



HAL
open science

De la forêt au chantier. Approches archéologiques du bois d'œuvre, des techniques et des structures de charpenterie aux périodes anciennes et médiévales en France septentrionale. Thèse d'Habilitation à Diriger des Recherches
Frédéric Epaud

► **To cite this version:**

Frédéric Epaud. De la forêt au chantier. Approches archéologiques du bois d'œuvre, des techniques et des structures de charpenterie aux périodes anciennes et médiévales en France septentrionale. Thèse d'Habilitation à Diriger des Recherches. Archéologie et Préhistoire. Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2022. tel-03582402

HAL Id: tel-03582402

<https://hal.science/tel-03582402v1>

Submitted on 8 Mar 2022

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.

Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

Année Universitaire : 2021-2022

HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

Sciences Humaines et Sociales

présentée et soutenue

par **Frédéric Epaud**

le 20 janvier 2022,
à l'Université Panthéon-Sorbonne

Sous la responsabilité de
Philippe Bernardi (UMR 8589 – LaMOP)

De la forêt au chantier.
Approches archéologiques du bois d'œuvre,
des techniques et des structures de charpenterie
aux périodes anciennes et médiévales
en France septentrionale

Rapport de synthèse

Membres du jury :

- Philippe Bernardi, Directeur de Recherche CNRS (Lamop UMR8589)
- Pierre-Yves Laffont, Professeur à l'université Rennes 2
- Etienne Anheim, Directeur d'études EHES
- Corinne Beck, Professeure émérite à l'université de Valenciennes
- Patrick Hoffsummer, Professeur émérite à l'université de Liège
- Pierre-Yves Milcent, Maître de conférences HDR à l'université Toulouse 2

Sommaire

PREAMBULE.....	3
INTRODUCTION	4
1 Itinéraire de recherche	6
1.1 L'école buissonnière de l'archéologie	6
1.2 L'école de la pratique : le chantier de Pierre Ronde.....	7
1.3 Du doctorat au CNRS	9
2 Questions sur la construction à poteaux plantés.....	11
2.1 Etat de la recherche et préjugés.....	11
2.2 Objectifs et approches pluridisciplinaires.....	12
2.3 Le Néolithique : des tierces aux portiques dans les méga-constructions.....	15
2.3.1 L'architecture rubanée : expérimentation du site de Nucourt (Val d'Oise).....	15
2.3.2 Les méga-constructions du Néolithique moyen et final : l'exemple des bâtiments circulaires du Goulet à Monts-sur-Orne (Orne).....	16
2.3.3 Les constructions monumentales de Pont-sur-Seine (Aube)	19
2.4 La Protohistoire : fonction des poteaux axiaux ?.....	22
2.4.1 La question du poteau faîtier et de la ferme.....	22
2.4.2 Le Palais de Vix et la possibilité des portiques	25
2.5 L'Antiquité : techniques de charpenterie aux I-IIe siècles ap. J.-C.....	28
2.6 Le haut Moyen Âge.....	33
2.6.1 L'approche ethnoarchéologique	33
2.6.2 L'approche expérimentale	41
2.6.2.1 Le grenier à six poteaux.....	41
2.6.2.2 Le cellier.....	45
2.6.2.3 Le fond de cabane	48
2.6.3 Pour une relecture des plans des bâtiments.....	51
2.6.4 Archéologie en contexte humide	55
3 Etude des techniques et des charpentes médiévales conservées en élévation.....	59
3.1 Objectifs et méthodes	60
3.2 Les techniques d'exécution	63
3.2.1 Façonnage des bois : de la hache à la scie	63
3.2.2 Le marquage des bois et l'organisation du chantier	64
3.2.3 Consommation en bois d'œuvre et temps de travail : l'expérimentation de Guédelon (Yonne) ...	66
3.2.4 La question du levage.....	67
3.3 La recherche de jalons : les inventaires.....	70
3.3.1 Des terres à défricher.....	70
3.3.2 L'inventaire en Val d'Oise.....	72
3.3.3 L'inventaire en région Centre (projet CharpCentre)	72
3.3.4 Projet Charp'France 2020-2022	74
3.3.5 L'inventaire des églises romanes précoces	75
3.4 Les structures des charpentes	76
3.4.1 La charpente romane	77
3.4.2 La charpente gothique : une révolution architecturale	80
3.4.3 Diversité des structures charpentées.....	83
3.4.3.1 Les chaînages en bois	83
3.4.3.2 L'architecture en pan de bois	84
3.4.3.3 La cuisine de l'abbaye de Bonport (Eure).....	87
3.4.3.4 Les voutements au XVIe s.....	88
3.4.4 Les grandes charpentes gothiques.....	89

3.4.4.1	L'abbaye royale de Royaumont.....	90
3.4.4.2	Les granges	92
3.4.4.3	La cathédrale de Rouen (Seine-Maritime).....	94
3.4.4.4	La cathédrale de Lisieux (Calvados).....	96
3.4.4.5	La cathédrale de Bayeux (Calvados).....	98
3.4.4.6	La cathédrale de Poitiers (Vienne).....	99
3.4.4.7	La cathédrale de Bourges (Cher)	103
3.4.4.8	La cathédrale Notre Dame de Paris.....	106
4	La dendroarchéologie : une approche pour l'étude des bois d'œuvre et des forêts	111
4.1	Aspects méthodologiques, objectifs et contextes.....	112
4.2	L'approvisionnement des chantiers des cathédrales gothiques	113
4.3	Les types d'arbre consommés	114
4.3.1	Des chênes jeunes, fins et élancés	116
4.3.2	Des bois équarris a minima	118
4.4	Le type de futaie exploitée	119
4.4.1	Un régime de taillis.....	119
4.4.2	Des jeunes futaies sur souche hyperdenses.....	121
4.4.3	Des coupes à blanc dans des peuplements homogènes	122
4.4.4	Des peuplements en autorégulation et protégés par des enclos ?.....	123
4.4.5	La surface forestière sollicitée.....	123
4.5	Une sylviculture au service de la construction	124
4.6	Les signes d'une dégradation des futaies et le recul du bois	125
5	Coordination de la recherche, enseignements et encadrements universitaires	127
5.1	La coordination de la recherche au sein du LAT.....	127
5.2	Enseignements et formations universitaires.....	128
6	Perspectives de recherche	129
	CONCLUSION	134
	BIBLIOGRAPHIE	135

Préambule

Le dossier présenté en vue de l'Habilitation à Diriger des Recherches est composé de plusieurs documents : un *curriculum vitae* avec la liste complète des publications, un recueil de travaux publiés et de rapports, et le rapport de synthèse qui constitue le présent document, intitulé « De la forêt au chantier. Approches archéologiques du bois d'œuvre, des techniques et des structures de charpenterie aux périodes anciennes et médiévales en France septentrionale ».

En fin de chaque partie sont cités les travaux et publications en lien avec la thématique abordée. Ces derniers sont tous réunis dans la liste des travaux et publications jointe dans un fichier séparé.

Toutes les photographies et les dessins sont de l'auteur, sauf mention contraire.

Abréviations :

ACMH : Architecte en chef des monuments historiques

CRMH : Conservation régionale des monuments historiques

UDAP : Unité Départementale de l'Architecture et du Patrimoine

Introduction

La charpenterie est un art de la construction qui s'exprime à travers toutes les architectures, qu'elles soient religieuses, civiles ou militaires, et à toutes les époques. Les ouvrages en bois sont un reflet des sociétés et des hommes qui les ont façonnés, en témoignant de leurs savoir-faire, de leur ingéniosité, des modes architecturales et aussi des forêts qui furent exploitées.

A travailler sur le temps long, on perçoit assez vite que la charpenterie n'a pas connu une évolution linéaire au cours des siècles, ni une amélioration croissante et exponentielle des techniques qui nous placerait aujourd'hui au sommet de cette évolution. Selon les périodes et les territoires, un même type d'ouvrage peut être frustré et simplement fonctionnel comme être un véritable chef d'œuvre de technicité, pourvu de sculptures et réalisé avec les meilleurs bois. Pour illustrer cette évolution, je me plais souvent à évoquer la grotte Chauvet, le plus grand chef d'œuvre de l'art pariétal au monde et aussi le plus ancien (-37 000 ans av. n. è.) dont la découverte en 1994 avait bousculé radicalement notre perception de l'histoire de l'art. On pensait que l'art évoluait lentement, de manière linéaire et ascendante pour aboutir à des techniques et des dessins de plus en plus complexes comme à la grotte de Lascaux, alors que dès le début du Paléolithique supérieur, des hommes étaient déjà parvenus à l'apogée de leur art, prouvant qu'une évolution progressiste de l'art n'avait pas lieu d'être. Il en est de même pour l'architecture en bois dont on a toujours pensé que les premières constructions n'étaient que des cabanes, à l'image des huttes gauloises de nos manuels scolaires, et que les techniques les plus sophistiquées étaient celles maîtrisées par les compagnons charpentiers d'aujourd'hui, dont le piquage figure désormais au patrimoine mondial de l'UNESCO. Or, il s'avère que dès le Néolithique moyen, les hommes ont su construire les édifices les plus monumentaux de toute l'histoire de l'architecture en bois, et qu'aujourd'hui, nos charpentiers sont bien en peine à reproduire une charpente sur une cathédrale du XIII^e siècle pour la simple raison qu'ils ne savent plus tailler les bois avec une hache.

Pour aborder cet art constructif sur le temps long et la diversité des structures et des techniques, j'ai développé depuis une vingtaine d'années de multiples approches : la fouille archéologique, les relevés du bâti, l'étude des textes, l'ethnographie ou encore l'expérimentation. J'ai toujours défendu cette pluridisciplinarité et la nécessité de multiplier les angles de vue pour comprendre dans leur globalité les multiples aspects de la charpenterie. Ceux-ci concernent les structures des charpentes, les techniques de taille, de conception, d'exécution, de levage, les négatifs des constructions à poteaux plantés, et aussi les bois utilisés et à travers eux les sylvicultures pratiquées. Il en est de même avec le champ chronologique. Si mes thèmes de prédilection sont toujours focalisés sur l'architecture médiévale, depuis ma thèse sur les charpentes romanes et gothiques en Normandie, mes travaux se sont portés depuis une vingtaine sur d'autres périodes, élargissant ainsi mon champ visuel du Néolithique jusqu'aux époques modernes et contemporaines.

Ce mémoire se présente comme un essai de synthèse des recherches que j'ai menées depuis mon doctorat soutenu en 2002 jusqu'à aujourd'hui. Il tente de faire apparaître les thèmes fédérateurs de mes travaux, les lignes directrices de ma réflexion et de ma démarche intellectuelle, les principaux résultats en termes d'avancées scientifiques tout en soulignant les aspects méthodologiques. Comme toutes recherches menées sur le temps long sur un sujet aussi vaste que peut l'être la charpenterie, il est difficile d'en faire une présentation linéaire suivant un unique fil conducteur. Certaines thématiques furent initiées il y a près de vingt ans, interrompues pendant des années avant être reprises au gré des opportunités et des rencontres. Certaines approches comme l'archéologie du bâti et l'ethnographie se sont parfois croisées de façon opportune et se sont enrichies mutuellement autour d'un thème commun sans pour autant y avoir eu de projet anticipé. Ce mémoire vise donc à montrer comment ces recherches ont été mises en œuvre, comment elles furent articulées autour de l'enseignement et l'encadrement des étudiants, et en quoi elles ont permis de mieux comprendre certains aspects de la charpenterie, selon les périodes abordées. Il ne s'agit donc pas ici de présenter une typochronologie des charpentes et des techniques du Néolithique à aujourd'hui sur le territoire français, mais plutôt d'évoquer de façon chronologique, par grande période, ma démarche scientifique sur des questions précises en lien avec les structures, les techniques ou la sylviculture. Certaines parties seront plus axées sur la méthodologie, d'autres sur des concepts de charpenterie en évitant, tant que faire se peut, de trop rentrer dans les détails techniques. Certains aspects novateurs seront plus développés que d'autres comme la réflexion sur l'architecture protohistorique à poteaux faitiers, l'ethnoarchéologie ou celle sur la sylviculture médiévale.

Ce mémoire se subdivise en six chapitres avec une première partie consacrée à mon itinéraire de recherche entre le doctorat et mon admission au CNRS. Les trois chapitres suivants retracent l'essentiel de mes recherches autour de trois thématiques majeures : la construction à poteaux plantés en chapitre 2, les techniques et les charpentes tardo-médiévales en chapitre 3, et l'étude des bois et des forêts médiévales en chapitre 4. Enfin, j'aborde plus en détails mon implication dans la recherche, l'enseignement et la formation en chapitre 5 pour finir en chapitre 6 avec mes perspectives de recherche. Ce choix de présentation revêt à mon parcours de recherche un caractère chronologique, du moins pour les études des constructions du Néolithique à celles des cathédrales gothiques dans les parties 2 et 3, mais elles replacent au sein de chaque thème abordé l'évolution de ma démarche intellectuelle et de mes stratégies de recherche. Concernant la partie consacrée à la dendroarchéologie, il eut été plus cohérent d'évoquer en premier mes réflexions sur le matériau et la forêt mais celles-ci ne pouvaient être abordées qu'après avoir présenté l'étude des charpentes des cathédrales gothiques à laquelle elle se réfère.

1 Itinéraire de recherche

1.1 L'école buissonnière de l'archéologie

Pour comprendre mon parcours scientifique, il est nécessaire de revenir quelques années en arrière, bien avant mes études universitaires. Les motivations qui m'ont poussé à faire de l'archéologie ne sont pas à chercher dans ma scolarité ni chez mes professeurs. En effet, ma scolarité au collège et au lycée était loin d'être brillante, pour ne pas dire médiocre. Je dus mon salut aux principes de l'école publique républicaine à vouloir donner une chance à tous les enfants et particulièrement aux moins doués. Cette motivation vient certainement de mes parents qui, épris de curiosité, m'ont fait découvrir dès le plus jeune âge quantité de villages, de châteaux, d'abbayes, d'églises et de paysages lors de nos week-ends et vacances. Le plaisir de la découverte et de la prospection me fut ainsi transmis très tôt, de surcroît à Brionne dans l'Eure, dans un village rural riche d'un oppidum, d'une agglomération secondaire antique, d'un château médiéval et de trois églises. Adolescent, j'avais lu les travaux des érudits locaux des sociétés savantes du XIXe s. et possédait la collection complète des cartes IGN 1/25000^e de ma région pour retrouver les voies antiques et autres vestiges du passé.

Je fus sensibilisé à l'architecture en bois grâce à mes années passées au lycée de Bernay dans l'Eure, non pas dans les salles de classe mais en consacrant la plupart de mon temps à déambuler dans ce bourg médiéval et à observer les maisons en pans de bois. J'ai eu aussi la chance d'avoir grandi à une époque où l'archéologie bénévole et associative permettait aux adolescents de s'initier à la fouille. Membre très jeune de l'association Archéo 27, je pus participer à des chantiers programmés et aussi préventifs encadrés par Pierre Roussel, son président. Cette association, toujours active, m'a permis de pratiquer la prospection aérienne et pédestre, et d'apprendre l'enregistrement du mobilier archéologique récolté, toujours avec l'agrément du SRA. A 17 ans, je passais mes vacances sur des chantiers de fouille et à accompagner sur le terrain des archéologues expérimentés, toujours en Normandie.

Appartenant à une génération qui fut massivement orientée vers les filières scientifiques, je n'échappai pas à cette règle et obtint un Bac scientifique D qui m'a entraîné à la faculté des Sciences de l'Université de Rouen dans un cursus de Sciences de la Nature et de la Vie. Mes médiocres résultats dans les matières littéraires ne m'avaient pas laissé le choix. Là encore, au cours de ces années, je passais l'essentiel mon temps à découvrir les architectures en pans de bois de l'ancienne ville, certainement l'une des plus riches de France en patrimoine médiéval. Les règles sécuritaires n'étant pas celles d'aujourd'hui, je n'ai pas échappé à la tentation, comme bien d'autres étudiants, d'escalader les échafaudages de la cathédrale ou de l'abbatiale Saint-Ouen pour explorer la nuit leurs charpentes médiévales, de façon peu orthodoxe certes mais tellement exaltante quand on a 20 ans.

Lors de ma cinquième année à la faculté de Sciences, en raison de mauvais résultats et de plusieurs redoublements, je finis par me convaincre de m'inscrire en double cursus en deuxième année de DEUG d'Histoire. Après l'obtention laborieuse de ma licence de Biologie/Géologie, je poursuivis mon cursus en Histoire option Archéologie avec beaucoup plus d'engagement jusqu'à la licence d'Histoire, en parallèle avec des contrats professionnels à l'AFAN. Ne pouvant plus bénéficier de dérogation, je devais arrêter mes études pour mon service militaire. Je fis alors la rencontre d'Yves Lescroart, Conservateur régional des monuments historiques, qui me proposa comme sujet de maîtrise l'étude de la charpente du XIIIe s. de la cathédrale de Rouen, sujet que j'acceptais avec enthousiasme. Je dus alors m'exempter *in extremis* du service militaire en simulant à la contre-visite médicale un état de dépressif suicidaire. Cette maîtrise, réalisée en deux ans, me permit de faire le relevé intégral à la main de la charpente de la nef, d'encadrer les analyses dendrochronologiques, et de faire la transcription de tous les comptes de la fabrique du XIVe au XVIIIe siècle. Cette étude fut la première marche de mon long cheminement vers l'étude des charpentes médiévales.

1.2 L'école de la pratique : le chantier de Pierre Ronde

En 1991, je fis une « rencontre » qui allait avoir un fort impact sur mon parcours professionnel, celle d'une église en ruine située dans la campagne du pays d'Ouche, dans l'Eure. Abandonnée depuis une quarantaine d'année, pillée et en état de dégradation avancée, cette ancienne église paroissiale présentait une nef médiévale avec une charpente voûtée sculptée et peinte du XVe siècle, et un chœur du début du XVIIIe siècle. Désaffectée au culte et vendue en 1966, elle ne fut jamais entretenue et tomba vite en ruine, isolée dans le bocage.

Après une année de démarches administratives, j'obtins son rachat par la commune de Beaumesnil et créa une association en 1992 pour organiser des chantiers de restauration de jeunes bénévoles. Chaque année, deux à trois chantiers furent organisés avec des équipes de 5 à 30 étudiants en archéologie, histoire de l'art et architecture, grâce à des subventions de la Conservation régionale des Monuments Historiques, de la Direction régionale de la Jeunesse et des Sports, de la fondation Sauvegarde de l'Art Français et plus tard de la Fondation du Patrimoine. Sur 25 ans, ce fut plus d'une cinquantaine de chantiers que j'ai dirigé pour restaurer les charpentes, les maçonneries, les couvertures, les enduits extérieurs ainsi que l'environnement paysager du site par des plantations.



Fig. 1 : Eglise de Pierre Ronde, après restauration, 2018.



Fig. 2 : Reprise de la couverture provisoire, 1995



Fig. 3 : Remplacement d'un entrait, 2000

Les premières années furent consacrées au gros œuvre avec la pose de couvertures provisoires en tôles, la reprise des fondations et surtout la restauration des charpentes (fig. 2). Cette initiation à la pratique de la charpenterie fut essentielle à ma formation. En réalisant de lourds travaux comme le remplacement d'entrants de 10 m de long, rentrés à travers le toit (fig. 3), le changement en sous-œuvre de poteaux porteurs (fig. 4), la reprise complète de la flèche du clocher avec son redressement manuel avec les « moyens du bord », je fis mon apprentissage de façon autodidacte à la pratique du chantier, des techniques de charpenterie, des assemblages, de la taille et du levage.

Tous les chantiers ont suivi une approche d'archéologie du bâti en faisant au préalable des relevés précis et en respectant les matériaux et les techniques d'origine, tout en conservant le maximum d'éléments en place. Par exemple, la couverture du clocher fut refaite avec des essentes de chêne fendu à la main



Fig. 4 : Remplacement d'un poteau, 1998

d'après des exemplaires retrouvées dans le clocher. Les maçonneries furent aussi consolidées après leurs relevés, l'étude des mortiers et la datation par C14 des charbons de bois contenus dans les murs. Les couvertures en tuiles ont réemployé le maximum de tuiles d'origine. Les enduits extérieurs d'époque médiévale, faits uniquement à l'argile, furent consolidés et complétés selon les mêmes techniques et les mêmes matériaux. De 2015 à 2018, la reprise des décors peints sur les murs, les voûtes et la charpente fut aussi l'objet d'un chantier école dirigé par une restauratrice professionnelle, révélant des peintures médiévales remarquables du XVe siècle (fig. 6-7) ainsi qu'un grand décor du début du XVIIIe siècle sur la totalité du pignon du chœur. Là aussi, tous les motifs restitués furent faits d'après des relevés archéologiques et l'analyse des pigments d'origine. Ce chantier mené sur le long terme doit s'achever l'hiver 2021 par la reconstruction du porche d'entrée selon les techniques de charpenterie traditionnelles avec uniquement des chênes équarris à la hache.

L'association s'est vue récompensée en 2017 par la Sauvegarde de l'Art Français avec le Prix Tréville pour l'exemplarité et la qualité des travaux menés depuis 20 ans, et aussi en 2004 par l'Association des Amis des Monuments et Sites de l'Eure.

Un projet de réhabilitation de l'église, financé par la commune nouvelle de Mesnil-en-Ouche et le conseil général de l'Eure est en voie de concrétisation pour 2022-2024. Il consiste en la création d'un lieu d'interprétation de l'architecture et du patrimoine du Pays d'Ouche. Des panneaux d'exposition montreront à travers l'évocation des chantiers menés sur l'église les méthodes traditionnelles de restauration et d'écoconstruction avec des matériaux locaux et naturels, tout en présentant le patrimoine architectural local.

Un site internet présente l'association, l'église et l'ensemble des chantiers (<http://pierreronde.fr/>).



Fig. 5 : Restauration d'une panne, 2014

Epaud 2015a

Epaud F. - La restauration de l'église de Pierre Ronde (Beaumesnil) : l'apport de l'archéologie du bâti, in : F. Poulain (dir.) *Les églises de l'Eure à l'épreuve du temps*, ed. Les étoiles du Patrimoine : 213-215. ([halshs-01243377](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01243377))



Fig. 6 : Restauration des peintures murales, 2018



Fig. 7 : Voûte peinte du XVe s., 2019

1.3 Du doctorat au CNRS

A la fin des années 90, l'étude archéologique des charpentes en était à ses balbutiements. Les rares études étaient dispersées, aucun inventaire n'existait et l'archéologie du bâti s'intéressait peu aux constructions en bois. Le DEA puis la thèse, portant sur « l'évolution des techniques et des structures de charpenterie du XIe au XIIIe siècles en Normandie », soutenue en 2002 à l'Université de Rouen sous la direction d'Anne-Marie Flambard-Héricher, m'avaient permis de mesurer l'ampleur des méconnaissances sur le sujet, tant sur les protocoles de relevé, le vocabulaire technique que sur la compréhension de la mécanique et des principes fondamentaux de l'évolution des charpentes au Moyen Âge. Réalisées en trois ans après une année d'inventaire en DEA, cette thèse portait sur le relevé et l'analyse archéologique des charpentes de trois cathédrales (Rouen, Lisieux, Bayeux), deux églises abbatiales, deux abbayes complètes, dix églises, six bâtiments civils et de quatre granges des XIe-XIIIe siècles en Normandie. Ce travail présentait aussi une analyse des techniques de taille, des tracés d'établissage, des assemblages, des marquages des bois, des tracés d'épure, et surtout une analyse du schéma évolutif des structures des charpentes de comble comme des beffrois. Il s'agissait alors du premier doctorat en France portant sur l'archéologie de la construction en bois.

Les années qui suivirent la soutenance furent consacrées en grande partie à la réécriture du mémoire pour développer certains aspects et combler ses lacunes en vue de sa publication. Le livre « *De la charpente romane à la charpente gothique en Normandie* », paru en 2007 aux éditions du CRAHAM après cinq années de réécriture, est une version largement reconstruite et augmentée de la thèse avec une dizaine d'études de charpentes supplémentaires et de nombreuses datations dendrochronologiques. L'ouvrage développe bien plus en détails le schéma évolutif des charpentes au cours du Moyen Âge, applicable à la Normandie comme au Bassin parisien, en définissant notamment le concept de la « charpente romane » et celui de la « charpente gothique », terminologie qui n'existait pas auparavant. L'un des thèmes novateurs qui fut développé dans cet ouvrage et qui ne figurait pas dans ma thèse fut l'étude des peuplements forestiers et de leur gestion à travers l'analyse dendroarchéologique des bois conservés dans les charpentes. Ces travaux furent réalisés en collaboration avec Vincent Bernard (CNRS, UMR 6566 – Rennes) et Yannick Ledigol, dendrochronologues à Rennes.

Cet ouvrage, récompensé par le prix « La Reinty » de l'Académie des Sciences, Belles Lettres et Arts de Rouen en 2007 et celui de la Thèse de la Société Française d'Archéologie en 2008, va connaître une rapide diffusion au point d'être épuisé au bout de six mois seulement. Il sera aussitôt réédité pour être de nouveau épuisé huit mois plus tard. J'appris plusieurs années après qu'il fut acheté par de nombreux charpentiers professionnels en raison de l'absence d'ouvrage scientifique sur la charpente traditionnelle ou ancienne.

En parallèle à ce travail de publication, comme de nombreux jeunes docteurs, j'ai développé mes axes de recherche par le biais de contrats à durée déterminée en archéologie préventive toujours dans le domaine de la charpenterie. Comme les archéologues spécialistes du bois et de la charpente étaient peu nombreux, j'eus l'opportunité de répondre pour l'INRAP à des besoins en termes de fouilles et d'étude de bois archéologiques du Xe-XIIIe s. sur le site de Neuvy-deux-Clochers (Cher), d'interprétation des structures en bois du site de Pineuilh (Gironde) de la même période ou de restitution graphique des constructions à poteaux plantés des sites de Méaulte et de Changis (Somme). Des études toujours spécialisées sur les charpentes me furent confiées par des collectivités territoriales comme l'inventaire des charpentes du Val d'Oise par le Service départemental d'archéologie du Val d'Oise (SDAVO) ou le relevé la grange de Saint-Lazare de Beauvais par le service d'archéologie de la ville, des cabinets d'architecte du patrimoine ou des Fondations privées comme l'abbaye de Royaumont (Val d'Oise).

Mes expériences de chantier de restauration sur l'église de Pierre Ronde (Eure), par le biais de l'association que je présidais, m'orientaient de plus en plus vers le travail manuel du bois et l'intégration des notions de manutention, de chantier, de levage dans l'analyse des structures de charpentes médiévales. Ainsi, je pus développer cette approche dite expérimentale grâce à des contrats sur le site d'Orville (Val d'Oise) avec la reconstitution en grandeur réelle de plusieurs constructions à poteaux plantés des Xe-XIe siècles d'après des données de fouille en collaboration avec François Gentili (INRAP), spécialiste de l'habitat francilien du HMA ou encore celui d'un habitat néolithique de 35 m de long avec la contribution de Christophe Toupet, conservateur au SDAVO. De même, je pus aborder plus en détails les questions propres aux techniques de taille et d'exécution en intégrant la direction scientifique du chantier de Guédelon (Yonne), site expérimental hors norme de construction d'un

château fort du XIII^e siècle. J'y ai dessiné les charpentes et encadré les équipes de charpentiers pour réaliser selon les techniques du XIII^e siècle toutes les charpentes du château. J'en développerai plus loin les apports comme les limites dans ma démarche scientifique.

Enfin, considérant que l'étude des techniques de charpenterie ne peut être abordée sans un regard ethnographique, j'ai mené des études en Roumanie dans la région des Maramures auprès de charpentiers pratiquant les mêmes techniques que celles du XII^e siècle en France.

Durant les années qui ont précédé mon recrutement au CNRS, j'ai considéré que le croisement de ces approches que sont la fouille, le relevé du bâti, l'expérimentation ou l'ethnoarchéologie permettait de mieux comprendre mon sujet d'étude comme regarder un objet sous des angles différents pour mieux en discerner les contours, ce qui fut le cas sur le long terme. Cette interdisciplinarité pourrait certes être perçue comme une dispersion ou un éparpillement de mes centres d'intérêt mais la charpenterie en est toujours restée le sujet central. Il s'agit d'un art manuel de la construction dont on ne peut comprendre les négatifs et les vestiges que par l'analyse du matériau, des techniques, de la gestuelle et des hommes qui les ont produites, sans parler de l'usage fonctionnel des structures et de leur entretien, autant de sujets qui nécessitent des approches distinctes.

Dans cette période, il fut difficile, voire impossible, d'intégrer des programmes de recherche CNRS ou universitaire tant la question de la charpenterie était alors peu prise en compte que ce soit dans les projets d'étude d'ensembles monumentaux ou de centres urbains. Ainsi, mes principales collaborations furent celles que j'entretins dans le cadre de mes contrats avec des archéologues du préventif et des architectes du patrimoine. Je n'eus donc pas de contrat postdoctoral et assez peu d'enseignements à dispenser excepté une charge de cours pour la Licence d'Histoire à l'université de Rouen en 2002-2003.

Qualifié en 2003 par le CNU en 21^{ème} section, je fus auditionné en 2003 pour un poste de MCF à l'Université Paris IV où je fus classé second, et en 2006 à Aix-en-Provence, sans classement des candidats.

Depuis ma maîtrise jusqu'à mon recrutement au CNRS, je n'avais cessé de diffuser mes travaux de recherches sur le bois dans la construction médiévale (techniques, sylviculture, architecture...) avec une vingtaine d'articles dont 6 dans des revues à comité de lecture, 13 rapports d'étude inédits, et une trentaine de conférences dans le cadre de séminaires, de groupes de travail, de PCR, de colloques, de tables rondes et de stages de formation. La publication qui fit la synthèse de toutes ces recherches fut le livre « *De la charpente romane à la charpente gothique en Normandie* » en 2007.

Au moment du concours du CNRS que je passai une première fois en 2006, où je fus classé, puis en 2007, j'étais rattaché depuis 2003 à l'UMR 6577 "Centre Michel de Bouärd – CRAHM" de Caen, mais comme je n'avais aucun échange avec celle-ci, mon premier choix de laboratoire s'orienta sur le laboratoire Archéologie et Territoires de l'UMR 6173 "Cité, Territoire, Environnement et Sociétés" (CITERES) dont les axes de recherche en archéologie médiévale se recoupaient avec les miens.

2 Questions sur la construction à poteaux plantés

Ma formation universitaire de médiéviste m'avait conduit à un doctorat sur l'architecture des XIe-XIIIe siècles en Normandie, soit sur une période marquée par le passage des charpentes à poteaux plantés à celles sur solin de maçonnerie. Mes recherches se sont alors portées sur la restitution des constructions à poteaux plantés qui furent, dans bien des cas, contemporaines aux monuments romans maçonnés que je relevais et qui avaient conservé leurs charpentes. Cette réflexion sur les négatifs des charpentes du haut Moyen Âge ne fut pas abordée dans mon doctorat et très peu dans sa publication en 2007, faute d'un raisonnement réellement développé et en raison aussi des nombreux écueils possibles (erreur de restitution, manque de données, plans de bâtiments incomplets, etc...). Cette réflexion a commencé à se structurer au fil des années et de mes expériences acquises sur des fouilles en contexte humide, en ethnographie, lors de chantiers d'expérimentation et par l'analyse des plans de fouilles de bâtiments à poteaux plantés alto médiévaux d'autres régions et surtout de périodes bien plus anciennes. C'est donc l'accumulation et surtout la diversité de ces expériences sur le long terme qui m'ont aidé à construire ma réflexion sur ces négatifs et à échafauder des éléments de réponse sur certains points comme par exemple la fonction mécanique des poteaux plantés inclinés ou des poteaux axiaux, ou encore la résolution des grandes portées. C'est vraiment avec les journées d'étude organisées à Toulouse les 5-6 avril 2018 (*Bois et architecture dans la protohistoire et l'antiquité, XVIe av. J.-C. – IIe ap. J.-C.*, par St. Lamouille, P. Péfau et S. Rougier-Blanc (TRACES-RHADAMANTE Univ. Toulouse-Jean Jaurès), que l'essentiel de mes réflexions se sont synthétisées sur ces questions-là avec un article à l'occasion de leur publication que j'évoquerai plus loin. Ce fut aussi l'occasion de présenter à une communauté de protohistoriens mon interprétation des faits en mettant en corrélation tous mes travaux et mes approches en charpenterie.

Cette recherche sur la construction à poteaux plantés, toutes périodes confondues, fut donc discontinuée, aléatoire et souvent épisodique, mais elle n'a jamais cessé de progresser au gré des études des structures charpentées qui sont présentées ici, qu'elles soient analysées à travers leur plan de fouille ou par le biais de leur restitution expérimentale. Chacune est donc présentée ici pour aborder un point précis de charpenterie en montrant son apport scientifique, lui-même faisant partie du cheminement de ma réflexion sur la construction en bois à poteaux plantés.

2.1 Etat de la recherche et préjugés

Depuis le développement des fouilles préventives à partir des années 90, une grande quantité de constructions à poteaux plantés fut mises au jour pour le Néolithique, la Protohistoire, l'Antiquité et le haut Moyen Âge, renouvelant ainsi nos connaissances sur les habitats de ces sociétés. Ces constructions en bois apparaissent généralement sous la forme d'un ensemble de trous de poteaux plus ou moins cohérent selon leur état de conservation et le nombre de reprises des structures. L'état de la recherche sur les dynamiques et les formes d'habitats, les pratiques domestiques et les aménagements internes est donc en constante progression avec des travaux de synthèses récents pour la Préhistoire récente et la Protohistoire (Villard-Le-Tiec 2018 ; Lamouille, Péfau et Rougier Blanc 2019 ; Buchsenschutz et Mordant 2005). Lorsque les plans sont bien conservés, la difficulté reste toutefois pour l'archéologue d'interpréter la répartition des trous de poteaux et de proposer des restitutions des charpentes en cohérence avec les traces au sol.

Paradoxalement, très peu de travaux ont été menés sur la question des restitutions des charpentes à partir des négatifs. Les seules recommandations sont souvent simplistes en considérant que les trous de poteaux définissent l'intégralité de l'architecture en élévation et que les poteaux centraux sont nécessairement des poteaux faîtières, montant jusqu'au faite du toit (Buchsenschutz 1989 ; Buchsenschutz et Audouze 2005). Les restitutions s'effectuent le plus souvent en extrudant les poteaux depuis leur trou en les étirant sans interruption jusqu'à la toiture, comme si on retournait le plan à l'envers pour en tirer toutes les élévations. La totalité de la structure du bâtiment est ainsi reconstituée à partir des seuls trous de poteau, selon un principe revendiqué depuis longtemps dans la plupart des manuels d'archéologie comme le mode de fonctionnement de la construction à poteaux plantés. Or, cela va à l'encontre de la réalité des constructions en bois dont les négatifs au sol correspondent très rarement aux élévations des toitures, comme l'étude des charpentes conservées en élévation permet de le

démontrer. Cette démonstration à partir d'exemples ethnographiques de loges à poteaux plantés a d'ailleurs fait l'objet d'un article à part entière (Epaud 2009c). A cela se rajoutent de nombreux préjugés et d'idées préconçues sur l'architecture en bois et l'habitat paysan comme la courte durée de vie des constructions, l'absence de la ferme en tant qu'organe structurel dans la charpente avant la romanisation, l'emploi systématique du poteau faîtier, l'absence d'étage et de plafond dans la construction rurale, le défaut de bois équarris et sculptés, la médiocrité des techniques d'assemblage pour les périodes anciennes ou encore la non mixité hommes-animaux sous le même toit. Très largement répandus, ces préjugés tendent à caricaturer les architectures rurales en bois et à en simplifier leurs représentations. Ainsi, de nombreuses restitutions proposées dans les publications et, par voie de conséquence, reconstruites à l'identique dans les archéomusées représentent le plus souvent des architectures primitives où l'on vivait à même le sol sous une charpente apparente à poteaux faîtiers, sans étage ni plancher de comble, sans ornementation décorative, ce qui est selon nous bien loin de la réalité archéologique.

Cet état des lieux répond aussi des lacunes de la documentation matérielle et des fortes réticences des archéologues à fouiller des sites en contexte humide alors que ce sont ceux-là même qui permettraient de faire avancer considérablement nos connaissances sur ces questions, comme ce fut le cas avec les fouilles des sites de Hallstatt en Autriche au XIX^e siècle pour l'âge du Fer, de Rezé (Loire-Atlantique) pour l'Antiquité ou de Charavines (Isère) et de Pineuilh (Gironde) pour le Moyen Âge. Le nombre restreint de spécialistes et de xylologues dans la profession, le coût de la conservation des matériaux organiques et plus généralement la méconnaissance du bois et des charpentes anciennes sont autant de freins à la progression de la recherche dans le domaine de l'architecture en bois aux périodes anciennes, alors que les sites en contextes humides existent et attendent d'être fouillés.

2.2 Objectifs et approches pluridisciplinaires

Sur la construction en bois des périodes anciennes, mes travaux de recherche ne portent donc pas sur la typochronologie de plans des bâtiments et leur évolution. En tant que médiéviste, archéologue du bâti et praticien de la charpenterie traditionnelle, je n'ai pas vocation à étudier les habitats de la Préhistoire récente et de la Protohistoire. Cependant, mon expérience de près de 25 années à relever des charpentes conservées en élévation, sur des granges, des logis ou des cathédrales, datant du XI^e ou du XX^e siècle, et à pratiquer la taille des bois à travers des chantiers de restauration ou de reconstitution expérimentale, m'a amené à comprendre le fonctionnement de ces structures et de leurs systèmes de répartition des charges, quelles que soient leur forme et leur dimension. C'est donc par le biais de la mécanique des charpentes que j'appréhende les négatifs des constructions à poteaux plantés des périodes anciennes afin d'en restituer les structures disparues. Il s'agit de définir, à travers l'étude de certains plans bien documentés, voire singuliers par leur complexité et leur bon état de conservation, non pas des structures précises de charpenterie mais plutôt les principes architectoniques élémentaires (système à portique, triangulation, chevrons-formant-fermes...) pouvant être responsables de telles traces, selon les techniques de taille et d'assemblages des périodes concernées.

Pour appréhender ces questions, j'ai développé plusieurs approches qui s'entrecroisent nécessairement : l'analyse des plans de fouille, la construction expérimentale, l'ethnographie et la fouille de sites en contexte humide.

L'analyse des plans des constructions à poteaux plantés est essentiellement alimentée par mes travaux d'archéologie du bâti sur les charpentes conservées en élévations d'époque médiévale et moderne en France septentrionale ainsi que par l'étude d'un corpus très vaste de constructions en bois de l'architecture civile, religieuse et militaire, réparties dans le monde entier via des sites de référencements et des registres personnels. Ce large corpus de plusieurs milliers de charpentes permet ainsi de fournir des exemples de comparaisons de structures, de techniques d'assemblage et de remaniements possibles pour comprendre la répartition des trous de poteaux et proposer des restitutions fiables en fonction des techniques de taille et des outils utilisés à chaque période. Cette approche est aussi nourrie par une longue expérience dans la restauration des charpentes médiévales grâce, d'une part, aux expertises scientifiques et techniques que je délivre dans le cadre des Monuments Historiques auprès des acteurs du patrimoine (architectes, conservateurs, propriétaires...) et, d'autre part, aux chantiers de charpenterie que j'ai dirigés sur l'église de Pierre Ronde depuis 1992. Cette approche théorique de l'analyse des plans

s'appuie donc sur une expérience pratique de la charpenterie, non seulement par l'observation et le relevé des charpentes conservées en élévation, le suivi de leur restauration dans le cadre des Monuments Historiques, mais aussi par l'exécution d'ouvrages en grandeur réelle à travers des chantiers expérimentaux. Avant mon intégration au CNRS, j'avais déjà dirigé trois chantiers de reconstitution de constructions à poteaux plantés du Néolithique et du haut Moyen Âge. J'ai poursuivi ces expérimentations après ma titularisation de 2007 à 2014 sur d'autres ouvrages en bois grandeur réelle sur la base de données de fouilles, tout en respectant les techniques d'exécution de l'époque concernée et la chaîne opératoire (sélection des arbres en forêt, abattage, taille des bois à la hache, levage manuel...). De ce fait, la réalisation en grandeur réelle de ces constructions à poteaux plantés, avec des équipes de 4 à 15 personnes, confrontée aux contraintes réelles du chantier, de la manutention, de la résistance des bois, du levage, des poussées architectoniques permet d'apporter des éléments de réponse quant à la faisabilité de certaines structures selon les pans d'édifices comme par exemple le levage de tierces (triples poteaux transversaux) d'un habitat d'architecture rubanée du Néolithique final ou le montage de chevrons-formant-fermes sur une construction à poteaux axiaux du haut Moyen Âge. Le respect scrupuleux de toute la chaîne opératoire dans l'exécution manuelle des ouvrages est donc primordial pour valider ou non certaines propositions de restitution théorique. De plus, toutes ces expérimentations sont basées sur une reproduction à l'identique des plans de bâtiments fouillés, en collaboration avec le responsable de fouille, et en répliquant parfois des éléments architecturaux comme des bardeaux selon des modèles conservés. Pour l'étude des charpentes gothiques, c'est la reconstitution d'ouvrages de grandes dimensions qui permettent de répondre aux questions sur la quantité de bois d'œuvre consommés, le temps de travail, le levage des fermes avec notamment la réalisation de la charpente du logis du château de Guédelon (Yonne) ou la reconstitution d'une ferme de Notre-Dame de Paris.

Ces chantiers expérimentaux tout comme les analyses des plans de fouille que j'ai menées sont alimentés à leur tour par une approche ethnoarchéologique des constructions vernaculaires en bois et des techniques traditionnelles de charpenterie du XXe siècle. Appliquée à l'architecture à poteaux plantés, elle a pour objectif de mieux comprendre les négatifs de ces architectures et aux questions de restitution dans la mesure où les modèles ethnographiques s'approchent au plus près des matériaux, des usages et des conditions de mise en œuvre de l'objet d'étude. Par un procédé d'analyse inversée qui conduit non pas du négatif au bâti mais des élévations aux traces laissées dans le sol, l'étude des constructions contemporaines à poteaux plantés permet de faire des parallèles avec les vestiges de bâtiments similaires, d'époques plus anciennes mais dont le processus dynamique de la construction, des réparations et des dégradations échappe aux archéologues. Ces négatifs sont tout autant les révélateurs d'une technologie locale, de comportements propres aux constructeurs et aux usagers, que le résultat d'une évolution propre à une architecture. Pour ces raisons, l'étude ethnoarchéologique d'un bâtiment actuel se doit de présenter une description exhaustive de la structure de celui-ci, des matériaux employés, de leurs conditions de mise en œuvre (mode de levage, outils, étapes du chantier...), de l'utilisation de l'édifice et de son évolution au cours du temps (réparations, dégradations). Elle doit également définir le contexte socio-économique dans lequel s'inscrivent son chantier, ses constructeurs et ses occupants. L'objectif de cette démarche est de fournir à l'archéologue des outils de réflexion pour mieux analyser et interpréter les négatifs au sol. Ce travail s'inscrit donc dans un cadre strictement archéologique, visant à mieux appréhender le rapport entre une structure en élévation et son négatif. Il vise également à savoir dans quelle mesure les restitutions d'élévations proposées à partir d'un ensemble de trous de poteau fouillé peuvent être crédibles au regard des exemples ethnographiques étudiés. Ces modèles doivent permettre à l'archéologue de reconnaître une élévation à partir des traces au sol, savoir quelle restitution proposer à partir d'une distribution de trous de poteau, le sens à donner à une profondeur ou un diamètre de trou de poteau, à identifier le type de charpente en fonction de la répartition des traces au sol et aussi à reconnaître les limites de cette démarche et renoncer à proposer des restitutions.

En premier lieu, cette approche s'intéresse aux constructions civiles en bois des XIXe-XXe siècles particulièrement bien documentées et conservées, le plus souvent dans des contextes agricoles (centre Bretagne, région Centre, Roumanie, Hongrie), qui véhiculent des structures et des formes héritées des siècles passés (poteaux plantés, chevrons-formant-fermes, fermes posées, assemblages à mi-bois...). Certaines techniques peuvent en effet perdurer sur le temps long sous des formes dérivées en se réfugiant dans l'architecture vernaculaire (loges, étables, petites granges...), dans des contextes ruraux plus ou moins isolés qui ont maintenu vivace une pensée technique artisanale, une pratique locale et des savoir-

faire dont les origines remontent à plusieurs siècles, voire bien plus longtemps parfois. En second lieu, l'ethnoarchéologie se consacre aux hommes et à la gestuelle des charpentiers (taille à la hache, levage manuel, mode de conception...) à travers des échanges et de témoignages oraux auprès d'entreprises artisanales et de charpentiers traditionnels. Cette approche permet de mieux comprendre les traces (taille des bois, tracés de piquage, lignage...) observées sur les bois archéologiques (tracéologie) et de mieux comprendre les processus de montage d'un ouvrage en bois à travers l'observation des manutentions sur des chantiers artisanaux, devenus rares en France mais encore pratiqués dans certains pays de l'Est en Transylvanie orientale.

Enfin, ma participation à plusieurs chantiers de fouilles archéologiques sur des sites en contexte humide, préventifs et programmés, de la période antique et médiévale (Xe-XIe s.) ont permis de collecter de précieuses données tant sur des structures architecturales (pièces de mécanisme de moulin, cloisons, pièces d'architecture, passerelles, bardeaux...) que sur des traces renseignant les techniques de taille, d'équarrissage et de débitage pour des périodes peu documentées par les textes.

2.3 Le Néolithique : des tierces aux portiques dans les méga-constructions

2.3.1 L'architecture rubanée : expérimentation du site de Nucourt (Val d'Oise)

Les premières architectures rubanées en bois du Néolithique ancien se caractérisent par leur homogénéité structurelle sur toute l'Europe centrale et occidentale de la seconde moitié du VI^e à la première moitié du V^e millénaire av. n. è.. Les maisons présentent un plan rectangulaire ou trapézoïdique de grande longueur (*Grossbau*), de 10 à 45 m, pour une largeur moyenne de 5 à 7 m, et des trous de poteaux répartis en tierces successives, c'est-à-dire trois par trois transversalement à l'axe longitudinal, indépendamment de la cloison externe (fig. 8). L'intérieur est généralement compartimenté en trois espaces (parties frontale, centrale, arrière) départagés par un « couloir » fait de deux tierces rapprochées (Coudart 1998). Si la partie arrière semble destinée au stockage de denrées, la partie médiane à l'espace de vie commune, la partie frontale montre souvent un dédoublement des poteaux destiné à une plate-forme pour servir de fenil ou de grenier.

Ce modèle d'habitation néolithique rubanée est désormais bien connu par près de deux mille plans révélés par l'archéologie, et son interprétation architecturale semble faire consensus en supposant que les poteaux portent des files continues de pannes et que les couloirs ont une fonction symbolique de cloisonnement.

En 2006, en collaboration avec Christophe Toupet, conservateur néolithicien au SDAVO, j'ai dirigé la reconstitution d'un habitat rubané de 35 m de long sur le site du « Camp de César » à Nucourt (Val d'Oise), d'après le plan de fouille de la maison d'Echilleuses (Loiret) et en se basant sur le modèle de restitution admis par toute la communauté scientifique (fig. 9). Cette expérimentation devait servir à interroger ce modèle architectural à travers le chantier de construction.

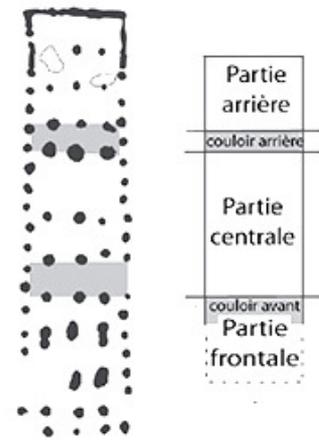


Fig. 8 : Modèle type de la maison rubanée (Coudart 2010).

Fig. 9 : Reconstitution expérimentale d'une maison rubanée, Camp de César à Nucourt (Val d'Oise), 2006.





Fig. 10 : Levage d'un poteau faitier à gauche et « couloir » à droite, Nucourt (Val d'Oise), 2006.

Entièrement fait avec des chênes prélevés sur place et un levage manuel, il s'est avéré que le montage des poteaux faitiers était particulièrement difficile (fig. 10), de même que celui de la panne faitière qui nécessitait un échafaudage, alors que leur rôle structural est somme toute restreint puisque la ligature en tête des couples de chevrons suffit à leur maintien et que très peu de charges descendent du faitage du toit. Il est aussi apparu inutile d'implanter les poteaux en tierces puisque ceux-ci se tiennent d'eux-mêmes par leur ancrage dans le sol et qu'il est possible de les lever individuellement. Les tierces correspondraient plutôt à une structure commune à ces trois poteaux qui seraient assemblés par une ou des traverses comme un portique, et que leur levage se ferait ensemble. Enfin, selon le modèle restitué et dans l'hypothèse d'un assemblage simple avec les pannes par une fourche ou une entaille ouverte, le rapprochement de deux tierces pour former un couloir pourrait s'expliquer par la nécessité de porter l'extrémité de grumes et faire leur raccord (fig. 10), en raison de la difficulté de raccorder deux pannes en tête d'un même poteau. En dehors de ce dernier point, il est apparu que le modèle commun de restitution n'était pas satisfaisant d'un point de vue mécanique et qu'il était incomplet dans sa forme actuelle.

Le décès de Christophe Toupet n'a pas permis la publication de ce travail.

