques de

⁶³⁷ Arch. dép. Aube, G 1561, fol. 25 r°. L'ostiau neuf désignant la rose nord qui a été refaite entre 1408 et 1409.

leur existence sont encore visibles à certains endroits par les éléments de fer qui servaient à les maintenir en place.

Dans chacune des deux niches situées sous les petits frontons triangulaires, on voit encore un morceau de fer sortant du mur. Il semble s'agir d'une simple barre de quelques dizaines de centimètres de long fichée dans le mur et recouverte d'une épaisse couche de plomb à son autre extrémité, là où elle pénétrait dans le dos de la statue (cf. Figure 197). Leur situation en plein milieu de la façade loin de tout plancher de circulation en a interdit une étude plus poussée.

Sur chacun des trois socles surmontant respectivement les deux piliers latéraux et le gâble, se trouvent, outre la marque des barres de fer les reliant à la maçonnerie, les restes d'un goujon de section grossièrement carrée et scellé verticalement au plomb dans le socle (cf. Figure 197). Ces trois goujons qui servaient à maintenir les statues en place ont sans doute été coupés lorsque les statues ont été retirées. Le goujon du socle central a pu faire l'objet de mesures en passant par l'étage des fenêtres hautes. Il s'agit d'un gros goujon de 4,6 x 4 cm de section. En revanche, les goujons des socles latéraux, situés un peu plus bas, n'ont pas pu être approchés.

La datation de ces goujons au milieu des années 1460 est assurée par celle des statues installées à cette époque. Si on ignore l'année précise de leur installation à cause d'une lacune dans les comptes entre 1464 et 1468, on sait qu'elle se situe précisément dans cette période, entre 1463, année qui voit le forestage et le charroi de pierres de Tonnerre depuis les carrières jusqu'au chantier de la cathédrale, pour *faire statues et tabernacles au Beau Portail*⁶³⁸ et 1468, où tout travail au Beau Portail est déjà terminé. Un prélèvement sous forme de tranche a été réalisé pour analyses métallographiques sur le goujon central sous la référence TROY 09.

Mais ces agrafes et goujons visibles, même si leur emploi semble acquérir un caractère systématique au niveau des balustrades, ne représentent que des petites quantités de fer et masquent surtout un emploi beaucoup plus important : les agrafes ou crampons intégrés à la maçonnerie. Certes invisibles, sauf lors d'une restauration, leur mise en œuvre peut parfois être appréhendée dans les comptes de la fabrique. Deux années comptables nous éclairent à ce sujet pour le Beau Portail.

Tout d'abord l'année 1409-1410, lors de la réfection de la rose, où le chapitre de maçonnerie est intitulé : *Despence pour massonnage et premierement pour l'ostiau nuef et*

⁶³⁸ Arch. dép. Aube, G 1564, fol. 43 r°.

*asseoir, soder et encramponner les cleres voyes dess[oubz] ledit ostiau et la viz et pilier qui sont aux deux costés et tant pour massonerie que forge et autres matieres ad ce necessaires*⁶³⁹. Les dépenses pour forge qui s’ensuivent sont présentées dans le Tableau 66. On y voit que le serrurier Jean Bon Bœuf fournit, en cinq fois, au moins 214 livres de fer, c’est-à-dire plus de 100 kg, en crampons et goujons, payés 8 d. t. la livre, soit un total de 7 l. 2 s. t. La fabrique achète également plus de 176 livres de plomb à la Lambinette, probablement pour sceller ces agrafes et goujons de fer. De tels éléments ont effectivement été retrouvés lors des réparations faites au portail nord en 1949, pour lesquelles un mémoire de maçonnerie fait état du « descellement des anciennes armatures en fer placées dans les piliers »⁶⁴⁰.

La deuxième année, 1463-1464, se trouve pendant la deuxième phase de rénovation du Beau Portail qui lui donnera l’aspect sous lequel nous le connaissons actuellement. On a pour cette année une mention d’achat au serrurier Jaquinot de *III^C I quarteron fer en crampons pour le pillier du beau portail à VII d.t. la livre, valent IX l. IX d. VII d. t.*⁶⁴¹ Le pilier en question est sans doute l’aiguille de pierre centrale, construite à cette époque, et pour laquelle les maçons taillent des pierres la même année⁶⁴². Elle aura donc nécessité pour son élévation la mise en œuvre d’au moins 160 kg de fer en crampons.

Eléments de fer	Masse	Coût	Destination
Crampons	71 livres	47 s. t.	?
Crampons	7 livres	4 s. 8 d. t.	Pour le dit ouvrage
Crampons et goujons	30 livres	20 s. t.	Pour les claires-voies
Crampons	50 livres	33 s. 4 d. t.	Pour le pilier dessus dit
Crampons et goujons	56 livres	37 s. t.	Petit pilier des claires-voies
Total	214 livres	7 l. 2 s. t.	

Tableau 66 : Crampons et goujons achetés pour la réfection de la maçonnerie du portail nord de la cathédrale de Troyes en 1409-1410⁶⁴³.

⁶³⁹ PJ n° 39, fol. 125 r°.

⁶⁴⁰ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 0080/010/0078.

⁶⁴¹ Arch. dép. Aube, G 1564, fol. 226 r°.

⁶⁴² Il sont mentionnés comme « taillant et maçonnant au pillier dudit portail », les deux piliers latéraux n’étant qu’au stade de leurs fondations, Arch. dép. Aube, G 1564, fol. 186 v° et fol. 226 r°.

⁶⁴³ D’après PJ n° 39, fol. 125 r°.



Figure 197 : Goujons attachant les statues sur les socles et dans les niches du Beau Portail de la cathédrale de Troyes.



Figure 198 : Divers emplois du fer au niveau de la claire-voie du triforium du Beau Portail de la cathédrale de Troyes. A droite, tirants et agrafe d'attache du fronton ; à gauche, agrafes sur la balustrade.

Les quantités qui sont ici en jeu sont bien plus importantes que les quelques agrafes visibles sur les balustrades, et l'ancienneté de ces crampons ne peut pas être remise en cause. Cependant, ils sont difficilement repérables en prospection, même à l'aide d'un détecteur de métal, à cause de leur profondeur, ou encore ici de la proximité immédiate du vitrail.

II.1.5.5.3 Les barres en linteau

A hauteur des hauts combles, la petite tourelle qui ceint le contrefort est du Beau Portail est percée de deux portes pour permettre la circulation des personnes venant de l'escalier, vers le transept d'une part et vers le chœur d'autre part. Les deux linteaux de ces passages sont renforcés par une barre de fer, longue de 35 à 40 cm et ayant une section de 5 cm de large sur 1 cm d'épaisseur. Ces barres sont complètement engravées dans le linteau mais leur face inférieure n'est pas recouverte de plomb. Avec le détecteur de métal, il a de plus été possible de déterminer que ces barres étaient ancrées d'au moins 25 cm dans les piédroits de ces portes. La barre du linteau de porte donnant face au sud est courbée à son extrémité orientale pour épouser la forme de la tourelle.

Si de telles barres pourraient être d'origine médiévale, comme c'est le cas dans d'autres bâtiments, tel le donjon du château de Vincennes, quelques indices vont ici dans le sens contraire⁶⁴⁴. En effet, d'une part la rectitude du profil de ces barres et leur grande section et d'autre part les traces de reprises de la maçonnerie, montrant très nettement que la pierre constituant le linteau, voire même celles qui constituent les piédroits, sont issues de restaurations, sont des indices appuyant incontestablement le fait que ces barres ont été rajoutées ultérieurement. Peut-être sont-elles venues remplacer des barres plus anciennes, mais aucun indice ne permet de le confirmer ou de l'infirmer.

II.1.5.5.4 Analyses métallographiques

Cinq échantillons ont donc été prélevés pour analyses sur ce portail septentrional, dont trois proviennent de la consolidation effectuée dans les années 1460. Il s'agit de trois esquilles de tirants, et une d'agrafe et de la section transverse d'un goujon (cf. Tableau 67).

⁶⁴⁴ CLEMENT-CHARPENTIER (S.), « Le rôle des éléments métalliques dans la conception du donjon de Vincennes », dans CHAPELOT (O.), dir., *Du projet au chantier. Maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre aux XIV^e-XVI^e siècles*, Paris, EHESS, 2001, p. 405-431.

Référence	Description	Localisation	Datation
TROY 06	Tirant attachant le gâble central du beau portail	Au sol du triforium extérieur du portail nord, côté est	Vers 1460
TROY 07	Tirant attachant le gâble central du beau portail	Au sol du triforium extérieur du portail nord, côté est	Vers 1460
TROY 09	Goujon	Sommet du pilier central du portail nord	Vers 1460
TROY 10	Fragment d'agrafe	Balustrade du portail Nord au niveau des fenêtres hautes.	? (Réfection) sinon antérieure au XIV ^e s.
TROY 11	Fragment de tirant	Sol des fenêtres hautes.	Rajout ultérieur (1438-1439 ?)

Tableau 67 : Echantillons analysés sur le Beau Portail de la cathédrale de Troyes.

Toutes les sections observées sont majoritairement ferritiques (cf. Figure 200). Certaines, comme TROY 10a, le sont totalement. D'autres possèdent quelques zones carburées dont les teneurs en carbone sont très variables suivant les échantillons : pour TROY 06a et TROY 07a elles titrent au maximum 0,1%_{mass} de carbone, 0,3 %_{mass} dans le cas de TROY 11a. Seule la section TROY 09a montre quelques endroits complètement perlitiques atteignant donc la composition de l'eutectoïde, soit 0,8 %_{mass} de carbone (cf. Figure 201 et Figure 202). La répartition de ces zones carburées est aléatoire sur tous les échantillons (cf. Figure 199). Aucune soudure, aucune structure de trempe, de cémentation ou d'un autre traitement de forge n'a pu être mis en évidence. En revanche, des structures fantômes marquant certains fers phosphoreux pour des teneurs comprises entre 1000 et 4000 ppm ont été observées sur les sections TROY 06a et 07a (cf. Figure 204).

Les inclusions sont quant à elles très diverses d'une section à l'autre. Si des indices moyens de propreté inclusionnaire selon la modification de la norme AFNOR n'ont pu être évalués, car aucune des sections n'a été découpée dans le sens longitudinal, on note toutefois que, contrairement aux quatre autres échantillons qui possèdent de nombreuses inclusions de toutes tailles (cf. Figure 203), TROY 06a ne présente que de petites inclusions en nombre assez limité. La composition de ces inclusions varie également beaucoup d'un échantillon à l'autre. Les rapports des composés non réduits de ces échantillons ne sont pas souvent étudiables, notamment sur les spécimens TROY 07a, 10a et 11a, car les teneurs en ces éléments sont le plus souvent à peine supérieures à la limite de détection. Pour TROY07a, le rapport CaO/SiO₂, uniques composés présents en quantités suffisantes, est toutefois stable. Dans tous les cas, la présence ou l'absence d'alignement sur des petits échantillons comme les quatre esquilles analysées ne permet pas de conclure quant à la présence d'un fer neuf ou d'un

fer recyclé. En effet, une homogénéité sur une partie infime d'un objet ne peut permettre de statuer pour l'ensemble de celui-ci, surtout lorsqu'il s'agit de grosses barres ou tirants comme c'est le cas pour trois d'entre eux. De surcroît, la petite taille de la surface totale étudiée peut exacerber « l'effet de pépite » d'inclusions situées à un endroit de l'objet. En conséquence, seuls les rapports de la section de goujon TROY 09a qui, quelques inclusions mises à part, sont assez bien conservés avec des coefficients de détermination R^2 compris entre 0,5 et 0,9, peuvent donc être considérés comme caractéristiques. Il s'agit donc ici vraisemblablement d'un métal neuf. Cette diversité dans la composition des inclusions entre les différents spécimens se retrouve également dans la détermination de la filière de réduction de laquelle ces fers sont issus.

Pour les échantillons, TROY 06, 07 et 09 dont la datation est assurée par le bâti et les textes dans les années 1460, la détermination des procédés de réduction permet d'évaluer la diffusion de la filière indirecte dans la région troyenne à cette période. La composition des inclusions de TROY 07, esquille issue la barre occidentale du gâble est caractéristique du procédé indirect ; en revanche, les inclusions de TROY 06 qui provient de la barre orientale et de TROY 09 le goujon de statue sont typiques des fers de réduction directe. Ainsi, TROY 06a et TROY 07a qui sont issus d'objets identiques, des tirants, ayant exactement la même fonction et la même situation dans l'édifice, à savoir retenir le gâble du Beau Portail, et qui de surcroît présentaient une structure métallographique similaire de fer phosphoreux non carburé, sont d'origines complètement différentes. TROY 07 constitue une preuve d'affinage de la fonte au milieu du XV^e siècle pour la fourniture d'un chantier troyen, date qui est en parfaite compatibilité avec les études historiques, puisque celle de J. Rouillard cite le cas d'une affinerie à Saint-Liébaud (Estissac) dans la vallée de la Vanne dès 1377⁶⁴⁵. Ces trois échantillons donnent donc un exemple de la coexistence des deux procédés au milieu du XV^e siècle. De plus, fers du procédé direct et de la filière indirecte sont apparemment destinés sans distinction aux mêmes utilisations, comme le montre l'exemple de TROY 06 et 07. On a de plus ici encore nécessairement des origines différentes pour ces fers, les fers de réduction directe pouvant toutefois être le résultat d'un réemploi, mais pas d'un recyclage par corroyage d'éléments différents, vu l'homogénéité des rapports pour TROY 09a.

La problématique est bien différente pour les échantillons TROY 10 et TROY 11 dont la datation n'est pas assurée par le bâti : il s'agit dans ce cas plutôt de tenter de déterminer la période de mise en œuvre de ces éléments par l'intermédiaire de la filière de réduction. Dans

⁶⁴⁵ ROUILLARD (J.), *L'homme et la rivière...*, op. cit., p. 400-401.

les deux cas, les inclusions sont caractéristiques de la filière de réduction indirecte, ce qui confirme bien les hypothèses établies par observation du bâti, à savoir qu'il s'agit d'éléments issus de rajouts postérieurs à la construction de cette partie de l'édifice, qui est assurément antérieure au milieu du XIV^e siècle. Evidente pour le tirant dont TROY 11 est issu, cette éventualité avait également été évoquée pour le jeu d'agrafes d'où provient TROY 10. Cependant, puisque les établissements sidérurgiques fonctionnant selon la filière indirecte sont potentiellement implantés dans la région au moins depuis la fin du XIV^e siècle⁶⁴⁶, la caractérisation du procédé ne suffit pas pour formuler une hypothèse quant à la période d'installation du tirant et de la série d'agrafes : il pourrait aussi bien s'agir de travaux de la fin du Moyen Age, comme ceux mentionnés en 1438-1439 pour TROY 11, ou du début de la période moderne que du XIX^e siècle. De plus, les deux éléments ne sont pas liés si ce n'est par leur proximité dans l'édifice et proviennent probablement de deux campagnes de restauration différentes.

Echantillon	Datation	Teneur en C	Fer phosphoreux	Indice de propreté	Procédé de réduction	Lopin originel
TROY 06a	Vers 1460	0 à 0,1 % _{mass}	OUI (SF)	-	Direct	1 seul lopin ?
TROY 07a	Vers 1460	0 à 0,1 % _{mass}	OUI (SF)	-	Indirect	?
TROY 09a	Vers 1460	0 à 0,8 % _{mass}	?	-	Direct	1 seul lopin
TROY 10a	?	< 0,02 % _{mass}	?	-	Indirect	?
TROY 11a	?	0 à 0,3 % _{mass}	?	-	Indirect	?

Tableau 68 : Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les éléments prélevés sur le Beau Portail de la cathédrale de Troyes.

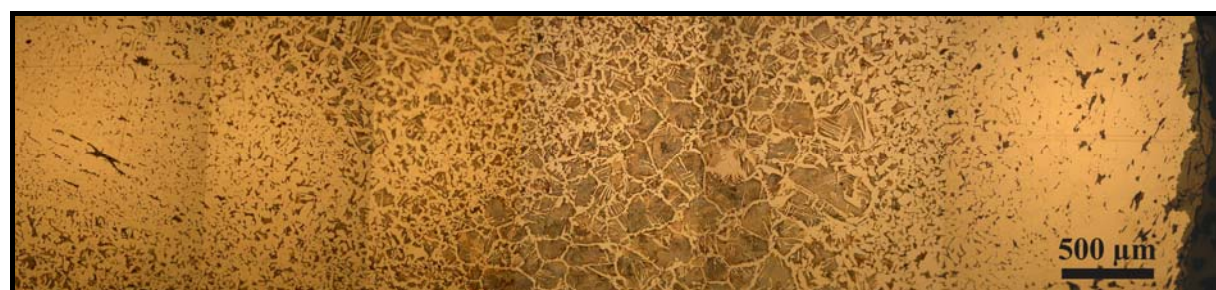


Figure 199 : Micrographie de l'échantillon TROY 09a montrant une structure hétérogène, attaque Nital.

⁶⁴⁶ ID., *Ibid.*, p. 401.

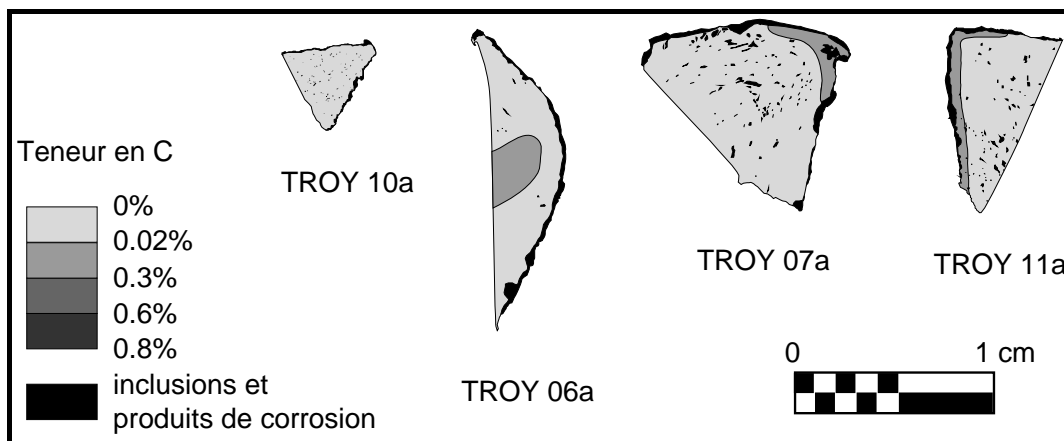


Figure 200 : Structure métallographique des échantillons TROY 06a, 07a, 10a et 11a, prélevés sur le Beau Portail de la cathédrale de Troyes.

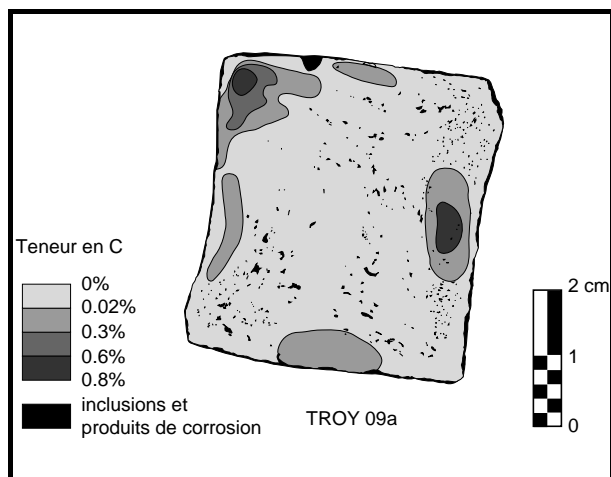


Figure 201 : Structure métallographique de l'échantillon TROY 09a.

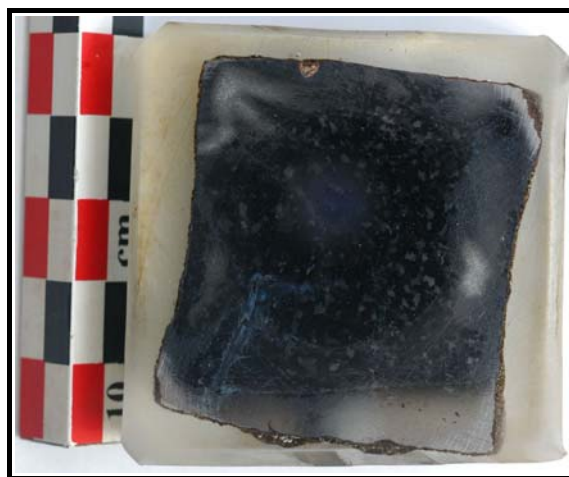


Figure 202 : Echantillon TROY 09a, attaque Nital.

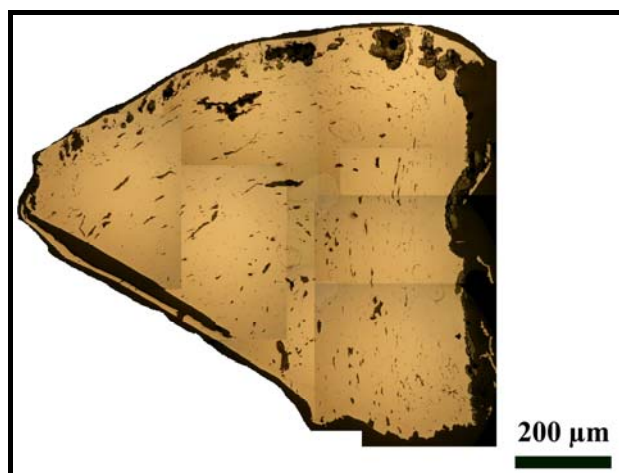


Figure 203 : Echantillon TROY 07a.

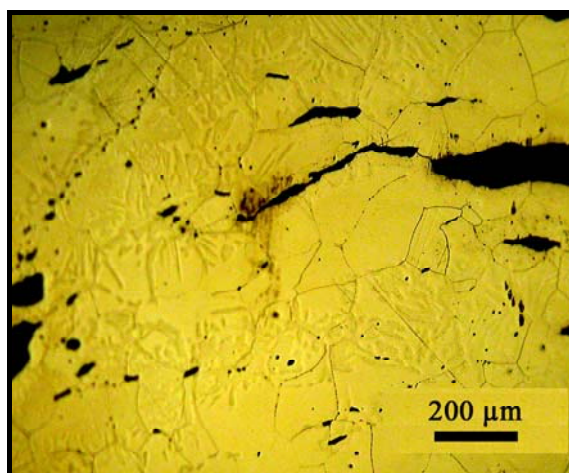


Figure 204 : Structures fantômes, section TROY 07a, attaque Nital.

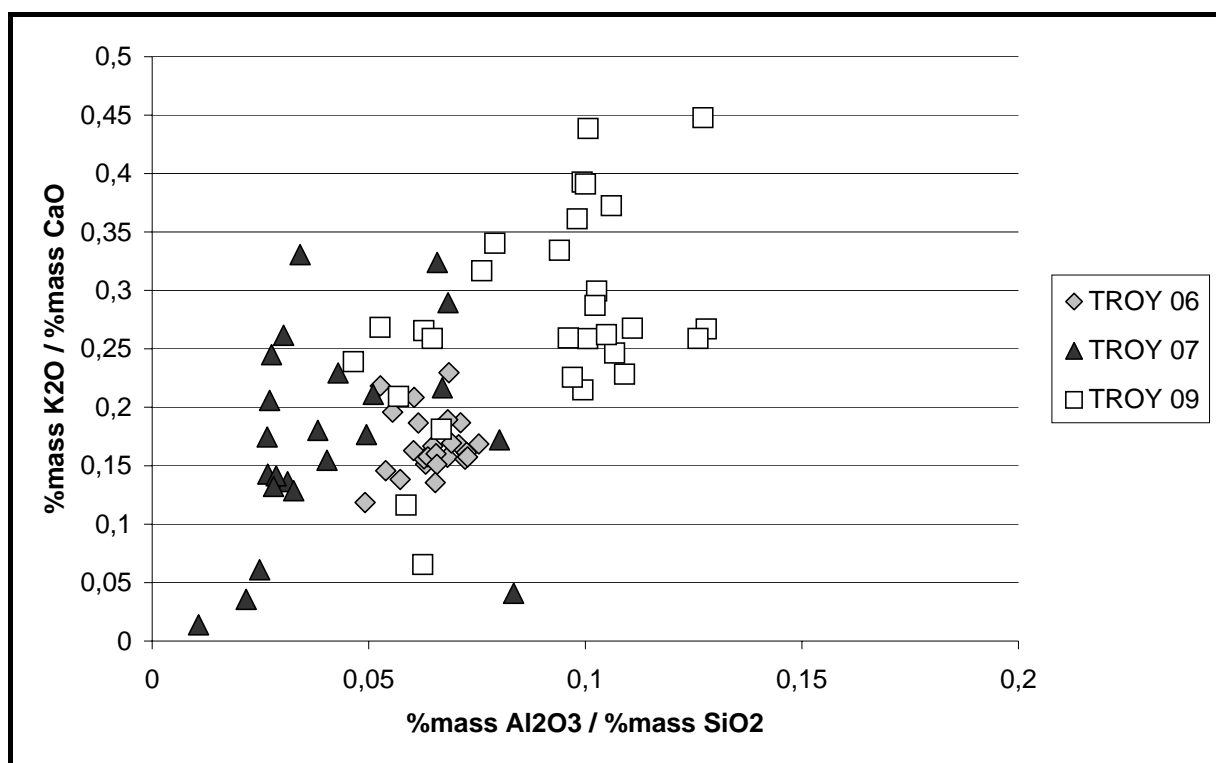


Figure 205 : Comparaison des rapports $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ et $\text{K}_2\text{O}/\text{CaO}$ pour les éléments prélevés sur le Beau Portail de la cathédrale de Troyes.

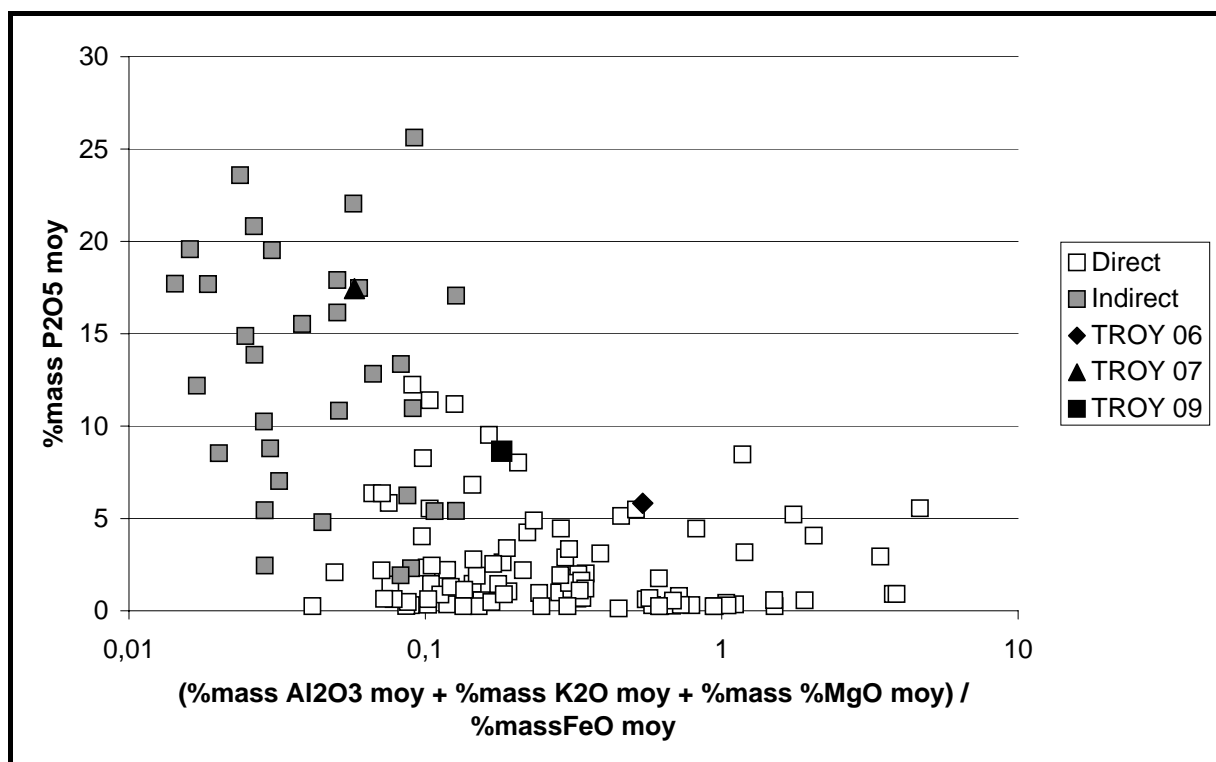


Figure 206 : Discrimination des procédés de réduction pour les éléments prélevés sur le Beau Portail de la cathédrale de Troyes.

Élément de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Barres	Arcature extérieure à hauteur du triforium.	12	L = 33 à 66 cm Sect. ≈ 2,5 x 0,6 cm	≈ 7 kg	XIII ^e -XIV ^e s.
Barres	Perpendiculaires à l'arcature extérieure à hauteur du triforium.	5	L = 56 cm l = 2,5 x 2,8 cm e ≈ 1,5 cm	≈ 8 kg	XIII ^e -XIV ^e s.
Tirants	Attachant le gâble au sol	2	L = 120 à 130 cm Sect. ≈ 3,5 x 2,5 cm	≈ 20 kg	Milieu XV ^e s.
Barres	Attachant le gâble en hauteur à l'aiguille de pierre de la rose	3	L ≈ 80 cm Sect. ≈ 3,5 x 1,6 cm	≈ 10 kg	Milieu XV ^e s.
Barres	Attachant les contreforts latéraux en hauteur	2	L ≈ 80 cm Sect. ≈ 3 x 2,6 cm	≈ 10 kg	Milieu XV ^e s.
Agrafes	Attachant les frontons	4	L ≈ 145 cm Sect. ≈ 3 x 5 cm	≈ 70 kg	?
Barres	Attachant les frontons à la claire-voie	2	L ≈ 160 cm Sect. ≈ 2 x 2 cm	≈ 10 kg	?
Crampons et goujons	Claire-voie et « piliers » du portail nord	-	-	≈ 100 kg	1409-1410
Crampons	« Pilier » (aiguille de la rose)	-	-	≈ 150 kg	1463-1464
Tirant	Passage à l'ouest de la rose	1	L ≈ 70 cm Sect. ≈ 6,8 x 4,2 cm	≈ 15 kg	Réfection (fer indirect)
Agrafes	Balustrade extérieure au niveau du triforium	12	L = 18 à 37 cm l = 2,3 x 2,6 cm	-	Milieu XV ^e s. (?)
Agrafes	Balustrade extérieure au niveau de la rose (dans le plan vertical)	4	L = 40 à 41,5 cm l = 3,2 cm	≈ 8 kg	Réfection (fer indirect)
Agrafes et logements	Balustrade extérieure au niveau du grand comble	5 + 2	L = 15 à 18 cm Sect. ≈ 2 x 0,5 cm	≈ 1 kg	?
Agrafes	Meneau et colonnettes de la claire-voie du triforium	6	-	-	?
Barre de statue	Niches situées sous les frontons	2	-	-	Milieu XV ^e s.
Goujons	Sur les contreforts latéraux et le gâble central.	3	-	-	Milieu XV ^e s. (fer direct)
Barres	Linteaux de la tourelle sur le contrefort est du portail	2	L = 85 à 90 cm Sect. ≈ 1 x 5 cm	≈ 7 kg	?

Tableau 69 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au niveau du Beau Portail de la cathédrale de Troyes.

II.1.5.6 Le Portail sud

Le portail sud a fait l'objet d'une reconstruction au milieu du XIX^e siècle car il se détachait de la maçonnerie du transept. Il avait par ailleurs fait l'objet de la pose d'un chaînage pour sa consolidation en 1713⁶⁴⁷. Les structures actuellement visibles datant de la période contemporaine, elles ne seront que brièvement évoquées.

II.1.5.6.1 Les barres des arcatures

Chaque support de l'arcature du portail sud à l'étage du triforium est rattaché au mur par une barre de fer, soit un total de onze barres. D'après leur disposition, ces barres sont destinées à empêcher le déversement vers l'extérieur des supports de l'arcature pouvant entraîner sa ruine. Ce système, similaire à celui décrit pour les autres parties du triforium, n'y est toutefois pas identique. Tout d'abord, aucune barre ne renforce l'arcature dans son sens longitudinal ; ensuite, chaque support, qu'il soit fort ou faible possède une barre, contre un support sur deux dans le reste du transept. L'arcature du triforium dans la dernière travée du transept sud reproduit exactement le même système que sur le portail, autre preuve qu'ils ont bien été reconstruits à la même période.

Les mesures qui ont été prises sur les cinq barres du croisillon sud, côté ouest, donnent une section moyenne d'environ 4,2 x 1,7 cm, nettement différente des sections observées au portail nord ou dans le reste du triforium. De datation beaucoup plus tardive, l'origine de ces barres du portail sud est donc bien différente.

II.1.5.6.2 Les barres au plafond

Dans cette même galerie extérieure du triforium du portail sud, une autre série de barres retient la partie supérieure de l'arcature, juste en dessous du plafond qui constitue le plancher de l'étage supérieur. Ces barres, également présentes au nombre de onze, sont situées dans l'axe des précédentes. Leur disposition leur fait jouer le double rôle de soutien d'élément de plafond et de maintien de l'arcature en venant doubler la série de barres de l'étage inférieur. La maçonnerie constituant le plafond est relativement peu chargée et en considérant la nature des désordres qui ont conduit à la reconstruction du transept sud au

⁶⁴⁷ Voir le chapitre sur les chaînages.

milieu du XIX^e siècle, il serait plus probable que ces barres aient pour fonction principale de soutenir l'arcature en empêchant son déversement.

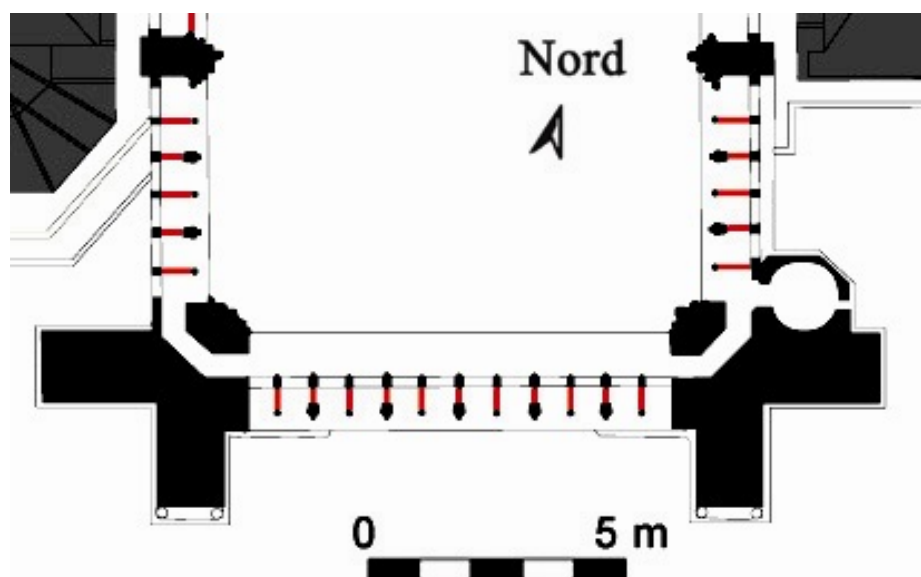
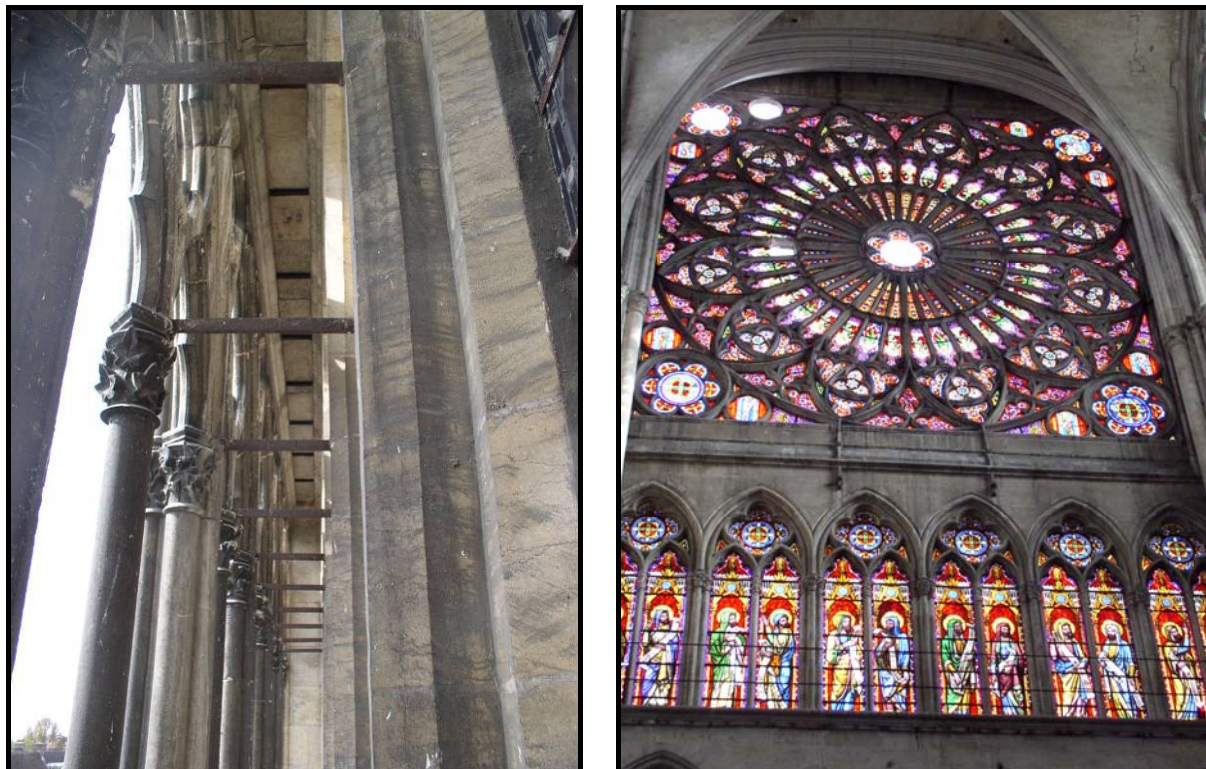


Figure 207 : Eléments de fer sur le portail sud de la cathédrale de Troyes. En haut à gauche, barres de l'arcature et au plafond du triforium du portail méridional ; en bas, plan de situation de ces barres. En haut à droite, armature de la rose sud

II.1.5.6.3 *Le cerclage de la rose*

La rose sud est actuellement ceinte d'un important chaînage de fer, qui épouse les nervures fortes de la rosace et vient se raccrocher à la maçonnerie par deux fois au centre de chaque côté du carré dessiné par la rose. Comme tous les autres éléments du portail sud, ce chaînage date de l'importante restauration du XIX^e siècle.

Élément de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Barres	Arcature extérieure au niveau du triforium	11	-	-	XIX ^e s.
Barres	Plafond de la galerie extérieure au niveau du triforium	11	-	-	XIX ^e s.
Cerclage	Rose sud	1	-	-	XIX ^e s.

Tableau 70 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au niveau du portail méridional de la cathédrale de Troyes.

II.1.5.7 *La façade occidentale et la tour Saint-Pierre*

Ultimes étapes de la construction de la cathédrale de Troyes, le portail occidental réalisé par Martin Chambiges, et la tour Saint-Pierre, œuvres du XVI^e et du début du XVII^e siècle, ont également montré l'utilisation de nombreux éléments de fer.

II.1.5.7.1 *La façade occidentale*

Dans un rapport de restauration de la façade occidentale, daté du 20 avril 1984, l'architecte en chef J.-M. Musso note de nombreux éclatements de pierre ainsi que des exfoliations dus à la présence de fers de construction⁶⁴⁸. Il note que ces désordres « touchent les réseaux des gâbles et balustrades » de la façade. Les restaurations prévoient un démontage complet de ces éléments avec purge totale des goujons métalliques corrodés, en particulier au niveau des balustrades, des gâbles des trois portails et de la rose ouest⁶⁴⁹.

⁶⁴⁸ Archives E. Pallot, « Rapport n° 584 », par J.-M. Musso, 20 avril 1984.

⁶⁴⁹ Archives E. Pallot, « Etude préalable à la restauration de la façade occidentale », juin 2003, Historique de la cathédrale Troyes, p. 203.

Des goujons ont également été retrouvés en prospection à l'intérieur des pierres qui constituent le décor en fleur de lys de la façade. Il semble que les feuilles latérales de chaque fleur de lys sont ancrées dans leur socle au moyen d'un goujon de fer scellé au plomb. De même pour les meneaux du décor sculpté (cf. Figure 208). L'un d'eux, scellé dans un meneau ayant chu, a pu être prélevé et mesuré. Sa section, de forme rectangulaire, est de 1 cm x 1,7 cm. Il porte la référence TROY 12.

Un frontispice de pierre, élevé au centre de la façade ouest à l'étage des combles hauts possède également la marque d'armatures de fer, agrafes et goujons, parfois scellés au plomb, parfois dans un mortier chamotté. Ce frontispice, déjà remonté en 1844, est tombé lors de la tempête de 1999, ce qui laisse apparaître les différents éléments (cf. Figure 208)⁶⁵⁰. Un des goujons a pu être prélevé sous la référence TROY 13 pour analyse. Une de ses extrémités se trouvait encore prise dans une gangue de plomb. Il présente une section carrée de 2 cm x 2 cm pour une longueur comprise entre 21 et 30 cm. Dans son projet de restauration E. Pallot note par ailleurs que « les ouvrages de sculpture, objets des restaurations du XIX^e siècle » sont « abondamment pourvus de goujons métalliques »⁶⁵¹. Il prévoit de les remplacer par des goujons en résine ou en acier inoxydable.

En revanche, si la présence de nombreuses niches de statues pourrait supposer l'emploi d'attaches pour y maintenir des statues en place, comme cela a été vu pour le portail nord, on remarque qu'elles ne sont en général pas pourvues d'un logement permettant d'y ancrer un crochet. Ceci est confirmé par le fait que le décor sculpté de la cathédrale était inachevé à la Révolution, période à laquelle toutes les statues de cathédrale ont été déposées⁶⁵². Tout porte donc à croire que la gravure de Ch. Fichot qui représente la façade occidentale littéralement recouverte de statues est fantaisiste, d'autant plus qu'à l'époque où il l'a réalisée, les éventuelles statues auraient déjà disparu⁶⁵³. Les comptes mentionnent toutefois la présence d'une statue de saint Michel qui ornait la façade occidentale du haut du toit de la cathédrale. Posée sur le pignon au cours de l'année 1493, elle y était tenue par un système composé d'un barreau de fer, de clous et de crampons pesant un total de 236 livres de fer⁶⁵⁴. Cette statue ne se trouve plus sur le pignon de la cathédrale et le système en question n'a pas pu être appréhendé. Si l'emploi de plus de 115 kg de fer pour soutenir une seule statue est

⁶⁵⁰ Archives E. Pallot, « Etude préalable à la restauration de la façade occidentale », juin 2003, plans 6 et 7.

⁶⁵¹ Archives E. Pallot, « Etude préalable à la restauration de la façade occidentale », juin 2003, Proposition pour les maçonneries, p. 192.

⁶⁵² Archives E. Pallot, « Etude préalable à la restauration de la façade occidentale », juin 2003, Statuaire, p. 160.

⁶⁵³ Gravure de Ch. Fichot dans ARNAUD (A.-F.), *Voyage archéologique...*, op. cit., planche 38.

⁶⁵⁴ PJ n° 65, fol. 214 r°.

assez impressionnant, son emplacement au sommet de la cathédrale, exposée aux vents et aux intempéries, explique la nécessité d'une assise et d'un renforcement important.

Les sections analysées sur les goujons TROY 12 et 13 sont toutes deux à forte dominance ferritique avec quelques zones très faiblement carburées, titrant au maximum 0,1 %_{mass} de carbone (cf. Figure 209). Elles prennent la forme de bandes parallèles sur TROY 13a, section réalisée dans le sens longitudinal qui présente également en son milieu la marque d'une soudure où la corrosion s'est propagée (cf. Figure 210). Leur matrice contient également de nombreuses inclusions, fines et très allongées dans le cas de TROY 13a, moins allongées sur TROY 12a, qui présente également un groupe de petites inclusions suivant la forme angulaire des joints de grain. Le degré de propreté inclusionnaire moyen de TROY 13 est très mauvais avec un indice de 4,8*.

La composition des inclusions de ces deux échantillons est très différente. Celles de TROY 12a sont très riches en aluminium. Les rapports faisant intervenir l'alumine Al₂O₃ tendent tous vers le pôle de l'hyercinite, FeAl₂O₄, montrant « l'effet de pépite » qui dans certaines inclusions peut exacerber une phase particulière. Il est donc difficile dans ce cas d'évaluer la constance des rapports comprenant l'aluminium. Ceux qui ne le font pas intervenir semblent cependant assez bien conservés. Dernier point, l'hyercinite est une des phases caractéristiques des inclusions de fers de réduction directe, ce que vient confirmer la composition globale moyennée de l'ensemble des inclusions (cf. Figure 211). Deux hypothèses s'offrent quant à l'interprétation de ce goujon en fer direct, mis en œuvre dans une structure datée du milieu du XVI^e siècle : soit il s'agit du réemploi d'une pièce plus ancienne, soit il est la marque de la persistance de procédés plus archaïques parallèlement à une métallurgie de production plus moderne déjà bien diffusée à l'époque. Le cas de TROY 13a est complètement différent. La composition de ses inclusions, d'une part très riches en P₂O₅ avec plus de 14 %_{mass} en moyenne, se révèle d'autre part typique des fers de réduction indirecte (cf. Figure 211), ce qui n'est toutefois pas surprenant pour un fer mis en œuvre au XIX^e siècle.

Echantillon	Datation	Teneur en C	Fer phosphoreux	Indice de propreté	Procédé de réduction	Lopin originel
TROY 12a	Début XVI ^e s.	0 à 0,1 % _{mass}	?	-	Direct	?
TROY 13a	1844 ?	0 à 0,1 % _{mass} + SB	?	4,8*	Indirect	?

Tableau 71 : Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les échantillons de la façade occidentale de la cathédrale de Troyes.



Figure 208 : Goujons sur la façade occidentale de la cathédrale de Troyes. A gauche, dans un meneau brisé, TROY 12 (XVI^e s.) ; à droite dans le frontispice de pierre du XIX^e siècle, TROY 13.

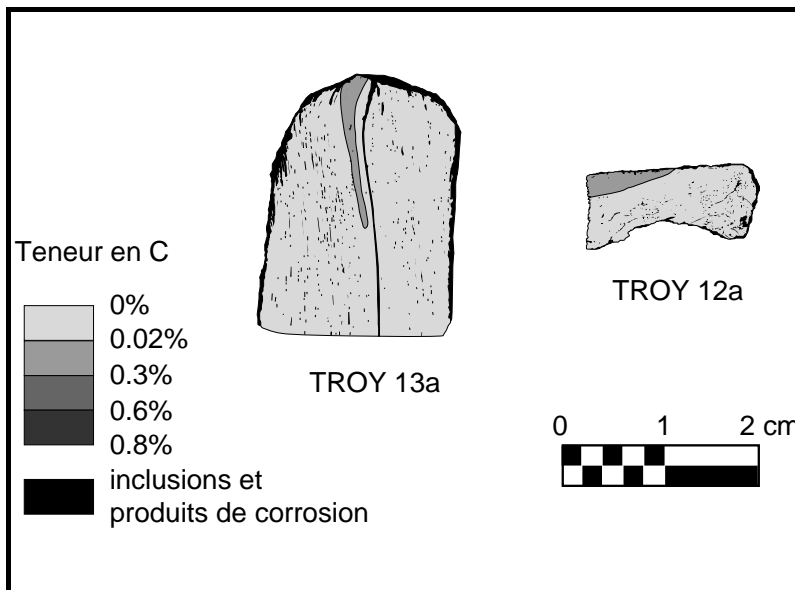


Figure 209 : Structure métallographique des échantillons prélevés sur la façade occidentale de la cathédrale de Troyes.



Figure 210 : Soudure et zone de mauvaise propreté inclusionnaire, section TROY 13a.

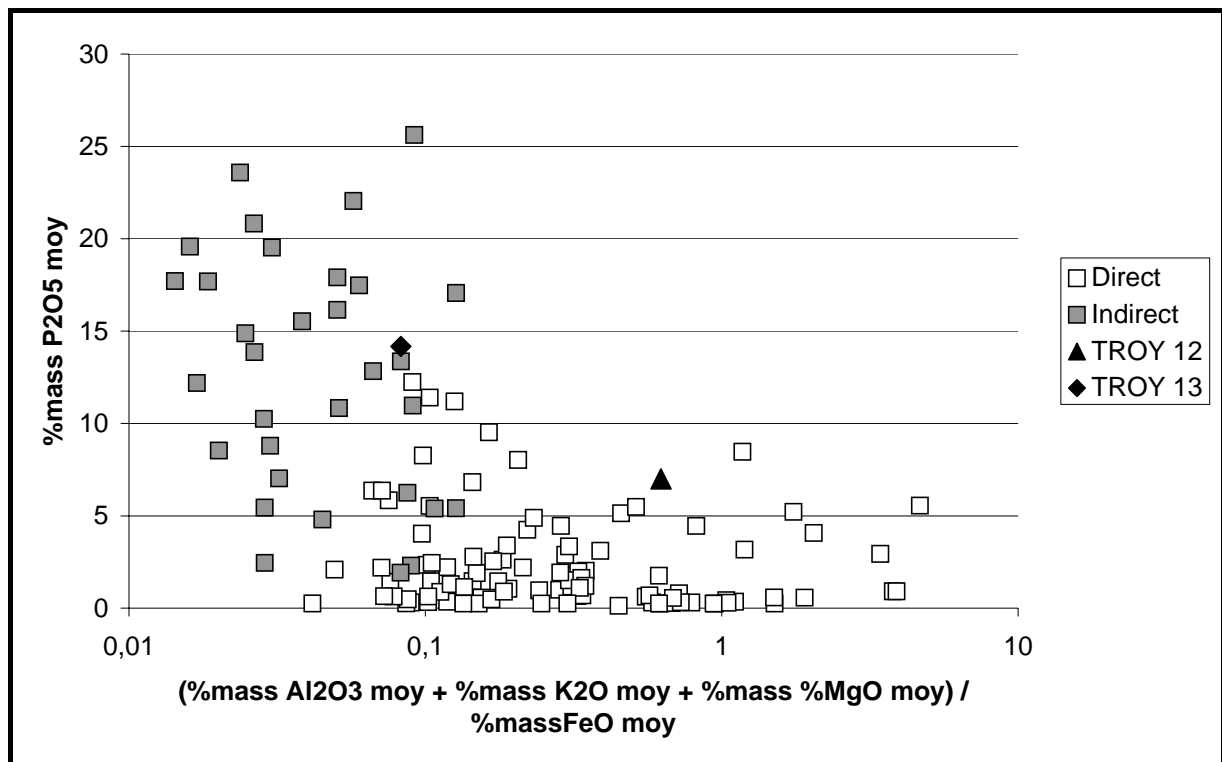


Figure 211 : Discrimination des procédés de réduction pour les éléments prélevés sur la façade occidentale de la cathédrale de Troyes.

II.1.5.7.2 La tour Saint-Pierre

En partie restaurée dans les années 1990, la tour Saint-Pierre a également fait l'objet de remarques concernant les diverses armatures de fer qu'elle contient, essentiellement à cause de leur état de corrosion et des traitements spécifiques engendrés.

Dans son rapport de synthèse sur la troisième phase de restauration de la tour Saint-Pierre (42 à 70 m), écrit en novembre 1996, J.-M. Musso évoque en particulier la coupe de trente anciens goujons en fer à la scie à métaux sur la face nord de la tour. La restauration des parements prévoit quant à elle le remplacement des fers par des agrafes et goujons de cuivre, la restauration au droit des tourelles voit la « remise en état des ferrures anciennes avec traitement antirouille »⁶⁵⁵.

⁶⁵⁵ Archives E. Pallot, « Rapport de synthèse sur la restauration de la tour Saint-Pierre 3^e phase (42 m à 70 m) », J.-M. Musso, novembre 1996.

Sur la terrasse de la tour, les informations sont un peu plus précises et ont parfois pu s'accompagner de prospections.

Un cerclage enserrant les maçonneries du lanternon qui coiffe l'escalier de la tour Saint-Pierre a tout d'abord été mis au jour par J.-M. Musso en 1998 lors de son démontage (cf. Figure 212). Les deux tourelles de la tour ont été élevées entre 1622 et 1634. Ce cerclage est constitué de plusieurs pièces de fer plates recourbées à leurs extrémités. Elles sont légèrement courbées pour épouser la forme de la corniche sur laquelle elles sont ancrées et scellées au mortier. Les informations sur ce cerclage provenant exclusivement de photographies réalisées par l'architecte en chef lors des restaurations, aucune mesure n'a pu être réalisée.

Chacune des sept colonnettes disposées autour de chacune des deux tourelles est reliée à celle-ci chacune par deux agrafes, prises dans la maçonnerie de la tourelle, et venant s'insérer dans les colonnes, au niveau des deux joints entre les trois blocs constituant leurs fûts. Ces agrafes, probablement autrefois de fer, sont aujourd'hui en alliage cuivreux.

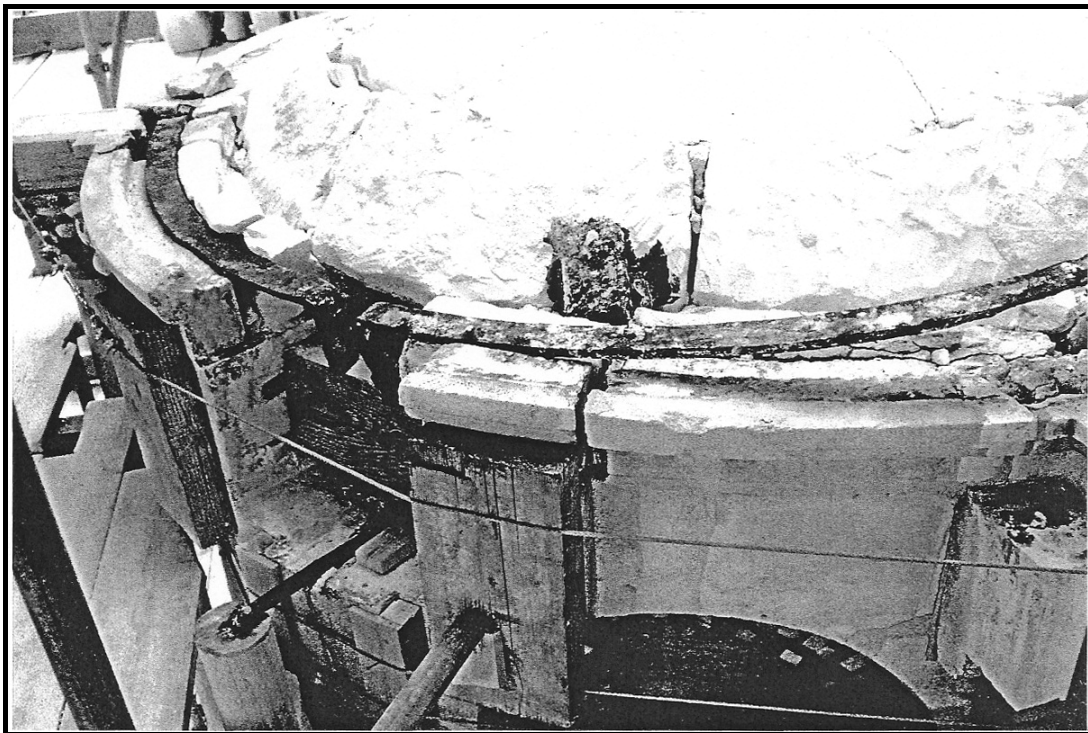


Figure 212 : Cerclage en fer périphérique du lanternon de la tour Saint-Pierre de la cathédrale de Troyes lors de son démontage, cliché J.-M. Musso. On note également les barres attachant les colonnettes.

Enfin, la balustrade qui couronne la terrasse porte la marque de deux logements d'agrafes sur des pierres qui ne semblent pas avoir été remplacées. L'un des deux n'est qu'une moitié de logement de 10 cm de long, située au niveau d'un joint avec une pierre de nature différente probablement issue de restauration. Il est bouché au ciment. Ces logements sont possiblement les derniers témoins d'un ensemble d'agrafes qui renforçait les différents éléments de la balustrade de cette terrasse.

Élément de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Goujons	Rose ouest, balustrades, gâbles de la façade occidentale	-	-	-	-
Goujons	Meneaux et fleurs de lys de la façade occidentale	-	-	-	Déb. XVI ^e s.
Agrafes et goujons	Frontispice de la façade occidentale	-	-	-	Restauré en 1844
Barreau	Attachant l'ancienne statue de saint Michel sur le toit de la façade	-	-	≈ 115 kg	1493
Goujons	Face nord de la tour Saint-Pierre	30	-	-	-
Cerclage	Sur le lanternon coiffant l'escalier de la tour Saint-Pierre	1	-	-	1622-1634
Agrafes	Attachant les sept colonnettes des deux tourelles de la tour Saint-Pierre	14	-	-	-
Logments d'agrafe	Balustrade couronnant la terrasse de la tour Saint-Pierre	2	-	-	-

Tableau 72 : Récapitulatif des éléments de fer découverts sur la tour Saint-Pierre et la façade occidentale de la cathédrale de Troyes.

II.1.6 Autres emplois du fer d'après les comptes de la fabrique

Les prospections réalisées sur l'édifice ont permis de mettre en évidence la majeure partie des éléments de fer mis en œuvre dans la construction de manière visible, et situés dans des endroits accessibles vis-à-vis des galeries de circulation de la cathédrale. Dans une moindre mesure certains éléments enfouis à une faible profondeur ont également pu être révélés grâce à l'utilisation du détecteur de métal. Les comptes de la fabrique, qui débutent alors que le chantier de la cathédrale est en cours, permettent en revanche d'avoir accès à une partie de ces pièces de fer « invisibles », ancrées au plus profond de la maçonnerie ou à des hauteurs inaccessibles dans le cadre d'une prospection classique. De plus, ces comptes donnent également une vision médiévale de l'édifice, qui, au cours de sa construction et même après son achèvement au milieu du XVII^e siècle, n'a cessé de se modifier au gré des destructions, des reconstructions et des restaurations. Des parties entières de son architecture qui comptaient bon nombre d'éléments métalliques ont en effet disparu, comme le grand clocher situé à la croisée du transept ou encore le jubé détruit à la révolution. Les données des comptes de la fabrique permettent de restituer en partie les rôles qu'y jouait le fer.

II.1.6.1 Le jubé

II.1.6.1.1 Histoire et quantités de fer mises en œuvre

Le jubé de la cathédrale de Troyes, élevé à la fin du XIV^e siècle⁶⁵⁶, a été détruit en 1791 lors de la Révolution⁶⁵⁷. Nous disposons malgré tout d'une grande partie de sa construction par l'intermédiaire des comptes de la fabrique correspondant aux années comprises entre 1382 et 1399. Ces comptes font état de la mise en place de nombreux éléments de fer.

⁶⁵⁶ Ce jubé de pierre venait en remplacement d'un autre probablement fait de bois, mais dont on sait peu de choses, ROSELOT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, *op. cit.*, p. 147-148.

⁶⁵⁷ ID., *Ibid.*, p. 249

Les premières années de la construction, de décembre 1382 à avril 1385 sont réservées aux travaux préliminaires de fondation et d'apport de matériaux ; l'élévation proprement dite commence le 22 avril 1385 avec la pose de la première pierre⁶⁵⁸. Dès la première année de sa construction, la fabrique consacre dans ses dépenses un paragraphe particulier aux « despences pour fer mis en la maçonnerie dou dit jubé »⁶⁵⁹ pour 40 l. 4 s. 2 d. t. Cette dépense fait état, outre les 130 marteaux qu'il a fallu *ressuer* et les dix qu'il a fallu *rasserer* suite au travail des maçons à l'ouvrage⁶⁶⁰, de l'achat de 741 livres de fer en agrafes, goujons et barreaux⁶⁶¹. Le rôle des agrafes et des goujons nous est donné de manière explicite : ils serviront à *tenir la dicte maçonnerie*. Celui des grands barreaux et des autres barreaux plus petits, s'il n'est pas précisé, est implicitement similaire. Si cette mention est la plus importante concernant les achats de fer pour la maçonnerie du jubé, Thomas le Chat, puis Richart le serrurier continuent à alimenter le chantier du jubé en agrafes et goujons jusqu'en 1399. Ce sont en tout près de 1146 livres de fer, soit plus de 560 kg, qui seront mises dans la structure du jubé, dont environ 744 livres sous la forme de plus de 325 agrafes et 219 goujons (cf. Tableau 73 et Figure 213).

II.1.6.1.2 Dimensions des éléments de fer

Lorsque la masse des goujons et agrafes achetés est mentionnée, elle indique en général que ces éléments pèsent environ une livre chacun en moyenne (cf. Tableau 73). Ils ne peuvent dans tous les cas pas excéder 1,5 livres par unité. Il s'agit donc nécessairement de petits éléments de fer. A titre de comparaison, il s'agissait de la masse moyenne estimée pour les agrafes situées sur les balustrades du triforium de la nef. En 1388-1389, les trente-six agrafes et les vingt-et-un goujons achetés ne pèsent même que 24,5 livres, soit à peine 200 g par pièce. Seule la mention de « seize grands goujons », qui, assortis à trente agrafes, pèsent 87,5 livres, semble désigner des objets de plus grande taille pouvant peser jusqu'à 4 livres chacun. Il est donc fort vraisemblable que ces différents éléments, exception faite peut-être de

⁶⁵⁸ ID., *Ibid.*, p. 150-152

⁶⁵⁹ PJ n° 29.

⁶⁶⁰ Si l'action de « rasserer » désigne très clairement le fait d'aciérer les tranchants des outils à la forge, probablement par soudure d'une fine table acier, le terme de « ressuer » qui en français médiéval signifie « sécher » est moins explicite, GODEFROY (F.), *Dictionnaire de l'ancienne langue française...*, *op. cit.*, tome VII, p 120. Il pourrait désigner le passage à la forge des outils avant leur aciérage. A très haute température, notamment arrivé au blanc soudant le métal qui commence à se liquéfier suinte et semble effectivement rendre son humidité, REY (A.), *Dictionnaire culturel en langue française*, Paris, Editions Le Robert, 2005, vol. 3, p. 253.

⁶⁶¹ PJ n° 29.

ces seize grands goujons, ne servent qu'à lier entre elles des pierres deux à deux, et n'ont qu'un rôle de soutien local dans la structure du jubé.

Les barres sont en revanche de dimensions plus importantes, les grosses barres pesant environ 20 kg chacune contre 15 kg pour les « autres ». Cela correspond par exemple à peu près à des barres d'une section moyenne (2 cm x 4 cm) et de respectivement 3,5 et 2,5 m de long. Il est donc évident qu'avec ces dimensions, ces barres peuvent bien faire office de tirants pour soutenir la maçonnerie du jubé et éventuellement l'accrocher à celle de la cathédrale.

II.1.6.1.3 *Mise en œuvre des éléments de fer*

Le moment de l'acquisition de ces différents éléments de fer peut être révélateur de leur utilisation et de leur positionnement dans la structure du jubé⁶⁶². Les barreaux et près de la moitié des agrafes et des goujons sont achetés dès la première année de son élévation. Il est donc évident qu'ils ont été directement intégrés à la structure même du jubé, pour « tenir sa maçonnerie » et lui assurer ainsi une bonne assise. Il en est probablement de même pour les agrafes et goujons achetés « pour le jubé » dans les années qui suivent. Plus précisément, en 1397 la fabrique paye un serrurier pour *limer les barreaux de fer qui estoient entre les pilliers du jube par devant*⁶⁶³, nous donnant ainsi la localisation de certains de ces barreaux, placés entre les piliers du jubé probablement afin de réguler les poussées de ses voûtes. Un de ces piliers fera par ailleurs près de cent ans plus tard l'objet d'une restauration, suite aux dommages qu'il a subi à cause de l'oxydation des *broches et crampons de fer qu'on a trouvez dedens*⁶⁶⁴. Ces piliers, sur lesquels devait reposer l'ensemble de la structure du jubé, étaient donc apparemment renforcés à l'intérieur comme à l'extérieur, montrant ainsi la crainte de l'architecte de les voir s'effondrer et sa volonté de les renforcer le mieux possible afin d'avoir une construction pérenne. Mais, comme il arrive souvent, ces mêmes éléments originellement destinés à consolider la structure sont ceux qui causent sa perte. Ces éclatements sont par ailleurs révélateurs de l'absence de plomb pour le scellement de ces éléments de fer, qui n'est pas mentionné dans les comptes de la fabrique, et qui aurait pu prévenir ces dommages en empêchant l'oxydation du fer. La restauration effectuée par Jehançon Garnache en 1485 est

⁶⁶² Il n'existe pas, à notre connaissance, de représentation de ce jubé, ce qui ne permet malheureusement pas d'en faire une description plus précise.

⁶⁶³ PJ n° 37.

⁶⁶⁴ PJ n° 59, fol. 190 r°.

une véritable reprise en sous-œuvre : trois murs et un arc-boutant de bois sont édifiés à l'environ dudit pillier pour soustenir le jubé⁶⁶⁵, puis Etienne le serrurier met un jour et demi à ôter les six broches de fer rouillées avec un engin qu'il a spécialement fabriqué pour l'occasion⁶⁶⁶. Les éléments purgés ne semblent pas être remplacés des fers neufs, très certainement par crainte de nouveaux dommages ; les pierres remises au jubé sont scellées au moyen d'un mastic fait d'œufs et de fromage⁶⁶⁷.

Mais à partir de 1392, le gros œuvre du jubé est terminé, puisqu'on en retire les échafaudages et que le maître maçon Henri de Bruxelles s'en va travailler ailleurs⁶⁶⁸. L'escalier et une partie des arcades restent à construire ainsi que probablement l'installation de tous les ornements qui devaient le décorer. C'est donc plus vraisemblablement à la mise en place du décor, statues, balustrades, fleurs des arcatures..., que les goujons et agrafes achetées entre 1392 et 1399 vont être employés. Les seize grands goujons précédemment évoqués pourraient à ce titre parfaitement être des goujons d'assise de statue comme il en existait sur le Beau Portail, ou encore des goujons d'attache de boutons de clef de voûte.

Année	Éléments mis en œuvre dans le jubé	Masse	Destination
1384-85	156 agrafes et 134 goujons	339 livres	Jubé
	5 grands barreaux qui pèsent chacun 42 livres et 6 autres barreaux qui pèsent chacun 32 livres	402 livres	
1386-87	4 chevilles, une levier, 58 agrafes, 23 goujons	123 livres	Jubé
1388-89	15 agrafes et 30 goujons	40,5 livres	Jubé
1388-89	36 agrafes et 21 goujons	24,5 livres	Jubé
1391-92	Agrafes et goujons	26 livres	Jubé
1395-96	16 grands goujons et 30 agrafes	87,5 livres	Jubé
1397-98	15 agrafes de fer et 10 goujons	25 livres	Jubé
1398-99	Goujons et agrafes	78,5 livres	Jubé et piliers des hautes allées
	Total	1146 livres	

Tableau 73 : Nature et caractéristiques des éléments de fer mis au jubé de la cathédrale de Troyes lors de sa construction⁶⁶⁹.

⁶⁶⁵ PJ n° 59, fol. 190 r° et fol. 190 v°.

⁶⁶⁶ PJ n° 59, fol. 190 v°.

⁶⁶⁷ *Ibidem*.

⁶⁶⁸ ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, *op. cit.*, p. 153.

⁶⁶⁹ D'après PJ n° 29 ; PJ n° 30 ; PJ n° 32 ; PJ n° 33 ; PJ n° 34 ; PJ n° 36 ; PJ n° 37 ; PJ n° 38.

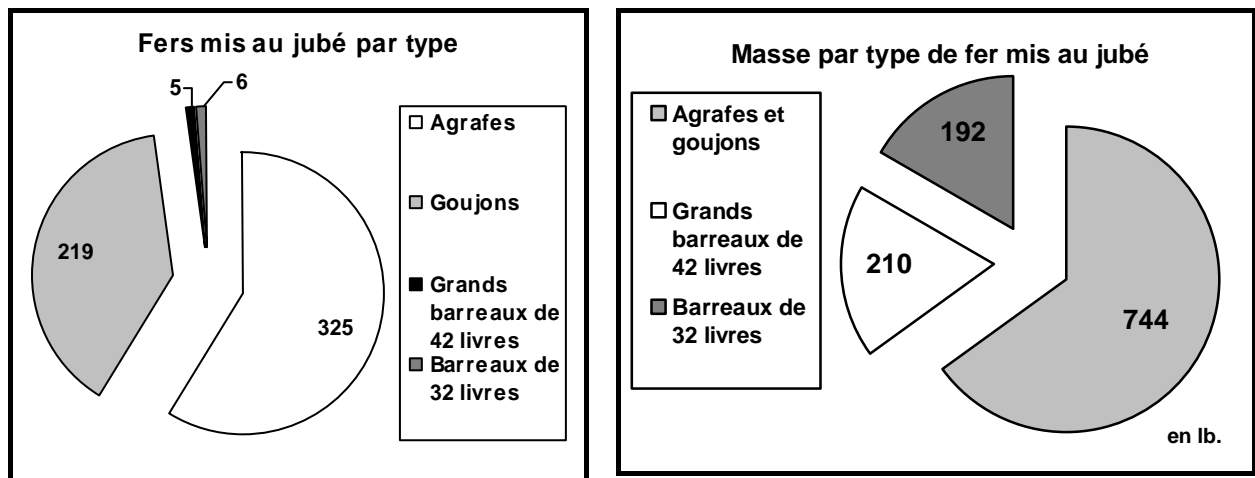


Figure 213 : Types d'éléments et quantités de fer mis au jubé de la cathédrale de Troyes entre 1382 et 1399.

II.1.6.2 Les piles de la nef

Au milieu du XIV^e siècle, quand débutent les premières longues séries d'années comptables, les parties hautes du chœur et du transept sont achevées, à l'exception de certains vitraux. Les gros piliers y sont donc tous déjà construits.

L'année 1372-1373 voit le début du fondement d'un nouveau pilier dans la nef⁶⁷⁰, que S. Murray identifie comme situé du côté nord, entre la deuxième et la troisième travée (pilier C2)⁶⁷¹. Ce pilier n'est certainement élevé qu'à la base du triforium, comme les autres piliers occidentaux de la nef. Aucun élément de fer n'est mentionné comme entrant dans sa construction, mais il existe une lacune dans les comptes entre 1374 et 1375.

Quinze ans plus tard, après l'effondrement de la haute nef le jour de Noël 1389, la fabrique entreprend de consolider et de rehausser trois piliers afin qu'ils puissent soutenir une nouvelle toiture provisoire. L'un d'eux est même *abatuz jusques à la vossure de l'ars et*

⁶⁷⁰ Bibl. nat., ms. lat. 9112, fol 47 v^o.

⁶⁷¹ La numérotation des piliers reprise dans ce travail est celle utilisée par Murray dans sa figure 2, MURRAY (S.), *Building Troyes cathedral...*, op. cit. (cf. Figure 214).

*depuis refait*⁶⁷². Ce sont respectivement 127, 118 et 96 agrafes qui sont mises dans ces trois piles, soit un total de 341 agrafes pesant 341 livres de fer (cf. Tableau 74).

Il faut ensuite attendre le milieu du XV^e siècle, période à laquelle les travaux reprennent à la cathédrale en vue de l'achèvement de la nef, pour avoir la fondation de nouveaux piliers (cf. Tableau 74). En 1453, le serrurier Jaquinot Benoît fait alors *tout l'ouvrage qu'il falloit de son mestier pour commencer les III pilliers, c'est assavoir XXX agrapes* et fournit aussi quelques outils⁶⁷³. Puis sur le compte de 1455-1456, le serrurier Jaquinot l'Avocat fournit douze crampons pour chacun des deux nouveaux gros piliers en construction, situés respectivement *devers le gros clocher d'une part et d'autre part devers la chapelle Droyn* afin d'en *cramponner les basses*⁶⁷⁴. L'évidence de la mise en place d'agrafes dans l'élévation du pilier B1, également construit au milieu des années 1450, fait cependant défaut. Quinze ans plus tard s'élève un *gros pillier du côté destre*⁶⁷⁵, probablement le pilier E1 symétrique de B1 au sud de la nef, pour lequel Perrin l'Avocat fait cinq agrafes et trois chevilles de fer pesant 20 livres pour *tenir ledit pillier contre les vostes*⁶⁷⁶. A cette date, l'ensemble des piliers du vaisseau central et des collatéraux sont fondés et partiellement ou totalement élevés selon les cas.

Enfin, entre 1484 et 1486, afin de pouvoir tracer le dessin des baies hautes et couvrir la nef, le maître maçon Antoine Colas fait terminer les parties hautes des deux piliers médians situés de part et d'autre du vaisseau central, qui n'avaient pas été achevés après la chute de la ramée en 1389 (piliers C3 et D3). Le serrurier fournit respectivement au moins quinze grandes agrafes et trois crochets pesant 63 livres pour le pilier D3 et quarante-cinq grandes agrafes pesant 176 livres pour C3⁶⁷⁷.

On a donc l'évidence de la mise en œuvre de plus de 456 agrafes dans les derniers piliers construits dans la nef de l'église, pesant au moins 784,5 livres de fer, soit environ 380 kg. Bien que les données soient lacunaires, notamment car la construction de certains piliers s'étale sur plusieurs siècles et qu'il est par conséquent difficile de suivre avec précision l'élévation d'un pilier de sa base jusqu'à son sommet, il semble bien que l'utilisation d'agrafes et dans une moindre mesure d'autres éléments de fer y soit généralisée. Ces agrafes sont présentes à tous les niveaux, aussi bien dans les parties basses, comme l'indiquent celles

⁶⁷² PJ n° 33.

⁶⁷³ PJ n° 49, fol. 39 v°.

⁶⁷⁴ Arch. dép. Aube, G 4417, fol. 137 r° ; PJ n° 50.

⁶⁷⁵ Arch. dép. Aube, G 1565, fol. 27 r°.

⁶⁷⁶ PJ n° 52.

⁶⁷⁷ PJ n° 59, fol. 191 r° et fol. 191 v° ; PJ n° 60.

qui sont mises la fondation des cinq piliers entre 1452 et 1456, que dans les parties hautes avec celles des piliers D4 et C4 repris en 1392, ou des piliers C3 et D3, commencés au XIV^e siècle et terminés entre 1484 et 1486. Le nombre d'agrafes utilisé est cependant bien moins important à la base qu'au sommet, avec seulement dix à douze agrafes par base contre cinquante à plus de cent agrafes en hauteur. De plus, ce nombre semble varier de manière assez importante d'un pilier à l'autre, mais le manque de données ne permet pas d'effectuer un décompte précis. Enfin, ces agrafes sont de tailles très diverses : les petites agrafes mises à la fin du XIV^e siècles pèsent une livre en moyenne contre 4 à 7 livres au milieu et à la fin du XV^e siècle. Cette variabilité de masse semble d'ailleurs davantage dépendre de la période de pose et donc de fabrication des agrafes que de leur localisation à la base où au sommet des piliers.

Le type de scellement utilisé pour les agrafes n'est pas systématiquement mentionné mais semble laisser une très large part au plâtre au détriment du plomb. Pour les piliers de la nef élevés en 1390-1391, les agrafes semblent scellées uniquement au plâtre, puisque la fabrique achète *une voiture de plâtre [...] pour les dictes aggrappes mectre*, ainsi qu'un ban de charbon pour cuire ledit plâtre⁶⁷⁸. Les dépenses pour plâtre s'élèvent cette année-là à 59 l. 4 s. 7 d. t. dont 33 l. 15 s. 10 d. t. pour le matériau et le reste en salaire d'ouvriers. Le scellement de ces crampons semble être réalisé de manière identique près de cent ans plus tard, puisque entre 1485 et 1486, la garnison de la fabrique fournit 100 livres de plâtre pour mettre *es crampons dudit pillier*⁶⁷⁹. De nouveau l'année suivante ce sont 510 livres de plâtre de garnison qui sont utilisées pour les crampons⁶⁸⁰.

Les piliers C3, C4, D3 et D4 sur lesquels on dispose davantage d'informations sont consolidés par près de 300 kg d'agrafes, soit environ 75 kg par pilier. A titre d'estimation et en considérant ce chiffre comme un valeur moyenne, les vingt gros piliers entourant le vaisseau central de la nef et du chœur contiendraient l'équivalent de 1,5 t. de fer sous forme d'agrafes. Ce chiffre peut probablement être presque doublé en ajoutant les huit supports de plus petites dimensions du rond-point du chœur ainsi que les dix-huit piliers des collatéraux de moins grande hauteur.

⁶⁷⁸ Bibl. nat., ms. lat 9111, fol. 131 r^o

⁶⁷⁹ Arch. dép. Aube, G 1568, fol. 232 r^o.

⁶⁸⁰ Arch. dép. Aube, G 1568, fol. 284 r^o.

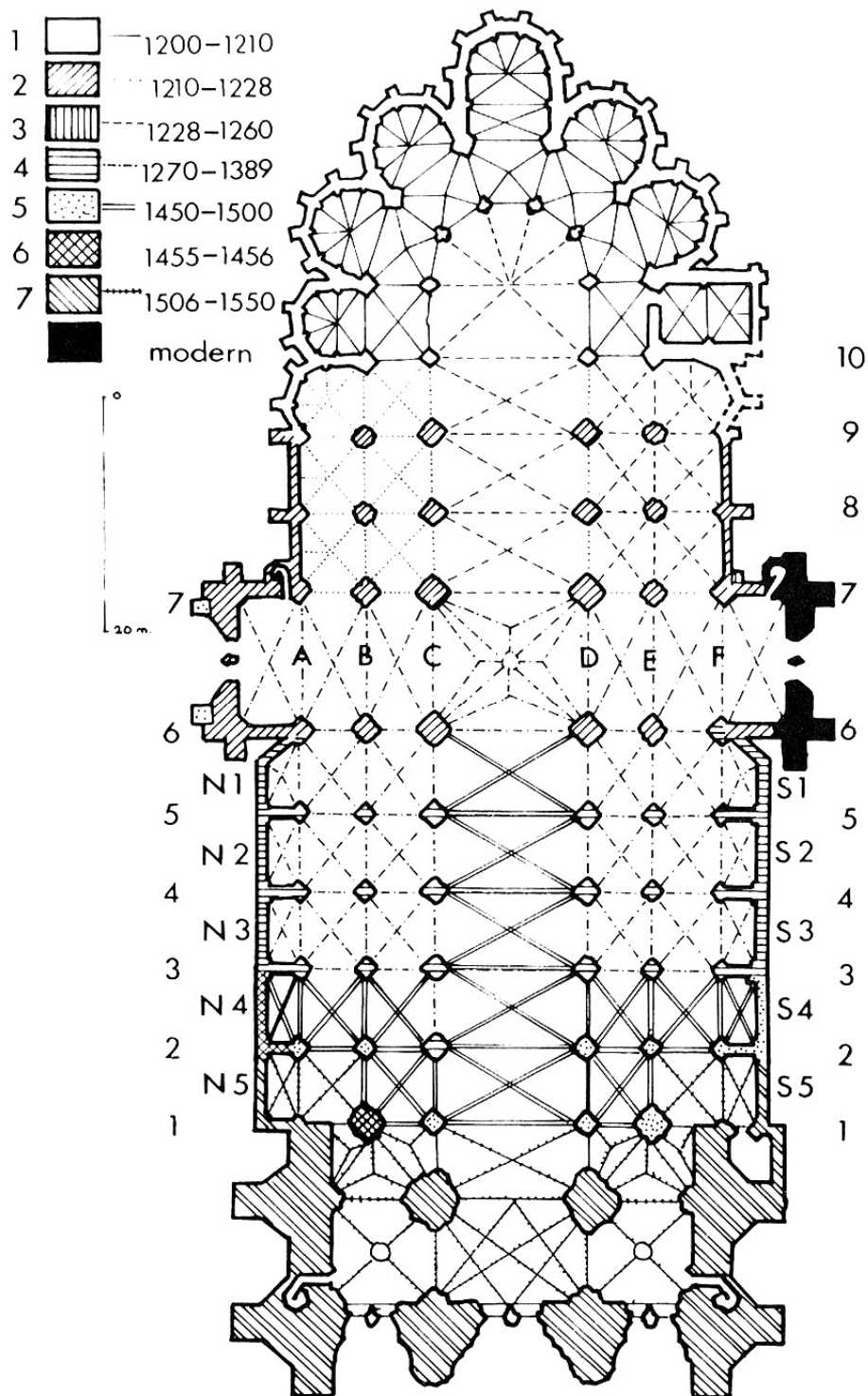


Figure 214 : Plan de la cathédrale de Troyes avec grille de référence, d'après Murray⁶⁸¹.

⁶⁸¹ MURRAY (S.), *Building Troyes cathedral...*, op. cit., figure 2.

Année	destination	N° pilier	Eléments de fer	Masse
1390-91	<i>grant pillier par devers la court l'official</i>	D4?	127 agrafes	127 l.
1390-91	<i>l'autre pillier qui a esté livez de maçonnerie à l'opposite par devers le pavement</i>	C4 ?	98 agrafes	98 l.
1390-91	<i>pillier par devers le puis</i>	D3	118 agrafes	118 l.
1398-99	<i>tant pour le jube que pour certains pilliers des haultes alees à creneaux</i>		goujons et agrafes	78,5 l.
1452-53	<i>pour commencer les III pilliers</i>	B2, D2, E2 ?	30 agrafes	
1455-56	<i>pour cramponner les basses dudit pillier [devers chapelle droyn]</i>	D1 ?	12 crampons	44 l.
1455-56	<i>pour les basses dudit pillier [du costé du clocher ?]</i>	C1 ?	12 agrafes et 1 cheville	50 l.
1469-70	<i>gros pillier neuf fait darrenierement</i>	E1	2 premières agrafes	4 l.
1469-70	<i>pour tenir ledit pillier</i>	E1	3 autres agrafes et 3 chevilles de fer	16 l.
1484-85	<i>pillier fait neuf du costé de l'ostel episcopal</i>	D3 (parties hautes)	3 grandes agrafes	9 l.
1484-85	<i>Idem</i>	Idem	6 autres grandes agrafes	36 l.
1484-85	<i>Idem</i>	Idem	autres agrafes du fer de l'église avec 3 crochets	??
1485-86	<i>pillier de la nef du costé de la rue et de l'autre pillier qui est de l'autre costé devers l'ostel episcopal</i>	C3 et D3 (parties hautes)	6 grandes agrafes	28 l.
1485-86	<i>Idem</i>	Idem	4 grandes agrafes	28 l.
1485-86	<i>Idem</i>	Idem	2 agrafes carrées	7 l.
1485-86	<i>Idem</i>	Idem	6 agrafes	29 l.
1485-86	<i>Idem</i>	Idem	9 agrafes	40 l.
1485-86	<i>Idem</i>	Idem	7 grandes agrafes	33 l.
1485-86	<i>Idem</i>	Idem	11 grandes agrafes	39 l.
1486-87	<i>atachées les pierres des pilliers qu'on a faiz neufz</i>		plusieurs agrafes	??
Total			> 456 agrafes	> 784,5 l.

Tableau 74 : Nature et caractéristiques des éléments de fer mis aux piliers de la nef lors de leur construction⁶⁸².

⁶⁸² D'après PJ n° 34 ; PJ n° 38 ; PJ n° 49, fol. 39 v° ; PJ n° 50 ; PJ n° 52 ; PJ n° 59, fol. 191 r° et fol. 191 v° ; PJ n° 60 ; PJ n° 61.

II.1.6.3 L'entablement des baies hautes

Immédiatement après l'élévation des derniers piliers de la nef à la fin des années 1480, le maître maçon *commence de tailler les vossois des ars esquelx se mettent les formettes des verrières*⁶⁸³. Les arcs des dix grandes baies hautes de la nef sont ainsi successivement construits entre 1487 et 1489, d'abord du côté sud puis au nord. Ces arcs sont l'un après l'autre élevés jusqu'aux entablements, puis renforcés à leur sommet par une série d'agrafes, avant d'être couverts pour les protéger des intempéries. Le détail précis des travaux permet de suivre la construction des arcs les uns après les autres. Bien que les mentions d'achats de crampons ne soient qu'au nombre de deux, une par année comptable correspondant aux deux côtés de la nef, les fournitures de plomb et de plâtre pour leur scellement sont plus nombreuses, même s'ils proviennent systématiquement des garnisons de l'église et n'engendrent de ce fait aucune dépense. Cette multiplication des mentions montre bien que les arcs sont construits et cramponnés dans la foulée avant même que l'arc suivant ne soit élevé. Du côté sud, 400 livres de fer en crampons, soit près de 200 kg, sont *mis sur lesdits antablemens* en 1488⁶⁸⁴ ; l'année d'après, au moins 350 livres, soit 170 kg de fer en barreaux et crampons sont achetés, dont partie est mise *sur lesdites tables* des arcs du côté nord⁶⁸⁵ (cf. Tableau 76). Y sont associées 362 livres de plomb et 300 livres de plâtre la première année, contre 350 livres de plomb et 600 livres de plâtre la seconde, auxquelles il faut encore ajouter respectivement 399 et 118 livres de plomb destinées à « atacher les crampons mis es pilliers » (cf. Tableau 75). Cette dernière mention semblerait indiquer qu'une partie des agrafes ou peut-être d'autres crampons dont l'achat n'est peut-être pas mentionné, sont également mis dans la partie supérieure des piliers bordant ces grandes baies, terminée lors de la construction des arcs. On peut imaginer que les rangées d'agrafes ainsi disposées sur une ou plusieurs assises de pierre au dessus du niveau des baies hautes sont continues tout le long du mur gouttereau : elles se trouvent par conséquent alternativement sur l'entablement des fenêtres et sur les piliers qui en constituent les piédroits, expliquant ainsi les termes employés par le procureur de la fabrique.

Le décompte de la fourniture en plomb semble expliquer plus en détail la mise en œuvre de ces agrafes (cf. Tableau 75). Les maçons prennent tout d'abord 100 livres de plomb dans les garnisons de l'église pour cramponner les tables dès la fin du premier arc au sud, puis

⁶⁸³ Arch. dép. Aube, G 1568, fol. 341 r°.

⁶⁸⁴ PJ n° 62, fol. 345 v°.

⁶⁸⁵ PJ n° 63, fol. 31 v° et fol. 48 v°.

de nouveau 112 livres après l'achèvement du second, moment où est mentionné l'achat de l'intégralité des agrafes. Ensuite 312 livres de plomb sont mentionnées *pour attacher les crampons mis esdits pilliers*, puis de nouveau 150 livres pour cramponner. Aucune allusion n'est faite au cramponnage des entablements des trois derniers arcs qui sont construits. La construction des deux premiers arcs du côté nord commence à l'été 1388 et à leur achèvement 300 livres de plomb sont achetées pour cramponner. Il semble donc que l'on ait environ 100 à 120 livres de plomb utilisées par arc, tout du moins dans les premiers temps. Le décompte du plâtre, en moyenne 90 livres par arc, est plus difficile à appréhender. On pourrait supposer qu'à ces matériaux de scellement correspondent en moyenne 75 livres d'agrafes de fer, soit 35 kg⁶⁸⁶. Malgré ce décompte de la fourniture de plomb, il est difficile de déterminer la quantité ou la masse de crampons posés sur chacun des entablements et dans leurs intervalles, c'est-à-dire sur les piliers. En estimant que tous les éléments qui sont mis en œuvre sont mentionnés, on a environ 35 kg de fer en agrafes scellées par 60 kg de plomb sur chaque arc en y incluant les piédroits. Un tel renforcement représente plus de 300 kg de fer dans la nef, et peut s'élever à environ 1 tonne s'il est généralisé sur tout l'édifice.

Année	Plomb	Plâtre	
1487-1488	85 l.		Pour attacher les crampons des hauts piliers
1487-1488	100 l.	300 l.	A cramponner les tables / pour lesdits crampons
1487-1488	112 l.		Pour attacher les crampons mis sur lesdits entablements
1487-1488	314 l.		Pour attacher les crampons mis esdits piliers
1487-1488	150 l.		Pour cramponner
1488-1489	200 l.	600 l.	Pour attacher les crampons sur lesdites tables [des premiers arcs côté nord]
1488-1489	100 l.		Pour les crampons
1488-1489	50 l.		Pour les crampons mis sur les tables
1488-1489	118 l.		Pour fere les crampons mis es piliers
Total	1129 l.	900 l.	

Tableau 75 : Scellement des éléments de fer mis sur les entablements des baies hautes de la nef de la cathédrale de Troyes lors de leur construction entre 1487 et 1489⁶⁸⁷.

⁶⁸⁶ 750 kg divisés en dix arcs.

⁶⁸⁷ D'après PJ n° 62, fol. 343 r°, fol. 344 r°, fol. 345 v°, fol. 349 v° et fol. 352 r° ; PJ n° 63, fol. 31 v°, fol. 33 r° et fol. 39 v°.

Année	Éléments de fer	Destination	Masse
1487-1488	crampons	Mis sur les entablements.	400 l.
1488-1489	Barreaux et agrafes	En partie mis sur les tables	350 l.

Tableau 76 : Éléments de fer mis sur les entablements des baies hautes de la nef de la cathédrale de Troyes lors de leur construction entre 1487 et 1489⁶⁸⁸.

II.1.6.4 Les arcs-boutants

Dernier élément du système de construction dont il est question, les arcs-boutants, sont eux aussi à plusieurs reprises associés à des agrafes (cf. Tableau 77).

Les premières mentions remontent au milieu du XIV^e siècle. Comme pour les piliers, arcs-boutants du transept et du chœur sont donc déjà tous construits. Certains travaux de réparation ont lieu au cours de l'été 1366, notamment à « un grand arc et petit arc du côté du chœur » plus précisément situés « du côté de la Curie Episcopale »⁶⁸⁹ donc du côté sud. La nef est quant à elle en cours d'élévation et, dès le début du mois de novembre 1366, les maçons commencent à tailler les pierres pour « le gros pilier et le grand arc de l'autre côté, vers les greniers de l'église »⁶⁹⁰. Ces « grands et petits arcs » ainsi associés à un gros pilier font sans doute référence aux deux arcs, inférieurs et supérieurs, et à la culée centrale d'un arc-boutant, le premier situé du côté sud du chœur, et le second identifié par S. Murray d'après l'emplacement du grenier de l'église, comme un des arcs les plus à l'est du côté sud de la nef (arc-boutant DEF 3 ou 4)⁶⁹¹.

Douze crampons ainsi que vingt-huit goujons sont mis « entre les pierres du petit arc, dans les orbevoies »⁶⁹². La date d'achat de ces éléments, le 6 août 1366, indique qu'ils ont été mis à l'arc-boutant du chœur en cours de réparation, celui de la nef n'étant pas commencé à ce moment-là. Le terme « d'orbevoies » défini par F. Godefroy comme une « ouverture, arcade et fenêtre aveugle ou feinte »⁶⁹³ ne nous éclaire toutefois pas avec certitude sur la

⁶⁸⁸ PJ n° 62, fol. 345 v° et PJ n° 63, fol. 48 r°.

⁶⁸⁹ [...] *taillendo et perficiendo magnum arcum et parvum a parte chori...* ; [...] *operandis in magnis arcu aparte curie episcopalis...*, Arch. dép. Aube, G 1559, fol. 10 r°.

⁶⁹⁰ *Septimana in qua fuit festum omnium sanctorum et in qua inceperunt taillare pro faciando grossum pilierum et magnum arcum in alia parte versus grenariam ecclesie*, Arch. dép. Aube, G 1559, fol. 11 r°.

⁶⁹¹ MURRAY (S.), *Building Troyes cathedral...*, *op. cit.*, p. 33-34.

⁶⁹² *Inter lapidibus parvi arcus es orbevois*, PJ n° 21.

⁶⁹³ GODEFROY (F.), *Dictionnaire de l'ancienne langue française...*, *op. cit.*, tome V, p. 614

destination précise de ces agrafes au sein du petit arc. Il pourrait s'agir des arcatures composant l'arc et il faudrait donc comprendre, qu'à l'instar des meneaux d'une baie, ceux des arcatures des arcs-boutants sont également renforcés par des goujons et des agrafes. Peu après, vingt crampons sont mis dans l'arc supérieur de ce même arc-boutant⁶⁹⁴. Dix de ces crampons sont en particulier posés dans les noues de l'arc⁶⁹⁵, c'est-à-dire dans la rigole située sur le dessus de l'arc servant de gouttière pour les eaux de pluie⁶⁹⁶. Huit autres petites agrafes sont enfin mises dans une colonne qui pourrait également être un des éléments liés à la culée de l'arc. En revanche, aucun élément de fer n'est explicitement associé au nouvel arc-boutant de la nef qui est fini au cours de l'année comptable suivante. Le forgeron Jacquemart fournit néanmoins neuf agrafes, faites de son fer, et dix-sept goujons, dont sept sont du fer de l'église, pour lesquels aucune utilisation n'est précisée⁶⁹⁷. Ils pourraient fort bien avoir été mis à l'arc-boutant, principal ouvrage réalisé lors de l'année. Une lacune dans les comptes entre 1368 et 1372 ne permet cependant pas de suivre les travaux avec précision.

En 1388, neuf agrafes sont achetées *pour faire tenir le plonc sur les ars boutans* dont l'un *boute contre la croisée*⁶⁹⁸. Il s'agit dans ce cas vraisemblablement d'agrafes destinées à fixer la gouttière de plomb courant dans la rigole sur la face supérieure de l'arc en question.

Il faut ensuite attendre plus d'un siècle pour avoir de nouvelles informations, avec la construction des arcs-boutants les plus à l'ouest de la nef, qui font suite à l'élévation des piliers et la construction des arcs des baies hautes. Les travaux commencent en 1491 par les *arbutans du pignon de la nef*⁶⁹⁹ correspondant en réalité aux deux contreforts occidentaux appuyés contre les piliers C1 et D1. Le gâble du pignon de la nef est construit la même année, et l'ensemble de l'œuvre requiert la pose de 237 livres d'agrafes *misez tant esdits arbutans du pignon de la nef que en partie dudit pignon*⁷⁰⁰. La construction des arcs-boutants contigus s'ensuit dès l'année suivante. Malgré l'absence de détail sur les ouvrages du serrurier, payé 18 l. 18 s. 8 d. t., on sait qu'il a forgé *des barreaux qui a livrés aux macons pour le pillier du premier ars boutans qui est devers la rue [au Nord]*⁷⁰¹. Deux ans après, en 1494, le chantier se trouve sur l'arc-boutant opposé du côté sud et la fabrique achète *plusieurs crampons et*

⁶⁹⁴ PJ n° 21.

⁶⁹⁵ *Ibidem*.

⁶⁹⁶ GODEFROY (F.), *Dictionnaire de l'ancienne langue française...*, *op. cit.*, vol. V, p. 509.

⁶⁹⁷ PJ n° 22.

⁶⁹⁸ Bibl. nat., ms. lat. 9111, fol. 37 v° ; ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, *op. cit.*, p. 115.

⁶⁹⁹ Arch. dép. Aube, G 1569, fol. 155 r°.

⁷⁰⁰ PJ n° 64.

⁷⁰¹ PJ n° 65, fol. 217 v°.

*barreaux de fer pour tenir l'arc boutant dernièrement fait pesans ensemble VI^{XX} deux livres*⁷⁰², ainsi que 99 autres livres de fer au moins en partie *ouvré en esgrappes pour les pilliers neufz de ladite eglise*⁷⁰³. Ces piliers correspondent probablement aux culées des mêmes arcs-boutants. On aurait donc 221 livres soit près de 110 kg de fer en agrafes pour cramponner l'intégralité de cet arc-boutant. Les deux années suivantes, alors que les maçons terminent les arcs-boutants de la nef, aucun détail n'est donné pour le travail du serrurier. Les montants de ses rémunérations, respectivement 14 l. t. pour 1495-1496 et 12 l. t. pour 1496-1497 laissent malgré tout plausible l'achat d'une grande quantité d'agrafes pour mettre aux arcs-boutants. La nature du scellement de ces agrafes n'est pas précisée. Au cours de ces cinq années, l'utilisation pour le contrefort oriental sud de la nef de *27 livres de plonc mis es joings de l'arboutant*⁷⁰⁴ est bien isolée. Le plomb et le plâtre étant presque systématiquement pris dans les garnisons de l'église, il est fréquent qu'ils ne soient pas mentionnés même s'ils sont employés.

Comme pour les piliers et les entablements des baies hautes, l'utilisation d'éléments de fer au sein des arcs-boutants de la cathédrale de Troyes est liée à la volonté de consolider la structure *a priori* à l'intérieur de la maçonnerie ; en attestent les arcs-boutants et contreforts construits à l'extrême fin du XV^e siècle. Les ouvrages du milieu du XIV^e siècle sont à ce titre moins complets et moins explicites ; des agrafes et goujons semblent toutefois mis en œuvre dans certaines parties des arcs lors de réfections. Outre les agrafes, un certain nombre de barreaux jouent apparemment également un rôle important dans la statique de ces arcs. Certains sont dits être « soudés au plomb en la pierre de l'arc-boutant »⁷⁰⁵. S'agissait-il de tirants enfouis dans la maçonnerie ou de tirants externes reliant les arcs entre eux où aux murs adjacents ? Aucune trace de tirants externes n'a été retrouvée en prospection, mais les nombreuses restaurations auront pu en effacer les scellements. L'hypothèse la plus probable se porte néanmoins sur des renforts internes. Une estimation réalisable à partir des quantités mises à l'arc-boutant construit en 1494 conduit à évaluer à plus de 2,5 tonnes la masse des éléments de fer contenus dans l'ensemble des culées, contreforts et arcs-boutants de l'édifice.

Mais certaines mentions éclairent un deuxième aspect de l'emploi d'agrafes dans les arcs-boutants : elles sont liées à la fixation des gouttières, souvent faites de plomb, et posées sur les rigoles des arcs dénommées noues. Les arcs-boutants ne sont pas les seuls endroits de

⁷⁰² PJ n° 66, fol. 411 r°.

⁷⁰³ PJ n° 66, fol. 412 v°.

⁷⁰⁴ Arch. dép. Aube, G 1569, fol. 159 r°.

⁷⁰⁵ Arch. dép. Aube, G 1568, fol. 288v°.

la cathédrale pourvus d'un tel système ; les gargouilles qui servent uniquement à l'évacuation des eaux témoignent d'un emploi beaucoup plus généralisé.

Année	Eléments de fer	Destination	Masse
1366-1367	12 crampons	<i>in parvo arcu et es orbevois</i>	
1366-1367	28 goujons	<i>inter lapidibus parvi arcus es orbevois</i>	
1366-1367	10 crampons	<i>in magno arcum a parte Curie Episcopalis</i>	
1366-1367	10 crampons	<i>positis es noeram dedicti magni arcus existentem iuxta chorum ecclesie</i>	
1366-1367	8 petites agrafes	<i>positis in quodam feillolia existente prima ex parte dicte curie</i>	
1368-1369	9 agrafes et 17 goujons	?	
1387-1388	Agrafes et goujons	?	46 l.
1387-1388	9 agrafes	Pour faire tenir le plomb sur les arcs-boutants dont l'un boue contre la croisée	
1491-1492	Agrafes	Mises tant dans les arcs-boutants du pignon de la nef que en partie dudit pignon	237 l.
1492-1493	Barreaux (mention sans détail de 18 l. 18 s. 8 d. t.)	Pour le pilier du premier arc-boutant qui est devers la rue	
1494-1495	Agrafes	Pour les maçons	65 l.
1494-1495	Agrafes	Pour les piliers neufs de ladite église	37 l.
1494-1495	Crampons et barreaux	Pour tenir l'arc boutant dernièrement fait	122 l.
1495-1496	Pas de détail (14 l. dépense)		
1496-1497	Pas de détail (12 l. dépense)		

Tableau 77 : Détail des dépenses en fer pour les « arcs-boutants » de la cathédrale de Troyes⁷⁰⁶.

II.1.6.5 L'évacuation des eaux : gargouilles et chanlattes

Le système d'évacuation des eaux de la cathédrale fait intervenir plusieurs éléments. Certaines pièces de maçonnerie comme les gargouilles ou les arcs-boutants avec leurs noues en sont partie intégrante. D'autres éléments, dénommés chanlattes dans les comptes de la

⁷⁰⁶ D'après PJ n° 21 ; PJ n° 22 ; PJ n° 31 ; PJ n° 64 ; PJ n° 65, fol. 217 v°, PJ n° 66, fol. 412 r° et fol. 412 v° ; PJ n° 67 ; PJ n° 68.

fabrique, font office de gouttières sur l'édifice⁷⁰⁷. Le rôle explicite de ces chanlattes est toujours de « vider », « déduire », ou « ôter » les eaux qui stagnent dans les allées ou les noues l'édifice avec parfois des conséquences néfastes pour la maçonnerie⁷⁰⁸. L'ensemble de ces systèmes fait intervenir de grandes quantités de plomb pour assurer l'étanchéité, mais également bon nombre d'éléments de fer.

Ces chanlattes peuvent tout d'abord parfois être entièrement de fer et venir s'insérer dans des gargouilles, comme le montre la commande faite au forgeron Pierre de Villenauxe en 1374⁷⁰⁹. Elles sont néanmoins le plus souvent de bois ou de plomb, et nécessitent alors d'être soutenues par des éléments de fer⁷¹⁰. Au cours de l'année comptable 1468-1469, l'installation de plusieurs chanlattes nécessite la forge de plus de 100 kg de fer en dix crampons et quatre chevilles, dont 75 kg pour les seules chanlattes servant à vider les eaux sur le grand des allées hautes du clocher de la croisée. Ces crampons sont de tailles très variables, allant de quelques kilogrammes à environ 25 kg pièce (cf. Tableau 78).

Utilisation	Éléments de fer	Masse
<i>Mettre des chanlates et conduys sur l'église pour desduire les yauez des haultes aleez et des noez du grant clochier</i>	1 crampon	38 l.
<i>Idem</i>	2 crampons	18 l.
<i>Idem</i>	2 grands crampons	96 l.
	Total	152 l.
<i>Mettre du costel de monseigneur l'evesque en deux aultres chanlates</i>	2 petits crampons	12 l.
<i>Idem</i>	2 grands crampons	23 l.
<i>Idem</i>	4 chevilles	4 l.
<i>Idem</i>	1 crampon	18 l.
	Total	57 l.

Tableau 78 : Dépenses de fer pour la mise en place de chanlattes en 1468-1469⁷¹¹.

⁷⁰⁷ Le terme de chanlatte désigne une gouttière ou un petit canal, GODEFROY (F.), *Dictionnaire de l'ancienne langue française...*, op. cit., vol. II, p. 55.

⁷⁰⁸ En 1477, les charpentiers mettent des chanlates pour oster les yauez qui pourrissoient les arcs boutans, Arch. dép. Aube, G 1567, fol. 146 r°.

⁷⁰⁹ *Eidem Petro pro duabus chanlatte ferri posite in quibusdam gorgoles supra hostium beati Leonardi, pro quoliter VII s., XIII s.*, Bibl. nat., ms. lat. 9113, fol. 10 v°.

⁷¹⁰ A Perrin de Villemor pour VI fors crampons de fer à porter une chanlate de plonc dessoubz la dicte chapelle [de sainte Helene] pris par le couvreur, VII s. VI d., Arch. dép. G 1562, fol. 17 r°.

⁷¹¹ PJ n° 51, fol. 57 v°.

Entre 1476 et 1483, les ouvrages liés à la mise en place ou la restauration de chanlattes sur diverses parties de l'édifice voient la consommation de près de 140 kg de fer en agrafes, crochets, clefs et petits tirants (cf. Tableau 79). Ces éléments sont commandés au fur et à mesure de l'installation des chanlattes dans les endroits où elles sont nécessaires. Elles sont parfois intégrées directement au programme de construction : en 1499, la fabrique prévoit qu'il faudra un crampon de fer *en chacun chevron d'icelle ramee* pour soutenir des chanlattes⁷¹².

Année	Utilisation	Eléments de fer	Masse
1476-77	<i>Sur la chapelle Drouyn pour porter les chanlates</i>	10 agrafes	40 l.
1476-77	<i>Soustenir les chanlatez mises sur l'église dessus la chappelle Saint-Lyenart</i>	7 agrafes	60 l.
1477-78	<i>Porter des chanlates mis neusves pour desduire les yauetz loing de la massonnerie [devers le bel portail]</i>	Crochets, clos, crampons	40 l.
1480-81	<i>Cramponner et arrester ladite chanlate [grosse chanlate de LX piés de longt qui fait conduit à oster les yauetz de la haulte alée et les sueurs sur les basses voltes des chappelles du coste devers le pavement de la rue]</i>	2 crampons, 6 crochets	22 l.
1482-83	<i>Portent les chanlattes de ladite nef</i>	24 clefs de fer	89 l.
1482-83	<i>Estachier deux conduis à recepvoir les eaues du costé devers Monseigneur l'Evesque</i>	5 tirants de fer	30 l.
		Total	281 l.

Tableau 79 : Eléments de fer mis aux chanlattes de l'église entre 1476 et 1483⁷¹³.

Quelques exemples plus rares mentionnent l'existence de « gargouilles de fer », comme en 1440 où un ouvrier est payé pour *plommer et mettre une gargolle de fer empres le pillier qui est de costé le jube*⁷¹⁴. Il pourrait ici s'agir d'un conduit de fer recouvert partiellement de plomb, mais l'exemple est assez isolé et n'est pas des plus explicites. La mention de 1484-1485 des dépenses *pour les gargoies de fer du bel portail* au nord du transept ne laisse quant à elle aucune d'équivoque sur la nature de la mise en œuvre. Un valet est chargé d'*oster toutes les gargoies de plonc qui estoient ou pignon dudit portail pour ce*

⁷¹² Arch. dép. Aube, G 1571, fol. 222 v°. Liées ainsi à la charpente, il s'agit très certainement de chanlattes de bois.

⁷¹³ D'après PJ n° 54 ; PJ n° 55 ; PJ n° 57 ; PJ n° 58, fol. 86 v° et fol. 87 r°.

⁷¹⁴ Arch. dép. Aube, G 1562, fol. 234 r°.

*quelles estoient ployée et cheoit l'eaue sur ledit portail et en lieu d'icelles il en mectre de fer garnies par dessus de plonc pour estre plus fortes*⁷¹⁵. Il s'agit donc bien de gouttières de fer recouvertes de plomb, le fer assurant la rigidité et la solidité et le plomb l'étanchéité. Le coût et la masse du fer et du plomb ne sont en revanche pas indiqués car tous les éléments proviennent des garnisons de l'église.

Les quantités de fer utilisées pour faire des chanlattes et des gargouilles ou encore pour les soutenir se comptent déjà en centaines de kilogrammes pour les quelques exemples présentés ici. Cet emploi représente sans doute quelques tonnes de fer sur l'ensemble de l'édifice, d'autant plus que ces éléments, constamment exposés aux intempéries, devaient faire l'objet de réparations fréquentes.

II.1.6.6 Le nouveau clocher

Au début du XV^e siècle, la fabrique de la cathédrale entreprend la construction d'un nouveau clocher à la croisée du transept pour remplacer celui dont la flèche avait été abattue par un coup de vent en 1365⁷¹⁶. Les travaux d'élévation du clocher, commencés dès le mois de mars 1412 avec un important approvisionnement préalable en bois d'œuvre qui nécessite la fabrication de chariots pour amener le bois de Vendevre-sur-Barse⁷¹⁷, durent jusqu'au milieu des années 1430.

Les premières et seules évidences de mise en œuvre de fer dans l'architecture du clocher n'arrivent qu'entre 1431 et 1433, donc en toute fin de construction. La première année, le fabricant mentionne le travail de Jaquot L'Avocat, serrurier et horloger, aidé de Guillemain le serrurier et de Gilet, ouvrier de forge, qui ont fait *tout l'ouvrage de forge pour ledit clocher tant ou merrien comme en la crois d'icelly [...]* et plusieurs autres choses pour une somme totale de 39 l. t.⁷¹⁸. Plus de précision sont données sur la rémunération de Jaquot ou Jaquinot L'Avocat l'année suivante (cf. Tableau 80) : il travaille avec son valet et un ou deux autres ouvriers de forge pendant vingt-et-un jours, entre le 28 juillet et le 24 août, à *forgier barreaux pour arrester lesdites filloles et lesdits pignacles autour de l'esguille dudit clocher* ainsi que *d'autres barreaux de fer pour lyer les ars boutans avec les postaux du*

⁷¹⁵ Arch. dép. Aube, G 1568, fol. 183 r^o.

⁷¹⁶ ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, op. cit., p. 178.

⁷¹⁷ Arch. dép. Aube, G 1560, fol. 22 v^o ; G 1561, fol 37 r^o.

⁷¹⁸ Arch. dép. Aube, G 1562, fol. 117 v^o.

*clocher*⁷¹⁹. Ginote, veuve du marchand Gauthier Pietrequin, fournit 201 livres de fer du Reclus pour faire ces barreaux. Le charpentier, aidé d'un ouvrier passe enfin deux semaines de six jours à les asseoir, travail qui nécessite notamment de *percer les posteaux et ars boutans*⁷²⁰. Le coût total de l'opération s'élève à près de 15 l. t., dont environ 30 % pour la matière. La présence du charpentier pour la mise en œuvre des barreaux montre qu'il s'agit sans doute là d'assemblages fer/bois et non fer/pierre. De tels barreaux auraient toutefois également pu être mis en place dans une construction de maçonnerie.

Le maître maçon prévoyait originellement de faire mettre seize autres barreaux pesant 85 l. *entre les pignacles et failloles dudit clochier*⁷²¹. Le serrurier avait pour cela *despecier II grosses chaesnes de fer quavoit données à l'œuvre* et reçu 15,75 livres de fer achetées à la même Ginote. Cependant, ces barreaux, une fois forgés, *n'ont point esté assis car il n'estoit point de besoing* et ont finalement *esté employés à faire les croches de fer pour l'eschelier à monter en la couisse d'icelly clocher*⁷²². La masse de ces barreaux permet malgré tout de déterminer qu'il s'agit là non pas de gros barreaux, mais plutôt de petites barres de fer d'environ 2,5 kg chacune. Leur longueur et leur section s'approchent donc de celles d'une barlotière classique. Par extrapolation les 201 livres de fer effectivement mises au clocher représentent une quarantaine de barreaux de ces dimensions.

Ces barreaux de fer mis en œuvre sont selon toute vraisemblance extérieurs à la structure du clocher. Les premiers servent à renforcer colonnettes et pinacles, éléments architecturaux élancés et fragiles pouvant être emportés par une rafale de vent, d'autant plus qu'ils sont situés en hauteur et fortement exposés aux conditions climatiques. Le rôle des seconds, placés entre les poteaux et les arcs-boutants est plus difficile à déterminer. Les arcs-boutants en question ne sont probablement pas ceux du transept de la cathédrale mais plutôt *les ars boutans dudit clocher* sur lesquels on prévoit de mettre l'année suivante des barrières de fer, qui n'y seront finalement pas assise *tant pour la grant charge comme pour le peril de vent*⁷²³. Un dessin daté de 1621 représentant une vue de la ville de Troyes et de ses différentes églises montre en effet que la tour du clocher est contrebutée de tous côtés par des sortes d'arcs-boutants⁷²⁴. Il semblerait donc qu'il faille plutôt voir dans ces barres de fer des éléments de renfort internes entre les différents éléments structurels du clocher notamment

⁷¹⁹ PJ n° 47, fol. 134 r° et fol. 134 v°.

⁷²⁰ PJ n° 47, fol. 135 r°.

⁷²¹ PJ n° 47, fol. 137 r°.

⁷²² *Ibidem*.

⁷²³ PJ n° 48, fol. 165 v°.

⁷²⁴ Bibl. nat., Estampes, H 111 490.

comme mesure de précaution contre ce « péril de vent ». Aucune comparaison n'est possible avec les données de terrain, car cette nouvelle flèche est frappée par la foudre en 1700 et ne sera jamais remontée⁷²⁵.

Ouvrier	Semaine	Temps	Prix
<i>Forgier barreaux pour arrester lesdites filloles et lesdits pignacles autour de l'esguille dudit clocher</i>			
Jaquenot L'Avocat, serrurier et son valet		4 jours	23 s. 4 d. t.
Jaquenot L'Avocat et son valet	Sem. du 28 juillet	4 jours	23 s. 4 d. t.
Un ouvrier de forge	Sem. du 28 juillet	4 jours	10 s. t.
<i>Forgier barreaux de fer pour lyer les ars boutans avec les posteaux du clocher</i>			
Jaquenot L'Avocat et son valet	Sem. du 4 août	6 jours	35 s. t.
Martin ouvrier de forge	Sem. du 4 août	2 jours	6 s. 8 d. t.
<i>Asseoir lesdits barreaux</i>			
Lorent Heriot charpentier	Sem. du 4 août	6 jours	20 s. t.
Nicolas Henault	Sem. du 4 août	6 jours	15 s. t. ?
201 l. fer du Reclus pour barreaux			4 l. 10 s. 5 d. t.
<i>Forger les barreaux dessusdits</i>			
Jaquenot L'Avocat et 2 ouvriers de forge	Sem. du 11 août	5 jours	37 s. 6 d. t.
<i>Parfaire les barreaux</i>			
Jaquenot L'Avocat et 2 ouvriers de forge	Sem. du 18 août	6 jours	37 s. 6 d. t.
<i>Asseoir les barreaux</i>			
Lorent Heriot charpentier	Sem. du 18 août	6 jours	(20 s. t. ?) ⁷²⁶
Nicolas Henault	Sem. du 18 août	6 jours	15 s. t.
		Total forge	13 l. 3 s. 9 d. t.
		Total pose	3 l. 10 s. t. ?

Tableau 80 : Détail du travail des ouvriers pour la forge et la pose de barreaux de fer pour le clocher en 1432⁷²⁷.

⁷²⁵ BALCON (S.), *La cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul...*, op. cit., p. 13.

⁷²⁶ La somme a dû être omise par le procureur car elle n'est pas précisée.

⁷²⁷ D'après PJ n° 47, fol. 134 r°, fol. 134 v° et fol. 135 r°.

II.1.6.7 Emplois du fer dans la charpente

Les achats de barres de fer pour le clocher introduisaient la question des assemblages fer-bois et plus généralement du renforcement des structures en bois par des éléments de fer, situation qui s'exprime le mieux dans la charpente de l'édifice. Si la charpente actuelle, qui possède un certain nombre d'attaches de fer, n'est que l'image d'une construction du début du XVIII^e siècle, les comptes de la fabrique permettent d'appréhender leur emploi à la période médiévale.

Dès le milieu du XIV^e siècle, un compte fait allusion à l'utilisation par les charpentiers de tirants et crampons de fer : au chapitre « pour charpenterie et matières » de l'année 1337-1338, le forgeron Jacquemart fournit deux gros tirants de 60 s. t. pesant 162 livres de fer, cinquante petits tirants payés 10 s. t. et 50 crampons pesant également 162 livres⁷²⁸. Malgré le nombre de pièces et les dimensions de certaines d'entre elles, les deux gros tirants pesant en moyenne près de 40 kg chacun, l'emploi qui en est fait n'est pas précisé. On sait seulement que des travaux de charpenterie et de couverture sont effectués à partir de 1336 à la nef de l'église pour lesquels du bois œuvre est apporté du Mont Erard à Aix-en-Othe où l'évêque de Troyes a une importante seigneurie⁷²⁹. Les dépenses « pour couvreurs, charpentiers et matières » s'élèvent alors brutalement de quelques livres tournois à plusieurs dizaines au moins jusqu'en 1340, avec un pic à plus de 81 l. t. pour l'année 1336-1337⁷³⁰. Il est donc probable que ces tirants et crampons de fer ont été utilisés dans la charpente de la nef de l'église.

Deux périodes assez bien documentées par les comptes dans l'histoire de la cathédrale, permettent d'aborder de manière plus précise l'utilisation du fer dans sa charpente.

La première, à la fin du XIV^e siècle correspond à des travaux de réparation et de reconstruction de la charpente et de la toiture couvrant les trois premières travées de la nef. Dans les années 1380, la toiture de l'église subit des dommages répétés qui permettent, faute de nouvelle construction, d'appréhender des ouvrages de réparation. Elle est tout d'abord

⁷²⁸.PJ n° 20, fol. 20 r°.

⁷²⁹ MURRAY (S.), *Building Troyes cathedral...*, *op. cit.*, p. 28 ; Bibl. nat., nouv. acq. lat. 1949, fol. 9 r°.

⁷³⁰ Bibl. nat., nouv. acq. lat. 1949.

frappée par la foudre le 9 juillet 1382⁷³¹. Outre les clous nécessaires à la réparation de la couverture, le serrurier forge également six bandes de fer payées 4. s. 2 d. t. pièce, chacune mesurant 3,5 pieds de long, qui seront mises *es bechaux de la dicte rameure*⁷³². Est également mise en place *une grant bande de fer qui tient l'appointure dessoubs le frestre*⁷³³. Moins de dix ans plus tard, de nouveaux travaux sont à entreprendre suite à la chute de la nef haute le jour de Noël 1389. De nouveau, le serrurier Thomas le Chat fournit huit bandes de fer pesant 38 livres *mises es bechaux et entrez de la dicte ramée*⁷³⁴. La fabrique passe également une commande particulière à un autre serrurier, Jacquemart, pour *une grant bande de fer d'Espagne d'environ VI piez de long* fournie avec clous et crampons, le tout pesant 25 livres et *mise ou premier tré et béchaut de la ramée par devers le clocher*⁷³⁵. Deux ans plus tard, Thomas le Chat forge enfin six autres bandes à partir de vieilles bandes de fer, toujours destinées aux mêmes « béchauts de la ramée »⁷³⁶. Bien que l'on ignore la signification exacte de ce terme de charpenterie, ces réparations faites aux « béchauts de la ramée » sont loin d'être les dernières. Les diverses mentions qui y rapportent permettent néanmoins d'échafauder quelques hypothèses sur leur nature. Vingt ans plus tard, six liens sont arrachés des « béchauts » situés sur le chœur de l'église, deux qui étaient brisés sont refaits et sont reposés au moyen de vingt-huit chevilles de fer⁷³⁷. De même, encore vingt ans après, en 1433-1334, quatre liens de fer du reclus pesant 12,5 livres soit 1,5 kg chacun environ sont mis en place pour lier *les arrestiers au bechaut et les IIII chevrons ensemble*⁷³⁸. Ces « béchauts » se retrouvent également dans la charpente de la librairie lors de sa construction entre 1479 et 1480 ; ils sont alors renforcés par six corbeaux pesant 61 livres de fer⁷³⁹.

La seconde période correspond à l'achèvement de la charpente de la nef *entre la nef de la dite église et la chapelle Drouyn*, c'est-à-dire vers l'ouest, sur les deux dernières travées dont les piliers ont été édifiés entre 1450 et 1470. Elle prend place au cours de l'année 1482-1483⁷⁴⁰. De nouveau, des renforts sont apportés aux « béchauts », avec la mise en place de *quatre gros estriers de fer pesant cent livres dont deux soutiennent les poultries les bechos*⁷⁴¹.

⁷³¹ Bibl. nat., ms. lat. 9112, fol. 62 v°.

⁷³² PJ n° 28.

⁷³³ *Ibidem*.

⁷³⁴ PJ n° 33.

⁷³⁵ *Ibidem*.

⁷³⁶ PJ n° 35.

⁷³⁷ PJ n° 42, fol. 24 r°.

⁷³⁸ PJ n° 48, fol. 166 v°.

⁷³⁹ PJ n° 56, fol. 255 r°.

⁷⁴⁰ PJ n° 58, fol. 75 r°.

⁷⁴¹ PJ n° 58, fol. 86 r°.

Une poutre dernièrement mise dans la charpente est également armé d'un *gros lien de fer* pesant 33 livres⁷⁴². Deux autres *grans leans de fer* de 12 livres sont quant à eux employés pour *lier les soubfrestes de ladite nef et de l'autre nef*, c'est-à-dire pour relier la nouvelle charpente à l'ancienne⁷⁴³. Enfin, les chevrons de cette nouvelle charpente sont assemblés aux autres pièces de bois, notamment aux pannes, par de nombreuses chevilles : les comptes en mentionnent au moins 80, chacune pesant environ 2 livres soit près d'un kg.

Date	Élément de fer	Destination	Masse de fer
19 juillet 1482	22 chevilles	Pour mettre es chevrons de la ramee neuve	44 l.
11 août 1482	29 chevilles	Pour cheviller les chevrons de ladite nef à la panne d'en bas	53 l.
	26 chevilles	Pour lesdits chevrons	50 l.
5 octobre 1482	3 grandes chevilles rondes	Pour accoupler les chevrons audits frestes	5 l.

Tableau 81 : Chevilles mises en œuvre dans les chevrons de la charpente de la partie occidentale de la nef en 1482⁷⁴⁴.

Cette charpente de la nef est détruite et remplacée dans son ensemble moins de dix ans plus tard, au cours de l'année comptable 1488-1489, après que les entablements des baies hautes ont été élevés. Le maître charpentier Jean Carbonnier est payé 938 l. t. pour l'ensemble de l'ouvrage mais aucun détail du travail de serrurerie n'est disponible dans les comptes⁷⁴⁵.

D'après les comptes de la fabrique, le fer est donc présent de manière répétitive à deux endroits de la charpente : sous forme de chevilles pour l'assemblage des chevrons et sous diverses formes, liens, bandes ou encore corbeaux et étriers dans les « béchauts de la ramée ».

Si l'emploi de chevilles en fer dans les chevrons est aisé à visualiser, le terme de « béchaut » qui revient de manière assez chronique dans les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes n'a en revanche trouvé aucun équivalent dans les dictionnaires et encyclopédies consultées, tant spécialisés sur les termes de charpenterie que sur les termes de

⁷⁴² PJ n° 58, fol. 86 v°.

⁷⁴³ PJ n° 58, fol. 87 r°.

⁷⁴⁴ PJ n° 58, fol. 86 r°, fol. 86 v° et fol. 87 r°.

⁷⁴⁵ Arch. dép. Aube, G 1569, fol. 63 r°.

français médiéval⁷⁴⁶. Sémantiquement parlant, le terme le plus proche est celui de « blochet », ces petites pièces de bois équarries posées à intervalles réguliers sur les sablières entre deux entrails, parallèlement à ces derniers et servant à recevoir l'ancrage des chevrons et des jambettes de force qui les accompagnent. Dans la charpente actuelle, qui date du début du XVIII^e siècle, on retrouve ces blochets. Cependant, leurs assemblages avec les chevrons et les sablières n'y sont, à l'inverse de ceux des entrails, jamais renforcés par une bande de fer. De plus, il s'agit de pièces de fort petites dimensions, mesurant environ 80 cm de long. Il paraît difficile d'envisager l'attache d'une de ces pièces par une grande bande de fer de près de 2 m de long comme le suggère le compte de 1390-1391⁷⁴⁷. De plus, les blochets sont des pièces très nombreuses dans une charpente, alors que les béchauts semblent en nombre plus limité, d'après les nombreuses mentions de ce terme au singulier ou encore d'après l'expression *es VI béchauts de la ramee*⁷⁴⁸ qui suppose que la charpente des trois premières travées de la nef de l'église nouvellement réparée n'en contient pas plus de six. Il semble donc qu'il faille voir dans ce terme de « béchaut » une pièce plus importante de la charpente, qui peut être liée aux arêtiers⁷⁴⁹. Mais suivant de quel arêtier il est question, il peut s'agir de toutes les pièces importantes de la charpente : entrails, arbalétriers, poinçons... Les renforts de fer de la charpente actuelle se trouvent par ailleurs bien au niveau de ces assemblages.

⁷⁴⁶ La question a également été posée à F. Epaud, spécialiste des charpentes médiévales. Ce terme lui était également inconnu. Pour les raisons sémantiques évoquées ci-après, il a également soulevé la possibilité des blochets.

⁷⁴⁷ PJ n° 33.

⁷⁴⁸ PJ n° 35.

⁷⁴⁹ PJ n° 48, fol. 166 v°.

Année	Éléments de fer	Destination	Masse
1381-82	6 bandes de 3,5 pieds de long	Mises es béchauts de la dite rameure	
1390-91	8 bandes	Mises es béchauts et entrails de la dite ramée	38 l.
1390-91	1 grande bande de fer d'Espagne d'environ 6 piez de long, crampons, clous	Mise au premier tref et béchaut de la ramée par devers le clocher	25 l.
1392-93	6 bandes de fer, crampons, clous	Mettre es 6 béchauts de la ramée	
1412-13	Arracher 6 liens des béchauts et refait les 2 qui étaient rompus et 28 chevilles de fer pour les cheviller.	Béchauts de la ramée dessus le cœur de l'église	
1433-34	4 liens de fer du Reclus	Lient les arrêtières au béchaut et les 4 chevrons ensemble.	12,5 l.
1479-80	6 corbeaux et les clous et crampons	Pour les poutres et béchauts de la dite librairie	61 l.
1482-83	4 gros étriers de fer	Deux soutiennent les poutres, les béchauts	100 l.

Tableau 82 : Éléments de fer mis dans les béchauts de la charpente⁷⁵⁰

Éléments de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Agrafes	Jubé	> 325		≈ 550 kg	1384-1399
Goujons	Jubé	> 219			1384-1399
Barreaux	Jubé	> 11			1384-1399
Agrafes	Piliers de la nef	> 456		≈ 390 kg	1390-1487
Agrafes et barreaux	Entablement des baies hautes de la nef			≈ 370 kg	1487-1489
Agrafes, barreaux, goujons	Arcs-boutants	-	-	-	1366-1496
Agrafes, crochets, clefs, tirants	Chanlattes de la cathédrale	-	-	-	XIV ^e - XV ^e s.
Barreaux	Clocher de l'église sur la croisée	-	-	≈ 100 kg	1431-1433
Bandes, corbeaux, liens, étrier	Assemblages des « béchauts »	-	-	> 100 kg	XIV ^e - XV ^e s.
Chevilles	Assemblages des chevrons	-	-	> 75 kg	XIV ^e - XV ^e s.

Tableau 83 : Récapitulatif des éléments de fer mis en œuvre dans la structure de la cathédrale de Troyes d'après les comptes de la fabrique.

⁷⁵⁰ D'après PJ n° 28 ; PJ n° 33 ; PJ n° 35 ; PJ n° 42, fol. 24 r° ; PJ n° 48, fol. 166 v° ; PJ n° 56, fol. 255 r° ; PJ n° 58, fol. 86 r°.

II.1.7 Les dépenses pour forge dans les comptes de la fabrique : nature et évolution de 1293 à 1520

Outre ces informations sur des ouvrages particuliers, les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes, grâce à leur conservation exceptionnelle, permettent d'avoir un aperçu chronologique et thématique de l'évolution des dépenses pour forge au cours des différentes campagnes de construction du milieu du XIV^e au début du XVI^e siècle.

II.1.7.1 Approche chronologique

II.1.7.1.1 Années 1293-1301

La première série de comptes concerne l'extrême fin du XIII^e siècle. Malgré la rareté de registres aussi anciens, ces comptes ne donnent que peu de précisions sur les travaux effectués dans l'édifice. La plupart des mentions consistent en un simple « *pro forgia* » sans détail particulier et la destination des rares pièces de fer ouvrées explicitement mentionnées n'est jamais précisée. De plus les dépenses totales sont plutôt faibles, comprises entre 5 et 10 l. t. par an environ, soit de 1 à 6 % des dépenses totales (cf. Figure 215). On note des achats relativement constants de clous pour quelques livres et une dépense du même ordre pour différents éléments des cloches, ainsi que pour ferrer les nouvelles boîtes servant pour le Senne et réparer les anciennes⁷⁵¹. Quelques achats de vergettes et clous servant probablement de clavettes pour les verrières sont également à relever⁷⁵². Deux forgerons se succèdent pendant cette période, Symon la première année, et Garnet par la suite.

La dépense la plus importante de cette série est faite pour les cloches en 1297-1298, année où les dépenses pour forge dépassent les 22 l. t. soit presque 9 % du total de l'année. Le

⁷⁵¹ *Item Symoni fabro salbo. post festum Beati Johannis LII s. IX d. pro bustriis novis ferrandis et vetibus reparandis*, Bibl. nat., ms. lat. 9111, fol. 206 r^o.

⁷⁵² *Pro I^c palearum ferri et IC clavorum ad victreas IIII s. VI d.*, Bibl. nat., ms. lat. 9111, fol. 212 r^o.

forgeron Garnet est en particulier chargé de ferrer les nouveaux axes des cloches de son fer, pour une somme de 14 l. 5 s. t.⁷⁵³

II.1.7.1.2 *Années 1333-1340*

Au début du deuxième tiers du XIV^e siècle, les dépenses sont toujours plutôt faibles, comprises entre 5 et 10 l. t. par an, soit moins de 4 % des dépenses totales (cf. Figure 215). Les mentions « pro forgia » ne font en général plus l'objet d'un décompte spécifique et ne sont donc pas comptabilisables. Pour l'année 1339-1340, la seule où il est possible de les caractériser, elles représentent un coût très faible d'à peine 1 l. t., ce qui confirme le fait que ces dépenses sont mineures. Les dépenses récurrentes sont toujours pour les boîtes et les cloches, en moyenne quelques livres par an. On a également des achats réguliers de fers à vitraux pour environ 5 l. t. par an. Si les mentions sont plus détaillées que pour la série précédente, la destination des éléments de fer achetés n'est toujours que très rarement mentionnée. Il est ainsi impossible de savoir l'emploi qui a été fait des 50 crampons achetés en 1337-1338 ni des 52 agrafes et 36 goujons de 1339-1340⁷⁵⁴. De nouveau, deux forgerons se succèdent pendant cette période, Colin la première année, et Jaquemart par la suite.

Les principaux ouvrages de serrurerie réalisés à cette période sont pour les cloches et pour les verrières, avec un pic en 1336-1337, année où les dépenses pour forge atteignent plus de 8 % du total de l'année avec 30 l. 16 s. 5 d. t. dont 16 l. 15 s. 2 d. t. pour les seules cloches. L'ouvrage des cloches concerne essentiellement la ferrure de la nouvelle grosse cloche, en particulier pour son battant⁷⁵⁵. D'après Murray, ces dépenses sont à relier à l'édification d'une tour campanile et l'installation de sa cloche⁷⁵⁶. Les travaux pour les verrières voient l'achat de plusieurs centaines de verges (*palis*) et de clous (*clavis*) servant certainement de clavettes ainsi que des tirants (*tirannis*).

On a également cette année-là les premières mentions de masse pour certains des éléments achetés qui permettent de calculer le prix d'une livre de fer ouvrée (cf. Tableau 78). Il n'est pas précisé si le forgeron a fourni lui-même le fer ou s'il s'agit uniquement du coût de

⁷⁵³ *Garnoto fabro pro axibus campanarum novis ferrandis de ferro suo XIII l. V s.*, Bibl. nat., ms. lat 9111, fol. 214 r^o.

⁷⁵⁴ Bibl. nat., nouv. acq. lat. 1949, fol. 20 r^o ; nouv. acq. lat. 1950, fol. 3 v^o.

⁷⁵⁵ *Dicta die tradidi Jacomardo fabro pro batallio succursu et pro batallio magne campane nove et pluribus altris ferraturis VII l.*, Bibl. nat., ms. nouv. acq. lat. 1949, fol. 11 v^o ; *Jacomardo fabro pro ferratura dicte campane VI l.* ; *Item dicto Jacomardo pro batallio magne campane de novo LX s.*, Bibl. nat., nouv. acq. lat. 1949, fol. 13 v^o.

⁷⁵⁶ MURRAY (S.), *Building Troyes cathedral...*, *op. cit.*, p. 28.

son travail pour avoir forgé un fer de garnison. Le faible prix à la livre, aux alentours de 4 d. par livre semblerait cependant indiquer qu'il s'agit là uniquement de la rémunération du forgeron pour son travail.

Éléments	Masse totale	Masse unitaire	Prix	Prix à la livre
2 tirants de fer	6 pois (162 l.)	81 l.	60 s.	4,4 d. par livre
50 crampons de fer	6 pois (162 l.)	3 ¼ l.	50 s.	3,7 d. par livre

Tableau 84 : Prix d'une livre de fer en 1337-1338 d'après les mentions d'achat⁷⁵⁷.

II.1.7.1.3 Années 1366-1399

Le dernier tiers du XIV^e siècle voit la première grande série de comptes, presque ininterrompue de 1372 à 1399 avec seulement trois années manquantes. Hors années exceptionnelles, les dépenses pour forge oscillent entre 5 et 20 l. t. avec un dépense constante de quelques livres pour les outils ainsi que pour les boîtes. Les dépenses pour forge explosent entre 1375 et 1380, atteignant même plus de 140 l. t. dont 95 % pour les vitraux (cf. Figure 216). Cette hausse brutale des dépenses en fers à vitraux, qui représentent alors plus de 25 % des dépenses annuelles de la fabrique, est directement liée à la campagne de vitrerie des fenêtres hautes du transept. La réduction des dépenses totales engagées par la fabrique de la cathédrale engendrée par la crise que traverse le royaume de France à l'époque de la guerre de Cent ans est quant à elle responsable de la part très importante des dépenses pour forges par rapport au total de l'année. Une seconde hausse visible en 1384-1385, avec 47 l. 18 s. 3 d. t. dont 35 l. 15 s. 2 d. t. de fer d'œuvre, correspond quant à elle au début de la construction du jubé dans lequel plus de 1000 livres de fer sous forme d'agrafes de goujons et de barreaux sont mises en œuvre. On remarque par ailleurs une légère augmentation des dépenses pour outils à partir de 1382, année où les carriers commencent à extraire les pierres en carrière pour le jubé, et qui dure jusqu'en 1390, année où le gros œuvre du jubé est terminé. Enfin la période comprise entre 1390 et 1392 avec trois années de dépenses légèrement supérieures à la moyenne correspond à la reconstruction de la toiture suite à l'accident de Noël 1389. La vingtaine de livres tournois de fer d'œuvre de la première année correspondent aux dépenses pour les armatures des piliers de la nef qu'il a fallu remonter, puis l'important achat de clous

⁷⁵⁷ PJ n° 20, fol. 20 r°.

et de fers à vitraux de 1391 à 1393 correspond aux ouvrages de couverture et de vitrerie de cette paroi provisoire ainsi que des réparations.

Plusieurs forgerons se succèdent pendant cette période. Ils travaillent parfois à des ouvrages différents pendant la même année, même si l'on observe que la plupart des ouvrages sont en général toujours effectués par un seul et même serrurier : Thomas Grosse Tecte de 1377 à 1383 et Thomas le Chat de 1384 à 1399. Richart le serrurier est quant à lui présent par épisodes entre 1372 et 1399.

Le prix du fer ouvré est compris entre 25 et 27 sous le poids, soit environ 11 à 12 d. t. la livre entre 1375 et 1380, qu'il s'agisse de fers à vitraux, d'agrafes ou de goujons. A deux reprises, du fer d'Espagne est acheté par la fabrique au même prix en 1380⁷⁵⁸. Certains ouvrages d'armatures de vitraux *plus deliez* sont en revanche payés 28 s. t. le poids soit 12,5 d. t. la livre environ⁷⁵⁹.

II.1.7.1.4 Le XV^e siècle

A partir de 1409, les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes présentent une assez bonne continuité, il est donc plus difficile d'établir des séries distinctes les unes des autres comme pour le siècle précédent.

Dans la première moitié du XV^e siècle, la dépense moyenne pour forge se situe toujours aux alentours de 5 à 15 l. t. environ. Trois séries d'années exceptionnelles se détachent (cf. Figure 217).

Tout d'abord entre 1410 et 1414, où les dépenses dépassent les 25 l. t. avec un pic à plus de 56 l. t. en 1412-1413. Cette hausse correspond davantage à la conjonction de plusieurs dépenses différentes qui ne sont pas forcément liées directement les unes aux autres⁷⁶⁰ :

- l'achat de gros barreaux de fer à Colin Midon de la grosse forge de Doulevant pour faire un chaînage à mettre sur les voûtes du transept, entre 1410 et 1413⁷⁶¹ ;
- la construction entre de deux *charriots à charroyer le merrien* depuis Venduvre pour commencer l'élévation du grand clocher⁷⁶² ;

⁷⁵⁸ PJ n° 26, fol. 52 r°.

⁷⁵⁹ PJ n° 23, fol. 9 r°.

⁷⁶⁰ S. Murray relie cependant la pose des barreaux sur les voûtes du transept à des travaux préparatoires à la construction du clocher, MURRAY (S.), *Building Troyes cathedral...*, op. cit., p. 59.

⁷⁶¹ PJ n° 40, fol. 171 v°.

⁷⁶² PJ n° 42, fol. 22 v°-23 r°.

- des dépenses importantes pour le mobilier entre 1412 et 1413, avec la forge d'un lutrin et de plusieurs armoires⁷⁶³ ;
- la ferrure des *portes de l'allée de l'église par devers les reliques* en 1413-1414⁷⁶⁴.

La seconde série de dépenses bien supérieures à la moyenne, entre 1420 et 1423 est directement liée à l'inflation au début de l'occupation anglaise. Alors que jusqu'en 1416, le prix de la livre de fer ouvrée n'avait pas dépassé 10 d. t. et était même plutôt compris entre 7 et 8 d. t., il atteint brusquement 5 à 10 s. t. de « faible monnaie » pendant ces quelques années⁷⁶⁵. En convertissant en forte monnaie, les dépenses engagées par la fabrique à cette période semblent correspondre en réalité à des années moyennes. En 1419-1420, l'importance des indéterminés est due à la mise en place des orgues qui nécessite l'emploi de nombreux petits éléments de fer. Sans l'inflation qui contribue à la mettre en relief, cette dépense pour les orgues aurait toutefois été beaucoup moins mise en exergue. Jean Bon Bœuf qui demeure à proximité de la cathédrale, puis Perrin le hoteux de Villemor sont les deux principaux serruriers travaillant à cette époque à la cathédrale.

Enfin, entre 1431 et 1434, les dépenses atteignent 45 à 60 l. t., essentiellement par le coût des clous et du fer d'œuvre. Cette période correspond à l'achèvement du clocher avec la mise en place de barreaux de fer pour *l'ouvrage de forge pour ledit clocher tant ou merrien comme en la crois d'icelly*⁷⁶⁶ entre 1431 et 1433, puis l'année suivante l'achat d'au moins 60000 clous, environ moitié à latte et moitié à écaille, *pour later et couvrir d'ecailles l'esguille du clocher*⁷⁶⁷.

Outre la construction du clocher, la cathédrale de Troyes ne fait pas l'objet d'importants travaux au cours de la première moitié du XV^e siècle, ce que traduisent les très faibles dépenses pour forge. La reprise de la construction est marquée par les pardons institués annuellement par l'évêque à partir de l'année 1452 afin de collecter une somme d'argent suffisante pour reprendre et achever la nef de l'édifice. En plus d'un important revenu, l'année 1452-1453 voit également une très forte augmentation des dépenses pour les outils et les engins, avec respectivement 34 l. 15 s. 11 d. t. et 17 l. 3 s. 8 d. t. sur l'année. Ces dépenses caractérisent la reprise des travaux en carrière avec l'extraction des blocs nécessitant un

⁷⁶³ Arch. dép. Aube, G 1561, fol. 24 r^o et fol. 48 v^o.

⁷⁶⁴ PJ n^o 43.

⁷⁶⁵ Le prix de la livre de fer en forte monnaie semble être assez constant autour 12 d. t. d'après quelques mentions. Cependant l'ensemble des sommes est toujours présenté en faible monnaie et il n'est donc pas souvent possible d'établir les dépenses en monnaie non dévaluée.

⁷⁶⁶ Arch. dép. Aube, G 1562, fol. 117 v^o.

⁷⁶⁷ Arch. dép. Aube, G 1562, fol. 158 v^o.

certain nombre d'engins et d'outils neufs (marteaux taillants, masses, coins, pioches,...) et leur réparation régulière par des maréchaux demeurant à proximité des carrières, en l'occurrence le maréchal de Bar sur Seine ou celui de Bausseneaut pour les carrières d'Aigremont et d'Esclance⁷⁶⁸. Puis le transport des matériaux par voie terrestre pour lesquels le chariot de l'église est mis à contribution.

Au cours de la seconde moitié du XV^e siècle et jusqu'en 1520, l'activité du chantier se traduit par une hausse des dépenses de la fabrique auxquelles n'échappent pas les dépenses pour forge, comprises en moyenne entre 20 et 25 l. t. par an, malgré la baisse du prix de la livre de fer ouvrée, qui passe d'environ 10 d. t. au milieu des années 1430, à 8 d. t. au début des années 1450, puis respectivement 7 et 6 d. t. dans les années 1460 et 1470. Les prix commencent à remonter légèrement à partir du milieu des années 1480 pour atteindre de nouveau 8 d. dans les années 1490. Les dépenses pour l'entretien des cloches sont assez fixes pendant toute la période, en revanche, les dépenses pour les outils sont presque nulles pour la plupart des années.

Plusieurs années dépassent les 60 l. t. de dépenses pour forge (cf. Figure 218). En particulier en 1479-1480 avec la construction de la nouvelle librairie qui doit être vitrée et équipée de portes⁷⁶⁹. En 1482-1483, cette dépense atteint près de 90 l. t. avec la mise en place d'une nouvelle toiture provisoire sur les dernières travées de la nef, nécessitant l'emploi de clous, de quelques éléments de fers liés à la charpente et surtout de fers à vitraux pour ses verrières⁷⁷⁰. Enfin, en 1488 et 1489, après la complétion de la nef haute, la toiture définitive est installée. Plus de 200000 clous à latte et à ardoise coûtant environ 45 l. t. sont achetés pour l'ouvrage.

La hausse des dépenses perceptible entre 1497 et 1502 qui dépasse même les 100 l. t. en 1498-1499 correspond aux dépenses pour fers à vitraux pour la vitrerie des baies hautes de la nef de la cathédrale. Puis en 1504, il s'agit du début de la modification des baies hautes du transept oriental⁷⁷¹. Les deux dernières années « exceptionnelles », 1508-1509 et 1519-1520 voient de très importantes dépenses pour la construction de plusieurs grues⁷⁷². Elles marquent les travaux de préparation pour l'édification de la façade occidentale avec l'arrivée de Martin Chambiges sur le chantier dès 1507.

⁷⁶⁸ Arch. dép. Aube, G 4417, fol. 40 r° et fol. 43 v°.

⁷⁶⁹ PJ n° 56.

⁷⁷⁰ PJ n° 58.

⁷⁷¹ PJ n° 73.

⁷⁷² PJ n° 74 ; PJ n° 76.

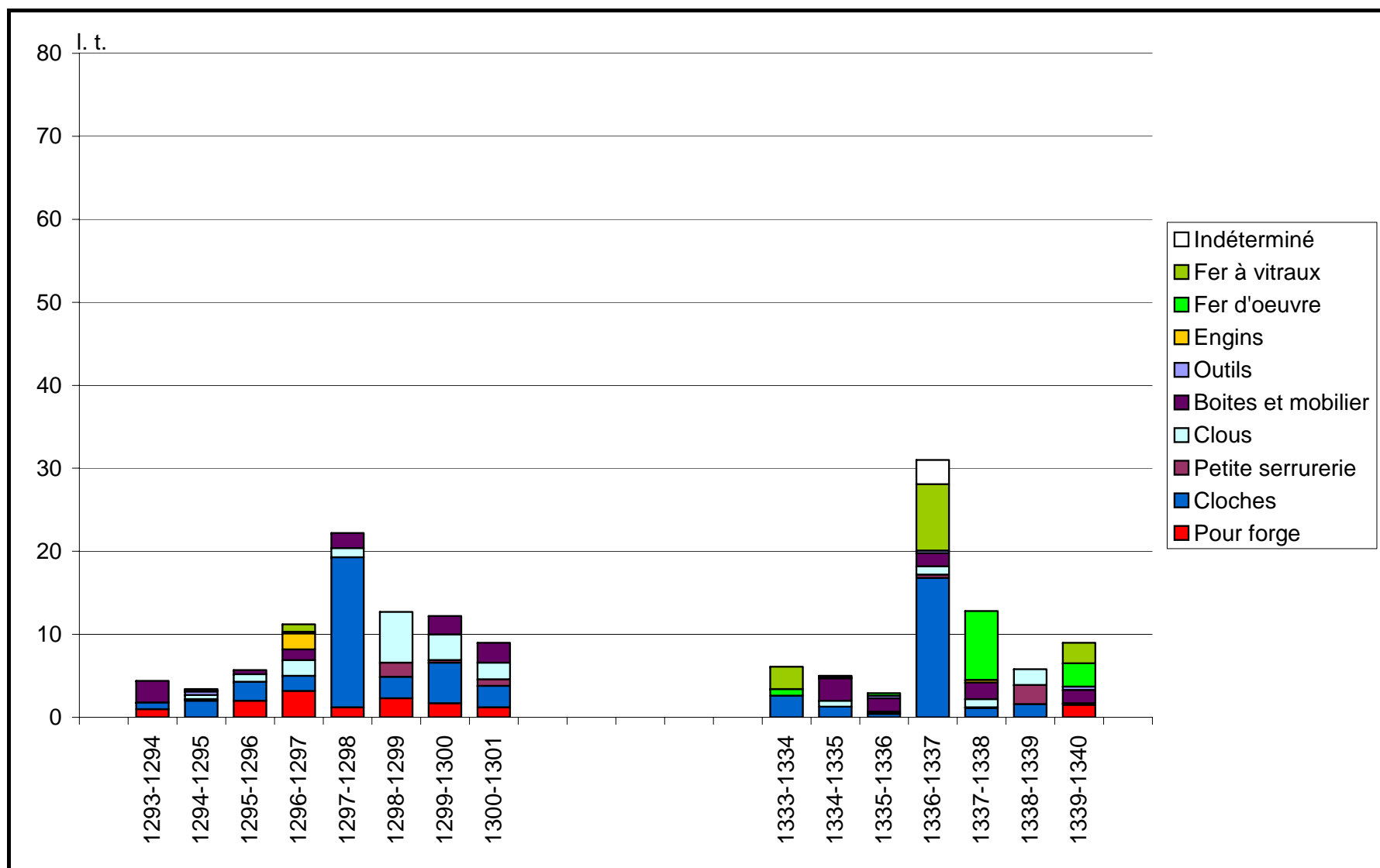


Figure 215 : Nature des dépenses pour forge d'après les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes entre 1293 et 1340.

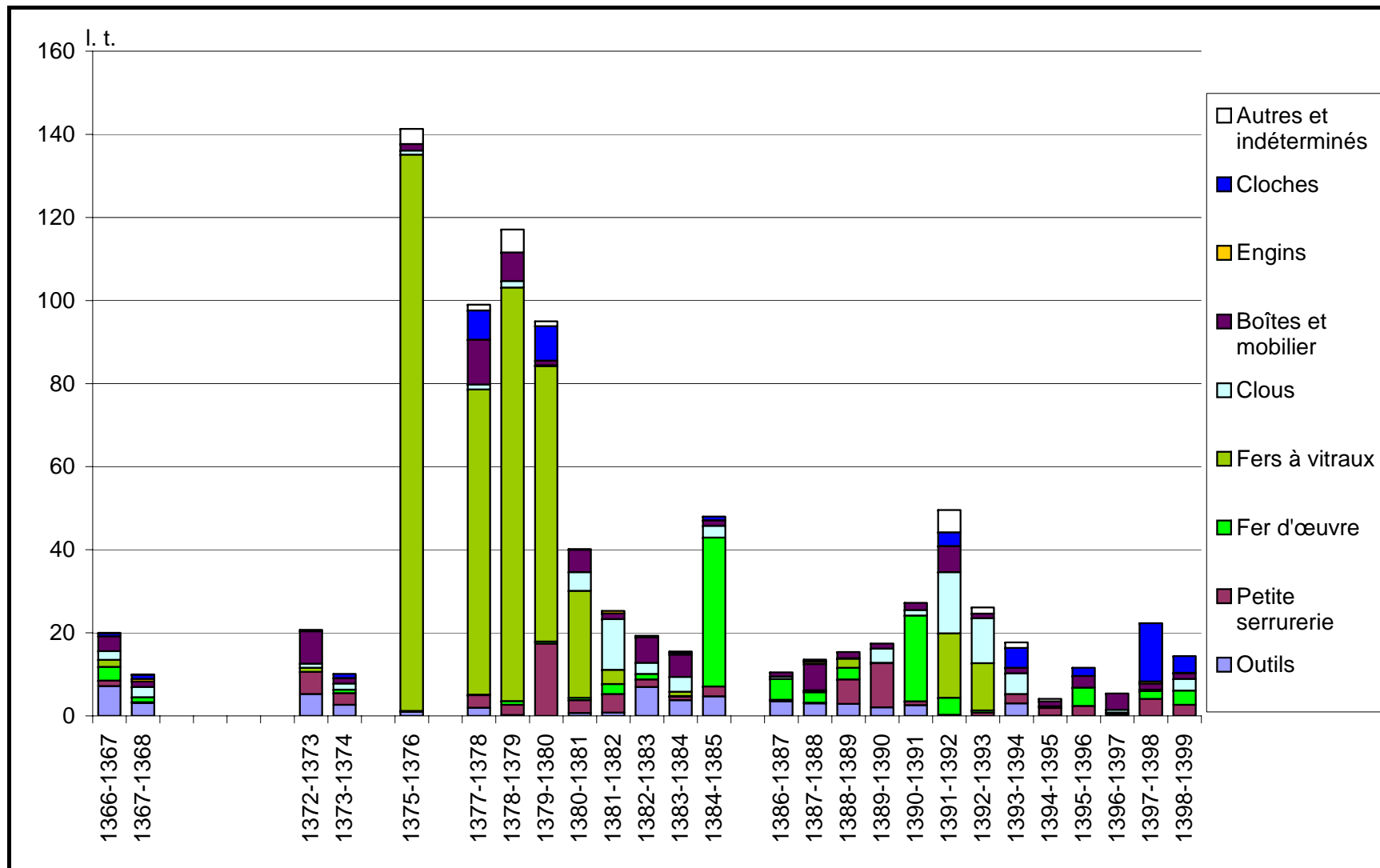


Figure 216 : Nature des dépenses pour forge d'après les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes entre 1366 et 1399.

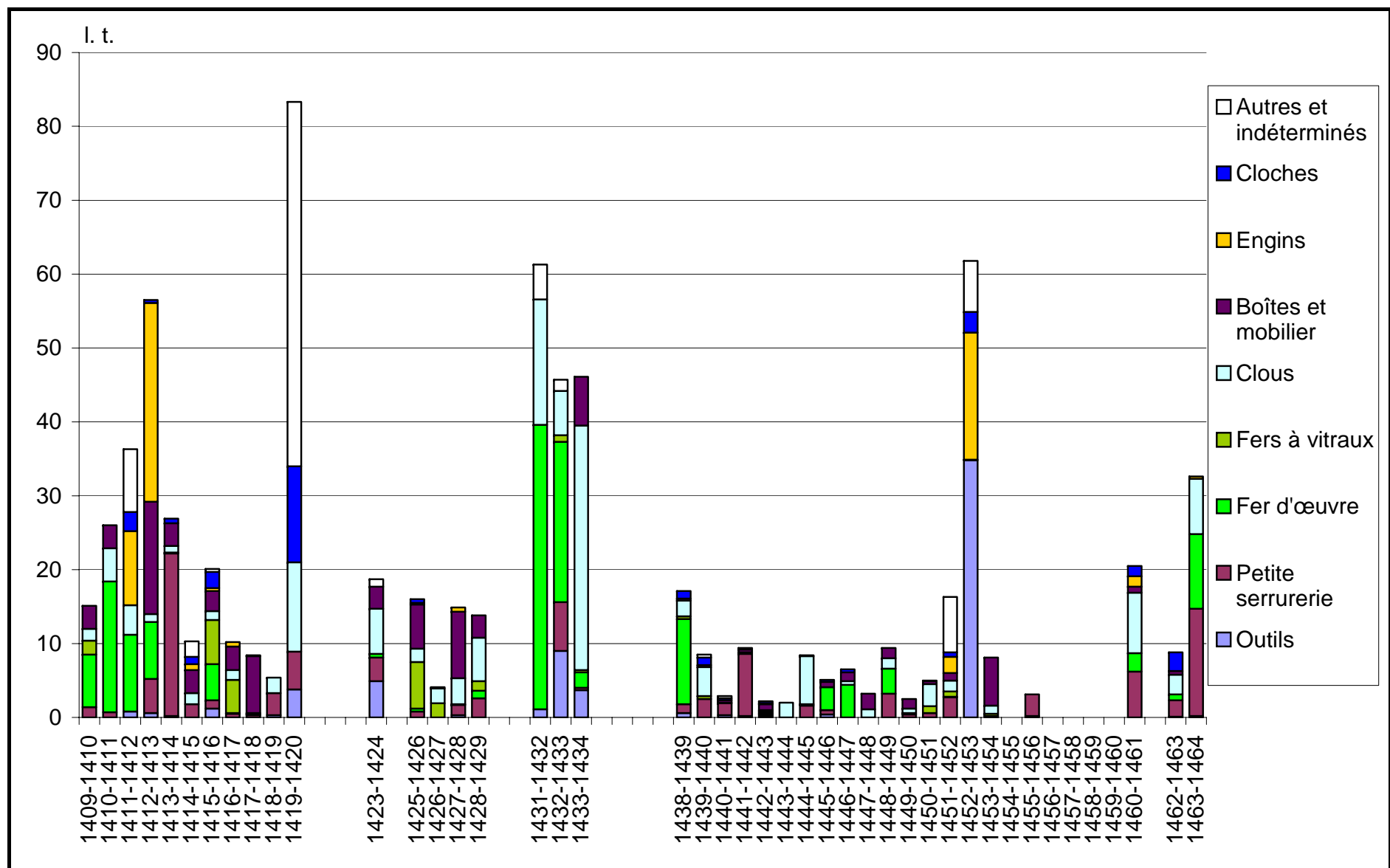


Figure 217 : Nature des dépenses pour forge d'après les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes entre 1409 et 1464.