2.3.2 *Les méga-constructions du Néolithique moyen et final : l'exemple des bâtiments circulaires du Goulet à Monts-sur-Orne (Orne)*

En Europe de l'Ouest, du Néolithique moyen au Néolithique final (4600-2400 av. n. è.), on voit des édifices en bois aux dimensions hors-normes, qualifiés de méga-constructions. Parmi les premiers identifiés, citons celui du site de Cottes Mailles à Aytré en Charente-Maritime de 50 x 20 m entre 4350 et 4240 av. n. è. découvert récemment (Lontcho 2021). Plus particulièrement au Néolithique final (2900-2400 av. n. è.), ce phénomène concerne des édifices de type Antran comme ceux de « Beauclair » à Douchapt en Dordogne (Fouéré *et al.* 2018) de 75 x 18 m (1350 m²), de « Vaux » à Moulins-sur-Céphons dans l'Indre (Hamon *et al.* 2018) de 130 x 18,5 m (2400 m²), de Vouillé dans la Vienne (Ollivier et Pautreau 1994) de 81 x 13 m (1053 m²), de « La Hersonnais » à Pléchâtel en Ille-et-Vilaine (Tinevez 1994) de 104 x 12 m (1250 m²). Apparaissant avec le mégalithisme, ce phénomène architectural que l'on peut qualifier de « mégaxylisme » interroge les structures et les techniques de charpenterie utilisées à cette période, notamment pour les grandes portées. Ces vastes constructions à

poteaux plantés sont situées dans un enclos palissadé et avaient vraisemblablement une fonction d'habitation collective pour une large communauté (Talon *et al.* 2018) ou pour un lignage clanique dominant (Jeunesse 2021). En Europe tempérée, une telle démesure dans l'architecture ne se retrouvera pas avant l'Antiquité romaine et uniquement dans les monuments publics en pierre. Les plus grands bâtiments en bois de la Protohistoire comme ceux des sites princiers du Hallstatt final de la Heuneburg dans le Bade-Wurtemberg ne dépassent pas 370 m², excepté le palais de Vix (Côte d'Or) qui fait figure d'*unicum* pour cette période avec 750 m² (Chaume et Mordant 2011). A la Tène finale, les constructions les plus monumentales (Fichtl 2018) comme le bâtiment de Paule (280 m²), celui de Batilly-en-Gâtinais (312 m²) ou le complexe B de Manching (252 m²) atteignent très rarement 300 m². Il faut donc attendre le Moyen Âge pour retrouver un tel gigantisme dans la construction en bois publique avec des portées de 10-12 m maximum comme par exemple les halles du XIII^e siècle de Saint-Pierre-sur-Dives (Calvados) de 1400 m² ou les charpentes de cathédrales gothiques de 100 m de long comme celle de Notre-Dame de Paris.

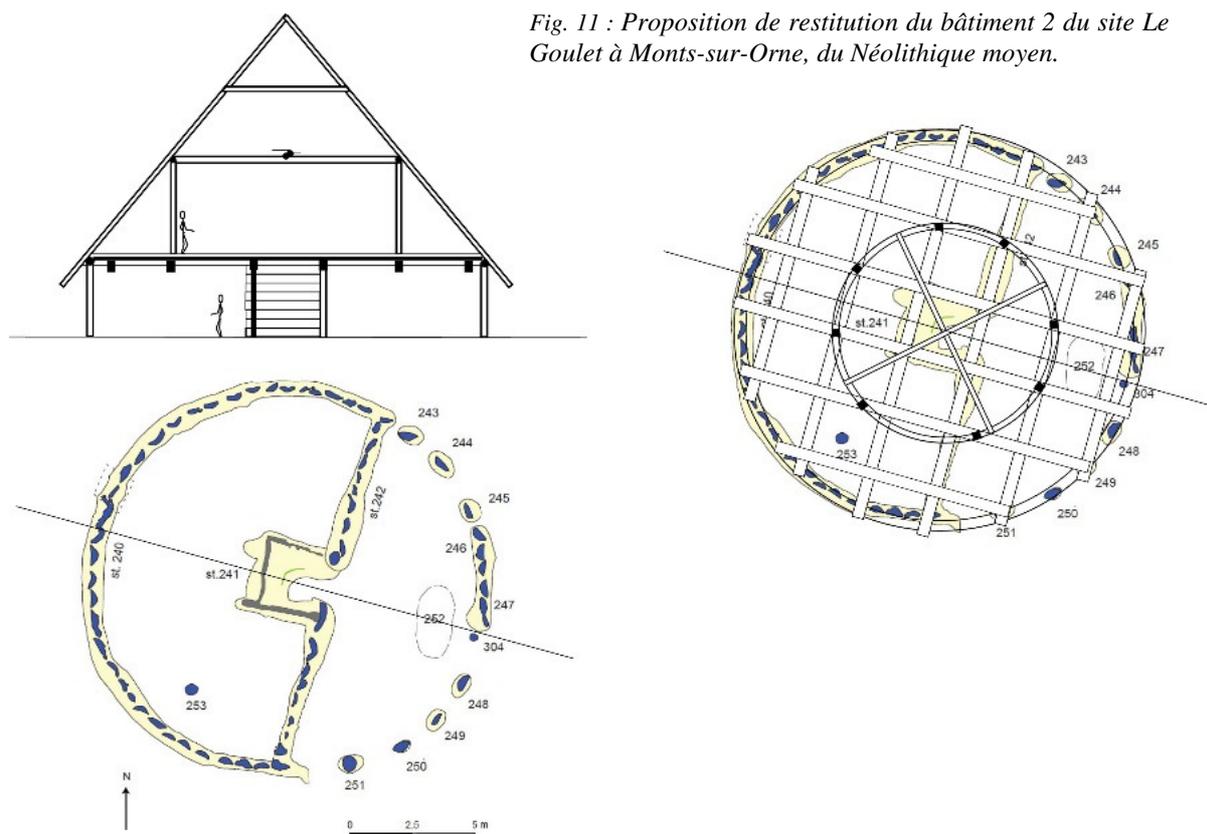
Dans le cadre de mes recherches sur l'architecture en bois des périodes anciennes, j'ai collaboré à deux projets de restitution graphique de constructions monumentales, celles du Goulet à Monts-sur-Orne dans l'Orne du Néolithique moyen (4600-3400 av. n. è.) en 2020 et celle de Pont-sur-Seine dans l'Aube du Néolithique récent (3400-2900 av. n. è.) en 2019. Il s'agit de constructions de très grandes dimensions, appartenant à cette catégorie de méga-constructions et qui avaient la particularité d'avoir un bon état de conservation des négatifs des élévations, ce qui rare pour cette période particulièrement peu documentée.

Fouillé en 2007 et 2010-2014 (dir. Cyrille Billard, SRA Normandie), le site du Goulet a révélé une vaste enceinte contenant au moins trois bâtiments monumentaux dont deux de forme circulaire de type Auneau de 15 et 16 m de diamètre. Ce type de construction circulaire sur tranchée de fondation et trous de poteaux apparaît à la fin du Néolithique moyen I ou au début du Néolithique moyen II (culture de Cerny et Chasséenne) entre 4500 et 4000 av. n. è. sur toute la moitié nord de la France. Leur plan est similaire avec des dimensions atteignant 22 m de diamètre.

Suite à une destruction par incendie, les deux bâtiments du site du Goulet ont livré de nombreux vestiges de bois carbonisés en place et de terre cuite permettant de proposer des restitutions fiables des élévations, notamment sur les types de cloisonnements, la présence d'un étage, les ouvertures. Les deux bâtiments circulaires présentaient une partie orientale ajourée avec des poteaux disjoints et une partie occidentale aux parois faites de poteaux contigus, accessible par un sas d'entrée au milieu d'une cloison transversale. Il a été proposé une restitution en tenant compte des données archéologiques avec des cloisonnements en *blockbau* pour le sas d'entrée central, un plafond de traverses orthogonales et une charpente conique sur portique avec enrayure haute.

Pour cette restitution, j'ai proposé des superstructures (fig. 11) qui s'appuient sur des modèles de constructions vernaculaires circulaires à poteaux plantés comme les habitats traditionnels des peuples amérindiens Hidasta et Pawnee d'Amérique du Nord, des maisons et temples zoulous en Afrique du Sud, Kanak de Nouvelle-Calédonie, de Bamiléké au Cameroun, des granges-étables du XVIII^e siècle de l'Oregon et de Virginie (USA), et aussi des pigeonniers et charpentes médiévales de tours circulaires. Les techniques d'assemblages sont quant à elles inspirées de celles des sociétés ayant un outillage similaire à celui du Néolithique moyen comme celui des amérindiens d'Amérique du Nord.

Fig. 11 : Proposition de restitution du bâtiment 2 du site Le Goulet à Monts-sur-Orne, du Néolithique moyen.



La restitution propose un niveau de plancher couvrant tout le rez-de-chaussée, fait de traverses entrecroisées pour servir d'appui à un portique circulaire destiné à porter le chevronnage. Celui-ci peut être raidi par des entrails retroussés, considérant que le principe de la ferme était vraisemblablement adopté. Le plancher pouvait être ajouré au centre pour le passage des fumées, avec peut-être un conduit d'évacuation.

Ce travail, réalisé en collaboration avec le responsable de la fouille, sera publié en 2021 dans la monographie consacrée à la fouille de ce site.

Billard C. (dir.) (à paraître 2021) *Le site néolithique de Goulet « Le Mont » (Orne) - environnement, architecture, société et territoire dans la Plaine d'Argentan*, SRA Normandie, Caen.

Cette collaboration fait suite à un article collectif portant sur des réflexions menées sur l'architecture domestique de cette période dans le cadre d'un ouvrage sur l'habitat du Néolithique à l'Âge du Bronze en France.

Billard et al. 2018

Billard C., Bernard, V., Blanchet S., Chamaux G., Creusillet M.-F., Epaud F., Germain-Vallée C., Ghesquière E., Grimaud V., Guyodo J.-N., Hamon T., Juhel L., Kerdivel G., Laporte L., Louis A., Marcigny C., Marcoux N., Noël J.-Y., Verjux C. - Variabilité et innovations dans les architectures domestiques du Néolithique moyen du Centre à l'Ouest de la France, *in* : Lermercier O., Sénépart I., Besse M. et Mordant C. (dir.) *Habitations et habitat du Néolithique à l'Âge du Bronze en France et ses marges*, Actes des IIe Rencontres Nord/Sud de Préhistoire récente (Dijon 19-21 novembre 2015), Toulouse, 2018 : 137-155. [hal-02158508](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02158508)

2.3.3 Les constructions monumentales de Pont-sur-Seine (Aube)

Une autre contribution sur cette problématique des grandes constructions des périodes anciennes a été réalisée en 2019 sur deux bâtiments monumentaux du Néolithique récent, fouillée en 2009 par Vincent Desbrosse (INRAP) à Pont-sur-Seine dans l'Aube (fig. 12). Les deux constructions sont matérialisées par des trous de poteau dessinant un trapèze de 27 x 20,5 m pour le bâtiment 27 et de 15 x 9,3 m pour le bâtiment 25, avec pour chacun d'eux un enclos palissadé périphérique et une distribution de poteaux internes similaire montrant une tripartition de l'espace interne. Le plus grand bâtiment montre 3 phases de reprise avec un plan initial identique à celui du second bâtiment, en plus grand. A la demande du responsable de fouille, une restitution graphique des charpentes des élévations a été réalisée d'après là aussi les données de fouilles et les techniques de charpenterie connues pour cette période.

L'intérêt du site est de présenter des plans d'une même architecture à deux échelles distinctes et avec des reprises successives dont une en sous-œuvre, qui permettent d'en déduire les superstructures.

Dès le Néolithique ancien (5500-4600 av. n. è.), la plupart des techniques d'assemblages élémentaires sont maîtrisées telles que le tenon-mortaise, le tenon-traversant, l'enfourchement, le mi-bois, le blocage par clavette et ligature (Tegel *et al.* 2012 ; Beeching 2018). Deux millénaires après, au Néolithique récent, le développement de ces techniques permettait vraisemblablement d'offrir un large éventail de structures possibles pour l'architecture monumentale. De plus, l'emploi de la hache polie, de coins et de l'herminette permettait le fendage et l'équarrissage des chênes ce qui rend techniquement possible une charpente en bois plus ou moins équarrie et assemblée.



Fig. 12 : Plan général du site de Pont-sur-seine du Néolithique récent (DAO V. Desbrosse)

En raison de l'ampleur de la construction, une structure à portiques étagés a été proposée, celle-ci étant le principe le plus simple et efficace de reprise des charges, adapté à un plan basilical de plan trapézoïdal (fig. 13). Ce système est en effet modulable tout en permettant un support du chevronnage par des pannes et une descente des charges progressive par portiques superposés via les deux files de poteaux porteurs. Les autres poteaux internes ne montent pas de fond (jusqu'au faîtage et au toit) mais à des traverses qui supposent l'existence de planchers intermédiaires (stockage de fourrage ?), en lien probablement avec une occupation hommes/animaux. Le principe de la ferme est aussi adopté ici car

nous considérons qu'elle est présente dès le début du Néolithique en tant que structure élémentaire de base des charpentes de comble. Cette proposition entérine donc l'existence de principes de charpenterie jusqu'à présent rarement mis en avant, avec surtout la réinterprétation des poteaux centraux comme supports de plancher d'étage et non comme poteaux faîtiers.

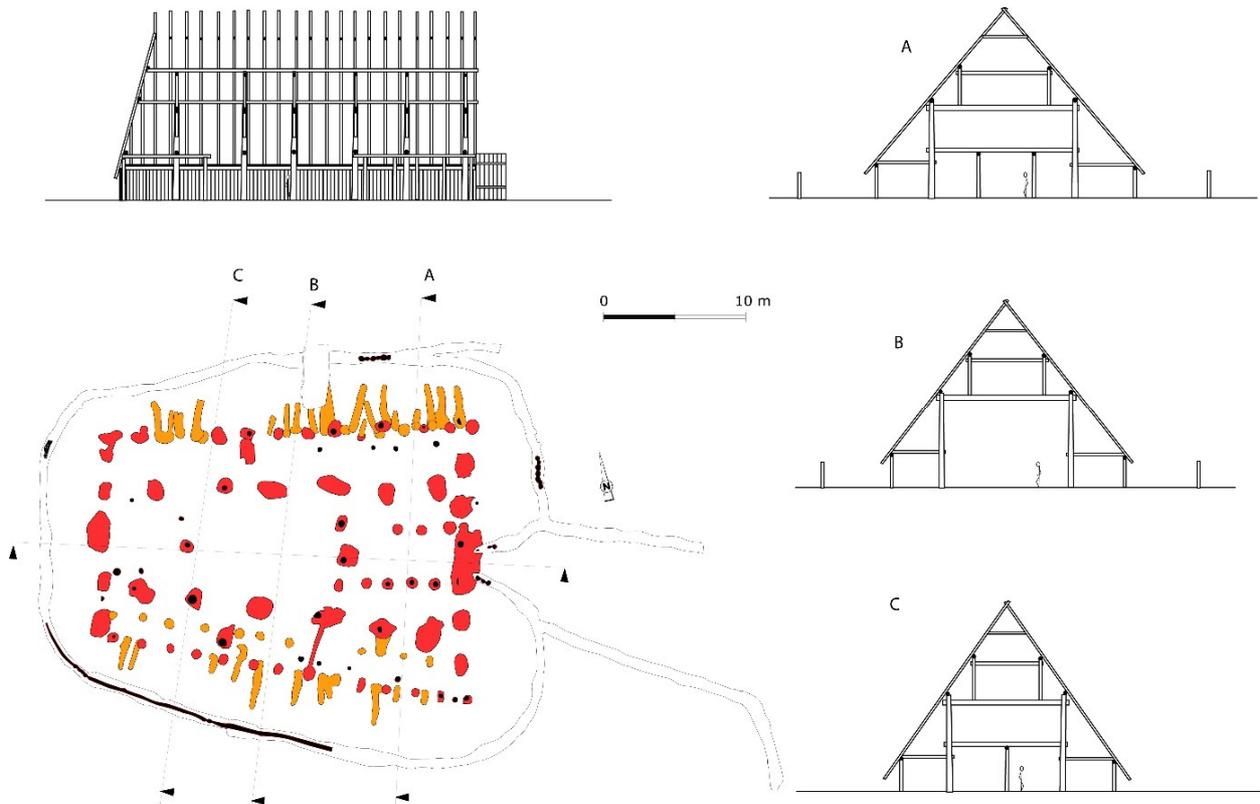


Fig. 13 : Restitution du bâtiment 27, phase 2 (en rouge), de Pont-sur-Seine (Aube).

Ce travail a aussi permis de comprendre les fosses latérales (phase 3 en jaune) du bâtiment 27 qui correspondent à un remaniement des cloisons nord et sud (fig. 14). Ce type de tranchées latérales est en effet régulièrement observé en fouille sur des constructions à poteaux plantés, quelle que soit la période. Ici, l'analyse de la distribution des trous de poteaux a permis d'interpréter ces fosses comme des reprises en sous-œuvre avec le creusement d'une tranchée pour extraire le poteau défectueux et pour remplacer ce dernier par un neuf en le basculant par sa base. Il est aussi possible par ce procédé de rajouter un poteau à côté de ceux encore en place. Les reprises du pan de bois en sous-œuvre se sont faites poteau par poteau de façon à conserver en place la sablière haute et permettre ainsi le remplacement des poteaux porteurs en maintenant l'ossature de la construction et la stabilité du bâtiment.

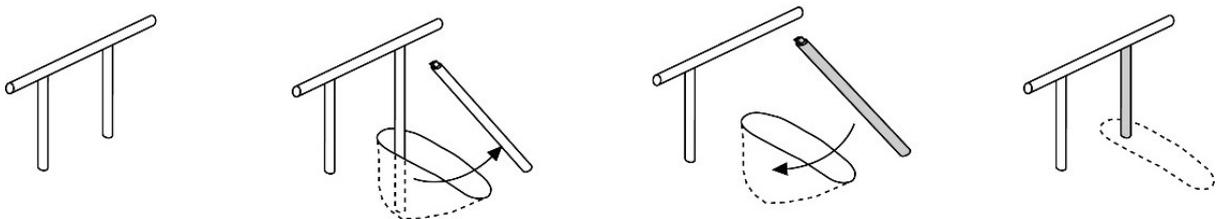


Fig. 14 : Creusement en sous-œuvre d'une fosse latérale pour l'extraction et le remplacement d'un poteau

Ce travail sera publié en 2021 :

Desbrosse, Epaud et Peltier 2021 (A paraître)

Desbrosse V., Epaud F. et Peltier V. - Deux constructions monumentales dans le système d'enceintes du Néolithique récent de Pont-sur-Seine, Le Haut de Launoy, in : *Le phénomène des enceintes dans le Néolithique du nord-ouest de l'Europe*, Actes du 33e colloque interrégional sur le Néolithique, Saint-Dié-des-Vosges, 8-9 novembre 2019 (dir. Lefranc P., Denaire A. et Croutsch C.). 2021 (A paraître).

Mes travaux de recherches sur l'architecture monumentale du Néolithique comprennent aussi une réflexion menée en 2007 sur le bâtiment du site de « Vaux » à Moulins-sur-Céphons dans l'Indre (2880-2670 BC), de 130 x 18,5 m, avec des restitutions graphiques en collaboration avec Tony Hamon (SDA Indre). Cette construction gigantesque pose en effet de sérieux problèmes de restitution avec la possibilité d'étages, des poteaux centraux de très fort diamètre (jusqu'à 1,40 m), une portée hors norme de 18,5 m, plusieurs rangées de poteaux intermédiaires, des poteaux inclinés, etc... Ce travail n'a pas pu aboutir devant la complexité de la construction et des négatifs.

2.4 La Protohistoire : fonction des poteaux axiaux ?

2.4.1 La question du poteau faîtier et de la ferme

Comme dit précédemment, il ne s'agit pas ici d'évoquer la typochronologie des architectures en bois ou l'évolution des techniques de charpenterie du Néolithique jusqu'au Moyen Âge. Ce mémoire a pour objectif de présenter des études que j'ai pu mener sur des problématiques posées notamment ici par les négatifs des constructions protohistoriques à poteaux plantés, avec l'ambition d'apporter de nouvelles clés de lecture et d'interprétation.

C'est à l'occasion du colloque de Toulouse en 2018 sur le bois et l'architecture dans la Protohistoire et l'Antiquité (dir. Lamouille, Péfau, Rougier-Blanc) que je me suis engagé dans une réflexion sur la représentation de l'architecture gauloise que la communauté scientifique partage de façon quasi unanime alors que d'un point de vue architectonique, elle soulève bien des contradictions que j'ai exposées dans une publication et plusieurs conférences.

L'architecture protohistorique en bois présente une relative diversité de constructions à poteaux plantés tant dans le plan que dans les dimensions, avec quelques particularismes régionaux. Dans la plupart des publications, la restitution des élévations des bâtiments montre un unique modèle de charpente de comble qui fait consensus auprès de tous les protohistoriens depuis un siècle (Zippelius 1953 ; Trier 1969 ; Zimmermann, 1998 ; Buchsenschutz et Audouze 1989). Ce modèle suppose que la toiture est systématiquement portée par des poteaux faîtiers et en aucun cas par des fermes (triangle formé par un couple de chevrons reliés par un entrait), ouvrant ainsi le comble sans niveau de plancher (fig. 15). Même les bâtiments ne possédant qu'un seul ou deux poteaux internes isolés ou désaxés sont restitués avec un faîtage sur poteau montant de fond. Les bâtiments sans poteau interne sont restitués aussi avec des poteaux faîtiers assemblés à la base à un entrait mais sans constituer de ferme. Si ce modèle s'avère fiable pour des petites constructions de moins de 5 m de large, il présente cependant de sérieux problèmes d'un point de vue technique, mécanique et fonctionnel pour les moyennes et grandes constructions.

Ces représentations, très largement diffusées dans les publications scientifiques et dans les reconstructions expérimentales, s'appuient essentiellement sur l'idée que la ferme a été apportée en Gaule par la romanisation (Buchsenschutz et Audouze 1989) alors même que celle-ci est attestée dès le milieu VI^e siècle av. n. è. dans des temples grecs de Sicile et d'Italie méridionale (Martin 1977, p. 112 ; Hodge, 1960).

Pour expliquer le succès du modèle à poteau faîtier, il faut prendre en compte le poids d'un certain héritage culturel avec déjà au XVIII^e siècle une reprise des auteurs latins antiques et de leur vision primitiviste des gaulois vaincus. Aux XIX^e-XX^e siècles, les habitats indigènes d'Afrique et d'Indonésie des peuples colonisés ont servi à représenter l'architecture gauloise en reprenant les mêmes archétypes architecturaux sans aucune considération du climat ni des matériaux. La diffusion de ce modèle a propagé une vision réductrice de l'habitat gaulois dont l'image caricaturale de la hutte au milieu des bois est véhiculée dans les manuels scolaires, les bandes dessinées et encore aujourd'hui dans les collèges. Cette vision sous-entend l'apport civilisationnel de la colonisation et de la romanisation, ainsi que la supériorité de l'architecture antique en pierre sur la construction en bois, de la cité sur l'habitat rural. Au XXI^e siècle, au-delà de cet héritage, ces représentations continuent de refléter une perception progressiste et évolutionniste de notre histoire qui suppose une amélioration exponentielle de



Fig. 15 : Restitution d'une maison gauloise avec poteaux faîtiers, Archéosite de Rieux-Vovestre (Haute-Garonne).

l'architecture, avec un progrès constant et continu des charpentes, en nous plaçant aujourd'hui au sommet de l'évolution, ce qui est bien évidemment une vision fantasmagorique.

Pour les moyennes et grandes constructions, la remise en question des charpentes à poteaux faitiers dépourvues de ferme s'appuie sur plusieurs objections. La première est liée à la difficulté du levage d'une charpente à poteaux faitiers car plus la portée est grande, plus le montage des poteaux, de la panne faitière et des chevrons est complexe et dangereux. Pour un édifice de 8 m de large, les poteaux faitiers atteignent 6 à 9 m de haut. La récente proposition de restitution du bâtiment de Vix (Buchsenschutz et Möttsch 2018) représente des poteaux faitiers de 14 m hors sol sans que cela ne soulève d'interrogation. Face aux difficultés du levage, la plupart des sites d'expérimentation archéologique utilisent des engins mécaniques pour le montage de ce type de construction, ce qui devrait pourtant poser question.

La deuxième objection est l'inutilité mécanique des poteaux faitiers dans le fonctionnement des grandes charpentes. Avec des pentes de toit supérieures à 45°, adaptées aux couvertures végétales et en bois, les couples de chevrons sont assemblés en tête entre eux et s'appuient l'un contre l'autre en compensant mutuellement leurs poussées respectives. De ce fait, ils n'exercent donc aucune charge verticale au faitage. Seule une traverse (entrait, entrait retroussé) est nécessaire à la base ou à mi-versant pour empêcher leur écartement et liaisonner les parois latérales. Ainsi, il n'est pas utile de mettre en place de hauts poteaux avec de lourdes faitières pour soutenir les têtes des chevrons, d'autant plus que l'essentiel des charges d'une toiture s'exerce en milieu et en pied de toiture.

La troisième objection est d'ordre ethnographique. Le modèle du poteau faitier contredit l'existence de plancher et d'étage dans le comble, comme on le voit dans la plupart des restitutions. Or, la majorité des bâtiments en question appartiennent à des établissements ruraux à vocation agropastorale, avec des architectures mixtes polyfonctionnelles qui nécessitent d'importants espaces de stockage dans les combles pour les récoltes et le foin d'hivernage. Toutes les études ethnographiques sur la maison paysanne familiale ou collective en France le démontrent (Trochet, 2006). Les planchers et les étages devaient être plus fréquents dans les constructions protohistoriques pour de simples raisons de fonctionnalité de ces espaces. La présence de foyer ouvert n'interdit pas la présence des planchers comme l'atteste là aussi l'ethnographie avec des dispositifs d'évacuation des fumées en bois et en terre fixés à la charpente lorsque le comble ne sert pas directement de fumoir.

Enfin, la dernière objection tient de l'absence de poteau faitier dans le gigantesque corpus des charpentes de grande et moyenne portée avec un toit à 45°-60°, d'époques médiévales et modernes conservées en élévation en Europe tempérée, pour la simple raison de leur inutilité mécanique. Les seuls poteaux faitiers connus sont observés dans de petites constructions vernaculaires de faible portée, sinon dans de grands bâtiments couverts d'une lourde toiture (tuiles mécaniques, lauzes) inclinée à faible pente, inférieure à 30°, dans lesquels les descentes de charges sont verticales et égales en tous points de la toiture. Hormis ces exemples, le poteau faitier appartient plus au registre des fantasmes qu'à la réalité architectonique.

En d'autres termes, les trous de poteaux axiaux identifiés en fouille dans les plans de constructions à poteaux plantés de plus de 5 m de portée devaient être limités au rez-de-chaussée et servir plutôt à soutenir un plancher via des poutres longitudinales ou transversales (fig. 16). Ces poteaux se justifieraient par le poids du plancher, sa grande portée et probablement l'utilisation de l'étage pour le stockage de lourdes charges comme des récoltes. La forte section des poteaux internes révélée parfois à la fouille n'est pas là non plus une preuve d'une grande hauteur du poteau. Elle peut s'expliquer par l'utilisation opportuniste d'un gros bois qui a été débité en plusieurs billes pour plusieurs poteaux courts. Ce cas de figure fut démontré à Pineuilh (Gironde) par la dendrochronologie sur l'habitat seigneurial du Xe siècle dont plusieurs poteaux conservés de 50 cm de diamètre provenaient en fait du débitage de mêmes troncs, ce qui a permis de revoir l'hypothèse de restitution initiale d'une tour en un bâtiment de rez-de-chaussée (Prodéo 2007 : 146). De même, l'ancrage plus profond des poteaux centraux par rapport à ceux des parois, souvent observé à la fouille, n'est pas un indice d'une plus grande hauteur. Il se justifie par le fait que ces poteaux centraux ne s'intègrent pas dans des cloisons et ne sont donc pas contreventés par des pans de bois, des liens obliques ou des sablières basses. Leur ancrage plus profond permettrait ainsi d'assurer leur stabilité, d'autant plus si l'espace est occupé en partie par des animaux.



Fig. 16 : Construction expérimentale utilisant le principe d'une charpente à chevrons-formant-fermes et des poteaux axiaux de soutien d'un plafond sur les entrails des fermes. Archéosite d'Ornavik (Cavados).

Pour les constructions rurales protohistoriques, la restitution des poteaux axiaux en soutien de plancher et non en poteaux faîtiers s'accorde davantage avec l'usage de charpentes à chevrons-formant-fermes, c'est-à-dire avec une succession de fermes rapprochées constituées chacune d'un couple de chevrons et d'un entrail à la base pour les plus simples. Ces entrails faisaient donc office de plancher pour le stockage dans le comble. Ce type de charpente, avec ou sans poteaux de soutien pour un plancher, est par ailleurs très largement répandu dans l'architecture rurale en Europe de l'Ouest et Centrale du Moyen Âge jusqu'au XXe siècle en raison de son efficacité mécanique, sa capacité de stockage dans le comble et surtout sa facilité de levage avec des fermes qui se montent une à une manuellement, à deux personnes en toute sécurité et sans effort depuis le plancher d'entrails.

Ainsi, d'après ces travaux de réflexion, le modèle des charpentes protohistoriques proposé depuis le début du XXe siècle avec des poteaux faîtiers et l'absence de ferme mériterait d'être profondément révisé pour les constructions de moyenne et grande portée. Il apparaît que les charpentes à chevrons-formant-fermes seraient plus compatibles avec la circulation des charges des grandes toitures, les usages internes des bâtiments d'exploitation agro-pastoraux et la présence de poteaux centraux de soutien d'un plancher. Face à cette possible réinterprétation architecturale, il serait nécessaire, d'une part, de reconsidérer les modalités de lecture des plans au sol en prenant plus en compte le fonctionnement mécanique des charpentes comme les questions de levage et, d'autre part, de s'appuyer davantage sur les études ethnographiques pour l'interprétation des constructions des établissements ruraux des périodes anciennes.

Cette relecture de l'architecture protohistorique en bois propose donc que la ferme, en tant que structure de charpenterie, a très vraisemblablement existé durant la Protohistoire, et que les poteaux centraux pour les bâtiments de moyenne et grande portée étaient plus vraisemblablement des éléments de soutien de plancher plutôt que des poteaux faîtiers. Cette réflexion interroge aussi les architectures du Néolithique avec les constructions rubanées du Néolithique ancien qui répondent des mêmes problématiques de lecture et d'interprétation des plans de trous de poteaux.

Ce travail a fait l'objet d'un article et de trois conférences.

Epaud 2019b

Epaud F. - Le poteau faîtière et la ferme dans l'architecture protohistorique : mythes ou réalités ? Questions autour des constructions à poteaux axiaux, in : S. Lamouille, P. Péfau, S. Rougier-Blanc (dir.) *Bois et architecture dans la Protohistoire et l'Antiquité (XVIe av. J.-C. – IIe ap. J.-C.)*. Pallas, 10. Revue d'études antiques, Presses universitaires du Mirail, Toulouse, 2019 : 175-199. ([hal-02401301](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02401301))

2.4.2 Le Palais de Vix et la possibilité des portiques

Dans le cadre de cette recherche sur l'interprétation des plans de bâtiments protohistoriques à poteaux plantés et la restitution de leur charpente, j'ai travaillé sur le bâtiment monumental de l'oppidum de Vix, sur le plateau Saint-Marcel de Vix (Côte-d'Or), communément appelé le Palais de Vix, fouillé en 2011 par Bruno Chaume (CNRS UMR 6298 ARTEHIS) et daté du Hallstatt final (525-475 av. n. è.). Considéré comme la résidence princière de l'oppidum, ce bâtiment constitue une découverte majeure pour l'architecture protohistorique. Il s'agit du plus grand édifice connu à l'heure actuelle pour la période protohistorique avec une largeur de 22,30 m pour 35 m de long, avec surtout un plan original, une péristasis (galerie périphérique), des antes (avancée des cloisons au pignon), une abside semi-circulaire et une tripartition de l'espace par trois cloisons transversales. Deux propositions de restitution des élévations ont déjà été avancées (Filgis 2011 et Buchsenschtz et Mötsch 2018) mais aucune des deux n'est convaincante en raison de leur invraisemblance architectonique avec des portées de pannes de plus de 11 m (les portées maximales sont de 5 m) et des poteaux faîtiers de 14 m de haut hors-sol, et ce malgré des modélisations numériques de calcul des charges qui visiblement ne servent qu'à valider la théorie de départ, aussi irréaliste soit-elle.

A la demande de Bruno Chaume, responsable de la fouille, j'ai proposé une nouvelle restitution à partir des données de fouilles et d'exemples ethnographiques (fig. 17). Ce travail a tenu compte des négatifs au sol, des aptitudes du matériau chêne en termes de résistance et de portées possibles, des techniques d'assemblage et de taille en vigueur au Hallstatt final, des architectures comparables sur le plan ethnographique, du contexte climatique au Mont Lassois, l'orientation du bâtiment par rapport aux vents dominants, ainsi que des possibilités de levage selon des procédés manuels pour des constructions de cette ampleur.

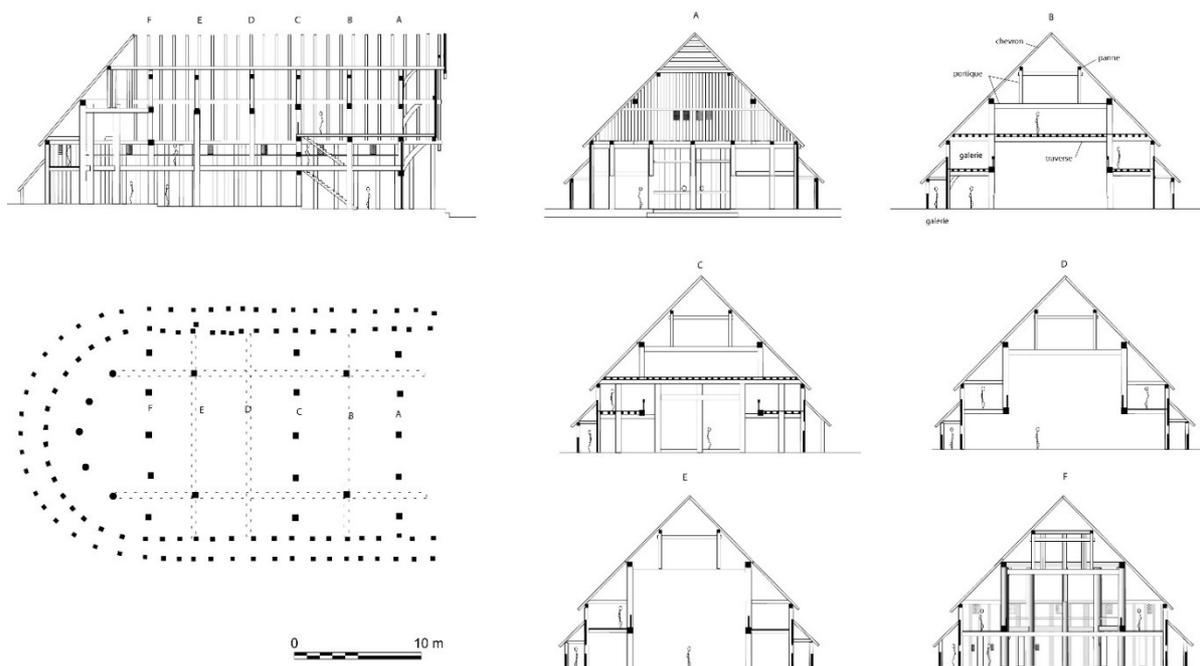


Fig. 17 : Proposition de restitution du bâtiment palatial de Vix

Plusieurs restitutions sont possibles mais l'option la plus probable suppose l'existence de portiques superposés, composés chacun de couples de poteaux réunis en tête par une traverse et portant des pannes. Les poteaux internes ne montent pas jusqu'à la toiture mais à des poutres transversales qui reprennent les charges des portiques supérieurs. Le principe des portiques étagés assure donc une répartition des charges par niveau, avec des pannes reprenant le poids du chevronnage de travée en travée.

Le système des portiques est attesté dès le VI^e siècle av. n. è. dans les charpentes des temples grecs comme à Paestum sur le temple de Poséidon (Hodge 1960, p. 3-8) sous des formes plus massives et simplifiées pour être adaptées à des toitures lourdes aux pentes très faibles. On le retrouve dans de nombreuses granges médiévales et modernes en raison de sa facilité de levage, de sa simplicité de conception et d'exécution, et de son efficacité comportementale dans la descente des charges qui est strictement compressive, sans besoin de reprise ou de compensation par la traction ou la triangulation. Il s'agit d'un principe universel élémentaire qui offre aussi l'avantage d'un montage progressif par portique entier de façon collective à 20-30 hommes pour des constructions monumentales, tel qu'on le voit au début du XX^e siècle pour les granges en Amérique du Nord (fig. 18). Ce système permet aussi de mettre en place des niveaux de planchers intermédiaires sur les premières travées et latéralement, comme d'avoir des espaces centraux ouverts.

L'article déposé en 2020 sera proposé en 2021 au bulletin de la société préhistorique française avec un texte en complément de B. Chaume.



Fig. 18 : Levage collectif d'une charpente à portique pour une grange, Minto, Canada, 1901 (©wellington county museums and archives).

Au-delà de ces résultats, j'ai toujours été bien conscient que ces études sur les architectures des périodes anciennes, notamment les analyses des plans, restent très subjectives et que le risque d'erreur d'interprétation est important. Toutefois, cet exercice intellectuel de restitution m'a incité au fil des années à changer mon regard sur les charpentes des époques médiévale, moderne et contemporaine conservées en élévation, dans la mesure où celles-ci contiennent des clefs de lecture pour mieux comprendre les négatifs des architectures à poteaux plantés. En effet, nombre de charpentes de granges peuvent laisser les mêmes négatifs que certaines constructions protohistoriques si leurs poteaux devaient être plantés en sol. Il en est de même pour une quantité d'édifices ruraux, toutes périodes confondues, tant que leur charpente reste exécutée manuellement avec des bois taillés à la hache. En termes de crédibilité des comparaisons des structures, entre la protohistoire et l'époque récente, je finis par admettre que certains types de charpentes à portiques ou à chevrons-formant-fermes, pour les plus simples d'entre eux, demeurent universels en Europe tempérée et ont été utilisées à toutes les époques en contexte rural. Ce jeu de va-et-vient comparatif entre des charpentes du Néolithique et celles de notre époque contemporaine m'a amené à reconsidérer le principe même d'une évolution progressiste et linéaire des techniques et des formes de charpenterie qui suppose que certains modèles de charpentes ont pu traverser les siècles, voire des millénaires, sans de réels changements, si ce n'est l'ancrage au sol des poteaux.

Comme évoqué précédemment en introduction, ma visite de la grotte Chauvet II en Ardèche m'avait profondément marqué et nourri ma réflexion sur la permanence des techniques sur le temps long. Sa découverte avait remis en cause notre conception de l'évolution de l'art pariétal pour admettre que très tôt, l'homme était en mesure d'atteindre le plus haut niveau de perfection et que ces techniques n'évoluaient pas de façon progressiste, linéaire et ascendante.

J'ai aussi eu l'occasion de me rendre compte de cette permanence des techniques de charpenterie sur le temps long lors de fouilles en contexte humide comme celles de Rezé en Loire-Atlantique, évoquées ci-dessous, et qui confirment l'universalité de certaines techniques de taille, de tracé, de marquage et d'assemblage sur près de 2000 ans. Dans ma démarche intellectuelle, j'ai toujours considéré que seules des fouilles en contexte humide, pouvant assurer la conservation des bois et des structures, permettraient de faire avancer la recherche dans ce domaine, même s'il faut reconnaître que celles-ci sont exceptionnelles.

2.5 L'Antiquité : techniques de charpenterie aux Ie-IIe siècles ap. J.-C.

Il ne s'agit plus ici d'aborder la question des poteaux plantés durant l'Antiquité mais d'évoquer l'étude d'un ensemble charpenté tout à fait remarquable et parfaitement conservé en contexte humide qui renseigne sur les techniques de charpenterie utilisées aux Ie-IIe siècles ap. J.-C. dans le Nord-Ouest de la Gaule.

En 2015, j'ai intégré l'équipe de la fouille programmée du port antique de *Ratiatum* à Rezé (Loire-Atlantique), dirigée par Jimmy Mouchard (MCF, Université de Nantes, UMR 6566 CReAAH – LARA) et David Guitton (INRAP, HeRMA EA 3811). Je pris la responsabilité de l'étude des bois archéologiques en dirigeant une équipe qu'il a fallu former à la fouille des bois humides, au relevé et à la xylologie. L'analyse de certaines structures en bois est toujours en cours.

Situé dans l'estuaire de la Loire, l'agglomération secondaire de *Ratiatum* se développe le long du fleuve sur environ 50 hectares à son apogée au début du II^e siècle de notre ère. Les fouilles programmées conduites depuis 2005 dans le quartier de Saint-Lupien ont permis de dégager des aménagements portuaires monumentaux édifiés à la fin du I^{er} siècle ap. J.-C. puis réaménagés jusqu'au milieu du II^e siècle. Ils apparaissent sous la forme de grandes terrasses en caisson en pierre sèche de 22 x 20 m de superficie et d'au moins 4 m de hauteur (fig. 19) construites avec une armature interne en bois de type *murus gallicus*. Cette ossature en bois est constituée de façades en pans de bois sur trois côtés, assemblées à un chaînage interne de sablières entrecroisées selon un maillage orthogonal, de poteaux et de contrefiches obliques qui s'articulaient avec un vaste bâtiment (entrepôt ?) au sommet de la terrasse (Guitton *et al.* 2014 ; 2015 ; 2016), le tout noyé dans un remplissage de pierre sèche. L'envasement du site dès le début du III^e siècle a permis la conservation de la base des caissons n° 9 et 12, livrant une quinzaine de sablières, de 6 à 9,50 m de long et de forte section, toutes encore assemblées et dont certaines étaient en réemploi, de plusieurs dizaines de poteaux, de contrefiches et des planches de bardage de 11,75 m de long pour les plus complètes.



Fig. 19 : Vue du caisson n° 9, fouille de Rezé (Loire-Atlantique), 2016 (Cl. X. Favreau).

L'état de préservation exceptionnel de ces bois gorgés d'eau a permis d'étudier les traces de leur mise en œuvre : taille à la hache et sciage, tracé des assemblages, marques en chiffres romains, estampillage des bois, encoches de levage ainsi que tous les assemblages en place et remaniés (Mouchard *et al.* 2016). De plus, leur étude a permis d'aborder les questions des ressources forestières et des modalités d'approvisionnement du chantier de Saint-Lupien. Ce lot de bois constitue, en l'état actuel des connaissances, l'un des témoignages les plus complets des techniques et des structures de charpenterie antiques en Gaule.

Ce chantier a été aussi l'occasion de mettre en place un protocole de relevés et d'analyse dendroarchéologiques (nœuds, flaches, aubiers, sens des fibres...) et xyloarchéologiques (traces d'outil, traçage, estampillage, marquages...) des bois humides assurant l'enregistrement rapide des données au fur et à mesure de leur dégagement, en raison de la fragilité des traces et de la dégradation rapide des bois à l'air libre (fig. 20). Ainsi, le chantier a pu faire l'économie de la conservation des bois, ce qui prouve qu'il est possible de fouiller d'importantes structures ligneuses en contexte humide sans pour autant envisager leur couteuse lyophilisation.



Fig 20 : Relevé d'une sablière basse du caisson n°12 (Cl. J.Mouchard).

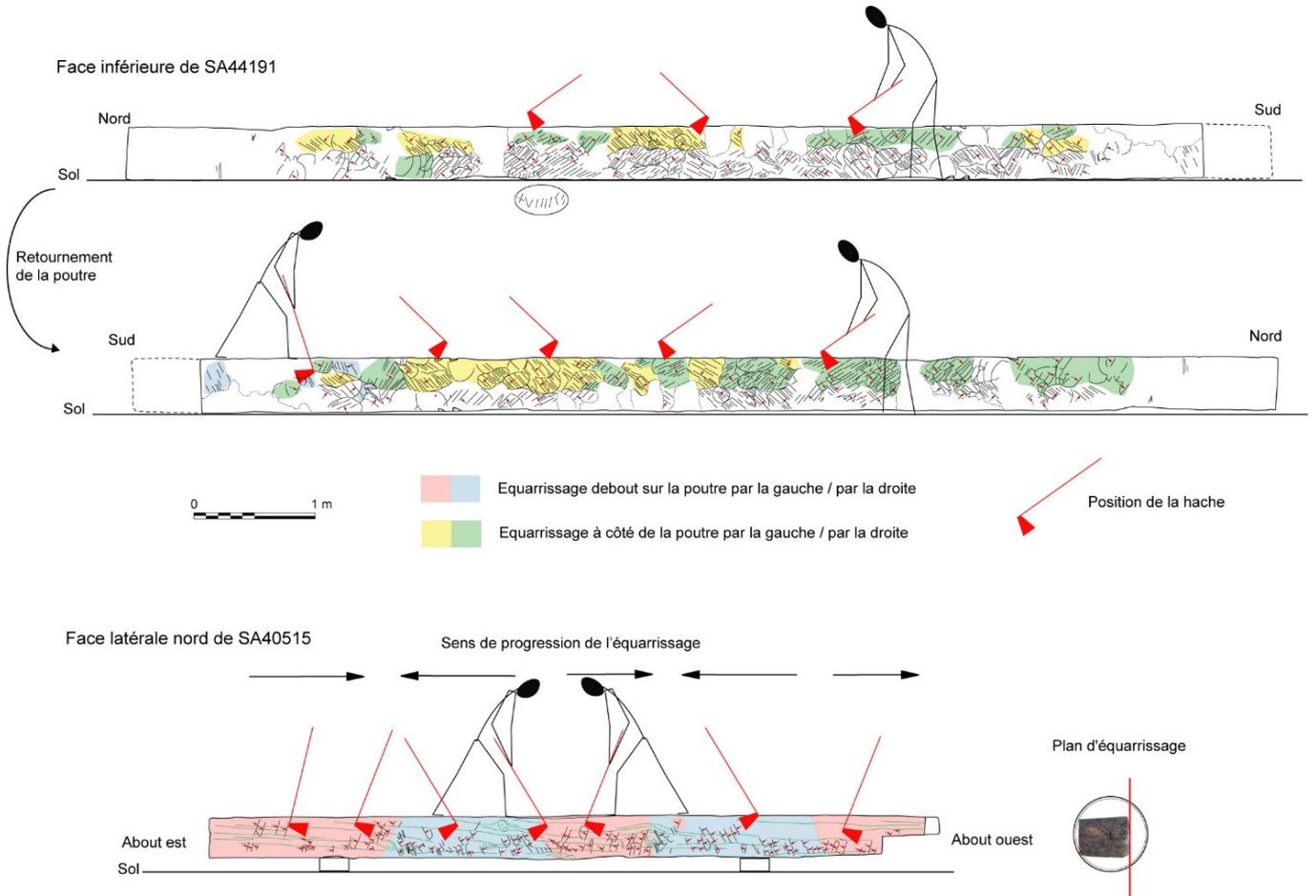
Le relevé de toutes les traces de façonnage des bois a permis d'identifier une grande diversité des techniques de taille : équarrissage à la hache, délignage et débitage à la scie de long selon les diamètres des grumes. Grâce à l'analyse tracéologique, le mode opératoire de l'équarrissage de chaque poutre a pu être identifié, en restituant la forme de la hache (longueur du manche, largeur du tranchant), la position des charpentiers (debout, agenouillé, sur ou à côté de la pièce, droitier ou gaucher), leur progression le long de la pièce, leur niveau de compétence selon la qualité de la taille (régularité et précision des coups), le nombre de charpentier par poutre, et ainsi avoir une vision indirecte mais précise des opérations de taille des grumes (fig. 22). Il a pu être démontré que certaines grosses poutres ont été équarrées en deux passes : une première sur la partie supérieure des faces latérales puis, après retournement de la poutre, sur la moitié restante repositionnée en haut de la face latérale, pour limiter la pénibilité du travail. D'autres ont été façonnées sans retournement mais toujours avec une alternance des coups donnés par la droite ou la gauche de façon à répartir la fatigue sur chaque bras, quand elle n'est pas dictée par l'inversion des fibres ou la présence d'un nœud. Pour certains bois, il a été possible d'identifier des différences de gestuelle d'équarrissage entre charpentiers, selon leur niveau d'expérience (fig. 21) et de reconnaître ainsi la « main » des opérateurs pour le façonnage de plusieurs poutres.

Le relevé de toutes les traces de façonnage des bois a permis d'identifier une grande diversité des techniques de taille : équarrissage à la hache, délignage et débitage à la scie de long selon les diamètres des grumes. Grâce à l'analyse tracéologique, le mode opératoire de l'équarrissage de chaque poutre a pu être identifié, en restituant la forme de la hache (longueur du manche, largeur du tranchant), la position des charpentiers (debout, agenouillé, sur ou à côté de la pièce, droitier ou gaucher), leur progression le long de la pièce, leur niveau de compétence selon la qualité de la taille (régularité et précision des coups), le nombre de charpentier par poutre, et ainsi avoir une vision indirecte mais précise des opérations de taille des grumes (fig. 22). Il a pu être démontré que certaines grosses poutres ont été équarrées en deux passes : une première sur la partie supérieure des faces latérales puis, après retournement de la poutre, sur la moitié restante repositionnée en haut de la face latérale, pour limiter la pénibilité du travail. D'autres ont été façonnées sans retournement mais toujours avec une alternance des coups donnés par la droite ou la gauche de façon à répartir la fatigue sur chaque bras, quand elle n'est pas dictée par l'inversion des fibres ou la présence d'un nœud. Pour certains bois, il a été possible d'identifier des différences de gestuelle d'équarrissage entre charpentiers, selon leur niveau d'expérience (fig. 21) et de reconnaître ainsi la « main » des opérateurs pour le façonnage de plusieurs poutres.

Fig 21 : Différences de gestuelle d'équarrissage entre deux faces opposées d'une même sablière (SA40714-SA40790), montrant la présence de deux opérateurs distincts pour son façonnage.



Fig. 22 : Relevé tracéologique de la face inférieure de la sablière SA44191 et de la face latérale nord de la sablière SA40515.



Outre l'emploi du sciage de long manuel et mécanique pour le délignage-débitage de plusieurs grumes de fort diamètre, l'une des sablières du caisson n°9 a livré des traces d'un sciage exceptionnel sous la forme de stries semi-circulaires très rapprochées qui témoignent de l'usage d'un engin mécanique doté d'un disque circulaire denté de 0,48 m de diamètre en rotation très rapide, caractéristiques d'une scie circulaire. Il s'agit du plus ancien témoignage connu de ce type d'engin dont l'origine est attestée seulement à la fin du XVIIIe siècle en Europe.

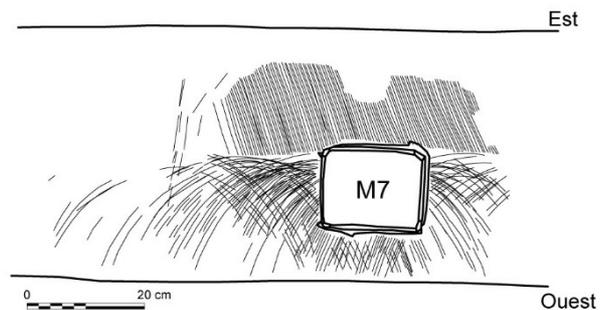


Fig. 23 : Photo et relevé des stries circulaires sur la sablière SA44191.

Ce travail a mis aussi en lumière les différentes opérations de tracés de piquage, de lignage et de marquage des assemblages. Ces tracés sont ici exceptionnellement bien conservés, sous la forme d'incisions à la pointe métallique ou d'encoches aux arêtes pour délimiter les dimensions des mortaises et des tenons à tailler. Hors architecture navale, il pourrait s'agir des seuls témoignages connus pour la période antique des techniques préparatoires de mise en œuvre d'une charpente. De même, les marques d'assemblages sont presque toutes conservées, avec plusieurs numérotations complètes allant jusqu'à XXIII maximum, montrant deux techniques : l'une utilisant le système cumulatif de traits où la quantité de traits a valeur de chiffre, la seconde en chiffres romains en numérotation continue mais avec une écriture des signes aléatoire, tant dans le sens d'inscription du V qui peut être retourné ou incliné, que dans l'ordre successif des X, V et I.



Plusieurs types d'assemblage ont été inventoriés dont certains assez remarquables comme des entures pourvues d'un tenon-mortaise pour les sablières basses (fig. 24) ou des croisées droites à mi-bois pour les angles des caissons. Enfin, certains indices ont permis de suggérer les étapes du levage des structures en bois des caissons avec des engins de type grue en raison du poids des pans de bois de plusieurs tonnes à dresser.

Fig. 24 : Enture droite à tenon-mortaise des sablières basses du caisson 9, avec leurs mortaises de section carrée pour les poteaux.

Ce travail a surtout révélé d'importants problèmes de pénurie en bois d'œuvre de qualité sur ce site. Les pièces sont en effet en majorité taillées dans des chênes surdimensionnés, noueux, trapus, au fil tors et aux croissances rapides qui évoquent des coupes dans des taillis-sous-futaies ou des futaies ouvertes dégradées. De plus, la pratique généralisée du réemploi, la diversité des profils anatomiques (diamètres, croissances), leur débitage à la scie et leur suréquarrissage parfois à cœur à la hache montrent qu'à la fin du Ier siècle apr. J.-C. les ressources forestières aux alentours de *Ratiatum* ne permettaient plus d'approvisionner le chantier en bois d'œuvre de qualité, de droit fil, sans nœud et au diamètre parfaitement adaptés aux besoins des charpentiers. Les nombreux bois estampillés illustrent des commandes passées à des ateliers extérieurs probablement pour compléter les approvisionnements. Pourtant, les bois pouvaient être acheminés par voie fluviale depuis des réserves forestières plus lointaines. L'importance des moyens mis en œuvre pour ce chantier monumental et surtout les difficultés d'approvisionnement en bois de qualité expliquent en grande partie la mécanisation du débitage pour limiter les pertes et gagner en rapidité de travail. Plusieurs poutres montrent en effet des traces de délignage et de débitage manuel à la scie de long tandis que les grandes planches du bardage en façade des caissons sont toutes issues d'un débitage mécanique de type scie battante d'un moulin hydraulique. Ces données dendrologiques complètent d'autres études (Bernard 2003) qui montrent du Ie au IVE siècle apr. J.-C. dans le Nord-Ouest de la Gaule un appauvrissement du potentiel ligneux, d'une surexploitation des massifs forestiers en taillis à courtes révolutions autour des centres urbains et donc de choix techniques en réponse à la dégradation des ressources forestières, comme on l'observe sur le site de Saint-Lupien à Rezé/*Ratiatum*.

En 2020, un diagnostic archéologique réalisé par l'INRAP dans le centre de Rezé le long de l'avenue de Lattre de Tassigny a permis de dégager sur une surface de 200 m² la prolongation des aménagements portuaires fouillés au quartier Saint-Lupien situés à 200 m. Il est apparu dans des niveaux humides des structures similaires avec un caisson de plate-forme portuaire constitué d'une ossature de grosses poutres entrecroisées, de poteaux avec un remplissage de dalles de schistes.

L'INRAP a donc fait appel à moi pour la fouille et l'étude des bois à la faveur de la convention INRAP-CRNS afin de bénéficier des compétences acquises lors de la fouille de Saint-Lupien. Cette convention me permettait de travailler sur le chantier en étant défrayé par l'INRAP pour mon hébergement et de

mes déplacements. A la faveur de cet accord, j'ai obtenu aussi le recrutement d'un CDD pour toute la durée du chantier et du post-fouille pour me seconder et que je pourrai ainsi former aux techniques de relevé tracéologique, d'études et de prélèvement des bois gorgés d'eau. Je fis recruter ainsi Pierre Péfau qui venait de soutenir sa thèse en mars 2021 à Toulouse sur la construction en bois dans les agglomérations du Second âge du fer en Gaule interne. La fouille s'est effectuée en juin-juillet 2021 sous la direction de Marie-Laure Hervé (INRAP), et a permis de mettre au jour un caisson de quai portuaire très bien conservé d'une structure différente de ceux de Saint-Lupien, avec de nombreuses sablières parallèles, des assemblages inédits particulièrement complexes, des marques d'assemblage originales et une poutre estampillée.

Grâce à la formation que j'ai pu dispenser à Pierre Péfau, celui-ci a pu être recruté par l'INRAP sur la fouille préventive d'un quai médiéval en contexte humide, en Vendée pour l'automne 2021, en tant que responsable de l'étude des bois.

Personnellement, outre la découverte de ces structures, la réussite de ce chantier a été de pouvoir transmettre mes compétences à un jeune docteur en archéologie, déjà rompu aux techniques de fouille, sur le terrain et en contexte préventif.

Plusieurs articles et rapports ont été produits :

Articles :

Epaud 2020b

Epaud F. - Étude tracéologique des bois de construction du port romain de Saint-Lupien à Rezé/*Ratiatum* (Loire-Atlantique), in : J. Mouchard et D. Guitton (dir.) *Les ports romains dans les Trois Gaules. Entre Atlantique et eaux intérieures*, Gallia - Archéologie des Gaules, CNRS Éditions, 77.1, 2020 : 141-154. [\(hal-03173314\)](#)

Mouchard et al. 2020

Mouchard J., Guitton D., Monteil M., Favreau X., Ménez N., Yagger M. et coll. - Le port romain du quartier de Saint-Lupien à Rezé/*Ratiatum* (Loire-Atlantique) : origine et évolution, in : J. Mouchard et D. Guitton (dir.) *Les ports romains dans les Trois Gaules. Entre Atlantique et eaux intérieures*, Gallia - Archéologie des Gaules, CNRS Éditions, 77.1, 2020 : 67-97. [\(hal-03173252\)](#)

Mouchard, Guitton et Epaud 2017

Mouchard J., Guitton D. et Epaud F. - Le port romain de Rezé/*Ratiatum* (Loire-Atlantique) et ses infrastructures à pan de bois, in : *La Loire et ses terroirs*, n° spécial Géoarchéologie fluviale, février 2017 : 66-70. [\(hal-01801248\)](#)

Mouchard, Epaud et Guitton 2016

Mouchard J., Epaud F., Guitton D. - Entre fleuve et océan, les quais à pans de bois du port antique de Rezé/*Ratiatum* (Loire-Atlantique), in : C. Sanchez et M.-P. Jézégou (dir.) *Les ports dans l'espace méditerranéen antique : Narbonne et les systèmes portuaires fluvio-lagunaires*. Actes du colloque (Montpellier, 22-24 mai 2014), Revue Archéologique de Narbonnaise, supplément n°44, 2016 : 247-262. [\(hal-01801094\)](#)

Rapports inédits :

Epaud 2021b (A paraître)

Epaud F. – Etude tracéologique des bois, in : Guitton D., Mouchard J., Favreau X., Ménez N., Yagger M. : *L'agglomération antique de Rezé (Loire-Atlantique). Le quartier Saint-Lupien*, Rapport final de fouille programmée, SRA Pays de la Loire, CNRS - CITERES, LAT UMR7324, 2021.

Epaud 2016a

Epaud F. - Etude tracéologique des bois, in : Guitton D. et Mouchard J. (dir.) – *L'agglomération antique de Rezé (Loire-Atlantique), le quartier Saint-Lupien*, Rapport 2015 de fouille programmée, SRA Pays de la Loire. CNRS - CITERES, LAT UMR7324, 2016 : 163-197. [\(hal-01802129\)](#)

Epaud 2015b

Epaud F. - Etude archéologique des bois : test de tracéologie sur le caisson CAI 12, in : Guitton D. et Mouchard J. (dir.) – *L'agglomération antique de Rezé (Loire-Atlantique), le quartier Saint-Lupien*, Rapport intermédiaire 2014 de fouille programmée, SRA Pays de la Loire, tome 2, CNRS, CITERES-LAT. 2015 : 29-72. [\(halshs-01249284\)](#)

2.6 Le haut Moyen Âge

Les problématiques d'ordre architectural sur la restitution des constructions à poteaux plantés du haut Moyen Âge sont similaires à celles sur la Protohistoire tant les négatifs des bâtiments en bois et le contexte technique et environnemental sont proches (outils, techniques de taille, moyens de levage, disponibilité en bois d'œuvre...). Hormis la période gallo-romaine, il n'existe en effet pas de différence dans l'outillage de charpenterie entre les âges des Métaux et le haut Moyen Âge, et même jusqu'au XIV^e siècle où la scie de long commence à se diffuser.

Mes travaux interrogent les traces au sol, les négatifs des bâtiments à poteaux plantés et cherchent à trouver des propositions de restitution les plus fiables possibles. Pour y répondre, j'ai développé une approche ethnoarchéologique à travers l'étude de bâtiments à poteaux plantés conservés en élévation et aussi celle de constructions atypiques comme les loges à toiture posée au sol qui interpellent quant à leur probable existence au haut Moyen Âge. L'approche expérimentale est aussi abordée par la reconstruction de bâtiments fouillés à partir de leurs négatifs. Ces travaux permettent ainsi d'aborder la structure des architectures disparues ainsi que d'autres sujets connexes comme la durée de vie des poteaux plantés, leur comportement mécanique, leurs modalités de levage comme celle des charpentes de comble, les couvertures (bardeaux, roseaux), etc... Enfin, mes travaux abordent aussi l'analyse des plans des constructions en bois ainsi que leur fouille archéologique.

Les dernières constructions à poteaux plantés des XI^e-XII^e siècles revêtent un intérêt particulier puisqu'elles marquent le passage à l'architecture sur solin de maçonnerie alors même que les plus anciennes charpentes de comble conservées en élévation datent précisément de cette période. Elles permettent ainsi de proposer avec une certaine crédibilité des modèles de restitution de comble pour des constructions à poteaux plantés.

2.6.1 L'approche ethnoarchéologique

Cette approche vise à étudier des techniques de construction contemporaines afin de mieux comprendre celles des périodes anciennes. Elle consiste à réaliser des études du bâti de constructions rurales des XIX^e-XX^e siècles dont les techniques sont proches de celles du Moyen Âge, et à collecter des témoignages oraux/écrits renseignant leur mise en œuvre, leur entretien et leurs usages. Elle s'attache aussi à observer des activités constructives traditionnelles comme l'équarrissage à la hache, le tracé d'une épure ou le levage manuel d'une structure afin de mieux comprendre le chantier de mise en œuvre des architectures passées.

Dans mon parcours professionnel, cette approche ethnoarchéologique est directement liée à deux voyages que j'ai réalisés en 2002 et 2005 dans la région de Maramures en Roumanie. Lors du premier voyage, j'ai participé à un chantier de réfection d'une toiture en essentes d'une église en bois et le second a été consacré à une prospection des constructions traditionnelles. Dans le Maramures, région rurale fortement boisée de la Transylvanie orientale, toutes les constructions paysannes ainsi que les églises sont en bois avec des charpentes en tous points identiques à celles édifiées aux XI^e-XIII^e siècles en France septentrionale, avec des chevrons-formant-fermes non contreventées, des fermes romanes à entrain à la base, des assemblages à mi-bois et des bois équarris à la hache, voire à l'état de grume (fig. 25). La technique du poteau planté y est aussi répandue (fig. 26) même si la plupart des bâtiments utilisent plutôt le principe constructif du *blockbau*, avec des poutres horizontales empilées, qui est la technique la plus répandue en Europe Centrale et de l'Est, et peu diffusée en France dans l'état actuel des connaissances. La survivance de ces techniques médiévales, héritées probablement de périodes plus anciennes, est liée à des pratiques agro-pastorales, des traditions et des modes de vie qui ont su se maintenir pendant des siècles dans ces régions montagneuses, en étant épargnées par les révolutions culturelles et techniques. Cette région est un véritable conservatoire des techniques et des savoir-faire constructifs médiévaux.

Ces voyages d'étude m'ont permis de constater que deux types de charpentes de comble sont utilisés : les structures à portiques et les chevrons-formant-fermes. Aucune charpente à poteau faitier n'a été observé. La diffusion de ces deux modèles s'explique par leur facilité de conception, de réalisation et de

levage, parfois par les paysans eux-mêmes. Dans les chevrons-formant-fermes, l'absence de contreventement répond d'un levage manuel des fermes par leur montage successif les unes après les autres avec une fixation provisoire dans l'attente de la pose du lattis de couverture qui suffit au raidissement de la charpente. Le levage est ainsi rapide, facile et réalisable avec peu de moyens. De nombreuses autres techniques ont été observées tels que le cloisonnement à poteaux rainuré et planches bouvetées, le débord du toit par la fixation des fermes sur sablière en porte-à-faux, la couverture en paille empilée d'un mètre d'épaisseur, des hottes de cheminée et bois et torchis, des escaliers en poutre évidée, le *blockbau* en poutre d'un mètre d'épaisseur, ou encore des fenils à toiture coulissante similaires en tous points à ceux observables dans l'iconographie médiévale.

Si ces données n'ont pas été publiées spécifiquement, l'apport scientifique de ces voyages n'a cessé depuis d'alimenter la plupart de mes travaux de recherche.



Fig. 25 : Charpente à chevrons-formant-fermes d'une grange du XXe s., avec une indépendance des fermes, des assemblages à mi-bois et des bois à peine équarris, Baia Mare, Roumanie.



Fig. 26 : Construction à poteaux plantés avec charpente à chevrons-formant-fermes, Barsana, Roumanie.

Dans cette approche ethnoarchéologique, mes recherches se sont portées de 2007 à 2009 sur un type de construction appelée loge, sur un territoire situé à la limite du Maine-et-Loire et de l'Indre-et-Loire (fig. 27). Construites au sein des fermes jusque dans les années 1970 avec des perches en châtaignier ou de pin et des poteaux en chêne ou en acacia, ces loges couvertes en bruyère servaient d'atelier, de bûcher, de resserre ou de remise pour les chariots. Elles ont la particularité d'employer des techniques singulières pour l'époque contemporaine (poteaux plantés, poteaux inclinés, fermes posées au sol, sol excavé, couverture en bruyère...) qui témoignent d'une survivance résiduelle dans l'architecture vernaculaire de modes constructifs anciennement répandus.



Fig. 27 : Grande loge à Champchevrier, Cléré-les-pins, Indre-et-Loire, 1970 (Cl. Toulier B.)

A l'issue d'une prospection de cinq mois, ce travail a permis d'inventorier une cinquantaine de bâtiments pour la plupart très dégradés, de relever archéologiquement une dizaine d'entre eux et de récolter des témoignages oraux de des constructeurs encore vivants et des témoins oculaires de leur mise en œuvre et de leur utilisation. L'étude a révélé que, sur ce territoire, plusieurs techniques constructives ont été utilisées pour des loges de dimensions variables, allant de 7 x 6 m à 30 x 10 m.

Le type le plus répandu est la loge à fermes posées au sol, le plus souvent à abside (fig. 28). Sa structure à chevrons-formant-fermes est constituée d'une succession de fermes faites d'un couple de chevrons raidis par un entrain retroussé et un faux entrain. Les chevrons sont plantés en sol en s'appuyant sur une pierre plate enterrée dans un talus périphérique. Leur contreventement est assuré par le lattis et une perche ligaturée en oblique. Sur la moitié de la loge, les entrains retroussés servent de niveau de stockage pour entreposer du matériel, ce qui explique la présence de poteaux axiaux de soutien.

En simulant un abandon et un arasement du sol (en bas sur la figure), on reconnaît un plan de bâtiment bien connu en archéologie, quelles que soient la période et la région, à l'image du célèbre habitat du Bronze ancien final fouillé à Nola (Campanie, Italie), dont la base de la charpente a été conservée par les dépôts pyroclastiques de l'éruption du volcan Somma-Vésuve (Albore Livadie 2011). Toutefois, les restitutions proposées sont éloignées du modèle de cette loge, avec des poteaux faîtiers, une absence de fermes et de plancher.

Ce type de charpente s'observe aussi sur des loges de grandes dimensions comme la grange-étable d'Echemiré dans le Maine-et-Loire (fig. 29), de 30 m de long, de 10 m de large et 12 m de haut, avec des chevrons faits de chênes de 14 m de long, d'un

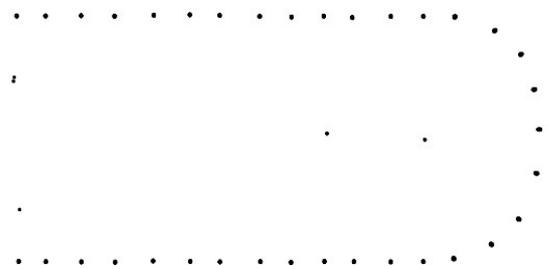
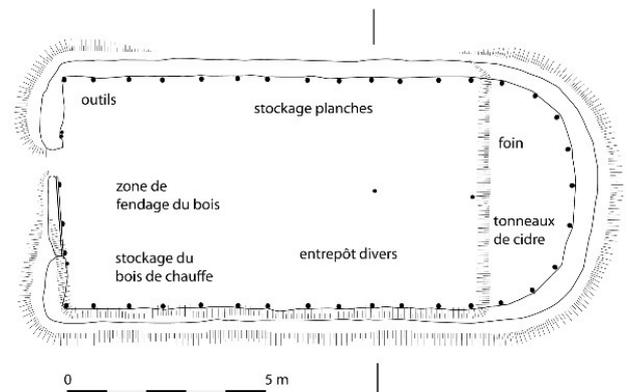
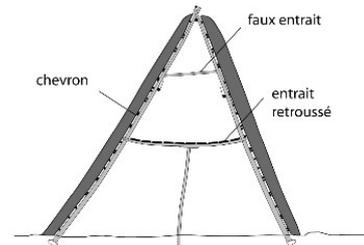
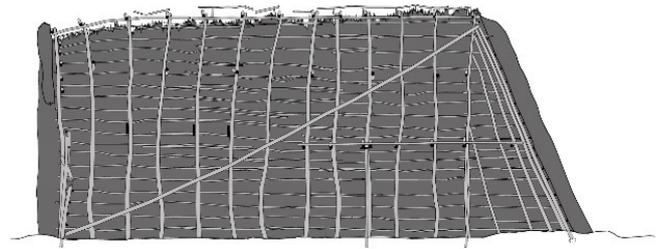


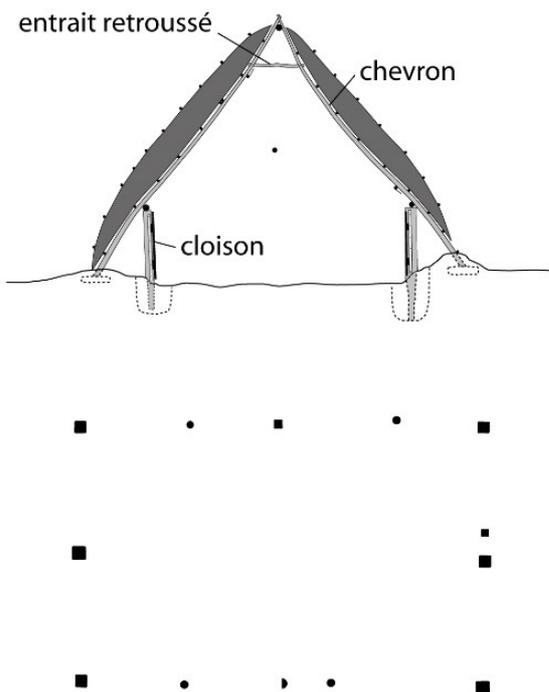
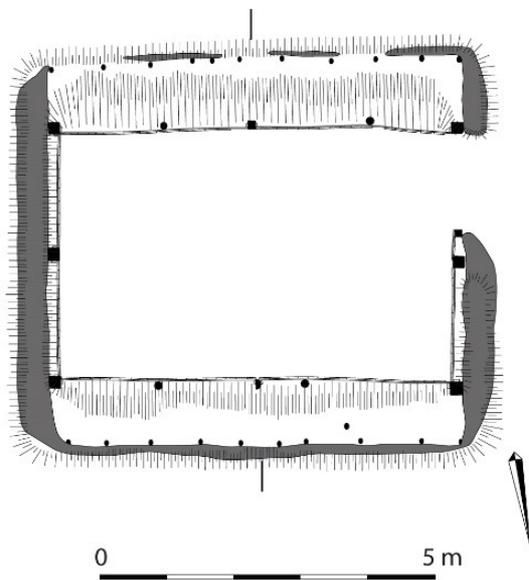
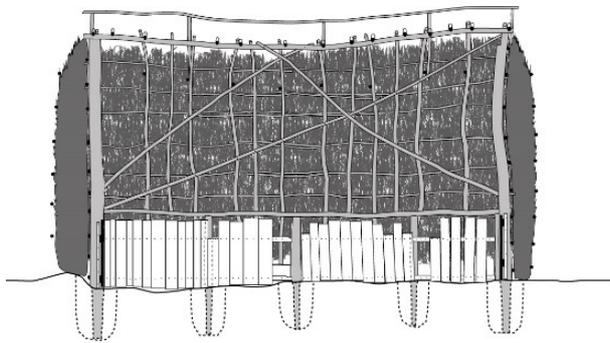
Fig. 28 : Ambillou (37), *La Chaussée*, 2008

mètre de diamètre plantés en sol sur un mètre de profondeur selon un plan trapézoïdal comme dans l'architecture néolithique rubanée. On y observe aussi des doubles trous de poteaux, comme là encore de nombreux exemples archéologiques du rubané, destinés les uns pour les fermes, les autres pour un portique destiné au plancher de stockage du foin à l'étage.



Fig. 29 : Grande loge d'Echemiré (49), Rigné. 1982 (Cl. Invent. Patrimoine Maine-et-Loire)

Il est utile de noter que ce grand bâtiment a été construit à la main, seulement par le fermier et son fils vers 1970, ce qui permet de relativiser les moyens humains nécessaires à l'érection de ces grands édifices.



Des variantes existent avec des cloisons internes, comme dans la loge de la Girardière à Ambillou dans l'Indre-et-Loire, à vocation d'étable (fig. 30). Ces cloisons faites de poteaux plantés, d'une sablière haute et de planches servent à raidir la partie inférieure des fermes ancrées superficiellement au sol dans un talus périphérique, ce qui permet de libérer les fermes de leur entrait retroussé et de dégager le volume tant en assurant une meilleure isolation. A noter que son sol est excavé.

Il est intéressant là aussi de constater qu'un décapage du sol sur 20-30 cm ferait disparaître les traces des chevrons pour ne laisser que les trous de poteaux de la cloison interne (en bas sur la figure), ce qui entrainerait une restitution des élévations d'après ces seules traces, avec une toiture portée par la cloison, et non avec des fermes posées au sol, bien loin de l'original.

Fig. 30 : Vue, Coupes et plans de la loge de La Girardière à Ambillou (Indre-et-Loire), 2008. En bas à gauche, une simulation d'érosion du sol entraînerait la disparition des négatifs des chevrons et donc une restitution erronée des élévations, avec une toiture posée sur cloison et non au sol.



Un autre type de loge présente une charpente à chevrons-formant-fermes portée par une cloison à poteaux plantés et une abside semi-circulaire comme celle de la Giberdière à Ambillou en Indre-et-Loire (fig. 30), destinée à la vinification et relevée dans un état de dégradation avancée. Sa croupe absidiale, faite de perches ancrées au sol dans un talus périphérique, ne laisserait aucune trace visible en contexte de fouille archéologique, et ne serait pas proposée en restitution.

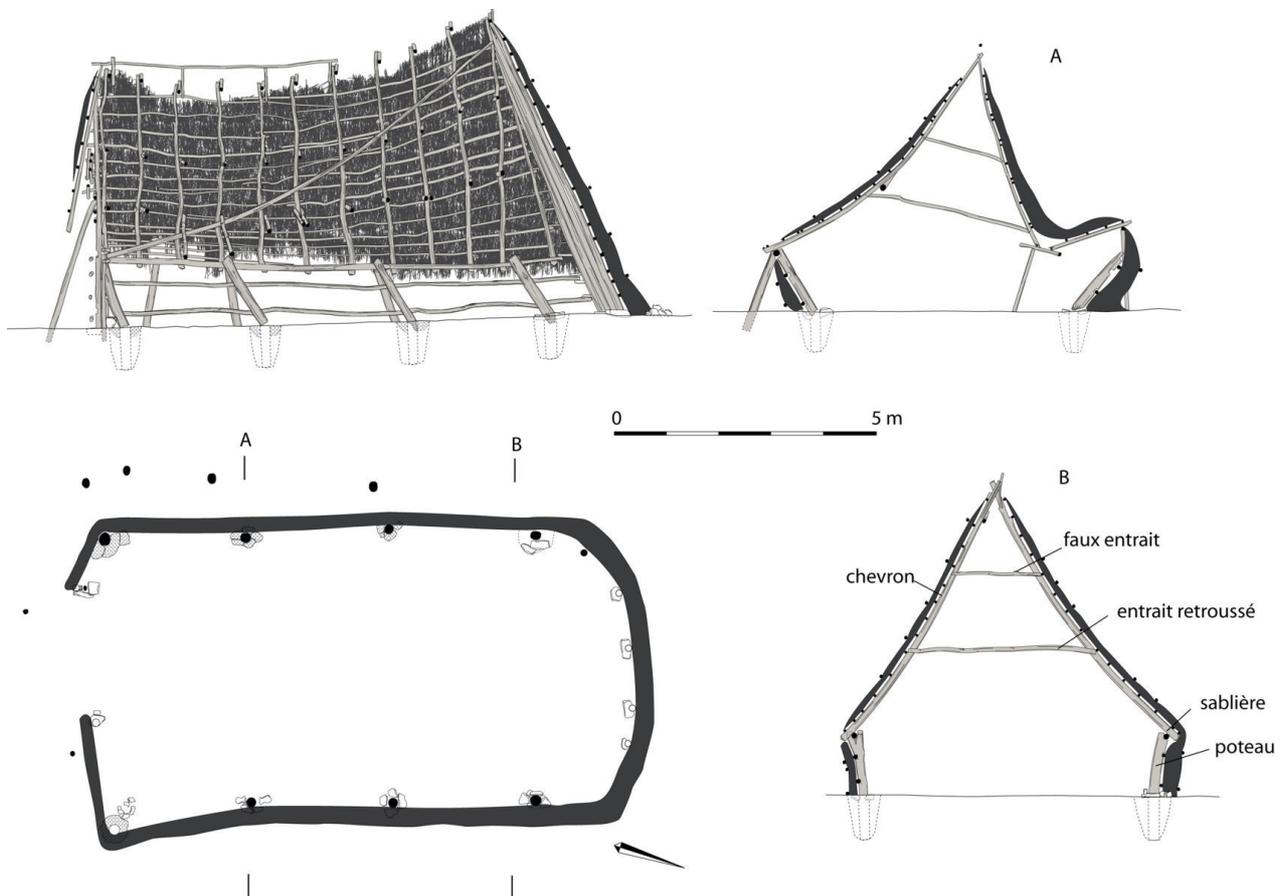


Ce modèle architectural montre que la répartition des poteaux plantés selon une trame régulière avec des poteaux se faisant face ne signifie pas nécessairement que des fermes principales y étaient fixées, comme le proposent généralement en archéologie les restitutions à partir de ces négatifs. La charpente à chevrons-formant-fermes est ici indépendante des poteaux avec une succession de fermes identiques à entrain retroussé et faux entrain. La trame régulière des poteaux ne sert ici qu'à répartir les charges de façon homogène.

Dans ce type de construction, le fait de planter les poteaux à un mètre de profondeur sert à lutter contre les poussées latérales générées par les fermes qui sont dépourvues d'entrait à la base et qui ont donc tendance à s'écartier. Les poteaux obliques rajoutés tardivement au sud-ouest servaient à contrebuter la cloison qui se déversait, du fait notamment de l'emploi inhabituel du châtaignier pour les poteaux qui se sont logiquement dégradés.

Ainsi, nous avons peut-être ici une des réponses possibles quant à l'enterrement des poteaux, à savoir stabiliser la structure du fait de chevrons-formant-fermes dépourvus d'entrait, pour des raisons de gain de place.

Fig. 30 : Vue, coupe et plan de la loge de La Giberdière à Ambillou (Indre-et-Loire), 2007.



Outre d'autres modèles de loges, ce travail a mis en évidence un type de structure à poteaux plantés particulièrement simple mais ingénieux pour ériger des constructions monumentales pouvant atteindre 30 m de long, 9 m de large et 10 m de hauteur comme celui disparu du Haut Davy à Gennes (Maine-et-Loire).

L'un des derniers exemplaires, situé à Vihiers dans le Maine-et-Loire, de 11 m de long sur 7,40 m de large, fut construit en 1952 pour servir de séchoir à tabac puis de remise agricole. Ses poteaux plantés répartis en travées régulières sont étayés à l'extérieur par des poteaux obliques qui s'appuient sur une pierre plate et qui permettent de lutter contre leur dévers. En effet, chaque poteau est fixé à l'aide d'une simple cheville à une ferme principale dépourvue d'entrait à la base et qui tend à s'écarter à la base. Il est intéressant de noter que l'absence d'entrait à la base des fermes est récurrente dans de nombreuses loges afin de libérer l'espace intérieur et d'assurer une éventuelle polyvalence fonctionnelle du bâtiment. Dans ce type de construction, les fermes portent des pannes pour reprendre les charges du chevronnage et la trame des poteaux est adaptée à la répartition des charges de la charpente.

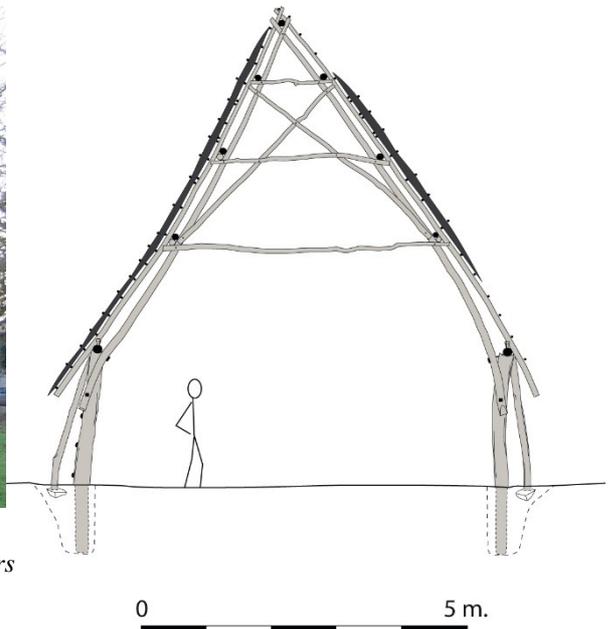
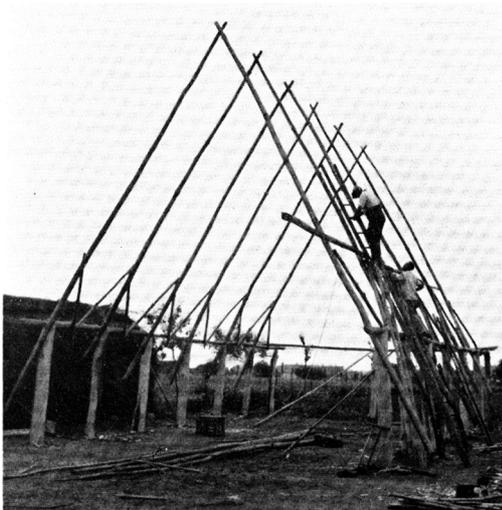
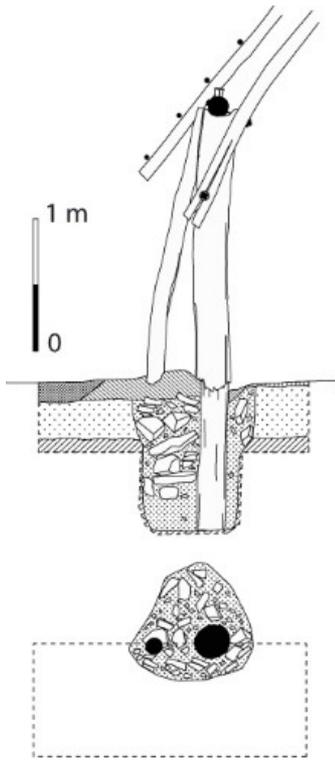


Fig. 31 : Vue et coupe de la loge de La Dauphinerie à Vihiers (Maine-et-Loire), 2008.



Le montage de ce type de charpente à fermes et pannes faite de perches est connu grâce au témoignage d'un soldat allemand durant l'occupation (fig. 32) (Stermermann 1942). La ferme, dont les chevrons sont originellement plus longs, est dressée à la verticale contre les poteaux, les chevrons sont alors chevillés aux poteaux, puis le pied des chevrons est amputé. C'est donc la cheville qui supporte en grande partie les charges du toit, ce qui est audacieux mais efficace du fait de l'emploi de bois légers (châtaigniers et pins). Cette structure explique là encore le rôle mécanique de l'enfouissement du poteau pour reprendre les poussées latérales générées par cette charpente.

Fig. 32 : Montage d'une loge à Beaufort-en-Vallée, Maine-et-Loire (Stermermann 1942).



Deux sondages archéologiques ont été réalisés sur la loge de Vihiers pour observer le comportement des poteaux en acacia et en chêne plantés dans le sol (fig. 33). Il s'avère que les poteaux ont conservé après cinquante ans d'enfouissement et sans restauration un bois résistant, peu altéré et capable de fonctionner encore pendant plusieurs décennies, alors même que les cloisons sont exposées aux intempéries. Leur dégradation reste limitée à l'aubier périphérique.

Fig. 33 : Vue et coupe d'un poteau planté de la loge de Vihiers (Maine-et-Loire).



D'autres observations sur des loges dégradées voire détruites (fig. 34) montreraient que les poteaux en acacia et en chêne avaient une durée de vie bien plus longue que ce qui est couramment admis, . Ainsi, cette recherche ethnoarchéologique sur les loges d'Anjou-Touraine permet d'apporter quelques clés de lecture des négatifs des constructions à poteaux plantés.



Fig. 34 : Poteaux plantés conservés d'une loge disparue, La Baudinière, Chartrené (Maine-et-Loire), 2008.

La diffusion de ces travaux a fait l'objet de deux publications et de nombreuses conférences dans le cadre de colloques et de séminaires.

Epaud 2014a

Epaud F. - Les loges à poteaux plantés : approche ethnoarchéologique, in E. Zadora-Rio (dir.) *Atlas Archéologique de Touraine*, Supplément à la Revue Archéologique du Centre de la France, 53, FERACF, Tours, 2014. URL : <http://a2t.univ-tours.fr/notice.php?id=162>. [⟨halshs-03110149⟩](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-03110149)

Epaud 2009c

Epaud F. - Approche ethnoarchéologique des charpentes à poteaux plantés : les loges d'Anjou-Touraine, in : *Archéologie Médiévale*, CRAHAM, 2009 : 121-160. [⟨halshs-01243359⟩](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01243359)

Cette approche ethnoarchéologique de la construction à poteaux plantés s'est prolongée en 2009-2010 par l'étude d'un ensemble de loges localisées dans le centre de la Bretagne, construites au sein des exploitations agricoles pour les dernières au milieu du XXe siècle (fig. 35). Ce travail a consisté à dresser un inventaire par une prospection de terrain, à réaliser des relevés et collecter des témoignages oraux sur leur mise en œuvre et leurs utilisations. Cette étude a permis d'en recenser une trentaine sur un territoire situé à la limite des Côtes-d'Armor, du Morbihan et de l'Ille-et-Vilaine, et d'en relever cinq parmi les plus représentatives et les mieux conservées.

Servant de cellier alimentaire et au stockage de fûts de cidre, ces loges sont généralement de petites dimensions, de 10 x 6 m en moyenne, à toiture posée au sol, avec une ou deux absides semi-circulaires aux extrémités. La fraîcheur permanente présente dans ces loges est assurée par leur couverture en bruyère, un sol excavé et parfois une implantation au pied de talus. Plusieurs types de charpente existent mais la plus fréquente utilise le principe du *cruck*, à savoir des arbalétriers courbes plantés en terre, sur lesquels sont fixées des pannes porteuses du chevronnage. Cette technique du *cruck* est par ailleurs très répandue sur le Massif armoricain dans les charpentes des constructions rurales, seigneuriales et religieuses d'époque médiévale et moderne. Ces bois naturellement courbes en pied sont prélevés dans les rejets de souche des arbres bocagers alentours. Une autre technique utilise des poteaux plantés droits mais très courts, qui sortent de terre sur 20 cm maximum, pour servir d'appui aux fermes et aux sablières basses.

De nombreuses analogies existent entre l'architecture de ces loges et le plan de constructions à abside et au sol excavé de la Protohistoire et du haut Moyen Âge. Pour la fin de l'âge du Fer, sur le Nord-ouest de la Gaule, des plans similaires qualifiés « à paroi rejetée » par certains auteurs (Maguer et Le Gall 2018) avec vraisemblablement des poteaux plantés inclinés (communication G. Robert 2019) répondraient de ce principe constructif.

Cette étude n'est pas publiée et reste inachevée car il manquait en 2010 des financements pour prolonger la collecte des données de terrain. Il est envisagé d'achever prochainement cette étude avant la disparition définitive de ces constructions.



Fig. 35 : Loges du Quétel (à gauche) et du Tertre (à droite) à Lanouée (Morbihan), 2009.

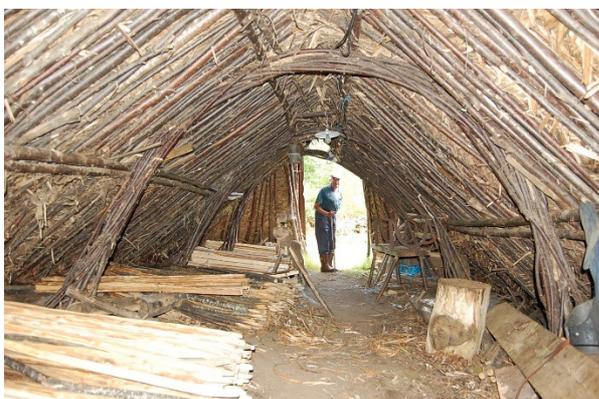


Fig. 36 : Loge du feuillardier Roger Barrière à Bussière-Montbrun, Dournazac (87), 2010.

De même, une prospection en 2010 a été réalisée dans le Limousin pour étudier les loges des feuillardiers (fig. 36), c'est-à-dire les ateliers des fendeurs de châtaignier pour certains encore en activité, qui subsistent dans la cour des fermes. Une dizaine de loges a pu être recensées mais non relevées. Constituées de perches en châtaignier, elles sont toutes à toiture posée au sol, avec des fermes arquées faites de perches entrelacées et plantées en sol. Là aussi, cette étude devrait être poursuivie prochainement.

Il importe donc de poursuivre cette recherche et de la prolonger par d'autres études ethnoarchéologiques de constructions vernaculaires afin de renseigner la lecture archéologique des bâtiments à poteaux plantés des périodes anciennes.

2.6.2 *L'approche expérimentale*

L'interprétation des négatifs d'un bâtiment à poteaux plantés reste toujours sujette à caution devant les multiples possibilités de restitution. De fait, la réalisation en grandeur réelle de ces architectures, confrontée aux contraintes de chantier, de manutention, d'exécution, de levage, des poussées architectoniques, permet d'apporter des éléments de réponse quant aux structures et techniques utilisées. Elle peut valider ou invalider certaines propositions si tant est qu'un protocole expérimental est respecté. En effet, sur la plupart des archéosites « expérimentaux », les constructions sont généralement dessinées d'après des modèles-types et exécutées avec les techniques actuelles (bois de scierie, levage mécanisé, ligatures au fil de fer...), parfois par des entreprises privées. La structure de la charpente n'est pas en soi une problématique, et l'expérimentation se résume le plus souvent à reproduire des modèles architecturaux déjà largement répandus, sans réflexion scientifique.

L'approche expérimentale que j'ai développée à travers plusieurs reconstructions de bâtiments à poteaux plantés du haut Moyen Âge tend à considérer le chantier même comme un laboratoire de recherche à part entière. Elle s'appuie aussi sur le lien étroit existant entre l'analyse des plans au sol et l'ethnoarchéologie ou comment faire correspondre des modèles existants aux traces au sol, et *vice versa*. La démarche repose sur trois principes. Le premier est la réplique à l'identique des données archéologiques (plan, profondeur et diamètre des trous de poteaux, orientation du bâtiment...) en collaboration avec le responsable de la fouille, en l'occurrence François Gentili (INRAP). Le second est de réaliser toutes les étapes de la chaîne opératoire en respectant des techniques d'exécution de l'époque : sélection et abattage des arbres en forêt, taille des bois à la hache, levage manuel... Enfin, le troisième principe est d'avoir une réflexion permanente au cours du chantier pour modifier et adapter le projet aux contraintes matérielles : poids des poutres, difficulté du levage, manutention dangereuse, temps de travail trop long, ou au contraire, facilité de montage, gain de temps, etc.... C'est le chantier même qui produit de l'information en révélant la faisabilité ou non d'une structure et d'une technique. Le projet initial, inspiré d'exemples ethnographiques et de charpentes conservées des XIe-XIIe siècles, doit donc pouvoir être modifié au fur et à mesure du chantier, ce qui suppose une large part d'improvisation dans la réalisation de l'ouvrage.

Menées de 2003 à 2014 sur le site d'Orville du musée Archéa à Louvres, dans le Val d'Oise, ces expérimentations ont porté essentiellement sur un grenier à six poteaux (2003-2005 et 2008-2011), une cabane excavée à quatre poteaux (2006) avec, pour chacun d'eux, deux versions successives suite à leur destruction par incendie et, un bâtiment à sol excavé (2013-2014). Ce travail représente un investissement de terrain d'un mois par an, avec une direction d'équipes de 5 étudiants en moyenne.

2.6.2.1 *Le grenier à six poteaux*

Les fouilles menées sur les sites d'habitats carolingiens franciliens révèlent la présence récurrente de constructions de plan standardisé de 25 m² en moyenne et caractérisées par deux alignements parallèles de trois poteaux équidistants. Les données archéologiques les interprètent comme des greniers destinés au stockage des céréales avec un plancher surélevé pour protéger les denrées des rongeurs et de l'humidité. Les restitutions proposées jusqu'à présent avancent l'idée d'une construction à poteaux faitiers, comme pour la plupart des constructions à poteaux plantés.

Dans le cadre de l'expérimentation où la charpente est montée manuellement, la proposition à poteau faîtier (fig. 37) s'est vite révélée dangereuse avec le levage de poteaux faîtières de 7 m de hauteur hors sol avec au sommet une faîtière de 6,50 m à mettre en place. De même, la fixation des chevrons sur la faîtière à 7 m au-dessus du vide ainsi que la couverture s'avérait bien trop risquée. Pour cette raison, le levage de ce type de construction sur les archéosites est réalisé à l'aide d'engins mécaniques ou d'échafaudages, ce qui devrait poser des questions.

Notre projet expérimental, basé sur le même plan à six poteaux, s'est inspiré de modèles ethnographiques et de charpentes médiévales pour tester l'hypothèse des chevrons-formant-fermes, avec une succession de fermes identiques et indépendantes (Planche I).

La charpente, constituée de deux pans de bois ancrés dans des trous d'un mètre de profondeur, fut assemblée au sol avant d'être levée manuellement. Les trois sommiers du plancher furent dès lors assemblés par des mi-bois aux poteaux pour servir de plancher de travail au levage des parties supérieures. La charpente du comble put ainsi être levée en toute sécurité et avec une grande facilité en dressant les fermes une à une à l'aide de perches depuis ce plancher. De même, la pose du torchis et des gerbes de roseaux de la couverture a pu se faire en toute sécurité, sans échelle ni échafaudage, à partir des entrants et faux entrants des fermes qui faisaient office de planchers de travail.

La couverture du grenier fut réalisée avec 700 gerbes de roseaux, fixées au lattis de noisetier par des ligatures végétales avec une technique différente par versant (lissé et étagé). Le clayonnage très serré des pignons droits assurait l'éclairage et la ventilation du comble pour le séchage des céréales stockées tout en empêchant l'entrée des volatiles.

Cette expérimentation a ainsi permis de démontrer les avantages indéniables des chevrons-formant-fermes en termes de facilité de levage, de sécurité, de rapidité et de moyens mis en œuvre comparé au modèle du poteau faîtier qui nécessite une logistique bien plus grande, avec des échafaudages à mettre en place. Outre le plancher, les entrants et faux entrants de la charpente à chevrons-formant-fermes assurent autant de planchers de stockage et de rangement pour le grenier, tout en garantissant une répartition des charges sur l'ensemble de l'ossature. Dans le modèle à poteau faîtier, dépourvu d'entrant, les espaces de rangement sont limités au seul plancher, ce qui réduit la capacité de stockage et présente un risque mécanique certain en cas de remplissage pour les seuls assemblages des sommiers.

Le grenier, rempli de gerbes de roseaux, fut incendié un an après son achèvement. A notre surprise, les poteaux, le plancher et les cloisons en torchis ont résisté au feu et purent être conservés lors de la restauration (Planche II). Cette préservation de la structure porteuse est liée à l'emploi du torchis qui a cuit et empêché la crémation des poteaux et du plancher malgré la violence de l'incendie. Là aussi, l'usage massif de l'argile dans la construction rurale doit nous interroger sur la durée de vie des architectures en bois, trop souvent jugées précaires et éphémères.

La nouvelle charpente à chevrons-formant-fermes fût refaite en optimisant sa structure avec seulement quatre fermes et deux pans coupés. Cette version a permis d'économiser du bois pour les fermes, du lattis et de gagner considérablement en temps de mise en œuvre pour la charpente. De plus, la structure à deux croupes s'est montrée plus stable d'un point de vue mécanique.

Une couverture d'un millier de bardeaux de chêne refendus fut réalisée selon des modèles archéologiques des Xe-XIe siècles. Longs de 80 cm, larges de 20 cm en moyenne et fixés par une cheville travaillant en butée sur le lattis, ces bardeaux furent obtenus par fendage radial et en quartier au départoir de chênes à croissance lente d'après les modèles archéologiques.

Fig. 37 : Restitution d'une charpente à poteau faîtier à gauche, et d'une structure à chevrons-formant-fermes à droite.

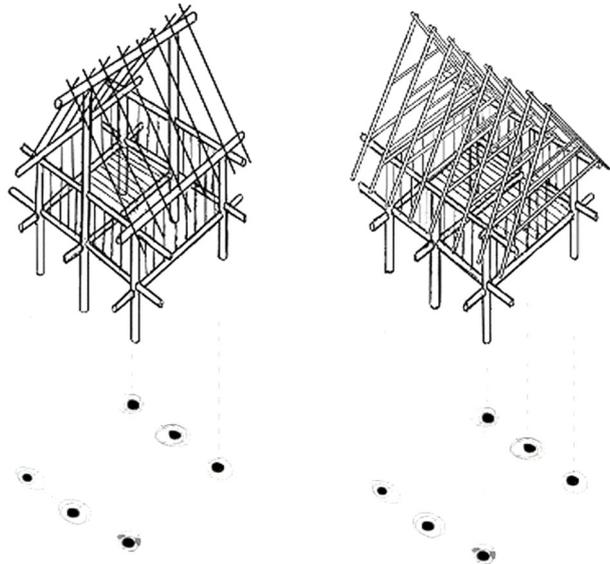


Planche I : Mise en œuvre du grenier à chevrons-formant-fermes, chantier d'Orville (2003-2005).