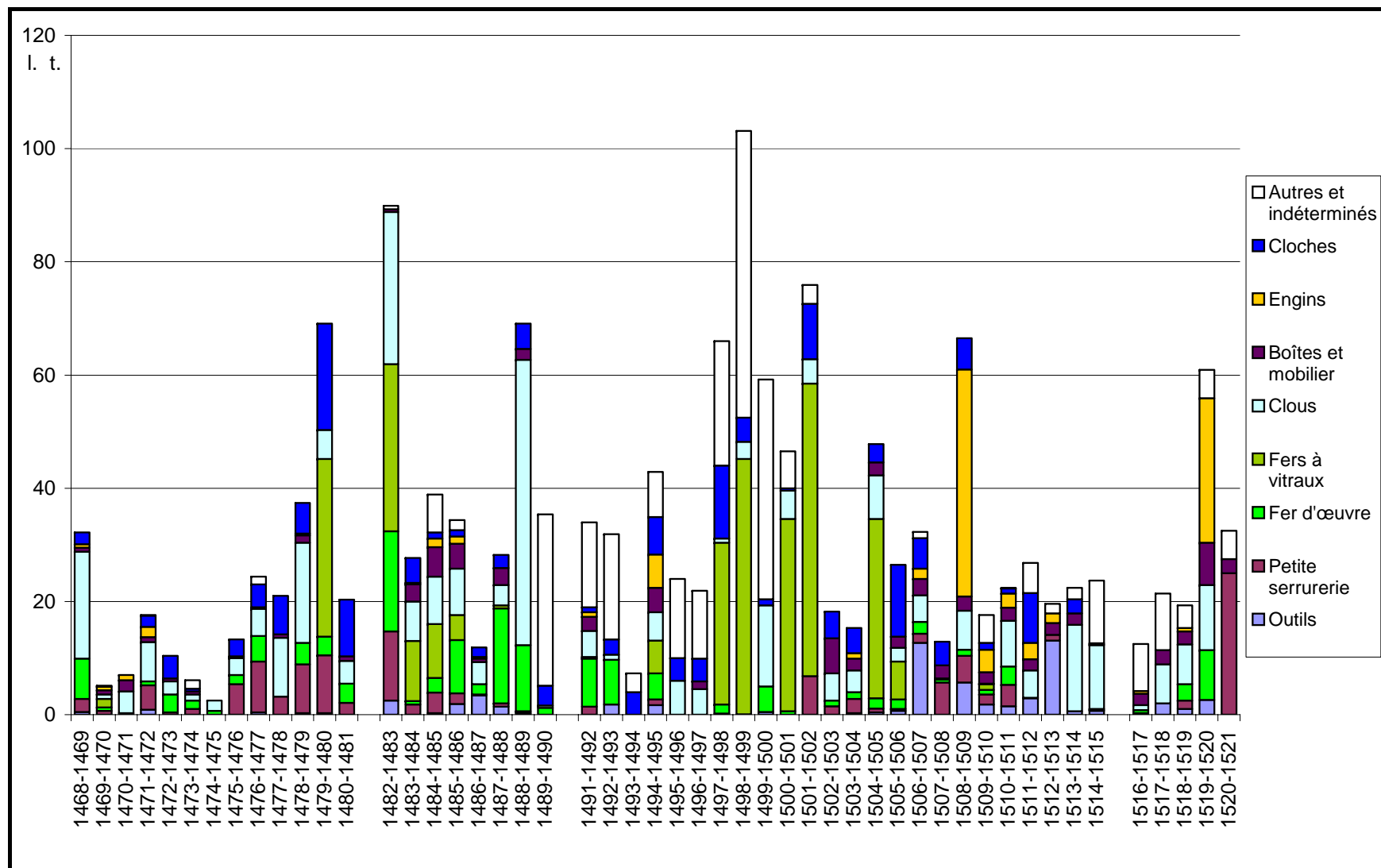


Figure 218 : Nature des dépenses pour forge d'après les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes entre 1468 et 1521.

Depuis le début des années 1430, les travaux de serrurerie pour la fabrique de la cathédrale sont essentiellement réalisées par deux ateliers : celui des Advocat entre 1431 et 1497, avec Perrin qui succède à Jaquinot au début des années 1460, puis celui des Lange ensuite, au moins jusqu'en 1520 avec Pierre puis Ayoul.

Les dépenses pour forge effectuées par la fabrique de la cathédrale de Troyes sont donc très variables tout au long des XIV^e, XV^e et XVI^e siècles. Parfois nulles, elles peuvent en revanche par moments dépasser les 100 l. t. avec un maximum sur la période étudiée de 141 l. 2 s. 11 d. t. en 1375-1376 lors de la campagne de vitrerie des fenêtres hautes du transept. Les dépenses de serrurerie représentent alors plus de 25 % des dépenses totales annuelles. Cette part exceptionnellement importante est également le fait du contexte de crise dans lequel se trouve le royaume de France à cette époque. Les recettes de la fabrique de la cathédrale sont plutôt faibles en cette fin de XIV^e siècle, ne représentant guère plus de 600 à 800 l. t. par an, et par souci d'endettement, les dépenses sont encore plus faibles, comprises entre 300 et 600 l. t.⁷⁶⁷ Habituellement, le pourcentage des dépenses de serrureries ne dépasse que très rarement 10 % du total annuel et en dehors de cette période de vitrage du transept haut entre 1375 et 1380, le maximum est de 12 %. En moyenne, sur l'ensemble des années étudiées, les dépenses pour serrurerie ne représentent que 3,3 %.

II.1.7.2 Approche thématique

Fers à vitraux et fer d'œuvre, dont il a déjà longuement été question représentent un peu plus d'un tiers (35 %) de l'ensemble dépenses de serrurerie. Même en y ajoutant l'ensemble des indéterminés, ils ne peuvent excéder la moitié des dépenses de forge. Les fers à vitraux, avec près d'un quart du total des dépenses totales de serrurerie sont toutefois ce qui coûte le plus à la fabrique. Les autres catégories de dépenses se répartissent de manière assez équitable, avec à peine moins de 10 % pour les cloches, la petite serrurerie, les boîtes et le mobilier, et aussi pour l'ensemble outils et engins. Seuls les clous représentent une dépense plus importante avec 17 % du total et sont à ce titre seconds en termes de coût, juste derrière les fers vitraux (cf. Figure 219).

⁷⁶⁷ Sur l'ensemble des comptes étudiés pour la deuxième moitié du XIV^e siècle, seule l'année 1390-1391 qui voit la reconstruction de la toiture et des piliers de la nef ainsi que de nombreuses autres réparations suite à l'abattement par une tempête des parties hautes de la nef voit une dépense de plus de 1000 l. t.

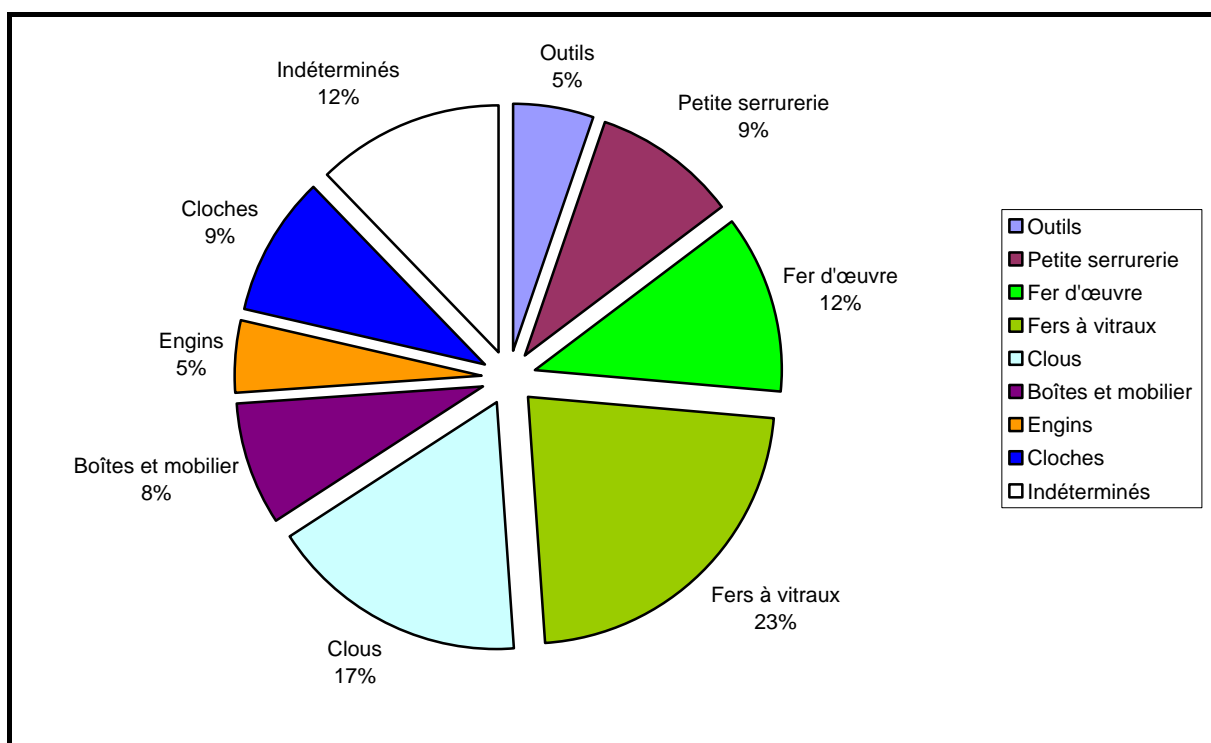


Figure 219 : Répartition des dépenses pour forge dans les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes 1293 et 1520.

II.1.7.2.1 *Les outils*

Avec une moyenne d'à peine 1,4 l. t. par an, les dépenses pour outils ne représentent en général qu'un faible pourcentage des dépenses pour forge. A part trois années exceptionnelles pour lesquelles elles dépassent 10 l. t. atteignant même 34 l. 15 s. 11 d. t. pour le compte de 1453, elles sont de manière générale inférieures à 3 ou 4 l. t. Malgré les nombreux travaux effectués à la cathédrale, elles sont même nulles près d'une année sur deux, leur valeur médiane étant égale à 4 s. t.

Ces dépenses concernent la fourniture, mais surtout la réparation (forge et aciérage) des outils pour les différents corps de métiers travaillant à la construction de la cathédrale. La plupart des outils mentionnés sont sans surprise liés au travail de la pierre, bien que leur fonction ne soit pas toujours explicitement mentionnée. Les principaux bénéficiaires n'en sont par ailleurs pas toujours les maçons comme on aurait pu le croire, mais plutôt les carriers. En effet, les années de fortes dépenses pour les outils sont en général liées à des périodes d'importante extraction de la pierre dans les diverses carrières de la région. La

fabrique emploie même les services de maréchaux « locaux », habitant dans des villages proches des carrières pour fournir les outils et réparations nécessaires⁷⁶⁸.

En revanche, la représentation des autres corps de métiers est quant à elle beaucoup plus anecdotique. A l'exception de certaines périodes, comme à la fin du XIV^e siècle où au moins une partie des réparations des outils, et en particulier des marteaux-taillants des maçons semble bien être prise en charge par la fabrique⁷⁶⁹, tout au long du XV^e siècle, ces réparations n'apparaissent en général pas dans les comptes. Il est donc probable que les maçons, et les autres ouvriers, aient à leur propre charge de faire réparer leurs outils.

II.1.7.2.2 Les engins

Les dépenses pour les engins utilisés par le chantier de la cathédrale sont les plus irrégulières de toutes les dépenses pour forge : elles sont nulles sur plus des deux tiers des années comptables étudiées. Elles peuvent cependant atteindre des sommes très importantes, supérieures à une vingtaine de livres tournois lors de la construction de nouveaux engins et dépassant même 40 l. t. pour l'année 1508-1509.

Les principaux engins mentionnés nécessitant du fer sont les chars ou chariots servant à apporter les matériaux sur le chantier de la cathédrale, essentiellement la pierre et le bois, et les grues qui servent à hisser ces matériaux pour leur mise en œuvre ou au contraire à déposer ceux des parties en cours de réparation ou de démolition.

II.1.7.2.2.1 Les grues

Quatre années comptables voient la construction de grues. Les quantités de fer qui y sont mises en œuvre ne sont pas négligeables, allant d'environ 75 kg à près de 200 kg par engin pour des dépenses pouvant dépasser les 20 livres tournois (cf. Tableau 85). Le fer mis en œuvre est en général acheté à un marchand, mais il s'agit aussi parfois de *viel fer prins en l'église*⁷⁷⁰ dont les quantités mises en œuvre sont alors plus difficiles à déterminer. Au début du XVI^e siècle, le fer neuf acheté au marchand Pierre Paillot est du fer du Reclus. L'achat de billes d'acier est également parfois nécessaire pour l'aciérage certaines pièces.

⁷⁶⁸ Arch. dép. Aube, G 4417, fol. 40 r^o et 43 v^o.

⁷⁶⁹ *Eidem Jaquemardo, pro forgia dictorum lathomorum, a die dominicam ante festum nativitatibus Beate Marie Virginis usque ad diem dominicam post festum Sancti Martini yvernalis, XVIII s.*, Arch. dép. Aube, G 1559, fol. 14 r^o.

⁷⁷⁰ PJ n^o 74, fol. 178 v^o.

année	Engin	Masse de fer	Prix
1421-22	Ferrure des engins pour lever le merrien du clocher ⁷⁷¹	259 l.	N. D.
1494-95	Ferrer l'engin qu'on appelle la grue ⁷⁷²	> 161 l.	> 5 l. 7 s. 4 d. t.
1508-10	Ferrer la petite grue et la grue nouvellement ordonnée ⁷⁷³	508 l. de fer du Reclus + vieux fer de l'église	> 37 l. 12 s. 6 d. t.
1519-20	Ferrer la grue étant sur le pavé devant la maison de Pierre Paillot ⁷⁷⁴	327 l. de fer du Reclus + 50 l. pour le déchet + 2 billes d'acier	22 l. 17 s. 4 d. t.
Total	Au moins 6 grues	> 1305 l. de fer	

Tableau 85 : Quantité et prix du fer mis en œuvre dans les grues construites par la fabrique de la cathédrale de Troyes.

La nature des éléments nécessaires à la construction de ces grues n'est pas toujours mentionnée, ni détaillée. Pour les engins fabriqués en 1421-1422, le procureur sépare la *ferrure des aubres desdits angins en pivoz paliers et viroles de fer*⁷⁷⁵ et celle des leurs roues, faites d'*estriers et liens avec les clos et crampons*⁷⁷⁶. Les grues de 1494-1495 et de 1519-1520 font quant à elles l'objet d'un détail minutieux de leur « ferraille » faites *de plusieurs pieces de fer et de diverses sortes* (cf. Tableau 86).

Les principales pièces employées sont :

- des « pivots », élément rajouté en partie terminale de l'arbre de la grue, pouvant être aciéré. Il peut mesurer près de 50 cm de long pour un diamètre d'environ 7 à 8 cm ;
- des « paliers » ou « poaliers », pièce fixe sur laquelle repose l'arbre de transmission et donc le pivot, pouvant également être aciéré. Ce palier peut mesurer *demi pied de quarrure en tous sens*⁷⁷⁷ soit environ 15 cm de côté ;
- de nombreuses chevilles servant à moiser les assemblages entre les bois, mais également à assembler certaines pièces de fer, comme des liens, pour pouvoir *les dessambler quant on voudra*⁷⁷⁸. Ces chevilles, sans doute de tailles très diverses, sont les pièces les plus fréquemment citées pour la construction de ces engins ;

⁷⁷¹ PJ n° 44.

⁷⁷² PJ n° 66, fol. 409 v°-410 r°.

⁷⁷³ PJ n° 74 ; PJ n° 75.

⁷⁷⁴ PJ n° 76, fol. 187 v°-188 r°.

⁷⁷⁵ PJ n° 44, fol. 303 v°.

⁷⁷⁶ PJ n° 44, fol. 304 r°-v°.

⁷⁷⁷ PJ n° 66, fol. 409 v°-410 r°.

⁷⁷⁸ *Ibidem*.

- des liens de fer de différentes tailles servant à tenir entre elles les différentes pièces de bois, essentiellement au niveau des roues et éventuellement à *garder le bois de se gerser ou fandre*⁷⁷⁹. Certains liens font jusqu'à 2,50 m de long ;
- des vervelles, anneaux de fer pouvant tout comme les liens servir à réaliser des assemblages ou bien à consolider une pièce de bois pour éviter qu'elle ne se fende ;
- des viroles, petits cercles ou anneaux de fer dont on garnit l'extrémité d'un manche pour assujettir ce qui y est fixé et empêcher le bois de se fendre.

Les mentions de réparation de ces grues sont assez peu fréquentes et relativement peu onéreuses. Le salaire de 5 s. t. du serrurier Jacomardo en 1337-1338 *pro reparando magnam cardam de l'angin*⁷⁸⁰ est la seule mention de réparation dont on dispose pour l'ensemble du XIV^e siècle. Les mentions ne sont guère plus nombreuses aux XV^e et XVI^e siècles. Même les pièces les plus sollicitées de la machinerie, comme les pivots, les paliers ou les platines, qui sont parfois faites en acier afin de les rendre plus résistantes à l'usure, ne semblent pas faire l'objet d'un entretien régulier. La réparation par Jean Bon Bœuf des *platines et viroles de l'angin [...] des charpentiers*⁷⁸¹ est elle aussi anecdotique. Sans doute en dehors de longues périodes de construction ininterrompues, ces engins étaient démontés une fois le travail fini afin de ne pas encombrer inutilement les lieux. La fixation de l'ensemble des éléments de bois comme de fer au moyen de chevilles, que l'on peut ôter *pour les dessambler quant on vouldra*⁷⁸² va bien dans le sens d'engins construits pour des besoins ponctuels et aisément démontables.

De plus, tous les engins de construction de la fabrique ne sont pas systématiquement pourvus de nombreuses pièces de fer. En 1483-1484, les charpentiers construisent *ung angin pour monter les pierres pour les pilliers*⁷⁸³ pour lequel le serrurier ne fournit que *VI chevilles à teste percées* payées 3 s. 4 d. t.⁷⁸⁴ De même deux ans plus tard, *toute la ferrure nécessaire [à un] angin et à [sa] roe*⁷⁸⁵ ne compte qu'*une cheville de fer pesant II livres et XII chevilles à hesses pour lier la roe* soit une dépense d'à peine 11 s. 2 d. t.⁷⁸⁶ La « ferrure » devait donc être réservée aux machines les plus importantes.

⁷⁷⁹ PJ n° 76, fol. 187 v°-188 r°.

⁷⁸⁰ Bibl. nat., nouv. acq. lat. 1949, fol 20 r°.

⁷⁸¹ Arch. dép. G 1561, fol. 111 r°.

⁷⁸² PJ n° 66, fol. 409 v° et 410 r°.

⁷⁸³ Arch. dép. G 1568, fol. 131 v°.

⁷⁸⁴ Arch. dép. G 1568, fol. 150 v°.

⁷⁸⁵ Arch. dép. G 1568, fol. 214 v°.

⁷⁸⁶ Arch. dép. G 1568, fol. 246 r°.

1421-1422	Engins pour lever le merrien du clocher ⁷⁸⁷ .
Ferrure des arbres en pivots, paliers et viroles de fer. Etriers et liens avec clous et crampons pour lier et ferrer les roues.	
1494-1495	Engin qu'on appelle la grue ⁷⁸⁸ .
<ul style="list-style-type: none"> - 8 grands liens de fer et autant de grandes chevilles passant par ces liens pour les désassembler quand on voudra. - 12 autres grandes chevilles passant par les moises et poulies assemblées avec deux grandes vervelles l'une au bout de la flèche en haut et l'autre au bout d'en bas sur quoi tourne la flèche. - 1 gros pivot de fer de 3 doigts de carrure et de 1,5 pied de long pour soutenir la grue avec 1 palier sous le pivot de ½ pied de carrure en tous sens pour soutenir le faite et le tournant de la grue avec une grosse et épaisse platine par où passe le pivot. - 1 grand lien de fer de 7 à 8 pieds de long pour tenir la roue en son lieu et 1 grosse vervelle pour garder de fendre l'arbre de la roue. 	
1508-1509	Petite grue ⁷⁸⁹ .
Pas de détail	
1508-1510	Nouvelle grue dressée selon la vieille tour par devers le parvis de l'église ⁷⁹⁰ .
<ul style="list-style-type: none"> - 2 grandes chevilles de fer d'environ 2 pieds de long et 2 autres chevilles de fer rondes d'environ un bon pied de long pour arrester les moises de l'engin - 2 grandes chevilles rondes qui tiennent le boutant de la grue du bec d'en haut. - 8 petites chevilles carrées pour avoir arrêté les moises avec les chevrons de la vieille tour - 2 grandes chevilles rondes l'une d'environ 2 ½ pieds l'autre d' 1 ½ pied pour les poulies de la grue - le pivot, le palier et la virole de la grue 	
1519-1520	Grue étant sur le pavé devant la maison de Pierre Paillot ⁷⁹¹ .
<ul style="list-style-type: none"> - 4 grands liens pour le fauconneau et pivot et tour de la roue pour garder le bois de se gercer ou fendre. - 35 grandes chevilles de fer de plusieurs grandeurs et grosseurs pour les moises et autres lieux où elles servent. - 1 palier aciéré comme le palier assis au pivot autrement dit l'arbre. - 2 liens qui tiennent le billart par en haut et 2 par en bas qui tiennent la roue d'ouvrir. - 28 petites chevilles qui tiennent les goussets de la roue. - 8 petites chevilles qui tiennent les marches attachées aux contrebans pour entrer en la roue. - 2 pièces de fer en façon de demi rond qui sont dans les boites du tour de la roue pour la garder de crier. - 28 petites chevilles et 16 liens pour tenir les bras ou rais de la roue. - 2 grands liens qui tiennent la chanlate qui est assise sur le fauconneau pour garder le câble de la pluie. - Un grand nombre de rondelles et haisses appartenant aux chevilles pour serrer le bois de la grue. 	

Tableau 86 : Détail des éléments de fer mis en œuvre dans les grues construites pour le chantier de la cathédrale de Troyes.

⁷⁸⁷ PJ n° 44.

⁷⁸⁸ PJ n° 66, fol. 409 v°-410 r°.

⁷⁸⁹ PJ n° 74, fol. 178 v°.

⁷⁹⁰ PJ n° 74, fol. 178 v° ; PJ n° 75, fol. 107r°-107 v° et fol. 107 v°.

⁷⁹¹ PJ n° 76, fol. 187 v°-188 r°.

II.1.7.2.2.2 Les chariots

Deux périodes voient d'importantes dépenses pour les chariots (cf. Tableau 87). La première, entre 1411 et 1413, correspond à la ferrure de deux chariots qui serviront à apporter le bois de Vendevre pour la construction du grand clocher. Un marché est conclu et l'ouvrage est confié au forgeron Berthelin Robinet qui demeure à Maraye-en-Othe⁷⁹². Le fèvre Guillaume de Laire fournit quant à lui une partie du fer⁷⁹³. En tout, 43 pois de fer de 27 livres chacun sont mises en œuvre à l'ouvrage, soit 700 kg de fer. Cinquante ans plus tard, deux autres chariots pour transporter des pierres sont successivement ferrés. Tout d'abord la semaine du 19 février, le maréchal Charles L'Abbé ferre les roues de devant de l'église et fait *tout le menu ouvrage dudit chariot* avec environ 90 kg de fer. Un mois plus tard, en la semaine du 26 mars, le même maréchal met en œuvre 355 livres pour ferre les quatre roues du grand chariot, soit un total de près de 45 kg de fer par roue. D'environ 350 kg de fer par char pour les premiers à 90 et 175 kg pour les seconds, la quantité de fer contenue dans ces véhicules peut donc varier au moins du simple au quadruple.

Année	Engin	Masse de fer	Prix
1411-1413	Ferrer deux chariots à charroyer le merrien ⁷⁹⁴	1431 l.	26 l. 16 s. t.
1452-1453	Ferrer les roues devant du chariot de l'église et faire tout le menu ouvrage dudit chariot ⁷⁹⁵	181 l.	< 5 l. 7 s. 9 d. t.
1452-1453	Ferrer les IIII roues du grant chariot ⁷⁹⁶	355 l.	< 7 l. 16 s. 9 d. t.

Tableau 87 : Quantités et prix du fer mis en œuvre dans les chariots de l'église cathédrale de Troyes.

Les mentions de réparation des chariots sont quant à elles beaucoup plus nombreuses, surtout à certaines périodes où les transports de matériaux sont nombreux. Le procureur utilise souvent l'expression de « ferrer et déferrer les chariots ». Plus rarement le détail des ouvrages effectués est donné, comme en 1484-1485 où le maréchal Colin Adam doit pour ce faire rebattre les roues de clous neufs, y mettre des bandes neuves et des vieilles reforgées

⁷⁹² PJ n° 42, fol. 22 v°-23 r°.

⁷⁹³ Arch. dép. Aube, G 1561, fol. 29 r°.

⁷⁹⁴ Arch. dép. Aube, G 1560, fol. 22 v° et 23 r° ; G 1561, fol. 29 r°.

⁷⁹⁵ Arch. dép. Aube, G 4417, fol. 36 r°.

⁷⁹⁶ Arch. dép. Aube, G 4417, fol. 39 v°.

ainsi que vingt liens de fer et quatre fers *d'aissil*⁷⁹⁷, c'est-à-dire pour l'essieu⁷⁹⁸. C'est par ailleurs le plus souvent un maréchal qui est chargé de l'entretien de ces véhicules. La ferrure des chevaux est également souvent jointe à la réparation du charriot lui-même⁷⁹⁹.

C'est donc plusieurs centaines de kilogrammes de fer qui sont employés dans les divers engins servant au chantier de la cathédrale de Troyes. La dépense la plus importante intervient au moment de la construction des grues ou des chariots.

II.1.7.2.3 *La petite serrurerie*

Les dépenses de petite serrurerie représentent une moyenne de 2,3 l. t. annuelles. Elles sont généralement inférieures à 6 l. t. et concernent le plus souvent la réparation de serrures et gonds de portes ou de fenêtres, et la fourniture des clefs qui y sont liées. Il s'agit également parfois de la ferrure de nouveaux huis.

Certaines années voient une dépense plus importante de l'ordre de la dizaine ou de la vingtaine de livres tournois comme en 1379-1380, année où Richart le serrurier entreprend *la ferrure des portes neuves devant et des portes devers gallerie*⁸⁰⁰ pour la somme de 14 l. t. ou encore dix ans plus tard quand la fabrique paye le serrurier Thomas le Chat 10 l. t. pour *refere les huis de fer du cuer de l'église*⁸⁰¹.

En 1413-1414, c'est au tour des *portes de l'allée de l'église par devers les reliques* de faire l'objet de travaux pour la somme de 18 l. 14 s. 2 d. Le serrurier Perrin de Villemor y met au moins 344 livres de fer en attaches, barreaux, liens, gonds, fiches, crampons, croches ainsi que pour le verrou⁸⁰². De même en 1441, Jacquenot l'Avocat livre 112 livres de fer ouvrées en *gons, fiches, clox, liens comme en autres choses* et trois serrures pour trois huis, à savoir *deux pour les portes neuves devers chappitre et l'autre pour le guichet*⁸⁰³. Il est payé 7 l. 2 s. 4 d. t.

En 1463-1464, puis plus tard entre 1476 et 1480, les dépenses élevées en petite serrurerie sont également dues à la ferrure de nombreux huis et fenêtres parfois de l'église,

⁷⁹⁷ PJ n° 59, fol. 201 v°.

⁷⁹⁸ GODEFROY (F.), *Dictionnaire de l'ancienne langue française...*, op. cit., vol. 1, p. 201.

⁷⁹⁹ A Charles L'Abbé mareschal, pour avoir fait l'ouvrage dudit grant charyot et X fers es chevaux de l'église avec plusieurs autres choses [...] LXX s. t., Arch. dép. G 4417, fol. 39 v°.

⁸⁰⁰ Arch. dép. Aube, G 1559, fol. 52 v°.

⁸⁰¹ Bibl. nat., ms. lat. 9111, fol. 96 v°.

⁸⁰² PJ n° 43.

⁸⁰³ Arch. dép. Aube, G 1562, fol. 284 r°.

mais aussi parfois des maisons appartenant à la fabrique. Parfois un chapitre entier leur est consacré, comme en 1463-1464, où est détaillée la « Depense pour la serrurerie de la premiere maison » coûtant 11 l. 5 s. 9 d. t.⁸⁰⁴

Enfin, la dépense de serrurerie la plus importante a lieu en 1520. Elle concerne la ferrure des *aulmaires nouvellement faictes ou tresor d'embas de ceste eglise* qui contiennent plus de quatorze serrures à bosse. Pour cela et pour la ferraille de trois châssis qui sont également au trésor, le serrurier Ayoul Lange touche la somme de 25 l. t.⁸⁰⁵ La masse totale de fer mise en œuvre n'est cependant pas mentionnée.

La petite serrurerie constitue donc une dépense relativement faible mais assez constante dans l'entretien de l'édifice. Les années où la dépense est plus importante correspondent en général aux périodes où la fabrique entreprend de faire ou de refaire un grand nombre d'huis. Si la rémunération du serrurier est, pour certains objets comme les clefs, sûrement davantage liée à son travail qu'à la quantité de métal utilisée, les portes contiennent néanmoins une masse de fer non négligeable, même si elle est restée relativement faible comparativement aux usages précédemment cités.

II.1.7.2.4 Les boîtes, le mobilier

A la cathédrale de Troyes, il est de la charge du serrurier de s'occuper de la ferrure des boîtes qui sont baillées aux curés le jour du Synode afin que les fidèles y fassent des offrandes. Le serrurier est également parfois payé pour les ouvrir une ou plusieurs fois dans l'année. Le nombre de boîtes à ferrer est variable suivant les années, allant de quelques dizaines à plusieurs centaines. Il se décompose en « ferrure des boîtes neuves » coûtant 4 à 8 d. t. pièce suivant les époques et « referrure des boîtes vieilles » à 1 d. t. l'unité, constituant ainsi une dépense assez constante de l'ordre de quelques livres tournois en moyenne. L'année 1372-1373 voit le nombre record de ferrures avec 586 vieilles boîtes et 250 neuves pour une somme d'environ 8 l. t.⁸⁰⁶

Le serrurier fournit également d'autres éléments de mobilier, ouvrages partiellement ou totalement réalisés en fer forgé. Richart le serrurier est payé 75 s. t. *pour couvrir de fer le fons de l'escrin des reliques*⁸⁰⁷ en 1378-1379. En 1412-1413, un nouveau tronc est

⁸⁰⁴ Arch. dép. Aube, G 1564, fol. 216 v°.

⁸⁰⁵ Arch. dép. Aube, G 1588, fol. 299 v°.

⁸⁰⁶ Bibl. nat., ms. lat. 9112, fol. 40 r° et fol. 45 r°.

⁸⁰⁷ Bibl. nat., ms. lat 9113, fol. 26 r°.

commandé par la fabrique, dont la ferrure est réalisée par Jean Bon Bœuf pour 67 s. 6 d. t.⁸⁰⁸ La même année, un autre serrurier, Perrin le Honteux fait *ungs fers à lire en cuer*⁸⁰⁹ pour la somme de 100 s. t. Cinq ans plus tard pour la même somme, la fabrique fait ferrer *la grole de fer à mettre le breviaire*⁸¹⁰. Enfin en 1433-1334, Jacquenot fait une croix de fer pesant 106 livres et payée 6 l. 12 s. et 6 d. t. à 15 d. t. la livre de fer⁸¹¹.

Ces différents objets, qui ont tous une fonction liturgique relèvent donc du travail du serrurier pour leur fabrication et leur entretien. Ils engendrent une dépense plutôt faible, mais assez constante, de l'ordre de quelques livres par an, et ponctuellement plus importante pour la forge d'objets particuliers, dont le coût est très certainement lié davantage au travail de forge effectué qu'à la masse de fer mise en œuvre.

II.1.7.2.5 Les clous

Avec en moyenne 4,2 l. t. dépensées par année comptable, les clous sont la deuxième dépense pour forge la plus importante après les fers à vitraux. Plus de 85 % des années étudiées ont au moins une dépense de quelques livres tournois pour les clous, mais à certaines périodes du chantier, elles dépassent aisément 10 à 15 l. t., le maximum relevé étant de 50 l. 8 s. 1 d. t. en 1488-1489. Les différents types de clous employés, à latte, à plomb, à écaille, à ardoise, pointes et barbettes pour le lambris, sont payés entre 2 et 8 s. t. le millier suivant les époques et le type de clou.

Il ne s'agit pas ici d'étudier en détail l'intégralité des achats de clous réalisés par la fabrique de la cathédrale. Seules les années où les dépenses étaient les plus importantes ont été détaillées dans le Tableau 88.

En 1381-1382, charpentiers et couveurs réparent *la rameure de l'église sur laquelle la foudre cheyt le IX juillet* et utilisent 9000 clous à latte et 18000 clous à écaille⁸¹². Entre 1391 et 1393, de nombreuses couvertures de plomb sont refaites à divers endroits de l'église⁸¹³, expliquant la dépense de 5000 clous à plomb. Les 38000 clous à latte achetés suggèrent également que nombre de couvertures ont été lattées. Enfin, les 48000 barbettes sont liées à

⁸⁰⁸ Arch. dép. Aube, G 1561, fol. 20 r°.

⁸⁰⁹ Arch. dép. Aube, G 1561, fol. 48 v°.

⁸¹⁰ Arch. dép. Aube, G 1561, fol. 199 r°.

⁸¹¹ Arch. dép. Aube, G 1562, fol. 166 v°. Faute de mentions, il n'a pas été possible de savoir si le prix de 15 d. t. par livre est élevé pour la période, indiquant un travail plus important ou plus minutieux du serrurier. Des clous à nef sont cette année-là payés au même prix à la livre.

⁸¹² Bibl. nat., ms lat. 9112, fol. 62 v°.

⁸¹³ Bibl. nat., ms lat. 911, fol. 151 r°.

une importante activité de lambrissage. Au début des années 1430, le clocher est en voie d'achèvement et il s'agit alors de *later et couvrir d'écailles l'esguille du clocher* avec au moins 34500 clous à écailles et 418000 clous à latte⁸¹⁴. Ce clocher *qui fut despecé par tonnerre et fortune de temps* doit être réparé plusieurs années plus tard entre 1468 et 1469⁸¹⁵. Les couvreurs y emploient plus de 38000 clous à latte et 36000 clous à ardoise. Dix en plus tard, c'est toujours le clocher qui est en réparation⁸¹⁶. Enfin, en 1488-1489, les couvreurs travaillent à *la ramée de la nef* qui est en train d'être achevée⁸¹⁷. C'est la dépense de clous la plus importante relevée dans les comptes : plus d'un million de clous mis en œuvre dont environ 455000 clous à latte, 288000 clous à ardoise et plus de 130000 barbete. Il semble donc bien que la plupart, pour ne pas dire la quasi-totalité de ces achats de clous est liée à la couverture de l'édifice, les différents types de clous dépendant du type de couverture choisi.

Année	Clous à latte	Clous à plomb	Clous à écaille	Clous à ardoise	Barbettes	Pointes	Autres clous	Total	Prix
1381-1382	15900	200	18000			1000	2400	37500	12 l. 4 s. 4 d. t.
1391-1392	32000	5600	4000		22000			63600	14 l. 14 s. 4 d. t.
1392-1393	6000				26000	8100	8100	40100	10 l. 16 s. 4 d. t.
1431-1432	3000	5000	46100		15500	12500		82100	16 l. 19 s. 7 d. t.
1432-1433	11200		5750		8500		2400 + 11,25 l.	27850 + 11,25 l.	6 l. 8 d. t.
1433-1434	41500		34800		44000	4000	8387	132687	33 l. 2 s. 7 d. t.
1460-1461	69500			1500	5000		650	52650	8 l. 3 s. 1 d. ob. t.
1468-1469	38150			36000	1500		15100 + 119 l.	90750 + 119 l.	18 l. 17 s. 1 d. ob. t.
1477-1478	19700	100		14000	6000	2000	15800	57600	10 l. 8 s. 3 d. t.
1478-1479	24000			48000			5700	77700	17 l. 13 s. 9 d. t.
1482-1483	56900	3300		64125		21950	2250 + 26 l.	124675 + 26 l.	26 l. 17 s. 8 d. t.
1488-1489	136500			124100	2000	9000	550	272150	50 l. 8 d. 1 d. ob. t.
Total	454350	14200	108650	287725	130500	58550	61337	1059362	207 l. 4 s. 1 d. ob. t.

Tableau 88 : Détail des principales dépenses pour clous mis en œuvre à la cathédrale de Troyes.

⁸¹⁴ Arch. dép. Aube, G 1562, fol. 158 v°.

⁸¹⁵ Arch. dép. Aube, G 1565, fol. 45 v°.

⁸¹⁶ Arch. dép. Aube, G 1566, fol. 188 r°.

⁸¹⁷ Arch. dép. Aube, G 1569, fol. 56 r°.

Si le nombre de clous utilisés est impressionnant, les quantités de fer qu'ils représentent le sont en revanche beaucoup moins. En considérant un maximum de 4 livres pour un millier de clou à latte et 3 livres pour un millier de clou à ardoise⁸¹⁸, même l'achat de plus de 272000 clous en 1488-1489 ne constitue pas plus de mille livres de fer consommées en clous sur l'année, soit à peu près la même quantité de fer mise ici en place sous forme de clous dans la toiture de la nef que dans une seule de ses fenêtres hautes. En extrapolant, les 1060000 clous recensés pèsent environ 4000 livres soit environ 2 tonnes de fer. Les douze années étudiées ici représentent environ le tiers des dépenses de clous sur l'ensemble de la période étudiée. On peut donc émettre l'hypothèse qu'entre le milieu du XIV^e et le début du XVI^e siècle, environ 6 tonnes de fer ont été employées sous forme de clous sur le chantier de la cathédrale de Troyes. Le travail de forge induit pour la transformation du matériau en produit fini explique le coût relativement important de ces clous.

II.1.7.2.6 *Les cloches*

La mise en œuvre de fer dans la construction du nouveau clocher situé sur le comble à la croisée du transept introduit sur une autre dépense de forge très importante et récurrente dans les comptes de la fabrique, celle pour la fabrication et l'entretien des cloches de l'église. Elle représente en moyenne 2,5 l. t. par an sur l'ensemble des années étudiées soit près de 9 % du total des dépenses pour forges avec une valeur médiane de 0,8 l. t. preuve du caractère plutôt constant de cette dépense. Le travail réalisé par le serrurier aux différentes cloches de l'église peut être séparé en deux parties : la fabrication de cloches neuves et l'entretien des cloches existantes.

Les mentions les plus fréquentes relatives aux cloches concernent la facture ou la réparation de leurs battants. En 1294-1295, le forgeron Garnet se charge de l'ensemble des battants pour une somme annuelle de 35 s. t.⁸¹⁹ En 1336-1337, c'est au tour de Jacquemard de réparer le battant de la grande cloche pour 15 s. 2 d. t.⁸²⁰, puis une nouvelle fois pour 60 s. t. Quarante ans plus tard, Richart le serrurier refait à nouveau le *batal d'une des grosses cloches* pour 4 l. 10 d. t.⁸²¹ Les principales mentions concernant ces battants de cloches ont été

⁸¹⁸ DIDEROT (D.), d'ALEMBERT (J.), *Encyclopédie...*, *op. cit.*, vol. 3, p. 549.

⁸¹⁹ Bibl. nat., ms lat. 9111, fol. 208 v^o.

⁸²⁰ Bibl. nat., nouv. acq. lat. 1949, fol. 13 r^o.

⁸²¹ Bibl. nat., ms lat. 9113, fol. 26 r^o.

regroupées dans le Tableau 89. Individuellement, elles ne dépassent en général pas quelques livres tournois, mais peu d'entre elles détaillent le travail effectué par le forgeron. Le terme de « recharger » parfois employé suppose néanmoins un ajout de fer probablement par soudure. La masse des battants forgés n'est précisée qu'une seule fois, en 1379-1380 : les deux battants forgés cette année-là pèsent respectivement 2 poids et demi et 3 poids de fer, avec un surplus de 12 livres sur l'ensemble. Ces masses correspondent à des battants d'environ 35 à 40 kg.

Année	Ouvrage aux battants de cloche	Prix
1294-1295	Pour retenir le battant de la cloche sur l'année	35 s. t.
1336-1337	Pour le battant de deux cloches et autres ferrures	7 l. t.
1336-1337	Pour réparer le battant de la grande cloche par deux fois	15 s. 2 d. t. + 60 s. t.
1377-1378	Pour refaire un battant d'une des grosses cloches	4 l. 10 d. t.
1379-1380	Pour refaire et reforger le battant de la cloche l'Evêque qui était brisé et faire un autre battant pour la grosse cloche pesant en tout 3 poids 12 livres de fer	7 l. 10 s. t. + 10 s. t.
1391-1392	Pour ferrer un battant tout neuf pour la cloche l'Evêque	65 s. t.
1419-1420	Pour avoir refait le battant d'une cloche	100 s. t.
1478-1479	Pour avoir refait, rechargé et reforgé le battant pour la moyenne cloche de l'horloge	37 s. 6 d. t.
1478-1479.	Pour avoir reforgé et rechargé le battant de la cloche nommée Saint-Jehan	30 s. t.
1488-1489	Pour refaire le battant de la grosse cloche et la bannière d'en haut fort difficile à refaire.	40 s. t.
1488-1489	Pour avoir redoublé par la tête le battant de la cloche de l'horloge	40 s. t.

Tableau 89 : Mentions de travaux aux battants des cloches dans les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes⁸²².

Les battants ne sont pas l'unique élément des cloches faisant intervenir le fer. La forge d'un axe pour les nouvelles cloches par le serrurier Garnet coûte la somme de 14 l. 5 s. t. à la fabrique en 1294-1295⁸²³, et en 1336-1337, le forgeron Jaquemart est payé 6 l. t. *pro*

⁸²² D'après Bibl. nat., ms. lat. 9111, fol. 156 v° et fol. 208 v° ; nouv. acq. lat. 1949, fol. 11 v° et fol. 13 r° ; lat. 9113, fol. 26 r° ; Arch. dép. Aube, G 1559, fol. 52 r°-v° ; G 1561, fol. 246 v° ; G 1567, fol. 201 r° et G 1569, fol. 48 r°.

⁸²³ Bibl. nat., ms. lat. 9111, fol. 214 r°.

*ferratura dicte [magne] campane*⁸²⁴. Plus de détails des éléments concernés par cette « ferrure des cloches » sont données dans des mentions ultérieures, comme en 1377-1378 (cf. Tableau 90).

Ouvrage du serrurier aux cloches	Prix
<i>Audit Richart pour refaire un batal d'une des grosses cloches</i>	4 l. 10 d. t.
<i>Audit Richart pour refaire les deux pivos de la cloche de crueve feu</i>	10 s. t.
<i>Audit Richart pour refaire VI bendes de la dicte cloche</i>	10 s. t.
<i>Pour II petiz anneles de fer</i>	12 d. t.
<i>Audit Richart pour refaire le second maingnel, une virole et une bande</i>	10 s. t.
<i>Audit Richart pour ferrer la cloche de chapitre et une bande neusve</i>	10 s. t.
<i>Audit Richart pour refaire le second maingnel, une virole et une bande</i>	10 s. t.
<i>Audit Richart pour ferrer la cloche de chapitre et une bande neusve</i>	10 s. t.
Total	7 l. 1 s. 10 d. t.

Tableau 90 : Travaux aux cloches de la cathédrale de Troyes en 1377-1378⁸²⁵.

Outre les divers anneaux et bandes, les termes plus spécifiques employés pour la ferrure des cloches rejoignent donc ceux de toute machinerie avec la présence de pivots, de viroles mais aussi de paliers⁸²⁶. Les cloches nécessitent donc des dépenses de serrureries assez importantes et récurrentes pour la forge et l'entretien de leurs armatures et de leurs mécanismes.

II.1.7.3 Origine du fer

Bien que le fer soit en général acheté à un marchand ou serrurier urbain, les comptes de la cathédrale de Troyes donnent à de nombreuses reprises l'origine du fer mis en œuvre sur le chantier (cf. Tableau 91).

⁸²⁴ Bibl. nat., nouv. acq. lat. 1949, fol. 13 v°.

⁸²⁵ Bibl. nat., ms. lat. 9113, fol 26 r°.

⁸²⁶ Voir glossaire.

Origine	Nombre de mentions	Nombre d'années	Première mention	Dernière mention	Observations
Fer d'Espagne	3		1379	1391	Pas de coût particulier en 1379
Grosse forge de Doulevant	1		1410	1410	
Fer apporté de Vendeuve	1		1411	1411	
Fer fondu du Reclus	18	13	1431	1520	Fer fondu du Reclus (1453)
Fer de Cosdon	2	2	1475	1508	
Fer de Chennevy (Valcon)	1		1499	1499	
Fer de fonte des forges d'Anglus près de Bar-sur-Aube	1		1509	1509	Fer de fonte

Tableau 91 : Origines du fer mentionnées dans les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes.

Les mentions les plus anciennes sont celles de fer d'Espagne, qui semblent constituer le seul apport extra-régional. En effet, l'ensemble des autres sites évoqués font référence à des sites locaux ou régionaux : le pays d'Othe avec les fers de Cosdon et de Chennevy⁸²⁷, mais aussi les bords de la Barse avec le fer de Vendeuve. La production la plus importante semble toutefois venir du Reclus dont les premières mentions datent de 1431. Ce fer du Reclus pourrait désigner la production de l'abbaye du même nom située dans l'actuel département de la Marne.

Si c'est en général le serrurier urbain qui s'acquitte de la forge des différentes pièces de fer acquises par le chantier de la cathédrale, à deux reprises au début du XV^e siècle, la fabrique fait appel à des maîtres de « grosse forge » pour des commandes de très gros barreaux pesant environ 75 kg pièce : Colin Midon, maître de la grosse forge de Doulevans et Berthelin Robinet de celle de Maraye, également située en pays d'Othe.

Deux mentions de fer de fonte indiquent la présence de fonderies de fer et potentiellement d'industries complètes travaillant selon le procédé de réduction indirecte. La première, qui qualifie la production du Reclus en 1453⁸²⁸, est toutefois bien postérieure à la plus ancienne attestation d'un site de production fonctionnant selon la filière indirecte dans la région (Saint-Liébaud Estissac, dernier quart du XIV^e siècle)⁸²⁹.

⁸²⁷ PJ n° 53 ; PJ n° 70, fol. 226 r° ; ROUILLARD (J.), *L'homme et la rivière... op. cit.*, p. 400-401, 404-405, 408, 596.

⁸²⁸ PJ n° 49, fol. 46 r°.

⁸²⁹ ROUILLARD (J.), *L'homme et la rivière... op. cit.*, p. 401.

II.1.7.4 Synthèse sur les comptes de la fabrique

Les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes montrent bien que le vitrail est la principale source de dépense de serrurerie tout au long de la période médiévale. L'importance du fer d'œuvre dans la maçonnerie aux époques les plus tardives est bien prouvée, avec la présence d'un grand nombre de tirants, barres et agrafes. Toutefois, aucun chaînage n'y a été mis en évidence à l'exception de celui posé en 1411, qui semble davantage lié à une volonté de consolider une partie de l'édifice qu'à un système originel de construction. Les autres dépenses de serrurerie sont toujours très importantes, dépassant en tout plus de 50 % du total essentiellement par le fruit des achats de clous et des réparations et ferrures des cloches.

II.1.8 Synthèse : l'emploi du fer à la cathédrale de Troyes.

La structure de la cathédrale de Troyes a donc révélé la présence de nombreux éléments de fer, non seulement dans les armatures de vitraux, mais aussi sous forme de chaînages et de pièces plus petites.

Elle rejoint l'église Saint-Ouen de Rouen au nombre des églises comptant le plus de fer dans leurs fenêtres, avec environ 25 tonnes, dont la mise en place s'est cependant étalée sur plus de trois siècles. L'existence de nombreux chaînages dans le transept, tant médiévaux que modernes, mais semblant tous avoir été mis en place comme renforcements postérieurs montre que cette partie de l'édifice a connu des désordres importants qu'il a fallu consolider. La rupture des chaînages du transept sud au milieu du XIX^e siècle montre toutefois la limite de ce type de consolidation. Les riches données des comptes ont également permis de mettre en évidence que de nombreuses agrafes et barres de fer se trouvent enfouis au plus profond de la maçonnerie, dans les piles, sur les entablements des baies hautes et dans les arcs-boutants, preuve du rôle important attribué au fer dans la construction à la fin du Moyen Age. Enfin, balustrades, colonnettes, meneaux et l'ancien jubé de la cathédrale montrent que les goujons et petites agrafes entraient pleinement dans l'attache du décor de la cathédrale. Son emploi ne se limite cependant pas aux maçonneries : contrairement aux idées reçues, au

moins dès la fin du XIV^e siècle, les divers assemblages de la charpente de la cathédrale sont souvent consolidés par des liens, tirants et chevilles de fer.

Ce fer, qui semble essentiellement provenir de productions locales ou régionales, revêt un coût parfois important dans les comptes, pouvant atteindre un tiers de la dépense annule lors de certaines campagnes de vitrerie. Cela dit, les vitraux mis à part, les achats de fer d'oeuvre ne représentent en moyenne que 15 à 25 % du total des dépenses de forge.

II.2 L'ÉGLISE SAINT-URBAIN DE TROYES

II.2.1 Historique

La basilique Saint-Urbain de Troyes est l'œuvre de Jacques de Troyes, né vers 1185 à et élu pape en 1261, sous le nom d'Urbain IV.

Le 20 mai 1262, il annonce son intention de construire sur son lieu de naissance une collégiale en l'honneur de Urbain I^{er}⁸³⁰ ; commencent alors les tractations avec le couvent de religieuses de Notre-Dame-aux-Nonnains pour récupérer la maison de son père. Les travaux sont ensuite entrepris sans délai probablement dès le printemps 1263⁸³¹.

Les relations difficiles avec les religieuses du couvent de Notre-Dame-aux-Nonnains notamment après la mort du pape commanditaire en 1264, valent au chantier de l'église d'être mis à mal à plusieurs reprises entre 1265 et 1266 : les outils des ouvriers sont dérobés, l'autel principal brisé, et pour finir, le chœur de l'église est ravagé par un incendie⁸³². A cette période, le chœur et les parties basses du transept étaient déjà construits. Les baies hautes du transept ainsi que les parties basses de la nef s'élèvent au cours d'une seconde campagne, qui voit un arrêt définitif en 1286, à la mort du cardinal d'Ancher, neveu d'Urbain IV qui avait pris la suite de la construction⁸³³. La grand nef, dont l'élévation s'arrête aux grandes arcades, est juste couverte d'une charpente en tuiles⁸³⁴ ; le portail occidental, les six baies hautes de la nef, ainsi que ses trois voûtes restent à finir⁸³⁵. L'église est finalement consacrée en 1389.

Elle n'est terminée qu'au début du XX^e siècle après une importante campagne de restauration, réalisée notamment au niveau de l'abside du chœur et entreprise par l'architecte Selmersheim à la fin du XIX^e siècle.

⁸³⁰ LALORE (Ch.), « Documents sur l'abbaye Notre-Dame-aux-Nonnains de Troyes », *Mémoires de la société académique d'agriculture, des sciences, arts, et belles lettres du département de l'Aube*, n° 38, 1874, p. 113-116.

⁸³¹ DAVIS (M. T.), « On the threshold of the flamboyant : The second campaign of construction of Saint-Urbain, Troyes », *Speculum*, v. 59 (n° 4), 1984, p. 847-884.

⁸³² LALORE (Ch.), « Documents sur l'abbaye Notre-Dame-aux-Nonnains... », *op. cit.*, ; LALORE (Ch.), *Cartulaire de Saint-Pierre de Troyes. Chartes de la collégiale de Saint-Urbain de Troyes*, Collection des principaux cartulaires du diocèse de Troyes, tome 5, Paris-Troyes, 1880, p. 267-268.

⁸³³ DAVIS (M. T.), « On the threshold of the flamboyant... », *op. cit.*

⁸³⁴ GANDEMER (H.), *Basilique Saint-Urbain*, Troyes, 1968, n. p.

⁸³⁵ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 0081/010/0106, Devis manuscrit de 1840.



Figure 220 : Vues de l'église Saint-Urbain de Troyes depuis la tour Saint-Pierre de la cathédrale (en haut) et depuis la tour de l'église Sainte-Madeleine (en bas).

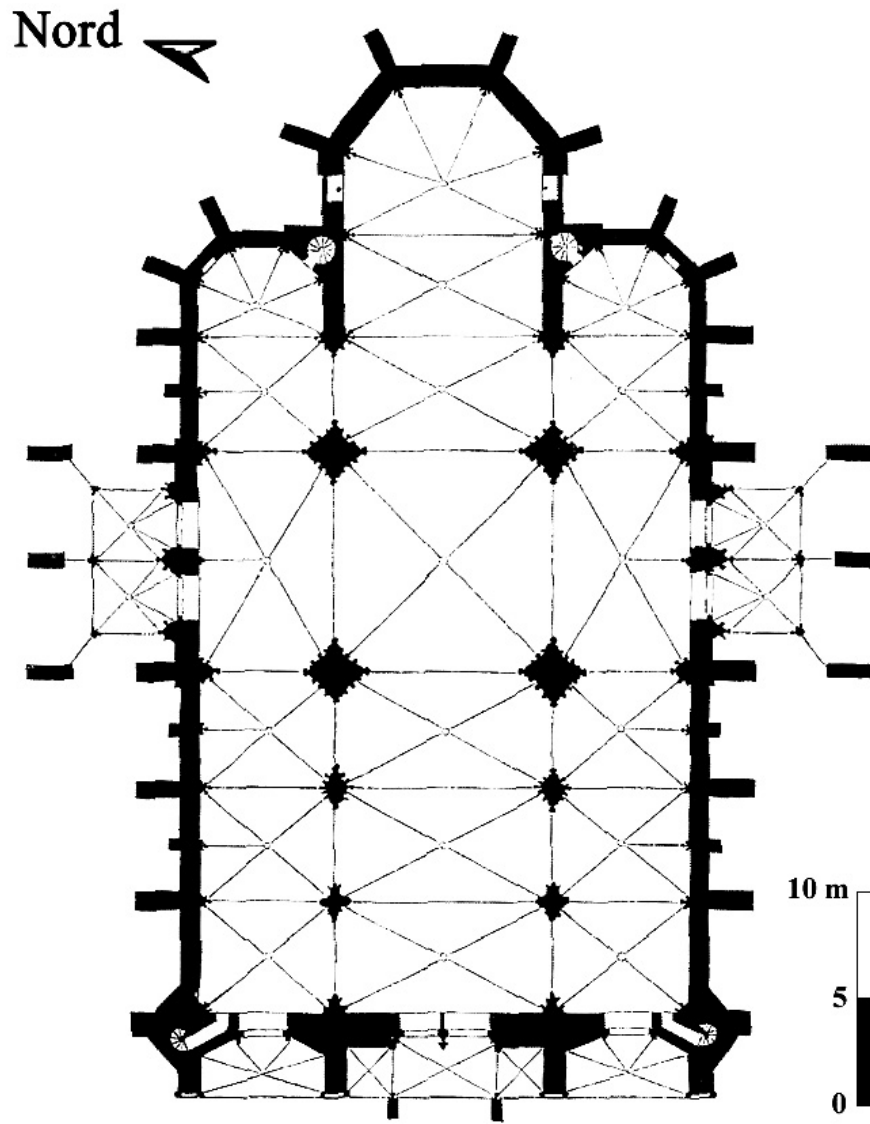


Figure 221 : Plan de l'église Saint-Urbain, d'après Viollet-le-Duc.

II.2.2 Description architecturale

D'après Viollet-le-Duc et D. Kimpel, l'église Saint-Urbain de Troyes est à maints égards empreinte de caractères champenois et bourguignons⁸³⁶. La nef, courte de trois travées, est ceinte de deux collatéraux. Le transept, non saillant, est prolongé de chaque côté par un porche extérieur. Le chœur comprend deux travées droites prolongées par une abside à cinq pans faisant saillie par rapport aux deux absidioles latérales. Les vaisseaux sont couverts de voûtes d'ogives quadripartites sur plan barlong pour le vaisseau central et sur plan carré pour les collatéraux et la croisée du transept.

L'élévation de l'église Saint-Urbain ne comporte que deux niveaux. Dans la nef et le transept, les fenêtres hautes reposent directement sur les grandes arcades avec pour seul intermédiaire d'un mince bandeau de pierre. Dans le chœur, l'architecte a imaginé une conception originale entièrement vitrée comprenant deux niveaux de baies superposées reposant sur un soubassement de 3,3 m de haut. Comme l'affirme Viollet-le-Duc, au delà, « toute la construction ne présente plus qu'une lanterne vitrée jusqu'aux chéneaux supérieurs »⁸³⁷. Ces claires-voies, placées entre les contreforts, constituent de « véritables châssis de pierre » indépendants des contreforts et sont donc totalement indépendantes du gros œuvre⁸³⁸. Le niveau de baies inférieur est doublé d'une arcature intérieure, ménageant ainsi un passage à l'intérieur devant les vitraux ; à l'étage supérieur en revanche, le passage se situe à l'extérieur et est ceint d'une balustrade. L'architecte a créé ainsi un jeu subtil de liaison entre les deux niveaux, les meneaux de l'arcature inférieure se continuant dans les baies supérieures et ceux des baies inférieures dans la balustrade du passage supérieur.

Les différents auteurs ne tarissent pas d'éloges sur l'architecte de Saint-Urbain de Troyes et sur son œuvre, le jeu entre les deux hauteurs de baies de l'abside n'étant qu'un des nombreux exemples de son art. A. Erlande-Brandenburg dans son ouvrage *l'Art Gothique* parle d'une élévation « d'une rare audace » dressée sur un plan manifestant « une grande

⁸³⁶ Elle s'inspirerait en particulier de l'église Saint-Amand-sur-Fion et l'église de Rieux, près Montmirail dans la Marne ainsi que de Saint-Nicaise de Reims, KIMPEL (D.), SUCKALE (R.), *L'architecture gothique en France 1130-1270*, Paris, Flammarion, 1990, p. 442 ; VIOLLET-LE-DUC (E.), *Dictionnaire raisonné...*, *op. cit.*, tome III, p. 183.

⁸³⁷ VIOLLET-LE-DUC (E.), *Dictionnaire raisonné...*, *op. cit.*, tome III, p. 183-184.

⁸³⁸ ID., *Ibid.*, tome III, p. 186.

maîtrise et une grande logique »⁸³⁹. D. Kimpel parle quant à lui de Saint-Urbain comme de « l'édifice le plus raffiné de cette époque », déclarant que le pape Urbain IV avait cherché « à surpasser tout ce qui avait été construit auparavant »⁸⁴⁰. Mais ces nombreux éloges ne sont que les pâles échos de ceux écrits par Viollet-le-Duc dans son *Dictionnaire raisonné de l'architecture médiévale* au chapitre « construction »⁸⁴¹. Viollet-le-Duc voit en l'église Saint-Urbain un « édifice qui, à lui seul résume, en les exagérant avec une grande adresse, toutes les théories des constructeurs de l'époque gothique »⁸⁴². Il admire notamment la légèreté de ses claires-voies et meneaux, selon lui inégalée⁸⁴³, ainsi que tous les subterfuges dont l'architecte a fait preuve pour mener à bien son entreprise, homme dont il encense la grande habileté à chaque paragraphe⁸⁴⁴. Il conclut enfin en faisant de l'église Saint-Urbain une référence qui sera souvent citée dans son ouvrage, « car elle est certainement la dernière limite à laquelle la construction de pierre puisse atteindre, et, comme composition architectonique, c'est un chef d'œuvre »⁸⁴⁵.

L'église Saint-Urbain est donc pour Viollet-le-Duc une construction presque idéale, ce qui a conduit les historiens d'art contemporains à en faire un canon du gothique rayonnant, transmettant ainsi sa pensée à travers les siècles. Cependant, alors que Viollet-le-Duc a vu, étudié et décrit l'église inachevée encore sous son « aspect médiéval », celui qui la contemple aujourd'hui observe en grande partie une construction, certes probablement très fidèle à la structure originelle, mais d'époque contemporaine. L'étude prospective menée sur la basilique Saint-Urbain a donc été très réduite et l'essentiel du travail de recherche s'est concentré sur les comptes médiévaux et surtout sur les archives de restauration contemporaines.

⁸³⁹ ERLANDE-BRANDENBURG (A.), *L'art gothique...*, *op. cit.*, p. 453.

⁸⁴⁰ KIMPEL (D.), SUCKALE (R.), *L'architecture gothique en France...*, *op. cit.*, p. 442.

⁸⁴¹ VIOLLET-LE-DUC (E.), *Dictionnaire raisonné...*, *op. cit.*, tome III, p. 182 et suivantes.

⁸⁴² ID., *Ibid.*, tome III, p. 182.

⁸⁴³ « La légèreté des claires-voies, des meneaux, dépasse tout ce que nous connaissons en ce genre, et cependant les matériaux employés ont été si bien choisis, l'élasticité de cette construction est si complète, que très peu de morceaux se sont brisés. », ID., *Ibid.*, tome III, p. 186.

⁸⁴⁴ « Seulement l'architecte de Saint-Urbain était un de ces artistes chez lesquels les principes les plus avancés de la théorie s'allient à une expérience profonde, à une pratique qui n'est jamais en défaut, à une connaissance sûre de la qualité des matériaux, à des ressources infinies dans l'exécution et une originalité naturelle ; c'était, pour tout dire en un mot, un homme de génie. », ID., *Ibid.*, tome III, p. 183.

⁸⁴⁵ ID., *Ibid.*, tome III, p. 192.

II.2.3 Les restaurations des XIX^e et XX^e siècles

La plupart des églises gothiques ont fait l'objet de restaurations au cours du XIX^e siècle. Celles qui ont été entreprises à la basilique Saint-Urbain de Troyes méritent tout particulièrement d'être soulignées à cause de leur ampleur. En effet, plus qu'une restauration, c'est une véritable reconstruction que subit l'église Saint-Urbain entre 1877 et 1905 avec la dépose complète du chevet. Ce même chevet a également été repris par J.-M. Musso dans les années 1990, car il menaçait à nouveau de ruine. La structure actuelle de la basilique Saint-Urbain n'est donc plus exactement identique à celle du Moyen Age. Les éléments actuellement visibles datent pour la plupart du tournant des XIX^e et XX^e siècles ou encore de la fin du XX^e siècle. Bien qu'elles n'aient pas été documentées dans cette optique en particulier, ces restaurations offrent malgré tout nombre d'informations sur les emplois du fer dans l'église Saint-Urbain.

II.2.3.1 Restaurations au portail sud

La reconstruction du portail sud de l'édifice, élevé à la fin du XIII^e siècle, a lieu au cours de l'année 1847. Dans le cadre de cette reconstruction, une recherche est menée sur le type de scellements utilisés, afin d'optimiser les travaux de démolition. Le résultat de ces recherches est que « les colonnes qui supportent le portail n'étaient que scellées au mortier sans goujons et ne présentaient aucun scellement en plomb »⁸⁴⁶. Cependant, lors de la démolition, il est apparu que « tous les joints des appareils, fronton, clochetons, voûtes d'arête étaient scellés en plomb sur toute la surface de l'assise avec goujons en fer »⁸⁴⁷. Les ouvriers ont donc été obligés de scier les goujons avec des scies faites exprès et de les tordre lorsqu'il était impossible d'avoir recours à la scie, entreprise qui a entraîné un surcoût de facturation.

⁸⁴⁶ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 0081/010/0106.

⁸⁴⁷ *Ibidem*.

II.2.3.2 Restaurations de l'abside. Existence de chaînages ?

Les travaux au chœur de l'église Saint-Urbain méritent d'être introduits par cette description qu'en a fait A.-F. Arnaud dans son œuvre, *Voyage archéologique et pittoresque dans le département de l'Aube* : « la construction de l'abside a été particulièrement soignée : le fer et le plomb n'y ont pas été épargnés ; l'excellente qualité de la pierre surtout a permis à l'architecte d'atteindre au *nec plus ultra* de la légèreté dans ce genre de construction »⁸⁴⁸. Il est suffisamment rare qu'un auteur parle de l'emploi de ces métaux pour ne pas le mentionner, d'autant plus qu'écrivant avant 1837, il fait là une description de l'abside de Saint-Urbain avant les grandes campagnes de restaurations. En avant-propos de son ouvrage, déplorant les destructions humaines et les restaurations modernes qui dénaturent les édifices anciens, il annonce vouloir donner une image de son pays afin de « conserver le souvenir de ces précieux restes » qui pourra être « utile à l'art et à l'archéologie »⁸⁴⁹. En outre, il déclare tenter d'« entreprendre un ouvrage archéologique, une histoire monumentale » du département⁸⁵⁰. A l'époque de la rédaction de son ouvrage, A.-F. Arnaud est correspondant de la société royale des antiquaires de France. Il deviendra ensuite Inspecteur général des monuments historiques. Mais bien qu'il ait étudié l'histoire de nos monuments, A.-F. Arnaud n'est cependant ni architecte, ni archéologue : il est peintre. C'est peut-être cette qualité qui lui vaut de décrire certains aspects de la construction que d'autres, architectes ou historiens d'art, ayant eu une formation différente imprégnée de préjugés sur « la manière de construire », auraient volontairement omis ou dédaigné.

La reconstruction du chœur commence en 1877. Selmersheim attribue le mauvais état de l'édifice à l'incendie de 1266⁸⁵¹, l'édifice est d'après lui « ruiné en profondeur » et il en entreprend donc une démolition quasi complète⁸⁵² : il fait déposer les voûtes du sanctuaire, les cinq grandes fenêtres du rond-point et démonter les pinacles et les contreforts dont il reprend les fondations en même temps que celles des murs. Les chéneaux des chapelles du chœur

⁸⁴⁸ ARNAUD (A.-F.), *Voyage archéologique...*, *op. cit.*, p. 193.

⁸⁴⁹ ID., *Ibid.*, p. 5.

⁸⁵⁰ ID., *Ibid.*, p. 5.

⁸⁵¹ « Nous avons trouvé partout les traces des travaux de consolidation et de réparation exécutés à la suite de ce sinistre ; malheureusement ces travaux exécutés à la hâte, économiquement, n'avaient pas la valeur des premiers ouvrages et n'ont fait que pallier le mal imparfaitement » Archives E. Pallot, « La vie en Champagne », La collégiale Saint-Urbain : les travaux de restauration de Selmersheim au XIX^e siècle ».

⁸⁵² Cette description de Selmersheim contraste fortement avec celle faite par Viollet-le-Duc quelques dizaines d'années auparavant, qui voit en Saint-Urbain une construction qui, « malgré son excessive légèreté, malgré l'abandon et des réparations inintelligentes, est (...) encore solide après six cents ans », VIOLLET-LE-DUC (E.), *Dictionnaire raisonné...*, *op. cit.*, tome III, p. 192.

sont également refaits à partir de 1879, ainsi que les verrières basses, puis les hautes en 1881. Vient ensuite le tour du transept intérieur entre 1882 et 1886, puis à partir de 1891, il fait restaurer les parties existantes de la nef⁸⁵³. La construction des parties hautes manquantes commence en juillet 1893 et s'achève par la rose occidentale, terminée en 1902⁸⁵⁴.

Plusieurs chaînages provisoires sont alors mis en place :

- deux à l'extérieur de l'édifice pour maintenir l'écartement des murs nord et sud ;
- un à l'intérieur dans le même but.

Des chaînages de fenêtres sont également mentionnés à de nombreuses reprises. En 1879, des réparations sont apportées à deux chaînages de l'abside avec ajout d'éléments neufs⁸⁵⁵. Entre 1882 et 1883, de nouvelles barres de chaînage sont fournies pour les fenêtres hautes du chœur et les tenons des chaînages en vieux fer des trois fenêtres hautes du chœur restants sont remplacés : 66 trous sont percés sur ces chaînages pour la mise en place de tenons neufs⁸⁵⁶. En 1884, dans le décompte des travaux de serrurerie effectués on trouve enfin les mentions suivantes⁸⁵⁷ :

- Pose de 26 barres aux anciens chaînages des fenêtres basses du chœur et des chapelles et coupage des anciens pannetons de chaînage ;
- 57°) Pour assemblage des montants aux anciens chaînages dans les quatre fenêtres hautes du chœur, fourni 28 crampons ;
- 58°) Remplacé les pannetons des anciens chaînages des fenêtres du transept ;
- 59°) Percé 120 trous pour pannetons neufs.

Il ne faut tout d'abord pas se méprendre sur l'utilisation du terme « chaînage », lorsqu'il est lié aux vitraux. En termes architecturaux, ces « chaînages » ne désignent pas d'autre chose que les barlotières-tirants, ces barres continues qui traversent les meneaux des fenêtres, par opposition aux simples barlotières qui ne font que la longueur d'une lancette.

⁸⁵³ Archives E. Pallot, « La vie en Champagne », La collégiale Saint-Urbain : les travaux de restauration de Selmersheim au XIX^e siècle ».

⁸⁵⁴ *Ibidem*.

⁸⁵⁵ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 0081/010/0106, « Décompte des travaux de serrurerie effectués en 1879 par la société Grados », 19 juillet 1880 :

- Façon en vieux fer du 1^{er} chaînage de l'abside et chaînage neuf.
- Façon sur vieux fers du 2^e chaînage de l'abside et chaînage neuf au-dessus des grandes fenêtres.

⁸⁵⁶ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 0081/010/0106, « Décompte des travaux de serrurerie effectués en 1882-1883 », 13 août 1883.

⁸⁵⁷ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 0081/010/0106, « Décompte des travaux de serrurerie de 1884 », 1^{er} déc. 1885.

Ces barres de « chaînage » sont donc ainsi dénommées, qu'elles soient ou non liées les unes aux autres à l'intérieur des piles pour constituer un véritable chaînage dans le sens où nous l'entendons. Ces informations nous indiquent toutefois que la totalité des barlotières-tirants des fenêtres hautes comme celles des fenêtres basses du chœur n'ont pas été remplacées et même qu'elles n'ont pour certaines pas été déposées. Il semble que seules ont été déposées les barlotières-tirants des cinq baies de l'abside, qui ont été complètement démontées. Les quatre fenêtres des travées droites du chœur et du transept, qui ne l'ont pas été, ont, semble-t-il, gardé leurs armatures originelles.

Dans une étude sur l'analyse de la stabilité des superstructures de l'abside, préalable à une nouvelle restauration du chevet de l'église Saint-Urbain en 1990, J.-M. Musso note également que la serrurerie des fenêtres, c'est-à-dire les armatures de fer des vitraux, forme chaînage à plusieurs niveaux : deux dans les fenêtres basses et trois dans les fenêtres hautes⁸⁵⁸. Il commente également l'état de corrosion de cette « ferraille du XIX^e siècle » qui a fait éclater les meneaux et qui est selon lui « l'une des causes essentielles des désordres constatés »⁸⁵⁹.

Il est tout d'abord fort intéressant de noter la méprise de l'architecte sur l'origine et la datation des éléments de fer mis en cause. S'il est certain que la structure observée par J.-M. Musso dans les années 1990, et notamment l'agencement des fers de chaînage, date du XIX^e siècle, le matériau en lui-même était forcément par endroits médiéval, puisque à l'époque de Selmersheim, parallèlement à la pose de nouveaux chaînages, les comptes attestent bien laisser en place les chaînages en grande partie en remplaçant juste leurs tenons. Cette dichotomie erronée entre un prétendu fer médiéval qui se patine mais ne se corrode pas et un « mauvais » fer du XIX^e siècle cause de tous les maux, certes assez classique, montre qu'il est très difficile, voir impossible de faire le distinguo entre des fers de différentes époques à l'œil nu et que, dans des situations identiques, ces fers ont des comportements similaires en corrosion, contrairement à ces a priori infondés⁸⁶⁰.

⁸⁵⁸ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° ETU/0181, Etude préalable de J.-M. Musso : « Analyse de la stabilité des superstructures de l'abside. Rapport de synthèse », juin 1990, p. 12.

⁸⁵⁹ « Les maçonneries de la cage du chœur sont elles-mêmes liées par des chaînages horizontaux situés à différentes hauteurs et formant barlotières pour les vitraux. Toute cette ferraille du XIX^e siècle est profondément corrodée, foisonne et fait éclater la pierre. Elle doit être impérativement remplacée par une structure en acier inoxydable », Archives E. Pallot, dossier projet architectural et technique (restauration du chœur).

⁸⁶⁰ Pour plus d'information sur la corrosion des fers dans les liants on pourra se référer à DILLMANN (Ph.), « Corrosion des objets archéologiques ferreux », *Techniques de l'Ingénieur*, 2005, COR 675, p. 1-20 ; CHITTY (W.-J.) *et al.*, « Contribution of archaeological analogues to the comprehension of long term corrosion of concrete reinforcement », *Journal de Physique IV*, 2006. 136, p. 295-304.

Outre ces considérations sur l'état de conservation des fers de chaînage, J.-M. Musso nous en donne également une description ainsi qu'une analyse de résistance en traction. Ce chaînage a une section de 40 mm x 25 mm, et se termine à chaque extrémité par un œil de 95 mm de diamètre avec un trou de 32 mm en son centre, qui reçoit une broche de 30 mm de diamètre ; « sa traction capable serait de 8262 daN, limité par le cisaillement de la broche »⁸⁶¹. Bien que cela ne soit pas précisé, il est fort probable que l'analyse de résistance en traction ne soit qu'une estimation calculée par rapport à la section des tirants en considérant qu'il s'agit d'un fer ou d'un acier contemporain. Il faut donc considérer qu'elle est erronée, les caractéristiques mécaniques des fers anciens, jusqu'à l'apparition des procédés Bessemer et Thomas dans la deuxième moitié du XIX^e siècle, étant fort différentes de celles des fers actuels⁸⁶².

Revenons à la question de la présence ou de l'absence de véritables chaînages dans les baies de l'église Saint-Urbain. Au vu des données préalablement exposées, il est relativement difficile de déterminer s'il y avait véritablement un ou plusieurs chaînages dans les baies du chœur avant les restaurations du XIX^e siècle. En revanche, il est certain que des barlotières-tirants étaient présentes, vraisemblablement au nombre de cinq, à la fois dans les baies hautes et basses, et qu'un chaînage était présent au moins à partir du XIX^e siècle. Les comptes du XIX^e siècle ne mentionnent pas la remise en place d'un chaînage particulier ou la modification des structures en place. On peut donc supposer que les structures ont été refaites à l'identique, ce qui était plutôt habituel à cette époque.

II.2.4 Les armatures des vitraux.

II.2.4.1 Quantités de fer mises en œuvre

Les quelques photographies de l'église Saint-Urbain réalisées par Lancelot avant la restauration de l'abside à la fin du XIX^e siècle, semblent montrer que, malgré les nombreux travaux que l'église a endurés au cours des deux derniers siècles, le châssis vitré a pour sa part

⁸⁶¹ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 1998/003/0063, « Dossier des Ouvrages Exécutés », tome 2, février 1998.

⁸⁶² JUHIN (A.), *Structure métallographique et comportement mécanique...*, *op. cit.*

très peu évolué (cf. Figure 222). Le dessin des armatures actuelles et celui visible sur ces photographies sont en effet semblables à peu de choses près, attendu que les vitraux n'ont peu ou pas changé de place : on compte notamment le même nombre de barlotières et de montants, ce qui, au premier abord, tend à valider les estimations que nous avons réalisées. Il faut cependant noter deux différences principales entre le châssis médiéval et le châssis contemporain réalisé par J.-M. Musso. D'une part, le nombre de vergettes semble avoir diminué de moitié. En effet, sur les photographies antérieures à la restauration de Seltersheim disponibles à la Médiathèque du Patrimoine, on voit clairement la présence de deux vergettes entre chaque barlotière, pour une seule après cette restauration, tout comme actuellement⁸⁶³. D'autre part, le nombre de barlotières-tirants, qu'elles forment ou non chaînage a également changé : les armatures actuelles ne comptent plus dans le chœur qu'une barlotière-tirant par fenêtre basse et deux par fenêtre haute⁸⁶⁴, dont une faisant chaînage, alors que J. M. Musso avait noté la présence de cinq barlotières tirants, trois par baie haute et deux par baie basse, avant sa restauration.

Les estimations des quantités de fers mises en œuvre dans les vitraux ont bien évidemment été réalisées à partir de mesures sur les armatures actuelles. D'après ces calculs⁸⁶⁵, les fenêtres du chœur contiennent 4 tonnes de fer visible, dont 300 à 330 kg par baie haute et celles du transept, près de 3 tonnes, avec 420 kg par baie haute, et 60 kg par fenêtre basse de la nef, soit un total d'environ 8 tonnes pour ces parties médiévales en ajoutant 10 % pour la longueur des ancrages des différents éléments⁸⁶⁶. Si maintenant on tient compte des remarques formulées ci-dessus sur la diminution du nombre de vergettes et de celles des barlotières-tirants à la suite des deux grandes campagnes de restaurations, ces quantités augmentent d'environ 20 kg par baie basse du chœur et 50 kg par baie haute. Les augmentations sont comparables pour les baies hautes du transept et les baies basses de la nef, donnant en tout près d'une tonne de fer supplémentaire sur l'ensemble de l'édifice, soit 9 tonnes au total. Notons que le doublement du nombre de vergettes est surtout responsable de cette augmentation, les barlotières-tirants ne faisant que remplacer trois ou quatre barlotières par fenêtre.

⁸⁶³ Médiathèque du Patrimoine, clichés n° 4594, 4595, 3976, cl. 4125, MH 313274 à 313278, AP03CTV144 et AP03CTV145.

⁸⁶⁴ Observations visuelles et schéma des baies dans Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 1998/003/0063, « Dossier des Ouvrages Exécutés », tome 2, février 1998.

⁸⁶⁵ Détail visible en Annexe 4.

⁸⁶⁶ Rappelons que les baies hautes de la nef n'ont été élevées qu'au tournant du XIX^e et du XX^e siècle. Elles comptent 330 kg de fer chacune environ, soit un total de 2,5 tonnes qui met à près de 11 tonnes le total de fers à vitraux sur l'ensemble de l'édifice toutes périodes confondues.

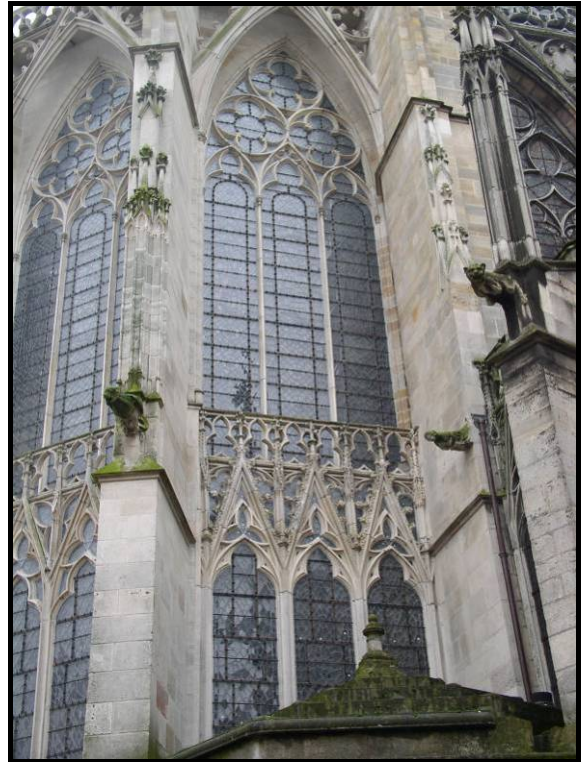
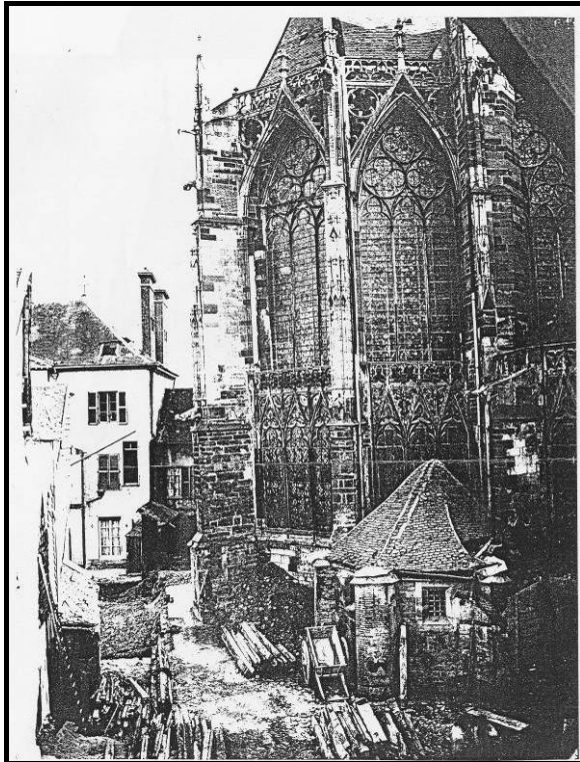


Figure 222 : L'abside de Saint-Urbain et ses baies hautes. A gauche, avant la restauration de Selmersheim (cliché Lancelot)⁸⁶⁷. A droite, après la restauration de Musso.

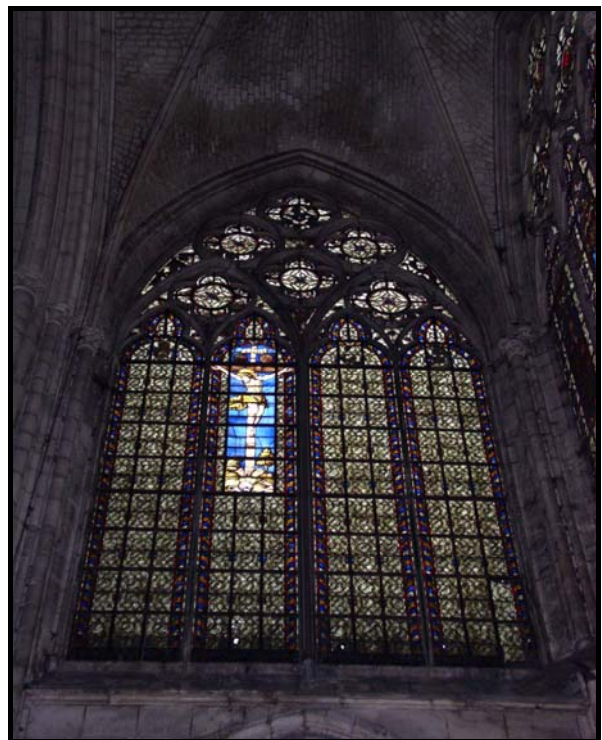


Figure 223 : Vitraux de l'église Saint-Urbain de Troyes. A gauche, vue intérieure de l'abside, à droite, baie haute du transept sud-est.

⁸⁶⁷ Issu de *Département de l'Aube archéologique et Pittoresque*, Médiathèque du Patrimoine, cliché n° AP03CTV144.

On peut rapprocher ces résultats des quantités de fer employées lors de la restauration des vitraux à la fin du XIX^e siècle. En 1876, Selmersheim estime à 8 tonnes la quantité de « fers à vitraux » nécessaire à « toutes les fenêtres du chœur, les transepts et bas côtés de la nef⁸⁶⁸. Six ans plus tard, un nouveau devis fait état de 300 kg de fer à mettre dans chacune des quatre fenêtres du chœur⁸⁶⁹. Que les barres de chaînage mises en place par Selmersheim soient ou non comptabilisées dans ce calcul, les ordres de grandeur indiqués sont bien similaires à nos estimations. Les quantités de fer présentes dans les vitraux de l'église Saint-Urbain semblent donc avoir très peu évolué depuis la période médiévale, avec un total légèrement inférieur à la dizaine de tonnes.

II.2.4.2 Les armatures des vitraux dans les comptes de la fabrique

Les comptes de la fabrique conservés sont tous bien postérieurs à l'installation des vitraux. Ils ne fournissent donc en général que quelques informations sur leur entretien, avec l'achat de nouveaux éléments de fer et la récupération d'anciens.

Tout d'abord en 1383, Richart le serrurier fournit *VII bandes appellés agrappes chascune de 4 l.*⁸⁷⁰, afin de retenir la baie située côté sud sur la chapelle Saint-Jean-Baptiste. Une autre agrafe et huit coins de fer sont également forgés pour la verrière qui lui fait face au nord. Ces agrafes, d'assez grandes dimensions au vu de leur masse, sont vraisemblablement placées dans la maçonnerie de ces fenêtres pour les consolider, probablement suite à des désordres mineurs.

Dix ans plus tard, en 1393, afin de rappareiller les verrières de l'église, le serrurier Constant Moufflot fournit 1600 clavettes, 400 grandes et 1200 petites, ainsi que *VII verges de fer toutes neuves chascune de III piez de long* et travaille à *trois autres verges de fer ressoder et croistre*⁸⁷¹, le tout pour une somme d'environ 4 l. 9 s. 8 d. t. soit la moitié des dépenses de

⁸⁶⁸ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 0081/010/0106, « Devis estimatif des travaux du 1^{er} mars 1876 » effectué par Selmersheim.

⁸⁶⁹ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 0081/010/0106 (1839-1894), Devis du 22 janvier 1882.

⁸⁷⁰ Arch. dép. Aube, 10 G 103, fol. 3 v°.

⁸⁷¹ Arch. dép. Aube, 10 G 109, fol. 6 v°.

serrurerie de l'année. En 1410, la restauration de l'ensemble des vitraux nécessite encore l'achat de 900 paillettes ainsi que de réparer et redresser plusieurs verges de fer⁸⁷².

En 1435, les dommages subis par la verrière du transept située *devers la rue moienne du costé devers Saint Jehan* donc au sud-ouest⁸⁷³, notamment la rupture de deux colonnes à cause du gel, engendrent des travaux de réparation. Le serrurier Regnault Dieu le Fist renoue alors tous les barreaux brisés, allonge de vieux barreaux et fait plusieurs vergettes du fer de l'église. Il fait également des barlotières neuves et des étriers avec 38 livres de fer fournies par la veuve de Gauthier Pietrequin, épicier troyen. Il est en outre précisé que ces étriers et barlotières serviront à *tenir ung grant barriau de fer qui est au travers de la verriere, le quel barriau à XX piez de long et a esté prins en la garnison de ceste eglise*⁸⁷⁴.

Enfin, en 1453, toujours dans le cadre d'une réfection, Perrin Guillot est payé pour rogner trois barreaux récupérés sur les voûtes basses afin de les mettre dans une verrière située du côté de la grand rue, c'est-à-dire au nord⁸⁷⁵. Il fournit également des verges de 2 pieds et 800 paillettes.

Les informations données par ces comptes sont très éparées et de peu d'utilité vis-à-vis de la compréhension de l'ensemble de la vitrerie. Elles permettent malgré tout d'éclairer quelques points particuliers.

En premier lieu, on peut noter que les restaurations et réfections ne nécessitent le plus souvent que la reforge de vergettes et l'achat d'une grande quantité de paillettes. Cela est toutefois fort logique car il s'agit là des éléments les plus fragiles du châssis en fer des fenêtres, susceptibles de se corroder et de se briser facilement. Les feuillards, autres éléments très fins et fragiles, ne sont cependant toujours pas mentionnés. Parfois il s'agit de dégradations non pas des vitraux ou des armatures, mais de la maçonnerie. Cela nécessite alors l'adjonction d'agrafes et de coins de fer pour tenir ensemble les pierres et endiguer les désordres. Mais dans le cas de désordres importants, comme ceux subis par cette verrière de la croisée, une plus grande partie des armatures de fer est à refaire : de nombreuses barlotières sont brisées et l'on semble même changer une des barlotières tirants. Enfin, il s'agit plus

⁸⁷² Arch. dép. Aube, 10 G 109bis fol. 57 v°.

⁸⁷³ La rue moyenne est l'actuelle rue Urbain IV longeant l'église au sud, Saint-Jean-au-Marché faisant certainement référence à l'église du même nom située au sud-ouest de l'église Saint-Urbain.

⁸⁷⁴ PJ n° 79.

⁸⁷⁵ Arch. dép. Aube, 10 G 122, fol. 5 r°. La grand rue est l'actuelle rue Emile Zola qui longe le côté nord de l'église.

rarement d'un désordre de la maçonnerie, réparable par l'adjonction d'agrafes ou d'autres éléments de fer

Malgré le peu d'allusions fait aux vitraux dans ces comptes, les longueurs des éléments qui y sont mis sont assez souvent mentionnées. Ainsi, le grand barreau de fer mis dans une fenêtre de la croisée mesure 20 pieds de long, soit environ 6,5 m. Or les seules baies du transept, les fenêtres hautes ne font actuellement que 5,4 m. On peut donc aisément en conclure que ces barreaux étaient scellés à une profondeur d'environ 55 cm dans chacun des piédroits de leurs baies. Les vergettes mesurent quant à elles de 2 à 3 pieds de long, soit entre 65 cm et 1 m, ce qui est parfaitement compatible avec les dimensions des fenêtres du chœur. Mais ni la masse, ni le prix à la livre ne sont explicites dans ces différents cas et il est donc impossible de s'intéresser à la section de ces éléments.

II.2.5 Autres éléments de fer mis en œuvre à l'église Saint-Urbain

II.2.5.1 Eléments découverts en prospection

Les prospections réalisées sur l'édifice ont apporté très peu d'informations sur d'autres utilisations du fer à l'église Saint-Urbain.

Citons néanmoins en premier lieu, la découverte d'une agrafe de fer liant deux éléments de balustrade sur la chapelle au sud du chœur et d'un goujon dans une balustrade brisée au niveau des chéneaux des combles hauts du chœur. Cette manière de renforcer les balustrades est loin d'être exceptionnelle, mais on peut être interpellé ici par la présence d'une seule agrafe parmi l'ensemble des balustrades de l'édifice explorées⁸⁷⁶.

Plus original est le système de renforcement des avant-fenêtres qui viennent doubler les baies hautes du chœur de l'église, donnant un « effet plastique extrêmement puissant »⁸⁷⁷. En leur partie supérieure, juste sous le plafond, elles sont chacune pourvues de deux agrafes possédant un œil en leur centre. Une barre de fer, à l'extrémité recourbée à angle droit et

⁸⁷⁶ Il n'a pas été permis de mener de prospection à l'aide d'un détecteur de métal dans les chéneaux de l'église Saint-Urbain du fait de leur extrême étroitesse. De plus, la présence des gouttières et de joints de plomb aurait fortement compliqué les investigations.

⁸⁷⁷ ERLANDE-BRANDENBURG (A.), *L'art gothique...*, op. cit., p. 453.

scellée d'un côté dans le mur, vient s'insérer dans cet œil, selon une direction perpendiculaire à l'axe de la baie (cf. Figure 224). Elles semblent pouvoir à la fois servir à retenir les avant-fenêtres et supporter le couloir de circulation du grand comble à l'étage supérieur. La présence de renforts de fer au niveau de ces avant-baies n'est pas anodine. Dans sa description de l'édifice, Viollet-le-Duc s'était arrêté sur la partie supérieure de cette arcature qui porte la balustrade de l'étage supérieur⁸⁷⁸. Cette balustrade est de manière assez classique ornée en son milieu d'un gâble surmonté d'un fleuron. Cependant, au lieu d'être en saillie sur la balustrade, le gâble y pénètre, se confondant ainsi avec le sommet de l'arc de l'avant-baie. Viollet-le-Duc note par ailleurs que l'angle de la balustrade est légèrement obtus vers l'intérieur afin d'empêcher tout déversement vers l'extérieur. Le rôle des attaches de fer décrites ci-dessus qui viennent également empêcher le déversement de la balustrade et de la partie supérieure de ces arcs est donc intimement lié à la nature de la structure et à l'agencement des blocs de pierre à ce niveau de l'édifice. Soit Viollet-le-Duc qui ne les mentionne pas, a omis de les relever, peut-être car la beauté et l'intelligence qu'il accorde à l'édifice ne sauraient à ses yeux se réduire à l'emploi de quelques éléments de fer, soit ces éléments n'ont été rajoutés qu'après la campagne de reconstruction menée par Selmersheim à la fin du XIX^e siècle. Il ne faut en effet pas oublier que l'édifice en général et le chevet en particulier ont fait l'objet des importantes restaurations évoquées ci-dessus ; l'origine des systèmes mis en évidence en prospection n'est donc pas nécessairement médiévale et il est difficile d'échafauder des hypothèses solides sur leur datation.

II.2.5.2 Analyses Métallographiques

Aucun prélèvement de fer pour analyses métallographiques n'a été effectué à l'église Saint-Urbain. Tout d'abord la faible quantité d'éléments découverts en prospection, si l'on excepte les armatures de vitraux, n'a pas permis de localiser des fers susceptibles de faire l'objet d'un prélèvement. De plus, les nombreuses restaurations et reconstructions du chœur de l'église ainsi que l'élévation tardive de la nef haute laissent supposer que les éléments de fer encore en place à l'église Saint-Urbain ont plutôt une datation contemporaine que

⁸⁷⁸ VIOLLET-LE-DUC (E.), *Dictionnaire raisonné...*, *op. cit.*, tome III, p. 190

médiévale. L'analyse d'un corpus de fers uniquement contemporains sans comparaisons avec des fers médiévaux du même édifice présente un intérêt très limité pour la période étudiée.

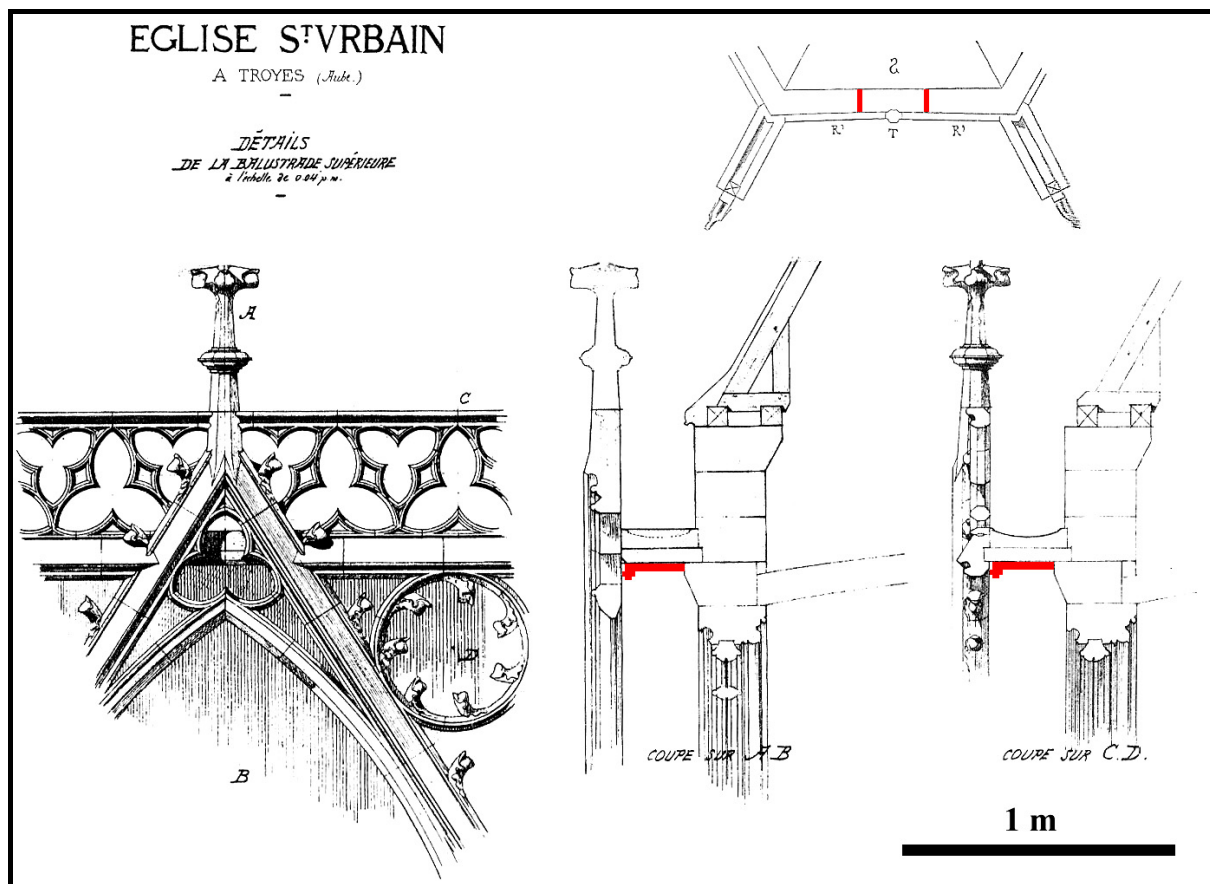


Figure 224 : Système de renforcement des avant-fenêtres de l'abside de l'église Saint-Urbain. En haut, plans et coupes avec localisation, d'après des dessins de Viollet-le-Duc et de Selmersheim. En bas, clichés de ces attaches.

II.2.5.3 Utilisations du fer à l'église Saint-Urbain d'après les comptes de la fabrique

La cinquantaine d'années de comptes conservées pour le XV^e siècle apporte quelques informations supplémentaires sur l'utilisation du fer dans l'entretien et les menues réparations de l'édifice, aucune construction majeure n'étant à relever pour cette période. En attestent les dépenses totales plutôt faibles avec une valeur médiane d'environ 100 l. t.

Les dépenses pour forge ne représentent quant à elles pas plus de 5 l. t. par an en général, soit moins de 5 % des dépenses totales, à part une dépense exceptionnelle atteignant 60 l. t. et plus de 12 % des sommes engagées sur l'année. Certaines années ne présentent au contraire aucune dépense de serrurerie.

Les données fournies par ces comptes sont assez disparates et souvent peu équivoques. Les mentions les plus importantes vont être détaillées de manière thématique dans les paragraphes suivants.

II.2.5.3.1 Chanlattes

En 1383-1384, la fabrique commande à Richart le Serrurier deux chanlattes de fer, l'une de 5 pieds de long et l'autre de 2 pieds et demi pour faire mettre respectivement dans deux gargouilles rompues⁸⁷⁹. Le terme de chanlatte désigne à cette époque une gouttière⁸⁸⁰. Il ne faut donc pas voir ici la réparation d'une gargouille au moyen d'éléments métalliques, mais plutôt sa substitution par cette pièce de fer, probablement à titre définitif, ces chanlattes étant scellées au plomb⁸⁸¹.

Le compte mentionne également que la chanlatte longue de 5 pieds pèse environ 7 livres de fer ouvré. En supposant que la section de la chanlatte est homogène, les dimensions citées correspondraient à une section de 2,5 cm². L'épaisseur de cette gouttière est donc nécessairement millimétrique pour avoir un conduit de diamètre suffisamment large pour permettre le passage des eaux usées sans s'obstruer.

⁸⁷⁹ Arch. dép. Aube, 10 G 103, fol. 3 v^o.

⁸⁸⁰ GODEFROY (F.), *Dictionnaire de l'ancienne langue française...*, op. cit., tome II, p.55.

⁸⁸¹ Arch. dép. Aube, 10 G 103, fol. 4 r^o.

Éléments de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Goujons	Appareil du portail sud	-	-	-	Fin XIII ^e s. (?)
Chaînage	Baies hautes de l'abside	1	Sect. = 4 x 2,5 cm		XIX ^e s. (restauration)
Agrafe	Balustrade extérieure sur une chapelle du chœur	1	-	-	-
Crampons et agrafes	Attache le sommet des avant-fenêtres des baies hautes de l'abside.	2 par baie	-	-	? (Restauration)

Tableau 92 : Récapitulatif des éléments de fer découverts à l'église Saint-Urbain de Troyes.

II.2.5.3.2 Attache du décor gothique

Entre 1384 et 1386, un certain nombre de petits éléments de fer sont mis en œuvre.

La fabrique achète tout d'abord à deux reprises une ou plusieurs verges de fer afin de tenir une statue. Tout d'abord, *une verge de fer ronde de VII piez de long*⁸⁸², placée derrière l'autel de la chapelle Notre-Dame, servant à empêcher la statue de la Vierge de choir. Cette verge est finalement allongée d'un grand pied avant d'être posée, elle mesure donc près de 2,6 m de long⁸⁸³. Puis l'année suivante, le serrurier livre une forte verge de fer pour l'image de saint Urbain, installée derrière le grand autel⁸⁸⁴. Ces verges sont scellées au plâtre.

Le 16 septembre 1386, le serrurier Constant Moufflot fournit *II fors bandes de fer chascune de V piez de long pour retenir la chambrote ou gist le marreglier*, avec quatre crampons et des clous⁸⁸⁵. Ces grandes bandes de fer y sont scellées au plomb. Peu après, deux grosses agrafes de fer sont mises au puits de l'église⁸⁸⁶. Elles pèsent en tout 12 livres de fer, soit environ 3 kg chacune.

Enfin, toujours en 1386, suite à des restaurations au jubé, la fabrique commande à Constant le Serrurier *II fortes bandes de fer* pour le retenir⁸⁸⁷. Elles sont ensuite ancrées à chaque extrémité dans les piliers, dans lesquels le maçon Jaquinot le Jay a percé les trous

⁸⁸² Arch. dép. Aube, 10 G 104, fol. 6 r°.

⁸⁸³ *Ibidem*.

⁸⁸⁴ Arch. dép. Aube, 10 G 105, fol. 6 v°.

⁸⁸⁵ Arch. dép. Aube, 10 G 106, fol. 6 r°.

⁸⁸⁶ *Ibidem*.

⁸⁸⁷ PJ n° 77.

nécessaires et y sont scellées au plâtre. Ces bandes pèsent près de 6 kg chacune pour près de 1,5 m de long et ont donc une section d'environ 5 cm².

Cette année comptable donne un bon aperçu de la diversité des emplois que remplissait le fer dans l'entretien d'une église gothique. Ces éléments de fer ne jouent toutefois aucun rôle dans la statique de l'église, mais seulement à une échelle plus locale dans le mobilier ou le jubé.

II.2.5.3.3 *Le clocher*

Outre les habituelles et régulières dépenses pour l'entretien des cloches, sur lequel nous ne reviendrons pas car les comptes de la fabrique de l'église Saint-Urbain sont peu détaillés et n'apportent aucune information originale sur ce point, la fabrique engage d'importants travaux au clocher à la fin de l'année 1389. Celui-ci, haut de plus de 27 m menaçait en effet de ruine après l'important orage de 1388⁸⁸⁸. Les travaux furent engagés suite à l'inspection conduite le 12 juillet 1389, le lendemain de la consécration de l'église. Il s'agit de la dépense pour forge la plus importante enregistrée dans les archives de l'église Saint-Urbain conservées pour la période médiévale avec 61 l. 3 s. 5 d. t., dont un coût total de 42 l. 10 s. t. uniquement pour les cloches soit environ 10 % des dépenses totales de l'année.

Le procureur achète à la fin de l'année 1389 près de 500 livres de fer à trois marchands et serruriers différents et récupère également des vieilles bandes et barres de fer sur le clocher (cf. Tableau 93)⁸⁸⁹. Tout le fer est confié au serrurier Constant Moufflot⁸⁹⁰. Ce dernier est rémunéré 30 livres tournois *pour sa pene et salaire de lui et ses varlez de faire XXIII bandes de fer d'environ VIII piez de long chascune et VIII chevilles de fer d'environ II piez et demi de long chascune VIII viroles et VIII hesses et environ VIII^C grans clos pour cloer et estacher les dictes bandes* ainsi que plusieurs outils⁸⁹¹. Ces différents éléments sont ensuite utilisés à l'ouvrage du clocher sans que plus de précisions ne soient données. Avant cette restauration, les parties hautes du clocher étaient déjà étayées au moins par quelques barres de fer, puisque le serrurier reforge également des barres qui ont été *arrechees et bennés du clocher*⁸⁹² afin de les remettre en oeuvre. S'agit-il d'une simple repose de ces éléments ou y a-t-il eu une consolidation supplémentaire ? Les circonstances de leur pose,

⁸⁸⁸ DAVIS (M. T.), « On the threshold of the flamboyant... », *op. cit.*

⁸⁸⁹ PJ n° 78, fol. 14 r°.

⁸⁹⁰ PJ n° 78.

⁸⁹¹ PJ n° 78, fol. 14 v°.

⁸⁹² PJ n° 78, fol. 14 r°.

suite à un élément climatique violent, ainsi que le nombre de barres de fer forgées par le serrurier, avec l'achat de plus de 500 livres de fer neuf pencherait plutôt pour la seconde hypothèse.

Concernant les dimensions mentionnées, une des barres retirées du clocher mesurait environ 2 m pour une masse de 8,3 kg, d'où une section de 5,3 cm². Les nouvelles bandes forgées et mises en place ont quant à elles une longueur d'environ 2,5 m, pour une section maximale de 5,5 cm²⁸⁹³. Il s'agit donc de barres de dimensions assez moyennes, forgeables dans l'atelier d'un serrurier urbain.

Objet	Masse	Fournisseur	Prix à la livre
Longues bandes	324 livres	Colin d'Echemines	14 s. le pois (6,2 d. la livre)
Fer	100 livres	Jean d'Estain	55 s. le cent (6,6 d. la livre)
Fer	67,5 livres	Constant Moufflot	14 s. le pois (6,2 d. la livre)
Une grosse bande de 6 pieds de long	17 livres	Arrachées et bennées du clocher	-
14 bandes vieilles	40,5 livres		
Total	549 livres		

Tableau 93 : Achats de fer « pour l'ouvrage dudit clocher » de l'église Saint-Urbain en 1389⁸⁹⁴.

Plus de cent ans plus tard, alors que la fabrique dépense également 12 l. t. pour ferrer les quatre cloches neuves et faire leurs battants, deux nouveaux barreaux de fer sont placés au beffroi pour le tenir avec six chevilles⁸⁹⁵. Ils pèsent 80 livres en tout ; ces barreaux sont donc de dimensions très nettement supérieures aux précédents. L'achat la même année de 456 livres de plomb d'Angleterre pour l'ouvrage du clocher est peut-être le signe de scellements au plomb⁸⁹⁶. Mais en l'absence d'indications plus probantes il ne peut s'agir que d'une hypothèse, puisqu'il peut également servir à réaliser des couvertures.

⁸⁹³ La section est possiblement bien inférieure. Cette estimation a été réalisée en considérant que les 24 barres pesaient au maximum 549 livres. Or d'autres éléments : chevilles, viroles, hesses et clous ont été forgés sur cette masse de métal.

⁸⁹⁴ PJ n° 78, fol. 14 r°.

⁸⁹⁵ Arch. dép. Aube, 10 G 133, fol. 5 v°.

⁸⁹⁶ *Ibidem*.

II.2.5.3.4 Synthèse

Si les comptes n'apportent que peu d'informations précises quant à l'emploi du fer sur le chantier de l'église Saint-Urbain de Troyes, ils montrent en revanche l'extrême diversité de ses utilisations et de ses localisations, des petites verges servant à l'attache des statues aux grosses agrafes du puits en passant par les lourdes barres du jubé et du clocher. Outre les vitraux et leurs barres gigantesques, le beffroi semble être une partie de l'édifice qui a consommé beaucoup de fer, que ce soit pour sa construction et ses réparations ou encore pour la fabrication et l'entretien des armatures, roues et battants des cloches.

Éléments de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Chanlattes	Mettre dans des gargouilles rompues	2	L ≈ 0,8 à 1,6 m	-	1383-1384
Verge	Attache de la statue de la Vierge	1	L ≈ 2,6 m		1384-1386
Bandes	Retenir la chambre où gît le sonneur de cloches	2	L ≈ 1,6 m	≈ 6 kg	1386
Bandes	Retenir le jubé	2	L ≈ 1,6 m	≈ 12 kg	1386
Bandes	Dans le clocher	24	L ≈ 2,6 m		1389
Chevilles	Dans le clocher	8	L ≈ 0,8 m		1389
Virolles	Dans le clocher	8	-		1389
Heusses	Dans le clocher	8	-		1389
Grands clous	Dans le clocher	800	-		1389
Bandes	Dans le clocher	14	-	≈ 20 kg	? (bennées en 1389)

Tableau 94 : Récapitulatif des éléments de fer mis en œuvre dans la structure de l'église Saint-Urbain de Troyes d'après les comptes de la fabrique.

II.2.6 Synthèse sur l'église Saint-Urbain

L'église Saint-Urbain, canon de l'architecture gothique rayonnante, montre donc de nombreuses occurrences du fer. Elle se caractérise tout d'abord par l'immensité de ses vitrages, dont les armatures représentent à elles seules près d'une dizaine de tonnes de fer, soit presque autant qu'une cathédrale comme celle de Rouen ou celle de Ratisbonne. Certaines barlotières-tirants des baies hautes du chœur sont de plus liées les unes aux autres

dans les piédroits formant ainsi plusieurs chaînages enserrant l'abside. Premier et seul exemple attesté de chaînages dans les fenêtres hautes des églises troyennes et rouennaises, l'église Saint-Urbain rejoint ainsi la Sainte-Chapelle de Paris et la cathédrale de Beauvais au nombre des édifices possédant de tels renforts de maçonnerie. La présence de chaînages dans ces édifices et en particulier à l'église Saint-Urbain doit directement être reliée à leurs structures qui réduisent la pierre au strict minimum. D'autres exemples d'armatures de fer à l'église Saint-Urbain, comme ces crochets attachant les avant-fenêtres dans le chœur, s'intègrent également à l'architecture de l'église caractérisée par la recherche d'une grande harmonie et d'une continuité des formes.

Si à l'heure actuelle ces renforts sont presque tous issus des restaurations récentes que l'édifice a subi, l'origine d'une partie d'entre eux est néanmoins sans doute médiévale. Des données fiables sur les destructions et restaurations du XIX^e siècle manquent souvent pour confirmer ces hypothèses.

II.3 L'ÉGLISE SAINT-JEAN-AU-MARCHE DE TROYES

II.3.1 Historique

L'église Saint-Jean-au-Marché est une des plus anciennes de la ville, bâtie probablement dès le V^e siècle⁸⁹⁷. Elle est reconstruite après les ravages causés par les invasions barbares et un premier incendie au début du IX^e siècle⁸⁹⁸. Le roi Louis II dit le Bègue y aurait même été couronné par le pape en 878⁸⁹⁹.

Elle est détruite à nouveau par les flammes à la fin du XII^e siècle, si bien qu'aucune partie de l'édifice n'est antérieure au XIII^e siècle, la nef semblant dater des années 1208-1240, comme l'ancien chœur⁹⁰⁰. De l'église bâtie à cette époque, seules subsistent les travées de la quatrième à la huitième de la nef et des collatéraux en partant de l'ouest. Les deux portes latérales ont été reconstruites au XIV^e siècle et l'on attribue à la même époque l'érection du clocher, naguère situé à l'angle sud-ouest de l'édifice⁹⁰¹. Les baies primitives ont été remplacées à la fin du XV^e siècle ou au début du XVI^e par de larges fenêtres au remplage flamboyant.

On entreprend de refaire le chœur au début du XVI^e siècle. Le chantier débute en 1520⁹⁰², mais en 1524, l'église Saint-Jean-au-Marché n'échappe pas à l'incendie qui ravage la ville de Troyes⁹⁰³. Les trois premières travées de la nef, détruites, sont immédiatement réédifiées par l'architecte Martin le Vaulx. La rapidité de la reconstruction tient au fait que les ouvriers et maître maçon étaient sur place puisque l'agrandissement de l'édifice était en cours. Le sanctuaire est ensuite terminé et couvert en 1534⁹⁰⁴. Les parties hautes du chœur, commencées en 1545, sont terminées en 1554 ; cependant dès 1553-1555 il faut étayer les

⁸⁹⁷ ASSIER (A.), *Comptes de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes suivis de pièces curieuses et inédites et d'une notice sur les mémoires historiques des Antiquités de la ville de Troyes par Louis Duhalle*, Troyes, Bouquot, p. 37.

⁸⁹⁸ ID., *Ibid.*, p. 39.

⁸⁹⁹ ID., *Ibid.*, p. 41.

⁹⁰⁰ PIETRESSON DE SAINT-AUBIN (P.), « L'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes », *Congrès archéologique de France CXIII*, Troyes, 1955 (publié en 1957), p. 85-95.

⁹⁰¹ ID., *Ibid.*

⁹⁰² ID., *Ibid.*

⁹⁰³ ASSIER (A.), *Comptes de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes...*, *op. cit.*, p. 39

⁹⁰⁴ PIETRESSON DE SAINT-AUBIN (P.), « L'église Saint-Jean-au-Marché... », *op. cit.*

contreforts qui les contrebutaient au nord⁹⁰⁵. Les premières chapelles sont construites à partir de 1555⁹⁰⁶. Puis les travaux se ralentirent : en 1574 est élevée la tourelle de l'horloge dans le croisillon sud, et finalement le portail occidental est reconstruit en 1593. L'essentiel de l'église a donc été édifié au cours du XVI^e siècle.

II.3.2 Description architecturale

La nef se compose d'un vaisseau central de huit travées entouré de deux collatéraux, tous couvertes de voûtes d'ogives quadripartites sur plan barlong et parfois carré dans les bas côtés. Elle présente une élévation à deux niveaux sans triforium, les baies hautes n'étant séparées des grandes arcades que par un bandeau de pierre plus ou moins grand suivant la dimension des baies et des arcades qui varient de travée en travée. Le transept, d'architecture identique à la nef est non saillant et semble ainsi constituer une neuvième travée d'un peu plus grande largeur. La hauteur des voûtes est d'environ 14 m pour les sept travées occidentales et chute à 13 m pour la travée la plus orientale ainsi que dans le transept.

Le chœur prend une direction légèrement plus axée vers le nord que la nef donnant ainsi un petit angle à la construction, d'autant plus perceptible que le transept de l'édifice n'est pas saillant. Il se compose de trois travées entourées d'un collatéral simple au sud et double au nord qui sont ceints par des chapelles. La voûte d'ogive quadripartite laisse ici la place à des dessins de nervures « d'une complication et d'une variété extraordinaires »⁹⁰⁷. L'élévation du chœur est également à deux niveaux, sans triforium. Il est cependant bien plus grand et plus lumineux que la nef avec 21 m de hauteur sous voûtes.

⁹⁰⁵ ID., *Ibid.*

⁹⁰⁶ PEROUSE DE MONTCLOS (J.-M.), dir., *Guide du patrimoine. Champagne Ardenne*, p. 362.

⁹⁰⁷ PIETRESSON DE SAINT-AUBIN (P.), « L'église Saint-Jean-au-Marché... », *op. cit.*

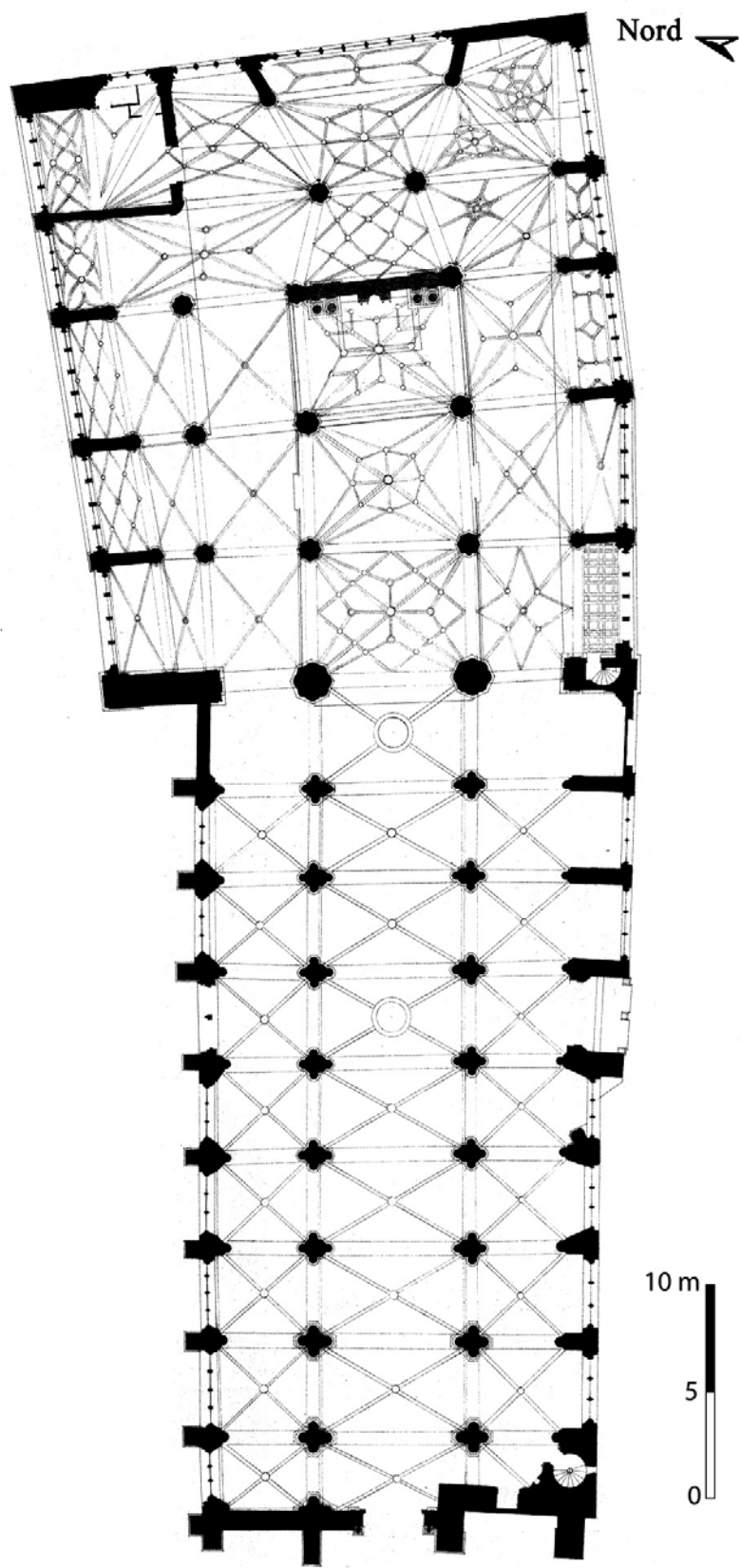


Figure 225 : Plan de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes, S.D.A.P. de l'Aube.

II.3.3 L'emploi du fer dans les armatures des vitraux de l'église Saint-Jean-au-Marché

II.3.3.1 Historique des vitraux

Si l'histoire de l'église Saint-Jean-au-Marché débute au XIII^e siècle, celle de ses fenêtres ne commence qu'à la fin du XV^e siècle, date à laquelle sont refaites les baies de la nef dans un style flamboyant⁹⁰⁸. Les vitraux du chœur ont quant à eux été posés à peu près au fur et à mesure de son élévation dans le courant du XVI^e siècle⁹⁰⁹. La vitrerie de certaines baies, comme les baies hautes du chœur mises en place vers le milieu du XVI^e siècle, est documentée dans les registres de comptes.

Il est donc bien difficile de proposer une estimation des quantités de fer éventuellement mises en œuvre à la construction de l'église pendant le XIII^e siècle. Cet état n'est réalisable qu'à partir du tournant des XV^e et XVI^e siècles, à une époque où les moyens de production de fer et les capacités d'approvisionnement ont radicalement changé.

Les verrières de la nef qui datent de cette époque représentent environ 1,6 t de fer, avec en moyenne 40 kg par baie basse et 60 kg par baie haute. Les fenêtres du chœur, dont les vitraux sont contemporains de l'élévation et s'étalent donc tout au long du XVI^e siècle⁹¹⁰, sont de dimensions bien plus importantes, mesurant jusqu'à 4 m de large et 6 m de haut dans les chapelles basses et 5 m sur 8 m pour les baies hautes. Chacune de ces fenêtres est pourvue de 150 à 250 kg d'éléments de fer, soit un total d'environ 3,6 tonnes de fer pour l'ensemble du chœur au cours du XVI^e siècle. En tout à peine plus de 5 tonnes de fer ont donc été mises en œuvre dans les baies de l'église Saint-Jean-au-Marché.

⁹⁰⁸ MINOIS (D.), *Le vitrail à Troyes...*, op. cit., p. 129.

⁹⁰⁹ ID., *Ibid.*, p. 129.

⁹¹⁰ *Corpus Vitrearum. Les vitraux de Champagne-Ardenne...op. cit.*, p. 242



Figure 226 : Baies hautes du chœur (en haut) et de la nef (en bas) de l'église Saint-Jean-au-Marché.

II.3.3.2 Les barlotières-tirants

Un certain nombre de barlotières-tirants, ces barres de fer qui traversent les meneaux des baies, servant à la fois de soutien aux panneaux de vitrail et à la maçonnerie sont présentes dans les fenêtres de l'église Saint-Jean-au-Marché. Elles sont au nombre de une à deux pour les baies de la nef, et de deux à quatre pour les baies du chœur, notamment les baies basses de plus grandes dimensions (cf. Figure 226). L'analyse de l'éventuelle liaison de ces barres dans les piles pour former un chaînage au niveau des baies hautes s'est révélée négative que ce soit par étude de la maçonnerie ou par conductivité électrique. L'apparente continuité d'une travée à l'autre n'est qu'un leurre, ces grosses barres étant bien souvent ancrées au milieu d'un bloc de pierre et non au niveau d'un joint.

II.3.3.3 L'apport des comptes à la connaissance des armatures de vitraux

Les mentions d'achats d'éléments de fer pour les vitraux sont fréquentes dans les comptes de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché. Les éléments mis en œuvre sont sans surprise des barres, des verges et des paillettes. Même si le fait n'est précisé qu'à deux reprises sur l'ensemble des années comptables étudiées, on peut supposer que les barres sont systématiquement *loquetez*, c'est-à-dire pourvues de tenons⁹¹¹. On compte également deux mentions probablement équivalentes de *bendes de fer fournyes de clavettes*⁹¹² et de *grandes bandes de fer avecques les clauvaulx*⁹¹³ servant à des fenêtres. D'après leur masse comprise entre 45 et 50 livres pièce, le terme de « bande » doit ici plutôt être associé à celui de tirant, ou plus précisément de barlotière-tirant, puisque que ces bandes sont munies de « claveaux » ou « clavettes ». Nous reviendrons sur ces derniers éléments ultérieurement. Moins ordinaire sont en revanche les mentions à quelques reprises d'agrafes, de goujons et parfois de chevilles *servant aux formetes*⁹¹⁴. Ces éléments, néanmoins moins présents dans les comptes que les habituelles verges et barres, sont très probablement liés à la maçonnerie du réseau de la verrière, des goujons étant en effet éventuellement nécessaires pour relier entre eux les blocs des meneaux ainsi que les différents éléments du réseau. Les agrafes et chevilles sont

⁹¹¹ Arch. dép. Aube, 15 G 70, fol. 31 r° et 15G86, fol. 30 r°.

⁹¹² Arch. dép. Aube, 15 G 68, fol. 30 r°.

⁹¹³ Arch. dép. Aube, 15 G 62, fol. 31 v°.

⁹¹⁴ Arch. dép. Aube, 15 G 64, fol. 88 r° et 89 v°.

probablement employées dans un but similaire. La présence du vitrail interdit cependant toute prospection à l'aide d'un détecteur de métal pour infirmer ou confirmer leur présence.

Les mentions disponibles permettent de rendre compte ponctuellement de la dépense en fer pour les vitraux.

En 1535, la mise en place d'un vitrail offert par l'évêque de Troyes nécessite la forge de 225 livres de fer au prix de 11 l. 17 s. t. dont 45 % environ pour la matière première et 55 % pour le travail du forgeron, le serrurier Jean de France⁹¹⁵. L'armature de ce vitrail représente plus d'un cinquième des dépenses de serrurerie du compte considéré. Nous n'avons pas pu identifier avec certitude cette verrière parmi celles de l'église Saint-Jean-au-Marché, mais au vu de la quantité de fer mise en œuvre (environ 110 kg) et d'après nos estimations appuyées sur les données du *Corpus Vitrearum* sur la date de ce vitrail⁹¹⁶, il pourrait s'agir de la baie n° 4 dans la quatrième chapelle au sud du chœur.

En 1536, le même Jean de France met trois barreaux de fer en la chapelle des tanneurs pour une somme de 7 l. 6 s. t⁹¹⁷. Si le terme de forme, ou de fenêtre n'est pas explicitement mentionné, il est fort vraisemblable, au vu de l'importante somme engagée, qu'il s'agisse là de la mise en œuvre de barlotières-tirants dans la baie de ladite chapelle, préalable à l'installation du vitrail. Entre 1539 et 1540, ce sont les verrières hautes du chœur qui font l'objet de travaux nécessitant notamment de *voutter en besongne cept vingtz livres de fer*⁹¹⁸. Il s'agit en particulier de *la formette d'am haulx du costé de la chapelle des Tanneurs* pour laquelle Jean de France *faict des bareau*⁹¹⁹ en 1539 et où Guillaume Royer place, l'année suivante, de nouveau trois grands barreaux⁹²⁰. En 1555, Nicolas le fèvre met en œuvre 241 livres de fer *pour les verges des verrières crappons et autres ouvrages*⁹²¹. La même année, Guillaume Royer est chargé de forger *troys gros chassis de fer et [...] troys aultres du fer de l'eglise avec plusieurs verges à verrieres [et] une grand fenestre ferrée au grand cloche*⁹²², travail pour lequel il est rémunéré 10 l. 10 s. t. En 1566, la fabrique paye 6 l. 11 s. 6 d. t. à

⁹¹⁵ PJ n° 83, fol. 69 v°.

⁹¹⁶ *Corpus Vitrearum. Les vitraux de Champagne-Ardenne...op. cit.*, p. 243.

⁹¹⁷ Arch. dép. Aube, 15 G 47, fol. 66 r°.

⁹¹⁸ Arch. dép. Aube, 15 G 51, fol. 74 r°.

⁹¹⁹ Arch. dép. Aube, 15 G 49, fol. 61 r°.

⁹²⁰ *Item pour avoir fait trois grands bareaus an la formette de la verrière desus la chapelle des tanneurs pour ce XXXVI s. II d.*, Arch. dép. Aube, 15 G 51, fol. 74 v°.

⁹²¹ Arch. dép. Aube, 15 G 70, fol. 30 r°.

⁹²² Arch. dép. Aube, 15 G 70, fol. 30 v°. Rappelons qu'en termes architecturaux, un châssis désigne l'encadrement d'une porte ou d'une fenêtre. La mention de « châssis de fer [...] avec plusieurs verges à verrières » va dans le sens que ces châssis représentent tout ou partie de l'armature d'un vitrail.

Jacques Guérin *pour les barreaux loquetiers pour trois formette*⁹²³. Enfin, le 7 mai 1570, Pierre Guérin reçoit 27 l. 7 s. et 6 d. t. du procureur de la fabrique *pour avoir livré et forgé la fer de la haulte verriere du cuer que a fait faire Denis Clere signeur de Vaultzbercé et pour plusieurs aultres ouvrages qui la faict à la dite esglise*⁹²⁴.

La vitrerie des fenêtres du chœur s'échelonne donc au gré des donations sur près d'une quarantaine d'années. Mais bien que l'on dispose d'une assez grande partie des comptes relatifs à l'élévation du chœur de l'église Saint-Jean-au-Marché et donc à la mise en place de bon nombre de ces verrières, il serait hasardeux d'attribuer à chaque fenêtre les achats de barres de fer qui ont été réalisés pour sa construction, de même qu'il est très difficile d'identifier les verrières sur lesquels les travaux sont réalisés et de les comparer avec les armatures que nous avons aujourd'hui sous les yeux. Les dépenses concernant la verrière offerte en 1535 par l'évêque de Troyes en sont un bon exemple : même avec la quantité de fer mise en œuvre et le donateur de la verrière, toute restitution ne peut se borner qu'à de fragiles hypothèses. Toutes ces mentions, si elles attestent bien de dépenses importantes en fer pour les verrières de l'église, ne permettent pas d'avancer la réflexion davantage. Elles sont en effet bien trop éparses et imprécises : soit la localisation de la verrière est mentionnée mais pas la masse de fer mise en œuvre, soit on a une masse de fer dont on ne sait si elle a été employée pour une ou plusieurs verrières, mais le plus souvent on a uniquement la mention d'un prix total comprenant parfois d'autres ouvrages que la seule verrière. Rares sont en revanche les mentions où le détail précis des éléments mis en œuvre est indiqué.

Quelques mentions d'achat de bandes de fer permettent de dépasser le stade de la description. En mai 1552, *trois grandes bandes de fer avecques les clauvaulx pesant ensemble cent quarante huit livres* sont mises en œuvre *dans une grande formette de verriere*⁹²⁵. Un autre barreau de 49 livres est également forgé la même année pour une autre baie⁹²⁶, puis l'année suivante, une bande de fer de 38 livres⁹²⁷. En septembre 1554, le même Guillaume Royer vend à la fabrique *cinq bendes de fer fournyes de clavettes servant es formettes de la chappelle monseigneur saint Jehan Sebastian [...] pesant deux cens vingt livres*⁹²⁸. Bien que les baies en question ne soient pas toutes mentionnées, ces données permettent de calculer la masse de ces grandes bandes qui sont sans aucun doute possible les

⁹²³ Arch. dép. Aube, 15 G 86, fol. 30 r°.

⁹²⁴ Arch. dép. Aube, 15 G 89, fol. 29 v°.

⁹²⁵ Arch. dép. Aube, 15 G 62, fol. 31 v°.

⁹²⁶ Arch. dép. Aube, 15 G 62, fol. 32 r°.

⁹²⁷ Arch. dép. Aube, 15 G 64, fol. 33 r°.

⁹²⁸ Arch. dép. Aube, 15 G 68, fol. 30 r°.

grosses barlotières-tirants que nous avons mentionnées. Selon les comptes, pour les grandes verrières du chœur, elles pèsent entre 38 et 50 livres chacune soit environ 18,5 à 24 kg. Les bandes de fer livrées par Jean de France entre 1533 et 1537 ont des masses similaires, de l'ordre de 40 à 46 livres pièce et sont probablement aussi liées au vitrail de la même manière⁹²⁹, tout comme ces trois barreaux de fer mis en la chapelle des tanneurs, dont le prix laisse envisager des éléments de plus grande dimension encore⁹³⁰. Les estimations réalisées sur les vitraux donnent des tirants de 19 à 31 kg suivant la longueur de la fenêtre considérée dans le chœur. Ces résultats sont donc parfaitement compatibles et on peut donc en conclure que la section moyenne de ces bandes achetées par la fabrique doit être relativement proche de la section que nous avons utilisée pour nos calculs, à savoir 7,5 cm².

Le même raisonnement pourrait être tenu pour certaines mentions concernant l'achat de barlotières, notamment avec cette acquisition en 1556 de *II barreaux de fer loquitez pesant X l.*⁹³¹, soit des barlotières de 2,5 kg environ. Mais si la dimension des tirants varie peu, puisqu'elle est directement fonction de la longueur des fenêtres, à laquelle il faut ajouter la longueur des ancrages, celle des barlotières est très fluctuante au sein même d'une seule baie suivant la partie du remplage dans laquelle elle se trouve. Ce chiffre de 2,5 kg est malgré tout compris dans la fourchette des poids de barlotières calculés selon nos estimations, qui va de 1,8 à 2,7 kg. Ce type de rapprochement permet néanmoins de valider la plausibilité des calculs effectués sur les armatures contemporaines.

Outre ces informations de nature arithmétique, les comptes montrent également que, dans la construction comme dans l'entretien des verrières, la récupération est omniprésente. Les mentions de réparations consistent le plus souvent, non dans l'ajout de nouvelles barres ou vergettes mais dans la forge d'anciens éléments. En 1511-1512, le serrurier Pierre Vinot allonge quarante verges de verrière et refait sept barreaux pour une seule verge « neuve »⁹³². Vers 1535, c'est au tour de Jean de France d'effectuer quelques réparations : il va reforger *les bandes de fert de la formaitte de la verriere de la chappelle du petit huys* pour une somme de 3 l. t. et *rabillier cinq barreaux et dix verges pour la verriere contre le petit huys*⁹³³. Aucun élément « neuf » n'est alors mentionné. Quelques années plus tard, il est payé par la fabrique

⁹²⁹ PJ n° 83, fol. 69 v°.

⁹³⁰ Arch. dép. Aube, 15 G 47, fol. 66 r°.

⁹³¹ Arch. dép. Aube, 15 G 70, fol. 31 r°.

⁹³² Arch. dép. Aube, 15 G 30a fol 224 r°.

⁹³³ Arch. dép. Aube, 15 G 47, fol 66 v°.

pour *racoustrer des vieux barreaux de fer pour metre en une formette en hault*⁹³⁴. Enfin, le 29 octobre 1555, Guillaume Royer est rémunéré pour avoir *reforger et resaulder huict verges à verrieres pour la chepelle Saint Sebastian*⁹³⁵.

Il est impossible de quantifier avec précision la part de la récupération pour les verrières de l'église Saint-Jean-au-Marché, mais la fréquence du réemploi de vieux fer dans les comptes laisse envisager une part nécessairement non négligeable et pouvant être très importante.

II.3.4 Autres éléments de fer découverts en prospection

Peu d'éléments de fer, mis à part ceux mis en œuvre dans les vitraux ont été découverts à l'église Saint-Jean-au-Marché. Des quelques objets qui ont été relevés, la plupart ne semblent par ailleurs pas faire partie de la construction originelle.

II.3.4.1 Les tirants de la nef

Notons en premier lieu la présence de dix tirants dans la nef entre la quatrième et la neuvième travée (cf. Figure 227). En partie centrale, un assemblage montre que ces tirants sont en fait composés de deux barres distinctes reliées entre elles par des couronnes carrées en fer et mises en tension par des coins. De chaque côté, ces tirants viennent s'ancrer dans les écoinçons des voûtes et se terminent par un œil dans lequel vient s'insérer une ancre verticale en fer sur la paroi extérieure du mur afin de bloquer le système (cf. Figure 227). Ces tirants ont pour but de maintenir la poussée des voûtes de la nef, comme le précise un rapport de

⁹³⁴ Arch. dép. Aube, 15 G 49, fol 60 v^o.

⁹³⁵ Arch. dép. Aube, 15 G 70, fol 30 r^o.

l'architecte Malarmoy daté du 20 janvier 1979, même s'il s'accorde à dire que leur effet est néfaste⁹³⁶.

Bien que le type d'assemblage en partie centrale laisse présager que ces tirants ne sont pas médiévaux et qu'ils ne datent donc pas de la construction originelle de la nef au XIII^e siècle, nous disposons d'assez peu d'informations à leur égard, comme en atteste un courrier de l'inspecteur général adjoint Bertrand Monnet daté du premier décembre 1971 sur l'état de la nef de l'édifice⁹³⁷. Dans un rapport rédigé par M. Bruyère sur l'église Saint-Jean-au-Marché en mai 1881, on peut lire : « Les murs [de la nef] sont complètement déversés surtout vers le Nord et ne sont maintenus que par des chaînages placés nous a-t-on dit il y a une cinquantaine d'années »⁹³⁸. Ces tirants sont effectivement également présents sur des dessins de l'église datant du XIX^e siècle⁹³⁹. Il est même possible de les dater par *terminus ante quem*, grâce à une lettre de l'Architecte du Roi, Frédéric Nepveu, au Baron Devismes, préfet du département de l'Aube, datée du 18 décembre 1826 dans laquelle il préconise pour remédier aux désordres, et notamment au déversement des murs « d'établir huit nouvelles chaînes en fer dans le haut de la grande nef, pareilles à celles déjà exécutées et placées à même hauteur »⁹⁴⁰. Si ces nouvelles chaînes n'ont apparemment pas été installées, ce courrier nous indique que les autres étaient déjà présentes en 1826. Il semblerait même que leur mise en place soit plutôt récente au vu des termes employés, l'architecte parlant comme s'il avait lui-même ordonné l'exécution de ces premières chaînes ; ceci concorderait avec le rapport de M. Bruyère de 1881 annonçant leur mise en œuvre « il y a environ 50 ans ».

⁹³⁶ « La poussée des voûtes de la nef, du 4^e au 8^e pilier, est maintenue par des tirants en fer, placés par mesure de précaution, mais dont l'effet paralyse la fonction des arcs-boutants. », Archives E. Pallot, dossier « ACMH ».

⁹³⁷ « La nef de l'église Saint-Jean, qui date du XIII^e siècle, présente des déformations fort anciennes, dues à la fragilité de sa structure et à l'insuffisance du contrebutement. Le dévers extérieur des murs goutterots a entraîné un affaissement des voûtes, ainsi que des fissures et des éclatements de pierres dans les nervures et les piliers, particulièrement visibles dans les 7^e, 8^e et 9^e travées. Des tirants en fer ont été mis en place à une certaine époque, entre les doubleaux de la nef, de la 5^e à la 9^e travée. (...) Il me paraît essentiel d'étudier les conditions de stabilité de l'édifice et de déterminer ensuite comment le consolider rationnellement en s'efforçant, si cela ne doit pas conduire à des dépenses exagérées, d'éliminer les tirants qui en dénaturent l'aspect de la 5^e à la 9^e travée de la nef », Archives E. Pallot, dossier « ACMH ».

⁹³⁸ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 081/010/0082, « Rapport de la commission, par M. Bruyère sur l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes », séance du 16 mai 1884.

⁹³⁹ Gravure de A. Dautzats dans TAYLOR (J.), *Voyages pittoresques et romantiques dans l'ancienne France*, Paris, 1857.

⁹⁴⁰ Arch. dép. Aube, T 303.

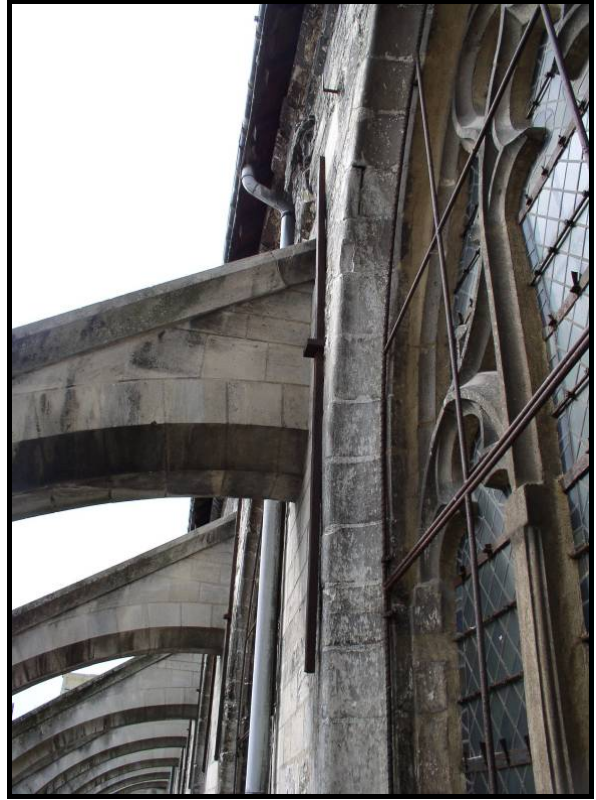


Figure 227 : Tirants dans la nef de l'église Saint-Jean-au-Marché. En haut à gauche, vue générale ; en haut à droite, ancre extérieure bloquant un tirant ; en bas, vue de l'assemblage des tirants.

II.3.4.2 Agrafes mises en œuvre sur les balustrades

Plusieurs agrafes et empreintes d'agrafes ont été découvertes sur des balustrades de la face sud de l'église au niveau du chœur.

II.3.4.2.1 Balustrade des combles bas du chœur

A l'étage des fenêtres hautes, treize agrafes et plusieurs autres empreintes d'agrafes ont été relevées⁹⁴¹. La forme et les dimensions de ces agrafes ont pu être appréhendées de manière complète puisqu'elles ont fait l'objet d'une dépose en septembre 2005 dans le cadre du programme de restauration de la façade sud (cf. Tableau 95).

Neuf d'entre elles se trouvent sur la balustrade de la première travée, la plus occidentale (cf. Figure 228), qui avait manifestement fait l'objet de remaniements comme l'indiquent son dessin différent des autres balustrades, son positionnement en retrait par rapport à leur alignement et le fait qu'elle soit raccrochée à l'est à la culée de l'arc-boutant, qui délimite la travée par des agrafes aux formes biscornues. Parmi ces neuf agrafes, deux se trouvent sur le dessus de la balustrade (H5 et H6), la troisième (H4), ansée et en forme de L, également sur le dessus est celle qui l'a lie à la culée (cf. Figure 228). Les six autres (V1 à V6) se trouvent dans le plan vertical de la balustrade juste au dessus de ses arcatures, la plus orientale (V1) étant en forme d'équerre pour venir s'insérer dans la culée (cf. Figure 228). Il est légitime de s'interroger sur le comportement mécanique de ces agrafes de formes non rectilignes, qui auront tendance à se déplier plutôt que de résister lorsqu'elles seront soumises à un effort important et qui, de ce fait, ne rempliront pas leur rôle d'attache.

Les agrafes verticales V2 à V6 sont de formes et de dimensions similaires : largeur comprise entre 2 et 2,5 cm, longueur de 16,5 à 19 cm, épaisseurs de 0,6 à 1 cm, retours fendus dans la longueur en deux pattes légèrement écartées l'une de l'autre (cf. Figure 228)⁹⁴². Leurs retours présentent la trace d'un mortier chamotté de couleur gris/rouge. L'agrafe H5 est de dimensions similaires à ces agrafes verticales, bien qu'elle soit un peu plus longue (21 cm) et plus épaisse (1,4 cm). Ses extrémités ne sont pas fendues, mais torsadées. Il s'agit peut-être d'une déformation liée à l'extraction de ces agrafes des pierres lors de la restauration. Elle présentait également la trace du même type de mortier chamotté.

⁹⁴¹ Elles ont été numérotées selon leur situation de la plus orientale à la plus occidentale et selon leur plan de situation, vertical ou horizontal. Les références vont donc de H0 à H6 et de V1 à V6.

⁹⁴² Sauf V02 dont les pattes ne sont pas conservées.

L'agrafe H6 est quant à elle bien plus longue et un peu plus fine avec une longueur de 27,5 cm, largeur de 1,6 cm et épaisseur de 0,7 cm. Ses extrémités sont également torsadées.

Les quatre autres agrafes (H0 à H3) se trouvaient sur les balustrades plus orientales. Alors que les agrafes de la première balustrade sont, comme nous venons de le voir, de formes et dimensions relativement homogènes, ces quatre dernières sont toutes différentes. L'agrafe H3 est manifestement le résultat du réemploi d'un autre élément de fer puisqu'elle est percée de deux trous, l'un de forme grossièrement carrée, l'autre de forme rectangulaire. Elle est longue de 28 cm et de section plutôt plate de 3 x 0,6 cm. L'agrafe H0, également longue avec ses 29,5 cm, a quant à elle une section plus carrée de 1,5 cm x 1 cm. L'agrafe H1, plus courte avec seulement 22,5 cm est également plus large (3,3 cm x 1 cm). Aucune de ces trois agrafes ne présente de retour fendu comme celles de la première travée ni la trace d'un mortier chamotté. L'agrafe H2 au contraire, bien que plus longue (27,5 cm), est assez semblable à celles de la balustrade de la première travée avec une section de 2,5 cm x 1 cm, des retours fendus et la trace de mortier gris/rouge chamotté.

n°	L (cm)	Lr (cm)	l (cm)	e (cm)	Retours	scellement
H0	29,5	5	1,5	1	Normaux	Mortier blanc
H1	22,5	4	3,3	1	Normaux	Mortier blanc
H2	27,5	5	2,5	1	Fendus	Mortier rouge chamotté
H3	28	3,5	3	0,6	Normaux	Mortier blanc
H4	33	6	2,2	0,8	Torsadés	Mortier rouge chamotté
H5	21	6	2,3	1,4	Torsadés	Mortier gris/rouge chamotté
H6	27,5	4,5	1,6	0,7	Torsadés	Mortier gris
V1	36	3	2	1	Normaux	Mortier gris
V2	16,5	-	2,3	0,8	-	Mortier gris
V3	18	5	2,1	0,6	Fendus	Mortier rouge chamotté
V4	19,5	5	2,2	1	Fendus	Mortier rouge chamotté
V5	16,5	4,5	2,2	1	Fendus	Mortier gris chamotté
V6	19	5	2,5	1	Fendus	Mortier rouge chamotté

Tableau 95 : Agrafes retrouvées sur les balustrades des combles bas du chœur de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes, côté sud.



Figure 228 : Agrafes des balustrades du comble bas du chœur de l'église Saint-Jean, côté sud. En haut à gauche, agrafe H3 ; en haut à droite, agrafes H4 et V1 ; en bas à gauche, agrafes de la première travée : H6 et V2 à V6 ; en bas à droite, exemple de patte d'agrafe fendue.

Si l'origine des agrafes de la première travée est sans doute liée à sa reconstruction, celles de la seconde travée sont peut-être les témoins d'un système d'agrafes mis en place lors de la construction du chœur de l'église Saint-Jean-au-Marché sous sa forme actuelle au milieu du XVI^e siècle. Cette hypothèse semble être corroborée par les données des comptes de la fabrique de l'église qui mentionnent entre autres dépenses pour les années 1545 et 1547, l'achat de crampons, agrafes et goujons pour une somme d'environ 3 l. t. destinés à *lier les galeries des basses chappelles de la dite eglise*⁹⁴³. Il est fort possible qu'il s'agisse là de ces agrafes relevées en prospection, effectivement situées sur les balustrades des galeries surplombant les chapelles basses du chœur.

II.3.4.2.2 Balustrade des combles hauts du chœur

La balustrade du chéneau des combles hauts possédait également la marque d'une vingtaine d'ancrages d'agrafes sur la face sud (cf. Figure 229). Actuellement comblés au ciment, il n'a pas été possible de voir si les agrafes y étaient encore présentes. Les longueurs de ces ancrages sont comprises entre 25 et 48 cm, montrant une variabilité assez importante autour d'une valeur médiane d'environ 32 cm. Un goujon a également été découvert dans cette balustrade à un endroit où la pierre était brisée au niveau d'un joint entre deux pierres. La présence des échafaudages qui nous a justement permis de voir ces balustrades, inaccessibles en temps actuel, interdisait en revanche l'utilisation du détecteur de métal pour étudier la mise en œuvre systématique de ces types d'éléments.

Des agrafes sont également présentes sur la balustrade qui mène des combles hauts au clocher de la tour sud. Comme pour certaines des agrafes de la balustrade des combles bas, leurs extrémités sont fendues en deux pattes. Elles mesurent 20 cm de long, pour une section de 3 x 1 cm. Elles ne sont pas scellées au plomb et leur facture, parfaitement régulière, laisse présager d'un ajout récent.

Les variations assez importantes dans la dimension des agrafes et des ancrages ne laissent pas présager d'une standardisation systématique dans la production de ces éléments. Les agrafes avec les retours fendus pourraient toutefois constituer un groupe relativement homogène et peut-être être la marque d'ajouts plus récents dans la maçonnerie.

⁹⁴³ Arch. dép. Aube, 15 G 55, fol. 59 v°-60 v°.



Figure 229 : Logements d'agrafes sur la balustrade des combles hauts du chœur de l'église Saint-Jean-au-Marché.

II.3.4.2.3 Analyses métallographiques des agrafes de la balustrade des combles bas

Au moment de nos investigations, la face nord venait de faire l'objet d'une restauration et les balustrades, en très mauvais état avaient toutes été remplacées. Il est donc fort probable qu'elles aient été originellement renforcées d'agrafes comme du côté sud, ou tout du moins pourvues de traces ancrages, témoins de l'existence de ces agrafes. La restauration qui s'est poursuivie sur la face sud au cours de l'année 2005 et qui a vu la dépose de l'intégralité des balustrades côté sud, nous a permis de récupérer plusieurs agrafes entières pour réaliser des analyses métallographiques (cf. Figure 230). Notre choix s'est porté sur les agrafes H0, H1, H3, H5, H6 et V2, les trois premières pour leur possible ancienneté d'après leurs formes et leur situation, H5 et V2 comme témoins du groupe d'agrafes homogènes de la première balustrade et H6 car bien que située au même endroit, elle présentait un profil différent (cf. Tableau 96).

Référence	Description	Localisation	Datation
JEAN H0	Agrafe	Balustrade sud du chœur, 2 ^e travée.	Milieu XVI ^e s.
JEAN H1	Agrafe	Balustrade sud du chœur, 2 ^e travée.	Milieu XVI ^e s.
JEAN H3	Agrafe	Balustrade sud du chœur, 2 ^e travée.	Milieu XVI ^e s.
JEAN H5	Agrafe	Balustrade sud du chœur, 1 ^{ère} travée.	Postérieur au milieu du XVI ^e s.
JEAN H6	Agrafe	Balustrade sud du chœur, 1 ^{ère} travée.	Postérieur au milieu du XVI ^e s.
JEAN V2	Agrafe	Balustrade sud du chœur, 1 ^{ère} travée.	Postérieur au milieu du XVI ^e s.

Tableau 96 : Echantillons analysés à l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes.

Sauf pour H5 qui a fait l'objet d'une section dans le corps de l'agrafe nommée JEAN 05a, toutes les autres agrafes ont été découpées de manière longitudinale au niveau d'une de leurs pattes. La structure métallographique varie d'un échantillon à l'autre. Seul JEAN H1a est majoritairement constitué d'acier, qui atteint 0,8 %_{mass} de carbone de manière plutôt homogène sur toute la surface étudiée malgré quelques zones moins carburées. Les cinq autres échantillons sont essentiellement ferritiques (cf. Figure 231). Certains comme JEAN H3a le sont totalement et les autres présentent des zones minoritaires à structure ferrito-perlitique plus ou moins riches en carbone, avec un maximum de 0,1 %_{mass} pour JEAN H0a et H5a contre 0,5 %_{mass} pour JEAN V2a et 0,8 %_{mass} pour JEAN H6a. Ces zones carburées prennent systématiquement la forme de bandes parallèles dans le sens de la longueur de l'objet, épousant le cas échéant la forme du coude de l'agrafe (cf. Figure 232).

Elles sont la preuve que la forge de ces objets a nécessité l'allongement d'une bande de fer et son repli à chaud à la forge. Les spécimens JEAN V2a et H3a possèdent par endroits des structures fantômes, preuve suffisante pour l'identification d'un métal phosphoreux.

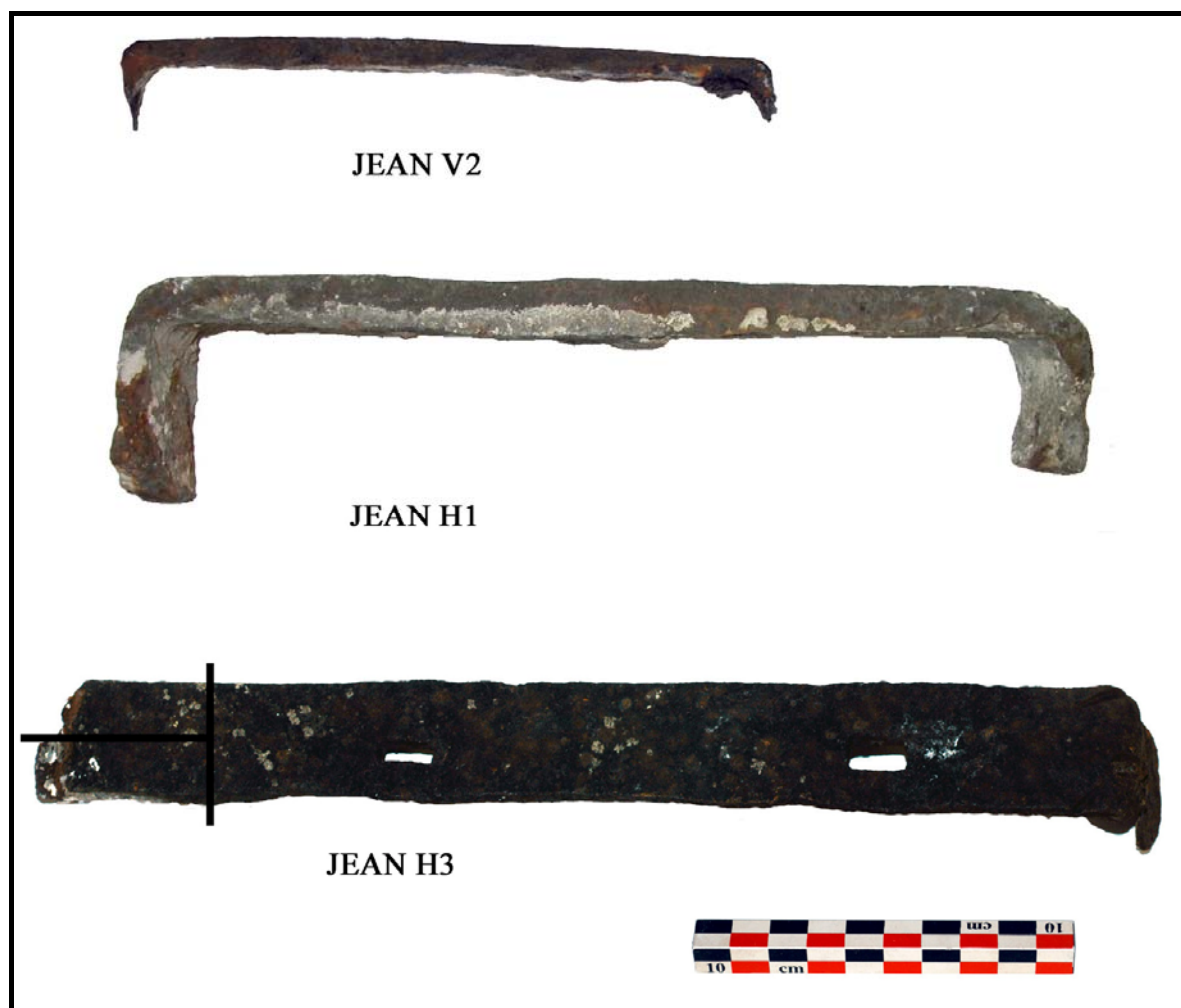


Figure 230 : Corpus partiel d'étude métallographique : agrafes JEAN V2, H1 et H3.