1. Levage du second pan de bois à l'aide de cordages accrochés au premier pan.

3. Levage des fermes à la perche depuis le plancher.

2. Assemblage des trois sommiers du plancher



5. Toiture achevée avec ventilation par clayonnage du pignon.

4. Pose des gerbes de roseaux et du torchis.



6. Stockage sur les entrants des fermes.



1. Incendie du grenier (2007)



Planche II : Restauration du grenier incendié, chantier d'Orville (2008-2011)

2. Reconstruction de la charpente du comble



3. Taille des bardeaux par fendage radial au départoir

4. Fixation des bardeaux par chevillage



5. Grenier achevé avec sa toiture en bardeaux de chêne

Presque dix ans après la construction du grenier, une fouille des poteaux a été réalisée afin d'observer leur comportement dans le trou de fondation. Les grumes en chêne avaient été plantées à l'état vert, juste après abattage, à un mètre de profondeur dans un substrat crayeux. La fouille a montré l'aubier en périphérie du bois a été dégradé rapidement sur toute la profondeur du trou et que le vide de 3-4 cm



laissé autour du poteau s'est comblé par les terres superficielles entraînées par la pluie, avec notamment des charbons de bois de la couche d'incendie. Le cœur du chêne, quant à lui, était en parfait état de conservation jusqu'au fond du trou. Cela a permis de comprendre que, d'une part, la durée de vie d'un poteau de chêne, de plus exposé aux intempéries, est plus longue que ce qui est couramment admis et que, d'autre part, le remplissage d'un trou de poteau, si celui-ci est non équarri, peut contenir du mobilier contemporain voire antérieur à la construction, bien avant l'abandon du bâtiment et la décomposition des bois. Ce mobilier, en périphérie du comblement, peut donc être en contact avec celui plus tardif postérieur à l'abandon, localisé au centre du trou. Cela soulève donc des questions méthodologiques de fouille des trous de poteaux et d'interprétation du mobilier retrouvé soit dans la terre de comblement, soit dans le remplissage du bois dégradé. La bonne conservation du cœur de chêne dans le sol avait déjà été observée sur des loges en ethnoarchéologie.

Fig. 38 : Fouille du trou de poteau du grenier.

2.6.2.2 Le cellier

Parmi les nombreux fonds de cabanes découverts sur les sites du haut Moyen Âge franciliens, il existe un groupe relativement restreint de constructions d'une longueur supérieure ou égale à 5 m et présentant un sol profondément excavé d'un mètre voire plus. Les sites franciliens de Louvres « Orville », Villiers-le-Sec, Saint-Pathus et Rungis, entre autres, présentent des exemplaires datés des IXe-Xe siècles (Gentili 2009, p.31-59) parmi lesquels trois ont des caractéristiques analogues avec un sol à plus d'un mètre de profondeur nécessitant un accès aménagé, des poteaux plantés contre les parois et un plan rectangulaire bien marqué. Dans les trois cas, il s'agit d'annexes situées au sein d'unités agricoles importantes composées de nombreux bâtiments, de grandes dimensions pour certains. Les caractères redondants de ces trois exemplaires incitent à y voir une construction répondant à un usage spécifique. Une réflexion s'est donc engagée pour tenter d'en comprendre les élévations et le fonctionnement à travers une restitution expérimentale, en prenant comme référence la structure 2095 de Villiers-le-Sec (Val d'Oise), la mieux conservée des trois (fig. 39). La restitution de cette structure s'est basée sur le modèle ethnographique de certaines loges du centre de Bretagne et d'Anjou-Touraine, présentées ci-dessus. Plusieurs d'entre elles ont en effet un sol excavé, une toiture ancrée au sol, un plan ovalaire avec des croupes en abside, et des poteaux plantés pouvant correspondre aux traces de ces bâtiments carolingiens. Leur sol surcreusé assure à certaines de ces loges une fraîcheur utile pour le stockage de fûts de cidre. Les chevrons de la toiture reposent sur le sol sur un calage en pierre qui est recouvert par un petit talus périphérique érigé avec la terre extraite de l'excavation. Pour ces loges, l'ancrage des chevrons au sol ne laisse aucune trace archéologique après arasement sur 10 cm alors même que la toiture circonscrit une surface d'occupation bien plus grande que celle délimitée par les poteaux plantés et le sol excavé. Pour ces raisons, les restitutions de constructions à poteaux plantés proposent rarement de toitures posées au sol alors qu'en ethnographie, ce modèle est très répandu.



Fig. 39 : Structure 2095 de Villiers-le-Sec, Val d'Oise (Gentili 2009, p.31-59).

Réalisée sur le site d'Orville à Louvres en 2013-2014, l'expérimentation a reproduit à l'identique la structure 2095 de plan rectangulaire de 5,60 × 3,10 m, avec un sol excavé à plus d'un mètre de profondeur, un embranchement pour l'entrée axiale et deux rangées de trous de poteaux contre les parois (Planche III). Dans ces trous furent implantés six poteaux en chêne, équarris en pied pour purger l'aubier, assemblés en tête à deux sablières courantes et deux traverses aux extrémités, formant ainsi un portique pour supporter le chevronnage en bois blanc (bouleau, charme, peuplier). Les chevrons furent légèrement ancrés au sol sur un calage recouvert d'un petit talus périphérique, selon le modèle des loges. La reconstitution a montré que pour fixer le lattis en perches de noisetier sur les chevrons et pour y ligaturer les bottes de roseau, la toiture ne pouvait pas avoir d'arêtier et qu'elle devait nécessairement comporter des croupes semi-circulaires aux deux extrémités. Ainsi, le talus périphérique en pied de toiture délimite au sol un plan ovalaire alors que le plan circonscrit par les trous de poteaux est rectangulaire et de superficie bien plus restreinte.

L'expérimentation a démontré que le montage de cette structure se fait rapidement en toute sécurité et avec une relative facilité du fait de l'appui des chevrons au sol et de la possibilité d'établir un plancher de travail sur le portique pour le montage des parties hautes.

Du fait de la forte excavation, le portique offre un vaste espace de stockage de 2,50 m minimum de hauteur sous le niveau des sablières, sur lesquelles un plancher peut même être posé pour un second niveau de rangement. Cette structure à portique offre donc des espaces de stockage supplémentaires en partie haute et aussi sur le pourtour de l'excavation, entre les poteaux et le talus périphérique de la toiture, avec des aménagements possibles pouvant être confondus à la fouille avec des entrées latérales. À l'achèvement de la construction, l'expérimentation a enfin démontré que la forte excavation, les levées des terres disposées sur le pourtour de la toiture et le couvrement végétal confèrent à cette construction une fraîcheur permanente et une hygrométrie stable, renforcées par une bonne isolation thermique, leur assurant la fonction de cellier, à l'instar des loges bretonnes. Le débord de la toiture au sol loin de l'excavation ainsi que le petit talus périphérique a montré son efficacité pour empêcher les infiltrations liées au ruissellement de l'eau de pluie, ce qui aurait été inévitable avec une restitution avec une toiture sur cloisons au droit des poteaux plantés.

Bien que ces structures fortement excavées ne montrent pas à la fouille de traces conservées de toiture posée au sol du fait de l'érosion du sol, il s'avère que cette proposition de restitution est pleinement satisfaisante en termes de facilité de mise en œuvre et de fonctionnalité.

**Planche III : Construction expérimentale du cellier,
chantier d'Orville (2013-2014)**

*1. Mise en œuvre de la charpente avec taille à la hache des
assemblages*



*2. Pose des chevrons en appui sur une pierre
plate recouverte d'un petit talus. Le portique
sert de plancher de travail pour le montage de
la toiture.*



*3. Vue du cellier achevé avec ses couples de
chevrons en appui sur le portique à six poteaux
plantés*



2.6.2.3 Le fond de cabane

Les cabanes à sol excavé liées aux activités de tissage correspondent à un type de construction largement répandu dans l'habitat carolingien. Leur vocation d'atelier de tissage est souvent attestée par deux fosses d'ancrage d'un métier à tisser et des pesons retrouvés dans les niveaux archéologiques. Sa restitution ne présente pas *a priori* de problème en raison de ses petites dimensions.

En 2002, sur le site expérimental d'Orville, une cabane avait été reconstituée par l'ancienne équipe du chantier d'après le plan d'un fond de cabane fouillé sur le site même en 2001 (Gentili 2001). Elle fut réalisée à poteaux faitiers, selon le modèle le plus communément admis pour les constructions à poteaux plantés, avec une toiture à deux versants et un débord important pour protéger les pignons, cloisonné en torchis jusqu'au faîtage.

Incendiée en 2005, il était dès lors intéressant de proposer une autre version sur le modèle des fermes, plus en adéquation avec les structures connues aux Xe-XIe siècles. En reprenant le même plan au sol, la nouvelle construction fut réalisée en 2006 avec une toiture à quatre pans comprenant uniquement deux fermes fixées en pied par chevillage aux sablières, comme on peut le voir sur des modèles ethnographiques. Ce chantier a permis de mettre en évidence que le simple chevillage des chevrons aux sablières comme le lattis de la couverture permettaient de répondre correctement aux reprises de charges de la toiture. Ce modèle offre de plus l'avantage d'une économie en matériaux et donc de temps de travail pour la mise en œuvre. Il s'est avéré aussi que cette structure s'est montrée plus stable que la précédente à poteaux faitiers, validant l'idée que les structures à couples de chevrons sont parfois plus crédibles que celles à poteaux faitiers même pour de petites constructions à poteaux plantés.



Fig. 40 : Version 1 de la restitution du fond cabane (St. 4405 d'Orville) avec poteau faitier et toiture à deux pans, 2002 (Gentili 2001)





Fig. 42 : Version 2 de la restitution du fond cabane avec des simples chevrons et toiture à quatre pans, 2006.



Tous ces travaux en expérimentation ont fait l'objet de publications et de communications.

Articles :

Epaud et Gentili 2011

Epaud F. et Gentili F. - Archéologie expérimentale sur les habitats ruraux franciliens, *in* : *Dossiers d'Archéologie* « Aux origines du Moyen Âge Ve-XIe siècles » n° 344, 2011 : 78-83. ([halshs-01245216](#))

Epaud et Gentili 2009

Epaud F., Gentili F. avec la collaboration de Simard M. - L'apport de l'expérimentation archéologique pour la compréhension de l'architecture carolingienne à poteau planté : les exemples du chantier d'Orville (Val-d'Oise), *in* : *Revue Archéologique de Picardie*, n° 1 /2, 2009 : 129-144. ([hal-01819410](#))

Epaud et Simard 2008

Epaud F. et Simard M. - Restitution expérimentale d'une cabane excavée carolingienne, *in* : Gentili F., Lefevre A. et Mahé N. (dir.), *L'habitat rural du haut Moyen Âge en Ile-de-France*, 2ème supplément du PCR au Bulletin archéologique du Vexin français, Guiry-en-Vexin, 2008 : 12-26. ([halshs-01245220](#))

Epaud et al. 2019

F. Epaud, F. Gentili, J.-Y. Hunot, S. Jesset A. Laurent, A. Valais - Les espaces excavés et les souterrains du haut Moyen Âge, *in* : Alix C., Salamagne A. et Gaugain L. (dir.) *Caves et Celliers au Moyen Âge et à l'époque moderne*, Actes du colloque international (Tours 4-6 octobre 2017), PUFR, Tours, 2019 : 191-209. ([hal-02401291](#))

Rapports :

Epaud et Gentili 2018

Epaud F. et Gentili F. - Expérimentations, *in* : Gentili F. (dir.) - *Louvres (Val d'Oise) « Château d'Orville »*, rapport d'activité 2013-2017 d'opération archéologique programmée, SRA Ile-de-France, Saint-Denis, 2018 : 59-65. ([halshs-03197320](#))

Epaud et Gentili 2013

Epaud F. et Gentili F. - Projet d'archéologie expérimentale 2013-2015 : une construction sur cave carolingienne, *in* : Gentili F. (dir.) - *Louvres (Val d'Oise) « Château d'Orville »*, rapport d'activité 2012

d'opération archéologique programmée, SRA Ile-de-France, Saint-Denis, 2013 : 31-34. ([halshs-01249286](#))

Epaud 2013e

Epaud F. – Le chantier expérimental de construction, *in* : Gentili F. (dir.) - *Louvres (Val d'Oise) « Château d'Orville »*, rapport d'activité 2012 d'opération archéologique programmée, SRA Ile-de-France, Saint-Denis, 2013 : 14-17. ([halshs-01249287](#))

Epaud et Gentili 2013

Epaud F. et Gentili F. - Projet d'archéologie expérimentale 2013-2015 : une construction sur cave carolingienne, *in* : Gentili F. (dir.) - *Louvres (Val d'Oise) « Château d'Orville »*, rapport d'activité 2012 d'opération archéologique programmée, SRA Ile-de-France, Saint-Denis : 31-34. ([halshs-01249286](#))

Epaud 2012e

Epaud F. – Le chantier expérimental de construction, *in* : Gentili F. (dir.) - *Louvres (Val d'Oise) « Château d'Orville »*, rapport d'activité 2011 d'opération archéologique programmée, SRA Ile-de-France, Saint-Denis, 2012 : 11-21. ([halshs-03115761](#))

Epaud 2011h

Epaud F. – Le chantier du grenier carolingien : mode de débitage des bardeaux de couverture, *in* : Gentili F. (dir.) - *Louvres (Val d'Oise) « Château d'Orville »*, rapport d'activité 2010 d'opération archéologique programmée, SRA Ile-de-France, Saint-Denis, 2011 : 11-14. ([halshs-01249292](#))

Epaud 2010c

Epaud F. – Le chantier du grenier carolingien, *in* : Gentili F. (dir.) - *Louvres (Val d'Oise) « Château d'Orville »*, rapport d'activité 2009 d'opération archéologique programmée, SRA Ile-de-France, Saint-Denis, 2010 : 19-24. ([halshs-03115767](#))

Epaud 2009e

Epaud F. – Le chantier du grenier : réalisation de bardeaux de chêne, *in* : Gentili F. (dir.) - *Louvres (Val d'Oise) « Château d'Orville »*, rapport d'activité 2008 d'opération archéologique programmée, SRA Ile-de-France, Saint-Denis, 2008 : 97-100. ([halshs-01249294](#))

Epaud 2008c

Epaud F. – Les tuiles de bois dans l'architecture rurale du haut Moyen Age : problématiques de recherche et projet expérimental, *in* : Gentili F. (dir.) - *Louvres (Val d'Oise) « Château d'Orville »*, rapport intermédiaire 2007 de fouille programmée, SRA Ile-de-France Saint-Denis, Pantin, 2008 : 227-229. ([halshs-01249296](#))

Epaud et Simard 2007

Epaud F. et Simard M. – Archéologie expérimentale : bilan de la campagne 2006, La restitution expérimentale d'une cabane excavée carolingienne, *in* : Gentili F. (dir.) - *Louvres (Val d'Oise) « Château d'Orville »*, rapport intermédiaire 2006 de fouille programmée, SRA Ile-de-France Saint-Denis, Pantin, 2007 : 156-164. ([halshs-01249300](#))

Epaud et Simard 2006

Epaud F., Simard M. - Archéologie expérimentale : bilan de la campagne 2005, *in* : Gentili F. (dir.), *Louvres (Val d'Oise) « Château d'Orville »*, Rapport d'activité 2005 de fouille programmée, SRA Ile-de-France, Saint-Denis, 2006 : 256-257. ([halshs-01249305](#))

Epaud 2005

Epaud F. - L'apport de la connaissance des techniques construction dans la restitution expérimentale d'un bâtiment du haut Moyen Âge : l'exemple du grenier carolingien d'Orville, *in* : Gentili F. (dir.), *Louvres (Val d'Oise) « Château d'Orville »*, Rapport intermédiaire d'opération 2004, SRA Ile-de-France, Saint-Denis, 2005 : 138-144. ([halshs-01249304](#))

Epaud et Gentili 2004

Epaud F. et Gentili F. - La restitution archéologique d'un grenier carolingien, *in* : Gentili F. (dir.), *Louvres (Val d'Oise) « Château d'Orville »*, Rapport intermédiaire d'opération 2003, SRA Ile-de-France, Saint-Denis, 2004 : 113-116. ([halshs-03197196](#))

2.6.3 Pour une relecture des plans des bâtiments

La confrontation des connaissances en techniques de charpenterie médiévale, en ethnoarchéologie et en expérimentation autour de ces questions permet de proposer des restitutions des constructions à poteaux plantés pour lesquelles les difficultés de reconstitution sont réelles. Comme pour la Protohistoire, la plupart des restitutions présentes dans la littérature scientifique comme celles reconstruites dans les archéosites considèrent les poteaux internes comme montants de fond ce qui implique des intérieurs ouverts et dégagés avec des charpentes à fermes et pannes sans étage, et non des structures à chevrons-formant-fermes avec étage.

Cette réflexion a été initiée au sein des deux PCR « L'habitat rural du haut Moyen Age en Ile-de-France » (coord. par G. Bruley-Chabot, Inrap) et « L'habitat rural du Moyen Age en région Centre » (coord. A. Nissen, Univ. Tours). Elle s'est concrétisée à travers trois études de restitutions de bâtiments carolingiens menées à partir de données de fouilles préventives de l'INRAP, en collaboration avec le responsable du chantier.

La première étude concerne les constructions d'établissements agricoles des Xe-XIe siècles du site de Serris (Val d'Oise) (fouille F. Gentili, INRAP), dont les dessins et l'analyse sont présentés dans l'exposition permanente du musée archéologique Archea de Louvres (Val d'Oise) inauguré en 2011 (fig. 43). Plusieurs d'entre elles montrent des files de poteaux internes qui, au lieu d'être montants de fond (en rouge), furent restitués en poteaux de soutien à deux longrines longitudinales, elles-mêmes destinées à supporter un plancher constitué des entrails rapprochés d'une charpente à chevrons-formant-fermes. Cette proposition, qui s'inspire de modèles ethnographiques (fig. 44), permet donc la restitution d'un niveau de stockage pour le fourrage à l'étage, ce qui est bien plus en adéquation avec la vocation agricole de ce type de construction.

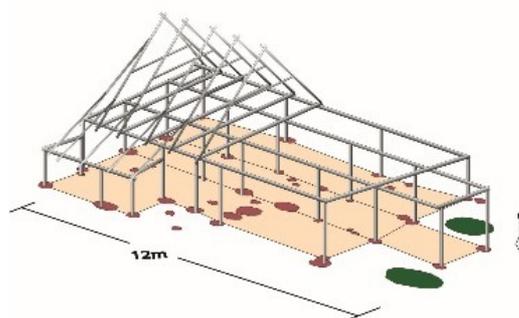
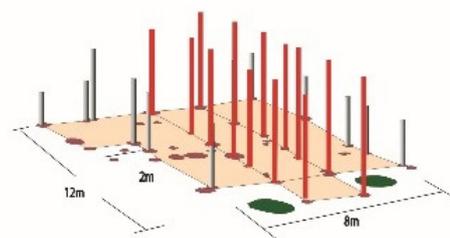
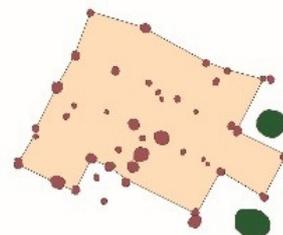


Fig. 43 : Restitution d'un bâtiment carolingien de Serris, Val d'Oise

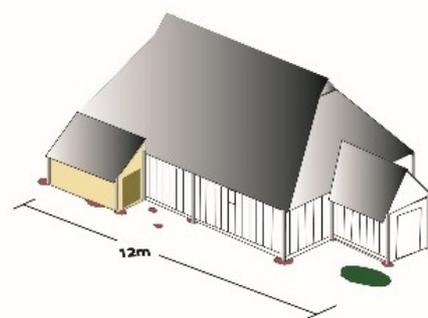
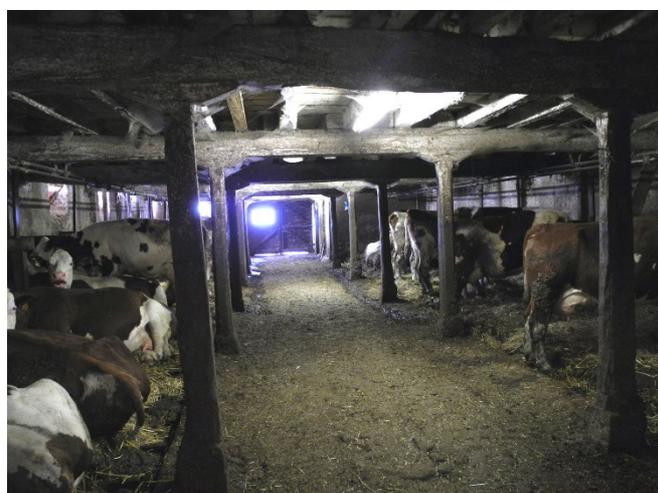


Fig. 44 : Double file de poteaux porteurs pour un plancher de grenier. Maison-étable avec stabulation au rez-de-chaussée et grange à l'étage. Crandelles, Cantal.

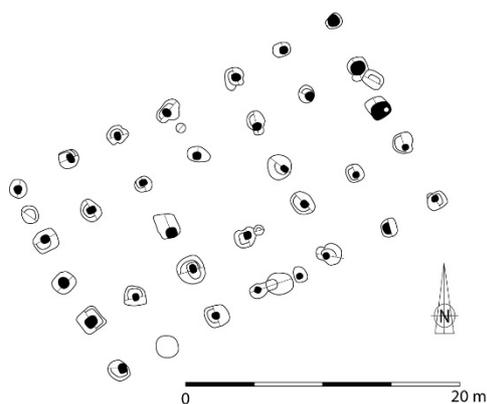
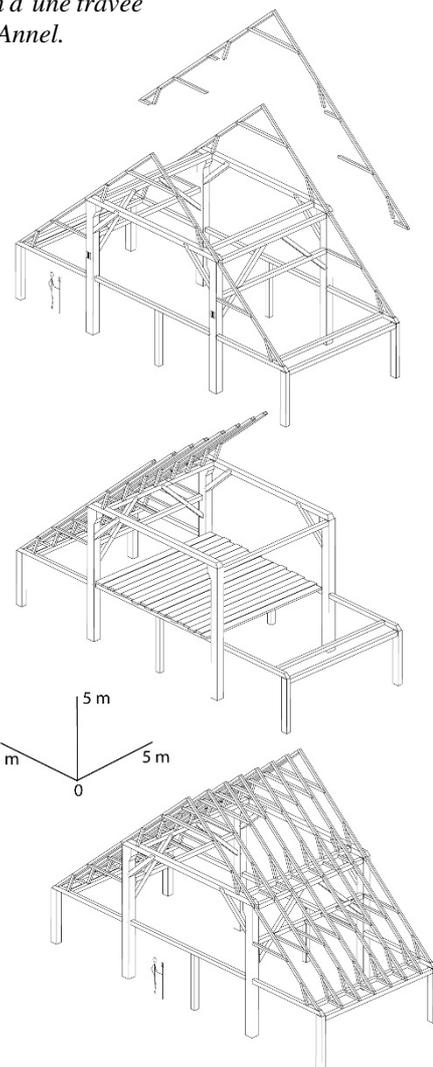


Fig. 45 : Plan et restitution d'une travée de la grange de Longueil-Annel.



Un autre travail de restitution a été mené sur un grand bâtiment d'un domaine agricole monastique du XIe - début du XIIe siècles, fouillé par M. Derbois (INRAP) à Longueil-Annel (Oise), et qui fut intégré au rapport final de l'opération déposé en 2011.

La vocation de grange de ce vaste édifice est attestée par les études carpologiques ainsi que par l'analogie de son plan avec celui des grandes granges seigneuriales qui se développent un siècle plus tard dans tout le Bassin parisien et dont plusieurs exemplaires subsistent en élévation. La seule différence avec le plan de ces granges est la présence de poteaux axiaux.

Cet édifice figure donc parmi les tous premiers témoignages des grandes granges monastiques à une époque où l'usage du silo tombe en désuétude. L'intérêt de ce site est double puisque, d'une part, les charpentes de cette période sont bien connues, avec exclusivement des structures à chevrons-formant-fermes et d'autre part, l'usage des superstructures pour le stockage est démontré.

Ainsi, les arguments plaident ici en faveur d'une restitution des poteaux axiaux en poteaux courts de soutien d'un plancher, et non en poteaux faîtiers, en raison des charges induites par l'entreposage des récoltes et aussi, probablement, pour servir à des cloisonnements d'une stabulation au rez-de-chaussée. La charpente proposée ici correspond à celle des plus anciennes granges connues conservées de la seconde moitié du XIIe siècle, à savoir à chevrons-formant-fermes. Ce modèle s'appuie aussi sur une enquête ethnographique des granges-étables médiévales et modernes en France (Trochet 2006) comme dans certains pays de l'Est, en Transylvanie orientale où les techniques de charpenterie ont peu évolué depuis le Moyen Âge, et qui montrent systématiquement ces poteaux axiaux comme étaie à un niveau de stockage, mais jamais en poteaux faîtiers.



Fig. 46 : Grange-étable du XVIIe s. avec poteaux axiaux pour soutenir le plancher du fenil via une longrine. Lisieux, Calvados.

Epaud 2011g

Epaud F. - Restitution du bâtiment F du site de Longueil Annel (60), in : M. Derbois (dir.) *Longueil-Annel (Oise) « Le village »*. Une grange monastique et un habitat des Xe-XIe siècles - Rapport final d'opération INRAP Nord-Picardie, mai 2011 : 211-223. [halshs-01249291](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01249291)

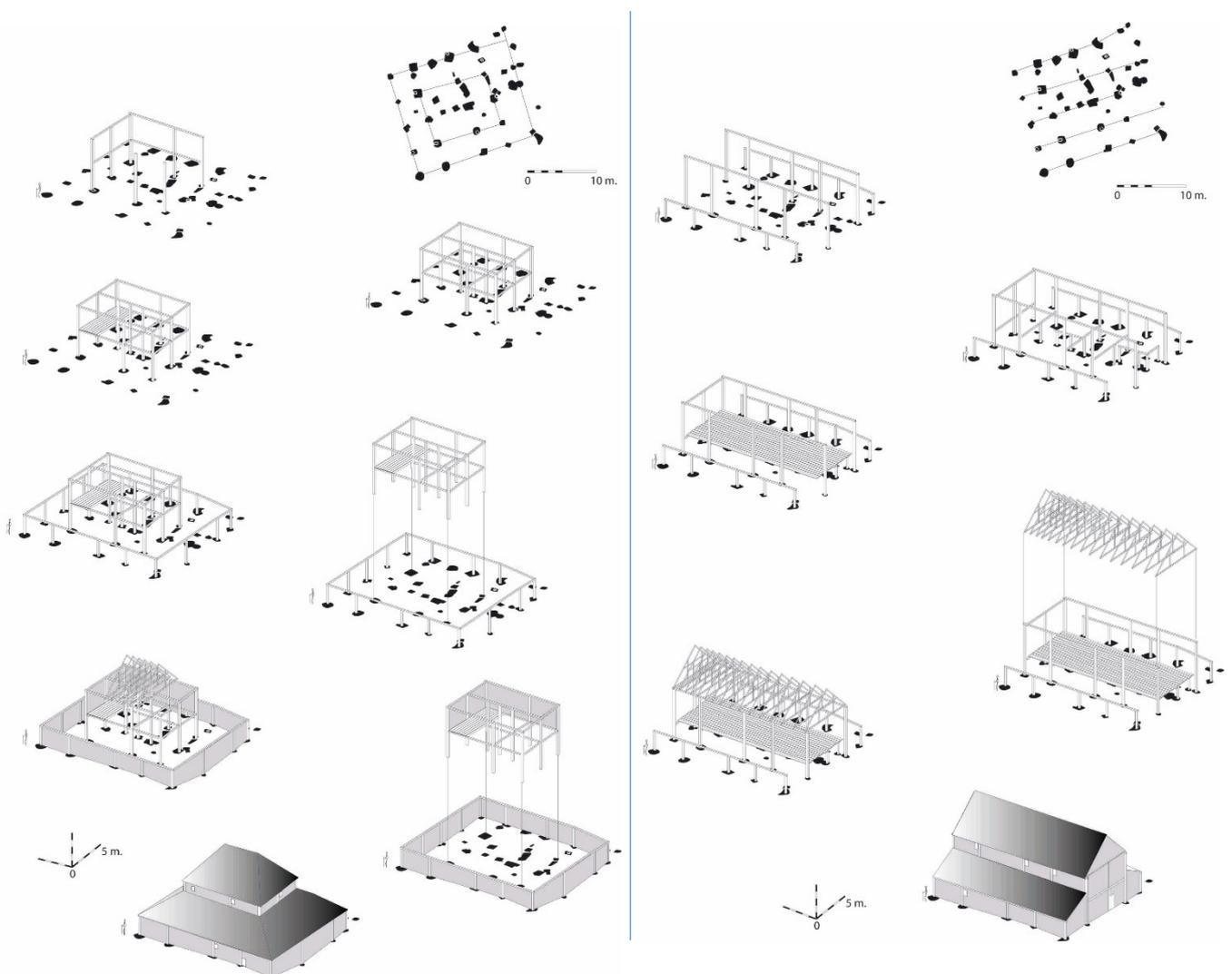
La troisième étude porte sur la restitution de plusieurs dizaines de bâtiments d'un vaste établissement agricole du XIe - début du XIIe siècles à Méaulte en Champagne-Ardenne, fouillé par L. Blondiau (INRAP). Ce travail a été intégré au rapport final d'opération en 2011.

Le site s'organise sur 2,8 ha en deux enclos, avec le premier, le plus vaste, contenant 64 constructions d'habitations et à vocation agro-pastorales et le second, plus restreint, abritant un grand bâtiment aristocratique de 15,5 m de côté.

Ce travail a permis de proposer des restitutions de la plupart des édifices mais surtout de montrer les limites de cet exercice pour certains types de plans trop complexes. En effet, le plan du grand bâtiment s'organise selon une trame de plusieurs alignements équidistants répartis en travées régulières. Ainsi, de nombreuses reconstitutions peuvent dès lors être proposées avec tout autant de fiabilité. Plusieurs hypothèses ont donc été formulées pour cet édifice dont deux présentées ci-dessous (fig. 47) avec pour l'une une tour centrale pourvue d'un étage et d'un bas-côté périphérique et, pour l'autre, une nef centrale à étage bordée de collatéraux, selon le plan basilical de l'aula carolingienne et les salles hautes seigneuriales. D'autres propositions à plan en L ou en T furent présentées en étant autant plausibles avec le même plan au sol.

Cette étude démontre ainsi les limites de la fiabilité scientifique des restitutions pour des plans complexes à plusieurs plans de symétrie possibles.

Fig. 47 : Deux propositions de restitution du bâtiment aristocratique de Méaulte.



Epaud 2011f

Epaud F – Etude des bâtiments, in : L. Blondiau (dir.), *Méaulle, Brays/Somme et Fricourt, Somme (Picardie). Plateforme aéro-industrielle de Haute-Picardie, Volume 7, un habitat médiéval fortifié aux Quarante Cinq (site 5)*, Rapport final d'opération, INRAP Nord-Picardie, Janvier 2011 : 85-147. ([halshs-01249290](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01249290))

Dans la prolongation de ces travaux, une réflexion collective a été menée en 2018 à l'occasion des 39^{ème} Journées internationales d'archéologie mérovingienne de l'association française d'archéologie mérovingienne (AFAM) qui se sont tenues à Auxerre du 4 au 6 octobre sur le thème « De bois, de pierre et de terre, archéologie de la construction au haut Moyen Âge ». L'objectif était d'entamer une discussion entre les différents acteurs de l'archéologie (Inrap, CNRS, coll. Terr.) de la région Centre-Val de Loire sur l'architecture des constructions à poteaux plantés du haut Moyen Âge sur ce territoire. En 2018, le dépouillement comptabilisait 550 opérations portant sur des prescriptions médiévales correspondant à près de 300 sites ruraux dont la grande majorité s'inscrivait datait du haut Moyen Âge et essentiellement des IX^e-Xe siècles. Ce sont donc plusieurs centaines de bâtiments qui furent reconnus avec un début de typologie structurelle d'après leur plan défini par la répartition des trous de poteaux (plan à nef unique, à deux nefs, à trois nefs...). La réflexion s'est portée sur la restitution des élévations des principaux types et bien évidemment sur la question épineuse de l'interprétation des poteaux internes en raison des nombreux préjugés qui pèsent à leur égard, comme en Protohistoire. En effet, il demeure dans les mentalités l'idée largement répandue, tant dans les publications que dans les reconstitutions des archéosites, qu'il s'agit de poteaux faîtiers ou montants de fond jusqu'à la toiture ce qui induit l'absence de fermes et de plancher. Un débat et un article collectif (à paraître) est venu synthétiser l'ensemble des arguments afin de remettre en cause ce modèle pour les constructions de plus de 5 mètres de portée, et proposer d'autres solutions de restitution. Comme cette argumentation a déjà été présentée plus haut à propos de mes travaux sur l'architecture protohistorique, et comme le raisonnement est identique, nous n'évoquerons ici qu'un simple résumé.

La remise en question des poteaux montants de fond s'appuie sur plusieurs contradictions. La première est l'inefficacité mécanique des poteaux faîtiers et du faîtage. En effet, les charges au sommet de la toiture sont quasi-nulles du fait de l'assemblage en tête des couples de chevrons qui annule toute charge verticale. La seconde est liée aux difficultés de levage de ces poteaux de fond comme l'atteste l'emploi d'engins mécaniques dans les archéosites pour leur construction, alors que d'autres structures de charpentes sont bien plus faciles à lever à la main. Les expérimentations présentées ci-dessus le démontrent. La troisième est l'absence de plancher puisque ces structures sont dépourvues de ferme et d'entrait. Or, ces constructions appartiennent à des établissements agricoles qui nécessitent des espaces de stockage dans le comble (foin, récoltes...). Enfin, la plus importante des contradictions vient de l'absence de structures à poteaux montants de fond dans l'immense corpus des charpentes médiévales et modernes conservées en élévation, de grande et moyenne portée avec un toit à 45°-60°. Il en va de même dans les exemples ethnographiques des constructions à poteaux plantés évoqués ci-avant. Les charpentes les plus anciennes conservées des Xe-XI^e siècles en Europe occidentale sont aussi toutes à chevrons-formant-fermes, quelles que soient les architectures.

Ces travaux tendent donc à démontrer l'invalidité du principe des poteaux faîtiers pour les moyennes et grandes constructions, et à faire prévaloir le modèle des chevrons-formant-fermes avec des poteaux axiaux convertis en poteaux de soutien de planchers de stockage, limités au rez-de-chaussée, pour les constructions à deux nefs comme pour ceux à trois nefs même si le système à portique peut tout autant exister pour ces dernières.

Epaud, Joly et Roy 2021 (à paraître)

Epaud F., Joly S. et Roy G. - Les bâtiments à poteaux centraux sur les sites du haut Moyen Âge en région Centre-Val de Loire : plan, restitution des élévations et fonction, in : *De bois, de pierre et de terre. Archéologie de la construction au haut Moyen Âge*, Actes des 39^e journées internationales d'Archéologie Mérovingienne de l'Association française d'archéologie mérovingienne (Auxerre 4-6 octobre 2018).

2.6.4 Archéologie en contexte humide

Depuis le milieu du XXe siècle, les sites archéologiques ayant livrés des données matérielles sur l'architecture en bois du haut Moyen Âge ont été essentiellement en contexte humide comme celui de Charavines dans l'Isère ou Haithabu en Allemagne. La conservation du matériel ligneux en milieu anaérobie et humide permet d'apporter quantité d'informations que les fouilles sédimentaires en milieu sec ne peuvent produire. Dans ce contexte, j'ai participé à l'étude de deux sites d'habitats aristocratiques et de trois aménagements hydrauliques en fouilles et/ou post-fouilles, parfois dans la prolongation de contrats effectués avant ma titularisation.

La fouille du site La Mothe de Pineuilh en Gironde en 2002-2003, dirigée par F. Prodéo (INRAP), a révélé de nombreux éléments de constructions en bois des Xe-XIIe siècles (fig. 48). A partir de 2015, j'ai réalisé en collaboration avec P. Mille, xylogue à l'INRAP, l'étude des bois architecturaux en post fouille et ce travail s'est prolongé entre 2012 et 2018 pour la publication d'articles et d'un ouvrage de synthèse sur ce site, aux publications du Craham sous la direction de L. Bourgeois, non encore publié. Les bois conservés provenaient d'un habitat aristocratique assis sur une motte, de bâtiments annexes en pan de bois, de clôtures et de plusieurs passerelles d'accès. Des bardeaux de toiture au pureau arrondi, formant une toiture en écaille de poisson, complétaient ce lot. L'étude de ces bois architecturaux était couplée à des expertises dendrochronologiques effectuées par V. Bernard et Y. Le Digol (Dendrotech, Rennes), qui permettaient de comprendre le phasage et restituer des élévations inédites de constructions en bois autour de l'an mil.

Parmi les informations les plus notables, citons les poteaux plantés du bâtiment aristocratique sur motte des années 980-990, fouillé que partiellement. Le fort diamètre des poteaux d'ossature suggérait une élévation d'un ou deux étages, mais les analyses dendrochronologiques ont révélé qu'ils provenaient du débitage de mêmes chênes, rabaisant la hauteur présumée du bâtiment à un simple rez-de-chaussée. Notons aussi la restitution complète de trois passerelles du XIe au milieu du XIIe siècle (fig. 49) et de cloisons en pan de bois dont celle du bâtiment aristocratique de la fin du Xe siècle (fig. 50). Celle-ci était haute de 2,30 m et constituée de sablières hautes et basses, de colombes rainurées espacées de 80 cm et de planchettes horizontales taillées à mollet.



Fig. 48 : Site de Pineuilh (Gironde) en cours de fouille, 2003 (Cl. F. Prodéo)

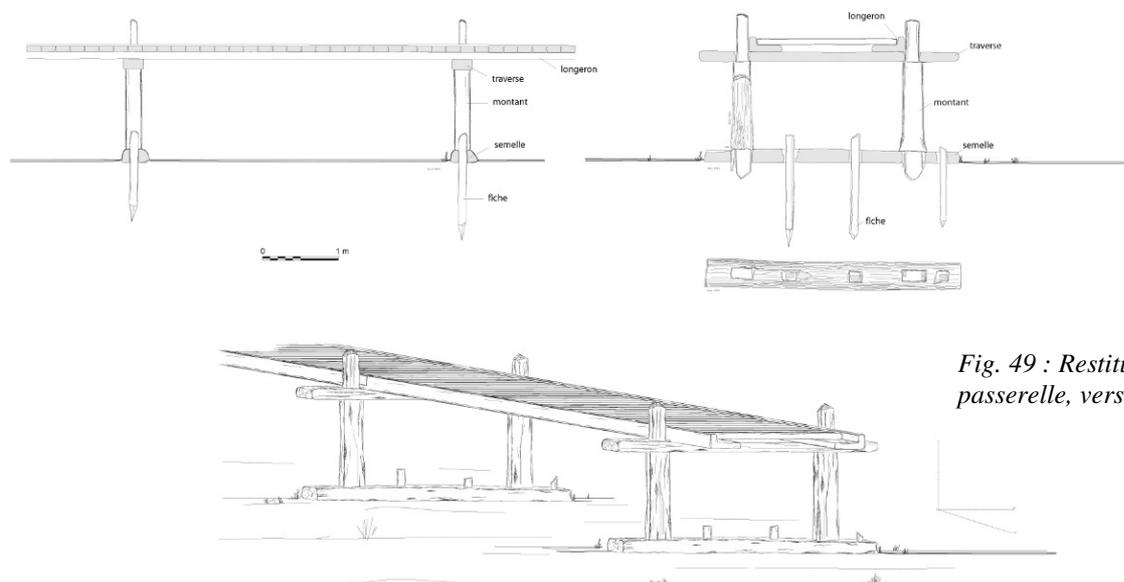
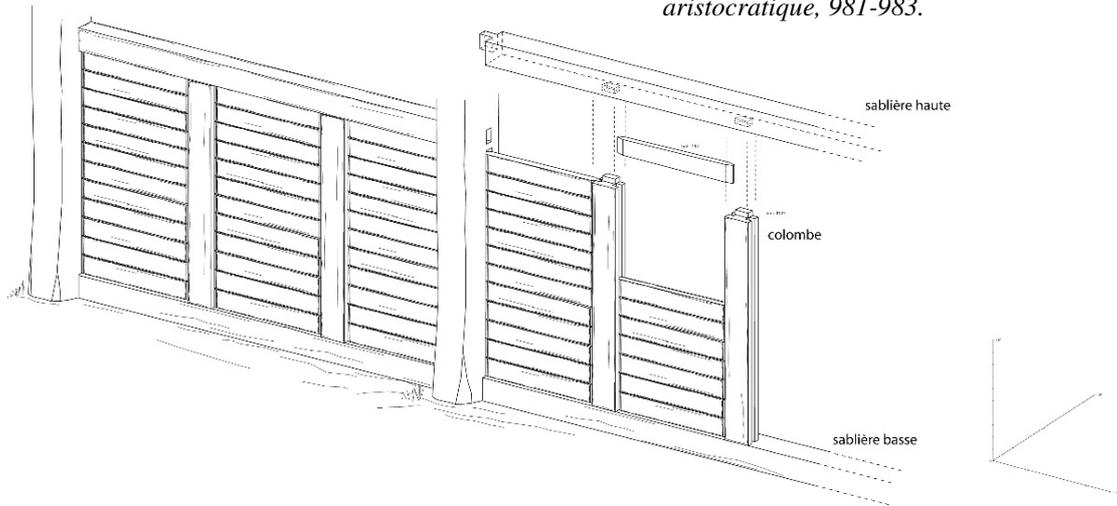


Fig. 49 : Restitution d'une passerelle, vers 995-1050.

Fig. 50 : Restitution de la paroi du bâtiment aristocratique, 981-983.



La richesse et le détail de ces structures viennent compléter les connaissances en matière d'architecture en bois pour une période où les témoins conservés en élévation sont quasi inexistantes et pour lesquels les mentions textuelles et iconographiques sont rares. Que ce soient pour les passerelles ou le pan de bois, on note une certaine forme d'« universalisme » de ces techniques qui se perpétuent et traversent les siècles pour les retrouver à l'identique à l'époque moderne dans l'architecture rurale dans certaines régions de France et encore aujourd'hui par exemple au Maramures en Roumanie (fig. 51).

Fig. 51 : Pan de bois à poteaux rainurés et planches bouvetées. Maramures, Roumanie, 2005.

Bernard, Le Digol, Epaud et Prodeo 2014

Bernard V., Le Digol Y., Epaud F. et Prodeo F. - Pineuilh, "La Mothe" (Gironde) : la résidence d'un seigneur campagnard de l'an mil, in : Arbogast R.-M. et Greffier-Richard A. (txt réunis par), *Entre archéologie et écologie, une Préhistoire de tous les milieux. Mélanges offerts à Pierre Pétrequin.*, Presses universitaires de Franche-Comté, 2014 : 417-424. [\(halshs-01243381\)](#)

Bernard, Le Digol, Epaud et Prodeo 2012

Bernard V., Le Digol Y., Epaud F. and Prodeo F. - Building Activity and Timber Management at the Turn of the 1st Millennium AD at Pineuilh, La Mothe (Gironde, France) : An Original Dendrochronological Approach, in : *Medieval Archaeology*, Vol. 56, 2012 : 268-282. [\(halshs-01243351\)](#)

Epaud et Mille 2007

Epaud F. et Mille P. 2007 - Étude des pièces d'architecture, in : Prodeo F. (dir.), *Pineuilh (33) « La Mothe »*. Rapport final d'opération. Pessac, INRAP GSO / Bordeaux, SRA Aquitaine, vol. 2, 2007 : 369-417. [\(halshs-01249298\)](#)

Toujours dans ce contexte d'étude d'habitats aristocratiques en milieu humide, le second site étudié concerne l'ensemble castral de Vesvre à Neuvy-Deux-Clochers (Cher), suite à la fouille préventive dirigée par V. Mataoutchek (INRAP) de 2003 à 2006 et à laquelle j'ai participé. Dans le cadre des PCR

consacrés à ce site, coordonnés par V. Mataouchek (2011-2020), j'ai retravaillé sur le relevé des bois architecturaux que j'avais réalisés en 2004 pour en terminer l'étude et publier la monographie du site, à paraître en 2021. Ces bois des XIe-XIIe siècles comprenaient essentiellement des bardeaux, des éléments de charpente (poteaux, sablières, charpente de comble, plancher, cloison...), d'huissierie, de mobilier, d'objets et de manches d'outils.

Epaud 2017b

Epaud F. – Les bois, *in* : Mataouchek V. (dir.), *PCR Naissance et évolution de l'ensemble castral de Vesvre, à Neuvy-Deux-Clochers (Cher)*, rapport d'activité 2016, SRA Centre-Val de Loire, 2017 : 91-100. [\(hal-01801568\)](#)

Epaud 2013d

Epaud F. - Etude des bois d'œuvre du site, *in* : Mataouchek (dir.), *PCR Naissance et évolution de l'ensemble castral de Vesvre, à Neuvy-Deux-Clochers (Cher)*, rapport d'activité 2013, SRA Centre – Val de Loire, 2013 : 123-162. [\(halshs-01249285\)](#)

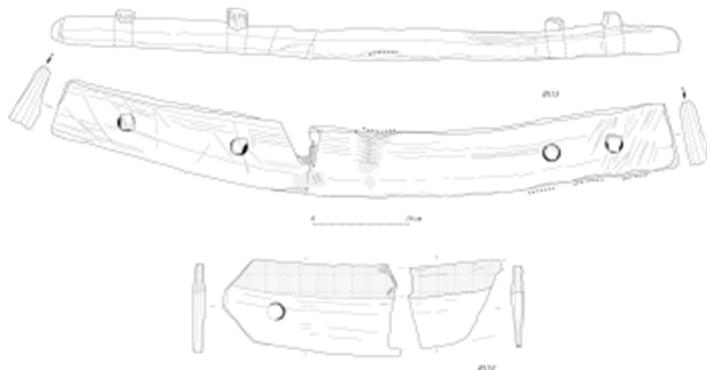
Epaud 2009f

Epaud F. - Etude des bois, *in* : Mataouchek V. (dir.). – *Neuvy-Deux-Clochers : Tour de Vesvre (Cher)*, rapport préliminaire des surveillances et fouilles archéologiques préventives, 2003-2006. Pantin : Inrap CIF, 2009. [\(halshs-01249295\)](#)

Outre ces sites aristocratiques, j'ai eu l'occasion de contribuer à l'étude de plusieurs aménagements hydrauliques, notamment un moulin carolingien sur le site de Colomby (Manche) en 2010-2011, un moulin à marée du VIIIe siècle à Saint Pol de Léon (Finistère) en 2013, et un autre du XIe-XIIe siècles à Pennedepie (Calvados) en 2005. Ma collaboration portait sur les relevés topographiques, la fouille et l'analyse des structures en bois.

Le chantier de Colomby (Manche), dirigé par Vincent Bernard (CNRS, UMR 6566) porte sur la fouille programmée d'un moulin hydraulique de l'an mil identifié en 2009 lors d'un diagnostic réalisé par l'INRAP (C. Marcigny) sur les abords du ruisseau le Merderet, affluent de la Douve. Réalisée en juin 2010 et juillet 2011, la fouille a permis d'extraire du fond du bief comblé au XIIe siècle de nombreuses pièces architecturales en bois d'un moulin qui ont permis la restitution du mécanisme et des modalités de son fonctionnement. Parmi les pièces les plus remarquables, signalons l'arbre d'une roue, des sablières avec les pieux de fondation de l'ossature, un coursier, des éléments d'une roue avec des rayons, des étrésillons, des pales, des alluchons et un pignon de lanterne. Les datations dendrochronologiques attestent une mise en œuvre du moulin vers l'an mil, ce qui fait du moulin de Colomby un des rares exemplaires de cette période.

Fig. 52 : Colomby (Manche), fragment de roue du moulin, vers 1005 (DAO V. Bernard).