Les surfaces polies présentent également de nombreuses inclusions le plus souvent allongées dans le sens de la longueur de l'objet et épousant la forme du coude des agrafes. Les indices de propreté inclusionnaire moyens, compris entre 2,6* et 4,7* sont moyens à très mauvais. Les échantillons JEAN H0a, H3a et V2a possèdent, outre les inclusions allongées, certaines zones où les inclusions prennent une forme angulaire et épousent la forme des joints de grain. Elles sont la marque d'un martelage insuffisant au cours des phases d'épuration et

de mise en forme de l'objet. Sur le bord intérieur de la section JEAN H1a, une petite dépression ayant la forme d'un angle droit dans la matrice métallique a repoussé les inclusions, montrant qu'elle a été obtenue à chaud et qu'elle n'est pas le résultat de la corrosion. C'est probablement la marque de l'arête de l'enclume qui n'a pas été effacée par la suite. Enfin, des soudures sont visibles sur au moins deux échantillons. JEAN H1a montre une soudure séparant deux zones de degrés de carburation différents et qui, mal réalisée, contenait des inclusions et a été gagnée par la corrosion. Elle sépare très nettement en deux la surface étudiée sur toute sa longueur (cf. Figure 232 et Figure 236). JEAN H3a montre en revanche une succession d'au moins trois lignes de soudures à peu près parallèles et bien mieux réalisées car elles ne contiennent que peu d'inclusions (cf.

Figure 233 et Figure 234). A un endroit ces lignes se dédoublent et s'entrecroisent mettant en évidence des zones de propriétés inclusionnaire très diverses. L'échantillon est pourtant complètement ferritique. Seule l'analyse des inclusions pourra nous renseigner sur l'origine de ces soudures : marques d'un corroyage ou simple replis lors du travail de forge ? Des alignements d'inclusions pouvant évoquer la forme de soudures sont également visibles sur les autres sections, comme JEAN H5a et JEAN V2a.

La composition de ces inclusions est très variable d'un spécimen à l'autre et même parfois à l'intérieur de l'échantillon. Pour les échantillons JEAN H0a, H5a, H6a et V2a, les inclusions sont assez riches en phosphore (9 à 15 %_{mass} de P₂O₅ en moyenne) mais les composés non réduits qui permettent d'étudier la signature chimique n'y sont pas toujours présents en quantités détectables. Lorsqu'ils peuvent être calculés, les rapports sont toutefois assez bien conservés à part pour quelques inclusions (cf. Figure 237). Il s'agit donc vraisemblablement de fer neuf dans la plupart des cas. Seul JEAN V2a semble montrer deux rapports distincts qui pourraient être la marque d'un corroyage de fers d'origines différentes. Les compositions moyennes des inclusions de JEAN H0a et H5a se trouvent dans le domaine des fers de réduction indirecte, quant à celles de JEAN V2a et H6a, si elles sont dans la zone indéterminée, à proximité de la limite du domaine des fers indirects, d'autres facteurs comme la présence répétée d'oxydes de chrome et de vanadium sous forme de phases angulaires, attestent qu'il s'agit bien de la d'un fer issu de l'affinage de la fonte, procédé bien installé dans la région au milieu du XVI^e siècle (cf. Figure 237). S'ils proviennent tous de la même filière technique, ces fers semblent en revanche être d'origines différentes d'après les écarts assez importants entre les différents rapports de leurs composés non réduits (cf. Figure 238).

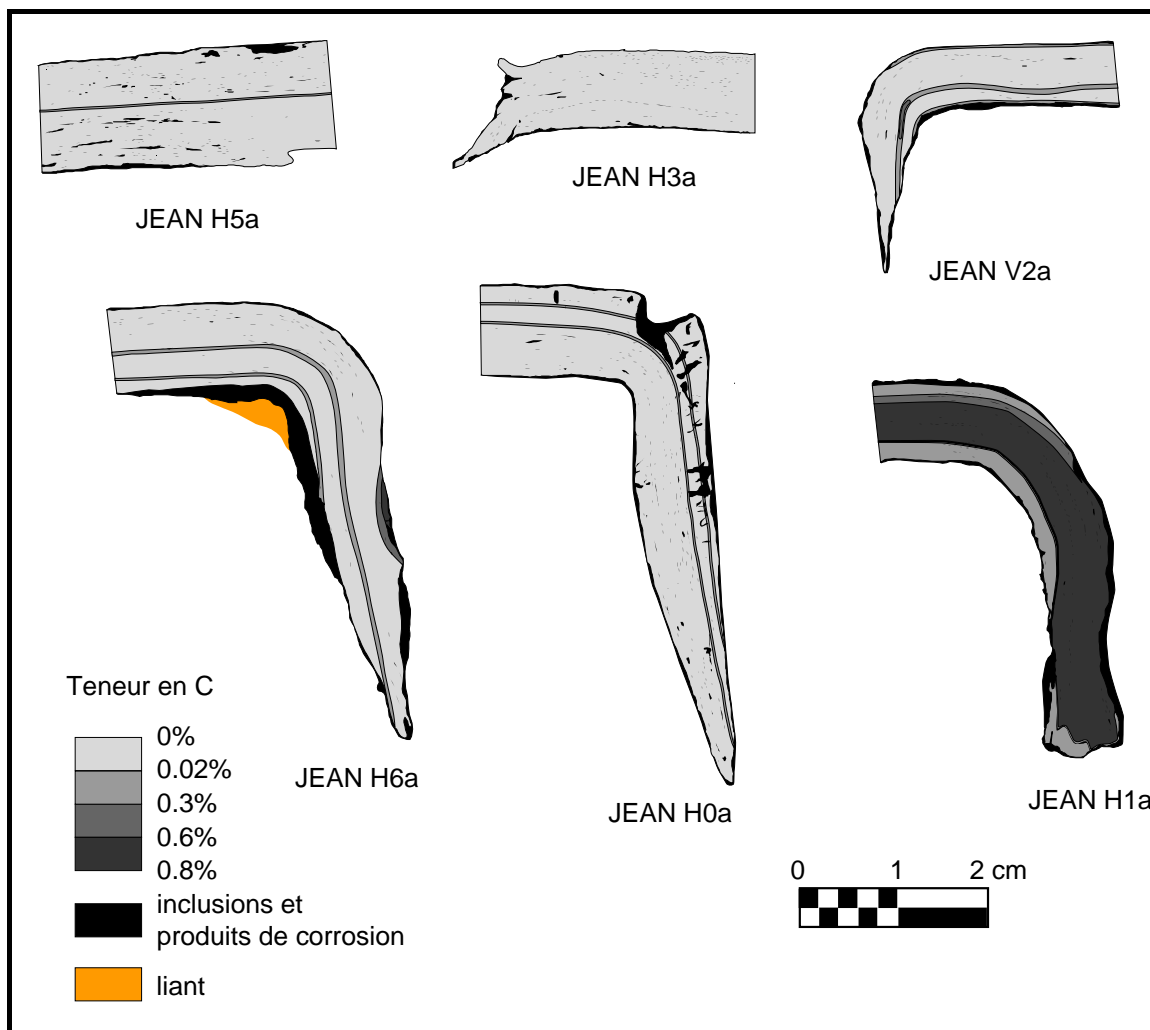


Figure 231 : Structure métallographique des sections réalisées sur les agrafes prélevées sur les balustrades du chœur de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes.

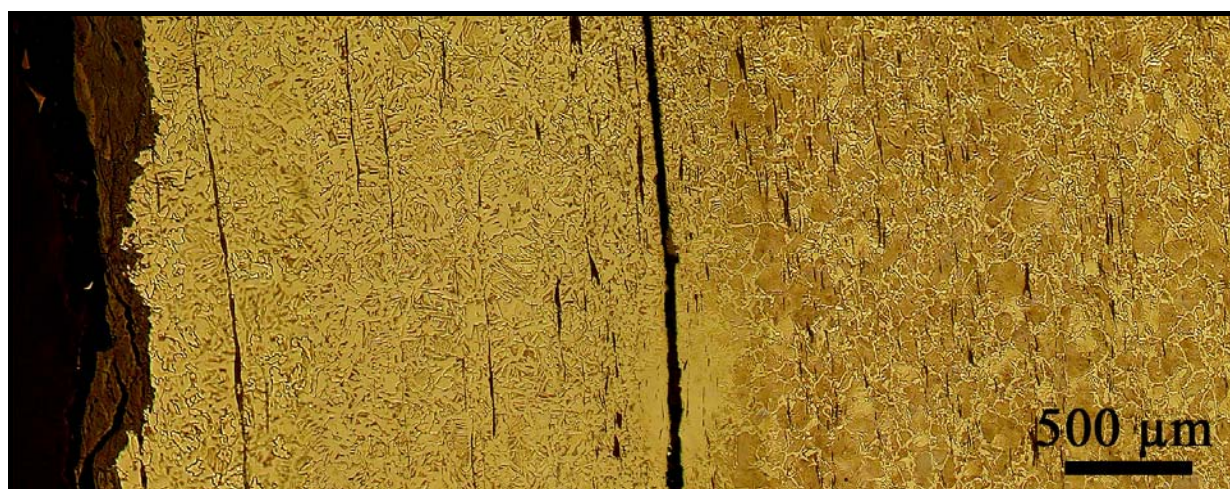


Figure 232 : Micrographie de la section JEAN H1a montrant une structure hétérogène en bandes et une soudure, attaque Nital.

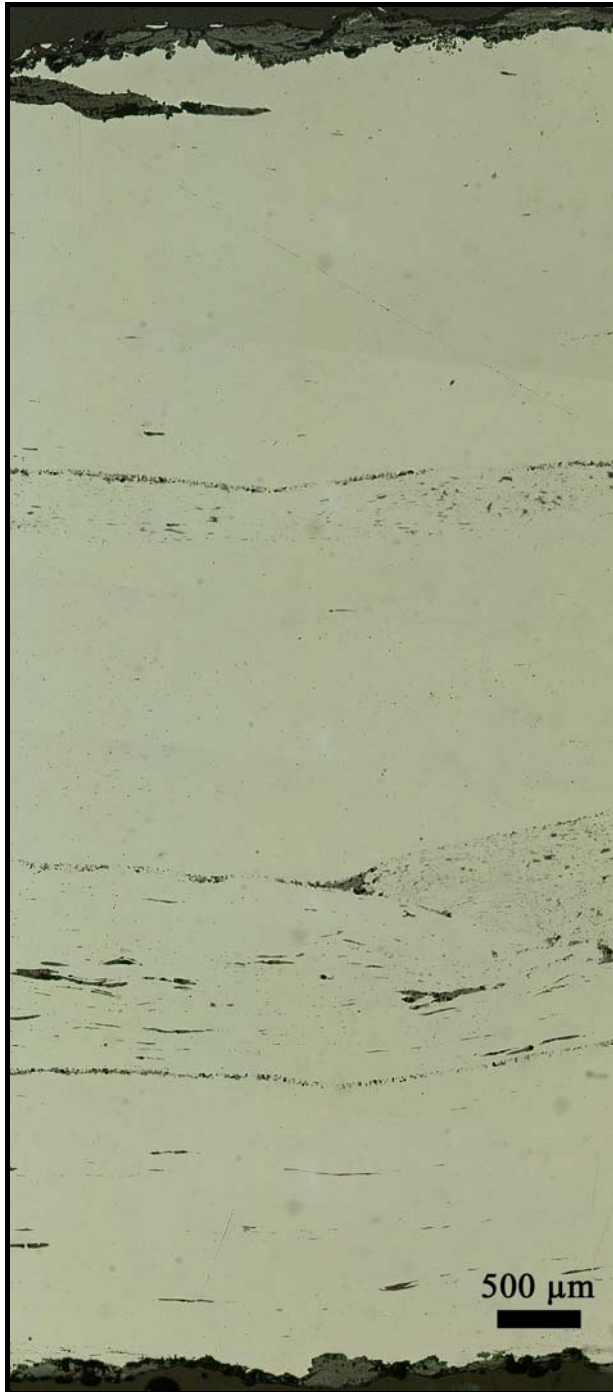


Figure 233 : Micrographique de la section JEAN H3a montrant une succession de lignes de soudure.

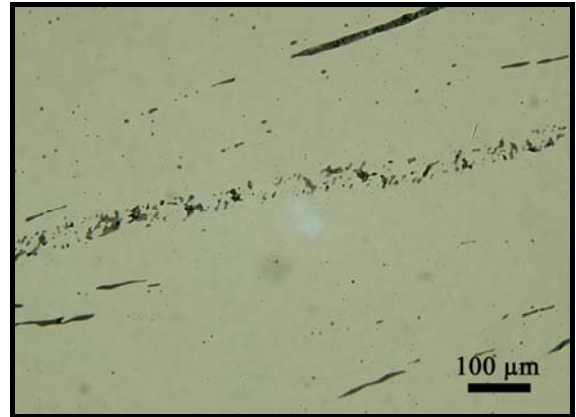


Figure 234 : Gros plan d'une soudure de la section JEAN H3a.



Figure 235 : Mauvaise propreté inclusionnaire, section JEAN H5a.

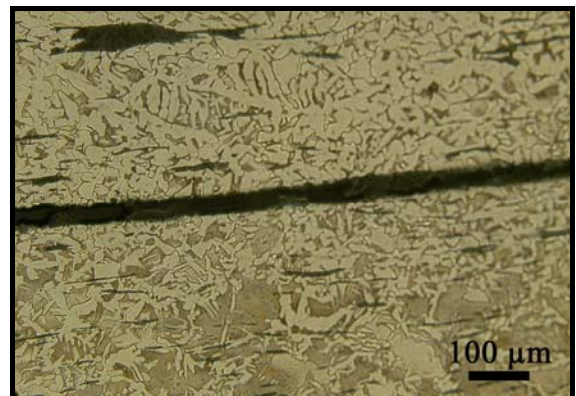


Figure 236 : Gros plan de la soudure de la section JEAN H1a, attaque Nital.

Les inclusions analysées sur JEAN H1a ne sont au contraire pas du tout phosphoreuses et révèlent en revanche de fortes teneurs en MnO avec environ 7 %_{mass} en moyenne. Elles sont en outre typiques du procédé direct (cf. Figure 237). La constance des rapports entre les différents composés non réduits indique qu'il ne s'agit pas d'un recyclage de vieux fers corroyés et que la soudure observée est plutôt la marque d'un repli du lopin originel à la forge (cf. Figure 238).

Seules les inclusions de JEAN H3a ne montrent pas de véritable constance dans les rapports de leurs composés non réduits. Cette section présentait en outre la marque de plusieurs soudures, c'est pourquoi, lors du dosage des inclusions, plusieurs groupes ont été créés suivant la localisation des inclusions par rapport aux soudures en effectuant une traversée de l'échantillon d'un bord à l'autre. Ainsi les inclusions du groupe 1 se trouvent avant la première soudure, celles du groupe 2 entre la première et la deuxième soudure et ainsi de suite jusqu'au groupe 4. La représentation des rapports Al_2O_3/SiO_2 et K_2O/CaO montre assez nettement que le groupe 2 se sépare assez nettement des groupes 1 et 3 qui se superposent quant à eux assez bien (cf. Figure 239)⁹⁴⁴. De plus, la composition moyenne des inclusions du groupe 2 est caractéristique du procédé indirect, alors que celles des groupes 1 et 3 se trouvent dans le domaine des fers de bas fourneau (cf. Figure 237). L'agrafe JEAN H3 semble donc bien constituée d'un corroyage de fer d'origines diverses, provenant même de filières techniques différentes.

Ces agrafes prélevées sur les balustrades de la façade nord de l'église Saint-Jean-au-Marché sont donc assez représentatives de la grande diversité qui peut exister tant dans les formes que dans l'origine du matériau en lui-même. Les trois agrafes de la balustrade de la première travée (H5, H6 et V2) semblent d'origines différentes, mais malgré leur diversité au niveau des formes, notamment pour l'agrafe H6, elles proviennent bien de la même filière technique et ont des structures métallographiques similaires, très peu carburées. En revanche, les trois agrafes de la deuxième balustrade, plus anciennes, bien que datant du milieu du XVI^e siècle, montrent une grande diversité, tant dans les formes que dans la structure métallographique et le procédé de réduction dont est issu le matériau, et ce malgré un scellement dans un mortier blanc qui semblait identique. L'agrafe H0 se rapproche par sa structure métallographique des agrafes de la première balustrade, alors que H1, très carburée et issue de la filière directe, est soit une agrafe en réemploi, soit la marque de la persistance

⁹⁴⁴ Le groupe 4 ne comportait qu'un nombre très réduit d'inclusions, c'est pourquoi il n'a pas été intégré au raisonnement final. Il semblait cependant davantage se superposer sur les groupes 1 et 3.

des filières techniques plus anciennes pendant le début de la période moderne. L'agrafe H3 illustre quant à elle, malgré l'apparente homogénéité de sa structure complètement ferritique, la récupération de vieux fers d'origines différentes et leur corroyage à la forge pour le remettre en forme. La forme de cette agrafe H3, très plate et percée de trous montrait déjà qu'il s'agissait d'un élément en réemploi. Ces analyses illustrent de manière concrète les comptes de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché décrivant l'emploi de « vieux fers » pour la fabrication d'agrafes⁹⁴⁵. Ils montrent de plus que, pour un corpus d'objets relativement homogènes, les origines sont très diverses et que même au milieu du XVI^e siècle, le fer de réduction directe est encore bien présent sur les chantiers, que ce soit par le biais de la récupération et du réemploi ou par la persistance de bas fourneaux assurant toujours une partie de la production du fer parallèlement aux industries indirectes.

Echantillon	Datation	Teneur en C	Fer phosphoreux	Indice de propreté	Procédé de réduction	Lopin originel
JEAN HOa	Mi XVI ^e s.	0 à 0,1 % _{mass} + SB	?	4,2*	Indirect	1 seul lopin ?
JEAN H1a	Mi XVI ^e s.	0 à 0,8 % _{mass} + SB	NON	3,2*	Direct	1 seul lopin
JEAN H3a	Mi XVI ^e s.	< 0,02 % _{mass}	OUI (SF)	2,6*	Direct et indirect	Au moins 2 lopins différents
JEAN H5a	Moderne	0 à 0,1 % _{mass} + SB	?	4,7*	Indirect	1 seul lopin ?
JEAN H6a	Moderne	0 à 0,8 % _{mass} + SB	?	3,2*	Indirect	1 seul lopin ?
JEAN V2a	Moderne	0 à 0,1 % _{mass} + SB	OUI (SF)	3,3*	Indirect	?

Tableau 97 : Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les échantillons de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes.

⁹⁴⁵ Arch. dép. Aube, 15 G 57, fol. 79 r°.

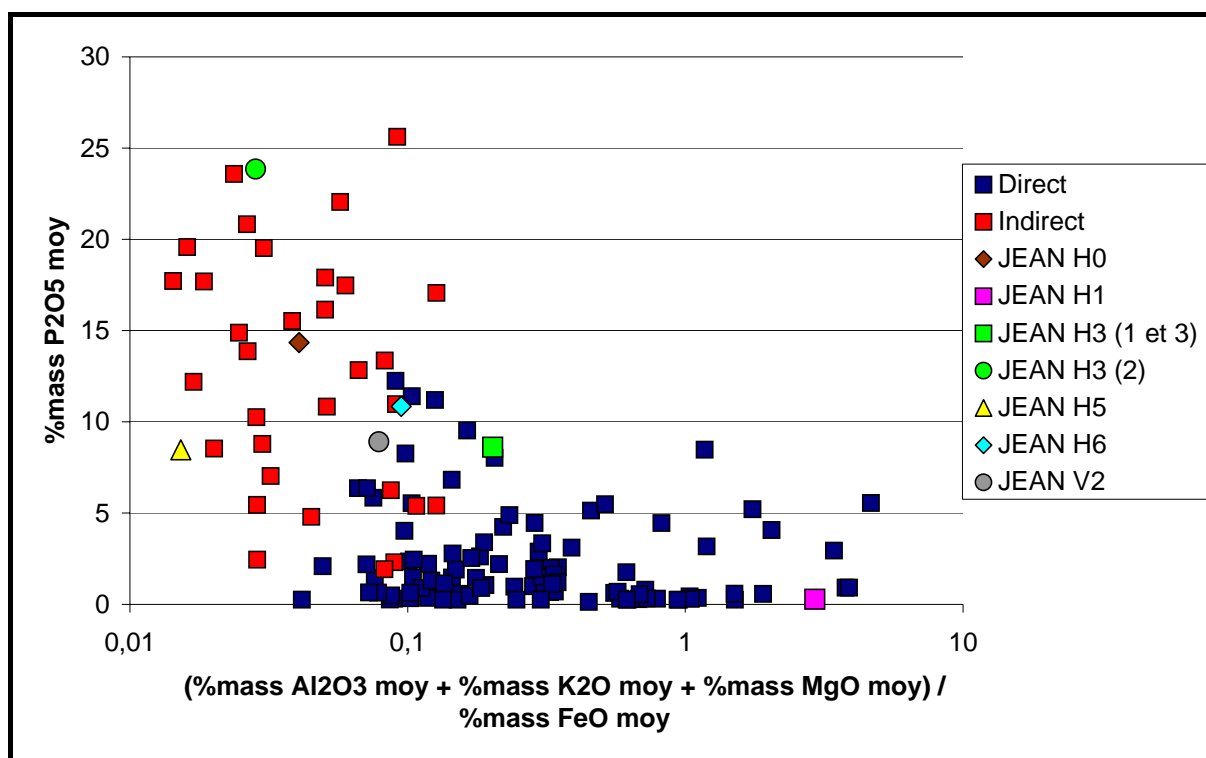


Figure 237 : Discrimination des procédés de réduction pour les agrafes des balustrades du chœur de l'église Saint-Jean-au-Marché.

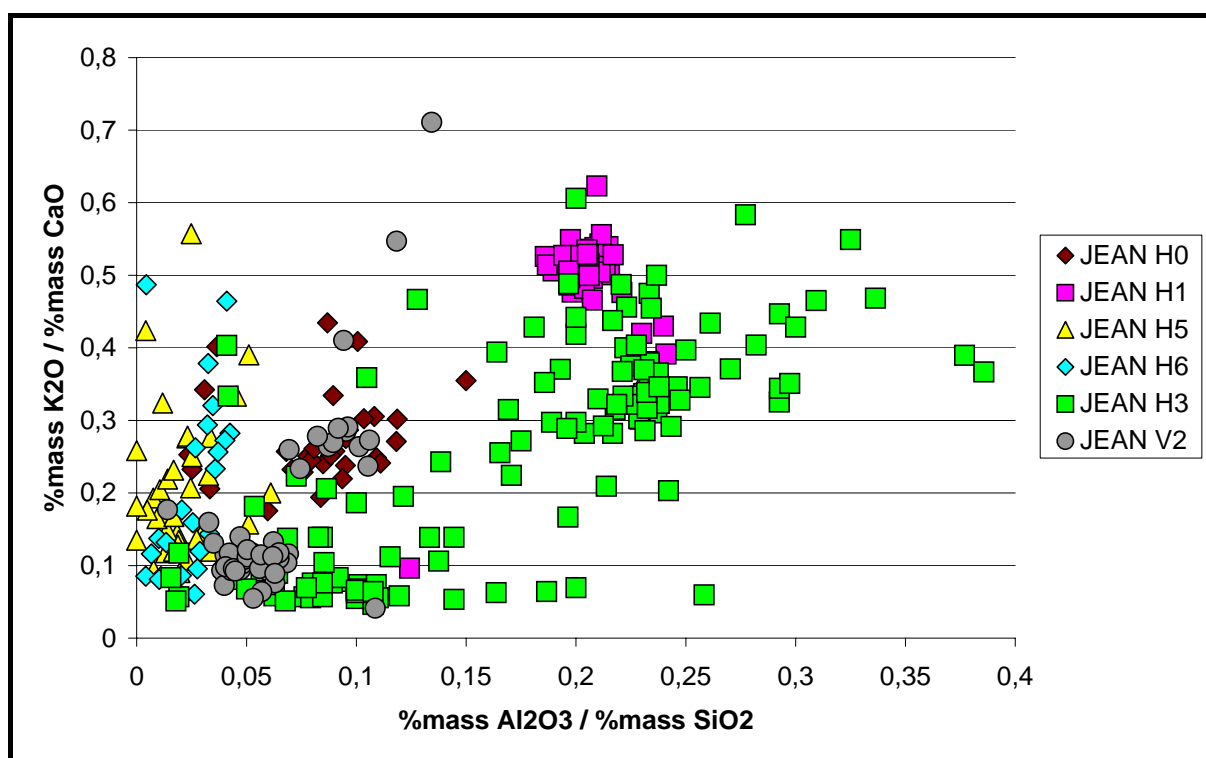


Figure 238 : Comparaison des rapports $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ et $\text{K}_2\text{O}/\text{CaO}$ pour les agrafes des balustrades du chœur de l'église Saint-Jean-au-Marché.

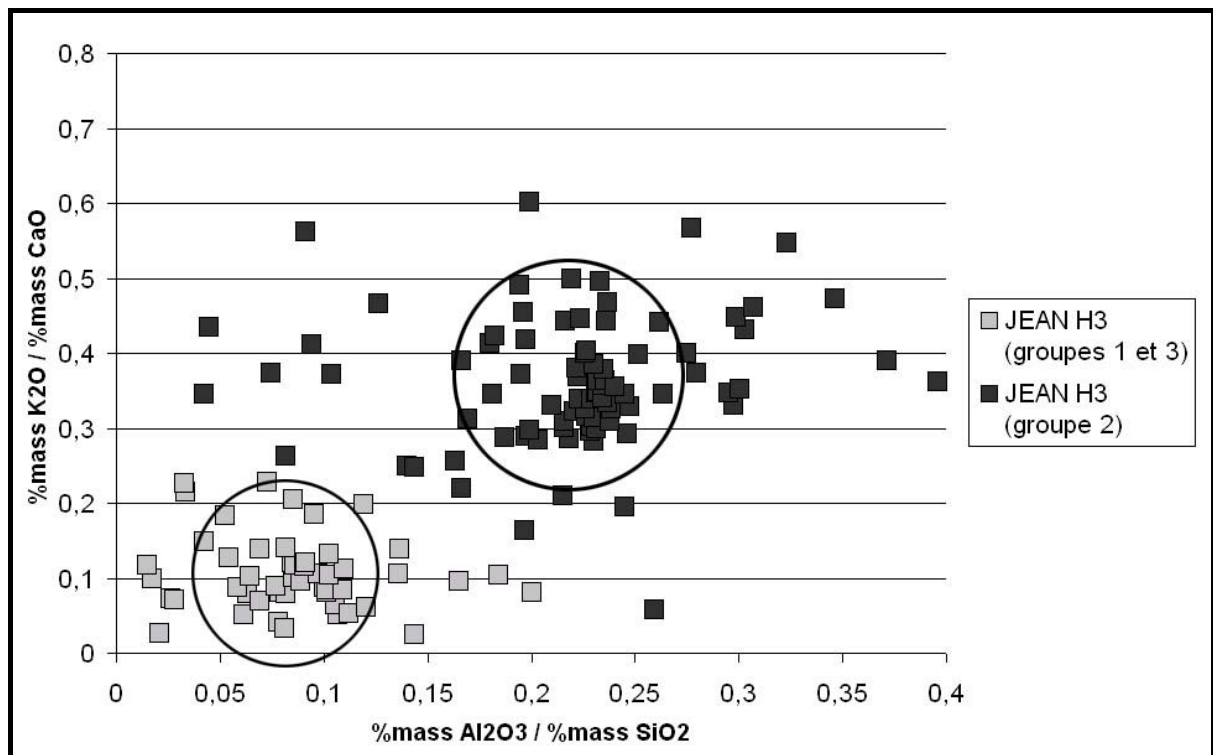


Figure 239 : Comparaison des rapports $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ et $\text{K}_2\text{O}/\text{CaO}$ pour l'agrafe JEAN H3 avec mise en évidence d'un corroyage de fers d'origine différentes.

II.3.4.3 Les gargouilles

Sur l'ensemble des gargouilles de la face sud⁹⁴⁶, l'une d'elles est pourvue d'une barre de fer placée le long de son conduit (cf. Figure 241). Cette barre est scellée au plomb dans le conduit à son extrémité intérieure. A son extrémité extérieure, elle semble se terminer au même niveau que la fin de la gargouille et ne paraît pas servir à maintenir quoi que ce soit. Si l'emploi de barres de fer, agrafes et goujons dans des gargouilles, qu'il s'agisse de restauration ou d'une conception initiale a déjà été attesté pour d'autres monuments⁹⁴⁷, cette barre reste pour le moins énigmatique. Il manque peut-être la partie terminale de la gargouille que cette barre ou agrafe servait à rattacher.

⁹⁴⁶ Celles de la face nord ayant été refaites lors des récentes restaurations.

⁹⁴⁷ L'HERITIER (M.), *L'utilisation du fer dans les églises Saint-Ouen et Saint-Maclou de Rouen...*, op. cit.

Une mention de *gargolles de fert* faites par le serrurier Guillaume Royer est également présente dans les comptes de la fabrique de l'année 1555⁹⁴⁸. S'agit-il d'une gouttière ou de l'aménagement en fer d'une gargouille de pierre ? Il n'est ici possible que d'émettre de fragiles hypothèses.

II.3.4.4 L'escalier de la tour sud

L'escalier de la tour sud est, au niveau du rez-de-chaussée, renforcé par une grande bande et une barre de fer (cf. Figure 240). La grande bande est insérée dans sa partie inférieure et épouse la forme du colimaçon. Elle est actuellement visible car le placage de plâtre qui la recouvrait à éclaté. La barre sort du coin supérieur droit de la porte menant à l'escalier et longe le montant de la porte sur une trentaine de centimètres. Dans sa partie inférieure, son extrémité est recourbée comme une agrafe et s'insère dans la maçonnerie. Dans sa partie supérieure, elle s'insère dans le linteau qu'elle semble consolider. D'après la nature des pierres, le parement externe de l'escalier ainsi que le linteau de la porte sont issus de restaurations. Il en est donc probablement de même pour la bande et la barre de fer qui y sont liées.

II.3.4.5 Scellements de goujons

Les culées des arcs-boutants du chœur qui sont coiffées d'un toit en bâtière sont également surmontées d'un petit pinacle, élément de décor qui renforce encore la charge sur leur partie la plus extérieure. Sur plusieurs culées de la façade sud où les pinacles sont manquants, on aperçoit qu'un trou a été pratiqué sur le socle de pierre (cf. Figure 240). Il faut donc en conclure qu'ils sont rattachés à la maçonnerie par un goujon, qui à l'origine était fort probablement de fer.

⁹⁴⁸ Arch. dép. Aube, 15 G 68, fol. 29 v°.

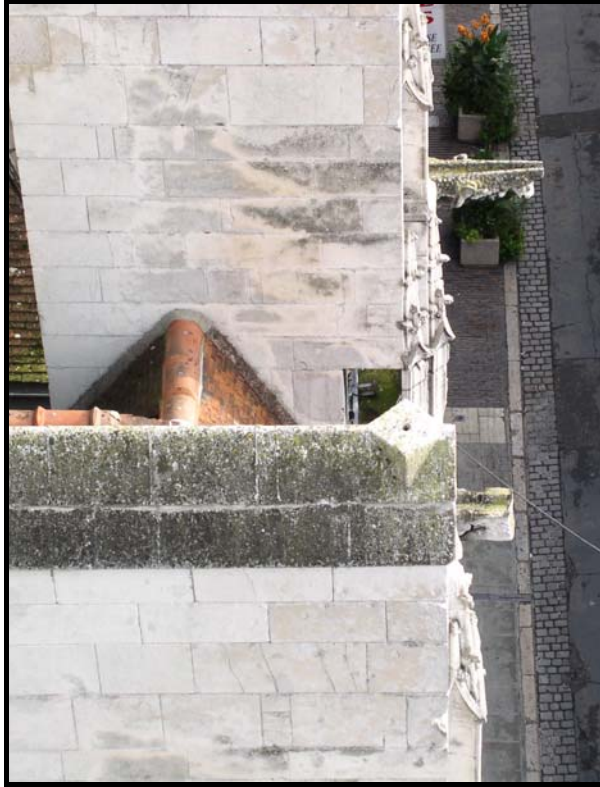


Figure 240 : A gauche, trou de goujon à la base d'un pinacle disparu sur la culée d'un arc-boutant de l'église Saint-Jean au Marché. A droite, armatures de l'escalier montant à la tour.



Figure 241 : Barre de fer dans une gargouille de la façade sud de l'église Saint-Jean au Marché.

Eléments de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Tirants	Dans la nef entre les travées 4 et 8	10	L ≈ 9 m	-	Déb. XIX ^e s.
Ancre	Mur extérieur au niveau des fenêtres hautes	2 par tirant	-	-	Déb. XIX ^e s.
Agrafes	1 ^{ère} balustrade des combles bas du chœur côté sud (plan vertical)	5	L = 16,5 à 36 cm	≈ 6 kg	(Post. au XVI ^e s.) Restauration
Agrafes	Sur le dessus de la 1 ^{ère} balustrade des combles bas du chœur côté sud	2	Lr = 3 à 6 cm l = 1,6 à 2,5 cm e = 0,6 à 1,4 cm		
Agrafes	Attachant la 1 ^{ère} balustrade des combles bas du chœur au sud à la culée attenante	2			
Agrafes	Sur le dessus de la 2 ^e balustrade des combles bas du chœur côté sud	4	L = 22,5 à 28 cm l = 1,5 à 3,3 cm e = 0,6 à 1 cm	≈ 2 kg	Mi XVI ^e s.
Logements d'agrafes	Balustrade des combles hauts du chœur, face sud	≈ 20	L = 25 à 48 cm	-	Mi XVI ^e s. (?)
Agrafes	Balustrade des combles hauts menant au clocher sud		L ≈ 30 cm Sect. = 3 x 1 cm	-	Moderne (?)
Barre	Conduit d'une gargouille de la face sud	1	-	-	?
Barre	Sous l'escalier de la tour sud	1	-	-	?
Barre	Au niveau de la porte de l'escalier de la tour sud	1	-	-	-
Logements de goujons	Sur les culées des arcs-boutants du chœur	-	-	-	?

Tableau 98 : Récapitulatif des éléments de fer découverts à l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes.

II.3.5 Nature des autres dépenses pour forge dans les comptes de la fabrique.

Les dépenses pour forge ou serrurerie sont extrêmement variables tout au long du XVI^e siècle, certaines années ne présentant aucune dépense, et d'autres montrant en revanche des dépenses exceptionnelles de plus de 100 l. t., avec un maximum approchant les 270 l. t. ! Il n'a pas toujours été possible de déterminer la part des dépenses de serrurerie sur le total de l'année, les manuels ne présentant pas de somme des dépenses annuelles. Pour les années où ces sommes ont été établies, les dépenses pour forge sont en général comprises entre 1 et 6 % du total, avec un pic à 12,8 % en 1508-1509 lors d'importantes dépenses pour les cloches.

Ces années de dépenses importantes ne concernent pas nécessairement l'emploi de fer d'œuvre, agrafes, goujons et autres liens de fers destinés à renforcer la maçonnerie, ou encore de barres, verges et autres tirants pour les verrières dont il a déjà été question. L'emploi du fer à l'église Saint-Jean-au-Marché revêt également bien d'autres aspects.

II.3.5.1 Agrafes et liens de fer dans la maçonnerie

Les comptes de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché donnent quelques informations sur l'utilisation de fers de construction dans le chœur de l'édifice, lors de sa reconstruction au milieu du XVI^e siècle. Les mentions relatives à ces éléments sont cependant très disparates et assez peu précises.

Le 22 juin 1550, la fabrique achète *II liens de fer servant à la pierre pesant cent XXIX livres*⁹⁴⁹. Seize ans plus tard, huit bandes de fer pesant un total de 257 livres de fer sont achetées à la veuve d'un marchand pour mettre à la maçonnerie d'une chapelle neuve⁹⁵⁰. On a donc la mise en œuvre de pièces de fer de dimensions relativement importantes, avec ces « liens » pesant plus de 30 kg pièce ou ces bandes d'environ 15 kg chacune. Si les termes employés par le procureur ne laissent aucun doute sur la fonction architectonique de ces

⁹⁴⁹ Arch. dép. Aube, 15 G 59, fol. 50 r°.

⁹⁵⁰ PJ n° 87.

éléments, probables tirants servant de soutien à la maçonnerie, leur rôle et leur localisation exacts restent inconnus.

Les comptes mentionnent également la mise en œuvre de crampons dans la maçonnerie de l'édifice. Rappelons à ce sujet que des agrafes ont été découvertes en prospections sur certaines balustrades du chœur de l'église Saint-Jean-au-Marché. De 1545 à 1555, lors de la reconstruction du chœur de l'église sous sa forme actuelle, la fabrique achète régulièrement un certain nombre d'agrafes pour les utiliser dans la maçonnerie afin d'y « tenir les pierres ». Des goujons sont également achetés dans le même but, ces deux types d'éléments allant bien souvent de pair. En particulier, entre 1547 et 1549, ce sont 247 livres de fer en agrafes qui sont employées dans la maçonnerie et qui proviennent en partie de la récupération de 226 livres de « vieux fer »⁹⁵¹. Enfin, pendant l'année 1554-1555, vingt-deux autres crampons sont mis en œuvre dans la vis du gros pilier neuf⁹⁵², et six autres pour tenir les pierres d'une voûte⁹⁵³. Comme pour les liens et bandes de fer, il est impossible, avec ces seules informations, de restituer avec plus de précision la localisation ou le rôle de ces agrafes.

L'ensemble de ces mentions donnent toutefois la preuve d'un usage d'éléments de fer à des fins architectoniques dans la maçonnerie de l'église Saint-Jean-au-Marché pendant la phase de construction, et non uniquement comme consolidation ultérieure.

II.3.5.2 Les cloches

Les cloches représentent souvent une part importante des dépenses de serrurerie dans les comptes de l'église Saint-Jean-au-Marché. L'installation d'une nouvelle cloche sur la place de la ville financée par la fabrique au cours des années comptables 1506 à 1508 représente 37 l. 10 s. 11 d. t. soit plus de 90 % des dépenses totales pour forges engagées sur ces deux années. Ces dépenses se décomposent en quatre achats à des marchands et serruriers différents, de 848 livres de fer au prix total de 12 l. 10 s. 11 d. t. dont au moins 534 livres sont du fer de Cosdon⁹⁵⁴, forge hydraulique située dans le bassin de la Vanne en activité depuis au

⁹⁵¹ PJ n° 84.

⁹⁵² Arch. dép. Aube, 15 G 68, fol. 29 r°-v°.

⁹⁵³ Arch. dép. Aube, 15 G 68, fol. 29 v°.

⁹⁵⁴ PJ n° 80, fol. 79 r° et fol. 79 v°.

moins 50 ans⁹⁵⁵. Puis le procureur dépense 25 l. t. pour le travail du serrurier Pierre Vinot et de ses aides pour « pendre la cloche »⁹⁵⁶, c'est-à-dire pour construire les armatures qui serviront à la soutenir⁹⁵⁷.

Même une fois installées, les cloches nécessitent un entretien assez régulier. En moyenne, même si aucun travail d'importance n'est entrepris, la fabrique débourse environ 5 l. t. pour les cloches par année comptable. Les termes de déferer puis referrer et dans une moindre mesure de réaciérer les cloches sont souvent employés⁹⁵⁸. Le 10 avril 1552, la fabrique paie 6 l. 10 s. t. à Guillaume Royer pour *deffairer refairer raserer les grosses et petittes cloches et racourcy toutte ladite ferralle*⁹⁵⁹. En 1559, il reçoit encore 15 l. t. pour déferer puis referrer six cloches, dont deux grosses et deux petites avec la matière et le travail nécessaire à cette entreprise⁹⁶⁰. Ces termes font probablement référence au passage à la forge de certaines pièces du mécanisme qui s'usent au fur et à mesure des frottements. Outre la forge ou le remplacement de ces éléments, comprenant un possible aciérage pour les pièces nécessitant une plus grande dureté comme les têtes d'axe ou les platines qui les reçoivent, le coût de l'entretien comprend un démontage partiel du mécanisme qui semble long et coûteux bien qu'il ne soit pas quantifiable faute de détails.

Les battants des cloches font en particulier l'objet d'un soin constant. Entre 1535 et 1555, vingt années pour lesquelles la bonne conservation des comptes permet de suivre les dépenses, celles engagées pour les battants des cloches sont les suivantes. Le 4 février 1537, le serrurier Jean de France ressoude le battant de la grosse cloche et un des petites⁹⁶¹. Puis entre 1537 et 1539, il ajoute 65 livres de fer aux battants de la moyenne cloche et recoude l'un d'entre eux ; il ressoude également le battant de la petite cloche, pour une dépense totale d'environ 6 l. t.⁹⁶². En 1541, le serrurier Guillaume Royer dit le lorrain forge et livre le 10 juillet, selon le marché passé avec lui, un nouveau gros battant pesant 160 livres de fer⁹⁶³. Entre 1545 et 1547, il *renoue*⁹⁶⁴ celui d'une des petites cloches qui était rompu et reforge le battant de la moyenne cloche⁹⁶⁵. Il y travaille de nouveau en août 1549⁹⁶⁶, puis à celui de la

⁹⁵⁵ ROUILLARD (J.), *L'homme et la rivière...*, op. cit., p. 408.

⁹⁵⁶ PJ n° 80, fol. 81 v°.

⁹⁵⁷ PJ n° 80, fol. 79 v°.

⁹⁵⁸ PJ n° 82.

⁹⁵⁹ Arch. dép. Aube, 15 G 62, fol. 31 v°.

⁹⁶⁰ PJ n° 86.

⁹⁶¹ Arch. dép. Aube, 15 G 47, fol. 66 v°.

⁹⁶² Arch. dép. Aube, 15 G 49, fol. 60 v° et 61 r°.

⁹⁶³ Arch. dép. Aube, 15 G 51, fol. 46 r°.

⁹⁶⁴ Renouer, qui signifie « rattacher ensemble » prend peut-être ici le sens de resouder.

⁹⁶⁵ Arch. dép. Aube, 15 G 55, fol. 59 r° et 60 v°.

grosse cloche en février 1550, après avoir ajouté 63 livres de fer au battant de la nouvelle cloche⁹⁶⁷. L'année suivante, toujours le même Guillaume le Lorrain ressoude le battant d'une petite cloche et *raccoutre*, c'est-à-dire remet en état, le gros battant de la grosse cloche puis finalement le refait⁹⁶⁸.

Les dépenses pour cloches sont les plus récurrentes et les plus coûteuses de toutes les dépenses de serrurier citées dans les comptes de la fabrique de l'église Saint-Jean. Cependant, si elles concernent le plus souvent les cloches de l'église, elles peuvent également avoir ponctuellement trait à d'autres cloches dont la fabrique à la charge, comme pour cette cloche construite sur la place de la ville à proximité immédiate de l'église entre 1506 et 1508.

II.3.5.3 Attache du décor

Outre les cloches, certains éléments de « décor » sont associés avec l'emploi d'une certaine quantité de fer⁹⁶⁹.

Citons en premier lieu ces deux barreaux de fer pesant 54 livres qui *ont este mis aux deux costez du cyboire pour appouyer l'eschelle pour tendre et destendre la custode dudit cyboire*⁹⁷⁰ au cours de l'année 1508-1509. Deux ans plus tard, Pierre Vinot reçoit un salaire de 40 livres pour avoir, entre autres travaux, *fait et livré plusieurs barreaux de fer mis tant en la vifz du jube que es fenestres de la cloison d'icellui jube, [...] fait des grosses potences et souspentes de fer mises et enclavees oudit autel Notre Dame pour soustenir les ymages estans au dessus de la table dudit autel et plusieurs autres ouvrages*⁹⁷¹. La même année, il est de nouveau payé 45 l. t. pour la façon d'une grille de fer pesant 950 livres placée devant une verrière⁹⁷². Le 25 juin 1553, le maître maçon Jean du Vaulx met en œuvre *douze crampons de fer avecques plastre pour soubstenir les piesses de bois pour pendre la tapisserie*, sur les 18

⁹⁶⁶ Arch. dép. Aube, 15 G 57, fol. 79 r°.

⁹⁶⁷ Arch. dép. Aube, 15 G 59, fol. 39 r° et v°.

⁹⁶⁸ Arch. dép. Aube, 15 G 62, fol. 31 r° et v°.

⁹⁶⁹ Les vitraux pourraient probablement entrer dans cette catégorie, mais leur importance en font une catégorie à part entière ; de plus, les barres de fer employées dans les vitraux ont également un rôle architectural qui les rapproche plus du tirant que de l'ornement.

⁹⁷⁰ Arch. dép. Aube, 15 G 30a fol. 105 v°.

⁹⁷¹ Arch. dép. Aube, 15 G 30a fol. 170 v°.

⁹⁷² Arch. dép. Aube, 15 G 30a fol. 206 v°.

gros crampons que lui a fourni le serrurier Guillaume Royer⁹⁷³. En 1556, il met *une bende de fer en la Vierge du jube, aussi ung goujon en la Vierge du grant autel*⁹⁷⁴.

On voit donc par l'intermédiaire des comptes un emploi du fer pour maintenir en place différents éléments du décor et de la liturgie de l'église : autel, jubé, tapisseries, statues, ciboire, mobilier... Il est évident que l'ornementation actuelle de l'église est fort différente de celle de l'époque médiévale ou de la Renaissance, la décoration et le mobilier des églises ayant fortement changé au cours des siècles, notamment après les ravages au cours de la Révolution française. Les jubés ont la plupart du temps disparu, tout comme les statues et la plupart du mobilier. On ne peut donc s'appuyer sur des observations visuelles en ce début du XXI^e siècle. De même, les documents graphiques des siècles antérieurs n'apportent pas d'information significative ; seuls les comptes nous permettent d'avoir une idée de la décoration et de sa mise en œuvre, comme ici ces pièces de fer, qui interviennent comme éléments fixateurs, que ce soit des statues de la Vierge ou des tapisseries des murs de l'église. Ces différentes petites pièces de fer ne constituent toutefois pas une énorme quantité de matière à travailler, ni des dépenses considérables. Il en coûte rarement plus de quelques livres tournois.

II.3.5.4 Les cloisons de fer du chœur

Bien plus importantes sont en revanche la forge et la pose de « cloisons de fer » *pour la fermeture du cœur de l'église* dans les années 1556 à 1560⁹⁷⁵. Des grilles de fer sont encore actuellement présentes entre les piliers du chœur, séparant la partie liturgique du déambulatoire. De plus, des dessins du XIX^e siècle montrent qu'une grille située entre les deux piliers occidentaux du transept, aujourd'hui disparue, fermait également le chœur (cf. Figure 242)⁹⁷⁶. Si l'origine de ces grilles ne remonte peut-être pas au XVI^e siècle, elles semblent néanmoins donner une idée assez précise de ce que pouvaient être ces cloisons : des grandes grilles de fer destinées à marquer l'emplacement de la partie réservée au clergé. La

⁹⁷³ Arch. dép. Aube, 15 G 64, fol. 27 r^o et 31 r^o.

⁹⁷⁴ Arch. dép. Aube, 15 G 70, fol. 31 r^o.

⁹⁷⁵ Arch. dép. Aube, 15 G 76, fol. 32 v^o.

⁹⁷⁶ Archives E. Pallot, « Dossier documentaire historique et archéologique ». Issu d'un document original conservé aux Archives départementales de l'Aube.

forge d'au moins sept de ces cloisons est mentionnée dans les comptes entre 1556 et 1559, le compte de 1559-1560 faisant malheureusement défaut.

Marché est passé entre le serrurier Guillaume Royer et la fabrique *pour les cloisons qui faict pour la fermeture du ceur de l'église*⁹⁷⁷ et la première cloison est posée en 1556 ; elle coûte à la fabrique la somme de 75 l. 10 s. t.⁹⁷⁸. En moins de cinq ans, ce sont près de 500 l. t. qui sont dépensées pour la forge de sept ou huit de ces cloisons avec un prix moyen d'environ 70 l. t. par cloison (cf. Tableau 99). Il s'agit de la dépense de serrurerie ponctuelle la plus importante sur l'ensemble des comptes de la fabrique étudiés pour l'église Saint-Jean-au-Marché. Aucun détail technique sur l'aspect de ces cloisons n'est donné dans les comptes.

Année	Travail	Coût
1555-1556	Première cloison du chœur	75 l. 10 s. t.
1556-1557	Deux cloisons à des chapelles du chœur.	155 l. t.
1557-1558	Quatre cloisons du chœur.	254 l. 8 s. t.
1558-1559	Marché fait sur les cloisons faites pour la fermeture du chœur de l'église	17 l. t.
Total		501 l. 18 s. t.

Tableau 99 : Dépenses pour les cloisons du chœur de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes⁹⁷⁹.

Bien que les masses de fer mises en œuvre ne soient pas mentionnées, les dépenses considérables qui sont engagées laissent entrevoir une consommation fort importante. Le prix de la livre de fer ouvrée est à cette époque compris entre 12 et 18 d. t. la livre, ce qui en extrapolant donnerait une dépense de l'ordre de 3 à 5 tonnes de fer, avec environ 500 à 750 kg par cloison. Il est cependant possible que le travail nécessaire à la forge de ces cloisons, pouvant être de véritables ouvrages de fer forgé, soit mieux rémunéré que la simple forge d'une barre ou d'une agrafe de fer. Toutefois, même en considérant un prix à la livre deux fois supérieur, l'ordre de grandeur reste toujours de quelques centaines de kilogrammes par cloison.

⁹⁷⁷ PJ n° 86.

⁹⁷⁸ PJ n° 85.

⁹⁷⁹ D'après Arch. dép. Aube, 15 G 72, fol. 33 v° ; 15 G 74, fol. 34 v° et fol. 35 r° ; PJ n° 85 ; PJ n° 86.

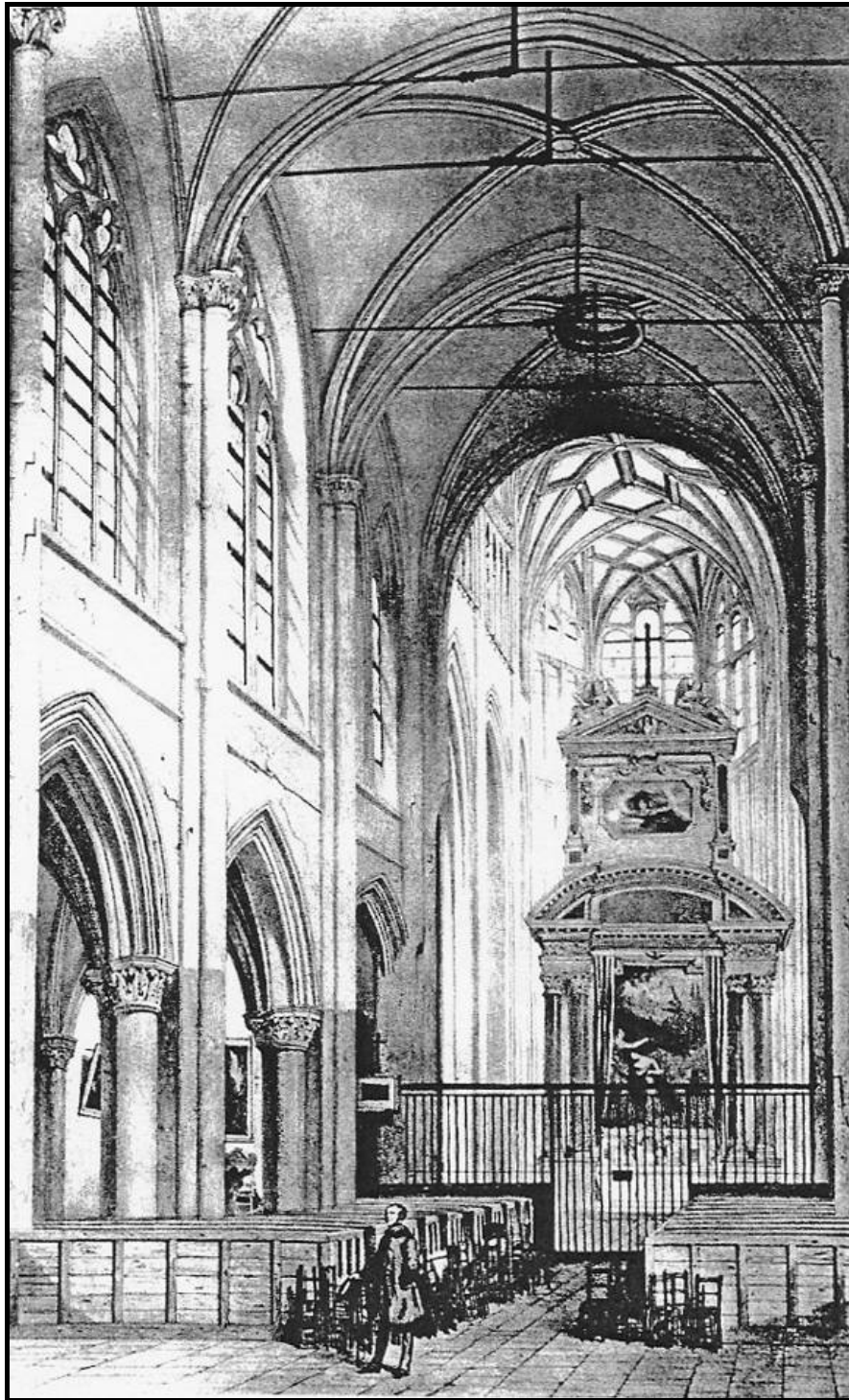


Figure 242 : Dessin de Ch. Fichot montrant une cloison du chœur au XIX^e siècle ainsi que les tirants de la nef⁹⁸⁰.

⁹⁸⁰ FICHOT (Ch.), *Statistique monumentale de l'Aube*, Troyes, tome IV, 1900, 547 p.

Éléments de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Agrafes et goujons	Galleries basses de l'église	-	-	-	1545-1547
Agrafes	-	-	-	≈ 120 kg	1547-1549
Crampons	Escalier d'un pilier	22	-	-	1554-1555
Crampons	Voûte	6	-	-	1554-1555
Liens	Voûte	2	-	≈ 65 kg	1550
Bandes	Maçonnerie d'une chapelle	8	-	≈ 125 kg	1556
Barreaux	Aux deux côtés du ciboire	2	-	≈ 25 kg	1508-1509
Barreaux	Escalier et fenêtre de la cloison du jubé	-	-	-	1510-1511
Potences, soupentes	Statues sur la table de l'autel Notre-Dame	-	-	-	1510-1511
Grille	Devant une verrière	-	-	≈ 450 kg	1510-1511
Bande	Dans la Vierge du jubé	-	-	-	-
Cloisons	Dans le chœur de l'église	> 7	-	≈ 3 à 5 t.	1556-1560

Tableau 100 : Récapitulatif des éléments de fer mis en œuvre dans la structure de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes d'après les comptes de la fabrique.

II.3.5.5 Achat et provenance du fer

Les mentions de provenance du fer sont plutôt rares dans les comptes de la fabrique de l'église Saint-Jean. L'origine du fer, le plus souvent acheté à des marchands, parfois directement par le serrurier et parfois par le personnel de la fabrique, n'est qu'exceptionnellement précisée. De plus, la fabrique ne s'approvisionne pas de manière fixe chez un petit groupe de marchands : entre 1506 et 1509, elle se fournit chez au moins cinq marchands différents, chacun n'étant mentionné qu'une seule fois dans les comptes. Le fer est ensuite forgé par un serrurier ou un maréchal urbain. En général, c'est le même serrurier qui s'occupe de la plupart des ouvrages pendant une période donnée, bien qu'elle puisse louer en sus de manière ponctuelle les services d'un autre artisan. Entre 1506 et 1559, trois serruriers se succèdent : Pierre Vinot de 1506 à 1534, Jean de France de 1533 à 1541 et Guillaume Royer dit le Lorrain de 1539 à 1559. Pierre Vinot et Guillaume Royer, malgré son

surnom, demeurent tous deux à Troyes⁹⁸¹. Pierre Vinot loue par ailleurs sa maison à la fabrique de l'église Saint-Jean⁹⁸². La plupart des autres serruriers ou maréchaux qui apparaissent de manière plus épisodique habitent également Troyes⁹⁸³. De tous les ouvriers du fer mentionnés dans les comptes, seul Bonnet, maréchal à qui la fabrique fait ponctuellement appel pour refaire et réaciérer certains rouages des grosses cloches en 1541, demeure à Montroandet⁹⁸⁴.

Seuls quelques achats de « fer de Codon » entre 1506 et 1509 font exception à ces lacunes sur l'origine du fer mis en œuvre à l'église Saint-Jean-au-Marché (cf. Tableau 101). Le nom de Cosdon fait référence au site déjà évoqué de Paisy-Cosdon, situé en forêt d'Othe sur un affluent de la Vanne, actif au moins dès la seconde moitié du XV^e siècle et fonctionnant sans doute selon le procédé indirect⁹⁸⁵. On compte également une seule mention de « fer de l'église » relative à des châssis de fer au cours de l'année 1555-1556⁹⁸⁶. De même une seule mention de récupération et réemploi de vieux fer a pu être relevée⁹⁸⁷. Le fer mis en œuvre à l'église Saint-Jean-au-Marché en ce début de XVI^e siècle est donc au moins en partie d'origine locale, la forge de Cosdon se situant à une vingtaine de kilomètres de Troyes. Ces trop rares mentions ne permettent pas d'établir davantage d'hypothèses.

Année	Marchand	Masse	Prix de la livre non ouvrée	Destination
1506-1508	Monsieur Leslu Saulnyer	150 l.	2,4 d. t.	??
1506-1508	Grant Jean	384 l.	2,4 d. t.	Barreau de cloche
1508-1509	Jaques d'Estambert	152 l.	4 d. t. la livre	??

Tableau 101 : Mentions d'achat de fer de Cosdon pour l'œuvre de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes⁹⁸⁸.

⁹⁸¹ Le lieu de résidence de Jean de France n'est pas précisé dans les comptes mais il est cependant fort probable qu'il demeure également à Troyes.

⁹⁸² Arch. dép. Aube, 15 G 30a fol. 7 r°.

⁹⁸³ C'est le cas de Félix Gybon, Pierre Séigny et Nicolas le Chat.

⁹⁸⁴ Arch. dép. Aube, 15 G 51, fol. 46 r°.

⁹⁸⁵ ROUILLARD (J.), *L'homme et la rivière...*, op. cit., p. 408.

⁹⁸⁶ Arch. dép. Aube, 15 G 70, fol. 30 v°.

⁹⁸⁷ Arch. dép. Aube, 15 G 57, fol. 79 r°.

⁹⁸⁸ PJ n° 80, fol. 79 r° et fol. 79 v° et PJ n° 81.

II.3.6 Synthèse sur l'église Saint-Jean-au-Marché

Les recherches menées à l'église Saint-Jean-au-Marché ne semblent pas montrer l'emploi de grandes quantités de fer lors de la construction du chœur de l'église, à l'exception des vitraux. Les chaînages qui y ont été identifiés appartiennent clairement à une réfection plus tardive et se classent dans la catégorie des « renforts *a posteriori* ». Ces recherches insistent en revanche sur la profusion de petits éléments de fer employés à l'échelle plus locale, comme au niveau des balustrades ou des gargouilles. Elles soulignent enfin la mise en œuvre de fer, non sous un aspect structurel, mais pour du mobilier ayant un rôle liturgique important, comme les cloches et les cloisons du chœur, ou ayant un simple rôle utilitaire comme ce grillage posé devant une verrière. Bien qu'ils ne jouent aucun rôle dans la statique du monument, ces différents éléments représentent des quantités parfois considérables de fer ouvré, dépassant largement la tonne pour les cloches et chacune des cloisons. L'origine de ce fer, possiblement locale, n'est pas connue de manière précise, puisque la fabrique et les serruriers ou maréchaux urbains qui fournissent l'intégralité du travail de forge s'approvisionnent auprès de plusieurs marchands. Les analyses métallographiques montrent cependant que les provenances sont très diverses, même pour certains objets situés au même endroit dans le monument. De plus, bien que les textes n'en fassent que rarement mention, les analyses montrent également que le recyclage et l'emploi de vieux fers semblent très présents sur le chantier.

II.4 L'ÉGLISE SAINTE-MADELEINE DE TROYES

II.4.1 Historique

L'église Sainte-Madeleine est citée dès 1157 ; c'est d'après Arnaud le plus ancien monument religieux encore en élévation de la ville de Troyes⁹⁸⁹. Elle semblerait cependant avoir été reconstruite au tournant des XII^e et XIII^e siècles⁹⁹⁰. Elle conserve de cette époque la nef, ses bas côtés, le transept, ses collatéraux et la première travée du chœur. L'aspect originel de cette architecture a été profondément modifié par plusieurs restaurations successives notamment une, particulièrement importante, entre 1868 et 1878⁹⁹¹.

Au XVI^e siècle, le sanctuaire qui menaçait ruine est totalement reconstruit en style flamboyant. Cette nouvelle construction fait disparaître le sanctuaire et les chapelles absidiales de l'ancien édifice⁹⁹². Un jubé en pierre de Tonnerre est élevé entre 1508 et 1517 par Jean Gailde, sculpteur et architecte troyen⁹⁹³. Fait rare, ce jubé n'a pas été détruit à la révolution et se tient toujours entre les deux piliers orientaux de la croisée du transept. De manière originale, il constitue non pas une clôture mais un pont au dessus de l'entrée du chœur. En y ajoutant la richesse de son décor sculpté, il s'agit de toute évidence d'une pièce d'architecture exceptionnelle. Peu après, entre 1531 et 1560, une tour clocher à plan carré est construite hors œuvre au sud de l'église⁹⁹⁴. Le portail sud est ouvert en 1550 et restauré en 1746⁹⁹⁵. La façade occidentale fait quant à elle l'objet d'une reconstruction en 1684⁹⁹⁶.

⁹⁸⁹ ARNAUD (A.-F.), *Voyage archéologique...*, *op. cit.*, p. 197.

⁹⁹⁰ PEROUSE DE MONTCLOS (J.-M.), dir., *Guide du patrimoine...*, *op. cit.*, p. 377.

⁹⁹¹ FICHOT (Ch.), *Statistique monumentale de l'Aube...*, *op. cit.*, tome IV, p. 181. Dans la nef, le mur nord est remonté et le mur sud réparé ; dans le transept on restaura le croisillon nord et les grosses piles de la croisée qui sont reprises après abattement de la flèche.

⁹⁹² ID., *Ibid.*, tome IV, p. 181.

⁹⁹³ ID., *Ibid.*, tome IV, p. 214 et Arch. dép. Aube, 15 G 47 et 15 G 48.

⁹⁹⁴ ID., *Ibid.*, tome IV, p. 184.

⁹⁹⁵ PEROUSE DE MONTCLOS (J.-M.), dir., *Guide du patrimoine...op. cit.*, p. 377.

⁹⁹⁶ FICHOT (Ch.), *Statistique monumentale de l'Aube...*, *op. cit.*, tome IV, p. 181.

II.4.2 Description architecturale

L'édifice possède un plan approximativement rectangulaire, dans lequel font saillie la chapelle de la Vierge à l'est et la tour au sud-ouest. La longueur de l'église est de 42,80 m, sa largeur de 29,30 m et la hauteur des voûtes principales de 14 m.

La nef est très courte avec une seule double travée de plan allongé couverte d'une voûte sexpartite. L'élévation y est à trois niveaux : grandes arcades, triforium et baies hautes. Le transept est construit selon le même modèle et est également couvert de voûtes sexpartites, sauf au niveau de la croisée. Un collatéral simple court autour de la nef et du transept.

Le chœur, de style flamboyant, comprend trois travées qui vont se rétrécissant pour former une abside à pans coupés. Il est entouré de bas côtés doublés par les anciennes travées du XII^e siècle et par des chapelles. L'élévation du chœur n'est qu'à deux niveaux, les baies hautes reposant directement sur les grandes arcades.



Figure 243 : Vue du côté sud de l'église Sainte-Madeleine de Troyes.

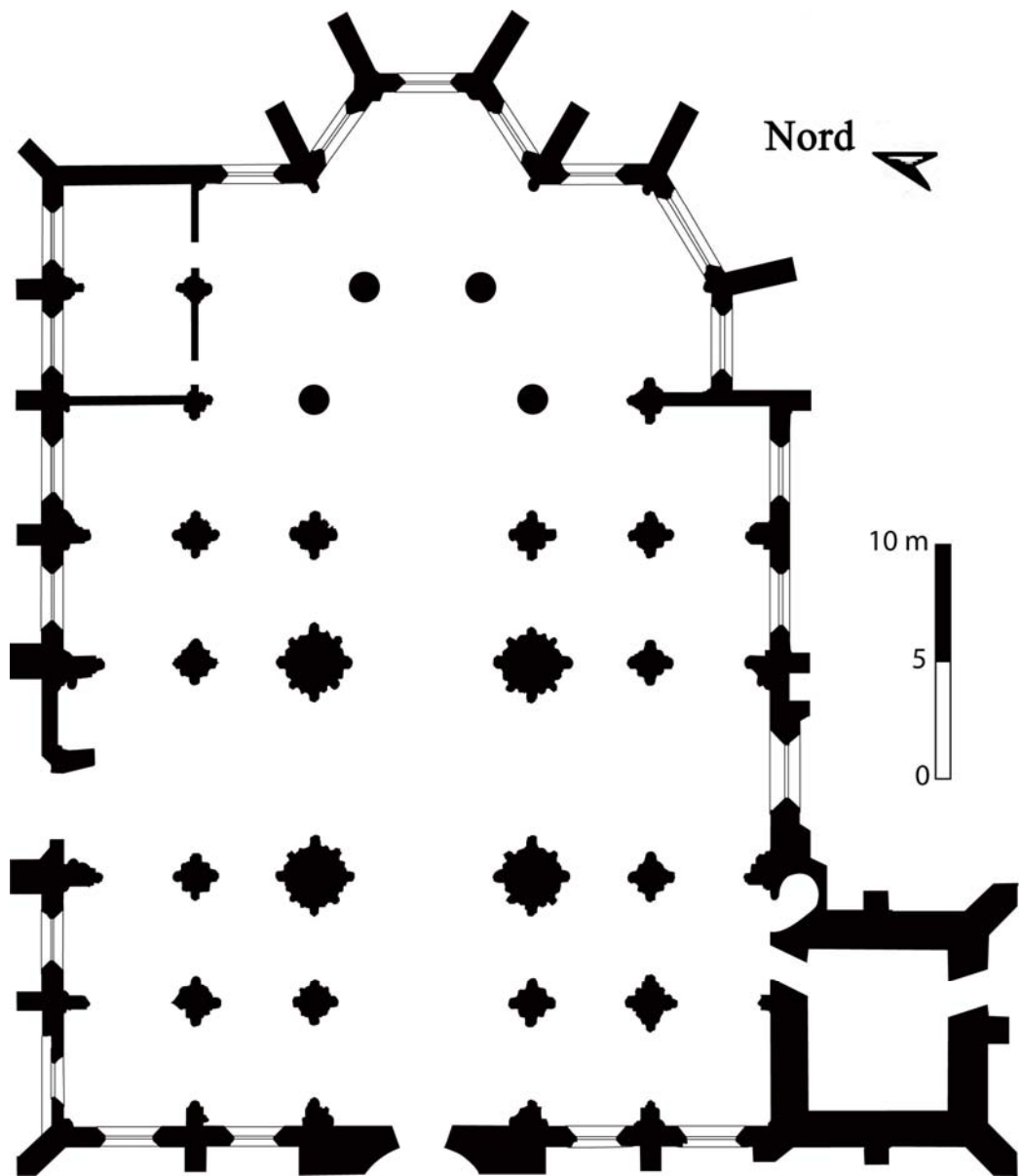


Figure 244 : Plan de l'église Sainte-Madeleine de Troyes d'après un plan du S.D.A.P. de l'Aube.

II.4.3 Emplois du fer à l'église Sainte-Madeleine

L'architecture de l'église Sainte-Madeleine n'a pas permis de pousser la recherche autant que sur les autres édifices, à cause d'un manque d'accessibilité de la plupart des parties hautes. Mis à part la tour méridionale, seuls les triforiums de la nef et du transept de ce même côté sud sont accessibles par l'intérieur. Les étages des fenêtres hautes, et des combles ainsi que l'ensemble des parties hautes du chœur n'ont pas pu donner lieu à des prospections. De ce fait, notre intérêt s'est beaucoup plus largement porté, vitraux exceptés, sur le jubé du début du XVI^e siècle, dont une partie comptes de construction sont conservés aux archives départementales. Bien que la moitié des années comptables soient conservées pour la période 1510-1540, et que l'écriture des registres soit très soignée pour l'époque, les comptes de la fabrique de l'église Sainte-Madeleine donnent le plus souvent des informations peu précises et très lacunaires.

II.4.3.1 Les armatures de vitraux

Il ne reste rien des premiers vitraux de l'église Sainte-Madeleine de Troyes. Seules en témoignent les formes les baies hautes de la nef et du transept, à lancettes simples ou jumelées sans remplage, ainsi que quelques unes des fenêtres basses de la nef, actuellement vitrées de verre blanc (cf. Figure 245). La plupart des vitraux encore en place datent du tournant des XV^e et XVI^e, période de reconstruction du chœur de l'église qui est suivie par la pose de nouvelles verrières⁹⁹⁷. Les fenêtres correspondantes, notamment toutes les fenêtres du chœur ainsi que certaines fenêtres basses de la nef, arborent un remplage typiquement flamboyant (cf. Figure 245). En l'absence de données dans les livres de comptes, il est impossible de remonter à l'ancienne vitrerie du chœur l'église et aux armatures de fer qui paraient les fenêtres.

Toutes ces fenêtres sont de petites dimensions, n'excédant pas 3 m de haut pour la plupart et, si la présence d'une barlotière-tirant par baie n'est pas à exclure, dans les fenêtres hautes comme les fenêtres basses, il est fort peu probable qu'elles soient chaînées les unes

⁹⁹⁷ *Corpus Vitrearum. Les vitraux de Champagne-Ardenne...op. cit.*, p. 284 ; MINOIS (D.), *Le vitrail à Troyes...*, *op. cit.*, p. 152-165.

aux autres dans les piédroits des baies. Tout ceci n'a pas pu être vérifié, pour les raisons d'accessibilité évoquées précédemment.

L'estimation de la quantité de fer contenue dans les vitraux de l'église Sainte-Madeleine montre qu'elle ne doit pas dépasser 2,5 tonnes, dont un peu plus de la moitié correspondent aux baies du chœur nouvellement édifié⁹⁹⁸. Ce chiffre relativement faible est directement lié au faible nombre de fenêtres et à leurs petites dimensions, induisant un nombre réduit de barres de fer. Faute d'informations, il n'est pas possible d'effectuer d'estimation précise pour la quantité précise de fer présente dans les vitraux au début du XIII^e siècle. Cependant, puisque les fenêtres du transept et de la nef qui n'ont pas changé de forme contiennent actuellement à peine moins de la moitié des armatures de fer de l'église, il est certain que l'ordre de grandeur de cette quantité de fer mise en œuvre n'a pas du beaucoup évoluer avec la reconstruction du chœur de l'église et qu'elle peut raisonnablement être estimée à 2 ou 3 tonnes.

II.4.3.2 La tour méridionale

Les observations réalisées dans la tour méridionale élevée au milieu du XVI^e siècle n'ont révélé que peu d'éléments : une agrafe de réparation dans la tourelle d'escalier, quelques agrafes sur la corniche au sommet de la tour. L'élément le plus travaillé est le chaînage qui ceint le sommet de la tourelle d'escalier. Il est constitué de plusieurs éléments, barres courbes de fer plat, qui sont reliées les unes aux autres par un système de charnières et clavettes⁹⁹⁹ : chaque élément arbore d'un côté une forme de Y, et de l'autre une forme rectiligne, qui vient d'insérer entre les pattes du Y, chaque extrémité étant percée d'un œil permettant le passage de la clavette dans le plan vertical pour bloquer l'assemblage (cf. Figure 246). L'origine de ce chaînage peut soulever des interrogations. Sa position stratigraphique complètement à l'extérieur de la maçonnerie permet d'envisager toutes les hypothèses. La définition de cet assemblage à charnière et clavette par P. Chabat au XIX^e siècle, qu'il classe parmi les procédés de chaînage alors employés, tendrait plutôt à

⁹⁹⁸ Voir l'Annexe 4 pour le détail des calculs.

⁹⁹⁹ Terme employé par Chabat pour la définition de ce type d'assemblage utilisé au XIX^e s, CHABAT (P.), *Dictionnaire des termes...*, *op. cit.*

privilégier l'hypothèse d'un rajout postérieur. Il faut malgré tout rester prudent à l'égard de ce type de critère de datation.

II.4.3.3 Recherche de chaînages

Les prospections au détecteur de métal ont été stériles tant en partie basse des piles qu'au niveau du triforium là où celui-ci était accessible. De même au niveau d'un mur diaphragme situé dans les combles bas du côté sud de la nef.

Aucun tirant ou chaînage n'a donc pu être identifié par ce biais. Un chaînage de bois a toutefois été découvert en partie haute du transept sud, reposant sur la corniche qui court au pied des fenêtres hautes à l'intérieur de l'église (cf. Figure 247). Ce chaînage d'une section d'environ 18 cm x 18 cm n'a pas fait l'objet de plus amples investigations. Il a juste été remarqué que les assemblages à tenon et mortaise entre les différentes pièces de bois du chaînage sont renforcés par des vis et également que ces éléments reposent sur des pattes de fer aux endroits où ils pénètrent dans les murs. La maçonnerie, fort remaniée à cet endroit, plaide pour un ajout postérieur à la construction. Aucune trace de ce chaînage n'a été découverte dans la littérature relative à l'église Sainte-Madeleine.

Les archives des restaurations effectuées dans la seconde moitié du XIX^e siècle disponibles à l'hôtel de Croisilles mentionnent l'existence d'armatures en fer reliant les arêtiers à la charpente et placés là afin de réduire les désordres liés à l'instabilité du transept Sud dont il est précisément question¹⁰⁰⁰. Ces éléments qui correspondent probablement à une consolidation de la période moderne, ou peut-être de la période médiévale, n'ont pas pu être repérés pour les raisons d'accessibilité évoquées précédemment.

¹⁰⁰⁰ Lettre de l'architecte Edmond Bailly au Maire de Troyes datée du 02 janvier 1861 : « ...et j'ai reconnu qu'à différentes époques on avoit cherché à neutraliser l'effet des symptômes de destruction qui se reproduisent aujourd'hui d'une manière inquiétante. Ainsi, les voûtes de la nef ayant poussée au vide, à l'aide d'armatures en fer on a suspendu les arêtiers à la charpente. Ce moyen a réussi, mais pour un temps... », Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 0081/010/0085.



Figure 245 : Fenêtres hautes de l'église Sainte-Madeleine de Troyes. En haut, fenêtres du chœur ; en bas, fenêtres de la nef.



Figure 246 : Chaînage de la tourelle d'escalier de la tour du massif sud de l'église Sainte-Madeleine de Troyes.

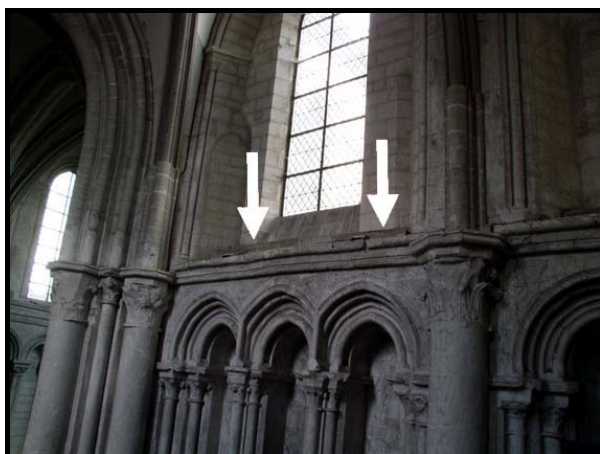


Figure 247 : Chaînage en bois au sol des fenêtres hautes du transept sud de l'église Sainte-Madeleine de Troyes.

II.4.3.4 *Le jubé*

Le jubé est sans doute l'élément architectural de l'église Sainte-Madeleine qui recèle le plus d'éléments de fer. Certains de ces éléments sont visibles car ils ont entraîné la dégradation du décor de pierre, d'autres ont été mis en évidence à l'aide d'un détecteur de métal, qui a permis de montrer leur utilisation de manière quasi systématique.

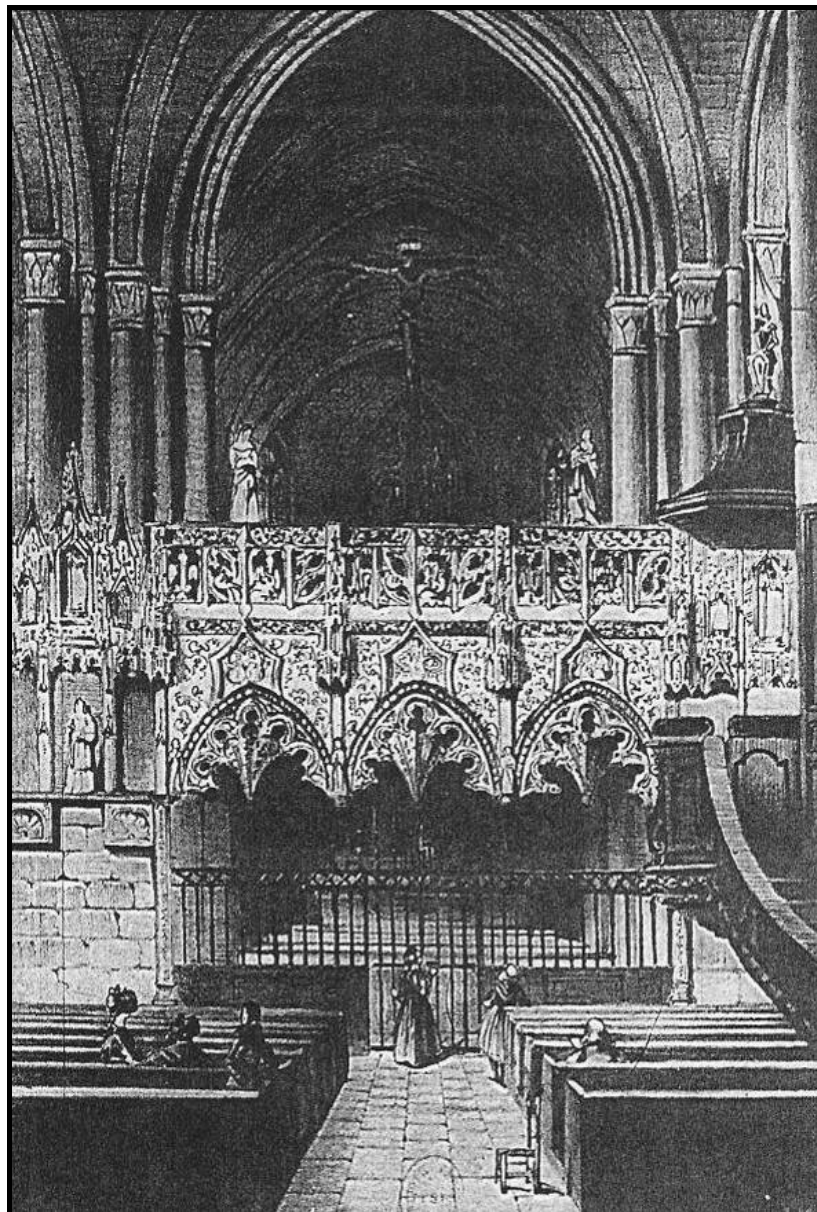


Figure 248 : Dessin du jubé de l'église Sainte-Madeleine de Troyes daté de 1560¹⁰⁰¹.

¹⁰⁰¹ Bibl. nat., Estampes, H 111 559.

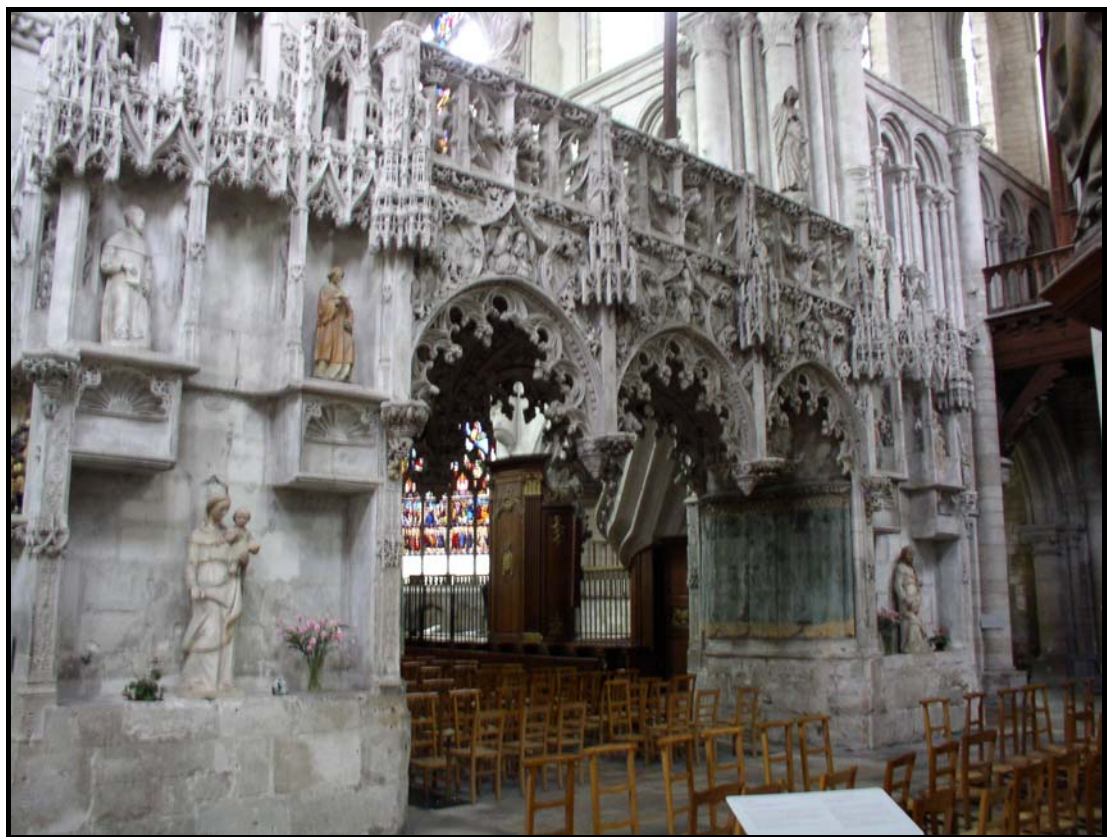


Figure 249 : Le jubé de l'église Sainte-Madeleine de Troyes.

L'élément de fer le plus récurrent dans la structure du jubé semble être le goujon : nombre d'entre eux sont employés à divers endroits de la structure du jubé afin de lier deux pierres entre elles en général dans le sens vertical. Mais la structure du jubé compte également de nombreuses agrafes et autres petits éléments de fer.

Tout d'abord, en partie inférieure du jubé, la mise en œuvre de crochets et de goujons pour l'attache du décor sculpté, notamment les ornements floraux décorant les arcatures, est très importante (cf. Figure 250).

Trois différents types de fleurs ont été identifiés (cf. Figure 250):

- les fleurs de type A, les plus petites, ornent à intervalles réguliers les arcs ogivaux constituant l'arcature des voûtes du jubé. On en compte 136 ;
- les fleurs de type B, les plus grosses, ornent à intervalles réguliers les trois arcs doubleaux des faces est et ouest du jubé. Présentes au nombre de six par arc, il y en a donc 36 ;
- les fleurs de type C sont présentes de part et d'autre de chaque fleur de type B. On en comptabilise donc 72 ;

Chaque type de fleur, pierre sculptée indépendante, est rattaché au réseau de l'arcature correspondante par l'intermédiaire d'un petit élément de fer. Nombre d'entre elles sont brisées et laissent pleinement apparaître un goujon corrodé (cf. Figure 250) ; les fleurs encore intactes ont toutes donné un écho positif au détecteur de métal. Ce sont donc au moins 240 goujons ou crochets qui ont été mis en œuvre à ce niveau. L'importante dégradation de certaines de ces fleurs due à la corrosion des fers a également permis d'effectuer quelques prélèvements et d'appréhender les formes et les dimensions de ces « goujons de fer », qui sont très diverses malgré une certaine homogénéité apparente lors de la première approche.

La plupart des prélèvements ont été faits sur la face ouest du jubé car elle présentait le plus d'éléments détériorés. Un nom du type « MAD XX » a été attribué à chacun d'entre eux dans l'ordre du prélèvement (cf. Tableau 102).

MAD 02, 03, 06-1 et 06-2 sont les prélèvements de goujons de trois fleurs de type B de la face ouest. Il s'agit respectivement de la fleur la plus au sud de l'arc doubleau central et des deux fleurs respectivement la plus au nord et la plus au sud de l'arc doubleau méridional. MAD 02 et 03 sont des petits goujons de section à peu près circulaire avec un diamètre à peine supérieur à 1 cm. L'extrémité prélevée qui s'insérait dans la fleur est ouvragée : elle a été aplatie pour être ensuite torsadée, peut-être afin d'assurer une meilleure accroche du goujon dans le mortier, à l'instar des barbelures observées sur certaines agrafes. MAD 06-1 et

6-2 sont de nature complètement différente : les deux goujons sont disposés l'un à côté de l'autre au sein de la même fleur. Le premier est plat, de 2,2 cm x 0,2 cm de section, et l'autre est cylindrique de 0,5 cm de diamètre sans appendice particulier à leur extrémité comme les précédents.

Référence	Type d'élément	Prélèvement	Localisation
MAD 01	Goujon	Goujon entier	4 ^e meneau de la balustrade de l'escalier du jubé
MAD 02	Goujon	Extrémité	Fleur de type B du jubé
MAD 03	Goujon	Extrémité	Fleur de type B du jubé
MAD 04	Crochet	Extrémité	Fleur de type C du jubé
MAD 05	Goujon	Extrémité	Fleur de type C du jubé
MAD 06-1	Goujon	Extrémité	Fleur de type B du jubé, même fleur que MAD 06-2
MAD 06-2	Goujon	Extrémité	Fleur de type B du jubé, même fleur que MAD 06-1
MAD 07	Goujon	Extrémité	Fleur de type A du jubé
MAD 08	Goujon courbe	Esquille longitudinale	Fleur de type C du jubé
MAD 09	Goujon ?	Extrémité	Rampe de l'escalier du jubé
MAD 10	Goujon ?	Extrémité	Rampe de l'escalier du jubé
MAD 11	Goujon	Extrémité	Entre les meneaux de l'escalier du jubé
MAD 12	Agrafe	Moitié d'agrafe	Piédroit sud de la façade ouest du jubé

Tableau 102 : Prélèvements réalisés sur le jubé de l'église Sainte-Madeleine de Troyes

MAD 04, 05 et 08 sont liés à des fleurs de type C situées respectivement sur les deuxième, quatrième et dixième fleurs du doubleau méridional de la face ouest en partant du sud. MAD 04 est un crochet de section presque carrée de 0,7 mm de côté environ. Contrairement à tous les autres éléments, à son autre extrémité, il traverse complètement la pierre sur laquelle la fleur venait s'accrocher pour s'ancrer plus profondément dans le réseau de l'intrados de l'arc. MAD 05 est le prélèvement d'un goujon de section rectangulaire (1 x 0,5 cm) aplati à son extrémité. MAD 08 a été prélevé sur un goujon courbe, dont la forme suit celle du réseau de pierre sur lequel les fleurs sont attachées. Visible car la pierre est endommagée dans le sens de l'épaisseur, il n'a toutefois pu être observé qu'en coupe et seule une esquille en a été prélevée.



Figure 250 : Arcature à fleurs du jubé de l'église Sainte-Madeleine de Troyes avec des goujons dépassant des fleurs brisées. Au premier plan fleurs de type B et C, en arrière plan, fleurs de type A.

Enfin MAD 07 est lié à une fleur de type A située dans l'arc ogival diagonal sud-ouest du jubé. Il s'agit de la deuxième fleur en partant de la clef de voûte du sud. Avec son extrémité aplatie puis torsadée, ce goujon ressemble MAD 02 et 03 (cf. Figure 251), mais sa section est oblongue et plus petite (0,7 cm x 0,5 cm) et son extrémité en meilleur état de

conservation. Il semble également qu'elle ait été plus finement ouvragée que les précédentes, ce qui permet de mieux observer sa facture. L'extrémité aplatie n'a pas ici été torsadée dans un seul sens, mais repliée dans les deux sens sur les faces du goujon, formant ainsi une sorte d'hélice.

L'extrême hétérogénéité de ces éléments est peut-être la marque d'une succession de restaurations. En effet si la préexistence de ces goujons et le caractère systématique de leur emploi sont assurées par les détections réalisées à la « poêle à frire », il est en revanche également certain que des pierres du jubé ont d'ores et déjà fait l'objet d'un remplacement. Certains éléments de fer comme le crochet MAD 04 semblent bien associés à ces restaurations.

Les deux boutons de clefs de voûte accolés aux piles de la croisée sont accrochés à leurs pendants respectifs au moyen de deux agrafes de fer (cf. Figure 252). On peut également suspecter la présence d'un goujon interne, mais la présence des agrafes ne permettait pas d'obtenir de résultat avec le détecteur de métal. Les extrémités de la clef de voûte centrale et des quatre clefs de voûte des façades est et ouest ne présentent quant à elles aucun élément visible. Les échos obtenus au détecteur de métal indiquent la présence d'éléments de fer enfouis, probablement une sorte de goujon central.



Figure 251 : Goujon MAD 07 avec extrémité torsadée en hélice vu de face, de côté et de dos.

Les deux façades du jubé possèdent quelques socles ou niches pour de petites statues. Certains d'entre eux sont encore occupés, notamment les deux paires de niches que l'on

trouve sur les côtés du jubé contre les piliers de la croisée. Les quatre socles centraux, situés à la naissance des arcs doubleaux du jubé et formant une sorte de prolongation de leurs clefs de voûte, n'ont plus leurs statues. Les seuls vestiges de leur existence sont des crochets de fer fichés dans leur prolongement dans le parement du jubé. Un des socles compte deux crochets de formes différentes ancrés à différentes hauteurs, peut-être le témoin de changements dans la statuaire décorant le jubé.

Le mode d'ancrage des grandes statues qui ornaient la balustrade ceignant le sommet du jubé n'a pas pu être étudié. Aucune barre de fer ne vient attacher la seule statue subsistante et l'on peut envisager qu'un goujon vertical ancré dans la balustrade sert à la maintenir en place. Une campagne de prospection au détecteur de métal serait nécessaire pour confirmer cette hypothèse¹⁰⁰².

De nombreuses petites agrafes, barres ou crochets de fer dépassant de la partie supérieure de la façade du jubé sont également visibles. Ils sont peut-être liés à des pièces manquantes du décor sculpté. De plus, la plupart des pierres brisées, même de manière relativement superficielle, laisse également entrevoir la présence d'un élément de fer corrodé. Toutes ces observations sont des preuves supplémentaires de l'utilisation abondante de fer à tous les niveaux pour la construction de ce jubé.

Une de ces agrafes visible sur la façade ouest a fait l'objet d'un prélèvement pour analyses métallographiques sous la référence MAD 12. Elle reliait originellement deux blocs de pierre du piédroit sud du jubé dans le sens vertical à peu près à la hauteur du sommet des arcs. Cette agrafe a une section carrée de 0,9 cm de côté et la longueur de la patte prélevée mesure 3,5 cm.

Des goujons sont également mis en œuvre dans les montants composant la rampe de l'escalier conduisant au jubé ainsi que dans ceux de la balustrade qui l'entoure à l'étage. Dans l'escalier, ces montants montrent une alternance d'un support fort et deux supports faibles. La prospection au détecteur de métal a donné un écho continu tout le long des supports forts, prouvant l'utilisation d'un seul goujon traversant le montant de part en part, ou bien de deux goujons, placés à la base et au sommet, mais suffisamment peu espacés l'un de l'autre pour ne pas donner d'écho discontinu. D'après les observations des éléments brisés,

¹⁰⁰² L'accès à la plateforme du jubé nous a été interdit du fait de la fragilité de l'ensemble de la structure, due à sa forme originale de pont induisant l'absence de pilier de soutènement. Les remarques concernant la partie supérieure du jubé sont donc le fruit d'observations faites du bas de l'édifice ou depuis le sommet de l'escalier.

les supports faibles ont quant à eux soit un grand goujon les traversant de part en part, soit un seul petit goujon à leur base, la partie sommitale n'étant alors pas renforcée. Le quatrième montant en partant du bas de la balustrade, complètement brisé, a permis le prélèvement pour analyses métallographiques de son goujon sous la référence MAD 01 (cf. Figure 253). Les dimensions précises de ce goujon ont par la même occasion pu être appréhendées : il est cylindrique et mesure 32,5 cm de long pour un diamètre de 1,7 cm (cf. Figure 254). Son poids avoisine les 550 g.

Des petits goujons de fer verticaux, mesurant de 1,5 à 2 cm de diamètre à leur extrémité, ont été remarqués par endroits entre les bases de ces montants. On peut supposer qu'ils servaient à l'attache d'un petit élément décoratif. La partie sommitale de l'un d'entre eux a été prélevée sous la référence MAD 11.

La face supérieure de la rampe de l'escalier et de la balustrade ceignant le jubé est également renforcée au moyen d'agrafes mises en place de manière systématique à la jointure entre deux pierres (cf. Figure 255 et Figure 256).

Les vestiges de petits éléments de fer ont également été relevés par endroits sur la rampe de l'escalier. Ils ne sont pas joints à un autre élément et leur rôle n'a pas été défini. La partie sommitale de deux d'entre eux a été prélevée sous les références MAD 09 et 10. Leur section est très petite de l'ordre de 1,2 cm x 0,8 cm.

Enfin, une frise composée de plusieurs petits éléments sculptés décore le parement extérieur immédiatement sous la rampe de l'escalier. Chacune de ces petites sculptures, bloc de pierre indépendant de la maçonnerie principale, est attachée au parement par un petit goujon de fer horizontal. Leur découverte a pu se faire grâce à une sculpture manquante, et le caractère systématique de ce type de mise en œuvre mis en évidence avec le détecteur de métal.

Juste au sommet de l'escalier, une grosse barre de fer pénètre dans le sol de la plateforme du jubé. A son autre extrémité, elle vient s'insérer dans un œil ou un anneau de fer lui-même ancré dans la maçonnerie de la pile de la croisée (cf. Figure 257). Visible sur une trentaine de centimètres, cette barre a une section carrée d'environ 3 cm de côté. Renfort *a priori* ou *a posteriori*, ce système est un témoin de la nécessité de renforcer la maçonnerie du jubé au moyen de liens de fer, et notamment de relier solidement aux piles attenantes.

En descendant quelques marches, on découvre, ancrée sur la face verticale d'une marche de l'escalier, une autre agrafe de fer d'au moins 30 cm de long, qui s'enfonce également dans la maçonnerie de la pile de la croisée (cf. Figure 257). A cet endroit, la marche de l'escalier est composée d'au moins deux blocs de pierre distincts et porte la

marque d'un important remaniement. Le comblement d'un des joints a même été réalisé avec des tuileaux. Il est donc ici plus vraisemblable que cette agrafe ait été posée consécutivement à ce remaniement et que son rôle soit uniquement d'assurer la cohésion de cette marche.



Figure 252 : Agrafe attachant un bouton de clef de voûte du jubé.



Figure 253 : Emplacement du goujon MAD 01 dans un meneau de la balustrade.



Figure 254 : Goujon MAD 01, section circulaire.



Figure 255 : Agrafes sur la balustrade de l'escalier montant au jubé de l'église Sainte-Madeleine de Troyes.



Figure 256 : Balustrade supérieure du jubé de l'église Sainte-Madeleine de Troyes avec empreinte d'agrafes.



Figure 257 : Barres de fer dans l'escalier du jubé de l'église Sainte-Madeleine de Troyes.

A l'exception de certains crochets de statue, tous les autres éléments de fer décrits dans ce chapitre sont scellés au plâtre. Ceci explique la forte corrosion dont certains fers ont fait l'objet, probablement lorsque le plâtre s'est chargé en humidité.

Les comptes, conservés pour les années 1511 à 1516 pendant lesquelles est construit le jubé¹⁰⁰³, donnent une idée bien plus précise des quantités de fer qui ont pu y être mises en œuvre. La période de construction du jubé montre en effet une importante hausse des dépenses pour forge, notamment pour l'année 1512-1513, où d'une moyenne annuelle de 5 à 10 l. t., soit 1 à 2 % des dépenses totales, elles passent à la somme de 78 l. 13 s. t., dont 76 l. 9 s. 11 d. t. pour le seul jubé, ce qui représente 97 % de la dépense pour forge de l'année et 12 % des dépenses totales. Un contrat particulier est par ailleurs passé avec Pierre Vinot, serrurier troyen déjà rencontré sur le chantier l'église Saint-Jean-au-Marché, pour la fourniture du fer *pour la liaison dudit jube*¹⁰⁰⁴. Ce dernier livre 2275 livres de fer pour le jubé entre le 24 octobre 1512 et le 13 février 1513¹⁰⁰⁵ (cf. Tableau 103). D'autres éléments sont également achetés au cours de l'année suivante bien que les dépenses de serrurerie soient bien plus faibles avec seulement 6 l. t. Les années 1514 à 1516 ne donnent en revanche aucun détail des dépenses de forge ; elles ne dépassent pas la somme d'une dizaine de livres

¹⁰⁰³ Commencé en 1508 et achevé en 1517.

¹⁰⁰⁴ PJ n° 89, fol. 140 r°.

¹⁰⁰⁵ PJ n° 89.

tournois. C'est donc en tout plus de 1,1 tonne de fer coûtant 80 l. 10 s. 10 d. t. qui a été employée pour liaisonner les divers éléments du jubé de l'église Sainte-Madeleine sous des formes très diverses : crampons, goujons, grosses barres, fiches, clefs, anneaux, verges, soupentes...

Date	Elément	Masse	Prix
1511-1512	Ouvrages de fer		33 s. 4 d. t.
24 oct. 1512	Fer pour la liaison du jubé	326,75 livres	10 l. 17 s. 10 d. t.
14 nov. 1512	Fer pour la liaison du jubé	353,75 livres	11 l. 15 s. 10 d. t.
21 nov. 1512	Fer pour la liaison du jubé	292,5 livres	9 l. 15 s. t.
4 déc. 1512	Fer pour la liaison du jubé	427,5 livres	14 l. 5 s. t.
11 déc. 1512	Fer pour la liaison du jubé	265,5 livres	8 l. 4 d. t.
13 fév. 1513	Gros barreaux, petites fiches, crampons et anneaux	609,75 livres	20 l. 6 s. 6 d. t.
1513	Clef pour le dessous du jubé	42 livres	28 s. 4 d. t.
1513-1514	4 crampons, 2 goujons		3 s. 4 d. t.
1513-1514	Grosse patte	11 livres	5 s. 10 d. t.
1513-1514	3 grandes soupentes, 3 crampons	28 livres	15 s. t.
1513-1514	1 gros crampon coudé	6 livres	3 s. 4 d. t.
1513-1514	2 grands crampons		2 s. 6 d. t.
1513-1514	2 verges étamées		15 s. t.
	Total	2362,75 livres	80 l. 10 s. 10 d. t.

Tableau 103 : Liste des dépenses en fer engagées pour la construction du jubé de l'église Sainte-Madeleine de Troyes entre 1511 et 1514¹⁰⁰⁶.

La nature des éléments mentionnés dans les comptes ne reflète qu'en partie ceux qui ont été appréhendés dans la structure du jubé. Le détail de près des trois quarts de la masse totale du fer mis en œuvre au jubé n'est cependant pas précisé et il est donc impossible de savoir quel type d'élément est prépondérant et où ces éléments ont été mis en œuvre.

Les goujons et les agrafes ou crampons y sont bien présents, bien que leurs quantités ni leurs dimensions ne puissent être évaluées. Ces dimensions sont bien évidemment assez variables, puisqu'on a la même année l'achat, pour le même prix de 3 s. 4 d. t. d'une part de quatre crampons et deux goujons, et d'autre part d'un *gros crampon coudez à deux mortaise*

¹⁰⁰⁶ D'après PJ n° 88 ; PJ n° 89 ; PJ n° 90.

[...] *pesant VI l.*¹⁰⁰⁷ donnant ainsi une fourchette allant d'environ 500 g à 3 kg par crampon. Les autres éléments, pattes, soupentes, clefs, fiches, verges sont présents de manière plus anecdotique avec une seule mention chacun. La clef achetée *pour le dessous du jubé* pesant 42 livres, soit environ 20,5 kg, est néanmoins une pièce aux dimensions plutôt remarquables¹⁰⁰⁸. Aucun objet de cette taille n'a été identifié en prospection.

Deux utilisations principales de ces éléments de fer sont mentionnées pour le compte de 1513-1514. Tout d'abord tenir les deux tabernacles du jubé auxquels sont mis *deux verges coudez et estamez* ainsi que les quatre crampons et deux goujons précédents¹⁰⁰⁹. Ensuite d'autres éléments sont destinés à tenir les *acotours* du jubé¹⁰¹⁰. Le terme *acotours* semble proche de celui d'accotoir, qui vient du verbe accoter ou acoter signifiant soutenir¹⁰¹¹. Mais quels sont ces « soutiens » dont bénéficie le jubé de l'église Sainte-Madeleine qui est construit sous la forme d'un pont sans piliers centraux ? S'agit-il des piédroits du jubé plaqués contre les piliers de la croisée ? Des consoles supportant les départs des arcs ? De structures provisoires sur lesquelles le jubé reposait avant son achèvement ? Cette dernière hypothèse ne paraît pas la plus vraisemblable, car de telles structures auraient plus probablement été de bois, et certains des éléments mis en œuvre pour *tenir les acotours* sont des soupentes et des crampons *en plâtre* ainsi qu'une patte *en pierre*¹⁰¹². Si malgré les apparences ces éléments sont bien en métal, puisqu'ils pèsent respectivement 28 et 11 livres de fer, les mentions « en plâtre » et « en pierre » désignent donc le matériau dans lequel ils vont s'engraver : maçonnerie en pierre et plâtre de scellement. Ils ne peuvent donc s'appliquer à une structure de bois. Les *acotours* sont donc plus certainement les piédroits ou les consoles supportant le pont et les arcs du jubé. Quoi qu'il en soit, il est intéressant de noter que la cohésion de ces *acotours*, éléments de soutien, semble elle-même assurée par des pièces de fer.

Si l'origine du fer mis en œuvre dans le jubé n'est pas mentionnée dans les comptes de construction, sa qualité fait par deux fois l'objet d'une remarque du procureur de la fabrique. Lors du marché passé avec Pierre Vinot, il est précisé que les ouvrages du serrurier seront *tout fin fert affiner*¹⁰¹³. Ce terme de « fin fer » est repris dans la description des

¹⁰⁰⁷ PJ n° 90, fol. 224 v°.

¹⁰⁰⁸ PJ n° 89, fol. 142 r°.

¹⁰⁰⁹ PJ n° 90.

¹⁰¹⁰ *Ibidem.*

¹⁰¹¹ GODEFROY (F.), *Dictionnaire de l'ancienne langue française...*, op. cit., tome I, p. 82.

¹⁰¹² PJ n° 90.

¹⁰¹³ PJ n° 89, fol. 140 r°.

éléments fournis entre le 11 décembre 1512 et le 13 février 1513, qui sont *le tout fer fin*¹⁰¹⁴. Cette mention presque redondante de « fin fer affiné » fait très certainement allusion à la nature du procédé technique duquel le fer mis en œuvre est issu. Si au début du XVI^e siècle, des ateliers de production de fer fonctionnant selon la filière indirecte sont installés dans la majeure partie de la France, cette mention n'en reste pas moins curieuse. Pourquoi préciser que le fer utilisé au jubé doit être un fer de réduction indirecte ? Ce fer avait-il la renommée d'une supériorité plastique ou mécanique ou encore d'une meilleure résistance ? Ou ce détail n'est-il que le fruit du souci de précision du procureur ? Les analyses métallographiques réalisées sur les éléments de fer prélevés au jubé de la Madeleine vont tout d'abord permettre de déterminer de quel type de réduction ce fer est issu, et éventuellement de voir s'il possède une qualité particulière par comparaison avec les analyses de fers déjà connues.

Éléments de fer	Localisation	Nombre	Dimensions	Masse totale	Datation proposée
Chaînage	Tourelle d'escalier de la tour méridionale	1	-	-	Postérieur à 1560
Pattes	Support du chaînage en bois du transept sud	4	-	-	?
Goujons	Fleurs de l'arcature du jubé	-	-	-	Début XVI ^e s.
Agrafes	Attache des deux pendants de clef de voûte du jubé	4	-	-	Début XVI ^e s.
Crochets	Attache des statues dans les petites niches et socles du jubé	-	-	-	?
Agrafes	Maçonnerie supérieure du jubé	-	-	-	?
Goujons	Dans les montants de la rampe d'escalier montant au jubé	-	L ≈ 32,5 cm diam ≈ 1,7 cm	-	Début XVI ^e s.
Goujons	Entre les montants	-	L ≈ 1,5 à 2 cm	-	Début XVI ^e s.
Agrafes	Rampe de la balustrade montant au jubé	-	-	-	Début XVI ^e s.
Barre	Sommet de l'escalier montant au jubé.	-	Sect. ≈ 3 x 3 cm	-	Début XVI ^e s.
Agrafe	Marche de l'escalier	-	L ≈ 30 cm	-	Début XVI ^e s.
Goujons	Frise située sous l'escalier	-	-	-	Début XVI ^e s.

Tableau 104 : Récapitulatif des éléments de fer découverts à l'église Sainte-Madeleine de Troyes.

¹⁰¹⁴ PJ n° 89, fol. 142 r°.

II.4.3.5 Analyses métallographiques.

Un corpus de treize éléments de fer a été prélevé à différents endroits du jubé de l'église Sainte-Madeleine, parmi lesquels onze goujons de formes et de dimensions différentes, une agrafe et un crochet (cf. Tableau 102). Une section a été étudiée par objet.

Les treize spécimens analysés contiennent de nombreuses inclusions métalliques, mais leurs proportions varient très nettement d'un spécimen à l'autre. D'après la modification de la norme AFNOR qui a pu être appliqué aux neuf sections réalisées dans le sens longitudinal, les indices moyens de propreté inclusionnaire sont très diverses, allant de 1,7* à 4,8*. Deux groupes se distinguent particulièrement, le premier est constitué des spécimens MAD 02a, 03a, 07a et 08a ayant une propreté inclusionnaire plutôt bonne à moyenne (< 2*), le second comprend les spécimens MAD 01a, 05a, 06-1a et 12a pour lesquels elle est très mauvaise (> 4,3*). Ces groupes ne dépendent pas du degré de carburation des objets, puisque tous sont à forte dominance ferritique, malgré la présence éventuelle de très petites zones carburées. En revanche, le premier groupe est uniquement composé de goujons servant à attacher des fleurs de l'arcature du jubé et dont trois d'entre eux, MAD 02, 03 et 07 ont une extrémité torsadée en forme d'hélice. Si MAD 05 et 06-1 sont également des goujons liés à ces arcatures du jubé, leurs formes sont radicalement différentes. On a donc là un ensemble relativement homogène de trois goujons de forme semblable et dont la matrice métallique contient assez peu d'inclusions, comparativement aux autres objets mis en œuvre dans le jubé (cf. Figure 261). C'est néanmoins très probablement la forme qui a engendré cette propreté différente des autres éléments, car la forge de l'extrémité en hélice requiert nécessairement davantage de soin et de martelage, et c'est précisément cette extrémité qui a fait l'objet d'une analyse métallographique à chaque fois.

Ces inclusions sont en général étirées dans le sens du forgeage, ce qui est parfaitement remarquable dans le cas d'objets de forme allongée comme ici des goujons. Ces inclusions sont encore plus allongées dans la partie terminale en forme d'hélice des goujons MAD 02, 03 et 07, preuve de l'aplatissement extrême qu'ont subi ces extrémités. Elles sont courbées dans la section au niveau du coude de l'agrafe MAD 12 montrant sans grand étonnement qu'il a été formé par pliage à chaud (cf. Figure 260). Peu d'anomalies particulières sont à noter sur l'ensemble des sections étudiées. Les lignes de soudures sont plutôt rares et en

général mal réalisées : elles constituent néanmoins d'importantes porosités dans la matrice métallique pour les MAD 12a et MAD 09a (cf. Figure 258 et Figure 259). Seule la soudure en partie inférieure de la section MAD 07a semble parfaitement réalisée sans aucune porosité ni inclusion résiduelle (cf. Figure 262). De plus de part et d'autre de la soudure, les inclusions semblent présenter une orientation différente, indiquant qu'il s'agit là d'une soudure liée à la mise en forme de l'objet et non de soudures consécutives aux replis de la loupe ou du lopin lors de la phase d'épuration ou d'une éventuelle phase de corroyage.

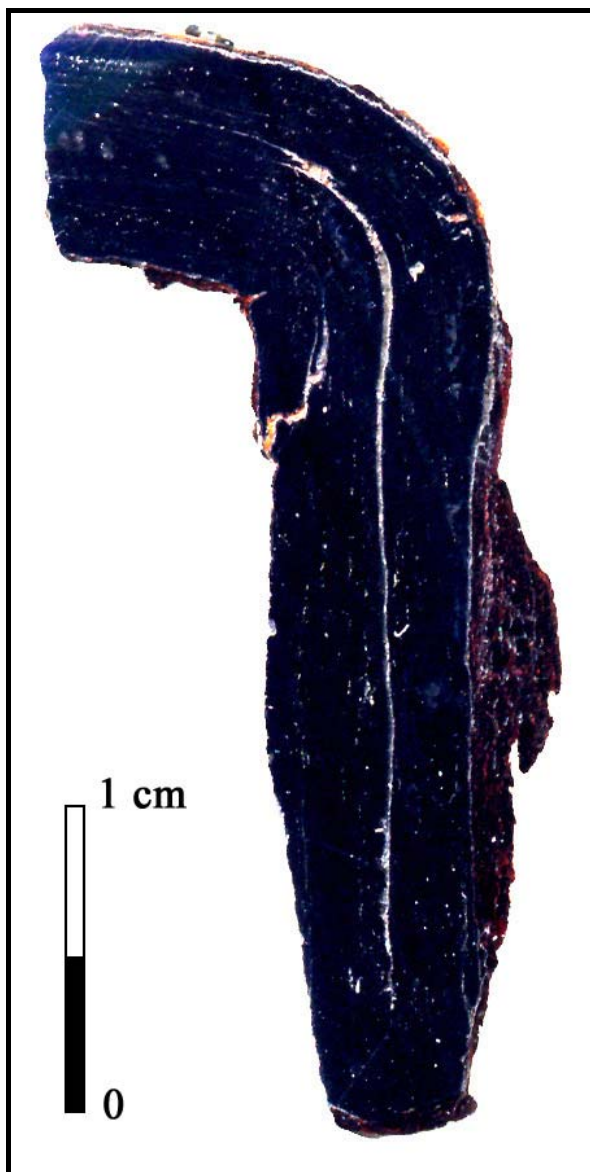


Figure 259 : Section MAD 12a montrant une soudure centrale.

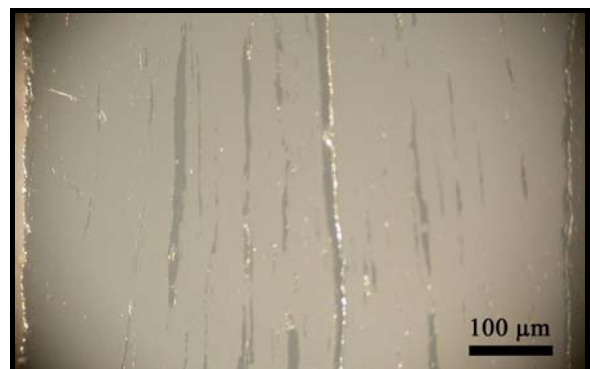


Figure 258 : Zone de mauvaise propreté inclusionnaire, section MAD 12a.

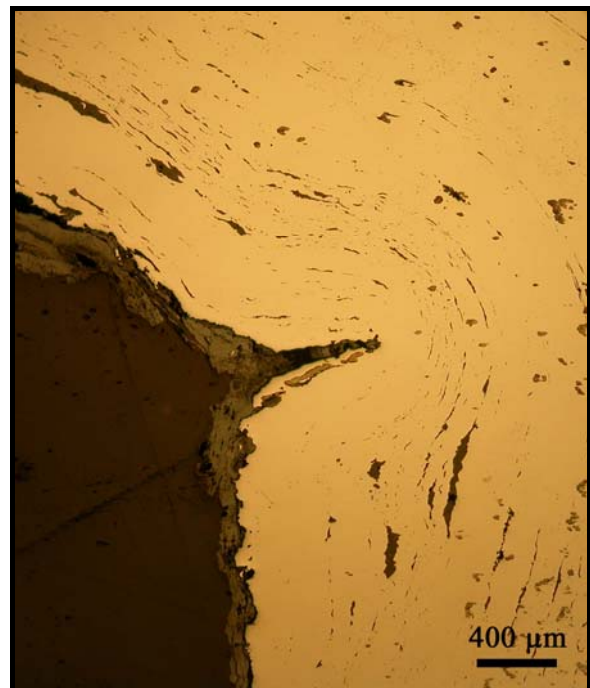


Figure 260 : Orientation des inclusions au niveau du coude de l'agrafe MAD 12.



Figure 261 : Section MAD 07a avec une pointe en hélice.

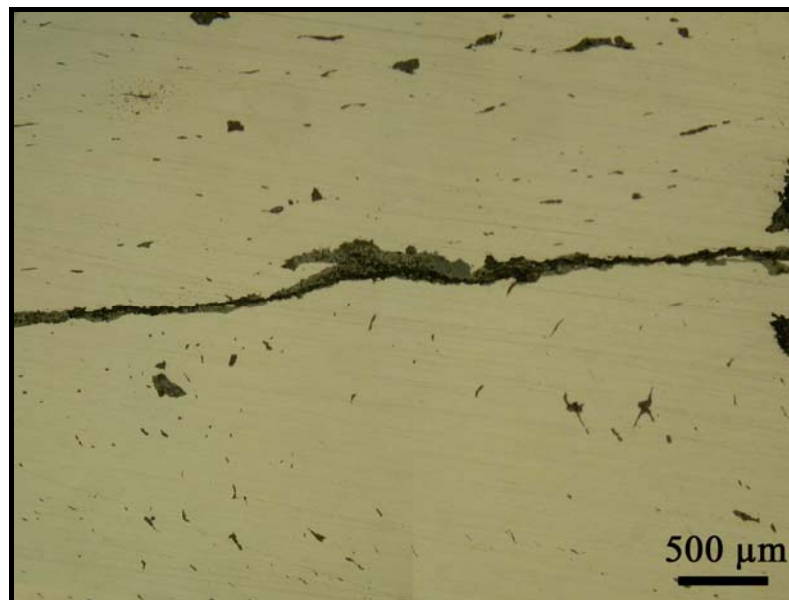


Figure 262 : Soudure avec orientation différentielle des inclusions, section MAD 07a.

Seuls deux spécimens, MAD 01a et MAD 08a, sont composés exclusivement de ferrite (cf. Figure 263). Les autres montrent une alternance de zones ferritiques et de zones très légèrement carburées (de 0,1 à 0,2 %_{mass} de carbone), le plus souvent en proportions très minoritaires. Elles prennent la forme de structures en bandes pour toutes les sections qui ont été réalisées dans le sens longitudinal, marques de l'allongement d'une structure originellement hétérogène. Seuls MAD10a et 11a sont en majorité constitués de zones ferrito-perlitiques titrant plus de 0,3 %_{mass} de carbone. Aucune structure de trempe et aucune marque de cémentation n'a été relevée sur ces spécimens.

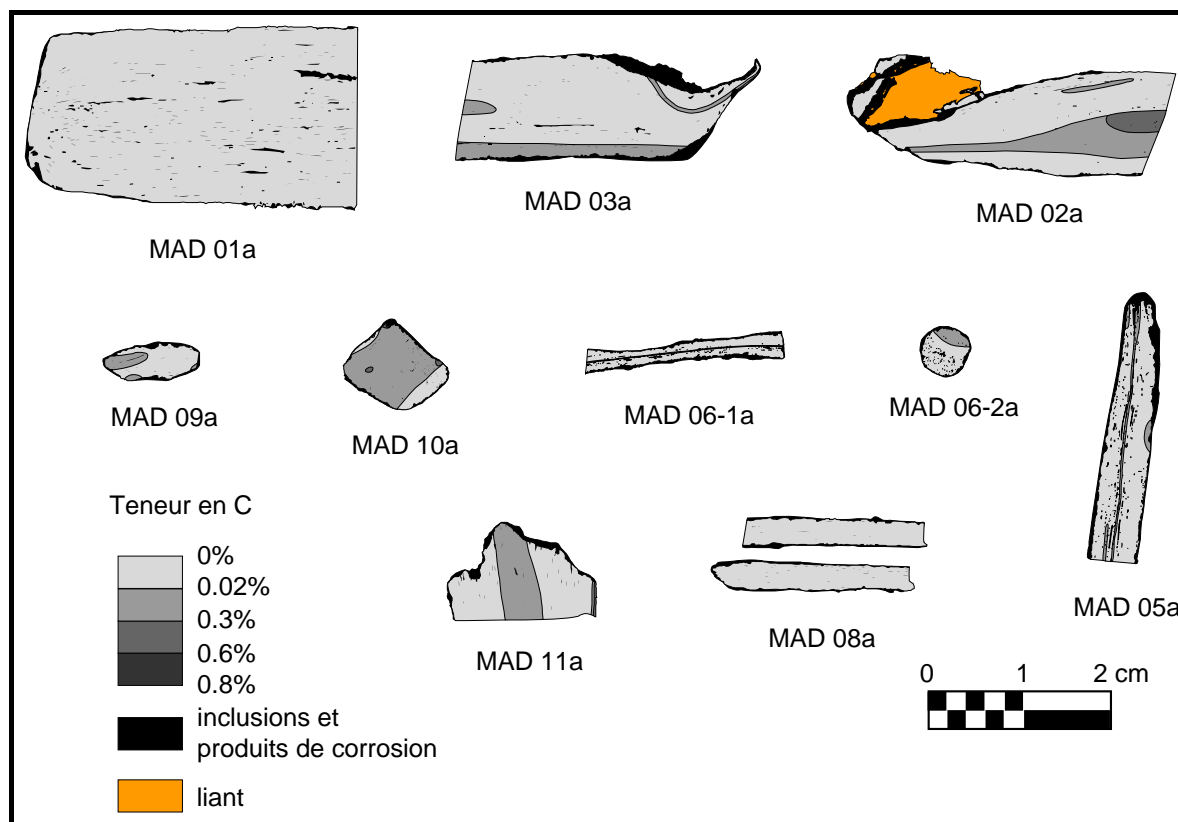


Figure 263 : Structure métallographique des sections réalisées sur certains objets prélevés sur le jubé de l'église Sainte-Madeleine de Troyes.

Les sections MAD01a et 03a portent également la trace de structures fantômes attestant la présence de phosphore dans la matrice de ces objets à des teneurs comprises entre 1000 et 4000 ppm. Si les autres sections ne présentent pas de telles structures, les dosages des inclusions peuvent laisser supposer que beaucoup d'entre elles sont constituées de fer phosphoreux. L'attaque Oberhoffer réalisée sur les sections MAD 02a, 03a et 07a montre cette répartition du phosphore dans la matrice métallique. Des structures en bandes sont présentes de manière systématique dans la même direction que celles parfois visibles à l'attaque Nital sur les échantillons les plus carburés. Sur l'échantillon MAD 07a, l'orientation de ces bandes phosphoreuses montre très nettement la mise en forme de l'extrémité en hélice du goujon : après aplatissement, cette extrémité a été fendue en deux à chaud avant d'être repliée de chaque côté. La soudure appréhendée sur MAD 07a est donc probablement la marque du repli d'une des deux hélices sur le corps du goujon. Les sections réalisées sur les deux autres goujons à extrémité en hélice MAD 02 et 03 ne permettent pas de mettre en évidence ce type de mise en forme. Tous deux sont moins bien conservés et les coupes ne mettent pas ces hélices en évidence avec précision.

Les inclusions, si elles peuvent être de compositions très diverses d'un échantillon à l'autre, semblent en revanche assez homogènes à l'intérieur même de chaque spécimen. Si les rapports des composés non réduits de MAD 01a et MAD 12a ne présentent aucune constance, avec des coefficients de détermination (R^2) systématiquement inférieurs à 0,5 et le plus souvent négatifs et que les rapports de MAD 04a et MAD 05a ne sont pas non plus très bien conservés, en revanche, tous les autres échantillons ont des coefficients R^2 supérieurs à 0,7 pour la plupart de leurs rapports. Seuls ceux faisant intervenir le calcium ne sont parfois pas constants, notamment pour les échantillons MAD 02a et MAD 06-1a dont les inclusions sont très riches en CaO avec respectivement près de 17 et 24 %_{mass} en moyenne. Ces échantillons sont également très riches en phosphore (moyennes respectives de 30 et 16 %_{mass}), ce qui laisse présager la présence de phosphates de calcium dans certaines inclusions¹⁰¹⁵. La présence de ces phases en quantités variables dans les inclusions serait un exemple d'« effet de pépite » et expliquerait le fait que les teneurs en CaO ne soient pas proportionnelles à celles des autres composés non réduits, bien que le fer n'ait peut-être qu'une unique origine par objet. Les inclusions de l'échantillon MAD 09a sont également riches en P₂O₅ et en CaO (13 et 18 %_{mass} en moyenne), mais la constance des différents rapports est conservée.

En comparant les rapports des composés non réduits entre les différents objets, en particulier Al₂O₃/SiO₂ et K₂O/CaO, on remarque que, malgré l'apparente homogénéité de certains groupes comme ces goujons qui renforçaient les fleurs décoratives de l'arcature du jubé (MAD 02 à MAD 08) ou les divers éléments présents sur la balustrade (MAD 01 et MAD 09 à 11), ces rapports semblent différents pour la plupart des échantillons (cf. Figure 264). Les quatre éléments de la balustrade analysés ont en particulier des signatures chimiques non compatibles, tout comme les trois goujons MAD 02, 03 et 07 dont l'extrémité en forme d'hélice était semblable. Même MAD 06-1 et MAD 06-2 qui se trouvaient dans la même fleur présentent des rapports différents. La composition des inclusions de MAD 06-1 se rapproche au contraire davantage de celle de MAD 07, goujon arborant une autre forme mais situé dans une fleur voisine ; il serait possible qu'ils soient issus de la même production. Enfin, malgré une apparente proximité des signatures des goujons MAD 03 et MAD 08, leurs teneurs en manganèse et phosphore diffèrent ; il est donc fort vraisemblable qu'ils ne soient pas compatibles.

¹⁰¹⁵ Les phosphates de calcium sont caractéristiques des fers de réduction indirecte lorsqu'ils se trouvent sous forme cristallisée, ce qui n'a toutefois pas été vérifié dans le cadre de cette étude, LECHEVALLIER (G.), DILLMANN (Ph.), BENOIT (P.), FLUZIN (Ph.), « L'affinage wallon des fontes phosphoreuses... », *op. cit.*

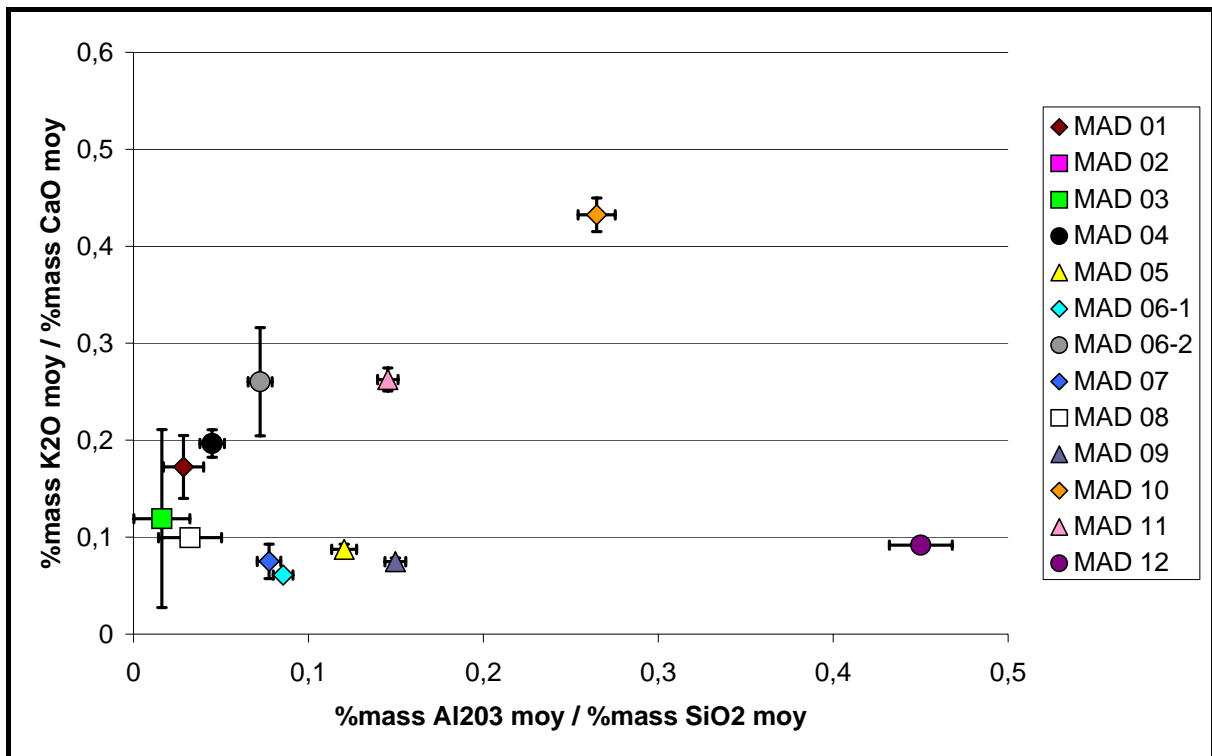


Figure 264 : Comparaison des rapports $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ et $\text{K}_2\text{O}/\text{CaO}$ pour les éléments du jubé de l'église Sainte-Madeleine de Troyes (inclusions moyennes).

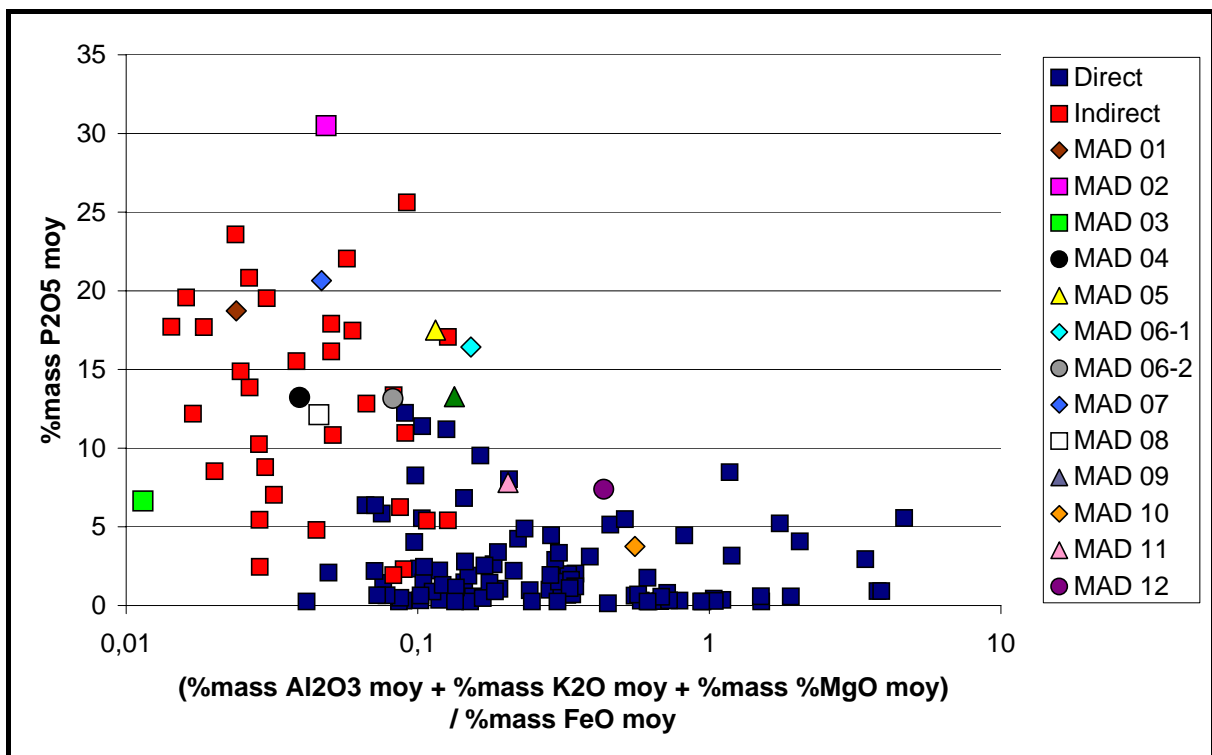


Figure 265 : Discrimination des procédés de réduction pour les éléments du jubé de l'église Sainte-Madeleine de Troyes.

Enfin, malgré la période tardive de construction du jubé, au regard des premières mentions d'établissements sidérurgiques fonctionnant selon le procédé de réduction indirecte dans la région, datées de la fin du XIV^e siècle¹⁰¹⁶, les inclusions des spécimens analysés sont loin de présenter une parfaite homogénéité (cf. Figure 265). Les inclusions des échantillons MAD 01 à 04 ainsi que MAD 07 et 08 ont une composition caractéristique du procédé indirect. Ceux des échantillons MAD 05, 06-1 et 06-2 et MAD 09 se trouvent dans la zone où il n'est pas possible de distinguer les deux procédés. Ils sont cependant bien plus proches de la limite du procédé indirect et tous les quatre possédaient des inclusions avec des phases angulaires de chrome et de vanadium. Ces facteurs peuvent conduire à supposer qu'ils sont également issus de la filière indirecte. En revanche, l'agrafe MAD 12 et l'élément de balustrade MAD 10 ont des compositions inclusionnaires caractéristiques du procédé direct. Le cas de MAD 11 est pour finir particulier : sa composition moyenne le place dans la zone des fers de réduction directe, bien qu'il soit assez proche de la zone indéterminée, mais une inclusion contenant de fortes teneurs en chrome et vanadium a également été découverte. Or ces éléments sont plutôt représentatifs des fers indirects. Elle ne semble pas faire partie d'un ajout extérieur car sa composition en éléments non réduits est compatible avec les inclusions des autres échantillons. Le raisonnement sur une seule inclusion a toutefois peu de poids comparativement à celui sur une composition globale moyenne sur toutes les inclusions analysées. L'hypothèse la plus probable est donc qu'il s'agisse bien d'un fer de réduction directe, bien qu'un léger doute puisse subsister. Sur les treize échantillons, dix sont donc faits en fer de réduction indirecte et au moins deux en fer de réduction directe. Si l'intégralité des goujons de l'arcature analysés est en fer de réduction indirecte, les éléments de la balustrade montrent une variabilité bien plus grande, notamment si l'on considère MAD 09 et 10 qui ont été prélevés à proximité l'un de l'autre sur la rampe de l'escalier du jubé.

Ces résultats montrent tout d'abord une grande diversité dans les sources d'approvisionnement, même pour des éléments mis en œuvre au cours d'une même campagne de construction probablement à peu de temps d'intervalle. Ces informations sont complémentaires aux données des comptes, selon lesquels Pierre Vinot, serrurier urbain, avait la charge de réaliser l'ensemble des ouvrages de fer du jubé. L'origine du fer fourni par Pierre Vinot n'était pas mentionnée. Au vu des résultats des analyses métallographiques, il est donc certain que le ou les marchands auprès desquels Pierre Vinot s'approvisionnait

¹⁰¹⁶ ROUILLARD (J.), *L'homme et la rivière...*, op. cit., p. 400-401.

achetaient le fer à divers producteurs. Les fers de diverses origines étaient ensuite utilisés de manière indifférente pour forger les éléments mis en œuvre. Les résultats des analyses métallographiques montrent également que si, en ce début de XVI^e siècle, le fer de réduction indirecte semble bien plus présent sur le marché que le fer de réduction directe, ce dernier est encore présent en quantités non négligeables. Si l'expression « *de tout fin fer affiné* » employée dans les comptes de la fabrique désigne vraiment le fer issu de l'affinage de la fonte, on peut affirmer que contrairement aux assertions du procureur, ce n'est pas le cas de l'ensemble du fer mis en œuvre pour le jubé de l'église Sainte-Madeleine. Le fer de réduction directe employé peut être un fer « neuf » provenant de structures de production fonctionnant avec des bas fourneaux, mais il peut également être issu du recyclage ou de la récupération d'éléments plus anciens, bien que l'hypothèse du recyclage semble être ici à écarter, puisque les inclusions étaient homogènes à l'intérieur de chaque échantillon étudié. Néanmoins, une fois sous le marteau du forgeron, aucune distinction n'est réalisée entre ces différents types de fer qui se retrouvent indistinctement aux divers endroits de la structure. De plus, ces fers ont tous été vendus au prix de 8 d. t. la livre. En conséquence, soit le serrurier Pierre Vinot a soit volontairement ou involontairement acheté du fer de réduction directe à un marchand, soit il a décidé de réemployer quelques fers plus vieux qui étaient en sa possession contre l'ordonnance du procureur.

Echantillon	Datation	Teneur en C	Fer phosphoreux	Indice de propreté	Procédé de réduction	Lopin original
MAD01a	Déb. XVI ^e s.	< 0,02 % _{mass}	OUI (SF)	4,3*	Indirect	?
MAD02a	Déb. XVI ^e s.	0 à 0,3 % _{mass} + SB	OUI ?	1,8*	Indirect	1 seul lopin ?
MAD03a	Déb. XVI ^e s.	0 à 0,6 % _{mass} + SB	OUI (SF)	2,2*	Indirect	1 seul lopin
MAD04a	Déb. XVI ^e s.	0 à 0,1 % _{mass}	OUI ?	-	Indirect	?
MAD05a	Déb. XVI ^e s.	0 à 0,1 % _{mass} + SB	OUI ?	4,8*	Indirect	?
MAD06-1a	Déb. XVI ^e s.	0 à 0,1 % _{mass} + SB	OUI ?	4,3*	Indirect	1 seul lopin ?
MAD06-2a	Déb. XVI ^e s.	0 à 0,1 % _{mass}	OUI ?	-	Indirect	1 seul lopin
MAD07a	Déb. XVI ^e s.	0 à 0,8 % _{mass} + SB	OUI ?	1,7*	Indirect	1 seul lopin
MAD08a	Déb. XVI ^e s.	< 0,02 % _{mass}	OUI ?	2*	Indirect	1 seul lopin
MAD09a	Déb. XVI ^e s.	0 à 0,3 % _{mass}	OUI ?	-	Indirect	1 seul lopin ?
MAD10a	Déb. XVI ^e s.	0 à 0,4 % _{mass}	NON ?	-	Direct	1 seul lopin
MAD11a	Déb. XVI ^e s.	0 à 0,8 % _{mass}	NON ?	2,7*	?	1 seul lopin
MAD12a	Déb. XVI ^e s.	0 à 0,2 % _{mass} + SB	NON ?	4,8*	Direct	?

Tableau 105 : Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les échantillons du jubé de l'église Sainte-Madeleine de Troyes.

II.4.3.6 Autres emplois du fer d'après les comptes de la fabrique

Outre les dépenses pour le jubé, les comptes attestent d'autres emplois du fer, bien que les mentions soient souvent un résumé des travaux du serrurier pendant un terme de trois ou six mois et ne précise pas le détail des travaux, comme en 1515, où le serrurier Jean Félix est payé 4 l. 15 s. t. pour ses « ouvrages, crampons, barreaux, goujons, et autres choses de fer »¹⁰¹⁷. On peut malgré tout noter que les éléments mis en œuvre sont bien souvent désignés comme étant « à plâtre », signifiant qu'ils étaient scellés au plâtre. Il en est de même pour le jubé, ce qui a été corroboré par les prospections.

Quelques mentions de dépenses pour l'attache d'éléments liturgiques ou décoratifs sont également à mentionner. En 1513, Jean Félix fait *II anneaux pour soubpendre la table du tresor*¹⁰¹⁸ et l'année suivante il livre 33 livres de fer à 8 d. t. la livre en *barreaux, crampons et grosses verueilles pour souppendre lesdits trois ymages*¹⁰¹⁹ qui sont les statues de Notre Dame de pitié, saint Jean et une autre Notre Dame en la chapelle Notre Dame. Ces coûts sont ici très limités comparés à l'ensemble des dépenses engagées pour la fabrique.

Pour finir de rares mentions de récupération de fer sont à relever. En 1513, le serrurier Jean Félix utilise *XXII livres vielle ferraille pour mettre sous les pierres* donc probablement à l'intérieur de la maçonnerie, puis il met en œuvre 15 livres du fer de l'église¹⁰²⁰. Il s'agit toutefois là de quantités plutôt anecdotiques, d'autant plus que ni la nature, ni la destination précise de ces éléments de fer ne nous sont données. Mis à part ces exemples de recyclage, aucune autre mention de provenance n'est présente dans les comptes de l'église Sainte-Madeleine : c'est le serrurier qui fournit directement le fer ouvré à la fabrique, le nom du ou des marchands auprès desquels ils se sont approvisionnés n'étant même pas indiqués.

¹⁰¹⁷ Arch. dép. Aube, 16 G 48, fol. 49 v°.

¹⁰¹⁸ Arch. dép. Aube, 16 G 47, fol. 144 r°.

¹⁰¹⁹ Arch. dép. Aube, 16 G 47, fol. 219 r°.

¹⁰²⁰ Arch. dép. Aube, 16 G 47, fol. 142 v°.

Éléments de fer	Localisation	Nombre	Masse totale	Datation proposée
Goujons, crampons, barreaux, anneaux, fiches, soupentes	Dans le jubé	-	≈ 1150 kg	1511-1514
Clef	Pour le dessous du jubé	1	≈ 20 kg	1513
Anneaux	Soupendre la table du trésor	2	-	1513
-	Sous les pierres	-	≈ 10 kg	1513
Barreaux, veruelles, crampons	Soupendre trois images	-	≈ 15 kg	1514

Tableau 106 : Récapitulatif des éléments de fer mis en œuvre dans la structure de l'église Sainte-Madeleine de Troyes d'après les comptes de la fabrique.

II.4.4 Synthèse sur l'église Sainte-Madeleine

L'église Sainte-Madeleine est probablement l'édifice du corpus sur lequel le moins d'informations sont disponibles, par manque d'accessibilité et faute de textes précis. De plus, peu d'études ont été réalisées sur cette église : contrairement aux cathédrales ou autres édifices majestueux comme l'église Saint-Urbain, elle est caractéristique d'une autre facette de l'art gothique, celle des petites églises, à l'architecture plus simple, et de dimensions bien moins imposantes. Ici construite en milieu urbain dans une importante ville médiévale, elle pourrait toutefois être comparée à des églises rurales élevées dans des petits villages. Les emplois du fer qui ont pu y être appréhendés sont plutôt réduits, limités à quelques tonnes pour les vitraux et quelques pièces du décor.

Mais, malgré la petite taille de l'église Sainte-Madeleine et son architecture peu hardie, son jubé, rare joyau de l'art gothique encore en élévation, est une pièce d'architecture qui suffit à la rendre exceptionnelle. Prospections et textes montrent la quantité et la diversité des éléments de fer mis en œuvre dans ce jubé, dont la masse dépasse facilement la tonne. De plus, l'exemple de ce jubé en élévation peut être transposé à d'autres églises où il a été détruit et pour lequel on ne connaît aucune représentation, comme celui de la cathédrale de Troyes.

UNIVERSITE PARIS I PANTHEON-SORBONNE

U.F.R. D'ARCHEOLOGIE

Année 2007

Thèse sous la direction de M. le professeur Paul BENOIT

pour obtenir le grade de docteur de l'université

Discipline : archéologie

Présentée et soutenue publiquement par

Maxime L'HERITIER

**L'UTILISATION DU FER DANS L'ARCHITECTURE GOTHIQUE :
LES CAS DE TROYES ET ROUEN**

Volume III

Texte

Jury

M. le professeur Paul BENOIT

Mme le professeur Joëlle BURNOUF

**M. Philippe LARDIN, maître de conférences
habilité à diriger les recherches**

**M. Philippe DILLMANN, chargé de recherches
au C.N.R.S. habilité à diriger les recherches**

**Mme Isabelle PALLOT-FROSSARD,
directeur du L.R.M.H.**

**M. Stéphane LEQUIEN, directeur du
LPS, laboratoire mixte CEA-CNRS**

**Mme Florence JOURNOT, maître de
conférences**

**L'EMPLOI DU FER DANS LES EGLISES
TROYENNES ET ROUENNAISES :
UTILISATIONS, COUT ET PRODUCTION**

III.1 PRINCIPALES UTILISATIONS DU FER DANS LES EGLISES TROYENNES ET ROUENNAISES

Les prospections ainsi que l'étude des archives comptables réalisées sur les sept églises du corpus ont montré que le fer y trouve de nombreuses utilisations. Certains emplois sont communs à la majeure partie, voire à la totalité des églises troyennes et rouennaises, en particulier la mise en œuvre d'armatures de fer dans les vitraux ou encore la présence d'agrafes sur certaines balustrades. D'autres se circonscrivent au contraire uniquement à une partie, voire à une seule des églises étudiées. De plus, il apparaît clairement que les divers éléments de fer relevés en prospections et dans les comptes ne sont pas toujours mis en œuvre dans la maçonnerie *a priori*. Nombreux sont les cas de restauration ou de consolidation après coup ayant nécessité l'emploi de pièces de métal. Il convient à présent de revenir sur ces différents aspects de l'utilisation du fer dans l'architecture gothique.

Comptes et prospections montrent que le vitrail est au premier chef des emplois du fer avec des quantités qui se chiffrent en tonnes ou en dizaines de tonnes, suivant la dimension des édifices étudiés et leur surface vitrée. Le fer est également mis en œuvre sous forme de tirants et de chaînages dans les tours et les triforiums, mais aussi parfois de crampons enfouis dans la maçonnerie des piles ou des arcs-boutants. Il est aussi utilisé à de nombreuses reprises sous forme de pièces de fer plus petites, agrafes et goujons, sur des coursives, des balustrades ou dans les colonnettes, mais aussi dans les statues, les gâbles et les jubés, autant d'éléments qui font partie intégrante du décor gothique. Il trouve enfin également des utilisations liées non plus à la pierre, mais au bois, dans certains assemblages de charpente.

III.1.1 Les armatures des vitraux

L'emploi de fer sous forme de grosses barres, barlotières, tenons et vergettes constituant les armatures des vitraux représente la principale consommation de fer sur l'ensemble des sept églises étudiées. Bien évidemment, les quantités mises en œuvre varient avec la dimension de l'église et surtout avec sa surface vitrée. Néanmoins, les prospections comme l'étude des archives comptables médiévales et contemporaines montrent clairement que les vitraux sont la seule partie de l'église où le fer est utilisé de manière systématique, parfois par dizaines de tonnes. Dans les comptes de la cathédrale de Rouen, les deux périodes de plus forte hausse des dépenses pour forge correspondent aux deux campagnes de vitrerie entreprises au cours du XIV^e siècle¹⁰²¹ : la vitrerie haute du chœur entre 1430 et 1433 et la vitrerie des chapelles basses de la nef entre 1465 et 1470. Pour la cathédrale de Troyes, le tableau est légèrement différent puisque la construction de la cathédrale n'est achevée qu'à l'époque moderne. Cependant, la plupart des périodes où les dépenses pour forges augmentent de manière conséquente correspondent également à des campagnes de vitrerie : la vitrerie haute du transept entre 1375 et 1380, celle de la librairie en 1479-1480 et celle de la nef haute entre 1497 et 1502.

Ce constat établi, il apparaît nécessaire de revenir sur l'ensemble des problématiques soulevées par l'étude des armatures de vitraux des églises troyennes et rouennaises. Quelles sont les caractéristiques du châssis médiéval et ses correspondances avec le châssis contemporain, le seul auquel le chercheur a accès ? Quelle est l'importance des châssis de bois parfois mentionnés dans les textes et ont-ils une influence sur les armatures de fer ? Quel est le rôle de ces armatures dans la statique de la fenêtre ? Les grandes baies sont-elles fréquemment pourvues de chaînages ? Enfin observe-t-on une évolution des quantités de fer mises en œuvre dans les vitraux aux différentes époques ?

¹⁰²¹ Outre ces trois périodes, il y a également trois années de dépenses exceptionnelles mais ponctuelles : 1420-1421 à cause de l'inflation du prix du fer, 1478-1479 où les dépenses pour forges sont indéterminables mais comprennent une part de fers à vitraux et 1501-1502 avec les dépenses pour la nouvelle cloche.

III.1.1.1 Les caractéristiques du châssis médiéval

III.1.1.1.1 Le châssis contemporain est-il représentatif du châssis médiéval ?

L'armature actuelle du vitrail est bien souvent, notamment en l'absence de textes, la seule source d'information pour l'étude du châssis originel. Or, suite aux modifications et restaurations successives des vitraux et aux nombreux remplacements des armatures corrodées, la plupart - si ce n'est la totalité - des éléments de fer contenus dans les fenêtres des églises ont été déposés et remplacés par des éléments neufs. Sur tous les édifices étudiés, seules les grosses barlotières-tirants, plus profondément ancrées dans les piédroits des baies datent encore peut-être de l'époque médiévale ; tous les autres éléments, petites barlotières, tenons, clavettes, vergettes et feuillards, sont sauf exception issus de restaurations ultérieures.

Cependant, comme l'ont montré les comparaisons effectuées avec les données sur les armatures originelles disponibles dans les comptes pour la cathédrale de Troyes et la cathédrale de Rouen, même si les différents éléments de fer ont été remplacés, tant que le vitrail se trouve dans sa fenêtre originelle, le dessin général du châssis avec le même nombre d'armatures a quant à lui le plus souvent été conservé. En revanche, lorsque le vitrail n'est plus en place, les armatures contemporaines ne sont plus nécessairement représentatives de celles de l'époque médiévale. Le dessin des armatures des baies hautes du chœur de la cathédrale de Rouen, dont les vitraux ont été soufflés pendant la Seconde Guerre mondiale et qui sont actuellement vitrées de verre blanc ne correspond par exemple pas tout à fait à celui des comptes, la disparition d'une barlotière-tirant dans ces fenêtres suggérant même un remaniement en profondeur. De même à Saint-Urbain, où, bien que les vitraux aient été conservés malgré la reconstruction par deux fois de l'abside de l'église, le châssis et notamment le nombre de tirants a légèrement changé depuis le milieu du XIX^e siècle d'après les premières photographies en témoignant. Enfin, la mise en place de nouvelles compositions, que ce soit au XV^e ou au XX^e siècle, a également pu venir modifier grandement ou totalement le châssis. En témoignent pour l'époque médiévale, les baies hautes de la cathédrale de Rouen ou encore la rose nord et les baies hautes du transept oriental de la cathédrale de Troyes.

Malgré ces quelques différences, il est cependant possible d'affirmer que dans son ensemble, lorsqu'une église a conservé la majeure partie de ses vitraux, les armatures de vitraux actuelles donnent une assez bonne vision de celles qui devaient exister à la période médiévale. Quelques points méritent cependant d'être approfondis.

III.1.1.1.2 De l'existence des feuillards dans les armatures médiévales

Un seul élément de l'armature du vitrail amène à un véritable questionnement : le feuillard, cette pièce de fer très plate pourvue de trous qui s'insère sur les tenons et que les clavettes viennent plaquer contre les barlotières. Ces feuillards que l'on rencontre actuellement de manière systématique sur tout vitrail et notamment sur les vitraux des sept églises étudiées ne sont en revanche jamais mentionnés dans les livres de comptes médiévaux. Les premières mentions relevées datent des divers travaux de restauration du XIX^e siècle¹⁰²². Il convient donc de s'interroger sur l'existence de ces feuillards dans les armatures de vitraux de la période médiévale.

Actuellement les feuillards, dont l'épaisseur est de l'ordre du millimètre, ne représentent qu'un très faible pourcentage de la masse totale de fer employée par fenêtre (1 à 2 % environ). Au regard de leur faible masse, on pourrait donc comprendre que ces éléments ne soient pas explicitement mentionnés ou que leur masse soit par exemple comprise dans celle des barlotières, une barre loquetée désignant alors un ensemble barre/tenons/feuillard. Cependant, au Moyen Age, en l'absence de machines adéquates comme le laminoir, le travail de forge nécessaire à l'obtention d'une pièce de fer aussi plate serait nécessairement mentionné dans les comptes. Or il s'avère que les fers à vitraux se payent presque systématiquement au prix de la livre de fer ouvrée de l'époque : il n'y a donc apparemment pas de travail particulier sur ces éléments. Dans le cas contraire, un travail moins conséquent sur ces pièces donnant des feuillards plus épais amènerait à une consommation en fer plus importante qui ferait alors également nécessairement l'objet d'une mention dans les comptes. Des feuillards de section bombée mesurant de 0,5 à 1 cm de large environ ont été découverts suite à une restauration sur certaines baies de l'église des Billettes à Paris (cf. Figure 266). L'église date du milieu du XVIII^e siècle. La possibilité de feuillards bien plus épais que les feuillards actuels doit donc être prise en compte pour la période moderne.

Au vu de ces différentes constatations, il semble donc raisonnable d'estimer que les feuillards ne sont pas utilisés au Moyen Age dans les armatures de vitraux¹⁰²³. De l'ensemble

¹⁰²² Notons toutefois que les archives comptables des XVII^e et XVIII^e siècles n'ont pas été dépouillées dans le présent travail.

¹⁰²³ L'article « armature » du *Dictionnaire Raisoné* de Viollet-le-Duc ne nous éclaire pas plus sur l'éventuelle inexistence de ces feuillards à l'époque médiévale, mais n'est pas non plus incompatible avec nos hypothèses. Viollet-le-Duc ne mentionne pas l'existence de feuillards, mais il ne définit pas de manière précise les différents éléments constituant les armatures de vitraux. Sur son schéma d'assemblages des barlotières, barlotières tenons et clavettes sont bien dessinées, mais on ne trouve en revanche aucun feuillard, VIOLLET-LE-DUC (E.),

des armatures, le feuillard est par ailleurs la seule pièce qui n'est pas nécessaire au maintien du vitrail. En effet, les clavettes seules suffisent à bloquer les panneaux de vitrail à intervalles plus ou moins réguliers. Les feuillards viennent uniquement répartir les forces des points d'appuis offerts par les clavettes de manière plus homogène et sur une surface plus importante. De fait, ils préviennent également une dégradation du vitrail par les clavettes au niveau de leurs points d'appuis. Ils ne sont toutefois pas indispensables et leur utilité décroît avec le nombre de tenons et de clavettes. Leur absence est donc peut-être parfois compensée par un excédent de tenons et clavettes venant multiplier les points de serrage du vitrail. En effet, dans certaines baies, ceux-ci semblent être à l'époque médiévale présents en plus grand nombre qu'à l'heure actuelle. Pour chacune des fenêtres hautes du chœur de la cathédrale de Rouen par exemple, le nombre de clavettes achetées par la fabrique excède de 50 % celles que l'on peut actuellement dénombrer. Cela n'est cependant pas systématique.



Figure 266 : Feuillards de l'église des Billettes à Paris.

Dictionnaire raisonné..., *op. cit.*, tome 1, p. 466. Ajoutons toutefois que le panneau de vitrail n'est pas dessiné non plus : la représentation n'est donc pas complète.

III.1.1.1.3 Nombre de vergettes dans le châssis médiéval.

Si le nombre et l'espacement des barlotières dans une verrière dépendent directement du nombre de panneaux et par conséquent de la composition du vitrail, l'espacement entre deux vergettes et de fait le nombre de vergettes mises en œuvre ne sont quant à eux pas fixes et ont pu varier au cours du temps, même si le vitrail n'a pas bougé de sa fenêtre d'origine. En l'absence de textes détaillant avec précision les éléments de fer utilisés dans chaque fenêtre, il est néanmoins impossible d'avoir accès au nombre de vergettes employées à la période médiévale. Seuls les comptes relatifs à la vitrerie des fenêtres hautes du chœur de la cathédrale de Rouen apportent une telle précision. Cependant, à l'exception des trois baies centrales de l'abside, l'ensemble de ces vitraux a été soufflé lors de la Seconde Guerre mondiale et ne contient donc plus aucune vergette. La restitution qui a été réalisée donne respectivement environ 40 vergettes par baie de l'abside et 50 par travée droite, contre respectivement 60 et 80 environ dans les textes. Le nombre de vergettes présentes dans ces vitraux à la période médiévale semble donc excéder d'environ 50 % le dessin actuel des armatures.

Le seul argument supplémentaire qu'il est possible d'apporter pour étayer cette hypothèse vient des baies hautes de l'église Saint-Urbain. La vaste campagne de restauration entreprise par Selmersheim à la fin du XIX^e siècle est documentée par des clichés photographiques pris avant et après les travaux. Ceux-ci montrent très nettement que chaque panneau de vitrail est renforcé par deux vergettes avant restauration pour une seule après, schéma qui prévaut encore actuellement¹⁰²⁴. Bien que ces représentations de l'église Saint-Urbain datent du XIX^e siècle et non de la période médiévale, elles abondent dans le sens de l'utilisation d'un nombre plus conséquent de vergettes dans les temps plus anciens.

III.1.1.1.4 Sections des différents éléments du châssis médiéval.

Faute de données précises, la question de la section des différents éléments de fer constitutifs de l'armature du vitrail médiéval est parfois difficile à appréhender. En effet, à la probable exception des grosses barlotières-tirants, dont toutes n'ont par ailleurs pas pu être mesurées sur le terrain faute d'accessibilité, l'ensemble des fers à vitraux maintenant actuellement les verrières de nos églises est de facture moderne. Si leur longueur n'a de fait pas pu évoluer, leur section est quant à elle peut-être légèrement différente, comme le montre

¹⁰²⁴ Médiathèque du Patrimoine, clichés n° 4594, 4595, 3976, cl. 4125, MH 313274 à 313278, AP03CTV144 et AP03CTV145.

l'exemple précédemment cité des feuillards de l'église du cloître des Billettes à Paris, dont l'épaisseur est de cinq à dix fois supérieure à celle des feuillards actuels. Ici encore, seules les archives médiévales peuvent nous éclairer sur les dimensions de ces armatures à la période médiévale. La section de ces éléments de fer n'y est jamais mentionnée de manière explicite, mais elle peut être calculée aisément si l'on dispose de la masse et de la longueur de l'objet considéré.

Une première mention dans les comptes de la cathédrale de Rouen précise à la fois la longueur et la masse de certaines barlotières-tirants. Il s'agit des *XII grans barreaux de fer de VIII pies de long mis aux verrieres de la nouvelle tour* lors de sa construction à la fin du XV^e siècle¹⁰²⁵. Ces barres qui mesurent donc environ 2,60 m chacune pèsent avec leurs tenons 366 livres de fer, soit en moyenne près de 15 kg chacune. Elles ont donc une section d'environ 7,5 cm². Aucune autre mention dans les comptes étudiés n'est aussi précise que cette dernière. Cependant, même en l'absence d'informations dans les archives, il est assez aisé de déterminer la longueur des barlotières-tirants pour une fenêtre donnée. En effet, il suffit de savoir à quelle verrière les tirants se rapportent : leur longueur correspond alors à la largeur de la fenêtre à laquelle il faut ajouter la profondeur des ancrages. Les mentions relatives à la vitrerie des fenêtres hautes du chœur de la cathédrale de Rouen entre 1430 et 1433 deviennent encore une fois riches d'enseignement¹⁰²⁶. Pour les cinq *parva forma* de l'abside, la masse des grosses barres, 64 livres pour deux barres, représente environ 15,5 kg pièce, pour une longueur hors ancrage d'environ 265 cm, soit une section maximale de 7,5 cm². Pour les dix *magna forma*, chaque grosse barre pèse environ 29,5 kg, soit une section maximale de 9 cm² pour une longueur de 4,20 m. En ajoutant la longueur des ancrages¹⁰²⁷, même si ceux-ci ne représentent qu'une vingtaine de centimètres de chaque côté, les sections perdent 0,5 à 1 cm². Comprises à peu près entre 7 et 8 cm², elles sont du même ordre de grandeur que pour les tirants de la tour de Beurre. Cependant, les mesures prises sur certaines barres des travées droites du chœur en particulier donnent des sections comprises entre 5 x 2 cm et 6 x 2 cm, soit 2 ou 3 cm² de section de plus que dans les comptes. Les tirants de l'abside qui n'ont pas pu être mesurés semblent cependant de plus faible section que ceux des travées droites, ce qui est bien en accord avec les données textuelles. La raison de cette différence de section observée entre les textes et le terrain peut être expliquée par deux facteurs. Le premier et le plus simple serait que les barres originelles ont été changées à la

¹⁰²⁵ PJ n° 14.

¹⁰²⁶ PJ n° 4 ; PJ n° 5 ; PJ n° 6 ; PJ n° 7.

¹⁰²⁷ Une valeur moyenne de 40 cm, soit 20 cm de chaque côté a été rajoutée pour les ancrages à la longueur des baies mesurées *in situ*.

suite d'une restauration pour des barres de sections légèrement supérieures. Le second serait lié à la non représentativité des mesures d'épaisseurs prises sur le terrain qui furent les moins nombreuses. Les données des textes correspondraient plus à une épaisseur de 1,5 cm et non 2 cm ou plus. Cette augmentation de section a également localement pu être influencée par l'irrégularité des barres et par un léger gonflement dû à leur corrosion. Dans tous les cas, avec une moyenne située aux alentours 7,5 cm², la section des tirants à l'époque médiévale semble légèrement inférieure à celle perçue actuellement.

Bien que barlotières et vergettes soient plus nombreuses que les tirants, les informations les concernant ne sont pas plus précises : aucune mention de longueur n'est associée à des barlotières, et trois seulement concernent des vergettes. La première concerne une verge de fer faite par le serrurier Jourdain de l'Estre au début de l'année 1388 pour la cathédrale de Rouen. Il s'agit d'une grande vergette *cotent environ VI piez de longt, pesant environ VI l.*¹⁰²⁸ ; le nom de la verrière est malheureusement effacé dans le registre. Cette vergette de près de 2 m de long a donc une section de l'ordre de 1,9 cm². Les deux autres mentions se rapportent à la cathédrale de Troyes. En 1409-1410, le verrier Guiot Brisetour acquiert auprès du serrurier Jean Bon Bœuf *une verge nuesve de fer de IIII piez et demi de long à mettre en l'une des formes de la chapelle du Sauveur au prix de 2 s. 6 d. t.*¹⁰²⁹. Le prix de la livre de fer ouvrée étant de 8 d. t. la livre pour tous les autres achats de fer de cette année, il est légitime d'en conclure que cette verge d'environ 1,5 m de long pèse 3,75 livres et a donc une section de 1,6 cm². Enfin, en 1494-1495, la fabrique achète *vingt grans verges de fer neuf chacune verge de quatre à cinq piez de long pour les grans verrieres de derrier le ceur de ceste eglise pesans XLII l.* En moyenne, ces verges mesurent donc environ 1,5 m pour une masse d'un kilogramme, soit une section bien plus faible, de l'ordre 0,9 cm². Ces trois exemples donnent des sections supérieures à celles des vergettes actuelles¹⁰³⁰, les vergettes de section 0,9 cm² s'en approchant toutefois assez bien. Il est cependant difficile d'établir des hypothèses solides à partir de ces trois seules mentions, d'autant plus que leurs résultats sont loin d'être homogènes. Comme pour les barlotières-tirants, d'autres mentions ont donc été exploitées. Il est néanmoins bien plus difficile d'appréhender la section des barlotières et des vergettes lorsque leur longueur n'est pas explicitement indiquée dans les comptes. En effet, même si elles sont associées à un vitrail clairement identifié, leur longueur n'est pas nécessairement fixe dans une même fenêtre : certaines verges et certaines barlotières peuvent

¹⁰²⁸ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2483, fol. 144 r°.

¹⁰²⁹ Arch. dép. Aube, G 1559, fol. 122 r°.

¹⁰³⁰ En considérant les vergettes de section circulaire habituellement rencontrées, mesurant de 0,8 à 1 cm de diamètre, soit 0,5 à 0,8 cm² de section.

appartenir au réseau et ne pas mesurer la largeur d'une lancette. C'est pourquoi, dans les mentions relatives à la vitrerie haute du chœur de la cathédrale de Rouen, où le poids des barlotières et des verges est confondu, il est très difficile de déterminer leur part respective. D'autres mentions relatives aux verrières basses semblent néanmoins pouvoir être exploitées en ce sens. Après Pâques 1433, le serrurier Jean Paen refait quelques éléments pour les vitraux des chapelles de la cathédrale de Rouen, en particulier pour celles de saint Romain, saint Jean, saint Sever, sainte Marguerite et sainte Catherine, situées dans la nef, ainsi que pour la chapelle axiale, celle de la Vierge Marie¹⁰³¹. Chacune d'elle reçoit quatre verges pour deux de ses panneaux de verre payées 7 s. 6 d. t. pour fer et peine, soit environ 7 livres de fer à 13 d. t. la livre de fer ouvrée. Seules les verges pour les vitraux de la chapelle de la Vierge sont plus chères, à 10 s. t. les quatre, correspondant pour le même prix à une masse de 9,25 livres. L'homogénéité du prix et donc de la masse des verges achetées ici pour les verrières des chapelles de la nef semble indiquer qu'il s'agit là de vergettes standard mesurant la longueur d'un panneau de vitrail et donc d'une lancette, les baies des chapelles en question étant composées de manières identiques de quatre lancettes d'environ 70 à 75 cm de large. Le prix légèrement supérieur des vergettes achetées pour la chapelle de la Vierge dont les lancettes sont plus larges de 20 à 30 cm va bien dans le même sens. D'après ces données, ces vergettes auraient une section comprise entre 1,3 et 1,6 cm². Une dernière mention de mise en place de 14 vergettes dans la chapelle Sainte-Agathe en 1469 donne avec le même raisonnement une section de 1,1 cm² pour ces vergettes¹⁰³². Un devis de restauration de fers à vitraux de l'église Saint-Ouen de Rouen daté de 1900 qui mentionne la section des vergettes en place donne des mesures compatibles avec ces dernières : leur section est soit carrée de 12 mm de côté, soit rectangulaire équivalente de 10 x 15 mm¹⁰³³. Les quelques cas étudiés semblent donc bien montrer qu'au contraire des tirants, les sections des vergettes médiévales étaient plus importantes que celles des vergettes actuelles et étaient davantage comprises entre 1 et 1,5 cm². En revanche, aucune donnée fiable ne permet d'approcher la section des barlotières.

¹⁰³¹ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2492, fol. 21 v° et 22 r°.

¹⁰³² Arch. dép. Seine-Maritime, G 2505, fol. 135 v°. Si l'homogénéité de longueur entre les vergettes est ici moins certaine, il est cependant plus probable que les vergettes ne soient jamais plus longues que la largeur d'une lancette. La section de 1,1 cm² constitue donc en quelque sorte une section minimale.

¹⁰³³ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 081/076/0135.

III.1.1.2 L'existence de châssis de bois

Les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes semblaient montrer qu'une grande partie des verrières des chapelles du chœur ont assez longtemps été tenues en châssis de bois. En 1403, il s'agit encore de *la plus grant partie des verrieres basses d'entour du cuer*, puis en 1426-1427 et en 1485-1486 il est respectivement fait allusion aux vitraux des chapelles Saint-Nicolas et des Apôtres¹⁰³⁴. A l'heure actuelle, la plupart de ces baies basses sont composées d'une lancette unique de 75 à 140 cm de large et ne possèdent donc ni tirant de fer, ni meneau¹⁰³⁵. On peut cependant légitimement se poser la question d'une place réduite du fer dans ces fenêtres à châssis de bois, notamment dans ces fenêtres à lancettes uniques où des traverses de bois pourraient venir jouer le rôle des tirants de fer. Les archives de la cathédrale de Troyes sont toutefois muettes sur ce point. De plus, les six autres édifices étudiés n'ont quant à eux laissé aucune trace écrite ou archéologique de telles structures de bois. Quelques sources extérieures mentionnent cependant l'existence de ces châssis : leur présence est attestée à la cathédrale de Chartres et à Troyes dans l'église Saint-Pantaléon et elle est fortement supposée à la cathédrale de Poitiers.

Le cas de la cathédrale de Chartres est connu par les comptes de l'œuvre dont L. Merlet a fourni une transcription¹⁰³⁶. Les travaux ont lieu sur l'exercice de 1415-1416 et concernent la verrière de saint Lubin, située dans la quatrième baie au nord de la nef et composée de deux larges lancettes géminées surmontées d'une rose¹⁰³⁷. A plusieurs reprises, le procureur mentionne que les barreaux de fer de cette verrière *souloient etre assis en bois*¹⁰³⁸. Alors que les maçons travaillent à *faire des trous en pierre*, le verrier Jean Périer descelle les barreaux de fer pour que le serrurier Philippot Mauvoisin les rallonge en ajoutant *en chacun desdiz bouts* [des extrémités des barreaux] [...] *de son fer II livres*¹⁰³⁹. Les barreaux sont ensuite remis en place par les ouvriers et *assis en pierre*. Vingt-et-un barreaux *tant traversans comme montanz* semblent concernés par cet ouvrage, puisque le serrurier reforge quarante-deux bouts de barreaux. Selon toute vraisemblance, l'armature de fer était bien présente dans le châssis de bois pour tenir les panneaux de vitrail, bien que les barreaux

¹⁰³⁴ PJ n° 46 ; Arch. dép. Aube, G 1568, fol. 246 r°.

¹⁰³⁵ C'est notamment le cas des baies de la chapelle Saint-Nicolas qui mesurent en moyenne 1 m de large.

¹⁰³⁶ MERLET (M. L.), « Compte de l'œuvre de la cathédrale de Chartres en 1415-1416 », *Bulletin archéologique du Comité des Travaux historiques et scientifiques*, 1889, 1, p. 35-93. Je tiens à remercier Françoise Perrot pour m'en avoir communiqué les extraits.

¹⁰³⁷ ID., *Ibid.* Les travaux semblent uniquement concerner les deux lancettes inférieures puisque les comptes mentionnent uniquement « les deux verrières de saint Lubin ».

¹⁰³⁸ ID., *Ibid.*

¹⁰³⁹ ID., *Ibid.*

fussent plus courts, probablement car ils ne pouvaient pas être scellés aussi profondément dans le bois que dans la pierre. Sans tenir compte de l'éventuelle perte au feu lors de la soudure, l'ajout de 2 livres par « bout » de barreau correspond à un allongement d'environ 30 cm pour des petites barlotières de 4 cm² de section et d'environ 15 cm pour la section d'un tirant deux fois plus gros¹⁰⁴⁰.

Le cas de la cathédrale de Poitiers a été analysé par F. Perrot d'après les archives de restauration du principal vitrail de l'église, la verrière de la Crucifixion du Christ, datant de la fin du XII^e siècle et située dans une large baie à lancette unique. Le 21 novembre 1777, les comptes mentionnent dans un mémoire de serrurerie le travail suivant¹⁰⁴¹ :

- allongement de huit barres transversales par soudure ;
- avoir coupé et réajusté 19 barres recevantes, percé les trous, avoir soudé du fer à quatre barres en bas pour entrer dans la pierre et en avoir allongé quatre pour aller dans le cintre, y avoir fourré du fer, en avoir soudé trois qui étaient cassées.

Il n'est donc ici à aucun moment sujet de châssis de bois. Cependant, les travaux d'allongement de l'ensemble des barreaux du vitrail, notamment pour les faire « entrer dans la pierre » ou « aller dans le cintre », ne sont pas sans rappeler l'ouvrage de restauration de la verrière de saint Lubin à Chartres. Il est donc fort probable qu'il s'agisse ici aussi d'une mention de suppression d'un châssis de bois et des travaux qui y sont associés. Comme à Chartres, l'armature de fer préexistait donc à l'installation de la fenêtre définitive dans son cadre de pierre.

Le châssis de bois de l'église Saint-Pantaléon, reconstruite après l'incendie qui a dévasté la ville de Troyes en 1524 a quant à lui été découvert lors de restaurations effectuées dans les années 1960 par l'Agence des Bâtiments de France de l'Aube sous la direction de l'architecte S. Morisseau¹⁰⁴². Il était conservé à l'intérieur de la paroi d'une baie haute et a pu être reconstitué après dépose (cf. Figure 267). Le châssis de bois arbore ainsi la forme des fenêtres de type classique de l'édifice à cinq lancettes, reprenant l'intégralité du pourtour de la baie auquel viennent s'ajouter quatre meneaux de bois ainsi que deux poutres transverses en

¹⁰⁴⁰ L'importance de la perte au feu lors de ces soudures, si elle n'est pas quantifiable ne doit cependant pas être sous-estimée. En pratique, on peut considérer qu'elle représente grossièrement une perte de métal équivalente à la longueur sur laquelle la soudure a été effectuée. Cette longueur, nécessairement de l'ordre de quelques centimètres, ne peut pas être estimée avec plus de précision. Notons qu'il arrive que le receveur retienne cette perte de métal sur le salaire du forgeron, sous les termes de « déchets et rougneures ». Cela ne semble cependant pas être le cas ici, puisqu'il n'est nullement fait mention de tels « déchets ou rougneures » et que le forgeron est effectivement payé à la masse dépensée de son propre fer.

¹⁰⁴¹ Arch. dép. Vienne, G 191. Les transcriptions de ces mentions nous ont été transmises par F. Perrot. Je la remercie également grandement pour son analyse que je partage totalement.

¹⁰⁴² Les clichés relatifs à ces châssis nous ont été gracieusement transmis par Anthony Carreras, architecte au S.D.A.P. de l'Aube.

partie haute, les différents éléments de bois le constituant étant chevillés les uns aux autres. Comme pour les deux cas précédents, il ne semble pas non plus ici que le bois vienne se substituer au métal, mais plutôt seulement à la pierre : barlotières et vergettes restent en effet indispensables pour tenir en place les panneaux de vitrail. Seules les traverses de bois pourraient éventuellement venir remplacer les tirants habituellement rencontrés en partie haute.

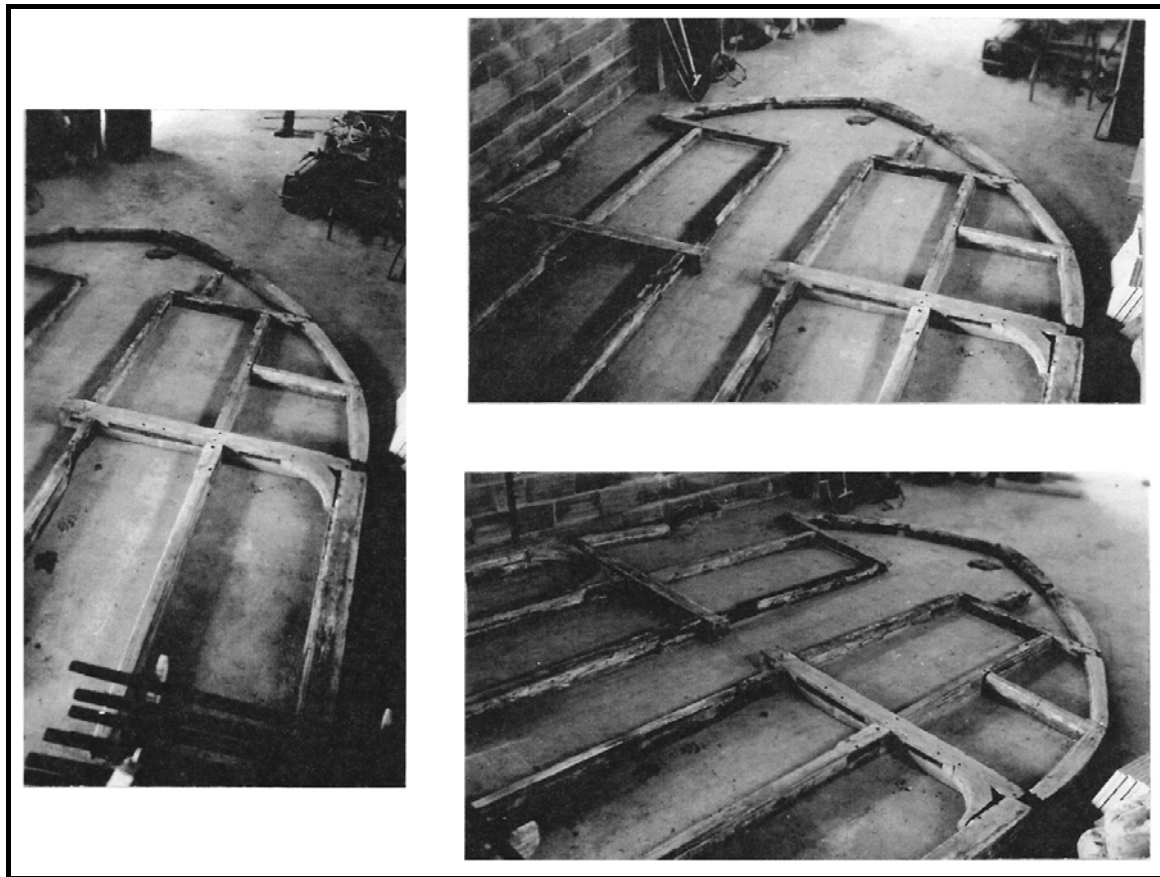


Figure 267 : Châssis de bois découverts dans l'église Saint-Pantaléon de Troyes, clichés. S. Morisseau.

Ces trois exemples semblent donc montrer qu'à la fois pour des baies à lancette unique et des baies à lancette multiples, la présence d'un cadre de bois ne vient pas ou très peu modifier les quantités de fer employées dans le vitrail qui s'y trouve. Il est ainsi possible d'en conclure pour la cathédrale de Troyes, que l'existence de châssis de bois dans les fenêtres basses des chapelles du chœur n'est pas susceptible de s'être substituée aux armatures de fer. Par extension, on peut considérer que leur éventuelle présence dans certaines baies à l'époque médiévale n'est pas à même d'influer sur les estimations réalisées quant aux quantités de fer mises en œuvre dans les vitraux, quelle que soit l'architecture de la fenêtre considérée.

III.1.1.3 Le rôle des différents éléments de l'armature du vitrail

L'armature du vitrail se compose donc au Moyen Age des éléments suivants : grosses barres, barlotières droites ou différentes formes (anneaux, carrés, trépieds...), vergettes et clavettes. Le rôle de l'ensemble de l'armature est de maintenir le vitrail en place, dans son cadre de pierre ou éventuellement comme il a été évoqué, dans son châssis de bois.

Cette armature peut cependant être décomposée en deux parties, comme le suggèrent les comptes de la cathédrale de Troyes au sujet des baies hautes de la nef, vitrées au tournant des XV^e et XVI^e siècles. Dans chacune de ces formettes, mille livres de fer seront mises en œuvre *pour les quatre gros barreaux, goujons et crampons servants à la maçonnerie comme pour les petiz barreaux locquettez, verges servans aux verrières*¹⁰⁴³. La dichotomie faite par le procureur de la fabrique entre les éléments qui servent à tenir la maçonnerie, à savoir les barlotières-tirants, les goujons et les crampons et les éléments qui servent à tenir le vitrail, c'est-à-dire les simples barlotières et les vergettes est pleine de sens quant à la fonction première de chaque type de fer.

Il a déjà été évoqué que les tirants sont le plus souvent pourvus de tenons, ce qui leur donne également un rôle dans le maintien des verrières, mais leur fonction originelle est bien de porter soutien à la structure de pierre. Certains, comme par exemple ceux des fenêtres des chapelles de la cathédrale de Rouen, ne sont par ailleurs pas « loquetés » et ne sont donc pas raccordés au vitrail. Leur rôle n'en est que plus clair. De même, il arrive que, lorsque la construction du remplage de la fenêtre précède de beaucoup l'installation du vitrail, l'architecte y fasse quand même installer les barlotières-tirants pour asseoir la structure de

¹⁰⁴³ PJ n° 69, fol. 58 r°.

Pierre. C'est notamment le cas au début du XVI^e siècle à la cathédrale de Troyes quand la fabrique entreprend de modifier les baies hautes du transept oriental : les six fenêtres sont refaites en 1505-1506 et pourvues de tirants, mais seule l'une d'entre elle est vitrée la même année. Les trois autres ne le seront que plusieurs dizaines d'années plus tard. D. Cailleaux note une mise en œuvre similaire dans le transept de la cathédrale de Sens à la même époque. Selon lui, « une armature métallique avait été mise en place avant la pose des vitraux [...]. Il s'agissait de placer des barres dans la largeur des fenêtres pour servir de renforts aux meneaux et pour permettre ultérieurement de placer des panneaux vitrés »¹⁰⁴⁴. L'accumulation de tels exemples ne saurait être une tâche difficile.

A l'inverse, barlotières et vergettes ne jouent apparemment aucun rôle dans la statique de la fenêtre : leur unique fonction est de permettre la pose des vitraux et de rigidifier leur structure, notamment contre les poussées des vents. Par ailleurs, lors de la donation d'un vitrail, ces barlotières ainsi que les vergettes et les clavettes sont comprises dans le prix du vitrail et payées par le donateur. C'est notamment le cas de certaines baies hautes de la nef de la cathédrale de Troyes, comme celle offerte par l'évêque de Metz en 1501-1502¹⁰⁴⁵, ou encore de plusieurs des nouvelles baies hautes du transept. Pour le cas de la verrière offerte par l'évêque de Metz, les comparaisons avec nos estimations semblent de plus bien montrer que les grosses barres n'étaient quant à elles pas comprises dans ces dons¹⁰⁴⁶.

Voilà donc comment les bâtisseurs médiévaux envisageaient la fonction de chacun de ces éléments composant l'armature de fer d'un vitrail. Une fois cette constatation faite, il convient de s'interroger sur le rôle effectivement joué par chaque type de barre. Les barlotières ne jouent-elles vraiment aucun rôle dans la statique des fenêtres ? Le rôle des barlotières-tirants est-il de tenir les meneaux ou l'ensemble de la structure ? Quelles sont leurs importances respectives dans l'absorption des poussées des vents sur le vitrail et sur la fenêtre ?

Si la fonction architectonique des vergettes est nulle quelque soit l'édifice considéré, celle des petites barlotières n'est probablement jamais beaucoup plus importante. En effet, leur rôle ne se limite qu'à un travail de compression, tout travail de traction leur étant interdit, non seulement par leur taille réduite et leur faible section, mais surtout à cause de la faible profondeur de leurs ancrages. De manière théorique, elles s'opposent toutefois par leur

¹⁰⁴⁴ CAILLEAUX (D.), *La cathédrale en chantier...*, op. cit., p. 387-388. Il cite les comptes de la fabrique de la cathédrale : « A Jean Jacob, serrurier [...] pour avoir forgé 5 barreaux de la largeur d'une des verrières de lad. croisée... », Arch. dép. Yonne, G 1142, fol. 177 r^o.

¹⁰⁴⁵ PJ n^o 72.

¹⁰⁴⁶ Voir « les armatures de vitraux de la cathédrale de Troyes ».

rigidité aux mouvements des meneaux dans le plan de la fenêtre, bien que cette résistance soit probablement plutôt faible. En revanche, leur défaut d'ancrage leur interdit vraisemblablement tout autre rôle dans la statique de la structure de pierre.

Le cas des barlotières-tirants ou barlotières traversantes est bien différent. Disposées à intervalles réguliers, en plus d'une régulation de l'écartement des parements lors de leur élévation avant qu'ils ne soient contrebutés par les poussées des arcs, elles assoient également solidement les meneaux dans le plan de la fenêtre et le tirant supérieur soutient également l'ensemble du réseau. Il est possible de s'interroger si cette seconde fonction n'est pas leur fonction principale. En effet, les baies à lancette unique sans meneau ne sont que rarement pourvues de tirants. Dans les fenêtres à lancettes multiples, alors que l'étude des jointures entre les différents blocs constitutifs des meneaux nous permettait de déterminer si une barlotière était potentiellement continue ou non, il est légitime de poser la question suivante : les meneaux sont-ils discontinus pour laisser passer un tirant servant de renfort à l'ensemble de la structure ou bien l'existence de ces tirants n'est-elle que la conséquence de la discontinuité nécessaire des meneaux pour faciliter leur taille et leur mise en œuvre ? Si le système complexe des jeux de force dans une fenêtre gothique ne saurait se réduire à une réflexion totalement binaire, certaines observations permettent d'échafauder des hypothèses de travail.

On remarque tout d'abord que, dans les sept édifices étudiés, le nombre de tirants n'est pas nécessairement proportionnel à la hauteur de la fenêtre dans laquelle ils se trouvent, même si logiquement, plus celle-ci est haute, plus le nombre de tirants aura tendance à être important. A titre d'exemple, les baies hautes de la nef de cathédrale de Troyes et celles de l'abbatiale Saint-Ouen de Rouen, qui mesurent près de 10 m de haut, comptent deux tirants, tout comme la plupart des baies hautes de la cathédrale de Rouen qui ne mesurent que 6,5 m de haut. De plus, il semble même qu'à l'origine, certaines de ses fenêtres, notamment celles des travées droites du chœur, possédaient trois tirants chacune¹⁰⁴⁷. En revanche, en observant plus attentivement les meneaux de chaque fenêtre, on s'aperçoit que, sauf exception ou restauration manifeste, le nombre de tirants installés dans une fenêtre correspond précisément au nombre de jointures entre les différents blocs constitutifs des meneaux. Le même constat peut être fait pour les tirants et meneaux de certaines baies non vitrées, comme ceux du portail des Marmousets, du triforium ou encore du deuxième étage de la tour de la croisée à l'église Saint-Ouen de Rouen. De même, à la cathédrale de Rouen, la mise en œuvre quelque peu

¹⁰⁴⁷ Voir « les armatures de vitraux de la cathédrale de Rouen ».

originale relevée dans la fenêtre haute la plus orientale de la nef, avec une barlotière-tirant médiane discontinue au niveau du meneau médian est révélatrice du rôle qui lui est destiné : une telle barre, qui n'a pu être installée qu'une fois que le meneau central était mis en place, ne peut jouer d'autre rôle que celui de renfort des meneaux latéraux. La suppression supposée de tirants dans les baies de certaines églises, notamment dans le chœur de l'église Saint-Urbain après les restaurations menées par J.-M. Musso à la fin du XX^e siècle ou encore dans les travées droites du chœur de la cathédrale de Rouen pourrait également bien uniquement être liée à une réorganisation de la structure des meneaux. Tous ces faits convergent vers l'hypothèse d'une installation des tirants en fonction du nombre de pièces dont sont constitués les meneaux. Le nombre de tirants par fenêtre ne serait alors que la conséquence d'une multiplicité de facteurs : hauteur de la fenêtre, dimension des bancs de pierre disponibles en carrière, caractéristiques mécaniques de la pierre, choix d'une plus grande facilité de mise en œuvre...

Le constat semble identique sur d'autres édifices, en particulier à la cathédrale de Beauvais, mais il diffère cependant pour certains, comme par exemple la basilique de Saint-Denis, la cathédrale du Mans ou encore celle d'Amiens. Dans les baies hautes du chœur de ces trois églises, le nombre de jointures par meneau, chacun étant constitué d'une demi-douzaine à une dizaine de blocs, excède de beaucoup le nombre de tirants présents au nombre de un ou deux par baie. De plus, au Mans, le système d'ancrage de certaines longues barlotières-tirants des immenses fenêtres hautes du transept a pu être appréhendé suite à une dépose. Ces grandes barres sont à leurs extrémités recourbées comme des agrafes et pénètrent d'une vingtaine de centimètres dans la pierre¹⁰⁴⁸. Une telle mise en œuvre leur permet, outre le soutien des meneaux, de jouer véritablement un rôle de tirant au sein de ces immenses baies de 80 m². Le même système d'ancrage a également été relevé pour certains tirants de la cathédrale de Beauvais et tout porte à croire qu'il est identique dans bon nombre d'églises gothiques¹⁰⁴⁹.

Au sujet de l'influence des poussées des vents et du rôle joué par chaque partie de la fenêtre pour résister à ces forces, R. Bartel *et al.* ont réalisé l'analyse statique d'une fenêtre gothique de l'église Saint-Georges de Nördlingen¹⁰⁵⁰. La fenêtre dont il est question mesure environ 12 m de haut pour 3,70 m de large et se compose de six lancettes surmontées d'un

¹⁰⁴⁸ TAUPIN (J.-L.), « Le fer des cathédrales »..., *op. cit.*

¹⁰⁴⁹ ID., *Ibid.*

¹⁰⁵⁰ BARTEL (R.), SCHIEMANN (L.), JAGFELD (M.), « Static analysis and evaluation of a gothic « choir-window » consisting of a filigree tracery and slender stone ribs », dans *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, Madrid, 2003, p. 333-340.

réseau et d'une traverse horizontale en pierre située environ à mi-hauteur. Bien que l'article ne le précise pas de manière explicite, il semble d'après leur importante section de 3 cm x 5 cm, qu'elles soient traversantes. L'auteur reconnaît à ces barres un rôle essentiel dans la rigidité horizontale qu'elles apportent à la fenêtre lors de sa construction, et une fois celle-ci achevée, dans la stabilité verticale des meneaux dans le plan de la fenêtre. Cependant, la modélisation effectuée semble montrer que ces barres ne sont pas à même d'encaisser la totalité des poussées des vents sans que la fenêtre ne subisse d'importants dommages. D'après l'auteur, elles ne prennent qu'une partie réduite de la charge et ont essentiellement un rôle de sécurité secondaire au cas où l'un des éléments de pierre vienne à faillir. Dans ce type de fenêtre, la majeure partie des poussées des vents semble donc être absorbée presque uniquement par le squelette de pierre de la fenêtre, certes fortement aidé par la traverse horizontale en pierre. On peut supposer qu'en l'absence d'une telle traverse, comme dans la totalité des fenêtres que nous avons étudiées, les tirants de fer horizontaux ont peut-être davantage un rôle d'encaissement de la charge des vents. Ces résultats, s'ils ne remettent pas en question le caractère nécessaire de l'armature de métal, d'une part pour assurer soutien aux meneaux et d'autre part à l'ensemble de la fenêtre, vont néanmoins un peu à l'encontre des idées véhiculées jusqu'ici quant à l'importance des tirants de fer dans la statique des fenêtres contre les poussées des vents (cf. Figure 269)¹⁰⁵¹.

Au vu des différentes hypothèses développées ci-dessus, il est toutefois évident que, si le rôle des vergettes et des petites barlotières est uniquement lié au soutien du vitrail, la fonction des grands tirants qui parent les fenêtres des églises gothiques n'est pas simple mais multiple : stabilité lors de la construction, renfort de l'arc de la fenêtre, renfort des meneaux, encaissement partiel des poussées des vents... De plus, suivant l'édifice considéré, l'un ou l'autre des ces différents rôles structurels prévaut probablement sur les autres.

¹⁰⁵¹ TAUPIN (J.-L.), « Le fer des cathédrales »..., *op. cit.* ; ERLANDE-BRANDENBURG (A.), « L'architecture rayonnante et le métal »..., *op. cit.*

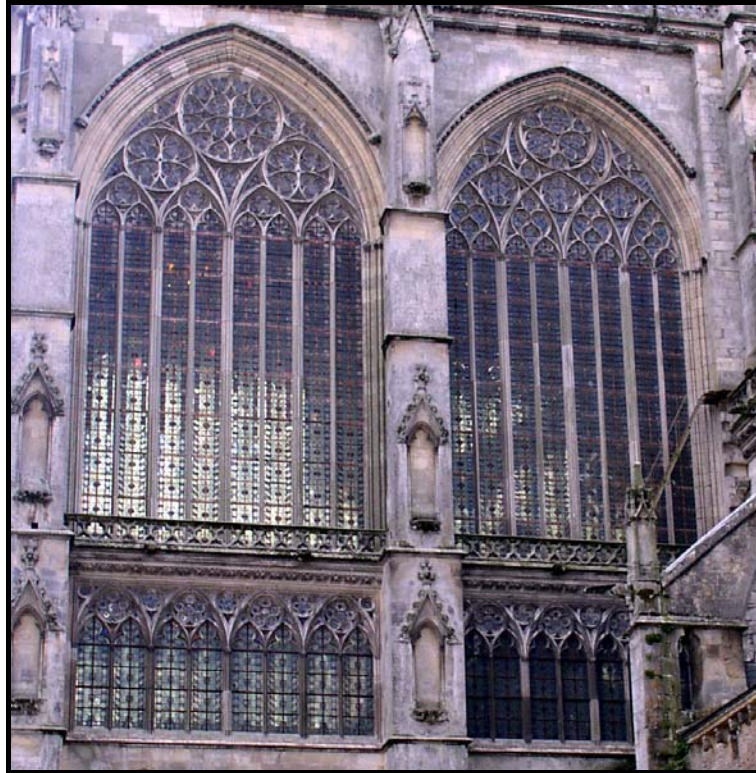


Figure 268 : Baies hautes du transept de la cathédrale du Mans et leurs barlotières-tirants.

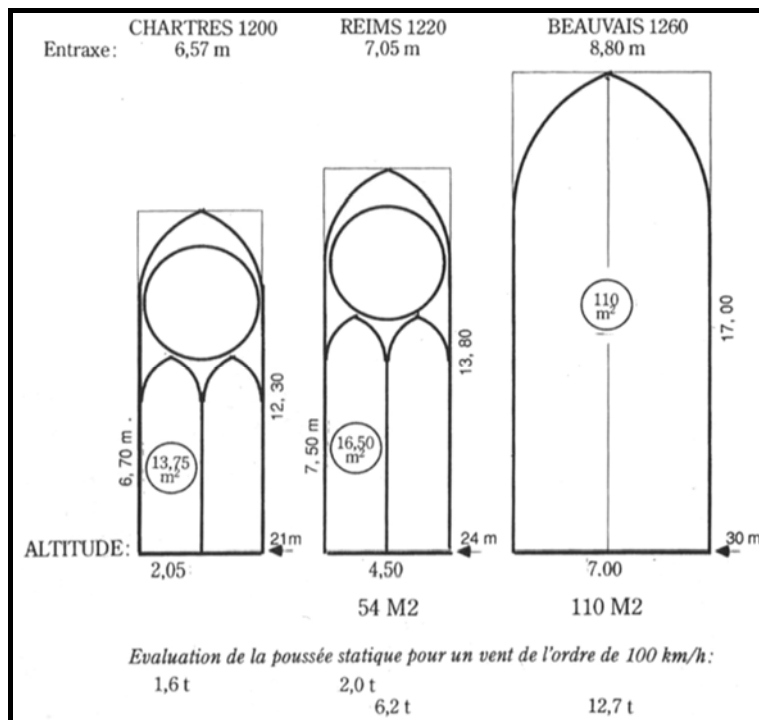


Figure 269 : Quantification des effets mécaniques en fonction de l'évolution des grandes baies, J.-L. Taupin d'après un dessin de Viollet-le-Duc¹⁰⁵².

¹⁰⁵² TAUPIN (J.-L.), « Le fer des cathédrales »..., *op. cit.*, p. 19-26.

III.1.1.4 Des chaînages dans les baies

Si l'emploi de tirants a été attesté dans la plupart des fenêtres des sept églises étudiées, leur mise en œuvre sous forme de chaînage ne semble en revanche pas fréquente. Selon toute vraisemblance, seuls ceux des baies hautes du chœur de l'église Saint-Urbain sont chaînés les uns aux autres à l'intérieur des piles. Les archives ne mentionnent pas de chaînage pour les fenêtres hautes du chœur de la cathédrale de Rouen ni pour les baies hautes de la nef de la cathédrale de Troyes. De plus, dans le chœur de la cathédrale de Troyes comme dans celui de la cathédrale de Rouen où à l'église Saint-Jean-au-Marché, on observe de nombreux défauts d'alignement entre les tirants de fenêtres mitoyennes, interdisant toute jonction dans les piédroits des baies. En outre, à l'exception des tirants hauts dont l'ancrage se fait au niveau d'un joint entre deux blocs de pierre de manière quasi-systématique, les autres tirants sont fréquemment ancrés en pleine pierre à leurs extrémités : ils ne sont donc pas chaînés. Enfin, tous les tests de continuité électrique qui ont été réalisés sur les tirants accessibles des églises du corpus se sont révélés négatifs¹⁰⁵³. D'après les investigations effectuées, deux interrogations subsistent néanmoins. Elles concernent les tirants hauts de la chapelle axiale de la cathédrale de Rouen ainsi que les tirants hauts des baies hautes du chœur de l'église Saint-Ouen de Rouen pour lesquels l'absence de chaînage n'a pas pu être prouvée¹⁰⁵⁴.

La mise en œuvre des tirants qui traversent les baies sous forme de chaînage ne semble donc pas si fréquente dans les églises et cathédrales gothiques. Si elle a été prouvée à l'église Saint-Urbain après démontage et reconstruction complète du chœur ainsi qu'à la Sainte-Chapelle après démontage de certains contreforts¹⁰⁵⁵, elle n'est que supposée pour tous les autres édifices. A Beauvais par exemple, sans être très explicite et bien qu'il n'en donne pas la preuve, J.-L. Taupin semble affirmer que les tirants des baies hautes sont également chaînés (cf. Figure 270)¹⁰⁵⁶. A la cathédrale de Bourges en revanche, M. Férauge et P. Mignerey pose comme peu probable l'hypothèse d'un éventuel chaînage des tirants traversant les baies hautes¹⁰⁵⁷.

Saint-Urbain de Troyes, la Sainte-Chapelle de Paris et éventuellement la cathédrale de Beauvais sont trois édifices exceptionnels, comptant peut-être parmi les plus particuliers et les

¹⁰⁵³ Rappelons que la non continuité électrique peut-être la conséquence d'une absence de chaînage ou d'une absence de tension dans un chaînage ayant laissé des points d'oxydation non conducteurs se développer à la jonction entre les différents chaînons.

¹⁰⁵⁴ Il semble cependant fort peu probable que ces tirants soient chaînés.

¹⁰⁵⁵ ERLANDE-BRANDENBURG (A.), « L'architecture rayonnante et le métal »..., *op. cit.*

¹⁰⁵⁶ TAUPIN (J.-L.), « Le fer des cathédrales »..., *op. cit.*

¹⁰⁵⁷ FERAUGE (M.), MIGNEREY (P.), « Les cathédrales de Bourges et de Reims »..., *op. cit.*, p. 28.

plus spectaculaires de l'art gothique dans leurs élévations et dans l'évidement extrême de la pierre qui s'efface au profit du vitrail et de la lumière. La cathédrale de Beauvais atteint près de 50 m de hauteur sous voûte avec des ouvertures de 110 m² dans ses fenêtres hautes, la chapelle haute de la Sainte-Chapelle de Paris forme un vaisseau de 20,5 m de haut sur 10,7 m de large et compte 618 m² de verrières, quant à l'église Saint-Urbain de Troyes, elle est selon les dires de Viollet-le-Duc, « certainement la dernière limite à laquelle la construction de pierre puisse atteindre ». Il ne serait donc pas étonnant que ces édifices aient chacun nécessité une conception particulière avec des renforts extraordinaires qu'on ne retrouve pas dans les autres églises et cathédrales gothiques. Pour la cathédrale de Beauvais et la Sainte-Chapelle, ces chaînages des baies hautes ne sont en outre qu'une petite partie de l'ensemble des armatures de fer qui enserrant ces édifices pour assurer leur statique.



Figure 270 : Baies hautes du chœur de la cathédrale de Beauvais avec leurs tirants.

III.1.1.5 Estimations et évolution des quantités de fer mises en œuvre dans les armatures de vitraux

Les quantités totales de fer mises en œuvre dans les vitraux des sept églises étudiées n'ont pu être abordées que par l'intermédiaire des armatures actuelles. Malgré les différences existantes avec les armatures médiévales qui ont été soulignées ci-dessus, les quelques rapprochements qui ont pu être effectués sur certains vitraux entre les données de terrain et les données des comptes médiévaux montrent que, le plus souvent, les divergences sont assez minimales. Les défauts de masse constatés sur certains éléments, notamment les vergettes, se trouvent en effet compensés par les excès réalisés sur le rajout des feuillards et la section des barlotières-tirants. A l'échelle d'une église, l'ordre de grandeur reste dans tous les cas inchangé.

Les quantités de fer employées dans les vitraux se comptent en tonnes, et même en dizaines de tonnes pour les édifices ayant la plus grande surface vitrée. Les deux églises du corpus ayant les fenêtres les plus grandes, l'abbatiale Saint-Ouen de Rouen et la cathédrale de Troyes sont de loin les plus chargées en fer avec environ 25 tonnes chacune. La cathédrale de Rouen, de dimensions similaires, mais dont les fenêtres hautes sont de bien plus petites dimensions, compte quant à elle environ 15 tonnes de fer dans ses vitraux. Parmi les plus petites églises, Saint-Urbain de Troyes et ses immenses fenêtres atteignent dès la période médiévale près de 9 tonnes de fer, alors même que les six baies de sa nef haute contenant encore 3 tonnes de fer n'étaient pas construites. Les verrières de Saint-Urbain de Troyes atteignent ainsi presque la même quantité de fer que celles de la cathédrale de Rouen, pourtant près de trois fois plus nombreuses. Les trois dernières églises, Saint-Maclou de Rouen, Saint-Jean-au-Marché et Sainte-Madeleine de Troyes, dont les baies sont bien plus petites¹⁰⁵⁸, ne comptent qu'entre 2,5 et 5 tonnes de fer environ. A titre de comparaison, une série d'estimations supplémentaires a été réalisée sur d'autres cathédrales gothiques lors de prospections effectuées en Normandie (cf. Tableau 107). Les quantités de fer mises en œuvre y sont comprises entre 3,5 tonnes pour la cathédrale de Coutances, dont les petites dimensions sont la conséquence de sa reconstruction dans un style gothique en conservant de nombreuses parties de l'édifice roman, et 19 tonnes pour la cathédrale du Mans et ses immenses baies du transept de 80 m², sommets de l'art rayonnant tardif du XIV^e siècle, chiffres qui sont donc bien comparables aux résultats obtenus sur les églises rouennaises et troyennes.

¹⁰⁵⁸ A l'exception des baies du chœur de l'église Saint-Jean-au-Marché.

Edifice	Période	Masse de fer dans les vitraux	Commentaires
Cathédrale de Rouen	XIII ^e -XV ^e s.	15 tonnes	
Saint-Ouen de Rouen	XIV ^e -XV ^e s.	25 tonnes	
Saint-Maclou de Rouen	XV ^e s.	5,5 tonnes	
Cathédrale de Troyes	XIII ^e -XV ^e s.	25 tonnes	
Saint-Urbain de Troyes	XIII ^e -XIV ^e s.	9 tonnes	Sans compter les baies hautes de la nef qui datent du XIX ^e s.
Saint-Jean-au-Marché de Troyes	XIII ^e -XVI ^e s.	5 tonnes	
Sainte-Madeleine de Troyes	XII ^e et XVI ^e s.	2,5 tonnes	
Cathédrale de Bayeux	XIII ^e s.	10 tonnes	Peu de barlotières-tirants. Grandes fenêtres de 40 m ² sans meneaux dans le transept.
Cathédrale de Sées	XII ^e -XIV ^e s.	7,5 tonnes	Peu de barlotières-tirants.
Cathédrale de Coutances	XIII ^e -XV ^e s.	3,5 tonnes	Pas de barlotières-tirants. Fenêtres très petites.
Cathédrale d'Evreux		12 tonnes	Petites fenêtres dans la nef.
Cathédrale du Mans	XII ^e -XV ^e s.	19 tonnes	Fenêtres de la nef très petites. Grandes fenêtres de 80 m ² dans le transept.

Tableau 107 : Quantités de fer mises en œuvre dans les vitraux de certaines églises gothiques.

Il faut tout d'abord rapprocher ces données des seules autres estimations réalisées sur les quantités de fer employés dans les vitraux d'églises gothiques, celles de W. Haas sur les églises du Haut-Palatinat, qui le premier s'est livré à ce genre d'exercice un peu périlleux mais indispensable¹⁰⁵⁹. Il estime la part du fer des vitraux de la cathédrale de Ratisbonne à 13,5 tonnes et donne également les chiffres de 3,6 tonnes et 4,9 tonnes respectivement pour l'église dominicaine Saint-Blaise de Ratisbonne et pour l'église Saint-Martin d'Amberg. Les détails donnés par W. Haas sur ses estimations laissent entendre qu'il n'a comptabilisé que les barres de fer, barlotières et tirants, puisqu'il donne pour chaque église uniquement un nombre de mètres linéaires de barres et une section moyenne. Si le nombre de mètres linéaires est comparable à celui que l'on retrouve dans les églises étudiées (cf. Tableau 108), la section prise par W. Haas ressemble plus à celle de nos barlotières-tirants qu'à celle des petites

¹⁰⁵⁹ HAAS (W.), « Die Rolle des Eisens... », *op. cit.*

barlotières¹⁰⁶⁰. Notre méconnaissance des dimensions des barres de ces églises ne permet pas de statuer sur une éventuelle exagération de sa part ; il est en effet fort possible que les barlotières soient traversantes et d'importante section, comme c'est le cas pour les fenêtres du transept de la cathédrale du Mans par exemple.

Edifice	Mètres linéaires
Cathédrale de Ratisbonne	1700 m
Saint-Blaise de Ratisbonne	500 m
Saint-Martin d'Amberg	620 m
Cathédrale de Rouen	2080 m
Saint-Ouen de Rouen	3470 m
Saint-Maclou de Rouen	850 m
Cathédrale de Troyes	4060 m
Saint-Urbain de Troyes	2370 m
Saint-Jean-au-Marché de Troyes	930 m
Sainte-Madeleine de Troyes	420 m

Tableau 108 : Nombre de mètres linéaires de barres de fer mises en œuvre dans les édifices du corpus, comparaison avec les données de W. Haas.

De plus, contrairement à nous, W. Haas n'a comptabilisé ni les vergettes, ni les ensembles clavette/tenon, qui représentent jusqu'à plusieurs tonnes. Il semblerait donc qu'au final, W. Haas a peut-être un peu mésestimé la quantité de fer présente dans ces églises du Haut-Palatinat. Malgré ces différences dans les méthodes de calcul, on observe une grande similitude des ordres de grandeur entre les estimations de W. Haas et les nôtres. Il semble donc possible d'en conclure que les baies d'une petite église gothique contiennent au moins quelques tonnes de fer, chiffre qui passe à environ 25 tonnes pour les églises aux verrières les plus grandes. La cathédrale de Troyes et l'église Saint-Ouen de Rouen sont en effet parmi les églises ayant la plus importante surface vitrée et constituent donc probablement une sorte de maximum pour les quantités de fer mises en œuvre dans les vitraux d'une église gothique¹⁰⁶¹. Ces estimations sont toutefois des valeurs figées qui ne tiennent pas compte de l'histoire de l'édifice, ses réparations, et autres modifications des vitraux. C'est notamment pour cette

¹⁰⁶⁰ Il utilise des sections moyennes de 10 cm² (8 cm² seulement dans le cas de Saint-Blaise).

¹⁰⁶¹ Il faudrait leur ajouter la cathédrale Saint-Etienne de Metz. Les cathédrales de Beauvais et du Mans, si elles possèdent les baies les plus grandes arrivent loin derrière en total de surface vitrée. En effet, la première n'a pas de nef et les baies de la nef de la seconde, construites au XII^e siècle, sont de très petites dimensions.

raison qu'il est difficile d'établir, à partir de ces seules informations, une chronologie quant à l'évolution de la masse de fer utilisée dans les baies des églises gothiques, d'autant plus que toutes ces églises ne sont pas de tailles comparables et qu'elles ne sont de surcroît pas toutes représentative d'une période donnée : l'histoire des vitraux des cathédrales de Troyes et de Rouen s'étale sur plus de trois siècles, l'église Saint-Ouen de Rouen marie un style rayonnant tardif avec le style flamboyant, et les églises Sainte-Madeleine de Troyes et Saint-Jean-au-Marché mêlent respectivement le style flamboyant à un gothique plus primitif et à des renaissances classiques du XVI^e siècle. Seules les églises Saint-Urbain de Troyes et Saint-Maclou de Rouen sont respectivement bien représentatives de la période rayonnante et de la période flamboyante.

L'idée évoquée dans un premier temps par Viollet-le-Duc et reprise plus tard par J.-L. Taupin, A. Erlande-Brandenburg ou encore P. Benoit, selon laquelle on assiste à une explosion de l'importance de la surface vitrée et par conséquent des quantités de fer employées dans les vitraux à partir de la période rayonnante n'est cependant pas à remettre en cause¹⁰⁶². Bien au contraire, l'exemple de l'église Saint-Urbain de Troyes, canon du gothique rayonnant, qui, avec un nombre réduit de fenêtres, compte environ 12 tonnes de fer, soit bien plus que dans des cathédrales plus grandes, mais commencées à des périodes antérieures, comme la cathédrale de Coutances, celle de Sées ou encore celle de Bayeux, abonde bien en ce sens. De même, les 25 tonnes estimées pour la cathédrale de Troyes et l'église Saint-Ouen de Rouen qui sont fortement marquées par les périodes rayonnante et flamboyante. Dans une moindre mesure, les 19 tonnes de la cathédrale du Mans, dont 17 correspondent aux parties les plus tardives, le chœur et le transept, essentiellement de style rayonnant, sont également représentatives de cette forte augmentation des quantités de fer requises dans les vitraux à partir de cette période. Les deux plus grandes fenêtres du transept dont la surface cumulée dépasse les 150 m² contiennent à elles seules plus de 4 tonnes de barres de fer. On peut imaginer que si la nef avait été reprise au milieu du XIII^e siècle en même temps que le chœur ou alors plus tardivement avec le transept, la cathédrale du Mans dépasserait les 25 tonnes de Saint-Ouen et de la cathédrale de Troyes. Le même constat pourrait être fait pour la cathédrale de Beauvais dont la nef n'a jamais été construite et dont la surface vitrée de chacune des grandes fenêtres du chœur dépasse les 110 m².

¹⁰⁶² ERLANDE-BRANDENBURG (A.), « L'architecture rayonnante et le métal »..., *op. cit.* ; TAUPIN (J.-L.), « Le fer des cathédrales »..., *op. cit.* ; BENOIT (P.), « La marque du fer », *Les cahiers de Science et Vie*, n° 69, Sciences et techniques des bâtisseurs de cathédrales, juin 2002, p. 50-53.

Les grandes églises des périodes rayonnante et flamboyante sont donc bien celles qui ont nécessité les plus grandes quantités de fer dans leurs vitraux. Mais cette augmentation de la masse de fer mise en œuvre dans les fenêtres de ces édifices sont-elles dues essentiellement à la grande taille de leurs verrières ou alors les besoins en fer par rapport à la surface vitrée sont-ils également accrus dans ces grandes fenêtres ? Viollet-le-Duc affirme dans l'article « Armatures » de son *Dictionnaire Raisonné* qu'à partir du milieu du XIII^e siècle, donc lors de l'avènement de la période rayonnante, les besoins en fer sont comparativement moindres que précédemment par rapport à la surface à vitrer : alors que la première période gothique se caractérise par des baies à lancette unique dont le vide est nécessairement divisé par des armatures de fer, les meneaux de pierre qui constituent le remplage des fenêtres de style rayonnant viennent s'y substituer¹⁰⁶³. Ses affirmations ne sont toutefois pas étayées par des exemples précis ni des données chiffrées. Il est donc possible de compléter ou d'infirmer ses propos avec les informations obtenues sur les églises troyennes et rouennaises.

Pour certaines fenêtres, les comptes de la fabrique donnent en effet en plus de la masse de fer employée, la surface de vitrail mise en œuvre par le maître verrier en pieds carrés. C'est notamment le cas des fenêtres hautes du chœur de la cathédrale de Rouen ainsi que de celles du transept de la cathédrale de Troyes. Pour les autres fenêtres, il est possible d'estimer la surface de la fenêtre à la manière de Viollet-le-Duc, le calcul comptabilise alors également les éventuels meneaux de pierre présents dans le remplage donnant donc une surface légèrement supérieure. Les quantités de fer sont alors celles des nos estimations. Cette seconde méthode a été utilisée pour certaines fenêtres sur lesquelles les données des comptes n'étaient pas disponibles afin de pouvoir établir des comparaisons.

Parmi l'ensemble des édifices étudiés, les seules baies encore vitrées datant du début du XIII^e siècle se trouvent dans les chapelles du chœur de la cathédrale de Troyes et dans le déambulatoire du chœur de la cathédrale de Rouen, les fenêtres hautes de l'église de la Madeleine de Troyes ayant en effet perdu leurs vitraux. Aucun compte n'est conservé pour cette époque, aussi c'est la surface totale de la fenêtre qui a été estimée pour toutes ces fenêtres¹⁰⁶⁴. Les rapports calculés se situent aux alentours de 10 kg de fer par m² de verrière pour celles dont les armatures ne consistent qu'en montants et barlotières horizontales et passent à environ 25 kg/m² pour celles dont les armatures associent à ces montants des formes de cercles et de losanges épousant la forme du vitrail comme à la cathédrale de Troyes. Une

¹⁰⁶³ VIOLLET-LE-DUC (E.), *Dictionnaire raisonné...*, op. cit., tome 1, p. 463-465.

¹⁰⁶⁴ Pour ces baies à lancettes uniques la surface vitrée est exactement celle de l'ouverture.

des baies dont l'armature est particulièrement chargée compte même près de 40 kg de fer par mètre carré de vitrail (cf. Tableau 109).

Edifice	Fenêtre	Masse de fer (kg)	Surface de la fenêtre (m ²)	Rapport (kg/m ²)
Cathédrale de Rouen	Vitrail de St Julien l'Hospitalier	230	22,1	10,4
Cathédrale de Troyes	Chapelle axiale sud 3	100	4,4	22,9
Cathédrale de Troyes	Chapelle sud 3-1	85	3,3	25,6
Cathédrale de Troyes	Chapelle nord 5-3	150	3,85	39,0
Cathédrale de Troyes	Chapelle nord 6-3	95	3,85	24,7
Sainte-Madeleine de Troyes	Nef haute N1	75	8	9,4

Tableau 109 : Rapport fer/verre pour des verrières du début du XIII^e siècle.

Pour la deuxième moitié du XIII^e siècle qui voit l'avènement de la période rayonnante, les vitraux de l'église Saint-Urbain de Troyes et des baies hautes du chœur haut de la cathédrale de Troyes donnent des rapports compris entre 8 et 12 kg/m² (cf. Tableau 110).

Edifice	Fenêtre	Masse de fer (kg)	Surface de la fenêtre (m ²)	Rapport (kg/m ²)
Cathédrale de Troyes	chœur haut	595	53,1	11,2
Saint-Urbain de Troyes	Transept haut NE	450	40	11,3
Saint-Urbain de Troyes	Chœur haut axe	330	27,2	12,1
Saint-Urbain de Troyes	Chœur bas axe	150	14,6	10,3
Saint-Urbain de Troyes	Fenêtre basse nef	60	7,0	8,6

Tableau 110 : Rapport fer/verre pour des verrières de la seconde moitié du XIII^e siècle.

Ces valeurs restent à peu près identiques pour l'ensemble du XIV^e siècle avec les vitraux de la chapelle de la Vierge de la cathédrale de Rouen, les baies du chœur de l'église Saint-Ouen ou encore le transept et les chapelles orientales de la nef de la cathédrale de Troyes (cf. Tableau 111). Les données des comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes pour les verrières hautes du transept donnent des résultats similaires (cf. Tableau 112) : pour

la plupart des grandes baies, ce rapport oscille entre 9 et 12 kg/m², avec une pointe à 14,3 kg/m² pour la verrière de saint Mamer pour laquelle l'importance particulière de la masse de fer employée avait déjà été soulignée¹⁰⁶⁵. En revanche, pour les deux roses, il est compris entre 5 et 6 kg/m² soit près de deux fois moins que les autres verrières. Cette différence qui existe entre la dimension des baies, la masse de fer et la surface de verre mises en œuvre montre bien que la quantité de fer employée est directement fonction du dessin du remplage et de celui du vitrail. Les roses sont à ce titre un très bon exemple, avec respectivement 429 et 472 kg de fer, quantités comparables aux grandes fenêtres, mais des surfaces vitrées bien plus importantes de respectivement 686 et 940 pieds carrés¹⁰⁶⁶. L'importance de la maçonnerie dans le réseau des roses entraîne naturellement un besoin diminué en armatures de fer par rapport à la surface du vitrail.

Edifice	Fenêtre	Masse de fer (kg)	Surface de la fenêtre (m ²)	Rapport (kg/m ²)
Cathédrale de Rouen	Chapelle Vierge droite	400	40,5	9,9
Saint-Ouen de Rouen	Chœur bas nord 3	500	60	8,3
Saint-Ouen de Rouen	Chapelle nord 1-2	170	18	9,4
Saint-Ouen de Rouen	Triforium chœur nord 2	200	23,1	8,7
Saint-Ouen de Rouen	Chœur haut nord 2	345	52,8	6,5
Cathédrale de Troyes	Chapelle nef nord	235	33,6	7,0
Cathédrale de Troyes	transept SO2	470	41,4	11,4

Tableau 111 : Rapport fer/verre pour des verrières du XIV^e siècle.

¹⁰⁶⁵ Voir « les armatures de vitraux de la cathédrale de Troyes ».

¹⁰⁶⁶ La grande différence de surface vitrée entre les deux roses s'explique par le fait que les verrières basses du triforium sont comptabilisées pour la rose sud alors qu'elles ne le sont pas pour la rose nord. La rose sud compte 680 pieds carrés de verre et 260 pour ses verrières basses, ce qui est plus proche des 686 pieds carrés de la rose nord. Dans ses extraits de comptes pour l'année 1378-1379 (que l'on suppose être de 1376-1377), Gadan note par ailleurs une dépense faite aux verriers « pour verrier les VI petites formes basses qui sont dessus [lire dessous] le grand oiteau de la croisée devers le pavement [la rose nord] avec 370 p. de verre », GADAN (J.-F.) « Comptes de l'église de Troyes... », *op. cit.*, p. 44, ce qui mettrait la rose nord et ses basses verrières à 1056 pieds carrés. Les dépenses de serrurerie ne figurant pas dans les extraits de Gadan, on ne sait en revanche si l'intégralité des armatures avait été achetée en 1375-76 ou si d'autres dépenses s'en sont ensuivies.

	Fer (livres)	Verre (pieds ²)	Fer (kg)	Verre (m ²)	Rapport (kg/m ²)
Forme où est saint Michel	705	304	344,7	32,1	10,8
Forme où est saint Barthélémi	850,5	341	415,9	36,0	11,6
Forme où est saint Denis	875	380	427,9	40,1	10,7
Forme où est saint Mamer	1217	395,25	595,1	41,7	14,3
Image de la résurrection NS	900	438,5	440,1	46,3	9,5
Rose nord	877,5	686	429,1	72,4	5,9
Rose sud avec les basses verrières	965,5	940	472,1	99,2	4,8

Tableau 112 : Rapport fer/verre d'après les données des comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes pour les verrières hautes du transept (fin du XIV^e siècle).

Pour le XV^e siècle qui voit l'émergence de la période flamboyante, le rapport semble baisser quelque peu, davantage compris entre 5 et 9 kg/m² (cf. Tableau 113), ce que semblent confirmer les données disponibles dans les comptes de la fabrique de la cathédrale de Rouen qui décrivent la réfection des baies hautes du chœur et de la nef entre 1430 et 1435 (cf. Tableau 114). Pour ces vitraux de grisaille, le rapport est plutôt faible, compris entre 5 et 6,5 kg/m², et il l'est encore plus pour les trois verrières imagées de l'abside tombant en moyenne à seulement 3,4 kg/m². Pendant cette période, seules les verrières hautes de la nef de la cathédrale de Troyes, élevées au tournant des XV^e et XVI^e siècles semblent faire exception avec plus de 18,5 kg de fer par m² de vitrail. L'observation de ces verrières révèle toutefois qu'elles contiennent de nombreuses barlotières fort peu espacées les unes des autres.

Enfin, le constat est identique pour les fenêtres de la vitrerie provisoire de la nef de la cathédrale de Troyes qui sont faites de bois et non de maçonnerie (cf. Tableau 115). Les rapports d'après les données des comptes de la fabrique tournent aux alentours de 6 kg/m², ce qui est parfaitement comparable avec les fenêtres de maçonnerie les moins fournies. Précisons de plus que ces baies sont de petite taille et ne possèdent aucun tirant, ce qui explique une quantité de fer légèrement moindre.

Edifice	Fenêtre	Masse de fer (kg)	Surface de la fenêtre (m ²)	Rapport (kg/m ²)
Cathédrale de Rouen	Chapelle nef N6	230	35,6	6,5
Saint-Ouen de Rouen	Nef haute N6	250	43,2	5,8
Saint-Maclou de Rouen	Chœur haut abside	100	11,1	9,0
Saint-Maclou de Rouen	Nef haute	170	24,5	6,9
Cathédrale de Troyes	nef hte N4	390	21	18,6

Tableau 113 : Rapport fer/verre pour des verrières du XV^e siècle.

Fenêtre	Fer (l.)	Verre (pieds ²)	Fer (kg)	Verre (m ²)	Rapport (kg/m ²)
3 premières <i>parva forma</i>	479,75	632 p.	226	66,7	3,4
4 ^e <i>parva forma</i>	225	194,5 p. 20 p.	110	20,5	5,4
5 ^e <i>parva forma</i>	228	194,5 p. 20 p.	111	20,5	5,4
1 ^e <i>magna forma</i>	379,5	296 p. 54 p.	186	31,3	5,9
2 ^e <i>magna forma</i>	378,5	296 p. 54 p.	185	31,3	5,9
3 ^e <i>magna forma</i>	379,5	293 p. 31 p.	186	30,9	6,0
4 ^e <i>magna forma</i>	383	293 p. 31 p.	187	30,9	6,1
5 ^e <i>magna forma</i>	385,5	293 p. 31 p.	189	30,9	6,1
6 ^e <i>magna forma</i>	385	293 p. 31 p.	188	30,9	6,1
7 ^e <i>magna forma</i>	411,5	Non précisé mais prix identique à la 6 ^e .	201	30,9 (?)	6,5
8 ^e <i>magna forma</i>	386	<i>Idem.</i>	189	30,9 (?)	6,1
9 ^e <i>magna forma</i>	406	<i>Idem.</i>	199	30,9 (?)	6,4
10 ^e <i>magna forma</i>	406	<i>Idem.</i>	199	30,9 (?)	6,4
1 ^{ère} <i>fourme de la nef</i>	221	197 p.	108	20,8	5,2

Tableau 114 : Quantités de fer et de verre mises en œuvre aux verrières hautes de la cathédrale de Rouen entre 1430 et 1435 et calcul du rapport fer/verre. (Prix du fer : 13 d. t. par livre, prix du verre : 4 s. 2 d. t. sauf 7 s. 6 d. t. pour les trois premières *parva forma*).

Année	Fenêtres	Fer (livres)	Verre (pieds ²)	Fer (kg)	Verre (m ²)	Rapport fer/verre (kg/m ²)
1391-92	26 fenêtres de la nef haute	538	462	263,1	48,7	5,4
1482-83	38 formettes de la nef haute	690	490	337,5	51,7	6,5

Tableau 115 : Rapport des quantités de fer et de verre employées pour les fenêtres provisoires des toitures de la cathédrale de Troyes.

L'ensemble de ces résultats vient donc bien confirmer les propos de Viollet-le-Duc quant à l'importance du fer dans les fenêtres à lancette unique typiques de la fin du XII^e et du début du XIII^e siècle, en particulier celles pour lesquelles les armatures font preuve d'un véritable travail de fer forgé qui, de cercle en losange, épouse la forme des panneaux de vitrail. L'introduction des meneaux en pierre divisant ces baies en lancettes multiples, notamment au moment de l'introduction du style rayonnant dès le deuxième tiers du XIII^e siècle, diminue de manière relative la quantité de fer nécessaire pour tenir en place le vitrail aux alentours de 10 kg/m² soit deux à quatre fois moins que précédemment. Dans les églises étudiées, sauf exception, les quantités relatives de fer mises en œuvre évoluent peu aux XIV^e et XV^e siècles. Elles sont effectivement davantage liées à la densité du châssis de fer ou à la présence de montants dans les fenêtres qu'à l'époque du vitrail. Les roses nécessitent en particulier une masse de fer moins importante à cause de la plus grande surface occupée par le réseau de pierre.

III.1.1.6 Synthèse

Le vitrail est donc le principal consommateur de fer dans les églises et cathédrales gothiques. Les quantités employées s'y comptent en tonnes ou dizaines de tonnes suivant la dimension de l'édifice et la taille de ses fenêtres, qui augmente dès le début du XIII^e siècle et l'avènement de la période rayonnante. Le rapport entre la surface vitrée et la masse de fer nécessaire décroît cependant avec la taille des baies et l'importance du remplage de pierre. L'armature des vitraux, qui semble avoir légèrement évolué depuis la période médiévale, notamment avec une probable absence de feuillards avant le milieu de la période moderne, se compose de deux parties bien distinctes tant en termes de leur fonction architecturale, que de leur conception et leur période de mise en œuvre. La barlotières-tirants jouent de multiples rôles dans le soutien de la maçonnerie : stabilité lors de la construction, renfort de l'arc de la fenêtre, renfort des meneaux, encaissement partiel des poussées des vents ; elles sont mises en place au moment de la construction du remplage de la baie. En revanche, le reste des armatures est mis en place pendant la période de vitrage des baies et ne sert qu'à maintenir les panneaux de vitrail ; cette seconde partie des armatures est de plus considérée par les constructeurs comme faisant partie intégrante du vitrail et de son coût.

III.1.2 Emplois du fer dans la maçonnerie

Les armatures de vitraux mises à part, le fer est également utilisé dans la maçonnerie des églises troyennes et rouennaises afin de la renforcer à une plus ou moins grande échelle. La mise en évidence d'éventuels chaînages structurels, à l'instar des quelques édifices précédemment étudiés, notamment les cathédrales de Bourges et de Beauvais ou encore la Sainte-Chapelle de Paris, a donc en partie guidé les prospections. Les résultats de nos recherches ont seulement révélé la présence d'un nombre très limité de chaînages la structure des églises troyennes et rouennaises¹⁰⁶⁷. Les chaînages sont en outre le plus souvent liés à des consolidations postérieures à la première construction, parfois médiévales, mais le plus souvent modernes ou contemporaines. Plus rares sont les chaînages mis en place au cours de la construction. A l'exception du chaînage des baies de l'église Saint-Urbain, seules certaines tours font vraisemblablement l'objet d'un renforcement exceptionnel *a priori*. En revanche, les comptes et les prospections ont révélé la présence de nombreuses agrafes et tirants de fer, qui semblent avoir été mis en œuvre pour renforcer certaines parties de la structure des églises, notamment les triforiums, les piles et les arcs-boutants. Enfin, le décor sculpté gothique fait lui aussi un emploi massif de ces petites pièces de fer.

III.1.2.1 Le renforcement des tours

Les tours, qu'elles soient sur la croisée du transept ou en façade, sont des structures particulières dans l'architecture d'une église gothique. Si celles qui se trouvent au niveau de la croisée sont généralement élevées au fur et à mesure de la construction, celles qui ornent la façade occidentale ne sont souvent construites qu'en fin de construction et restent parfois inachevées, à l'image de la tour Saint-Paul au sud du massif ouest de la cathédrale de Troyes ou des tours de l'église Saint-Ouen, terminées au XIX^e siècle. Plus rarement, elles précèdent l'élévation de l'édifice comme la tour Saint-Romain de la cathédrale Notre-Dame de Rouen,

¹⁰⁶⁷ Il est vrai que les prospections réalisées n'ont pas pu être exhaustives, faute d'accessibilité de certaines parties des édifices et qu'en l'absence de restauration il est difficile d'estimer la présence de métal dans une maçonnerie avec un simple détecteur de métal de type « poêle à frire » à plus d'une quarantaine de centimètres de profondeur. Il est donc possible que certains chaînages n'aient pas été découverts.

église qui à la particularité d'avoir été construite d'ouest en est. Bon nombre de ces tours, en particulier celles situées à la croisée du transept, font, quand elles existent encore, l'objet d'un renforcement particulier.

Les tours des trois églises rouennaises, dont deux, celles de la cathédrale Notre-Dame et celle de l'église Saint-Maclou ont la caractéristique d'être des tours-lanternes, sont toutes armées de tirants ou chaînages de fer :

- la cathédrale de Rouen possède une série de tirants ou d'agrafes de fer reliant les arcades au premier étage de sa tour-lanterne dont il n'a pas été possible de déterminer s'ils étaient ou non continus. Les parties internes des maçonneries n'ont pas pu être sondées, toutefois, les comptes de la fin du XIV^e siècle montrent l'emploi de nombreux éléments de fer assez divers, essentiellement des bandes, fiches, équerres et tirants dans cette *gresle tour*¹⁰⁶⁸ ;
- le deuxième étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen de Rouen possède quant à lui cinq cours de tirants renforçant les arcatures des parements internes et externes de la tour au niveau du deuxième étage et deux cours de tirants au troisième étage au niveau des arcatures supportant le couronnement de la tour. Si les déposes effectuées en 1938 ont montré que ces tirants du troisième étage ne sont pas chaînés, les restaurations actuellement en cours sur la tour de la croisée ont en revanche montré qu'au moins les tirants du parement externe au niveau du deuxième étage étaient liés entre eux dans les maçonneries, formant ainsi deux chaînages superposés destinés à assurer la stabilité de la tour. Les assises de ce deuxième étage sont également renforcées par plusieurs séries d'agrafes qui attachent entre elles les pierres du couloir de circulation de manière radiale et longitudinale ;
- les travaux de restauration de la tour-lanterne de l'église Saint-Maclou de Rouen ont enfin révélé la présence de deux chaînages enfouis dans les maçonneries au niveau où la tour passe d'un plan carré à un plan octogonal, le premier datant vraisemblablement de l'époque médiévale et le second étant lié à la construction de la flèche au XIX^e siècle.

Les églises troyennes étudiées n'ont pas de tours à la croisée du transept, qui sont en effet avant tout une caractéristique du gothique normand, en particulier les tours-lanternes qui permettent d'inonder de lumière la partie centrale de l'église. Avant sa destruction par la

¹⁰⁶⁸ Il n'est pas question ici, concernant l'emploi des alliages ferreux, de la flèche de fonte élevée au XIX^e siècle qui surplombe la tour-lanterne de la cathédrale de Rouen.

foudre en 1700, la cathédrale de Troyes possédait toutefois une flèche au niveau de la croisée du transept. Les comptes de la fabrique relatifs à l'élévation de cette flèche au début des années 1430 mettent en évidence l'utilisation d'au moins 100 kg de barreaux de fer dans sa structure. Certains de ces barreaux qui relient *ars boutans avec les posteaux du clocher*¹⁰⁶⁹ semblent bien être des renforts internes entre les différents éléments structurels de cette flèche. S. Murray lie également pour des raisons chronologiques l'élévation de ce clocher à la mise en place sur les voûtes du transept d'un chaînage, constitué d'au moins six gros barreaux de fer pesant 600 kg, destiné à renforcer les murs supérieurs¹⁰⁷⁰. L'église Saint-Urbain possédait elle aussi un clocher qui était renforcé par plusieurs bandes de fer. Evidence en est donnée lors de travaux de réparation à la tour en 1389 suite à un important orage. Au moins 24 bandes de fer de près de 2,50 m de long y sont alors mises en œuvre¹⁰⁷¹. Si cet ouvrage peut être assimilé à une consolidation *a posteriori*, les comptes attestent également de la présence de barres de fer dans le clocher avant ces événements. Ces barres qui sont *arrechées et bennés du clocher*¹⁰⁷² en 1389 faisaient probablement partie de la construction originelle.

A titre de comparaison, des prospections ont été effectuées dans plusieurs cathédrales normandes. La plupart d'entre elles possèdent effectivement une tour-lanterne, à l'image de celles d'Evreux, de Coutances, ou de Bayeux. La tour-lanterne de la cathédrale d'Evreux montre en particulier trois cours de tirants renforçant les arcatures de ses premier et deuxième étages (cf. Figure 271)¹⁰⁷³. La tour de la croisée de la cathédrale de Bayeux est quant à elle enserrée dans trois chaînages vraisemblablement rajoutés postérieurement à la période médiévale (cf. Figure 272). En revanche, aucun élément n'a été mis en évidence dans la tour-lanterne de la cathédrale de Coutances. Ces bâtiments n'ont cependant pas fait l'objet de prospections approfondies et n'étaient pas en cours de restauration lors de nos investigations. On peut donc supposer la présence de davantage d'éléments à l'intérieur des maçonneries.

Le renforcement des tours de croisée est donc manifeste. Des chaînages ont été découverts dans les maçonneries de la plupart des tours étudiées. Certains datent de la période contemporaine, mais d'autres ont bien été posés pendant la période de construction. A ces chaînages s'ajoute l'emploi de nombreuses agrafes, ainsi que d'autres éléments. Toute restauration menée sur ce type de structure devra tenir compte de leur potentiel renforcement

¹⁰⁶⁹ PJ n° 47, fol. 134 r° et 134 v°.

¹⁰⁷⁰ MURRAY (S.), *Building Troyes cathedral...*, *op. cit.*, p. 59.

¹⁰⁷¹ PJ n° 78, fol. 14 v°.

¹⁰⁷² *Ibidem.*

¹⁰⁷³ On ignore si, comme à l'église Saint-Ouen, ces tirants sont liés entre eux dans les supports des arcatures formant autant de chaînages.

interne au moyen d'armatures de fer, comme l'ont montré les travaux à la tour-lanterne de l'église Saint-Maclou et ceux actuellement en cours à l'église Saint-Ouen.

En revanche, beaucoup moins d'armatures de fer ont été découvertes dans les tours des façades. A la cathédrale de Rouen, la tour de Beurre et la tour Saint-Romain montrent dans leurs ouvertures un certain nombre de tirants de fer, souvent remplacés par des tirants de bronze lors de restaurations récentes. Cet emploi du fer dans une baie non vitrée n'est cependant pas caractéristique de ces tours mais se retrouve dans la plupart des arcatures. De plus, à l'inverse des tirants du deuxième étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen, ceux-ci ne sont pas chaînés. Les comptes de construction de la tour de Beurre ne font par ailleurs état que de barreaux faits *en facon de crampons*¹⁰⁷⁴, c'est-à-dire recourbés à leurs extrémités. Ils correspondent certainement à ces tirants, ainsi ouvragés pour mieux s'ancrer dans la pierre et jouer un rôle en traction. La présence de nombreux crampons agrafant diverses assises de cette tour ainsi que de son homologue septentrional, la tour Saint-Romain, a également été attestée par les restaurations du siècle dernier.

Aucun chaînage n'a été découvert sur la tour Saint-Pierre de la cathédrale de Troyes. Les rapports des dernières restaurations de la fin du XX^e siècle mentionnent uniquement la présence d'agrafes et de goujons, notamment dans les parements. Un petit cerclage de fer a toutefois été mis au jour au sommet de la tourelle qui coiffe l'escalier de la tour. A l'église Sainte-Madeleine de Troyes, un cerclage de fer se trouve également sur la tourelle d'escalier de la grande tour du transept sud. Il est toutefois extérieur à la maçonnerie. Aucun autre élément n'y a été mis en évidence.

Seule l'église Saint-Ouen de Rouen semble encore une fois posséder des chaînages dans cette partie de l'édifice. Lors de la dernière phase de restauration, D. Moufle a noté la présence de chaînages dans les deux salles aveugles qui constituent la base des tours de la façade. Ils semblent intégrés aux maçonneries originelles du tournant des XV^e et XVI^e siècles. Enfin, les tourelles construites à l'achèvement de la façade au milieu du XIX^e siècle sont, à l'instar du couronnement de la tour de la croisée, renforcées par deux cours de tirants superposés mais non chaînés.

¹⁰⁷⁴ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2521, fol. 48 v° et fol. 49 r°.



Figure 271 : Tirants dans les arcatures de la tour-lanterne de la cathédrale d'Evreux.



Figure 272 : Chaînages à la base de la tour-lanterne de la cathédrale de Bayeux.

D'après les observations réalisées, les tours-lanternes et autres tours situées à la croisée du transept sont davantage renforcées que les tours habituellement présentes sur les massifs occidentaux. Sur l'ensemble des édifices étudiés, l'église Saint-Ouen mise à part, malgré des restaurations parfois importantes comme à la tour Saint-Pierre de la cathédrale de Troyes ou aux deux tours de la cathédrale de Rouen, aucun chaînage n'a été mis en évidence dans les tours de façade. On y trouve uniquement d'éventuels tirants de fer dans les baies, qu'elles soient vitrées ou non, mais dont le rôle est semble-t-il essentiellement d'assurer la stabilité des arcatures et de leurs meneaux. Seules les tourelles de la tour sud de l'église Sainte-Madeleine et de la tour Saint-Pierre surmontant l'arrivée des escaliers sont entourées d'un cerclage en fer. Ils sont de facture tardive puisque ces parties de l'édifice datent respectivement de la fin du XVI^e et du XVII^e siècle. De plus, ces petits cerclages n'ont qu'un rôle très local : ils ne peuvent assurément pas être comparés aux chaînages qui ceignent les tours-lanternes des églises normandes.

Ces différences de renforcement observées entre les tours-lanternes et les tours de façade peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs. L'emploi de chaînages de fer ne peut effectivement être qu'un simple palliatif à l'effet des vents, puisque, de hauteurs comparables, ces différents types de tours sont soumises aux mêmes conditions atmosphériques. Ce « péril de vent » est toutefois évoqué par les bâtisseurs de la flèche de la croisée de la cathédrale de Troyes et il ne doit pas être minimisé¹⁰⁷⁵.

Tout d'abord, indépendamment de sa localisation, l'architecture même de la tour semble la première responsable de l'emploi d'armatures de fer. La tour Saint-Pierre de la cathédrale de Troyes qui est la plus massive de toutes celles du corpus est également celle qui semble le moins faire appel à des tirants. A l'opposé, la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen dans laquelle la pierre est réduite à sa plus simple expression et la tour-lanterne de l'église Saint-Maclou de Rouen qui, en plus de nombreuses ouvertures possède une élévation particulière qui passe d'un plan carré à un plan octogonal, sont les plus renforcées. Notons cependant que de manière générale, les tours-lanternes sont moins massives que leurs homologues des façades, tout d'abord car leur assise au niveau de la croisée du transept ne leur permet pas d'arborez d'épaisses maçonneries, mais également car leur fonction étant d'inonder de lumière l'intérieur de l'église, elles sont nécessairement largement ouvertes dans

¹⁰⁷⁵ Dans son étude de la cathédrale de Beauvais, bien qu'il ne traite pas la question des tours, puisque cette cathédrale en est exempte, J.-L. Taupin insiste longuement sur l'influence néfaste des vents sur la structure gothique et sur les emplois du fer qui y sont liés, TAUPIN (J.-L.), « Le fer des cathédrales »..., *op. cit.*

leurs parties supérieures. De plus, alors que les tours de façade sont solidement assises au sol et constituent presque des structures hors œuvre dont la statique est indépendante du reste de l'édifice, les tours situées au niveau de la croisée prennent assise sur un endroit de la structure où convergent des forces importantes. Si dans leurs élévations, ces tours sont soumises à des contraintes similaires, les bases des tours situées sur les croisées sont nécessairement plus instables et susceptibles d'être soumises à déformation. Il peut donc sembler plus important de les renforcer dans leurs parties supérieures, notamment aux endroits critiques : deuxième étage de la tour de l'église Saint-Ouen, changement de plan dans la tour-lanterne de l'église Saint-Maclou..., pour éviter que les parties supérieures ne soient déstabilisées par d'éventuels mouvements de l'assise déjà fragile. L'utilité de tels chaînages n'est pas reconnue qu'au Moyen Age, comme le montre l'exemple de l'église Saint-Maclou où un chaînage a été rajouté par l'architecte au XIX^e siècle avant d'asseoir la flèche au sommet de la tour-lanterne. Il ne faut de plus pas oublier que contrairement aux tours des façades qui étaient le plus souvent élevées en une seule campagne de construction, certes plus ou moins longue, les parties inférieures des tours de croisée, souvent construites au fur et à mesure de la construction de l'église pouvaient attendre parfois pendant plusieurs siècles l'élévation des étages supérieurs permettant de les stabiliser. Il était donc nécessaire que leur statique soit indépendante de cette charge ; les chaînages de fer mis en œuvre avaient certainement également un rôle à jouer à ce niveau.

Aucun exemple d'étude de tour dans l'architecture religieuse gothique ne permet d'établir de comparaisons avec d'autres édifices. La structure connue la plus proche est le donjon du château de Vincennes. Haut de 50 m et construit sur un plan carré de 50 pieds de côté sans compter le diamètre des tours d'angles, ce donjon a des maçonneries de plus de 3 m de large et est donc bien plus massif et moins élancé que les diverses tours de nos églises gothiques. Il possède toutefois une multitude d'armatures de fer réparties à tous les étages de sa structure, les parties supérieures étant toutefois les plus renforcées¹⁰⁷⁶. Outre les nombreuses barres disposées sous les linteaux de la plupart des ouvertures et les nombreux crampons qui agrafent les assises des parties hautes du donjon, trois chaînages disposés sur les arcs médians sous le sol des troisième, quatrième et cinquième étages ainsi qu'un chaînage

¹⁰⁷⁶ En 1996, les premières estimations faisaient état de 12 tonnes de fer, AMOUDRUZ (F.), CHAPELOT (J.), CLEMENT (S.), *Les éléments métalliques (fer et plomb) dans l'architecture du donjon du château de Vincennes. Étude préliminaire*, Vincennes, ERCVBE, 1997, p 50. J. Chapelot ne les a pas actualisées dans sa dernière publication malgré les nombreuses découvertes lors de la restauration des parties hautes du donjon, CHAPELOT (J.) « Le donjon et son enceinte. Une résidence royale », *Les Dossiers d'Archéologie*, n° 289, déc. 2003/janv. 2004, p. 60-73.

périphérique au quatrième étage ont été identifiés lors des restaurations (cf. Figure 273)¹⁰⁷⁷. D'après J. Chapelot, ces éléments « ne sont en tension qu'en cas de mouvement de l'édifice et afin de stabiliser ce dernier »¹⁰⁷⁸. Ils constitueraient donc un système préventif destiné à assurer la stabilité des maçonneries. Cependant, J. Chapelot leur attribue également un rôle dans la réduction des retombées de charges mesurée au niveau de la colonne centrale au troisième étage¹⁰⁷⁹. Notons que ces deux arguments sont en contradiction. Quoi qu'il en soit, ces nombreux chaînages, barres et agrafes, font état d'un renforcement sans précédent et bien supérieur à celui des tours que nous avons étudiées, et ce malgré une structure en apparence bien plus solide et bien moins aérienne. Le poids de l'influence royale sur le chantier du donjon et la volonté d'employer les « meilleurs » matériaux en très grandes quantités sont probablement, et avant même les raisons purement statiques, la cause première de cette véritable abondance de fer dans la structure de ce monument. Malgré des contraintes architecturales peut-être plus importantes, les chantiers des églises et cathédrales étudiées, dont les finances étaient moindres, devaient probablement utiliser ce type de matériau de manière un peu plus économe. Rappelons à titre d'exemple les défauts de soudure des tirants composant les chaînages au deuxième étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen de Rouen qui sont la preuve d'une difficulté financière ou technique à obtenir des barres de forte section pour le chantier de l'abbatiale dans la première moitié du XV^e siècle. Ils contrastent avec les énormes sections des différentes barres de fer relevées au donjon du château de Vincennes et datées de la seconde moitié du XIV^e siècle où aucun problème de soudure n'a été relevé.

¹⁰⁷⁷ CLEMENT-CHARPENTIER (S.), « Le rôle des éléments métalliques dans la conception du donjon de Vincennes », dans CHAPELOT (O.), dir., *Du projet au chantier. Maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre aux XIV^e-XVI^e siècles*, Paris, EHESS, 2001, p. 405-431 ; CHAPELOT (J.) « Le donjon et son enceinte... », *op. cit.*

¹⁰⁷⁸ CHAPELOT (J.) « Le donjon et son enceinte... », *op. cit.*

¹⁰⁷⁹ Lors des restaurations, des mesures des retombées de charges ont été effectuées à ce niveau. Elles étaient de 106 tonnes, ce qui d'après J. Chapelot est « inférieur de plusieurs dizaines de tonnes à la valeur théorique estimée ». Selon lui, « la présence des arcs contrebutant la colonne centrale et des barres de fer explique cette différence notable ». ID., *Ibid.*



Figure 273 : Chaînage périphérique au 4^e étage du donjon du château de Vincennes.

De la simple précaution à un élément structurel indispensable à diverses étapes de la construction, la justification des chaînages découverts est multiple et ne semble pouvoir être dissociée de l'édifice étudié. Aucune mesure de charge ou mesure de tension des chaînages n'a été effectuée par les architectes en charge des travaux de restaurations de l'église Saint-Maclou ou de l'église Saint-Ouen, qui sont quant à eux toujours en cours. On peut cependant noter que le chaînage médiéval de la tour-lanterne de l'église Saint-Maclou est encore parfaitement conservé. Ceux de l'église Saint-Ouen sont au contraire brisés à plusieurs endroits et sont précisément une des causes de la restauration de cette partie de l'édifice. Les dégradations de ces chaînages semblent essentiellement liées à la très forte corrosion qu'ils ont subie malgré le fin enrobage de plomb censé les protéger de l'oxydation. Les dégâts sont en particulier visibles aux passages des meneaux dont un nombre important manquent ou ont complètement éclaté avec le gonflement des fers. Il semble ici qu'au lieu de préserver le fer, le plomb, disposé parfois de manière assez irrégulière, a joué le rôle d'un réservoir d'humidité dans un milieu soumis à des infiltrations importantes au niveau des interfaces air/fer/pierre/plomb. Il est donc difficile de savoir si, aux endroits où les chaînages ont éclaté, la corrosion est seule responsable ou si des phénomènes de traction ont aidé à sa rupture après un début de minéralisation et donc de fragilisation du matériau. Le « rôle déterminant » du fer dans la statique du donjon du château de Vincennes évoqué par J. Chapelot n'est donc pas

certain¹⁰⁸⁰, d'autant plus que la qualité des matériaux mis en œuvre ne répond pas à des standards actuels et il se pourrait que, soumises à de trop fortes tensions, ces chaînes viennent à céder rapidement¹⁰⁸¹. Il n'en reste pas moins un monument exceptionnel quant à sa conception intégrant d'ingénieux emplois du fer.

III.1.2.2 Des tirants dans les triforiums

Comme le notaient déjà M. Férauge et P. Mignerey, le triforium est un point structurellement faible de la structure gothique « car la ligne des poussées, cheminant depuis les voûtes, semble, selon les schémas d'analyse conventionnels, passer au droit du passage ménagé dans la pile et les contraintes augmentent brusquement à ce niveau »¹⁰⁸². Ces contraintes particulières étaient selon eux les raisons principales d'un abondant emploi du fer dans le triforium de la cathédrale de Bourges, avec notamment un chaînage au sol dans les parties orientales ainsi que des tirants reposant sur une grande partie des murs diaphragmes. Le même constat n'avait cependant pu être réalisé pour la cathédrale de Reims dans laquelle seule une série d'agrafes a été découverte au sol du triforium¹⁰⁸³.

L'étude de quatre églises troyennes et trois rouennaises permet de discuter les propos de M. Férauge et P. Mignerey et d'apporter de nouvelles pistes de réflexion. Tout d'abord, les examens des couloirs de circulation intérieurs du triforium n'ont révélé aucun élément de fer, à l'exception parfois de quelques agrafes comme à la cathédrale de Troyes, et les rares murs diaphragmes présents dans les combles ne portaient aucun tirant. L'utilisation du détecteur de métaux, lorsqu'elle a été rendue possible, n'a pas livré plus d'informations : il semble donc qu'aucune des sept églises du corpus ne présente de chaînage similaire à ceux de Bourges. En revanche, des tirants ont été découverts en partie haute des remplages à la cathédrale de Troyes et à l'église Saint-Ouen de Rouen. Ces tirants passent juste sous la naissance du réseau au niveau du sommet des meneaux ou des colonnettes suivant le décor du triforium. Bien que leurs dessins ne diffèrent parfois pas beaucoup des triforiums de ces deux églises, ceux de l'église Sainte-Madeleine, de la cathédrale de Rouen et de l'église Saint-Maclou de Rouen ne

¹⁰⁸⁰ ID., *Ibid.*

¹⁰⁸¹ JUHIN (A.), *Structure métallographique et comportement mécanique...*, *op. cit.* La question de la qualité de ces matériaux sera étudiée plus en détail dans la partie correspondante.

¹⁰⁸² FÉRAUGE (M.), MIGNEREY (P.), « Les cathédrales de Bourges et de Reims »..., *op. cit.*, p. 13. Il étaye son propos d'une épure de Méry réalisée sur la cathédrale de Meaux selon laquelle dans les piles, les contraintes sont près de sept fois plus importantes au droit du triforium.

¹⁰⁸³ ID., *Ibid.*, p. 37.

possèdent pas de tels tirants¹⁰⁸⁴. Revenons plus en détail sur ces différents triforiums et leurs architectures.

Le triforium de l'église Saint-Ouen de Rouen est ajouré et se compose d'une balustrade surmontée de meneaux renforcés par des tirants de fer en leur partie supérieure, tirants dont on ne sait s'ils sont chaînés mais qui semblent être continus au sein d'une même travée. Chaque baie vitrée est également pourvue d'un tirant profondément ancré : une vue en coupe nous indique que les deux tirants sont situés à la même altitude. De plus, dans le chœur, les éléments de la balustrade sont joints entre eux par des agrafes coulées au plomb. Une galerie de circulation faisant le tour de l'édifice est aménagée à travers les piles.

Le triforium de l'église Saint-Maclou de Rouen est quant à lui aveugle, mais le décor qu'il possède est similaire à celui de Saint-Ouen ; cependant chaque travée est indépendante, aucun couloir de circulation n'y ayant été aménagé. Par ailleurs, contrairement à celui de l'abbatiale Saint-Ouen, aucun élément de fer n'a été découvert dans ce triforium.

La cathédrale Notre-Dame de Rouen possède trois triforiums d'architectures différentes ; tous sont aveugles mais possèdent des galeries de circulation. Dans les sept premières travées de la nef, le triforium est constitué d'un arc de décharge surbaissé et d'une balustrade dont les prospections au détecteur de métaux ont montré qu'elle était renforcée d'éléments de fer sur les cinq premières travées. Ces éléments, fort probablement des agrafes et des goujons ne peuvent cependant en aucun cas être assimilés à des tirants. Les quatre travées de la nef les plus proches du transept ont quant à elles également pris copie sur le triforium de l'église Saint-Ouen, mais il s'agit là d'un placage sur l'ancien triforium et l'on peut encore apercevoir l'arc de décharge derrière les meneaux. Dans le transept et le chœur, le triforium prend l'aspect d'une rangée de colonnes pourvues de goujons à leurs bases et sommets. De plus, dans le transept, ces colonnes sont étré sillonnées par des attaches de fer aux extrémités en forme de demi-lune dont il n'a pas été possible de déterminer si elles apportaient un réel soutien ou s'il s'agissait là d'un simple garde-corps. Les analyses métallographiques ont en outre montré que la datation de ces éléments était incertaine et qu'elle n'était peut-être pas contemporaine de l'origine de la construction au début du XIII^e siècle. Dans le chœur, aucun étré sillonn de ce type n'a été repéré.

L'église Sainte-Madeleine de Troyes ne possède un triforium que dans la nef et le transept, ses parties les plus anciennes. Il est constitué d'une série d'arcatures sur un mur

¹⁰⁸⁴ Les églises Saint-Urbain et Saint-Jean-au-Marché de Troyes ont une élévation bipartite sans triforium.

aveugle ; aucun couloir de circulation n'est ménagé entre les différentes travées. Aucun élément de fer n'y a été découvert.

Enfin, la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes présente l'un des premiers triforiums ajourés de l'architecture gothique¹⁰⁸⁵. La claire-voie intérieure se compose de fines colonnettes supportant un réseau au décor variable suivant les parties de l'édifice et leur période de construction. Outre ces considérations stylistiques, le triforium de la cathédrale de Troyes montre également des différences dans l'emploi de tirants de fer : le chœur et le transept oriental ne présentent aucun tirant, contrairement à la nef et au transept occidental¹⁰⁸⁶. Dans la nef, ces tirants ne semblent pas être reliés entre eux pour former un chaînage, mais semblent toutefois continus à l'intérieur d'une travée d'après le nombre de grosses barres mentionnées dans les comptes relatifs à la mise en place des vitraux¹⁰⁸⁷. En revanche, dans le transept occidental, une analyse de la continuité électrique a montré qu'ils ne sont pas continus à l'intérieur d'une travée, chaque tirant étant composé d'au moins trois barres distinctes. Ce transept occidental présente de plus des barres perpendiculaires au couloir de circulation reliant les chapiteaux des colonnettes au réseau du vitrail décorant le mur de fond. D'après l'analyse inclusionnaire sur un échantillon prélevé dans le transept nord-ouest qui a permis d'identifier le procédé direct, ce système de barres date bien de la période médiévale.

Seuls les triforiums de l'église Saint-Ouen de Rouen et de la cathédrale de Troyes sont donc armés de tirants de fer vraisemblablement mis en place lors de la phase de construction originelle. L'architecture du parement intérieur du triforium ne semble pas liée à l'emploi de tirants. En effet, si le triforium de l'église Saint-Ouen et sa balustrade à claire-voie sont renforcés de cette manière, ceux de l'église Saint-Maclou et de la partie orientale de la nef de la cathédrale de Rouen, pourtant directement inspirés du triforium de l'abbatiale n'en possèdent pas¹⁰⁸⁸. Leurs dimensions ne sont certes pas les mêmes avec un peu plus de 4 m de large comme de haut pour le triforium de l'église Saint-Maclou contre plus de 6 m à Saint-Ouen, auxquels il faut encore ajouter la surface des baies les surplombant. En réalité, le principal point commun entre les triforiums de la cathédrale de Troyes et de l'église Saint-Ouen réside dans l'architecture du mur de fond : tous deux sont ajourés contrairement à ceux

¹⁰⁸⁵ Il est contemporain de celui de la basilique de Saint-Denis. Comme il est détaillé plus après, grandes sont les analogies entre ces deux édifices.

¹⁰⁸⁶ Exception faite de l'ultime travée sud du triforium du transept méridional qui a été refaite après d'importants désordres survenus au début du XIX^e siècle.

¹⁰⁸⁷ Voir « les armatures de vitraux de la cathédrale de Troyes ».

¹⁰⁸⁸ A la cathédrale de Rouen, le dessin du triforium des parties orientales de la nef n'est toutefois qu'un placage sur l'arc en tiers-point originel.

des trois autres églises. De plus, parmi l'ensemble des édifices étudiés, il s'agit également de ceux possédant les élévations les plus importantes et la plus importante surface vitrée. Mais si à l'église Saint-Ouen l'intégralité du triforium est ajourée et pourvue de tirants, à la cathédrale de Troyes, l'ensemble du triforium est ajouré, mais seules les parties les plus tardives, construites aux XIV^e et XV^e siècles, sont pourvues de tirants ; les parties orientales et en particulier le chœur, élevés avant le milieu du XIII^e siècle, n'en possèdent pas et aucune marque d'un éventuel descellement d'anciens tirants n'a été décelée.

Le lien entre l'emploi de tirants et la nature du triforium, ajouré ou aveugle, semble cependant se vérifier sur un certain nombre d'églises et de cathédrales gothiques. Outre la cathédrale de Troyes et l'église Saint-Ouen, nombreux sont les exemples de triforiums ajourés également renforcés par des tirants, quel que soit le dessin de leur parement intérieur. On peut par exemple citer les chœurs des cathédrales de Sées, de Beauvais, d'Evreux ou encore au-delà de nos frontières celui de la cathédrale de Prague ou de celle de Cologne (cf. Figure 274)¹⁰⁸⁹. Au contraire, et à l'exception des barres transversales relevées à la cathédrale de Bayeux, l'ensemble des triforiums aveugles recensés ne possèdent pas de tirant, en particulier les nefs des cathédrales de Sées et d'Evreux, dont l'architecture contraste très nettement avec les triforiums ajourés de leurs chœurs (cf. Tableau 116). Un parallèle semble donc à première vue pouvoir être établi entre l'emploi de tirants et le caractère ajouré ou non du triforium.

La mise en œuvre de tirants dans les triforiums ajourés est cependant loin d'être systématique, le premier contre-exemple, déjà évoqué, résidant dans le chœur de la cathédrale de Troyes elle-même. La basilique de Saint-Denis fournit un autre exemple d'une telle absence de tirants dans un triforium ajouré. Les similitudes entre les chœurs des deux édifices sont cependant très importantes. Elles s'expriment en particulier dans l'architecture de leurs fenêtres hautes, dont les dessins sont très proches, et également dans celle de leurs triforiums¹⁰⁹⁰. Viollet-le-Duc évoque même la très certaine intervention sur le chantier de la cathédrale de Troyes, d'un maître d'œuvre « appartenant à l'école des Thomas de Cormont, [...] architectes qui rebâtirent, au XIII^e siècle le chœur de l'église abbatiale de Saint-Denis »¹⁰⁹¹. Les deux églises, dont l'élévation est en effet contemporaine au cours de la seconde moitié du XIII^e siècle, la reconstruction du chœur de la basilique de Saint-Denis commençant en 1231 alors que les parties hautes de la cathédrale de Troyes sont réédifiées

¹⁰⁸⁹ Ces tirants ont été vus lors de prospections dans ces édifices. Pour la cathédrale de Cologne, ils ont été vus sur un cliché d'A. Bednorz dans TOMAN (R.), dir., *L'art gothique*, Cologne, 1998, p. 115. Ceux de Beauvais avaient déjà été mentionnés, TAUPIN (J.-L.), « Le fer des cathédrales »..., *op. cit.*

¹⁰⁹⁰ KIMPEL (D.), SUCKALE (R.), *L'architecture gothique en France...*, *op. cit.*, p. 348 et 498.

¹⁰⁹¹ VIOLLET-LE-DUC (E.), *Dictionnaire raisonné...*, *op. cit.*, tome II, p. 343.

après leur effondrement en 1228, font de plus partie des premiers exemples de l'architecture gothique rayonnante et montrent les plus anciens exemples de triforiums ajourés¹⁰⁹². Dans les deux édifices, ces triforiums possèdent des arcatures presque identiques en tous points. Au niveau stylistique, la seule différence notable se trouve au niveau de l'orientation des ornements trilobés situés en partie supérieure, lobe en haut à Saint-Denis et en bas à la cathédrale de Troyes. Au niveau purement architectural, le nombre de blocs composant les supports fasciculés diffère également d'une église à l'autre, ceux de la cathédrale de Troyes étant plus systématiquement constitués d'un unique bloc. Ces triforiums ne sont armés d'aucun tirant de fer¹⁰⁹³. Au nombre des édifices de la même époque dont les triforiums ajourés ne possèdent pas d'armature de fer, on compte également le chœur de la cathédrale d'Amiens ainsi que la nef de la cathédrale de Strasbourg. Le chœur de la cathédrale d'Amiens en particulier, commencé par Robert de Luzarches, et continué par les architectes de la famille de Cormont, Thomas puis Renaud, subit probablement les mêmes influences que les cathédrales de Troyes et la basilique de Saint-Denis. En revanche, la plupart des édifices à triforium ajouré plus tardifs, c'est-à-dire commencés au plus tôt au milieu du XIII^e siècle comme les cathédrales de Tours ou de Beauvais, mais le plus souvent à partir du XIV^e siècle ou de l'extrême fin du XIII^e, possèdent des renforts de fer à ce niveau. Tous les édifices précédemment cités comme pourvus d'un triforium ajouré à tirants : cathédrale de Sées, d'Evreux, de Prague, de Cologne, de Troyes pour les parties occidentales ainsi que l'église Saint-Ouen, appartiennent effectivement à cette période de l'architecture gothique rayonnante tardive ou au début du flamboyant. Enfin quelques édifices bien plus tardifs, datant de la fin du XV^e ou du début du XVI^e siècle, comme les chœurs de la cathédrale Saint-Etienne de Metz ou de l'abbatiale du Mont Saint-Michel semblent revenir à des triforiums ajourés sans tirant de fer (cf. Tableau 117).

¹⁰⁹² Avant son effondrement, le triforium du chœur de la cathédrale de Troyes était semble-t-il aveugle. D'après D. Kimpel et R. Suckale, à cause de la restauration des parties hautes du chœur de la cathédrale de Troyes au XIX^e siècle, il est difficile de savoir laquelle des deux constructions a précédé l'autre tant leurs styles sont proches, KIMPEL (D.), SUCKALE (R.), *L'architecture gothique en France...*, *op. cit.*, p. 544.

¹⁰⁹³ Des marques de logements ont été découvertes en partie haute du remplage des fenêtres du triforium de la basilique de Saint-Denis. L'hypothèse de l'existence d'anciens tirants transverses comme dans le transept occidental de la cathédrale de Troyes n'est pas à exclure.

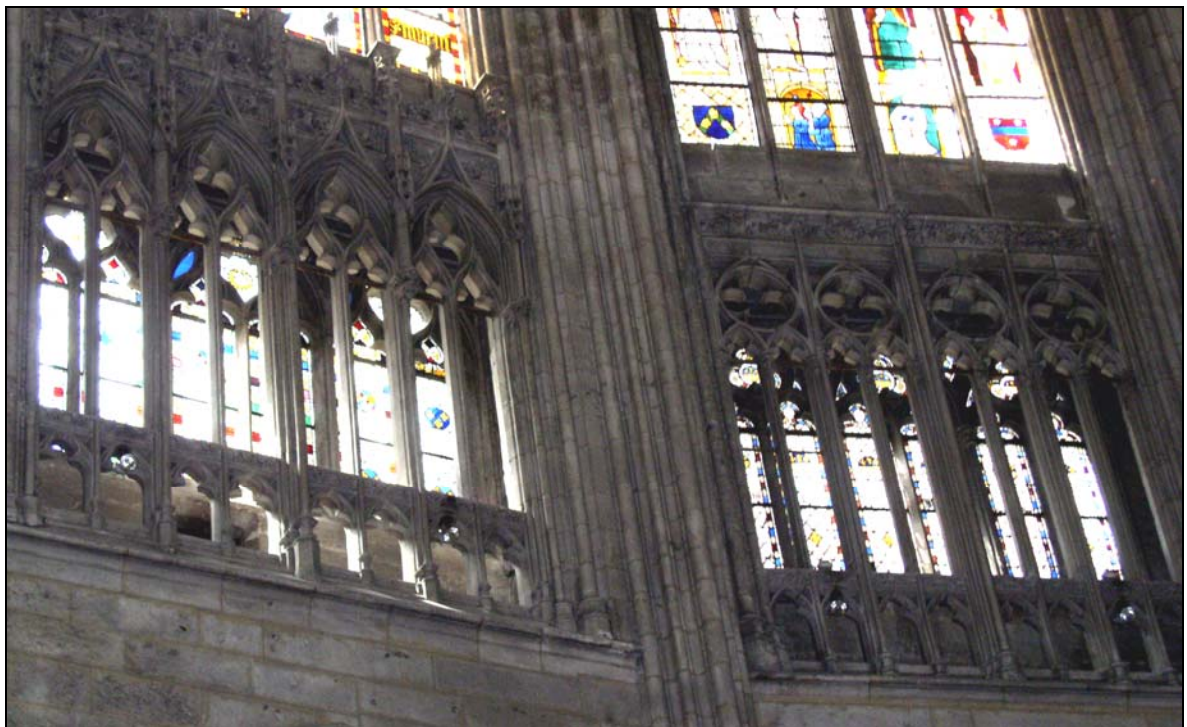
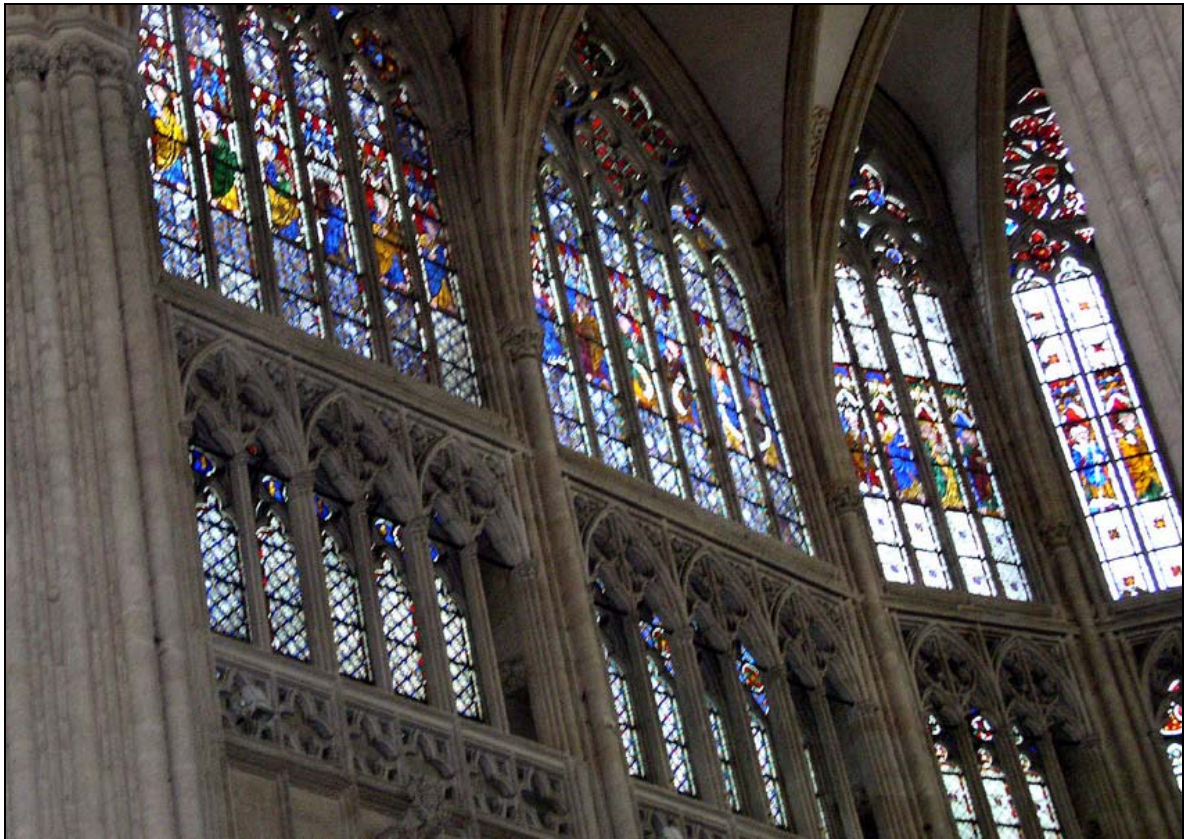


Figure 274 : Triforiums du chœur de la cathédrale de Sées (en haut) et du chœur de la cathédrale d'Evreux (en bas).

Eglise	Type de triforium	Type de renfort
Cathédrale d'Auxerre	Aveugle	Rien
Cathédrale de Chartres	Aveugle	Rien
Cathédrale de Coutances	Aveugle	Rien
Cathédrale de Lisieux	Aveugle	Rien
Cathédrale de Reims	Aveugle	Rien
Cathédrale de Rouen	Aveugle	Rien
Saint-Maclou de Rouen	Aveugle	Rien
Sainte-Madeleine de Troyes	Aveugle	Rien
Collégiale de Saint-Quentin	Aveugle	Rien
Cathédrale de Bayeux	Aveugle (chœur)	Barres perpendiculaires
Cathédrale d'Amiens	Aveugle (nef), ajouré (chœur).	Rien
Cathédrale d'Evreux	Aveugle (nef), ajouré (chœur et transept)	Rien (nef), tirants (chœur et transept)
Cathédrale du Mans	Aveugle (nef, chœur), ajouré (transept)	Rien (nef, chœur), barres perpendiculaires (transept)
Cathédrale de Sées	Aveugle (nef), ajouré (chœur)	Rien (nef), tirants (chœur)
Cathédrale de Troyes	Ajouré	Rien (parties est) ; Tirants (parties ouest)
Abbatiale du Mont St Michel	Ajouré (chœur)	Rien
Basilique de Saint-Denis	Ajouré	Rien
Cathédrale de Beauvais	Ajouré	Tirants
Cathédrale de Metz	Ajouré (chœur)	Rien
Cathédrale de Strasbourg	Ajouré	Rien
Cathédrale de Tours	Ajouré	Tirants
Saint-Ouen de Rouen	Ajouré	Tirants
Cathédrale de Cologne	Ajouré	Tirants
Cathédrale de Prague	Ajouré (chœur)	Tirants

Tableau 116 : Nature et renforcement des triforiums de certaines églises gothiques.

L'utilisation de tirants dans les triforiums ajourés semble donc être caractéristique d'une période particulière de l'époque gothique située entre la fin du XIII^e siècle et le XV^e siècle, correspondant au style rayonnant tardif et au début de la période flamboyante.

Cet emploi du fer dans les triforiums, mêmes ajourés, bien qu'il soit assez fréquent, ne semble néanmoins pas indispensable au vu de tous les exemples présentés. De telles constatations posent la question du rôle et de l'utilité de ces tirants dans les claires-voies ou les arcatures de ces triforiums.

Edifice (partie)	Datation	Type de renfort
Cathédrale de Troyes (chœur, transept est)	2 ^e quart XIII ^e s.	Rien
Basilique de Saint-Denis	2 ^e quart XIII ^e s.	Rien
Cathédrale de Strasbourg (nef)	Mi XIII ^e s.	Rien
Cathédrale de Tours (chœur)	Mi XIII ^e s.	Tirants
Cathédrale d'Amiens (chœur)	3 ^e quart du XIII ^e s.	Rien
Cathédrale de Beauvais (chœur)	3 ^e quart du XIII ^e s.	Tirants
Cathédrale de Cologne (chœur)	Fin XIII ^e s.	Tirants
Cathédrale de Sées (chœur)	Fin XIII ^e s.	Tirants
Cathédrale d'Evreux (chœur et transept)	Début XIV ^e et XV ^e s.	Tirants
Cathédrale de Troyes (nef, transept ouest)	XIV ^e et XV ^e s.	Tirants
Saint-Ouen de Rouen	Début XIV ^e à mi XVI ^e s.	Tirants
Cathédrale de Prague (chœur)	Fin XIV ^e s.	Tirants
Cathédrale du Mans (transept)	XV ^e s.	Barres transversales
Cathédrale de Metz (chœur)	Fin XV ^e s.	Rien
Abbatiale du Mont St Michel (chœur)	Fin XV ^e s.	Rien

Tableau 117 : Datation et type de renfort mis en œuvre dans certains triforiums ajourés.

On semble être ici fort éloigné du rôle du chaînage et des tirants provisoires de la cathédrale de Bourges, posés en attente d'un contrebutement total de la maçonnerie du côté ouest et qui ont été soumis à des forces de traction très importantes pendant l'élévation de l'édifice, comme en atteste une rupture dans la chaîne située au sol du triforium¹⁰⁹⁴. Un tel rôle de consolidation provisoire ne semble pas être envisageable pour les tirants étudiés. Dans la nef de la cathédrale de Troyes, ces « grosses barres » sont vraisemblablement installées en fin de construction, en même temps que les vitraux des baies hautes et n'ont donc pu jouer aucun rôle dans la statique des maçonneries avant leur contrebutement et leur chargement complet. Il est pourtant indiqué dans les comptes que ces barres sont au même titre que les tirants des baies hautes mises en place pour « servir à la maçonnerie »¹⁰⁹⁵. Il est donc possible qu'elles soient pour la plupart uniquement destinées à assurer la stabilité des meneaux ou des colonnettes dans lesquelles elles viennent s'insérer, à l'instar des barlotières-tirants des baies vitrées. Il avait en particulier été évoqué au sujet du triforium ajouré de l'église Saint-Ouen,

¹⁰⁹⁴ FERAUGE (M.), MIGNEREY (P.), « Les cathédrales de Bourges et de Reims »..., *op. cit.*, p. 14.

¹⁰⁹⁵ PJ n° 69, fol. 58 r°.

que la présence de tels tirants pouvait s'expliquer par le « fort évidemment de toutes les parties latérales », le mur de fond étant vitré et de larges passages étant aménagés dans les piles pour l'espace de la galerie de circulation¹⁰⁹⁶. Les meneaux de la claire-voie non vitrée du triforium peuvent effectivement être soumis à de fortes pressions puisqu'aucun arc de décharge ne vient reprendre la poussée des fenêtres hautes à leur niveau.

Mais la véritable utilité de ces tirants reste néanmoins remise en question par les nombreux exemples de triforiums ajourés qui n'en comportent pas. De plus, leur absence ou leur présence ne semble pas avoir influencé de manière remarquable la pérennité des triforiums des différents édifices. On peut malgré tout formuler l'hypothèse d'une consolidation préventive de l'arcature intérieure des triforiums ajourés qui est potentiellement sollicitée davantage, puisque le mur de fond est déchargé pour y insérer une ouverture. Le renforcement de l'arcature des avant-baies de certaines fenêtres basses, comme dans le transept de la cathédrale de Rouen, ou hautes comme dans la nef de la cathédrale de Bayeux ou encore dans le transept de la cathédrale de Coutances, au moyen de tirants ou de barres de fer, dépasse toutefois le cadre des seuls triforiums. Seule une analyse précise des forces intervenant au niveau de chaque triforium permettrait de statuer sur l'utilité de ces tirants dans les édifices étudiés.

III.1.2.3 Des agrafes dans les piliers

La présence d'agrafes dans les piles a pu être mise en évidence pour la cathédrale de Troyes par l'intermédiaire des comptes de la fabrique. Ils attestent la mise en œuvre de près de 500 agrafes pesant plus de 350 kg de fer dans les derniers piliers construits dans la nef de l'église entre la fin du XIV^e et la fin du XV^e siècle. D'après la chronologie de la construction, ces agrafes semblent essentiellement avoir été employées dans les parties hautes des piles. Quelques-unes sont toutefois installées en partie basses. Ni la localisation précise de ces agrafes, ni le rôle qui leur est assigné n'est précisé. En revanche, on sait qu'elles sont de dimensions très diverses, celles mises en œuvre à la fin du XIV^e siècle pesant une livre en moyenne, contre 4 à 7 livres au milieu et à la fin du XV^e siècle.

¹⁰⁹⁶ L'HERITIER (M.), *L'utilisation du fer dans les églises Saint-Urbain, Saint-Jean, Sainte-Madeleine et à la cathédrale de Troyes. Etude archéologique et historique*, Rapport d'activité archéologique, 2005, p. 79.

L'existence de telles agrafes dans la maçonnerie des gros piliers est uniquement connue par l'intermédiaire des archives comptables. Les prospections au détecteur de métaux réalisées en partie basse des piles de tous les édifices du corpus n'ont donné aucun écho. Le diamètre important de ces piliers rend cependant impossible la détection d'éléments situés en leur centre. De plus, seuls les quatre premiers mètres de chaque pilier ont en général pu être sondés et non les parties supérieures qui, d'après les comptes, semblent pourvues davantage d'agrafes. On ignore donc si cette mise en œuvre se restreint aux piliers des trois travées occidentales de la nef ou si elle est généralisée à l'ensemble des piles de l'édifice. Dans ce derniers cas, ces agrafes représenteraient entre 1,5 et 3 tonnes de fer pour la cathédrale de Troyes. Cette masse serait encore plus importante, de l'ordre de 5 tonnes, si cet emploi venait à être attesté dans une église plus grande comme l'abbatiale Saint-Ouen de Rouen¹⁰⁹⁷.

L'emploi d'agrafes dans les piliers est à ce jour inédit pour une église gothique et on ignore tout des modalités de mise en œuvre, si ce n'est qu'elles semblent scellées au plâtre et non au plomb. On peut malgré tout supposer qu'elles servent à lier entre eux les blocs de pierre d'une même assise. La nécessité de renforcer ces assemblages n'est toutefois pas évidente : les blocs constituant les piles sont larges, posés à plat et fortement chargés par les parties supérieures. Les risques de mouvements de la maçonnerie à ce niveau paraissent en conséquence assez faibles, surtout en partie basse. La mise en place d'agrafes relève donc peut-être plutôt d'une mesure de précaution, mais elle semble pourtant avoir été généralisée à la cathédrale de Troyes lors de plusieurs campagnes de constructions. On peut également émettre l'hypothèse que ces agrafes revêtent essentiellement un rôle provisoire pour solidariser les assises de ces piliers entre elles pendant leur élévation et avant qu'elle ne soient chargées, tout d'abord par les assises supérieures, puis par les poussées des arcs des collatéraux et des baies hautes puis des voûtes, et la charge de la charpente. Les piliers de la nef, malgré une élévation souvent rapide, réalisée dans l'année même, attendirent en revanche pour certains près de 150 ans pour être complètement chargés.

III.1.2.4 Des chaînages d'agrafes sur l'entablement des baies hautes

Les comptes de la cathédrale de Troyes attestent également de la mise en œuvre de près de 400 kg d'agrafes sur les entablements des baies hautes de la nef lors de leur élévation

¹⁰⁹⁷ Leur mise en évidence nécessiterait un sondage des maçonneries au radar dans une nacelle auto-élevatrice.

à la fin du XV^e siècle. Bien que leur agencement ne soit pas détaillé et qu'il n'ait pas pu être appréhendé en prospection, faute d'accessibilité de cette partie de l'édifice ainsi que de sondage au radar des maçonneries, on peut supposer que ces agrafes sont alignées dans le sens du mur gouttereau et forment un ou plusieurs chaînages discontinus sur une ou plusieurs assises de pierre coiffant les baies hautes.

La description de l'emplacement de ces agrafes rappelle celles qui renforçaient les assises de la corniche à damiers de la cathédrale Notre-Dame de Paris, et qui constituaient « au sommet le l'édifice, au dessus des voûtes, un puissant chaînage » (cf. Figure 275)¹⁰⁹⁸. Plus que le simple cramponnage des blocs de pierres, c'est donc peut-être un effet de chaînage, placé au sommet du mur gouttereau et reprenant les poussées de l'arcature des baies hautes qui est ici recherché. De plus, cette analogie avec la cathédrale Notre-Dame de Paris, dont la corniche est posée à l'extrême fin du XII^e siècle, indique que ce système de renfort est utilisé à différentes époques et permet d'émettre l'hypothèse que le chœur et le transept de la cathédrale de Troyes, bien que plus anciens que la nef, sont peut-être cramponnés de la même manière. Aucune évidence d'un tel système n'a toutefois été mise au jour dans cette partie de l'édifice, ni dans aucune des autres églises du corpus, mais les moyens nécessaires à leur identification n'ont toutefois pas été mis en œuvre¹⁰⁹⁹. Dans le cas d'une généralisation, ces agrafes représenteraient environ 1 tonne de fer à la cathédrale de Troyes et 1,5 tonnes à la cathédrale ou à l'abbatiale Saint-Ouen de Rouen qui sont plus longues et comptent davantage de travées.

Ces chaînages d'agrafes ne se limitent pas à l'entablement des baies hautes. On en retrouve également sur plusieurs coursives, comme celle des fenêtres hautes du chœur de l'église Saint-Ouen, du triforium oriental ou encore des baies hautes du transept de la cathédrale de Troyes. Leur logique d'installation est cependant plus délicate à percevoir d'autant plus qu'elles semblent systématiquement se limiter à une seule partie de l'édifice, comme si elles étaient le fait d'une seule campagne de construction et non d'une conception globale de l'édifice. Le même constat a été réalisé pour les cathédrales de Reims et d'Amiens¹¹⁰⁰.

¹⁰⁹⁸ VIOLLET-LE-DUC (E.), *Dictionnaire raisonné...*, *op. cit.*, tome II, p. 400.

¹⁰⁹⁹ Il s'agirait ici aussi d'une étude des maçonneries au radar sur une nacelle. Les difficultés de mise en œuvre de cette opération à ce niveau de l'édifice rendent toutefois une mise en œuvre prochaine assez peu probable.

¹¹⁰⁰ LEFEBVRE (E.), « Les tirants de fer de la cathédrale Notre-Dame d'Amiens », dans *L'emploi du fer et du plomb...*, *op. cit.*, sous presse ; DECROCK (B.), « Le fer dans la cathédrale Notre-Dame de Reims : état de la question », dans *L'emploi du fer et du plomb...*, *op. cit.*, sous presse.

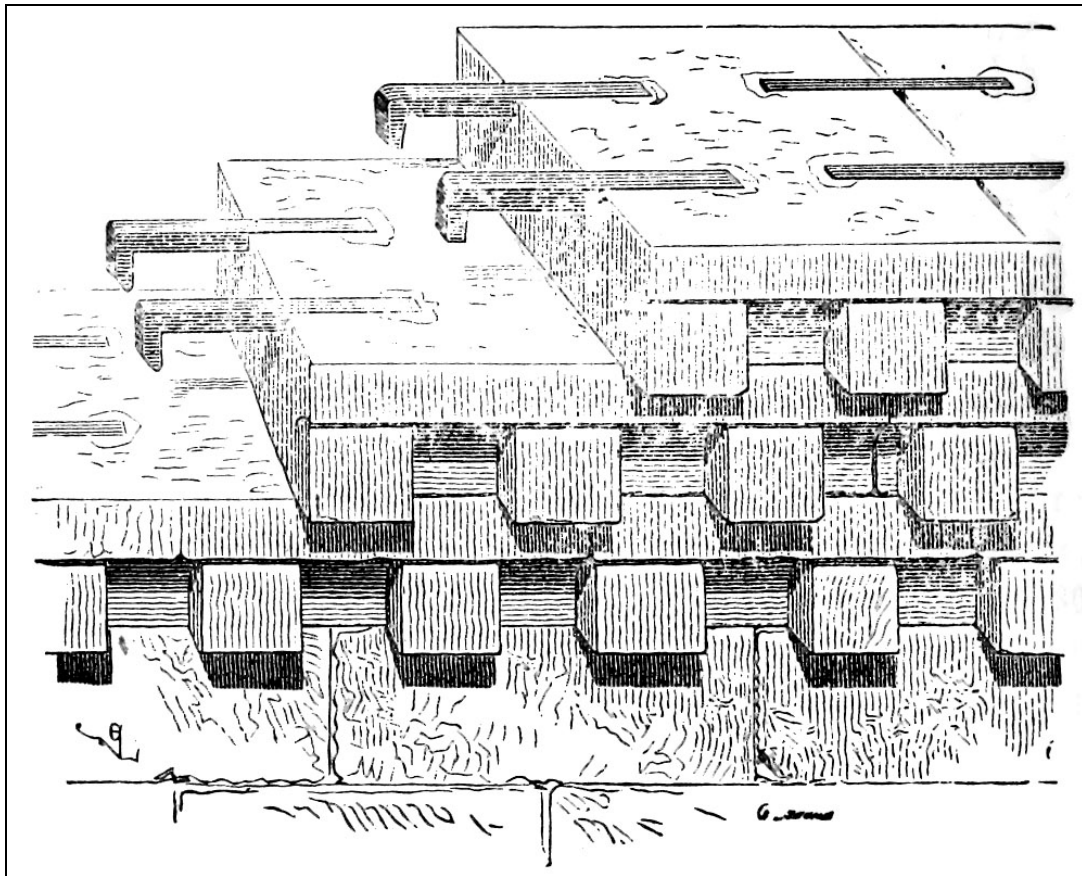


Figure 275 : Chaînage d'agrafes sur la corniche à damiers de la cathédrale Notre-Dame de Paris, dessin de Viollet-le-Duc¹¹⁰¹.

III.1.2.5 Les renforts des arcs-boutants

La structure interne des arcs-boutants n'a pas pu être observée sur l'ensemble des édifices du corpus. Les seules données connues concernent l'église Saint-Maclou et sont liées aux récentes restaurations de la tour-lanterne et des parties hautes du monument. Ces restaurations semblent avoir mis au jour des barres de fer intégrées à la structure de certains arcs-boutants, barres qui avaient déjà été mentionnées par L. E. Neagley dans les années 1970¹¹⁰². Cependant, la période de mise en œuvre de ces fers n'est pas connue.

¹¹⁰¹ VIOLLET-LE-DUC (E.), *Dictionnaire raisonné...*, op. cit., tome II, p. 400.

¹¹⁰² Voir « Tirants et chaînages de l'église Saint-Maclou » ; NEAGLEY (L. E.), *The parish church of Saint-Maclou...*, op. cit., p. 193.

A l'extérieur, les seuls éléments découverts sont les marques d'anciennes barres de fer attachant les colonnettes qui supportent la partie supérieure des arcs-boutants dans le chœur de la cathédrale de Troyes. Ces barres ont toutes été coupées ou descellées, probablement suite à la reconstruction des arcs-boutants au XIX^e siècle. Les trois échantillons prélevés et soumis à analyses métallographiques sont issus de fers de réduction directe, preuve que ces barres ne font pas partie d'une restauration moderne ou contemporaine. Elles sont le témoin d'un système antérieur, datant sans doute de la première moitié du XIII^e siècle. Les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes attestent également de la présence de nombreuses agrafes, goujons et même parfois de barreaux de fer dans les arcs-boutants, mis en œuvre entre le milieu du XIV^e et la fin du XV^e siècle. S'agissait-il de tirants enfouis dans la maçonnerie, ou de tirants externes reliant les arcs entre eux ou aux murs adjacents ? Aucune trace de tirants externes n'a été retrouvée en prospection, mais des restaurations auront pu en effacer les scellements. L'hypothèse la plus probable se porte néanmoins sur des renforts internes. Quant aux agrafes, si certaines correspondent probablement à la fixation de gouttières sur la rigole des arcs, la plupart semblent assurément liées à une volonté de consolider *a priori* la maçonnerie de l'arc-boutant comme il est précisé en 1494 lors de l'achat de 122 livres de fer en crampons et barreaux *pour tenir l'arc boutant dernièrement fait*¹¹⁰³. Faute de restaurations documentées ayant mis les arcs-boutants à nu ou de comptes contemporains de la construction et de restaurations, de tels éléments n'ont pas pu être mis en évidence dans les cinq autres églises étudiées. L'absence de mention dans les comptes de l'église Saint-Jean-au-Marché n'est peut-être liée qu'aux lacunes dont font preuve les sources couvrant la majeure partie du XVI^e siècle et non à une véritable absence de fers mis en œuvre dans la structure de l'édifice.

D'autres édifices montrent des exemples de liaisonnement des arcs-boutants au moyen d'éléments de fer.

A la cathédrale d'Amiens, des barres de fer, aujourd'hui souvent remplacées par des barres de bronze renforcent les arcatures qui relient la partie inférieure et la partie supérieure de l'arc-boutant (cf. Figure 276). Cette mise en œuvre rappelle l'emploi de tirants au sommet ou en partie médiane des baies vitrées ou non vitrées, visibles sur la plupart des églises gothiques.

¹¹⁰³ PJ n° 66, fol. 411 r°.

A la cathédrale d'Auxerre, des agrafes ont été mises au jour dans la maçonnerie des arcs-boutants ; elles relient les blocs de pierre situés entre l'arcature et la noue de l'arc dans le sens des poussées de l'arc-boutant¹¹⁰⁴. Des goujons ont également été découverts dans les meneaux constituant les arcatures.

Dans le chœur de la basilique de Saint-Denis, on trouve un système de barres de fer attachant les colonnettes qui soutiennent les arcs-boutants, presque identique à celui de la cathédrale de Troyes (cf. Figure 276). Outre le fait qu'elles sont encore en place à la basilique de Saint-Denis alors qu'elles ont été supprimées à la cathédrale de Troyes, les principales différences entre ces barres résident dans leur section et dans leur disposition, de chant à la cathédrale de Troyes et à plat à Saint-Denis. Les analyses métallographiques réalisées sur un échantillon prélevé à la basilique ont confirmé qu'il s'agissait bien d'un fer de réduction directe intégré à un système de construction médiéval¹¹⁰⁵. Les nombreuses ressemblances entre le chœur de la cathédrale de Troyes et celui de la basilique de Saint-Denis, déjà évoquées au sujet du triforium, semblent donc se retrouver jusque dans les systèmes de construction employés.

Enfin, l'exemple le plus ingénieux d'emploi du fer au niveau des arcs-boutants est très certainement à la cathédrale de Beauvais. De nombreux tirants relient les arcs-boutants entre eux, notamment au niveau des culées (cf. Figure 276). Ces tirants, qui n'étaient sans doute pas constamment en tension, ont été en grande partie déposés dans les années 1960 à 1980 sous prétexte qu'ils ne servaient à rien et nuisaient à l'esthétique de l'édifice¹¹⁰⁶. Leur suppression a cependant failli causer la ruine du monument à peine quelques années plus tard, lorsque de fortes rafales de vent firent dangereusement osciller les culées et de nouveaux tirants durent être reposés en urgence¹¹⁰⁷. J.-L. Taupin soupçonne alors les tirants originels de faire en réalité partie d'un « ingénieux système d'amortissement » agissant « en inhibiteur de résonances catastrophiques »¹¹⁰⁸. D'après lui, ils ont été mis en œuvre après l'accident de 1284, pour pallier à la « mise en résonance aérodynamique des parties hautes des culées et des arcs-boutants », cause probable de ce premier effondrement du chœur de la cathédrale¹¹⁰⁹.

¹¹⁰⁴ AUMARD (S.), « L'emploi du plomb dans la cathédrale Saint-Etienne d'Auxerre », dans *L'emploi du fer et du plomb...*, *op. cit.*, sous presse.

¹¹⁰⁵ L'HERITIER (M.), JUHIN (A.), DILLMANN (Ph.), ARANDA (R.), BENOIT (P.), « Utilisation des alliages ferreux... », *op. cit.*

¹¹⁰⁶ MONNIER (E.), « Des monuments qui jouent avec la mécanique », *Les cahiers de Science et Vie*, n° 69, *Sciences et techniques des bâtisseurs de cathédrales*, juin 2002, p. 12-21.

¹¹⁰⁷ ID., *Ibid.*

¹¹⁰⁸ TAUPIN (J.-L.), « Le fer des cathédrales »..., *op. cit.*

¹¹⁰⁹ ID., *Ibid.*

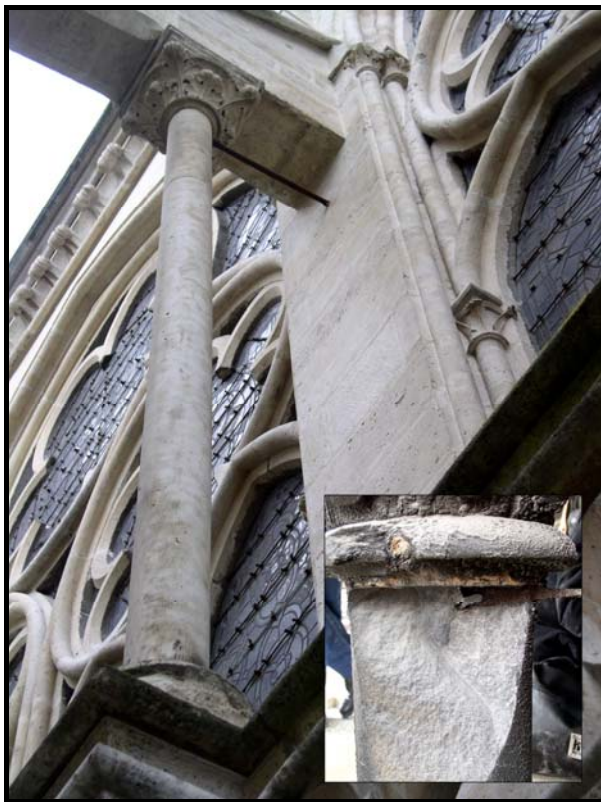


Figure 276 : Divers renforts au niveau des arcs-boutants. En haut, tirants dans les arcatures des arcs-boutants de la cathédrale d'Amiens. En bas à gauche, barres attachant les colonnettes de support à la basilique de Saint-Denis. En bas à droite, tirants dans le chœur de la cathédrale de Beauvais.

Si l'utilité et la fonction des tirants de fer insérés entre les culées et les arcs-boutants de la cathédrale de Beauvais ont été montrées de manière indirecte à la suite de ces restaurations malheureuses engagées à partir des années 1960, le rôle des éléments découverts sur les autres églises décrites ainsi que leur nécessité pour la statique de l'édifice est beaucoup moins évident. Nous sommes en effet dans ces différents cas bien loin de l'usage particulier du fer qui est fait dans les arcs-boutants de la cathédrale de Beauvais. L'utilité de ces systèmes de construction peut de plus parfois être remise en question. C'est notamment le cas des petites barres de fer attachant les colonnettes qui soutiennent les arcs-boutants dans le chœur de la basilique de Saint-Denis et de la cathédrale de Troyes : les restaurations qui ont supprimé ces barres à Troyes sans affecter la stabilité de la structure montrent indirectement qu'elles ne jouaient pas un rôle architectural important. En revanche, même si, faute d'informations, leur rôle et leur réelle utilité ne peuvent être discutés, une partie des agrafes et des tirants mis en œuvre dans les arcs-boutants de la cathédrale de Troyes d'après les comptes de la fabrique des XIV^e et XV^e siècles ont véritablement été employés par les bâtisseurs médiévaux dans le but de renforcer leur maçonnerie.

III.1.2.6 Des chaînages de consolidation

Ces tirants insérés entre les arcs-boutants de la cathédrale de Beauvais introduisent sur un autre emploi du fer dans la construction gothique : la mise en œuvre en vue d'une consolidation *a posteriori*. En effet, selon J.-L. Taupin, ces tirants ont été installés comme éléments palliatifs après l'effondrement d'une partie de l'édifice en 1284¹¹¹⁰. Les églises troyennes et rouennaises montrent plusieurs exemples tels tirants et chaînages, installés après coup pour consolider la maçonnerie. La plupart ont été mis en place bien après l'achèvement de l'édifice, mais certains datent néanmoins de la période médiévale.

La cathédrale de Troyes est sans nul doute l'édifice du corpus qui a fait l'objet du plus grand nombre de consolidations postérieures à la construction. L'ensemble des chaînages installés à cet effet se circonscrit au transept de la cathédrale. On compte un chaînage mis en place entre 1410 et 1412 dans les combles hautes afin « d'entretenir les voûtes » du transept

¹¹¹⁰ ID., *Ibid.*

nord¹¹¹¹. Trois autres chaînages, un sur le mur bahut oriental et un de chaque côté au plafond du triforium viennent attacher le portail et les parties septentrionales du transept aux piles de la croisée. De manière un peu différente, la consolidation du Beau Portail de la cathédrale de Troyes au cours du XV^e siècle, qui a vu l'adjonction de contreforts latéraux, d'une aiguille et d'un gâble en pierre de Tonnerre a employé de nombreuses barres et tirants de fer afin d'assurer la cohésion entre ce placage et la maçonnerie existante. Enfin, au XVIII^e siècle, c'est le transept sud qui fait l'objet d'une consolidation avec l'installation d'un chaînage destiné à empêcher le déversement du portail méridional. Il remplit son rôle pendant près de 130 ans avant de se rompre et d'entraîner la travée la plus au sud du transept dans sa ruine.

A l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes, c'est la nef qui a fait l'objet de consolidations postérieures avec l'installation de dix tirants au travers du vaisseau central entre les quatrième et neuvième travées au début du XIX^e siècle. Le rôle de ces tirants est de maintenir la poussée des voûtes de la nef qui présente d'importantes déformations, en particulier un dévers extérieur des murs gouttereaux nettement visible sur les clichés pris à l'intérieur de l'église. Ces désordres sont la conséquence d'un contrebutement insuffisant.

Enfin, à l'église Sainte-Madeleine, un chaînage de bois courant au pied des fenêtres hautes et comptant quelques supports de fer a pu être mis en évidence, bien qu'on ignore tout des raisons et de la période de son installation.

Les problèmes de contrebutement, principe de base sur lequel repose la construction des édifices gothiques, sont presque systématiquement à l'origine de l'installation de ces chaînages. A l'église Saint-Jean-au-Marché, c'est « l'insuffisance du contrebutement »¹¹¹² auxquels les tirants doivent pallier. De même à la cathédrale de Troyes où les chaînages sont mis en place dans le transept, partie de la structure gothique qui manque intrinsèquement de contrebutement à ses extrémités, phénomène probablement aggravé par les nombreuses restaurations dont il a du faire l'objet. Le rôle des chaînages est alors d'offrir un contrebutement interne en s'opposant à l'écartement des maçonneries. L'exemple le plus célèbre d'installation de tels chaînages est celui de la cathédrale d'Amiens, où, vers 1498, pour empêcher le boucllement des piles de la croisée, huit chaînages pesant environ 8 tonnes de fer sont mis en place dans le triforium (cf. Figure 277)¹¹¹³. Si les raisons de leur installation

¹¹¹¹ PJ n° 41, fôl. 14 v°.

¹¹¹² Courrier de l'inspecteur général adjoint Bertrand Monnet au sujet de l'église Saint-Jean daté du 1^{er} décembre 1971, Archives E. Pallot, dossier « ACMH ».

¹¹¹³ LEFEBVRE (E.), *La place et le rôle des métaux dans l'architecture gothique à travers l'exemple de la cathédrale d'Amiens. Étude de cas : le chaînage du triforium de la cathédrale d'Amiens*, Mémoire de M1 d'archéologie médiévale sous la direction de Ph. RACINET et A. TIMBERT, Université de Picardie-Jules-Verne (Amiens), 2006, p. 86.

résultent ici, non pas d'une insuffisance, mais d'un contrebutement trop important, le principe de consolidation reste identique.

Toutefois, la réelle utilité de ces divers chaînages de consolidation a pu parfois être remise en question. Si elle est indéniable pour le chaînage installé en 1713 dans le transept sud de la cathédrale de Troyes, puisque sa rupture a entraîné la ruine de cette partie de l'édifice, elle l'est bien moins pour les autres. Certains architectes se sont même individuellement interrogés sur leur véritable rôle. Celui du triforium de la cathédrale de Troyes est, d'après E. Millet en 1849, « d'un effet tout à fait nul »¹¹¹⁴. Les tirants de l'église Saint-Jean-au-Marché sont, d'après l'architecte Malarmoy en 1979, « placés par mesure de précaution » et « d'un effet néfaste »¹¹¹⁵. En revanche, un siècle plus tôt, M. Bruyère affirmait que les murs de la nef « ne sont maintenus que par [ces] chaînages »¹¹¹⁶. A la cathédrale d'Amiens, des essais de continuité électrique réalisés sur les quatre chaînages de la partie nord de l'édifice ont montré qu'un seul d'entre eux n'était sans doute pas en tension. On voit donc ici que non seulement les interprétations, mais aussi les faits divergent quant au rôle véritable de ces éléments de consolidation. Dans tous les cas, on peut raisonnablement émettre deux hypothèses.

En premier lieu, on ne peut exclure dans tous les cas, que, même lorsqu'ils ne sont pas en tension à un moment donné, ces chaînages entrent peut-être de manière dynamique dans la statique des édifices, comme l'a très justement démontré J.-L. Taupin pour les tirants des arcs-boutants de la cathédrale de Beauvais¹¹¹⁷. Il entreraient en tension lors de mouvements exceptionnels du monument dus à des phénomènes telluriques ou climatiques extérieurs. Le même raisonnement s'appliquait aux chaînages entrant directement dans la conception de ces édifices. Dans le cas contraire, lorsqu'ils sont continuellement tendus, ces éléments s'exposent bien souvent à une rupture inévitable, d'autant plus que, de manière générale, les caractéristiques mécaniques des fers anciens semblent très éloignées de celles des alliages actuels¹¹¹⁸. Sur un tel matériau de résistance moindre, ce type de contraintes prolongées risque en effet d'être extrêmement dommageable, si les éléments en question ne sont pas correctement proportionnés par rapport aux efforts qu'ils subissent. Le chaînage du portail sud de la cathédrale de Troyes, qui n'a rempli sa fonction que pendant un siècle et demi environ,

¹¹¹⁴ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 0080/010/0078.

¹¹¹⁵ « La poussée des voûtes de la nef, du 4^e au 8^e pilier, est maintenue par des tirants en fer, placés par mesure de précaution, mais dont l'effet paralyse la fonction des arcs-boutants. », Archives E. Pallot, dossier « ACMH ».

¹¹¹⁶ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 081/010/0082, « Rapport de la commission, par M. Bruyère sur l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes », séance du 16 mai 1884.

¹¹¹⁷ TAUPIN (J.-L.), « Le fer des cathédrales »..., *op. cit.*

¹¹¹⁸ JUHIN (A.), *Structure métallographique et comportement mécanique...*, *op. cit.*

en est l'exemple probant. De même, c'est sans doute en prévision de contraintes fortes et pour prévenir une éventuelle rupture, que les chaînages de la cathédrale d'Amiens arborent une très importante section (8 cm x 4 cm en moyenne)¹¹¹⁹. On peut ainsi s'interroger sur les capacités de résistance réelles de chacun de ces chaînages et sur les contraintes effectives qu'ils subissent.

Conclure à l'inutilité totale de la plupart de ces chaînages serait réducteur et probablement erroné. Pourtant, il semble qu'il faille plutôt s'orienter vers une vision de ces éléments de consolidation comme autant de précautions prises pour éviter l'aggravation de certains désordres que comme de véritables organes de contrebutement.



Figure 277 : Chaînage dans le triforium de la cathédrale d'Amiens (à gauche) et ancre arrêtant le chaînage au niveau d'une pile de la croisée (à droite).

¹¹¹⁹ Dans ce cas précis, la fabrique de la cathédrale chercha également à se procurer un matériau de bonne qualité, du « fer d'Espagne ». La question du fer d'Espagne est discutée ultérieurement dans le chapitre sur les régions d'approvisionnement en fer.

III.1.2.7 L'emploi du fer dans le décor gothique

Parallèlement à l'emploi de ces tirants et chaînages que l'on retrouve dans les vitraux, ou à des endroits sensibles de la structure comme les triforiums ou les tours-lanternes, les prospections réalisées sur ces sept églises, de même que l'étude des textes, ont mis en évidence l'emploi de nombreux petits éléments de fer dans le décor sculpté gothique, principalement des agrafes et des goujons.

III.1.2.7.1 L'emploi d'agrafes sur les balustrades

Les balustrades sont parfois renforcées par des agrafes qui joignent leurs blocs deux à deux formant ainsi des sortes de « chaînages discontinus ».

Le repérage de ces agrafes est aisé sur les balustrades intérieures qui sont en général bien conservées. La balustrade du triforium du chœur de l'église Saint-Ouen ou encore celles au revers du portail de la Calende de la cathédrale de Rouen montrent par exemple des chaînages d'agrafes réguliers et intacts. Ces chaînages sont plus rarement internes. L'exemple d'un tel renforcement se trouve néanmoins dans les travées occidentales du triforium de la nef de la cathédrale où le détecteur de métaux a émis un écho presque continu entre les deux assises supérieures de la balustrade.

Si ces balustrades intérieures situées à l'abri des intempéries n'ont que rarement fait l'objet de restaurations¹¹²⁰, ce n'est en général pas le cas de celles des coursives extérieures. Seule une minorité, comme celle des combles bas de la nef de la cathédrale de Troyes ou encore celle du deuxième étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen de Rouen, semble n'avoir été que fort peu remaniée et porte encore l'intégralité de leur chaînage d'agrafes. La majorité de ces balustrades externes a en revanche été sévèrement endommagée et certaines ont même parfois été complètement détruites ou reconstruites. L'appréhension des éventuels chaînages d'agrafes préexistants est donc plus difficile. A l'église Saint-Ouen de Rouen, seules 10 % des jointures de la balustrade extérieure du triforium du chœur portent encore la marque d'une agrafe ou de son logement et, au troisième étage de la tour de la

¹¹²⁰ Dans le triforium, les balustrades de certaines travées de la nef de la cathédrale de Rouen ont été restaurées et ne présentent plus de renforts de fer internes.

croisée, une seule empreinte d'agrafe était visible avant restauration, mais les marques de plusieurs agrafes sectionnées sont apparues dans les piliers latéraux délimitant ces balustrades lors de leur dépose. Dans la nef de la cathédrale de Rouen, au niveau des combles bas, la présence régulière de logements dans la maçonnerie des arcs-boutants permet de restituer l'existence d'une balustrade pourvue d'agrafes au début du XIII^e siècle et déplacée plusieurs mètres vers l'extérieur lors de l'édification des chapelles. Au niveau des fenêtres hautes, trois logements situés dans les supports d'arcs-boutants, dont certains contiennent encore la section d'une agrafe scellée au plomb, attestent quant à eux du renforcement de l'ancienne balustrade qui a été remplacée. A l'église Saint-Maclou de Rouen, la balustrade du triforium du chœur est très largement restaurée, cependant, au niveau des contreforts des chapelles ou des passages sous les arcs-boutants, les pierres n'ont pas été changées et portent la marque d'agrafes coupées ou de logements d'agrafes. A la cathédrale de Troyes, quatre logements d'agrafes sont présents dans une des travées sud du chœur à hauteur du triforium. De plus, la balustrade qui ceint le grand comble de la nef montre presque à chaque jointure des logements d'agrafes bouchés. La situation est identique dans le chœur de l'église Saint-Jean-au-Marché. Ces vestiges, certes parfois très fugaces, permettent néanmoins de restituer avec certitude autant de chaînages d'agrafes sur les balustrades de ces édifices.

Toutes les agrafes évoquées jusque-là sont ancrées sur le dessus des balustrades dans un plan horizontal. Certaines balustrades montrent en revanche des chaînages similaires mais situés dans le plan vertical. C'est notamment le cas de deux des trois balustrades du Beau Portail de la cathédrale de Troyes, ainsi qu'à certains endroits des garde-corps de la nef à hauteur du triforium. L'église Saint-Jean-au-Marché révèle un dernier exemple de chaînage vertical qui vient doubler le chaînage horizontal de la première travée du chœur.

On peut enfin citer l'exemple plus exceptionnel des balustrades hautes du chœur de l'église Saint-Urbain de Troyes dont la base est rattachée à l'entablement des baies hautes par un système de crochets s'insérant dans des sortes de vertevelles. Ces renforts viennent doubler la disposition originale de cette balustrade dont l'angle est légèrement obtus vers l'intérieur, afin d'empêcher tout déversement vers l'extérieur¹¹²¹. Il est cependant dans ce cas difficile de savoir si ces éléments entraient pleinement dans la conception originelle de ces balustrades ou si elles sont le fruit des restaurations de Selmersheim au XIX^e siècle.

¹¹²¹ VIOLLET LE DUC (E.), *Dictionnaire raisonné...*, *op. cit.*, tome III, p. 190.

De manière plus générale, il est légitime de revenir sur la question de la datation ces chaînages d'agrafes, puisque, étant donné leur situation, ces agrafes ont dans la plupart des cas pu être ajoutées à n'importe quelle période de la construction. Deux arguments permettent cependant de confirmer leur contemporanéité avec la mise en place des balustrades.

Tout d'abord, la position stratigraphique de certaines agrafes situées aux extrémités des balustrades et qui sont en partie solidement ancrées dans les parois où ces garde-corps s'appuient, montre qu'elles n'ont pas pu être posées après leur élévation. L'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes présente au contraire un exemple de balustrade refaite avec remise en place ou rajout d'agrafes. Les agrafes situées à l'extrémité est ne pénètrent pas profondément dans la maçonnerie de l'arc-boutant où la balustrade se termine mais arborent une forme d'équerre ansée pour venir s'y accrocher, preuve, dans ce cas, de leur postériorité à la construction originelle. Il en est de même pour certaines agrafes isolées, que l'on retrouve par exemple dans la coursive basse de la nef de l'église Saint-Ouen ou encore au troisième étage de sa tour centrale et qui sont manifestement posées à des endroits où la pierre s'est fracturée. Il ne s'agit pas ici de renforts posés *a priori* mais bien de consolidations suite à des désordres de la maçonnerie.

Dans un second temps, les analyses métallographiques effectuées sur cinq agrafes ou fragments d'agrafes prélevés sur quatre balustrades des églises rouennaises, OUVEN 02, OUVEN 09, OUVEN 10, MAC 01 et ROU AG1, ont révélé que ces agrafes étaient composées de fer de réduction directe, ce qui confirme le fait qu'elles ont bien été mises en place à la période médiévale, sans doute lors de la construction de la balustrade qu'elles renforcent¹¹²². En revanche, le fragment d'agrafe verticale prélevé à la cathédrale de Troyes sur une des balustrades du Beau Portail, TROY 11 est issu de la filière indirecte et provient donc probablement d'une restauration, confirmant l'hypothèse qui avait été émise à son sujet. Le cas de l'église Saint-Jean-au-Marché est à nouveau légèrement différent. Outre sa première travée qui a été refaite, la balustrade qui ceint les combles bas du chœur date, comme l'ensemble de cette partie de l'édifice, de la première moitié du XVI^e siècle, époque où le procédé indirect est déjà bien établi dans la région. La dichotomie entre les filières de réduction n'est donc pas ici possible pour établir l'ancienneté des agrafes.

Il est donc vraisemblable que la majeure partie, si ce n'est la quasi-totalité des chaînages d'agrafes de balustrades découverts ou restitués, ne correspondent pas à des rajouts

¹¹²² Les inclusions de l'agrafe ROU AG1 la situaient dans la zone indéterminée, ce qui n'est pas incompatible avec un fer médiéval de réduction directe.

postérieurs et sont bien contemporains de la construction originelle de l'édifice. Les chaînages verticaux posent cependant toujours la question d'éventuels renforts installés *a posteriori*.

Si l'emploi de ces chaînages d'agrafes est relativement fréquent, il n'est néanmoins pas systématique. La balustrade intérieure du triforium de l'église Saint-Ouen n'est par exemple agrafée que dans le chœur. Celles des triforiums de l'église Saint-Maclou et des travées orientales de la nef de la cathédrale de Rouen, qui prennent pourtant copie sur celle de Saint-Ouen, ne possèdent aucune marque d'agrafe. De manière générale, ces chaînages semblent souvent être utilisés préférentiellement à certains endroits de l'édifice, endroits qui varient cependant d'une église à l'autre : la nef et les portails latéraux dans le cas des cathédrales de Rouen et de Troyes, le chœur à l'église Saint-Ouen et à l'église Saint-Jean-au-Marché¹¹²³. La mise en œuvre de ces agrafes sur les balustrades ne semble toutefois répondre à aucune règle.