Ces travaux ont fait l'objet de publications :

Bernard, Aoustin, Bouriez, Deshayes, Epaud et al. 2016

Bernard V., Aoustin D., Bouriez A., Deshayes J., Epaud F, *et al.* - De terre et de bois : choix techniques pour l'implantation et le fonctionnement d'un moulin à eau au début du XIe siècle. Le cas de Colomby, La Perruque (Manche), *in* : Jacotey L. et Rollier G. (dir.), *Archéologie des moulins hydrauliques, à traction animale et à vent, des origines à l'époque médiévale*. Actes du colloque international (Lons-le-Saunier, 2-5 nov. 2011), Presses universitaires de Franche-Comté, coll. "Série Environnement, sociétés et archéologie", Besançon, n°20, 2016 : 343-360 ([hal-01801220](#))

Billard, Bernard, Maneuvrier, Senecal, avec la coll. de Le Digol et Epaud 2016

Billard C., Bernard V., Maneuvrier C., Senecal G., avec la coll. de Le Digol Y. et Epaud F. - Un moulin à foulon médiéval à Pennedepie (XIe-XIIIe s.), sur le littoral du Calvados, *in* : Jacotey L. et Rollier G. (dir.), *Archéologie des moulins hydrauliques, à traction animale et à vent, des origines à l'époque médiévale*. Actes du colloque international (Lons-le-Saunier, 2-5 nov. 2011), Presses universitaires de Franche-Comté, coll. "Série Environnement, sociétés et archéologie", Besançon, n°20, 2016 : 375-398. ([halshs-01801161](#))

3 Etude des techniques et des charpentes médiévales conservées en élévation

Dans ce chapitre sont présentées mes recherches touchant aux structures et aux techniques de charpenterie de la période médiévale essentiellement, du XI^e au XIII^e siècle. Comme dans le chapitre précédent, cette présentation ne traduit pas nécessairement la chronologie de ces travaux au cours de mon parcours professionnel, mais plutôt une suite logique dans leur thématique afin d'en faciliter la lecture. Elle répond néanmoins d'une démarche scientifique propre à l'analyse des charpentes en abordant d'abord les savoir-faire liés à l'exécution des ouvrages, puis l'étude des charpentes d'un point de vue archéologique, structurel et architectural. J'évoquerai au préalable le travail de prospection qu'il a été nécessaire d'effectuer afin de recenser mes sources, les charpentes médiévales.

Les études structurelles présentées ici servent à expliquer ma démarche scientifique qui tend à comprendre l'évolution des charpentes romanes et gothiques, ainsi que leur diversité. Chacune d'entre elle a permis d'alimenter un aspect précis de ma réflexion que ce soit à propos des techniques que des structures. Il peut s'agir d'une charpente d'une grange que d'une chapelle, chacune n'ayant pas forcément le même état de conservation ni le même degré de complexité et d'intérêt archéologique pour l'histoire des techniques. Une part importante de mes travaux est consacrée aux grandes charpentes comme celles des cathédrales car elles témoignent au plus près des recherches alors en cours au XIII^e siècle pour la quête du plus parfait équilibre mécanique sur les constructions les plus hautes et les plus élaborées de leur époque, en lien avec le développement de l'architecture gothique rayonnante.

La démarche intellectuelle qui a nourrit mes recherches sur ces thématiques s'est adaptée à la multiplicité de mes sources et à la diversité des questions posées tant par la mise en œuvre des ouvrages, leur fonctionnement que par leur évolution structurelle sur le temps long. Chacune des charpentes étudiées apportait un élément de réponse à l'une de ces questions et ce n'est qu'avec la multiplicité des analyses sur une vingtaine d'années de recherche qu'une vision globale de l'évolution des charpentes finit par se dessiner, venant se compléter aux études d'autres auteurs comme ceux d'Olivier Corentin sur les charpentes armoricaines ou ceux d'Emilien Bouticourt sur celles de la région Lyonnaise. Il faut reconnaître que la plupart de mes études sont liées à des opportunités de recherche comme l'ouverture d'un chantier de restauration (charpente de la cathédrale de Bourges), d'une demande de collaboration collective sur un grand monument (cathédrale de Poitiers) ou d'une commande par la DRAC ou une collectivité territoriale (grande Saint Lazare de Beauvais, église de Bourgueil dans l'Indre et Loire...). Pour autant, certaines d'entre elles ont pu être anticipées suffisamment tôt pour les intégrer dans un programme de recherche financé comme celle sur la cathédrale de Bourges dans un appel à projet de recherche régional (APR CharpCentre) afin d'approfondir certains aspects comme la dendrologie par exemple comme l'on évoquera dans le chapitre suivant.

3.1 Objectifs et méthodes

La plus large part de mes travaux de recherche porte sur l'évolution des charpentes médiévales et de leurs techniques de mise en œuvre à travers l'étude archéologique des structures en bois conservées en élévation. Ces dernières concernent les charpentes de toitures, les beffrois, les pans de bois, les plafonds et les chaînages. Cette réflexion s'appuie sur des relevés archéologiques, l'étude des textes et des expertises dendrochronologiques.

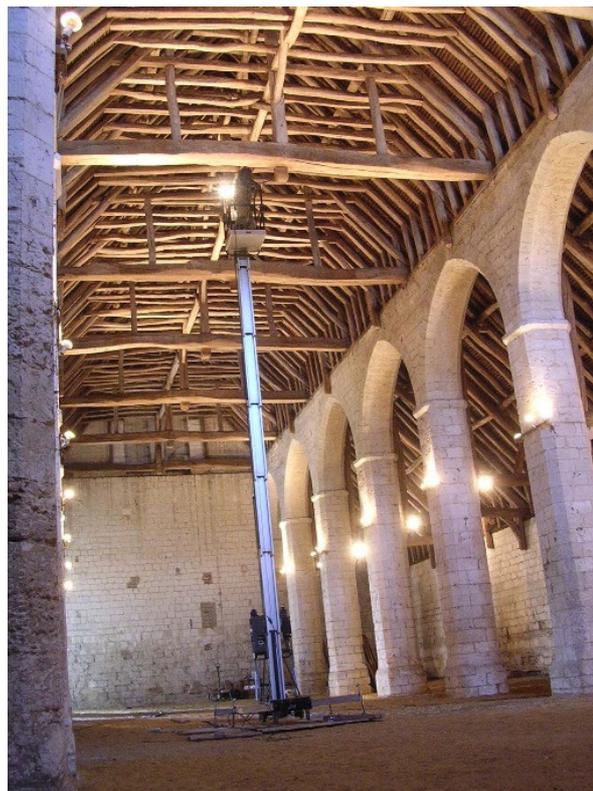
Ces études s'intéressent d'une part aux techniques de conception et d'exécution de ces ouvrages : chaîne opératoire du chantier, façonnage du matériau, marquage, piquage, lignage, assemblages, outils de taille, tracés d'épures, modes de levage... Elles servent à comprendre les modalités de mise en œuvre de la structure et aussi à cerner la pensée technique des maîtres d'œuvre dans l'élaboration et l'exécution de ces systèmes constructifs. L'emploi de certaines techniques comme le marquage des assemblages offre aussi une opportunité pour comprendre l'organisation interne du chantier comme la définition du nombre d'équipes de charpentiers, leur progression dans l'avancement du montage et leur répartition dans la structure, ce qui facilite dans certain cas le phasage chronologique du chantier, notamment pour les grandes charpentes.

Cette recherche se consacre surtout à l'analyse structurelle des ouvrages, leur fonctionnement mécanique, leurs modalités de répartition des charges sur les supports, leurs défauts de conception, leurs déformations ainsi que leurs reprises afin de comprendre leur évolution au cours des siècles. Elles s'attachent à comprendre l'évolution des charpentes sur le temps long, et plus particulièrement lors du passage de l'architecture romane à l'architecture gothique aux XIIe-XIIIe siècles. C'est aussi durant le XIIIe siècle, avec le développement du gothique rayonnant dans l'architecture religieuse, que les charpentes de combles vont connaître de profonds remaniements dans leur structure avec la partition des structures en travées, l'adoption de systèmes de report des charges sur les murs, le voûtement des fermes, la modification de la pente des toits, les techniques d'adaptation aux voûtes maçonnées, la diffusion de la triangulation et leur renforts, etc... Cette période des XIIe-XIIIe siècles marque l'essentiel des changements structurels que les ouvrages en bois subissent au cours du Moyen Âge. A la fin du XIIIe siècle, l'essentiel des types de charpentes est défini et ceux-ci n'évolueront plus jusqu'à la fin du Moyen Âge. Il faut attendre l'époque moderne pour voir des changements aussi profonds dans la forme des charpentes en raison de la dégradation des forêts et des difficultés d'approvisionnement en bois de qualité longs et fins. Mes travaux tendent aussi à identifier les ateliers de charpenterie et les « modes » régionales à travers des dispositifs particuliers propres à des territoires plus ou moins bien délimités.

Les charpentes retenues pour une étude font généralement l'objet d'un relevé exhaustif de leurs structures et de leurs bois. L'objectif est de récolter l'ensemble des informations sur les techniques de charpenterie employées liées à l'exécution (taille, assemblage, marquage...) et leur mise en œuvre. Le relevé prend en compte aussi les structures porteuses en élévations afin d'appréhender la toiture en fonction de ses supports (murs épais/minces, pan de bois, trame de poteaux...) et pour interpréter l'édifice dans sa globalité.

Les conditions d'accès aux charpentes de comble sont souvent difficiles (absence de plancher, vide sous charpente, obscurité, poussières...) et leurs structures tridimensionnelles complexes ont aussi constitué un obstacle à leur étude et surtout à leurs relevés. Elles supposent parfois l'emploi d'échafaudages (cathédrales de Rouen, Bourges), d'une nacelle (grange Saint-Lazare) et le plus fréquemment de matériels d'escalade. Au cours, de mes années de recherche, il a souvent été nécessaire d'employer le « système D » et de prendre certains risques, certes mesurés, afin d'aboutir à des relevés exhaustifs. Il ne s'agit donc pas d'une archéologie tranquille, confortable et sécurisée.

Fig. 53 : Relevé de la charpente par escalade, avec accès à 10 m. de haut depuis une nacelle. Grange Saint-Lazare, Beauvais, 2006.



Mes recherches font appel à des méthodes d'acquisition propre à l'archéologie du bâti, aux structures tridimensionnelles et au matériau ligneux, souvent tors. Leur compréhension réclame des notions en biologie végétale (Licence Biologie-Géologie, Univ. Rouen 1995) et en mécanique des charpentes en bois. Pour cela, une expérience pratique de la charpenterie (chantiers expérimentaux, restaurations...) est indispensable pour comprendre les propriétés du bois et son comportement dans les structures.

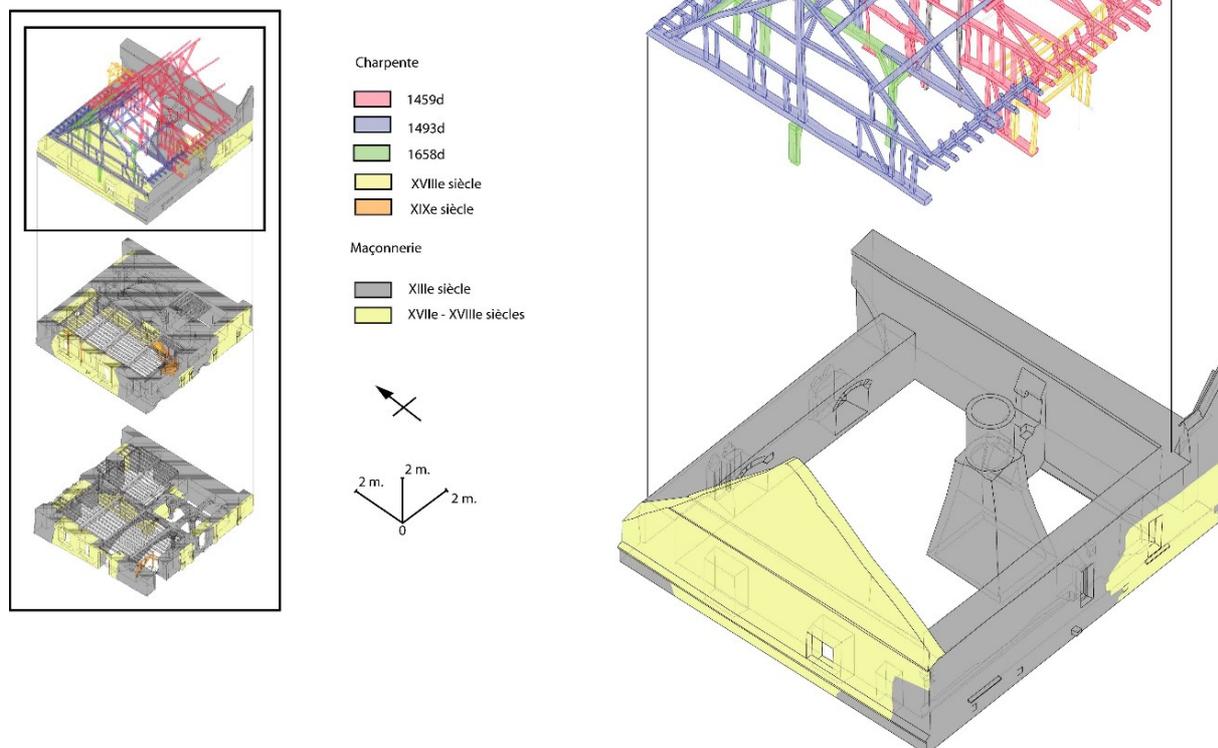
Alors que mes premiers relevés furent intégralement réalisés à la main, au fil à plomb, décimètre et papier millimétré, même sur des charpentes de cathédrales, aujourd'hui ils s'appuient sur l'emploi de tachéomètres laser, de scanners, de la photogrammétrie et de la DAO tout en conservant une grande partie de l'acquisition de

façon manuelle. Si certains égarements ont pu être observés en archéologie du bâti avec l'arrivée de ces outils numériques, avec notamment une tendance à considérer l'acquisition 3D comme une finalité en soi, l'usage de ces nouveaux outils permet aujourd'hui d'économiser du temps pour le relevé en coupes des contours des superstructures, notamment pour les grandes charpentes. Mais les coupes extraites du nuage de points (scan/tachéo.) ou de la photogrammétrie ne servent que de support au relevé manuel, fait au plus près des bois. L'étude des ouvrages en bois ne peut pas se passer du relevé manuel pour l'enregistrement des sections de pièces, des marques, des traces de piquage/lignage, des assemblages, de l'anatomie des bois... Toutes les traces archéologiques observées visuellement et enregistrées manuellement sont donc reportées sur ces coupes (plan, coupes transversales et longitudinales) produites par des outils qui assurent une précision centimétrique pour des ouvrages parfois d'une centaine de mètre de longueur ou de plus de 10 m de hauteur. Un temps réel d'acquisition a donc été économisé au profit de l'observation archéologique de l'objet d'étude, en tout cas pour mes travaux. Par ailleurs, ces traces ténues, difficiles à déceler et visibles souvent qu'en lumière rasante, ne peuvent être captées par ces nouveaux outils (scan/photogrammétrie).

Aussi, une acquisition 3D permet de rendre plus compréhensible les relevés à des fins pédagogiques par des représentations axonométriques (fig. 54).

Mon arrivée au LAT (UMR7324 CITERES) en 2007 m'a permis d'accéder rapidement à ces outils et aux logiciels adaptés en bénéficiant aussi des formations adéquates. Très vite, le laboratoire a développé des compétences en archéomatique notamment par l'acquisition de scanners et de calculateurs qui ont représenté une aide précieuse, voire indispensable, pour l'évolution de mes travaux. Mes recherches ont permis aussi d'acquérir des outils plus spécifiques et propres aux études de comble comme récemment le laser manuel Zebrevu, adapté à la déambulation dans les parties hautes des grandes charpentes ou des beffrois.

Fig. 54 : Abbaye de Bonport (Eure). Relevé du comble de la cuisine au tachéomètre (TCR407Ultra) avec phasage de chronologique.



Outre le relevé des structures, l'étude des traces d'exécution laissées sur les bois par la taille (coups de hache, sciage, fendage...), le tracé des assemblages (piquage, lignage au charbon de bois) ou le marquage des bois nécessite des méthodes de relevés adaptées à leur fragilité. L'étude tracéologique des bois des Ier-IIème siècles ap. J.-C. du port de Rezé en Loire-Atlantique (voir ci-avant) a été l'opportunité d'expérimenter un protocole de relevé exhaustif dans le cadre d'un chantier de fouille programmée, mais qui peut tout aussi bien s'appliquer à des charpentes médiévales en élévation. Cette méthode, qui va être appliquée en 2021 à Rezé en contexte préventif par l'INRAP, a permis d'enregistrer l'intégralité des traces du façonnage (coups de hache, traits de sciage) et de restituer ainsi la forme des haches, la gestuelle des charpentiers, leur positionnement par rapport à la poutre et leur progression au cours de la taille, assurant ainsi une lecture vivante, technique et humaine d'un moment du chantier. Nous y reviendrons plus loin.

Dans tous les cas, seul le relevé complet et détaillé d'une charpente en élévation permet de discerner des différences entre des ensembles de fermes (sections, assemblages, lignages...) et de reconnaître ainsi le travail de plusieurs équipes de charpentiers et d'établir un phasage. Une étude de charpente se doit donc d'être longue et exhaustive pour l'ensemble des bois si elle veut être fiable. L'étude d'une charpente de cathédrale demande au minimum une année de travail pour l'acquisition, la mise en forme et l'analyse des données brutes, ce qui est un frein évident au développement de cette discipline. J'ai donc produit des études plus rapides et moins exhaustives dans la mesure où seules les informations structurelles importaient.

L'étude des charpentes renvoie aussi aux questions des matériaux de couverture. Les observations faites sur les faces extérieures des chevrons, parfois visibles en cas de réemplois, permettent de relever les traces du lattis et d'identifier les matériaux de couverture d'origine. L'étude des solins de toitures maçonnés dans lesquels des vestiges de matériaux sont encore conservés est également prise en considération dans l'analyse des charpentes.

Ces études s'intéressent également aux comblements des voûains qui contiennent parfois encore les restes des couvertures successives. Des fouilles menées dans les combles de la cathédrale de Bayeux, sur des voûtes du XIII^e siècle, ont ainsi permis de reconnaître une stratigraphie contenant des éléments de la toiture d'origine. De même, il a été reconnu sur les voûtes d'une chapelle de cette cathédrale, un sol recouvert de tracés d'épure du XIII^e siècle qui fut étudié et publié. Ces investigations amènent à considérer le volume du comble comme un espace archéologique complexe, comprenant aussi bien des structures en élévation que des niveaux d'occupations souvent bien conservés et préservés de l'érosion. Elles suggèrent une approche archéologique de la toiture dans sa globalité, charpentes, couvertures et voûtes comprises.

3.2 Les techniques d'exécution

3.2.1 Façonnage des bois : de la hache à la scie

Le travail de tracéologie effectué sur les bois des charpentes médiévales et aussi d'époque moderne témoigne de l'emploi généralisé de l'équarrissage à la doloire de bois de brin (pièce conservant le cœur du bois au centre) avant le XV^e siècle. Le débitage à la scie ou la hache reste exceptionnel, lié à des cas isolés de pénuries en bois d'œuvre de droit fil ou de section adéquate. En règle générale, les bois de brin sont équarris *a minima* avec des pertes très réduites. Le chêne abattu correspondait précisément aux besoins des charpentiers, et les aubiers sont préservés aux arêtes. Les bois courbes sont utilisés sans distinction et visiblement sans *a priori*, et équarris en suivant les courbures naturelles du fil.

Comme évoqué précédemment, l'approvisionnement des grands chantiers montre, surtout aux XII^e-XIII^e siècles, une abondance des ressources forestières et un choix étendu lors de la sélection sur pied. Par exemple, pour la construction des charpentes des cathédrales de Lisieux (1183-1206) ou de Poitiers (1196-1222), près de 1000 arbres ont été abattus sur une période de 20 ans, par des coupes successives, et équarris à la hache *a minima* sur des faibles sections standardisées, autour de 16x16 cm pour 90 % des bois.

Les premiers témoignages du sciage apparaissent dès 1225 dans le bras sud de la cathédrale de Bayeux pour rectifier des bois particulièrement tordus (fig. 55). Les charpentes plus tardives du déambulatoire (1227) et du bras nord du transept (1250) emploient également des bois tords mais ces derniers sont équarris à la hache et adaptés aux structures. De nombreux bois du déambulatoire, particulièrement noueux, proviennent de haies de bocage. L'emploi de la scie ici se justifie donc par des difficultés d'approvisionnement en bois droits, non pour le calibrage et le débitage de gros bois en deux ou quatre pièces comme ce sera le cas à partir du XV^e siècle. Le cas de Bayeux reste donc un *unicum* dans notre corpus avant le XV^e siècle et s'explique par le climat maritime et venteux rendant les arbres particulièrement tordus.

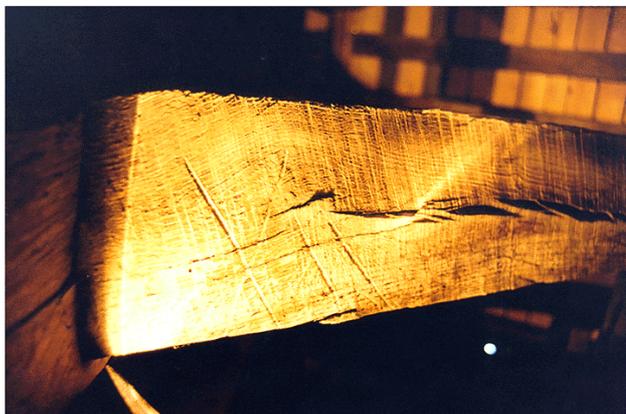


Fig. 55 : Bois scié de la charpente du croisillon sud de la cathédrale de Bayeux, bois scié, 1225.

Des cas de débitage à la hache s'observe aussi sporadiquement dès le XII^e siècle, comme dans la charpente de la chapelle de Chanu, modeste commanderie templière à Villiers-en-Désœuvre dans l'Eure, datée de 1181. Le fendage à la hache a été utilisé ici pour des bois de forte section inadaptés à la structure des fermes. Cette technique a donc été mise en œuvre pour pallier un défaut d'approvisionnement, aussi pour obtenir deux pièces à partir d'une seule. Au regard de la grande variabilité de section des autres bois de cette charpente, les charpentiers auraient été limités dans leur choix à un lot restreint d'arbres à abattre, tous de diamètre inapproprié. Le fendage à la hache, exceptionnel dans les charpentes médiévales dans le Bassin parisien, pourrait s'expliquer davantage par le statut de l'établissement et la difficulté de financer un approvisionnement en bois d'œuvre de qualité bien calibrés, plutôt qu'à un appauvrissement des ressources forestières.

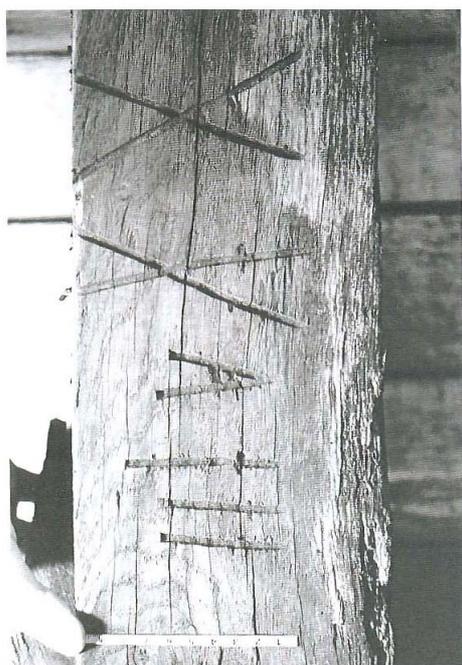
A la fin du XIV^e siècle, certaines charpentes emploient des bois débités à la scie et notamment des bois issus d'arbres de gros diamètre, recouverts de nœuds, comme dans la charpente du manoir d'Agnès Sorel au Mesnil-sous-Jumièges (Seine-Maritime). Mais c'est surtout à partir du XV^e siècle que les bois débités sur quartier à la scie sont utilisés plus massivement dans les charpentes pour des pièces secondaires de faible calibre, comme le chevronnage et le colombage des pans de bois, alors que les éléments d'ossature vont gagner en section mais resteront équarris à la hache. Les techniques mixtes se répandent aussi avec des gros bois délignés à la scie sur deux faces et terminés à la hache pour les faces restantes. Cette tendance va s'accroître et se généraliser à la plupart des charpentes aux XVII^e-XVIII^e siècles avec une grande consommation de chênes aux troncs épais, trapus, noueux et courts qui justifie l'usage du sciage pour les adapter aux sections recherchées pour les charpentes, et non plus de l'équarrissage à la doloire qui n'est réservé plus qu'à quelques pièces maîtresses (entraîts, poinçons...). Ce changement témoigne d'une modification profonde de la gestion des ressources forestières, responsable d'une production de bois de plus fort diamètre avec le développement du taillis-sous-futaie sur tout le Bassin parisien. On reviendra plus loin sur ces liens entre structures, techniques et changements sylvicoles.

3.2.2 *Le marquage des bois et l'organisation du chantier*

Le marquage est un système d'identification des bois qui sert à faciliter leur repérage au moment du montage de la charpente. Il attribue une marque distinctive à chaque pièce ou à chaque assemblage pour localiser précisément sa position par rapport aux autres éléments, souvent identiques, au sein de la structure. Ce repérage signalétique, réalisé au sol peu après la taille des bois, est destiné au levage de la charpente et sert à faciliter le travail de reconnaissance des bois. Le marquage comme les signes utilisés sont propre à chaque équipe de charpentiers et la numérotation employée concerne que la partie de l'ouvrage qui leur est attribuée à l'exécution. Ainsi, une charpente peut contenir plusieurs marquages distincts et avoir été mise en place en une seule fois.

L'analyse du marquage d'une charpente se limitait jusqu'il y a peu de temps à définir uniquement la numérotation des fermes sur la longueur de la charpente. Or, une seule ferme possède plus d'une dizaine de marques, et une grande charpente plusieurs milliers dont l'analyse précise permet de déceler les différentes équipes qui y ont participé et de définir la répartition des tâches entre elles. Ces marquages renseignent donc l'organisation du travail au sein du chantier tant sur le nombre d'équipes que sur la programmation du montage qui peut être étalé sur plusieurs années pour les grands ouvrages.

Le relevé archéologique d'une charpente doit donc prendre en compte l'ensemble du marquage et enregistrer toutes les marques avec leur localisation sur les bois, leur sens d'écriture, l'outil



d'inscription, etc... J'ai donc mis en place une méthodologie à travers des « tableaux de marquage » qui assurent l'enregistrement exhaustif de toutes les marques, par pièces de charpentes, en prenant en compte les signes utilisés, l'outil d'inscription, leur emplacement sur chaque bois et la combinaison de ces données. Pour des grandes charpentes, ce sont ainsi plusieurs milliers de signes qui sont enregistrés et analysés. Ce type d'acquisition, qui suppose une escalade dans toutes les parties hautes la structure, permet de mettre en évidence les différents marquages, les séries numérotées avec des sens de progression parfois inversés, les interruptions et des changements de signes qui sont autant d'indices pour comprendre le chantier d'exécution ainsi que les reprises ultérieures de l'ouvrage à travers des marquages surimposés à l'original.

Fig. 56 : Marque d'assemblage inscrite à la rainette, cathédrale de Rouen, 1220

Cette façon d'enregistrer le marquage et leur analyse a permis d'avoir des informations très précieuses sur de grands chantiers du XIII^e siècle comme ceux des cathédrales de Poitiers et Bourges alors même que les textes sont totalement muets sur ces données, notamment sur l'intervention des mêmes équipes de charpentiers sur différentes parties de l'édifice, à plusieurs années d'intervalles.

Mes travaux ont démontré que l'évolution du marquage au cours du Moyen Âge rend compte d'une part du changement structurel des charpentes romanes et gothiques : les charpentes romanes dont les fermes sont toutes identiques et interchangeables utilisent des marquages dépourvus de valeur numérique tandis que les charpentes gothiques structurées en travées, aux fermes non substituables, emploient des numérotations graduées. D'autre part, leur évolution témoigne de la professionnalisation du métier qui s'organise avec la multiplication des chantiers et le montage de grands ouvrages complexes réclamant des équipes de charpentiers spécialisés. Alors que les marquages étaient très diversifiés aux XI^e-XII^e siècles avec des systèmes cumulatifs d'encoches, d'entailles, de traits (6 traits = n°6), de signes particuliers sans valeur numérique, de marques circulaires ou autres, ils tendent au début XIII^e siècle en quelques décennies seulement sur l'ensemble du Bassin parisien à s'uniformiser et se normaliser par l'adoption de l'écriture en chiffres romains et par sa simplification à l'aide d'abréviations. L'emploi très rapide et généralisé de ces conventions de numérotation témoigne indirectement de la circulation des charpentiers et de la transmission rapide de leur savoir-faire sur l'ensemble du Bassin parisien.

Ces travaux ont fait l'objet de plusieurs publications :

Epaud 2021a (à paraître)

Epaud F. - Les charpentes gothiques face au défi du gigantisme, *in* : Desmet Y. (dir.), *Les structures gothiques : à la poursuite de l'équilibre*. Actes du 3^{ème} colloque international (Tournai, 2-3 février 2017), Département du Patrimoine de Wallonie, Namur. ([hal-02403547v1](#))

Epaud 2020a

Epaud F. - La mise en œuvre d'une charpente à chevrons-formant-fermes du XIII^e siècle : l'exemple expérimental de Guédelon, *in* : Baud A. et Charpentier G. (text. réunis par), *Les chantiers et les matériaux de construction de l'Antiquité à la Révolution industrielle en Occident et en Orient*, Actes du colloque tenu au château de Guédelon (23-25 septembre 2015), Maison de l'Orient et de la Méditerranée, Presses Universitaire de Lyon 2, 2020 : 209-222. ([hal-03047292](#))

Epaud 2017a

Epaud F. - *La charpente de la cathédrale de Bourges. De la forêt au chantier*, PUFR, Coll. Perspectives historiques, série archéologie, Tours, 2017. ([hal-01802160](#))

Epaud 2013b

Epaud F. - Les charpentes *in* : Andrault-Schmitt C. (dir.) *La cathédrale Saint-Pierre de Poitiers. Enquêtes croisées*, Geste éditions, La Crèche, 2013 : 188-208. ([halshs-01244533](#))

Epaud 2012d

Epaud F. - *Etude archéologique des charpentes médiévales de la cathédrale Saint Pierre de Poitiers (86)*, Rapport inédit CNRS, CITERES-LAT, 2 vol., 2012. ([halshs-01249288](#))

Epaud 2012b

Epaud F. - La charpente de la nef de la cathédrale de Bourges, *in* : *Revue archéologique du Centre de la France*, tome 50, 2012, URL : <http://racf.revues.org/1686>. ([halshs-01243354](#))

Epaud 2007a

Epaud F. - *De la charpente romane à la charpente gothique en Normandie. Evolution des techniques et des structures de charpenterie aux XII^e-XIII^e siècles*. Publications du CRAHM, Caen, 2007. ([halshs-00368122](#))

Epaud 2007b

Epaud F. - *Les charpentes de la cathédrale Notre-Dame de Bayeux*, Publications du CRAHM, Caen, 2007. ([halshs-00368130](#))

3.2.3 Consommation en bois d'œuvre et temps de travail : l'expérimentation de Guédelon (Yonne)

En 2002, j'ai intégré le comité scientifique du chantier expérimental de Guédelon à Treigny (Yonne) dont l'objectif est de reconstruire *ex-nihilo* un château fortifié philippin du début du XIII^e siècle. J'y ai depuis dessiné la plupart des charpentes et encadré les équipes de charpentiers pour réaliser les ouvrages dans le respect le plus strict des techniques et des matériaux du XIII^e siècle. Ces charpentes concernent aussi bien les cabanes de chantiers que les structures qui coiffent les tours et les grandes salles du château, d'après des modèles existants.



Fig. 57 : Construction du logis du château de Guédelon avec le levage de la charpente de la chambre (septembre 2008).

L'intérêt pour l'archéologue réside dans la restitution en grandeur réelle d'un chantier médiéval tant du point de vue des outils, des techniques, de la gestuelle des équarisseurs, de l'approvisionnement des matériaux, de la manutention des bois et des engins (cage d'écureuil, chèvre...), que de l'organisation du travail, de la gestion du temps et des équipes. Toutes les étapes de la chaîne opératoire y sont restituées, avec des charpentiers qui maîtrisent parfaitement le maniement des haches et des techniques traditionnelles de charpenterie. Dès lors, il devient intéressant de questionner cet « outil expérimental » pour répondre aux questions qui demeurent peu documentées par les textes comme le levage des charpentes, le temps d'exécution, les cadences de travail, la sélection des chênes, leur manutention, etc... : « construire pour comprendre ».

Il ne s'agit pas ici d'évoquer toutes les expérimentations réalisées sur ce chantier depuis près de 20 ans, mais de présenter seulement quelques données issues du chantier de la grande charpente du logis seigneurial, construite en 2007-2008. Dessiné d'après un modèle du début du XIII^e siècle, ce logis de 24 x 9 m présente une salle haute et une chambre couverte d'une charpente voûtée à chevrons-formant-fermes de 38 fermes (fig. 57).

Les chênes nécessaires à sa construction furent prélevés dans la futaie de Bellary dans la Nièvre en raison d'une gestion sylvicole proche de celle d'une forêt des XII^e-XIII^e siècles, à savoir une futaie sur souche hyperdense laissée sans entretien depuis 80 ans après une coupe rase. Les chênes étaient fins, très élancés, à croissance rapide, et donc parfaitement adaptés à l'équarrissage (fig. 58). Les abattages ont concerné à 95 % des chênes de 25-30 cm de diamètre en pied pour les pièces de 15 x 15 cm, le reste étant des « gros » chênes de 30-35 cm de diamètre pour les entrails et poutres de rive (20 x 20 cm).



Fig. 58 : Forêt de Bellary (Nièvre), jeunes chênes correspondant aux mensurations des bois utilisés au XIII^e

La mise en œuvre de cette charpente a nécessité l'abattage de 180 chênes de 13 à 14,5 m de longueur de fût exploitable, soit 90 m³ de grumes (pour 30 m³ de bois équarris). La consommation attendue était pourtant de 143 arbres en mettant bout à bout toutes les pièces de la charpente. Cette surconsommation de 26 % correspond aux pertes liées au centrage des pièces dans le fût générant des chutes utilisées pour les lattes. Les arbres ont été sélectionnés sur pied par furetage dans le cadre d'une éclaircie et correspondaient donc aux sections recherchées. Les abattages ont été réalisés en période de repos végétatif comme au Moyen Âge. Les gros chênes de 35 cm de diamètre pour les entrails et les poutres de rives de 20 x 20 cm ont été prélevés séparément dans des réserves déclassées comme on l'observe aussi dans les charpentes de cathédrales d'après les analyses dendrochronologiques qui montrent des prélèvements dans d'autres peuplements.



Fig. 59 : : Equarrissage à la doloire suivant les encoches d'ébauchage.

Tous les bois ont été travaillés verts juste après l'abattage puisqu'il a été expérimenté qu'après six mois de stockage, les fibres durcissaient et que le travail d'équarrissage devenait trop difficile. Comme au XIII^e siècle, les chênes furent équarris en conservant le cœur du bois, en respectant le fil du bois et en pratiquant l'ébauchage qui consiste à entailler le bois pour faciliter la taille (fig. 59). Le chantier a permis de noter le temps imparti à l'équarrissage pour

l'ensemble de la charpente, sachant que les équarrisseurs étaient expérimentés depuis plusieurs années à cette technique. Ainsi, il a fallu en moyenne une heure par homme pour équarrir à la doloire un mètre de longueur de grume sur ses quatre faces, soit 6 heures/homme pour obtenir un chevron de 15/15 cm à partir d'une grume de 25-30 cm de diamètre et de 6,50 m, sans forcer le rythme. L'équarrissage des bois d'une ferme secondaire a nécessité 2 jours de travail pour deux hommes. Et enfin, l'équarrissage de tous les bois de la charpente représente 3 mois de travail continu pour 2 hommes en considérant une semaine de 6 jours de 8h de travail, soit 1300 heures/homme. Ce ratio peut ainsi être utilisé pour comptabiliser le temps d'exécution d'une charpente médiévale.

Les techniques d'exécution du XIII^e siècle furent toutes respectées, du lignage au graphite, de la mise sur épure, du piquage au fil à plomb à la taille des assemblages entièrement faite à la hache. Toutes ces opérations pour l'exécution d'une ferme secondaire ont nécessité 2 jours et demi de travail pour trois charpentiers. Pour une ferme principale, le travail est plus long en raison des pièces et des assemblages supplémentaires à tailler (13 assemblages contre 9 pour une ferme secondaire), mais surtout à cause des sculptures qui ont demandé le double de temps de travail. Ainsi, l'exécution de toute la charpente a nécessité 120 jours de travail pour trois charpentiers. Là aussi, selon la longueur en mètre/linéaire et la quantité d'assemblage, il est possible d'estimer le temps d'exécution pour des charpentes médiévales, comme ce qui a été présenté pour le projet de reconstruction de la charpente de Notre-Dame de Paris selon les techniques traditionnelles.

3.2.4 La question du levage

Ni les textes, ni l'iconographie ne renseignent sur la façon dont on lève une charpente médiévale au sommet des murs d'un édifice. Il y a encore quelques années, j'avais des hypothèses que je réfute aujourd'hui : levage depuis le sol de fermes complètes par des grues, montage pièce par pièce, etc... Cette question est d'autant plus prégnante pour les grands édifices comme les cathédrales car d'un point de vue technique, lever une lourde structure avec des bois de 10 à 14 m de long à de 20-30 m de hauteur sur des murs minces peut relever de l'exploit pour la plupart des ingénieurs et des historiens des techniques. Par ailleurs, cette question touche à celle du voutement du monument puisque ce dernier est

très proche de la charpente, parfois à quelques centimètres seulement et que la question de sa construction avant ou après la charpente en dépend.

La réponse la plus vraisemblable fut révélée il y a peu grâce au croisement de deux approches : celle de l'archéologie expérimentale à travers le levage de la charpente du logis de Guédelon, évoqué ci-dessus, et celle du relevé archéologique de la charpente du XIII^e siècle de la cathédrale de Bourges.

Le chantier de la charpente du logis de Guédelon a été l'occasion de réfléchir aux différentes hypothèses de levage possibles et de les mettre en pratique. Il est apparu au cours du chantier, avec les engins de levage disponibles (cage à écureuil, chèvre) et des échafaudages en perches ligaturées, que l'option la plus pragmatique et la plus sécurisée pour les charpentiers était la mise en place d'un plancher de travail au sommet des murs sur lequel chaque ferme était remontée puis levée, entièrement assemblée, une à une en toute sécurité à l'aide de cordages et de perches (fig. 60). Le plancher de travail sur échafaudage est démonté puis remonté de travée en travée en suivant la progression du montage de la charpente.

La simplicité et la facilité de ce mode de levage, jamais proposé jusqu'à présent pour l'architecture médiévale, tendraient à valider cette proposition pour le montage des charpentes anciennes.

Fig. 60 : Levage manuel d'une ferme de la charpente du logis de Guédelon, 2008.



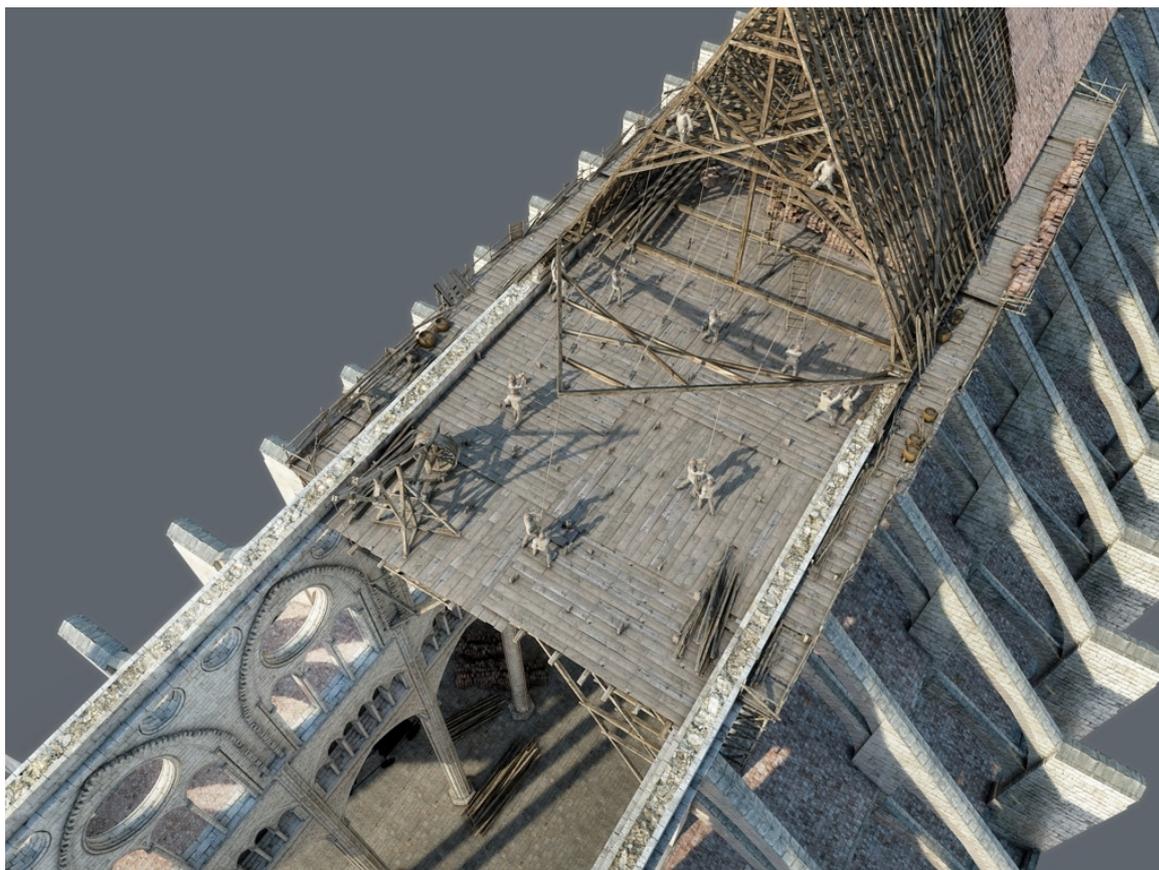
La deuxième approche, celle de l'archéologie du bâti, concerne le relevé de la charpente de Bourges, particulièrement bien conservée, qui a montré la présence de multiples entailles et chevillages sur les chevrons. La répartition et l'emplacement de ces artefacts ne correspondaient pas au fonctionnement de la structure mais plutôt au système de levage des fermes. Ils servaient d'une part à la fixation de longues perches ou de longues planches disposées dans le plan des fermes pour stabiliser les raidisseurs entre eux (écharpes, entrants retroussés et aisseliers) et assurer ainsi leur maintien provisoire au cours du dressage. D'autre part, les encoches présentes uniquement sur les chevrons servaient à l'accroche des cordes et montraient que chaque ferme était levée entièrement assemblée. Ces indices témoignaient donc du levage de fermes complètes, maintenues chacune par des perches provisoires pour contenir leur ploiement et éviter la rupture des assemblages au cours du levage.

Le mode de levage expérimenté à Guédelon trouvait donc ici une application plausible en supposant qu'à la cathédrale de Bourges au XIII^e siècle un plancher de travail a été mis en place au sommet des murs où remonter les fermes afin de les lever entièrement assemblées, l'une après l'autre, tout en mettant des perches et des planches de maintien pour éviter leur ploiement (fig. 61).

Pour le levage des charpentes sur les grandes églises, le montage des bois sur ce plancher de travail se faisait donc très vraisemblablement à la verticale du chantier par l'intérieur du vaisseau en raison de la présence d'arcs-boutants, de collatéraux et de chapelles latérales. Ce plancher, qui était déplacé progressivement, offrait ainsi aux charpentiers la possibilité d'entreposer les bois, de les manipuler en toute sécurité pour réassembler chaque ferme et permettre leur levage l'une après l'autre.

Outre le levage des bois, la mise en place d'un tel plancher par des perches d'échafaudage supposait que les voûtes étaient absentes pour que les perches puissent prendre appui sur les gouttereaux au droit des baies hautes ou du triforium. Aux cathédrales de Bourges et de Chartres, il a été démontré que les voûtes étaient montées tardivement, bien après l'achèvement des toitures (Epaud 2017a et Lautier 2011). Par ailleurs, il semble logique que les voûtes étaient montées après la pose de la toiture pour que celle-ci puisse garantir le séchage du mortier à l'abri des intempéries.

Fig. 60 : Hypothèse de levage de la charpente de la cathédrale de Bourges (Epaud 2017a).



Enfin, concernant le levage des charpentes médiévales, l'une des questions qui reste toujours en suspens est la présence des pignons qui empêche le levage des fermes. Le chantier de Guédelon a là encore permis de proposer une hypothèse de montage plausible. En effet, pour la dernière travée, les charpentiers furent confrontés au mur-pignon occidental, achevé peu avant, et donc de l'impossibilité de redresser les fermes depuis le plancher de travail, faute de place. La solution qui fut trouvée consistait à lever toutes les fermes dans l'avant-dernière travée, de les accoler entre elles pour gagner sur l'espace de levage. Une glissière fut alors mise en place sous les entrails retroussés, fixée sur deux poteaux et ancrée à l'extrémité dans le mur-pignon (fig. 61). Sur cette glissière, les fermes ont ainsi pu être déplacées à la main sans difficulté pour être placées à leur emplacement définitif dans leurs blochets.

Cette technique ingénieuse, dite « en accordéon », pourrait être envisagée lors de reprises de charpentes médiévales sur des édifices où les pignons ont été conservés.



Fig. 61 : Déplacement des fermes sur la glissière dans la dernière travée du logis de Guédelon, 2008.

Ces travaux ont fait l'objet de plusieurs publications :

Epaud 2021a (à paraître)

Epaud F. - Les charpentes gothiques face au défi du gigantisme, *in* : Desmet Y. (dir.), *Les structures gothiques : à la poursuite de l'équilibre*. Actes du 3^{ème} colloque international (Tournai, 2-3 février 2017), Département du Patrimoine de Wallonie, Namur. ([hal-02403547v1](#))

Epaud 2020a

Epaud F. - La mise en œuvre d'une charpente à chevrons-formant-fermes du XIII^e siècle : l'exemple expérimental de Guédelon, *in* : Baud A. et Charpentier G. (text. réunis par), *Les chantiers et les matériaux de construction de l'Antiquité à la Révolution industrielle en Occident et en Orient*, Actes du colloque tenu au château de Guédelon (23-25 septembre 2015), Maison de l'Orient et de la Méditerranée, Presses universitaires de Lyon 2, 2020 : 209-222. ([hal-03047292](#))

Epaud 2017a

Epaud F. - *La charpente de la cathédrale de Bourges. De la forêt au chantier*, PUF, Coll. Perspectives historiques, série archéologie, Tours, 2017. ([hal-01802160](#))

3.3 La recherche de jalons : les inventaires

3.3.1 Des terres à défricher

La crédibilité scientifique de toute étude sur les charpentes, comme de tout objet archéologique, repose sur l'éventail du corpus référentiel, tant chronologique et géographique. Le recensement des charpentes médiévales est donc primordial dans cette recherche tant qu'il peut être associé à des campagnes d'analyses dendrochronologiques pour la datation des jalons et de relevés. Cette notion de l'inventaire/recensement est d'autant plus prioritaire que le nombre de charpentes anciennes connues en France est encore très restreint. Les études sont rares, isolées et mal recensées.

Les inventaires de charpente sont rares en France. Les services régionaux de l'Inventaire effectuent un recensement des monuments sur l'ensemble du territoire mais les charpentes de combles fermés ne sont que rarement prises en compte. Le Centre de recherche sur les monuments historiques a, quant à lui, mené depuis 1942 près de trois mille relevés de charpentes (structures de comble, planchers, beffrois...) dans le cadre de travaux de restauration des édifices protégés. Une synthèse de ces données a fait l'objet de deux publications, la première sur les charpentes des XI^e au XIX^e siècle de la France du Nord et de Belgique (Hoffsummer 2002), puis la seconde sur celles du Grand Ouest de la France (Hoffsummer 2011) pour laquelle j'avais collaboré en y publiant l'essentiel de la documentation de mon doctorat (relevés et analyses) pour la Normandie, avec en supplément quelques monographies. Ces ouvrages constituent à ce jour le référentiel publié le mieux documenté pour les charpentes anciennes. J'avais aussi contribué à des ouvrages généraux à l'échelle du Nord-Ouest de l'Europe pour y présenter les principaux types de charpentes existants en France.

En 1998, au début de mes recherches doctorales en Normandie, seulement 7 charpentes antérieures au XIV^e siècle étaient connues. En trois ans, 49 charpentes des XI^e-XIII^e siècles avaient pu être identifiées grâce à une campagne de prospection que j'avais menée dans les monuments médiévaux en Haute et Basse Normandie. Une trentaine d'entre elles avaient été datées par dendrochronologie afin d'établir les premiers marqueurs régionaux.

L'importance quantitative de ces découvertes révélait l'étonnant potentiel des églises qui conservent encore leurs charpentes d'origine le plus souvent dissimulées au regard de tous par des voûtes maçonnées ou recouvertes de lambris plus tardifs. La présence de voûtes en pierre garantit en effet la bonne préservation des charpentes anciennes car celles-ci échappent aux phénomènes de mode et d'esthétique comme le profil plus ou moins cintré du voûtement en bois, la présence ou non de sculptures sur les poutres, le type de lambrissage ou le plafonnement qui revient au goût du jour à partir du XVI^e siècle en Ile-de-France et qui souvent entraîne la reconstruction de la charpente.

En dépit des multiples restaurations au cours des siècles, les églises conservent parfois tout ou partie de la charpente d'origine en place ou en réemploi. Il a même été observé quelques exemples de reconstruction complète de l'édifice au XVI^e siècle où la charpente du comble ou du beffroi d'origine du XIII^e siècle avait été laissée *in situ* grâce à une reprise en sous-œuvre. On constate aussi que les

reprises de l'époque moderne réemploient le plus souvent les éléments de la charpente médiévale du fait des difficultés d'approvisionnement en bois d'œuvre de qualité, contrairement aux reprises des XVe-XVIe siècles qui emploient massivement du bois vert. La conservation de bois très anciens peut donc être garantie par des reprises tardives de la charpente. Des bois du XIe siècle peuvent ainsi traverser les siècles et parvenir jusqu'à nous dans un état de conservation remarquable comme ceux de la charpente de l'abbatiale Saint-Germain-des-Prés, datés de 1018-1038, repris lors de sa reconstruction en 1644. Tous les cas de figures peuvent donc se rencontrer en prospectant les monuments.