Dans son ouvrage sur les chantiers des églises lyonnaises, N. Reveyron mentionne une mise en œuvre similaire dans plusieurs garde-corps de l'église Saint-Nizier de Lyon et de la cathédrale Saint-Jean-Baptiste¹¹²⁴. Bien que l'auteur ne l'indique pas de manière explicite, l'utilisation d'agrafes ne semble là aussi pas systématique et paraît plutôt se circonscrire uniquement à certaines balustrades. Il évoque néanmoins, et à juste titre, le caractère « trivial » de cette utilisation des agrafes¹¹²⁵. Malgré ces constatations, ces chaînages d'agrafes ne semblent trouver aucun autre écho dans la littérature, peut-être car cette mise en œuvre semble trop évidente.

En effet, et en paraphrasant les termes de N. Reveyron, la fonction de ces chaînages d'agrafes est bien évidente : leur rôle est d'empêcher le glissement des pierres constituant la balustrade afin d'éviter notamment leur déversement vers l'extérieur. Cependant, comme il le fait très justement remarquer, « la solidité [de ces chaînages] reste toutefois limitée, puisqu'elle dépend d'abord de la qualité du matériau lithique, et non de la résistance du métal »¹¹²⁶. Certains vont encore plus loin et émettent l'hypothèse d'une inutilité totale de ces chaînages, en considérant que, soit le système consolidé est en traction et la pierre finira par

¹¹²³ Les données ne sont pas suffisantes sur les autres édifices pour permettre de conclure à une utilisation préférentielle dans l'une ou l'autre des leurs parties.

¹¹²⁴ REVEYRON (N.), *Chantiers lyonnais du Moyen Âge : Saint-Jean, Saint-Nizier, Saint-Paul*, DARAA n° 28, Lyon, ALPARAA, p. 278-280.

¹¹²⁵ ID., *Ibid.*, p. 48.

¹¹²⁶ ID., *Ibid.*, p. 48.

se briser, soit le système n'est pas soumis à contraintes et le crampon est alors inutile¹¹²⁷. Ce dernier aspect semble toutefois un peu réducteur, car s'il est vrai que des blocs de pierres soumis à un effort de traction constant finiront nécessairement par se briser même s'ils sont renforcés par des agrafes, c'est ne pas tenir compte de la dynamique des différentes parties de l'édifice qui ont leurs propres contraintes fixes au repos, mais qui sont également régulièrement soumises aux aléas météorologiques et éventuellement telluriques. Deux blocs de pierres mitoyens peuvent donc subir des forces parfois importantes, mais limitées dans la durée, et ces agrafes viennent alors aider à absorber les contraintes mécaniques supplémentaires dans la limite de leur résistance. Elles ne seraient donc pas constamment en traction, mais plutôt de manière ponctuelle, lors de rafales de vent par exemple pour les balustrades extérieures. De plus, même les balustrades qui ne présentent pas de chaînage d'agrafes possèdent la plupart du temps des renforts internes, goujons de fer ou de bronze dans les restaurations les plus récentes, coulés au plomb, ou encore simples goujons de plomb. L'adhérence d'une simple semelle de mortier ou de plomb verticale dans les jointures, si elle suffit à assurer la stricte cohésion de l'assemblage entre deux blocs d'une balustrade, est en revanche bien souvent insuffisante lorsque des forces exogènes viennent modifier le système d'équilibre.

Le manque de références précises au sujet de ces chaînages d'agrafes sur les balustrades ne permet pas de pousser plus loin la réflexion. Sur les édifices étudiés, leur présence n'est jamais systématique, mais semble plutôt se circonscrire à certaines campagnes de construction. Notons enfin que ces chaînages d'agrafes représentent des quantités de fer assez limitées de l'ordre de quelques dizaines de kilogrammes de fer chacun.

Enfin, si la mise en œuvre d'agrafes de fer sur les balustrades ne se limite pas à la seule époque gothique, cet usage s'est pourtant essentiellement développé à cette période qui voit une multiplication des couloirs de circulation dans les églises engendrant un développement des balustrades¹¹²⁸. De plus, la structure de ces garde-corps ne va cesser de s'affiner tout au long du XIII^e siècle et de petits murets assez trapus devenir de véritables ouvrages finement sculptés¹¹²⁹, d'autant plus fragiles structurellement et nécessitant davantage de consolidation. L'emploi d'agrafes sur les balustrades est donc à ce titre caractéristique de la période gothique.

¹¹²⁷ J.-L. Taupin citant un de ses collègues italien, Carlo Blasi, lors d'un entretien.

¹¹²⁸ VIOLLET-LE-DUC (E.), *Dictionnaire raisonné...*, *op. cit.*, tome 2, p. 68.

¹¹²⁹ ID., *Ibid.*, tome 2, p. 80. Il cite en particulier le cas de la balustrade du triforium du chœur de l'église Saint-Ouen de Rouen.

III.1.2.7.2 Le renfort des éléments verticaux, meneaux, colonnettes, pinacles.

A l'instar des éléments horizontaux, les éléments verticaux possèdent eux aussi des renforts métalliques. Les colonnettes et meneaux en sont les premiers exemples.

Presque chaque colonnette rencontrée sur les édifices étudiés possède au moins deux goujons, un à sa base et un à son sommet, afin de relier son fût respectivement à son socle et à son chapiteau. Les exemples sont ici tellement nombreux qu'il serait fastidieux de tous les citer. Aussi nous nous restreindrons au triforium de la cathédrale de Rouen qui à lui seul montre l'emploi de goujons dans trois types de colonnettes différentes :

- dans la partie occidentale de la nef, les colonnettes formant l'arcature de la balustrade ;
- les vestiges des anciennes colonnes aujourd'hui disparues qui portaient les avant-baies des fenêtres hautes avant leur modification à partir de la fin du XIV^e siècle ;
- dans le chœur et le transept, les colonnettes constituant le décor du triforium.

Toutes ces colonnettes, à l'exception de celles qui ont été restaurées, sont renforcées par un goujon à leur base et un goujon sommital, coulés au plomb, mis en évidence grâce à des éléments brisés et par prospection au détecteur de métaux. La mise en œuvre de goujons dans les meneaux de niches ou de claires-voies est similaire. Les quelques éléments brisés découverts notamment sur les façades des cathédrales de Rouen et de Troyes ont toujours montré la présence d'un goujon de fer ou l'empreinte de son logement. Le caractère récurrent du renforcement interne de ces éléments de pierre verticaux est révélé par la présence, sur l'ensemble des édifices étudiés, de nombreux trous de coulée nécessaires à l'introduction des plombs de scellement à l'état liquide. La masse de fer que représentent ces goujons n'a pas été quantifiée de manière globale sur les édifices du corpus, faute d'évidences sur leurs dimensions. Toutefois des estimations partielles ont été réalisées et les seules colonnettes du triforium de la cathédrale de Rouen comptent près de 250 kg de fer en goujons. Il est donc vraisemblable que sur les plus grands édifices du corpus, ils représentent en tout quelques tonnes de fer.

Certaines colonnettes presque adossées sont également attachées au mur par l'intermédiaire de petites barres ou agrafes de fer. La cathédrale de Rouen offre encore une fois de nombreux exemples d'une telle mise en œuvre. Dans le chœur, chacune des deux colonnettes qui reçoivent les arcatures aveugles de la chapelle du Revestiaire est attachée au mur par trois barres de fer. Le système est identique dans la nef pour les colonnettes baguées

qui supportent les passages en saillie des fausses tribunes ainsi qu'au revers de la façade occidentale, dans les arcatures décoratives des campaniles. Dans ce dernier cas, certains éléments brisés permettent d'appréhender l'ancrage à angle droit de ces agrafes au sein des colonnettes. Enfin, à la cathédrale de Troyes, les colonnettes qui font partie des arcatures aveugles décorant tout le pourtour du chœur possèdent pour certaines également une petite barre qui vient s'ancrer en partie sommitale dans le joint entre leur fût et leur chapiteau. Ces petites barres ou agrafes de fer semblent venir se substituer à l'emploi de goujons internes en partie médiane et en partie haute de colonnettes très élancées ou pouvant être soumises à de fortes contraintes, en doublant le renfort interne d'un raccord au mur de fond. Ces attaches sont disposées à hauteur des joints entre les différents blocs constitutifs de ces colonnettes.

Les pinacles, ces pyramides de pierre présentes sur les arcs-boutants et les balustrades extérieures des églises font également l'objet d'un renforcement au moyen de goujons et d'agrafes. A l'église Saint-Ouen de Rouen, plusieurs vestiges de pinacles et des petites flèches qui les coiffent, les fleurons, ont pu être observés. Ils montrent un goujonnage systématique des assises les unes sur les autres, au moyen d'un goujon central ou même de plusieurs petits goujons périphériques. Les différents blocs constituant une même assise sont également parfois agrafés entre eux. Enfin, le pinacle est scellé sur sa base au moyen d'un goujon vertical qui s'enfonce dans son socle. Leur empreinte est encore conservée sur les balustrades où ils se trouvaient lorsqu'ils ont été déposés. Certains petits pinacles et fleurons décoratifs décorant les clochetons de la façade de la cathédrale de Rouen y sont même actuellement attachés par l'intermédiaire de barres de fer ou de bronze lorsqu'elles ont fait l'objet de restaurations. Les comptes de la fabrique de la cathédrale attestent en outre de la mise en œuvre de 15 kg d'agrafes, goujons et vertevelles dans un des pinacles situés sur cette même façade lors de son embellissement à la fin du XIV^e siècle¹¹³⁰. En extrapolant ce résultat sur l'ensemble de la cathédrale, les pinacles contiendraient à eux seuls environ 1,5 tonnes de fer. L'ordre de grandeur serait identique pour les autres édifices, notamment la cathédrale de Troyes, l'abbatiale Saint-Ouen de Rouen ainsi que l'église Saint-Maclou qui malgré ses plus petites dimensions compte un nombre important de pinacles.

L'origine de ces renforts de colonnettes, meneaux et autres pinacles pose moins de problèmes que pour les balustrades. Les goujons qui sont à l'intérieur de la pierre ne peuvent pas être ajoutés *a posteriori* sauf en cas de restauration. Au contraire, les observations

¹¹³⁰ PJ n° 1.

montrent que les éléments restaurés ne possèdent la plupart du temps plus de goujons métalliques. En outre, l'emploi de goujons dans les *colombes* ou les *filloles*¹¹³¹, est bien attesté dans les comptes¹¹³², de même pour les meneaux, en particulier ceux qui forment les remplages des grandes baies¹¹³³. Enfin, les analyses métallographiques réalisées sur les goujons des anciennes colonnettes du triforium de la cathédrale de Rouen, ROU TS5, ROU TS6, ROU TN6 et ROU TN7, et sur les goujons d'un meneau de la tour centrale de l'église Saint-Ouen, OUEN 12 et de la façade de la cathédrale de Troyes, TROY 12, viennent confirmer ces conclusions puisqu'il s'agit dans tous les cas de fer de réduction directe.

Le cas des petites attaches n'est pas tellement différent. En effet, en l'absence de dépose d'une partie de la colonnette, il est impossible de les mettre en œuvre. De plus, la logique de leur utilisation ne fait aucun doute pour les colonnettes les plus élancées. En revanche, l'arcature aveugle du chœur de la cathédrale de Troyes ne répond pas à ces critères d'élancement et les colonnettes qui la composent sont monolithiques. En outre, ces petites attaches n'y sont actuellement pas mises en œuvre de manière systématique, et, ni leur présence, ni leur absence, ne peut être expliquée uniquement par le fait des restaurations. Pourtant, l'analyse métallographique de deux d'entre elles, TROY 01 et TROY 02 a bien montré qu'il s'agissait là aussi de fer de réduction directe donc vraisemblablement d'origine médiévale.

Les exemples d'emplois de fers pour le maintien des éléments verticaux sont également très fréquents sur d'autres églises, mais rares sont les études plus détaillées à leur sujet.

Les travaux décrits dans les comptes de l'évêque de Coutances à la cathédrale en 1440, qui prévoient notamment de faire quatre *filletes de pierre toutes neufves*¹¹³⁴ en la grosse tour d'icelle eglise devers Saint Pierre, nécessiteraient, d'après les déclarations des maréchaux, la mise en œuvre de 600 livres de fer ouvré scellées au plomb¹¹³⁵. D'autres travaux aux *filletes* de la tour lanterne et les réparations d'une autre colonnette située cette fois vers la tour Saint-Nicolas confirment un abondant emploi de barres et de crampons de fer¹¹³⁶. En tout, la mise en œuvre de plus de mille livres de fer est prévue pour ces ouvrages et au moins autant de

¹¹³¹ *Fillole* : élément de maçonnerie vertical désignant une tourelle, clocheton ou encore plus simplement une colonnette, GODEFROY (F.), *Dictionnaire de l'ancienne langue française...*, op. cit., tome 4, p. 4.

¹¹³² Arch. dép Seine-Maritime, G 2483, fol. 2 r°.

¹¹³³ PJ n° 69, fol. 58 r°.

¹¹³⁴ Le terme de *fillete* est à rapprocher de celui de *fillole*, DESIRE dit GOSSET (G.), *La messe épiscopale de Coutances en 1440*, 1998, Saint-Lô, Société d'archéologie et d'histoire de la Manche, p. 83.

¹¹³⁵ ID., *Ibid.*, p. 9.

¹¹³⁶ ID., *Ibid.*, p. 10, 12.

plomb. Si les travaux décrits dans ces comptes ne constituent qu'une sorte de devis prévisionnel des travaux à effectuer, dont on ne sait dans quelle mesure il a été réalisé¹¹³⁷, ils donnent toutefois des informations précieuses sur les pratiques de l'époque et montrent que le fer est partie intégrante de la construction, en particulier sous forme de barres pour le maintien des éléments verticaux.

En l'état actuel de la recherche, seul S. Aumard a estimé l'importance des goujons dans l'intégralité de la maçonnerie suite aux restaurations en cours sur la cathédrale d'Auxerre¹¹³⁸. Il y a comptabilisé plus de 2100 goujons, tous scellés au plomb, qui représenteraient environ 2 tonnes de fer (cf. Figure 278). Près des deux tiers se trouveraient dans les fenestrages : meneaux du remplage, réseaux, et écoinçons et environ 20 % dans les meneaux des claires-voies du triforium. En revanche, les pinacles ne contiendraient, pour leur part, qu'une faible partie du total, de l'ordre de quelques pourcents.



Figure 278 : Goujon et agrafes provenant d'un fleuron de la cathédrale d'Auxerre.

¹¹³⁷ ID., *Ibid.*, préface, p. XXXII.

¹¹³⁸ AUMARD (S.), « L'emploi du plomb... », *op. cit.*

Le rôle de ces éléments de fer, souvent évident, diffère toutefois suivant les cas.

Pour les goujons des meneaux et colonnettes, il s'agit de solidariser leurs différentes parties afin d'éviter leur glissement en cas de poussées légèrement obliques. L'élasticité du système est toutefois souvent conservée par le coulage de galettes de plomb servant de plus à sceller ces goujons. Les petites barres employées pour les colonnettes non monolithiques jouent un rôle identique tout en apportant un renfort supplémentaire en les rattachant à la maçonnerie attenante. Elles sont principalement mises en œuvre pour les colonnettes dont le fût est constitué d'à peine deux ou trois blocs de pierre disposés en délit et qui sont susceptibles de subir des contraintes plus importantes par leur situation dans le bâti ou par leur élancement exceptionnel. Cet élancement parfois extrême suffit à dicter l'usage de renforts, certaines de ces colonnettes et meneaux dépassant largement la limite critique évoquée par J.-B. Rondelet, selon laquelle « un prisme qui aurait plus de quarante fois sa base ne pourrait plus se soutenir »¹¹³⁹. De plus, en l'absence d'une barre apportant un point d'attache, les différentes parties composant le fût de la colonnette pourraient aisément riper l'une sur l'autre suite à des phénomènes de tassements différentiels de la maçonnerie, d'autant plus que les éléments disposés en délit ne peuvent de surcroît pas encaisser de la même manière qu'une maçonnerie de petites assises appareillées. En revanche, dans certains cas, comme pour les colonnettes des arcatures ornant les parties basses des chapelles du chœur de la cathédrale de Troyes, qui de plus sont monolithiques, l'utilité réelle de ces barres est fortement discutable, bien qu'elles semblent appartenir au projet originel de la construction. Leur mise en œuvre à cet endroit précis ne semble pas pouvoir être expliquée par des arguments architectoniques. De simples goujons auraient en effet très certainement suffi à assurer la statique de ces colonnettes.

Pour les ornements extérieurs comme les pinacles, si les moyens de consolidation employés sont parfois identiques, les causes invoquées sont différentes. En effet, ces éléments ne sont pas chargés comme le sont meneaux et colonnettes, mais ils sont en revanche soumis aux vents et autres agents atmosphériques susceptibles de déstabiliser leur assise. Les éléments de renfort internes (agrafes, goujons) ou externes (barres) employés sont donc destinés à prévenir de ce « péril de vent » déjà évoqué pour les tours.

La mise en œuvre de goujons, agrafes et autres barres de fer pour le soutien des éléments verticaux représente sans doute une consommation plusieurs tonnes de fer dans les

¹¹³⁹ RONDELET (J.-B.), *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, Paris, 1802-1814, tome II, p. 17.

plus grandes églises gothiques. Caractéristique de la période gothique, l'élancement de ces diverses structures qui atteignent parfois des limites critiques est directement responsable de la profusion de ces petites pièces de fer pour assurer leur stabilité.

III.1.2.7.3 L'attache du décor sculpté

Si certains pinacles et colonnettes mettaient déjà en évidence cet aspect de l'emploi du fer dans les églises gothiques, ils n'en restent pas moins en général des organes structurels destinés à charger ou soutenir certaines parties de l'édifice. Le fer entre néanmoins également dans la composition d'autres éléments purement décoratifs qui ne jouent aucun rôle architectural.

III.1.2.7.3.1 Les statues

Les statues, comptant parmi les principaux éléments de décor des façades gothiques, sont souvent attachées par des crampons ou goujons de fer.

A la cathédrale de Rouen, les statues sont le plus souvent attachées par l'intermédiaire d'une pièce de fer ansée fichée dans leur dos et venant s'accrocher à un crochet ancré dans la paroi de la niche. Elles sont parfois nommées « vertevelles » dans les comptes de la fabrique en raison de leur forme¹¹⁴⁰. Pour certaines statues du portail des Libraires, une barre en forme de T courant sur les socles vient doubler ce système à hauteur des pieds des statues. L'emploi de ces attaches de statues semble avoir été assez systématique à la cathédrale de Rouen, seule église du corpus à avoir conservé presque l'intégralité de sa statuaire monumentale ; dans les niches où les statues sont manquantes, des empreintes de crochets sont en général encore visibles. Les façades dénudées des autres édifices montrent également en général bon nombre de crochets encore en place dans des niches ou de goujons sur les piédestaux destinés à accueillir des statues, comme sur le Beau Portail de la cathédrale de Troyes. Il ne faut cependant pas oublier que l'ensemble des emplacements disponibles sur ces façades n'a pas toujours été utilisé. L'absence de crochet ou de son empreinte dans une niche est probablement alors plus souvent tout simplement synonyme d'absence de statue que d'une statue sans système d'attache qui aurait été déposée. Enfin, les comptes de la cathédrale de Troyes mentionnent l'emploi d'un grand barreau de fer et de crampons pour l'attache d'une

¹¹⁴⁰ PJ n° 2, fol. 5 r°.

statue de saint Michel sur le pignon occidental de la toiture de l'église¹¹⁴¹ et deux ans plus tard de huit agrafes pour *tenir l'ymage de Notre Dame de Piete contre le mur derriere ledit ymage*¹¹⁴². Le barreau d'attache du Saint-Michel de la cathédrale de Troyes pèse avec ses clous et crampons plus de 100 kg de fer, mais, en général, ces systèmes d'attache ne représentent que quelques kilogrammes de fer par statue : deux en moyenne pour un couple vertevelle/crochet à la cathédrale de Rouen. Sur l'ensemble de la cathédrale, la somme se monte toutefois à près d'une demie tonne de fer.

Ces attaches de statues n'avaient auparavant jamais fait l'objet de remarques particulières malgré quelques occurrences notables, comme ce goujon retrouvé dans le socle d'une statue de la cathédrale de Reims (cf. Figure 279). Leur rôle est toutefois évident : assurer l'assise de ces statues dans des niches ou sur des piédestaux pour empêcher leur chute, rôle aisément compréhensible pour les statues disposées en hauteur et à l'extérieur sur les façades, exposées aux vents et aux différentes conditions climatiques. Dans d'autres cas, le risque de chute de la statue semble bien plus faible, mais une telle précaution n'était pas nécessairement coûteuse par rapport au prix de la statue et ces systèmes d'attache ont donc pu être utilisés très largement sur la plupart des édifices, même s'ils ne sont pas systématique.

L'authenticité de la plupart de ces systèmes d'attache, attestée par leur mention à divers moments dans les comptes de la fabrique de la cathédrale de Rouen, est confirmée par l'identification du procédé direct pour les échantillons de fer provenant des parties médiévales : ROU 301, ROU 314 et ROU 316 de la façade occidentale de la cathédrale de Rouen et TROY 09 pour le Beau Portail de la cathédrale de Troyes.



Figure 279 : Goujon d'une statue de la façade de la cathédrale de Reims.

¹¹⁴¹ PJ n° 65, fol 214 r°.

¹¹⁴² Arch. dép. Aube, G 1569, fol. 409 r°.

III.1.2.7.3.2 L'attache des boutons de clef de voûte.

Autre élément de décor se développant à la période gothique, les boutons de clefs de voûtes, sont également bien souvent tenus en place au moyen d'éléments de fer. A la cathédrale de Troyes, deux types bien différents de tels systèmes d'attache ont été mis en évidence : un gros goujons cylindrique de 80 cm de long et une agrafe à quatre branches pourvue d'un crochet. Sous le pont du jubé de l'église Sainte-Madeleine de Troyes, le renfort n'est plus interne ou partiellement masqué derrière le bouton comme les précédents, mais externe. Les deux boutons terminant les clefs de voûte pendantes situées sous le pont du jubé sont tout simplement attachés par deux agrafes verticales ancrées dans des logements prévus à cet effet dans la pierre. La longueur du pendant, qui rend plus difficile l'introduction d'une pièce de fer traversante aura sûrement dicté l'emploi de ce système d'agrafes, bien plus facile à mettre en œuvre.

De tels exemples n'ont pas été observés sur les églises rouennaises, mais les trois édifices étudiés présentaient très peu de boutons de clefs de voûte encore en place et accessibles : ceux du portail des Marmousets de l'église Saint-Ouen de Rouen, trop hauts, n'ont pas pu être sondés. Ces systèmes d'attache ne se limitent pourtant pas aux seules églises troyennes. La cathédrale de Noyon en présente elle aussi un pour le bouton d'une clef de voûte pendante, actuellement déposé dans le dépôt lapidaire. Contrairement au système observé dans le jubé de l'église Sainte-Madeleine de Troyes, c'est ici une barre de fer mortaisée qui traverse entièrement le pendant pour venir relier intérieurement le bouton au sommet de la voûte. Le blocage du système se fait par l'intermédiaire d'une clavette insérée dans les mortaises percées dans la barre et dans le bouton de pierre (cf. Figure 280). Bien difficile à mettre en œuvre comparativement au simple système d'agrafes précédemment décrit, car elle nécessite de percer un trou sur toute la longueur du pendant monolithique, cette barre de fer n'est de plus pas forcément plus esthétique, puisque les extrémités de la clavette qui traverse le bouton restent nécessairement visibles. Une hypothèse du rôle d'un tel système est de permettre la dépose du bouton de clé de voûte assez aisément, afin de pouvoir le restaurer, le repeindre ou éventuellement le changer, chose impossible s'il est fixé au moyen d'agrafes.

Ces quelques exemples d'attache des boutons décoratifs de clefs pendantes semblent relativement tardifs : les deux systèmes d'attache de la cathédrale de Troyes datent du tout début du XVIII^e siècle et ceux de l'église Sainte-Madeleine et de la cathédrale de Noyon du début du XVI^e siècle.



Figure 280 : Système d'attache de bouton de clef de voûte découvert dans le dépôt lapidaire de la cathédrale de Noyon, vers 1520.

III.1.2.7.3.3 Les jubés

De nombreux éléments de fer se trouvent également dans la structure des jubés, ces clôtures de pierre sculptées délimitant l'accès à la partie sacrée de l'édifice. Bien qu'ils aient souvent été détruits, des témoins de leur construction ou de certaines restaurations sont conservés dans certains comptes. De plus, une des sept églises du corpus, l'église Sainte-Madeleine de Troyes, a la particularité d'avoir un jubé de pierre encore en élévation datant du début du XVI^e siècle.

Les prospections réalisées sur le jubé de l'église Sainte-Madeleine ont révélé la présence de plusieurs centaines de goujons et d'agrafes, notamment pour l'attache du décor floral de ses arcatures, des pendants de clefs de voûte, de la rampe de l'escalier, des statues qui le décorent... De grosses barres de fer attachant le jubé aux piles de la croisée ont également été mises au jour. D'après les comptes de la fabrique, au moins 1,1 tonnes de fer a

été mise en œuvre sous diverses formes entre 1511 et 1514 dans ce jubé. L'intérieur de la maçonnerie n'a pu être sondé, mais au vu des quantités de fer achetées par le procureur de la fabrique, il est vraisemblable que l'ensemble du jubé est armé de nombreuses pièces de fer.

Le constat semble identique à la cathédrale de Troyes, bien que les seules données le concernant proviennent des livres de comptes de la fin du XIV^e siècle. Ils attestent la mise en œuvre de plus d'une demie tonne de fer. Les deux tiers sont sous forme de petites agrafes et de goujons, et le tiers restant sous la forme d'au moins onze barreaux pesant 15 à 20 kg pièce. Une partie de ces barreaux est vraisemblablement intégrée *entre les piliers du jubé par devant*¹¹⁴³ et ces mêmes piliers comportent des broches et crampons de fer qui, ayant rouillé, nécessitent une reprise en sous-œuvre de l'ouvrage à peine un siècle plus tard.

Les informations sont beaucoup plus fugaces pour les jubés de l'église Saint-Urbain et de l'église Saint-Jean-au-Marché. Les comptes attestent toutefois la mise en œuvre de plusieurs barreaux ou de bandes de fer dans leur maçonnerie. A l'église Saint-Urbain, ils semblent mis entre les piliers dans l'optique d'une consolidation¹¹⁴⁴.

Aucune information n'est disponible pour les jubés ayant éventuellement existé dans les églises rouennaises. Les données obtenues sur les quatre églises troyennes montrent que le fer joue un rôle important dans leur construction aussi bien au XIV^e qu'au début du XVI^e siècle. En moyenne, la masse totale des éléments de fer mis en œuvre se rapproche de la tonne. Ils se séparent en deux emplois bien différents.

Le fer est tout d'abord utilisé sous forme de petites pièces, essentiellement des goujons et des agrafes, pour assembler les éléments sculptés composant le jubé : fleurs, boutons de clefs de voûtes, petites sculptures... mais aussi les meneaux et les balustrades. Il s'agit dans ce cas de renforts locaux ne concernant le plus souvent que la statique d'un élément de pierre rapporté. Le fer est également présent dans les meneaux et les balustrades. Cet autre usage, qui constitue également un soutien local, a déjà été décrit d'une manière plus générale.

Enfin, des tirants de fer et d'autres éléments de fer structurels sont également mis en œuvre dans leur maçonnerie. Les jubés des quatre églises troyennes présentent tous de telles barres de fer, que ce soit par l'intermédiaire des prospections ou des archives comptables. Il est difficile de leur attribuer un leur rôle précis, d'autant plus que celui-ci dépendait de l'architecture du jubé. Par exemple, à la cathédrale de Troyes, le jubé reposait sur des piliers dont on sait qu'ils sont étré sillonnés par des barres et consolidés intérieurement par des broches et crampons de fer. D'après leur masse importante, comprise entre 15 et 20 kg, il est

¹¹⁴³ PJ n° 37.

¹¹⁴⁴ PJ n° 77.

évident que les barres en question peuvent agir comme des tirants pour renforcer certaines arcatures du jubé et éventuellement pour le relier aux piles de la cathédrale. De tels renforts ne peuvent exister à l'église Sainte-Madeleine dont le jubé, qui constitue une sorte de pont suspendu encastré entre les piles de la croisée, ne comporte pas de pilier. En revanche, la cohésion entre le jubé et les piliers de la croisée qui le soutiennent semble bien être assurée par des systèmes d'attaches utilisant des barres de fer.

III.1.2.7.3.4 Synthèse

A de nombreuses reprises, les éléments du décor gothique nécessitent donc pour leur attache l'emploi d'agrafes, goujons ou barres de fer de dimensions assez variables. Bien que très répandus et constituant parfois d'importantes quantités de fer, ces usages n'ont jamais fait l'objet de remarques particulières dans les études précédentes. La seule référence attestée dans la littérature, remonte au XIX^e siècle avec J. Ruskin qui, sans toutefois s'étendre sur la question, déclare ne pas pouvoir « davantage dénier à l'architecte gothique le droit de soutenir statues, pinacles ou ornements à l'aide de barres de fer ». Il ajoute même à ce sujet que « les métaux peuvent, et doivent quelquefois, entrer dans la construction ». D'après lui, l'emploi de ces barres n'entre donc pas dans la polémique sur l'usage du fer dans les églises gothiques.

III.1.3 L'emploi du fer dans les charpentes

Après la pierre et le verre, le bois est le troisième matériau de construction qui est parfois lié à des éléments de fer. La principale application de ces assemblages fer-bois se trouve dans les charpentes. L'étude des renforts métalliques des charpentes gothiques se heurte cependant à un obstacle majeur : les charpentes qui couvrent actuellement ces grands édifices datent souvent de la période moderne, comme celle de la cathédrale de Troyes refaite vers 1700, à la suite d'un incendie. Ces charpentes modernes font certes un emploi assez important de fer sous formes d'étriers sous les assemblages poinçons-entraits, de bandes autour des assemblages entrants-arbalétriers ou encore d'équerres pour renforcer les assemblages entre divers éléments verticaux et horizontaux, mais elles ne sont pas nécessairement représentatives des charpentes médiévales.

La question de l'emploi du fer dans les charpentes gothiques a déjà été partiellement abordée par Viollet-le-Duc dans son *Dictionnaire Raisonné* au chapitre « Armatures ». Il y affirme que « pour la charpente, le fer ne fut employé que fort tard et [que] pendant toute la période ogivale on n'en fit point usage »¹¹⁴⁵. Il va même plus loin en ajoutant que jusqu'à la fin du XVI^e siècle, les charpentiers « ne cherchèrent d'autres combinaisons que celles données par un judicieux emploi du bois, sans le secours de ferrements »¹¹⁴⁶. D'après lui, « toutes les grandes charpentes anciennes, y compris celles des flèches, sont construites sans un seul morceau de fer » et conclut en affirmant que l'art de la serrurerie était « absolument exclu de la charpente ». Les résultats de notre recherche sur les églises troyennes et rouennaises permettent de discuter ces propos.

La charpente de la nef de la cathédrale de Rouen date, dans sa partie occidentale, du début du XIII^e siècle. Elle a été étudiée par F. Epaud qui a mis en évidence l'utilisation de chevilles de fer dans certains assemblages, respectivement entre les entrants et les poinçons et entre les entrants et les poteaux latéraux¹¹⁴⁷. Leur authenticité, assurée selon F. Epaud par leur blocage dans leur logement d'origine suite au séchage du bois a de plus été confirmée par analyse métallographique et identification du procédé de réduction directe sur une de ces chevilles. Cet exemple d'emplois de chevilles dans une charpente du début du XIII^e siècle, s'il vient bien contredire les propos quelques peu catégoriques de Viollet-le-Duc, reste toutefois exceptionnel pour l'époque. Dans sa thèse sur les charpentes en Normandie, F. Epaud affirme n'avoir observé une telle mise en œuvre qu'à deux reprises : à la cathédrale de Rouen et à l'abbaye de Bonport à Pont-de-l'Arche¹¹⁴⁸.

La charpente du chœur de l'église Saint-Ouen de Rouen est quant à elle contemporaine de sa construction au début du XIV^e siècle. Viollet-le-Duc y note l'utilisation de chevillettes de fer pour l'attache des grandes moises pendantes à l'arbalétrier¹¹⁴⁹. Aucun autre élément de fer n'y a cependant été relevé. Viollet-le-Duc se contredit donc lui-même en citant la présence de ces chevillettes dans une charpente gothique, mais il s'agit bien là d'un emploi très particulier, qui est davantage lié à la fixation d'un élément de décor qu'à la construction proprement dite de cette charpente.

¹¹⁴⁵ VIOLLET-LE-DUC (E.), *Dictionnaire raisonné...*, *op. cit.*, tome 1, p. 461.

¹¹⁴⁶ ID., *Ibid.*, tome 1, p. 462.

¹¹⁴⁷ EPAUD (F.), *L'évolution des techniques...*, *op. cit.*, p. 148.

¹¹⁴⁸ ID., *Ibid.*, p. 148.

¹¹⁴⁹ VIOLLET-LE-DUC (E.), *Dictionnaire raisonné...*, *op. cit.*, tome 3, p. 17.

La cathédrale de Troyes est le dernier édifice pour lequel on dispose d'informations sur la construction de la charpente. Bien qu'elle ait été entièrement refaite vers 1700, les comptes de la fabrique ont partiellement conservé la mémoire de la charpente médiévale des XIV^e et XV^e siècles. Ils font état d'un emploi massif de divers éléments de fer, contrairement aux deux églises rouennaises pour lesquelles la présence de quelques chevilles est plus anecdotique. Des tirants, dont certains pèsent plus de 40 kg, sont en particulier mis en œuvre dans la partie orientale de la charpente de la nef dans la première moitié du XIV^e siècle. Leur localisation n'est toutefois pas connue. Le fer est également présent de manière répétitive à deux niveaux de cette charpente de la nef : sous forme de chevilles pour l'assemblage des chevrons et sous diverses formes, liens, bandes ou encore corbeaux et étriers dans les « béchauts de la ramée ». La définition de ce terme de « béchauts » n'a pu être clairement explicitée, mais il est évident qu'il désigne une pièce importante de la charpente, qui peut être liée aux arêtiers. La solidarisation des assemblages de la charpente par des éléments de fer intervient non seulement dans le cadre de restaurations, comme en 1390-1391 après la chute de la toiture de la cathédrale, mais également lors de la construction, comme le prouvent ces tirants mis en œuvre dans la partie orientale de la nef dans la première moitié du XIV^e siècle ou encore l'ensemble des éléments employés dans la seconde moitié du XV^e siècle lors de l'achèvement de la nef. Le manque de données techniques ainsi que les problèmes sémantiques rendent cependant difficile l'interprétation de cet abondant emploi du fer dans la charpente de la cathédrale de Troyes. Dans tous les cas, ce sont au moins 150 kg de fer qui ont été comptabilisés pour les assemblages des « béchauts » et des chevrons. On ne dispose toutefois pas systématiquement de la masse de fer mise en œuvre dans les mentions recueillies. De plus, quelques mentions dispersées dans les comptes ont probablement été omises. Ces estimations peuvent donc être très vraisemblablement revues à la hausse.

De plus, la cathédrale de Troyes n'est pas un exemple isolé : la présence d'étriers et de chevilles de fer dans la charpente d'une église gothique est également attestée par D. Cailleaux dans son étude sur le transept de la cathédrale de Sens, construit au tournant des XV^e et XVI^e siècles¹¹⁵⁰. Il ne discute pas, comme l'avait fait F. Epaud pour la cathédrale de Rouen, les raisons qui ont poussé le maître d'œuvre à préférer le fer au bois pour les assemblages, ni le rôle joué par ces fers dans la structure de la charpente, mais il prend cependant le contre-pied de Viollet-le-Duc en affirmant rencontrer davantage d'association fer-bois que fer-pierre¹¹⁵¹.

¹¹⁵⁰ CAILLEAUX (D.), *La cathédrale en chantier...*, op. cit., p. 386.

¹¹⁵¹ ID., *Ibid.*, p. 399.

Ces constatations remettent donc en question cette vision des charpentes gothiques dénuées d'éléments de fer donnée par Viollet-le-Duc. Le fer n'y était certes pas employé de manière systématique, mais les exemples recueillis sont suffisamment nombreux pour affirmer qu'il entrait à part entière dans la construction de certaines charpentes dès le XIV^e siècle, non seulement sous forme de chevilles, mais également sous forme de bandes, de tirants et d'étriers. De plus, malgré les difficultés sémantiques à traduire certains termes, il semble que les assemblages préférentiellement renforcés par des éléments de fer ont assez peu évolué entre l'époque médiévale et la période moderne. Ces résultats relancent donc le débat sur l'utilisation du fer dans les charpentes gothiques. De nombreuses questions restent à élucider : les cathédrales de Troyes et de Sens sont-elles des exemples très précoces d'emplois du fer dans des charpentes gothiques ou s'inscrivent-elles au contraire dans les usages courants de ce matériau ? Dans quels assemblages et pour quelles raisons le fer a-t-il été mis en œuvre dans ces deux édifices ? Une première hypothèse est indirectement apportée par R. Bechmann qui affirme que « le fait de devoir se passer de fer dans les assemblages entre bois de charpente est [...] générateur d'une consommation supplémentaire de bois » car « certains éléments en bois dont les assemblages constituent les points faibles doivent [...] avoir des sections plus fortes qu'il ne serait nécessaire, si l'on pouvait rationnellement, faire appel à des éléments d'assemblage métallique »¹¹⁵². L'emploi du fer pourrait donc éventuellement être lié à une volonté de faciliter la taille d'assemblages entre les bois avec des sections plus faibles.

¹¹⁵² BECHMANN (R.), *Les racines des cathédrales...*, *op. cit.*, p. 91.

III.1.4 Synthèse

L'emploi du fer dans l'architecture gothique en général et dans les églises rouennaises et troyennes en particulier revêt donc des aspects très divers, de la simple agrafe attachant ensemble deux blocs de pierre d'une balustrade au tirant des grandes baies vitrées. Malgré un nombre de formes relativement réduit, les rôles que jouent ces éléments de fer dans la maçonnerie des églises sont aussi divers que le laissent transparaître la multiplicité de leurs emplois.

Le maintien en place des vitraux est sans équivoque l'utilisation la plus importante du fer dans les églises gothiques. Ces armatures de vitraux se séparent en deux groupes, clairement définis dès la période médiévale : les barlotières, vergettes et clavettes qui servent uniquement à maintenir la structure vitrée et les tirants ou grosses barres dont le rôle est de renforcer la maçonnerie de la fenêtre. L'ensemble de ces éléments représente une masse totale allant de quelques tonnes pour les églises les plus petites et ayant une faible surface vitrée, à au moins 25 tonnes pour les plus importantes : l'église Saint-Ouen de Rouen ou encore la cathédrale de Troyes, deux églises fortement empreintes du style rayonnant. En effet, l'augmentation de la surface vitrée à l'avènement du gothique rayonnant a entraîné une hausse de la consommation de fer dans les fenêtres, bien que les systèmes de construction n'aient pas changé et qu'au contraire, le rapport entre la masse de fer mise en œuvre et la surface vitrée diminue avec la division des baies par des meneaux de pierre.

A l'exception des vitraux, deux endroits de la structure gothique font l'objet d'un renforcement particulier : les triforiums et les clochers ou tours situées à la croisée du transept. L'usage de tirants se généralise pour les édifices à triforium ajouré postérieurs à la seconde moitié du XIII^e siècle. L'important report de la charge engendré sur les meneaux de la claire-voie intérieure semble nécessiter une consolidation exceptionnelle. Le renforcement des clochers et tours de croisée est également manifeste d'après les dernières restaurations sur les églises Saint-Ouen et Saint-Maclou de Rouen et est bien confirmé par les archives des églises troyennes. Le « péril de vent », mais surtout la structure aérienne et dénudée de ces tours qui reposent sur une base elle-même instable par nature semblent avoir guidé leur ceinturage à divers niveaux par des chaînages de fer.

En revanche, à l'exception de ces points particuliers de la structure, peu de chaînages ont été mis en évidence dans la maçonnerie des églises troyennes et rouennaises. Seule l'église Saint-Urbain de Troyes possédait, vraisemblablement dès la période médiévale, un

chaînages dans ses baies hautes qui enserrait le chevet de l'édifice. Les autres chaînages découverts dans les églises troyennes et rouennaises sont liés à des consolidations postérieures de leur structure, essentiellement aux époques modernes et contemporaines. Ils servent en général à pallier un manque de contrebutement d'une partie de l'édifice. C'est probablement la raison pour laquelle on les rencontre fréquemment dans les transepts, partie de l'édifice qui manque intrinsèquement de contrebutement, comme à la cathédrale de Troyes ou à l'église Sainte-Madeleine. A l'église Saint-Jean-au-Marché dont le transept est non saillant, ces chaînages sont installés dans la nef. L'utilité de certains de ces chaînages a parfois été remise en question dans des rapports d'architectes et il est probable que nombre d'entre eux ne soient que mesure de précaution. D'autres participaient en revanche de manière active à la stabilité d'une partie de l'édifice, puisque leur rupture entraînait sa ruine.

De nombreux éléments de fer ont également été employés dans les charpentes des édifices gothiques au moins dès le milieu du XIV^e siècle d'après les mentions qui en sont faites dans les comptes des fabriques des deux cathédrales du corpus, constatation qui avait déjà été faite par D. Cailleaux pour la cathédrale de Sens. Ces découvertes viennent remettre en question l'hypothèse de Viollet-le-Duc, selon laquelle le fer n'était pas employé dans les charpentes des édifices gothiques¹¹⁵³. D'après les observations de F. Epaud sur nombre de charpentes datant de la période romane et du début de la période gothique, ces exemples d'emploi du fer restent exceptionnels à cette époque.

Enfin, en marge de ces emplois bien précis, le fer a surtout été employé dans la maçonnerie pour attacher l'ensemble du décor sculpté gothique. Goujons, agrafes, barres et autres petites pièces de fer se trouvent en quantités importantes dans les pinacles, les colonnettes sur les balustrades, tous ces éléments qui se sont développés au cours de la période gothique. Cet emploi du fer atteint son paroxysme dans les jubés, dont tous les éléments de décor sont pour la plupart reliés à la maçonnerie par des pièces de fer. Certes moins spectaculaire que les tirants et chaînages qui ceinturent certains édifices, cet usage du fer représente toutefois bien souvent une masse plus importante atteignant probablement la dizaine de tonnes pour les plus grandes cathédrales.

A partir du XIII^e siècle, l'utilisation du fer dans les églises gothiques connaît donc quelques évolutions, en particulier avec le développement du style rayonnant dont les larges baies nécessitent des quantités de fer bien plus importantes que précédemment. L'introduction

¹¹⁵³ VIOLLET-LE-DUC (E.), *Dictionnaire raisonné...*, *op. cit.*, tome 1, p. 461.

des triforiums ajourés à la même période semble également appeler l'emploi de tirants qui n'avaient pas lieu d'être auparavant.

En revanche, dans ses autres emplois, tirants dans les arcatures pour stabiliser les meneaux non monolithiques, goujons dans les colonnettes, les meneaux ou les pinacles, agrafes sur les balustrades ou les coursives, le fer est indifféremment présent du XIII^e au XV^e siècle. Tous ces usages ne sont pas systématiques, mais ils ne semblent pas pouvoir être reliés à un style ou une période gothique particulier. De manière générale, dans la maçonnerie, on observe une permanence des emplois du fer du début du XIII^e siècle jusqu'à la fin du XV^e, et même au XVI^e siècle.

Toutefois, on observe de nombreuses disparités de mise en œuvre, d'un édifice à l'autre, mais également à l'intérieur d'un même bâtiment, comme pour les chaînages d'agrafes sur les coursives ou sur les balustrades. Elles posent plusieurs questions.

En premier lieu, vient celle de l'utilité de ces agrafes, parfois absentes et parfois employées de manière systématique, sans logique apparente de construction. S'il est indéniable qu'un assemblage de deux pierres agrafé par un crampon de fer à une cohésion supérieure au même assemblage sans agrafe, un tel renfort n'est semble-t-il pas nécessaire dans la plupart des cas précités. La balustrade de la claire-voie du chœur de l'église Saint-Ouen subit-elle réellement des contraintes mécaniques plus importantes que celle du transept ou de la nef pouvant expliquer l'emploi d'agrafes par des arguments architectoniques ? Cette hypothèse semble peu probable. De même pour les autres édifices, preuve en sont par ailleurs les restaurations modernes et contemporaines qui ont le plus souvent supprimé ces agrafes sans les remplacer et sans pour autant mettre en péril la statique de ces parties des églises. L'explication est donc sans doute autre.

L'hypothèse d'une évolution chronologique dans les techniques de construction, comme il a été mis en évidence pour les tirants des claires-voies des triforiums ajourés ne tient pas non plus. Au milieu du XV^e siècle, alors qu'aucune des balustrades et coursives construites à l'église Saint-Ouen ne montre d'agrafe, on en utilise dans les balustrades du chœur de l'église Saint-Maclou, distante de quelques centaines de mètres.

En revanche, le fait que ces agrafes se circonscrivent systématiquement à des parties, quelconques, mais bien délimitées de la construction, chœur, nef, parties orientales ou occidentales, plaide en faveur d'une mise en œuvre variant au gré des campagnes de construction. L'emploi de ces agrafes pourrait alors être expliqué par le savoir-faire du maître d'œuvre en charge du chantier à un moment donné. Suivant les influences qu'ils ont reçues,

les chantiers sur lesquels ils ont déjà travaillé, certains bâtisseurs généraliseront volontiers un tel emploi d'agrafes, d'autres au contraire n'en utiliseront aucune.

Cette empreinte du maître d'œuvre sur le bâti au travers de l'emploi de fers de construction ne se limite par ailleurs sûrement pas uniquement à la mise en œuvre d'agrafes sur les balustrades. Les nombreuses ressemblances entre le chœur de la basilique de Saint-Denis et le chœur de la cathédrale de Troyes ont déjà été évoquées à plusieurs reprises. Elles se retrouvent certes avant tout dans les formes du bâti, mais sont également perceptibles quand l'on s'intéresse à la présence ou l'absence de fers de construction. L'absence de tirants dans l'arcature de ces deux premiers triforiums ajourés de l'architecture gothique en est le premier exemple. Cette constatation semblait également pouvoir s'étendre au chœur de la cathédrale d'Amiens qui subit également les influences de la famille de Cormont, architectes qui ont bâti le chœur rayonnant de Saint-Denis et œuvré ou fortement influencé la reconstruction de celui de la cathédrale de Troyes d'après Viollet-le-Duc. La présence de fers de construction se traduit quant à elle au niveau des colonnettes extérieures qui soutiennent la partie haute des arcs-boutants : elles sont attachées aux piles attenantes par l'intermédiaire de barres de fer probablement recourbées à l'instar d'agrafes au sein de la maçonnerie¹¹⁵⁴. Ce système, dont l'utilité peut également être questionnée suite aux restaurations qui ont supprimé les barres à la cathédrale de Troyes, n'a encore été observé sur aucune autre église et semble donc bien appartenir à la façon de construire propre aux maîtres d'œuvres de ces deux édifices.

Plus qu'une évolution chronologique ou que de véritables considérations architectoniques, il semble donc bien que l'utilisation du fer soit davantage liée au savoir-faire du maître d'œuvre qui dirige le chantier. Comme tout matériau de construction, il trouvait sans doute des emplois différents suivant les architectes et la manière qu'ils avaient d'appréhender l'équilibre de ces grands bâtiments. L'étude du fer et de ses usages dans les églises gothiques, intègre donc, en plus des problématiques techniques et architecturales, déjà complexes avec l'appréhension de la statique et de la dynamique des monuments, les concepts purement humains de mode et de savoir-faire.

¹¹⁵⁴ Disposition observée à la basilique de Saint-Denis sur une colonnette brisée. La suppression ou le sectionnement des barres à la cathédrale de Troyes ne permet pas de connaître leur mise en œuvre dans les colonnettes.

III.1.5 Quantités mises en œuvre et coût du fer

III.1.5.1 Estimations des quantités de fer

Liées à la pierre, au verre ou au bois, les quantités de fer mises en œuvre dans les églises gothiques se comptent donc en tonnes et même le plus souvent en dizaines de tonnes, les vitraux représentant à eux seuls environ 25 tonnes de fer pour la cathédrale de Troyes et l'église Saint-Ouen de Rouen.

Faute d'étude des maçonneries en profondeur, impossible en l'absence de restauration, aucune estimation globale n'a pu être réalisée. La somme d'estimations partielles réalisées à divers endroits de certains édifices permet néanmoins de rendre compte de l'importance des quantités de fer mises en œuvre dans ces églises. A la cathédrale de Rouen, les nombreux petits éléments de fer présents à divers endroits de la structure représentent plusieurs tonnes de métal en plus des 15 tonnes présentes dans les armatures de vitraux : environ 1 tonne pour les attaches de statue, 1 tonne pour l'ensemble des petites barres, agrafes et goujons retrouvés à l'étage du triforium et des fausses-tribunes, et encore 1,5 tonnes pour tous les éléments de fer servant au renfort des pinacles en extrapolant les données d'une mention des comptes de la fabrique. Les tours comptent également au moins 1 tonne de fer en barres et crampons. La masse de fer employée à la cathédrale de Rouen dépasse donc facilement les 20 tonnes. A Saint-Ouen de Rouen, aux 25 tonnes de vitraux viennent s'ajouter au moins 5 tonnes de fer pour l'ensemble des chaînages retrouvés sur l'édifice, portant ainsi le total à 30 tonnes. La profusion d'agrafes sur les balustrades, les coursives et surtout dans la tour-lanterne laisse présager d'une quantité encore plus importante. Enfin, à la cathédrale de Troyes, l'extrapolation des données des sources écrites donne le chiffre de 5 tonnes de fer mises en barres et agrafes dans les piliers, arcs-boutants et sur les arcs des baies de l'édifice. Les divers chaînages rajoutés aux périodes médiévale et moderne représentent également quelques tonnes de fer, dont environ 500 kg pour celui posé en 1411 dans le transept nord. Au moins 6 tonnes de clous semblent également avoir été employées au cours du seul XV^e siècle en majeure partie pour les couvertures. Enfin, plusieurs tonnes de fer ont vraisemblablement été mises en œuvre dans les gargouilles. Au total, avec les 25 tonnes des armatures vitraux, le tonnage de la cathédrale de Troyes dépasse donc aisément les 40 tonnes. De plus, chacune de ces estimations est partielle. Si l'on recoupe les données des différents édifices, concernant les clous, les gargouilles, les pinacles ou encore les agrafes mises en œuvre dans les piliers et les

arcs-boutants, il semble évident que les quantités de fer mises en œuvre dans chacun d'entre eux sont encore plus importantes, dépassant probablement les 50 tonnes. W. Haas mentionnait l'emploi de 40 tonnes de fer pour la cathédrale de Ratisbonne¹¹⁵⁵. En appliquant les mêmes critères, l'église Saint-Ouen et la cathédrale de Troyes dépasseraient alors les 65 tonnes.

Cependant, cette masse de fer consommée sur le chantier des églises rouennaises et troyennes n'est représentative que d'un état en fin de construction. Les quantités totales mises en œuvre tout au long de leur élévation sont certainement plus grandes si l'on considère l'ensemble des réfections, modifications et structures provisoires que ces édifices ont connus. En outre, ces quantités ne comptent pas l'ensemble du fer non architectural qui a pu être consommé, qui, d'après les livres de comptes étudiés, représente au moins la moitié des dépenses de la fabrique. La masse de fer employée dans l'armature des grosses cloches ou encore pour les clôtures parfois mises en place à l'entrée des chapelles, si elle est difficilement quantifiable faute de mentions de poids, s'élève, d'après les dépenses engendrées, à plusieurs tonnes de fer.

On peut donc raisonnablement estimer les quantités totales de fer utilisées sur le chantier des plus petites églises à plusieurs tonnes voire une dizaine de tonnes. Ce total passe à plusieurs dizaines de tonnes pour les grandes églises et cathédrales, la masse dépendant fortement de l'importance de la surface vitrée. L'église Saint-Ouen de Rouen et la cathédrale de Troyes semblent, avec sans doute plus de 50 tonnes de fer dans leurs structures respectives, constituer une sorte limite maximale dans les quantités mises en œuvre pour des églises gothiques.

III.1.5.2 Coût des dépenses en fer pour le chantier

Malgré les grandes quantités de fer qui ont été mises en œuvre dans la structure de ces églises, les dépenses pour son achat et sa mise en forme semblent rarement avoir été considérables.

Les dépenses pour forge représentent en effet en moyenne à peine 2 à 4 % du total des dépenses de la fabrique sur l'ensemble des séries de comptes étudiées. Les dépenses moyennes sont comprises entre 25 et 45 l. t. annuelles pour les édifices en période de

¹¹⁵⁵ HAAS (W.), « Die Rolle des Eisens... », *op. cit.* Son calcul se base sur une estimation de 10 à 20 kg de fer par m³ de pierre, sauf pour les vitraux pour lesquels il a estimé le volume à travers la section moyenne d'une barre de fer et leur longueur cumulée.

construction où le chantier est actif (cf. Figure 281 et Tableau 118). La fabrique de l'église Saint-Urbain, qui ne connaît plus de travaux au XV^e siècle, période où les comptes sont conservés, n'engage des dépenses totales annuelles qu'à hauteur de 100 à 200 l. t. en moyenne. La charge financière représentée par le serrurier y est donc sauf exception réduite à seulement quelques livres tournois par an¹¹⁵⁶. Ajoutons de plus que dans l'ensemble de ces dépenses pour forge sont également comptabilisées d'autres dépenses pour la petite serrurerie, les clous et les réparations des outils. Aux cathédrales de Troyes et de Rouen, où le détail des achats de la fabrique a été comptabilisé, les dépenses pour l'entretien des cloches et les clous représentent environ 10 à 15 % du total des dépenses pour forge ; de même 5 à 15 % pour les outils et 7 à 12 % pour tous les éléments de petite serrurerie. La part des fers entrant réellement dans la construction, fers d'œuvre et fers à vitraux n'y est en moyenne que de 35 à 50 % (cf. Figure 282). Ces fers de construction ne représentent donc qu'une assez faible part des dépenses totales engagées par la fabrique et une part encore plus faible des dépenses totales des chapitres cathédraux et collégiaux.

En revanche, ponctuellement, à certaines périodes de la construction, les dépenses pour forge excèdent les 100 l. t. sur un an et 12 % du total annuel de la fabrique (cf. Figure 281 et Tableau 118). Elles atteignent même le chiffre record de 325 l. t. pour l'année 1501-1502 à la cathédrale de Rouen et dépassent le quart des dépenses totales sur plusieurs années consécutives entre 1375 et 1380 à la cathédrale de Troyes. Les très faibles revenus et dépenses de la fabrique liées au difficile contexte économique de l'époque sont alors responsables de cet artefact. En effet, entre 1375 et 1380, le chantier de la cathédrale se concentre presque uniquement sur la vitrerie du transept et les dépenses se réduisent à la fourniture et au travail du fer et du verre pour la réalisation de ces vitraux. Avec des dépenses annuelles totales d'à peine 350 à 600 l. t., l'augmentation de la part relative des dépenses pour forge est naturelle. Bien qu'elles soient souvent responsables de fortes hausses ponctuelles des dépenses pour forges, les autres campagnes de vitrerie de la cathédrale de Troyes ou sur les autres édifices n'entraînent toutefois pas une telle hausse relative. Outre l'exemple du transept haut de la cathédrale de Troyes entre 1375 et 1380, on peut citer la vitrerie de la librairie en 1479-1480, et la vitrerie de la nef haute entre 1497 et 1502 pour lesquelles les dépenses pour forge sont comprises entre 70 et 100 l. t., soit 8 à 11 % du total annuel de la fabrique. De même dans les comptes de la cathédrale de Rouen, les deux périodes de plus forte hausse de dépenses pour forge correspondent aux deux importantes campagnes de vitrerie entreprises au

¹¹⁵⁶ L'année 1389-1390 correspond à la construction du clocher : la dépense est donc plus importante.

cours du XIV^e siècle¹¹⁵⁷ : la vitrerie haute du chœur entre 1430 et 1433 et la vitrerie des chapelles basses de la nef entre 1465 et 1470. Avec 70 à 100 l. t. par an, elles ne représentent toutefois que 2 à 6 % de la dépense annuelle totale de la fabrique, celle-ci étant en général bien plus élevée à la cathédrale de Rouen qu'à celle de Troyes.

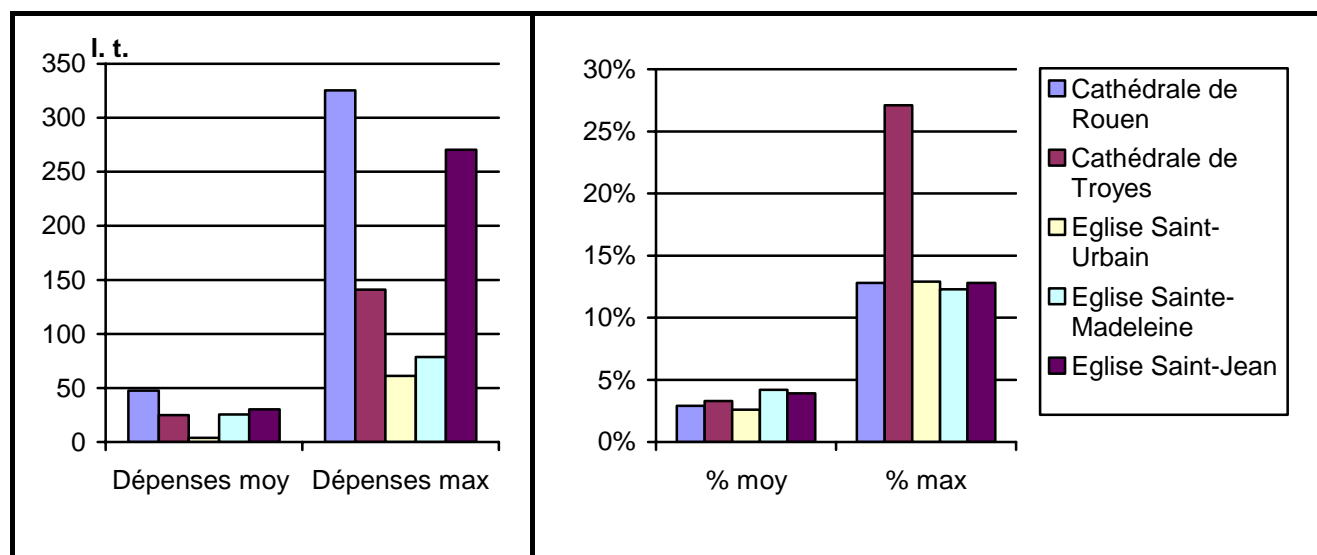


Figure 281 : Dépenses pour forge moyennes et maximales d'après les données des comptes de la fabrique.

	Dépenses moy	Dépense max	% moy	% max
Cathédrale de Rouen	47,5 l. t. (41,2 l. t.) ¹¹⁵⁸	325,6 l. t. (101 l. t.)	2,9 %	12,8 %
Cathédrale de Troyes	24,9 l. t.	141,1 l. t.	3,3 %	27,1 %
Eglise Saint-Urbain	3,7 l. t.	61,2 l. t.	2,6 %	12,9 %
Eglise Sainte-Madeleine ¹¹⁵⁹	25,4 l. t.	78,7 l. t.	4,2 %	12,3 %
Eglise Saint-Jean ¹¹⁶⁰	30,2 l. t.	270,5 l. t.	3,9 %	12,8 %

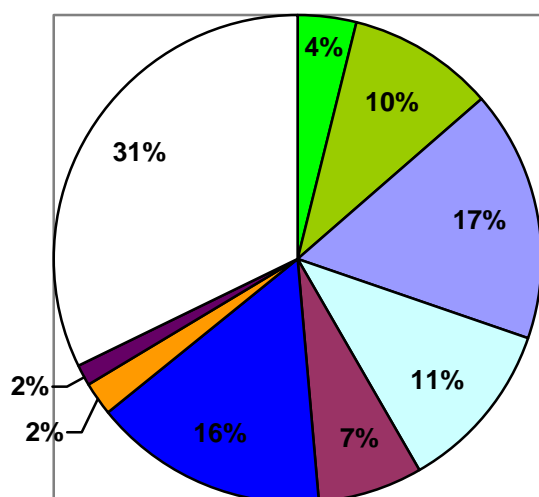
Tableau 118 : Dépenses pour forge moyennes et maximales d'après les données des comptes de la fabrique.

¹¹⁵⁷ Outre ces trois périodes on a également trois années de dépenses exceptionnelles mais ponctuelles : 1420-1421 à cause de l'inflation du prix du fer, 1478-1479 où les dépenses pour forges sont indéterminables mais comprennent une part de fers à vitraux et 1501-1502 avec les dépenses pour la nouvelle cloche.

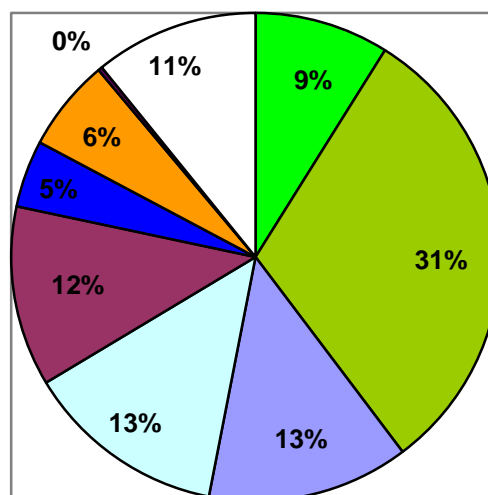
¹¹⁵⁸ Entre parenthèses, valeur obtenue en supprimant l'année 1501-1502 où la dépense exceptionnelle est due à l'installation d'une nouvelle cloche.

¹¹⁵⁹ Pour l'église Sainte-Madeleine, les données ne portent que sur les quatre années comptables étudiées.

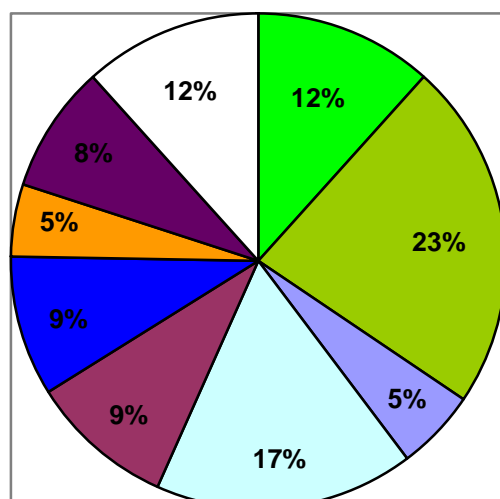
¹¹⁶⁰ Pour l'église Saint-Jean-au-Marché, les valeurs des dépenses pour forge moyenne et maximale correspondent aux quarante-deux années comptables étudiées. En revanche, les pourcentages moyen et maximal ne concernent que les neuf années comptables pour lesquelles les montants des dépenses totales étaient disponibles.



Cathédrale de Rouen (1383-1512)



Cathédrale de Rouen (1383-1435)



Cathédrale de Troyes (1293-1521)

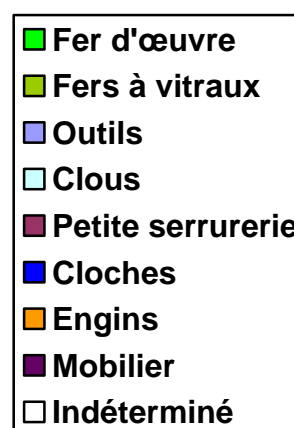


Figure 282 : Part des différents types de dépenses pour forge d'après les comptes des fabriques des cathédrales de Rouen et de Troyes.

L'importance du coût du fer dans les vitraux s'exprime encore mieux en se penchant non pas sur la totalité des dépenses, mais de manière individuelle sur chaque verrière dont les comptes de construction ont été conservés.

A la cathédrale de Troyes, la part du fer représente entre 34 et 40 % du prix du vitrail pour les grandes fenêtres du transept, et seulement 20 à 25 % pour les roses, dans lesquelles les quantités relatives de fer par rapport à la surface vitrée sont moindres¹¹⁶¹ (cf. Tableau 119). Les verrières des deux parois provisoires de la nef, dont la plupart sont en cadre de bois et non de pierre, montrent également que la part du fer est très importante avec environ un tiers du coût total du vitrail. A la cathédrale de Rouen, cette part n'est que de 16 à 20 %, sauf pour les trois fenêtres de l'abside où elle est encore moindre avec 8 %. Ces résultats tiennent compte de la récupération du fer des anciennes fenêtres hautes, qui a été revendu au forgeron au prix de 6 d. t. la livre de fer et déduit du montant des armatures achetées. La récupération du métal permet en moyenne de faire passer la part du fer de 22 à 16 % pour l'ensemble de ces fenêtres. Si l'on ne retranche pas cette somme récupérée par le procureur de la fabrique, le fer représente environ un quart du prix du vitrail dans les fenêtres des travées droites mais toujours seulement 11,8 % pour les trois fenêtres centrales de l'abside (cf. Tableau 120). La grande différence relevée entre ces trois baies et les autres peut être expliquée par deux facteurs. Tout d'abord, avec un rapport fer/verre de seulement 3,4 kg/m² de vitrail, ces baies étaient de loin les moins chargées de toutes en fer. De plus, parmi toutes les fenêtres étudiées ici, ce sont les seules à être uniquement vitrées de verre de couleur imagé. Les baies hautes du transept de la cathédrale de Troyes ne sont imagées que dans leur partie centrale pour à peine un quart de la surface totale, quant aux autres fenêtres dont il est question, elles sont totalement vitrées de grisaille. Le prix du pied carré de vitrail à 7 s. 6 d. t. pour les trois baies de l'abside de la cathédrale de Rouen est en effet près de deux fois supérieur au prix du verre blanc pour les autres fenêtres étudiées.

D. Minois dans son ouvrage sur le vitrail à Troyes a également tenté d'évaluer le coût de chacun des éléments constitutifs des vitraux. Suivant la baie considérée, elle estime que le salaire du serrurier représente entre 7 et 48 % du total, ce qui est bien compatible avec nos résultats (cf. Tableau 121)¹¹⁶². Il semble cependant que quelques imprécisions ont été commises sur les valeurs extrêmes de cette fourchette. Tout d'abord, dans le cas de la librairie

¹¹⁶¹ Le prix du vitrail choisi ici correspond au prix du fer et du verre. Il a pour unique but d'établir une relation entre le coût du fer ouvré et celui du verre ouvré. Pour avoir le prix réel du vitrail, deux autres données devraient y être ajoutées, mais n'ont pas pu l'être faute d'informations : le prix de la soudure par exemple et surtout le prix du plomb qui fait partie intégrante du vitrail. Dans les deux cas, ces matériaux sont achetés en gros et leur destination précise n'est pas indiquée. Si on sait que les quantités employées sont très importantes, il reste néanmoins très difficile d'arriver à calculer le détail par fenêtre. Dans le cas du plomb par exemple, la fabrique reçoit en « recette extravagante » près de 2 tonnes de plomb pour les verrières neuves, Arch. nat., KK 398 B, fol. 7 v^o. On pourrait également envisager d'ajouter à ce prix total du vitrail le coût de la main d'œuvre des maçons et hommes de bras qui ont posé les différents éléments.

¹¹⁶² MINOIS (D.), *Le vitrail à Troyes...*, op. cit., p. 286-289.

de la cathédrale de Troyes, elle ne semble pas comptabiliser le coût du verre comme matière première, mais seulement le travail de peinture des verriers¹¹⁶³. Elle souligne pourtant fort justement que la totalité du fer fourni par le marchand Jaquinot Corrat au serrurier Jaquinot Gantelet, soit 973 livres, n'est peut être pas destinée aux armatures des vitraux¹¹⁶⁴. Il semblerait donc bien que la part du travail du serrurier, bien qu'importante, soit inférieure à 48 %. Ensuite, en ce qui concerne le faible pourcentage des dépenses de serrurerie pour les vitraux du transept de la cathédrale de Sens, D. Minois ne précise pas qu'elles ne correspondent probablement qu'à l'ouvrage du forgeron et non à l'intégralité du coût de la matière première. En effet, une partie du fer provenait sans doute des redevances des forges de Saint-Aubin-Châteauneuf ou des stocks constitués par les chanoines¹¹⁶⁵. Si l'on y ajoute le coût de la matière première, la part du fer dans le vitrail s'en trouve alors augmentée. D. Cailleaux n'a pas estimé l'importance de ces revenus perçus par le chapitre cathédral de Sens, mais, d'après l'étude de J. Rouillard, on sait qu'ils représentaient 53 poids de fer en 1400-1401 et 23 poids l'année suivante, soit entre 600 et 1400 livres annuelles¹¹⁶⁶. Bien que ces données correspondent au début et non à la fin du XV^e siècle, elles permettent d'envisager une dépense en fer bien plus importante pour les armatures de vitraux du transept de la cathédrale de Sens, ce qui les rapprocherait davantage de nos édifices. En effet, les dépenses attestées par D. Cailleaux pour les fers à vitraux sont très faibles : un peu de plus de 90 l. t. pour le croisillon sud et à peine 31 l. t. pour le croisillon nord¹¹⁶⁷, soit près de trois fois moins que la dépense engagée un siècle auparavant à la cathédrale de Troyes pour la moitié des vitraux du transept. Enfin, pour la transformation de ces mêmes baies hautes du transept de la cathédrale de Troyes au cours du XVI^e siècle, D. Minois omet de comptabiliser dans les ouvrages de serrureries les tirants posés au début du XVI^e siècle afin de consolider le remplage de ces baies¹¹⁶⁸. Celles-ci représentent environ un coût de 4 à 5 l. t. par baie, rendant la part du fer encore plus importante dans ces vitraux. Ces ajustements rapprochent davantage les estimations de D. Minois des nôtres, avec une dépense de serrurerie qui représente une part non négligeable et même souvent très importante du prix du vitrail, à savoir entre 10 et 40 %. On comprend mieux ainsi l'importance de la récupération, déjà soulignée par

¹¹⁶³ Arch. dép. Aube, G 1567, fol. 245 v^o. ; MINOIS (D.), *Le vitrail à Troyes...*, *op. cit.*, p. 286.

¹¹⁶⁴ PJ n^o 56, fol. 255 r^o.

¹¹⁶⁵ CAILLEAUX (D.), *La cathédrale en chantier...*, *op. cit.*, p. 390.

¹¹⁶⁶ ROUILLARD (J.), *L'homme et la rivière...* *op. cit.*, p. 358. Les 53 poids de l'année 1400-1401 n'ont pas été payés. Les quantités invoquées

¹¹⁶⁷ Certaines verrières du croisillon nord sont cependant posées après la période étudiée, CAILLEAUX (D.), *La cathédrale en chantier...*, *op. cit.*, p. 388.

¹¹⁶⁸ PJ n^o 73.

D. Minois, qui permet à la fabrique d'alléger ses dépenses de manière substantielle lors des campagnes de vitrerie.

Trois points semblent donc fortement conditionner la part de la dépense du serrurier dans le prix d'un vitrail : la densité du remplage, la nature et donc le prix du vitrail ainsi que la récupération des éventuelles anciennes armatures. Elle représente environ entre 10 et 40 % du prix total du vitrail.

	Prix du verre	Prix du fer et des paillettes	Part du fer	Prix du fer et des paillettes après récupération	Part du fer
1 ^a , 2 ^a , 3 ^a <i>parva forma</i>	199 l. 10 s. t.	26 l. 11 s. 9 d. t.	11,8 %	17 l. 1 s. 6 d. t.	7,9 %
4 ^a <i>parva forma</i>	40 l. 10 s. 11 d. t.	12 l. 7 s. 9 d. t.	23,4 %	8 l. 5 s. 9 d. t.	17,0 %
5 ^a <i>parva forma</i>	40 l. 10 s. 11 d. t.	12 l. 11 s. t.	23,6 %	8 l. 10 s. t.	17,3 %
1 ^a <i>magna forma</i>	61 l. 14 s. 10 d. ob. t.	20 l. 12 s. ob. t.	25,0 %	12 l. 3 s. 7 d. ob. t.	16,5 %
2 ^a <i>magna forma</i>	61 l. 14 s. 10 d. ob. t.	20 l. 11 s. ob. t.	25,0 %	12 l. 5 s. ob. t.	16,6 %
3 ^a <i>magna forma</i>	61 l. 10 d. t.	20 l. 17 s. 1 d. ob. t.	25,5 %	14 l. 2 s. 2 d. t.	18,8 %
4 ^a <i>magna forma</i>	61 l. 10 d. t. (+ 10 l. t.)	21 l. 11 d. t.	22,9 %	13 l. 14 s. 8 d. ob. t.	16,2 %
5 ^a <i>magna forma</i>	61 l. 10 d. t. (+ 7 l. t.)	21 l. 3 s. 7 d. ob. t.	23,7 %	14 l. 4 s. ob. t.	17,3 %
6 ^a <i>magna forma</i>	61 l. 10 d. t. (+ 7 l. t.)	21 l. 3 s. 1 d. t.	23,7 %	14 l. 5 s. 4 d. t.	17,3 %
7 ^a <i>magna forma</i>	67 l. 10 d. t.	22 l. 11 s. 9 d. ob. t.	25,2 %	15 l. 11 s. 9 d. ob. t.	18,9 %
8 ^a <i>magna forma</i>	67 l. 10 d. t.	20 l. 18 s. 2 d. t.	23,8 %	16 l. 18 s. 7 d. t.	20,2 %
9 ^a <i>magna forma</i>	67 l. 10 d. t.	22 l. 5 s. 10 d. t.	24,9 %	15 l. 10 s. 10 d. t.	18,8 %
10 ^a <i>magna forma</i>	67 l. 10 d. t. (+ 2 l. t.) – 10 l. t.	22 l. 5 s. 10 d. t.	24,4 %	15 l. 10 s. 10 d. t.	20,8 %
1 ^c <i>fourme de la nef</i>	32 l. 16 s. 8 d. t.	12 l. 10 s. 6 d. t.	27,6 %	7 l. 18 s. 8 d. t.	19,5 %
Total chœur	932 l. 8 s. 2 d. t.	264 l. 19 s. 11 d. ob. t.	22,1 %	178 l. 4 s. 2 d. ob. t.	16 %

Tableau 119 : Part du fer dans le coût du vitrail d'après les comptes de la fabrique de la cathédrale de Rouen : fenêtres hautes du chœur.

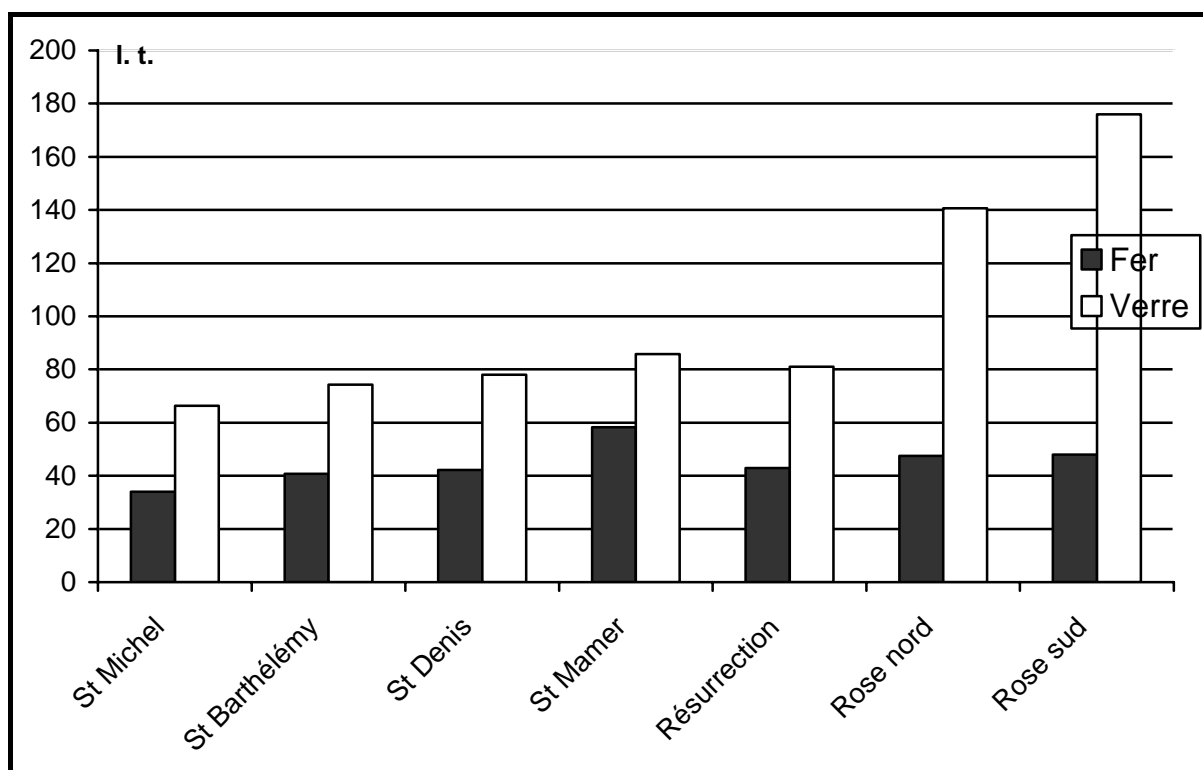


Figure 283 : Prix du fer et du verre dans la réalisation des vitraux du transept de la cathédrale de Troyes d'après les comptes de la fabrique.

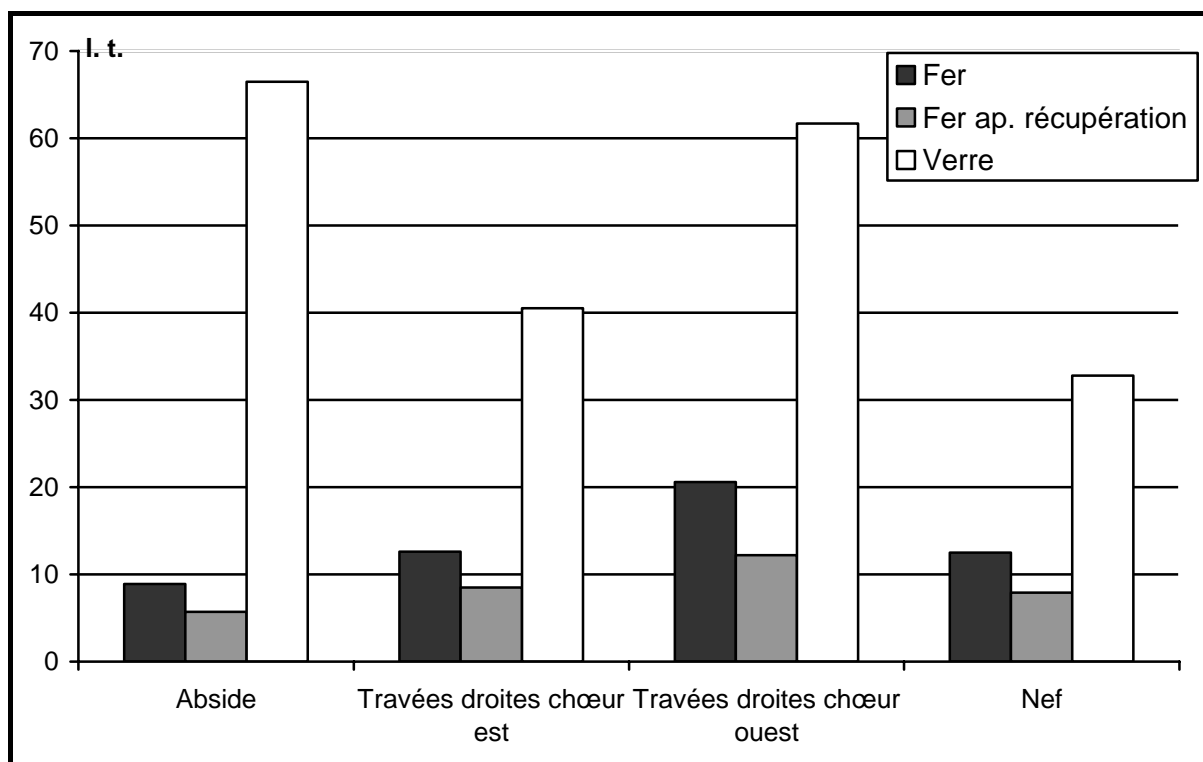


Figure 284 : Prix du fer et du verre dans la réalisation des vitraux des baies hautes de la cathédrale de Rouen d'après les comptes de la fabrique.

Fenêtre	Prix du fer et des paillettes	Prix du verre	Part du fer
Rose nord	47 l. 10 s. t.	140 l. 12 s. t.	25,3 %
Forme où est Saint Michel	34 l. 6 d. t.	64 l. 6 s. t. (+ 40 s.)	33,9 %
Forme où est Saint Barthélemi	40 l. 14 s. 2 d. t.	72 l. 6 s. t. (+ 40 s.)	36,0 %
Forme où est Saint Denis	42 l. 4 s. 9 d. t.	76 l. t. (+ 40 s.)	35,1 %
Forme où est Saint Mamer	58 l. 6 s. 8 d. t.	83 l. 16 s. 6 d. t. (+ 40 s.)	40,5 %
Image de la résurrection NS	42 l. 17 s. 4 d. t.	80 l. 19 s. 10 d. t.	34,6 %
Rose Sud avec les basses verrières	47 l. 19 s. 9 d. t.	176 l. 5 d. t.	21,4 %
Total	313 l. 13 s. 2 d. t.	702 l. 9 d. t.	30,9 %

Tableau 120 : Comparaison du prix et des quantités de fer et de verre mises en œuvre dans les baies hautes de la croisée du transept.

Fenêtre	Serrurerie	Verrerie	Modèle	Plomb
Vitraux de la Librairie de la cathédrale de Troyes	48 %	52 %		
Verrière de la chapelle St Jacques de l'église Sainte-Madeleine	15 %	76 %	9 %	
Transept de la cathédrale de Sens	7 à 11 %	76 à 79 %		3 %
Verrière blanche de la baie 217 de la cathédrale de Troyes	20 % (28 %)	80 % (72 %)		
Rose ouest de la cathédrale de Troyes	23,5 %	76 %	0,5 %	

Tableau 121 : Rapport des différentes dépenses pour certains vitraux d'après les données de D. Minois¹¹⁶⁹.

A l'inverse des campagnes de vitrerie, l'augmentation des dépenses dues à l'achat de fer d'œuvre est difficile à déceler même en pleine période de construction. A la cathédrale de Troyes, seules les années correspondant à l'élévation du jubé en 1384-1385 et l'achèvement du clocher de 1431 à 1433 dépassent péniblement 40 à 50 l. t. pour à peine quelques pourcents des sommes annuelles dépensées par la fabrique. L'importante dépense en fer pour le jubé de l'église Sainte-Madeleine en 1512-1513 avec plus de 76 l. t. soit plus de 11 % du total annuel de la fabrique fait donc office d'exception dans les comptes étudiés. D'autres travaux qui ne sont pas directement liés à la construction engendrent également des dépenses accrues : c'est par exemple à la cathédrale de Rouen, la construction d'une cloche en 1501-1502 avec plus de

¹¹⁶⁹ MINOIS (D.), *Le vitrail à Troyes...*, op. cit., p. 286-289.

325 l. t. en dépenses de serrurerie soit 11 % du total de la fabrique, et à l'église Saint-Jean-au-Marché, la mise en place des clôtures du chœur entre 1555 et 1558 pour 110 à 270 l. t. par an.

De plus, au niveau de la structure le coût du fer n'est toutefois en général pas négligeable. Pas exemple, les attaches de statues de fer achetées par le procureur de la fabrique de la cathédrale de Rouen en 1420 à environ 15 s. t. l'unité, représentent à peine moins de 10 % du prix de la statue, à 7 ou 8 l. t.¹¹⁷⁰ Le prix des clous dans les couvertures est également relativement important : en 1488-1489, avec 45 l. 2 s. et 10 d., ils atteignent 14 % de la totalité des matières achetées pour la couverture de la nef de la cathédrale de Troyes¹¹⁷¹ (cf. Figure 285). En particulier, le prix des clous à lattes représente plus du tiers du prix de la couverture de lattes elle-même. Le prix des ardoises et du plomb est en revanche un peu plus élevé, les clous à ardoise n'entrant dans ce cas qu'à hauteur d'un sixième du prix de la couverture.

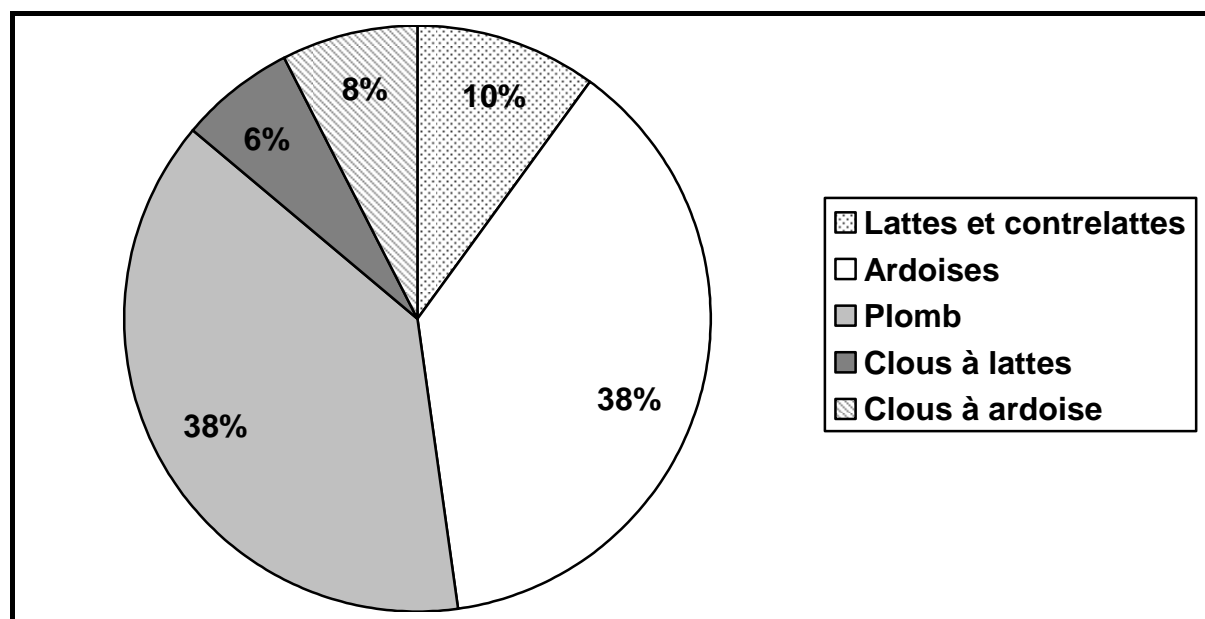


Figure 285 : Part de chacune des matières achetées pour la couverture de la nef de la cathédrale de Troyes en 1488-1489.

¹¹⁷⁰ Le prix unitaire mentionné pour les dix-neuf statues est de 8 l. t., mais la somme totale de 133 l. t. suggère qu'elles ont été payées 7 l. t. et non pas 8, PJ n° 2, fol. 5 r° et fol. 5 v°.

¹¹⁷¹ Il est toutefois précisé qu'une partie des tables de plomb constituant le faîtage est issue des stocks de l'église.

Le coût financier que représente en général le fer dans la construction des églises troyennes et rouennaises rejoint les résultats d'études précédentes.

D'après les chiffres évoqués au colloque *Pierre et métal dans le bâtiment au Moyen Age*, P. Benoit estimait à 6 à 10 % la part du métal dans la construction¹¹⁷², ce qui rejoint nos résultats en considérant que le fer entre environ pour moitié dans ces dépenses. Plus précisément, entre 1387 et 1391, la part du fer sur le chantier de construction du dôme de Milan est évaluée par Ph. Braunstein à 3,3 à 7,9 % du total des matériaux, ce qui représente environ 1 à 3 % des dépenses totales, la part des matériaux étant à peu près égale à un tiers du total des dépenses, salaires et transports compris¹¹⁷³. Pour la cathédrale de Sens, D. Cailleaux insiste sur les faibles dépenses en fer et le peu d'emploi qu'il trouve dans la structure du transept. Outre l'année 1502-1503 qui voit l'installation de verrières et où la dépense pour serrurerie dépasse les 75 l. t., entre 1489 et 1517, elle ne dépasse le plus souvent pas 15 l. t., la moitié des années comptables ne faisant état que d'une dépense de 2 ou 3 l. t.¹¹⁷⁴ Au total, le fer ne représente donc sans doute que quelques pourcents de la dépense de la fabrique pour l'œuvre de la croisée. On peut évoquer, le faible coût de la livre de fer, compris entre 7 et 8 d. t. au tournant des XV^e et XVI^e siècles¹¹⁷⁵. En outre, comme il a été indiqué précédemment, il n'est pas impossible qu'une partie du fer, provenant des stocks constitués par les chanoines ou des redevances des forges de Saint-Aubin-Châteauneuf, soit mis en œuvre à l'ouvrage¹¹⁷⁶. En revanche, pour un ouvrage donné, le coût redevient parfois important : D. Cailleaux cite l'exemple des vantaux de la porte de Moïse dans le transept de la cathédrale de Sens, pour lesquels le fer monte à 40 % de l'ensemble des dépenses¹¹⁷⁷.

Seule l'étude des comptes de la chambre apostolique du Palais des Papes d'Avignon réalisée par Ph. Bernardi donne un poste plus important au fer avec des minima allant de 3,5 à 15 % des dépenses totales¹¹⁷⁸. Ph. Bernardi remarque par ailleurs que ces chiffres sont élevés par rapport aux autres chantiers de construction médiévaux et se rapprochent davantage de ceux de la période moderne.

¹¹⁷² BENOIT (P.), « Métal et construction en France... », *op. cit.*

¹¹⁷³ BRAUNSTEIN (Ph.), « Le dôme de Milan sort de terre »..., *op. cit.*

¹¹⁷⁴ CAILLEAUX (D.), *L'œuvre de la croisée de la cathédrale de Sens*, Thèse de doctorat d'Histoire de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne sous la direction de L. PRESSOUYRE, 1994, figure p. 898.

¹¹⁷⁵ CAILLEAUX (D.), *La cathédrale en chantier...*, *op. cit.*, p. 388.

¹¹⁷⁶ ID., *Ibid.*, p. 390.

¹¹⁷⁷ ID., *Ibid.*, p. 386-387.

¹¹⁷⁸ BERNARDI (Ph.), DILLMANN (Ph.), « Stone skeleton or iron skeleton: The provision and use of metal in the construction of the Papal Palace at Avignon in the 14th century », dans BORK (R.), dir., *De Re Metallica. The uses of metal in the Middle Ages*, Ashgate, 2005, p. 297-315.

III.1.5.3 Synthèse

Malgré les quantités de fer consommées sur le chantier des églises troyennes et rouennaises, montant à plusieurs dizaines de tonnes de fer, les dépenses pour forge ne représentent en moyenne que 2 à 4 % des dépenses totales. Elles ne semblent en général pas constituer une charge financière importante pour les fabriques de ces églises, à l'exception peut-être de cet exemple particulier qu'est la campagne de vitrerie du transept de la cathédrale de Troyes, pour laquelle le coût du fer atteint le quart des dépenses annuelles pendant plusieurs années consécutives. Ce pourcentage hors du commun est cependant caractéristique d'une période de crise à la fin du XIV^e siècle où les dépenses totales de la fabrique n'excédaient pas annuellement quelques centaines de livres tournois.

En revanche, si l'on passe de l'échelle du chantier à celle de la structure, le fer peut représenter une assez grande part de certains ouvrages comme les couvertures ou les vitraux, où la récupération du vieux métal lorsqu'elle est possible permet d'alléger notablement le coût de la construction.

III.2 PRODUCTION ET APPROVISIONNEMENT DU FER POUR LES CHANTIERS DES EGLISES TROYENNES ET ROUENNAISES

A l'issue de cette recherche, il apparaît donc que les maîtres d'œuvres des églises gothiques rouennaises et troyennes ont fait l'usage de plusieurs tonnes à dizaines de tonnes de fer pour la construction de ces grands monuments. Il ne faut de plus pas oublier l'aspect dynamique du chantier, les diverses structures provisoires, les réfections ultérieures qui ne peuvent être comptabilisées ainsi que l'ensemble des dépenses pour les engins, les outils et le mobilier de l'église qui ne sont pas des fers architecturaux mais relèvent néanmoins du travail du serrurier et engendrent un coût supplémentaire à la charge de la fabrique.

Mais avant que les maçons ou les ouvriers de bras ne puissent le mettre en œuvre, comme grande barre de vitrail ou bien comme simple petite agrafe, la fabrique devait se procurer le fer, sous forme de produit fini ou semi-fini. L'étude de l'utilisation du fer dans l'architecture rejoint donc ici les problématiques de l'archéologie du fer sur les caractéristiques des différentes étapes de chaîne opératoire qui ont permis de produire ce matériau : réduction du minerai, épuration de la loupe et mise en forme à la forge. La période gothique correspond en outre à des innovations sans précédent dans l'histoire de la métallurgie du fer, avec l'essor du marteau hydraulique en Europe occidentale au moins dès le XII^e siècle, puis l'introduction de la filière de réduction indirecte dès la fin du XIV^e siècle dans certaines parties du royaume de France avec la coexistence des deux procédés pendant une longue période. Il convient donc d'évaluer dans quelle mesure ces mutations ont influencé la consommation de fer sur les chantiers de construction rouennais et troyens, à partir des caractéristiques des fers retrouvés en place dans la construction. Nous allons donc revenir sur certaines étapes de la chaîne opératoire de production du fer afin de mieux appréhender les relations entre l'utilisation du fer dans l'architecture et les techniques de production mises en œuvre pour satisfaire à ses besoins, notamment en termes de quantités de fer et de qualité du produit fini, mais également pour tenter de déterminer si la consommation du chantier a pu engendrer des problèmes d'approvisionnement.

Avant toute chose, il est toutefois nécessaire de caractériser pour chacune des deux villes étudiées, les régions d’approvisionnement qui ont produit le fer employé sur les chantiers. En effet, d’une région à l’autre, les structures de production peuvent varier et surtout, les avancées technologiques ont une chronologie différente, ce qui peut avoir influencé la nature et la disponibilité du matériau.

III.2.1 Les régions d’approvisionnement

Les archives comptables des fabriques des églises troyennes et rouennaises donnent parfois la provenance du fer acheté à un marchand ou à un serrurier urbain. Outre les études locales et régionales sur la production du fer au Moyen Age, ces mentions de provenance sont les seules sur lesquelles il est possible de s’appuyer pour tenter de déterminer au moins de manière partielle d’où provient le fer utilisé sur les chantiers de ces églises. En effet, même avec les récentes avancées des méthodes d’analyses en métallographie, il n’est pas à ce jour envisageable de lier avec certitude un fer au minerai ou aux déchets de réductions d’une région ou d’un site archéologique donné. Dans le meilleur des cas, une compatibilité peut être établie en comparant la composition chimique des inclusions contenues dans la matrice des fers avec celle des scories de réduction retrouvées sur des sites archéologiques¹¹⁷⁹.

III.2.1.1 Pour les chantiers troyens

Bien que le fer soit le plus souvent acheté à des marchands ou à des serruriers urbains, les comptes des fabriques des églises troyennes et en particulier ceux de la cathédrale donnent à plusieurs reprises l’origine des fers mis en œuvre dans la construction. Plusieurs sources d’approvisionnement ont ainsi pu être mises en évidence.

¹¹⁷⁹ Voir à ce sujet les travaux de recherche d’A.-M. Desaulty qui soutiendra une thèse à la fin de l’année 2007.

III.2.1.1.1 *Du fer d'Espagne*

Les premières mentions de provenance rencontrées dans les textes sont les trois évocations de fer d'Espagne relevées dans les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes, les deux premières en 1379-1380 pour des armatures de vitraux et la troisième en 1390-1391 pour une bande de fer mise dans la toiture de l'église reconstruite¹¹⁸⁰. Aucune autre occurrence de fer d'Espagne n'a été relevée dans les comptes étudiés. La question de l'origine véritable et de la qualité de ce matériau sera abordée ultérieurement.

III.2.1.1.2 « *La grosse forge de Doulevans* »

Le 17 octobre 1410, pour l'installation d'un chaînage sur les voûtes du transept nord de la cathédrale, la fabrique passe une commande à Colin Midon de la « grosse forge » de Doulevans¹¹⁸¹. Ce nom fait référence à l'actuelle ville de Doulevant-le-Château en Haute-Marne, à la bordure de la contrée du Der, et dont les « usines à fer » situées sur la Blaise sont attestées dès la fin du XIV^e siècle¹¹⁸². Comme l'indique cette appellation de « grosse forge », l'établissement où travaille Colin Midon est sans doute équipé d'un gros marteau. De plus, il fonctionnait peut-être dès cette époque selon le procédé indirect¹¹⁸³.

La production de la forge de Doulevant pour le chantier de la cathédrale de Troyes est assez exceptionnelle : il s'agit de quatre gros barreaux de fer pesant en tout 608 livres, soit 75 kg par pièce en moyenne¹¹⁸⁴, ce qui confirme que cet établissement était bien équipé des structures adéquates pour produire des éléments de grandes dimensions. C'est cependant son unique apparition dans les comptes des quatre églises troyennes.

III.2.1.1.3 *La forge de Maraye-en-Othe*

En 1413, le chantier de la cathédrale de Troyes fait également appel aux services de *Berthelin Robinet, fevre demourant à Maraye*, pour la ferrure de deux chariots ainsi que pour

¹¹⁸⁰ PJ n° 26, fol. 52 r° ; PJ n° 33.

¹¹⁸¹ PJ n° 40.

¹¹⁸² ROUSSEL (abbé Ch.), *Département de la Haute-Marne : dictionnaire historique des communes*, 1875, Paris, rééd. 2005, p. 520.

¹¹⁸³ Le procédé indirect semble attesté pour la forge de Doulevant dès 1448 lorsqu'elle est qualifiée de « forge à faire fer ». Le terme de « grosse forge » peut toutefois également désigner ce procédé. Voir la contribution de C. Verna et M. Philippe dans ALVES (G.), ANDRE (L.), BERTRAND (P.), CHEVILLOT (C.), ISNARD (I.), PERCHET (D.), PHILIPPE (M.), ROBERT-DEHAULT (E.), VERNA (C.), *La métallurgie de la Haute-Marne...*, *op. cit.*, p. 30.

¹¹⁸⁴ PJ n° 40.

la fourniture de deux autres gros barreaux pesant près de 5 poids de fer chacun, soit environ 65 kg, et employés dans le même chaînage que ceux de Doulevant¹¹⁸⁵.

L'activité métallurgique de Maraye-en-Othe est connue par les travaux de Ph. Braunstein, qui y mentionne la création en 1372 d'une « grosse forge » par la comtesse de Flandres, d'Artois et de Bourgogne¹¹⁸⁶. Tout comme pour Doulevant, la conjonction de cette appellation avec cette production de grosses barres indiquent que la forge de Maraye-en-Othe était sans doute équipée d'un gros marteau hydraulique en 1413 et fonctionnait peut-être également selon le procédé indirect¹¹⁸⁷.

III.2.1.1.4 *Le fer « apporté de Vendevre »*

En 1411-1412, toujours dans le cadre de la mise en place du même chaînage, le chantier de la cathédrale de Troyes acquiert quatre clefs de fer pesant 101 livres qui sont *apportées de Vendevre*¹¹⁸⁸, correspondant à l'actuelle ville de Vendevre-sur-Barse située à une trentaine de kilomètres à l'est de Troyes sur l'un des affluents de la Seine. Cependant, le terme employé ne permet pas de savoir si ce fer a réellement été produit à Vendevre ou dans ses alentours ou s'il y a simplement été acheté et rapporté à Troyes. Il s'agit de la seule mention de fer provenant de Vendevre disponible dans les comptes, mais elle n'est pas anodine : à la même époque commencent les travaux préparatifs pour la construction du clocher de la croisée avec notamment « *l'amenage* » du bois, dont une partie provient justement de la région de Vendevre-sur-Barse¹¹⁸⁹, et pour le transport duquel la fabrique fait construire deux chariots¹¹⁹⁰. C'est donc vraisemblablement à l'occasion d'un de ces voyages que ces pièces ont été achetées et rapportées de Vendevre, ce qui confirme la deuxième hypothèse, sans toutefois donner la véritable origine de ce fer qui a pu être acheté encore ailleurs ou produit sur place. La toponymie de Vendevre-sur-Barse laisse toutefois plutôt envisager une production locale antérieure aux grandes forges de Vendevre du début du XVI^e siècle décrites par Nicolas Bourbon dans son poème *De Ferraria* : la ville comprend deux hameaux nommés respectivement « les Grandes forges » et « les Petites Forges », forges

¹¹⁸⁵ PJ n° 42, fol. 19 r° et 22v°-23r°.

¹¹⁸⁶ BRAUNSTEIN (Ph.), « Les forges champenoises de la comtesse de Flandres (1372-1404) », *Annales ESC*, juillet-août 1987, p. 747-777.

¹¹⁸⁷ La découverte de cette production de gros barreaux de fer à la forge de Maraye-en-Othe vient remettre en question les hypothèses de Ph. Braunstein selon lesquelles cette forge créée par la comtesse de Flandres n'était pas à caractère hydraulique, ID., *Ibid.*

¹¹⁸⁸ PJ n° 41, fol. 18 v°.

¹¹⁸⁹ *Depense pour l'accomplissement de l'amenage du bois de Vendevre*, Arch. dép. Aube, G 1560, fol. 23 r°.

¹¹⁹⁰ PJ n° 42, fol. 22 v°-23 r° ; Arch. dép. Aube, G 1560, fol. 22 v° et 23 r°.

très probablement à caractère hydraulique dont l'activité est attestée dès le XV^e siècle¹¹⁹¹. Ces forges fonctionnent très certainement selon le procédé indirect au moins dès 1461¹¹⁹². Les informations sont moins précises pour le début du XV^e siècle. Le prix de ces clefs à 7 d. t. la livre, similaire à celui des autres éléments de fer achetés dans les années 1410 indique cependant qu'il ne s'agit pas d'un fer de qualité exceptionnelle.

III.2.1.1.5 Le « fer du Reclus »

Avec des occurrences réparties sur treize années comptables pour la période avant 1520, le fer du Reclus est la principale origine mentionnée pour l'approvisionnement du chantier de la cathédrale de Troyes à l'époque médiévale. Selon toute vraisemblance, « le Reclus » désigne l'abbaye cistercienne du même nom située sur la commune de Saint-Prix dans l'actuel département de la Marne à environ 75 km au nord/nord-ouest de Troyes¹¹⁹³.

La première mention de fer du Reclus sur le chantier de la cathédrale de Troyes remonte à l'année 1431-1432 et la dernière date de 1519-1520, dernière année comptable étudiée. Le fer du Reclus alimente donc une partie du chantier de la cathédrale de Troyes pendant au moins 90 ans. Les mentions se regroupent essentiellement sur deux périodes : au début des années 1430 pour les plus précoces et à partir de l'extrême fin du XV^e siècle pour les plus tardives. De plus, dans un compte de 1453 apparaît le terme spécifique de « fer fondu du Reclus » témoignant de la présence d'un haut fourneau produisant de la fonte à l'abbaye au moins dès le milieu du XV^e siècle¹¹⁹⁴. Ce haut fourneau fonctionnait sans doute de pair avec une affinerie, puisque la production de l'abbaye du Reclus qui approvisionnait les marchés troyens au moins dès le début du deuxième tiers du XV^e siècle ne se limite pas au seul « fer de fonte » mais comprend également une large partie de fer forgeable en bandes, employé dans le clocher et dans les armatures de vitraux de la cathédrale¹¹⁹⁵. Très peu d'informations supplémentaires sont disponibles sur la nature et l'origine de cette industrie métallurgique

¹¹⁹¹ BOUTIOT (T.), *Dictionnaire topographique du département de l'Aube comprenant les noms de lieu anciens et modernes*, Paris, Imprimerie Nationale, 1874, p. 176.

¹¹⁹² BOUTIOT (T.), *Notes sur les anciennes exploitations métallurgiques des contrées composant le département de l'Aube*, Paris, Imprimerie impériale, 16 p.

¹¹⁹³ Actuelle commune de Talus-Saint-Prix.

¹¹⁹⁴ Les deux objets en question faits de « fer fondu » sont des *roelles* servant à *aider à tirer pierres* à la carrière, Arch. dép. Aube, G 4417, fol. 46 r°. Le terme de « roelle », qui désigne une petite roue, doit probablement être interprété dans ce cas comme un synonyme de poulie. La fonte de tels objets était aisée et fréquente comme en atteste les mentions plus tardives de « poulies de fer de fonte » citées plus bas, GODEFROY (F.), *Dictionnaire de l'ancienne langue française...*, *op. cit.*, tome VII, p. 218.

¹¹⁹⁵ Les premières mentions d'achat de fer du Reclus par le procureur de la fabrique datent de 1431, aucun indice ne permet cependant de confirmer l'hypothèse qu'il s'agit déjà à cette époque de structures de production fonctionnant selon le procédé indirect.

ayant pu exister à l'abbaye du Reclus. On sait seulement qu'en 1581, il est fait mention à proximité du site abbatial des « forges du Reclus »¹¹⁹⁶. Ces forges apparaissent déjà en 1556 dans un contrat de bail d'une « grange et d'une étable dans la seigneurie du Reclus près des forges »¹¹⁹⁷. Les mentions découvertes dans les comptes de la cathédrale de Troyes reculent donc de plus d'un siècle la connaissance de cet atelier de production métallurgique installé à l'abbaye du Reclus. On sait par ailleurs que les abbayes, en particulier cisterciennes, ont habituellement des forges dans la clôture ou au sein de leur temporel¹¹⁹⁸.

La principale interrogation quant à cette prépondérance du fer du Reclus dans les textes est relative à l'importante distance séparant le chantier de la cathédrale de Troyes des forges de l'abbaye du Reclus, d'autant plus qu'elles ne semblent pas fournir un fer de meilleure qualité ou aux caractéristiques spécifiques, outre cette unique mention de fer fondu. De nombreux lieux de production de fer se trouvaient bien plus proches de Troyes. Les liens étroits unissant l'abbaye du Reclus aux évêques de Troyes pourraient ici être invoqués : l'abbaye est en effet fondée par les évêques de Troyes saint Bernard et Hatton en 1141 ou 1142, d'après le nom du moine *Hugo Reclusus*¹¹⁹⁹. Jean du Reclus reconnaît la justice de l'abbaye de Faremoutiers en 1195, l'abbaye n'a cependant jamais pris un grand développement¹²⁰⁰. On constate que ce fer du Reclus est toujours acheté à un marchand, en général le marchand qui traite principalement avec la fabrique au cours d'une période donnée : la femme de Gauthier Pietrequin dans les années 1430 puis Pierre Arrard et Pierre Paillot dans les années 1500. Il n'est donc pas évident que les liens ayant uni l'évêché de Troyes à l'abbaye aient directement prévalu pour la fourniture du fer pour le chantier de la cathédrale. Il est cependant possible de supposer qu'entre autres marchandises, le fer du Reclus disposait peut-être d'exemptions de taxes ayant facilité l'introduction de la production de l'abbaye sur le marché troyen¹²⁰¹.

¹¹⁹⁶ Arch. dép. Marne, 21 H 27, pièce n° 9. Ces informations nous ont été transmises par K. Berthier.

¹¹⁹⁷ Arch. dép. Marne, 21 H 27.

¹¹⁹⁸ BENOIT (P.), « L'industrie cistercienne... », *op. cit.*

¹¹⁹⁹ BARTHELEMY (comte E. de), *La ville de Sézanne et l'abbaye du Reclus. Notes historiques*, Troyes, Dufour-Bouquot, 1879, p. 19.

¹²⁰⁰ ID., *Ibid.*, p. 21.

¹²⁰¹ Ph. Braunstein mentionne l'exemption de taxes de certains fers provenant de la forêt d'Othe aux péages de la ville de Troyes, BRAUNSTEIN (Ph.), « Les forges champenoises... », *op. cit.*

III.2.1.1.6 Le « fer de Cosdon »

Le « fer de Cosdon » trouve deux occurrences dans les comptes de la cathédrale de Troyes et trois dans les comptes de l'église Saint-Jean-au-Marché : la première mention date de 1475-1476 et le quatre autres de la période 1506-1509.

Le site de Cosdon (Aube) est situé en pays d'Othe sur l'actuelle commune de Paisy-Cosdon à environ 25 km à l'ouest de Troyes. Ses terres, traversées par la Vanne, appartiennent aux chanoines de l'église collégiale de Saint-Etienne de Troyes depuis la fin du XII^e siècle. Baillées à un marchand troyen, Jean de Villiers en 1457, elles possédaient alors déjà une forge hydraulique possédant au moins une roue permettant d'actionner un marteau¹²⁰². Elle est attestée dans la seconde moitié du XV^e siècle et disparaît au XVI^e siècle pour être remplacée par un moulin bladier¹²⁰³. J. Rouillard, se fondant sur la présence de laitiers sur le site, suspecte cependant la présence d'une industrie fonctionnant selon le procédé indirect comprenant « un haut fourneau et une affinerie de médiocre importance », qui connaît des difficultés financières au milieu du XV^e siècle¹²⁰⁴.

Les dates d'achat de « fer de Cosdon » entre 1475 et 1509 correspondent bien à la période d'activité de cette forge, et viennent même prolonger son existence au moins jusqu'à la fin de la première décennie du XVI^e siècle. On dispose également de quelques informations supplémentaires sur sa production. Tout d'abord, la mention « fer de Cosdon » associée à des masses importantes de fer non ouvré payés 23 s. 4 d. t. la livre en 1475 et 20 s. t. le cent en 1506-1508 confirme bien l'existence d'une production de fer à la forge de Cosdon sous la forme de produits semi-finis. Elle était donc probablement associée à un ou plusieurs ateliers de réduction très certainement voisins correspondant à ces laitiers découverts sur site par J. Rouillard. Enfin, en 1508, un certain Grand Jean, marchand troyen, vend deux types de fer à la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché : du fer de Cosdon à 20 s. t. le cent et un autre fer au prix de 14 s. t. le cent, soit 30 % moins cher que le fer de Cosdon. Il est toutefois difficile d'interpréter cette différence de prix sans connaître la qualité ou l'origine du second fer, d'autant plus que le prix du fer de Cosdon n'est pas stable et passe de 20 à 30 s. t. le cent entre 1506 et 1509.

¹²⁰² ROUILLARD (J.), *L'homme et la rivière... op. cit.*, p. 407-408.

¹²⁰³ ID., *Ibid*, p.519.

¹²⁰⁴ ID., *Ibid*, p.408.

Année	Ouvrier et qualification	Utilisation	Masse	Prix à la livre
1475-76	Pierre Arrart, épicier Perrin l'Avocat, serrurier	Agrafes et crampons à mettre les conduits qui portent l'eau	53 ¼ l.	23 s. 4 d. t. le cent (2,8 d. t. la livre)
1507-08	Pierre Doyne, maréchal	Battant de cloche	54 l.	12 d. t. la livre ouvrée (100 s. t. le cent ouvré)
1506-08	Monsieur Leslu Saulnyer Pierre Vinot, serrurier	Pour servir a ladite cloche	150 l.	20 s. le cent (2,4 d. t. la livre)
1506-08	Grant Jehan	Au barreau qui soutient la cloche	384 l.	20 s. le cent (2,4 d. t. la livre)
1508-09	Jacques d'Estambert		152 l.	30 s. le cent (3,6 d. t. la livre)

Tableau 122 : Mentions d'achat de « fer de Cosdon » sur les chantiers troyens.

III.2.1.1.7 Le « fer de Cheingy »

Le 5 mars 1499, la fabrique de la cathédrale achète 307 livres de « fer de Cheingy » au marchand Nicolas Berthier au prix de 25 s. t. le cent¹²⁰⁵. C'est l'unique mention concernant cette provenance. Le lieu dont la sémantique est la plus proche est celui de Chennezy (Aube), situé sur l'Ancre, également en forêt d'Othe, quelques kilomètres à l'est de Cosdon.

On sait qu'il y a eu plusieurs usines sidérurgiques sur l'Ancre à Chennezy au Moyen Age. L'une, située très probablement sur l'étang de Bercenelle, apparaît sporadiquement dans les sources écrites et disparaît vite, à la fin du XIV^e siècle¹²⁰⁶. L'autre, située dans le finage de Chennezy en aval de l'agglomération, est maintenant connue comme un important site sidérurgique ayant fonctionné de la fin du XIV^e au début du XVI^e siècle, selon le procédé indirect. Le lieu aujourd'hui appelé « La Forge » était autrefois appelé « La forge Valcon »¹²⁰⁷. On peut donc affirmer que le *fer de Cheingy* acheté par le chapitre cathédral de Troyes à la fin du XV^e siècle provient de la forge Valcon, seul site fonctionnant à cette époque à Chennezy.

¹²⁰⁵ PJ n° 70, fol. 226 r°.

¹²⁰⁶ ROUILLARD (J.), *L'homme et la rivière... op. cit.*, p. 405.

¹²⁰⁷ ID., *Ibid.*, p. 400-401, 404-405, 596.

III.2.1.1.8 Le « fer de fonte des forges d'Anglus »

Le 2 décembre 1509, la fabrique fait appel aux services de Jean Potier *maistre des forges d'Anglus près de bar-sur-aulbe*, pour *quatre polliez de fer de fonte*¹²⁰⁸. Le village d'Anglus se trouve actuellement sur la commune de Ceffonds située en Haute-Marne à une quarantaine de kilomètres à l'est de Troyes en plein pays du Der, région bien connue pour son activité métallurgique à la période médiévale avec en particulier l'influence cistercienne de l'abbaye de Clairvaux¹²⁰⁹. Le terme de « fer de fonte » suggère l'existence à Anglus au moins d'une fonderie, et peut-être de la totalité de la chaîne concernant le procédé indirect. Cette forge, située sur la rivière Laine, comporterait bien haut fourneau et affinerie au moins depuis le milieu du XV^e siècle¹²¹⁰.

III.2.1.1.9 Le fer de l'église

Outre ces mentions d'achats de fer, la fabrique emploie également à de nombreuses reprises du « fer de l'église » ou du « fer des garnisons de l'église ». Ce fer, qui est parfois qualifié de « vieux fer » de récupération, n'est pas le fer produit par l'église, mais celui qui est stocké dans la loge de l'œuvre. Ses origines peuvent être diverses : la loge contient non seulement les vieux fers, mais également le fer acheté en gros en prévision d'ouvrages à venir ou encore les surplus des années précédentes. Il ne s'agit donc pas nécessairement d'un fer de récupération.

Le nombre de mentions de « fer de l'église » dépasse la cinquantaine d'occurrences sur plus d'une trentaine d'années comptables dans les archives de la cathédrale de Troyes. Il est par ailleurs précisé pour certaines années que la plupart du fer employé pour les ouvrages de serrurerie du chantier provient des garnisons de l'église comme en 1506-1507 ou entre 1509 et 1511¹²¹¹. Avant le début du XVI^e siècle, la part du fer de garnison ne semble toutefois pas excéder les achats réalisés directement au serrurier urbain et payés à la livre de fer ouvrée. Les mentions de « fer de l'église » sont beaucoup plus parcimonieuses pour les trois autres églises troyennes avec une seule mention chacune sur l'ensemble des comptes étudiés.

¹²⁰⁸ PJ n° 75, fol. 51 v°.

¹²⁰⁹ VERNA (C.), BENOIT (P.), « La sidérurgie de Clairvaux au Moyen Age », *Histoire de Clairvaux. Actes du Colloque, juin 1990*, Bar-sur-Aube, 1991, p. 85-111 ; BOUTIOT (T.), *Notes sur les anciennes exploitations métallurgiques ...*, op. cit.

¹²¹⁰ ALVES (G.), ANDRE (L.), BERTRAND (P.), CHEVILLOT (C.), ISNARD (I.), PERCHET (D.), PHILIPPE (M.), ROBERT-DEHAULT (E.), VERNA (C.), *La métallurgie de la Haute-Marne...*, op. cit., p. 24.

¹²¹¹ Arch. dép. Aube, G 1577, fol. 63 v°, fol. 118 v° ; G 1579, fol. 106 v° ; G 1580, fol. 211 v°.

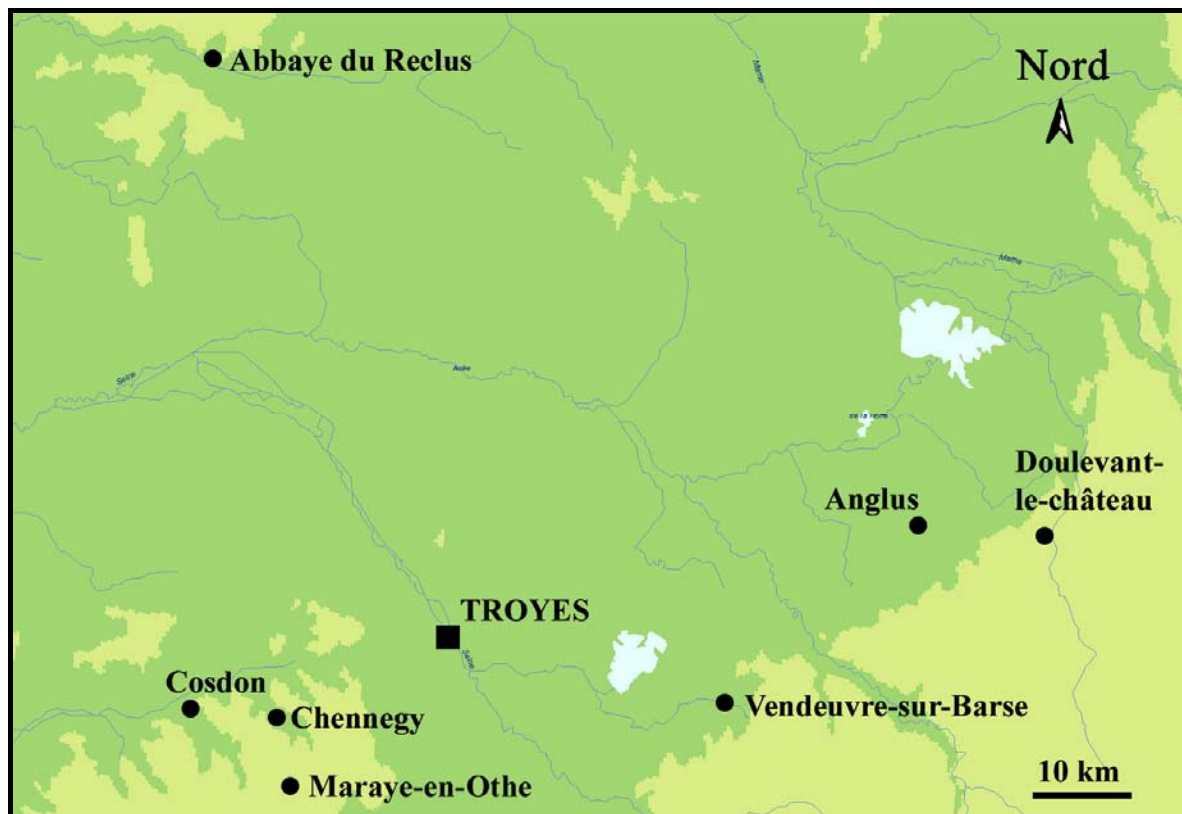


Figure 286 : Localisation des lieux d’approvisionnement en fer pour les chantiers troyens d’après les comptes de la fabrique.

III.2.1.1.10 Synthèse

Les origines du fer mis en œuvre dans les églises troyennes sont donc assez diverses, mais semblent essentiellement provenir d’un apport local ou régional avec la prépondérance de l’abbaye du Reclus dès la seconde moitié du XV^e siècle. Outre cette abbaye, dont la production n’est à l’heure actuelle que fort peu connue, on retrouve aussi les principales zones de production du fer citées dans la littérature, à savoir le pays d’Othe, avec les forges de Chennegy (Valcon) et de Cosdon, et la contrée du Der, avec les forges de Doulevant, de Vendeuvre et d’Anglus¹²¹². Le chapitre cathédral de Troyes ne semble pas acquérir de l’évêque, qui gère son temporel en propre, du fer de sa seigneurie d’Aix-en-Othe¹²¹³.

¹²¹² BOUTIOT (T.), *Notes sur les anciennes exploitations métallurgiques...*, *op. cit.* ; VERNA (C.), *Les mines et les forges des Cisterciens...*, *op. cit.* ; ROUILLARD (J.), *L’homme et la rivière...*, *op. cit.* ; BRAUNSTEIN (Ph.), « Les forges champenoises... », *op. cit.* ; CAILLEAUX (D.), « Les religieux et le travail du fer en Pays

III.2.1.2 Pour les chantiers rouennais

Contrairement à leurs homologues troyens, les mentions de provenance du fer sont en général très rares dans les archives des chantiers rouennais, à l'exception de rares évocations du fer d'Espagne dans les comptes de la fabrique de la cathédrale de Rouen au début du XVI^e siècle. Les achats sont la plupart du temps réalisés auprès de marchands, de férons ou de serruriers de la ville, ce qui ne permet pas de remonter plus en amont quant à l'origine du métal¹²¹⁴.

L'étude des comptabilités portuaires de la ville de Rouen montre son importance sur le marché des métaux pendant le XV^e siècle¹²¹⁵. La ville importe le fer essentiellement sous forme de produits semi-finis¹²¹⁶. Selon M. Arnoux, bien qu'on les comptes ne le mentionnent pas, une grande partie du fer consommé à Rouen viendrait d'Espagne¹²¹⁷. Cependant en 1477-1478, seule année pour laquelle l'intégralité de la comptabilité portuaire de la ville de Rouen est conservée, le fer de Verneuil, provenant probablement de la région du pays d'Ouche représenterait près de 50 % du fer apporté à Rouen¹²¹⁸. Ph. Lardin nous met de plus en garde contre les interprétations que l'on peut faire sur les chiffres fournis par les comptabilités portuaires, notamment car les bourgeois de la ville, exempts de taxes, n'y figurent qu'exceptionnellement¹²¹⁹. Or ces mêmes bourgeois assuraient sur place une part importante du commerce du fer. Son approvisionnement semble même être dominé par quelques marchands rouennais dès la fin du XIV^e siècle¹²²⁰. La thèse développée par M. Arnoux selon laquelle la majeure partie du fer consommé en ville viendrait d'Espagne, par opposition au fer

d'Othe », dans BENOIT (P.), CAILLEAUX (D.), éd., *Moines et métallurgie dans la France médiévale*, Paris, A.E.D.E.H., 1991, p. 193-212.

¹²¹³ Sur les forges d'Aix-en-Othe, ROUILLARD (J.), *L'homme et la rivière... op. cit.*, p. 392-397 ; BECK (P.), BRAUNSTEIN (Ph.), PHILIPPE (M.), « Le bois, le fer et l'eau en forêt d'Othe à la fin du Moyen Age : bilan et perspectives », *Cahiers du Centre de Recherches historiques de l'EHESS*, n° 13, octobre 1994, p. 1-13.

¹²¹⁴ LARDIN (Ph.), *Les chantiers du bâtiment en Normandie orientale (XIV^e-XVI^e s.)...*, *op. cit.*, p. 226.

¹²¹⁵ MOLLAT (M.), *Le commerce maritime normand à la fin du Moyen Age : étude d'histoire économique et sociale*, Paris, Plon, 1952, p. 279.

¹²¹⁶ MONTELLIARD (N.), « Artisans et artisanat du métal à Rouen à la fin du Moyen Age », dans BENOIT (P.), BRAUNSTEIN (Ph.), dir., *Hommes et travail du métal dans les villes médiévales*, Paris, AEDHE, 1988; p. 109-126.

¹²¹⁷ « Si la réalité des importations ne saurait faire de doute, on cherche vainement dans les comptes de construction ce produit qui devrait s'y trouver en abondance », ARNOUX (M.), *Mineurs, férons et maîtres de forge : études sur la production du fer dans la Normandie du Moyen Age, XI^e-XV^e siècles*, Paris, éd. du CTHS, 1993, p. 327.

¹²¹⁸ MOLLAT (M.), *Le commerce maritime normand...*, *op. cit.*, p. 279. Il s'agit de l'actuelle ville de Verneuil-sur-Avre située à une centaine de kilomètres au sud de Rouen.

¹²¹⁹ LARDIN (Ph.), *Les chantiers du bâtiment en Normandie orientale (XIV^e-XVI^e s.)...*, *op. cit.*, p. 227.

¹²²⁰ ID., *Ibid.*, p. 232.

d'origine locale qui alimenterait surtout les campagnes peut donc être contestée¹²²¹. N. Monteillard propose quant à elle une équivalente répartition entre fer maritime provenant essentiellement d'Espagne et fer arrivant par voie fluviale d'origine locale, d'après l'étude des comptes de la vicomté de l'Eau à la fin du XV^e siècle¹²²². En revanche, selon Ph. Lardin, le fer consommé à Rouen a surtout une origine locale, les mentions de fer d'Espagne ne pouvant être interprétées sur le plan quantitatif¹²²³. Il identifie trois régions fournissant la majeure partie de la production normande dès la fin du XIV^e siècle : le pays d'Ouche, le pays de Bray et la région de Bellencombre entre Rouen et Dieppe. Le pays d'Ouche fournirait en particulier d'importantes quantités de fer sous forme de barres à toute la Haute-Normandie et sur Rouen en particulier¹²²⁴. Pour le pays de Bray normand, D. Arribet-Deroin a quant à elle mis en évidence que Jean Bridoulet, le maître des forges de Glinet, site de production fonctionnant selon le procédé indirect dès la fin du XV^e siècle, vend directement une partie de sa production à des marchands rouennais entre 1512 et 1514¹²²⁵.

Cette question des régions d'approvisionnement en fer pour les marchés de la ville de Rouen doit également être rattachée aux travaux d'A.-M. Desaulty sur la filiation minerai/scorie/inclusions d'après leurs compositions chimiques respectives¹²²⁶. D'après la composition de leurs inclusions, 14 des 41 fers prélevés sur les églises rouennaises semblent bien compatibles avec les scories qu'elle a analysées sur différents sites de production en Pays de Bray normand (cf. Figure 288). Ils se caractérisent tous par de faibles teneurs en manganèse (en général moins de 1 %_{mass}). Les rapports Al₂O₃/SiO₂ sont en revanche beaucoup plus variables entre les scories brayonnes, mais la nature géologique de la boutonnière du Pays de Bray peut expliquer ces variations : présentant un anticlinal, elle offre avec l'érosion un grand nombre de couches géologiques différentes et par conséquent une grande diversité dans les minerais potentiels. Parmi les 14 échantillons dont la composition des inclusions est compatible avec les scories brayonnes, neuf se rapprochent de scories de sites de réduction directe. Ces sites ne sont cependant pas tous datés et certains correspondent

¹²²¹ ARNOUX (M.), *Mineurs, férons et maîtres de forge...*, *op. cit.*, p. 327.

¹²²² MONTEILLARD (N.), *La métallurgie à Rouen de la fin du XIV^e au début du XVI^e siècle*, mémoire de maîtrise d'histoire de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne sous la direction de R. FOSSIER et P. BENOIT, 1987, p. 35-40.

¹²²³ LARDIN (Ph.), *Les chantiers du bâtiment en Normandie orientale (XIV^e-XVI^e s.)...*, *op. cit.*, p. 230. Sa conclusion rejoint les considérations de BENOIT (P.), « Métal et construction en France... », *op. cit.*

¹²²⁴ LARDIN (Ph.), *Les chantiers du bâtiment en Normandie orientale (XIV^e-XVI^e s.)...*, *op. cit.*, p. 230.

¹²²⁵ ARRIBET-DEROIN (D.), *Fondre le fer en gueuses...*, *op. cit.*, p. 218.

¹²²⁶ Elle étudie le matériel issu du site de Glinet, fouillé par D. Arribet-Deroin pour la filière indirecte et de plusieurs sites fouillés ou prospectés par C. Colliou pour la filière directe.

à une production antérieure à la période médiévale. En l'état actuel de la recherche¹²²⁷, le site de Forges-les-Eaux est le seul correspondant à une production du bas Moyen Age et d'après leurs teneurs en Mn, P, Al et Si, seuls deux échantillons pourraient être compatible avec sa production : OUEN 02 et OUEN 11. Les autres échantillons ont soit un rapport Al/Si trop faible, soit de trop fortes teneurs en Mn (cf. Figure 287). Les cinq autres objets se rapprochent quant à eux de la composition de scories d'affinage prélevées sur le site de Glinet. Cependant, seuls deux d'entre eux, les attaches de statue ROU 35/2 et ROU 35/3 provenant de la tour de Beurre érigée au tournant des XV^e et XVI^e siècles ont une chronologie compatible avec la période d'activité du haut fourneau et de l'affinerie entre 1480 et 1580¹²²⁸. Il faut toutefois être prudent pour ces fers de réduction indirecte, car la plupart ont une signature presque identique sur ces graphiques à cause de leur faible teneur en Al, les variations dans les teneurs en P ne pouvant être considérées comme caractéristiques (cf. Figure 287). Ces premiers résultats montrent donc qu'une origine brayonne n'est pas à exclure pour certains fers employés sur le chantier de la cathédrale de Rouen et de l'église Saint-Ouen.

Les deux tiers des échantillons analysés ne sont toutefois pas compatibles avec les scories du pays de Bray et confirment bien par là même la diversité des sources d'approvisionnement. En l'absence d'autres études locales comme celle d'A.-M. Desaulty sur le pays de Bray normand, il est impossible d'émettre une hypothèse pour leur origine. On peut cependant s'interroger sur l'incompatibilité d'au moins quinze d'entre eux avec un fer espagnol, car leurs inclusions contiennent des teneurs importantes de phosphore, élément qui ne serait pas compatible avec des fers aciérés de bonne qualité.

Qu'il ne faille pas trop amplifier, ou au contraire trop minimiser l'importance de ce fer d'Espagne, les derniers travaux de recherche semblent effectivement montrer que le fer consommé sur les chantiers des églises rouennaises pendant le Moyen Age a plutôt une origine locale ou régionale. Les deux mentions de fer d'Espagne relevées dans les comptes de la fabrique de la cathédrale de Rouen relèvent donc plus probablement de l'anecdote qu'elles ne caractérisent une des principales sources d'approvisionnement¹²²⁹.

¹²²⁷ COLLIOU (C.), « Prémices à une approche de la métallurgie... », *op. cit.*, ; COLLIOU (C.), *Rapport de fouille, Le Chemin du Flot...*, *op. cit.*

¹²²⁸ Pour les trois autres échantillons, seule la datation de l'agrafe OUEN 20, posée après 1525 est compatible avec la chronologie du site de Glinet. Elle peut cependant également provenir d'une restauration postérieure au XVI^e siècle ; le goujon OUEN 08 est quant à lui vraisemblablement antérieur aux premières mentions du haut fourneau de Glinet et la cheville OUEN 16 date de 1700, période à laquelle le haut fourneau de Glinet a cessé toute activité, ARRIBET-DEROIN (D.), *Fondre le fer en gueuses...*, *op. cit.*

¹²²⁹ PJ n° 15, fol. 71 v° et G 2522, fol. 40 v°.

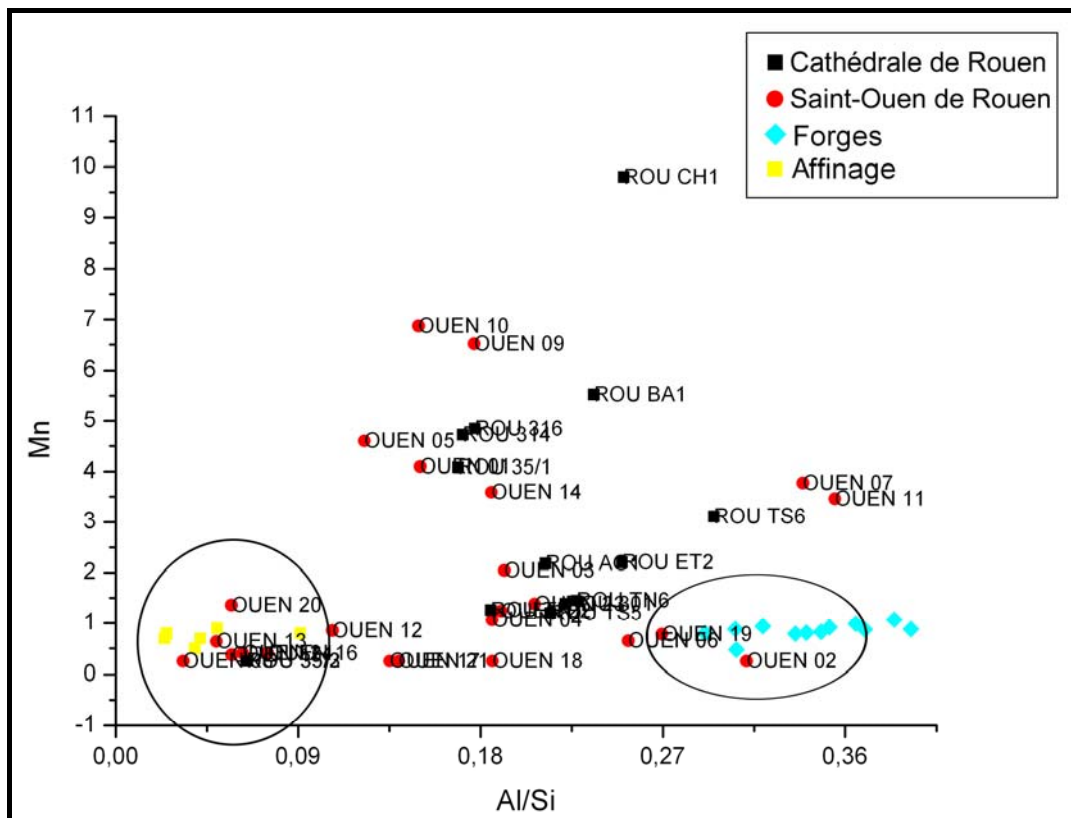
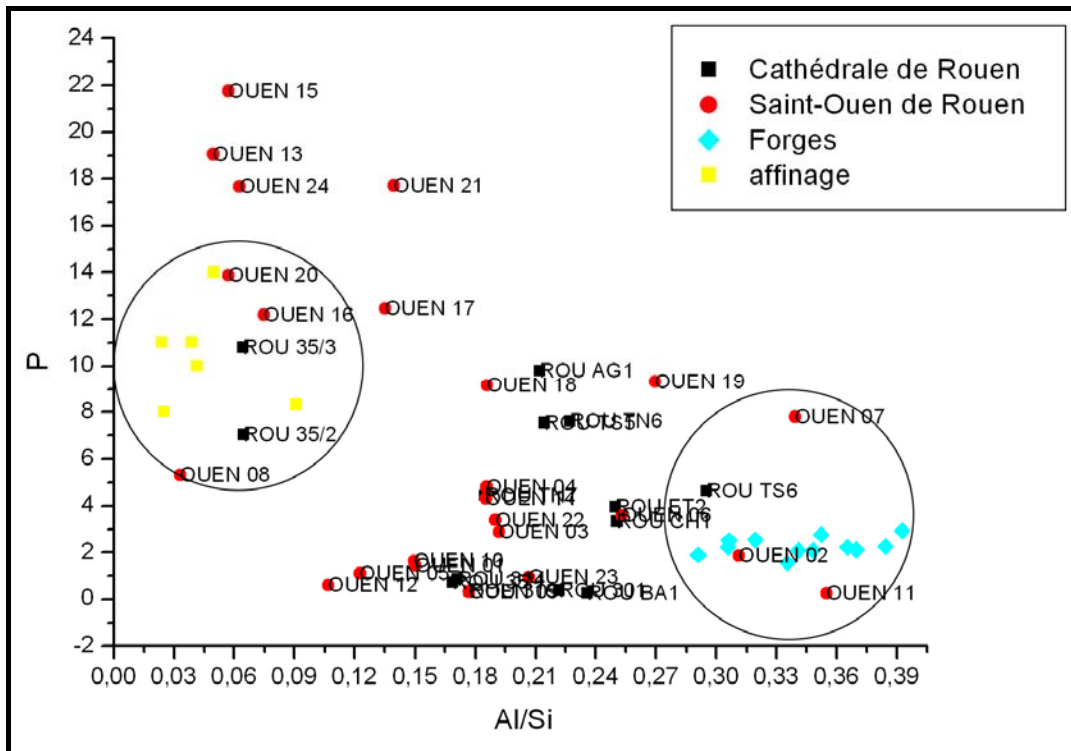


Figure 287 : Correspondance entre la composition des inclusions des églises rouennaises et celle des scories analysées pour deux sites du pays de Bray : Forges (procédé direct) et Glinet (procédé indirect). Rapports Al/Si comparés à P et Mn. Dosages M. L'Héritier et A.-M. Desaulty.

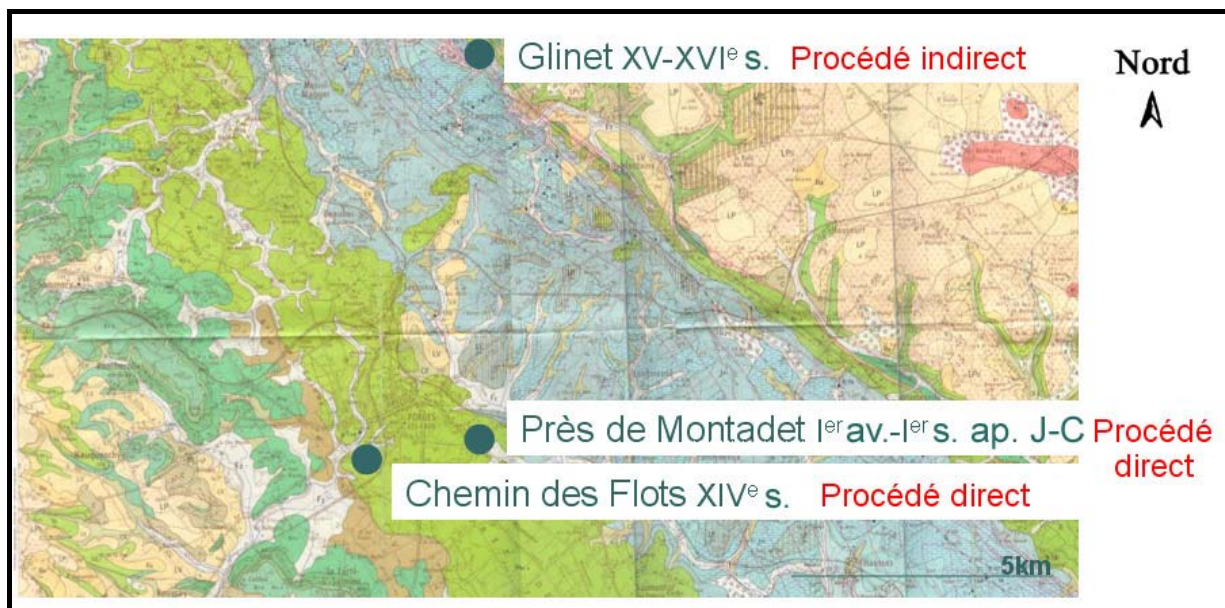


Figure 288 : Carte géologique de la région de Forges-les-Eaux (Pays de Bray normand) avec les sites d'étude d'A.-M. Desaulty pour la filiation minéral/scorie/inclusions, figure A.-M. Desaulty.

III.2.1.3 Le fer d'Espagne, une appellation non contrôlée

Il est nécessaire à ce stade de la réflexion de poser la question de la nature de ce produit que l'on retrouve dans les comptes des chantiers de construction troyens et rouennais sous la dénomination de « fer d'Espagne », par ailleurs seule mention d'origine commune aux deux villes. Si l'importance du commerce de fer provenant d'Espagne a déjà été étudiée à plusieurs reprises, notamment par M. Mollat pour les comptabilités portuaires de la ville de Rouen, et n'est pas à remettre en doute, la signification de ce terme reste fort « mystérieuse », comme l'a à juste titre affirmé M. Arnoux, et il est bien « difficile de définir exactement ce qui était vendu sous le nom de fer d'Espagne »¹²³⁰. En effet, au-delà d'une simple provenance, le « fer d'Espagne » désigne parfois un matériau de qualité particulière, recherché pour des ouvrages spécifiques et souvent vendu à un prix supérieur que les autres types de fer¹²³¹. O. Chapelot estime pour les chantiers de construction du Châtillonnais que le prix du fer

¹²³⁰ ARNOUX (M.), *Mineurs, fèvres et maîtres de forge...*, op. cit., p. 327.

¹²³¹ BAUTIER (R.-H.), « Notes sur le commerce du fer en Europe occidentale du XIII^e au XVI^e siècle », *Revue d'histoire de la sidérurgie*, t. 1, n^o 4, Nancy, 1960, p. 7-35.

d'Espagne excède de 25 à 100 % celui des fers locaux¹²³². Par ailleurs, certains textes de réglementation des éventuelles fraudes indiquent bien que certains fers ne peuvent être vendus sous l'appellation de fer d'Espagne¹²³³, peut-être en raison de leur trop médiocre qualité. Si ces réglementation sont la preuve de l'existence de fraudes¹²³⁴, elles induisent par là même que d'autres types de fer peuvent probablement être vendus de manière parfaitement légale sous cette appellation. Si uniquement la qualité du fer est prise en compte, et même en exceptant les fraudes, le « fer d'Espagne » ne viendrait donc peut-être pas systématiquement de la péninsule ibérique.

La plus célèbre commande de fer d'Espagne pour le chantier d'une église gothique concerne précisément la cathédrale d'Amiens, avec l'établissement à l'extrême fin du XV^e siècle de huit chaînes de fer « d'Espagne » dans le triforium afin d'empêcher le boucllement des piles de la croisée. Un récent travail de recherche est venu apporter une lumière nouvelle sur ces chaînages de la cathédrale d'Amiens et permet de dépasser les constatations des auteurs du XIX^e siècle qui n'avaient pas été reprises jusque-là¹²³⁵. L'histoire de ce chaînage commence en 1497, année où, afin de déterminer la nature des travaux de consolidation à effectuer dans la cathédrale, les chanoines organisent deux visites d'experts, qui statuent sur la nécessité de mettre en place un chaînage « de fer d'Espagne de bonne grosseur »¹²³⁶. Les chanoines obtiennent par ailleurs un droit de passage du blé nécessaire pour l'obtention de ce fer d'Espagne à une époque où la guerre fait rage entre le roi de France et le roi d'Espagne et complique les relations commerciales entre les deux royaumes¹²³⁷. Bien que les comptes relatifs à la mise en place l'ouvrage dans le triforium de la cathédrale ne soient pas conservés, huit chaînes de forte section sont actuellement bien visibles dans cette partie de l'édifice. D'aucuns en ont donc conclu qu'il s'agissait bien d'un chaînage fait de fer d'Espagne¹²³⁸. Les récentes analyses métallographiques d'une soixantaine d'échantillons prélevés sur ces

¹²³² Elle affirme toutefois qu'il est difficile d'appréhender la qualité de ces fers d'origine internationale et se demande si leur coût plus élevé n'est pas uniquement lié aux frais de transport et à la conjoncture économique, CHAPELOT (O.), « Les ouvriers du métal en Bourgogne... », *op. cit.*

¹²³³ LEFEBVRE (E.), *La place et le rôle des métaux...*, *op. cit.*, p. 88. D'après une ordonnance de l'échevinage d'Amiens datée de 1374, le fer d'Allemagne et le fer du Hainaut ne peuvent être vendus sous cette appellation, THIERRY (A.), éd, *Recueil des monuments inédits de l'histoire du Tiers Etat, t 1, Les pièces relatives à l'histoire de la ville d'Amiens depuis l'an 1057 jusqu'au XV^e siècle*, F. Didot Frères, Paris, 1850, p. 675-778.

¹²³⁴ LEFEBVRE (E.), *La place et le rôle des métaux...*, *op. cit.*, p. 88.

¹²³⁵ ID., *Ibid.* ; DURAND (G.), *Monographie de l'église Notre-Dame cathédrale d'Amiens*, tome 1, 1901, 535 p.

¹²³⁶ Dans un premier temps, les experts envisagent de remplacer partiellement le fer d'Espagne par des pièces de bois, en raison de son coût trop élevé, mais lors de la seconde visite, ils décident finalement que ce chaînage devra être fait de bon fer d'Espagne et non d'autre fer ne de bois, LEFEBVRE (E.), *La place et le rôle des métaux...*, *op. cit.*, p. 78-79.

¹²³⁷ ID., *Ibid.*, p. 79.

¹²³⁸ SANDRON (D.), *Amiens. La cathédrale*, Paris, éditions du Zodiaque, 2004, p. 41.

chaînages réalisées par l'équipe de Ph. Dillmann au Laboratoire Pierre Süe ont montré que le fer les constituant est essentiellement un fer phosphoreux issu de l'affinage de la fonte¹²³⁹. Or, si le nouveau procédé de réduction est déjà largement diffusé dans le nord du royaume de France au tournant des XV^e et XVI^e siècles, ce n'est pas le cas dans les régions plus méridionales, en particulier les Pyrénées et la péninsule ibérique¹²⁴⁰, qui voient une persistance jusqu'au XIX^e siècle de structures à forte capacité de production utilisant le procédé de réduction directe sous la forme particulière des forges à la catalane¹²⁴¹. A la fin de la période médiévale, le fer espagnol était donc très vraisemblablement un fer de réduction directe, ce qui ne correspond pas à la nature métallographique de la plupart des éléments du chaînage d'Amiens. Fraude ? Achat de fer d'origine locale en raisons de trop grandes difficultés à obtenir du fer d'Espagne ? Ou tout simplement méconnaissance des caractéristiques des ces fers vendus au Moyen Age sous l'appellation de « fer d'Espagne » ? E. Lefebvre a discuté dans son mémoire de ces différentes hypothèses¹²⁴².

De manière plus générale, cet exemple du chaînage de la cathédrale d'Amiens montre tout d'abord une volonté d'emploi d'un matériau de qualité exceptionnelle dans un but architectural précis : il est bien précisé que le chaînage doit être fait « de fer d'Espagne et non d'autre fer »¹²⁴³. Ce matériau bien spécifique est de plus bien produit sur les terres du roi d'Espagne, comme en attestent les démarches des chanoines pour se le procurer et il coûte plus cher que d'autres types de fer car son prix élevé est souligné par les experts lors de la première visite. En revanche, les conclusions du travail de recherche mené par E. Lefebvre entretiennent toujours le mystère sur la réalité de cette supériorité mécanique du fer d'Espagne, puisque selon toute vraisemblance, il n'a pas été employé ou seulement en très faibles quantités dans le chaînage de la cathédrale d'Amiens¹²⁴⁴. Il permet donc d'insister une nouvelle fois sur le fait que la prédominance et parfois même le quasi-monopole du fer d'Espagne dans les archives comptables n'est pas le reflet de la réalité archéologique.

Si l'on revient aux chantiers des églises troyennes et rouennaises, cinq mentions de ce fer d'Espagne ont été relevées. Le 8 juin 1508, le serrurier Martin le Bourt fournit à la fabrique de la cathédrale de Rouen *ung tourillon de fer d'Espagne* coûtant 10 d. t. la livre, soit

¹²³⁹ DILLMANN (Ph.), « De Soissons à Beauvais : le fer des cathédrales de Picardie », dans *L'emploi du fer et du plomb...*, *op. cit.*, sous presse.

¹²⁴⁰ VERNA (C.), *Le temps des moulins...*, *op. cit.*, p. 316-320 pour les Pyrénées.

¹²⁴¹ CANTELAUBE (J.), *La forge à la catalane...*, *op. cit.*

¹²⁴² LEFEBVRE (E.), *La place et le rôle des métaux...*, *op. cit.*, p. 87-88.

¹²⁴³ ID., *Ibid.*, p. 87.

¹²⁴⁴ Quelques échantillons ont en effet montré l'utilisation de fer de réduction directe.

1 à 2 d. t. de plus que le prix du fer de l'époque selon Ph. Lardin¹²⁴⁵. De même, plus d'un siècle auparavant sur le chantier de la cathédrale de Troyes, une bande de fer d'Espagne achetée en 1390-1391 coûte 15 d. t. la livre, soit environ 25 % de plus que le prix moyen de la livre de fer ouvré constatée dans les comptes de la fabrique à la même période. De plus, elle n'est pas achetée au forgeron habituellement employé par la fabrique à l'époque, Thomas le Chat, mais à un certain Jacquemart, serrurier, dont c'est la seule apparition dans les comptes. Si les deux premières mentions attestent d'un coût de 15 à 25 % plus élevé que les autres fers pour les éléments forgés en fer d'Espagne, en revanche, dans les deux occurrences précédentes, au cours de l'année comptable 1379-1380, ce « même » fer d'Espagne ne revêt aucun coût ni utilisation exceptionnels. Voici pour les seuls achats de fer d'Espagne mentionnés pour les chantiers rouennais et troyens. Il semble donc bien d'après le prix du métal que l'on ait par deux fois affaire à un matériau de qualité supérieure aux fers habituellement achetés par les fabriques de ces cathédrales, d'autant plus qu'il est mis en œuvre pour des usages particuliers. A Rouen, il est utilisé pour remplacer une pièce de fer de la partie travaillante d'un engin qui s'était brisée ; à Troyes, il concerne une grande bande de fer de 6 pieds de long installée dans la charpente de l'église lors de sa reconstruction après l'effondrement de la toiture en 1389. On peut donc supposer dans les deux cas que l'utilisation de fer d'Espagne payé plus cher est un gage de solidité pour le maître d'œuvre, qui ne souhaite pas que l'engin ou la charpente ne se brise à nouveau. En revanche, par deux fois également, le fer d'Espagne ne se distingue pas des autres au niveau du coût et de ses emplois, tous types de fer étant apparemment mis en œuvre dans les vitraux¹²⁴⁶. Ces constatations sur l'apparente existence de deux matériaux différents portant l'appellation de fer d'Espagne font ressurgir certaines questions sur la nature de ce fer. S'agit-il d'une nouvelle fraude ? Existait-il plusieurs qualités de fer d'Espagne ? Le fer d'Espagne vendu au même prix que les autres types de fer est-il de qualité exceptionnelle ? Dans la négative, pourquoi alors se le procurer ? A Rouen, cette dernière question ne se pose pas nécessairement, car avec l'arrivée dans le port de la ville de nombreux bateaux en provenance de la péninsule ibérique, dont certains étaient en partie chargés de fer, le fer espagnol, quelle que soit sa qualité, était directement disponible sur les marchés rouennais. En revanche, la situation est différente pour la ville de Troyes : que ce soit par voie terrestre ou fluviale, le fer d'Espagne ne pouvait y parvenir que plus difficilement et augmenté d'un coût certain de

¹²⁴⁵ Arch. dép. Seine-Maritime, G 2522, fol. 40 v° ; LARDIN (Ph.), *Les chantiers du bâtiment en Normandie orientale (XIV^e-XVI^e s.)...*, op. cit., p. 271-272.

¹²⁴⁶ On y retrouve du fer du Reclus au tournant des XV^e et XVI^e siècles.

transport. Pourtant c'est bien dans les comptes de la cathédrale de Troyes qu'ont été découvertes ces mentions de fer d'Espagne au même prix que le fer habituellement acheté par le receveur. S'agit-il d'une fraude ? D'un fer local ou régional vendu sous l'appellation de « fer d'Espagne » car des propriétés plastiques ou mécaniques supérieures lui sont reconnues ? Ou au contraire d'un fer provenant réellement d'Espagne mais de qualité standard ? Comme pour la cathédrale d'Amiens, les hypothèses sont une nouvelle fois diverses et il est difficile de prendre parti.

Comme l'écrivait M. Arnoux il y a presque dix ans, « faute d'analyses précises sur des objets en fer ibérique bien identifiés » on ne pouvait à l'époque connaître la composition précise de ce fer prestigieux¹²⁴⁷. Dix ans plus tard, avec la présence d'analyses métallographiques sur un des plus importants ouvrages que l'on disait traditionnellement réalisé en fer d'Espagne, la nature précise de ce matériau n'en apparaît que plus mystérieuse. Ces nouvelles données sur la cathédrale d'Amiens et dans une moindre mesure sur les églises troyennes et rouennaises ont toutefois permis de réactualiser la recherche sur ce matériau prestigieux qu'est le fer d'Espagne et de faire un pas en avant. Une étude de plus grande envergure reste maintenant à réaliser sur le sujet pour en percer enfin le mystère.

III.2.1.4 La question de la récupération

Il serait toutefois erroné de penser que l'ensemble du fer mis en œuvre dans les églises troyennes est du fer « neuf », sortant de bas fourneaux ou de foyers d'affinage sans jamais avoir été employé auparavant. Le tableau des sources d'approvisionnement du fer pour les chantiers troyens et rouennais qui a été brossé n'a pas insisté sur un point des plus importants : le fer est un matériau recyclable. Aujourd'hui, environ 50 % de la production d'acier provient de ferrailles recyclées ! Au Moyen Âge, la part de ce recyclage, en particulier sur les chantiers de construction, est plus difficile à déterminer. Les archives comptables d'une part, mais aussi les analyses métallographiques apportent toutefois quelques éléments de réponse.

Les comptes des fabriques des églises troyennes et rouennaises mentionnent en effet plus ou moins fréquemment la récupération du métal ou la mise en œuvre de « vieux fer ».

¹²⁴⁷ ARNOUX (M.), *Mineurs, férois et maîtres de forge...*, op. cit., p. 327.

A la cathédrale de Rouen, le serrurier Jehan Paen récupère systématiquement les ferrures des anciennes fenêtres lors de la période de modification des baies hautes du chœur entre 1430 et 1433¹²⁴⁸. En trois ans, ce sont environ 4150 livres soit plus de 2 tonnes de fer qui sont ainsi vendues au serrurier au prix de 6 d. t. la livre, soit à peine moins de la moitié du prix de la livre de fer ouvrée. Si les termes de *ferro novo* et *ferro antico* employés par le procureur de la fabrique et désignant respectivement le fer mis en œuvre et le fer récupéré semblent indiquer que les armatures des nouvelles baies sont de « fer neuf », il n'est toutefois pas impossible que le forgeron ait utilisé une partie du « vieux fer » d'une baie pour forger les verges ou barlotières de la suivante. Outre cet exemple, les mentions de « vieux fer » sont plutôt rares pour le chantier de la cathédrale de Rouen.

A Troyes, une dizaine de mentions de « viel fer » ou « viel fer prins en l'église » assure qu'il s'agit bien là d'un fer de récupération. En revanche, en juillet 1433, les travaux décrits par le procureur lors de l'achèvement du clocher de la cathédrale de Troyes attestent clairement de la récupération de vieux fers. Seize barreaux destinés à attacher les ornements du clocher sont forgés par le serrurier Jaquenot L'Avocat à partir de deux *grosses chaesnes de fer données à l'œuvre* qu'il avait préalablement *depecées* pendant un jour entier avec son valet¹²⁴⁹. Il est bien précisé que le serrurier a *fais du fer* à partir de ces chaînes mais il n'est ensuite rémunéré que pour la façon desdits barreaux. Le fer récupéré par la fabrique provenait donc d'horizons assez divers et n'était pas uniquement issu de la dépose de vieilles ferrailles présentes dans la structure de l'édifice.

Ce recyclage, en partie caractérisé par les textes, peut prendre deux formes : le réemploi d'une pièce de fer après ajustement aux dimensions requises ou le recyclage proprement dit de vieilles ferrailles par grappage ou corroyage comme ce fut le cas pour ces chaînes de fer de la cathédrale de Troyes¹²⁵⁰. Dans les deux cas, il s'agit bien de « vieux fer » mis en œuvre, bien que l'opération métallurgique ne soit pas la même. Au niveau de la microstructure du métal, seule la récupération par corroyage est identifiable, non seulement par les traces de soudures qu'elle est susceptible de laisser, mais également par la signature chimique de ses inclusions, si tant est que les ferrailles recyclées provenaient d'origines différentes.

¹²⁴⁸ PJ n° 4 ; PJ n° 5 ; PJ n° 6 ; PJ n° 7.

¹²⁴⁹ PJ n° 47, fol. 137 r°.

¹²⁵⁰ Le « grappage » est un terme actuel de forge désignant l'opération métallurgique qui consiste à recycler les vieilles ferrailles en les agglomérant à chaud dans un petit foyer. Le produit du grappage est ensuite traité comme une loupe de bas fourneau.

Afin de considérer l'homogénéité des objets à travers celle des inclusions et tenter de déterminer ceux qui pourraient être issus de fer « neuf » et ceux qui proviendraient d'un recyclage par corroyage, les rapports entre les principaux composés non réduits des inclusions, Al_2O_3 , SiO_2 , CaO et K_2O et leurs variations dans l'objet ont été évalués pour tous les spécimens étudiés. Ces rapports sont assez souvent stables à l'intérieur d'un même échantillon ainsi que pour les inclusions de différentes sections découpées sur un même objet comme OUEEN 02, OUEEN 08 ou OUEEN 12. Ceci implique, pour un lopin qui présenterait des zones hétérogènes (fer/acier), une origine commune (même réduction) de ces différentes zones¹²⁵¹. Les structures en bandes observées sur la moitié des objets seraient donc bien la conséquence d'une hétérogénéité intrinsèque au lopin de fer utilisé et non au corroyage de morceaux de fer et d'acier d'origines différentes dans une optique de recyclage. De même, certaines lignes de soudure comme celle de OUEEN 06b ou JEAN H1a doivent, d'après l'homogénéité des inclusions, plutôt être interprétées comme les marques d'un repli effectué à la forge pendant la phase d'épuration. Cette constance dans les rapports évoqués a été observée pour près des deux tiers des objets étudiés et semble donc montrer que le fer « neuf », ne résultant pas de l'agglomération de lopins épars, tient une part relativement importante dans l'approvisionnement des chantiers rouennais comme troyens.

Les inclusions des autres échantillons montrent pour la plupart une dispersion dans les rapports qui ne permet pas d'aller plus loin dans l'analyse : elle pourrait aussi bien être la conséquence « d'effets de pépité » sur un fer non recyclé que d'un mélange de fers. Les graphiques évoquent toutefois pour quelques spécimens la possibilité de deux ou trois rapports distincts, ce qui irait davantage dans le sens de fers de récupération issus du corroyage à la forge de plusieurs éléments de fer d'origines différentes¹²⁵². On peut en particulier citer l'agrafe JEAN H3 et les goujons ROU TN7, OUEEN 04 et TROY 09. JEAN H3, agrafe mise en place au milieu du XVI^e siècle sur une balustrade du chœur de l'église Saint-Jean-au-Marché est sans nul doute l'objet le plus particulier du corpus à ce niveau. Tout d'abord, la section transversale réalisée présentait la marque d'au moins trois soudures parallèles. Les inclusions dosées de part et d'autre de chaque soudure s'ordonnent selon deux groupes bien nets, preuve d'un corroyage de deux fers d'origines distinctes. L'identification des procédés de réduction a même déterminé que ces deux fers ne provenaient pas de la même filière technique de réduction. Enfin, la forme de l'agrafe elle-

¹²⁵¹ L'HERITIER (M.), DILLMANN (P.), BENOIT (P.), « Analyse métallographique... », *op. cit.*,

¹²⁵² L'HERITIER (M.), DILLMANN (P.), BENOIT (P.), « Analyse métallographique... », *op. cit.* ; DILLMANN (Ph.), L'HERITIER (M.), « Tracing supply and smelting processes... », *op. cit.*

même rappelait déjà celle d'un objet récupéré : très plate, elle possède deux trous en sa partie médiane qui n'ont aucune utilité pour une agrafe. Ces trous sont donc très certainement les témoins d'un ancien objet qui provenait lui-même de la récupération de fers et à partir duquel les forgerons travaillant pour le chantier de l'église Saint-Jean-au-Marché au milieu du XVI^e siècle ont forgé l'agrafe que l'on voit actuellement. Il leur a suffi de le mettre aux dimensions requises et de recourber ses extrémités. A part dans ce cas précis où la forme de l'ancien objet est encore lisible dans sa nouvelle fonction, il est presque impossible de mettre en évidence cette autre forme de récupération qu'est le réemploi. Le nombre assez important de fers de réduction directe sur les chantiers troyens au XVI^e siècle semble toutefois être un indice de l'importance de cette pratique parallèlement à la permanence attestée de systèmes techniques plus anciens¹²⁵³.

L'étude des archives comptables et les résultats des analyses métallographiques montrent donc que le fer neuf et les fers recyclés ou réemployés étaient conjointement utilisés sur les chantiers de construction des églises troyennes et rouennaises. Le fer dit « neuf » semble toutefois le plus fréquemment rencontré d'après l'ensemble des sources. Le corpus étudié ne révèle pas une utilisation particulière de l'un ou de l'autre de ces fers pour la confection d'un type d'objet particulier.

III.2.1.5 Evolution des stratégies d'approvisionnement

A partir de ces considérations sur l'origine des fers employés dans les églises troyennes et rouennaises se pose la question de la variabilité de ces sources d'approvisionnement pendant une même campagne de construction.

Le seul édifice pour lequel les données des comptes quant à l'origine des fers employés sur le chantier sont suffisamment abondantes est la cathédrale de Troyes. Malgré la richesse des archives, il s'avère néanmoins impossible de tenter d'établir des évolutions dans les stratégies d'approvisionnement à partir de ces seules données. La seule certitude est une certaine permanence du fer du Reclus, au moins dès 1430 et jusqu'à la fin du premier quart du XVI^e siècle sur les marchés de la ville de Troyes et le chantier de la cathédrale en particulier. En ce début de XVI^e siècle, le fer utilisé sur le chantier de la cathédrale de Troyes semble essentiellement être de deux origines différentes : du fer neuf provenant de l'abbaye du

¹²⁵³ Voir le chapitre sur l'évolution des procédés de réduction.

Reclus¹²⁵⁴ et du *viel fer prins en l'église*¹²⁵⁵, probablement issu de la récupération sur le chantier. Le grand nombre de mentions de fer de garnison montre aussi que le chapitre conserve dans la loge de l'œuvre un stock important de fer, de récupération ou non. Les analyses métallographiques réalisées sur des échantillons de fers appartenant à différentes phases de construction permettent d'échafauder davantage d'hypothèses sur l'origine commune ou non de groupes d'éléments de fer.

Sur chaque édifice, les fers analysés ont donc été regroupés par phase de construction, en particulier les éléments qui renforçaient la même structure ou des structures identiques et de même datation, afin de déterminer la potentialité d'une origine commune. Onze groupes ont ainsi pu être constitués (cf. Tableau 123).

L'étude des rapports de certains composés non réduits constituant la signature chimique de l'échantillon comme Al_2O_3 , SiO_2 , K_2O et CaO permet de rendre compte de la compatibilité des échantillons entre eux à l'intérieur de chaque ensemble. Pour neuf des onze groupes, aucune compatibilité n'a pu être décelée entre les différents fers. A part de rares cas où la dispersion des points pour un même objet est trop importante pour permettre de conclure à son homogénéité intrinsèque, on peut affirmer que les fers sont bien hétéroclites à l'intérieur de ces ensembles, et par conséquent, que lors d'une même campagne de construction, les maçons ont mis en œuvre des fers d'origines distinctes (cf. Figure 289). Cette constatation est bien compatible avec l'hypothèse d'un approvisionnement chez un serrurier urbain qui avait lui-même acheté sa matière première auprès de différents marchands et a également peut-être pratiqué un recyclage de vieux fers d'origines encore différentes. Seuls les deux ensembles comprenant les six attaches de statue de la cathédrale de Rouen constituent une exception à ce tableau. Trois groupes se détachent en effet de manière très nette permettant ainsi de reconnaître trois phases de construction (cf. Figure 290) :

- le premier avec l'attache ROU 301 correspond à la période 1370-1387 pendant laquelle Jean Périer conduisait les travaux au portail ;
- le deuxième avec ROU 314, ROU 316 et ROU 35/1 date, d'après la situation des deux premières attaches, de la période où Jean de Bayeux lui avait succédé, à savoir 1388-1398 ; la composition des inclusions de ROU 35/1 qui était en position secondaire sur une statue de la tour de Beurre semble donc indiquer qu'elle provient du même lot d'attaches que ROU 314 et 316.

¹²⁵⁴ PJ n° 70, fol 226 r°-v°.

¹²⁵⁵ Arch. dép. Aube, G 1578, fol. 178 v°.

- le troisième avec ROU 35/2 et ROU 35/3 représente la phase de décoration de la tour de Beurre au tournant des XV^e et XVI^e siècles.

Une telle superposition presque parfaite des inclusions des objets de ces différents groupes indique sans doute une origine commune. Il semble donc que sur la façade occidentale de la cathédrale de Rouen, le fer mis en œuvre lors d'une même phase de construction a en partie une origine commune, mais que les sources d'approvisionnement ont varié au cours du temps, même dans la courte période de dix à vingt ans qui sépare les deux chantiers de la fin du XIV^e siècle. Au vu du faible nombre d'échantillons analysés, il reste toutefois fort probable que seule une partie des fers mis en œuvre lors de la même phase de construction ait une origine commune. L'étude d'un plus grand nombre de ces attaches déposées aux ateliers Legrand à Darnétal serait nécessaire pour confirmer ces hypothèses.

Edifice	Prélèvements	Localisation	Datation
Cathédrale de Troyes	TROY 01 à 05	Colonnettes du chœur (RDC et fenêtres hautes)	1 ^{ère} moitié du XIII ^e s.
Cathédrale de Troyes	TROY 06, 07 et 09	Beau Portail	Milieu du XV ^e s.
Eglise Saint-Jean-au-Marché	JEAN H0, H1 et H3	Balustrade du chœur, 2 ^e travée Sud.	Milieu du XVI ^e s.
Eglise Saint-Jean-au-Marché	JEAN H5, H6 et V2	Balustrade du chœur, 1 ^{ère} travée Sud.	Postérieur au milieu du XVI ^e s.
Eglise Sainte-Madeleine	MAD 01 à 12	Jubé	1 ^{er} quart du XVI ^e s.
Cathédrale de Rouen	ROU 301, 314, 316	Façade Occidentale, portails centraux.	Fin XIV ^e s.
Cathédrale de Rouen	ROU 35/1, 35/2 et 35/3 ¹²⁵⁶	Façade Occidentale, tour de Beurre	Fin XV ^e s. (Fin XIV ^e s. pour ROU 35/1)
Cathédrale de Rouen	ROU TS5, TS6, TN6 et TN7	Balustrade du triforium de la nef	1 ^{er} quart du XIII ^e s.
Eglise Saint-Ouen	OUEEN 02, 06, 07, 18 et 19 ¹²⁵⁷	Balustrades et coursives du chœur	1318-1339
Eglise Saint-Ouen	OUEEN 03 à 05 et OUEEN 08.	Fleuronn et pinacle du transept	1 ^{ère} moitié du XV ^e s.
Eglise Saint-Ouen	OUEEN 09 à 12, 22 et 23	2 ^e étage de la tour de la croisée	1 ^{ère} moitié du XV ^e s.

Tableau 123 : Groupes de prélèvements susceptibles d'avoir une origine commune.

¹²⁵⁶ ROU 35/1 a cependant été clairement identifié comme un réemploi.

¹²⁵⁷ OUEEN 18 et 19 ont été retrouvés en position secondaire et datés par analogie de forme et de dimensions avec les trois autres agrafes du groupe.

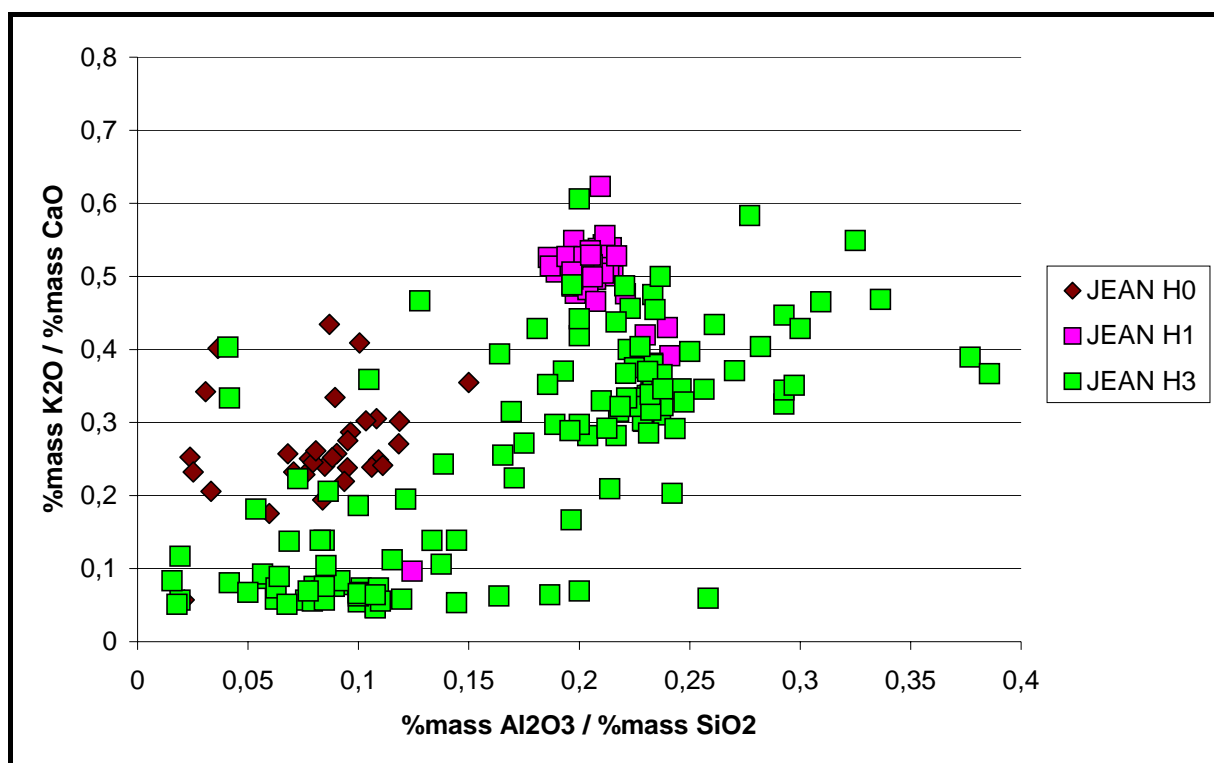


Figure 289 : Mise en évidence de provenances différentes pour les agrafes de la seconde balustrade sud des fenêtres hautes du chœur de l'église Saint-Jean-au-Marché.

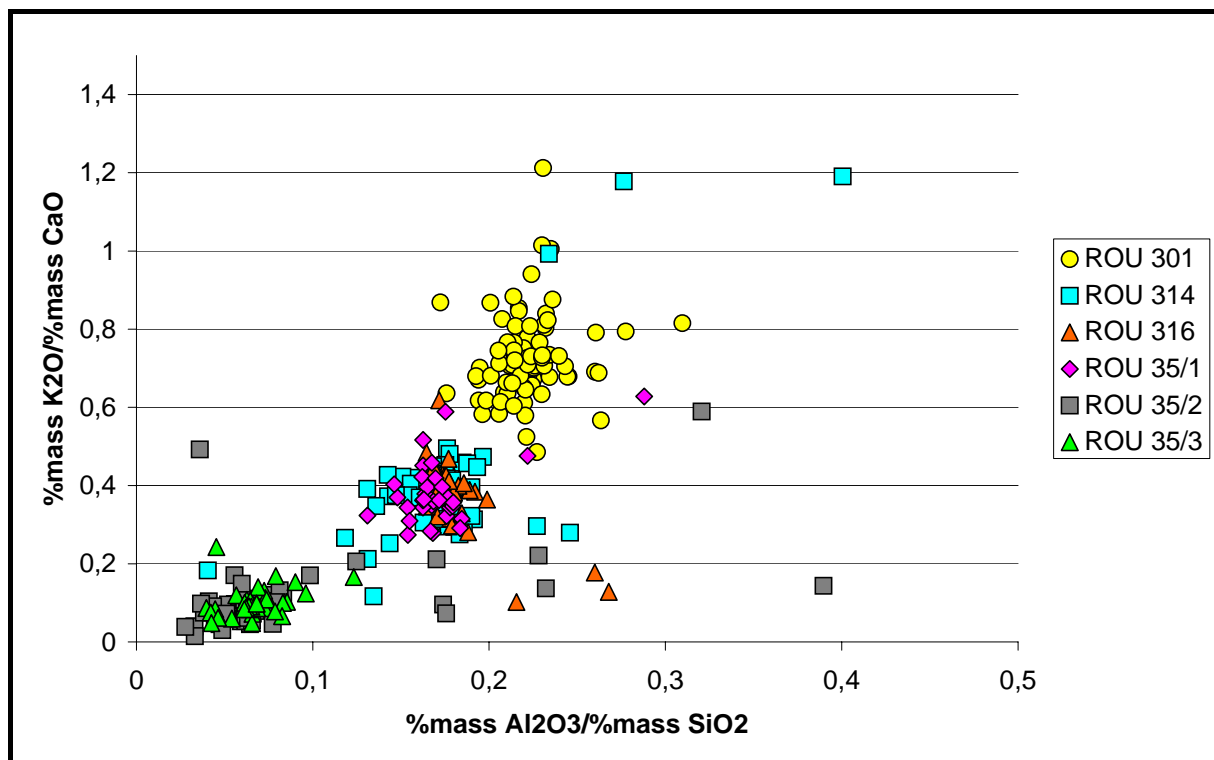


Figure 290 : Mise en évidence de provenances communes pour les attaches de statues de la cathédrale de Rouen.

III.2.1.6 Synthèse

Le fer utilisé sur le chantier des églises troyennes et rouennaises provient donc à la fois de la récupération de vieux fers, mais également en très large partie de différentes structures de production locales ou régionales.

A Troyes, le tableau de l'origine des fers mis en œuvre dans la construction répond parfaitement aux propos développés par O. Chapelot sur le Châtillonnais¹²⁵⁸, à savoir qu'il existe trois types de provenances différentes : en partie locale avec notamment les régions de la forêt d'Othe et de la contrée du Der, régionale avec la production de l'abbaye du Reclus et dans une moindre mesure internationale avec quelques mentions de fer d'Espagne¹²⁵⁹. Si l'apport international semble ici plus anecdotique, les fers de l'abbaye du Reclus prennent le pas sur les fers locaux dans les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes, sans doute en partie dû à la disparition de la sidérurgie en pays d'Othe au cours du XVI^e siècle. Cette prédominance doit toutefois être relativisée, car la provenance de la plupart des fers, achetés à des marchands ou des serruriers urbains n'est pas mentionnée et il est fort probable que ceux-ci se soient en priorité approvisionnés auprès de producteurs de fer locaux venus vendre leur production à Troyes¹²⁶⁰.

Le tableau est quelque peu différent pour la ville de Rouen étant donné le manque de données provenant des comptes de la fabrique de la cathédrale et de l'église Saint-Maclou. Cependant, les trois sources d'approvisionnement différentes se retrouvent également bel et bien dans les études réalisées sur la région. Si la part du fer d'Espagne dans les comptabilités portuaires est logiquement plus importante à Rouen qu'à Troyes, il apparaît néanmoins que l'apport des fers locaux et régionaux du pays de Bray et du pays d'Ouche est plus important que celui des fers étrangers. Les premiers résultats métallographiques sur la compatibilité des fers de construction avec les différentes régions d'approvisionnement semblent de plus confirmer cette tendance.

Il est donc légitime de s'intéresser à ces structures de production et à leurs évolutions au cours du Moyen Âge pour tenter de déterminer si celles-ci ont influencé l'approvisionnement et la consommation de fer de leurs chantiers de construction. P. Benoit

¹²⁵⁸ CHAPELOT (O.), « Les ouvriers du métal... », *op. cit.*

¹²⁵⁹ Sans toutefois oublier les considérations développées ci-dessus.

¹²⁶⁰ BRAUNSTEIN (Ph.), « Les forges champenoises... », *op. cit.*

émettait déjà il y a plus de dix ans l'hypothèse selon laquelle les grosses barres de fer employées dans les édifices gothiques dès le XIII^e siècle « auraient été façonnées avec des marteaux hydrauliques, au moins pour leur première mise en forme ». Un peu plus de deux siècles après cette révolution du marteau hydraulique, le royaume de France connaît progressivement l'introduction de la filière de réduction indirecte. A-t-elle également eu des conséquences sur l'utilisation du fer dans ces grands monuments ? Par souci de suivre la chaîne de production du fer d'amont en aval, revenons tout d'abord sur cette seconde mutation de la métallurgie médiévale.

III.2.2 Influence des grandes évolutions de la métallurgie médiévale sur l'approvisionnement des chantiers de construction

III.2.2.1 La réduction et l'introduction de la filière indirecte

Les évolutions de la métallurgie médiévale avec l'apparition de la filière de réduction dite indirecte au moins à partir du XIII^e siècle dans certaines régions d'Europe du Nord, qui, au cours des siècles, va supplanter le procédé direct plus ancien et traditionnel posent la question de savoir si le développement du nouveau procédé a influencé d'une manière ou d'une autre la consommation des chantiers de construction de ces églises, par exemple concernant la disponibilité du matériau. Les analyses métallographiques réalisées sur soixante-quatorze fers, la plupart datés entre le XIII^e et le XVI^e siècle, quarante provenant des églises rouennaises et trente-quatre des églises troyennes, ont permis d'estimer l'importance prise par les fers de réduction indirecte sur les chantiers de construction au cours du Moyen Age. Le corpus offre de plus une approche diachronique, puisque dans l'état actuel des connaissances, l'introduction des hauts fourneaux et affineries dans la région troyenne précède de près d'un siècle leur implantation en Normandie. L'analyse de ces résultats contribue également à aborder la chronologie de diffusion du procédé indirect à l'époque médiévale dans deux régions du royaume de France à travers les produits finis ou semi-finis mis en œuvre dans l'architecture, nouvelle approche susceptible de venir compléter les résultats des fouilles archéologiques et des recherches en archives.

III.2.2.1.1 *Dans la région troyenne*

III.2.2.1.1.1 Résultats métallographiques

Trente-deux objets parmi les trente-quatre analysés sur les quatre églises troyennes ont été prélevés en contexte bien daté. Les six spécimens des XIII^e et XIV^e siècles sont issus du procédé de réduction directe. En revanche, parmi les trois échantillons prélevés sur le Beau Portail de la cathédrale de Troyes dont la datation est assurée par le bâti et les textes au milieu du XV^e siècle dans les années 1460, deux proviennent toujours de fer de réduction directe mais le troisième est caractéristique de la filière indirecte. Les échantillons TROY 06a (direct) et TROY 07a (indirect) sont issus de deux filières techniques de production différentes, bien qu'ils aient été prélevés sur deux tirants ayant exactement la même fonction et la même situation dans l'édifice, à savoir retenir le gâble du Beau Portail et que leur structure métallographique soit similaire (fer phosphoreux non carburé). Ces deux tirants sont une preuve que les fers issus de l'affinage de la fonte étaient destinés aux mêmes usages que ceux provenant de bas fourneau. Cette période de consolidation du portail nord au milieu du XV^e siècle correspond également aux premières mentions de « fer de fonte » découvertes dans les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes avec la production de l'abbaye du Reclus en 1453¹²⁶¹. Aucun objet datant de la fin du XV^e siècle n'a pu être analysé, en revanche, pour la première moitié du XVI^e siècle, dix-sept spécimens ont été prélevés et étudiés. S'ils sont en majorité caractéristiques de la filière indirecte, tous n'en portent pas la marque, puisqu'un tiers de ces objets est vraisemblablement issu de fer de réduction directe. L'une des sections étudiées, JEAN H3, a de plus montré un faciès de récupération mêlant fer de réduction directe et de réduction indirecte. Enfin, les six prélèvements réalisés sur des objets des siècles suivants proviennent bien tous de la filière de réduction indirecte (cf. Tableau 124 et Figure 291).

Le fer qui a servi à la construction des églises troyennes semble donc être essentiellement issu de la réduction directe pour les premières périodes de construction des églises étudiées, aux XIII^e et XIV^e siècles. En revanche, à partir du début du XVI^e siècle, malgré la présence en quantités non négligeables de fer de réduction directe, en partie issue de la récupération de vieux fers, le fer de réduction indirecte domine sur les chantiers troyens (cf.

¹²⁶¹ PJ n° 49, fol. 46 r°. Bien que les premières mentions d'achat de fer du Reclus par le procureur de la fabrique datent de 1431, il n'est pas certain qu'il s'agisse déjà de structures de production fonctionnant selon le procédé indirect.

Figure 292). La chronologie parfois tardive des églises troyennes, toutes à l'exception de Saint-Urbain, ayant fait l'objet d'importants travaux entre la fin du XV^e et le XVI^e siècle, assure donc au fer de réduction indirecte une part non négligeable parmi les échantillons analysés.

Période	Nombre d'objets analysés	Procédé Direct	Procédé Indirect	Indéterminés
XIII ^e siècle	5	4	0	1
XIV ^e siècle	1	1	0	0
Vers 1450	3	2	1	0
1 ^{ère} moitié du XVI ^e siècle	17 ¹²⁶²	6	12	0
XVII ^e – XIX ^e siècles	6	0	6	0

Tableau 124 : Résultats de la discrimination des procédés de réduction pour les échantillons de fer provenant des églises troyennes.

III.2.2.1.1.2 L'apparition et le développement du procédé indirect en Champagne

Ces informations sont à replacer dans l'histoire de la métallurgie médiévale bourguignonne et champenoise telle qu'elle est connue par les textes et l'archéologie.

En l'état actuel de la recherche, la première mention explicite d'un atelier de production fonctionnant selon le procédé indirect dans le royaume de France se trouve aux alentours de Troyes, en plein pays d'Othe, où J. Rouillard a mis en évidence l'existence dès 1377 d'une usine comprenant un haut fourneau à Valcon sur l'Ancre, dont les produits sont affinés par le même propriétaire à Saint-Liébaud (Estissac), où on trouve une *forge à affiner fer*, c'est-à-dire une affinerie¹²⁶³. A partir de 1400, le site de Valcon regroupe le haut fourneau et l'affinerie qui fonctionneront jusqu'au début du XVI^e siècle¹²⁶⁴. A la fin du XIV^e siècle, la présence parmi les hommes demeurant à Saint-Liébaud d'un certain Coleçon le Liégeois semble de plus bien être la marque de l'influence importante de maîtres de forge wallons et allemands dans l'implantation de la métallurgie indirecte dans le nord-est de la France dès le tournant du XIV^e au XV^e siècle¹²⁶⁵.

¹²⁶² La section JEAN H3 qui montre un faciès de récupération mêlant fer de réduction directe et de réduction indirecte a été comptabilisée comme caractéristique des deux filières techniques, d'où l'inadéquation entre le nombre d'objets analysés et la somme obtenue pour les procédés identifiés.

¹²⁶³ ROUILLARD (J.), *L'homme et la rivière...*, *op. cit.*, p. 401.

¹²⁶⁴ ID., *Ibid.*, p. 406.

¹²⁶⁵ ID., *Ibid.*, p. 402 ; BELHOSTE (J.-F.), CLAERR-ROUSSEL (C.), LAUSS (F.), PHILLIPE (M.), VION-DELPHIN (F.), *La métallurgie comtoise...*, *op. cit.*, p. 20-21 et p. 49-50

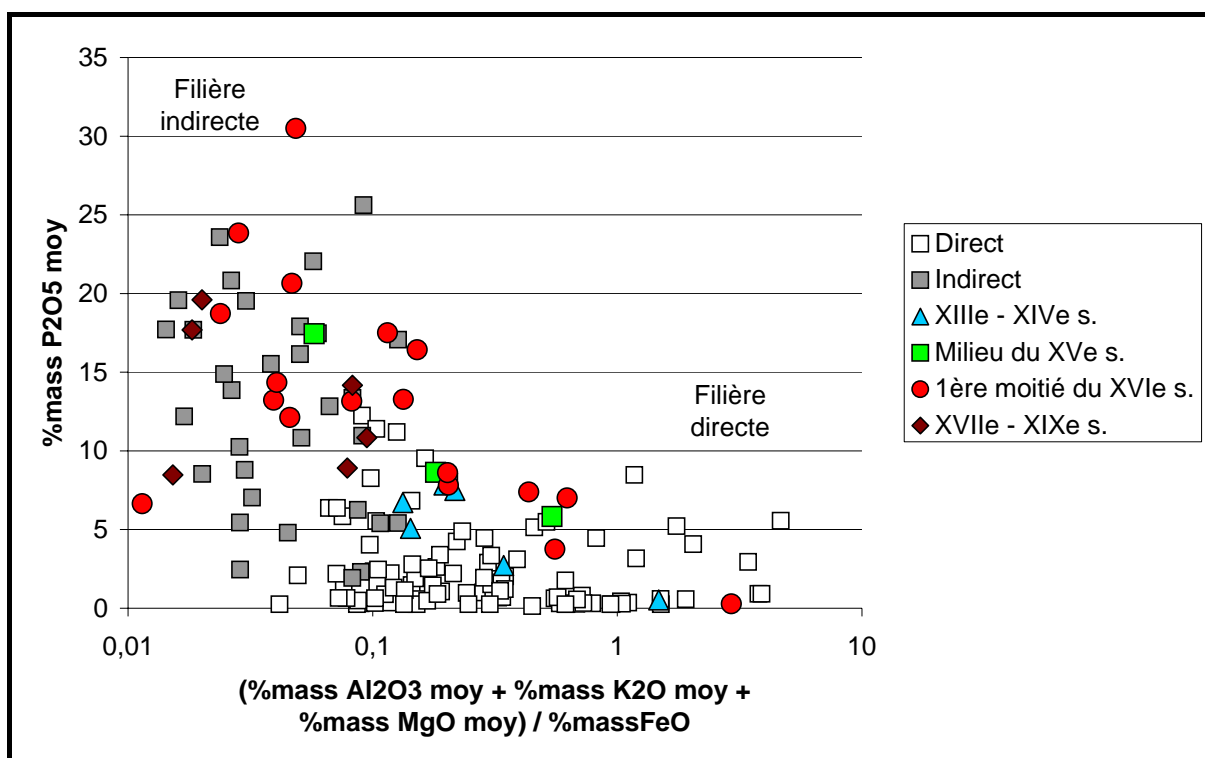


Figure 291 : Discrimination chronologique des procédés de réduction pour les fers de construction prélevés sur les églises troyennes.

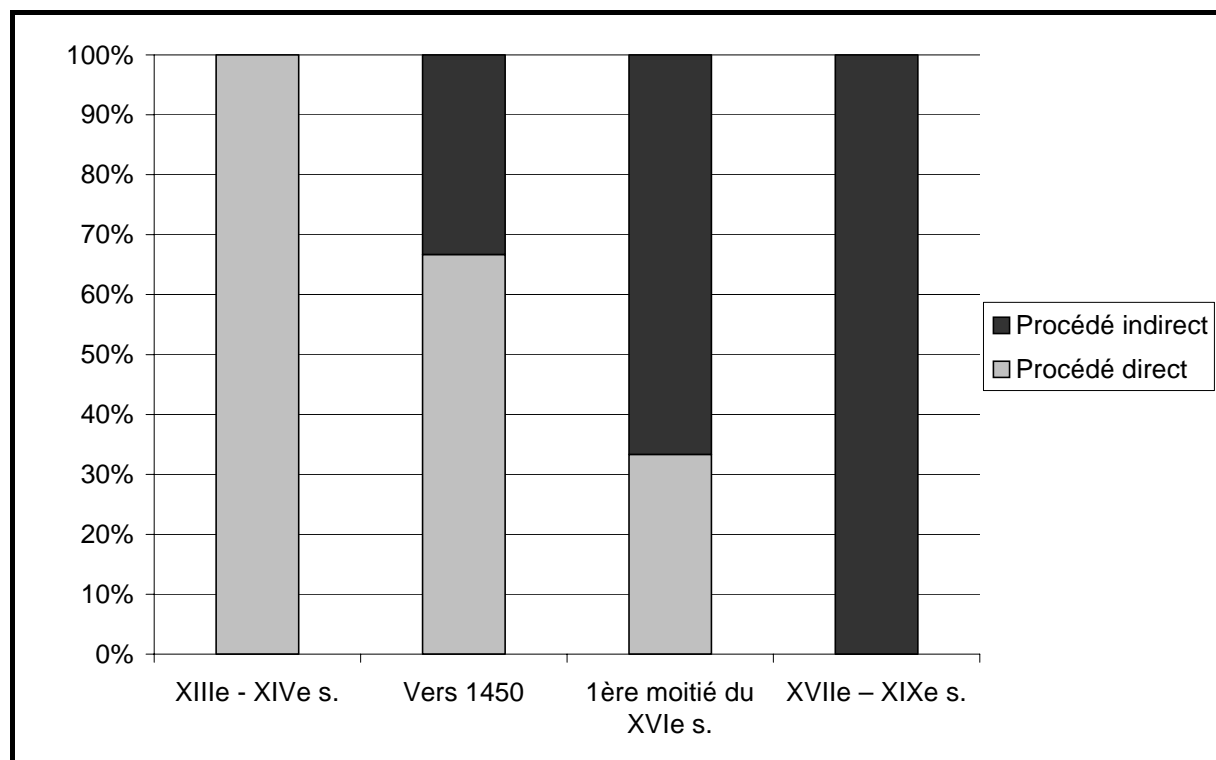


Figure 292 : Evolution de la part des fers issus des deux procédés de réduction entre le XIII^e et le XIX^e siècle d'après les analyses des fers de construction des églises troyennes.

Cet exemple de métallurgie indirecte dans le dernier quart du XIV^e siècle intervient quelques décennies après son attestation en Wallonie dans le comté de Namur en 1345¹²⁶⁶ et une dizaine d'années avant ses premières mentions dans le Nivernais à l'extrême fin du XIV^e siècle¹²⁶⁷. Il reste toutefois un peu isolé dans la région avant le deuxième tiers du siècle suivant, période à laquelle de nombreuses forges hydrauliques fonctionnant pour la plupart très certainement selon le procédé indirect sont attestées dans la région : la forge de Cosdon, celle de Dilo, de Fossemore ou encore celles de l'évêque de Troyes à Aix-en-Othe¹²⁶⁸. Cette métallurgie se développe également à la même période dans le reste de la Champagne avec la mention d'établissements servant à la fonte du minerai de fer et son affinage dès avant 1461 à Vendevre-sur-Barse¹²⁶⁹, ou encore les premières mentions de fer fondu du Reclus en 1453¹²⁷⁰. L'abbaye de Clairvaux participe également à ce renouveau sidérurgique à partir de 1470 d'une part dans la contrée du Der avec la transformation de son exploitation de Wassy et d'autre part dans le Châtillonnais avec la création de plusieurs sites fonctionnant selon le nouveau procédé dont Montheries et Champigny¹²⁷¹. La plupart de ces établissements où le procédé indirect est attesté ont de plus largement et directement contribué à l'approvisionnement des chantiers de construction troyens au cours du XV^e siècle¹²⁷².

Si la datation de TROY 07, plus ancien fer de réduction indirecte analysé dans la construction troyenne remonte bien à la même période dans les années 1450-1460, le faible nombre d'échantillons analysés datés de la fin du XIV^e et du XV^e siècle ne permet en revanche pas de cerner avec plus de précision la diffusion du fer de réduction indirecte sur les marchés troyens à cette période. Le seul échantillon analysé pour le XIV^e siècle, TROY 08, est un fer de réduction directe. Si, provenant du triforium, il est possiblement lié à l'installation des baies hautes du transept entre 1375 et 1380, cette fourchette n'est qu'un *terminus ante quem*. La barre dont il est issu a effectivement pu être mise en place pendant l'élévation de cette partie du transept dans la première moitié du XIV^e siècle : on ne peut donc le dater avec certitude de la fin du XIV^e siècle. De plus, aucun indice dans les comptes des églises troyennes n'atteste l'achat de ces fers issus de la filière indirecte. Au contraire, les

¹²⁶⁶ ARRIBET-DEROIN (D.), *Fondre le fer en gueuses...*, *op. cit.*, p. 80-84.

¹²⁶⁷ HERCHIN (M.), *L'implantation de hauts fourneaux...*, *op. cit.* ; BELHOSTE (J.-F.), LEON (P.), « Naissance d'une sidérurgie moderne aux confins du Berry (fin XIV^e-XV^e s.) », dans *Mélanges Jean-Yves Ribault, Cahiers d'archéologie et d'histoire du Berry*, 1996, p. 45-52.

¹²⁶⁸ ROUILLARD (J.), *L'homme et la rivière...*, *op. cit.*, p. 407-410.

¹²⁶⁹ BOUTIOT (T.), *Notes sur les anciennes exploitations métallurgiques...*, *op. cit.*

¹²⁷⁰ PJ n° 49, fol. 46 r°.

¹²⁷¹ VERNA (C.), *Les mines et les forges des Cisterciens...*, *op. cit.*, p 66-67.

¹²⁷² Fers du Reclus, de Cosdon, de Vendevre...

trois mentions de « fer d'Espagne » mis en œuvre à la cathédrale de Troyes entre 1379 et 1381, vont plutôt dans le sens d'un emploi tout du moins partiel de fers de réduction directe et d'apport international. En l'état actuel de la recherche, les usines fonctionnant selon le procédé indirect, technologie de pointe en cette fin de XIV^e siècle, sont encore très rares dans l'aire d'approvisionnement des églises troyennes. En revanche, les ateliers de réduction directe sont toujours actifs.

Il faut attendre le milieu du XV^e siècle et l'apaisement de la crise liée à la guerre de Cent Ans pour avoir des informations bien plus nombreuses sur l'implantation du procédé indirect en Champagne. Un objet comme le tirant TROY 07 confirme en outre bien la présence dans les bâtiments de fers de réduction indirecte dès cette période. Cependant, le nombre non négligeable de fers de réduction directe identifiés par métallographie avec deux échantillons parmi les trois datés de 1450-1470, mais surtout avec près d'un tiers des dix-sept objets analysés pour la première moitié du XVI^e siècle, montre également la persistance sur les chantiers troyens de fers produits avec les systèmes techniques plus anciens jusqu'à des périodes tardives. Si d'après les analyses métallographiques réalisées sur une vingtaine d'échantillons, la filière indirecte semble bien assurer l'essentiel de la production dans la région troyenne au moins dès la première moitié du XVI^e siècle, le fer de réduction directe y est néanmoins toujours présent en quantités relativement importantes au moins jusqu'au milieu du XVI^e siècle, non seulement grâce à une récupération active, mais également fort probablement par la persistance de bas fourneaux. Ces constatations rejoignent les affirmations de S. Benoit et C. Verna relatives à la métallurgie du fer dans le Châtillonnais entre 1480 et 1570 après l'avènement de la métallurgie indirecte ainsi que les travaux de M. Leroy sur la Lorraine médiévale et moderne¹²⁷³. Selon S. Benoit, bien qu'elles soient seulement implantées de manière certaine à partir du dernier quart du XV^e siècle, « les usines indirectes [...] à n'en pas douter, assurent d'ores et déjà la majeure partie de la production » pendant la période étudiée, mais il affirme ne pas pouvoir déterminer « l'époque jusqu'à laquelle des forges de type ancien ont subsisté – qu'il s'agisse de forge à bras ou plus sûrement de ferrières hydrauliques » mais semble supposer leur persistance tout au long du XVI^e siècle¹²⁷⁴. M. Leroy a pour sa part identifié de nombreux ferriers de scories denses de bas fourneaux en Lorraine dans la vallée de l'Orne datés des XV^e et XVI^e siècles, voire même

¹²⁷³ BENOIT (S.), « La sidérurgie du Châtillonnais après l'avènement du procédé indirect c. 1480-c. 1570 », dans BENOIT (P.), BRAUNSTEIN (D.), éd., *Mines, carrières et métallurgie dans la France Médiévale*, Paris, CNRS, 1983, p. 77-116 ; VERNA (C.), *Les mines et les forges des Cisterciens...*, *op. cit.*, p. 66-68 ; LEROY (M.), « Autour de la « minette » : la perdurance de la production de fer en bas-fourneau en Lorraine à la fin du Moyen Age », dans BECK (P.), dir., *L'innovation technique au Moyen Age...*, *op. cit.* p. 145-150.

¹²⁷⁴ BENOIT (S.), « La sidérurgie du Châtillonnais... », *op. cit.*

pour certains du XVII^e siècle, preuve de la permanence de bas fourneaux jusqu'à une période assez tardive, alors même que l'implantation de hauts fourneaux est attestée par les sources écrites¹²⁷⁵. Selon lui, cette révolution du procédé indirect « ne transparait pas au travers des vestiges archéologiques »¹²⁷⁶. L'empreinte toujours assez forte des fers de réduction directe dans la construction troyenne au moins au cours de la première moitié du XVI^e siècle confirme bien leurs propos.

Parallèlement à cette relative permanence du procédé direct, les industries productrices de fer du pays d'Othe, région qui semblait avoir été un des berceaux de la métallurgie indirecte, périssent au début du XVI^e siècle. Les dernières mentions de la forge de Cosdon datent de 1509 au travers de sa production, le « fer de Codon »¹²⁷⁷. Cette forge est brûlée peu de temps après¹²⁷⁸. La forge de Valcon à Chenegy livre ses dernières productions en 1519-1520¹²⁷⁹. La forge de Dilo à Fossemore disparaît quant à elle des textes après 1517¹²⁸⁰. Cet effondrement de la métallurgie indirecte en pays d'Othe est bien compatible avec la persistance de fers de bas fourneaux sur les chantiers troyens au XVI^e siècle.

III.2.2.1.1.3 Evolution du prix de la livre de fer ouvrée entre la fin du XIV^e et la fin du XV^e siècle

L'analyse de l'évolution du prix du fer à Troyes de la fin du XIV^e à la fin du XV^e siècle d'après les comptes des fabriques des quatre églises étudiées vient compléter les informations obtenues par l'intermédiaire de la métallographie sur la part de fers de réduction indirecte présente sur les marchés troyens à la fin du Moyen Age. Réalisée à l'instar des travaux de Ph. Lardin sur la Normandie orientale, cette analyse donne également des pistes de réflexions quant à l'étude de la diffusion du procédé indirect. A la fin du XIV^e siècle, le prix de la livre de fer ouvrée à Troyes est assez stable aux alentours de 11 à 12 d. t. Il chute à 7 ou 8 d. t. dans les années 1410 juste avant les périodes de troubles dues à l'invasion anglaise et l'inflation qui s'ensuit à partir de 1419. Lors de cette seule année, le prix de la livre de fer est parfois presque décuplé¹²⁸¹. Les données manquent pour les quinze années

¹²⁷⁵ Il relie cette permanence du procédé direct à la bonne adéquation entre le minerai local à gangue calcaire, la « minette », et la réduction en bas fourneaux, LEROY (M.), « Autour de la « minette »... », *op. cit.*

¹²⁷⁶ ID., *Ibid.*

¹²⁷⁷ PJ n° 80, fol 79 r° et fol. 79 v° et PJ n° 81.

¹²⁷⁸ ROUILLARD (J.), *L'homme et la rivière...*, *op. cit.*, p. 596.

¹²⁷⁹ ID., *Ibid.*, p. 596.

¹²⁸⁰ ID., *Ibid.*, p. 597.

¹²⁸¹ L'impact de cette crise monétaire qui touche l'ensemble du royaume de France a été étudié par Ph. Lardin pour la Normandie orientale. Il met en évidence que dans cette région, le prix de la livre de fer atteint 6 s. t. soit

suyvantes, mais le prix de la livre de fer, à 12 d. t. en 1425-1426 et 15 d. t. en 1433 ne semble pas stable avant la fin des années 1430 où il retombe à 10 d. t. Il baisse ensuite doucement pendant quarante ans à 9 d. t. à la fin des années 1440, 8 d. t. au début des années 1450, puis 7 d. t. dans les années 1460 et 6 d. t. dans les années 1470. Il remonte enfin à 7 d. t. au milieu des années 1480 puis 8 d. t. pendant la dernière décennie du XV^e siècle.

Ce bref aperçu du prix de la livre de fer ouvree sur les chantiers troyens entre 1375 et 1500 montre quatre faits principaux (cf. Figure 293) :

- une première baisse du prix du fer au tout début du XV^e siècle (1) ;
- une hausse brutale suivie d'une période d'instabilité d'une vingtaine d'années à partir de 1419 traduisant les troubles politico-économiques de la région et du royaume de France suite à l'invasion anglaise (2) ;
- une stabilisation suivie d'une chute du prix de la livre de fer ouvree entre 1435 et 1485 (3) ;
- une amorce de remontée des prix à l'extrême fin du XV^e siècle (4).

La première baisse du prix de la livre de fer au début du XV^e siècle n'est pas d'une interprétation aisée. Elle arrive près de trente ans après l'attestation du premier établissement fonctionnant selon le procédé indirect à Saint-Liébaud (Estissac) et pourrait éventuellement être la conséquence de l'implantation de l'industrie indirecte dans la région permettant une hausse des capacités de production et donc une chute du prix du fer. La Normandie médiévale connaît également une baisse du prix de la livre de fer ouvré au début des années 1410¹²⁸². Celle-ci n'est cependant pas liée à l'influence de la métallurgie indirecte, puisqu'elle ne se développe pas dans la région avant le dernier tiers du XV^e siècle. Mais alors qu'en Normandie la livre de fer ne perd que 2 deniers, passant de 12 à 10 d. t., elle en perd 4 à 5 à Troyes, passant de 11 ou 12 à 7 d. t. : son prix est donc quasiment divisé par deux. Il n'est donc pas impossible que la baisse du prix de la livre de fer en ce début de XV^e siècle ait des causes différentes en Normandie et en Champagne. Les périodes de troubles qui s'ensuivent à partir de 1419 entraînant une inflation des prix puis une période d'instabilité monétaire empêchent de voir la véritable portée de cette première chute du prix de la livre de fer.

Si cette première baisse au début du XV^e siècle est difficile à interpréter, celle qui s'amorce à partir du milieu des années 1430 au moment de la reprise économique du pays,

plus de sept fois son prix du milieu des années 1410, LARDIN (Ph.), « La crise monétaire de 1420-1422... », *op. cit.*

¹²⁸² LARDIN (Ph.), *Les chantiers du bâtiment en Normandie orientale (XIV^e-XVI^e s.)...*, *op. cit.*, p. 270.

semble en revanche bien correspondre à la baisse du prix du fer suite à l'implantation du procédé indirect identifiée par Ph. Lardin dans les chantiers normands à partir de 1460¹²⁸³. Les deux courbes de prix suivent en effet une évolution parallèle avec 25 à 30 ans de décalage. Le décalage chronologique, bien connu par l'intermédiaire des sources écrites, entre ces deux régions du royaume de France dans le développement du procédé indirect au XV^e siècle vient bien conforter cette hypothèse. La remontée des prix à Troyes à la fin du XV^e siècle également plus précoce d'une vingtaine d'années qu'en Normandie, serait alors à relier avec la hausse des prix du bois dont l'industrie du fer fait une très importante consommation, comme D. Arribet-Deroin et Ph. Lardin l'ont démontré pour la Normandie au XVI^e siècle¹²⁸⁴.

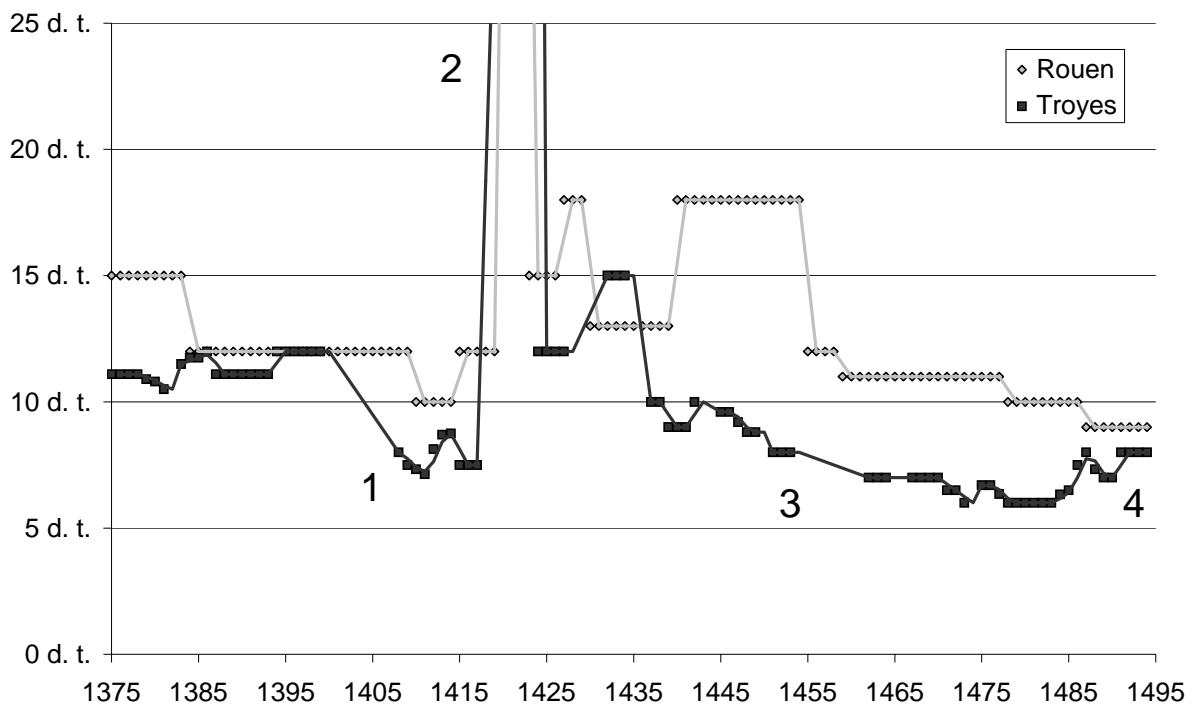


Figure 293 : Evolution comparée des prix du fer à Rouen et à Troyes entre 1375 et 1495, d'après les données de Ph. Lardin pour Rouen¹²⁸⁵ et d'après les comptes des fabriques des églises troyennes.

¹²⁸³ ID., *Ibid.*, p. 271-272

¹²⁸⁴ ID., *Ibid.*, p. 272 ; ARRIBET-DEROIN (D.), *Fondre le fer en gueuses...*, *op. cit.*, p. 169.

¹²⁸⁵ LARDIN (Ph.), *Les chantiers du bâtiment en Normandie orientale (XIV^e-XVI^e s.)...*, *op. cit.*, p. 270-272.

III.2.2.1.1.4 Synthèse sur la région troyenne

Si les premières mentions de forges fonctionnant selon la filière de réduction indirecte dans la région troyenne remontent au dernier quart du XIV^e siècle, il n'est pas certain que ce nouveau procédé ait été suffisamment implanté pour assurer l'essentiel de la production de fer avant la deuxième moitié du XV^e siècle. Les résultats des analyses métallographiques montrent en outre que le fer de réduction directe à une importance non négligeable au moins jusqu'au milieu du XVI^e siècle, probablement d'une part grâce à la récupération active d'un matériau dont le prix ne cesse d'augmenter, mais d'autre part également par la persistance de forges plus traditionnelles de la filière directe, moins productives, mais beaucoup moins coûteuses. Ces forges persistent peut-être d'autant plus dans des régions comme la forêt d'Othe où le nouveau procédé tend à disparaître, trop gourmand non seulement en énergie hydraulique par rapport aux autres industries locales, mais aussi en bois, qui est à cette époque plus volontiers acheminé en grandes quantités par flottage vers Paris¹²⁸⁶.

III.2.2.1.2 Dans la région rouennaise

Parmi les quarante objets analysés sur les trois églises rouennaises, trente-quatre interviennent en contexte bien daté. Malgré l'indétermination concernant trois d'entre eux, les quinze objets provenant des XIII^e et XIV^e siècles semblent bien tous issus du procédé de réduction directe. Il en est de même pour dix des onze fers datés de la première moitié du XV^e siècle, le dernier n'ayant pas pu être caractérisé¹²⁸⁷. En revanche, au tournant des XV^e et XVI^e siècles, la situation est différente. Trois échantillons seulement ont pu être analysés pour cette période, deux provenant de statues de la tour de Beurre de la cathédrale de Rouen (1485-1506) et le dernier du troisième étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen (1492-1515). Alors que les deux premiers semblent caractéristiques de la filière indirecte, les inclusions du troisième le classent dans les fers de réduction directe. Enfin, les cinq derniers spécimens étudiés, nécessairement postérieurs au XVII^e siècle, ont bien été identifiés comme provenant du procédé indirect (cf. Tableau 125 et Figure 294).

¹²⁸⁶ ROUILLARD (J.), *L'homme et la rivière...*, op. cit., p. 600-601.

¹²⁸⁷ Certains de ces fers comme l'agrafe de l'église Saint-Maclou sont plus précisément datés du milieu du XV^e siècle.

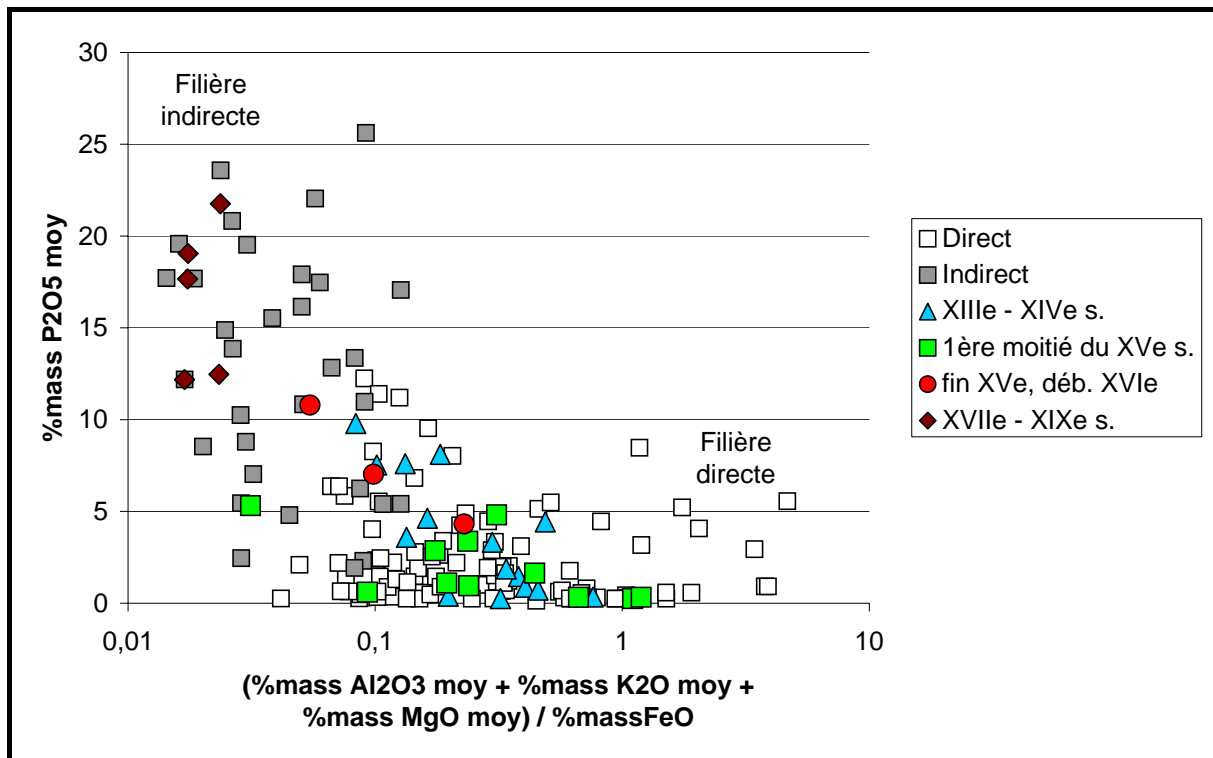


Figure 294 : Discrimination chronologique des procédés de réduction pour les fers de construction prélevés sur les églises rouennaises.

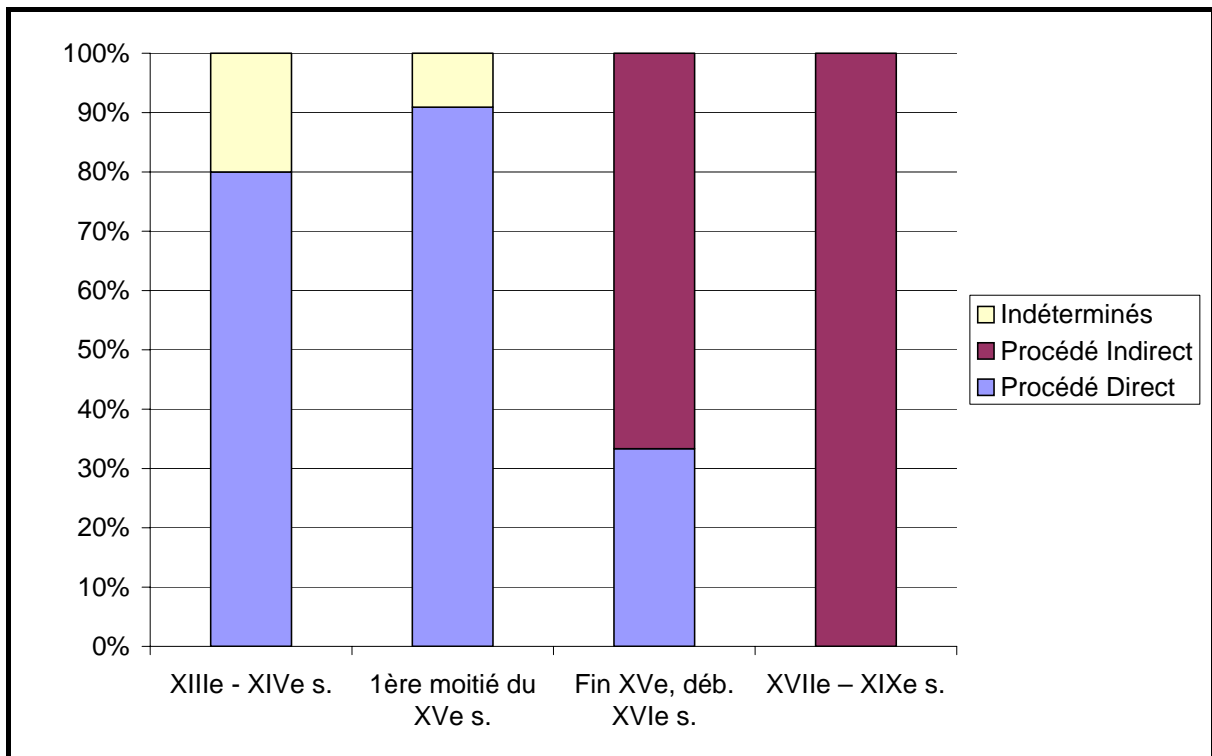


Figure 295 : Evolution de la part des fers issus des deux procédés de réduction entre le XIII^e et le XIX^e siècle d'après les analyses des fers de construction des églises rouennaises.

Période	Nombre d'objets analysés	Procédé		Indéterminés
		Direct	Indirect	
XIII ^e siècle	7	4	0	3
XIV ^e siècle	8	8	0	0
1 ^{ère} moitié du XV ^e siècle	11	10	0	1
Fin du XV ^e siècle, début du XVI ^e siècle	3	1	2	0
XVII ^e – XIX ^e siècles	5	0	5	0

Tableau 125 : Discrimination des procédés de réduction pour les échantillons de fer provenant des églises rouennaises.

Le fer employé sur le chantier des églises rouennaises au Moyen Age est donc essentiellement issu de bas fourneaux fonctionnant selon le procédé de réduction directe (cf. Figure 295). La mise en œuvre de fer de réduction indirecte se limite aux restaurations modernes ou aux parties les plus tardives, postérieures à la fin du XV^e siècle, comme la tour de Beurre et le deuxième étage de la tour de la croisée de la cathédrale, les dernières travées de la nef de l'église Saint-Ouen ou encore la tour-lanterne de l'église Saint-Maclou.

Les trois objets datés de la fin du XV^e ou du début du XVI^e siècle montrent également par des biais archéométriques, la coexistence en un même lieu et pour une même période, de fers issus des deux procédés de réduction. Cette coexistence coïncide parfaitement avec le tableau de la sidérurgie normande médiévale tel qu'il est actuellement connu par l'étude des sources écrites et l'archéologie de terrain¹²⁸⁸. Ce n'est en effet qu'au dernier tiers du XV^e siècle que le procédé wallon se répandit en Normandie et dans la région rouennaise : D. Arribet-Deroïn date son apparition dans le Perche aux années 1470 et dix ans plus tard dans le pays de Bray (cf. Figure 296)¹²⁸⁹. Les structures les plus précoces du site de Glinet (Seine-Maritime), haut fourneau et affinerie en pays de Bray normand datent de 1480¹²⁹⁰. Elle cite également le cas plus précoce mais plus isolé de la forge du Becquet en 1451¹²⁹¹. Toutefois,

¹²⁸⁸ En l'absence d'opérations archéologiques dans la région, mis à part les fouilles menées par D. Arribet-Deroïn sur ce même site de Glinet et celles de C. Colliou sur des sites de réduction directe bien plus précoces, ce portrait de la sidérurgie normande avec l'apparition et l'implantation du procédé indirect repose presque uniquement sur l'étude de textes, de l'iconographie et du vocabulaire spécifique qui lui est lié, BELHOSTE (J.-F.), LECHERBONNIER (Y.), ARNOUX (M.), ARRIBET (D.), AWTY (B. G.), RIOULT (M.), *La métallurgie normande...*, op. cit.

¹²⁸⁹ ID., *Ibid.*, p. 51.

¹²⁹⁰ ARRIBET-DEROÏN (D.), *Fondre le fer en gueuses...*, op. cit.

¹²⁹¹ BELHOSTE (J.-F.), LECHERBONNIER (Y.), ARNOUX (M.), ARRIBET (D.), AWTY (B. G.), RIOULT (M.), *La métallurgie normande...*, op. cit., p. 51.

comme dans de nombreuses régions¹²⁹², une certaine hésitation à l'adoption du nouveau procédé est aussi perceptible dans les textes¹²⁹³, la fin du XV^e et le début du XVI^e siècle marquant une période pendant laquelle les deux procédés ont cohabité¹²⁹⁴.

Bien que ces premiers résultats analytiques semblent venir confirmer la coexistence des procédés de réduction au tournant des XV^e et XVI^e siècles, une grande prudence est de mise car il ne s'agit là que d'une réflexion fondée sur trois objets. Le goujon OUEN 14 pourrait en effet très bien être un élément de réemploi ou issu de recyclage ; la petite surface étudiée ne permet pas d'en savoir davantage. Aucune conclusion hâtive n'est donc à tirer de ces résultats, si ce n'est la compatibilité entre les données des sources écrites et celle des analyses de laboratoire. L'analyse d'un plus grand nombre d'objets avec une fourchette chronologique légèrement plus large, allant du milieu du XV^e au milieu du XVI^e siècle, permettrait de rendre compte avec plus de précision de cette période de transition en Normandie et dans la région rouennaise. Les restaurations qui ont actuellement lieu sur la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen dont le troisième étage a justement été élevé pendant cette période laissent envisager l'extension du corpus analytique dans un avenir proche.

III.2.2.1.3 Synthèse

La différence chronologique entre la Normandie et la Champagne dans la diffusion du procédé indirect, connue essentiellement par l'intermédiaire des sources écrites, a pu être approchée par l'intermédiaire d'analyses métallographiques de fers de construction. Mais faute d'un corpus suffisamment riche pour les périodes de transitions concernées, elle n'a pas pu être précisée davantage. Le plus ancien fer issu de la filière indirecte identifié sur le Beau Portail de la cathédrale de Troyes est néanmoins logiquement antérieur de 30 à 40 ans au premier fer indirect provenant de la tour de Beurre de la cathédrale de Rouen. Les analyses réalisées ont par ailleurs mis en évidence une forte permanence des fers de procédé direct au début du XVI^e siècle alors même que la technologie indirecte est implantée depuis plusieurs dizaines d'années dans les deux régions, phénomène qui n'est pas toujours perceptible dans

¹²⁹² Les cas du Châtillonnais et de la Lorraine ont été précédemment cités. Les récents résultats des analyses métallographiques réalisées sur le chaînage de la cathédrale d'Amiens daté de 1498 montrent également une coexistence des procédés à cette période, bien que le chaînage soit essentiellement en fer de réduction indirecte, LEFEBVRE (E.), *La place et le rôle des métaux...*, *op. cit.*, p. 87 ; LEFEBVRE (E.), « Les tirants de fer de la cathédrale Notre-Dame d'Amiens »..., *op. cit.*

¹²⁹³ En 1473, un marché est passé à Longny, pour *faire un hault fourneau ou une regnardiere* [forge de réduction directe] *au choix dud. Brunout*, BELHOSTE (J.-F.), LECHERBONNIER (Y.), ARNOUX (M.), ARRIBET (D.), AWTY (B. G.), RIOULT (M.), *La métallurgie Normande...*, *op. cit.*, p. 48.

¹²⁹⁴ ID., *Ibid.*, p. 35.

les sources écrites¹²⁹⁵. En ce sens, la vision apportée par l'archéométrie est essentielle, car elle offre un éclairage différent sur la diffusion du nouveau procédé. Contrairement aux textes, elle ne permet pas d'aborder l'apparition de l'innovation par des dates précises mais plutôt d'évaluer son influence sur divers domaines, comme ici la construction et de rendre compte des changements qu'elle a pu y engendrer. Cette nouvelle approche est donc essentielle à notre problématique afin de croiser les résultats provenant de sources différentes et d'étudier leur compatibilité.

Même s'ils n'ont pas permis de mieux identifier la période d'introduction des fers de réduction indirecte sur les chantiers de construction à Rouen et à Troyes, ces premiers résultats révèlent donc une coexistence des deux filières sur une assez longue période, qui, pour la région champenoise, s'étend au moins du milieu du XV^e au milieu du XVI^e siècle. L'ensemble de ces travaux est assez prometteur pour permettre d'envisager, avec un corpus très sélectif d'échantillons bien datés de la fin du XIV^e au début du XVI^e siècle, de cerner de manière plus précise la chronologie d'implantation du nouveau procédé de réduction dans ces deux régions du royaume de France.

Dans la construction, le fer de réduction directe est employé en bien plus grandes proportions que le fer de la filière dans la structure des églises rouennaises et troyennes ont montré que et ce malgré les quantités de fer parfois très importantes qui ont été mises en œuvre. Ces résultats recourent ceux obtenus par A. Juhin pour le donjon du château de Vincennes, autre construction monumentale du nord du royaume de France daté du XIV^e siècle ou encore ceux de Ph. Dillmann et Ph. Bernardi sur le Palais des Papes d'Avignon, également construit au XIV^e siècle¹²⁹⁶. De manière plus générale, il semble que les constructeurs médiévaux n'ont pas pu bénéficier pour leur construction de la mutation du procédé indirect permettant de produire le fer en plus grandes quantités et rendant ainsi ce matériau encore plus disponible. Le fer provenant de l'affinage de la fonte ne semble être employé en quantités importantes dans les édifices gothiques qu'à partir du moment où il devient le matériau le plus disponible sur les marchés. Dans le corpus étudié, seules les constructions les plus tardives de la fin du XV^e ou du XVI^e siècle utilisent donc majoritairement du fer de réduction indirecte. Les chantiers de la plupart des grands édifices gothiques sont en effet le plus souvent en voie d'achèvement ou déjà terminés à cette période.

¹²⁹⁵ Cette permanence du procédé direct a pu être rattachée à certaines études réalisées dans d'autres régions du royaume de France (Lorraine, Châtillonnais, ville d'Amiens).

¹²⁹⁶ JUHIN (A.), *Structure métallographique et comportement mécanique...*, *op. cit.*, p. 53 ; DILLMANN (Ph.), BERNARDI (Ph.), « Premiers résultats métallographiques... », *op. cit.* ; L'HERITIER (M.), JUHIN (A.), DILLMANN (Ph.), ARANDA (R.), BENOIT (P.), « Utilisation des alliages ferreux... », *op. cit.*

La ville de Troyes qui a connu un incendie au début du XVI^e siècle nécessitant la reconstruction d'une grande partie de ses églises fait donc un peu office d'exception¹²⁹⁷. En l'état actuel de la recherche, l'ensemble de chaînages de la cathédrale d'Amiens, daté de 1498, est le seul ouvrage d'importance réalisé presque entièrement en fer de réduction indirecte. Au regard de la masse de fer de chaque chaînon (environ 100 kg) et de la totalité des chaînages (environ 8 tonnes), on peut ici s'interroger sur l'éventuelle influence du nouveau procédé pour leur production dans un laps de temps assez bref¹²⁹⁸.

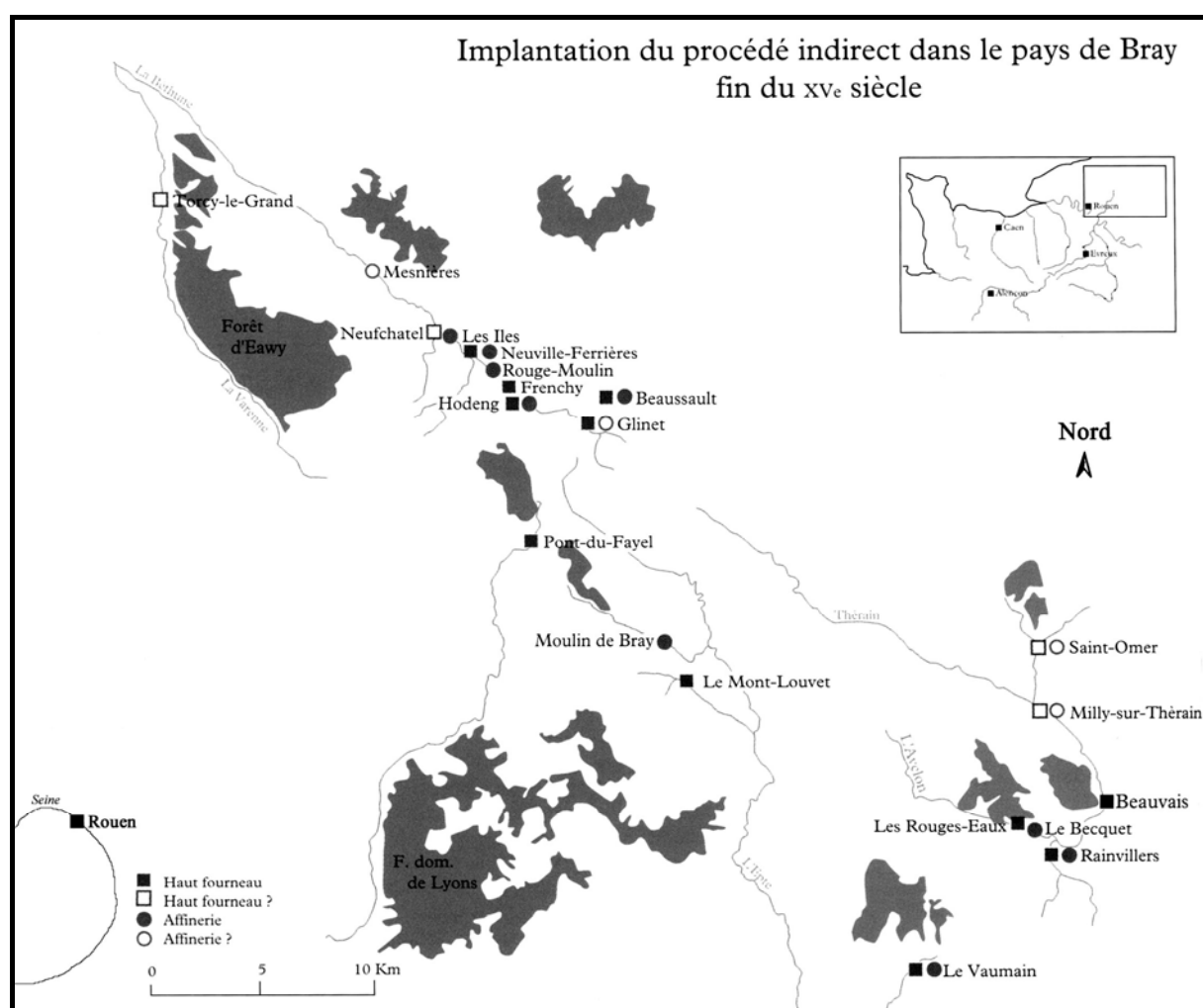


Figure 296 : Implantation du procédé indirect dans le Pays de Bray à la fin du XV^e siècle, d'après D. Arribet-Deroin¹²⁹⁹.

¹²⁹⁷ Outre la reconstruction du chœur de l'église Saint-Jean-au-Marché, les églises Saint-Nizier, Saint-Nicolas et Saint-Pantaléon de Troyes ont également été entièrement rebâties après l'incendie de 1524.

¹²⁹⁸ LEFEBVRE (E.), *La place et le rôle des métaux...*, op. cit., p. 86. Le chaînage a vraisemblablement été mis en place au cours de l'année 1498.

¹²⁹⁹ BELHOSTE (J.-F.), LECHERBONNIER (Y.), ARNOUX (M.), ARRIBET (D.), AWTY (B. G.), RIOULT (M.), *La métallurgie Normande...*, op. cit.

Peut-être à l'exception de quelques ouvrages particuliers comme ces chaînages de la cathédrale d'Amiens, l'introduction de la filière indirecte dans le royaume de France à la fin du Moyen Age n'a donc aucunement influencé l'emploi du fer dans les églises gothiques. Considérant donc que les fers de construction médiévaux sont essentiellement issus du procédé de réduction directe, au vu des quantités de fer employées dans la construction religieuse à cette période, atteignant plusieurs dizaines de tonnes de fer pour les édifices les plus vastes, on peut légitimement s'interroger sur la capacité de production de ces structures.

III.2.2.2 Quantités de fer mises en œuvre dans le bâti et capacité de production des structures de réduction

Plusieurs dizaines de tonnes de fer sont ainsi mises en œuvre dans les églises gothiques. Les vitraux représentent à eux seuls suivant l'édifice de quelques tonnes à environ 25 tonnes de fer pour la cathédrale de Troyes et l'église Saint-Ouen de Rouen. La somme d'estimations partielles réalisées à divers endroits de certains édifices également permis de rendre compte de l'importance des quantités de fer mises en œuvre dans ces églises. Ainsi, la masse de fer employée à la cathédrale de Rouen dépasserait les 20 tonnes. A Saint-Ouen de Rouen, l'ensemble des chaînages porte le total au moins à 30 tonnes. Enfin, à la cathédrale de Troyes, ces quantités dépassent aisément les 40 tonnes. De plus, si l'on recoupe les données sur les différents édifices, la masse totale atteint probablement les 50 tonnes pour ces deux édifices, voire même 65 tonnes si l'on extrapole les résultats de W. Haas sur la cathédrale de Ratisbonne¹³⁰⁰.

Bien qu'elles semblent importantes, ces quantités de fer doivent être relativisées lorsqu'on les compare à d'autres emplois du fer à la fin de la période médiévale. Par exemple, les bombardes en fer forgé produites dans le courant du XV^e siècle peuvent aller d'une centaine de kilogrammes pour les plus petites à plus d'une dizaine de tonnes pour les plus gigantesques¹³⁰¹. Une seule de ces énormes bombardes dépasse ainsi la masse de fer contenue

¹³⁰⁰ HAAS (W.), « Die Rolle des Eisens... », *op. cit.*

¹³⁰¹ BENOIT (P.), DILLMANN (Ph.), FLUZIN (Ph.), « Iron, cast iron and bronze. New approach of the artillery history », dans MAGNUSSON (G.), *The importance of Ironmaking. Technical innovation and social change*, Jernkontorets Bergshistorica Utskott, Stockholm, 1996, p. 241-257 ; SMITH (R. D.), BROWN (R. R.), *Bombards. Mons Meg and her sisters*, Royal Armouries monograph 1, Londres, 1989, 112 p.

dans chacune des plus petites églises et cinq ou six suffiraient à égaler le tonnage des édifices les plus chargés en fer.

Mais cette masse de fer consommée sur le chantier des églises rouennaises et troyennes n'est représentative que d'un état en fin de construction. Par conséquent, les quantités totales mises en œuvre tout au long de leur élévation sont évidemment plus grandes, avec l'ensemble des réfections, modifications et structures provisoires que ces édifices ont connus. L'étalement de la construction sur plusieurs dizaines d'années voire plusieurs siècles, induit un fractionnement des achats de fer par la fabrique. Aucun de ces édifices n'est en effet marqué par une rapidité extrême de sa construction qui pourrait justifier une énorme dépense de fer à un moment ponctuel. Les périodes de vitrerie dont on a vu qu'elles étaient en général les dépenses de serrurerie les plus importantes engagées par le chapitre, montrent en particulier un étalement des achats de fer sur plusieurs années comptables. Entre 1375 et 1380, lors de la vitrerie du transept haut de la cathédrale de Rouen, les chanoines achètent près de 4 tonnes de fer, avec au maximum 1,3 tonnes au cours de la même année comptable. Il faut probablement rajouter deux tonnes supplémentaire pour l'année 1376-1377 dont le compte est manquant, mais qui voit l'installation d'au moins trois grandes baies¹³⁰². De 1430 à 1433, à la cathédrale de Rouen, ce ne sont que 2 tonnes de fer qui sont mises en œuvre dans l'ensemble des fenêtres hautes du chœur refaites à cette période avec au plus une demie tonne de fer achetée au cours du même terme de trois mois entre Pâques et la Saint-Jean-Baptiste de l'année 1431. Enfin, au tournant des XV^e et XVI^e siècles, la fabrique de la cathédrale de Troyes se fait livrer 4,5 tonnes de fer en cinq années consécutives pour la campagne de vitrerie des baies hautes de la nef avec un maximum de 1,7 tonnes pour l'année 1498-1499 (cf. Tableau 126). Une extrapolation de la lacune de 1499-1500 pourrait faire passer ce total à environ 6 tonnes.

Les quantités de fer mises en œuvre dans les vitraux ne semblent donc pas dépasser deux tonnes par année comptable pendant les périodes de travaux les plus intenses. Dans le cas particulier des campagnes de vitrage, il est de plus fort vraisemblable que ce soit davantage le prix du verre lui-même qui, pouvant représenter jusqu'à 80 % du prix du vitrail, est le facteur bloquant de l'avancée du chantier.

¹³⁰² Voir la partie sur l'étude des armatures de vitraux de la cathédrale de Troyes et GADAN (J.F.) « Comptes de l'église de Troyes... », *op. cit.*, p. 12.

Année	Masse (livres)	Masse (kg)	Prix
1497-1498	2303 l.	1126 kg	28 l. 11 s. 8 d.
1498-1499	3606 l.	1763 kg	45 l. 1 s. 6 d.
1499-1500	N. D.	N. D.	N. D.
1500-1501	1248 l.	610 kg	15 l. 12 s. t.
1501-1502	2079 l.	1017 kg	17 l. 3 d. t.
Total	9236 l.	4516 kg	106 l. 4 s. 5 d. t.

Tableau 126 : Récapitulatif des achats de fer pour faire les armatures de vitraux des baies hautes de la nef de la cathédrale de Troyes entre 1497 et 1502.

Année	Masse (livres)	Masse (kg)
1375-1376	2701,5 l.	1321 kg
1376-1377	Lacune	lacune
1377-1378	1322,5 l.	646,7 kg
1378-1379	2092 l.	1023 kg
1379-1380	900 l.	440,1 kg
1380-1381	965,5 l.	472,1 kg
Total	7981,5 l.	3902,9 kg

Tableau 127 : Récapitulatif des achats de fer pour faire les armatures de vitraux des baies hautes du transept de la cathédrale de Troyes entre 1375 et 1381.

Période	Masse (livres)	Masse (kg)
avril 1430 - juin 1430	479,75 l.	234,6 kg
avril 1431-juin 1431	995 l.	486,6 kg
juillet 1431- juin 1432	1339 l.	654,8 kg
juillet 1432-juin 1433	1315 l.	643 kg
Total	4128,75 l.	2019 kg

Tableau 128 : Récapitulatif des achats de fer pour faire les armatures de vitraux des baies hautes du chœur de la cathédrale de Rouen entre 1430 et 1433.

Les principales autres dépenses relevées donnent des tonnages annuels fort similaires, comme le jubé de l'église Sainte-Madeleine de Troyes pour lequel la fabrique acquiert un peu plus d'une tonne de fer en 1511-1512 en barreaux, agrafes, goujons et autres petits éléments. Deux estimations des masses de fer achetées à partir du salaire payé au serrurier révèlent des tonnages annuels un peu plus importants mais qui restent toujours dans le même ordre de

grandeur. La masse de fer mise en œuvre dans les clôtures du chœur de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes ne dépasse pas 5 tonnes entre 1555 et 1558, dont la moitié pour l'année 1557-1558¹³⁰³. Enfin, valeur la plus importante, la masse de fer employée dans les armatures de la cloche Georges d'Amboise fondue en 1501-1502 pour la cathédrale de Rouen est estimée à un peu plus de 4 tonnes de fer¹³⁰⁴.

Ces résultats montrent que même en cas de dépenses exceptionnelles, comme c'est le cas lors de l'établissement de la cloche Georges d'Amboise, les achats de fer par la fabrique ne dépassent pas 4 tonnes sur l'année¹³⁰⁵. Ces chiffres sont à peine supérieurs à la production d'un simple atelier comprenant un bas fourneau qui fonctionnerait six jours sur sept, avec un rendement journalier d'une dizaine de kilogrammes en barres¹³⁰⁶. Cette capacité de production est du même ordre de grandeur que les données apportées par les travaux de P. Crew d'une part et de M. Leroy et P. Merluzzo d'autre part, qui estiment à une douzaine de kilogrammes au maximum la taille des loupes produites par les fourneaux qu'ils ont étudiés¹³⁰⁷. Si la perte de masse lors de l'épuration et la mise en barres peut être importante, dans chaque atelier, plusieurs bas fourneaux fonctionnaient de manière simultanée, augmentant ainsi la masse totale de métal produite.

Ces quantités maximales de fer consommées annuellement sur les chantiers des églises troyennes et rouennaises sont assez loin des résultats de Ph. Bernardi sur le Palais des Papes, pour lequel il compte en l'espace de onze mois, l'achat d'au moins 16,5 tonnes de fer et plus probablement d'une vingtaine, dont 4 environ furent livrées au seul mois de mai 1347¹³⁰⁸. Il faudrait dans ce cas précis plus d'une quinzaine d'ateliers comme celui décrit ci-dessus pour pouvoir subvenir à de tels besoins pendant ce laps de temps. En termes de quantités, cette hypothèse ne relève pas de l'impossible, d'autant que si l'on ramène le tout à la consommation annuelle, une demi-douzaine de ces petites structures de production seraient suffisantes. Ph. Bernardi s'est pour sa part appuyé sur les travaux de C. Verna qui a étudié une forme particulière d'atelier de production qui se développe dans les Pyrénées à la fin du Moyen Age : la « mouline », atelier de production fonctionnant selon le procédé direct mais

¹³⁰³ Il s'agit bien là de valeurs maximales estimées pour un prix de la livre de fer ouvrée équivalent à 12 d. t., ce qui est le minimum constaté pour l'époque.

¹³⁰⁴ Estimées à partir de la dépense du serrurier pour un prix à la livre de 8 d. t. correspondant à cette période.

¹³⁰⁵ Soit le poids d'une grosse bombarde, BENOIT (P.), DILLMANN (Ph.), FLUZIN (Ph.), « Iron, cast iron and bronze... », *op. cit.*

¹³⁰⁶ Paul Benoît émet l'hypothèse que la capacité maximale de production d'un bas fourneau non activé à l'énergie hydraulique est aux alentours de 20 kg de fer en barres, BENOIT (P.), « La marque du fer »..., *op. cit.*

¹³⁰⁷ LEROY (M.), MERLUZZO (P.), FLUZIN (Ph.), LECLERE (D.), AUBERT (M.), PLOQUIN (A.), « La restitution des savoir-faire... », *op. cit.* ; CREW (P.), CHARLTON (M.), « The anatomy of a furnace... », *op. cit.*

¹³⁰⁸ BERNARDI (Ph.), DILLMANN (Ph.), « La place du métal dans la construction »..., *op. cit.*

pourvu d'un gros marteau utilisant l'énergie hydraulique¹³⁰⁹. Elle estime d'après la redevance de la forge d'Albiès, qu'une « mouline » était susceptible de produire jusqu'à une tonne de fer par semaine, soit environ 150 kg par jour¹³¹⁰. Une telle structure de production serait certes capable de pourvoir à elle seule aux besoins du chantier papal, cependant au vu des énormes quantités produites, on est en droit de s'interroger sur sa véritable nature. Si selon l'hypothèse de P. Benoit, un bas fourneau non activé par l'énergie hydraulique ne peut produire qu'au maximum 20 kg de fer en barres par jour, on peut se poser la question du nombre de bas fourneaux que contient une « mouline » comme celle d'Albiès. L'ordre de grandeur donné serait de la dizaine, chiffre qui, en l'état actuel des connaissances, semble peu réaliste. Mais il est également possible que les capacités de production des fourneaux de C. Verna étaient supérieures, par exemple grâce à une ventilation activée par l'énergie hydraulique. Elle n'en a toutefois aucune évidence dans ses sources. Afin d'achever ces comparaisons, le fer consommé en une année par le chantier d'une des églises troyennes ou rouennaises pourrait être produit en moins d'un mois par un de ces établissements décrits par C. Verna.

Les capacités de production de bas fourneaux non activés à l'énergie hydraulique et *a fortiori* celles de structures de production comme les « moulins » de C. Verna ou encore de haut fourneaux sont donc bien largement suffisantes, quelle que soit l'époque et la région, pour approvisionner en fer les chantiers de ces grandes églises. Cet argument n'est de plus pas contredit par les archives comptables qui ne mentionnent à aucun moment un quelconque problème quant à la fourniture des quantités de fer nécessaires au chantier des églises gothiques rouennaises et troyennes. Si ces édifices comportent des dizaines de tonnes de fer, leurs périodes de construction et les campagnes de vitrerie semblent donc suffisamment allongées dans le temps pour ne pas nécessiter la mise en place de moyens particuliers quant à la réduction du minerai en métal. Mais si la quantité de métal produite est suffisante, quel est le travail humain nécessaire pour les mettre en forme ? La dimension des plus grosses pièces retrouvées en place dans les églises, comme ces grosses barlotières-tirants qui renforcent les arcatures des fenêtres¹³¹¹, pose en effet la question de l'utilisation du marteau hydraulique pour les premières étapes de leur mise en forme dès l'avènement de la période gothique dans la seconde moitié du XII^e siècle¹³¹², époque qui correspond son développement en Europe

¹³⁰⁹ VERNA (C.), *Le temps des moulins...*, *op. cit.*

¹³¹⁰ ID., *Ibid.*, p. 85. Elle estime la production de la forge d'Albiès à 16 à 20 quintaux, soit entre 672 et 1092 kg de fer, à partir de la redevance fixe de cette forge de deux quintaux par semaine.

¹³¹¹ Ou le cas extrême des chaînages de la cathédrale d'Amiens, dont la section dépasse 4 x 8 cm² en moyenne. Il est évident que des barres de fer de cette section et pesant près de 100 kg pièce n'ont pas pu être forgées uniquement à la force des bras du forgeron.

¹³¹² BENOIT (P.), *Les mutations techniques et scientifique...*, *op. cit.*, p. 128-129.

occidentale¹³¹³. De plus, à plusieurs reprises, les comptes de la fabrique mentionnent bien une logistique particulière mise en place pour la fourniture ou la forge de produits spécifiques, faisant vraisemblablement intervenir des ateliers de production spécialisés.

III.2.2.3 La post-réduction et l'influence du marteau hydraulique sur la production des fers de construction

III.2.2.3.1 Considérations sur le travail de post-réduction

En réduction directe, dont nous avons vu qu'elle prédomine dans le cas des fers de construction médiévaux rouennais et troyens, après réduction du minerai, la loupe sortant du bas fourneau doit être transformée en un lopin de fer forgeable, produit semi-fini : c'est la phase de compactage et d'épuration. Une opération similaire est également nécessaire après l'affinage de la loupe de fonte¹³¹⁴. Au vu du corpus d'objets étudiés, il est difficile d'obtenir des informations pertinentes sur l'épuration. On peut toutefois affirmer que la plupart des fers de constructions analysés ont une propreté inclusionnaire relativement mauvaise, traduisant une phase d'épuration menée sans grand soin, peut-être plus dans l'optique d'une production de masse que dans la recherche d'un matériau aux qualités spécifiques¹³¹⁵. D'après les données des comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes pour la fin du XV^e et le début du XVI^e siècle, ce fer arrive sous forme de bandes ou de barreaux pesant une dizaine à une vingtaine de kilogrammes sur les marchés urbains où il est finalement acheté par la fabrique pour être confié au forgeron (cf. Tableau 129)¹³¹⁶. Il a donc également fait l'objet, postérieurement à sa réduction et son épuration, d'une mise en barres antérieure à l'ultime étape de forge réalisée par le serrurier urbain.

¹³¹³ [GILLE (B.)], « Les origines du moulin à fer »..., *op. cit.* ; BENOIT (P.), BERTHIER (K.), « L'innovation dans l'exploitation de l'énergie hydraulique... », *op. cit.*

¹³¹⁴ Certaines structures d'affinerie à deux feux comme le procédé « wallon » ont même un foyer spécifiquement dédié à cette opération, dénommé chaufferie.

¹³¹⁵ Nous reviendrons ultérieurement sur la caractérisation de cette propreté inclusionnaire et de la qualité du matériau.

¹³¹⁶ Ces données concernent toutefois la fin du XV^e siècle, période où la métallurgie indirecte est déjà fort développée en Champagne. Il est donc fort possible que les bandes de fer dont il est ici question de soient pas issues du procédé direct. Les problématiques développées sur l'épuration restent toutefois à peu de choses près identiques.

Année	Nombre de pièces	Masse totale	Masse unitaire (l.)	Masse unitaire (kg)
1498-1499	26 bandes	1157 l.	44,5 l.	21,8 kg
1498-1499	12 bandes	544 l.	45,3 l.	22,2 kg
1502-1503	1 petit barreau	28 l.	28 l.	13,7 kg
1504-1505	30 bandes	1285 l.	42,8 l.	20,9 kg
1506-1507	1 barreau	34 l.	34 l.	16,6 kg

Tableau 129 : Masse des bandes et barreaux de fer achetés à des marchands troyens par la fabrique de la cathédrale de Troyes au tournant des XV^e et XVI^e siècles¹³¹⁷.

Si les paramètres relatifs à la réduction du minerai de fer, capacité de production, temps, matériaux et personnel requis, ventilation naturelle, manuelle ou hydraulique, sont désormais de mieux en mieux connus avec la multiplication des fouilles de structures de fours et l'apport de l'archéologie expérimentale¹³¹⁸, de nombreux points d'ombres subsistent encore au sujet du compactage de la loupe de fer obtenue après réduction. Quel temps de travail est nécessaire ? Combien de forgerons sont requis pour cette opération ? S'agit-il d'un travail spécialisé ? Y a-t-il utilisation de structures spécifiques ? Quelle est la perte de métal ? L'épuration est encore fort peu connue en archéométaballurgie et bien souvent occultée par l'opération de réduction. En l'absence d'infrastructure majeure, cette phase ne laisse en effet aucune trace caractéristique en fouille et est donc difficile à caractériser par ce biais. A l'heure actuelle, aucune donnée archéologique de terrain n'est disponible sur cette opération pourtant essentielle de la chaîne opératoire. Les seules informations disponibles proviennent des résultats d'opérations d'archéologie expérimentales comme celles de M. Leroy et P. Merluzzo¹³¹⁹, celles de P. et S. Crew¹³²⁰ ou encore les opérations plus récentes conduites par R. Aranda et l'équipe de Ph. Dillmann sur le site de Paimpont (Ille-et-Vilaine) en août

¹³¹⁷ Pour les lots de barreaux, la masse estimée est une masse moyenne qui n'est représentative que d'un ordre de grandeur. Il est possible que certaines pièces du lot soient plus petites, ce qui par là même entraînerait que les autres soient plus grosses.

¹³¹⁸ Citons pour la Normandie, les travaux de C. Colliou, pour la Champagne méridionale, ceux de K. Dunikowski et S. Cabboï et pour la Lorraine, ceux de M. Leroy.

¹³¹⁹ LEROY (M.), MERLUZZO (P.), FLUZIN (Ph.), LECLERE (D.), AUBERT (M.), PLOQUIN (A.), « La restitution des savoir-faire... », *op. cit*

¹³²⁰ CREW (P.), CREW (S.), « The experimental production of bar iron », dans MANGIN (M.), éd., *La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen, archéologie et archéométrie, Actes du colloque de Besançon, 10-13 novembre 1993*, Paris, Les Belles Lettres, 1994, p. 175-176.

2004¹³²¹ et en juillet 2005 sur la plateforme de Melle (Deux-Sèvres) dirigée par F. Tereygeol¹³²² (cf. Tableau 130 et Figure 297).

Outre l'importante perte de matière, comprise entre la moitié et les trois quarts du poids initial de la loupe, ces différents résultats montrent l'importance du temps et de l'énergie consacrés à cette étape de compactage de la loupe : parfois plusieurs dizaines de chaudes¹³²³ et plusieurs heures de travail pour l'obtention d'un lingot d'à peine un kilogramme. Certes, comme le signale M. Leroy, ces résultats « sont probablement en deçà de la réalité », la qualité du travail étant limitée par la faible expérience des forgerons actuels dans le travail des métaux anciens¹³²⁴. Mais à ce temps de travail, faut-il encore ajouter celui de la mise en barres, qui peut notamment comprendre des opérations de soudure de différents lingots dans le cas du forgeage d'objets de plusieurs dizaines de kilogrammes, comme les grosses barres ou les tirants mis en œuvre dans les églises troyennes et rouennaises ou même de manière plus générale, comme ces simples bandes de fer achetées chez les marchands troyens en cette fin de XV^e siècle (cf. Tableau 129). P. et S. Crew estiment le coût humain de la production d'un kilogramme de fer sans l'utilisation de l'énergie hydraulique au travail de 25 personnes pendant une journée¹³²⁵. Cette estimation qui compte également le temps de production du charbon doit être revue à la baisse pour la seule phase d'épuration, mais elle permet néanmoins d'insister sur l'importance du temps de travail nécessaire à la transformation de la loupe en barre de fer et de l'énergie humaine dépensée, car il peut s'agir là d'une véritable étape limitante dans la chaîne opératoire de la production du fer.

Rappelons quelques chiffres sur la capacité de production de différentes structures de réduction directe. P. Benoit émet l'hypothèse qu'elle est au maximum de 20 kg de fer en barres pour un bas fourneau non activé à l'énergie hydraulique, ce qui correspond déjà à une loupe d'au moins une cinquantaine de kilogrammes d'après les rendements observés en expérimentation¹³²⁶. C. Verna mentionne quant à elle comme capacité de production pour des moulines utilisant l'énergie hydraulique une masse allant d'environ 700 à 1100 kg par

¹³²¹ L'HERITIER (M.), JUHIN (A.), DILLMANN (Ph.), ARANDA (R.), BENOIT (P.), « Utilisation des alliages ferreux... », *op. cit.*

¹³²² DILLMANN (Ph.), L'HERITIER (M.), « Utilisation des alliages ferreux dans la construction monumentale du Moyen Age. Vers une méthodologie commune des études archéologique et archéométrique », *Les matériaux européens de l'architecture, apport de l'archéométrie à l'archéologie du bâtiment, Liège, 17-19 janvier 2005*, à paraître.

¹³²³ Voir glossaire.

¹³²⁴ LEROY (M.), MERLUZZO (P.), FLUZIN (Ph.), LECLERE (D.), AUBERT (M.), PLOQUIN (A.), « La restitution des savoir-faire... », *op. cit.*

¹³²⁵ CREW (P.), CREW (S.), « The experimental production of bar iron »..., *op. cit.*

¹³²⁶ BENOIT (P.), « La marque du fer »..., *op. cit.*

semaine¹³²⁷. Ces chiffres qui semblent insister sur la capacité de réduction des bas fourneaux ne doivent cependant pas être interprétés ainsi ; c'est pourtant le travers qu'il est aisé de réaliser en faisant uniquement des estimations sur le nombre de réductions nécessaires à la production d'une certaine quantité de métal. En réalité, quelle que soit la masse de la loupe au sortir du bas fourneau, le temps nécessaire à son épuration y sera certainement à peu près proportionnel. En effet, le forgeron ne pourra certainement pas manier seul une loupe d'une cinquantaine de kilogrammes ou plus. Il lui sera plus pratique de briser cette loupe de grandes dimensions pour la compacter en plusieurs fois, opération qui, au Moyen Age, est réalisée par plusieurs forgerons qui travaillent simultanément¹³²⁸. Pour la seconde phase, même en admettant que l'on décide de souder différents lopins de fer en cours d'épuration après un premier compactage pour réduire le nombre d'opérations, il est évident que plus la masse de fer à compacter est grande, plus il faudra faire de replis et plus le temps et l'énergie consacrés seront importants. Ici, pour des lopins d'à peine quelques kilogrammes, plusieurs replis et autant d'heures de travail ont déjà été nécessaires. En revanche, l'opération de réduction proprement dite ne nécessite guère plus d'efforts, qu'il s'agisse d'un fourneau de grandes ou petites dimensions, et un même ouvrier ou groupe d'ouvriers peut alimenter en minerai plusieurs fourneaux à la fois qui tournent simultanément. De plus, le temps de réduction n'est pas non plus directement proportionnel à la charge de minerai réduit, notamment à cause des phases de montée en température et de chauffage de la colonne.

Tous ces éléments vont bien dans le sens que l'étape limitante dans la chaîne opératoire de production du fer selon le procédé direct serait, non pas la réduction, mais le compactage et la mise en barres qui nécessite un nombre plus important de travailleurs spécialisés. Dans le cas de la filière indirecte, il est également évident que la réduction n'est pas étape limitante. Le réel manque de connaissances sur la phase d'affinage surtout pour les périodes les plus précoces ne permet pas de pousser plus loin la réflexion. Il est néanmoins certain qu'affinage et épuration nécessitent un travail bien plus important et spécialisé que la fonte du minerai dans le haut fourneau.

¹³²⁷ VERNA (C.), *Le temps des moulines...*, op. cit., p. 85.

¹³²⁸ Pratique encore attestée au XX^e siècle en Afrique. Voir en particulier le film ethnographique « Noces de feu » réalisé par N. Echard au Niger en 1967.



Figure 297 : Expérience de compactage de loupe. Plateforme expérimentale de Melle. P. Merluzzo, R. Aranda, L. Bellot-Gurlet, Ph. Dillmann, cliché D. Neff.

Expérimentation	Loupe	Lopin (barre)	Nb chaudes	Durée	Rendement
Crew 27 (main)	1700 g	880 g (630 g)	?	?	52 % (37 %)
Crew 30 (martinet)	1950 g	? (620 g)	3 à 4 fois moins	?	? (32 %)
Leroy 1	650 g	177 g	31	55 mn	27 %
Leroy 2	3350 g	1885 g	9	40 mn	55 %
Leroy 3	2030 g	1045 g	24	1 h 45 mn	51,5 %
Paimpont ¹³²⁹	≈ 14000 g	≈ 1000 g	≈ 40	4 h 20 mn	7 %
Melle	≈ 10000 g	≈ 7000 g	Opération non terminée. Impossibilité de compacter le lingot davantage.		

Tableau 130 : Bilan de diverses opérations d'archéologie expérimentale sur le rendement et la durée du compactage d'une loupe de fer¹³³⁰.

¹³²⁹ Lors de cette opération deux blocs de la loupe se sont détachés lors de son compactage. La perte de masse induite sur le produit fini peut être estimée à quelques kilogrammes, ce qui changerait de beaucoup le rendement.

¹³³⁰ D'après les données de P. et S. Crew, M. Leroy et P. Merluzzo, Ph. Dillmann et M. L'Héritier disponibles dans les publications citées ci-dessus.

Les expérimentations réalisées par P. et S. Crew révèlent bien l'importance du rôle joué par le marteau hydraulique dans le travail de post-réduction, non l'augmentation du rendement, mais dans la réduction du temps de travail et de la dépense en énergie humaine¹³³¹. En outre, l'expérimentation de Melle, avec son échec, a également confirmé la limite de la mise en forme uniquement à l'aide de la force humaine : même en augmentant le nombre de frappeurs, cependant limité par l'espace autour de l'enclume, il semble qu'il ne soit pas réaliste d'essayer de compacter en grandes quantités et de manière systématique des produits semi-finis de plus de 900 cm³, soit environ 7 kg. Elle confirme ainsi le rôle majeur du marteau hydraulique pour produire quantité de grandes barres de fer comme celles qui arrivent sur les marchés rouennais et troyens. S'il n'est pas envisageable qu'il intervienne au début de l'épuration, puisque la loupe, poreuse et fragile, ne nécessite pas un martelage puissant et risquerait de se fragmenter sous les coups d'un tel marteau, il peut en revanche permettre de réduire notablement les efforts du forgeron ainsi que le temps de travail pour le compactage final puis pour la mise en barres des lopins produits.

Ces données relatives à la mise en œuvre de grandes quantités de fer en grande partie sous forme de barres ou de gros barreaux de fer et les considérations qui viennent d'être évoquées sur la production de produits semi-finis à partir de loupes de fer posent bien la question de l'utilisation du marteau hydraulique pour les premières étapes de la mise en forme, comme P. Benoit en avait émis l'hypothèse¹³³². Cependant, la chronologie d'implantation de ce procédé technique est différente en Normandie et en Champagne.

III.2.2.3.2 L'influence du marteau hydraulique pour les chantiers de construction rouennais

Les structures sidérurgiques connues à l'heure actuelle pour la Normandie médiévale et pour le pays d'Ouche en particulier sont essentiellement le fruit du travail de M. Arnoux qui a étudié un grand nombre de textes disponibles pour cette région¹³³³. Il a mis en évidence la domination des communautés paysannes sur la production du fer jusqu'au milieu du XV^e siècle, par l'établissement d'institutions originales nommées « métiers de férons ». Selon lui,

¹³³¹ CREW (P.), CREW (S.), « The experimental production of bar iron »..., *op. cit.*

¹³³² BENOIT (P.), *Les mutations techniques et scientifique...*, *op. cit.*, p. 128-129.

¹³³³ ARNOUX (M.), *Mineurs, férons et maîtres de forge...*, *op. cit.*, 646 p.

ces puissantes ligues contrôlent la majeure partie de la production, qui serait marquée par un désintérêt presque total des seigneurs, laïques comme ecclésiastiques, malgré la présence de plusieurs établissements cisterciens¹³³⁴. Le fort développement de la sidérurgie seigneuriale serait lié à la reprise économique de la fin du XV^e siècle, parallèlement à l'introduction du procédé indirect dans la région¹³³⁵. Ce n'est selon lui qu'à partir de cette époque que les moulins à fer ou « forges renardières »¹³³⁶, utilisant l'énergie hydraulique, feraient leur apparition en Normandie¹³³⁷. Leur adoption très tardive par rapport à d'autres régions du royaume serait due à la force des ligues de férons ayant permis le délai de cette innovation de plus de deux siècles¹³³⁸. Il faudrait en conclure que l'ensemble de la production normande aurait été assuré exclusivement par des fours de réduction à ventilation manuelle ou naturelle et de simples petits marteaux de forgeron pendant toute la durée du Moyen Âge.

On voit donc là qu'il y a une non adéquation entre les structures de production connues et le produit fini ou semi-fini retrouvé en place dans les édifices rouennais, à savoir des barres de fer de qualité plutôt médiocre¹³³⁹. De simples établissements sidérurgiques n'utilisant pas l'apport de l'énergie hydraulique, comme ceux décrits par M. Arnoux, semblent difficilement à même d'assurer une telle production, non en termes de quantité, mais surtout au regard des produits obtenus. Si la profusion des forges dans le pays d'Ouche avec ce chiffre de 200 avancé par M. Arnoux pour le XIV^e siècle induit une forte capacité de production¹³⁴⁰, parfaitement capable d'assurer une production de masse, elle n'explique

¹³³⁴ Il note une seule tentative de développement d'une sidérurgie cistercienne le cas de l'abbaye de Mortemer, qui se révéla infructueuse, ARNOUX (M.), « Le cas normand : établissements et sidérurgie dans le pays d'Ouche (XI^e-XV^e siècle) », dans BENOIT (P.), CAILLEAUX (D.), éd., *Moines et métallurgie dans la France médiévale*, Paris, A.E.D.E.H., 1991, p. 13-44.

¹³³⁵ BELHOSTE (J.-F.), LECHERBONNIER (Y.), ARNOUX (M.), ARRIBET (D.), AWTY (B. G.), RIOULT (M.), *La métallurgie Normande...*, *op. cit.*, p. 32.

¹³³⁶ La *renardière* tire son nom de l'allemand *Rennherd* désignant un bas foyer de réduction mû par la force hydraulique (*idem*).

¹³³⁷ ID., *Ibid.*, p. 35.

¹³³⁸ Le marteau hydraulique est attesté dans une grande partie du royaume de France et de l'Europe du Nord à partir des XII^e et XIII^e siècles, BENOIT (P.), BERTHIER (K.), « L'innovation dans l'exploitation de l'énergie hydraulique... », *op. cit.*

¹³³⁹ Rappelons que d'après l'étude récente de Ph. Lardin, l'hypothèse la plus probable est que la majeure partie du fer consommé sur les chantiers de construction rouennais provienne de la production locale, LARDIN (Ph.), *Les chantiers du bâtiment en Normandie orientale (XIV^e-XVI^e s.)...*, *op. cit.*, p. 230. Une confirmation de cette hypothèse pourra peut-être apportée par le travail de thèse d'A.-M. Desaulty, qui étudie le comportement des éléments traces dans les chaînes opératoires sidérurgiques directe et indirecte à travers les artefacts archéologiques de plusieurs sites du pays de Bray normand. Son étude contribuera à la mise en place de nouveaux paramètres permettant d'évaluer la compatibilité entre un produit fini et les sites ou la région de production dont il est susceptible de provenir. Les fers de constructions que nous avons analysés sont intégrés à son corpus d'étude.

¹³⁴⁰ BELHOSTE (J.-F.), LECHERBONNIER (Y.), ARNOUX (M.), ARRIBET (D.), AWTY (B. G.), RIOULT (M.), *La métallurgie Normande...*, *op. cit.*, p. 25. Ces deux cents forges pourraient fournir au moins 2 tonnes de fer par jour en estimant que chaque forge comprend un bas fourneau produisant l'équivalent de 10 kg

toutefois pas l'importance prise par la barre de fer sur le marché rouennais tout comme dans la structure de la cathédrale, barres dont on a parfois peine à croire qu'elles ont été forgées par de simples marteaux de forgerons. De plus, on peut se poser la question de la rentabilité d'une telle production au vu du travail que représente la mise en barres à la main et la soudure de plusieurs petits lopins pour forger une grosse barre, surtout quand au regard du faible prix de vente du fer brut. Comment une telle production pouvait-elle être compétitive à son arrivée sur le marché du fer à Rouen ?

Il est donc légitime de s'interroger sur la validité des assertions de M. Arnoux quant à l'introduction du marteau hydraulique dans la région normande, d'autant plus qu'une grande partie des forges qu'il a recensées pour le pays d'Ouche sont situées à proximité d'un cours d'eau¹³⁴¹. Rappelons en outre que les datations par *terminus post quem* des sources écrites médiévales ne sont pas toujours très fiables quant il s'agit de l'introduction d'un procédé technique. En Angleterre, la découverte d'un martinet des XII^e et XIII^e siècles à l'abbaye cistercienne de Bordesley a fait avancer son introduction en Angleterre de près de trois siècles¹³⁴². Les grosses barres présentes dans les fenêtres de la cathédrale de Rouen dès le XIII^e siècle semblent bien indiquer une date d'apparition beaucoup plus précoce également pour la Normandie.

A ce jour, aucune analyse métallographique n'a encore réussi à mettre en évidence l'utilisation du marteau hydraulique, et les éventuelles traces qu'il peut imprimer à la structure interne de l'objet n'ont donc pas été identifiées. De plus, il est fréquent que les objets soient retravaillés après la première mise en barres, ce nouveau forgeage effaçant probablement bon nombre des traces caractéristiques. Les objets prélevés sur les églises rouennaises sont qui plus est trop peu caractéristiques pour espérer en rendre compte : seule l'analyse métallographique de tirants en section longitudinale permettrait peut-être de le faire. Or, ces tirants sont encore en place et en l'absence de dépose consécutive à des restaurations de tels prélèvements seront évidemment impossibles à réaliser.

de fer en barres. Il est cependant plus que probable que le nombre de bas fourneaux par établissement métallurgique est bien supérieur, ce qui augmenterait d'autant la production.

¹³⁴¹ ARNOUX (M.), *Mineurs, férons et maîtres de forge...*, *op. cit.*, p. 62.

¹³⁴² ASTILL (G.), *A medieval industrial complex...*, *op. cit.*, p. 259-291 ; BLAIR (J.), RAMSAY (N), éd., *English medieval industries*, Londres, 1991, p. 172 ; BENOIT (P.), « Au four et au moulin... », *op. cit.*, p. 293-301.

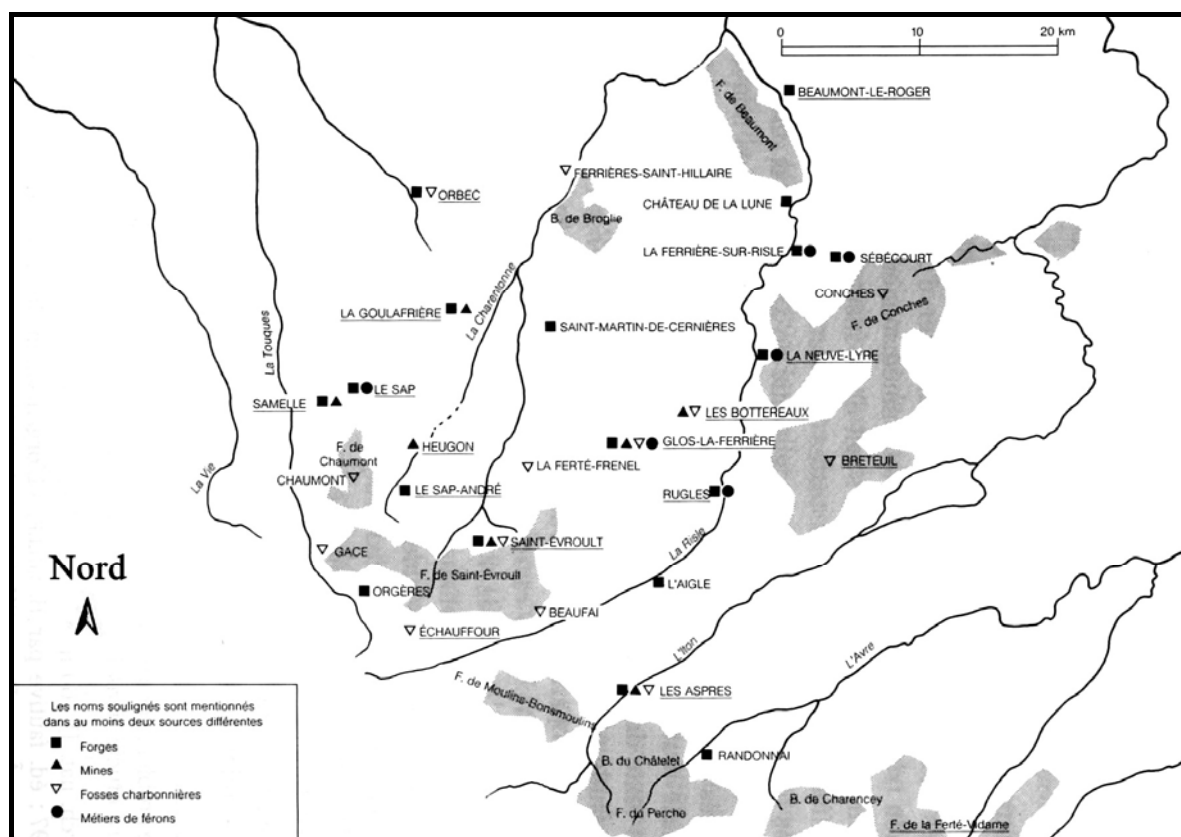


Figure 298 : Recensement de l'activité métallurgique dans le pays d'Ouche entre la fin du XI^e et le début du XIV^e siècle, d'après M. Arno¹³⁴³

L'étude des formes des tirants en place dans les églises rouennaises a toutefois révélé un cas particulier : celui des chaînages ceinturant le deuxième étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen de Rouen. On y trouve des chaînons de deux sections différentes. Ceux de plus forte section ont été forgés par la superposition par soudure à la forge de deux barres de section carrée d'environ 2,5 à 3 cm de côté. La marque de cette soudure est en effet très nette sur toute la longueur de certaines pièces. Par ailleurs, à de nombreux endroits, cette soudure n'a pas tenu et avec le gonflement dû à la corrosion, les deux barres soudées se sont séparées. Ce mode de fabrication de tirants d'assez forte section (2,5 x 6 cm environ) ne trouve pas d'équivalent sur les autres églises étudiées, les barlotières-tirants visibles dans les fenêtres ne semblent pas présenter la marque d'une telle soudure malgré des dimensions en tous points similaires. Dans tous les cas, ils ne se sont jamais scindés longitudinalement en deux parties

¹³⁴³ ARNOUX (M.), *Mineurs, férons et maîtres de forge...*, op. cit., p. 62.

comme ceux de l'église Saint-Ouen. On peut donc penser que contrairement à ces barlotières-tirants qui arrivent déjà sous forme de produit semi-fini sur les marchés troyens, la fabrique de l'église Saint-Ouen a quant à elle acheté un grand nombre de barres de plus petite section et les a faites souder par un serrurier urbain, ce qui pourrait expliquer la médiocre tenue de la soudure, son atelier n'étant probablement pas adapté à la forge de pièces aussi grandes. On peut émettre l'hypothèse que dans ce cas précis, le marteau hydraulique n'a pas été employé pour la phase finale de forge de ces grosses barres. Il a cependant pu l'être en amont de la chaîne opératoire, pour l'épuration ou la mise en plus petites barres de section carrée. Influence de la standardisation au niveau de la dimension des pièces de métal ? Brusque changement de parti dans la conception du chaînage qui a conduit à doubler certaines de ses parties ? Absence d'établissement métallurgique utilisant l'énergie hydraulique dans la région¹³⁴⁴ ? Difficulté d'accès à une structure de ce type à une période de troubles ? Les hypothèses sont nombreuses et non exclusives ; on ne peut avoir ici aucune certitude.

A l'heure actuelle, les seules évidences archéologiques de l'emploi du marteau hydraulique sur des tirants de fer se trouvent au Palais des Papes d'Avignon¹³⁴⁵. Ces tirants comptaient des marques en creux correspondant au pas d'une tête de marteau de taille trop importante pour être manié à la main. Notons que ces marques peuvent être effacées lors de la finition, ce qui explique leur relative rareté sur des éléments encore en place. Cependant, sur d'anciennes photographies de la cathédrale de Beauvais, les tirants reliant les arcs-boutants dans le chœur semblent porter le même genre de marques en surface (cf. Figure 299)¹³⁴⁶. Or Beauvais n'est qu'à 80 km de Rouen. Entre les deux villes, le pays de Bray normand situé à une trentaine de kilomètres de Rouen est par ailleurs une région d'assez forte production sidérurgique au Moyen Age qui a alimenté les chantiers rouennais¹³⁴⁷.

¹³⁴⁴ Cette hypothèse selon laquelle les établissements hydrauliques n'existent pas en Normandie revient aux propos de M. Arnoux dont l'exactitude vient d'être mise en doute.

¹³⁴⁵ DILLMANN (Ph.), BERNARDI (Ph.), « Premiers résultats métallographiques... », *op. cit.*

¹³⁴⁶ CALI (F.), MOULINIER (S.), *L'ordre ogival, essai sur l'architecture gothique*, Paris, Arthaud, 1963, 264 p.

¹³⁴⁷ LARDIN (Ph.), *Les chantiers du bâtiment en Normandie orientale (XIV^e-XVI^e s.)...*, *op. cit.*, p. 231.

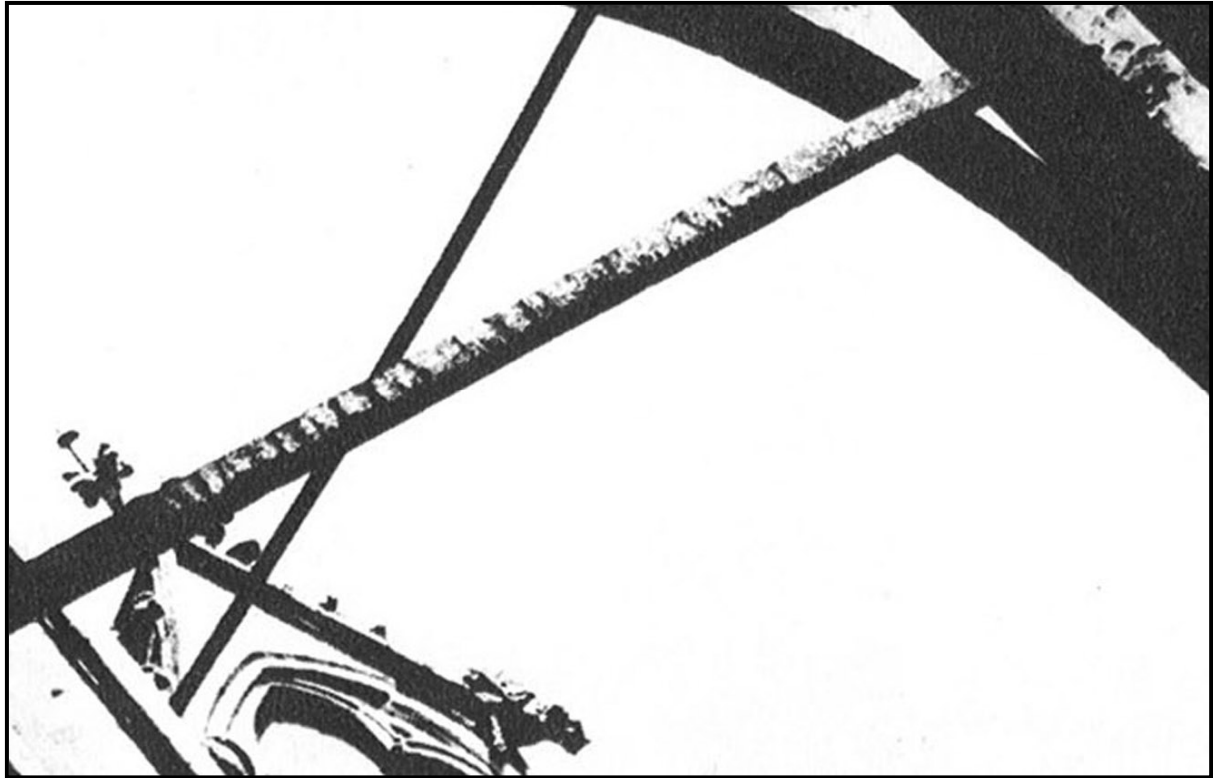


Figure 299 : Tirants reliant les arcs-boutants du chœur de la cathédrale de Beauvais, cliché S. Moulinier¹³⁴⁸.

Les archives de la fabrique de la cathédrale de Rouen et de l'église Saint-Maclou ne donnent évidemment aucune précision sur l'usage du marteau hydraulique pour les travaux de post-réduction et la mise en barres. Néanmoins, les achats de grosses barres – les grosses barlotières-tirants mises dans les fenêtres hautes de la cathédrale et qui pèsent plus de 30 kg pièce pour une section de 2 cm x 5 cm environ – ne nécessitent pas de commande particulière, ce qui conforte l'hypothèse d'une introduction bien antérieure du marteau hydraulique dans la région. Deux mentions qui traduisent une organisation particulière pour le travail de forge ont toutefois été relevées dans ces comptes, bien qu'il ne s'agisse pas de fer mis en œuvre dans la maçonnerie à proprement parler. La première concerne les dépenses faites pour l'installation de la cloche de la cathédrale de Rouen en 1501-1502 et la seconde la croix de fer pour la flèche de l'église Saint-Maclou vers 1517. Dans le cas de Saint-Maclou, le texte mentionne que la croix a été faite dans un château, puis qu'après y avoir été pesée elle est portée à l'église¹³⁴⁹. Elle n'a donc pas été forgée dans la forge du serrurier urbain comme les autres

¹³⁴⁸ CALI (F.), MOULINIER (S.), *L'ordre ogival...*, op. cit.

¹³⁴⁹ PJ n° 19.

éléments. A la cathédrale, le texte est un peu plus riche. Il mentionne l'existence d'une forge à Long Paon¹³⁵⁰, dénommée la forge Guillaume de Chartres ou encore le moulin Guillaume de Chartres, à laquelle on apporte du fer, des soufflets et d'autres choses nécessaires afin d'y forger le battant de la cloche en 1501¹³⁵¹. Le matériel est cependant rapporté à Rouen en août 1501 et le battant est finalement forgé dans la cour d'Albane de la cathédrale. Bien qu'elle n'ait pas été utilisée, il y a néanmoins ici la preuve de l'existence d'une forge fonctionnant à l'énergie hydraulique, dont on souhaitait utiliser les services ponctuellement pour un besoin précis.

Ces mentions, tardives, ne modifient pas la chronologie de l'introduction du marteau hydraulique en Normandie. Elles montrent pourtant que les forgerons rencontrent parfois des difficultés pour la forge de grosses pièces, mais également que, lorsqu'il est nécessaire, d'autres lieux de transformation du métal sont utilisés afin d'avoir accès à des infrastructures plus lourdes que les petites forges urbaines, notamment le marteau hydraulique. Si tel est le cas au début du XVI^e siècle, des situations identiques ont très probablement dû avoir lieu plus précocement au cours du Moyen Age.

Toutes ces données nous incitent à supposer que l'introduction de l'énergie hydraulique dans la sidérurgie normande est bien antérieure à la fin du XV^e siècle, sans toutefois remettre en question les fondements du modèle de M. Arnoux quant à l'importance du rôle joué par les communautés paysannes. Cette apparition de la forge hydraulique tend à fixer les lieux de productions sur les rivières et non dans les forêts près du combustible et à concentrer la production entre les mains des seigneurs qui ont le pouvoir sur l'eau et les moyens d'investir dans des structures importantes¹³⁵².

Nombreuses sont les hypothèses possibles quant au développement de ces forges hydrauliques, en l'absence de site attesté. Il se peut que l'importance des « baronnies fossières », ces seigneurs possédant non seulement des droits sur des fosses à charbon, mais aussi les droits de forge limités qui y étaient liés, ait mal été apprécié¹³⁵³. Ils constitueraient peut-être ainsi dès le XIII^e siècle une véritable sidérurgie seigneuriale à forte capacité de production malgré un nombre de sites réduits.

¹³⁵⁰ Il s'agit de l'actuelle commune de Darnétal située 5 km à l'est de Rouen, LAPORTE (dom J.) pub., *Dictionnaire topographique du département de Seine-Maritime comprenant les noms de lieux anciens et modernes élaboré au 19^e siècle par Charles de Beaurepaire archiviste de Seine-Inférieure*, 2 tomes, Paris, Bibliothèque Nationale, 1982, p. 570.

¹³⁵¹ PJ n° 15, fol° 71 v°.

¹³⁵² BENOIT (P.), « Le métal en France au XV^e siècle », dans PRIGENT (C.), dir., *Art et société en France au XV^e siècle*, Paris, Maisonneuve et Larose, 1999, p. 503-513.

¹³⁵³ ARNOUX (M.), *Mineurs, férons et maîtres de forge...*, op. cit., 646 p.

III.2.2.3.3 *L'influence du marteau hydraulique pour les chantiers de construction troyens*

Pour la Champagne et la région troyenne, la question de l'emploi du marteau hydraulique se pose en termes bien différents. Cette région est en effet une des premières du royaume de France à connaître le développement de la métallurgie hydraulique avec l'influence des Cisterciens, la première mention attestée d'un marteau hydraulique remontant à 1135 à l'abbaye de Clairvaux située à moins de 80 km à l'est de Troyes (cf. Figure 300)¹³⁵⁴. La grange de Cérilly, qui dépend de l'abbaye de Vauluisant, où les moines blancs construisent avant 1150 des installations en partie dédiées à la sidérurgie, est elle aussi très certainement dès cette époque une forge fonctionnant à l'énergie hydraulique¹³⁵⁵. Dès le tournant des XII^e et XIII^e siècles, à l'époque où commencent les chantiers de reconstruction de nos églises, cette innovation était maîtrisée et était diffusée dans le pays d'Othe et dans l'ensemble de la Champagne (cf. Figure 301), comme dans tout le berceau de l'Ordre, mais également dans une grande partie de l'Europe médiévale¹³⁵⁶.

Les évidences de son utilisation ne sont cependant pas nombreuses. L'impossibilité d'identifier un travail de forge au marteau hydraulique par analyse métallographique en l'état actuel de la recherche a précédemment été évoquée. De plus, comme à Rouen, aucune marque de vaguelettes caractéristiques n'a été découverte sur les diverses barres de fer mises en œuvre dans la structure des églises troyennes. Les hypothèses supposant son utilisation à au moins deux étapes de la chaîne opératoire, à savoir l'épuration et la mise en barres sont donc les mêmes que pour les églises rouennaises : l'importance de la standardisation des formes avec l'introduction sur le marché troyen de quantités de barres de fer de dimensions plus ou moins importantes et l'épuration souvent grossière du produit fini qui indique une épuration et un forgeage rapide. L'intervention du marteau hydraulique dans la chaîne de production « ordinaire » du fer alimentant le chantier des églises troyennes repose donc davantage sur un raisonnement logique que sur des évidences textuelles ou archéologiques.

¹³⁵⁴ VERNA (C.), BENOIT (P.), « La sidérurgie de Clairvaux au Moyen Age », *op. cit.* ; BENOIT (P.), « L'industrie cistercienne... », *op. cit.*

¹³⁵⁵ BENOIT (P.), SPORTES (N.), « Exploitation du fer et droits d'usage : l'exemple de l'abbaye de Pontigny », dans BENOIT (P.), CAILLEAUX (D.), éd., *Moines et métallurgie...*, *op. cit.*, p. 179-191 ; ROUILLARD (J.), « L'eau en champagne du Sud et en Bourgogne du Nord : les abbayes cisterciennes de Pontigny et Vauluisant (Yonne, France) d'après les cartulaires (XII^e-XIV^e siècles) », dans PRESSOUYRE (L.), BENOIT (P.), dir., *L'hydraulique monastique : milieux, réseaux, usages*, Grâne, 1996, p. 363-381 ; ROUILLARD (J.), *L'homme et la rivière...*, *op. cit.*, p. 253.

¹³⁵⁶ BENOIT (P.), « L'industrie cistercienne... », *op. cit.* ; BENOIT (P.), BERTHIER (K.), « L'innovation dans l'exploitation de l'énergie hydraulique... », *op. cit.*

En revanche, son utilisation est attestée dans les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes pour la commande de gros barreaux de fer pour former un chaînage. Le marché est passé le 17 octobre 1410 avec un certain Colin Midon de la grosse forge de Doulevant¹³⁵⁷, sur l'actuelle commune de Doulevant-le-Château en Haute-Marne. Chaque barreau pèse en moyenne près de 75 kg. Les données de C. Verna pour les Pyrénées ariégeoises sont les seules permettant d'établir une comparaison avec les capacités de forge d'une forge hydraulique de la même époque. Selon elle, la forge de la mouline d'Albiès (Pyrénées Atlantiques) est « capable de forger un *merlai*, c'est-à-dire une barre de fer de 2 quintaux soit au moins 84 kg »¹³⁵⁸. La masse des gros barreaux de Doulevant-le-Château est donc bien comparable à la capacité de forge de cette structure de production hydraulique. Tout comme l'affirmait alors C. Verna au sujet de cette importante masse de métal, il est difficile de concevoir qu'elle puisse être forgée à la main. Rappelons que d'après cette appellation de « grosse forge », l'établissement où travaille Colin Midon était vraisemblablement équipé d'un gros marteau permettant la mise en forme de pièces de grandes dimensions. En outre, il fonctionnait peut-être déjà selon le procédé indirect¹³⁵⁹. Enfin, cette commande passée par la fabrique de la cathédrale de Troyes ne concerne pas des barres de fer de dimensions standard, mais des éléments de forme et aux dimensions spécifiques. Il est en effet précisé que Colin Midon doit faire les barreaux *du lont et de la devise et de la facon que li a donnée ledit maistre Thomas*¹³⁶⁰, ce qui explique que la fabrique n'a pu trouver ces pièces directement sur les marchés urbains et a dû directement s'adresser à une forge hydraulique.

La mise en évidence de cette source d'approvisionnement pour le chantier de la cathédrale de Troyes révèle que pour des besoins spécifiques concernant par exemple la forge de pièces qui sortent des dimensions ordinaires ou standardisées, la fabrique ne passe plus par l'intermédiaire du serrurier urbain qui ne pourrait pas forger ces éléments mais fait appel à des forgerons travaillant dans des ateliers de transformation équipés de structures fonctionnant à l'énergie hydraulique.

¹³⁵⁷ PJ n° 40.

¹³⁵⁸ VERNA (C.), *Le temps des moulines...*, op. cit., p. 76.

¹³⁵⁹ Le procédé indirect n'est attesté pour Doulevant qu'à partir de 1448, mais l'appellation de « grosse forge » pourrait correspondre à cette filière, ALVES (G.), ANDRE (L.), BERTRAND (P.), CHEVILLOT (C.), ISNARD (I.), PERCHET (D.), PHILIPPE (M.), ROBERT-DEHAULT (E.), VERNA (C.), *La métallurgie de la Haute-Marne...*, op. cit., p. 30.

¹³⁶⁰ PJ n° 40.

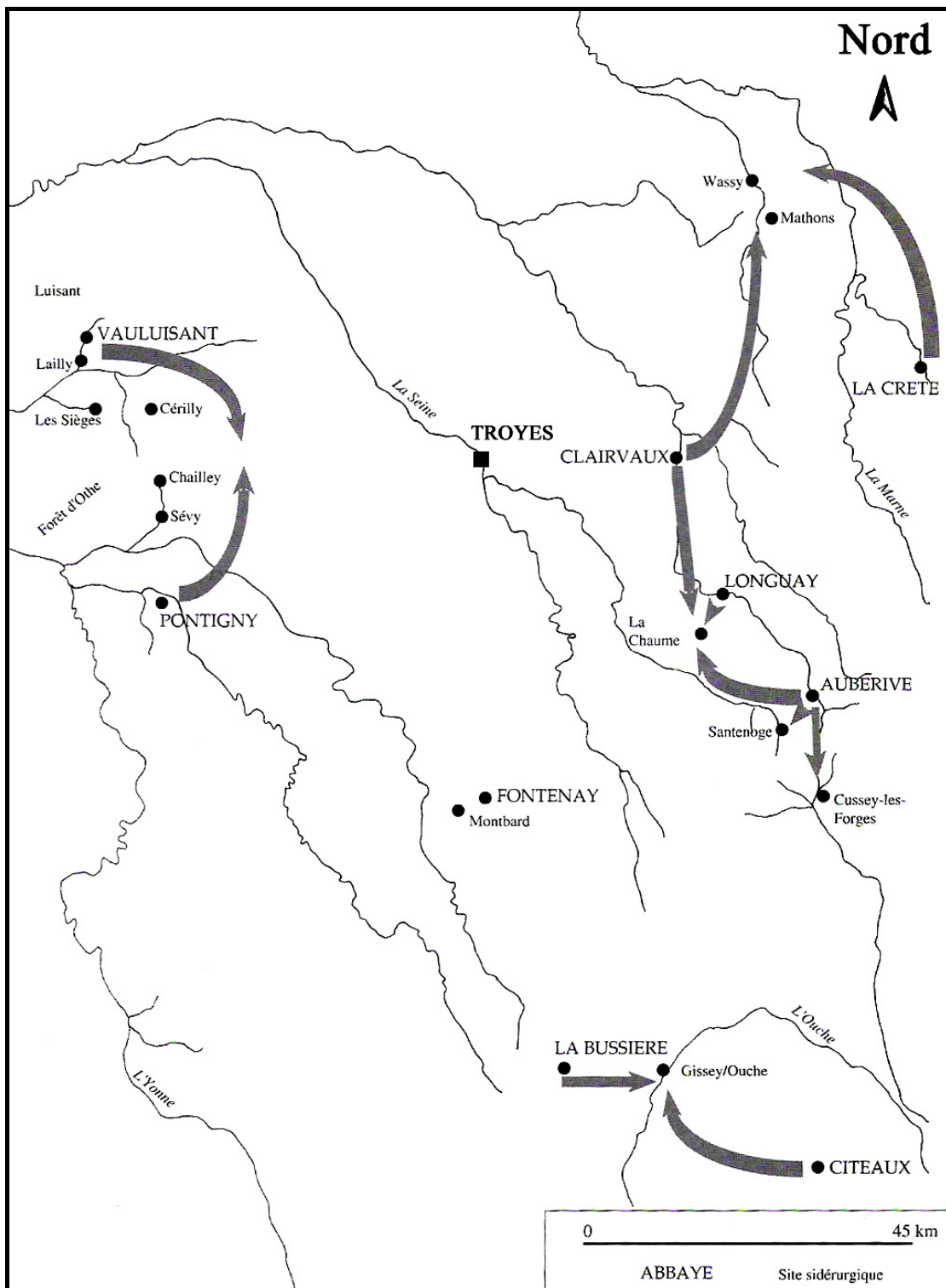


Figure 300 : Les bassins sidérurgiques cisterciens en Champagne méridionale et en Bourgogne du Nord, XII^e – début XIV^e siècle, d'après C. Verna¹³⁶¹.

¹³⁶¹ VERNA (C.), *Les mines et les forges des Cisterciens...*, op. cit., p. 17.

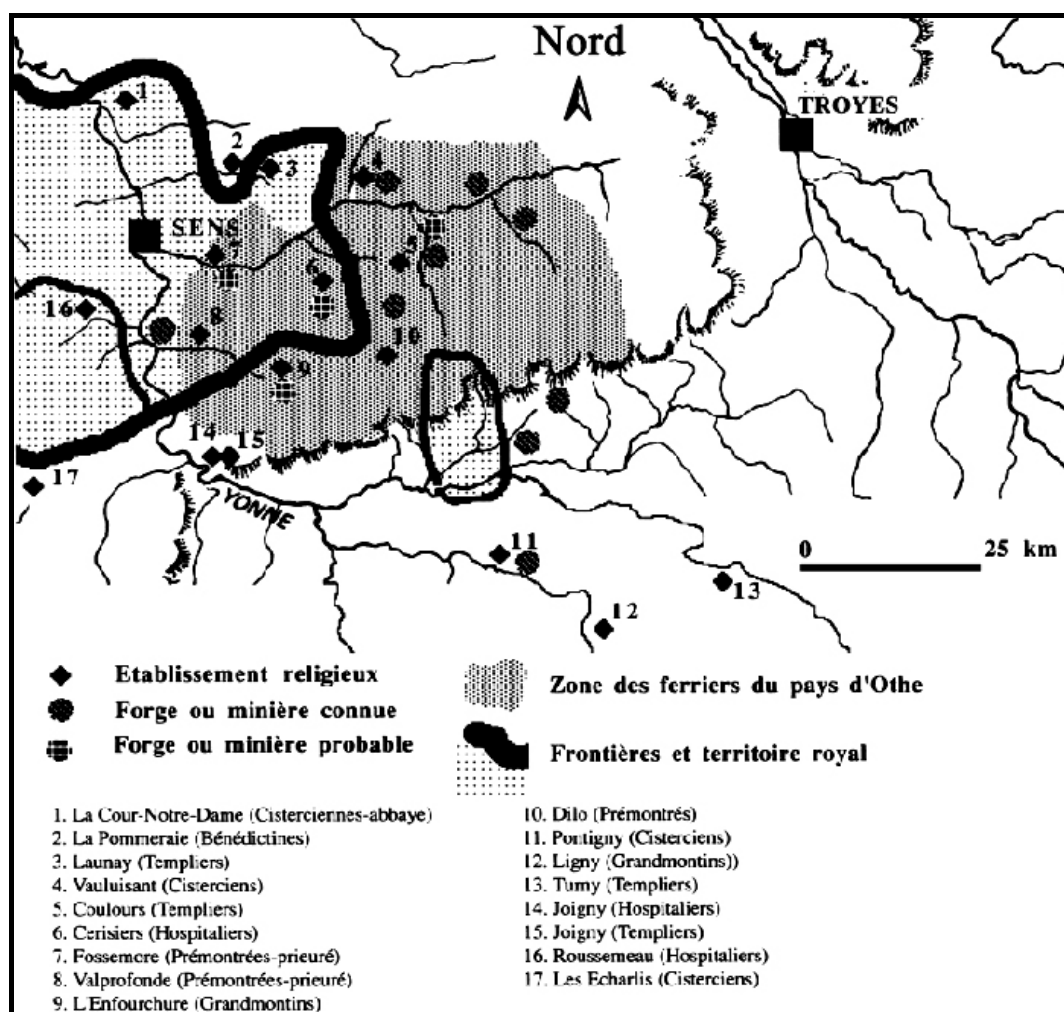


Figure 301 : Principaux établissements religieux et sidérurgiques en pays d'Othe, XIII^e-XV^e siècles, d'après D. Cailleaux¹³⁶².

Cette mention de la « grosse forge de Doulevant » pose néanmoins une seconde question, relative à l'assez grande distance qui sépare la ville de Troyes de celle de Doulevant-le-Château, environ 75 km¹³⁶³. On peut légitimement s'interroger sur la raison qui a poussé la fabrique à commander ces barres à une forge aussi lointaine. La « grosse forge » de Doulevant était-elle la forge hydraulique de la région la plus proche de Troyes ? C'est invraisemblable. L'achat de barreaux au forgeron de Maraye-en-Othe, village situé à environ

¹³⁶² CAILLEAUX (D.), « Les religieux et le travail du fer... », *op. cit.*

¹³⁶³ La même question avait été soulevée pour la production de l'abbaye du Reclus. Cependant, le grand nombre de mentions de « fers du Reclus » semblait bien indiquer que la ville de Troyes a constitué pendant plus d'un siècle un débouché habituel pour cette production, ce qui n'est pas nécessairement le cas pour la production de la « grosse forge de Doulevant ».

25 km au sud-est de Troyes, suppose déjà bien la présence d'une forge hydraulique bien plus proche de la cathédrale. De plus, l'étude de J. Rouillard sur les aménagements hydrauliques du bassin de la Vanne, rivière affluente de l'Yonne, a montré l'existence de nombreuses forges hydrauliques dès les XII^e et XIII^e siècles dans cette même région du pays d'Othe, dont l'implantation se replace dans le cadre d'une métallurgie développée dès le XII^e siècle par les moines blancs, puis par des investisseurs laïcs à partir du XIII^e siècle¹³⁶⁴. Outre la grange de Cérilly, dépendant de l'abbaye cistercienne de Vauluisant et dont l'activité est attestée entre le XII^e et le XIV^e siècle, elle mentionne une forge hydraulique sur le finage de Cosdon, dont l'installation est antérieure au dernier quart du XIII^e siècle¹³⁶⁵. Les troubles que connaît la région au tournant des XIV^e et XV^e siècles changent la distribution de ces petites installations. A cette période, il semble que ces forges précédemment citées n'aient pas toutes perduré à la crise du début du XV^e siècle¹³⁶⁶.

Malgré l'éloignement de la forge de Doulevant, aucun coût de transport n'est toutefois facturé par le forgeron puisque le prix de la livre de fer ouvrée appliqué pour les gros barreaux est de 7 d. t., ce qui est également le prix pratiqué par les serruriers locaux. Il est de plus clairement mentionné que Colin Midon doit *amener et rendre à l'église à ses propres cous et despens* les quatre barreaux de fer qu'il aura forgés¹³⁶⁷. Les coûts de transports pour des matériaux pondéreux de ce type étaient très élevés. Le phénomène est bien connu du chapitre de la cathédrale de Troyes, puisqu'à la même époque, il fait venir les pierres servant à la construction de l'édifice de carrières de pierre de Tonnerre situées à une soixantaine de kilomètres au sud de Troyes. Pour la pierre, le prix de *l'aménage* en chariots dépasse de loin celui du forestage en carrière¹³⁶⁸. Il n'était donc pas dans l'intérêt du forgeron d'avoir à sa charge le coût du transport pour une aussi longue distance. Néanmoins, si le forgeron a accepté le marché, c'est qu'il devait y trouver son compte.

Les deux points soulevés ci-dessus, à savoir qu'en ce début de XV^e siècle, bon nombre de petites forges hydrauliques périclitent et que Colin Midon n'avait pas les conditions les plus avantageuses dans le marché passé avec la fabrique de la cathédrale de Troyes ne rentrent pas nécessairement en opposition. Si les forges hydrauliques sont peut-être moins nombreuses en ce début de XV^e siècle, c'est car les conditions économiques et politiques sont plus difficiles et que le travail manque. Les plus grosses forges qui ont pu se maintenir devaient

¹³⁶⁴ ROUILLARD (J.), *L'homme et la rivière...*, op. cit., p. 253-257.

¹³⁶⁵ ID., *Ibid.*, p. 253-255 ; BRAUNSTEIN (Ph.), « Les forges champenoises... », op. cit.

¹³⁶⁶ ROUILLARD (J.), *L'homme et la rivière...*, op. cit., p. 596.

¹³⁶⁷ PJ n° 40.

¹³⁶⁸ ROMS (C.), *La pierre de Tonnerre...*, op. cit., p. 77.

probablement effectuer des opérations économiques parfois agressives pour vendre leur production et tenter gagner des marchés car leur exploitation était elle aussi en difficulté, comme celle de Cosdon¹³⁶⁹.

Cette tentative de prise de marché n'a visiblement pas été fructueuse puisque par la suite, on ne retrouve plus trace de Colin Midon ou de cette forge de Doulevant dans les comptes de la fabrique, bien qu'elle semble avoir encore perduré longtemps¹³⁷⁰. Ce n'est d'ailleurs pas lui qui fournit les deux derniers barreaux achetés en 1412 mais bien Berthelin, le fèvre de Maraye-en-Othe¹³⁷¹, qui avait sans doute également les installations hydrauliques adéquates pour produire et forger de grosses barres de fer. Colin Midon avait-il fait du mauvais travail à tel point que la fabrique n'a pas voulu à nouveau faire appel à ses services ? Les barreaux qu'il avait fournis comportaient effectivement quelques « fautes » qu'il avait fait réparer à ses propres dépens¹³⁷² ; l'incident semblait pourtant assez mineur. Ou au contraire Colin s'est-il aperçu que ce type de marché n'était pas rentable et c'est lui qui n'a pas souhaité renouveler une telle opération au même prix ? Les barreaux fournis par Berthelin de Maraye, malgré un coût à la livre légèrement supérieur¹³⁷³, présentaient également des défauts de forge puisqu'ils *n'ont pas été bien sodé* et ont du être reforgés par d'autres serruriers avec un rajout de fer¹³⁷⁴. Ce terme de soudure évoque bien le fait que ces barreaux ont été réalisés à partir de la réunion de plusieurs loupes ou barres de fer de plus petite taille. On en ignore malheureusement le nombre. En ce début de XV^e siècle, le procédé indirect est déjà présent dans la région champenoise et il n'est pas impossible que ces barreaux aient été forgés à partir de loupes de fer de taille plus importante que celles issues de bas fourneaux.

Cet exemple est donc à la fois évocateur d'une utilisation du marteau hydraulique pour l'obtention de produits spécifiques, des gros barreaux de fer, ainsi que de la difficulté que pouvaient rencontrer les forgerons de l'époque pour réaliser de telles pièces, malgré l'utilisation des structures hydrauliques adéquates.

¹³⁶⁹ VERNA (C.), « Les cisterciens auteurs et témoins du renouveau sidérurgique », dans *La métallurgie de la Haute-Marne...*, *op. cit.*, p. 17-21 ; ROUILLARD (J.), *L'homme et la rivière...*, *op. cit.*, p. 255.

¹³⁷⁰ Elles existaient encore au XIX^e siècle, ROUSSEL (abbé Ch.), *Département de la Haute-Marne...*, *op. cit.*, p. 520.

¹³⁷¹ PJ n° 42, fol. 19 r°.

¹³⁷² PJ n° 40 fol. 171 r°.

¹³⁷³ A 16 s. 8 d. t. la livre soit environ 7,4 d. t.

¹³⁷⁴ PJ n° 42, fol. 19 r°-19 v°.

III.2.2.3.4 Synthèse

Les constatations apportées, d'une part par l'archéologie expérimentale sur la difficulté de produire des pièces de grandes dimensions à la seule force humaine et d'autre part relatives à l'utilisation d'une grande quantité de tirants de grande longueur et d'assez forte section dans les églises gothiques rouennaises et troyennes dès le XIII^e siècle, ne laissent que peu de doutes sur le rôle important joué par le marteau hydraulique dans la production du fer pour leurs chantiers de construction. Phénomène toutefois constant, il semble bien que malgré l'introduction du marteau hydraulique, la forge de pièces de très grosses dimensions reste un travail difficile avec un risque important de défaut de forge.

En outre, malgré des chronologies supposées différentes dans l'adoption du martinet, la situation semble assez identique en Normandie et en Champagne lorsque l'on s'intéresse aux produits retrouvés dans la structure des édifices étudiés. Même si l'on ne peut exclure l'hypothèse que ces tirants de fer soient issus d'une production extra-régionale, il semble cependant plus vraisemblable que ces arguments plaident au contraire pour une diffusion bien plus précoce des structures hydrauliques en Normandie. Les fouilles archéologiques de structures sidérurgiques médiévales actuellement en cours dans le pays de Bray permettront peut-être de découvrir de telles structures.

III.2.3 Le travail de forge : produits, structures et acteurs

Le fer destiné aux chantiers de construction arrive donc en ville sur les marchés sous forme de produits semi-finis. Les ultimes étapes de sa mise en forme sont réalisées par un forgeron urbain avant qu'il ne soit finalement mis en œuvre par les ouvriers dans la structure de l'édifice. Qui sont ces forgerons qui contrôlent les dernières étapes de la mise en forme ? Comment travaillent-ils ces barres ? Quelle est la qualité du produit fini ? Existe-t-il des produits de qualités différentes ? Quelles sont leurs conséquences sur la résistance de ces différents éléments de fer dont certains seront amenés à avoir un véritable rôle architectural ?

III.2.3.1 Serruriers et maréchaux urbains

Les fabriques des cathédrales de Troyes et de Rouen pour lesquelles les archives comptables sont les mieux conservées fonctionnent de manière relativement identique en ce qui concerne les dépenses de serrurerie¹³⁷⁵ : le receveur s'accorde le plus souvent les services d'un forgeron urbain qui est rémunéré à la livre de fer ouvrée. Ce dernier perçoit parfois un salaire supplémentaire semestriel ou annuel pour d'autres tâches, comme en particulier celle de la « gouvernance » de l'horloge et parfois des cloches, travaux qui n'entrent toutefois pas dans la catégorie des fers de construction¹³⁷⁶. Au cours d'une période donnée, la fabrique semble dans la mesure du possible le plus souvent faire appel au même forgeron et parfois même à la même famille de forgerons à travers plusieurs générations. On retrouve ainsi à la cathédrale de Rouen, les Hurepy, dits Castille sur plus de 40 ans à la fin du XV^e siècle, Laurent succédant à Jean au début des années 1490. Jacquinet L'Avocat apparaît quant à lui pour la première fois sur le chantier de la cathédrale de Troyes en 1431 et son fils Perrin qui semble le remplacer au milieu des années 1460 y œuvre jusqu'en 1495, soit au total près de 65 ans. Parfois, à défaut de membres d'une même famille travaillant dans le même corps de métier, c'est le compagnon qui semble reprendre l'atelier du maître forgeron, comme le

¹³⁷⁵ Cette situation semble également similaire pour les autres églises étudiées bien que les données des comptes soient plus sporadiques.

¹³⁷⁶ *A L'Avocat sarrurier pour avoir gouverné l'orologie de ceste eglise, par l'espace de XV mois, et y faire ce qui est necessaire, et doit avoir pour chacun mois VI s. VIII d. t., valent lesdits XV mois C s. t.*, Arch. dép. Aube, G 1569, fol. 429 v^o.

serrurier Richard, qui apparaît dans les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes comme compagnon de Jacquemard, maître forgeron qui y œuvrait depuis 1336, puis comme serrurier en titre à partir de 1375¹³⁷⁷. A l’opposé de ces longévités extrêmes, d’autres forgerons ne travaillent pas de manière régulière avec la fabrique, certains n’apparaissant même qu’une unique fois dans les comptes. En général, les fabriques de nos deux cathédrales ne semblent s’attacher les services que d’un ou deux forgerons réguliers à la fois, mais ces forgerons travaillent parfois pour les chantiers de plusieurs églises en même temps. C’est notamment le cas de ce même Richard qui, à la fin du XIV^e siècle, œuvre essentiellement à la cathédrale mais qui apparaît également à quatre reprises dans les comptes de l’église Saint-Urbain. C’est également le cas de Pierre de Villemaur entre 1412 et 1429. Enfin, au XVI^e siècle, Pierre Vinot et Jean de France qui travaillent tous deux régulièrement pour le chantier de l’église Saint-Jean-au-Marché fournissent aussi parfois en fer la fabrique de l’église Sainte-Madeleine. Ces forgerons ou *faber*, dont la plupart portent le qualificatif de serrurier et plus rarement celui de maréchal¹³⁷⁸, habitent en général dans la ville où ils travaillent, Rouen ou Troyes, malgré leurs patronymes qui indiquent une origine régionale ou extra-régionale. Le serrurier Jean Bon Bœuf par exemple, qui œuvre à la cathédrale de Troyes au moins entre 1409 et 1422, semble demeurer dans une maison jouxtant la cathédrale, puisqu’elle est souvent prise comme point de repère par le receveur pour situer les ouvrages réalisés sur la cathédrale¹³⁷⁹. Où qu’ils soient dans la ville, ces serruriers ou maréchaux n’ont pas, dans leurs ateliers urbains, les structures nécessaires pour produire eux-mêmes le fer qu’ils travaillent. Ils travaillent donc du fer en général sous forme de barres, acheté à des marchands ou merciers ou directement à des producteurs venant écouler leur marchandise en ville¹³⁸⁰. Les analyses métallographiques réalisées sur les soixante-quatorze échantillons prélevés dans les églises troyennes et rouennaises donnent une lecture directe d’une partie des opérations qu’il a pu effectuer.

¹³⁷⁷ PJ n° 23, fol. 9 r° ; Bibl. nat., ms. lat. 9112, fol. 45 r°.

¹³⁷⁸ La dichotomie entre serruriers et maréchaux n’apparaît pas clairement dans les comptes de la cathédrale de Rouen, chacun pouvant effectuer à son tour l’intégralité des travaux de forge, même s’il semble que les maréchaux sont plus souvent affectés à la réparation et fourniture des outils et les serruriers aux autres travaux. Cependant certains comme Martin le Bourd au début du XVI^e siècle sont alternativement appelés serrurier et maréchal, montrant une certaine perméabilité entre les deux corps de métier.

¹³⁷⁹ [...] *es moyennes alees de dessusz la maison Bon Buef*, Arch. dép. Aube, G 1561, fol. 66 v°.