Les régions « pauvres » sont bien entendu les plus propices à la conservation de structures anciennes, faute de reconstruction, que ce soit pour les églises, les logis ou les granges. Les terres bocagères et vallonnées comme l'Orne, la Sarthe, le Pays d'Ouche (Eure), le Pays de Bray (Seine-Maritime) sont en effet un conservatoire des charpentes médiévales contrairement aux riches plateaux céréaliers, parfois limitrophes de ces dernières, comme le Pays de Caux (Seine-Maritime) et la Beauce où la majorité des églises fut reconstruite dès le XVIe siècle. Une prospection bien ciblée géographiquement peut donc se révéler plus fructueuse que dans les régions « pauvres ».

La prospection sur des constructions civiles et militaires (logis, manoirs, corps de ferme, maison en pans de bois, châteaux...) est conditionnée au bon-vouloir des propriétaires. Le relevé des structures en bois dans les espaces privés est donc difficile et rarement possible. Pour ces raisons, les charpentes des architectures domestiques sont donc moins représentées. Comme les églises, les logis subissent des phénomènes de mode comme le plafonnement des espaces de vie au début de l'époque moderne, ce qui a parfois contribué à la conservation dans le comble des charpentes voûtées primitives, converties en grenier. Là aussi, on observe une plus forte conservation des dispositifs primitifs médiévaux dans les territoires bocagers comme des salles basses restées sous charpente apparente, typiques des XIIIe-XIVe siècles, encore au XVIIe siècle dans l'Avranchin.

Epaud 2011a

Epaud F. – La chapelle Notre-Dame du Temple de l'ancienne commanderie templière de Chanu à Villiers-en-Désœuvre (Eure), *in* : Hoffsummer P. (dir.), *Les charpentes du XIe au XIXe siècles. Grand Ouest de la France*, Brepols, AMA vol. 5, Turnhout, 2011 : 257-260. [halshs-01244545](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01244545)

Epaud 2011c

Epaud F. – La grange de la commanderie Sainte-Vaubourg du Val-de-la-Haye (Seine-Maritime), *in* : Hoffsummer P. (dir.), *Les charpentes du XIe au XIXe siècles Grand Ouest de la France*, Brepols, AMA vol. 5, Turnhout, 2011 : 261-268. [halshs-01244554](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01244554)

Hoffsummer 2009

Hoffsummer P. (dir.) avec la coll. de Alcock N., Bernardi P., Blaha J., Caston P., Cremer S., Currie C., Derinaldis P., Epaud F., Maczynski D., Mayer J., Pressler E., Storsletten O., Tampone G. - *Charpentes d'Europe*, Institut du Patrimoine Wallon, Carnet du Patrimoine, Namur, 2009.

Epaud 2009a

Epaud F. - Les charpentes à chevrons-formant-fermes : Nord de la France et Belgique du XIIIe au XVe siècle, *in* : Hoffsummer P. (dir.), *Charpentes d'Europe*, Institut du Patrimoine Wallon, Carnet du Patrimoine, Namur, 2009 : 15-17. [halshs-01244556](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01244556)

Epaud 2009b

Epaud F. - Les charpentes à fermes et pannes du Nord-Ouest de l'Europe : Granges et halles Nord de la France du XIIIe au XVe siècle, *in* : Hoffsummer P. (dir.), *Charpentes d'Europe*, Institut du Patrimoine Wallon, Carnet du Patrimoine, Namur, 2009 : 33-38. [halshs-01244558](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01244558)

3.3.2 L'inventaire en Val d'Oise

En 2003-2005, j'ai pu étendre l'inventaire des charpentes en Ile-de-France et plus précisément au Val d'Oise grâce à quatre mois de contrats de recherche étalés sur trois ans au Service Départemental d'Archéologie du Val d'Oise (SDAVO). L'objectif de ces contrats était de tester le potentiel archéologique des combles des églises du département afin d'établir un premier corpus de charpentes de référence du XIe au XXe siècle pour l'Ile-de-France et le comparer à celui réalisé en Normandie. Il devait surtout servir à identifier les structures les plus anciennes des XIe au XIIIe siècle du fait de leur rareté. En effet, avant cet inventaire, il n'était recensé en France, excepté la Normandie, que 34 charpentes des XIe-XIIe siècles et 31 du XIIIe siècle. Celles des XIVe-XVe siècles sont beaucoup plus nombreuses. L'inventaire des charpentes entrepris sur 37 communes du Val d'Oise, soit sur 40 églises, ce qui représente 150 charpentes prospectées, a permis de découvrir une quinzaine de charpentes inédites des XIe-XIIIe siècles, soit 10 % du corpus. Ainsi, avec le corpus normand, le travail d'inventaire mené en 8 ans a permis d'ores et déjà de doubler le corpus des charpentes des XIe-XIIIe siècles en France. Il témoigne de l'importance du travail de prospection qui reste à accomplir sur les autres territoires.

Si ces inventaires ne sont pas exhaustifs à l'échelle du territoire prospecté, ils s'appuient néanmoins sur une présélection des édifices selon des critères architecturaux qui garantissent la présence de charpentes anciennes en place ayant connues un minimum de remaniement. Les structures prospectées concernent les charpentes des combles sur les vaisseaux, mais aussi celles des bas-côtés, de beffroi, de flèche de clocher et de plancher. Ces charpentes sont étudiées selon un plan chronologique, en traitant l'apparition du type à « fermes et pannes » dans le contexte des « chevrons-formant-fermes », à travers les exemples les plus représentatifs et les mieux conservés des différentes phases du développement de ces structures du XIe au XXe siècle. Cette étude a permis de compléter les connaissances tant sur le plan structurel que sur celui des techniques de conception et d'exécution de la charpenterie médiévale et moderne suivant les développements des grands courants architecturaux. Elle a permis de découvrir une importante concentration de charpentes inédites à fermes et pannes sur les édifices gothiques franciliens du début du XIIIe siècle, témoignant de la précocité et de la parfaite maîtrise de cette technique en France septentrionale à l'apogée du gothique. De même, elle a identifié au XVIe siècle l'apparition et la diffusion de voutements originaux en bois adaptés aux fermes et pannes et parfois suspendues, affranchies de la structure, avec des techniques qui vont perdurer jusqu'au XVIIIe s.

Un article de synthèse a été rédigé avec la collaboration de Vincent Bernard (CNRS, UMR 6566 – Rennes) qui a réalisé les datations dendrochronologiques de certaines charpentes.

Epaud et Bernard 2008

Epaud F. et Bernard V.- L'évolution des charpentes d'églises du Val d'Oise, du XIe au XXe siècle, *Revue archéologique du Centre de la France*, Tome 47, 2008, mis en ligne le 18 mai 2009. URL : <http://racf.revues.org/index1205.html>. [\(halshs-01243360\)](#)

Epaud 2004b

Epaud F. 2004 - *Etude des charpentes du Val d'Oise (vol. 2)*, Rapport de recensement et d'expertise, Service Départemental d'Archéologie du Val d'Oise, Saint-Ouen-l'Aumône 109 p. [\(halshs-03199804\)](#)

Epaud 2003b

Epaud F., - *Etude des charpentes du Val d'Oise (vol. 1)*, Rapport de recensement et d'expertise, Service Départemental d'Archéologie du Val d'Oise, Saint-Ouen-l'Aumône 124 p., 305 fig. [\(halshs-03199791\)](#)

3.3.3 L'inventaire en région Centre (projet CharpCentre)

Dans le prolongement de ces inventaires et en raison de la pauvreté du corpus en région Centre, j'ai déposé en 2012 en tant que porteur de projet un Appel à Projet Régional dénommé « CharpCentre » à la région Centre-Val de Loire dans l'objectif de réaliser une vaste campagne de recensement, cette fois-ci à l'échelle d'une région, sur les départements du Cher, Eure-et-Loir, Indre, Indre-et-Loire, Loir-et-

Cher et Loiret. Financé sur trois ans de 2012 à 2016, ce projet a eu pour objectif d'inventorier sur ce territoire les charpentes romanes et gothiques et d'en connaître leur évolution grâce à une prospection sur les églises médiévales selon les mêmes protocoles que ceux réalisés en Val d'Oise et en Normandie. Il s'est appuyé sur un financement de 12 mois de contrats répartis pour deux ingénieurs d'étude, Julien Noblet et Franck Tournadre, soit 4 mois par an répartis entre la prospection de terrain, auxquels se rajoutent 6 mois de travail pour moi-même, et la rédaction des rapports.

Cet inventaire couvre les 6 départements de la région Centre et porte essentiellement sur les églises communales pour des raisons d'accessibilité. Un premier tri sélectif a d'abord été réalisé par des études documentaires sur les 1842 églises communales de la région afin de ne retenir que les édifices ayant le plus de potentiel archéologique, c'est-à-dire celles voûtées en maçonnerie ou avec une charpente apparente susceptible d'être ancienne. Ainsi, ce pré-inventaire a sélectionné 126 édifices qui ont tous été visités en trois ans. Ce recensement n'est donc pas exhaustif mais les édifices les plus susceptibles d'avoir des charpentes anciennes ont été vus. Sur ces édifices prospectés, 314 charpentes ont fait l'objet d'une analyse à partir de laquelle des notices furent rédigées, plus ou moins détaillées selon l'intérêt de la structure. Le rapport définitif rédigé en 2017 comprend au final 35 notices détaillées par édifices et 90 notices de description plus générale, lesquelles décrivent en tout 314 charpentes du XIIe au XIXe siècle.

Cet inventaire a permis d'identifier une charpente du début du XIe siècle, la plus ancienne actuellement recensée en France, 34 charpentes de la fin XIIe-XIIIe siècles en place pour la plupart inédites, 7 structures de cette même période en réemploi et 6 charpentes du XIVe siècle, le reste étant postérieur à 1350 d'après des critères de datation basés sur les structures et les techniques d'assemblage. Dix des charpentes les plus représentatives des XIIe-XIVe siècles ont bénéficié d'une datation dendrochronologique. En somme, les charpentes antérieures au XIVe siècle, réemplois compris, représentent 14,5 % du corpus, soit une proportion un peu supérieure à celle du Val d'Oise, ce qui est remarquable. La synthèse rédigée dans le rapport évoque les grandes lignes de l'évolution des techniques et des structures de charpenterie sur la période médiévale et moderne en région Centre-Val de Loire. Le rapport final de 535 pages, comprend un premier volume de présentation, fiches, notices, synthèse, et un second rassemblant les tableaux, cartes, annexes et analyses dendrochronologiques.

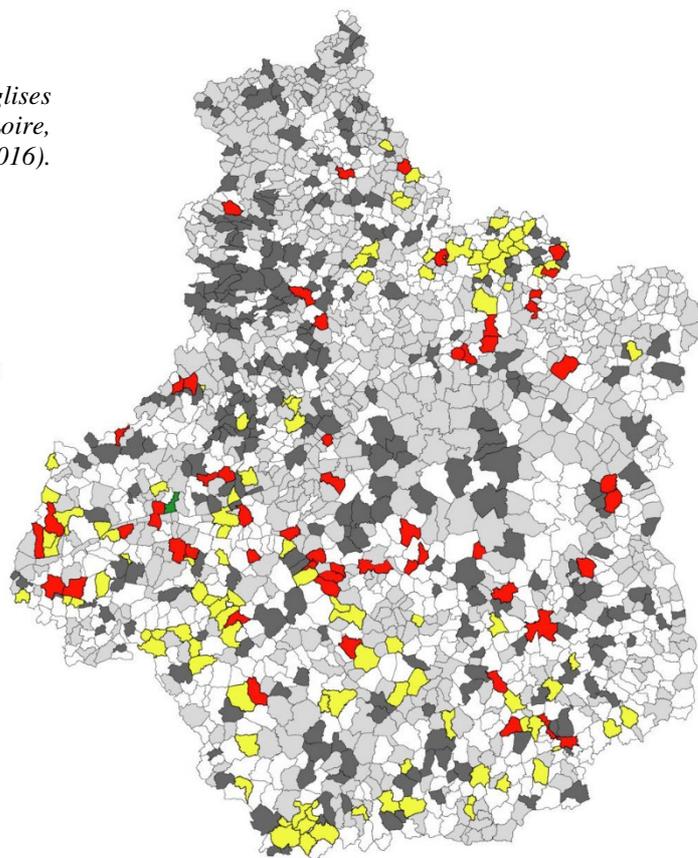
Ce mémoire n'est pas l'endroit pour détailler l'évolution des charpentes médiévales et modernes en région Centre-Val de Loire, et je renvoie le lecteur au rapport mis en ligne sur HAL. Notons seulement que la diversité des structures révélées par ce corpus et les analyses dendrochronologiques permettent de suivre précisément les principales étapes cette évolution avec la datation de l'apparition de certains dispositifs désormais bien calés chronologiquement comme le contreventement du chevronnage ou les sous-faîtages. La plus ancienne charpente connue à ce jour, datée de 1028, a ainsi pu être découverte sur l'église Saint-Georges de Rochecorbon en Indre-et-Loire, faisant de cette structure un des jalons les plus précieux de la chaîne évolutive de la charpenterie française. Ce nouveau corpus de charpentes anciennes démontre la prédominance des chevrons-formant-fermes en région Centre jusqu'au XVIIIe siècle, contrairement à l'Ile-de-France et la Normandie où les fermes et pannes sont majoritaires dès le XVe siècle. De plus, ces dernières sont quasiment absentes à la période médiévale. L'emploi des chevrons-formant-fermes perdure pour les voûtements à l'époque moderne même si le principe de la voûte suspendue aux fermes et pannes commence à se diffuser au XVIe siècle.

Cet inventaire a aussi mis en évidence l'existence d'un type de charpente propre au Val de Loire pour les XVe-XVIIIe siècles, dite « charpente ligérienne », présente dans l'architecture civile et religieuse et caractérisée par des pannes insérées aux extrémités des faux entrants, ce qui permet d'économiser des arbalétriers. La diffusion en région Centre de l'architecture gothique angevine avec ses voûtes domicales très bombées ainsi que la permanence du voutement en berceau aux XIIe-XIIIe siècles expliquent aussi la présence de charpentes à portique très originales à cette période, inspirées des structures de granges, avec parfois des pans de bois longitudinaux pour surhausser les fermes et couvrir de très larges espaces sous des toitures à deux versants. Certaines, particulièrement impressionnantes comme à Bourgueil en Indre-et-Loire, inconnues dans les régions plus septentrionales, en font des témoins rares et précieux pour la compréhension de l'architecture en bois de cette période.

Il est important aussi de souligner qu'un tel corpus a permis d'observer sur le temps long, sur près de mille ans et plusieurs centaines de charpentes sur un très vaste territoire, l'évolution de la qualité du bois mis en œuvre et de leurs techniques de débitage, ce qui a permis d'alimenter une réflexion sur l'impact

de la gestion sylvicole sur les techniques de charpenterie et des choix architecturaux, déjà évoquée précédemment.

Fig. 62 : Localisation des églises prospectées en région Centre-Val de Loire, Projet CharpCentre (2012-2016).



L'importance quantitative des données et des illustrations du projet CharpCentre n'a pas permis d'en produire une synthèse sous la forme d'un article mais le rapport intégral et toutes les notices sont disponibles en ligne sur HAL.

Epauld 2017

Epauld F. (dir.), Noblet J. et Tournadre F. - *Inventaire des charpentes d'églises médiévales de la région Centre-Val de Loire*, Rapport final du programme CharpCentre, 2017, 535 p. ([hal-01802125](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01802125))

3.3.4 Projet Charp'France 2020-2022

En parallèle à ces inventaires, on constate que de nombreuses charpentes anciennes continuent d'être découvertes fortuitement sur tout le territoire français le plus souvent lors de travaux de restauration ou lorsque des datations dendrochronologiques sont entreprises. Ce sont les laboratoires d'analyse qui me relatent ces découvertes qui, dans la plupart des cas, ne sont jamais publiées. De même, à travers la bibliographie, des charpentes médiévales sont parfois citées dans des articles dans des revues ou dans des ouvrages d'histoire de l'art ou d'archéologie du bâti. Le corpus des charpentes médiévales ne cesse donc de s'accroître sans qu'un recensement systématique à l'échelle nationale ne soit fait de façon régulière et automatique. Le dernier inventaire à l'échelle nationale avait été réalisé à ma connaissance lors de la publication de ma thèse en 2007.

Ce projet de recensement national a donc été mis en place à l'occasion d'une bourse postdoctorale allouée à Sayuri Kawaze par la Japan Society for Promotion of Science, de 2020 à 2022. Titulaire d'un double doctorat soutenu à l'Université de Tokyo en 2019 et à l'EHESS en 2021 sur les charpentes métalliques des cathédrales du XIXe siècle en France, S. Kawaze est rattachée au LAT comme laboratoire hôte pour ce contrat.

Ce contrat a pour objectif de réaliser une base de données recensant toutes les charpentes des XIe-XIVe siècles découvertes sur le territoire français. Les limites chronologiques se limitent aux structures les

plus anciennes antérieures à 1400 et dont la quantité est estimée entre 200 et 300. Avec les reconstructions post-Guerre de Cent ans, les charpentes deviennent innombrables et l'inventaire en devient impossible. Les charpentes regroupent toutes les structures de combles, flèches, tours, beffrois et pans de bois, que ce soit sur l'architecture civile, religieuse ou militaire. La recherche bibliographique sera complétée par des enquêtes menées auprès des laboratoires de dendrochronologie, des services de l'Inventaire, du Centre de recherche sur les monuments historiques, des architectes du patrimoine et des archéologues du bâti. Le but est de dresser un état des connaissances des charpentes médiévales avec leur localisation, leur description, leur datation avec si possible des relevés et des photos. Cette base de données est destinée à être consultable en ligne à tout public avec la possibilité d'être complétée dans les années à venir. Elle permettra une meilleure compréhension de l'évolution de ces charpentes sur un vaste territoire.

3.3.5 *L'inventaire des églises romanes précoces*

La découverte récente d'une charpente de 1028 sur la petite église Saint Georges de Rochecorbon en Indre-et-Loire a permis de reconsidérer l'ancienneté du style architectural de cet édifice. Cette église présente en effet une architecture très fruste et dépouillée, sans chapiteau ni sculpture, pourtant couramment attribuée au style roman de la fin du XIe siècle ou du XIIe siècle. Le relevé de cette église et l'examen plus attentif de certains détails ont révélé des critères stylistiques qui se rattachent aux canons de l'architecture carolingienne d'inspiration antique et que l'on rencontre dans de nombreuses autres églises paroissiales rurales de la région Centre-Val de Loire. Ces édifices, que l'on peut qualifier d'architecture romane précoce, sont nombreux en Indre-et-Loire et peu étudiés en raison de leur dépouillement et faute de jalons bien datés par les textes ou les analyses C14. Il est donc probable que ces églises soient plus anciennes que ce qui communément admis, du Xe - première moitié du XIe siècle, plutôt que des XIe-XIIe siècles et qu'elles soient donc susceptibles de contenir une charpente ou sinon des bois réemployés antérieurs à l'an mille.

J'ai donc entrepris en 2013 une prospection à l'échelle de l'Indre-et-Loire pour établir un inventaire comparatif des édifices similaires, avec plus de 200 églises paroissiales visitées. A l'issue de cette prospection de terrain, j'ai recensé une cinquantaine d'édifices similaires à l'église de Saint-Georges de Rochecorbon, avec des critères singuliers bien identifiables :

De plan généralement simple, sans transept et avec un chœur à chevet plat, ces églises ont des vaisseaux très larges, entre 10 et 14 m, des toitures en bâtière à pignons saillants, des murs parementés en petit appareil régulier de moellons calcaires cubiques noyés dans un épais mortier, alternant parfois avec des rangs de briques ou de tuiles antiques, des grandes pierres d'appareil irrégulières aux angles et aux piédroits des ouvertures, des arcs en plein cintre composés de claveaux fins, des joints épais et rubanés, des grandes baies sans appui et sans ébrasement extérieur, des portes dépourvues de tympan, d'imposte et de sculpture, et des murs sans contrefort ni corniche. Quelques églises possèdent des plaques sculptées timbrant les pignons ou disposés dans les murs gouttereaux avec parfois des réemplois d'éléments carolingiens ou antiques.

En 2017, dans le cadre d'un master 2 portant sur l'église de Chanceaux-sur-Choisille en Indre-et-Loire (fig. 63), qui est l'une des églises les plus représentatives et les mieux conservées de ce corpus, une analyse C14 de charbons de bois contenus dans le mortier de la nef a été réalisée. Elle a confirmé une datation des IXe-Xe siècles ce qui en fait l'un des édifices médiévaux les plus anciens conservés en élévation de la région centre-Val de Loire.



Avec la datation des églises de Rochecorbon et de Chanceaux-sur-Choisille, il apparaît que ces caractéristiques architecturales définissent une génération d'églises antérieures au milieu du XI^e siècle, dans lesquelles transparaissent comme modèles les archétypes antiques de l'architecture carolingienne, que ce soit dans les techniques de construction que dans le vocabulaire décoratif.

Fig. 63 : Eglise carolingienne de Chanceaux-sur-Choisille, Indre-et-Loire, datée par C14 du début du Xe.

Cette étude accompagne d'autres recherches sur l'architecture romane précoce des églises rurales comme celles de Daniel Prigent (ARTEHIS) en Anjou (Prigent 2016), de Christian Sapin (ARTEHIS) en Bourgogne avec l'ANR CARE (Chevalier et Sapin 2011) et de Nicolas Wasylyszyn (CRAHAM) en Normandie (Wasylyszyn 2006), dont les travaux s'inscrivent depuis 2021 dans un PCR « Architectures romanes précoces dans le Grand Ouest de la France » (Wasylyszyn dir.). Ces recherches tendent à montrer que de nombreuses églises paroissiales furent érigées dans les campagnes entre le IX^e et le milieu du XI^e siècle avec des caractéristiques architecturales semblables malgré des spécificités régionales comme l'*opus spicatum* en Normandie et l'appareil régulier de moellons cubiques en Val de Loire. Ces caractéristiques se démarquent aussi de celles qui se diffusent après le milieu du XI^e siècle, témoignant d'un renouveau stylistique et culturel dans le courant du XI^e s.

Dans le cadre de ces travaux en Normandie, j'avais entrepris l'étude du bâti de l'église de Pierre Ronde dans l'Eure (voir ci-dessus) en prévision de sa restauration, avec en 2012 une analyse C14 de charbons de bois des maçonneries de la nef. Sa datation dans la seconde moitié du Xe siècle permettait d'intégrer cet édifice à ce corpus d'église d'architecture romane précoce.

Sur le long terme, il importe de poursuivre l'inventaire et l'étude de ces églises romanes précoces dans la perspective d'y découvrir des vestiges des charpentes antérieures à l'an mil. D'ores-et-déjà, l'une de ce corpus, l'église de Lécaude dans le Calvados a révélé en 2020 sur le chœur une charpente du début du XII^e siècle avec en réemploi de nombreux éléments (entrants, chevrons et raidisseurs) d'une charpente antérieure avec pourrait être rattachée aux maçonneries en *opus spicatum* de l'édifice d'architecture romane précoce. Son relevé, sa datation dendrochronologique et celle par C14 des murs sont prévus fin 2021.

Ce travail d'inventaire a fait l'objet d'une publication en ligne en 2014.

Epaud 2014b

Epaud F. - Inventaire des églises paroissiales préromanes en Indre-et-Loire et en bordure des départements limitrophes, in : E. Zadora-Rio (dir.) - *Atlas Archéologique de Touraine*, Supplément à la Revue Archéologique du Centre de la France, 53, FERACF, Tours, 2014. (http://a2t.univ-tours.fr/pdf/RACF_suppl53_AAT-219.pdf) (halshs-01243380)

3.4 Les structures des charpentes

Cet axe majeur de mes recherches porte sur l'évolution des charpentes de comble en France septentrionale. Les structures de pans de bois, de beffrois, de flèches et de plancher sont aussi prises en compte mais dans une moindre mesure. La période concernée s'étend de l'an mil au XVI^e siècle, même si mes réflexions se développent désormais sur le temps long en prenant en compte le Haut Moyen Âge et les périodes modernes et contemporaines afin de mieux comprendre les mécanismes économiques, environnementaux et culturels qui régissent les développements de l'architecture en bois.

Cette recherche s'applique plus spécifiquement à comprendre l'évolution des charpentes à travers celle des structures maçonnées qui les portent. Une charpente se définit en effet à travers la nature des éléments porteurs et la fonction des espaces qu'elle couvre et elle ne saurait être interprétée et comprise distinctement de ses supports. De même, on ne saurait comprendre l'architecture des monuments de pierre sans analyser leurs charpentes et leur mode de répartition des charges sur les murs.

Mes travaux sur les structures de charpenterie se sont très vite focalisés sur le passage de l'architecture romane à l'architecture gothique aux XII^e-XIII^e siècles. En effet, durant cette courte période, les grands monuments ont connu des transformations majeures comme le développement du mur mince, l'ouverture de larges verrières, la diffusion des voûtes maçonnées sur tous les vaisseaux et celle des charpentes voûtées sur les constructions plus modestes... Pourtant, si l'évolution de l'architecture de

Pierre est désormais bien connue, celle de leurs couvrements en bois ne l'était pas, sinon que très partiellement. Mes recherches ont donc visé à comprendre et caractériser l'apparition et le développement des différents dispositifs qui ont permis d'adapter les charpentes à l'évolution des supports maçonnés comme l'apparition de la travée dans les charpentes, les systèmes de report des charges, le redressement des pentes de toit, la diffusion de la triangulation... Elles ont porté aussi sur les phénomènes de mode et d'esthétisme touchant à la perception visuelle des charpentes dans l'architecture religieuse et civile comme la dissimulation ou non des charpentes, le lambrissage des voûtes, la peinture et la sculpture des bois, la forme du voutement, ainsi qu'à la puissance symbolique de certaines structures comme les flèches de cathédrales et les beffrois.

3.4.1 La charpente romane

Mes travaux sur les charpentes médiévales ont permis de caractériser et de nommer sous les appellations « charpente romane » et « charpente gothique » les deux principaux types de structures qui se développent à partir des XIIe-XIIIe s en Europe occidentale, en explicitant leurs principes constructifs, leur fonctionnement mécanique et leur répartition géographique et chronologique dès 2007 (Epaud 2007a). Ces charpentes n'avaient aucune appellation spécifique auparavant.

Ces charpentes romanes et gothiques ne correspondent pas à des structures appartenant *stricto sensu* aux périodes romanes et gothiques mais à un type constructif régi par des principes fondamentaux de transmission de charges qui répondent davantage d'un concept que d'une architecture propre même si, bien évidemment, elles témoignent d'une pensée technique rattachée au roman et au gothique.

Les charpentes dites romanes qui couvrent les monuments aux XIe-XIIe siècles en France septentrionale se définissent par un mode compressif de répartition du poids des matériaux. Ces structures à chevrons-formant-fermes présentent des fermes toutes semblables avec un entrain à leur base, une faible pente des chevrons, l'appui des raidisseurs sur l'entrain et une absence de contreventement (fig. 65). La traction est absente de ce système où la faible section des bois, la faible inclinaison des versants et l'écartement des fermes à 0,80 - 1 m. se conjuguent pour limiter les contraintes qui pèsent sur l'entrain. Cette circulation verticale des charges et l'homogénéité de la structure, avec des fermes toutes identiques, se traduisent par une distribution homogène du poids de la charpente le long des murs gouttereaux qui se doivent, en retour, d'avoir une forte épaisseur tout le long du vaisseau. Cette nécessité statique a fortement contribué à la massivité des supports des églises romanes.

Au XIe siècle et la première moitié du XIIe siècle, toutes les charpentes romanes conservées sur les églises, les édifices militaires et civils présentent des structures analogues et répondent des mêmes principes architectoniques. Cette uniformité couvre une aire de répartition très vaste, sur tout le Nord-Ouest de l'Europe, allant de l'ouest de la France à la Scandinavie, avec des charpentes en tous points similaires dans leur structure et leurs assemblages (Hoffsummer 2009). Les charpentes romanes d'Allemagne, de Belgique, du Nord de la France, d'Angleterre, de Suède et de Norvège sont donc issues d'un même fond technologique et d'une pensée technique commune, profondément ancrée dans les savoir-faire et la tradition architecturale du haut Moyen Âge qui couvrait l'ensemble de ces territoires. Il est fort probable que ce mode de construction plonge ses racines plus loin encore, dans les modèles des basiliques paléochrétiennes du bas Empire comme en témoignent leurs plafonds en bois ou le débord des entrains.

En France septentrionale, la charpente romane s'éteint dans la seconde moitié du XIIe siècle et en Belgique au XIIIe siècle alors qu'elle perdure en Europe centrale dans l'architecture civile en bois jusqu'à nos jours, comme en Transylvanie orientale. Notons sa réapparition tardive en France dans la charpenterie industrielle et pavillonnaire du XXe siècle, du fait de son pragmatisme et sa simplicité structurelle très économique, sous la forme de fermettes légères à entrain accolées et faiblement espacées. Seule une vingtaine de charpentes romanes, à l'état de réemplois pour la plupart, sont connues à ce jour en France. Parmi celles que j'ai découvertes, deux ont retenu mon attention en raison de leur exceptionnel état de conservation, celle de Neufmarché (76) du début du XIIe siècle et celle de Rochecorbon (37) du début du XIe siècle.

La première a permis de bien étudier l'un des traits caractéristiques de ces charpentes, à savoir le débord des entrails en haut des murs gouttereaux (fig. 64), sous la forme de modillons en bois, exceptionnellement bien conservés sur cette église avec notamment des sculptures encore intactes et la trace de caches-moineaux. Cette saillie des poutres, qui disparaîtra avec les charpentes gothiques, pourrait être un héritage direct des charpentes paléochrétiennes comme le suggèrent les rares représentations iconographiques de ces édifices. Ces débords, le plus souvent coupés lors des reprises de couvertures, s'observent dans des états plus dégradés sur les églises de la Basse-Cœuvre de Beauvais dans l'Oise, de Cour-Cheverny (1159), d'Allouis (1125), de Chabris (XIe s.) et de Monthou-sur-Cher (1173) en région Centre. Il est fort probable que les modillons sculptés de l'architecture romane ne soient que la transposition dans un autre matériau de ces modillons en bois de tradition plus ancienne.



Fig. 64 : Modillons sculptés en bois, 1130, Église de Neufmarché (Seine Maritime).

Epaud et Bernard 2003

Epaud F. et Bernard V. - Une charpente sculptée du XIe s. : l'église Saint Pierre de Neufmarché (Seine-Maritime), *Bulletin Monumental*, Société Française d'Archéologie, Paris, t. 161-2, 2003, p. 101-115. [\(hal-02402888\)](#)

Epaud 2003a

Epaud F. - La charpente sculptée du XIe s. de l'église de Neufmarché (76), *Haute Normandie Archéologique*, Bulletin du Centre de Recherches Archéologiques de Haute-Normandie, n°8, 2003. [\(hal-00261590\)](#)

En 2013, j'ai découvert la charpente de l'église Saint-Georges de Rochecorbon en Indre-et-Loire dont les analyses dendrochronologiques ont daté sa mise en œuvre en 1028. Remaniée au XIXe s, elle conserve ses entrails, ses sablières en place et ses chevrons en réemploi. Un des murs pignons, réenduit à l'époque moderne, a préservé aussi un négatif d'une ferme complète, facilitant ainsi la restitution de la structure. Celle-ci se révèle d'une extrême simplicité avec des fermes rapprochées faiblement inclinées et raidies avec un poinçon et deux potelets (fig. 65).

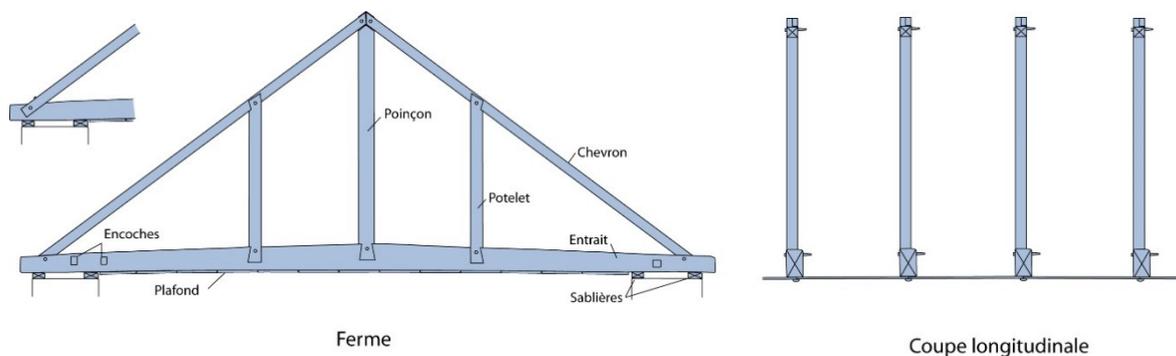


Fig. 65 : Charpente romane de 1028 de l'église Saint-Georges de Rochecorbon (Indre-et-Loire).

0 2 m.

L'analyse dendrologique a confirmé l'emploi du châtaignier pour le chevronnage de faible diamètre, ce qui est exceptionnel mais qui s'explique ici par l'exploitation de taillis de châtaigniers au XI^e siècle sur ce territoire pour les besoins de la viticulture (échelas, cercles, fûts).

Dans l'état actuel des connaissances, cette charpente romane est la mieux conservée et la plus ancienne recensée en France, avec celle de l'église Saint-Germain-des-Prés à Paris dont les bois réemployés dans la charpente du XVII^e siècle sont datés de 1030 environ. Les quatre autres charpentes du XI^e siècle connues en France ne datent que de la seconde moitié du XI^e siècle, tandis que les autres témoins du début du XI^e siècle ne sont qu'à l'état de négatifs très incomplets, comme ceux de la collégiale Saint-Martin d'Angers (com. J.-Y. Hunot). A l'étranger, la charpente de la collégiale Saint-Denis à Liège en Belgique, datée de 1012-1019, montre une structure analogue avec des raidisseurs rayonnants d'une grande simplicité (Blain, Maggi et Hoffsummer 2015).

Cette datation du début du XI^e siècle s'applique à l'ensemble des maçonneries de la nef et du chœur, remarquablement conservées, et aussi à un vaste décor peint dans la nef, un Lavement des pieds, étudié dans le cadre d'un Master 2 sous ma direction (A. Marzais, Univ. Tours, 2017). L'étude cette charpente a permis le classement au titre des Monuments Historiques de l'édifice dans sa totalité en 2016. A noter que cette étude a permis de sauver cette charpente d'une destruction certaine puisqu'un projet de voûte en bois, en remplacement de celle-ci, était alors en cours et validé par l'Architecte des bâtiments de France.

Ce travail a fait l'objet de deux publications, dont une notice, de plusieurs conférences et d'un panneau exposé dans l'église même, à destination du grand public.

Epaud 2014e

Epaud F. – La charpentes du début du XI^e siècle de l'église Saint Georges de Rochecorbon (37) *in* : *Bulletin monumental*, Société Française d'Archéologie, tome 172-3, 2014 : 195-202. (halshs-01243350)

Epaud 2014c

Epaud F. - Rochecorbon : l'église Saint-Georges et sa charpente romane, *in* : E. Zadora-Rio (dir.) - *Atlas Archéologique de Touraine*, Supplément à la Revue Archéologique du Centre de la France, FERACF, Tours, 53, 2014. URL : <http://a2t.univ-tours.fr/> (halshs-01243382)

Une dernière charpente romane mérite ici d'être mentionnée. Il s'agit d'une découverte récente faite en 2020 sur le chœur voûté de l'église de Lécaude dans le Calvados (fig. 66). Probablement du début du XII^e siècle, cette charpente est un *unicum* dans le corpus des charpentes romanes avec un portique longitudinal en appui sur des entrails rapprochés et destiné à supporter les chevrons-formant-fermes. Le second intérêt de cette charpente est qu'elle renferme un grand nombre de réemplois d'une charpente encore plus ancienne dont plusieurs entrails, des raidisseurs et des chevrons. Ces derniers montrent sur leur face extérieure d'origine non pas des clous pour la fixation du lattis mais des petites chevilles en bois pour des voliges jointives, destinées vraisemblablement à une couverture en bardeaux. Ce type de fixation s'observe aussi dans les charpentes romanes en Norvège (Gullbrandsson 2015). Cette charpente primitive pourrait provenir de l'église antérieure dont les maçonneries en *opus spicatum* sont conservés dans les murs actuels du XII^e siècle, et qui pourraient dater du Xe siècle.

L'étude de cette charpente est prévue en 2021 avec une datation dendrochronologique des bois et par C14 des murs, financée par le LAT en accompagnement des relevés.



Fig. 66 : Charpente du début du XII^e s. de l'église de Lécaude (Calvados).

3.4.2 La charpente gothique : une révolution architecturale

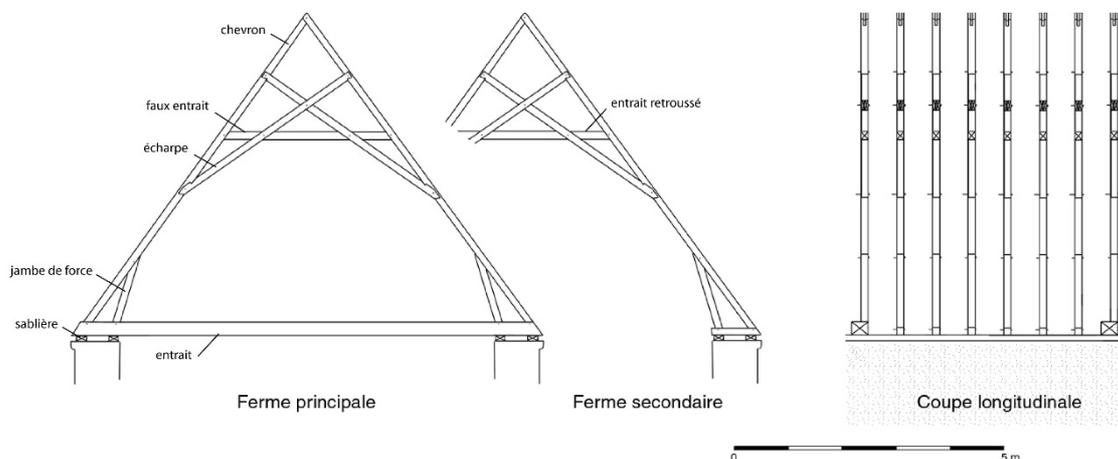
Mes travaux ont permis de clarifier le schéma évolutif des charpentes qui se met en place dans la seconde moitié du XIIe et au XIIIe siècle. Une part de cette réflexion a été engagée dès la publication de l'ouvrage sur les charpentes romanes et gothiques en 2007 (Epaud 2007a) mais c'est avec les études réalisées entre 2007 et 2017 sur des charpentes de granges et des cathédrales de Rouen, Poitiers, Bourges et Tours ainsi que de celles des églises de Bourgueil et d'autres plus modestes de la région Centre que les contours de cette évolution ainsi que de ses mécanismes se sont révélés plus perceptibles. Plusieurs publications en témoignent. Une courte synthèse en présente ici les grandes lignes.

A partir du milieu du XIIe siècle dans le Bassin parisien, on voit disparaître tous les principes attachés à la charpenterie romane au profit d'un nouveau concept et de nouvelles structures de comble. On ne peut pas parler d'évolution entre les charpentes romanes et gothiques, mais plutôt de révolution dans le sens où ce processus départage deux conceptions différentes. La charpente romane n'aboutit pas à la charpente gothique, elle disparaît dans la seconde moitié du XIIe siècle alors que se mettent en place de nouvelles structures dans l'architecture religieuse et civile inconnues jusqu'alors, selon une conception et des modalités de répartition des charges novatrices. Il est toutefois possible que ces nouveaux modèles proviennent de l'architecture rurale et de la construction civile en bois du haut Moyen Âge comme en témoignent certains vestiges archéologiques scandinaves de charpentes du Xe siècle (Hedeby, All.) mais les témoins manquent en France pour en être certain.

Ces nouvelles structures de la seconde moitié du XIIe siècle inaugurent la charpenterie gothique de première génération (fig. 67) qui va introduire la travée et la traction dans la charpente, ce qui va entraîner une succession de modifications majeures comme le redressement de la pente des toits ou le report des charges au sein des fermes non plus sur l'entrait mais de chevrons à chevrons par l'entremise de raidisseurs transversaux (faux entrants, écharpes...). Ces transformations s'illustrent par un changement radical de la transmission des poussées sur les murs qui vont pouvoir dans certains cas s'amincir et s'ouvrir de larges verrières, satisfaisant ainsi aux exigences de l'architecture gothique. Ces nouvelles charpentes sont accompagnées du remplacement de l'assemblage à mi-bois par le tenon-mortaise, de procédés plus élaborés de tracés d'épure et de l'adoption de la triangulation par le poinçon de fond. Ces modifications en cascade entraînent de nouvelles modalités de mise en œuvre des ouvrages qui se traduisent, entre autres, par la généralisation du marquage des bois en chiffres romains, bien plus pragmatique que les précédents, en signes particuliers ou à système cumulatif.

Avec l'apparition de la travée et donc la disparition des plafonds fixés aux entrants, les charpentes deviennent apparentes avec un voutement assuré par les chevrons et ses raidisseurs, selon un profil polygonal, en plein cintre ou en tiers point. Mes travaux ont révélé que ces voûtes en bois n'étaient pas lambrissées, exceptées celles de édifices les plus prestigieuses, et que les lambris des charpentes voûtées des XIIe-XIVe siècles furent rajoutés aux XVe-XVIe s.

Fig. 67 : Exemple-type de charpente gothique à chevrons-formant-fermes de la fin du XIIe s.



Les premières charpentes gothiques ont pour handicap de s'adapter difficilement aux grands édifices et à leurs voutements. Plus les fermes sont grandes, plus les poussées latérales générées au sein des travées sont importantes et donc préjudiciables pour la stabilité des murs. Face à ces difficultés, les maîtres charpentiers vont expérimenter des dispositifs dont les rares témoins qui nous sont parvenus témoignent d'une recherche foisonnante ponctuée autant d'innovations ingénieuses que d'erreurs de conception comme l'illustre l'effondrement des voûtes du chœur de la cathédrale de Beauvais en 1284, liée à un défaut de report des charges dans la charpente de 1258.

Les changements structurels apportés aux charpentes à la charnière des XIIe-XIIIe siècle sont liés en partie à la diffusion des voûtes maçonnées sur les vaisseaux. Dans le Bassin parisien, les premières voûtes maçonnées sur croisées d'ogives étaient particulièrement bombées et pénétrantes dans le comble, alors que celles de l'architecture gothique angevine dans le Maine et l'Anjou étaient en forme de dôme, encore plus pénétrante dans le comble. Celles-ci ont donc fortement contraint la structure des charpentes par l'adaptation de leurs travées à celles des voûtes. Des modifications majeures dans la superstructure des monuments ont permis le rehaussement des charpentes et leur déconnexion par rapport à ces voutements maçonnés par des murs-bahuts dans le gothique francilien. Ces surélévations ont pu intervenir peu de temps après comme à la cathédrale de Notre-Dame de Paris où la charpente de 1185, trop proche des voûtes, fut démontée puis reconstruite en 1226 sur des murs rehaussés de 2,60 m.. Dans le gothique angevin, les charpentes surplombent les voûtes bombées grâce à la construction de murs à arcades de plusieurs mètres de hauteur (cathédrale de Poitiers) ou à l'aide de hauts portiques en pans de bois (Bourgueil en Indre-et-Loire), augmentant ainsi le volume de la toiture qui peut ainsi couvrir le vaisseau central et les bas-côtés sous la même toiture. Des solutions analogues se diffusent dans les édifices couverts de voûtes en berceau partout en France, avec des charpentes portées par des portiques en bois (Paulnay dans l'Indre, Boësses dans le Loiret, Saint-Amand-Montrond dans le Cher) leur permettant d'enjamber ces couvrements maçonnés.

Cette indépendance acquise, on voit se mettre en place dans les deux premiers tiers du XIIIe siècle des processus évolutifs parallèles à travers plusieurs générations de charpentes qui vont chacune expérimenter et tester des dispositifs et des techniques plus ou moins complexes afin de trouver le meilleur équilibre possible. Certaines de ces générations vont vite s'éteindre, d'autres perdurer jusqu'à aujourd'hui.

Ainsi, dans ce contexte on voit de grandes charpentes expérimenter la technique de la travée courte avec des longueurs de travées réduites au strict minimum afin de limiter les poussées latérales générées par les fermes secondaires et répartir de façon homogène le poids du couverture le long des murs. Cette technique se rencontre à la cathédrale de Bayeux (1225-1250) avec des travées de 2,70 m et de seulement 3 fermes secondaires, à celles de Bourges (3,20 m) de Tours (3,80 m), de Meaux, de Paris (3,60 m) et de Beauvais (2,90 m, après réparation). Ces exemples sont parmi les plus représentatifs mais ils témoignent d'une recherche qui concerne avant tout les grands monuments gothiques.

Cette quête d'équilibre aboutit aussi à une génération très spécifique de grandes charpentes caractérisées par des dispositifs longitudinaux de soulagement des fermes secondaires et du report de leurs charges sur les fermes principales. Elles permettent aux charpentes des grandes églises gothiques et aussi des granges monastiques de concentrer les charges au droit des piles et de libérer ainsi leurs travées pour les ouvrir ou les percer de grandes verrières. Elles caractérisent les ouvrages des cathédrales de Paris, Meaux, Rouen, Auxerre, de la collégiale de Mantes, de grands bâtiments conventuels comme ceux de l'abbaye de Royaumont (Val d'Oise) ou encore la grande grange Saint-Lazare de Beauvais, tous construits dans les mêmes années, entre 1220 et 1240. Toutefois, ces expérimentations sont restées lettre morte et ne se sont plus reproduites dans les décennies et les siècles suivants en raison de la maladresse et la lourdeur des dispositifs, comme en témoignent la rupture des entrails observés dans les charpentes des cathédrales de Rouen et de Paris, dans le chœur, et de la collégiale de Mantes.

Parallèlement à cette évolution, s'affirme et se développe en Île-de-France, spécifiquement dans le domaine royal, la charpente à fermes et pannes dans les années 1220-1230. Plus rapide dans sa mise en œuvre et plus économique en matériau, ce nouveau type de charpente facilite la répartition des charges au droit des piles et l'allègement des travées. Ce type de charpente, dit à fermes et pannes, va connaître une large diffusion dès cette époque sur les églises gothiques et les granges dans le Bassin parisien même si on constate un fort régionalisme dans sa répartition géographique avec une très lente pénétration dans la région Centre et la Normandie pour l'architecture religieuse qui reste fidèle aux chevrons-formant-

fermes. Il faut attendre la fin du Moyen Âge pour que ce type de charpente se diffuse plus largement sur l'ensemble du territoire tant dans l'architecture religieuse que civile.

Avec le redressement de la pente des versants jusqu'à 60° au cours de la fin du XIIe et du XIIIe siècle, en réponse aux besoins de réduction des poussées latérales, on voit se déployer sur les toitures, devenues ainsi plus visibles, des ornements faits de motifs polychromes en tuiles vernissées, représentant parfois des blasons, de faitages peints et d'épis richement décorés. La toiture devient dès lors décorative. Sa hauteur et sa beauté revendiquent désormais le prestige du maître d'ouvrage. Toutefois, ces hautes toitures pentues, disposées sur des édifices toujours plus hauts, génèrent en période de tempête et de grands vents de fortes poussées sur les murs minces. C'est pourquoi de nombreuses cathédrales comme celles de Bourges, Reims, Beauvais, Chartres, Paris et Amiens furent dotées d'arcs boutants avec une volée supérieure d'arcature placée au sommet des murs, bien au-dessus de la retombée des voûtes, pour contenir de telles poussées. On comprend que cette révolution des charpentes aux XIIe-XIIIe siècles a beaucoup influencé l'architecture gothique, dans son fonctionnement architectonique, sa structure comme dans sa perception visuelle.