¹³⁸⁰ BRAUNSTEIN (Ph.), « Les forges champenoises... », *op. cit.*

III.2.3.2 Le travail du serrurier urbain

Pour les objets les plus simples, agrafes et petites barres de fer, le travail requis semble assez minime. Pour les agrafes, il lui suffit dans bien des cas de couper une petite barre de fer aux dimensions et de recourber ses extrémités à chaud. Il lui faut parfois également creuser des barbelures dans les pattes de l'agrafe pour favoriser son scellement dans le plomb ou le mortier. Elles sont réalisées à chaud, probablement au moyen d'un outil tranchant à percussion posée. La diversité des formes observées sur les édifices pour ces petites pièces de fer, tant agrafes que goujons, semble montrer qu'il n'existait en général pas de standardisation. Les quatre goujons provenant du triforium de la nef de la cathédrale de Rouen présentent tous des sections et des longueurs différentes. Les agrafes, même posées en série à un même endroit de la structure (balustrade, sol d'une coursive...) ont des dimensions parfois très variables. C'est sur les balustrades à meneaux que les variations les moins importantes sont observées, mais c'est ici plutôt l'emplacement qui dicte la forme, puisque la longueur maximale des agrafes qui y sont posées ne peut nécessairement excéder l'intervalle entre deux meneaux. Dans ce cas, malgré une certaine homogénéité, on ne peut donc pas véritablement parler de standardisation. La dimension de certaines agrafes au sol peut en revanche varier du simple ou double. Les sections varient peu quant à elles, ce qui fait remonter une éventuelle standardisation plus en amont dans la chaîne opératoire avec la fabrication, dans les ateliers de production, de barres de fer de section normée.

Mais le serrurier urbain livre également des pièces de plus grosses dimensions, notamment les grosses barlotières-tirants des vitraux. Malgré leurs dimensions, plusieurs mètres de long et une section moyenne de 10 cm², ces barres ne font jamais l'objet d'une mention spécifique en ce qui concerne leur forge et elles sont payées au serrurier au même prix que les autres éléments de fer. On peut donc logiquement en conclure que ces barres n'ont pas été forgées par le serrurier urbain, qui n'a par ailleurs en général pas les structures adéquates pour travailler des pièces de cette taille¹³⁸¹. Ceci semble se vérifier pour les baies hautes du transept oriental de la cathédrale de Troyes qui sont refaites au début du XVI^e siècle. La fabrique achète pour forger les dix-huit barreaux et les goujons, *XII^C IIII^{XX} V livres et demye fer en trente bandes de fer*¹³⁸², soit des barres de 21 kg en moyenne environ.

¹³⁸¹ L'hypothèse selon laquelle les tirants de l'église Saint-Ouen ont été forgés dans un atelier urbain qui ne disposant pas des structures adéquates, expliquant ainsi leur mauvaise façon, semble donc peut-être la plus adéquate.

¹³⁸² PJ n° 73.

L'estimation réalisée sur la masse des tirants actuels de ces baies les porte à environ 25 kg ; elle comporte toutefois une part d'approximation. De plus, ces trente bandes de fer qu'acquiert la fabrique n'étaient certainement pas toutes de dimensions identiques, certaines étant ainsi légèrement plus lourdes de la moyenne¹³⁸³. Il est donc fort probable que chacun de ces dix-huit tirants a pu être forgé à partir d'une seule grosse bande de fer. Les plus petites bandes auront quant à elles été utilisées pour la forge des goujons. Sur les grosses barres, le travail du serrurier s'est probablement limité à l'éventuel repli de leurs extrémités pour les ancrer dans la pierre et à l'adjonction de tenons à intervalles réguliers tout le long de la barre, nécessitant donc la forge préalable de ces tenons et le percement de trous dans les grosses barres pour les y insérer. Si les barlotières et les grosses barres semblent bien faire l'objet d'une certaine standardisation dans leurs sections, les tenons, œuvres du serrurier urbain arborent en revanche des formes très différentes dans les rares cas où ils ne datent pas de la dernière repose d'après guerre.

Dans les comptes étudiés, on trouve néanmoins deux exemples de fers à vitraux payés plus cher que le prix moyen de l'époque. Ces mentions sont contemporaines et concernent la vitrerie des baies hautes du transept de la cathédrale de Troyes. En 1375-1376, le serrurier Richart fait l'armature de fer de la rose nord, dont *le dit ouvrage est plus deliez que li autres des dictes forme*¹³⁸⁴. Le travail du serrurier est donc mieux rémunéré à 28 s. t. la livre de fer ouvrée contre les 25 s. t. habituels de la période. Cinq ans plus tard, Thomas Grosse Teste, le nouveau serrurier oeuvrant pour le chantier est également payé au prix de 28 s. t. la livre pour *XXI rodel et XVI quarrez* également mis en œuvre dans les verrières¹³⁸⁵. Le travail de soudure nécessaire à l'obtention de ces formes de pièces pourrait être la cause de ce coût légèrement supérieur.

Ces ouvrages ne sont cependant pas caractéristiques de l'ensemble du savoir-faire du serrurier qui fournissait également la fabrique en pièces beaucoup plus fines, clefs, serrures et parfois éléments d'horlogerie. Ce travail méticuleux a certes du mal à être apprécié sur une simple agrafe. En attestent en revanche, les quelques éléments qui font l'objet d'un travail de forge un peu plus poussé, comme les attaches de statue. Elles sont forgées à partir d'une barre de fer repliée sur elle-même afin de former un œil. Alors que sur certaines de ces attaches, identifiées comme issues de restaurations postérieures d'après leur forme, les branches

¹³⁸³ Tout comme d'autres plus légères.

¹³⁸⁴ PJ n° 23, fol. 9 r°.

¹³⁸⁵ PJ n° 26, fol. 52 r°. Précisons que ces *rodels* et *quarrez* sont faits de fer d'Espagne. Ce matériau particulier n'est toutefois pas la cause du prix plus important. En effet, la mention suivante fait également état de la mise en œuvre de fer d'Espagne pour des vitraux au prix de 25 s. t.

repliées ne font même pas contact, il y a bien soudure sur les six échantillons analysés pour les XIV^e et XV^e siècles. L'observation micrographique a de plus montré que ces soudures sont parfaitement effectuées pour les échantillons de la fin du XIV^e siècle et d'assez bonne qualité pour les échantillons de la fin du XV^e siècle. Le fait qu'il y ait ou non soudure n'est *a priori* pas capital pour ces objets, puisque tous nous sont indifféremment parvenus en place. Le soin apporté à leur réalisation de ces soudures peut donc ainsi s'expliquer par le désir et surtout l'attente d'un travail bien fait, notamment car le serrurier urbain n'est pas payé pour son rendement mais pour la qualité du travail fourni. Il n'est néanmoins pas possible de savoir si ces attaches ont été payées au prix habituel de la livre de fer ouvrée de l'époque, puisque la seule mention où elles apparaissent de manière totalement explicite en 1420-1421 correspond à l'année suivant le début de l'occupation anglaise qui est marquée par une très forte instabilité monétaire. Tous les prix variant constamment pendant cette période, il est impossible de savoir ce que la somme de 2 s. 11 d. t. représente réellement pour une livre de fer ouvrée¹³⁸⁶.

La simple étude de ces attaches permet de rendre compte de manière très nette de la dualité du travail de forge et caractérise deux opérations radicalement différentes : la fabrication d'une barre de fer hétérogène et remplie d'inclusions dans un établissement produisant des bandes de fer en quantités, puis la soudure méticuleuse bien que probablement inutile effectuée par le serrurier urbain. Malgré la qualité « standard » du matériau qu'il travaille, il ne faut donc pas se méprendre sur la qualité de l'ouvrage du serrurier qui semble à l'opposé de la production de masse.

La fabrique ne manque d'ailleurs pas de sanctionner les forgerons qui livrent des objets qu'elle considère comme mal forgés car ils se brisent rapidement. Ces sanctions vont d'un simple défaut de paiement pour Berthelin de Maraye qui voit son salaire diminué par le procureur de la fabrique de la cathédrale de Troyes de plus de 25 % pour des soudures mal effectuées¹³⁸⁷, à une traduction en justice à Rouen en 1502 pour Colin Lambert *qui avoit fait le batail de la dicte cloche [Georges d'Amboise] lequel estoit rompu pour ce qu'il n'estoit point de bon fer*¹³⁸⁸. Notons toutefois à la lueur des données actuelles, qu'il est plus probable que la plupart du temps, ces défauts qui entraînent la ruine prématurée de l'objet en fer soient davantage liés à la médiocre qualité du matériau confié au serrurier qu'à son travail de forge. Ces mentions sont néanmoins plutôt rares dans les comptes étudiés.

¹³⁸⁶ LARDIN (Ph.), « La crise monétaire de 1420-1422... », *op. cit.*

¹³⁸⁷ PJ n° 42, fol. 19 r°. Berthelin n'est pas un serrurier urbain, mais est probablement traité comme tel car c'est lui qui contrôle ici l'ultime étape de mise en forme de ces gros barreaux.

¹³⁸⁸ PJ n° 15, fol. 69 r°.

En revanche, il n'est pas dans l'intérêt du serrurier de faire brûler trop de fer lors du travail de forge car la perte au feu est également déduite de son salaire lorsque la fabrique qui lui fournit le fer¹³⁸⁹. Cette perte due aux *dechets et rougneures* est de l'ordre de quelques pourcents pour les ouvrages les plus gros, comme ces deux grilles de fer forgées pour le trésor de la cathédrale de Troyes par le serrurier Ayoul Lange en 1519-1520 pour lesquelles le déchet n'atteint que 4 livres sur les 295 confiées au serrurier par la fabrique, plus un *reste en petis lopins de fer* de 49 livres¹³⁹⁰. En revanche, pour les plus petites pièces, la perte peut atteindre de 10 % à près d'un quart de la masse de la matière initiale (cf. Tableau 131). La même année, Ayoul forge également 91 chevilles pour la ferrure d'une grue pour le chantier de la cathédrale de Troyes. La perte atteint alors 50 livres sur un total de 377 livres et est expliquée par le procureur par le fait que *toutes les chevilles dessus dites sont à testes et toutes rondes et persees pour mectre haisses et rondelles par quoy le dechect en est plus grant*¹³⁹¹.

Année	Eglise	Ouvrage	Masse de fer forgée	Perte due au déchet	Pourcentage
1460-1461	Cathédrale de Rouen	Touroullière, bandes et potence de fer	107,75 l.	4 l.	3,7 %
1467-1468	Cathédrale de Rouen	Cloches et autres besognes	17 l. 9 d. t.	3 s. 4 d. t.	1,0 %
1504-1505	Cathédrale de Troyes	18 barlotières-tirants et goujons	1285 l.	126 l.	9,8 %
1512-1513	Cathédrale de Troyes	4 gonds	70 l.	17 l.	24,3 %
1519-1520	Cathédrale de Troyes	Ferrage d'une grue, 91 chevilles, 18 liens	377 l.	50 l.	13,3 %
1519-1520	Cathédrale de Troyes	2 grilles	295 l. - 49 l.	4 l.	1,6 %

Tableau 131 : Part des déchets de forge suivant différents ouvrages réalisés pour les cathédrales de Rouen et de Troyes¹³⁹².

L'ensemble de ces considérations sur le travail de forge du serrurier ou maréchal urbain montre donc que son savoir-faire n'est que fort peu mis à contribution pour la forge

¹³⁸⁹ Cette perte au feu n'est jamais évoquée lorsque le forgeron a acheté lui-même son fer, mais on peut se douter qu'il en subit les conséquences dans les mêmes circonstances.

¹³⁹⁰ PJ n° 76, fol. 188 v°.

¹³⁹¹ PJ n° 76, fol. 187 v°-188 r°.

¹³⁹² D'après Arch. dép. Seine-Maritime, G 2494, fol. 130 v° ; G 2503, fol. 71 r° ; Arch. dép. Aube, G 1582, fol. 134 r° ; PJ n° 73 ; PJ n° 76, fol. 187 v°-188 v°.

des fers de construction qui ne requièrent ni cémentation, ni trempe, ni aucun traitement particulier à l'exception peut-être de ces soudures observées sur les attaches de statue. La qualité de leur travail s'exprime plus probablement dans l'ensemble des pièces de petite serrurerie et éventuellement d'horlogerie qu'ils réalisent en parallèle pour l'entretien de l'édifice, ainsi que dans la forge et la réparation des outils lorsqu'ils sont à leur charge¹³⁹³. Pour ces derniers objets, contrairement aux fers de construction, le prix parfois élevé du salaire du forgeron est davantage lié au travail réalisé qu'aux quantités mises en œuvre.

III.2.3.3 Nature et « qualité » du produit fini

La qualité du produit fini utilisé dans le bâti découle des traitements qu'il a reçus au cours des différentes étapes de la chaîne opératoire. Il a déjà été évoqué qu'aucun soin n'était véritablement accordé à leur élaboration sous forme de produits semi-finis au cours de la post-réduction et que le forgeron contrôlant les dernières étapes du travail de forge n'avait qu'à se contenter d'une simple mise en forme rapidement effectuée, sans aucun traitement thermochimique spécifique. Les résultats des analyses métallographiques permettent de dresser un bilan plus précis de la nature et de la qualité de ces fers de construction¹³⁹⁴. Ils se caractérisent par une extrême hétérogénéité. Leur structure métallographique n'étant en outre pas sans conséquence sur leurs propriétés mécaniques, les résultats posent de plus la question de la capacité de ces fers à remplir leurs fonctions architectoniques dans le bâtiment. Car ne l'oublions pas, si certains n'avaient qu'un rôle marginal dans la stabilité de l'édifice, d'autres tenaient vraisemblablement une place importante dans la consolidation de la structure.

III.2.3.3.1 Un matériau rempli d'inclusions

La présence d'inclusions dans la matrice métallique est une des caractéristiques des procédés anciens d'élaboration du fer avant l'introduction de l'affinage en phase liquide, avec les procédés Bessemer et Thomas dans la deuxième moitié du XIX^e siècle. Elles sont de dimensions micrométriques à millimétriques et proviennent pour la plupart de la phase de

¹³⁹³ Les réparations des outils sont à la charge du serrurier ou maréchal urbain sur le chantier de la cathédrale de Rouen, mais pas de manière systématique pour le chantier de la cathédrale de Troyes.

¹³⁹⁴ Dans le terme « qualité » il ne faut entendre aucun jugement de valeur. Il faut plutôt entendre ici « type de structure métallographique ».

réduction en bas fourneau ou de la phase d'affinage suivant la filière de réduction concernée, mais elles peuvent également résulter d'ajouts lors du forgeage¹³⁹⁵. La présence de nombreuses inclusions dans la matrice de ces produits finis est bien la conséquence d'un manque de soin dans le cinglage de la loupe. Les mêmes constatations ont pu être faites pour les fers de construction de la cathédrale de Beauvais¹³⁹⁶, du donjon du Château de Vincennes¹³⁹⁷ ainsi que pour une grande partie des fers du Palais des Papes d'Avignon¹³⁹⁸. Seuls quelques échantillons de la galerie du grand promenoir du Palais des Papes ont montré une propreté inclusionnaire excellente traduisant un travail d'épuration bien plus poussé¹³⁹⁹.

Ces inclusions sont visibles à l'œil nu sur la quasi-totalité des sections étudiées. Toutes n'ont toutefois pas une propreté inclusionnaire équivalente. Une adaptation de la norme AFNOR A04-106 a été réalisée afin de tenter de décrire cette propreté plus précisément qu'avec de simples commentaires subjectifs¹⁴⁰⁰. La plupart, si ce n'est la quasi-totalité des objets analysés en métallographie ont une propreté inclusionnaire que l'on peut qualifier dans l'ensemble de plutôt mauvaise : sur la cinquantaine de sections longitudinales analysées, une seule a une propreté inférieure à 1*, correspondant à une absence d'inclusions millimétriques, et près de 60 % ont une propreté supérieure à 3*, la moyenne sur l'ensemble des objets étant de 3,1* (cf. Tableau 132). En termes de pourcentage de porosité, aucun objet n'est inférieur à 5 % et les rares spécimens analysés ayant une propreté proche de 5*, correspondant à des inclusions centimétriques, peuvent même atteindre les 15 % de porosité. Les causes d'une telle abondance d'inclusions dans la matrice de ces objets sont la preuve d'un cinglage insuffisant lors de l'épuration de la loupe et du forgeage. Elles constituent autant de points faibles dans la structure du matériau, d'où une moindre résistance, et sont une première preuve indiquant qu'aucun soin particulier n'était en général accordé à la réalisation de ces objets.

La propreté inclusionnaire de ces fers de construction est en outre bien plus mauvaise que celle d'objets de la vie quotidienne ou encore certains outils. Un corpus de neuf objets comptant une pointe de ciseau, deux pointerolles de mineurs et six fers à cheval provenant

¹³⁹⁵ DILLMANN, (Ph.), ARANDA (R.), L'HERITIER, (M.), FLUZIN, (Ph.), « Forging of iron-steel artefacts... », *op. cit.* ; DILLMANN (Ph.), L'HERITIER (M.), « Tracing supply and smelting processes... », *op. cit.*

¹³⁹⁶ ROBIN (R.), TERNON (E.), *Etude mécanique d'éléments métalliques...*, *op. cit.*

¹³⁹⁷ JUHIN (A.), *Structure métallographique et comportement mécanique...*, *op. cit.*, p. 32.

¹³⁹⁸ DILLMANN (Ph.), BERNARDI (Ph.), « Premiers résultats métallographiques... », *op. cit.*

¹³⁹⁹ ID., *Ibid.*

¹⁴⁰⁰ Voir le chapitre sur les méthodes développées en métallographie.

d'études métallographiques antérieures a été repris pour servir de comparaison¹⁴⁰¹. Pour ces neuf objets l'indice de propreté varie entre 1,2* et 3,6* avec une moyenne de 2,1* (cf. Tableau 133). Malgré une première approche qui avait qualifié la propreté inclusionnaire des fers à cheval de « médiocre à très mauvaise »¹⁴⁰², il apparaît qu'ils contiennent des inclusions de plus petites dimensions et en moins grand nombre que les fers de construction. Par comparaison, elle est en réalité assez bonne. Outre le fait de confirmer la médiocre propreté inclusionnaire des fers de constructions rouennais et troyens, cet exemple montre également qu'il est bien possible d'établir des échelles de comparaison entre des objets de natures différentes par l'intermédiaire de cette norme, ce que les descriptions subjectives ne permettaient pas.

Les différences de propretés entre les sections étudiées ne semblent pas être liées à la nature des objets dont elles sont issues. Les différents types d'objets, goujons, agrafes, barres, attaches de statues ou autres chevilles, se répartissent assez équitablement sur l'ensemble des indices (cf. Figure 303). Seules les quelques barres de fer analysées ont une propreté plus mauvaise que la moyenne avec une moyenne de 4*. Il faut peut-être y voir la marque d'une plus mauvaise propreté inclusionnaire pour les fers de sections un peu plus importantes. Le faible nombre d'échantillons de barres étudiés est toutefois possiblement responsable de cette anomalie de distribution. Ajoutons que les quatre esquilles de tirants analysées, OUEEN 1a, OUEEN 11a, TROY 06a et TROY 07a, si elles n'ont pas pu faire l'objet d'une étude précise et chiffrée de leur propreté puisqu'il ne s'agit pas de sections longitudinales, présentaient néanmoins de nombreuses inclusions en coupe interdisant un indice inférieur à 1*. Malgré l'absence de données chiffrées, il est toutefois évident que ces barres et tirants, dont le rôle architectonique est *de facto* plus important que celui d'une simple agrafe, n'ont en aucun cas fait l'objet d'un soin particulier lors des phases d'épuration et de mise en barres.

Les autres tentatives de différenciation, par la datation des objets, par leur degré de carburation ou encore par la nature du procédé de réduction dont ils sont issus, n'ont permis d'établir aucune distinction entre les différents groupes : les fers de bas fourneaux et ceux de la filière indirecte se répartissent de manière presque identique selon les indices de propreté inclusionnaire (cf. Figure 302). En revanche, il semble y avoir une certaine dichotomie suivant la provenance des objets étudiés : alors que les vingt-sept fers issus des églises de Rouen montrent une distribution quasi gaussienne autour d'une valeur moyenne de 2,8*, les

¹⁴⁰¹ L'HERITIER (M.), *Approches typologique et archéoméallurgique...*, *op. cit.* ; DILLMANN (Ph.), *Diffraction X, Microdiffraction X et Microfluorescence X...*, *op. cit.*

¹⁴⁰² L'HERITIER (M.), DILLMANN (P.), BENOIT (P.), « Analyse métallographique... », *op. cit.*

vingt-deux fers des églises troyennes se répartissent préférentiellement dans les indices les plus sales (cf. Figure 304). Près des trois quarts ont une propreté supérieure à 3* pour une moyenne de 3,6*. On pourrait en premier lieu penser à une anomalie de distribution non significative générée par une répartition non homogène des différents types d'objets. Les cinq barres, dont la propreté d'indice supérieur à la moyenne a été caractérisée, ont en effet toutes été prélevées à Troyes et contribuent de ce fait à augmenter l'indice de propreté. Cependant, même en les ôtant du calcul, la moyenne pour les fers troyens reste toujours aux alentours de 3,5*. Si, au vu du corpus étudié, la différence de propreté inclusionnaire entre les fers troyens et les fers rouennais est donc assez flagrante, son interprétation n'est malgré tout pas des plus aisées. On peut émettre l'hypothèse d'une différence de procédé technique générant des fers plus ou moins remplis d'inclusions. Il est toutefois impossible de préciser davantage l'étape ou les étapes de la chaîne opératoire générant ces caractéristiques : type de minerai, type de fourneau, mécanisation de la phase d'épuration ? En l'absence d'autres analyses, ces réflexions demeurent à l'état d'hypothèses.

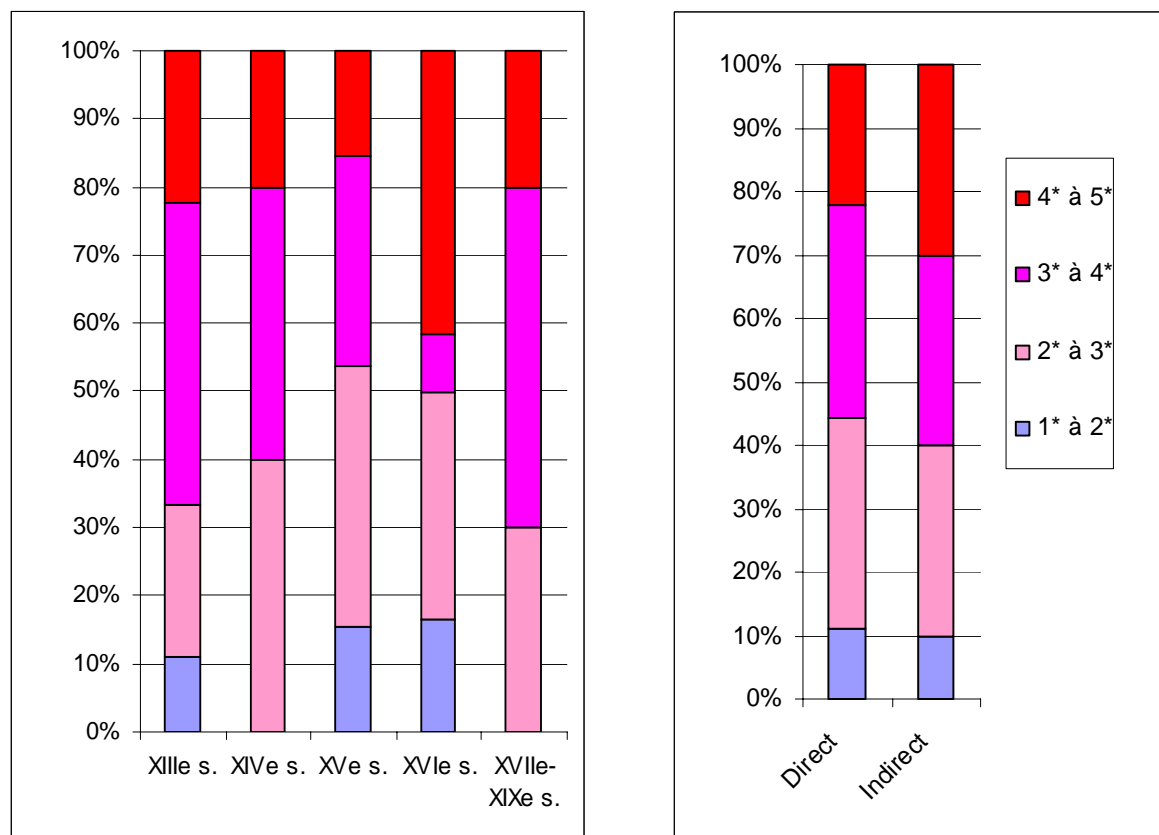


Figure 302 : Indices de propreté inclusionnaire selon la norme AFNOR NF A04-106 modifiée d'un facteur 10 en fonction de la datation des objets (à gauche) et de la filière de réduction dont ils sont issus (à droite).

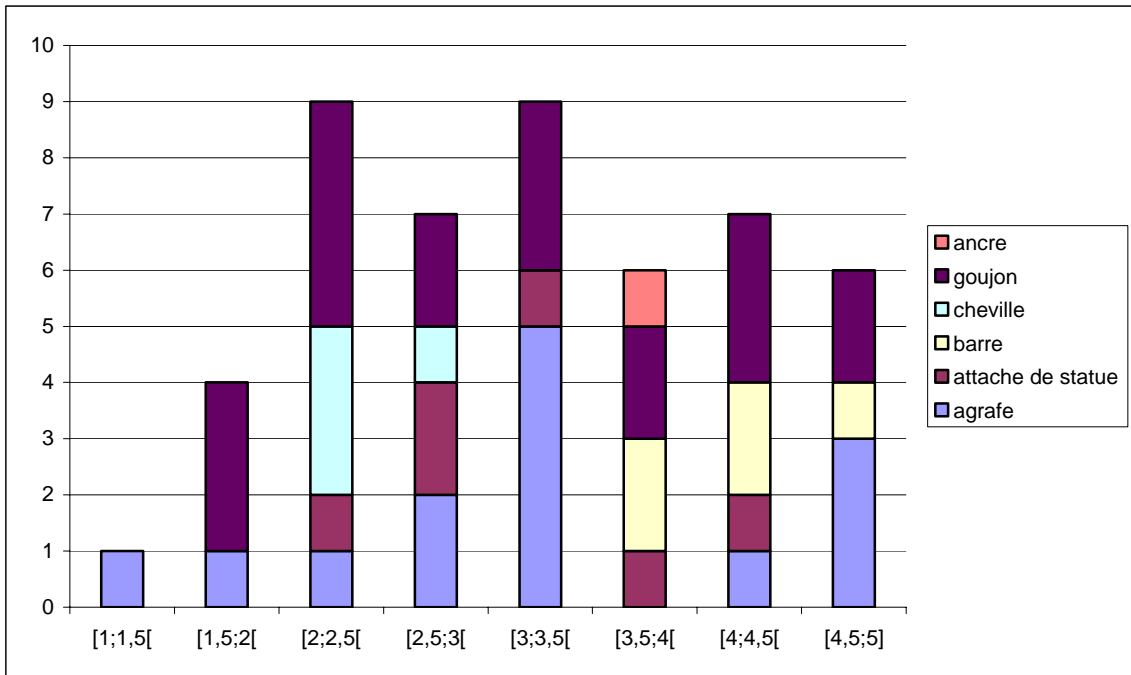


Figure 303 : Indices de propreté inclusionnaire selon la norme AFNOR NF A04-106 modifiée d'un facteur 10 en fonction des types d'objets analysés.

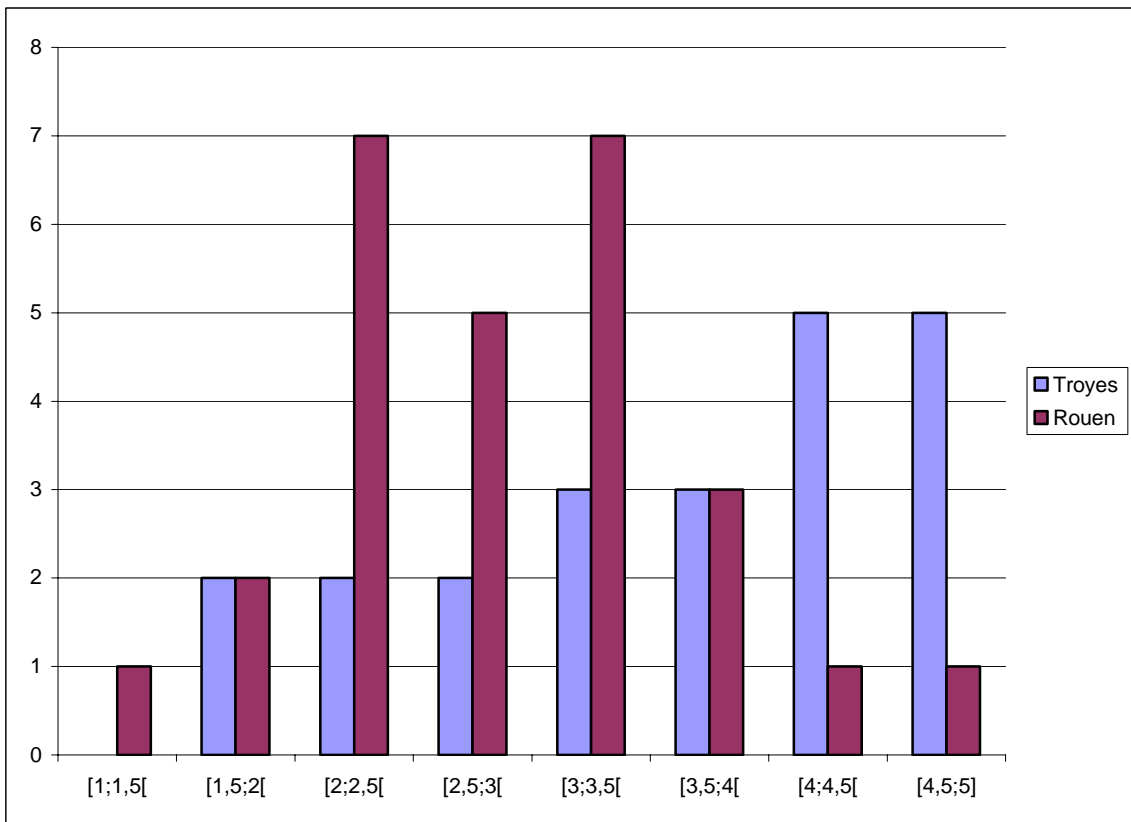


Figure 304 : Indices de propreté inclusionnaire selon la norme AFNOR NF A04-106 modifiée d'un facteur 10 en fonction de la provenance des objets analysés.

référence	type	datation	indice moy.	référence	type	datation	indice moy.
OUEN 03	agrafe	1e moitié XVe s.	1*	OUEN 06	agrafe	déb. XVe s.	3,1*
MAD 07	goujon	déb. XVIe s.	1,7*	OUEN 08	goujon	1e moitié XVe s.	3,2*
MAD 02	goujon	déb. XVIe s.	1,8*	JEAN H1	agrafe	mi XVIe s.	3,2*
OUEN 09	agrafe	1e moitié XVe s.	1,8*	JEAN H6	agrafe	XVIIe-XIXe s.	3,2*
ROU TS5	goujon	déb. XIIIe s.	1,9*	JEAN V2	agrafe	XVIIe-XIXe s.	3,3*
OUEN 16	cheville	XVIIIe s.	2*	ROU TN6	goujon	déb. XIIIe s.	3,3*
MAD 08	goujon	déb. XVIe s.	2*	TROY 04	barre	déb. XIIIe s.	3,5*
ROU TN7	goujon	déb. XIIIe s.	2,1*	TROY 03	barre	déb. XIIIe s.	3,6*
ROU CH1	cheville	déb. XIIIe s.	2,1*	OUEN 21	goujon	XIXe s.	3,6*
ROU 35.2	Att. de statue	fin XVe s.	2,2*	TROY 15	ancre	XVIIe-XIXe s.	3,7*
MAD 03	goujon	déb. XVIe s.	2,2*	OUEN 05	goujon	1e moitié XVe s.	3,8*
OUEN 04	goujon	1e moitié XVe s.	2,3*	ROU 35.3	Att. de statue	fin XVe s.	3,8*
OUEN 07	agrafe	déb. XVe s.	2,3*	TROY 08	barre	XIVe s.	4*
OUEN 17	cheville	XVIIIe s.	2,3*	JEAN H0	agrafe	mi XVIe s.	4,2*
OUEN 13	goujon	XIXe s.	2,5*	MAD 01	goujon	déb. XVIe s.	4,3*
OUEN 19	agrafe	déb. XVe s.	2,5*	MAD 06-1	goujon	déb. XVIe s.	4,3*
ROU 316	Att. de statue	déb. XVe s.	2,6*	OUEN 12	goujon	1350-1450	4,3*
ROU 35.1	Att. de statue	déb. XVe s.	2,6*	TROY 01	petite barre	déb. XIIIe s.	4,4*
JEAN H3	agrafe	mi XVIe s.	2,6*	TROY 05	barre	déb. XIIIe s.	4,5*
MAD 11	goujon	déb. XVIe s.	2,7*	JEAN H5	agrafe	XVIIe-XIXe s.	4,7*
ROU 314	Att. de statue	déb. XVe s.	2,8*	OUEN 10	agrafe	1e moitié XVe s.	4,7*
ROU TS6	goujon	déb. XIIIe s.	3*	MAD 05	goujon	déb. XVIe s.	4,8*
OUEN 15	cheville	XVIIIe s.	3*	MAD 12	agrafe	déb. XVIe s.	4,8*
ROU 301	Att. de statue	déb. XVe s.	3,1*	TROY 13	goujon	XIXe s.	4,8*
OUEN 02	agrafe	déb. XVe s.	3,1*				

Tableau 132 : Indices moyens de propreté inclusionnaire estimés avec la modification de la norme AFNOR NF A04-106 pour les fers de construction des églises rouennaises et troyennes.

référence	type	datation	indice moy.	référence	type	datation	indice moy.
Outil Alésia	pointe d'outil	Ier s. av J-C	1,2*	pointerolle 1	pointerolle	XVe s.	2,3*
CLOS 01	fer à cheval	XIIe-XVe s.	1,3*	CLOS 30	fer à cheval	XIIe-XVe s.	2,8*
CLOS 07	fer à cheval	XIIe-XVe s.	1,5*	CLOS 58	fer à cheval	XIIe-XVe s.	2,8*
CLOS 92	fer à cheval	XIIe-XVe s.	1,5*	CLOS 21	fer à cheval	XIIe-XVe s.	3,6*
pointerolle 2	pointerolle	XVe s.	2*				

Tableau 133 : Indices moyens de propreté inclusionnaire estimés avec la modification de la norme AFNOR NF A04-106 pour un corpus d'outils et de fers à cheval.

III.2.3.3.2 Fer ou acier ?

Le terme de « fer » qui a été employé jusqu'ici pour caractériser le matériau utilisé dans la structure des églises gothiques troyennes et rouennaises, s'il a été utilisé pour des raisons pratiques, n'est pas véritablement exact. L'appellation « alliage ferreux » aurait effectivement été plus appropriée en considérant l'hétérogénéité fer/acier qui caractérise la majeure partie des échantillons étudiés. Cette hétérogénéité est surtout vraie pour les fers issus du procédé direct. En effet, les fers de la filière indirecte analysés au cours de cette étude étaient le plus souvent très peu carburés voire même complètement exempts de carbone. Cette dernière constatation est la preuve d'une décarburation poussée de la fonte lors de la phase d'affinage pour la production de fer en gros selon la filière indirecte.

Le carbone, qui confère une plus grande dureté au matériau, montre systématiquement une distribution aléatoire dans les spécimens aciérés. Même les analyses réalisées sur les quatre esquilles de tirants provenant de l'église Saint-Ouen et de la cathédrale de Troyes ont révélé qu'il s'agissait d'un métal ordinaire, impossible à différencier de celui des autres éléments de fer mis en œuvre dans l'édifice. Aucun gradient de cémentation, qui serait la marque de la volonté du forgeron de renforcer localement un objet, n'a par ailleurs été découvert. Enfin, les structures en bandes observées sur vingt-cinq sections, soit la moitié des sections longitudinales comme les agrafes de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes, certains goujons de l'église Saint-Ouen ou encore les six attaches de statue de la cathédrale de Rouen, sont la conséquence de l'aplatissement d'un lopin hétérogène sous l'effet du martelage. Elles sont logiquement présentes sur les objets les plus allongés comme les barres et les agrafes. On les retrouve aussi sur certains goujons et certaines chevilles. Ce fer de réduction directe, mélange de fer et d'acier en proportions variables, est toujours dénommé « fer » dans les comptes des fabriques étudiés. Le terme « d'acier » n'est en réalité jamais employé au XV^e siècle dans les comptes de la fabrique de la cathédrale de Rouen. A la cathédrale de Troyes, il est employé à de nombreuses reprises, mais se rapporte presque exclusivement aux outils qu'il convient de forger, reforger et d'aciérer¹⁴⁰³, ou alors aux pièces particulières de certains mécanismes comme le pivot et le palier d'une grue¹⁴⁰⁴. Aucune mention n'est relative à un élément de fer de construction.

¹⁴⁰³ *Pour II billes d'acier à refaire les marteaux de la forge* III s. IIII d. t., Arch. dép. Aube, G 1562, fol. 114 v^o.

¹⁴⁰⁴ PJ n^o 76, fol. 188 v^o. J. Rouillard cite également de nombreuses mentions d'aciérages des parties travaillantes des moulins, ROUILLARD (J.), *L'homme et la rivière...*, *op. cit.*, p. 353-357. Pour plus de détails sur les techniques d'aciérage, on pourra se référer entre autres à BENOIT (P.), GUILLOT (I.), PLOQUIN (A.),

Les trois structures de trempe relevées sur OUEN 05a, OUEN 18a et ROU TN7 ne résultent a priori pas d'actions délibérées de la part du forgeron de renforcer le matériau à un endroit précis. Par exemple, la trempe en partie supérieure du goujon ROU TN7 n'a aucune utilité particulière. Tous les autres goujons analysés, en particuliers ceux qui ont été prélevés au même endroit que ROU TN7, à savoir ROU TN6, ROU TS5 et ROU TS6 ne sont même pas carburés en pointe, et ne portent donc *a fortiori* pas de structure de trempe. De plus, il est légitime de s'interroger sur la nécessité de renforcer de cette manière la pointe d'un goujon, élément qui n'est pas forcément soumis à des forces très importantes. Le même raisonnement pourrait être répété pour le goujon OUEN 05a ou l'agrafe OUEN 18a. Il est donc plus probable que ces trempes soient accidentelles, peut-être à cause d'un refroidissement trop rapide à l'air après forgeage.

Sur l'ensemble des bâtiments sur lesquels des analyses ont été publiées, la majeure partie des échantillons analysés résultaient également d'un tel mélange de fer et d'acier sans répartition ni traitement de forge particulier¹⁴⁰⁵. Une seule exception s'est à ce jour présentée : il s'agit des tirants du grand promenoir du Palais des Papes en Avignon pour lesquels Ph. Dillmann a reporté l'emploi d'un acier relativement homogène et peu chargé en inclusions¹⁴⁰⁶. Cet emploi, que Ph. Bernardi a pu mettre en relation avec l'achat de barres pour les voûtes de la grande Chapelle attenante en avril-mai 1351, au coût de 24 deniers la livre contre 9 deniers habituellement, soit plus de deux fois et demi le prix des autres barres de fer, montre qu'il y a eu ici ponctuellement commande et utilisation d'un matériau spécifique¹⁴⁰⁷. Cet exemple reste néanmoins isolé malgré l'accumulation de résultats sur d'autres édifices.

III.2.3.3.3 *Un fer phosphoreux*

Le phosphore est quant à lui présent dans la plupart des éléments de fer qui ont pu être analysés. Il a été mis en évidence à la fois à l'attaque Nital avec la présence de structures fantômes dans les zones ferritiques d'environ un spécimen sur deux et aussi par dosage des inclusions et de la matrice métallique, réalisées respectivement en spectrométrie EDS et WDS

« Les forges minières au Moyen Age et à la Renaissance : approches archéologique et paléométallurgique », dans *Campagnes médiévales : l'homme et son espace, Etudes offertes à Robert Fossier*, Paris, Presses de la Sorbonne, 1995, p. 639-652.

¹⁴⁰⁵ L'HERITIER (M.), JUHIN (A.), DILLMANN (Ph.), ARANDA (R.), BENOIT (P.), « Utilisation des alliages ferreux... », *op. cit.*

¹⁴⁰⁶ DILLMANN (Ph.), BERNARDI (Ph.), « Premiers résultats métallographiques... », *op. cit.*

¹⁴⁰⁷ BERNARDI (Ph.), DILLMANN (Ph.), « Stone skeleton or iron skeleton... », *op. cit.*

comme indiqué dans le mode opératoire (voir Tableau 134). Rappelons de plus que les « structures fantômes » sont une preuve de la présence de phosphore dans le métal dans des teneurs comprises entre 0,1 et 0,4 %_{mass}, mais elles en sont la condition suffisante et non pas nécessaire. Leur apparition est liée à d'autres paramètres comme la température de forgeage et la vitesse de refroidissement.

Échantillon	Teneurs max. de P dans la matrice	Teneurs moy. de P sur 60 dosages	Teneur max. de P ₂ O ₅ dans les inclusions
ROU 35/2	3940 ppm	1300 ppm	20 % _{mass}
ROU 35/3	4390 ppm	1390 ppm	20 % _{mass}
ROU TS5	2060 ppm	1160 ppm	14 % _{mass}
ROU TS6	1160 ppm	390 ppm	8 % _{mass}
ROU CH1	2000 ppm	400 ppm	7 % _{mass}

Tableau 134 : Teneurs minimales et moyennes en phosphore dans la matrice métallique et dans les inclusions, d'après les dosages en spectrométrie EDS et WDS.

Le phosphore, même présent en très faibles quantités, fragilise le fer à froid ainsi que lors d'un forgeage à chaud¹⁴⁰⁸. Tout comme le carbone, il rend tout d'abord le fer plus dur et donc plus cassant, en particulier dans les alliages ternaires fer-carbone-phosphore¹⁴⁰⁹. De plus, sa présence dans le fer induit une coexistence des phases austénitique (γ) et ferritique (α) à haute température¹⁴¹⁰. La différence de malléabilité entre les deux phases à cette température génère, lors du forgeage, des cassures aux interfaces des grains α et γ qui fragilisent ainsi le fer.

Depuis bien longtemps, à l'instar de Stead qui mentionnait déjà en 1918 le côté « traître » du phosphore, de nombreux auteurs citent les méfaits de cet élément qui a depuis

¹⁴⁰⁸ STEWART (J. W.), CHARLES (J. A.), WALLACH (E. R.), « Iron-phosphorus-carbon system, Part 1... », *op. cit.* Dans de rares cas, la présence de phosphore semble être bénéfique, améliorant la résistance et la ductilité du fer, GOODWAY (M.), FISHER (R.M.), « Phosphorus in low carbon iron : its beneficial properties », *Historical Metallurgy*, vol. 22, p. 21-23. Les conditions très particulières pour obtenir ce type de fer (faibles teneurs en phosphore et absence de carbone) ne concernent toutefois pas les objets analysés dans cette étude.

¹⁴⁰⁹ STEWART (J. W.), CHARLES (J. A.), WALLACH (E. R.), « Iron-phosphorus-carbon system, Part 1... », *op. cit.*

¹⁴¹⁰ Entre 900 et 1400 °C suivant la teneur en phosphore, d'après le diagramme fer-phosphore réduit présenté dans BUCHWALD (V.F.), WIVEL (H.), « Slag analysis... », *op. cit.*

été banni de la métallurgie contemporaine¹⁴¹¹. J. Piaskowski est l'un des premiers à avoir mis en évidence que les fers archéologiques sont souvent phosphoreux¹⁴¹². La multiplication des études archéométriques est venue confirmer ces premières constatations et s'est également intéressée au comportement à la forge de ce matériau¹⁴¹³. Les teneurs observées pour les spécimens provenant des églises rouennaises et troyennes dépassent de beaucoup les 400 ppm tolérés pour les aciers actuels, comme le prouve la présence des structures fantômes ; des dosages montrent même que certains dépassent localement le seuil critique de 0,38 %_{mass} évoqué par Stewart au-delà duquel le phosphore fragilise notablement le fer¹⁴¹⁴.

Longtemps controversée, la question de l'utilisation et du forgeage du fer phosphoreux est encore problématique, d'autant plus que les teneurs évoquées ne peuvent pas être sans conséquence sur le comportement du métal à froid comme à chaud. Une première hypothèse apportée par E. Vega proposait que ces fers puissent être aisément forgés à une température n'excédant pas les 900°C, restant ainsi dans un domaine exclusivement ferritique pour éviter toute fragilisation¹⁴¹⁵. Cela ne semble néanmoins pas être le cas de tous les objets puisque l'on a la présence de nombreuses structures fantômes qui traduisent un passage du fer en phase austénitique. Il est possible que certaines de ces structures fantômes proviennent de l'étape de réduction ou d'épuration et n'aient pas été complètement effacées lors du forgeage proprement dit, même à une température inférieure à 900 °C. Des traces de fissuration dues à la nature phosphoreuse du métal ont également parfois été retrouvées, comme sur le spécimen ROU TS6. La section de ce goujon possède un alignement d'inclusions transversal à l'objet. Les inclusions y prennent des formes en L et U comme si elles épousaient les joints de grain. De plus l'attaque Oberhoffer a montré que cet alignement correspond à une zone de dépression en phosphore qui ne vient cependant pas troubler la structure en bandes longitudinale à l'objet. Il s'agit donc vraisemblablement là d'une fissure qui s'est développée aux joints de grain lors du forgeage à chaud, puisque les inclusions ont pu s'y glisser à l'état

¹⁴¹¹ « Prominent metallurgists refer to phosphorus as treacherous ». Stead cité par Stewart *et al.* dans STEWART (J. W.), CHARLES (J. A.), WALLACH (E. R.), « Iron-phosphorus-carbon system, Part 1... », *op. cit.*

¹⁴¹² PIASKOWSKI (J.), « Phosphorus in iron ore and slag and in bloomery iron », *Archaeomaterials*, vol. 3, n°1, 1989, p. 47-59.

¹⁴¹³ VEGA (E.), DILLMANN (Ph.), FLUZIN (Ph.), « Contribution à l'étude du fer phosphoreux... », *op. cit.* ; VEGA (E.), DILLMANN (Ph.), L'HERITIER (M.), FLUZIN (P.), CREW (P.), BENOIT (P.), « Forging of phosphoric iron. An analytical and experimental approach », dans *Archaeometallurgy in Europe*, Milan, 2003, AIM, p. 337-346.

¹⁴¹⁴ STEWART (J. W.), CHARLES (J. A.), WALLACH (E. R.), « Iron-phosphorus-carbon system, Part 1... », *op. cit.*

¹⁴¹⁵ VEGA (E.), DILLMANN (Ph.), FLUZIN (Ph.), « Contribution à l'étude du fer phosphoreux... », *op. cit.*

liquide, et qui est selon toute vraisemblance liée à la nature phosphoreuse du métal composant l'objet.

Ces différents exemples prouvent d'une part que les forgerons médiévaux avaient un savoir-faire pour forger ce matériau, ou bien qu'ils savaient tout du moins s'accommoder de ses inconvénients, mais d'autre part que leur forgeage n'était probablement pas aussi aisé que l'accumulation des exemples pourrait le laisser envisager. Il est impossible de savoir combien d'objets se sont ainsi fissurés et ont du être reforgés. Tout comme la présence d'inclusions, ces teneurs en phosphore ne sont certainement pas sans conséquences sur le comportement mécanique de ces fers de construction. Il en sera question ultérieurement.

III.2.3.4 Synthèse : « qualité » des fers de construction médiévaux

Ces conclusions sur les caractéristiques des fers de construction rouennais et troyens de l'époque médiévale rejoignent les résultats obtenus sur d'autres édifices, comme le donjon du château de Vincennes¹⁴¹⁶, le Palais des Papes d'Avignon¹⁴¹⁷ ou même les premiers résultats métallographiques de la cathédrale de Beauvais¹⁴¹⁸. Si l'indice de propreté inclusionnaire n'a pas été estimé pour la plupart de ces études, la présence de nombreuses inclusions a bien été attestée de manière systématique, de même que l'hétérogénéité de la structure métallographique avec une dispersion aléatoire des zones aciérées et une éventuelle présence de phosphore. Il semble donc que le fer mis en œuvre dans la construction monumentale médiévale et moderne soit en général un matériau très ordinaire pour ces périodes, produit en masse et qui, après une épuration plutôt peu poussée, n'a ni fait l'objet d'un tri, ni reçu de traitements thermo-chimiques spécifiques à la forge afin de lui conférer des propriétés particulières. Sa structure métallographique totalement hétérogène est proche de celle du lopin de fer après la première phase d'épuration à la sortie du fourneau, les forgerons ayant travaillé ce métal s'étant « contents » de le mettre en forme.

¹⁴¹⁶ JUHIN (A.), *Structure métallographique et comportement mécanique...*, *op. cit.*

¹⁴¹⁷ BERNARDI (Ph.), DILLMANN (Ph.), « La place du métal dans la construction »..., *op. cit.*

¹⁴¹⁸ ROBIN (R.), TERNON (E.), *Etude mécanique d'éléments métalliques...*, *op. cit.* et TAUPIN (J.-L.), « Le fer dans les cathédrales... », *op. cit.*

III.2.4 Le comportement mécanique des fers de construction

L'hétérogénéité de structure de ces fers de construction pose également la question de leur comportement mécanique. Si dans le cadre de cette étude aucune analyse n'a pu être réalisée dans ce but, notamment car les prélèvements effectués sur les églises du corpus n'avaient pas les dimensions suffisantes pour réaliser des essais de traction, il est possible de s'appuyer sur les résultats d'A. Juhin et I. Guillot pour les fers du donjon du château de Vincennes¹⁴¹⁹.

Leurs travaux ont permis de tester le comportement mécanique en traction d'une dizaine d'échantillons provenant de barres de chaînage, d'agrafes ou de renforts de linteaux mis en place lors de la construction du donjon du château de Vincennes au milieu du XIV^e siècle. Les comportements observés sont très hétérogènes : certaines éprouvettes ont eu une rupture ductile après un allongement assez important dans le domaine plastique, au contraire d'autres se sont cassées dans la montée élastique, caractérisant une rupture fragile. Cette hétérogénéité a de plus pu être observée sur une même barre : les deux éprouvettes prélevées dans le tirant VINP13, espacées de quelques centimètres, ont deux comportements diamétralement opposés : fragile dans le domaine élastique pour VINP13a avec un allongement de seulement 0,1 % et ductile pour VINP13b avec un allongement de plus de 10 %¹⁴²⁰. D'après A. Juhin, « l'hétérogénéité de la microstructure explique la diversité des comportements observés »¹⁴²¹. Ainsi, en fonction de la teneur locale en inclusions, en carbone et phosphore, de la variation de taille de grains, le comportement mécanique d'une même barre et d'un ensemble de barres d'origine commune peut être extrêmement différent. A. Juhin insiste en particulier sur le rôle des plus grosses inclusions pour l'amorçage d'une rupture dans le domaine fragile¹⁴²². Elle ajoute également que, dans tous les cas, « les propriétés mécaniques [de ces fers] sont en deçà de celles de matériaux ferreux plus tardifs »¹⁴²³.

Au vu de ces premiers résultats qui demandent à être complétés dans le futur, il semble donc qu'il était *a priori* presque impossible pour la personne qui a fabriqué ou a mis en place ces renforts métalliques dans le donjon du château de Vincennes, d'avoir une idée du comportement mécanique de ces barres. La structure métallographique des fers des églises

¹⁴¹⁹ JUHIN (A.), *Structure métallographique et comportement mécanique...*, *op. cit.*

¹⁴²⁰ ID., *Ibid.*, p. 45.

¹⁴²¹ ID., *Ibid.*, p. 63.

¹⁴²² ID., *Ibid.*, p. 63.

¹⁴²³ ID., *Ibid.*, p. 63.

rouennaises et troyennes, identique à celle des fers du donjon du château de Vincennes dans son extrême hétérogénéité induit un comportement mécanique probablement similaire, c'est-à-dire imprévisible.

Malgré la structure très hétérogène des fers de construction médiévaux et le comportement mécanique induit, il faut relativiser cette qualité du produit fini. Cette notion est en effet un concept difficile à manier car il est entaché d'une vision contemporaine qui fausse la perception au Moyen Age. Un matériau aux caractéristiques microstructurales hétérogènes peut en effet être amplement suffisant mécaniquement s'il est correctement dimensionné par rapport à l'usage auquel il est destiné. On peut donc émettre l'hypothèse d'un surdimensionnement de certains tirants ou éléments de chaînages, destiné à compenser la faiblesse microstructurale du matériau. Si les mentions de fers rompus ou brisés sont bien nombreuses dans les comptes de la fabrique, elles ne concernent que rarement les fers de construction¹⁴²⁴. Quelques exemples de barres de fer brisées, en particulier dans les vitraux, sont néanmoins présents, sans qu'on sache pour autant ce qui a causé leur rupture¹⁴²⁵. Les adjectifs « mauvais » ou « bon » qui sont parfois appliqués par le receveur de la fabrique pour qualifier un fer sont éminemment subjectifs et ne reflètent pas la réelle qualité du matériau. C'est en général car une pièce s'est brisée que son fer est qualifié de mauvais ; de même, la définition par le procureur du « bon fer » est un fer à *ployre bien et convenablement au resgart d'ouvrier*¹⁴²⁶. *Stricto sensu*, elle pourrait donc probablement s'appliquer à une grande partie des fers qui ont été analysés. Seule la rupture, au début du XIX^e siècle, du chaînage posé en 1713 dans le transept sud de la cathédrale de Troyes, semble être un bon exemple de la tenue mécanique limitée des fers de construction anciens lorsqu'ils sont soumis à des tensions constantes ou trop importantes.

A l'exception de chaînage, la plupart des éléments de fer observés sur les églises rouennaises et troyennes sont toutefois restés en place depuis leur mise en œuvre et ne se sont ni rompus ni fissurés, sauf quand ils ont été gagnés par la corrosion. Ils ont donc rempli le rôle qui leur était assigné à l'époque et il est possible d'affirmer qu'une qualité supérieure n'était nullement requise. Il faut de plus ajouter que la plupart de ces éléments n'étaient pas nécessairement constamment en tension ni même soumis à des forces très importantes. Tirants et chaînages sont parfois uniquement sollicités lors de conditions climatiques particulières. De même, les attaches de statue ou certaines agrafes ont plus un rôle de sécurité que de renfort et

¹⁴²⁴ La plupart sont relatives à la partie travaillante de certains outils ou objets comme les clefs ou les battants de cloches.

¹⁴²⁵ PJ n° 26, fol. 52 r°.

¹⁴²⁶ *Ibidem*.

les goujons ne se limitent qu'à la statique d'une colonnette ou d'un pinacle. De plus, dans bien des systèmes d'assemblage, en cas de tension constante de la structure, le facteur limitant est la résistance de la pierre et non celle du métal. On peut donc en conclure qu'en général, la qualité des fers de construction médiévaux était suffisante.

III.2.5 Synthèse

L'approche de la production pour l'approvisionnement en fer des chantiers de construction des églises troyennes et rouennaises a révélé que le fer mis en œuvre dans ces édifices est de qualité « standard » pour la période médiévale et qu'il n'a subi aucun traitement de forge particulier. Les nombreuses inclusions qu'il comporte ainsi que l'éventuelle présence de phosphore dans sa matrice posent la question de sa résistance mécanique vis-à-vis des sollicitations auxquelles il est susceptible d'être soumis lorsqu'il revêt une utilisation structurale dans l'édifice. Malgré cette médiocre qualité du matériau qui dénote d'une production en masse privilégiant la quantité sur la qualité en amont de la chaîne opératoire, le travail du serrurier urbain est le plus souvent soigné, mettant ainsi en évidence au moins deux étapes de forge nettement différentes dans la production de ce matériau.

Des deux grandes évolutions de la métallurgie médiévale, seule l'introduction du marteau hydraulique semble avoir considérablement changé les conditions et les capacités de production de ces grosses barres de fer qui ont pu être employées en grandes quantités dans les édifices dès l'aube de la période gothique. En revanche, le développement de la filière de réduction indirecte n'a vraisemblablement eu qu'un impact très limité sur la consommation en fer des chantiers de construction troyens en rouennais. Toutefois, l'analyse chronologique de l'importance prise par les fers issus de l'affinage de la fonte dans la structure de ces églises apporte une contribution originale à l'étude de la diffusion du nouveau procédé dans les diverses régions du royaume de France. Outre la perception d'une différence chronologique dans l'adoption du nouveau procédé, déjà connue des textes, aucune différence notable n'a pu être mise en évidence dans les caractéristiques des productions normande et champenoise. Cette dernière constatation appuie l'hypothèse d'une introduction plus précoce du marteau hydraulique en Normandie qu'elle n'est actuellement perçue par l'intermédiaire des sources écrites.

CONCLUSION

CONCLUSION

Comme l'affirmait Ph. Bernardi au sujet du Palais des Papes d'Avignon, les églises et cathédrales gothiques ont, elles aussi, en partie un « squelette de fer »¹⁴²⁷. Matériau très disponible à l'époque médiévale, le fer fait partie intégrante de la conception initiale de ces grands monuments. Son usage principal se trouve dans les armatures de vitraux, mais, du tirant à la barlotière en passant par l'attache de statue, il a été employé dans la maçonnerie et aussi dans la charpente à hauteur de quelques tonnes à plusieurs dizaines de tonnes suivant les édifices. Certes, un certain nombre de constatations avaient déjà été faites au cours du XIX^e et à la fin du XX^e siècle, par les architectes, puis les chercheurs, qui émirent les premières hypothèses sur le rôle, les quantités, l'origine et le coût de ces fers sans avoir toujours les éléments de réponse. Ce travail de recherche, premier à entreprendre une étude systématique de l'ensemble des sources disponibles sur sept édifices, a permis de développer les problématiques découlant de ces questionnements.

Le vitrail est donc bien le premier consommateur de fer sur les chantiers des églises gothiques à la période médiévale. D'après les données des comptes, environ la moitié du fer acheté par la fabrique est mise en œuvre dans les vitraux, soit quelques tonnes pour les plus petites églises comme Sainte-Madeleine ou Saint-Maclou et environ 25 tonnes de fer pour celles qui ont la surface vitrée la plus importante, l'église Saint-Ouen de Rouen ou la cathédrale de Troyes. De dimensions inégales cependant, l'église Saint-Urbain de Troyes et la cathédrale de Rouen comptent presque autant de fer dans leurs vitraux : 12 tonnes pour la première, 15 tonnes pour la seconde, quantités qui sont représentatives de l'augmentation de la dimension des verrières et donc de la masse de fer employée que l'on observe à partir du début de la période rayonnante. Cette évolution, déjà évoquée par Viollet-le-Duc puis par A. Erlande-Brandenburg¹⁴²⁸, n'est certes pas une découverte, mais elle a ici pu être quantifiée : à dimensions égales, l'église Saint-Ouen compte environ deux fois plus de fer dans ses verrières que la cathédrale de Rouen, bien que la plupart de ses fenêtres aient été

¹⁴²⁷ BERNARDI (Ph.), DILLMANN (Ph.), « Stone skeleton or iron skeleton... », *op. cit.*

¹⁴²⁸ VIOLLET-LE-DUC (E.), *Dictionnaire raisonné...*, *op. cit.*, tome 1, p. 465 ; ERLANDE-BRANDENBURG (A.), « L'architecture rayonnante et le métal »..., *op. cit.*

refaites et légèrement agrandies au cours du XV^e siècle. L'avènement de la période rayonnante correspond donc vraisemblablement à un doublement voire à un triplement des quantités de fer nécessaires pour les vitraux. De plus, alors que les petites baies à lancette unique ne dépassent pas un ou deux mètres de large, les fenêtres rayonnantes atteignent régulièrement plus de 5 m de large. En plus des grandes quantités qu'elles nécessitent, ces baies ont besoin de gros barreaux de fer, des tirants, destinés à tenir la maçonnerie¹⁴²⁹. Leur rôle ne semble cependant se limiter qu'à l'équilibre d'une seule baie, puisqu'ils ne sont la plupart du temps pas liés les uns aux autres pour former des chaînages. Seule l'église Saint-Urbain de Troyes possédait, vraisemblablement dès la période médiévale, un chaînage dans ses baies hautes qui enserrait le chevet de l'édifice. Toutefois, en l'absence de démontage des piliers, la méthodologie utilisée ne permettait pas toujours de les mettre en évidence sur les autres monuments

De tels chaînages, existant à la Sainte-Chapelle de Paris d'après les constatations de Viollet-le-Duc et à la cathédrale de Beauvais d'après l'étude de Jean-Louis Taupin¹⁴³⁰, ne semblent cependant pas avoir été mis en œuvre de manière systématique dans les églises gothiques. Au contraire, rares sont celles qui ont fait l'usage de ces renforts périphériques. A la lumière des données actuelles, on peut supposer que ce système de chaînage ne se circonscrit qu'aux édifices exceptionnels par la dimension de leurs verrières dans leur partie tournante et en particulier à certains monuments de la période rayonnante¹⁴³¹. L'étude d'autres monuments atypiques avec un faible rapport volume de maçonnerie/surface vitrée, comme la Sainte-Chapelle de Saint-Germer-de-Fly (Oise) ou la cathédrale de Metz qui, avec ses 6500 m² de vitraux est une des plus lumineuses de l'art gothique, mais également de grands édifices rayonnants du sud de la France, la basilique Saint-Nazaire de Carcassonne ou encore la cathédrale de Narbonne, qui montrent l'emploi de quantités de barres de fer sous forme de tirants, dans les baies et diverses arcatures, pourrait venir confirmer ces hypothèses. Une comparaison chiffrée entre ces différents édifices serait nécessaire pour compléter le tableau dressé pour Rouen et Troyes.

Ces quantités de fer employées pour le décor vitré se retrouvent dans les ornements de maçonnerie. L'ensemble des sources converge pour affirmer que le fer est intimement lié à l'attache de l'ensemble du décor sculpté gothique. Goujons, agrafes, barres et autres petites

¹⁴²⁹ PJ n° 69, fol. 58 r°.

¹⁴³⁰ TAUPIN (J.-L.), « Le fer des cathédrales »..., *op. cit.* ; VIOLLET-LE-DUC (E.), *Dictionnaire raisonné...*, *op. cit.*, tome 2, p. 401-402.

¹⁴³¹ L'absence de chaînage dans les baies hautes du transept de la cathédrale du Mans qui comptent pourtant parmi les plus grandes de l'architecture gothique laisse envisager que ce système n'est pas utile en dehors de l'abside.

pièces de fer se trouvent en quantités importantes dans les pinacles, les colonnettes sur les balustrades, tous ces éléments qui se sont développés au cours de la période gothique. Cet emploi du fer atteint son paroxysme dans les jubés, dont tous les éléments de décor sont pour la plupart reliés à la maçonnerie par des pièces de fer. Certes moins spectaculaire que les tirants et chaînages qui ceignent certains édifices, cet usage du fer représente toutefois bien souvent une masse plus importante, atteignant probablement la dizaine de tonnes pour les plus grandes cathédrales. Selon J. Ruskin, pourtant très critique à l'égard du fer et de son utilisation dans l'architecture gothique, cet emploi ne faisait pas partie des usages immodérés que pouvaient en faire les bâtisseurs médiévaux, puisqu'il affirmait ne pouvoir « dénier à l'architecte gothique le droit de soutenir statues, pinacles ou ornements à l'aide de barres de fer »¹⁴³². Cette utilisation particulière du fer, peut-être trop évidente pour être mentionnée, n'a donc jusqu'ici fait l'objet que de peu de remarques. L'influence structurelle de nombre de ces éléments est cela dit très probablement fort limitée.

Autre aspect de l'emploi du fer qui n'avait que rarement été souligné, sa liaison avec les éléments de bois. A la lumière de cette étude, il apparaît que de nombreux éléments de fer ont également été employés dans les charpentes des édifices gothiques au moins dès le milieu du XIV^e siècle d'après les mentions qui en sont faites dans les comptes des fabriques des cathédrales de Troyes et de Rouen. Cette constatation avait déjà été faite par D. Cailleaux pour la cathédrale de Sens¹⁴³³. L'ensemble de ces découvertes remet en question l'affirmation de Viollet-le-Duc qui prévalait jusqu'ici, selon laquelle « pour la charpente, le fer ne fut employé que fort tard et pendant toute la période ogivale on n'en fit point usage »¹⁴³⁴. D'après les observations de F. Epaud sur nombre de charpentes datant de la période romane et du début de la période gothique, ces exemples d'emploi du fer restent exceptionnels à cette époque¹⁴³⁵. L'étude d'un plus grand nombre de charpentes gothiques des XIII^e et XIV^e siècles serait nécessaire pour mettre en évidence certains changements dans les techniques d'assemblages et de consolidation de charpenterie qui se sont succédé au cours du Moyen Age.

Dans la maçonnerie, le fer est indifféremment présent dans la structure des églises gothiques du XIII^e au XV^e siècle, voire même au XVI^e siècle.

¹⁴³² RUSKIN (J.), *Les sept lampes de l'architecture...*, *op. cit.*, p. 42.

¹⁴³³ CAILLEAUX (D.), *La cathédrale en chantier...*, *op. cit.*, p. 386.

¹⁴³⁴ VIOLLET-LE-DUC (E.), *Dictionnaire raisonné...*, *op. cit.*, tome 1, p. 461.

¹⁴³⁵ EPAUD (F.), *L'évolution des techniques...*, *op. cit.*, p. 148.

Parmi ses nombreux emplois, que ce soit sous forme de tirants dans les arcatures, de goujons dans les éléments verticaux ou encore d'agrafes sur les balustrades et les coursives, rares sont ceux qui semblent pouvoir être reliés à un style ou une période particulière. Les propos d'A. Erlande-Brandenburg sur la disparition du fer dans les maçonneries du XV^e siècle avec le développement de la stéréotomie méritent donc d'être rediscutés¹⁴³⁶, les dernières découvertes dans les tours des croisées des églises Saint-Ouen et Saint-Maclou offrant bien des exemples d'utilisation structurelle du fer à cette période. Plus qu'une véritable évolution chronologique, il semble toutefois que l'utilisation du fer soit davantage liée au savoir-faire du maître d'œuvre qui dirige le chantier. Cette hypothèse trouve confirmation dans l'emploi de chaînages d'agrafes sur les coursives ou sur les balustrades qui se circonscrit systématiquement à certaines parties des édifices et donc à certaines périodes de leur construction. De même, au-delà de leur ressemblance architecturale, de grandes similitudes dans les emplois ou absences d'emploi du fer ont été mises en évidence pour le chœur de la basilique de Saint-Denis et celui de la cathédrale de Troyes, tous deux élevés par des architectes de la famille de Thomas de Cormont¹⁴³⁷. Le fer, comme tout matériau de construction, trouvait donc vraisemblablement des emplois différents suivant les architectes et la manière qu'ils avaient d'appréhender l'équilibre de ces grands bâtiments. Toutes ces questions qui ont trait à la perception du maître d'œuvre, trouvent un exemple retentissant dans les monuments italiens du Quattrocento, comparés aux églises gothiques à la même époque¹⁴³⁸. A l'époque, le constructeur italien n'avait pas peur de pourvoir les arcatures de ses édifices de nombreux tirants de fer, là où le bâtisseur français hésitait parfois à afficher ces organes de contrebutement au grand jour. Sont-ils de simples mesures de précaution ? Ont-ils une véritable utilité ? L'Italie contemporaine qui n'a pas connu au sujet du fer la même polémique que la France restauratrice du XIX^e siècle semble avoir pris du retard sur ces questions. Une étude serait là aussi à envisager.

En revanche, il est vrai que la période rayonnante semble faire quelques usages particuliers du fer. Après l'explosion des quantités de fer dans les vitraux, elle voit par exemple un autre développement cette fois bien structurel dans l'utilisation de ce métal. Il est lié à l'essor des triforiums ajourés à partir du deuxième tiers du XIII^e siècle et voit l'installation de tirants dans la partie supérieure des balustrades à claire-voie composant le

¹⁴³⁶ ERLANDE-BRANDENBURG (A.), « L'architecture rayonnante et le métal »... , *op. cit.*

¹⁴³⁷ VIOLLET-LE-DUC (E.), *Dictionnaire raisonné...*, *op. cit.*, tome II, p. 343 ; KIMPEL (D.), SUCKALE (R.), *L'architecture gothique en France...*, *op. cit.*, p. 544.

¹⁴³⁸ VIOLLET-LE-DUC (E.), *Entretiens sur l'architecture...*, *op. cit.*, tome 2, p. 69.

parement intérieur. L'important report de la charge sur la claire-voie intérieure engendré semble souvent nécessiter une consolidation exceptionnelle. Si les tout premiers édifices de la période rayonnante, cathédrale de Troyes, basilique de Saint-Denis, ne comptent pas de tels tirants, leur emploi se généralise rapidement dès la seconde moitié du XIII^e siècle avec les cathédrales de Tours, de Beauvais, puis au XIV^e siècle avec l'église Saint-Ouen. D'après les données actuelles, la mise en œuvre de tirants de fer dans les claires-voies des triforiums ajourés se circonscrit au style rayonnant postérieur à la deuxième moitié du XIII^e siècle et au style flamboyant du XV^e siècle. Une étude ciblée sur cette partie précise de la structure dans un grand nombre d'églises gothiques dans différentes régions serait toutefois nécessaire pour déterminer avec plus de précision les limites de cet emploi particulier. L'usage d'armatures de fer dans les triforiums avait déjà été mis en évidence par M. Férauge et P. Mignerey pour la cathédrale de Bourges¹⁴³⁹. Cependant, la fonction du chaînage et des tirants qu'ils ont identifiés dans ce triforium était différente, car elle se limitait à un soutien de la maçonnerie pendant la construction, alors que ces tirants des claires-voies sont, d'après les archives comptables de la cathédrale de Troyes, installés en même temps que le remplage des baies et ne jouent donc vraisemblablement pas de rôle de soutien provisoire en l'attente de la charge totale de la maçonnerie.

Dans une moindre mesure, d'autres éléments de la structure gothique, les arcs-boutants, les piliers et l'entablement des baies hautes, semblent bien faire l'objet, toujours d'après les comptes de la fabrique, d'une consolidation essentiellement intérieure utilisant des agrafes, mais peut-être également extérieure au moyen de tirants pour les arcs-boutants. En l'absence de démontage de ces parties, la disposition précise de ces éléments dans la maçonnerie ainsi que leur éventuelle systématisation sur d'autres édifices, n'a pas pu être appréhendée.

Enfin, troisième et dernier point de la structure qui fait l'objet d'un renforcement systématique : les tours situées à la croisée du transept. L'emploi de chaînages et tirants de fer dans leur maçonnerie est manifeste d'après les dernières restaurations sur les églises Saint-Ouen et Saint-Maclou de Rouen et semble être confirmé par les archives des églises troyennes. Le « péril de vent », mais surtout la structure aérienne et dénudée de ces tours qui reposent sur une base elle-même instable par nature semblent avoir guidé leur ceinturage à divers niveaux par des chaînages de fer. Si les tours-lanternes, qui ont fait l'objet de ce renforcement particulier, sont essentiellement une caractéristique des églises gothiques de

¹⁴³⁹ FERAUGE (M.), MIGNEREY (P.), « La cathédrale de Bourges... », *op. cit.*

Normandie, les clochers construits à la période médiévale sur les édifices champenois ont, d'après les archives comptables, également fait l'objet de tels renforts au moyen de tirants de fer.

En revanche, à l'exception de ces points particuliers de la structure des églises troyennes et rouennaises, peu de chaînages ont été mis en évidence à d'autres endroits de la maçonnerie. Ceux qui ont été découverts sont liés à des consolidations postérieures de leur structure, essentiellement aux époques moderne et contemporaine. Ils servent en général à pallier un manque de contrebutement à un endroit de l'édifice. C'est probablement la raison pour laquelle on les rencontre fréquemment dans les transepts, partie de l'édifice qui manque intrinsèquement de contrebutement, comme à la cathédrale de Troyes ou à l'église Sainte-Madeleine. A l'église Saint-Jean-au-Marché dont le transept est non saillant, ces chaînages sont installés dans la nef. L'utilité de certains de ces chaînages a parfois été remise en question dans des rapports d'architectes, notamment pour cette même église Saint-Jean-au-Marché et pour le transept nord de la cathédrale de Troyes¹⁴⁴⁰. D'autres participaient en revanche bien à la stabilité d'une partie de l'édifice puisque leur rupture entraînait sa ruine, comme le transept sud de la cathédrale de Troyes.

Les différents renforcements de la structure gothique qui ont été identifiés ou redécouverts sur les églises gothiques troyennes et rouennaises, s'ils sont autant de preuves que le fer a été employé en grandes quantités dès les premières étapes de construction de ces grands édifices, ouvrent également sur de nombreuses questions.

Tout d'abord, il est évident que les moyens de prospection qui ont été employés, s'ils permettaient de réaliser l'étude de plusieurs églises à moindres frais et sans réel *impedimenta* logistique, ne s'avèrent pas être des plus adaptés pour la mise en évidence de l'ensemble des chaînages potentiellement présents dans ces édifices. Les piles, les arcs-boutants et l'entablement des baies sont autant d'éléments qui sont restés majoritairement insondables, de par leur épaisseur ou leur élévation. La mise à nu des maçonneries, comme à la cathédrale d'Auxerre, montre de nombreux éléments qui n'étaient pas appréhensibles auparavant et permet de faire un relevé et une comptabilisation précise de tous les éléments découverts. Le traitement des données pourra en outre véritablement se rapprocher d'une véritable étude du bâti. En l'absence de restauration, on peut seulement envisager pour certains édifices de mettre en place une étude des maçonneries par détection radar avec installation d'une nacelle

¹⁴⁴⁰ Médiathèque du Patrimoine, doc. n° 0080/010/0078 ; Archives E. Pallot, dossier « ACMH ».

auto-élevatrice pour l'analyse des parties hautes. Par son coût et sa complexité, cette nouvelle méthode ne saurait être employée sur un grand nombre d'édifices, ni se limiter à la seule étude du fer. En revanche, dans le cadre d'un travail de recherche concernant tous les aspects et matériaux de la construction d'un seul et même bâtiment, sa mise en place pourrait être envisagée. Ces différents problèmes techniques pour appréhender la part du fer au sein même des maçonneries des églises gothiques montre bien à quel point l'archéologue a besoin de travailler avec l'architecte lors des travaux de restauration.

Mais l'échange d'informations ne saurait être unilatéral : étudier le passé pour mieux appréhender l'avenir, telle est la base de la collaboration vers laquelle il faut tendre pour une meilleure connaissance de nos édifices. Concernant le fer, les problématiques archéologiques et architecturales se rejoignent : quels sont les véritables rôles du fer à chaque endroit de la construction ? La réponse à cette unique question renseignerait l'archéologue sur la manière dont les maîtres d'œuvre médiévaux appréhendaient l'emploi du fer et dans quels buts ils l'ont utilisé, mais aussi l'architecte sur la manière dont ces éléments de fer doivent être restaurés afin de préserver l'intégrité du monument. Aujourd'hui encore, nombre de restaurations se font sans connaissance précise du comportement mécanique des matériaux anciens, les forces auxquelles ils étaient soumis et leur résistance à la corrosion dans le milieu où ils se trouvaient.

Le fer mis en œuvre dans les églises troyennes et rouennaises, essentiellement issu de la réduction directe pendant toute la période médiévale, est un matériau très hétérogène, parfois phosphoreux, souvent carburé, et systématiquement rempli d'inclusions non métalliques qui diminuent ses propriétés mécaniques. A la fin du Moyen Age, si le fer de réduction indirecte fait son apparition sur les chantiers, souvent moins carburé, il n'en reste pas moins chargé d'inclusions et souvent phosphoreux. D'une manière générale, la structure métallographique de ce matériau, qui n'a reçu aucun traitement spécifique permettant d'améliorer ses propriétés plastiques ou mécaniques, pose la question de sa résistance et de sa capacité à absorber les contraintes auxquelles il sera soumis dans la maçonnerie sans se briser. Les premiers essais de traction réalisés sur les fers de construction du donjon du château de Vincennes ont en effet montré qu'il était difficile de prévoir le comportement mécanique d'un tel matériau et que dans tous les cas, sa résistance et sa capacité de déformation étaient bien moindres que celles des fers contemporains¹⁴⁴¹. Mais si l'appréhension du comportement mécanique des matériaux actuels de substitution est désormais connue de manière précise, les

¹⁴⁴¹ JUHIN (A.), *Structure métallographique et comportement mécanique...*, *op. cit.*

lacunes sur son comportement à la corrosion dans le milieu où il sera posé ainsi que les contraintes auxquelles ils sera soumis restent la plupart du temps ignorées.

Des hypothèses sur les fonctions des éléments de fer ont certes été régulièrement soulevées tout au long de ce mémoire, mais elles n'ont fait que confirmer l'ambiguïté de la problématique sur la véritable utilité du fer à certains endroits de la structure, ces chaînages et tirants de fer étant susceptibles de céder s'ils sont soumis à une tension continue trop importante. Preuve en sont les chaînages de consolidation installés au XVIII^e siècle à la cathédrale de Troyes pour retenir le transept sud : un siècle plus tard, ils se rompaient et entraînaient dans leur ruine l'effondrement de cette partie de l'édifice. Ces tirants de fer étaient-ils par précaution volontairement surdimensionnés par les architectes médiévaux ? Ou ne jouaient-ils qu'un rôle dynamique dans le monument, ne se tendant qu'en cas de sollicitation de la structure lors de conditions climatiques ou telluriques exceptionnelles par exemple ? Si de nombreux usages du fer ont jusqu'à récemment été incompris, c'est en effet car l'équilibre des églises et cathédrales gothiques ne saurait se réduire à leur seule statique, comme J.-L. Taupin l'a démontré pour la cathédrale de Beauvais. Ces édifices sont constamment en mouvement et « jouent avec la mécanique »¹⁴⁴². Le rôle de nombreuses petites pièces de fer, agrafes sur les balustrades, attaches de statues, goujons et barres de colonnettes monolithiques, ne peut également se comprendre qu'à travers cette approche. Mais sans s'attarder sur la question des petits éléments servant à l'attache du décor, qui, malgré leur abondance ne peuvent s'apparenter à des emplois structurels, les divers tirants et chaînages qui ont été observés, parfois en tension, parfois détendus, entrent-ils tous à part entière dans la statique ou la dynamique de l'édifice ? Pour l'exemple des vitraux, malgré les hypothèses de J.-L. Taupin, cela dit fort justifiées sur le rôle important que devait jouer l'armature de fer dans la dynamique des grandes fenêtres gothiques, notamment sous l'influence de la pression des vents¹⁴⁴³, la récente étude R. Bartel *et al.* sur la modélisation d'une fenêtre gothique de l'église Saint-Georges de Nördlingen a au contraire montré que le rôle des fers dans ses fenêtres était apparemment très faible pour sa statique et sa dynamique lorsqu'elle est soumise aux poussées des vents¹⁴⁴⁴. Une étude isolée, malgré tout le crédit et la valeur que l'on peut lui accorder, ne saurait se suffire en conclusion. En effet, comme nous l'avons vu, au cours des différents styles de la période gothique, les types de fenêtres ainsi que l'importance du métal dans ces dernières évoluent. Le remplage, la surface vitrée et la

¹⁴⁴² MONNIER (E.), « Des monuments qui jouent avec la mécanique »..., *op. cit.*

¹⁴⁴³ TAUPIN (J.-L.), « Le fer des cathédrales »..., *op. cit.*

¹⁴⁴⁴ BARTEL (R.), SCHIEMANN (L.) et JAGFELD (M.), « Static analysis and evaluation... », *op. cit.*

quantité de métal sont bien différents à l'église Saint-Urbain de Troyes, à la cathédrale de Beauvais ou à la cathédrale de Rouen. Les hypothèses de cette étude doivent en revanche être reprises comme base de nouveaux travaux, d'une part sur la perception des forces auxquelles les remplages et armatures de ces fenêtres sont actuellement soumis, par enregistrement des mouvements de l'édifice et d'autre part par leur modélisation sur ordinateur permettant d'estimer les limites maximales de résistance de chaque matériau pour des contraintes précises. J.-L. Taupin s'est, depuis quelques années, intéressé à ces moyens de surveillance active des monuments, plus connue sous l'anglicisme « monitoring » et pour tenter de s'approprier les outils adéquats, il a pris contact avec des ingénieurs maîtrisant ces techniques¹⁴⁴⁵. Une nouvelle fois sous son impulsion, on peut donc attendre beaucoup de l'extension de cette interdisciplinarité chère à notre sujet. Maintenant que la problématique relative à la qualité du matériau et au soutien statique ou dynamique de ces monuments a été posée, l'étude de cas concrets en collaboration avec J.-L. Taupin pourrait commencer par le développement d'un vaste travail de recherche comprenant l'ensemble de ces spécialités : études des textes, prospections dans le bâti, analyses métallographiques, mais aussi, analyses de traction, « monitoring » de la structure et modélisation de ses mouvements, appliquées à un seul et même édifice, peut-être la cathédrale de Beauvais, là où tout a commencé et sur laquelle les travaux de recherche reprennent avec de nouveaux travaux en métallographie¹⁴⁴⁶.

La conjonction de l'étude des archives comptables et de l'approche métallographique permet d'aborder d'autres problématiques, non plus liées à l'équilibre du bâtiment, mais à la production du fer, son approvisionnement et le coût engendré pour les chantiers de construction.

D'après les sources écrites, le fer mis en œuvre dans les églises troyennes et rouennaises provient avant tout des productions locales ou régionales. Comme l'avait souligné O. Chapelot, l'apport interrégional ou international, s'il est difficile à quantifier, ne semble toutefois pas influencer de manière notable l'approvisionnement de ces chantiers de construction. Il est désormais possible, par l'analyse des éléments majeurs contenus dans les inclusions des objets en fer, de déterminer si, dans un corpus homogène, ces fers ont une même origine ou proviennent au contraire plusieurs provenances différentes. En l'état actuel de la recherche, il n'est cependant pas encore envisageable de relier un objet à un atelier ou

¹⁴⁴⁵ TAUPIN (J.-L.), « Le fer des cathédrales, la naissance d'une réflexion et son évolution : l'exemple de Beauvais », dans *L'emploi du fer et du plomb dans l'architecture gothique, Actes du colloque de Noyon, 16-17 novembre 2006*, sous presse.

¹⁴⁴⁶ DILLMANN (Ph.), « De Soissons à Beauvais... », *op. cit.*

une région de production. Cependant, le travail de recherche d'A.-M. Desauty, actuellement en cours au Laboratoire Pierre Süe, sur la traçabilité du fer du minerai au produit fini par l'étude des éléments traces contenus dans les inclusions permettra d'établir la compatibilité entre les fers des églises rouennaises et la production du Pays de Bray normand à la fin de la période médiévale et au début de la période moderne¹⁴⁴⁷. Cette étude nouvelle qui met également en place un protocole de travail permet d'envisager l'extension de la recherche à d'autres régions.

Matériau très hétérogène composé d'un mélange de fer, d'acier et d'inclusions, ce fer, essentiellement consommé sous forme de barres et leurs divers dérivés est principalement issu de la réduction directe pendant toute la période médiévale. Le fer de réduction indirecte fait toutefois son apparition sur les chantiers au moins dès le milieu du XV^e siècle à Troyes et dès la fin du XV^e siècle à Rouen.

Les deux grandes évolutions de la métallurgie médiévale ont eu des impacts très différents sur l'utilisation du fer dans l'architecture et dans les églises gothiques en particulier. S'il n'a pu être mis en évidence de manière archéologique comme l'avait fait Ph. Dillmann au Palais des Papes d'Avignon¹⁴⁴⁸, le marteau hydraulique semble bien avoir joué un rôle essentiel dans la production des tonnes de barres de fer consommées sur les chantiers des églises troyennes comme rouennaises. Malgré les assertions de M. Arnoux qui retarde l'apparition du marteau hydraulique en Normandie à la fin du XV^e siècle d'après son étude des sources écrites, il a récemment été mis en évidence aux frontières de la Normandie orientale pour la production de la cathédrale de Beauvais à la fin du XIII^e siècle¹⁴⁴⁹. Avec les tonnes de barres de fer employées sur les chantiers de la cathédrale et de l'église Saint-Ouen de Rouen, ces deux arguments plaident pour une implantation bien plus précoce de l'innovation dans la région normande. En revanche, la révolution du procédé indirect ne semble pas avoir influencé la consommation de fer sur les chantiers de constructions troyens et rouennais : avec son introduction, les quantités de fer mises en œuvre n'augmentent vraisemblablement ni à Rouen, ni à Troyes. D'une manière générale, rares sont les moments de la construction des édifices étudiés où l'approvisionnement en fer semble avoir créé de besoins particuliers. De plus, lorsqu'une logistique particulière est mise en œuvre, ce n'est

¹⁴⁴⁷ Communication présentée au GDR Chim'Art, 23 Janvier 2007.

¹⁴⁴⁸ DILLMANN (Ph.), BERNARDI (Ph.), « Premiers résultats métallographiques... », *op. cit.*

¹⁴⁴⁹ L'HERITIER (M.), JUHIN (A.), DILLMANN (Ph.), ARANDA (R.), BENOIT (P.), « Utilisation des alliages ferreux... », *op. cit.* ; CALI (F.), MOULINIER (S.), *L'ordre ogival...*, *op. cit.* ; BELHOSTE (J.-F.), LECHERBONNIER (Y.), ARNOUX (M.), ARRIBET (D.), AWTY (B. G.), RIOULT (M.), *La métallurgie Normande...*, *op. cit.*, p. 35.

jamais car les quantités de fer consommées par le chantier sont trop importantes, mais pour l'obtention de produits particuliers comme ces très grosses barres de fer de 75 kg pièce achetées par la fabrique de la cathédrale de Troyes au forgeron de la grosse forge de Doulevant-le-Château en 1410¹⁴⁵⁰. Malgré les dizaines de tonnes de fer présentes dans chacun des édifices, la dépense annuelle ne semble jamais avoir dépassé quelques tonnes de fer, quantité qui pouvait aisément être produite par des structures de production utilisant le marteau hydraulique. De même que, toutes proportions gardées, la consommation en fer ne semble pas avoir atteint des sommes considérables, l'étude des archives comptables à partir de la fin du XIV^e siècle montre que le coût engendré à la charge de la fabrique dépasse rarement quelques pourcents de la dépense totale annuelle du chantier. Seules les grandes campagnes de vitrerie font de manière systématique exception à ce tableau. L'approche statistique des comptes médiévaux permet de rendre compte de la part que chaque type de dépense pour forge représente. Pour les églises étudiées, les fers à vitraux ne représentent qu'un quart des dépenses de serrurerie et 10 % pour les autres fers de construction. Plus de la moitié du salaire du serrurier ne concerne pas les fers mis en œuvre dans la construction, malgré des dépenses totales pour forge déjà relativement faibles. Même si le prix du métal n'est pas le même dans le sud de la France au milieu du XIV^e siècle, le tableau semble toutefois bien différent pour le Palais des Papes en Avignon, pour lequel Ph. Bernardi estime que la dépense en fer de construction atteint pour certaines années 10 à 15 % des dépenses totales, pour une moyenne de 6,5 % sur la période 1335-1360¹⁴⁵¹. Le développement cette approche statistique sur d'autres églises et monuments civils ou religieux de la période gothique, comme elle a déjà été présentée lors du colloque *Pierre et métal dans la construction au Moyen Age*¹⁴⁵², permettra d'établir d'autres comparaisons de ce type.

S'il apparaît désormais clairement que les églises gothiques n'ont nullement profité de la révolution du procédé indirect, elles constituent néanmoins un support d'étude exceptionnel pour appréhender d'une manière nouvelle la diffusion de cette innovation par l'intermédiaire de l'analyse des inclusions des fers de construction. En outre, plus que l'apparition du procédé indirect, l'étude des inclusions des fers de construction est révélatrice de la part que le fer issu de l'affinage de la fonte prend sur les marchés urbains au cours du temps par rapport à son homologue de la filière directe. Cette étude est donc susceptible de marquer le moment à

¹⁴⁵⁰ PJ n° 40.

¹⁴⁵¹ BERNARDI (Ph.), DILLMANN (Ph.), « La place du métal dans la construction »..., *op. cit*

¹⁴⁵² BENOIT (P.), « Métal et construction... », *op. cit.*

partir duquel ces nouveaux ateliers de production acquièrent une importance suffisante, que ce soit par leur nombre ou leur meilleure maîtrise technique du procédé, pour prendre le pas sur la filière plus traditionnelle. Les premiers résultats sur la Normandie orientale et la Champagne méridionale sont très prometteurs pour permettre d'envisager, avec la multiplication des échantillons, une meilleure connaissance de l'implantation de la filière indirecte dans certaines régions du royaume de France. En Normandie, les restaurations actuellement en cours sur la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen de Rouen sont à même de fournir un corpus d'étude suffisant pour la seconde moitié du XV^e siècle. En Bourgogne occidentale, la restauration de la cathédrale d'Auxerre a vu la dépose d'un matériel d'étude conséquent, permettant d'envisager le même type d'approche pour les XIV^e et XV^e siècles¹⁴⁵³. Enfin, entre Champagne et Normandie, l'Ile-de-France fera l'année prochaine l'objet d'une étude sur l'utilisation du fer dans la construction gothique. Cette extension des travaux actuels prévoit de faire de cette problématique un des points forts de la recherche à développer.

L'étude du fer dans l'architecture monumentale en général et dans les églises gothiques en particulier entre donc dans une nouvelle étape. Ce travail est le point de départ d'études plus vastes ou plus précises dans de nombreux domaines : caractéristiques mécaniques des fers employés dans ces constructions et leurs rôles dans la dynamique des monuments, étude de la diffusion du procédé indirect en Europe occidentale, traçabilité d'un objet de fer du minerai ou du site de production jusqu'au produit fini. La méthodologie développée ici et qu'il conviendra d'améliorer pourra également être étendue à d'autres régions du royaume de France, ou même transalpines, où les problématiques historiques ou architecturales sont différentes. Souhaitons, pour un développement optimal de ces travaux, qu'un partenariat entre architectes et archéologues puisse s'avérer réalisable. Les récents travaux réalisés sur la cathédrale d'Auxerre ont bien montré le potentiel d'un véritable suivi archéologique des restaurations¹⁴⁵⁴. A terme nécessaire, il ne pourra que contribuer à une meilleure connaissance de l'histoire passée, présente et future de ces grands monuments.

¹⁴⁵³ AUMARD (S.), « L'emploi du plomb... », *op. cit.* Contact a été pris avec l'équipe de Chr. Sapin pour réaliser l'étude métallographique de ces fers dans l'optique du colloque sur la cathédrale qui aura lieu à l'automne 2007.

¹⁴⁵⁴ ID., *Ibid.*

LEXIQUE DES ELEMENTS DE FER

L'armature du vitrail :

Elle se compose de différents éléments¹⁴⁵⁵ :

- les barlotières, barres de fer plat, pourvues de tenons (voir ci-dessous) et scellées dans les montants ou meneaux de la fenêtre ;
- les tenons ou pannetons, petits éléments de forme oblongue percés d'un trou de forme rectangulaire, ils sont soudés ou rivés aux barlotières à intervalles réguliers et reçoivent les panneaux de vitrail ;
- les feuillards, éléments de fer plat, très fins, mais de longueur et hauteur quasiment identiques à la barlotière et percés de trous à intervalle réguliers pour laisser passer les tenons dans lesquels ils s'insèrent ;
- les clavettes, petites pièces de fer de forme plus ou moins triangulaire qui viennent s'insérer dans les tenons pour fixer le feuillard et bloquer le panneau de vitrail entre ce dernier et la barlotière ;
- les vergettes, petites tringles de fer auxquelles on attache le vitrail avec des liens de plomb, elles peuvent être scellées dans les joints des feuillures.

Dans certaines fenêtres, on note également assez souvent la présence de barlotières de dimensions plus importantes, dont le rôle est davantage d'assurer un soutien à la structure de la fenêtre que de tenir en place le vitrail. Elles sont dénommées barlotières-tirants d'après ce double rôle qui est le leur. Ces grosses barlotières, contrairement aux petites barlotières qui ne mesurent que la largeur d'une lancette, traversent en général les meneaux des baies pour être continues sur une travée entière. Dans certains cas, elles peuvent même être liées les unes aux autres à l'intérieur des piédroits des baies constituant ainsi un chaînage continu sur toute une partie d'un édifice¹⁴⁵⁶.

Les barlotières avec leurs tenons forment la partie fixe du vitrail, qu'il n'est pas nécessaire de retirer pour ôter un panneau de vitrail. Les autres éléments forment en revanche

¹⁴⁵⁵ Toutes ces définitions sont issues de LAFOND (J.), *Le vitrail*, Paris, Florilège, 1962, p. 69 et BLONDEL (N.), *Le Vitrail : Vocabulaire typologique et technique*, Paris, Edition du Patrimoine, 2000, p. 124-133.

¹⁴⁵⁶ TAUPIN (J.-L.), « Le fer des cathédrales »..., *op. cit.* ; ERLANDE-BRANDENBURG (A.), « L'architecture rayonnante et le métal »..., *op. cit.*

la partie amovible qui doit systématiquement être déposée. Les petites barlotières, ancrées peu profondément dans les meneaux et piédroits peuvent cependant être déposées si nécessaire, pour les restaurer ou pour adapter leur positionnement par rapport à de nouveaux panneaux. En revanche, les barlotières-tirants ne peuvent être retirées sans un démontage complet des piédroits des baies.

Agrafe, agrappe, grappe, graffe, ou crampon, crappon : Pièce de fer recourbée à angle droit à ses deux extrémités et servant à relier ensemble deux pierres contiguës.

Dans les comptes médiévaux et plus généralement dans le vocabulaire architectural, les termes d'agrafe et de crampon sont des synonymes presque parfaits. Les définitions de Chabat et de Viollet-le-Duc en sont la preuve, bien qu'elles ne le disent pas explicitement. Viollet-le-Duc emploie pour sa part la même définition pour les deux éléments, à savoir « pièce (ou morceau) de fer ou de bronze reliant ensemble deux pierres »¹⁴⁵⁷. Chabat mélange de son côté habilement les termes : une agrafe est un « morceau de fer plat, replié aux deux bouts comme un crampon »¹⁴⁵⁸ et les crampons, outre leur définition similaire, sont également qualifiés de « sortes d'agrafes »¹⁴⁵⁹.

Bien que Chabat parle de « fer plat » et que Viollet-le-Duc mentionne une section généralement carrée de 2 à 3 cm avec une longueur moyenne de 30 à 40 cm de long, ce sont uniquement la forme et la fonction d'attache de pierres contiguës qui définissent la notion d'agrafe ou de crampon. Les agrafes relevées sur les monuments sont en effet de tailles très diverses allant de la dizaine de cm à près d'un mètre. Les sections sont également de formes et dimensions très variables tout comme la longueur des extrémités que l'on dénomme en général « pattes » ou « retours » de l'agrafe.

Anneaux, annulis : Barlotières de forme circulaire que l'on retrouve souvent dans le réseau des baies ou dans les roses. Ces barlotières sont également dénommées cercles ou ronds suivant les comptes.

Ancre : Élément vertical destiné à arrêter un chaînage.

¹⁴⁵⁷ VIOLLET-LE-DUC (E.), *Dictionnaire raisonné...*, *op. cit.*, tome 1, p 11 ; tome IV, p. 370.

¹⁴⁵⁸ CHABAT (P.), *Dictionnaire des termes...*, *op. cit.*, tome 1, p.19. P. Chabat mentionne également des agrafes pouvant présenter la forme de double queue d'aronde, diversifiant ainsi un peu le terme.

¹⁴⁵⁹ ID., *Ibid.*, tome 1, p. 376.

Bande, bende : « En général, tout ouvrage exécuté en fer plat »¹⁴⁶⁰. Le terme de bande s'applique donc à toutes les barres de fer.

Barre, barreau, barrel, barriau : « On donne ce nom, en général, à toute pièce de bois ou de métal, longue, étroite et de faible épaisseur »¹⁴⁶¹.

Barre loquetée, barrellis loquetatis : Il s'agit bien là de l'étymologie du mot « barlotière », qui s'écrivait anciennement « barrelotière ». Littéralement barre pourvu de loquets, c'est-à-dire de tenons.

Carrés, quarrés : Barlotières de forme carrée que l'on retrouve parfois dans le réseau des baies.

Cercles, circulis : Voir anneaux.

Chaînage : « Nom que l'on donne aux divers systèmes employés pour empêcher l'écartement des murs d'une construction »¹⁴⁶².

« Ce mot s'applique aux longrines de bois, aux successions de crampons de fer posés comme les chaînons d'une chaîne ou même aux barres de fer noyées dans l'épaisseur des murs, horizontalement, et destinés à empêcher les écartements, la dislocation des constructions en maçonnerie »¹⁴⁶³.

Le chaînage est donc un système composé de plusieurs éléments dont le rôle est d'empêcher la dislocation d'une structure.

Cheville, queville : Petite pièce de bois ou de fer, enfoncée à force pour réaliser un assemblage entre deux autres pièces. Elles ont en général une tête en forme de pointe.

Goujon, Gougou, gojon : Petite pièce de fer, en général de forme cylindrique, servant à assembler intérieurement deux pierres contiguës. A l'époque médiévale, ils sont souvent scellés au plomb. Il existe également des goujons de bois, de pierre et d'os.

¹⁴⁶⁰ ID., *Ibid.*, tome 1, p. 107.

¹⁴⁶¹ ID., *Ibid.*, tome 1, p. 113.

¹⁴⁶² ID., *Ibid.*, tome 1, p. 231.

¹⁴⁶³ VIOLLET-LE-DUC (E.), *Dictionnaire raisonné...*, *op. cit.*, tome 2, p. 396-397.

Grosses barres, gros barreaux, *magnis barrellis* : Ces termes désignent les barlotières-tirants lorsqu'ils sont liés aux fenêtres. Dans le cas contraire il s'agit de grosses barres de chaînages.

Loquet, *loquetis* : Tenon ou panneton (voir barre loquetée)¹⁴⁶⁴.

Montant : Grande barlotière verticale apportant une subdivision de l'espace supplémentaire. Les montants sont le plus souvent utilisés dans les fenêtres à lancette unique pour pallier l'absence de meneaux, ou dans celles à lancettes multiples lorsque ces lancettes sont très larges (de l'ordre du mètre).

Paillettes, pailles, *paillettis* : Clavettes

Ronds, *rodels* : Voir anneaux.

Tirant : « Pièce que l'on classe dans la catégorie des gros fers et qui est un fer plat portant d'un bout un œil dans lequel passe une ancre »¹⁴⁶⁵.

« Le tirant s'oppose à l'écartement des murs ».

Le tirant est une pièce de fer en général de forte section installé dans une maçonnerie ou une arcature et destiné à un travail en traction.

Touroullière, *toreilliere, toureilliere* : anneaux fixés à la porte et dans lesquels court la tige du verrou nommé *toreil*¹⁴⁶⁶.

Trépied, *trepie, trepier* : Probablement une barlotière à trois pieds. La forme précise vraisemblablement un triangle ou un T n'a pas pu être clairement établie¹⁴⁶⁷. La forme de T semble cependant l'hypothèse la plus plausible.

¹⁴⁶⁴ C'est sur ce terme que le plus grand nombre de contresens sont à relever, CLEMENT-CHARPENTIER (S.), « Le rôle des éléments métalliques... », *op. cit.* ; ROSEROT de MELIN (Mgr J.), *Bibliographie commentée...*, *op. cit.*, p. 194. Le terme de loquet, lorsqu'il s'agit d'un vitrail ou qu'il est associé à une barre dans l'expression « barre loquetée » n'est pas relatif à un élément de serrurerie, mais désigne simplement un tenon ou une barre pourvue de tenons.

¹⁴⁶⁵ CHABAT (P.), *Dictionnaire des termes...*, *op. cit.*, tome 2, p. 1376.

¹⁴⁶⁶ GODEFROY (F.), *Dictionnaire de l'ancienne langue française...*, *op. cit.*, tome 7, p. 752.

¹⁴⁶⁷ Ce terme est uniquement présent dans les comptes de la cathédrale de Troyes au sujet des baies hautes du transept. Actuellement quelques triangles et quelques barres en forme de T sont visibles dans ces baies.

Verge, *virgis* : Vergettes.

Vertevelle, *vervelle* : Terme de serrurerie, désigne une pièce ansée attachée à la porte et destinée par exemple à bloquer l'extrémité du loquet. De par leur forme, certaines attaches de statue sont dénommées ainsi.

GLOSSAIRE

Acier : Fer contenant de 0,02 à 2 %_{mass} de carbone. Cet élément, même présent en des quantités très faibles dans le matériau, en modifie considérablement les propriétés mécaniques. A 0,8 %_{mass}, de carbone, il est appelé acier eutectoïde. Les aciers contenant moins de 0,8 %_{mass} de carbone sont appelés hypoeutectoïdes. Ceux contenant plus de 0,8 %_{mass} de carbone sont appelés hypereutectoïdes.

Arc doubleau : Arc séparant deux parties de voûte ou renforçant un berceau.

Arc formeret : Arc à l'intersection entre la voûte et le mur portant. Par extension, arc longitudinal d'une voûte sur croisée d'ogives.

Austénite : Entre 910 °C et 1400 °C, le fer est sous la forme d'un réseau de mailles cubiques à faces centrées nommé fer g ou austénite. Le fer g est le plus dilatable et également le meilleur dissolvant du carbone. Au-delà de 1400 °C et jusqu'à la température de fusion du fer (1535 °C), les cristaux sont de nouveau agencés selon un réseau cubique centré (fer δ).

Bainite : Structure métallographique correspondant à une vitesse de refroidissement intermédiaire entre celle provoquant l'apparition de martensite et celle permettant la précipitation de carbures (perlite).

Barlong : Qui est de forme rectangulaire et dont le côté le plus long est perpendiculaire à l'axe du bâtiment.

Calcaire pseudo-oolithique : Calcaire constitué de pseudo-oolithes, c'est-à-dire de sphères calcaires dépourvues de structure interne.

Campanile : Clocher en général séparé de l'église.

Cémentation La cémentation est un procédé qui consiste à former une couche d'acier à la surface d'un objet en fer.

Chaude : A la forge, cycle comprenant une chauffe suivie d'une phase de martelage.

Chéneau : Conduit de pierre, de plomb, ou de bois, qui recueille les eaux du toit et les porte de la gouttière dans le tuyau de descente.

Claire-voie : Baie ou arcature ajourée.

Combles : Partie de l'édifice qui correspond à la hauteur des charpentes. Combles hauts : combles du vaisseau central. Combles bas : combles des bas-côtés ou du triforium.

Corroyage : Soudure ou forgeage à chaud de pièces métalliques.

Cours de tirants : Ensemble de tirants placés dans une situation et à une hauteur identique. Ils peuvent être liés les uns aux autres pour former chaînage.

Crochet : Ornement en forme de crosse végétale, de bourgeon recourbé.

Culée : Massif vertical de maçonnerie contenant les poussées d'un arc-boutant.

Ecroissance Allongement des grains constituant la structure du métal dans une direction préférentielle sous l'effet de la déformation lors du forgeage.

Élévation à deux étages : Élévation composée de grandes arcades surmontées directement par les fenêtres hautes.

Élévation à quatre étages : En général, élévation composée de grandes arcades surmontées de tribunes, d'un triforium et de fenêtres hautes.

Élévation à trois étages : En général, élévation composée de grandes arcades surmontées d'un triforium et de fenêtres hautes.

Etrésillons : Pièces placées entre deux parties d'une construction pour les empêcher de se rapprocher.

Eutectoïde : Voir perlite et acier.

Fausses-tribunes : Arcades de décharge situées au dessus des grandes arcades du vaisseau central simulant la présence de tribunes. Elles ne constituent donc pas de galerie sur les bas-côtés.

Fayalite : Silicate de fer (Fe_2SiO_4) entrant dans la composition des inclusions non métalliques des fers anciens.

Ferrite : La ferrite (ou fer α) est une structure métallographique (phase) contenant très peu de carbone ($< 0,02$ %mass). En fait, dans ce type de structure, le fer se trouve sous forme de grains qui sont autant de monocristaux de ferrite. La ferrite est un réseau de mailles cubiques centrées, stable à température et pression ambiantes et ce jusqu'à 910 °C.

Ferrite aciculaire : Appelée également structure de Widmanstätten, elle désigne la forme effilée que peut prendre la ferrite dans les zones carburées, témoignant d'un maintien prolongé à haute température et d'un refroidissement relativement rapide

Fonte : Alliage fer-carbone contenant plus de 2 %_{mass} de carbone. Elle n'est pas forgeable.

Forme / formette : Terme d'ancien français désignant une fenêtre sans regard de ses dimensions.

Gâble : Couronnement de pierre triangulaire ajouré et décoré de crochets ou de fleurons, surmontant les ouvertures, en particulier les portails et les roses.

Gouttereau : Mur de façade reliant les murs pignons et portant un chéneau ou une gouttière. En pratique, murs des grands côtés d'une église.

Grains équiaxes : Grains ne présentant aucune direction d'allongement particulière.

Grappage : Action métallurgique de recyclage qui consiste à agglomérer des pièces de fer à chaud dans un petit foyer. Le grappage s'accompagne d'un corroyage.

Grisaille : Dans l'art du vitrail, technique d'ornementation qui consiste à contenir le dessin dans la limite des plombs et excluant quasiment l'utilisation des verres de couleur.

Lancette : Ouverture en arc brisé.

Lancettes jumelles : Ouverture constituée de deux arcs brisés identiques accolés.

Martensite : Structure métallographique correspondant à un agencement des atomes de fer déformé par les atomes de carbones piégés lors d'un refroidissement rapide. La martensite est la structure métallographique caractéristique de la trempe.

Meneau : Montant en pierre séparant l'ouverture d'une baie.

Mur diaphragme : Mur de soutènement monté sur un arc transversal.

Noe : Rigole située sur le dessus de l'arc servant de gouttière pour les eaux de pluie.

Palier : Pièce fixe supportant l'arbre de transmission d'une machine à chacune de ses extrémités ou en un ou plusieurs de ses points intermédiaires.

Perlite : Structure (composé eutectoïde) correspondant à un acier contenant 0,8 %_{mass} de carbone et refroidi lentement. Elle est constituée d'une alternance de lamelles de ferrite et de cémentite (Fe₃C). En fonction de la teneur en carbone de l'acier, de 0,02 à 0,8 %_{mass} la part de perlite par rapport à celle de ferrite augmente progressivement. Un acier à 0,8 %_{mass} de carbone, appelé acier eutectoïde est constitué exclusivement de perlite. Au-delà de 0,8 %_{mass}, on observe, dans un acier refroidi lentement, un mélange de perlite et de cémentite dans lequel la part de cémentite augmente en fonction de la teneur en carbone. Au delà de 2 %_{mass} de carbone la terminologie actuelle dénomme les alliages ferreux : fonte. Le carbone peut alors prendre d'autres formes.

Pignon : Mur en forme triangulaire soutenant les pannes et le faîtage d'une charpente. En pratique, murs correspondant aux portails occidentaux et latéraux.

Pile, pilier : Support de maçonnerie appareillé et isolé.

Pinacle : Couronnement vertical décoratif en forme de cône ou de pyramide pouvant servir à charger un point de la structure. On les trouve souvent sur les balustrades, les arcs-boutants ou les culées.

Pivot : Extrémité amincie ou pièce rapportée à l'extrémité d'un arbre tournant vertical.

Remplage : Armature de pierre garnissant l'intérieur d'une fenêtre ou d'une rose.

Réseau : Partie supérieure d'un remplage.

Tailloir : Tablette de pierre surmontant le chapiteau d'une colonne.

Tour campanile : Dans une église, tour ayant pour vocation d'abriter les cloches.

Trempe : Procédé qui consiste à refroidir brutalement (dans l'eau par exemple) un acier porté à haute température. Il est destiné à durcir fortement le matériau. La structure métallographique caractéristique en est la martensite.

Tribunes : Galerie située au-dessus des bas-côtés et ouvrant à l'intérieur sur le vaisseau central. Elles sont de même largeur que les bas-côtés.

Triforium : Galerie de circulation située dans l'épaisseur d'un mur au-dessus des tribunes ou des grades arcades et ouverte sur le volume intérieur de l'édifice par un arc ou une claire-voie. Il est dit « aveugle » si son mur de fond est plein, ou « ajouré » s'il est vitré.

Trumeau : Pilier supportant en son milieu le linteau d'un portail.

Virole : Petit cercle ou anneau de métal dont on garnit l'extrémité d'une canne et spécialement le bout d'un manche pour assujettir ce qui y est fixé et empêcher le bois de se fendre.

Voûte d'ogives quadripartite : Voûte d'ogives composée de quatre voûtains et reposant sur quatre supports en général de mêmes dimensions.

Voûte d'ogives sexpartite : Voûte d'ogives composée de six voûtains et reposant sur six supports, en général quatre supports forts dans les angles et deux supports faibles au milieu des côtés.

Wüstite : Oxyde de fer (FeO) entrant dans la composition des inclusions non métalliques des fers anciens.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Vitraux de la Sainte-Chapelle de Paris et détail du chaînage traversant les baies.	6
Figure 2 : Chaînages et tirants relevés dans la cathédrale de Bourges.	10
Figure 3 : Principe du marteau hydraulique et marteau hydraulique encore en activité.	19
Figure 4 : Coupe schématique de deux bas fourneaux.	20
Figure 5 : Coupe schématique d'un haut fourneau et températures de fonctionnement dans un haut fourneau contemporain.	20
Figure 6 : Extrait d'un registre de compte de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes.	40
Figure 7 : Extrait d'un registre de comptes de la fabrique de la cathédrale de Rouen.	47
Figure 8 : Exemple de fichier de traitement des données pour une année comptable.	97
Figure 9 : Exemple de fichier récapitulatif le détail des dépenses pour forges sur l'ensemble des années comptables d'une église.	98
Figure 10 : Prospections au détecteur de métaux.	101
Figure 11 : Agrafes passant dans ou sous un mur, église Saint-Ouen.	103
Figure 12 : Exemple de tirant s'ancrant au niveau d'un joint et de tirant s'ancrant en pleine pierre.	106
Figure 13 : Système utilisé pour déterminer la continuité électrique des tirants.	107
Figure 14 : norme AFNOR NF A04-106.	111
Figure 15 : Modification de la norme AFNOR NF A04-106 et exemple d'application.	112
Figure 16 : Différents types de structures métallographiques.	113
Figure 17 : Partition des éléments et phases formées en fonction des procédés de réduction.	115
Figure 18 : Mise en évidence de la signature chimique d'un système par archéologie expérimentale (Agorregi et Melle).	117
Figure 19 : Mise en évidence de deux fers d'origines différentes composant deux parties d'un même fer à cheval.	118
Figure 20 : Rapports des composés non réduits des inclusions d'échantillons prélevés au donjon du château de Vincennes.	120
Figure 21 : Graphique de référence pour la discrimination des procédés de réduction.	123
Figure 22 : Exemple de phase d'oxyde de chrome et de vanadium.	124
Figure 23 : Mode opératoire des analyses métallographiques.	125
Figure 24 : Localisation de l'étude.	127
Figure 25 : Plan du centre ville de Rouen en 1703.	129
Figure 26 : Vue intérieure de la nef de la cathédrale de Rouen.	134
Figure 27 : Plan des différentes phases de construction de la cathédrale de Rouen.	135
Figure 28 : Vitrail de saint Julien l'Hospitalier et vitrail de la chapelle de la Vierge, cathédrale de Rouen.	138
Figure 29 : Vitrail de la chapelle Saint-Jean-de-la-nef et de la chapelle Saint-Julien.	140

Figure 30 : Les bombardements du 21 avril 1944, le bas-côté sud de la cathédrale de Rouen détruit.	142
Figure 31 : Plan des vitraux de la cathédrale de Rouen avec leur datation.	145
Figure 32 : Continuité et discontinuité des tirants, baies hautes de la cathédrale de Rouen.	149
Figure 33 : Tirant des arcs à l'entrée de la tour de Beurre.	164
Figure 34 : Tirants des avant-baies du transept de la cathédrale de Rouen.	165
Figure 35 : Petites barres de colonnettes, nef et chapelle du revestiaire.	169
Figure 36 : Résultats des prospections au détecteur de métaux dans le triforium de la nef de la cathédrale de Rouen.	173
Figure 37: Goujons dans les triforiums de la cathédrale de Rouen.	174
Figure 38 : Structure métallographique des goujons prélevés dans le triforium de la cathédrale de Rouen.	178
Figure 39 : Structure martensitique et structures fantômes.	178
Figure 40 : Fissure de l'échantillon ROU TN6, attaque Oberhoffer.	178
Figure 41 : Comparaison des rapports Al_2O_3/SiO_2 et K_2O/CaO pour les quatre goujons prélevés dans le triforium de la cathédrale de Rouen.	179
Figure 42 : Discrimination des procédés de réduction pour les quatre goujons prélevés dans le triforium de la cathédrale de Rouen.	179
Figure 43 : Barres en linteau, triforium de la nef de la cathédrale de Rouen.	181
Figure 44 : Discrimination des procédés de réduction pour les deux étrépillons prélevés dans le triforium de la cathédrale de Rouen.	184
Figure 45 : Renforcement des colonnettes du triforium du transept et du chœur de la cathédrale de Rouen.	187
Figure 46 : Goujon scellé au plomb dans une colonnette et empreintes dans le triforium du chœur.	187
Figure 47 : Empreintes marquant l'agrafage d'anciennes balustrades de la cathédrale de Rouen.	188
Figure 48 : Cheville en fer de la charpente de la nef de la cathédrale de Rouen.	193
Figure 49 : Petites barres de colonnettes, tours des façades latérales de la cathédrale de Rouen.	193
Figure 50 : Schéma de découpe de la cheville prélevée dans un voûtain de la nef.	194
Figure 51 : Structure métallographique de la section ROU CH1a.	194
Figure 52 : Discrimination des procédés de réduction pour les échantillons ROU CH1, ROU BA1 et ROU AG1 de la cathédrale de Rouen.	194
Figure 53 : Tirants ou agrafes, arcature du premier étage de la tour-lanterne.	200
Figure 54 : Les portails latéraux de la cathédrale de Rouen.	204
Figure 55 : Agrafes au portail de la Calende.	205
Figure 56 : Barres en linteaux, revers des portails latéraux de la cathédrale de Rouen.	206
Figure 57 : Tirants, façade occidentale de la cathédrale de Rouen.	216
Figure 58 : Meneaux goujonnés, façade occidentale de la cathédrale de Rouen.	217
Figure 59 : Tirant au revers de la façade occidentale derrière la grande zone.	217
Figure 60 : Différents types d'attache de statue.	225

Figure 61 : Corpus d'étude pour les attaches de statue de la cathédrale de Rouen.	226
Figure 62 : Structure métallographique des attaches de statues analysées sur la façade de la cathédrale de Rouen.	229
Figure 63 : Micrographie de l'échantillon ROU 314a, attaque Nital.	230
Figure 64 : Micrographie de l'échantillon ROU 35/3a, attaque Oberhoffer.	230
Figure 65 : Ligne de soudure médiane, échantillon ROU 35/2a, attaque Nital.	230
Figure 66 : Zone de mauvaise propreté inclusionnaire, échantillon ROU 301a.	230
Figure 67 : Discrimination des procédés de réduction pour les six attaches de statues prélevées sur la façade occidentale de la cathédrale de Rouen.	233
Figure 68 : Comparaison des rapports Al_2O_3/SiO_2 et K_2O/CaO pour les six attaches de statues prélevées sur la façade occidentale de la cathédrale de Rouen.	233
Figure 69 : Détail des dépenses pour forges engagées par la fabrique de la cathédrale de Rouen entre 1383 et 1435.	241
Figure 70 : Détail des dépenses pour forges engagées par la fabrique de la cathédrale de Rouen entre 1457 et 1512.	242
Figure 71 : Répartition des dépenses pour forge dans les comptes de la fabrique de la cathédrale de Rouen entre 1383 et 1512.	249
Figure 72 : Répartition des dépenses pour forge dans les comptes de la fabrique de la cathédrale de Rouen entre 1383 et 1435.	249
Figure 73 : Nombre de clous achetés par la fabrique de la cathédrale de Rouen entre juin 1457 et 1467.	250
Figure 74 : Dépenses pour outils sur le chantier de la cathédrale de Rouen entre 1457 et 1512.	250
Figure 75 : Eglise Saint-Ouen de Rouen vue de la flèche de la cathédrale.	255
Figure 76 : Aquarelle de 1525 du Livre des Fontaines de Jacques le Lieur.	255
Figure 77 : Plan de l'église Saint-Ouen de Rouen.	256
Figure 78 : Vitraux de l'église Saint-Ouen de Rouen.	259
Figure 79 : Micrographie de l'échantillon OUEN 01a, attaque Nital.	263
Figure 80 : Discrimination des procédés de réduction pour l'échantillon OUEN 01.	263
Figure 81 : Eléments de fer sur le portail des Marmousets.	266
Figure 82 : Agrafes et tirants dans le triforium du chœur de l'église Saint-Ouen de Rouen.	273
Figure 83 : Tirants en partie haute du remplage du triforium du transept	273
Figure 84 : Tirant en partie haute du triforium du chœur.	274
Figure 85 : Agrafe de la balustrade intérieure du triforium du chœur.	274
Figure 86 : Agrafes et logements d'agrafes, balustrade du triforium du chœur.	274
Figure 87 : Agrafes coupées ou tordues et logements d'agrafes vides, balustrade extérieure du triforium du chœur.	275
Figure 88 : Longueurs des agrafes de la coursive des fenêtres hautes du chœur de l'église Saint-Ouen de Rouen.	278
Figure 89 : Agrafes de la coursive des fenêtres hautes du chœur de l'église Saint-Ouen de Rouen.	279

Figure 90 : Plan en coupe de l'étage du triforium et des fenêtres hautes de l'église Saint-Ouen de Rouen.	280
Figure 91 : Corpus d'étude métallographique pour les agrafes prélevées dans le chœur de l'église Saint-Ouen de Rouen avec localisation des sections.	282
Figure 92 : Micrographie de l'échantillon OUEN 02a, attaque Nital.	284
Figure 93 : Structure métallographique des agrafes prélevées dans le chœur de l'église Saint-Ouen de Rouen.	284
Figure 94 : Soudures et variations de la teneur en phosphore.	285
Figure 95 : Détail d'une barbelure avec déformation locale des inclusions.	285
Figure 96 : Homogénéité du rapport Al_2O_3/SiO_2 , agrafe OUEN 02.	287
Figure 97 : Homogénéité du rapport Al_2O_3/SiO_2 , agrafe OUEN 19.	287
Figure 98 : Comparaison des rapports Al_2O_3/SiO_2 et K_2O/CaO pour les inclusions des cinq agrafes provenant du chœur de l'église Saint-Ouen de Rouen.	290
Figure 99 : Discrimination des procédés de réduction pour les cinq agrafes provenant du chœur de l'église Saint-Ouen de Rouen.	290
Figure 100 : Barres en linteau à l'étage des combles de l'église Saint-Ouen.	294
Figure 101 : Longueur d'ancrage des barres en linteau dans la maçonnerie, prospection au détecteur de métaux.	295
Figure 102 : Barres de fer dans une niche d'arc-boutant abritant une statue et chevilles dans le beffroi des cloches de l'église Saint-Ouen.	295
Figure 103 : Corpus d'étude métallographique pour les chevilles du beffroi de l'église Saint-Ouen de Rouen avec localisation des sections.	298
Figure 104 : Structure métallographique des chevilles du beffroi de l'église Saint-Ouen de Rouen.	298
Figure 105 : Structures fantômes, OUEN 15a, attaque Nital.	298
Figure 106 : Discrimination des procédés de réduction pour trois chevilles prélevées dans le beffroi de l'église Saint-Ouen de Rouen.	299
Figure 107 : Plan des tirants du 2 ^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen.	305
Figure 108 : Tirants du 2 ^e étage de la tour de la croisée.	306
Figure 109 : Plan et clichés des agrafes et barres de fer 2 ^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen.	307
Figure 110 : Agrafes de la balustrade à claire-voie, 2 ^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen.	308
Figure 111 : Agrafes au sol du 2 ^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen.	308
Figure 112 : Petites barres de fer goujonantes, meneaux du parement intérieur du 2 ^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen.	308
Figure 113 : Longueurs des agrafes de la balustrade de la claire-voie au 2 ^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen.	309
Figure 114 : Largeurs des agrafes de la balustrade de la claire-voie au 2 ^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen.	309
Figure 115 : Corpus partiel d'étude métallographique pour le 2 ^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen.	312
Figure 116 : Structure métallographique des objets du 2 ^e étage de la tour de la	

croisée de l'église Saint-Ouen de Rouen.	312
Figure 117 : Structures en bandes, OUEN 09a et OUEN 12a	312
Figure 118 : Ajouts de sable, OUEN 12a.	315
Figure 119 : Comparaison des rapports Al_2O_3/SiO_2 et K_2O/CaO pour les inclusions des objets prélevés au 2 ^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen.	315
Figure 120 : Comparaison des teneurs en Al_2O_3 et CaO pour les inclusions des sections OUEN 09a et OUEN 10a.	316
Figure 121 : Discrimination des procédés de réduction pour les objets prélevés au 2 ^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen.	316
Figure 122 : Structure métallographique des objets du 3 ^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen de Rouen.	323
Figure 123 : Fissure due à une mauvaise soudure, échantillon OUEN13b.	323
Figure 124 : Comparaison des teneurs en SiO_2 et CaO pour OUEN 13 et OUEN 24.	324
Figure 125 : Discrimination des procédés de réduction pour les objets prélevés au 3 ^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen.	324
Figure 126 : Le fer dans la tour de la croisée, plan d'une face de la tour.	326
Figure 127 : Tirants et goujons de fer au 3 ^e étage de la tour de la croisée.	327
Figure 128 : Chaînage d'une salle aveugle, massif occidental de l'église Saint-Ouen.	329
Figure 129 : Tirants de l'arcature des tours du massif occidental de l'église Saint-Ouen.	329
Figure 130 : Goujons et agrafes de pinacles provenant d'une purge.	332
Figure 131 : Fleurons avec agrafes, purge du transept nord de l'église Saint-Ouen.	332
Figure 132 : Corpus d'étude métallographique pour les éléments de pinacles du transept nord-ouest de l'église Saint-Ouen.	333
Figure 133 : Structure métallographique des échantillons prélevés dans les pinacles du transept nord-ouest de l'église Saint-Ouen de Rouen.	334
Figure 134 : Micrographie de la section OUEN 04a avec structure en bandes.	336
Figure 135 : Pointe de la section OUEN 04a.	336
Figure 136 : Repoussement des inclusions au niveau d'une barbelure.	336
Figure 137 : Comparaison des teneurs en Al_2O_3 et SiO_2 des inclusions du goujon OUEN 08.	339
Figure 138 : Comparaison des rapports Al_2O_3/SiO_2 et K_2O/CaO pour les objets provenant des pinacles du transept nord-ouest de l'église Saint-Ouen.	339
Figure 139 : Comparaison des teneurs en Al_2O_3 et SiO_2 des inclusions du goujon OUEN 04.	340
Figure 140 : Discrimination des procédés de réduction pour les objets provenant des pinacles du transept nord-ouest de l'église Saint-Ouen.	340
Figure 141 : A gauche, agrafes de restauration dans des gargouilles, 2 ^e étage de la tour de la croisée.	342
Figure 142 : Agrafe OUEN 20 et goujon OUEN 21.	342
Figure 143 : Structure métallographique des échantillons objets provenant d'une gargouille de la nef de l'église Saint-Ouen.	344
Figure 144 : Structures en bandes et inclusions, section OUEN 21a.	345
Figure 145 : Repli au niveau de l'arête de l'agrafe OUEN 20.	345

Figure 146 : Discrimination des procédés de réduction pour les objets provenant d'une gargouille de la nef de l'église Saint-Ouen.	345
Figure 147 : Vue de la façade de l'église Saint-Maclou.	349
Figure 148 : Plan de l'église Saint-Maclou, S.D.A.P. de la Seine-Maritime.	350
Figure 149 : Fenêtres hautes de l'abside de l'église Saint-Maclou avec leurs tirants.	352
Figure 150 : Chaînages retrouvés dans la maçonnerie de la tour-lanterne de l'église Saint-Maclou.	354
Figure 151 : Chaînages de la tour-lanterne de l'église Saint-Maclou.	355
Figure 152 : Fers ancrés dans les arcs-boutants de l'église Saint-Maclou.	357
Figure 153 : Agrafes coupées et empreintes d'agrafes dans le triforium du chœur de l'église Saint-Maclou.	362
Figure 154 : Crochets d'attaches de statues sur la façade.	362
Figure 155 : Comparaison des rapports Al_2O_3/SiO_2 et K_2O/CaO , agrafe MAC AG1.	364
Figure 156 : Discrimination des procédés de réduction pour l'agrafe MAC AG1.	364
Figure 157 : Micrographie de l'échantillon MAC AG1.	365
Figure 158 : Plan du centre ville de Troyes en 1679.	369
Figure 159 : Vue du chevet de la cathédrale de Troyes au XIX ^e siècle.	374
Figure 160 : Plan des phases de construction de la cathédrale de Troyes.	376
Figure 161 : Plan de la cathédrale de Troyes avec la numérotation des verrières.	390
Figure 162 : Vitraux de la cathédrale de Troyes.	391
Figure 163 : Verrières de M. de Metz et de Thobie.	406
Figure 164 : Masse de fer achetée et coût de la dépense pour les vitrerie des fenêtres haute de la nef de la cathédrale de Troyes entre 1497 et 1502.	406
Figure 165 : Cerclage et chaînage au plafond du triforium du transept nord de la cathédrale de Troyes.	415
Figure 166 : Structure métallographique de la section TROY 15a.	416
Figure 167 : Discrimination des procédés de réduction pour l'ancre de chaînage TROY 15.	416
Figure 168 : Cerclage et chaînage sur le mur bahut est du croisillon nord du transept.	420
Figure 169 : Petites barres attachant des colonnettes dans le chœur et le transept de la cathédrale de Troyes.	432
Figure 170 : Corpus d'étude métallographique pour les petites barres des arcatures au rez-de-chaussée du chœur et du transept de la cathédrale de Troyes.	433
Figure 171 : Structure métallographique des sections TROY 01a et TROY 02a.	433
Figure 172 : Comparaison des rapports Al_2O_3/SiO_2 et K_2O/CaO pour les deux petites barres prélevées au rez-de-chaussée de la cathédrale de Troyes.	434
Figure 173 : Discrimination des procédés de réduction pour les deux petites barres prélevées au rez-de-chaussée de la cathédrale de Troyes.	435
Figure 174 : Barres de l'arcature du triforium de la partie occidentale de la cathédrale de Troyes.	437
Figure 175 : Structure métallographique de la section TROY 08a.	439
Figure 176 : Inclusions millimétriques vues à la loupe binoculaire, section TROY 08a.	439

Figure 177 : Comparaison des rapports Al_2O_3/SiO_2 et K_2O/CaO pour l'échantillon TROY 08a.	440
Figure 178 : Discrimination des procédés de réduction pour la barre TROY 08.	440
Figure 179 : Agrafes au sol du triforium oriental de la cathédrale de Troyes.	445
Figure 180 : Agrafes sur les balustrades de la coursive extérieure du triforium de la nef de la cathédrale de Troyes.	445
Figure 181 : Longueurs et largeurs des agrafes découvertes à l'étage du triforium de la cathédrale de Troyes.	446
Figure 182 : Comparaison entre les dimensions des agrafes orientales et occidentales de la balustrade extérieure du triforium.	447
Figure 183 : Comparaison entre les dimensions des agrafes des balustrades de la nef et de la corniche du triforium du transept.	447
Figure 184 : Barres attachant les colonnettes soutenant les arcs-boutants dans le chœur de la cathédrale de Troyes.	449
Figure 185 : Corpus d'étude métallographique avec schéma de découpe des barres attachant les colonnettes des arcs-boutants du chœur.	451
Figure 186 : Structure métallographique des barres attachant les colonnettes des arcs-boutants du chœur.	451
Figure 187 : Comparaison des rapports Al_2O_3/SiO_2 et K_2O/CaO pour les barres attachant les colonnettes des arcs-boutants du chœur.	452
Figure 188 : Discrimination des procédés de réduction pour les barres attachant les colonnettes des arcs-boutants du chœur.	452
Figure 189 : Agrafes sur la coursive des fenêtres hautes de la cathédrale de Troyes.	455
Figure 190 : Longueurs et largeurs des agrafes de la coursive des fenêtres hautes du transept de la cathédrale de Troyes.	456
Figure 191 : Deux systèmes d'attache de boutons de clefs de voûte dans la nef.	460
Figure 192 : Fers renforçant les assemblages de la charpente principale.	460
Figure 193 : Discrimination des procédés de réduction pour un boulon de la charpente de la cathédrale de Troyes.	461
Figure 194 : Vue du portail nord de la cathédrale de Troyes représentant l'emplacement des différents éléments de fer liés au placage en pierre de Tonnerre du XV ^e siècle.	466
Figure 195 : Barres de fer dans le portail nord de la cathédrale de Troyes à hauteur de la claire-voie du triforium.	467
Figure 196 : Tirants au sol retenant le gâble en pierre de tonnerre du Beau Portail de la cathédrale de Troyes.	467
Figure 197 : Goujons attachant les statues sur les socles et dans les niches du Beau Portail de la cathédrale de Troyes.	474
Figure 198 : Divers emplois du fer au niveau de la claire-voie du triforium du Beau Portail de la cathédrale de Troyes.	474
Figure 199 : Micrographie de l'échantillon TROY 09a, attaque Nital.	478
Figure 200 : Structure métallographique des échantillons prélevés sur le Beau Portail de la cathédrale de Troyes.	479

Figure 201 : Structure métallographique de l'échantillon TROY 09a.	479
Figure 202 : Echantillon TROY 09a, attaque Nital.	479
Figure 203 : Echantillon TROY 07a.	479
Figure 204 : Structures fantômes, section TROY 07a, attaque Nital.	479
Figure 205 : Comparaison des rapports Al_2O_3/SiO_2 et K_2O/CaO pour les éléments prélevés sur le Beau Portail de la cathédrale de Troyes.	480
Figure 206 : Discrimination des procédés de réduction pour les éléments prélevés sur le Beau Portail de la cathédrale de Troyes.	480
Figure 207 : Eléments de fer sur le portail sud de la cathédrale de Troyes.	483
Figure 208 : Goujons sur la façade occidentale de la cathédrale de Troyes.	487
Figure 209 : Structure métallographique des échantillons prélevés sur la façade occidentale de la cathédrale de Troyes.	487
Figure 210 : Soudure et zone de mauvaise propreté inclusionnaire, section TROY 13a.	487
Figure 211 : Discrimination des procédés de réduction pour les éléments prélevés sur la façade occidentale de la cathédrale de Troyes.	488
Figure 212 : Cerclage en fer périphérique du lanternon de la tour Saint-Pierre.	489
Figure 213 : Types d'éléments et quantités de fer mis au jubé de la cathédrale de Troyes entre 1382 et 1399.	495
Figure 214 : Plan de la cathédrale de Troyes avec grille de référence, d'après Murray.	498
Figure 215 : Nature des dépenses pour forge d'après les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes entre 1293 et 1340.	522
Figure 216 : Nature des dépenses pour forge d'après les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes entre 1366 et 1399.	523
Figure 217 : Nature des dépenses pour forge d'après les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes entre 1409 et 1464.	524
Figure 218 : Nature des dépenses pour forge d'après les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes entre 1468 et 1521.	525
Figure 219 : Répartition des dépenses pour forge dans les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes 1293 et 1520.	527
Figure 220 : Vues de l'église Saint-Urbain de Troyes.	544
Figure 221 : Plan de l'église Saint-Urbain, d'après Viollet-le-Duc.	545
Figure 222 : L'abside de Saint-Urbain et ses baies hautes.	554
Figure 223 : Vitraux de l'église Saint-Urbain de Troyes.	554
Figure 224 : Système de renforcement des avant-fenêtres de l'abside de l'église Saint-Urbain.	559
Figure 225 : Plan de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes.	568
Figure 226 : Baies hautes de l'église Saint-Jean-au-Marché.	570
Figure 227 : Tirants dans la nef de l'église Saint-Jean-au-Marché.	577
Figure 228 : Agrafes des balustrades du comble bas du chœur de l'église Saint-Jean.	580
Figure 229 : Logements d'agrafes sur la balustrade des combles hauts du chœur de l'église Saint-Jean-au-Marché.	582
Figure 230 : Corpus partiel d'étude métallographique : agrafes JEAN V2, H1 et H3.	584

Figure 231 : Structure métallographique des sections réalisées sur les agrafes prélevées sur les balustrades du chœur de l'église Saint-Jean-au-Marché.	586
Figure 232 : Micrographie de la section JEAN H1a, attaque Nital.	586
Figure 233 : Micrographie de la section JEAN H3a.	587
Figure 234 : Gros plan d'une soudure de la section JEAN H3a.	587
Figure 235 : Mauvaise propreté inclusionnaire, section JEAN H5a.	587
Figure 236 : Gros plan de la soudure de la section JEAN H1a, attaque Nital.	587
Figure 237 : Discrimination des procédés de réduction pour les agrafes des balustrades du chœur de l'église Saint-Jean-au-Marché.	590
Figure 238 : Comparaison des rapports Al_2O_3/SiO_2 et K_2O/CaO pour les agrafes des balustrades du chœur de l'église Saint-Jean-au-Marché.	590
Figure 239 : Comparaison des rapports Al_2O_3/SiO_2 et K_2O/CaO pour l'agrafe JEAN H3 avec mise en évidence d'un corroyage de fers d'origine différentes.	591
Figure 240 : Trou de goujon à la base d'un pinacle disparu sur la culée. d'un arc-boutant ; armatures de l'escalier montant à la tour.	593
Figure 241 : Barre de fer dans une gargouille de la façade sud.	593
Figure 242 : Dessin de Ch. Fichot montrant une cloison du chœur de l'église Saint-Jean-au-Marché au XIX ^e siècle ainsi que les tirants de la nef.	601
Figure 243 : Vue du côté sud de l'église Sainte-Madeleine de Troyes.	606
Figure 244 : Plan de l'église Sainte-Madeleine de Troyes.	607
Figure 245 : Fenêtres hautes de l'église Sainte-Madeleine de Troyes.	611
Figure 246 : Chaînage de la tourelle d'escalier de la tour du massif sud de l'église Sainte-Madeleine de Troyes.	612
Figure 247 : Chaînage en bois au sol des fenêtres hautes du transept sud de l'église Sainte-Madeleine de Troyes.	612
Figure 248 : Dessin du jubé de l'église Sainte-Madeleine de Troyes daté de 1560.	613
Figure 249 : Le jubé de l'église Sainte-Madeleine de Troyes.	614
Figure 250 : Arcature à fleurs du jubé de l'église Sainte-Madeleine de Troyes avec des goujons dépassant des fleurs brisées.	617
Figure 251 : Goujon MAD 07 avec extrémité torsadée en hélice.	618
Figure 252 : Agrafe attachant un bouton de clef de voûte du jubé.	621
Figure 253 : Emplacement du goujon MAD 01 dans un meneau de la balustrade.	621
Figure 254 : Goujon MAD 01, section circulaire.	621
Figure 255 : Agrafes sur la balustrade de l'escalier montant au jubé.	622
Figure 256 : Balustrade supérieure du jubé de l'église Sainte-Madeleine de Troyes avec empreinte d'agrafes.	622
Figure 257 : Barres de fer dans l'escalier du jubé.	623
Figure 258 : Zone de mauvaise propreté inclusionnaire, section MAD 12a.	628
Figure 259 : Section MAD 12a montrant une soudure centrale.	628
Figure 260 : Orientation des inclusions au niveau du coude de l'agrafe MAD 12.	628
Figure 261 : Section MAD 07a avec une pointe en hélice.	629
Figure 262 : Soudure avec orientation différentielle des inclusions, section MAD 07a.	629

Figure 263 : Structure métallographique des sections réalisées sur certains objets prélevés sur le jubé de l'église Sainte-Madeleine de Troyes.	630
Figure 264 : Comparaison des rapports Al_2O_3/SiO_2 et K_2O/CaO pour les éléments du jubé de l'église Sainte-Madeleine de Troyes.	632
Figure 265 : Discrimination des procédés de réduction pour les éléments du jubé de l'église Sainte-Madeleine de Troyes.	632
Figure 266 : Feuillards de l'église des Billettes à Paris.	642
Figure 267 : Châssis de bois découverts dans l'église Saint-Pantaléon de Troyes.	649
Figure 268 : Baies hautes du transept de la cathédrale du Mans et leurs tirants.	655
Figure 269 : Quantification des effets mécaniques en fonction de l'évolution des grandes baies.	655
Figure 270 : Baies hautes du chœur de la cathédrale de Beauvais avec leurs tirants.	657
Figure 271 : Tirants dans les arcatures de la tour-lanterne de la cathédrale d'Evreux.	672
Figure 272 : Chaînages à la base de la tour-lanterne de la cathédrale de Bayeux.	672
Figure 273 : Chaînage périphérique au 4 ^e étage du donjon du château de Vincennes.	676
Figure 274 : Triforiums des chœurs des cathédrales de Sées et d'Evreux.	682
Figure 275 : Chaînage d'agrafes sur la corniche à damiers de la cathédrale Notre-Dame de Paris.	688
Figure 276 : Divers renforts au niveau des arcs-boutants.	691
Figure 277 : Chaînage et ancre de chaînage, triforium de la cathédrale d'Amiens.	695
Figure 278 : Goujon et agrafes provenant d'un fleuron de la cathédrale d'Auxerre.	704
Figure 279 : Goujon d'une statue de la façade de la cathédrale de Reims.	707
Figure 280 : Système d'attache de bouton de clef de voûte découvert dans le dépôt lapidaire de la cathédrale de Noyon, vers 1520.	709
Figure 281 : Dépenses pour forge moyennes et maximales d'après les données des comptes de la fabrique.	722
Figure 282 : Part des différents types de dépenses pour forge d'après les comptes des fabriques des cathédrales de Rouen et de Troyes.	723
Figure 283 : Prix du fer et du verre dans la réalisation des vitraux du transept de la cathédrale de Troyes d'après les comptes de la fabrique.	727
Figure 284 : Prix du fer et du verre dans la réalisation des vitraux des baies hautes de la cathédrale de Rouen d'après les comptes de la fabrique.	727
Figure 285 : Part de chacune des matières achetées pour la couverture de la nef de la cathédrale de Troyes en 1488-1489.	729
Figure 286 : Localisation des lieux d'approvisionnement en fer pour les chantiers troyens d'après les comptes de la fabrique.	741
Figure 287 : Correspondance entre la composition des inclusions des églises rouennaises et celle des scories analysées pour deux sites du pays de Bray .	745
Figure 288 : Carte géologique de la région de Forges-les-Eaux avec les sites d'étude d'A.-M. Desaulty pour la filiation minéral/scorie/inclusions.	746
Figure 289 : Mise en évidence de provenances différentes pour les agrafes de la seconde balustrade sud des fenêtres hautes du chœur de l'église Saint-Jean-au-Marché.	756

Figure 290 : Mise en évidence de provenances communes pour les attaches de statues de la cathédrale de Rouen.	756
Figure 291 : Discrimination chronologique des procédés de réduction pour les fers de construction prélevés sur les églises troyennes.	761
Figure 292 : Evolution de la part des fers issus des deux procédés de réduction entre le XIII ^e et le XIX ^e siècle d'après les analyses des fers de construction des églises troyennes.	761
Figure 293 : Evolution comparée des prix du fer à Rouen et à Troyes entre 1375 et 1495	766
Figure 294 : Discrimination chronologique des procédés de réduction pour les fers de construction prélevés sur les églises rouennaises.	768
Figure 295 : Evolution de la part des fers issus des deux procédés de réduction entre le XIII ^e et le XIX ^e siècle d'après les analyses des fers de construction des églises rouennaises.	768
Figure 296 : Implantation du procédé indirect dans le Pays de Bray à la fin du XV ^e siècle.	772
Figure 297 : Expérience de compactage de loupe. Plateforme expérimentale de Melle.	782
Figure 298 : Recensement de l'activité métallurgique dans le pays d'Ouche entre la fin du XI ^e et le début du XIV ^e siècle.	786
Figure 299 : Tirants reliant les arcs-boutants du chœur de la cathédrale de Beauvais.	788
Figure 300 : Les bassins sidérurgiques cisterciens en Champagne méridionale et en Bourgogne du Nord, XII ^e - début XIV ^e siècle.	792
Figure 301 : Principaux établissements religieux et sidérurgiques en pays d'Othe, XIII ^e -XV ^e siècle.	793
Figure 302 : Indices de propreté inclusionnaire selon la norme AFNOR NF A04-106 modifiée d'un facteur 10 en fonction de la datation des objets et de la filière de réduction dont ils sont issus.	806
Figure 303 : Indices de propreté inclusionnaire selon la norme AFNOR NF A04-106 modifiée d'un facteur 10 en fonction des types d'objets analysés.	807
Figure 304 : Indices de propreté inclusionnaire selon la norme AFNOR NF A04-106 modifiée d'un facteur 10 en fonction de la provenance des objets analysés.	807

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Nombre de prélèvements effectués pour analyses métallographiques.	109
Tableau 2 : Comportement de certains composés présents dans le minerai et le charbon pendant la chaîne opératoire.	114
Tableau 3 : La cathédrale Notre-Dame de Rouen en chiffres.	133
Tableau 4 : Décompte et masse des éléments de fer mis en œuvre par fenêtre, lors de la réfection des fenêtres hautes du chœur de la cathédrale de Rouen.	154
Tableau 5 : Reconstitution des éléments composant les armatures de vitraux des fenêtres hautes du chœur et de la fenêtre de la nef.	155
Tableau 6 : Masse de fer mise en œuvre et masse de fer récupérée lors de la réfection des fenêtres hautes du chœur de la cathédrale de Rouen.	157
Tableau 7 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au rez-de-chaussée de la cathédrale de Rouen.	168
Tableau 8 : Teneur en phosphore de la matrice, sections ROU TS5a et ROU TS6a.	176
Tableau 9 : Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les goujons du triforium de la cathédrale de Rouen.	180
Tableau 10: Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les étrésillons du triforium de la cathédrale de Rouen.	184
Tableau 11 : Récapitulatif des éléments de fer découverts dans le triforium de la cathédrale de Rouen.	189
Tableau 12 : Eléments de fer mis en œuvre à la tour-lanterne de la cathédrale de Rouen entre 1383 et 1387.	199
Tableau 13 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au niveau du grand comble et de la tour-lanterne de la cathédrale de Rouen.	199
Tableau 14 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au niveau des portails latéraux de la cathédrale de Rouen.	207
Tableau 15 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au niveau de la façade occidentale de la cathédrale de Rouen.	211
Tableau 16 : Récapitulatif des éléments de fer découverts dans les tours de la façade occidentale de la cathédrale de Rouen.	215
Tableau 17 : Liste des échantillons analysés sur les attaches de statue de la façade occidentale de la cathédrale de Rouen.	227
Tableau 18 : Teneurs en P des matrices des échantillons ROU 35/2a et 35/3a.	231
Tableau 19: Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les attaches de statue de la façade occidentale de la cathédrale de Rouen.	234
Tableau 20 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au rez-de-chaussée de l'église Saint-Ouen de Rouen et sur le portail des Marmousets.	267
Tableau 21 : Liste des échantillons analysés dans le chœur de l'église Saint-Ouen.	281
Tableau 22: Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les cinq agrafes provenant du chœur de l'église Saint-Ouen.	289

Tableau 23 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au niveau du triforium, des combles bas et des fenêtres hautes de l'église Saint-Ouen.	291
Tableau 24: Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les trois chevilles prélevées dans le beffroi de l'église Saint-Ouen.	298
Tableau 25 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au niveau du grand comble de l'église Saint-Ouen.	299
Tableau 26 : Liste des échantillons analysés au 2 ^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen.	311
Tableau 27: Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les objets prélevés au 2 ^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen.	317
Tableau 28 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au 2 ^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen.	317
Tableau 29 : Liste des spécimens analysés au troisième étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen.	321
Tableau 30: Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les objets prélevés au 3 ^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen.	325
Tableau 31 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au 3 ^e étage de la tour de la croisée de l'église Saint-Ouen.	325
Tableau 32 : Liste des échantillons analysés provenant de pinacles du transept nord-ouest de l'église Saint-Ouen.	334
Tableau 33: Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les éléments de pinnacles prélevés dans le transept nord-ouest.	338
Tableau 34: Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les éléments provenant d'une gargouille de la nef de l'église Saint-Ouen.	345
Tableau 35 : Récapitulatif des éléments de fer découverts à l'église Saint-Maclou.	361
Tableau 36: Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour l'agrafe MAC AG1.	363
Tableau 37 : La cathédrale de Troyes en chiffres.	375
Tableau 38 : Réparation aux verrières de la cathédrale de Troyes en 1333-1334.	384
Tableau 39 : Réparation aux verrières de la cathédrale de Troyes en 1409-1410.	384
Tableau 40 : Réparation aux verrières de la cathédrale de Troyes en 1425-1426.	385
Tableau 41 : Quantités de fer et de verre mises en œuvre dans les fenêtres du transept de la cathédrale de Troyes d'après les comptes de la fabrique.	389
Tableau 42 : Comparaison entre les estimations de terrain et les données des comptes pour la verrière de saint Michel de la cathédrale de Troyes.	389
Tableau 43 : Comparaison entre les estimations de terrain et les données des comptes pour la rose nord de la cathédrale de Troyes.	392
Tableau 44 : Détail des éléments mis en œuvre pour la rose sud de la cathédrale de Troyes et ses verrières basses entre 1379 et 1381.	395
Tableau 45 : Travail effectué en 1379 à la cathédrale de Troyes dans la forme où est imaginé saint Denis pour la pose des armatures de fer.	396
Tableau 46 : Travail effectué en 1379 à la cathédrale de Troyes dans la forme où est imaginée la Résurrection Notre Seigneur pour la pose des armatures de fer.	396

Tableau 47 : Détail de la dépense en armatures de fer pour les fenêtres de la ramée neuve de la cathédrale de Troyes en 1391-1392.	398
Tableau 48 : Détail de la dépense en armatures de fer pour les fenêtres provisoire de la nef en 1482-1483.	399
Tableau 49 : Détail et prix des ouvrages pour la vitrerie de la librairie en 1479-1480.	400
Tableau 50 : Détail des éléments de fer mis dans la verrière de la chapelle nouvelle en 1484-1485.	401
Tableau 51 : Fer acheté par la fabrique pour faire les armatures de vitraux des baies hautes de la nef de la cathédrale de Troyes.	403
Tableau 52 : Estimation de la quantité de fer mise en œuvre dans les baies hautes de la nef de la cathédrale de Troyes.	405
Tableau 53 : Détail des éléments de fer mis dans la verrière de Thobie en 1500-1501 et comparaison entre les données des comptes de la fabrique et nos estimations.	405
Tableau 54 : Détail des éléments mis dans la verrière de M. de Metz en 1502 et comparaison entre les données des comptes de la fabrique et nos estimations.	407
Tableau 55 : Estimation de la masse des barreaux mis en œuvre dans les baies orientales du transept en 1504-1505 et comparaison avec les barlotières-tirants actuellement en place.	409
Tableau 56 : Dépense de fer pour la 1 ^{ère} verrière sur l'autel saint Antoine.	409
Tableau 57 : Dépenses engagées pour le chaînage posé sur les voûtes du transept nord entre 1410 et 1413.	422
Tableau 58 : Récapitulatif des chaînages découverts à la cathédrale de Troyes.	428
Tableau 59 : Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les deux petites barres prélevées au rez-de-chaussée de la cathédrale de Troyes.	433
Tableau 60 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au niveau du rez-de-chaussée de la cathédrale de Troyes.	435
Tableau 61 : Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour la barre TROY 08.	441
Tableau 62 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au niveau du triforium de la cathédrale de Troyes.	444
Tableau 63 : Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les barres attachant les colonnettes des arcs-boutants du chœur.	453
Tableau 64 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au niveau des fenêtres hautes de la cathédrale de Troyes.	457
Tableau 65 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au niveau du grand comble de la cathédrale de Troyes.	459
Tableau 66 : Crampons et goujons achetés pour la réfection de la maçonnerie du portail nord de la cathédrale de Troyes en 1409-1410.	473
Tableau 67 : Echantillons analysés sur le Beau Portail de la cathédrale de Troyes.	476
Tableau 68 : Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les éléments prélevés sur le Beau Portail de la cathédrale de Troyes.	478
Tableau 69 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au niveau du Beau Portail de la cathédrale de Troyes.	481

Tableau 70 : Récapitulatif des éléments de fer découverts au niveau du portail méridional de la cathédrale de Troyes.	484
Tableau 71 : Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les échantillons de la façade occidentale de la cathédrale de Troyes.	486
Tableau 72 : Récapitulatif des éléments de fer découverts sur la tour Saint-Pierre et la façade occidentale de la cathédrale de Troyes.	490
Tableau 73 : Nature et caractéristiques des éléments de fer mis au jubé de la cathédrale de Troyes lors de sa construction.	494
Tableau 74 : Nature et caractéristiques des éléments de fer mis aux piliers de la nef lors de leur construction.	499
Tableau 75 : Scellement des éléments de fer mis sur les entablements des baies hautes de la nef lors de leur construction entre 1487 et 1489.	501
Tableau 76 : Eléments de fer mis sur les entablements des baies hautes de la nef de la cathédrale de Troyes lors de leur construction entre 1487 et 1489.	502
Tableau 77 : Détail des dépenses en fer pour les « arcs-boutants ».	505
Tableau 78 : Dépenses de fer pour la mise en place de chanlattes en 1468-1469.	506
Tableau 79 : Eléments de fer mis aux chanlattes de l'église entre 1476 et 1483.	507
Tableau 80 : Détail du travail des ouvriers pour la forge et la pose de barreaux de fer pour le clocher en 1432.	510
Tableau 81 : Chevilles mises en œuvre dans les chevrons de la charpente de la partie occidentale de la nef en 1482.	513
Tableau 82 : Eléments de fer mis dans les béchauts de la charpente	515
Tableau 83 : Récapitulatif des éléments de fer mis en œuvre dans la structure de la cathédrale de Troyes d'après les comptes de la fabrique.	515
Tableau 84 : Prix d'une livre de fer en 1337-1338 d'après les mentions d'achat.	518
Tableau 85 : Quantité et prix du fer mis en œuvre dans les grues construites par la fabrique de la cathédrale de Troyes.	529
Tableau 86 : Détail des éléments de fer mis en œuvre dans les grues construites pour le chantier de la cathédrale de Troyes.	531
Tableau 87 : Quantités et prix du fer mis en œuvre dans les chariots de l'église cathédrale de Troyes.	532
Tableau 88 : Détail des principales dépenses pour clous mis en œuvre à la cathédrale de Troyes.	536
Tableau 89 : Mentions de travaux aux battants des cloches dans les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes.	538
Tableau 90 : Travaux aux cloches de la cathédrale de Troyes en 1377-1378.	539
Tableau 91 : Origines du fer mentionnées dans les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes.	540
Tableau 92 : Récapitulatif des éléments de fer découverts à l'église Saint-Urbain.	561
Tableau 93 : Achats de fer « pour l'ouvrage dudit clocher » de l'église Saint-Urbain en 1389.	563
Tableau 94 : Récapitulatif des éléments de fer mis en œuvre dans la structure de l'église Saint-Urbain d'après les comptes de la fabrique.	564

Tableau 95 : Agrafes retrouvées sur les balustrades des combles bas du chœur de l'église Saint-Jean-au-Marché, côté sud.	579
Tableau 96 : Echantillons analysés à l'église Saint-Jean-au-Marché.	583
Tableau 97 : Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les échantillons de l'église Saint-Jean-au-Marché.	589
Tableau 98 : Récapitulatif des éléments de fer découverts à l'église Saint-Jean-au-Marché.	594
Tableau 99 : Dépenses pour les cloisons du chœur de l'église Saint-Jean-au-Marché.	600
Tableau 100 : Récapitulatif des éléments de fer mis en œuvre dans la structure de l'église Saint-Jean-au-Marché d'après les comptes de la fabrique.	602
Tableau 101 : Mentions d'achat de fer de Cosdon pour l'œuvre de l'église Saint-Jean-au-Marché.	603
Tableau 102 : Prélèvements réalisés sur le jubé de l'église Sainte-Madeleine de Troyes	616
Tableau 103 : Liste des dépenses en fer engagées pour la construction du jubé de l'église Sainte-Madeleine entre 1511 et 1514.	624
Tableau 104 : Récapitulatif des éléments de fer découverts à l'église Sainte-Madeleine.	626
Tableau 105 : Récapitulatif des résultats des analyses métallographiques pour les échantillons du jubé de l'église Sainte-Madeleine.	634
Tableau 106 : Récapitulatif des éléments de fer mis en œuvre dans la structure de l'église Sainte-Madeleine d'après les comptes de la fabrique.	636
Tableau 107 : Quantités de fer mises en œuvre dans les vitraux de certaines églises gothiques.	659
Tableau 108 : Nombre de mètres linéaires de barres de fer mises en œuvre dans les édifices du corpus, comparaison avec les données de W. Haas.	660
Tableau 109 : Rapport fer/verre pour des verrières du début du XIII ^e siècle.	663
Tableau 110 : Rapport fer/verre pour des verrières de la seconde moitié du XIII ^e siècle.	663
Tableau 111 : Rapport fer/verre pour des verrières du XIV ^e siècle.	664
Tableau 112 : Rapport fer/verre d'après les données des comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes pour les verrières hautes du transept (fin du XIV ^e siècle).	665
Tableau 113 : Rapport fer/verre pour des verrières du XV ^e siècle.	666
Tableau 114 : Quantités de fer et de verre mises en œuvre aux verrières hautes de la cathédrale de Rouen entre 1430 et 1435 et calcul du rapport fer/verre.	666
Tableau 115 : Rapport des quantités de fer et de verre employées pour les fenêtres provisoires des toitures de la cathédrale de Troyes.	666
Tableau 116 : Nature et renforcement des triforiums de certaines églises gothiques.	683
Tableau 117 : Datation et type de renfort mis en œuvre dans certains triforiums ajourés.	684
Tableau 118 : Dépenses pour forge moyennes et maximales d'après les données des comptes de la fabrique.	722
Tableau 119 : Part du fer dans le coût du vitrail d'après les comptes de la fabrique de la cathédrale de Rouen : fenêtres hautes du chœur.	726
Tableau 120 : Comparaison du prix et des quantités de fer et de verre mises en œuvre dans les baies hautes de la croisée du transept.	728

Tableau 121 : Rapport des différentes dépenses pour certains vitraux d'après les données de D. Minois.	728
Tableau 122 : Mentions d'achat de « fer de Cosdon » sur les chantiers troyens.	739
Tableau 123 : Groupes de prélèvements susceptibles d'avoir une origine commune.	755
Tableau 124 : Résultats de la discrimination des procédés de réduction pour les échantillons de fer provenant des églises troyennes.	760
Tableau 125 : Discrimination des procédés de réduction pour les échantillons de fer provenant des églises rouennaises.	769
Tableau 126 : Récapitulatif des achats de fer pour faire les armatures de vitraux des baies hautes de la nef de la cathédrale de Troyes entre 1497 et 1502.	775
Tableau 127 : Récapitulatif des achats de fer pour faire les armatures de vitraux des baies hautes du transept de la cathédrale de Troyes entre 1375 et 1381.	775
Tableau 128 : Récapitulatif des achats de fer pour faire les armatures de vitraux des baies hautes du chœur de la cathédrale de Rouen entre 1430 et 1433.	775
Tableau 129 : Masse des bandes et barreaux de fer achetés à des marchands troyens par la fabrique de la cathédrale de Troyes au tournant des XV ^e et XVI ^e siècles.	779
Tableau 130 : Bilan de diverses opérations d'archéologie expérimentale sur le rendement et la durée du compactage d'une loupe de fer.	782
Tableau 131 : Part des déchets de forge suivant différents ouvrages réalisés pour les cathédrales de Rouen et de Troyes.	802
Tableau 132 : Indices moyens de propreté inclusionnaire estimés avec la modification de la norme AFNOR NF A04-106 pour les fers de construction des églises rouennaises et troyennes.	808
Tableau 133 : Indices moyens de propreté inclusionnaire estimés avec la modification de la norme AFNOR NF A04-106 pour un corpus d'outils et de fers à cheval.	808
Tableau 134 : Teneurs minimales et moyennes en phosphore dans la matrice métallique et dans les inclusions.	811

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	1
INTRODUCTION	2
I. AVANT-PROPOS	3
II. ETAT DE L'ART	5
III. PROBLEMATIQUE	24
IV. SOURCES MANUSCRITES	28
V. SOURCES IMPRIMEES NON EDITEES	56
VI. SOURCES EDITEES	60
VII. BIBLIOGRAPHIE	61
VIII. METHODES	92
<i>L'étude des sources comptables : approche des comptes médiévaux</i>	93
<i>Etude du bâti par prospections</i>	99
<i>Etude métallographique</i>	108
<i>Synthèse</i>	126
I. L'UTILISATION DU FER DANS LES EGLISES ROUENNAISES	128
I.1 LA CATHEDRALE NOTRE-DAME DE ROUEN	130
I.1.1 Histoire et description	130
I.1.2 Les armatures de vitraux	136
<i>I.1.2.1 Historique des vitraux</i>	136
I.1.2.1.1 Avant le XIII ^e siècle	136
I.1.2.1.2 Le XIII ^e siècle	136
I.1.2.1.3 Fin du XIII ^e et XIV ^e siècles	138
I.1.2.1.4 Fin du XIV ^e et XV ^e siècles	139
I.1.2.1.5 Début du XVI ^e siècle	140
I.1.2.1.6 Restaurations et destructions contemporaines	141
<i>I.1.2.2 Tentative de phasage et de restitution des armatures de fer</i>	142
<i>I.1.2.3 Les barlotières-tirants</i>	144
<i>I.1.2.4 Estimations des quantités de fer</i>	150
<i>I.1.2.5 L'apport des archives comptables à l'étude des armatures de vitraux</i>	152
I.1.2.5.1 Réfection des fenêtres hautes du chœur et de la nef	152
I.1.2.5.2 Les fenêtres des chapelles de la nef	158

I.1.2.5.3	Les vitraux de la librairie	159
I.1.2.5.4	Réfection des fenêtres hautes du transept	159
I.1.2.5.5	Les baies basses de la tour de Beurre.	160
I.1.2.6	<i>Synthèse sur les armatures des vitraux</i>	160
I.1.3	Autres emplois du fer découverts dans la structure de la cathédrale de Rouen	162
I.1.3.1	<i>Recherche de chaînages intégrés à la maçonnerie</i>	162
I.1.3.2	<i>Au rez-de-chaussée</i>	162
I.1.3.2.1	Barres en soutien d'arcature	162
I.1.3.2.2	Petites barres de fer attachant des colonnettes	166
I.1.3.3	<i>Au niveau du triforium</i>	168
I.1.3.3.1	Balustrade intérieure de la nef	170
I.1.3.3.1.1	Eléments visibles	170
I.1.3.3.1.2	Prospections au détecteur de métaux	171
I.1.3.3.1.3	Phasage des éléments découverts	172
I.1.3.3.1.4	Analyses métallographiques	175
I.1.3.3.2	Barres en linteaux	180
I.1.3.3.3	Colonnades du transept et de la nef	180
I.1.3.3.4	Etrésillons des colonnettes du triforium du transept	182
I.1.3.3.5	Empreintes dans le triforium du chœur	184
I.1.3.3.6	Estimations des quantités de fer contenues dans le triforium	185
I.1.3.3.7	Balustrades et cheminement extérieur	185
I.1.3.4	<i>A l'étage des fenêtres hautes</i>	189
I.1.3.4.1	Balustrade extérieure de la nef	189
I.1.3.5	<i>Dans le grand comble et au niveau des chéneaux hauts</i>	190
I.1.3.5.1	Chevilles en fer dans les assemblages de la charpente	191
I.1.3.5.2	Balustrade extérieure	195
I.1.3.5.3	Petites barres des chéneaux du transept	195
I.1.3.5.4	Barres en linteaux	195
I.1.3.5.5	La tour-lanterne	196
I.1.3.6	<i>Sur les portails latéraux</i>	201
I.1.3.6.1	Statues et attaches de statues	201
I.1.3.6.2	Balustrade au revers du portail de la Calende	201
I.1.3.6.3	Le gâble du Portail de la Calende	202
I.1.3.6.4	Barres en linteau au revers des portails	202
I.1.3.6.5	La librairie	203
I.1.3.7	<i>Sur la façade occidentale</i>	207
I.1.3.7.1	Les campaniles et les pinacles de la façade occidentale	208
I.1.3.7.2	Les fenestrages et les niches de statues	209

I.1.3.7.3	Balustrades à claire-voie	210
I.1.3.7.4	Le revers de la façade	210
I.1.3.8	<i>Dans la tour Saint-Romain</i>	212
I.1.3.9	<i>Dans la tour de Beurre</i>	214
I.1.3.10	<i>Les attaches de statues</i>	218
I.1.3.10.1	Typologie	219
I.1.3.10.2	Datation	220
I.1.3.10.3	Estimation de la quantité de fer	224
I.1.3.10.4	Etude métallographique	227
I.1.3.10.4.1	Teneur en carbone	227
I.1.3.10.4.2	Teneur en phosphore	228
I.1.3.10.4.3	Etude inclusionnaire	231
I.1.3.11	<i>Synthèse</i>	235
I.1.4	Autres dépenses pour forge dans les comptes de la fabrique de la cathédrale de Rouen	236
I.1.4.1	<i>Approche chronologique</i>	236
I.1.4.1.1	Années 1383-1387	236
I.1.4.1.2	Années 1407-1421	237
I.1.4.1.3	Années 1425-1435	237
I.1.4.1.4	Années 1457-1469.	238
I.1.4.1.5	Années 1475-1512	239
I.1.4.2	<i>Approche thématique</i>	243
I.1.4.2.1	Les outils	244
I.1.4.2.2	Les clous	245
I.1.4.2.3	Les cloches et l'année 1501-1502	246
I.1.4.3	<i>Synthèse sur les dépenses pour forge</i>	247
I.1.5	Synthèse : l'emploi du fer à la cathédrale de Rouen	251
I.2	L'EGLISE SAINT-OUEN DE ROUEN	252
I.2.1	Historique	252
I.2.2	Description architecturale	254
I.2.3	Les armatures des vitraux	257
I.2.3.1	<i>Historique des vitraux de l'église Saint-Ouen</i>	257
I.2.3.2	<i>La question des tirants</i>	258
I.2.3.3	<i>Estimations</i>	260
I.2.4	Autres éléments de fer découverts en prospection dans la structure de l'église Saint-Ouen	261
I.2.4.1	<i>Sur le portail des Marmousets</i>	261
I.2.4.1.1	Les tirants des arcatures	261
I.2.4.1.2	Les piédroits du portail	263
I.2.4.1.3	Le linteau du portail	264
I.2.4.2	<i>Au niveau du rez-de-chaussée</i>	267
I.2.4.3	<i>Dans le triforium et au niveau des combles bas</i>	268

I.2.4.3.1	Les tirants	268
I.2.4.3.2	Des crochets à la base du triforium	269
I.2.4.3.3	Des vestiges de barres de fer	270
I.2.4.3.4	Agrafes sur la balustrade de la claire-voie	270
I.2.4.3.5	Agrafes sur la balustrade extérieure des combles du triforium	271
I.2.4.3.6	Cursive des fenêtres hautes	276
I.2.4.3.7	Analyses métallographiques des agrafes prélevées dans le chœur de l'église	281
I.2.4.3.8	Une barre en linteau	291
<i>I.2.4.4</i>	<i>Dans le grand comble et les chéneaux supérieurs</i>	291
I.2.4.4.1	Les balustrades extérieures	292
I.2.4.4.2	Barres de fer en linteaux	293
I.2.4.4.3	Autres barres de fer	296
I.2.4.4.4	Chevilles dans la charpente du beffroi	296
<i>I.2.4.5</i>	<i>Deuxième étage de la tour de la croisée</i>	300
I.2.4.5.1	Les tirants de la claire-voie	300
I.2.4.5.2	Agrafes sur la balustrade à claire-voie	303
I.2.4.5.3	Agrafes au sol du couloir de circulation	304
I.2.4.5.4	Agrafes dans la tourelle d'escalier	310
I.2.4.5.5	Goujons dans les meneaux	310
I.2.4.5.6	Analyses métallographiques des éléments du deuxième étage de la tour de la croisée	310
<i>I.2.4.6</i>	<i>Troisième étage de la tour de la croisée</i>	318
I.2.4.6.1	Les tirants de l'arcature	318
I.2.4.6.2	Le parement intérieur de la tour couronnée	318
I.2.4.6.3	La balustrade	319
I.2.4.6.4	Analyses métallographiques des goujons du 3 ^e étage de la tour de la croisée.	320
<i>I.2.4.7</i>	<i>Sur la façade occidentale</i>	328
<i>I.2.4.8</i>	<i>Emplois du fer généralisés sur l'ensemble de l'édifice</i>	330
I.2.4.8.1	Agrafes et goujons dans les pinacles	330
I.2.4.8.2	Analyses métallographiques des éléments de pinacle du transept nord-ouest	332
I.2.4.8.3	Agrafes et goujons dans les gargouilles	341
I.2.4.8.4	Analyses métallographiques des éléments d'une gargouille de la nef	343
I.2.5	Synthèse sur l'emploi du fer à l'église Saint-Ouen	346

I.3 L'ÉGLISE SAINT-MACLOU DE ROUEN	347
I.3.1 Historique	347
I.3.2 Description	348
I.3.3 Les armatures de vitraux	351
<i>I.3.3.1 Historique des vitraux de l'église Saint-Maclou</i>	351
<i>I.3.3.2 Les barlotières-tirants</i>	351
<i>I.3.3.3 Estimations des quantités de fer</i>	352
I.3.4 Tirants et chaînages	353
<i>I.3.4.1 Les chaînages de la tour-lanterne</i>	353
<i>I.3.4.2 Des chaînages dans les arcs-boutants ?</i>	356
I.3.5 Autres éléments de fer découverts en prospection	358
<i>I.3.5.1 Les petits crochets</i>	358
<i>I.3.5.2 Des barres de fer</i>	358
<i>I.3.5.3 Des agrafes</i>	359
<i>I.3.5.4 Des goujons</i>	360
<i>I.3.5.5 Des attaches de statue</i>	360
I.3.6 Analyses métallographiques	363
I.3.7 Apports des comptes de la fabrique	366
I.3.8 Synthèse	367
II. L'UTILISATION DU FER DANS LES EGLISES TROYENNES	368
II.1 LA CATHEDRALE DE TROYES	370
II.1.1 Historique	370
II.1.2 Description architecturale	373
II.1.3 L'emploi du fer dans les vitraux de la cathédrale de Troyes	377
<i>II.1.3.1 Historique des vitraux</i>	377
II.1.3.1.1 XIII ^e siècle	377
II.1.3.1.2 XIV ^e siècle	377
II.1.3.1.3 XV ^e siècle et début du XVI ^e siècle	378
II.1.3.1.4 Réfections ultérieures	379
<i>II.1.3.2 Les barlotières-tirants</i>	379
<i>II.1.3.3 Estimations des quantités de fer employées dans les vitraux</i>	380
<i>II.1.3.4 L'apport des comptes à la connaissance des armatures de vitraux</i>	381
II.1.3.4.1 Réflexions sur les baies primitives du chœur	381
II.1.3.4.2 Les baies hautes du transept	385
II.1.3.4.3 Une vitrerie provisoire dans la nef haute	397
II.1.3.4.4 La vitrerie de la Librairie	399
II.1.3.4.5 Baies basses de la nef	400

II.1.3.4.6	Les fenêtres hautes de la nef	401
II.1.3.4.7	Modification des baies du transept.	408
II.1.3.4.8	La rose occidentale	410
II.1.3.5	<i>Synthèse sur les vitraux</i>	411
II.1.4	Chaînages découverts dans la structure de la cathédrale de Troyes	413
II.1.4.1	<i>Dans le transept nord</i>	413
II.1.4.1.1	Deux chaînages au plafond du triforium	413
II.1.4.1.2	Cerclage haut du contrefort nord-est	417
II.1.4.1.3	Chaînage sur le mur est du transept nord	418
II.1.4.1.4	Le chaînage de 1411	421
II.1.4.1.5	Synthèse : les chaînages du transept nord	425
II.1.4.2	<i>Le chaînage de 1713</i>	426
II.1.4.3	<i>Les tirants de 1808</i>	427
II.1.4.4	<i>Les chaînages : synthèse</i>	428
II.1.5	Les autres utilisations du fer à la cathédrale de Troyes	430
II.1.5.1	<i>Au rez-de-chaussée</i>	430
II.1.5.1.1	Barres des colonnettes du rez-de-chaussée	430
II.1.5.1.2	Barres des colonnettes des chapelles du chœur	431
II.1.5.1.3	Bagues de fer autour des piles du chœur	435
II.1.5.2	<i>Au niveau du triforium et des combles bas</i>	435
II.1.5.2.1	Les barres de l'arcature du triforium	436
II.1.5.2.2	Agrafes au sol	441
II.1.5.2.3	Les balustrades	442
II.1.5.3	<i>Les fenêtres hautes</i>	448
II.1.5.3.1	Barres des arcs-boutants du chœur	448
II.1.5.3.2	Agrafes au sol	453
II.1.5.4	<i>Les combles hauts</i>	457
II.1.5.4.1	Agrafes des balustrades	457
II.1.5.4.2	Attaches des boutons de clefs de voûte	458
II.1.5.4.3	Eléments de charpente	458
II.1.5.5	<i>Le portail nord</i>	461
II.1.5.5.1	Barres et Tirants de fer	462
II.1.5.5.1.1	Barres de l'arcature	462
II.1.5.5.1.2	Barres et tirants retenant le gâble	463
II.1.5.5.1.3	Barres tenant les contreforts	465
II.1.5.5.1.4	Barres tenant les frontons	468
II.1.5.5.1.5	Tirant au sol des fenêtres hautes.	469
II.1.5.5.2	Agrafes et goujons	470
II.1.5.5.3	Les barres en linteau	475
II.1.5.5.4	Analyses métallographiques	475
II.1.5.6	<i>Le Portail sud</i>	482
II.1.5.6.1	Les barres des arcatures	482

II.1.5.6.2	Les barres au plafond	482
II.1.5.6.3	Le cerclage de la rose	484
II.1.5.7	<i>La façade occidentale et la tour Saint-Pierre</i>	484
II.1.5.7.1	La façade occidentale	484
II.1.5.7.2	La tour Saint-Pierre	488
II.1.6	Autres emplois du fer d'après les comptes de la fabrique	491
II.1.6.1	<i>Le jubé</i>	491
II.1.6.1.1	Histoire et quantités de fer mises en œuvre	491
II.1.6.1.2	Dimensions des éléments de fer	492
II.1.6.1.3	Mise en œuvre des éléments de fer	493
II.1.6.2	<i>Les piles de la nef</i>	495
II.1.6.3	<i>L'entablement des baies hautes</i>	500
II.1.6.4	<i>Les arcs-boutants</i>	502
II.1.6.5	<i>L'évacuation des eaux : gargouilles et chanlattes</i>	505
II.1.6.6	<i>Le nouveau clocher</i>	508
II.1.6.7	<i>Emplois du fer dans la charpente</i>	511
II.1.7	Les dépenses pour forge dans les comptes de la fabrique : nature et évolution de 1293 à 1520	516
II.1.7.1	<i>Approche chronologique</i>	516
II.1.7.1.1	Années 1293-1301	516
II.1.7.1.2	Années 1333-1340	517
II.1.7.1.3	Années 1366-1399	518
II.1.7.1.4	Le XV ^e siècle	519
II.1.7.2	<i>Approche thématique</i>	526
II.1.7.2.1	Les outils	527
II.1.7.2.2	Les engins	528
II.1.7.2.2.1	Les grues	528
II.1.7.2.2.2	Les chariots	532
II.1.7.2.3	La petite serrurerie	533
II.1.7.2.4	Les boîtes, le mobilier	534
II.1.7.2.5	Les clous	535
II.1.7.2.6	Les cloches	537
II.1.7.3	<i>Origine du fer</i>	539
II.1.7.4	<i>Synthèse sur les comptes de la fabrique</i>	541
II.1.8	Synthèse : l'emploi du fer à la cathédrale de Troyes.	541
II.2	L'ÉGLISE SAINT-URBAIN DE TROYES	543
II.2.1	Historique	543
II.2.2	Description architecturale	546
II.2.3	Les restaurations des XIX^e et XX^e siècles	548
II.2.3.1	<i>Restaurations au portail sud</i>	548
II.2.3.2	<i>Restaurations de l'abside. Existence de chaînages ?</i>	549
II.2.4	Les armatures des vitraux.	552

II.2.4.1	<i>Quantités de fer mises en œuvre</i>	552
II.2.4.2	<i>Les armatures des vitraux dans les comptes de la fabrique</i>	555
III.2.5	Autres éléments de fer mis en œuvre à l'église Saint-Urbain	557
II.2.5.1	<i>Éléments découverts en prospection</i>	557
II.2.5.2	<i>Analyses Métallographiques</i>	558
II.2.5.3	<i>Utilisations du fer à l'église Saint-Urbain d'après les comptes de la fabrique</i>	560
II.2.5.3.1	Chanlattes	560
II.2.5.3.2	Attache du décor gothique	561
II.2.5.3.3	Le clocher	562
II.2.5.3.4	Synthèse	564
II.2.6	Synthèse sur l'église Saint-Urbain	564
II.3	L'ÉGLISE SAINT-JEAN-AU-MARCHE DE TROYES	566
II.3.1	Historique	566
II.3.2	Description architecturale	567
II.3.3	L'emploi du fer dans les armatures des vitraux de l'église Saint-Jean-au-Marché	569
II.3.3.1	<i>Historique des vitraux</i>	569
II.3.3.2	<i>Les barlotières-tirants</i>	571
II.3.3.3	<i>L'apport des comptes à la connaissance des armatures de vitraux</i>	571
II.3.4	Autres éléments de fer découverts en prospection	575
II.3.4.1	<i>Les tirants de la nef</i>	575
II.3.4.2	<i>Agrafes mises en œuvre sur les balustrades</i>	578
II.3.4.2.1	Balustrade des combles bas du chœur	578
II.3.4.2.2	Balustrade des combles hauts du chœur	581
II.3.4.2.3	Analyses métallographiques des agrafes de la balustrade des combles bas	583
II.3.4.3	<i>Les gargouilles</i>	591
II.3.4.4	<i>L'escalier de la tour sud</i>	592
II.3.4.5	<i>Scellements de goujons</i>	592
II.3.5	Nature des autres dépenses pour forge dans les comptes de la fabrique.	595
II.3.5.1	<i>Agrafes et liens de fer dans la maçonnerie</i>	595
II.3.5.2	<i>Les cloches</i>	596
II.3.5.3	<i>Attache du décor</i>	598
II.3.5.4	<i>Les cloisons de fer du chœur</i>	599
II.3.5.5	<i>Achat et provenance du fer</i>	602
II.3.6	Synthèse sur l'église Saint-Jean-au-Marché	604

II.4	L'ÉGLISE SAINTE-MADELEINE DE TROYES	605
II.4.1	Historique	605
II.4.2	Description architecturale	606
II.4.3	Emplois du fer à l'église Sainte-Madeleine	608
<i>II.4.3.1</i>	<i>Les armatures de vitraux</i>	608
<i>II.4.3.2</i>	<i>La tour méridionale</i>	609
<i>II.4.3.3</i>	<i>Recherche de chaînages</i>	610
<i>II.4.3.4</i>	<i>Le jubé</i>	613
<i>II.4.3.5</i>	<i>Analyses métallographiques.</i>	627
<i>II.4.3.6</i>	<i>Autres emplois du fer d'après les comptes de la fabrique</i>	635
II.4.4	Synthèse sur l'église Sainte-Madeleine	636
III.	L'EMPLOI DU FER DANS LES EGLISES TROYENNES ET ROUENNAISES : UTILISATIONS, COUT ET PRODUCTION	637
III.1	PRINCIPALES UTILISATIONS DU FER DANS LES EGLISES TROYENNES ET ROUENNAISES	638
III.1.1	Les armatures des vitraux	639
<i>III.1.1.1</i>	<i>Les caractéristiques du châssis médiéval</i>	640
<i>III.1.1.1.1</i>	<i>Le châssis contemporain est-il représentatif du châssis médiéval ?</i>	640
<i>III.1.1.1.2</i>	<i>De l'existence des feuillards dans les armatures médiévales</i>	641
<i>III.1.1.1.3</i>	<i>Nombre de vergettes dans le châssis médiéval</i>	643
<i>III.1.1.1.4</i>	<i>Sections des différents éléments du châssis médiéval.</i>	643
<i>III.1.1.2</i>	<i>L'existence de châssis de bois</i>	647
<i>III.1.1.3</i>	<i>Le rôle des différents éléments de l'armature du vitrail</i>	650
<i>III.1.1.4</i>	<i>Des chaînages dans les baies</i>	656
<i>III.1.1.5</i>	<i>Estimations et évolution des quantités de fer mises en œuvre dans les armatures de vitraux</i>	658
<i>III.1.1.6</i>	<i>Synthèse</i>	667
III.1.2	Emplois du fer dans la maçonnerie	668
<i>III.1.2.1</i>	<i>Le renforcement des tours</i>	668
<i>III.1.2.2</i>	<i>Des tirants dans les triforiums</i>	677
<i>III.1.2.3</i>	<i>Des agrafes dans les piliers</i>	685
<i>III.1.2.4</i>	<i>Des chaînages d'agrafes sur l'entablement des baies hautes</i>	686
<i>III.1.2.5</i>	<i>Les renforts des arcs-boutants</i>	688
<i>III.1.2.6</i>	<i>Des chaînages de consolidation</i>	692

<i>III.1.2.7 L'emploi du fer dans le décor gothique</i>	696
III.1.2.7.1 L'emploi d'agrafes sur les balustrades	696
III.1.2.7.2 Le renfort des éléments verticaux, meneaux, colonnettes, pinacles.	701
III.1.2.7.3 L'attache du décor sculpté	706
III.1.2.7.3.1 Les statues	706
III.1.2.7.3.2 L'attache des boutons de clef de voûte.	708
III.1.2.7.3.3 Les jubés	709
III.1.2.7.3.4 Synthèse	711
III.1.3 L'emploi du fer dans les charpentes	711
III.1.4 Synthèse	715
III.1.5 Quantités mises en œuvre et coût du fer	719
<i>III.1.5.1 Estimations des quantités de fer</i>	719
<i>III.1.5.2 Coût des dépenses en fer pour le chantier</i>	720
<i>III.1.5.3 Synthèse</i>	731

III.2 PRODUCTION ET APPROVISIONNEMENT DU FER POUR LES CHANTIERS DES EGLISES TROYENNES ET ROUENNAISES 732

III.2.1 Les régions d'approvisionnement	733
<i>III.2.1.1 Pour les chantiers troyens</i>	733
III.2.1.1.1 Du fer d'Espagne	734
III.2.1.1.2 « La grosse forge de Doulevans »	734
III.2.1.1.3 La forge de Maraye-en-Othe	734
III.2.1.1.4 Le fer « apporté de Vendevre »	735
III.2.1.1.5 Le « fer du Reclus »	736
III.2.1.1.6 Le « fer de Cosdon »	738
III.2.1.1.7 Le « fer de Cheingy »	739
III.2.1.1.8 Le « fer de fonte des forges d'Anglus »	740
III.2.1.1.9 Le fer de l'église	740
III.2.1.1.10 Synthèse	741
<i>III.2.1.2 Pour les chantiers rouennais</i>	742
<i>III.2.1.3 Le fer d'Espagne, une appellation non contrôlée</i>	746
<i>III.2.1.4 La question de la récupération</i>	750
<i>III.2.1.5 Evolution des stratégies d'approvisionnement</i>	753
<i>III.2.1.6 Synthèse</i>	757
III.2.2 Influence des grandes évolutions de la métallurgie médiévale sur l'approvisionnement des chantiers de construction	758
<i>III.2.2.1 La réduction et l'introduction de la filière indirecte</i>	758
III.2.2.1.1 Dans la région troyenne	759
III.2.2.1.1.1 Résultats métallographiques	759
III.2.2.1.1.2 L'apparition et le développement du procédé indirect en Champagne	760

III.2.2.1.1.3	Evolution du prix de la livre de fer ouvrée entre la fin du XIV ^e et la fin du XV ^e siècle	764
III.2.2.1.1.4	Synthèse sur la région troyenne	767
III.2.2.1.2	Dans la région rouennaise	767
III.2.2.1.3	Synthèse	770
III.2.2.2	<i>Quantités de fer mises en œuvre dans le bâti et capacité de production des structures de réduction</i>	773
III.2.2.3	<i>La post-réduction et l'influence du marteau hydraulique sur la production des fers de construction</i>	778
III.2.2.3.1	Considérations sur le travail de post-réduction	778
III.2.2.3.2	L'influence du marteau hydraulique pour les chantiers de construction rouennais	783
III.2.2.3.3	L'influence du marteau hydraulique pour les chantiers de construction troyens	790
III.2.2.3.4	Synthèse	796
III.2.3	Le travail de forge : produits, structures et acteurs	797
III.2.3.1	<i>Serruriers et maréchaux urbains</i>	797
III.2.3.2	<i>Le travail du serrurier urbain</i>	799
III.2.3.3	<i>Nature et « qualité » du produit fini</i>	803
III.2.3.3.1	Un matériau rempli d'inclusions	803
III.2.3.3.2	Fer ou acier ?	809
III.2.3.3.3	Un fer phosphoreux	810
III.2.3.4	<i>Synthèse : « qualité » des fers de construction médiévaux</i>	813
III.2.4	Le comportement mécanique des fers de construction	814
III.2.5	Synthèse	816

CONCLUSION	817
-------------------	------------

LEXIQUE DES ELEMENTS DE FER	830
------------------------------------	------------

GLOSSAIRE	835
------------------	------------

LISTE DES FIGURES	841
--------------------------	------------

LISTE DES TABLEAUX	852
---------------------------	------------

UNIVERSITE PARIS I PANTHEON-SORBONNE

U.F.R. D'ARCHEOLOGIE

Année 2007

Thèse sous la direction de M. le professeur Paul BENOIT

pour obtenir le grade de docteur de l'université

Discipline : archéologie

Présentée et soutenue publiquement par

Maxime L'HERITIER

L'UTILISATION DU FER DANS L'ARCHITECTURE GOTHIQUE :

LES CAS DE TROYES ET ROUEN

Volume IV

Pièces Justificatives

Jury

M. le professeur Paul BENOIT

Mme le professeur Joëlle BURNOUF

**M. Philippe LARDIN, maître de conférences
habilité à diriger les recherches**

**M. Philippe DILLMANN, chargé de recherches
au C.N.R.S. habilité à diriger les recherches**

**Mme Isabelle PALLOT-FROSSARD,
directeur du L.R.M.H.**

**M. Stéphane LEQUIEN, directeur du
LPS, laboratoire mixte CEA-CNRS**

**Mme Florence JOURNOT, maître de
conférences**

ANNEXE 1

PIECES JUSTIFICATIVES

INTRODUCTION AUX PIÈCES JUSTIFICATIVES

Cette annexe présente une partie des sources manuscrites concernant les églises rouennaises et troyennes, principalement extraites des comptes ou manuel de comptes des fabriques des sept églises étudiées¹.

Pour la présentation de ces actes, je me suis efforcé de respecter les principes et normes des règles de diplomatique en cours de la manière la plus fidèle possible², soit :

- un classement chronologique des actes. Toutefois, à un classement entièrement chronologique mêlant les différents édifices, un classement chronologique par édifice a été préféré pour faciliter la lecture des pièces concernant chaque église de manière individuelle ;
- un numéro d'ordre en chiffres arabes du premier au dernier acte individualise chaque document. Les notes de référence du texte en volumes I et II renvoient à ce numéro d'ordre, par exemple : *P.J. n° 34* ;
- la datation de chaque acte convertie dans le système actuel (millésime, mois, quantième), d'après les données chronologiques données dans l'introduction de l'année comptable dont elle est issue. Les dates données par référence à une fête du calendrier liturgique ont été converties dans le calendrier actuel ;
- une transcription de l'acte suivant les principes et normes d'édition édictés par O. Guyotjeannin³. Les abréviations ont été transcrites. Lorsqu'un doute pouvait subsister, la transcription a été mise entre crochets. De manière plus générale, les crochets ont été employés pour préciser certains termes. Les notes de bas de page sont quant à elles réservées aux interventions de l'auteur. Chaque mention comporte un prix total et parfois plusieurs prix intermédiaires. Les monnaies sont abrégées en *l.* pour livre, *s.* pour sou, *d.* pour denier, *ob.* pour obole et *p.* pour picte. La nature de la monnaie n'est pas systématiquement mentionnée dans l'acte original, mais toutes se rapportent aux tournois, abrégé en *t.* Ces prix ainsi que toutes les mentions chiffrées ont volontairement été transcrits dans le même système qu'ils étaient

¹ Je remercie J. Rouillard qui m'a grandement aidé pour la mise en page de ces pièces justificatives.

² GUYOTJEANNIN (O.), PYCKE (J.), TOCK (B.-M.), *Diplomatique médiévale*, [Paris], Brepols, 1993, p. 403-407.

³ ID., *Ibid.*

indiqués dans les actes, chiffres romains, chiffres arabes ou en toutes lettres. Pour les périodes que nous étudions, l'emploi de chiffres arabes ou romains dans des livres de comptes peut en effet avoir une signification qui dépasse leur simple graphie.

- la référence à laquelle l'acte a été consulté. L'ensemble des sources présentées provenant de registres originaux, le registre consulté est noté A., se basant ainsi sur les normes du tableau de la tradition qui indique les sources par lesquelles l'acte est connu.

Cathédrale Notre-Dame de Rouen

1.

1387, après Pâques. - S. I.

Manuel de compte de la fabrique de la cathédrale Notre-Dame de Rouen. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

A Jourdain de Lestre oublié à mettre entre la Saint Johan et la Saint Michel, c'est assavoir II tirans pesant XXVIII l. de fer mis des II costes d'une foillolle en la grelle tour pour tenir la plus ferme ensemble, pour ce XXVIII s. en la sepmaine d'apres Saint Pierre et Saint Paoul.

Item audit Jourdain pour autres parties ouvrées en graffes, goujons et vertevelles, baillés par parties à maistre Johan Perier en euvre par les massons au pignacle du coste de l'o, lesquelles parties le dit Perier m'a baillé en gros le pesant à XXXII l. de fer, pour ce, XXXII s. Pour ces II parties compté au dit Jourdain, LX s. t.

A. Original, registre, papier, Rouen, Arch. dép. Seine-Maritime, G 2483, fol. 143 v°.

2.

1420, 24 juin -1421, 24 juin.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Notre-Dame de Rouen. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 5 r°-

Item eidem [Roberto Lataille] pro XXIII^{or} vertevelles et XXIII crampons de fer pour asseoir les ymages du portail Saint Johan, pesans en somme VI^{xx} III l. de fer, pour chascune l. II s. XI d., valent XVII l. XVIII s. IX d.

-fol. 5 v°-

Item Johanni le Hun, ymagium, pro XIX ymaginibus factis et operatis de lapidibus fabrice positis et situatis in dicto portallo Sancti Johannis, per forum factum per magistrum Johannem Sallvart et Johannem Rousselli, pro qualibet ymagine, VIII l. De quibus fuit visum per operarios ad hoc cognoscentes quod deberet ecclesie contentus tam pro expensis factis cum dictis operariis quod cum aliis etc. pro qualiter pethia, VII l., etc., valent VI^{xx} XIII l.

A. Original, registre, parchemin, Rouen, Arch. dép. Seine-Maritime, G 2486.

3.

1426, 24 juin -1427, 24 juin.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Notre-Dame de Rouen. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

Item Johanni Paen, serreurier, pour plusieurs bendes de fer, crampons, fiches, couples, gons, vertevelles et touroux pour les dictes reparacions in locis rugosis tam infernis quod supernis per comptum factum VI l. XIII s. ob. t.

A. Original, registre, parchemin, Rouen, Arch. dép. Seine-Maritime, G 2488, fol. 9 r°.

4.

1429, 24 juin -1430, 24 juin.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Notre-Dame de Rouen. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

Johanni Paen fabro pro fabricatura marthellorum lathomorum a die Pasche Domini usque ad diem Sancti Johannis Baptiste, XXXVIII s. VI d. Item eidem pro XXI^a l. et dimidia de ferro novo aposito in pluribus chevilles, bendes pour les establies lathomorum. Item LXIII^{or} libre de ferro novo aposite in II^{bus} magnis barrellis pro prima forma du chevet de cuer de l'eglise de nova clarificata et item IX^m libre et dimidia de ferro novo aposite in tribus anellis. Item quinque libre cum uno quarteronis de ferro novo aposite in pluribus virgis. Item III^{XX} III libra de ferro aposite et deliberate in pluribus loquetis, LII^m virgis cum II^{bus} parvis loquatis. Item LXIII^{or} libre de ferro novo aposite in II^{bus} magnis barrellis pro secunda forma ut supra. Item III^{XX} XV libre de ferro novo aposite et deliberate in LVIII^m virgis III^m anneaux et XI fers loquatés pro victreario. Item pro LXIII^{or} libris de ferro novo apositis in II^{bus} magnis barrelis pro III^a forma et pro III^{XX} XV libris de ferro novo apositis in LVIII^m virgis, III^m aneaux et XI fers loquetés pro victreario. Quequid partes simul juncte ascendunt ad sommam V^C I librarum I quarteronis de fer neuf pro qualiter libra XIII d. valent patet per cedula dicti Paen passatis corr. tabell. capituli XXVII l. III s. port. et de qua sunt defaquate pro antico ferro V^C III l. pro libra VI d., valent XII l. XII s., sic restat hic poni in misia, XVI l. IX s. VI d.

A. Original, registre, papier, Rouen, Arch. dép. Seine-Maritime, G 2487, fol. 112 r°-v°.

1430, 24 juin -1431, 24 juin.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Notre-Dame de Rouen. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 17 r^o-

Item dicto Paen pro ferraturis per ipsum fabricatis pro IIII^{ta} parva forma chori de novo clarificata alatere pallacii etc. videlicet, pro duobus magnis barrellis de novo ferro ponderant LXIII l. Item pro XII barrellis loquetatis et duobus aliis parvis barrellis cum LXXIII^{or} virgis de ferro novo, ponderant VII^{xx} I^a l. Item pro tribus annullis seu circulis de ferro ponderant XX l. Somma pro totum ponderat insimul XI^{xx} V l. pro qualiter libra, XIII d. t., valent XII l. III s. IX d. Item pro I^C de pailletis de ferro pro situando penellos victrearum videlicet III s. Somma partium, XII l. VII s. IX d. De qua somma est deducendum pro VIII^{xx} III l. de ferro antiquo proveniente a dicta IIII^{ta} forma, venditis dicto Paen pro qualiter libra VI d. t., valent III l. II s. Et sic hic ponitur in misia pro dicta forma dicta deducione facta, ut patet per quittance VIII l. V s. IX d.

Item predicto Paen quinta parva forma chorum de novo ut supra clarificata pro duobus magnis barrellis de ferro ponderant LXII libra, pro XII^{cum} barrellis loquetatis, duobus aliis barrellis cum LXXIII virgis ponderant VII^{xx} III l. Item pro III^{bus} annullis seu circulis ponderant XX l. Somma pro totum ponderat in simul II^C XXVIII l. pro qualiter libra, XIII d., valent XII l. VII s. Item pro I^C de pailletes de fer pro situando penellos victrearum, III s. Somma precium XII l. XI s. De qua somma sunt defalcandis pro VIII^{xx} II l. de ferro antiquo in dicta V^{ta} forma capto et reperto. Dicto Paen vendito pro qualiter libra VI d. t. valent III l. I s. Sic restat hic poni in misia pro lacuis patet in cedula et quitancia dicto supra hic facta VIII l. X s. et sic VIII l. X s.

Item eidem Paen pro ferratura prime magne forme dicto chorum de novo reparate, primo pro III^{bus} magnis barrellis de ferro novo ponderant VIII^{xx} XIX l. Item pro III^{bus} annullis seu circulis ponderant XLI l. cum dimidia. Item pro XIII barrellis loquetatis cum LXXIX virgis ponderant insimul VII^{xx} XIX l. Somma dictarum partum III^C LXXIX l. cum dimidia de ferro pro qualiter libra, XIII d. valent XX l. VI s. I d. ob. t. Item pro I^C cum dimidio de pailletes pro situando victreis VI s. Somma pro toto, XX l. XII s. I d. ob. t. De qua somma sunt defalcandis pro III^C XXXVII l. de antiquo ferro in dicta forma reperto pro qualiter libra, VI d., valent VIII l. VIII s. VI d. Sic restat hic poni in misia ut lacuis patet per quitanciam dicto Paen XII l. III s. VII d. ob.

-fol. 17 v^o-

Item predicto Paen, fabro, pro secunda magna forma chori ecclesie clarificata de novo, pro III^{bus} magnis barrellis de ferro novo ponderant VIII^{xx} XVIII l. Pro III^{bus} annullis seu circullis de ferro ponderant XLI l. cum dimidia, pro XIII^{cum} barrellis loquetatis unacum LXXIX virgis ponderant in simul VII^{xx} XIX l. de ferro, somma precium III^C LXXVIII l. cum

dimidia pro qualiter libra, XIII d. t. valent XX l. V s. ob. t. Item pro I^C cum dimidio de pailletes de ferro pro victreis dicte forme VI s. Somma per dictis partibus dicto Paen debita pro predicta forma XX l. XI s. ob. t. De qua somma sunt deducendis pro III^C XXXII l. de ferro antiquo in dicta forma reperto pro qualiter libra VI d. valent VIII l. VI d. Sic restat deducendo pro dicta facta hic poni misia ut pater per quitanciam et cedula dicto Paen, XII l. V s. ob.

A. Original, registre, parchemin, Rouen, Arch. dép. Seine-Maritime, G 2489.

6.

1431, 24 juin -1432, 24 juin.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Notre-Dame de Rouen. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 13 r^o-

Item eidem Paen pro III^{cia} magna forma supra chorum ecclesie de novo clarificata pro III^{bus} magnis barrellis de ferro novo ponderant VIII^{xx} XIX l. Item pro tribus anulis seu circulis de ferro novo ponderant XLI l. cum dimidia. Item pro XIII barrellis loquetatis unacum LXXIX virgis ponderant VII^{xx} XIX l. Somma totalis de dicto ferro novo, III^c LXXIX l. cum dimidia pro qualiter libra, XIII d. valent XX l. XI s. I d. ob. Item pro I^c et dimidio de pailletis de ferro pro situando penellos de victro pro quoliter C, III s. valent VI s. Somma XX l. XVII s. I d. ob. De qua somma sunt deducendis pro III^c XXXVII l. de ferro antiquo in dicta forma reperto, pro qualiter libra, V d. valent VII l. V d. t. Sic restat hic poni in misia omnibus deductis, prout patet per cedulam dicti Paen, XIII l. XVI s. VIII d. ob.

Item eidem Paen pro III^{ta} magna forma de novo clarificata ut supra. Pro III^{bus} magnis barrellis de ferro novo ponderant VIII^{xx} XIX l. cum dimidia. Item pro XIII barrellis mediocribus loquetatis cum III^{xx} virga de ferro ponderant VIII^{xx} I^a l. Somma totalis de dicto ferro novo, CCC III^{xx} III l. pro qualiter libra, XIII d., valent XX l. XIII s. XI d. Item pro I^c et dimidio de pailletis de ferro pro situando penellos de vitro pro quoliter C, III s., valent VI s. Somma XXI l. XI d. De qua somma sunt deducendis pro III^c XXXIII l. de antiquo ferro, in dicta forma reperto, pro qualiter libra, V d. valent, VI l. XVIII s. IX d. Et sic restat hic poni in misia omnibus deductis, prout lacuis continentur in quittance dicti Paen, XIII l. II s. II d.

-fol. 16 v^o-

Item eidem pro quinta magna forma chori de novo clarificata tempore predictis compoti pro tribus magnis barrellis ponderant IX^{xx} I l. de ferro novo et pro tribus anullis seu circulis de dicto ferro ponderant XLIII^{or} libris ac pro XIII barrellis loquetatis cum III^{xx} una virga de ferro ponderant VIII^{xx} l. cum dimidia pro dicta quinta forma. Quequid partes simul juncte ascendunt ad sommam III^c III^{xx} V l. cum dimidia de ferro novo pro dicto Paen

fabricato, pro qualiter libra, XIII d., valent XX l. XVII s. VII d. ob. Item pro I^C cum dimidio de paillectes de ferro novo pro situando et ordinando penellos de victro in dicta forma, pro C, III s., valent VI s. Somma partium XXI l. III s. VII d. ob. De qua sunt defalcande III^C XXXV l. de ferro antiquo capto et reperto in dicta forma, pro qualiter libra, V d., valent VI l. XIX s. VII d. Et sic restat hic poni in misia XIII l. III s. ob.

-fol. 17 r^o-

Item dicto fabro pro IX^{XX} libris cum dimidia de ferro novo fabricato in tribus magnis barrellis pro sexta magna forma chorum de novo reparata et clarificata. Et pro XLII libris cum dimidia de ferro fabricato in tribus anullis seu circulis. Et pro VIII^{XX} II libris de ferro fabricato in XIII mediocribus barrellis loquetatis unacum III^{XX} una virga de ferro pro dicta VI^{ta} forma. Quequid partes simul juncte ascendunt ad sommam CCC III^{XX} V l. de ferro novo pro qualiter libra, XIII d., valent XX l. XVII s. I d. Item pro I^C de pailletes de ferro pro situando penellos de victro pro quoliter C, III s., valent VI s. Somma partium XXI l. III s. I d. De qua somma defalcantur pro antiquo in dicta forma capto et reperto CCCXXXIII l. pro qualiter libra, V d., valent VI l. XVIII s. IX d. Et sic restat hic poni in misia pro dicta forma pro dicta forma, XIII l. V s. III d.

A. Original, registre, parchemin, Rouen, Arch. dép. Seine-Maritime, G 2490.

7.

1432, 24 juin -1433, 24 juin.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Notre-Dame de Rouen. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 6 v^o-

Item alia misia facta pro septimia magna forma supra chorum ecclesie de novo clarificata et reparata. Et primo dicto Paen pro tribus magnis barrellis de ferro, tribus annulis XIII^{cum} barrellis loquetatis III^{XX} et I^a virga de ferro novo unacum tassillo pro quodam parvo hostio de vitro facto in dicta magna forma pro habiendo aerem in choro tempore pluvioso et nubiloso ponderant in simul III^C XI l. cum dimidia de ferro, pro qualiter libra, XIII d. valent XXII l. V s. IX d. ob. De qua forma sunt defalcande III^C XXXVI l. de antiquo ferro in dicta forma reperto pro quoliter libra V d., valent VII l. Et sic restat hic poni in misia omnibus deductis prout lacuis in cedula dicti Paen continentur, XV l. V s. IX d. ob.

-fol. 18 v^o-

Item pro octavie forma victrearum chori alatere palacii domini archiepiscopi Rothomagensis, pro III^{bus} magnis barrellis de ferro, XIII barrellis loquetis, tribus anulis, octoginta et I^a virga cum quod parvo tassillo de ferro facto de novo pro quodam parvo hostio victreo in dicta forma facto ponderant in simul III^C XXXVI l. de ferro, pro qualiter libra, XIII d., valent XXIII l. XII s. III d. De qua somma sunt defalcande III^C XXXI l. de ferro

antiquo in dicta forma reperto pro qualiter libra, V d., valent VI l. XIII s. IX d. et sic restat hic poni in misia, XVI l. XVIII s. VII d.

-fol. 21 v^o-

Item dicto fabro pro IX^a magna forma chori de novo clarificata pro III^{bus} grossis barrellis de ferro novo, XIII barrellis loquetatis, tribus anullis, III^{XX} I^a virga ponderantibus in simul III^C VI livres, pro qualiter libra, XIII d., valent XXI l. XIX s. X d. De qua somma restat defalcandis pro III^C XXIII l. de ferro antiquo in dicta forma reperto pro qualiter libra, V d., valent VI l. XV s. Item pro I^C cum dimidio de paillettes pro tenendo penellos de vitro VI s. Et sic hic ponitur in misia, XV l. X s. X d.

-fol. 22 r^o-

Item prefato fabro pro decima magna forma chori de novo clarificata, pro III^{bus} grossis barrellis de ferro novo, XIII^{cum} barrellis loquetes, III^{bus} anulis, III^{XX} I^a virga de dicto ferro ponderant III^C VI l. de ferro, pro qualiter libra, XIII d., valent XXI l. XIX s. X d. De qua somma sunt defalcandis pro III^C XXIII l. de ferro antiquo in dicta forma reperto pro qualiter libra, V s., valent VI l. XV s. Item pro I^C cum dimidio de paillettes pro tenendo penellos de vitro in dicta forma de novo appositos VI s. Et sic restat hic poni in misia, XV l. X s. X d.

A. Original, registre, parchemin, Rouen, Arch. dép. Seine-Maritime, G 2491.

8.

1434, 24 juin -1435, 24 juin.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Notre-Dame de Rouen. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

Johanni Paen, fabro, pour deux petis barreaux de fer et ung grant pour la premiere fourme de la neif pesans CXIII livres dudit fer, pour chacune livre XIII d., valent VI l. XIII s. VI d. Item pour la dicte fourme ung grant anel de fer et deux petis pesans XXV livres, pour chacune livre XIII d., valent XXVII s. I d. Item pour la dicte fourme VIII barreaux loquetés et LXI verges de fer pesans III^{XX} III livres, pour chacune livre XIII d., valent III l. IX s. XI d. Item pour le reforgelement des marteaulx aux machons depuis Pasques III^C XXXV jusques au XX^e jour d'octobre, comme il appert par la taille Jehan Roussel, LXII s. VI d. Item une fiche pour un plat post pour la chambre maistre Jehan Basset, XVIII d. Item une bende et deux crampons pour tenir ledit post pesans XIII livres de fer, pour chacune livre XIII d., valent XV s. II d. Item pour avoir fait le fer de ung des chenaulx de l'orloge du cueur, V s. Item pour avoir fait le bras du rouet de la dicte orloge, VI s. Item une verge pour le foliot de ladicte orloge, III s. Item deux bendes pour l'us des kavoles, pour chacune pieche VII s. VI d., valent XV s. Item une clef pour l'us des naces, XV d. Item pour avoir fait q[uarteron] gougons pour les machons, V s. Item pour avoir asséré une petite hache pour les dis ouvriés, III s. Item pour avoir fait uns moles pour les dis ouvriers, V s. Item une siete à main pour les

dis ouvriers, V s. Item deux cleefs baillées à Jaquet, II s. VI d. Item pour avoir refait l'us de la chappelle Sainte Agathe et y avoir mis troys bendes et avoir refait la cloueson, VII s. VI d. Item pour la chapelle de la belle voerriere avoir estoupé deux grans trous et avoir refait l'us, X s. Item pour la chappelle Notre Dame de Pitié, IIII bendes et y avoir mis des liens, IX s. Item pour avoir mis des liens et y avoir fait une bende pour la chapelle Saint Julien, IIII s. Item pour la chappelle Saint Gille et Saint Leu, VI bendes de fer et avoir mis des liens, X s. Item pour avoir fait IIII bendes pour la chappelle Saint Nicolas et y avoir mis des liens, VII s. VI d. Lesquelles parties dessus dictes en somme totalle vallent XXI l. IX s. V d. dont il fault rabatre pour II^C XX livres de viel fer, pour chacune livre V d., vallent en somme IIII l. XI s. X d., ainsy reste à estre compté, XVI l. XVII s. VII d.

A. Original, registre, papier, Rouen, Arch. dép. Seine-Maritime, G 2487, fol. 242 r^o-v^o.

9.

1461, 29 Septembre -1462, 29 Septembre.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Notre-Dame de Rouen. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 81 v^o-

A Jehan de Monville, mareschal, pour avoir fait et livré plussieurs serrures de son mestier tant en bendes de fer mises dessus les pierres des esclerez qui sont es jardins ou l'en passe à aller à la cuve de la fontaine que pour l'ostel du hault doyen et aultres serrures, comme apparait par ces parties montans à la somme de LX s. VI d., payé le XXI^e jour du mois de septembre en temps de ce dit compte la somme de LX s. VI d. t.

-fol. 82 r^o-

A Jehan de Hurepil, serrurier, pour avoir fait la serrure dudit autel, serrures et clez et au long du pipistre dudit revestiaire longues verges et bouyons de fer pour la garde des livres qui sont dessus et plussieurs aultres serrures et clez touchant le fait de l'œuvre, comme apparait par ces parties montans à la somme de cent XIII s. IIII d., payé à lui par quittance, CXIII s. III d. t.

A. Original, registre, papier, Rouen, Arch. dép. Seine-Maritime, G 2496.

10.

1465, 29 Septembre -1466, 29 Septembre.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Notre-Dame de Rouen. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

A Yvon de Colandes, cloutier, pour avoir livré et baillé grant nombre de clou, c'est assavoir clou à ardoise pour la gallerie d'aupres ledit revestuaire et aussy clou à late et autres manieres de clou, comme appert par ses parties et quittance montant la somme de VIII l. X s. II d. ob., pour ce payé à luy par quittance le XXI^e jour dudit mois de juillet en temps de ce present compte la somme de VIII l. X s. II d. ob. t.

A. Original, registre, papier, Rouen, Arch. dép. Seine-Maritime, G 2501, fol. 62 v^o.

11.

1466, 29 Septembre -1467, 29 Septembre.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Notre-Dame de Rouen. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

A Mahiet Pan, serrurier de la paroisse Saint Nicolas le Paintreur, pour avoir fait ung grant candelabre de sontueuse et grande fachon servant en la chappelle Notre Dame de la dicte eglise, de l'ordonnance de messeigneurs et maistres J. Blondel, R. Pessart, maistres de la dicte œuvre, par marchié fait et payé à luy pour matiere et paine par quittance le XXIII^e jour dudit mois de mars l'an mil III^C LXVI devant Pasques la somme de XX l. t.

A. Original, registre, papier, Rouen, Arch. dép. Seine-Maritime, G 2502, fol. 47 r^o.

12.

1468, 29 Septembre -1469, 29 Septembre.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Notre-Dame de Rouen. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 51 r^o-

A Jehan de Monville, mareschal, pour avoir fait VIII grans gonlx avecque VIII crampons pour mectre es pilliers corniers pour tenir les ymages qui y sont mis⁴, avecque ce sont plusieurs aultres besongnes faictes par ledit mareschal, comme appert en ses parties et

⁴ *suivi de* et pour cent et troys forgeures de marteaulx pour lesdits machons, au pris de V d. chacune forgeure et XII achereures, au pris de II s. VI d. chacune achereure, rayé.

quittance montées X l. XII s. X d., pour ce paié le XXII^e jour de mars, X l. XII s. X d. III s. VIII d.

-fol. 125 r^o-

A Guillaume Barbe, voirier, pour avoir ouvré de son mestier en plusieurs lieux en ladite eglise, c'est assavoir es chappelles de Marie Madeleine, de Nostre Dame de Pitié et de saint Julien, en chacune a fait les formes de voirre des matieres de l'œuvre et IIII hystoires, ainsi comme appert par une cedulle signee par mesdits seigneurs les maitres et pour avoir reparé en aulcunes voirrieres, comme appert par ladite cedulle, lesquelz parties se montent à la somme de LVIII l. XII s. t, pour ce paié à lui par quittance le XXVI^{me} jour de mars, LVIII l. XII s.

A Guillaume Barbe, voirier, pour avoir ouvré de son mestier en une voirriere, assavoir en la chappelle Sainte Agathe et y avoir fait IIII ymages, c'est assavoir Notre Dame, sainte Agathe, saint Sebastien et saint Victor, pour ce paié à lui par quittance le VIII^{me} jour d'aoust ou temps de ce present compte, XV l.

-fol. 134 v^o-135 r^o-

A Jehan de Monville, mareschal, pour avoir ouvré de son mestier à faire XXVI verges à voirrier pesant XXII livres et dye barreaux loquetiers avecque les loquetieres et cent et demi de pailleicte employés en la fourme de voire de la chappelle Marie Magdalene et pour avoir defferré la cloche nommee Nicolas et pour avoir fait VIII grans gonlz avecque VIII crampons pour tenir les ymages, lesquelles seront mises en la tour Saint Romaing et pour aultres matieres pour l'usage de ladicte fabrique, comme appert par une cedule signée de messeigneurs les maistres, pour ce paié à luy le XXIII^e jour de mars par quittance, X l. III s.

A. Original, registre, papier, Rouen, Arch. dép. Seine-Maritime, G 2505.

13.

1478, 29 Septembre -1479, 29 Septembre.- S. l.

Compte de la fabrique de la cathédrale Notre-Dame de Rouen. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

A Jehan de Heruppy dit Castille, serrurier, tant pour sa paine et pour la matiere de son fer d'avoir fait plusieurs besongnes pour ladicte librairie, comme barreaux à soustenir les trefs, barreaux à mettre aux cleres voyes de hault de ladicte librairie, une trillie de fer mise à la fenestre de la dicte librairie. Item longues verges pour les fenestres. Item longues verges mises aux lieutrins avecques les loques. Item barreaux mis dedens le degre par on l'en va à la dicte librairie. Item trois serrures avecques quatre clefs mises aux trois huys de la dicte librairie Item plusieurs ferrailles mises aux cloches de Estouteville, Romain, Tibault, Guillaume et la petite Marie. Avecques autres parties contenues en cinq feuillets de pappier escriptes de la main dudit Castille, montant le tout à la somme de LXXVIII l. XVIII s. XI d. t.,

diminuée par messeigneurs maistres Robert Duquesney, P. Escoullant, G. Auber et R. Perchart, maistres de la dicte fabrique, à la somme de LXXVIII l. Et pour ce paié comme appert par mandement signé de mesdits seigneurs et par quittance dudit Castille, LXXVIII l.

A. Original, registre, papier, Rouen, Arch. dép. Seine-Maritime, G 2509, fol. 65 r^o-v^o.

14.

1487, 29 Septembre -1488, 29 Septembre.- S. l.

Compte de la fabrique de la cathédrale Notre-Dame de Rouen. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

A Jehan de Heruppy dit Castille, serrurier, pour ung des bras de l'estoille et faire une eusse, XV d. Item pour trois piquois dont il y en a ung à teste pesans X l. et demie, à IX d. pour livre, VII l. X d. ob. Item pour avoir fait XII grans barreaux de fer de VIII pies de long fournis de III^{XX} XVI loquetieres et de XLVIII tourellieres et pour passer les verges devant les verrieres de la nouvelle tour pesans ensemble III^C LVI l., audit pris de IX d. la livre, pour ce, XIII l. VII s. Avec aultres parties contenues en une feuille de papier montans à la somme de XIX l. X s. VI d. ob. dont fault rabatre la somme de VII l. XIII s. pour la vendue de VI^C XII l. de vieille feraille à XXV s. pour cent, aussy ne reste plus que XI l. XVII s. VI d. ob., diminuée par messeigneurs de chappitre à la somme de XI l. t. Pour ce payé par mandement et par quittance, XI l.

A. Original, registre, papier, Rouen, Arch. dép. Seine-Maritime, G 2512, fol. 71 v^o.

15.

1501, 29 Septembre -1502, 29 Septembre.- S. l.

Compte de la fabrique de la cathédrale Notre-Dame de Rouen. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 65 r^o-

Le XIII^e jour d'octobre à Laurens Castille, serrurier, sur la facon de la feraille de ladicte cloche, paié par quittance, XXXVII l. X s.

-fol. 66 v^o-

Pour le cariage de VIII^C LXXV l. de fer ouvré pour pendre ladicte cloche apres ce qu'il fut pesé en la Viconté, paié, XII d.

-fol. 67 r^o-

Pour le cariage de VII^C LXXIII l. de fer pour ladicte cloche depuis la Viconté jusques à l'eglise, payé, XVIII d.

Le XXVII^e jour de novembre à Laurens de Herupy dit Castille, serrurier, pour le parpaiement de la feraille de ladicte neuve cloche, païé par quittance, IIII^{XX} XVII l. XII s. VI d.

-fol. 68 v^o-

A Laurens Castille, serrurier, pour feraille mise à la dicte cloche en temps que ledit Lihaut y a besongné, plus à plain déclaré en une demye feuille de papier, païé par quittance, X l. XII s. VI d.

-fol. 69 r^o-

Le XXVI^e jour de janvier à Pierres Lermite, sergent, pour avoir adjourné Colin Lambert qui avoit fait le batail de ladicte cloche, lequel estoit rompu pour ce qu'il n'estoit point de bon fer, pour ce païé, VI d.

-fol. 69 r^o-69 v^o-

A XII mareschaulx et serruriers pour avoir fait le rapport devant justice dudit batail qu'il n'estoit ne loyal par taux de justice, païé à chacun II s., valent XXIII s.

-fol. 69 v^o-

Aux varlets de Laurens Castille, serrurier, pour la bonne diligence qu'il feroient de renouer le batel de ladicte cloche qui avoit esté rompu par deux foys, affin que mondit seigneur de Rouen la ouyst sonner et aussy les cardinaulx qui estoient avec mondit seigneur, par le commandement de monseigneur maistre Richart Perchart, donné, X s.

A Laurens Castille, serrurier, pour avoir defferré ladicte⁵ hure de ladicte cloche, pour deux journées de trois hommes et pour avoir fait outilz pour ce faire, païé XXX s. Pour avoir conté et plié les pitons, reforge et referré les bendes et refait les sommiers, païé LX s. Et pour plusieurs aultres parties plus à plain déclarées en une demye feuille de papier, toutes lesdictes parties montant à la somme de LV l. XV d. tournois moderées et diminuées par messeigneurs les maistres de l'oeuvre à LI l. Pour ce païé par quittance, LI l.

-fol. 70 v^o-

En la sepmaine commenchant le VIII^e jour d'aoust, pour avoir rapporté en une carette de Long Paon de la forge Guillaume de Chartres le fer, les souffles ou on en doit faire le nouvel batail de ladicte cloche et ne luy peust on faire pour ce qu'on eust brullé les maisons estans pres ladicte forge, pour ce païé, VII s. VI d.

Audit Guillaume de Chartres pour avoir occupé ladicte forge par ung jour, païé, XV s.

A son varlet qui devoit garder la dicte forge, pour avoir ouvré pour ung jour [avec] les aultres ouvriers, païé, II s. VI d.

-fol. 70 v^o-71 r^o-

A Gillet du Mesnil, serrurier, pour avoir forgé la feraille de la hure de ladicte cloche, pour le nouvel appariel pour la faire mieulx et plus facilement sonner, ou il a vacqué par VIII jours avec XII forgeurons, sans la peine de Jehan le Tieullier dessus dit, pour peine, fer, acher, carbon et louage de la forge Pierres Lambert, païé par quittance, LII l. VI s. IX d.

⁵ *suivi de cloche, rayé.*

-fol. 71 r°-

Pour le cariage des pitons de la dicte cloche depuis l'église jusques à ladicte forge de Guillaume Lambert, XII d.

Le premier de septembre à Gillet du Mesnil pour le louage d'une enclume pour forger ledit nouvel batail en la court d'Albanne, païé, III s.

Pour avoir reporté les enclumes ou ledit nouvel batail de ladicte cloche a esté forgé en Albane, païé à ung caretier, XII d.

Le II^e jour dudit moys audit Gillet du Mesnil pour avoir vacqué par XII jours avec maistre Jehan le Tieullier pour faire le nouvel batail de la dicte cloche, païé par quitance, L s.

Audit maistre Jehan le Tieullier, carpentier et audit Gillet du Mesnil, serrurier, pour peine, despens de plusieurs mareschaulx et serruriers qui ont vacqué par l'espace de XII jours pour faire lesdit nouvel batail de ladicte neuve cloche, pour carbon, païé par quitance, LXIII l.

Item audit maistre Jehan le Tieullier pour sa peine et indulgence d'avoir rappointé les pitons de ladicte cloche pour la faire sonner plus facilement que elle ne faisoit et pour avoir ouvré à faire ledit nouvel batail, païé par quitance, XXIX l. XV s.

A Benest Canellier pour fer d'Espagne mis et employé audit batail, payé par quitance, XXIII l. III s. XI d.

-fol. 71 r°-71 v°-

Le XV^e jour de septembre à Ancel Ramachart, caretier, pour avoir porté à Long Paon le fer et les souffles et aultre menage pour faire ledit batail et pour le cariage d'une grande et longue piece de boys mise à ladicte cloche au derrain rappareil, païé, XV s.

-fol. 71 v°-

A Gillet du Mesnil, serrurier, pour ung estot faict à Long Paon, à disner ou estoient ledit maistre Jehan le Tieullier, ledit Gillet et plusieurs aultres ouvriers qui estoient allés veoir ledit moulin Guillaume de Chartres, pour scavoir s'on y pourroit faire ledit batail, païé, XV s.

A Colin le Fevre pour carbon qui estoit demouré à la loge d'Albenne du temps que ledit le Fevre affinet le metal pris par lesdits forgeurs, païé, X s.

A. Original, registre, papier, Rouen, Arch. dép. Seine-Maritime, G 2519.

1512, 29 Septembre -1513, 29 Septembre.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Notre-Dame de Rouen. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

Le V^e jour de janvier à Martin le Bourt, serrurier, pour fer et facon des trillies nouvellement faictes au tresor de l'eglise, en somme VI^C LXIII l. de fer et aultre besongne plus à plain declarée en demye feuille de papier, païé par commandement de messeigneurs les maistres de la dicte fabrique et par quitance, XXXVIII l. XI s.

A. Original, registre, papier, Rouen, Arch. dép. Seine-Maritime, G 2525, fol. 67 r^o.

Eglise Saint-Maclou de Rouen

17.

1436, 1^{er} juillet -1437, 1^{er} juillet.- S. l.

Compte de la fabrique de l'église Saint-Maclou de Rouen. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

Le VI^e jour de avril IIII^C et XXXVII, à Laurens du Mesnil pour avoir fait et rappliqué les fers locquetés et les vergues de verrieres du pignon du portail de l'estage de dessoubz ou est l'istoire de la Nativité et pour les crampons à tenir les tuyauls des goutieres et pour VI gons pour à maistre les boisses d'entre les pilles devers la chapelle Saint Leu. Et pour rappliquer la cayne pour le crucefix et II clerfs et pour plusieurs autres choses et est pour icy, XV s.

A. Original, registre, papier, Rouen, Arch. dép. Seine-Maritime, G 6874 (2 MI 125), fol. 64 r^o.

18.

1443, 16 septembre -1444, 16 septembre.- S. l.

Compte de la fabrique de l'église Saint-Maclou de Rouen. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

Le XIII^e de apvril, à Colin Jouyn pour XXIX forgeures de marteaulx et pour cinq barrel de fer à mestre à la piscine, pour ce, XVIII s.

A. Original, registre, papier, Rouen, Arch. dép. Seine-Maritime, G 6876 (2 MI 127), fol. 87 r^o.

19.

1514, 1^{er} novembre -1515, 1^{er} novembre.- S. l.

Compte de la fabrique de l'église Saint-Maclou de Rouen. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

Item païé à Martin le Bourt, serrurier, pour la croix de fer de l'esquille Saint Maclou qu'il a faicte tout neusve pesant 756 l. de fer, à 2 solz t. chacune livre de fer vallent soizante traize livres dix solz tournois. Laquelle somme n'esté païé par ledit du Four avec sept solz VI d. qui ont esté despensés avec ledit Bourt en faisant le marché de ladite croix. Ainsi est en somme toute LXXIII l. XVII s. VI d. Pour ce cy, 73 l. 17 s. 6 d.

Item plus païé à ceulx qui ont pesé la dicte croix et porté ledit pois de la Viconté jusques au chasteau ou elle se faisoit. Et pour avoir aporté la dite croix dudit chasteau jusques à la grant eglise de Saint Maclou. Et pour l'avoir visiter agens et ouvriers à ce reconnoissans s'elle estoit bonne et loiaulment faicte, pour tout ensemble païé, XXV s. X d.

A. Original, registre, papier, Rouen, Arch. dép. Seine-Maritime, G 6879 (2 MI 130), fol. 64 r^o.

Cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes

20.

1333, 29 juin -1334, 29 juin.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 3 r^o-

Dicta die Matricario, pro tribus bratariis campanarum, XVIII s. t.

Dicta die, magistro Girargo Ongeti, verrerio, pro reparando omnes verrerias totius ecclesie, mercato facto in tachia quas habuit pro plures partes, X l. t.

Die dicta [veneris in vigilis beati Barnabe] fabro pro uno C palie ad opus verrerie, III s. t.

Die dicta [veneris in vigilis beati Barnabe] Colino fabro pro tribus tirannis, XXIII clavis grossis et C palis ad opus verreriem, XXI s. VII d. t.

Dicta die [sabati ante festum beati Johannis] fabro pro tirannis barris et palis ad opus verrerie, XXV s. VI d. t.

Die dicta [sabati ante festum beati Johannis] pro reparando batallum magne campane, XIII s. t.

Dicta die [sabati post festum beati Johannis] pro clavis et palis ad opus dicte verrerie, II s. VI d. t.

Pro duabus barris ferreriis, II s. t.

-fol. 20 r^o-

Dicta die [sabati in vigila sancti Laurencii] Jacomardo fabro pro II tirannis magnis ponderant de VI pois, LX s. t.

Dicto Jacomardo pro L tirannis parvis, X s. t.

Item pro L cramponis ferri ponderant de VI pois, L s. t.

A. Original, registre, parchemin, Paris, Bibl. nat., nouv. acq. lat. 1949.

21.

1366, 26 juillet -1367, 25 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

Expense pro forgia dictorum lathomorum :

Jaquemardo fabro pro XII^{cum} cramponibus in parvo arcu et es orbevois VI^{or} die mensis augusti, pecia II s., valent XXIII s.

Eidem Jaquemardo pro XXVIII goujons positis inter lapidibus parvi arcus es orbevois dictam diem, VI s.

Eidem Jaquemardo pro factura X grapparum factarum de ferro ecclesie et positis in magno arcum a parte curie episcopalis, pecia XII d., debet X s.

Eidem Jaquemardo pro X grappis positis es noeram dediti magni arcus existentem juxta chorum ecclesie, XXIII die mensis octobris, pecia XX d., valent XVI s. VIII d.

Eidem Jaquemardo pro VIII parvis grappis positis in quodam feillolia existente prima ex parte dicte curie, III^{or} diem mensis novembris, pecia XII d., valent VIII s.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1559, fol. 14 r^o.

22.

1367, 25 juillet -1368, 23 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

Eidem Jaquemardo pro VII goujons factis de ferro ecclesie, pecia II d., valent XIII d.

Eidem Jaquemardo pro X goujons factis de suo ferro, pecia V d., valent III s. II d.

Eidem Jaquemardo pro IX grappes de suo ferro, pecia II s., valent XVIII s.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1559, fol. 34 r^o.

1375, 22 juillet -1376, 27 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 8 v^o-

A Michelin de Jaucheur, macon, en la sepmaine de l'Assumption Notre Dame, pour asseoir les barres en forme premiere devers le pavement à la partie devers ville, pour I jour, III s. IX d. t.

A Jehan Thierry, macon, en la sepmaine de Saint Michiel, pour appareiller le grant O devers le pavement et mectre les ronds barriaux et autres fers, pour IIII jours, pour jour III s. IX d., valent XV s. t.

A Jehannin Gilet, macon, qui fu avec le dit Jehan Thierrri par IIII jours, pour jour VII blancs, XI s. VIII d. t.

A Guiot Malprove pour IIII jours, pour jour II s., VIII s.

Au dit Jehan Thierrri en la sepmaine apres Oculi mei pour mettre I quarteron rondel et les barreaux de fer en la forme que a faite verrer Robert d'Amance, tresorier de monseigneur Bourgoine, pour III jours, pour jour III s. IX d., XI s. III d. t.

-fol. 9 r^o-

A Richart le Sarrurier pour XXVIII pois de fer, tant en ronds comme barreaux montants comme verges, qui sont mis en la forme premiere devers le pavement et dessus la maison Thevenin de Saint Sepulchre, en la quelle est l'image de la Vierge Marie, pour chascun pois XXV s., valent XXXV l. t.

Au dit Richart pour IIII^C LXXV pailletes, pour cent IIII s., valent XIX s. t.

Au dit Richart pour toute la forme ferrure dou grant oiteau devers le pavement ou quel a XXXII pois et demi, tant en ronds, montans, barreaux, trepieres comme verges et pour ce que le dit ouvrage est plus deliez que li autres des dictes forme, chascun pois a cousté XXVIII s. et valent à ce pris, XLV l. X s. t.

Pour ung mille de pailletes, pour cent IIII s., XL s. t.

Audit Richart pour la ferrure de la forme dou milieu à la partie devers la Maison Dieu Saint Nicolas que a faicte verrer Robert d'Amance, tresorier monseigneur de Bourgoine, en la quelle a XXXIX pois de fer et XV l. tout en ronds, barreaux, montants comme verges pour chascun pois XXV s., valent XLIX l. IX s. t.

Pour IIII^C de pailletes, pour cent IIII s., valent XVI s.

A. Original, registre, papier, Paris, Arch. nat., KK 398 B.

24.

1377, 26 juillet -1378, 25 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

A Richart le Fevre pour XXVI pois III l. de fer ouvré en barres, montans, verges et trepiers qui furent mis en la forme ou est monseigneur saint Michiel ymaginé, pour pois XXV s., XXXII l. XII s. VI d. t.

Audit Richart pour III^C et demi de paillettes, pour cent IIII s., valent XIII s. t.

Audit Richart pour XXXI pois et demi de fer ouvré en barres, montans, verges et trepiers pour pois XXV s., valent XXXIX l. XII s. II d. t.

Pour II^C III quarterons de paillettes pour cent IIII s., valent XI s. t.

A. Original, registre, parchemin, Paris, Bibl. nat., ms. lat. 9113, fol. 26 r^o.

25.

1378, 25 juillet -1379, 24 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 36 r^o-

La sepmaine apres la Toussains, pour pendre les III huis des alees et faire des troz pour metre les barriaux de la verriere où est l'ymage de saint Denis par Jehan Thierry, pour III jours, XII s. t.

Pour faire II cornes neuves et metre en l'ostiau dessus saint Denis la sepmaine de la Saint Martin par Jehan Thierry, pour V jours, XX s. t.

Guiot Malprove avec le dit Jehan pour II jours, IIII s. t.

En la sepmaine de l'Apparition Notre Seigneur, pour asseoir le fer dudit ostiau par ledit Jehan, pour II jours, VIII s. t.

Guiot Malprove avec le dit Jehan, pour II jours, IIII s. t.

La sepmaine apres l'Apparition, pour metre les barriaux en la dicte forme par le dit Jehan, pour V jours, XX s. t.

Guiot Malprove avec le dit Jehan, pour V jours, X s. t.

Le dit Jehan Thierry la sepmaine de Saint Supplis pour estre avec le verrier à asseoir la forme où est saint Denis, pour III jours, paie XII s. t.

-fol. 36 v^o-

Pour garnir de mortier au tour des verrieres la sepmaine apres Penthecoste par Guiot Malprove pour III jours, VI s.

A Richart le Sarrurier pour XLV pois et II l. de fer ouvré, tant en montans comme en barriaux, trepies, verges et autres formes, livrées par plusieurs foiz en la presence de messeigneur Pierre d'Arbois, chanoine de la dite eglise, pour la forme ou est l'ymage de saint Mamer, pour chascun pois XXV s., valent environ LVI l. VI s. VIII d. t.

Pour V^C de paillettes pour la dicte forme, IIII s. le cent, valent XX s. t.

Pour courtoisie faicte aux vallez dudit Richart, II s. VI d. t.

Audit Richart pour XXXII pois IX l. et demie de fer ouvré, tant en ront de l'ostiau d'en haut comme en plusieurs barriaux, montans, trepies et verges pour la forme ou [est] l'ymage de saint Denis, pour chascun pois XXV s., valent XL l. VIII s. IX d. t.

Pour IV^C et demi de paillettes, le cent IIII s., valent XVIII s. t.

Pour courtoisie faicte aux vallez dudit Richart, II s. VI d. t.

A. Original, registre, parchemin, Paris, Bibl. nat., ms. lat. 9113.

26.

1379, 24 juillet -1380, 22 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 50 r^o-

A Jehan Thierry, masson, pour mettre le fer du ront de la verriere ou est la Resurrection Nostre Seigneur en la premiere sepmaine d'octobre, pour III jours, XII s. t.

Audit Jehan pour mettre les barreaux la dicte verriere en la III^e sepmaine de novembre, pour III jours, XII s. t.

-fol. 52 r^o-

A Richart le Sarrurier pour XXXIII pois IX l. de fer ouvré tant en ront comme en barreaux et montans et verges pour la forme de la verriere du milieu de la rameure par devers chapitre au coste par devers le revestiaire en la quelle est la Resurrection Nostre Seigneur avec XVI barriaux pesans VIII pois et demi qui estoient de garnison des autres verrieres precedentes, pour chascun pois XXV s., valent les XXXIII pois IX livres, XLI l. XIII s. IIII d.

Pour refaire un des barriaux de la dicte forme qui estoit brisie et de tres mauvais fer, pour le faire neuf et d'autre fer par le dit Richart, pour ce XII s.

Pour VI^C de pailletes, tant pour la dicte forme comme pour mettre en plusieurs lieux es verrieres de l'eglise, IIII s. le cent, valent XXIII s.

A Thomas Grosse Tecte, sarrurier, pour XXI rodel et XVI quarrez pesans XIII pois de fer d'Espaigne, pour chascun pois XXVII s., valent XVII l. XI s.

Pour XXVI barriaux pour les grandes fenestres au dessoubz de la dicte roe, pesans IIII pois VII l. de fer d'Espaigne, le pois XXV s., valent CVI s. III d. t.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1559.

27.

1380, 22 juillet -1381, 28 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

A Thomas Grosse Tecte pour ferré la roe avec les basses verrieres du pignon par devers la court l'official, avec XVII pois et VII l. de ferrure tant en ront comme en quarez, trepiez et barres et montans qui furent compté ou compte precedent fini l'an CCC III^{XX}, pour V^C XVIII verges tant grandes comme petites qui peserent XVIII pois et demi, pour chacun pois XXV s., valent en somme pour tout, XXIII l. II s. VI d.

Au dit Thomas pour I^M de pailletes pour les dictes verrieres, pour chacun cent III s., valent XL s.

Au dit Thomas pour forgier XLVIII grandes verges pesant environ II pois de plusieurs autres viez verges qui estoient à l'église, pour son salaire, V s.

Pour courtoisie faicte aux valles dudit Thomas, III s. III d.

A. Original, registre, parchemin, Paris, Bibl. nat., ms. lat. 9112, fol. 13 r°.

28.

1381, 28 juillet -1382, 27 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

Pour VI bandes de fer mises es bechaux de la dicte rameure, chascune III pie et demi de lonc, III s. II d. la piece, valent XXV s.

Pour une grant bande de fer qui tient l'appointure dessoubs le frestre, III s. VI d.

A. Original, registre, parchemin, Paris, Bibl. nat., ms. lat. 9112, fol. 64 r°.

29.

1384, 24 juillet -1385, 23 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

Despense pour fer mis en la maconnerie dou dit jube :

Et premiers à Thomas dit le Chat, sarrurier demorant devant Notre Dame :

Pour VII^{XX} et XVI agrappes de fer et pour VI^{XX} et XIII goujons pour tenir la dicte maconnerie, qui poisent l'un parmi l'autre III^C XXXIX livres de fer et cinq grans barriaux qui poisent chacun XLII livres et VI autres barriaux qui poisent chacun XXXII l. de fer et monte la somme des livres de fer, VII^C XLI livres de fer qui montent à⁶ XXVII pois et douze livres de fer qui valent au pris de XXVI s. pour chacun pois rabatue la demie livre, XXXV l. XIII s. II d.

A. Original, registre, parchemin, Paris, Bibl. nat., ms. lat. 9112, fol. 129 v^o.

30.

1386, 22 juillet -1387, 28 juillet.- S. l.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

Despence pour fer mis en la maconnerie doudit jube :

Et premierement à Thomas le Chat, serrurier demorant à Troyes :

Pour III chevilles de fer, une petite levriere, LVIII agrappes et XXIII goujons qui pesent l'un puis l'autre VI^{XX} III l. de fer ouvré, dont il est à rabatre LXX l. de viez fer qui estoit à l'église qui sont comptées pour XXXV l. de fer ouvré, ainssin sont dehues au dit Thomas CVIII l. de fer ouvré qui valent, à XXVII l. le pois, IIII pois de fer ouvré qui valent, à XXV s. le pois, C s.

A. Original, registre, parchemin, Paris, Bibl. nat., ms. lat. 9111, fol. 12 r^o.

31.

1387, 28 juillet -1388, 26 juillet.- S. l.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

A Richart le Sarrurier pour I pois et XIX l. de fer ouvré en grapes et goujons, le pois XXVI s., vallent XLII s. VI d.

Audit Richart pour IX grapes pour faire tenir le plonc sur les ars boutans, VIII s.

A. Original, registre, parchemin, Paris, Bibl. nat., ms. lat. 9111, fol. 43 r^o.

⁶ suivie de XXVII pois et demi de fer et demie livre rayé

32.

1388, 26 juillet -1389, 25 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

A Thomas le Chat pour XV goujons et XXX aggrappes mises au jube, pesant pois et demi, au fuer de XXV s. le pois, valent XXXVII s. VI d.

Au dit Thomas le Chat pour les verges de fer pour mettre la verriere ou est l'ymage de Dieu en l'oo par devers le pavement, lequel avoit esté abatuz de vent, pesant XXXIII l., XXXVI aggrappes et XXI goujons pour le jube pesant XXIII l. et demie, qui font en tout II pois III l. et demie, valent LIII s. VI d.

A. Original, registre, parchemin, Paris, Bibl. nat., ms. lat. 9111, fol. 67 v°.

33.

1390, 24 juillet -1391, 23 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

A Thomas le Chat pour VI^{XX} VII aggrappes de fer pesant VI^{XX} VII l. livrées par luy et mises es pierres du grant pillier par devers la court l'official, qui a esté levez jusques au haut de la ramee et pour III^{XX} XVIII aggrappes mises en l'autre pillier qui a esté levez de maconnerie à l'opposite par devers le pavement pesant III^{XX} XVIII l. Item pour CXVIII agrappes mises ou pillier par devers le puis lequel a esté abatuz jusques à la vossure de l'ars et depuis refait et assavoir les dictes aggrappes mises pesant CXVIII l. Item pour VIII bandes de fer mises es bechaux et entrez de la dicte ramee pesant XXXVII l. Item pour III bandes de fer et les clos pesant XVIII l. mises es travers qui tiennent les trappans dont le grant OO par devers le pavement est bouché, qui font en tout III^C III^{XX} XVIII l. de fer, qui font XV pois VIII l. fer, XXV s. le pois, font XIX l. II s. VI d.

A Jaquemart Le Serrurier pour une grant bande de fer d'Espagne d'environ VI piez de long, ensemble les crampons et clos, touz pesant XXV l., mise ou premier tre et bechaut de la ramee par devers le clocher lequel est bouché de douves, de quelles la livre XV d., font XXXI s. III d.

A. Original, registre, parchemin, Paris, Bibl. nat., ms. lat. 9111, fol. 129 r°.

1391, 23 juillet -1392, 28 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

A Thomas le Chat, fevre, pour forger et faire les barreaux de fer et les verges des verrieres mises en XX fenestres toutes pareilles de haut et large, lesquelles sont en la ramee neuve, c'est assavoir XII es parois devers le pavement et VIII en l'autre pan par devers la court l'evesque, dont les barreaux et verges d'une chascune d'icelles XX fenestres pesent XXIII l., pour ce icy pour les dictes XX fenestres, IIII^C LX l. fer.

Pour III tirans de fer mis es fenestres de maconnerie qui sont ou pan devers la court l'evesque, VI barres loquetées et XLVI verges mises es dictes fenestres veriées, senz les paillettes qui sont comptées cy apres, pour tout, VI^{XX} XVII l. fer.

Item pour VI autres fenestres d'une moison dont les IIII sont ou dit pan devers la court l'evesque et les autres deux ou pignon fait de douves, de quelles la ferrure d'une chascune d'icelles pesant XIII l. pour tout, LXXVIII l. fer.

Somme de fer mis es dictes fenestres pour les verrieres mises illec, VI^C LXXV l. fer qui font XXVI⁷ pois fer, le pois XXV s. t., valent XXXII l. X s. dont il chiet pour VIII^C demi I quarteron de fer à lui baillié du fer qui estoit en la plomberie, le cent XL s. t., font XVII l. X s., pour le demorant, XV l. t.

Audit Thomas le Chat pour aggrappes et goujons mis ou jube la sepmaine commenchant le XXIII^e de septembre, quand les macons commencerent à l'entree du cuer au dehors et dont mencion est faicte cy devant es journees des maçons, XXVI l. fer. Item pour VIII chevilles rondes livrées à Henry de Bruisselles pour lever et soustenir les pierres qui l'en fait en la loge pesant LX l. fer, pour tout IIII^{XX} VI l. fer qui font III pois VIII l. fer, valent au pris, IIII l. II s. X d. t.

A lui pour II^C et demi de paillettes de fer mises es verrieres assises es fenestres de la maconnerie, X s.

A. Original, registre, parchemin, Paris, Bibl. nat., ms. lat. 9111, fol. 152 v^o.

1392, 28 juillet -1393, 27 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

Item pour reforger VI bandes de fer prises es viez engins de la ville, ycelles mettre es VI bechaux de la ramee par le dit Thomas et pour crampons et clos, XXX s.

A. Original, registre, parchemin, Paris, Bibl. nat., ms. lat. 9111, fol. 173 r^o.

⁷ Sic ms pour XXV.

36.

1395, 25 juillet -1396, 23 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

A Richart Le Serrurier pour XVI grans goujons et XXX agrappes de fer pesant IIII^{XX} VII l. et demie livrées à maistre Henry, tant le XXIII^e d'aoust comme en septembre IIII^{XX} XV, qu'il leva au jube, IIII l. VII s. VI d.

A. Original, registre, parchemin, Paris, Bibl. nat., ms. lat. 9111, fol. 232 r^o.

37.

1397, 22 juillet -1398, 28 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

A Richart Le Serrurier pour XV agrappes de fer et dix goujons pesant XXV l., faictes par lui du commendement de maistre Henry et mises ou jube, pour ce le V^e de septembre IIII^{XX} XVII, XXV s.

Pour limer les barreaux de fer qui estoient entre les pilliers du jube par devant et pour un grant barreau qui estoit à l'entree du cuer, oster tout entier senz limer, par marchier fait par messieurs Pierre d'Arbois, XII s. VI d.

A. Original, registre, parchemin, Paris, Bibl. nat., ms. lat. 9111, fol. 259 v^o.

38.

1398, 28 juillet -1399, 27 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

A lui [Richart Le Serrurier] pour goujons et agrappes tant pour le jube que pour certains pilliers des haultes alees à creneaux, pesant LXXVIII l. et demie, la livre XII d. ouvrée, font LXXVIII s. VI d. t. Sur quoy il a receu LX l. de fer, la livre V d., font XXV s. t., pour ce yci pour le demorant, LIII s. VI d.

A. Original, registre, parchemin, Paris, Bibl. nat., ms. lat. 9111, fol. 277 r^o.

1409, 28 juillet -1410, 27 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 122 r°-

A Bon Buef pour II^C de paillettes, le cent IIII s., valent VIII s. t.

A luy pour alonguir XXXVIII barriaux en plusieurs formes tant grandes comme petites et aussi ung des gros barriaux de la forme de la chapelle Saint Pierre et Saint Pol, XV s. t.

A luy pour acroistre XVI verges des grans formes de coste ledit ostiau à la partie de l'ostel ou demeure ledit Bon Buef, chascune de demi pie et plus, VII s. VI d. t.

A luy pour une verge nuesve de fer de IIII piez et demi de long mise en l'une des formes de la chapelle du Sauveur à la relacion de Guiot Brisetour, II s. VI d. t.

A luy pour croistre IIII montans des verrieres de la chapelle de Notre Dame darriere, V s.

-fol. 125 r°-

Despence pour massonnage :

Et premierement pour l'ostiau neuf et asseoir, soder et encramponner les cleres voyes dess[oubz] ledit ostiau et la viz qui⁸ et pilier qui sont aux deux costes et tant pour massonerie comme forge et autres matieres ad ce necessaires.

A maistre Thomas Michelin, masson, en deduction de ce qui li est deu à cause de la marchandise dudit ostiau du commendement de messeigneurs le doyen, le grant archidiacre Jehan de Chaonnes, N. le Bourgoin, J. Pougoise et aucuns autres le XIII^e jour de novembre comme il appiert par la quittance dudit maistre Thomas, XX l. t.

A la Lambinette pour I^C et demi de plonc en masse pris pas ledit maistre Thomas le XIII^e jour de novembre à VII d. ob. la l., valent III l. XIII s. IX d.

A elle pour [X ?]III l. IIII onces de plonc en masse pris par ledit maistre Thomas le XX^e jour dudit mois à VII d. ob. la l., valent VIII s. III d. ob.

A elle pour XIII l. de plonc en masse pris par ledit maistre Thomas le XXVI^e jour dudit mois à VII d. ob. la l., valent VIII s. I d. ob.

A Bon Buef pour LXXI l. de fer en crampons tant grands comme petits, pris à diverses fois et en plusieurs jours par maistre Thomas Michelin macon, la l. VIII d., valent XLVII s.

Item pour VII autres l. de fer en crampons pris par ledit maistre Thomas pour ledit ouvrage, la l. comme dessus, valent III s. VIII d.

Item pour XXX l. de fer tant pour crampons comme goujons pour les dictes cleres voyes, prises par le dit maistre Thomas, audit pris, valent XX s.

⁸ *suivi de est decoste rayé*

Audit Bon Buef pour L l. de fer en crampons pour mettre ou pilier dessus dit, pris par iceluy maistre Thomas, audit pris, valent XXXIII s. IIII d.

A luy pour LVI l. de fer pour crampons et goujons mis ou petit pilier des cleres voyes et ouudit grant pilier oultre ce que dessus est dit pris par ledit maistre Thomas audit pris, valent XXXVII s.

Audit maistre Thomas Michelin sur ce qui li est deu à cause dudit ostiau comme il appert par quittance escripte et signée de sa main le XXII^e jour de decembre, VI l.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1559.

40.

1410, 27 juillet -1411, 26 juillet.- S. l.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

Depense pour achat de grans barriaux de fer necessaires pour l'église, oultre ceulx qui avoient esté achetés par messire Jehan de Chaonnes :

A Colin Midon de la grosse forge de Doulevans pour⁹ IIII^e grans barriaux de fer, lesquelx par marche fait avecques luy par moy et maistre Thomas le Macon et moy, en la presence de Colecon Luquerel et de Colin d'Eschemines, il doit ferre du lont et de la devise et de la facon que li a donnée ledit maistre Thomas, amener et rendre à l'église à ses propres cous et despens dedans la Saint Martin prochainement venant et doit avoir pour chascune livre de fer qui peseront VII d. t., pour arres que je li ay données au jour d'ui XVII^e jour d'octobre, en deduction de ce qui li sera dehu à cause de la dicte marchandise en la presence des dessusdits et en a esté repondant pour lui ledit Colin d'Eschemines, X l.

Assavoir que ledit Colin Midon amena et livra lesdicts IIII^e barriaux à l'église le XVI^e jour de novembre, lesquelx furent visités et receus par ledit maistre Thomas Bon Buef, les autres ouvriers de l'église et moy et poisent en tout VI^c VIII l., qui valent au pris que dessusdit, c'est assavoir VII d. t. pour livre, XVII l. XIII s. VII d. Sur quoy, comme dit est, avoit receu X l., ainsi restent qui le sont dehu VII l. XIII s. VII d., lesquelles comme il appert par quittance je li ay payées apres ce que à ses despens il a fait reparer aucunes faultes qui estoient esdits barriaux, je li ay payées. Pour ce yci l'acomplissement du payement de toute la somme dessus dicte, VII l. XIII s. VII d.

Somme XVII l. XIV s. VII d.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1559, fol. 171 r^o.

⁹ *suivi de la facon et l'amenage de rayé*

1411, 26 juillet -1412, 24 juillet.- S. l.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 14 v^o-

A luy [Milot le Feriz, fevre] pour III grosses clefs de fer pour soutenir et esthachier les grans barrioux de fer qui entretiennent les voltes et les pans du mur de la partie de l'oitiau neuf, la l. VII d., valent III l. VIII s. I d.

-fol. 18 v^o-

Despence pour asseoir VI grans barraux de fer dess[ubz]. les haultes voltes et mettre les clefs et crampons pour les soutenir en la sepmaine commençant le lundi XXVIII^e jour de septembre et aussy pour cimenter en plusieurs lieux es haultes aleez :

A maistre Thomas Michelin, macon, pour III jours et demy en la dicte sepmaine à III s. pour jour, valent XIII s.

A Gillet de Bonnières, macon, pour II jours et demi à III s. III d. pour jour, valent VIII s. III d.

A Perrin Guillemart, son valet, pour III jours à XX d. pour jour, valent V s.

Audit maistre Thomas pour III jours audit pris, XII s.

Audit Gillet pour III jours à III s. III d. pour jour, valent XIII s. III d.

Audit Perrin pour lesdits III jours à XX d. pour jour, valent VI s. VIII d.

Matieres pour ledit ouvrage :

Pour III sextiers de chaux prise en garnison, neant.

Ciment, pour III mines pris en garnison, neant.

Pour III pieces de fer apportées de Vendevre faictes par maniere de grans clefs qui soutiennent lesdits barrioux pesant CI l. à VII d. la l., valent LVIII s. XI d.

A Colin d'Eschemines pour LV l. de fer pour fere grans crampons qui lient lesdits barrioux XV s.

-fol. 19 r^o-

A Bon Buef, sarrurier, pour sa peine d'avoir faiz lesdits crampons, par compte fait avecques luy par messire Jehan Gonaut et moy, XXII s. VI d.

A luy pour mestre à point, couder et ployer lesdits III clefs, par compte fait comme dessus, XXII s. VI d.

A luy pour II cisiaux de fer, l'un de V et l'autre de III piez de longt pour perser les murs ou sont assises lesdites clefs et les aguisier et asserer par plusieurs fois, par compte fais comme dessus, X s.

A luy pour remettre à point les martiaux et autres cisiaux desdits macon durant ledit ouvrage, par compte fait, II s. VI d.

Somme IX l. X s. IX d.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1560.

42.

1412, 24 juillet -1413, 23 juillet.- S. l.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 19 r^o-

Dispense pour achever de mettre et asseoir les barreaux de fer dessubz les voltes de l'église :

En la sepmaine apres la Magdeleine :

Et premierement à hoster II posteaux des tremiez de la maistre volte de la croissee pour percer le mur à mettre lesdits barreaux.

A Perrin Loque, Jaquinot Jobe et J. Anel, charpentiers, pour I jour à atayer le merrien de la tonnette et hoster lesdits posteaux, X s.

Pour merrien à fere lesdictes atayes qui estoit sur lesdictes voltes, neant.

A maistre Thomas Michelin, maistre macon, pour I jour de ly et II vales à percer ledit mur, VIII s. III d.

Somme XVIII s. III d.

En la sepmaine commencant le lundi XIII^o de mars pour avoir assis lesdits barreaux et remaconné autour d'iceulx :

A Robin de Saumur, macon, pour II jours audit ouvrage, VI s. VIII d.

A Hullin, macon, pour I jour, III s. III d.

A Adenet Boulet, macon, pour II jours audit ouvrage, VI s. VIII d.

A Johan Nochier, ouvrier de bras, pour II jours à XX d. pour jour, valent III s. III d.

Pour une mine de ciment prise en garnison, neant.

Pour II biches de chaux de garnison, neant.

A Berthelin de Maraix, fevre, pour lesdits II barreaux de fer pesants X pois de fer III l. moins, chacun pois de XXVII l. de fer au pris de XVI s. VIII d. chascun pois, valent VIII l. III s. II d. Et pour ce que li n'ont pas esté bien sodé, par accort fait à ly il n'a eu que VI l. Pour ce, VI l.

-fol. 19 r^o-19 v^o-

A Perrin de Tremiau et Bon Buef, sarruriers, pour avoir refais lesdits barreaux et les cle d'iceulx et pour avoir mis environ II pois de fer, par marche fait à eux pour maistre Thomas le Macon, III l. X s. et XX d. au vin, pour ce, III l. XI s. VIII d.

Somme XI l. XI s. VIII d.

-fol. 19 v°-

Item audit maistre Thomas, pour I jour et demi de ly à avoir assis XIX agrappes de fer es alees haultes de l'eglise, en plusieurs lieux, pour ce VI s.

-fol. 19 v°-20 r°-

A Bon Buef, pour lesdites XIX agrapes pesentes XXVIII l. de fer, au pris de VIII d. la livre, valent XVIII s. VIII d.

Pour XXV livres de plonc de garnison, neant.

-fol. 22 v°-23 r°-

Item est assavoir que le dimanche XVIII^e jour de juillet, mondit seigneur l'arcediacre Jehan de Nantes et moy marchandasmes ou non que dessus à Berthelin Robinet, fevre demourant à Maraye, de bien et convenablement ferrer lesdits deux chars de toutes ferreurez et doit livrer le pois de fer qui poise XXVII l. ouvré que besoing sera pour le prix et la somme de XVI s. VIII d. Et la dicte ferrure sera faicte, il le fera savoir à messeigneurs afin qu'il envoient aucun par de la pour la fere peser devant que elle soit assise et moyennent ces marchie, il doit avoir XI. avant la main ; lesquelx du consentement de monseigneur l'arcediacre, je ly ay baillié. Et pour fere et acomplir les choses dessusdites, c'est obligié ledit Berthelin à la court de monseigneur l'evesque et c'est constitué ployge et rendant pour lui Pierre Gainerot de Maraye et a receu l'octroy de l'obligacion Nicolas Juli. Pour ce icy, XI.

-fol. 24 r°-

A Bon Buef, sarrurier pour avoir arrachez VI liens des bechaux de la ramee dessubz le cuer de l'eglise, en avoir refait les II qui estoient rompus, les avoir rassis et y avoir fait XXVII chevilles de fer à les cloer et cheviller, pour ce, XXI s. VIII d.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1561.

43.

1413, 23 juillet -1414, 22 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

A Perrin de Villemor, sarrurier, pour les ataches de fer à atacher les II pieces de bois à quoi lesdictes portes [portes de l'allée de l'eglise par devers les reliques] pandent, les barreaux d'icelles, lyans, gons, fiches et chevilles, autre II crampons pesans III^C VI l. de fer, au pris de X d. la livre, valent XIII l.

A ly pour le verroul et la sarrure pour les pointes estamées d'entre les barreaux de fer, par marchie fait, LX s.

A ly pour les crochez dessubz pesans XXVI l. de fer, à X d. la livre, valent XXI s. VIII d.

A Perrin de Villemor pour I gros verroul à IIII veruelles et une bouterole mise ou pavement scellé en plastre darriere les dictes portes pesant XII l. de fer [...] à fere joindre lesdictes portes, par accord fait à ly, XII s. VI d.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1561, fol. 67 r°.

44.

1421, 27 juillet -1422, 26 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 303 v°-

A Colin Chevance, fevre, pour la ferrure des aubres desdits angins [angins pour lever le merrien du clocher] en pivoz, paliers et viroles de fer, pesans II^C III l. de fer acheté la livre VII s. VI d., valent LXXVI l. II s. VI d.

-fol. 304 r°-304 v°-

A Perrin de Villemor, sarrurier, pour LVI livres de fer ouvré en estriers et liens avec les clos et crampons pour lyer et ferre les roes desdits angins, acheté la livre X s., valent XXVIII l.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1561.

45.

1425, 22 juillet -1426, 28 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

A Perrin de Villemor, sarrurier, pour IIII^C de paillettes, XVI s. t.

Audit verrier pour autres III^C de paillettes, X s. t.

Audit Villemor pour LXIII verges de fer tantes grandes comme petites, mises es dictes verrieres, pesans LXVIII livres de fer au pris de XII d. la livre, valent LXVIII s. t.

A ly pour avoir resodez plusieurs barreaux et verges à verre, pour plusieurs croches et loques esdits barreaux, les avoir alongis aucuns et acourciz, redrecés et mis en forme, par accord fait à ly, XXXII s. I d. t.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1562, fol. 37 r°.

46.

1426, 28 juillet -1427, 27 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

A Jehan Ogier, maçon, pour IIII journées de ly à faire les greves esdites verrières car le viez verre estoit assis sur chaassis de bois qui estoit pourry, pour ce à III s. IX d. pour jour, valent XV s. t.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1562, fol. 50 v°.

47.

1432, 27 juillet -1433, 26 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 133 v°-

A Jaquenot L'Advocat, saieurier, pour IIII jours de ly et de son varlet à commencer de faire barreaux à arrester les pignacles et filloles dudit clochier, au pris de V s. X d. pour jour, pour ce, XXIII s. IIII d.

-fol. 134 r°-

Sepmaine du XXVIII^e juillet :

A Jaquenot L'Advocat, saieurier, pour IIII jours de ly et de son varlet à forgier barreaux pour arrester lesdites filloles et lesdits pignacles autour de l'esguille dudit clocher, au pris de V s. X d. pour jour, valent XXIII s. IIII d.

Pour IIII jours d'un ouvrier de forge avec lesdits Jaquenot et son varlet à aidier à forger lesdits barreaux, X s.

-fol. 134 v°-

Sepmaine commençant le lundi IIII aout :

A Jaquenot L'Advocat¹⁰, saieurier, pour VI jours de ly et de son varlet à forgier barreaux de fer pour lyer les ars boutans avec les posteaux du clocher, pour ce au pris que dessus, valent XXXV s.

A Martin, ouvrier de forge, pour II jours avec ledit Jaquenot, VI s. VIII d.

A Lorent Herriot, charpentier, pour VI jours à asseoir lesdits barreaux, XX s.

A Nicolas Henault, pour VI jours avec ledit charpentier [*en blanc*].

A Ginote, vesve de feu Gauthier Pietrequin, pour II^C I l. de fer du Reclus à faire lesdits barreaux, achetés au pris de XLV s. le cent, valent IIII l. X s. V d. t.

¹⁰ *suivi de fevre, rayé.*

-fol. 135 r°-

Sepmaine du XI aout :

A Jaquenot L'Advocat, sairurier, pour V jours de ly et de II autres ouvriers de forge à forgier lesdits barreaux dessusdits, à VII s. VI d. pour jour, valent XXXVII s. VI d.

Sepmaine du XVIII aout :

Audit Jaquenot pour VI jours de ly et lesdits II autres ouvriers de forge à parfaire lesdits barreaux au pris que dessus, pour ce, XXXVII s. VI d.

A Lorent Herriot, charpentier, pour VI jours à asseoir lesdits barreaux [*en blanc*].

A Nicolas Henaust qui ly ayda pour lesdits VI jours, XV s.

Pour alongir et faire de nouvel une grosse losse à percer les posteaux et ars boutans pour mettre lesdits barreaux, III s. III d.

-fol. 137 r°-

A ly [Jaquenot L'Advocat] pour I iour de ly et son varlet à despecier II grosses chaesnes de fer qu'avoit données à l'œuvre Huet Lesguisé, pour ledit jour, V s. X d.

Item a ly pour avoir forgé et fais du fer desdites chaesnes XVI barreaux, fais par le conceil d'aucuns ouvriers pour mettre entre les pignacles et failloles dudit clochier, lesquels barreaux n'ont point este assis car il n'estoit point de besoing, et ont esté employés à faire les croches de fer pour l'eschelier à monter en la couisse d'icelly clocher, pour ce ycy pour la facon desdits barreaux, pesans III^{XX} V l. au pris de X d. la livre, vallent LXX s. X d.

A la Gauthiere pour XV l. III quarterons de fer avec celly de garnison pour ce VII s. X d. ob.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1562.

48.

1433, 26 juillet -1434, 25 juillet.- S. l.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 165 v°-

A Jaquenot L'Advocat, sarrurier pour II barrieries de fer faites par les conseils ouvriers pour mettre sur les ars boutans dudit clocher, lesquelles messeigneurs n'ont pas voulu y estre mises, tant pour la grant charge comme pour le peril de vent, pour ce XXV s.

-fol. 166 v°-

A Jaquenot L'Advocat, sarrurier, pour IIII liens de fer qui lyent les¹¹ arrestiers au bechaut et les IIII chevrons ensemble, pour sa peine, V s.

A la Gauthiere pour XII l. et I quarteron de fer du Recluz à faire lesdits liens, VI s.

¹¹ suivi de bechaux, rayé.

Audit Jaquenot pour la croix de fer qu'il a faite au pris de XV d. la livre, la quelle poise CVI l., pour ce, VI l. XII s. VI d.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1562.

49.

1452, 23 juillet -1453, 22 juillet.- S. l.

Compte du Pardon de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 39 v°-

A Jaquinot le Sarrurier pour avoir fait tout l'ouvrage qu'il falloit de son mestier pour commencer les III pilliers, c'est assavoir XXX agrapes, deux louvettes, une grant sye à soyer pierres, remis à point les deux portes devers Droyn et celles de la parpende, fere plusieurs clefz tant en la barre comme ailleurs avec plusieurs aultres choses pour l'église tout comptées par devant Phelipon, VI l. X s.

-fol. 46 r°-

Audit Jaquinot pour II roelles de fer fondu du Reclus pour aider à tirer pierres en ladite perriere¹², XLI s. VIII d.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 4417.

50.

1455, 27 juillet -1456, 25 juillet.- S. l.

Manuel de compte du Pardon de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 148 v°-

A Jaquinot L'Avocat pour XII crampons de fer pour cramponner les basses dudit pillier pesant ensemble XLIII l., la livre VII d. ob., valent XXVII s. VI d.

-fol. 155 r°-

A Jaquinot L'Avocat pour avoir fait XII agrapes de fer pour les basses dudit pillier et une cheville de fer pesant ensemble L l., la livre VII d. ob., valent XXXI s. III d.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 4417.

¹² Probablement la carrière d'Esclance.

1468, 24 juillet -1469, 23 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 57 v°-

A Perrin L'Avocat pour XXXVIII l. de fer en ung premier crampon à mettre des chanlates et conduys sur l'eglise pour desuire les yauetz des haultes aleez et des noez du grant clochier, à VII d. la livre pour ce, [*en blanc*].

Item pour deux aultres crampons de fer pour lesdites chanlates pesant XVIII l., [*en blanc*].

Item pour deux grans crampons pesant IIII^{XX} XVIII l. de fer audit pris, [*en blanc*].

Item pour deux aultres petiz crampons a mettre du costel de monseigneur l'evesque en deux aultres chanlates pesant XII l. de fer audit pris, [*en blanc*].

Item pour deux aultres grans crampons pour ledit lieu pesant XXIII l. de fer audit pris, [*en blanc*].

Item pour IIII chevilles de fer pesant III l. audit pris, [*en blanc*].

Item pour ung aultre crampon pour lesdites chanlates pesant XVIII l. de fer audit pris, [*en blanc*].

Item pour une esgrappe mise es aleez pesant III l. et demye de fer audit pris, [*en blanc*].

-fol. 58 r°-

Item pour ung crampon mis es clerevaux pesant III l. et demyz de fer audit prix, [*en blanc*].

Item pour VI crampons pour ratachier les deux esmortissemens pesant VII l. de fer audit prix, [*en blanc*].

Item pour VI aultres crampons pour deux aultres esmortissemens pesant XX l. de fer audit pris, [*en blanc*].

Somme toute de fer es articles precedant II^C XXVIII l. de fer, au pris de VII d. la livre valent en somme, VI l. XIII s.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1565.

52.

1469, 23 juillet -1470, 22 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

A Perrin L'Avocat, sarrurier, pour les deux premières agrappes faites pour le gros pillier neuf fait dernièrement pesant IIII l. de fer, la livre VII d., pour ce, II s. IIII d.

Audit Perrin pour avoir trois autres agrappes pour tenir ledit pillier contre les voutes et troyes chevilles de fer pesant tout ensemble XVI l. de fer, la livre VII d., pour ce, IX s. IIII d.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1565, fol. 138 r°.

53.

1475, 23 juillet -1476, 28 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

A Pierre Corrat pour LIII l. I quarteron de fer de Codon prins par ledit Perrin L'Avocat pour ferre lesdites agrappes au prins de XXIII s. IIII d. le cent, pour ce païé, XII s. VI d.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1567, fol. 44 v°.

54.

1476, 28 juillet -1477, 27 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

Item pour avoir fait X agrappes de fer pesant XL l. mises sur la chapelle Drouyn pour porter les chanlates de ladite chappelle, pour ce, XXIII s. IIII d.

Item pour avoir fait sept esgrappes de fer pesant LX l. pour soutenir les chanlatez mises sur l'église dessus la chappelle Saint Lyenart, pour ce, XXXV s.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1567, fol. 105 r°.

55.

1477, 27 juillet -1478, 26 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 143 r°-

A Pierre Gile, maçon, pour VI jours à ferre la maçonnerie dessus la grant ramee devers le bel portail du coste devers le chauffour et à mectre les crampons de fer à porter des chanlates mis neusves pour desduire les yauz loing de la massonnerie, à III s. IIIII d. pour jour, pour ce, XX s.

-fol. 147 r°-

A Jaquinot Gantelet, serrurier, pour LX livres de fer en aggrappes pour atachier lesdites chanlates qui sont comptez es parties dudit gantelet, pour ce cy, neant.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1567.

56.

1479, 25 juillet -1480, 23 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 255 r°-

Forge grosse et menue pour ladite librairie.

A Jaquinot Gantelet, serrurier, pour IX^C LXXIII l. de fer pesé et escript par Jaquinot Corrat en sa maison, comme par les parties appert escriptes de sa main et de son varlet, pour fere les barraulx des fenestres de ladite librairie et les travers, au pris de VI d. la livre, pour ce, XXIIII l. VI s. VI d. t.

Audit Gantelet pour XXV l. de fer en crochez pour porter et atacher les chanlatez de ladite librairie au pris dessusdit, pour ce à VI s. la livre, XII s. VI d. t.

Audit Gantelet pour LXI de fer en six corbiaulx et les cloz et crampons pour les poultries et bechaulx de la dite librairie au pris dessusdit, XXX s. VI d. t.

-fol. 255 v°-

Item pour avoir fait XXVIII barriaulx de fer loquetés et fait IIII^{XX} et quatre verges de fer pour les verrieres et fait la ferreure de trois chaschiz fournis de lyens, de gons en plastre, pannelles et loques et fait toutes les paillettez pour lesdits barriaulx loquettez mis es verrieres de ladite librairie, pour ce pour tout, VI l. XVI s. t.

-fol. 256 r°-

A Perrin L'Avocat, serrurier, pour avoir faictes les verges de l'otiau de ladite librairie, pour ce, V s. X d. t.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1567.

57.

1480, 23 juillet -1481, 22 juillet.- S. l.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 301 v°-

Audit Jehan Dubechot pour IIII jours à cramponner et arrester ladite chanlate [grosse chanlate de LX pies de longt qui fait conduit à oster les yauetz de la haulte alee et les sueur sur les basses voltes des chappelles du coste devers le pavement de la rue] et à aidier au macon à mettre les crampons à plastre et à continuer les ouvrages d'ardoise [...].

-fol. 302 r°-

I^c de plonc à ferre et mettre lesdits crampons et les crochez, prins de garnison.

Pour VI crochez pertiz à attachez le planchier du hordis, ensemble les cloz desdits croches, prins à Jaquinot Gantelier qui sont comptez en ces partiez, pour ce cy, neant.

Audit Jaquinot Gantelet pour II gros crampons de fer pesant XII l. à porter ladite chanlate qui seront comptés en forge et sarrurerie, pour ce cy, neant.

-fol. 305 v°-

Item pour avoir fait deux grans lyens de fer tortus et VI petiz lyens pour porter et soustenir une chanlate desus les vootez de l'eglise, pesant XXII l. de fer, le V^e dudit mois, XV s.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1567.

58.

1482, 28 juillet -1483, 27 juillet.- S. l.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 75 r°-

Despence de charpenterie pour faire le comble de la ramee neusve de la nef de ladite eglise faite entre la nef de ladite eglise et la chapelle Drouyn.

-fol. 86 r°-

Forge pour ladite nef :

A Jaquinot Gantelet, sarrurier, par l'ordonnance de monseigneur le doyen et maitre Jehan Hinard le XIX^e jour de juillet l'an IIII^{XX} II, pour avoir fait XXII chevilles de fer pesant XLIIII livres pour mettre es cheverons de la ramee neusve, pour ce à luy païé, XXVII s. VI d.

A luy païé, par l'ordonnance de mondit seigneur le doyen, pour avoir fait quatre gros estriers de fer pesant cent livres dont les deux soutiennent les poutres, les bechos et les autres deux pour retenir la paroit que traverse la nef, c'est assavoir l'ung du coste de Drouyn et l'autre du coste du gros cloche, pour ce à luy païé au pris de VI d. la livre, pour ce, IIII l. III s. III d. t.

-fol. 86 v°-

A Perrin L'Avocat, sarrurier, le XXIII^e jour dudit mois, pour avoir mis ung gros lien de fer ou tref darrenierement mis en ladite nef, lequel poise XXXIII l., à VI d.t. la livre, valent XVI s.

Audit Avocat pour XVI cleefz de fer pesant LIX l. qui portent les chanlattes de ladite nef, pour ce à luy païé le X^e jour d'aoust, pour chacune livre VI d. t., valent XXIX s. [...].

A Jaquot de la Bouticle, macons, pour avoir assis les crampons et barreaux de fer mis es pilliers de ladite nef qui tiennent la charpenterie, pour ce païé, XX d.

Pour XXVI l. de plastre pour estachier lesdits crampons et barreaux prins es garnisons de l'eglise, pour ce cy, neant.

Audit Avocat le XI^e jour dudit mois pour XXIX chevilles de fer pesant LIII l. pour chevillaer les cheverons de ladite nef à la panne d'embas, à VI d.t. la livre, valent XXVI s. VI d.

A luy pour la croix du pignon devant de ladite nef, laquelle poise LI l. de fer, audit pris, valent XXV s. VI d.

A luy pour XXVI chevilles de fer pesant cinquante livres pour lesdits chevrons, audit pris, valent XXV s.

-fol. 87 r°-

Audit Avocat pour VIII cleefz de fer pesant XXX l. pour soutenir les chanlattes, au pris dessusdit, valent XV s.t.

Audit Avocat le V^e jour d'octobre pour cinq tirants de fer qui servent à estachier deux conduis à recevoir les eaues du coste devers monseigneur l'evesque, lesquelles poisent XXX l. audit pris, valent XV s. t.

A luy cedit jour pour deux grans leans de fer qu'il a convenu à lier les soubfrestes de ladite nef et de l'autre nef, lesquelles poisent XII l. audit pris, valent VI s. t.

A luy cedit jour pour trois grans chevilles rondes pour acoupler les chevrons audit frestes, lesquelles poisent V l. audit pris, valent II s. VI d. t.

-fol. 87 v^o-

A Girart le Noguât, verrier :

Toutes les verrieres des deux costes du hault de ladite nef neusve, esquelz y a III^C III^{XX} dix piedz de verre à II s. VI d. le pied, vallent LXI l. X s. t.

Pour les verrieres d'embas du pignon de la ramee de ladite nef, esquelles y a LXXII piedz de verre, sur quoy fault rabatre huit piedz pour les rondeaux que monseigneur l'evesque a paié, ainsi demeure LXIII piedz qui vallent audit pris, VIII l. t.

Pour les verrieres d'embas des parroix de dessoubz les basses vostes esquelles y a cinquante six piedz, valent VII l. t.

-fol. 88 v^o-

Despence de sarrurerie pour lesdites verrieres :

A Perrin L'Avocat, serrurier, pour trante huit formettes des verrieres faictes et assises par luy et par le verrier, lesquelles formettes de fer poisent chacune dixhuit livres, qui montent ensemble lesdites XXXVIII formettes en pois bien pesées et ont esté pesées en la presence de monseigneur Fournier Jehan, carbonier, charpentier et le verrier, esquelles les dessusdits ont trouvé six cens quatre vings dix livres et doit avoir de chacune livre de compte fait avec luy de chacune livre dix deniers tournois, qui valent en somme toute lesdites VI^C III^{XX} X l. la somme de vingt huit livres quinze solz tournois, pour ce, XXVIII l. XV s. t.

A luy pour fournir les paillestes de quoy sont fournies lesdites verrieres et formettes, d'acort fait avec luy es presences des dessusdits à quinze solz tournois, pour ce, XV s. t.

A luy pour six formettes formes de ferraille pour mettre les verrieres des parois d'embas, qui poisent ensemble trante six livres à X d.t. la livre, valent en somme, XXX s. X d. t.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1568.

59.

1484, 25 juillet -1485, 24 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 190 r^o-

Depense pour refaire l'ung des pilliers du jube :

A Jehan Garnace, maitre macon de l'eglise, pour six journées de lui à commencer de faire lesdites trois murailles à l'environ dudit pillier pour soustenir le jube, affin de pouvoir oster ledit pillier qui estoit tout cassé à cause des broches et crampons de fer qu'on a trouvez dedens qui c'estoient enreulliez, par ce avoient rompu la pierre, à III s. IX d. le jour, vallent XXII s. VI d.

-fol. 190 v°-

A Emery Bourgonnat pour deux journées et demie à lui à achever de faire lesdits cintres et pour mettre l'arc boutant de bois contre ledit pillier. Item pour aider L'Advocat, sarrurier, pendant les deux journées à mettre à point les roes des cloches du hault clocher qui n'est pas compté es parties dudit Avocat, à III s. III d. le jour, valent VIII s. III d.

A Estienne, sarrurier, pour avoir fait un ancin de fer à oster VI broches de fer qui estoient oudit pillier et pour jour et demi à les oster, par accord fait, payé, VI s. VIII d.

Pour un fromage et VIII eulx pour faire du mastic duquel on a colé plusieurs pieces mises tant oudit pillier comme ou jube, pour ce, X d.

-fol. 191 r°-

A lui [Perrin L'Advocat] pour trois grans esgrappes mises par les macons ou pillier fait neuf du costel de l'ostel episcopal pesant IX livres, pour ce à VI d. la livre, valent III s. VI d.

-fol. 191 v°-

A luy [Perrin L'Advocat] pour ancor huit autres grans esgrappes mises oudit pillier pesant XXXVIII l. oudit pris, valent XIX s.

A lui pour la facon de quatre autres esgrappes du fer de l'église avec trois crochets illec mise, pour ce, II s. VI d.

A lui pour la ferraille de la grant verriere basse faite en la chappelle nouvelle qui est devers le pavement en laquelle y a XXX barreaux à loquetz et ancor III^{XX} verges pesans ensemble II^C XVII livres de fer, pour ce à X d. chacune livre, valent IX l. X d. t.

A lui pour ancor dix autres verges du fer de l'église pour ladite grant verriere, pour ce payé, III s. II d.

-fol. 201 v°-

A Colin Adam, mareschal, pour avoir defferré le viez chariot et avoir referré tout à neuf le neuf chariot, c'est assavoir pour rebatre les roes de cloz neufz et pour y mettre des bandes neusves et renoer une viez qui estoit rompue et pour copier des autres bandes et reperser pour ce quelle estoient trop grande et pour y mettre XVII lians neuf et recevoir trois viez et les acroistre et mettre quatre fers d'aissy en l'aissy du chariot et deux herces neusves, pour tout payé par accord fait, XXIII s. III d. t.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1568.

60.

1485, 24 juillet -1486, 23 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 246 r°-

A lui [Perrin L'Advocat] pour quatre grans agrapes pesant XXVIII livres mises par les macons es pilliers de la nefz, à VII d. la livre, XV s. III d.

A lui pour II agrapes quarees pesant VII livres pour lesdits pilliers, III s. I d.

A lui pour ancor VI agrapes pesant XXIX livres pour lesdits pilliers, XVI s. XI d.

A lui pour ancor IX aggrapes pesant XL livres pour lesdits pilliers, XXIII s. III d.

A lui pour VII grans agrapes pesant XXXIII livres pour les pilliers de la nef, à VII d. la livre, valent XIX s.

-fol. 246 v°-

A lui [Perrin L'Advocat] pour avoir fait XI grans aggrapes pesant XXXIX livres pour les pilliers de la nef, XXII s. IX d.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1568.

61.

1486, 23 juillet -1487, 22 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

A lui [Perrin L'Advocat] pour plusieurs aultres ouvrages de son mestier qui l'a fais en plusieurs et divers lieux et pour plusieurs aggrapes faictes ceste annee que les macons et atachées les pierres des pilliers qu'on a faiz neufz et pour plusieurs verges neusves de fer et des vielles qu'on a alongiz qui ont estez mises es verrieres basses de l'eglise qu'on a renouvellee comme est dit en verrerie, tous les dits ouvrages escrips et declarez en une feuille de papier qui monte comme par les parties appert à la somme de XXXI livres VIII s. VI d., dont j'ay accordé à lui à la somme de XXXI livres. Je lui ay payé comme par ladite feuille qui est avec ce present compte appert signé dudit Avocat, pour ce cy, XXXI l.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1568, fol. 297 r°.

62.

1487, 22 juillet -1488, 27 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 341 r^o-

Pour XXII l. de plonc à cramponner les formements desdits ars boutans, prise es garnisons de l'euvre, pour ce, neant.

-fol. 343 r^o-

Pour III^{XX} et cinq livres de plonc prises à diverses foiz pour attacher les crampons des haulz pilliers, prises es garnisons, neant.

-fol. 344 r^o-

Pour cent livres de plonc à cramponner les tables et pour III^C livres de plastre, pour lesdits crampons, prins es garnisons, neant.

-fol. 345 v^o-

Pour CXII livres de plonc pour attacher les crampons mis sur lesdits antablemens prins es garnisons de l'église, pour ce, neant.

A L'Avocat, serrurier pour III^C livres de fer que pesoyent lesdits crampons qui sont comptes es partiez de sarrurerie, pour ce cy, neant.

-fol. 349 v^o-

Pour III^C XIII livres de plonc pour attacher les crampons mis esdits pilliers de garnison, neant.

-fol. 358 r^o-

A luy pour avoir livré III^C III^{XX} et deux livres de fer ouvré tant en crampons que aultrement comme appert par la taille des macons, pour ce à VIII d.t. la livre, valent XVI l. I s. III d.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1568.

63.

1488, 27 juillet -1489, 26 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 31 v^o-

Pour VI^C de plastre et II^C de plonc pour attacher les crampons sur lesdites tables es garnisons de l'église, pour ce, neant.

Pour ancor ung C de plonc pour lesdits crampons, de garnison, neant.

-fol. 33 r°-

Pour demi C de plonc pour les crampons mis sur les tables, de garnison, neant.

-fol. 39 v°-

Pour ung C et XVIII l. de plonc pour fere les crampons mis es pilliers, prins es garnisons de l'eglise, neant.

-fol. 48 r°-

Item pour avoir livré aux macons tant en barreaux comme en aggrappes trois cenx et cinquante livres de fer, au pris de VIII d. la livre, vallent XI l. XIII s. VIII d.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1569.

64.

1491, 24 juillet -1492, 22 juillet.- S. l.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

A luy [Perrin L'Advocat] pour plusieurs aggrappes livrées aux macons, lesquelles ont esté misez tant esdits arboutans du pignon de la nefz que en partie dudit pignon, pesans ensemble deux cens trante sept livres de fer, à VIII d. la livre, valent VII l. XVIII s.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1569, fol. 166 r°.

65.

1492, 22 juillet -1493, 28 juillet.- S. l.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 214 r°-

A Perrin L'Avocat, sarrurier, pour le barreau, les clos et crampons mis pour arrester ledit Saint Michel sur le pignon de la dite ramée, lesquelx pesant ensemble II^C XXXVI l., ce fera VIII d. la livre, VII l. XVII s. III d.

-fol. 217 v°-

A Perrin L'Avocat, sarrurier, par compte fait à luy des ouvrages faiz par lui pour ceste eglise pour l'annee de ce present compte, lesquieulx ouvrages sont escripts en deux feuilles de papier et montent toutes les parties desdits ouvrages, tant des barreaux qui a livrés aux macons pour le pillier du premier ars boutans qui est devers la rue, comme aussi pour plusieurs ferremens mis es sieges du cueur que en a remis à point, lesquelles parties montent

en tout à la somme de XVIII l. XVIII s. VIII d. Dont je acorde et paye à luy pour tout, XVIII l. X [...].

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1569.

66.

1494, 7 mai -1495, 26 juillet.- S. l.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 409 v^o-410 r^o-

Item pour avoir ferré l'angin que on appelle la grue de VIII grans lians de fer et aultant de grandes chevilles passans par iceulx lians pour les dessambler quant on voudra. Item pour douze aultres grandes chevilles passans par les moises et polies assamblées aueques deux grans verruelles, l'une au bout de la fleche en hault et l'aultre au bout d'embas sur quoy tourne ladite fleche. Item ung gros pivot de fer de trois doiz de quarrure et de pied et demi de long pour soustenir ladite grue avecques ung paalier soubz ledit pivot de demi pied de quarrure en tous sens pour soustenir le faiz et le tornant de ladite grue avecques une grosse et espesse plataine par ou passe ledit pivot. Item ung grant lian de fer de VII à VIII piez de long tenir la roe en son lieu et une grosse veruelle pour garder de fendre l'arbre de ladite roe, le tout pesant cent quarante et deux livres de fer pesées en l'ostel de Poterat par ledit Poterat et le cleric de feu monseigneur le doyen au pris que dessus, vallent en tout, III l. XIII s. VIII d.

-fol. 411 r^o-

Item pour avoir fait plusieurs crampons et barreaux de fer pour tenir l'arc boutant dernièrement, fait pesans ensemble VI^{xx} deux livres, au pris de huit deniers t., valent en tout, III l. I s. III d. t.

-fol. 412 r^o-

Item pour plusieurs agrappes de fer pesans LXV livres pesées par les macons et livrés ausdits macons, à VIII d. la livre, valent XLIII s. III d. t.

-fol. 412 v^o-

Item pour XXXVII l. de fer ouvré en esgrappes pour les pilliers neufz de ladite eglise, audit pris de VIII d. t. la livre, valent XXIII s. VIII d.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1569.

67.

1495, 26 juillet -1496, 24 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

Despence pour sarrurerie :

A Perrin L'Advocat, sarrurier, par compte fait à luy des ouvrages faict par luy pour ceste eglise pour l'annee de ce present compte, lesquelx ouvrages sont escripts en une feuille de papier et montes toutes les parties desdits ouvrages comme appert par icelluy à la somme de, XIII l.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1570, fol. 72 v°.

68.

1496, 24 juillet -1497, 23 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

A Perrin L'Advocat, sarrurier, par compte fait à luy de tous les ouvrages par luy faiz pour ceste eglise pour l'annee de ce present compte, lesquelx ouvrages sont escripts en une feuille de papier qui montent en tout à la somme de XII l. t., laquelle somme je luy ay payée à plusieurs foiz, pour ce cy, XII l.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1570, fol. 246 r°.

69.

1497, 23 juillet -1498, 22 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 36 r°-

A Gauthier d'Artois et ung nommé Loys, macons, pour avoir fait et levé une forge ou chauffour pour forger les barreaux qu'il convient pour les formettes, à chacun d'eulx ung jour et demi à II s. VI d. pour jour, vallent VII s. VI d. t.

Des matieres qu'il a convenu avoir pour faire ladite forge, lesquelles ont este prises es garnisons de l'eglise, pour ce cy, neant.

-fol. 58 r°-

Et est assavoir que en chascune formette fault bien de cinq à six cens livres plonc pris es garnisons, pour ce, neant.

Item semblablement fault en chascune formette, tant pour les quatre gros barreaux, goujons et crampons servants à la maconnerie comme pour les petiz barreaux loquettez, verges servans aux verrieres, environ ung millier fer pris ez garnisons de l'eglise, pour ce, neant.

-fol. 58 v°-59 r°-

Audit Maceot pour avoir esté par six foiz en la maison Nicolas Berthier pour amener le fer qu'il a convenu pour les gros et petiz barreaux pour lesdites formettes, pour chacune fois XII d., valent VI s. t.

-fol. 59 r°-

A luy pour avoir esté querir en l'ostel de Bastian des Rieux cinq cens livres de plonc de Liege prins par frere Laurent pour le grant clocher, pour ce cy, XII d. t.

Audit Maceot pour avoir esté par quatre fois en la maison Nicolas Berthier pour querir deux millier de plonc et quelques bandes de fer, payé, III s. t.

-fol. 65 v°-

Audit Nicolas pour deux mille cinquante trois livres de fer qu'il a livré, tant pour les barreaux que pour les menues verges de fer qu'il convient avoir pour les formettes du coste devers monseigneur l'evesque, pour ce payé, XXV l. XIII s. III d. t.

A Pierre Paillot pour ung cent de fer pour faire les verges des remplacements et les goujons estans en la muraille, pour ce payé, XXIII s. III d. t.

Audit Paillot pour ung cent et demi de fer pour faire des verges, à XXIII s. III d. t., valent XXXV s. t.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1571.

70.

1498, 22 juillet -1499, 28 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 217 v°-

Et c'est assavoir que en chacune formette convient avoir de cinq à six cens livres de plonc, prins es garnisons, pour ce cy, neant.

Item semblablement convient avoir en chacune desdites formettes, tant pour les gros barreaux servant à la maconnerie que les menuz loquettez et petites verges aux verrieres, environ ung millier de fer prins es garnisons, pour ce cy, neant.

-fol. 226 r°-

A Nicolas Berthier pour ung cent III^{XX} dix huit livres de fer pris le XIII^e jour de janvier de ce present compte, au pris de XXV s. le cent, vallent XLIX s. VI d. t.

Audit Nicolas pour trois cens VII l. de fer de Cheingy prins le VI^e jour de mars en bandes audit pris, vallent LXXVI s. IX d. t.

Audit Nicolas pour XXVI grandes bandes de fer pesant ensemble XI^C LVII livres de fer pour les verrieres prins le XI^e jour d'avril audit pris de XXV s. t., valent XIII l. IX s. III d. t.

Audit Nicolas pour douze grandes bandes de fer pesant ensemble V^C XLIII l. de fer pour les formettes prins le XV^e jour de juing audit pris, valent VI l. XVI s. t.

Audit Nicolas pour les menues verges pour lesdites verrieres, II^C livres de fer audit pris, valent L s. t.

-fol. 226 r°-226 v°-

A Robert Poterat pour XII^C douze livres de fer appellé du fer du Reclus, prins en sa maison à plusieurs foiz, qu'ilz valent, au pris de XXV s. t. le cent, XV l. III s. t., dont il a quicté lesdites III s. t., laquelle somme de XV l. t. je luy ay payée, pour ce cy, XV l. t.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1571.

71.

1500, 26 juillet -1501, 25 juillet.- S. l.

Manuel de compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres, quatre quittances insérées entre les folios 320 et 321 :

Quittance n° 1 :

Nota son parachevement du carre de la verriere de Thoby, y a en chacune jour V barreaulx et XIII verges pesant ensemble XLVI l. fer et ainssin en fauldra en chacun des aultres V jours pareille partie qui font ensemble, XIII^{XX} XVI l. fer.

Quittance n° 2 :

Nota de livrer par moy Pierre Paillot à Pierre Lange pour les verrieres de Saint Pierre, II^C l. fer le XXIII^e de septembre mil V^C.

Quittance n° 3 :

Nota que Pierre Lange a livré V^C XIII livres de fer¹³ sur la verriere que Jehan Verrat fait. Item nota ledit Lange a delivré fer, X l. t. Nota que les paillette ne sont pas faictes.

Quittance n° 4 :

¹³ suivi de de la, rayé.

Nota de livrer par Pierre Paillot à Pierre Lange, II^C XII l. fer de Reclux le XXVIII^e jour d'avril mil V^C et ung pour monseigneur le maistre de l'œuvre de Saint Pierre. Une bande fer de Reclux pesant XXXVI l.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1572, entre fol. 320 v^o et 321 r^o.

72.

1501, 25 juillet -1502, 24 juillet.- S. l.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

A Pierre Paillot pour cinq cens treize livres de fer de Reclux pour la verriere de la Perricarde, seur de feu monseigneur d'Origny, prins par Noel et le varlet de Pierre Lange le XV^{me} jour de septembre de l'an present, à XXV s. t. le cent, valent VI l. VIII s. III d. t.

Item audit Paillot pour VII^C de fer prins par Pierre Lange et Noel le XVI^{me} jour de novembre de l'an present, pour le bas de la verriere de ladite Perricarde et pour le carre et bas de celle de Saint Sebastian et aussi pour ledit bas de celle de Thobie, qui valent au pris dessusdit, VIII l. XV s. t.

Item audit Paillot pour VII^{XX} VIII l. de fer pour le bas de la verriere Saint Sebastian qui valent au pris dessusdit, XXXVII s. t.¹⁴

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1573, fol. 51 v^o.

73.

1504, 28 juillet -1505, 27 juillet.- S. l.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 22 v^o-23 r^o-

A Pierre Lange, serrurier, pour avoir fait dix huit barreaux de fer, ensamble les goujons qu'il a convenu pour les six formettes derriere faites en ceste eglise sur les autelz Saint Anthoine et Saint Sebastian, dont l'eglise luy a livré pour ce faire XII^C IIII^{XX} V livres et

¹⁴ *suivi des mentions suivantes, rayées :*

Item audit Paillot du XVIII^{me} de may pour le remplaige de la verriere de monseigneur de Mects, IIII^{XX} XVIII l. de fer, qui valent audit pris, XXIII s. VI d. t.

Item audit Paillot du XI^{me} de juillet oudit an pour V^C XIII l. de fer pour le chacic de la verriere de monseigneur de Metz, à XXV s. le cent, valent VI l. VIII s. VI [?] d. t.

Item audit Paillot pour le bas de ladite verriere, CVI l. qui valent audit pris dessusdit, XXVI s. VI d. t.

demye fer en trente bandes de fer. Et ledit Lange a rendu lesdits barreaux et goujons pesans seulement onze cens cinquante neuf livres et demye fer et par ainsi doit ledit Lange pour le descheut et rougneures desdites bandes VI^{XX} VI livres fer qui valent, à XXV s. t. le cent, la somme de XXXI s. VI d. t., laquelle somme luy est rabatue au payement desdites XI^C LIX livres et demye fer, lesquelles XI^C LIX livres et demye fer valent pour les avoir forgés et appropriées, par accord fait avec ledit Lange, à XXVIII s. IIII d. le cent, la somme de XVI l. VIII s. IIII d. t., de laquelle somme fault oster lesdites XXXI s. VI d. t. pour le decheut et rougneures. Ainsi a receu ledit Lange ladite somme ostée, XIII l. XVI s. X d. t.

-fol. 23 r°-

A Pierre Arrard, marchand, pour XIII^C XLV livres et demye de fer du Reclus qu'il a convenu pour les barreaux desdites six formettes dernièrement faites en ceste eglise sur les aultelz Saint Anthoine et Saint Sebastian qui valent, à XII l. X s.t. le millier, XVI l. XVI s. IIII d. ob. En ce comprins la livres de fer du Reclus pour faire deux esgrappes et une potence pour soustenir deux conduicts descendens dessus la ramee du cueur et apportans leurs eaues dessus la maison Didier le Peletier, laquelle somme je luy ay payée le XXII^e jour de septembre l'an mil V^C et cinq, pour cecy, XVI l. XVI s. IIII d. ob. t.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1575.

74.

1508, 23 juillet -1509, 22 juillet.- S. l.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 178 v°-

A Jehan Clement pour avoir ferré la petite grue de toute ferraille, luy avoir livré tout le fer, tant du Reclus que viel fer prins en l'église, païé audit Clement le XI^e jour de juillet de l'an present la somme de VII l. t., present Pierre Paillot, pour ce, VII l.t.

A Pierre Bibot, sarrurier, pour avoir ferré la grue nouvellement ordonnée par maistre Martin, luy avoir livré tout le fer, tant fer de Reclus à luy baillé par Pierre Paillot comme aussi viel fer prins en l'église, en ce comprins une escape de fer que luy avoit ordonné faire Jehan de Soissons qu'il estime XX s., avoir augmenté le bateau du couvre feu de XX l. fer qu'il a livré à ses despens. Pour tout luy ay païé, present Pierre Paillot et Jehan Marquet, sonneur de l'église, le X^e juillet de l'an present, la somme de XXIII l.

-fol. 178 v°-179 r°-

A Pierre Paillot, marchand demourant pres de l'église, pour avoir livré ausditz Pierre Binot et Jehan Clement dit Toutblanc, cinq cens huit livres de fer du Reclus pour lesdictz deux engins et leurs appartenent et non comprins le viel fer prins en l'église, à XXX s. t. le cent, vallent VII l. XII s. VI d. t. Item à luy pour douze milliers de clou à latte et plusieurs

aultres sortes de cloz qu'il a livrés pour les loges des macons et autres affaires, comme appert par ses parties signeez de sa main le XII^e jour de juillet de l'an present, pour ce, XI l. XV s. VI d.t.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1578.

75.

1509, 22 juillet -1510, 27 juillet.- S. l.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 51 v^o-

A Jehan Potier, maistre des forges d'Anglus pres de Bar sur Aulbe, pour quatre polliez de fer de fonte pour servir aux engins, lesquelles sont vides et les ay achetées par l'avis de Jehan de Dijon pour ce qu'elles sont bonnes et bien seures et serviront aussi bien que celle qui seront de cuivre qui cousteront trop plus. Pour ce, païé audit Jehan de Dijon le deuxieme jour de decembre la somme de cinquante solz tournois pour les bailler à monsieur Lesleu Saulnier auquel ledit Potier estoit tenu en ladicte somme de L s.t. Pour ce, L s.t.

-fol. 107 r^o-107 v^o-

Item audit Jehan Clement pour avoir fait deux grandes chevilles de fer d'environ deux pieds de long et encor avoir fait deux autres chevilles de fer rondes d'environ ung bon pied de long pour la grue nouvellement ediffiée et dressée selon la vielle tour par devers le parvis de l'église, pour arrester les moises dudit angin estant en la vielle tour ou sont les cloches à present. Item avoir fait deux aultres grandes chevilles rondes qui tiennent le boutant de ladicte grus du bec d'en hault. Item pour en avoir fait huict petites chevilles carrees, pour avoir arrêté lesdites moises avec les chevrons de ladicte vielle tour, toutes lesquelles chevilles sont du fer de l'église et ay païé les peines dudit Clement la somme de [...].

-fol. 107 v^o-

Item à luy pour avoir mis deux lians et une esquiarre de fer en une vielle or qui estoit en l'église de long temps qu'on a fait servir à ladicte grue nouvellement faite par devers le parvis, lesdictz lians et esquiarre sont de fer prins cheux Paillot comme apperra par ses parties, pour ce que le viel fer n'y eust rien valu.

Item pour avoir fait deux grandes chevilles rondes, l'une d'environ deux pieds et demy et l'autre d'un pied et demy, pour les pollies de ladicte grue nouvellement ediffiée devers le parvis et estoit du fer dudit Paillot.

Item pour avoir fait le pivot, pailley et virolle de ladicte grue nouvellement ediffiée du fer dudit Paillot pour ce que le viel fer n'y eust pas esté seur, pour cecy païé audit Clement pour ses [parties] desdits trois articles precedentes payé, XXV [...].

-fol. 107 v°-108 r°-

Item à luy pour seize grands cloz pour la grant grue assise sur le pavey pour arrester cerain nombre de chatinelles, pour ce que la roe de ladite grue n'estoit pas ferme et a livré ledit Clement le fer desdictz cloz, paié, II s. VI d.

Item à luy pour avoir levé et rassis le barreau de fer de ladicte grant grue et mis ung lian au bac de ladicte grue pour ce quelle se fendoit, lequel lian est du fer dudit Clement, pour ce, II s. VI d.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1579.

76.

1519, 24 juillet -1520, 22 juillet.- S. I.

Compte de la fabrique de la cathédrale Saint-Pierre-et-Saint-Paul de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 187 v°-188 r°-

A Ayoul Lange, sarrurier, pour avoir ferré la grue dessusdite, estant sur ladicte plate forme sur le pavey devant l'huys Pierre Paillot. Et est assavoir que en ladicte ferraille y a plusieurs pieces de fer et de diverses sortes, et premier quatre grans lians pour le fauconneau et pivot et tour de la dicte roe pour garder le bois de se gerser ou fandre. Secondement XXXV grandes chevilles de fer de plusieurs grandeurs et grosseurs pour les moyses et autres lieux ou elles servent consequement ung paillier asseré comme ledit paillier assis oudit pivot autrement dit l'arbre. Item deux autres lians qui tiennent le billart par en hault et deux autres par en bas qui tiennent la roe de ouvrir. Item XXVIII autres petites chevilles qui tiennent les gousses de ladicte roe. Item huict autres petites chevilles qui tiennent les marches atachés aux contrebans pour entrer en ladicte roe. Item deux pieces de fer en facon de demy rond qui sont dedans les boittes du tour de ladicte roe pour la garder de crier. Item XXVIII autres petites chevilles et XVI lians pour tenir les braz ou raiz de ladicte roe. Item deux autres grans lians qui tiennent la chanlate qui est assise dessus ledit fauconneau pour garder le cable de la pluye et avec ce a convenu grant nombre de rondilles et haisses appartenant ausdictes chevilles par sarrer le bois de la dicte grue, et est assavoir que toutes les chevilles dessusdites sont à testes et toutes rondes et persées pour mectre haisses et rondelles par quoy le dechect en est plus grant. Toutes lesquelles pieces dessusdites ont esté pesées à plusieurs fois et ont monté au pois à III^C XXVII livres de fer et cinquante livres pour le dechet à cause que c'est tout menu ouvrage qui fait ensemble III^C LXXVII livres fer. Laquelle quantité de fer a esté livrée audit Ayoul pour faire les ouvrages dessusdits et luy ay paié pour ses peines et vacations par l'advis de Jehan de Soissons et Pierre Paillot qui pevent cougnoistre la diminution du fer et par marche fait avec luy la somme de, XVI l. X s. t.

-fol. 188 r°-

Audit Pierre Paillot pour IIII^C XXIII livres de fer du Recluz à XXXIII s. IIII d. t. le cent, paié, VII l. I s.t.

-fol. 188 v°-

Item à luy pour deux billes d'assier pour asserer le pivot et le paillier de ladicte grue paié, XX d.

Et est assavoir que le fer dessusdit et billes d'assier ont este employées en la ferraille de ladite grue comme il est dit cy dessus.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, G 1588.

Eglise Saint-Urbain de Troyes

77.

1386, 25 mai -1387, 25 mai.- S. I.

Compte de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

Audit Constan Le Serrurier pour II fortes bandes de fer pour le dit jube de l'église apres ce qu'il fu rebouter, retenir, les quelles ont esté mises à chascun de bout à plastre dedans les pilliers, chascune bande d'environ III piez et demi de long, pesens ycelles bandes XXIII livres de fer et pour les clos, XXVI s.

A Jaquinot Le Jay, macon, pour ferre les pertuis es diz pilliers et apres sceller à plastre les dictes II bandes, III s. IV d.

Pour le plastre despensé à fere ledit ouvraige, XX d.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, 10 G 106, fol. 6 r°.

78.

1389, 25 mai -1390, 25 mai.- S. I.

Compte de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 14 r°-

Autre depense pour l'ouvrage dudit clocher :

A Colin d'Eschemines, fevre demourant à Troies, pour XII pois de fer en longues bandes acheté de lui XIII^e jour de septembre, au pris de XIII s. le pois, vallent VIII l. VIII s., dont il chiet VIII s. donnez à la fabrique, pour ce païé à lui, VIII l.

A Jehan d'Estain pour I^c de fer acheté de lui le XXV^e jour d'octobre, LV s.

A Constan Moufflot, serrurier, pour II pois et demi de fer qu'il a livre et bailliez du sien pour l'ouvrage dudit clocher outre le fer dessus dit, à lui livré et baillé pour ledit ouvrage. Et outre une grosse bande de fer d'environ VI piez de long pesent XVII livres et XIII bandes viez pesens I pois et demi, toutes arrechées et bennés du clocher à lui aussi baillées pour ledit ouvrage, pour chascun pois des diz II pois et demi XIII s., pour ce à lui païé, XXXV s.

-fol. 14 v°-

Audit Constan Le Serrurier pour sa pene et salaire de lui et ses varlez de faire XXIII bandes de fer d'environ VIII piez de long chascune et VIII chevilles de fer d'environ II piez et demi de long chascune, VIII viroles et VIII hesses et environ VIII^C grans clos pour cloer et estacher les dictes bandes. Item pour la facon de I grant tariere à ferre les pertuis pour mettre les dictes chevilles de fer et de I rebous de fer de I pie à main et plaine paulme de long, de une grosse gouge de fer et de une moienne de environ I pie de long chascune et pour charbon despensé à fere ledit ouvrage, pour tout ce par accort fait avec lui, XXX l.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, 10 G 108.

79.

1434, 25 mai -1435, 25 mai.- S. l.

Compte de la fabrique de l'église Saint-Urbain de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

Massonage fait en la verrerie de la croise devers la rue moienne du coste devers Saint Jehan pour fere deux colonnes que l'yvermis avoit rompues ou mois d'octobre :

A Regnault Dieulefist, sarrurier, pour avoir renoués tous les barriaulx qui furent brisez, par quitance fait à luy, XX s.

A la femme qui fut Gauthier Pietrequin pour XXXVII l. de fer pour faire des barreaux neufs, faire des estriers neufs pour tenir ung grant barriau de fer qui est au travers de la verriere, le quel barriau à XX piez de long et a esté prins en la garnison de ceste eglise, pour lesdites XXXVII l. de fer, XVIII s. VI d.

Audit Regnault Dieulefist pour avoir faiz lesdits barriaulx tant à loques que fais lesdits estriers et plusieurs coins, XVI s. VIII d.

Audit Regnault pour avoir alonguis plusieurs viez barriaulx et fait plusieurs verges du fer de l'église, III s. II d.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, 10 G 117, fol. 4 r°.

Eglise Saint-Jean-au-Marché de Troyes

80.

1506, 15 août -1508, 2 octobre.- S. I.

Manuel de compte de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 79 r°-

Item a esté païé à mons. Leslu Saulnyer pour ung cent une L de fer de Codon prins en sa mayson par Pierre Vinot pour servir à ladite cloche la somme de, XXX s. t.

-fol. 79 v°-

Item a païé à Grant Jehan pour III^C IIII^{XX} IIII l. de fer de Codon à XX s. le cent et pour une cent XIII l. aultre fer à XIII s. le cent la somme de, VII l. XIII s. III d.

Et a esté mis ledit fer au barrau qui soltiennent la grosse cloche au lieus de que elle est [...].

-fol. 81 v°-

Item a esté païé à Pierre Vinot pour avoir pandu la cloche, pour avoir rangrossy le marteau, pour avoir fait les sarcles du molle, pour avoir advisé les manouvriers, pour plusieurs journées que ly et ses gens ont esté apres ladite cloche, ly a esté païé par Pierre Lebe, Denys Berhault et par Christofle Charlier la somme de, XXV l. t.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, 15 G 29.

81.

1508, 2 octobre -1509, 2 octobre.- S. I.

Compte de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

Item payé à Jaques Destambert pour sept vingts douze livres fer de Cauldon la somme de cinquante solz huit deniers prins par Jehan Biroy audit marriglier, comme il appert par quictance, pour ce, L s. VIII d. t.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, 15 G 30a, fol. 98 v°.

82.

1526, 7 octobre -1527, 7 octobre.- S. I.

Compte de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

Payé à Pierre Vinot, sarrurier, la somme de six livres tournois pour avoir par luy defferré et referré les deux grosses cloches, realonguy le bout de l'aschy et faict autres ferrailles pour icelles cloches, quatre clefz et autre ouvrage de son mestier necessaires en ceste dicte eglise, pour ce, VI l. t.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, 15 G 41, fol. 110 r°.

83.

1533, 5 octobre -1535, 3 octobre.- S. I.

Manuel de compte de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 69 r°-

Payé à Jehan de France le XXII^e mars V^C XXXIII pour trois bandes de fer poisant VII^{XX} l., à VIII d. t. et sa fasson, somme pour tout, III l. X s. t.

Paié à Jehan de France le XXII^e d'avril V^C XXXIII pour trois bandes de fer pesant VI^{XX} VII l., à VIII d. la livre, III l. III s. VIII d.

-fol. 69 v°-

Payé à Jehan de France pour avoir fait les barres de fer et verges de la verriere qu'a baillée monseigneur de Troyes, pour la fasson seulement, VI l. XII s.

Payé à Christofle le Fevre pour II^C XXV l. fert qu'il a faillu en la dite verriere, baillée par monseigneur l'evesque de Troyes, à XXVIII s. le cent, vallent V l. V s.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, 15 G 46.

84.

1547, 2 octobre -1549, 6 octobre.- S. I.

Manuel de compte de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

Paié se XXVI^e may audit an audit Guillaume Royer pour la façon de deux C XLVII l. fer en esgrappes lesquelles ont esté employés la presente semaine par les massons, sur quoy il

avoit racchu en viel fer II^C XXVI l. à deduire icelui, pour ce à luy païé pour sadite facon que pour le surplus dudit fer, cent onze soubz.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, 15 G 57, fol. 79 r^o.

85.

1555, 6 octobre -1556, 4 octobre.- S. l.

Manuel de compte de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

Item a esté payé audit Royer pour la premiere cloison de fer par luy posée au cueur, le prys et accord faict à luy la somme de, LXXVII l. X s.t.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, 15 G 70, fol. 31 r^o.

86.

1558, 2 octobre -1559, 1^{er} octobre.- S. l.

Manuel de compte de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

Item a esté payé et avancé par nous les marrigliers audit Guillaume Royer dit le Lorrain sur le marché faict avec luy pour les cloisons qui faict pour la fermeture du ceur de l'église ceans, ainsi qu'il appert à la fin de ce present livre par ses quictances, luy a esté payé et delivré la somme de dix sept livres tournois, pour ce, XVII l. t.

Payé à Guillaume Royer pour avoir defferé les qualtre cloches qui ont esté fonduez et avoir reforger et rasseré la ferraille des vielle des deulx petites cloches et les avoir referré à neuf, aussy avoir faict et forny es fer des deulx grosses cloches du petit cloche, les avoir defferrée pour ce qu'il les a fallu refondre et les avoir de rechef referrée, luy avons baillé tant pour avoir forny de fer que pour ses fassons la somme de quinze livres tournois, pour ce, XV l. t.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, 15 G 76, fol. 32 v^o.

1566, 6 octobre -1567, 5 octobre.- S. I.

Manuel de compte de la fabrique de l'église Saint-Jean-au-Marché de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

Plus a esté payé à la vesve Nicolas Febur, huict bandes de fer pesant deulx cens cinquante sept livres de fer à IIII l. t. le cens pour tenir la massonerie de la chapelle neusve, vallent dix livres cinq solz neuf deniers, pour ce cy, X l. V s. IX d. t. delivré audit Jacques Guerin, serrurier.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, 15 G 86, fol. 30 r°.

Eglise Sainte-Madeleine de Troyes

88.

1511, 1^{er} octobre -1512, 1^{er} octobre.- S. I.

Compte de la fabrique de l'église Sainte-Madeleine de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

A Nicolas Granier, sarrurier, cedit jour pour compte à luy, ouvrages de fert par luy fais pour ladite eglise, pour ce, XXXIII s. III d. t.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, 16 G 47, fol. 63 r°.

89.

1512, 1^{er} octobre -1513, 1^{er} octobre.- S. I.

Compte de la fabrique de l'église Sainte-Madeleine de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 140 r°-

A Pierre Vinot, sarrurier de Troyes, fut marchandé à faire et livré presents les parroissiens, gens de bien de icelle eglise et pour fer à crochetz et aultres qu'il conviendrait avoir pour la lyaison dudit jube, à maistre Jehan Gailde tout fin fert affiner, VIII d. t. de la livre qui est LXVI s. VIII d. le cent, fait le IIII^e jour d'octobre oudit an.

En la sepmaine du dimanche XXIII^e octobre :

Audit vinot pour avoir livré du fer à diverses fois comme apparu à fer esté par ces gens par le menu la quantité de III^C XXVI l. III cars, à VIII d. t. la livre, vault X l. XVII s. X d. t.

-fol. 140 v°-

Audit Vinot en ceste sepmaine¹⁵ a livré à plusieurs fois, comme aparue a esté par ces parties par le menu, de la quantité de III^C LIII l. III cars fer, à VIII d. t. la livre, vault XI l. XV s. X d. t.

Audit vinot qui en ceste sepmaine¹⁶ a livré à diverses fois en fer, comme est aparue par ces parties par le menuz, la quantité de deux cent IIII^{XX} XII l. et demie, audit pris de VIII d. t. la livre, valent IX l. XV s. t.

¹⁵ Semaine du 14 novembre.

¹⁶ Semaine du 21 novembre.

-fol. 142 r°-

A Pierre Vinot, sarrurier a esté conté à luy de tout le fer qui l'a livré, tant gros barreaux que petitz fiches, crampons et aigneaulx, le tout fer fin ainsy que marchandé avoit, comme appert par le marché cy devant du mois d'octobre, comme aparü a esté par ces parties et par le menu, que des le XI^e décembre et jusque cedit jour¹⁷ la quantité de VI^C IX l. III cars audit pris de VIII d. t. la livre, vault XX l. VI s. VI d. t.

-fol. 142 v°-

A Vinot à luy payer par monseigneur le receveur pour une clefz pour le dessoubz le jube esté faicte en sa maison, poissant XLII l., de XXVIII s. III d. t.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, 16 G 47.

90.

1513, 1^{er} octobre -1514, 1^{er} octobre.- S. l.

Compte de la fabrique de l'église Sainte-Madeleine de Troyes. Dans cette année comptable, on trouve, entre autres :

-fol. 224 r°-

A Jehan Felix, sarrurier, pour avoir à luy conter de l'ouvrage derrain de l'an de ce present compte par les parties qui s'ensuyvent : pour quatre crampons et deux goujons de fer pour tenir les deux tabernacles dudit jube, de III s. III d., relymé la cyez des massons, XX d. t., pour une esse pour le cheriot à mener pierre, VIII d. t., vault tout, V s. VIII d. t.

Audit pour avoir livré une grosse pate en pierre fasson de chenet pesant XI l. fer pour tenir l'une des acotour dudit jube, V s. X d.

-fol. 224 v°-

Audit pour trois grant souppente en maniere de chyenet en platre pour les acotourz dudit jube avec que trois autres crampons en platre, le tout poisant XXVIII l. fer, vault XV s. t.

Audit pour ung gros crampon coudez à deux mortaise pour tenir une acotour dudit jube pesant VI l. fer de III s. III d., ung viebrequin rafillez en pierre, XII d., deux grans crampons que lyé lesdits acotours dudit jube de sa et de la de II s. VI d. et pour une veruelle et une tornuise pour une boucle pour l'huys de la vottez et cave à feu le boucher à de XV d. t., vault tout, VIII s. I d.

Audit pour avoir fait deux verges estamez par devant des deux tabernacles du devant dudit jube, XV s.

A. Original, registre, papier, Troyes, Arch. dép. Aube, 16 G 47.

¹⁷ Semaine du 13 février.