Sans entrer davantage dans les détails ni dans l'ensemble des phénomènes liés à ces bouleversements architecturaux durant cette période cruciale des XIIe-XIIIe siècles, l'évolution des charpentes atteste d'une réflexion majeure portée sur le développement des techniques afin d'adapter les structures de comble aux nouvelles contraintes de l'architecture gothique, tout en enrichissant celle-ci indirectement. Après de nombreuses expérimentations, plus ou moins réussies, cette recherche aboutit à une forme d'adaptation des charpentes aux supports minces qui autorise l'édification des « cages de verres » du gothique rayonnant. A la fin du XIIIe siècle, les charpentes tendent vers un équilibre structurel qui se maintient jusqu'à la fin du Moyen Âge et le début de l'époque moderne. Les fermes s'allègent et abandonnent les dispositifs longitudinaux des charpentes gothiques de la deuxième génération. Les écharpes disparaissent au profit des entrants retroussés qui ne sont plus soutenus par des liernes. Le contreventement des fermes principales s'affirme en partie haute de la charpente et adopte au début du XIVe siècle la faîtière inaugurée pourtant dès 1230 dans les charpentes à fermes et pannes. Ce n'est qu'au cours du XIVe siècle que les fermes secondaires vont se solidariser aux sous-faîtières afin d'être contreventées comme les fermes principales. En dehors de quelques modifications mineures, les techniques de mise en œuvre et les structures principales des charpentes à chevrons-formant-fermes n'évoluent plus jusqu'à l'époque moderne. En effet, c'est sous l'impulsion d'une plus forte prédation des ressources ligneuses pour les besoins de la proto-industrie et des villes en plein essor sous la pression démographique que les modèles de charpentes vont de nouveau subir de profondes modifications structurelles. Ces transformations tendent à répondre à un défaut d'approvisionnement en bois d'œuvre de qualité de grande longueur et aboutissent à des structures plus adaptées aux bois courts, comme les fermes à portiques et à surcroît, parallèlement à la généralisation de l'emploi du bois scié et du réemploi. On constate donc que c'est au cours de la seconde moitié du XIIe et dans les deux premiers tiers du XIIIe siècle que l'essentiel des progrès techniques en charpenterie furent opérés. Cette période témoigne d'une effervescence créatrice et d'une tendance très marquée à l'expérimentation technique qui coïncide avec un fort dynamisme économique. Ce dernier se remarque à travers les datations dendrochronologiques par une multiplication des chantiers de construction durant les années 1220-1230 à travers l'édification ou la reconstruction des abbayes, des cathédrales, des églises paroissiales et surtout des granges céréalières, indice indéniable d'une forte croissance de la production agricole, intimement liée à l'optimum climatique médiéval qui s'achève en cette fin du XIIIe siècle.

Si l'abondance de carrières de pierre de qualité en Île-de-France a indiscutablement contribué à l'essor de l'architecture gothique (*opus francigenum*), la forte capacité d'approvisionnement en bois d'œuvre de qualité des forêts a également joué un rôle capital dans la dynamique des chantiers et la vitalité de la construction en bois aux XIIe-XIIIe siècles, particulièrement dans le Bassin parisien. Cette abondance en matériau a été déterminante dans l'élaboration de techniques de mises en œuvre innovantes et l'émergence des charpentes gothiques. Cette remarquable réactivité face à l'évolution rapide de l'architecture de pierre marque un tournant décisif dans la pensée technique en charpenterie médiévale et provoque de façon irrémédiable un renouvellement complet des modes de conception et des formes de charpentes dont la plupart se sont maintenues bien au-delà du Moyen Âge et subsistent encore de nos jours.

Epaud 2021a (à paraître)

Epaud F. - Les charpentes gothiques face au défi du gigantisme, *in* : Desmet Y. (dir.), *Les structures gothiques : à la poursuite de l'équilibre*. Actes du 3^{ème} colloque international (Tournai, 2-3 février 2017), Département du Patrimoine de Wallonie, Namur. [\(hal-02403547v1\)](#)

Epaud 2019e

Epaud F. – Le monde des charpentes. *Les dossiers d'Archéologie Cathédrales gothiques*, Edition Faton, Dijon, 2019 : 17-20. [\(hal-02405690\)](#)

Epaud 2009a

Epaud F. - Les charpentes à chevrons-formant-fermes : Nord de la France et Belgique du XIII^e au XV^e siècles, *in* : Hoffsummer P. (dir.), *Charpentes d'Europe*, Institut du Patrimoine Wallon, Carnet du Patrimoine, Namur, 2009 : 15-17. [\(halshs-01244556\)](#)

Epaud 2009b

Epaud F. - Les charpentes à fermes et pannes du Nord-Ouest de l'Europe : Granges et halles Nord de la France du XIII^e au XV^e siècle, *in* : Hoffsummer P. (dir.), *Charpentes d'Europe*, Institut du Patrimoine Wallon, Carnet du Patrimoine, Namur, 2009 : 33-38. [\(halshs-01244558\)](#)

Epaud 2007a

Epaud F. - *De la charpente romane à la charpente gothique en Normandie. Evolution des techniques et des structures de charpenterie aux XII^e-XIII^e siècles*, Publications du CRAHM, Caen, 2007. [\(halshs-00368122\)](#)

3.4.3 Diversité des structures charpentées

L'étude des charpentes anciennes ne doit pas se limiter aux structures des combles car l'éventail des techniques d'assemblage est tel, aux XII^e-XIII^e siècles, que de nombreuses structures complexes tout à fait remarquables furent mise en œuvre comme les tours-beffrois des cathédrales, de 15 m de haut parfois, ou les flèches qui montent à 30 m dès le milieu du XII^e siècle comme celle de la cathédrale de Tournai (Duperroy et Desmet 2016). D'autres constructions de grande qualité technique tels que les édifices en pans de bois de 3 à 4 étages dès le XIII^e siècle méritent tout autant notre attention. Est-il nécessaire de rappeler qu'en France septentrionale aux XI^e-XIII^e siècles la plupart des constructions étaient en bois et que les architectures maçonnées n'étaient que des enveloppes de pierre renfermant une ossature en bois, avec des plafonds et des charpentes de comble. Les murs maçonnés eux-mêmes étaient bien souvent armés d'un chaînage en bois dans l'architecture religieuse et militaire. L'intégration des charpentes dans des constructions maçonnées complexes révèlent parfois aussi un très haut niveau d'ingénierie et de technicité. Il est donc indispensable d'élargir le champ de recherche à ces ouvrages pour avoir une connaissance plus exhaustive des techniques mises en œuvre à cette période.

C'est dans ce cadre assez ouvert que sont présentés ici mes travaux sur les chaînages, les pans bois et sur les cuisines de l'abbaye de Bonport dans l'Eure qui permettent d'évoquer la diversité des approches sur la construction médiévale en bois.

3.4.3.1 Les chaînages en bois

Les poutres de raidissement des murs maçonnés sont relativement rares en proportion des constructions encore en élévation. Les seuls exemples recensés sont le plus souvent issus de découvertes fortuites lors de restaurations et ne sont observables que sur une partie limitée du monument.

Il s'agit généralement de chaînages en bois noyés dans les maçonneries d'une tour, disposés sur un ou plusieurs niveaux et agissant comme des ceintures de stabilisation et de raidissement comme au donjon de Brionne dans l'Eure, fin XI^e siècle ou dans la tour de l'église de Chapaize en Saône-et-Loire 1036-1066. Ils apparaissent également sous la forme de longrines placées au cœur des maçonneries et disposées le long des murs gouttereaux (église de Thaon XII^e siècle, Calvados) ou encore sous l'aspect de tirants en bois placés à la naissance des voûtes et tendus à travers les vaisseaux des édifices romans (Saint-Philibert de Tournus 1075-1100). Ces derniers semblent liés à la poussée des voûtes mais peut-être aussi à leur construction immédiate, au support des coffrages ou encore à l'attente du séchage du

mortier. Avec le développement de la métallurgie dans le courant du XII^e siècle, ces pièces de bois furent substituées par des éléments en fer dans les édifices gothiques pour des chaînages (chevet de Notre-Dame de Paris, Sainte-Chapelle, cathédrale de Bourges, donjon de Vincennes), des tirants (Saint-Leu d'Esserent, cathédrale du Mans, Sainte-Chapelle de Paris), et pour renforcer certaines structures comme des arcs-boutants (Beauvais), des grandes rosaces (cathédrales de Paris, Carcassonne, Strasbourg) et des nervures de voûtes (Sainte-Chapelle de Paris).

Si les études se multiplient pour tenter de comprendre ces chaînages métalliques dans les cathédrales gothiques, aucune recherche n'est cependant orientée sur leur origine et les éléments en bois présents dans les édifices romans et gothiques. Nos connaissances en la matière restent très fragmentaires et mes recherches liées à plusieurs relevés de raidissements sur des châteaux XII^e-XIV^e siècles en Normandie en 2007 et 2008 ont permis de comprendre leur rôle mécanique dans l'architecture militaire et de comprendre leurs modalités de mise en œuvre.

Les relevés réalisés sur les systèmes de raidissement architectonique des châteaux de Brionne, de Vatteville-la-Rue, de Breteuil-sur-Iton, de Montfort-sur-Risle et de Gisors, dans l'Eure et en Seine-Maritime, témoignent d'une relative diversité du principe d'application du "mur armé", que ce soit au XII^e qu'au XIV^e siècle en Haute-Normandie. Ces dispositifs peuvent être localisés dans des parties isolées d'enceinte, avec parfois des bois utilisés à l'état de grumes, ou bien couvrir l'ensemble d'une construction avec des réseaux chaînés et assemblés. Le cas de Gisors montre que ces armatures peuvent se dispenser d'assemblage et que la seule juxtaposition d'épaisse longrines suffit parfois pour constituer une ossature structurée. Ce dernier exemple montre aussi l'emploi de bois courbes, sélectionnés sur pied, pour adapter au mieux ces réseaux à la forme du mur. L'utilisation de longues poutres réemployées est attestée à Brionne et à Gisors, ce qui pose la question de la validité des datations dendrochronologiques et par C14 attribuées aux monuments à partir de l'analyse de ces bois.

La fonction de ces dispositifs est spécifique à chaque édifice et se rattache, dans la plupart des cas, à la volonté de renforcer la stabilité des murs. Cette nécessité procède parfois d'un défaut de fondation comme à Breteuil-sur-Iton où les longrines sont doublées d'un radier à la base du mur. Elle tient aussi du fait des reprises successives des ouvrages et des rajouts de superstructures sur des sols non prévus initialement pour ces constructions. Il faut aussi souligner le cas de Montfort-sur-Risle où ces réseaux de poutres jouent un rôle actif dans la défense d'une tour pour mieux répondre aux effets de l'artillerie et des sapes. La rapidité des chantiers d'ouvrages militaires exige également ce type de dispositif, comme peut-être à Gisors, pour remédier au temps de séchage des mortiers au cœur des murs très épais. Quelles que soient leurs fonctions, ces quelques exemples confirment le fait déjà établi que la technique du "mur armé" a été abondamment utilisée et largement diffusée, aussi bien dans l'architecture militaire que religieuse. Cette technique perdure jusqu'au XIV^e siècle avec le remplacement du bois par le métal pour le chaînage pour quelques rares monuments prestigieux comme le donjon de Vincennes ou le Palais des Papes d'Avignon, et surtout pour l'architecture religieuse, dès le XIII^e siècle.

Une publication réunissant ces études archéologiques et une synthèse a été faite à la suite d'un colloque : **Epaud 2008a**

Epaud F. - Le "mur armé" : quelques exemples de raidissements architectoniques en bois de murs maçonnés dans l'architecture militaire normande aux XII^e-XIV^e siècles, *in* : Roch J.-L., Lepeuple B. et Lalou E. (textes réunis par), *Des châteaux et des sources. Archéologie et histoire dans la Normandie médiévale. Mélanges en l'honneur d'Anne-Marie Flambard Héricher*, PURH, Mont-Saint-Aignan, 2008 : 255-274. ([halshs-00368164](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00368164))

3.4.3.2 L'architecture en pan de bois

L'étude de l'architecture à pan de bois a constitué un volet important de mes travaux en 2012 après l'organisation et la codirection avec Clément Alix (Service Archéologique d'Orléans) d'une table-ronde, les 12-13 mai 2011 à Tours, sur la construction en pan de bois au Moyen Age et à la Renaissance, qui a réuni 16 intervenants et un très large public. Avec C. Alix, nous avons travaillé à la réalisation de l'ouvrage regroupant une sélection des meilleures contributions de la table-ronde, soumises à un comité de lecture, complétées par des articles d'auteurs n'ayant pas pu intervenir, avec en tout 18 articles qui traitent des aspects archéologiques, architecturaux et historiques de la construction en pan de bois du

XIII^e au XVI^e siècle, en France et en Belgique. La correction, la rédaction de certaines parties (introduction, conclusion, glossaire, bibliographie générale) et la mise en page de cet ouvrage a pris plusieurs mois de travail courant 2012. L'accent a été mis sur l'approche archéologique de la construction en pan de bois, avec plusieurs études d'archéologie du bâti concernant des structures inédites du XIII^e siècle et plusieurs synthèses régionales. Cet ouvrage, de 450 pages, a été publié en octobre 2013, aux PUF et aux PUR. Vite épuisé, il fut réédité six mois plus tard. Cet ouvrage a reçu en 2014 le prix de la publication par la Société Française d'Archéologie.

Les objectifs de ce travail étaient de répondre à une attente de la communauté scientifique sur ce sujet. En effet, il n'existait aucune synthèse générale des travaux sur le pan de bois en France. Les études sont isolées et aucun ouvrage n'avait jusqu'à présent regroupé les différents travaux des chercheurs spécialisés dans ce domaine au sein d'un ouvrage collectif. Il était prévu d'en faire un ouvrage scientifique et « grand public » à la fois pour sensibiliser le grand public et surtout les collectivités territoriales afin que celles-ci puissent davantage prendre en compte ces structures archéologiques lors des réaménagements urbains et des ravalements de façades. L'approche méthodologique (usage de relevés archéologiques, analyses dendrochronologiques, étude des sources textuelles et iconographiques...) a donc été privilégiée dans cet ouvrage afin de servir de modèle d'étude.

Ce travail vise donc à exposer un état des connaissances sur cette technique de construction largement employée au Moyen Âge dans de nombreuses régions de France à travers une vingtaine de contributions qui s'appuient sur l'analyse des sources textuelles et iconographiques, des relevés d'archéologie du bâti, des datations dendrochronologiques et des observations architecturales. Elles s'intéressent aux techniques de charpenterie, aux bois d'œuvre, aux organes de circulation et de distribution des édifices ou encore aux relations structurelles avec les planchers, la charpente du comble et les parties maçonnées. Certaines analyses abordent la question des spécificités stylistiques régionales et celle de l'évolution du pan de bois dans le paysage urbain à travers le traitement décoratif des façades, les réglementations municipales et les édits royaux. Les articles suivent un parcours géographique des espaces ruraux et urbains allant du nord-est au sud-ouest de la France, en abordant aussi les Pays-Bas et la Belgique. Sur le plan chronologique, la plupart de ces contributions couvre la période des XIII^e – XVI^e siècles, mais avec un intérêt particulier porté aux pans de bois des XIII^e-XIV^e siècles qui restaient relativement méconnus contrairement à ceux des siècles suivants, plus largement répandus.

Malgré des corpus souvent non exhaustifs, cette diversité géographique a permis de dégager des continuités dans les méthodes de construction, mais également de repérer l'évolution des pratiques architecturales et les particularismes relatifs aux espaces et aux villes étudiées. De cette manière, il a été possible de révéler certaines dimensions historiques, mais aussi les identités et les empreintes culturelles, politiques et économiques des territoires ou des commanditaires de ces maisons. Cette dimension de la recherche interrégionale de ce mode architectural a permis de replacer la construction en pan de bois dans un contexte global par le croisement interdisciplinaire des sources textuelles, iconographiques, historiques, artistiques, économiques et sociologiques afin de s'approcher au mieux de sa réalité. Ainsi, ce travail aborde également la question de l'approvisionnement des villes en bois d'œuvre et de sa gestion à la fin du Moyen Âge et au début de la Renaissance, les aspects techniques de mise en œuvre (systèmes de montage et d'assemblage des pièces de bois) et structurels (combinaisons ossature bois/maçonneries, plancher/charpentes de comble, façade/structure interne), leur mise en valeur par des éléments ajoutés (moulures, sculptures, polychromie), par l'agencement des éléments en formes géométriques (grilles, losanges, croix de Saint-André) ou par le contraste des couleurs de matériaux employés.

La complexité de la terminologie en charpenterie a été palliée par la réalisation d'un glossaire complet en fin d'ouvrage, accompagnée de schémas explicatifs précis (relevés archéologiques, vues axonométriques, propositions de restitutions des structures en trois dimensions, graphiques, tableaux et dessins). Enfin, une bibliographie exhaustive de 23 pages sur la construction en pan de bois a été apportée à l'usage des chercheurs.

Epaud et Alix 2013

Epaud F. et Alix C. (dir.) – *La construction en pan de bois au Moyen Âge et à la Renaissance*, Presses Universitaires François-Rabelais, coédition Presses Universitaires de Rennes, Tours, 2013. ([hal-01006223](#))

Prix de la publication par la Société Française d'Archéologie en 2014.

Pour cet ouvrage, j'ai réalisé l'étude d'un grand édifice en pan de bois du XIII^e siècle, l'hôtellerie de l'abbaye de Saint-Amand de Rouen, daté par dendrochronologie entre 1277 et 1280, que j'avais abordé succinctement dans ma thèse en 2002. Ce fut l'occasion de compléter cette étude par de nouveaux relevés et une seconde analyse dendrochronologique pour mieux comprendre les agencements de ce grand bâtiment de trois niveaux, doté d'une salle haute sous charpente voûtée, avec une façade en pan de bois de 10 m de haut et de 11 m de long, adossée au mur de clôture de l'abbaye (fig. 68). Cette façade était ajourée sur toute sa longueur et aux deux niveaux supérieurs d'une suite continue de baies entre les colombes. Il s'agit dans l'état actuel des connaissances de l'unique pan de bois du XIII^e siècle conservé en France septentrionale.

La particularité de ce pan de bois réside dans une ossature de cinq poteaux de 9 m de haut, raidis transversalement par des entretoises formant sablières et dans lesquelles s'assemblent des colombes verticales. Des lisses assemblées en applique par mi-bois sur ce pan servent d'appui et de linteau aux baies contiguës. Cette façade est dépourvue d'encorbellement et d'éléments inclinés (guettes, décharges...) habituellement caractéristiques du pan de bois médiéval. La seconde originalité est la complexité ingénieuse de la connexion avec la charpente voûtée du comble, avec de puissantes entretoises destinées à compenser les poussées latérales générées par les fermes secondaires. Il s'agit ici du seul exemple attesté d'articulation entre une charpente voûtée et un pan de bois pour cette période.

Epaud 2013a

Epaud F. – Abbaye Saint-Amand de Rouen : étude d'un édifice en pan de bois du XIII^e siècle, *in* : Epaud F. et Alix C. (dir), *La construction en pan de bois au Moyen Age et à la Renaissance*, Presses universitaires de Rennes ; Presses universitaires François-Rabelais, Tours, 2013 : 127-140. [halshs-01244536](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01244536)

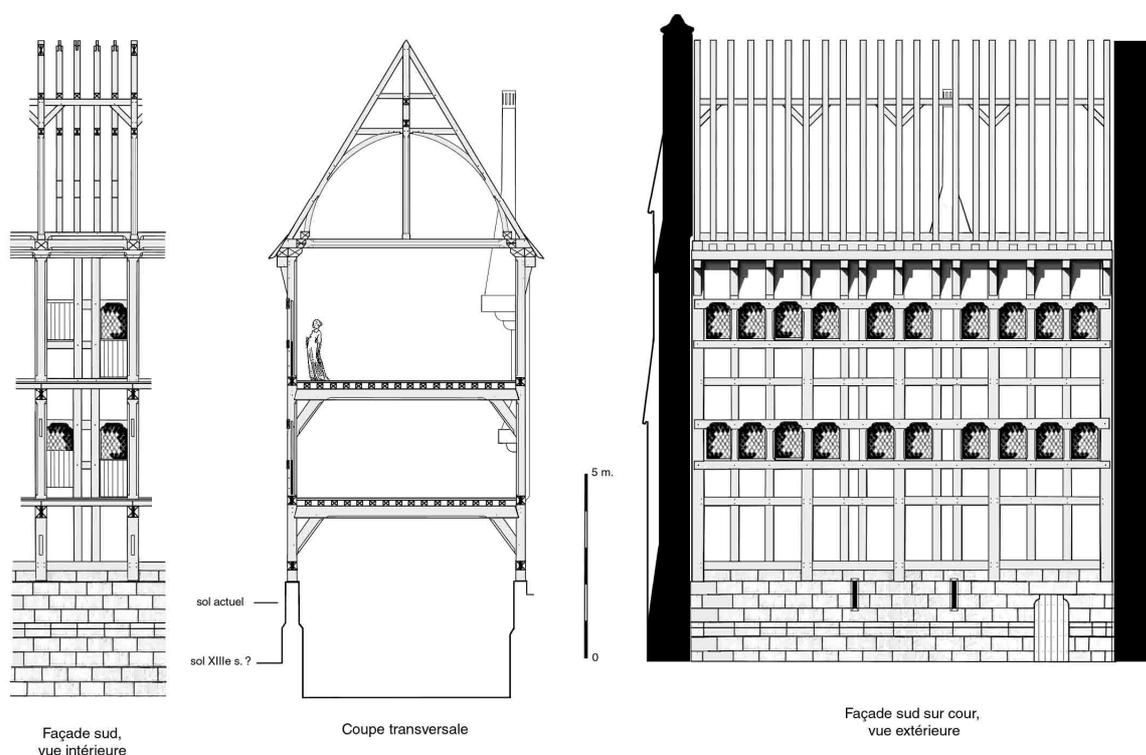


Fig. 68 : Hôtelierie de l'abbaye de Saint Amand, Rouen, 1277-1280.

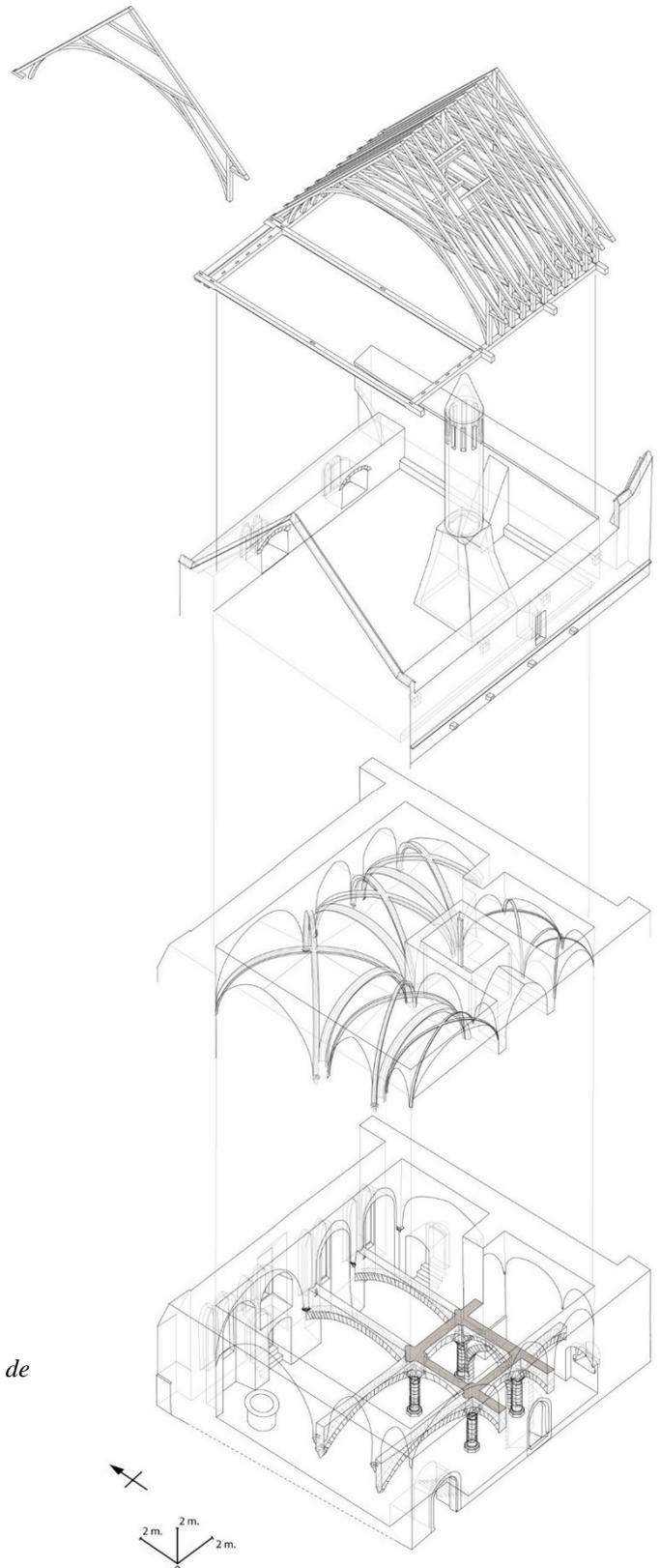
3.4.3.3 La cuisine de l'abbaye de Bonport (Eure)

L'étude de la cuisine de l'abbaye cistercienne de Bonport dans l'Eure permet ici d'illustrer les monographies sur des monuments remarquables et l'implication des charpentes dans ces ouvrages. Très peu de cuisines du XIII^e siècle sont en effet conservées en France et celle-ci est probablement l'une des mieux conservées et aussi l'une des plus complexes. Cette abbaye est l'une des rares en France à avoir conservé presque l'intégralité de ses charpentes du XIII^e siècle. Celles-ci furent étudiées d'abord pour ma thèse en 2001 puis en 2007-2008 avec des relevés et des datations complémentaires qui ont confirmé la mise en œuvre des salles de travail, du dortoir et du chauffoir en 1221, de la grange abbatiale en 1230, puis du réfectoire et des cuisines en 1241. Ces dernières ont fait l'objet d'un relevé exhaustif des maçonneries et des charpentes en collaboration avec J.-B. Vincent, alors doctorant à l'université de Rouen, en servant aussi de formation aux techniques de relevés pour les étudiants de Master 1 et 2 des universités de Rouen et de Rennes. Ces relevés étaient justifiés par la richesse des vestiges conservés en élévation et l'importance aussi des remaniements qui nuisaient à leur interprétation. Ce travail, qui s'inscrit dans l'étude globale de l'abbaye, a apporté des éclairages nouveaux sur l'architecture et le fonctionnement des cuisines cisterciennes du XIII^e siècle. Il a permis de restituer les dispositifs d'origine comme les accès, les baies, le puits, le décor peint et surtout l'articulation des arcs maçonnés, des voûtes et de la charpente autour de la cheminée et de sa hotte toujours en place (fig. 69). L'étude s'est portée aussi sur le fonctionnement de la cuisine (circulation, éclairage...) et de son étage, qui est une vaste salle chauffée pourvue de bancs, sous charpente apparente, à vocation d'officine pour le moine cellérier.

Epaud 2011e

Epaud F., avec la coll. de Vincent J.-B., La cuisine de l'abbaye cistercienne de Bonport (Pont de l'Arche, Eure), in : *Bulletin Monumental*, Société Française d'Archéologie, 169-2, 2011 : 99-113. ([halshs-01243356](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01243356))

Fig. 69 : Restitution des cuisines de l'abbaye de Bonport (Eure), 1241.



3.4.3.4 Les voutements au XVIe s.

Dans le cadre de ce chapitre, il importe d'évoquer les particularismes régionaux liés au rayonnement d'un atelier de charpenterie et à la diffusion de techniques originales et locales.

Plusieurs études de charpentes d'église ont été réalisées en 2008-2009 sur la vallée de la Lévrière dans le Vexin normand dans l'Eure afin d'étudier un type de voutement du XVIe siècle fortement présent en Normandie orientale. Ce travail a consisté à dresser un inventaire des charpentes de ce secteur et à faire l'étude détaillée des charpentes des églises de Bézu-la-Forêt, Mainneville, Martagny, Mesnil-sous-Vienne avec le relevé de cette dernière. Cette technique originale permet d'insérer une voûte apparente à caissons dans les charpentes à fermes et pannes, indépendamment de celle-ci, alors que la plupart des voutements sont alors faits sur le principe des chevrons-formant-fermes. Ces voûtes sont constituées de caissons formés de cerces courbes disposées dans le plan vertical, intercalées de longues planches incurvées et assemblées à des pannes intermédiaires horizontales tous les 1,50 m environ (fig. 70). Outre cette technique, inspirée des plafonds à caisson de la Renaissance, ce système de voutement présente aussi l'originalité de couvrir la croisée du transept, ce qui est assez rare. Ces charpentes sophistiquées sont aussi décorées de sculptures et de médaillons typique de la Renaissance. Ces voûtes à caissons sont très présentes dans le Vexin normand et français, et se rencontrent de façon plus disparate sur le reste du Bassin parisien. Elles s'inscrivent dans un phénomène de mode lié à la reconstruction des églises au XVIe siècle dans le style Renaissance et aussi à une diffusion de techniques limitée à quelques ateliers de charpenterie. Ce phénomène s'observe aussi à la même époque pour les charpentes dites mixtes qui associent un voutement à chevrons-formant-fermes à une structure à fermes et pannes, localisées spécifiquement dans le pays d'Ouche dans l'Eure, bien plus pauvre que le Vexin puisque les reconstructions post-Guerre de Cent ans se sont limitées aux charpentes et non à l'ensemble de l'édifice. A noter qu'en 2008, les voûtements des églises étudiées étaient tous dissimulés derrière des lambris récents ou des enduits en plâtre du XIXe siècle. Mes travaux, qui ont révélé la présence de ces voûtes et de leurs décors sculptés du XVIe siècle, ont entraîné pour certaines leur dégagement et leur restauration comme celles de Mainneville en 2012 et du Mesnil-sous-Vienne en 2015-2018. La plupart de ces études ont été publiées dans une revue locale.



Fig. 70 : Voûte à caisson du transept de l'église de Mesnil-sous-Vienne (Eure), XVIe s., après dégagement de son enduit au plâtre du XIXe s.

Epaud 2010a

Epaud F. - Etude de la charpente de l'église Saint-Martin de Bézu-la-Forêt, in : *Monuments et sites de l'Eure*, Trimestriel n°137- déc. 2010 : 23-37. ([halshs-01249279](#))

Epaud 2010b

Epaud F. - Etude de la charpente de l'église Saint-Pierre de Mainneville, in : *Monuments et sites de l'Eure*, Trimestriel n°135- juin 2010 : 51-59. ([halshs-01249281](#))

Epaud 2009d

Epaud F. - Etude de la charpente de l'église Saint-Aubin de Mesnil-sous-Vienne, in : *Monuments et sites de l'Eure*, bulletin n°133, Trimestre 4, 2009 : 13-21. ([halshs-01249282](#))

Epaud 2008d

Epaud F. - *Etude de la charpente de l'église Saint-Vincent de Martagny*, Rapport d'étude inédit, 2008. ([halshs-03169296](#))

3.4.4 *Les grandes charpentes gothiques*

L'un des axes majeurs de mes recherches porte sur les très grandes charpentes gothiques des XIIe-XIIIe siècles. Cet axe questionne les solutions techniques mises en œuvre par les maîtres d'œuvre les plus qualifiés de leur temps pour répondre aux problèmes posés par des contraintes hors normes du fait du gigantisme des monuments et de l'ampleur des chantiers. Aux XIIe et XIIIe siècles, les maîtres charpentiers chargés de couvrir les cathédrales, les granges monastiques ou des abbayes furent en effet confrontés à des difficultés qu'ils n'avaient jusqu'alors jamais rencontrées. Ces défis étaient de trois ordres. Le premier relevait de la structure même des charpentes. Conçues seulement depuis quelques décennies, vers le milieu du XIIe siècle, les charpentes gothiques devaient s'adapter à des édifices aux dimensions exceptionnelles avec des portées supérieures à 10 m, au poids de couvertures en plomb, à des exigences de report de charges considérables sur des murs minces, à la forte poussée des vents sur des toitures de plus en plus hautes et pentues, au risque du déversement longitudinal des fermes sur des structures de 100 m de long parfois, etc... Le deuxième défi était lié à la logistique de ces grands chantiers qui suppose une gestion de nombreuses équipes, un approvisionnement de plusieurs centaines, voire de milliers de grumes en un temps relativement court, une progression complexe des travaux avec des toitures provisoires, des arrêts et mises en attente, l'installation parfois dans les combles des salles de travail pour les ouvriers et maîtres d'œuvre, et surtout le levage de structures immenses et fragiles sur des murs étroits à plus de 40 m de hauteur parfois. Enfin, le troisième défi portait sur la capacité des forêts à produire en quantité du bois d'œuvre de qualité standardisé, et sur la nécessité de développer une sylviculture performante pour répondre aux besoins des nombreux chantiers de construction aux XIIe-XIIIe siècles, mais cette question a déjà été abordée précédemment.

Au cours du XIIIe siècle, on voit donc apparaître dans les combles des grands monuments des dispositifs inédits, pour la plupart expérimentaux, qui tentent de répondre à toutes ces difficultés, avec plus ou moins de succès. L'état actuel de ces grandes charpentes gothiques, leurs réparations, voire l'absence de réparation, répondent en partie du succès ou des échecs des solutions mises en œuvre pour gérer ces problèmes et renseignent indirectement sur les compétences des maîtres d'œuvre de ces charpentes qui demeurent les plus grands ouvrages en bois jamais construits à ce jour. La pérennité de certains ouvrages durant près de huit siècles, parfois sans jamais avoir eu besoin d'être restaurés, interroge aujourd'hui sur les structures à construire ou à reconstruire comme pour Notre-Dame de Paris.

Toutes ces questions ont pu être ainsi traitées selon les études, à chaque fois exhaustives. Celles-ci concernent les charpentes des cathédrales de Rouen, Lisieux, Bayeux, Poitiers, Bourges, Paris et Tours, sans compter celles des grandes granges monastiques et des complexes abbatiaux comme par exemple les abbayes de Bonport (Eure) ou de Royaumont (Val d'Oise). Si les charpentes des cathédrales normandes ont été étudiées lors mon doctorat, celles de Rouen, Bayeux et de Lisieux ont de nouveau été analysées suite à de nouvelles investigations sur ces monuments. Les dimensions hors normes de ces monuments et leur complexité font que leur étude et leur exploration ne peuvent jamais être vraiment achevée. Des découvertes fortuites ou des nouveaux questionnements m'ont souvent amené à y retourner comme par exemple la cathédrale de Bayeux avec la découverte d'une salle de Trait dans un comble ou la cathédrale de Lisieux avec l'opportunité de faire des analyses complémentaires dans une partie non encore étudiée, avec la découverte inédite en 2016 de deux nouvelles charpentes du XIIIe siècle. Quant au choix d'étudier les charpentes des cathédrales de Bourges, Tours et Poitiers, il revient d'une part à des opportunités de financement et d'accessibilité, liées le plus souvent à un chantier de restauration, et d'autre part au fait que leurs structures sont remarquables d'un point de vue scientifique et en termes de préservation archéologique. Celles de Bourges et de Tours renvoient aux types des charpentes du gothique francilien tandis que celle de Poitiers au gothique Angevin. Quant à la cathédrale de Paris, inutile d'en évoquer les raisons.

L'étude des charpentes d'une cathédrale prend beaucoup de temps selon son état de conservation, la quantité et le type de relevé à réaliser. Si les charpentes sont complètes, il faut environ deux années pleines entre les premiers relevés et le rendu d'un rapport ou d'une publication, quatre ans dans le cas de la cathédrale de Bourges en raison de l'avancement du chantier de restauration, et cela sans compter le temps nécessaire aux procédures administratives pour l'accès et les datations.

Les charpentes sélectionnées font l'objet d'un relevé exhaustif manuel, au tachéomètre (DAO sous Autocad-Covadis) ou au scanner selon les conditions d'accès. Les dimensions exceptionnelles des ouvrages supposent aujourd'hui un relevé global au scanner puis un relevé complémentaire manuel des informations (taille, assemblage, section des bois, marquage...) de façon à récolter l'ensemble des informations sur les techniques de conception, d'exécution et de mise en œuvre des ouvrages. Ces données renseignent sur les différentes étapes de la chaîne opératoire du chantier, les matériaux de couverture d'origine et les différentes reprises des toitures, voire de l'édifice. Le relevé prend en compte toutes les structures en élévation, charpentes et superstructures maçonnées comprises afin d'appréhender l'édifice dans sa globalité. Les déformations des murs renseignent parfois sur les défauts de conception des charpentes ou leurs altérations. Des coupes transversales et longitudinales des édifices sont effectuées, avec une couverture photos de plusieurs centaines de photos par structure. Cette démarche s'inscrit dans une réflexion portant sur les systèmes de report des charges de la toiture sur les murs minces liés au développement des chaînages métalliques dans l'architecture gothique rayonnante (Bourges, Tours) et aux dispositifs de raidissement par des arcs boutants. Des relevés plus précis sont effectués sur certains détails remarquables comme les traces laissées sur les chevrons en réemploi afin de connaître la nature des matériaux de couverture pour les grandes toitures au XIII^e siècle.

En complément des relevés, des analyses dendrochronologiques et dendrologiques sont réalisés pour les datations et l'analyse du profil écologique des bois. Cette approche dendroarchéologique des bois et des charpentes vient en complément des études des textes et bibliographiques.

Ces études sur les grandes charpentes gothiques furent prises en compte dans le programme européen d'étude « Les toits de l'Europe » 2007-2009 porté par le Centre européen d'Archéométrie, Liège dirigé par P. Hoffsummer (Univ. de Liège). Elles s'intègrent dans un travail plus vaste d'analyse des charpentes médiévales dans le nord-ouest de la France.

Outre les publications traitant directement de ces ouvrages, ces questions ont pu être traitées dans une publication qui fait suite à une conférence « Les grandes charpentes gothiques ou le défi du gigantisme : entre innovations techniques et défaut conceptuels » dans le cadre d'un colloque international sur « Les structures gothiques : à la poursuite de l'équilibre », organisé par le département du Patrimoine (dir. L. Déléhouzée), à Tournai en février 2017.

Cet article traitant de toutes ces problématiques fait la synthèse de l'ensemble de mes études faites sur ces grands monuments depuis une vingtaine d'années est à paraître prochainement dans la publication de ces actes.

Epaud 2021a (à paraître)

Epaud F. - Les charpentes gothiques face au défi du gigantisme, *in* : Desmet Y. (dir.), *Les structures gothiques : à la poursuite de l'équilibre*. Actes du 3^{ème} colloque international (Tournai, 2-3 février 2017), Département du Patrimoine de Wallonie, Namur. ([hal-02403547v1](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02403547v1))

Sont présentées ci-dessous les études que j'ai réalisées depuis mon doctorat sur des grandes charpentes de d'abbayes, de granges et de cathédrales gothiques.

3.4.4.1 *L'abbaye royale de Royaumont*

L'étude d'une charpente m'amène à analyser le monument dans sa globalité. Lorsqu'il s'agit d'une charpente d'un bâtiment d'une abbaye, il est dès lors nécessaire d'étendre l'analyse à l'ensemble de l'établissement religieux afin de replacer l'ouvrage dans son contexte architectural et historique. Ce fut le cas pour l'étude des bois réemployés de l'abbaye de Royaumont dans le Val d'Oise, réalisée en 2006 et complétée à l'occasion de la publication d'un ouvrage consacré à cette abbaye en 2008. L'analyse s'est alors portée à l'ensemble des constructions de cette abbaye royale fondée en 1228 par Louis IX, futur Saint Louis, et dont la plupart des bâtiments d'origine sont conservés. L'intérêt particulier de ce travail est lié à l'importance du commanditaire qui a consacré des moyens considérables à sa construction. La démesure et la qualité architecturale des bâtiments en témoignent, avec notamment leurs doubles vaisseaux voûtés sur deux niveaux et leur couvrement par des charpentes monumentales. Si les charpentes ont toutes été reconstruites aux XVII^e-XIX^e siècles, celles-ci ont néanmoins

conservées en réemploi les bois des structures d'origine. Leur relevé a ainsi permis de restituer fidèlement les charpentes du XIII^e siècle sur tous les vaisseaux. Certaines d'entre elles figurent parmi les charpentes les plus grandes et les plus complexes du royaume, comme celle du bâtiment des latrines (fig. 71) de 16 m de portée, pourvue de deux voûtes juxtaposées sous la même toiture, de part et d'autre d'une rangée axiale de 60 latrines. Les seuls exemples similaires du XIII^e siècle sont la salle des Etats généraux de Blois et la grande salle du palais de la Cité. Deux autres charpentes exceptionnelles ont aussi pu être restituées sur le dortoir de moines et sur le bâtiment des convers avec pour celle-ci une voûte en berceau apparente de 13 m de portée (portée de Notre Dame de Paris : 10 m), l'une des plus grande connue à ce jour avec celle de l'hôpital de Tonnerre. Celle du dortoir de moines présente un dispositif longitudinal de report de charge particulièrement complexe, tel qu'on peut l'observer dans les charpentes des cathédrales de Paris, Meaux ou Rouen vers 1220-1240.

Epaud 2008b

Epaud F. - Description architecturale. Royaumont du XIII^e s. à sa reconversion industrielle, *in* : Belhoste J.-F. et Le Gonidec N. (dir.), *Royaumont au XIX^e siècle, Les métamorphoses d'une abbaye*, Creaphis, Paris, 2008 : 14-27. [halshs-01245215](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01245215)

Epaud 2006b

Epaud F. - *Etude des charpentes de l'abbaye de Royaumont (95)*, Fondation Royaumont, rapport de recherche inédit, CNRS UMR7324-Lat, 2006. [halshs-01249303](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01249303)

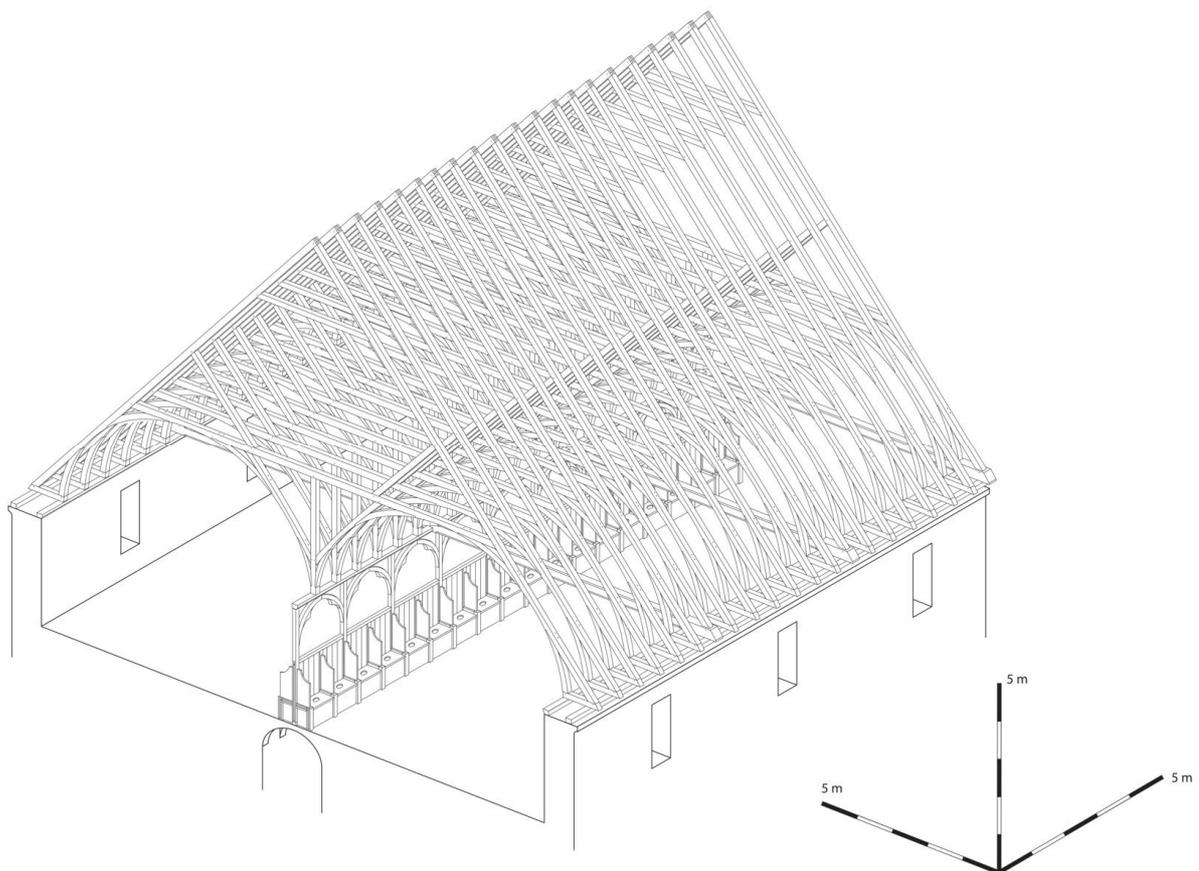


Fig. 71 : Charpente des latrines de l'abbaye royale de Royaumont (Val d'Oise), vers 1240.

3.4.4.2 Les granges

Mes travaux sur les granges des XIIe-XIIIe siècles prolongent ceux commencés lors de ma thèse pour laquelle j'avais effectué leur recensement en Normandie et l'étude archéologique de 4 granges et d'une halle.

Il s'agit de monuments très vastes, de 30 à 50 m de long, de 20 m de large en moyenne, et dans lesquelles les charpentes sont soumises à des contraintes de report des charges analogues à celles des grandes églises gothiques, avec une distribution des forces au droit des piles ou des poteaux. Ces constructions sont le plus souvent impressionnantes par leurs dimensions et leur qualité architecturale et esthétique. Elles accompagnent le vaste mouvement de création d'abbayes et d'établissements charitables en France, amorcé à la fin du XIe siècle et qui s'amplifie aux XIIe et XIIIe siècles sur les plateaux céréaliers. Ce travail porte donc sur des granges d'hôpitaux et d'établissements monastiques, cisterciens le plus souvent, du fait de l'importance de leurs propriétés foncières, et aussi de commanderies templières dont les bâtiments sont plus modestes.



Fig. 72 : Grange Saint-Lazare de Beauvais, 1225.

D'un point de vue technique, ces granges ont servi de lieu d'expérimentation pour la conception et la mise au point des principes gothiques tant pour les charpentes à « fermes et pannes » que pour les dispositifs de report des charges sur les piles des chevrons-formant-fermes. Ce travail vise aussi à comprendre le développement et la gestion foncière des centres d'exploitation agricole de ces seigneuries ecclésiastiques. L'attention est portée aussi sur le fonctionnement de ces granges en tentant de comprendre leur partition entre le stockage céréalier et le bétail, la circulation du charroi, les techniques d'engrangement, les capacités et les modalités de stockage.

Un important article sur la grange du XIIIe siècle de la léproserie de l'hôpital Saint-Lazare de Beauvais a été réalisé, reprenant le rapport d'étude que j'avais réalisé en 2006 pour le Service Archéologique Municipal de Beauvais, suite à 6 mois de contrat. Ce travail archéologique expose l'ensemble des techniques de charpenterie utilisées dans cette vaste grange hospitalière, de près de 50 m de long sur 22 de large, datée de 1225. Son relevé archéologique a révélé l'utilisation de principes structurels propres aux charpentes des grandes églises gothiques franciliennes et aussi l'emploi d'assemblages d'une complexité exceptionnelle, ce qui fait de cette grange un véritable laboratoire de conception et d'expérimentation des nouvelles techniques de charpenterie pour sa période. Ce travail fait suite aux travaux déjà réalisés et publiés sur les granges du Val-de-la-Haye, Crouttes, Heurteauville, Saint-Pierre-sur-Dives en Haute-Normandie, et de Warnavillers dans l'Oise. Parmi les conférences que j'ai pu faire sur ce sujet, l'une d'entre elles, tenue en octobre 2020 dans la grange de Saint-Lazare, reconvertie en salle culturelle polyvalente, a été filmée et visionnée plus de 800 fois entre janvier et avril 2021 (<https://culture.beauvais.fr/contenu/article/les-charpentes-un-patrimoine-revele>).

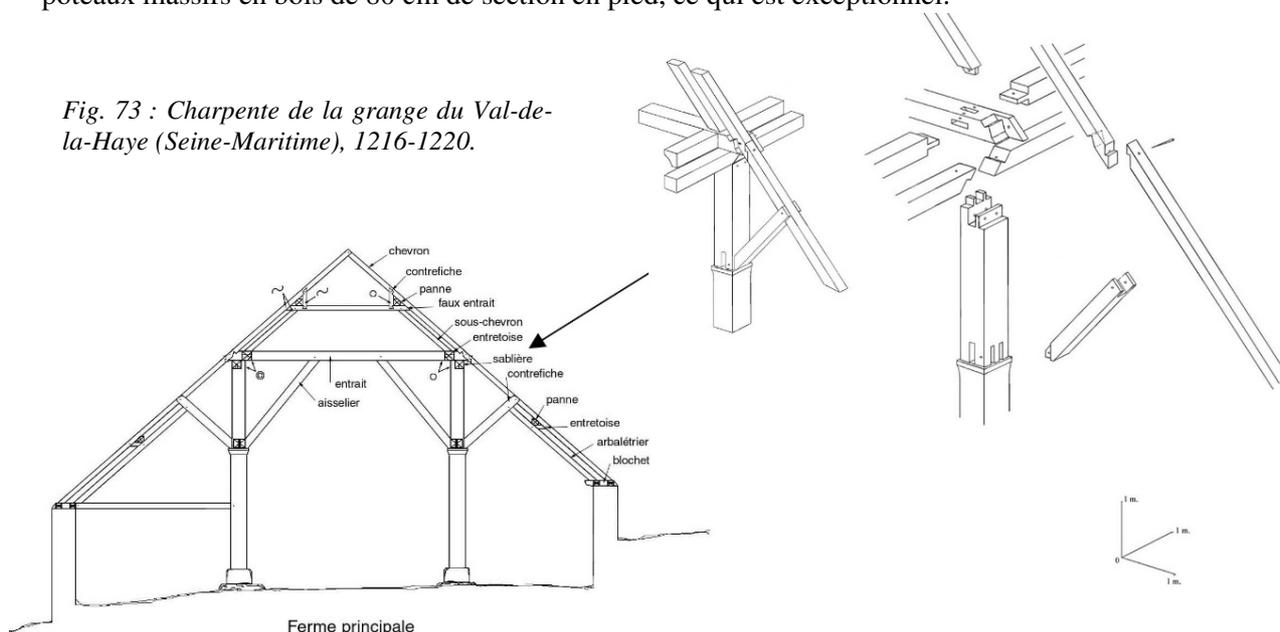
Epaud 2014d

Epaud F. - La grange de la léproserie Saint-Lazare de Beauvais, in : *Archéologie Médiévale*, CRAHAM, t. 44, 2014 : 51 - 70. (halshs-01800788)

Un complément d'étude a aussi été fait sur la grange du Val-de-la-Haye en Seine-Maritime, déjà relevée en 2002, avec une révision des analyses et une réinterprétation de ses dispositifs de répartition des

charges qui a fait l'objet d'un article en 2011 (fig. 73). En effet, sa charpente est un *unicum* dans le paysage architectural avec un système original à portique et à pannes sans triangulation des fermes, qui peut faire figure de prototype ou de chaînon manquant aux premiers développements des charpentes « fermes et pannes » dont on ne connaît pas à ce jour en France les premiers développements. Cet ouvrage montre aussi des techniques d'assemblage de haute technicité, des chapiteaux moulurés sur les poteaux massifs en bois de 80 cm de section en pied, ce qui est exceptionnel.

Fig. 73 : Charpente de la grange du Val-de-la-Haye (Seine-Maritime), 1216-1220.



Epaud 2011c

Epaud F. - La grange de la commanderie Sainte-Vaubourg du Val-de-la-Haye (Seine-Maritime), in : Hoffsummer P. (dir.), *Les charpentes du XIe au XIXe siècles. Grand Ouest de la France*, Brepols, AMA, vol. 5, Turnhout, 2011 : 261-268. [\(halshs-01244554\)](#)

Une synthèse de ces données faisant le point sur l'évolution des charpentes des granges et des halles a été produite en 2009 :

Epaud 2009b

Epaud F. - Les charpentes à fermes et pannes du Nord-Ouest de l'Europe : Granges et halles Nord de la France du XIIIe au XVe siècle, in : Hoffsummer P. (dir.), *Charpentes d'Europe*, Institut du Patrimoine Wallon, Carnet du Patrimoine, Namur, 2009 : 33-38. [\(halshs-01244558\)](#)

En 2010/2011, j'ai formé un étudiant (Raphael Avrilla) à l'université de Tours sur cette thématique, avec comme sujet de M1 l'étude archéologique de la grange de Berthenay (37) de la fin du XIIIe siècle. Il a ainsi été formé aux techniques de relevés manuels des charpentes, au tachéomètre laser, ainsi qu'aux logiciels de DAO Autocad-Covadis pour le traitement des données en 3D-2D. Après un M2 sur une seconde charpente des XIIe-XIIIe siècles, il fut inscrit en doctorat en 2013 sous ma co-direction avec E. Lorans (PU Univ. Tours) sur le sujet « L'architecture des granges aux XIIe-XIIIe siècles en France septentrionale : plan, techniques de construction et fonctions dans le régime seigneurial », financé par une allocation de recherche. Si cet étudiant a abandonné sa thèse après 3 ans pour raisons familiales, une soixantaine de granges des XIIe-XIIIe siècles ont néanmoins pu être recensées et une vingtaine relevée. Le relevé de ces dernières présentait un intérêt aussi patrimonial dans le sens où elles sont menacées de disparition en raison de leur état d'abandon pour nombreuses d'entre elles. Il est prévu d'achever ce travail et de le publier dans les années à venir avec l'accord de R. Avrilla pour l'exploitation de ses données.

3.4.4.3 La cathédrale de Rouen (Seine-Maritime)

Les charpentes de la cathédrale de Rouen ont brûlé en 1822, exceptée sur la nef où les structures du XIII^e siècle furent préservées sur les deux tiers de la longueur du vaisseau. Cette charpente avait été étudiée et relevée lors de ma maîtrise en 1998, puis lors mon doctorat en 2002. Elle fut de nouveau analysée dans le cadre de la publication de l'ouvrage « De la charpente romane à la charpente gothique » en 2007, puis de nouveau en 2011. Comme dit précédemment, la complexité et les dimensions de ces ouvrages amènent à des compléments d'étude et parfois à des remises en question. En effet, cette charpente des années 1230 présente de nombreux réemplois d'une charpente antérieure dont la datation autour de 1195-1200 était délicate à interprétée.

En 2011, une réévaluation des travaux précédents avait été motivée par l'amélioration des analyses dendrochronologique car la datation effectuée en 1998 sur les réemplois était trop imprécise. Elle a consisté à renouveler l'analyse par des prélèvements supplémentaires de façon à affiner la datation de la charpente réemployée et à reconsidérer le phasage du chantier de la cathédrale gothique à la charnière d'une date clef : l'incendie de 1200. D'après les hypothèses avancées depuis le début du XX^e siècle, cet incendie aurait entièrement détruit la cathédrale qui venait de connaître une importante campagne de reconstruction comme en témoignent la façade occidentale et la tour Saint Romain de la seconde moitié du XII^e siècle. Ces hypothèses supposaient aussi que la reconstruction de la cathédrale gothique avait progressé de l'ouest vers l'est, de la nef vers le chœur.

Cette nouvelle analyse a permis de contredire ces théories et de reconsidérer complètement les principales étapes du chantier de de la cathédrale gothique. En effet, la charpente gothique en place, mise en œuvre en 1227-32, a été réalisée avec de nombreux réemplois provenant d'une charpente antérieure dont la restitution permet d'affirmer qu'elle provenait de la nef et que les supports étaient des murs épais, donc romans. Ces réemplois ont pu cette fois-ci être datés précisément de 1201, soit juste après l'incendie, alors que les précédentes analyses les plaçaient en 1195, les rattachant au supposé chantier du XII^e siècle.

Cette datation invalide la précédente hypothèse et place donc cette charpente dans un processus de mise hors d'eau provisoire de l'ancienne nef du XI^e siècle qui n'aurait donc pas été reconstruite au XII^e siècle et qui aurait été conservée après l'incendie puis couverte provisoirement pour accueillir le culte dans l'attente de la reconstruction du chœur. Cette récente analyse minimise donc les travaux survenus au cours du XII^e siècle et prouve que le chantier de reconstruction de la cathédrale gothique a commencé par le chœur et s'est achevé par la nef, et non l'inverse. A l'achèvement du chœur, la nef fut reconstruite, entraînant le démontage de cette structure provisoire et la reconstruction d'une nouvelle charpente en réemployant tous les bois de la charpente de 1201.

La charpente provisoire de 1201 est une réplique d'une charpente romane, peut-être de celle du XI^e siècle qui venait de brûler. Ce fac-similé de charpente romane intègre néanmoins quelques dispositifs innovants comme les faux arbalétriers et la triangulation, propre aux charpentes gothiques. Cette permanence du type roman au début du XIII^e siècle en Normandie est exceptionnel, encore plus sur une cathédrale, puisque ce type de structure a déjà disparu depuis le milieu du XII^e siècle en Normandie.

Ce conservatisme peut s'expliquer par la volonté du chapitre de vouloir préserver la forme de la charpente d'origine, comme on le verra encore au XV^e siècle et au XVII^e siècle sur cette même cathédrale lors des reconstructions de la charpente du chœur et de l'extrémité de la nef. Cette volonté de réplique à l'identique s'observe aussi sur la cathédrale de Lisieux au XVI^e siècle où la charpente orientale de la nef est une copie conforme de celle d'origine du XII^e siècle.

La charpente des années 1230 (fig. 74), quant à elle, s'inscrit complètement dans cette génération des grandes charpentes de la période 1220-1240 adaptées à l'architecture gothique, avec des dispositifs longitudinaux de transfert des charges sur les fermes principales destinés à réduire au minimum les poussées le long des travées. Il est renforcé par de puissantes poutres en pied de charpente pour limiter l'écartement à la base des fermes secondaires. Il s'agit ici d'un *unicum* puisque ce dispositif est parfaitement adapté aux travées de maçonneries avec une descente des charges principales de la charpente au droit des piles et des arcs-boutants, ce qui est rarissime dans les grands édifices gothiques pour une charpente à chevrons-formant-fermes. Les grandes baies qui ouvrent largement des murs sont aussi surmontées de larges arcatures pour les soulager du poids du couverture en le reportant sur les piles. Il s'agit donc d'une conception globale de l'édifice où les superstructures maçonnées et la charpente sont intimement liées dans le processus de reprise des charges. Toutefois, ces dispositifs

restent maladroits et la charpente a dû être restaurée lourdement plusieurs fois. Ce modèle de structure se rencontre dans d'autres grandes charpentes comme celle de Notre Dame de Paris mais avec des améliorations notables.

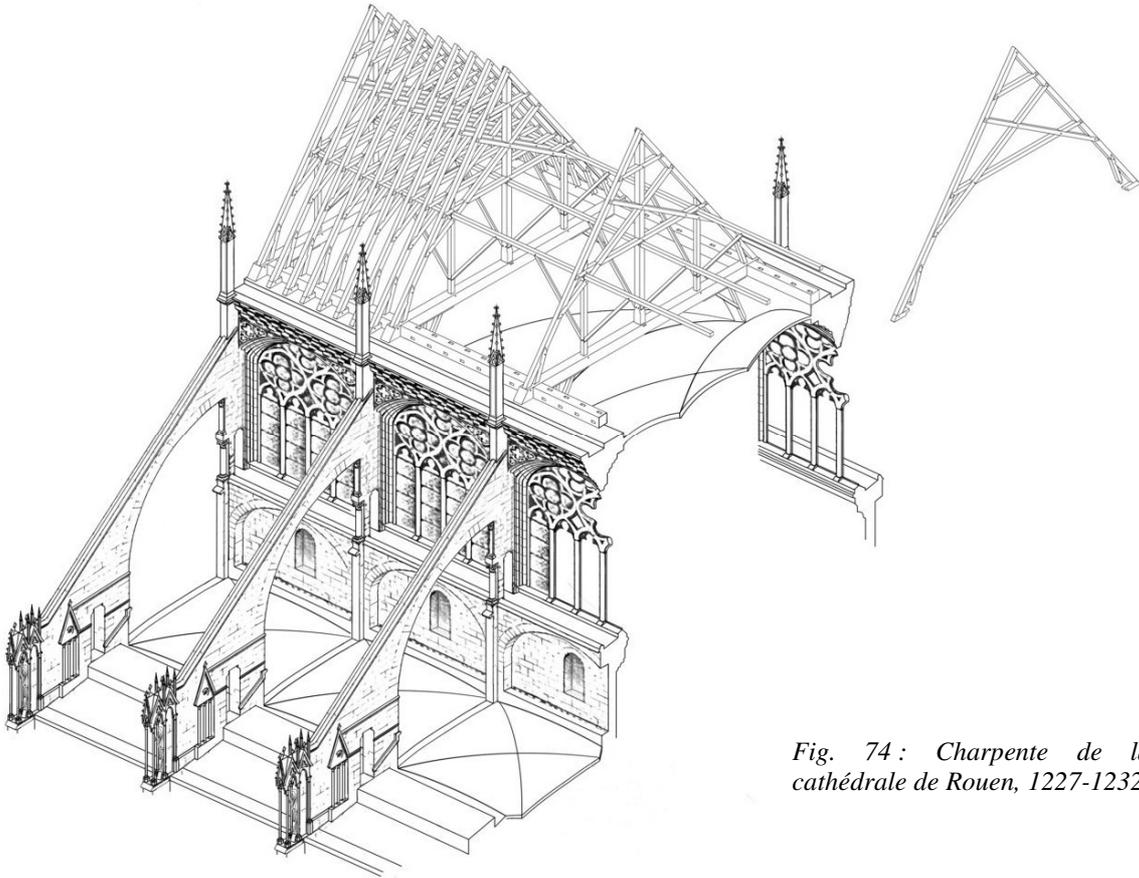


Fig. 74 : Charpente de la cathédrale de Rouen, 1227-1232.

Les résultats de ces études ont été publiés dans un livre monographique sur la cathédrale de Rouen, ainsi que dans d'autres publications :

Epaud 2012a

Epaud F. - De la cathédrale romane à la cathédrale gothique : les révélations des charpentes, in : Mgr Descubes J.-C. (dir.), *Rouen, primatiale de Normandie. La grâce d'une cathédrale*, La Nuée Bleue, Strasbourg : 43-49. ([halshs-01244537](#))

Epaud 2007a

Epaud F. - *De la charpente romane à la charpente gothique en Normandie. Evolution des techniques et des structures de charpenterie aux XIIIe-XIIIe siècles*. Publications du CRAHM, Caen, 2007, 613 p. ([halshs-00368122](#))

Epaud 2001a

Epaud F. - La charpente de la cathédrale de Rouen, in : *Archéologie Médiévale*, n° 30-31 : 133-175. ([halshs-01243373](#))

3.4.4.4 La cathédrale de Lisieux (Calvados)

Mes premières recherches sur cette cathédrale s'inscrivaient dans le cadre du doctorat en 2002. Elles ont porté sur le relevé et l'étude des grandes charpentes des XIIe-XIIIe siècles de la nef (fig. 75), du chœur, des deux bras du transept et des chapelles du déambulatoire. Une reprise de ces travaux et un complément d'analyse ont été entrepris sur l'ensemble de ces charpentes pour la publication de l'ouvrage « De la charpente romane à la charpente en Normandie » en 2007. Ce réexamen se justifiait par l'ampleur des structures conservées et la difficulté d'en appréhender le phasage. Ces travaux avaient été l'occasion d'identifier dans les couvertures actuelles la présence de plusieurs centaines de grandes tuiles glaçurées, chevillées et sans crochet, en réemploi dans les couvertures actuelles et provenant des toitures originelles de la fin du XIIe siècle, ce qui est tout à fait exceptionnel. Une autre publication en 2006 est venue faire la synthèse de ces travaux.

Fig. 75 : Charpente de la nef de la cathédrale de Lisieux, 1183.



Au préalable d'une vaste campagne de restauration des toitures et des charpentes de la cathédrale de Lisieux en 2017-2019 et qui a débuté par le déambulatoire, une étude a été commanditée en 2016 par la Conservation régionale des Monuments historiques de Normandie et le Service régional

de l'Archéologie afin de relever la charpente du déambulatoire et d'évaluer le potentiel archéologique de l'ensemble des couvertures de l'édifice (types de tuiles, localisation, quantité...) en raison de la présence de tuiles anciennes. Cette opération archéologique a été codirigée par moi-même et Sylvain Aumard du Centre d'Etudes Médiévales d'Auxerre. Ce type d'opération archéologique menée sur les charpentes et toitures d'un monument classé Monument Historique au préalable d'un chantier de restauration est assez rare en France pour être ici souligné. L'architecte en charge des travaux a ainsi pu bénéficier de relevés complets et d'une étude archéologique, technique et sanitaire des structures à restaurer, ce qui a permis *in fine* de conserver tous les bois anciens, avec des greffes et une conservation en réemploi pour les bois les plus dégradés. Dans le cadre de cette étude, une prospection minutieuse sur toutes les toitures a aussi permis d'identifier sur la nef et le transept environ 15 000 tuiles de la première couverture de la fin du XIIe – début du XIIIe siècle. Lors des réfections prévues de ces couvertures, les tuiles médiévales seront déposées et conservées pour les plus fragiles, ou réemployées pour les plus saines.

Les analyses dendrochronologiques effectuées lors de cette étude sur différentes parties de l'édifice sont venues compléter les précédentes permettant ainsi de mieux préciser la chronologie des principales phases du chantier de la construction de la cathédrale gothique. Celui-ci a progressé de l'ouest vers l'est avec une grande célérité puisque la charpente de la nef a été exécutée en 1183 ou peu après. Celle du bras nord du transept, datée de 1206, dut être réalisée conjointement avec celle du bras sud dont les bois furent abattus entre 1199 et 1208, ainsi que la tour de croisée dont on voit le raccord de chantier dans la charpente de la nef, remaniée à cet effet. Enfin, la charpente du haut vaisseau du chœur fut mise en œuvre en 1216 tandis que celle du déambulatoire deux ans après en 1218 en raison probablement de la présence d'échafaudages et de la manutention des matériaux. La charpente du déambulatoire fut entièrement reconstruite en 1763 mais en réemployant de nombreux bois de la charpente d'origine, à demi-fermes et pannes, et de ses reprises intervenues en 1380 et en 1437-1442. La cathédrale fut achevée avec les tours occidentales avec notamment la pose du beffroi de la tour sud en 1266 (fig. 76).

Ce beffroi n'avait jusqu'alors pas été identifié comme étant du XIII^e siècle puisque les maçonneries de la tour furent presque entièrement refaites au XVI^e siècle suite à son effondrement. Seules les analyses pratiquées en 2016 ont permis d'effacer les doutes quant à sa datation. De même, il a pu être confirmé en 2016 l'ancienneté de la charpente qui coiffe la tour nord qui jusqu'alors avait échappé à notre attention. Malgré la destruction quasi-totale de la ville de Lisieux en 1944 par les bombardements alliés, il s'avère que la cathédrale a conservé miraculeusement l'ensemble de ses toitures.



Fig. 76 : Beffroi de la tour sud, 1266.

Les grandes charpentes mises en œuvre sur les vaisseaux du chœur, des bras du transept et de la nef sont identiques en tous points, excepté une adaptation à la largeur plus restreinte de la nef. L'usage des mêmes techniques structurales et d'un unique procédé de tracé d'épure des quatre grandes charpentes, sur près de trente ans, suppose que le chapitre a cherché à faire respecter le programme architectural initial jusqu'à l'achèvement de l'édifice, comme on le constate sur d'autres édifices (cathédrale de Bayeux, Rouen). Ceci s'est fait malgré le changement des équipes de charpentiers au cours du chantier comme en témoigne l'étude du marquage des bois qui montre des procédés différents entre d'une part les charpentes de la nef et du bras sud (1183-1208) et d'autre part celles du chœur et du bras nord (1206-1216). Le modèle de charpente utilisé ici est simple, sans dispositif longitudinal ni de contreventement, avec des fermes qui s'inspirent de nombreuses petites charpentes normandes contemporaines. Elles sont néanmoins pourvues de sous-arbalétriers, dispositif alors expérimental, qui les rend indéformables avec une relative efficacité puisque cette charpente n'a été réparée qu'au milieu du XVI^e siècle, la restauration du XIX^e siècle étant très restreinte. Ce dispositif est pourtant resté sans postérité puisque ce modèle de ferme ne se rencontrera plus dans les siècles suivants.

Epaud et Aumard 2019

Epaud F. et Aumard S. - La toiture en réemploi : charpentes et couvertures de la cathédrale Saint-Pierre de Lisieux *in* : *Archéologie Médiévale*, dossiers thématiques, Toitures et matériaux de couverture au Moyen Âge, CRAHAM, 2019 : 1-11. [\(hal-02401308\)](#)

Epaud et Aumard 2017

Epaud F. et Aumard S. - *Lisieux (14) Cathédrale Saint-Pierre, Etude archéologique des charpentes et des couvertures*, Rapport d'étude archéologique inédit, CNRS, CEM, 152 p. [\(hal-01802123\)](#)

Epaud 2006a

Epaud F. - Les charpentes des XIII^e-XIII^e s. de la cathédrale Saint-Pierre de Lisieux, *in* : Juhel V. (dir.) *Archéologie et prospection en Basse-Normandie*, Mémoires de la Société des Antiquaires de Normandie, t. XXXVIII, 2006 : 219-255. [\(halshs-01245222\)](#)

3.4.4.5 La cathédrale de Bayeux (Calvados)

Lors de mon doctorat, j'avais réalisé l'étude des charpentes des XIIIe-XIIIe siècles du chœur, des deux bras du transept, du beffroi de la tour nord, du déambulatoire et de ses chapelles, les autres étant plus tardives. Il s'agissait d'un ensemble tout à fait remarquable du fait de la préservation sur l'ensemble du chevet, toitures basses comprises, et aussi de la conservation du grand beffroi du XIIe siècle, le plus ancien conservé en France. En 2005-2007, une réinvestigation dendroarchéologique a été entreprise afin d'affiner là encore la datation des différentes phases de construction de la cathédrale, en collaboration avec Vincent Bernard (CNRS, UMR 6566 CReAAH). Cette révision des datations était permise par l'amélioration des protocoles de prélèvements par certains laboratoires. Elle était surtout destinée à étudier plus précisément les types de bois utilisés dans les charpentes puisque les chênes abattus pour toutes ces structures de la fin du XIIe jusqu'au milieu du XIIIe siècle étaient particulièrement tortueux, sinueux, et donc issus de milieux ouverts exposés aux vents littoraux et probablement du bocage environnant, ce qui est rarement observé pour cette période. L'usage du débit à la scie, tout aussi rare au XIIIe siècle, pour adapter des bois surdimensionnés à la charpente du bras sud du transept (1223-1226), était à mettre en perspective avec des difficultés manifestes d'approvisionnement en bois d'œuvre de qualité, de faible diamètre et rectilignes, dans un paysage littoral bocager largement défriché dès cette époque.

Ce travail fut publié dans un ouvrage spécifique dédié aux charpentes de cette cathédrale en 2007, aux publications du CRAHAM, pour lequel l'étude des charpentes et l'analyse des bois avaient été réactualisées. Cela avait permis de mettre en évidence l'usage sur les grands vaisseaux (1225-1250) de la technique de la travée courte, avec des travées de 3 m seulement, qui assure une forte réduction des poussées latérales générées par les fermes secondaires. En dépit de cette innovation, ces fermes restent de conception assez classique avec un raidissement assuré par de grandes croisées d'écharpes et une absence de contreventement.



Fig. 76 : Charpente du chœur de la cathédrale de Bayeux, 1225.

Mes travaux ont montré que les combles des collatéraux du chœur, à savoir du déambulatoire et des chapelles axiale, nord et sud, ont été aménagés dès leur construction en 1225 pour y accueillir des salles de travail en lien direct avec le chantier de construction des parties hautes de la cathédrale. En effet, ces espaces de 500 m² communiquent entre eux, sur un sol de mortier établi par remblaiement des reins des voûtes sous-jacentes, sous des charpentes dégagées qui assurent la libre circulation dans ces espaces. En 2010-2011, j'ai entrepris de nouvelles investigations dans le comble de la salle du Trésor avec la fouille des 60 m² de son sol et des relevés manuels et au scanner financés par la CRMH de Haute-Normandie. Le sol de mortier qui montrait de nombreuses recharges était recouvert d'une multitude de tracés réalisés à la règle, au cordeau et au compas et dont la stratigraphie attestait leur réalisation entre 1225 et 1250 (fig. 77). L'étude a révélé que ces tracés correspondaient à des essais graphiques pour concevoir des épures de fenestrages qui étaient vraisemblablement gravées sur des dallages ou des murs maçonnés en grandeur réelle. Celles-ci servaient par la suite à la confection des gabarits ou des *moles* pour les tailleurs de pierre. Cet espace de travail qui était pourvu d'étagères au XIIIe siècle servait de salle de trait au maître d'œuvre ou à l'appareilleur pour la conception graphique des épures comme les *tracing houses* de la cathédrale de Wells dans le comble du porche nord de 1215-30 et de la cathédrale d'York de 1290. Il s'agit de l'unique salle de trait médiévale recensée à ce jour en France, dans l'état actuel des connaissances.

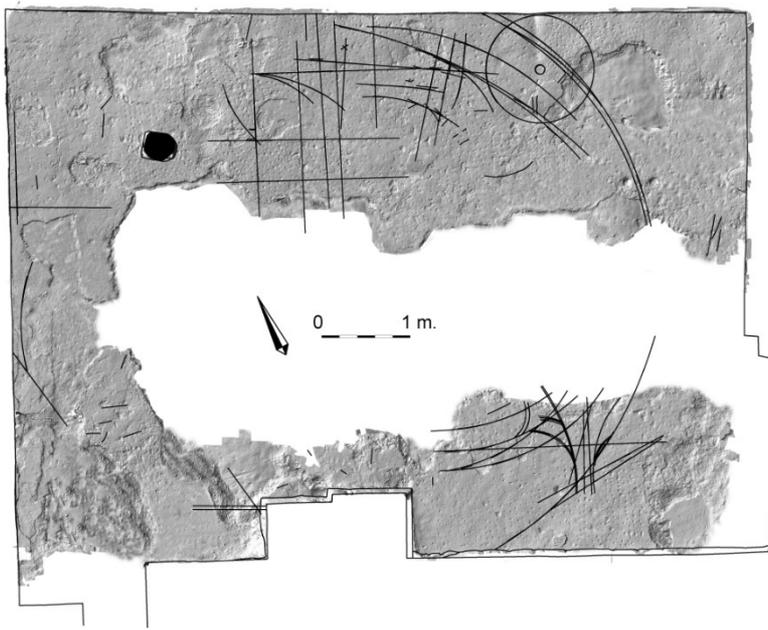


Fig. 77 : Relevé des tracés au sol, comble de la Salle du Trésor, cathédrale de Bayeux, 1225.

Epaud 2007b

Epaud F. - *Les charpentes de la cathédrale Notre-Dame de Bayeux*, Publications du CRAHM, Caen. ([halshs-00368130](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00368130))

Epaud 2012c

Epaud F. - Découverte d'une salle de trait du XIII^e siècle dans les combles de la cathédrale de Bayeux (Calvados), in : *Bulletin Monumental*, Société Française d'Archéologie, 2012 : 345-350. ([halshs-01243352](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01243352))

Bernard, Epaud et Le Digol 2007

Bernard V., Epaud F. et Ledigol Y. - Bois de haie, bois de bocage, bois d'architecture, in : Antoine A. et Marguerie D. (dir.), *Bocages et Sociétés*, Actes du colloque (Rennes, 29 sept - 01 octobre 2004), PUR, Rennes : 213-230. ([halshs-01249277](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01249277))

3.4.4.6 La cathédrale de Poitiers (Vienne)

En 2012, Claude Andrault-Schmitt (PU Univ. Poitiers) engagea un programme de recherche sur la cathédrale de Poitiers en vue d'une publication collective destinée à traiter des différents aspects architecturaux de cet édifice majeur de l'architecture gothique angevine. Je fus dans ce cadre chargé de réaliser l'étude de l'ensemble des charpentes des XII^e et XIII^e siècles de la cathédrale. Cette recherche s'intégra donc aux travaux entrepris en parallèle sur l'architecture, les sources manuscrites, les sculptures et les peintures, avec une direction scientifique du Centre d'Etudes supérieures de la Civilisation Médiévale de Poitiers et un financement de la Conservation régionale des Monuments Historiques de Poitou-Charentes. Des sondages archéologiques furent à cette occasion prescrits dans les grands combles pour répondre à des questions de phasage des chantiers.

Cette étude des charpentes se justifiait par le fait que cette cathédrale conserve presque l'intégralité de ses charpentes d'origine de la fin du XII^e et du XIII^e siècle sur le chœur (fig. 78), les deux bras du transept (fig. 79) et la nef ainsi que sur leurs bas-côtés. Aucun texte cependant ne renseigne sur le phasage du chantier ni son achèvement, et les datations dendrochronologiques effectuées jusqu'alors restaient imprécises. En outre, la complexité de l'édifice qui comporte de nombreux repentirs et des voûtes angevines particulièrement contraignantes pour les charpentes de comble, offraient de multiples

perspectives de recherches tant sur l'organisation d'un chantier que sur l'innovation de techniques de charpenterie adaptées aux voûtements gothiques.

Fig. 78 : Charpente du chœur de la cathédrale de Poitiers, 1222.

Cette étude a demandé près d'une année de travail, avec des relevés qui furent réalisés de façon manuelle, au tachéomètre laser et au scanner selon les conditions d'accessibilité. Comme pour les études précédentes, ces prises de mesures en partie haute de la charpente, parfois à 13 m au-dessus du vide, supposent des conditions de relevé relativement longues et pénibles, inhérentes aux déplacements avec du matériel d'escalade et des éclairages adaptés. Les relevés ont été réalisés sur la charpente du chœur à l'aide d'un scanner, avec la collaboration de l'Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes du Mans, au tachéomètre sur la nef et manuellement pour toutes les autres, plus accessibles. Dans tous les cas, les relevés ont été complétés par des observations dendroarchéologiques et des compléments de mesure pour définir, à travers les tracés d'assemblage, le marquage et d'autres indices, le phasage chronologique des étapes de chantier concernant l'exécution des charpentes et leur mise en place. Ces données ont été complétées par des sondages archéologiques opérés sur les voutains et des relevés du bâti réalisés par Fabrice Mandon (Atemporelle). A l'issue de ces relevés, l'expertise dendrochronologique a été réalisée sur l'ensemble de ces charpentes par le CEDRE (Besançon), financée par la CRMH de Poitou-Charentes, selon un protocole de prélèvement appliqué déjà sur les cathédrales de Rouen et Bourges. Cette analyse a permis d'affiner les datations de mise en œuvre des charpentes et d'achèvement des différentes parties de la cathédrale, en apportant notamment une datation précise de différents types de voûtes angevines observées dans l'édifice, ainsi que des peintures, certaines sculptures, notamment ces étonnantes statues mi-peintes mi-sculptées de la nef, et des nombreux chapiteaux des XIIe-XIIIe siècles pour lesquels il manquait des références bien datées. Cette étude a été l'occasion de critiquer les travaux réalisés par l'ACMH Pierre Bonnard dans les années 1978-1987 qui ont entraîné le remplacement de plus de la moitié des bois d'origine sur l'ensemble de la cathédrale (77 % de changement sur le chœur) alors que les photos prises avant le chantier montraient un état sanitaire très satisfaisant. Ces pratiques abusives de « restauration » sur des charpentes médiévales sont malheureusement encore d'actualité, même sur des monuments classés MH.

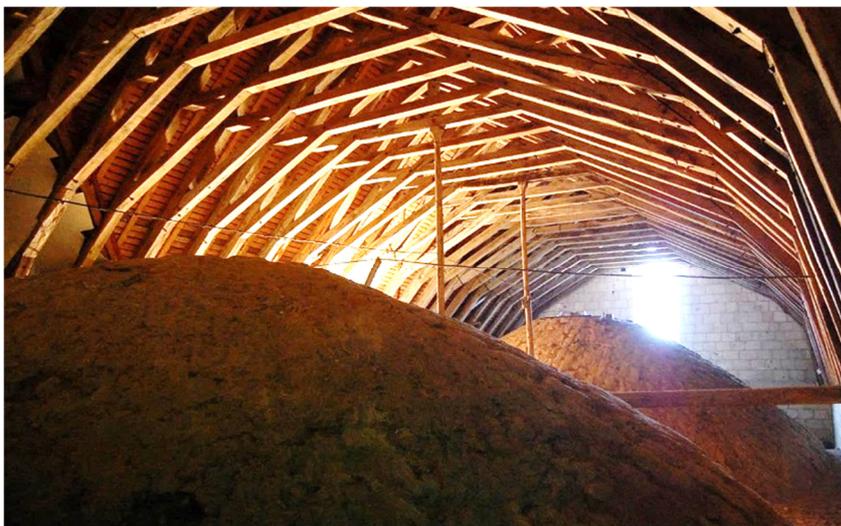
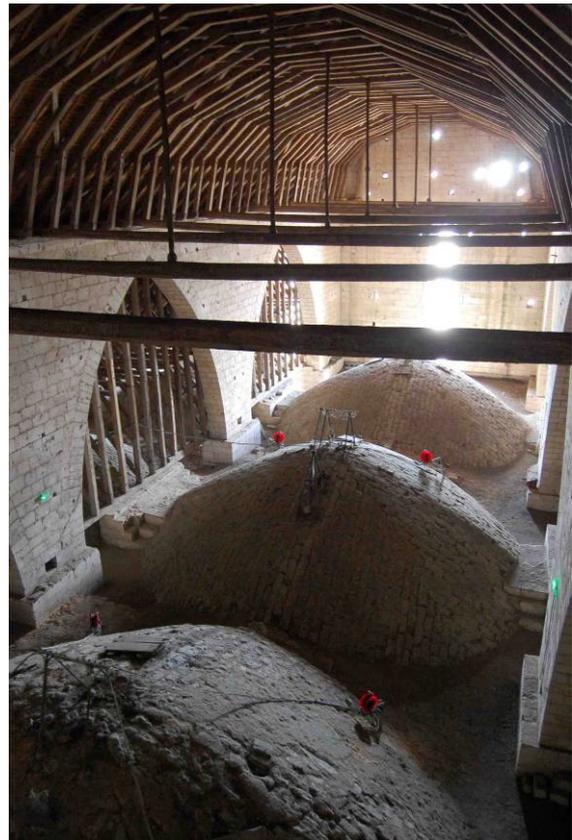
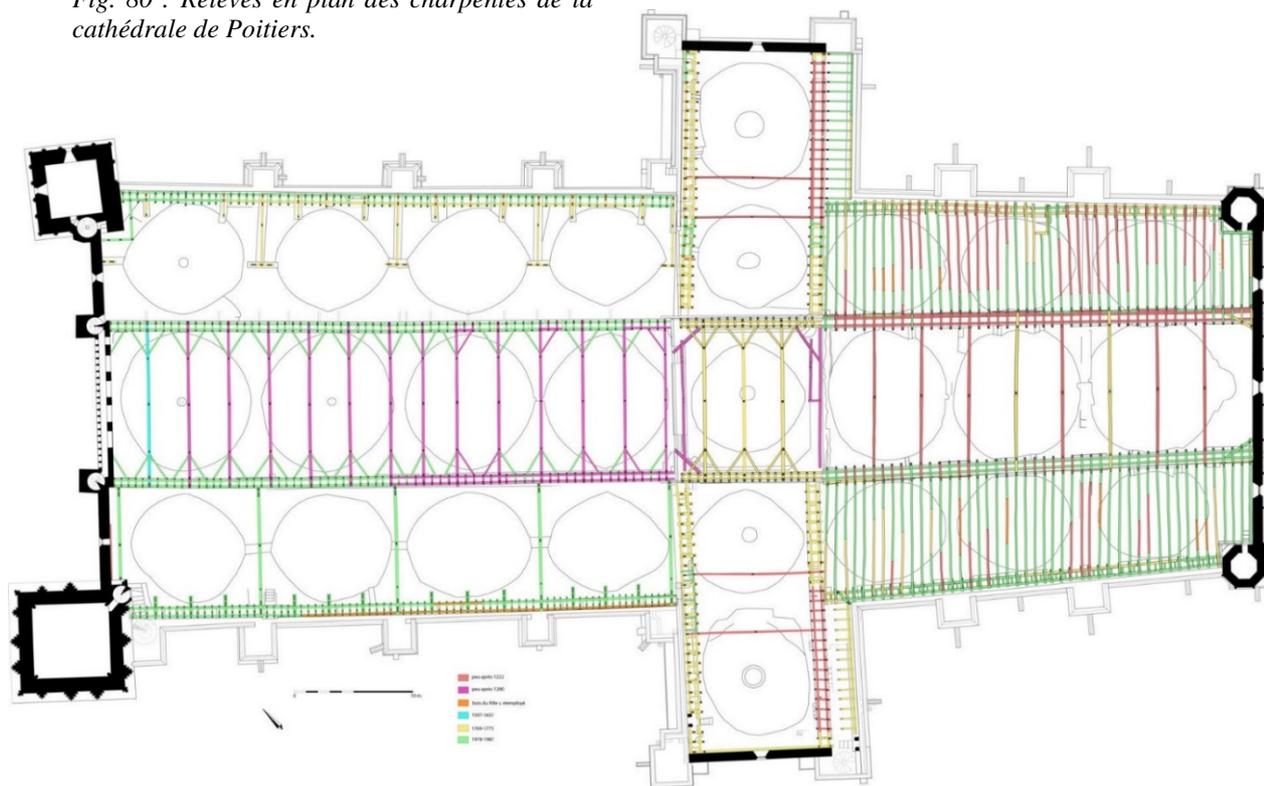


Fig. 79 : Charpente du bras sud de la cathédrale de Poitiers, avec les voûtes domicales typique du gothique angevin, 1222.

Fig. 80 : Relevés en plan des charpentes de la cathédrale de Poitiers.



Les résultats de cette étude ont permis de proposer un schéma évolutif inédit sur les étapes du chantier et sa progression à la fin du XIIe et au début du XIIIe siècle sur l'ensemble de l'édifice (fig. 80). Il a confirmé un repentir majeur dans les superstructures du chevet avec un renoncement du projet primitif, prévu pour des tours de transept. Ce repentir explique les nombreux rattrapages et les désaxements des supports des charpentes. Si les premières voûtes angevines furent posées sur le chœur en 1167, celui-ci ne sera achevé qu'en 1222 lors de la pose définitive de la grande charpente. Entre-temps, des couvertures provisoires furent installées sur les voûtes avec des chéneaux pour l'évacuation des eaux, et dont les traces sont encore présentes dans les maçonneries. Celles-ci ont permis de restituer précisément la forme de ces toitures provisoires dont les témoignages archéologiques, pour les chantiers de cathédrales, sont extrêmement rares. Un autre témoignage de couverture temporaire a été découvert sur la croisée du transept où la voûte du XIIe siècle fut protégée jusqu'à son couvrement en 1280 par un enduit lissé avec des évacuations maçonnées pour les eaux de pluie.

L'étude archéologique a démontré que les charpentes des deux croisillons du transept et du chœur ont été conçues selon un programme commun d'abattage des bois, de taille, de mise en œuvre et de levage par les mêmes équipes de charpentiers lors d'un unique et vaste chantier en 1222. En témoignent une structure identique et des techniques d'assemblage, de marquage et de montage analogues. Toutefois, l'étude dendroarchéologique prouve que les bois de ces trois grandes charpentes sont issus d'un même stock de 700 grumes environ qui ont été réunies et stockées suite à au moins une dizaine de coupes successives entre 1196 et 1222. Les coupes, étalées sur près de 25 ans, ont concerné des bois de 23 à 26 cm de diamètre à la base pour 90 % d'entre eux, le restant étant de 30 cm pour les pièces maîtresses, et de 10 à 14 m de long. Les relevés ont noté que ces bois étaient dans leur majorité surdimensionnés par rapport aux besoins de la structure car ils ont presque tous été suréquarris, avec des arêtes vives et très peu d'aubier, ce qui est rare au XIIIe siècle mais qui peut s'expliquer par le décalage entre les abattages et la définition du projet.

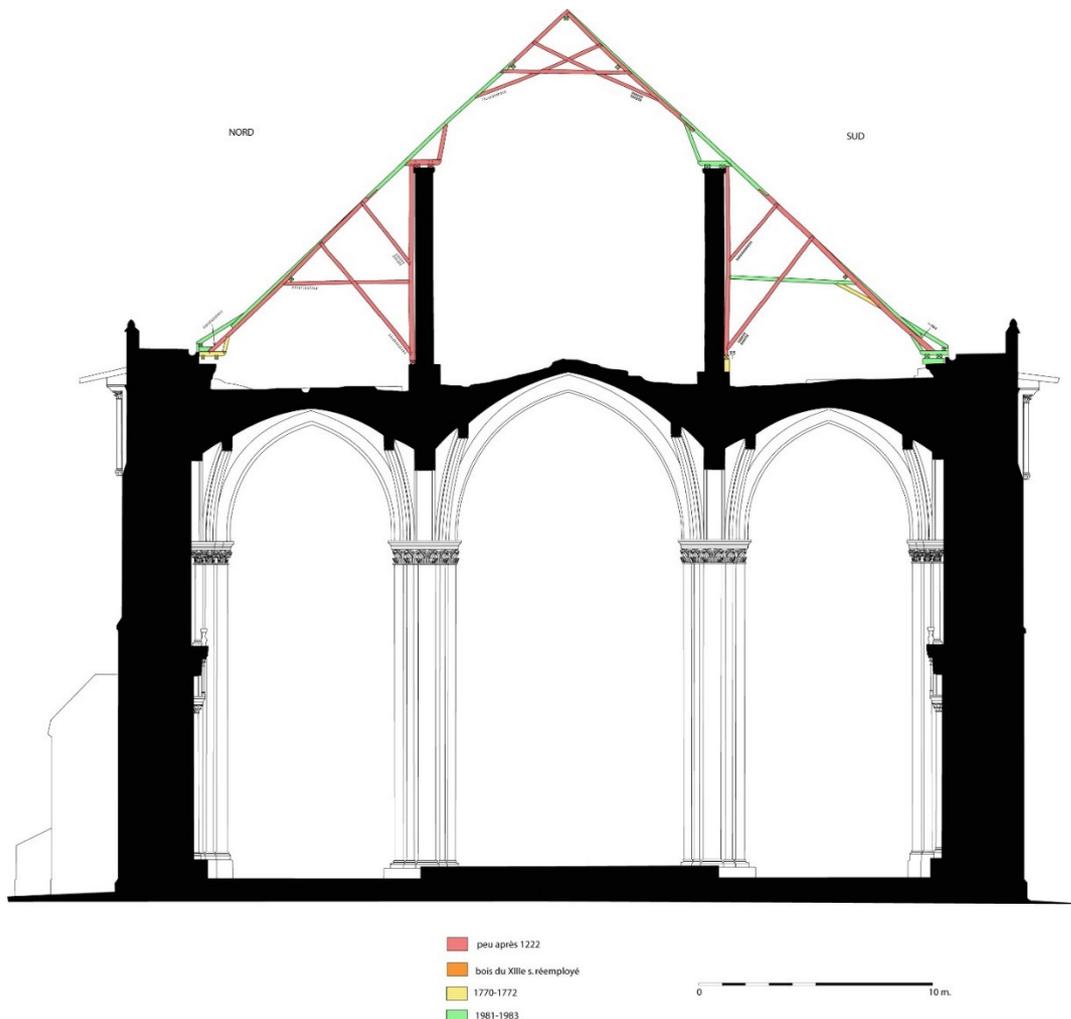
La question du stockage de ces grumes reste en suspens mais il est probable qu'elles aient été entreposées dans un milieu frais permettant de conserver l'humidité du bois. Ce cas de figure s'observe aussi à la cathédrale de Bourges où au moins 21 coupes de bois étalées sur 26 ans furent nécessaires pour réunir près de 1000 grumes en 1258, et aussi au chevet de la cathédrale de Tours où plusieurs coupes furent réparties sur 35 années pour un montage de la charpente en 1265. Ces coupes successives et intermittentes seraient liées à un financement du chantier par des donations ponctuelles d'arpents de

bois et de concessions de différentes parcelles de forêts, nécessitant le stockage des grumes dans l'attente du chantier. On note que ces prélèvements, quelles que soient les dates des coupes et pour des bois morphologiquement similaires, se sont faits dans au moins deux types de peuplements caractérisés par des profils de croissance propres. Il est donc probable qu'il s'agisse de deux parcelles distinctes au peuplement homogène plutôt qu'une unique parcelle au peuplement hétérogène. Les multiples coupes qui ont approvisionné ce chantier se seraient donc échelonnées sur presque 20 ans dans des parcelles forestières distinctes mais pour abattre des bois de morphologie identique.

Les relevés ont démontré que la question de l'évacuation des eaux de pluie était cruciale pour le maître d'œuvre en raison des aménagements importants (décalage des sablières, porte-à-faux sur corbeaux, ressauts de maçonneries) pour adapter les charpentes à l'insertion des chéneaux en pierre au sommet des murs. De même, les voûtes cupuliformes qui pénètrent jusqu'à 3,50 m de hauteur dans le comble, pour un diamètre de 11 m à la base ont profondément conditionné la structure des charpentes. Le maître charpentier les a adaptés en les surélevant par deux murets afin de pouvoir répartir les entrants des fermes principales de façon équilibrée et stabiliser ainsi la charpente. Dans le chœur et la nef, du fait de ces voûtes proéminentes, la charpente est portée à plus de 9 m de haut par deux grands murs à arcades (fig. 78) afin de couvrir le vaisseau central et les collatéraux d'une unique et gigantesque toiture de 30 m de large, 16 m de haut et de 22 m de rampant.

Les charpentes du chœur et du transept, toutes trois identiques et appartenant au même chantier de 1222, sont à chevrons-formant-fermes, avec des fermes dotées de croisée d'écharpes et de faux entrant (fig. 81). Si ce type de ferme est typique du début au XIIIe siècle, la conception d'ensemble renvoie à celle des charpentes des grandes granges, à vaisseau central et bas-côtés. Le contreventement des fermes est assuré pour la première fois au XIIIe siècle par des longrines obliques assemblées dans le plan des chevrons.

Fig. 81 Coupe transversale du chœur, au droit d'une ferme secondaire, 1222.



Quant à la nef et ses collatéraux, l'étude a révélé que ce vaisseau fut achevé plus tardivement que prévu, en 1280, en deux étapes successives, avec un unique lot de bois abattus juste avant le chantier, entre 1277 et 1279, dans un peuplement homogène de jeunes chênes de 55 ans en moyenne. La structure à fermes et pannes de la charpente, novatrice pour la région au XIII^e siècle, se justifie par une économie en matériaux comme en temps de mise en œuvre même si son montage reste plus complexe que les chevrons-formant-fermes. Lors de ce chantier, une flèche très fine et élancée fut posée à la croisée du transept et dont subsistent les sablières. Elle ne fut démontée qu'en 1770 faute d'entretien.

Epaud 2013b

Epaud F. - Les charpentes, *in* : Andrault-Schmitt C. (dir.), *La cathédrale Saint-Pierre de Poitiers. Enquêtes croisées*, Geste éditions, La Crèche, 2013 : 188-208. [\(halshs-01244533\)](#)

Epaud 2012d

Epaud F. - *Etude archéologique des charpentes médiévales de la cathédrale saint-Pierre de Poitiers (86)*, rapport inédit CNRS UMR7324-LAT, 2 vol., 2012. [\(halshs-01249288\)](#)

Un autre aspect a été abordé au cours de cette étude, toujours sur le thème du chantier de construction, à savoir les tracés d'épure que j'ai découvert sur le dallage de la nef mais qui restent à ce jour non datés. Ils témoignent d'une technique particulière de tracés d'arcature ayant servi probablement à la taille des pierres d'une baie de la nef. Ce travail a fait l'objet d'une publication dans ce même ouvrage collectif et prolonge des travaux plus anciens sur d'autres types de tracés d'épure :

Epaud 2013c

Epaud F. - Les tracés d'épure du collatéral sud de la nef, *in* : Andrault-Schmitt C. (dir.) *La cathédrale Saint-Pierre de Poitiers. Enquêtes croisées*, Geste éditions, La Crèche, 2013 : 107-109. [\(halshs-01244531\)](#)

Epaud 2011d

Epaud F. - Les épures des charpentes romanes et gothiques en Normandie *in* : Hoffsummer P. (dir.), *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècles. Grand Ouest de la France*, Brepols, AMA vol. 5, Turnhout, 2011 : 59-72. [\(halshs-01244539\)](#)

3.4.4.7 La cathédrale de Bourges (Cher)

La cathédrale Saint-Etienne de Bourges, classée au patrimoine mondial de l'UNESCO, conserve sur le haut vaisseau principal l'une des plus grandes charpentes gothiques de France, avec 100 m de long, 15 m de large (13, 20 m de portée), plus de 11 m de haut et des versants de 14 m (fig. 82).

Entre 2010 et 2016, j'ai pu mener une étude archéologique exhaustive de cette charpente en parallèle au chantier de restauration de la charpente (2011-2015) grâce à la collaboration de la conservation régionale des monuments historiques et l'ACMH P. Ponsot, responsable du chantier. Cette étude a ainsi pu bénéficier des échafaudages établis dans la charpente, des voûtes jusqu'au faîtage, de sa découverte complète et de la dépose de nombreux éléments d'origine pour le relevé exhaustif de la structure et l'analyse des bois. Elle concerne également l'étude du beffroi du XIII^e siècle de la tour occidentale sud, découvert au cours de ce travail. Ce travail, étalé sur 6 ans, a donc été conditionné au calendrier du chantier et aux déplacements des échafaudages. Le financement de cette étude a été couvert par le programme CharpCentre (APR) que j'ai dirigé de 2012 à 2016. L'approche dendroarchéologique menée sur l'ensemble des bois du XIII^e siècle est la première de cette envergure réalisée en France, avec plus de 300 bois analysés.

Sur les charpentes du vaisseau central, les relevés des charpentes furent réalisés à différentes échelles selon les dimensions des structures, manuellement pour l'ensemble des pièces de charpente, au tachéomètre laser (TCR407 Ultra), pour les fermes et au scanner pour l'ensemble des structures, en collaboration avec la société Art Graphique et Patrimoine pour le traitement des données 3D. Pour l'étude du beffroi, haut de plus de 15 m, le relevé de la structure générale a été fait à l'aide du scanner FARO acquis par CITERES en 2013, et manuellement pour l'ensemble des bois.



Fig. 82 : Charpente de la cathédrale de Bourges, 1258.

Ce travail traite de trois thématiques : les bois d'œuvre, le chantier de construction et la structure de charpente.

L'étude des bois d'œuvre et des forêts exploitées au XIII^e siècle fait suite à celles entreprises précédemment à propos des charpentes médiévales normandes. Ce travail porte ici sur le profil écologique des arbres utilisés (morphologie, âge, type de croissance), les caractéristiques du peuplement des parcelles forestières exploitées et de leurs modalités de gestion par l'homme. Il vise à répondre aux questions sur la sylviculture médiévale pour des périodes peu documentées par les textes.

D'un point de vue méthodologique, ce travail s'appuie d'une part sur des relevés manuels dendrométriques des bois d'œuvre en enregistrant les sections, les longueurs des bois, les déformations naturelles, le mode de débitage, la localisation des aubiers, des nœuds et départs de branche, et d'autre part sur des analyses dendrologiques et dendrochronologiques croisées pour l'étude des croissances des bois. Ces dernières, basées sur près de 300 carottages et prélèvements par tronçonnage sur les bois déposés de la charpente du XIII^e siècle, ont fait appel aux compétences des laboratoires CEDRE (Besançon), Dendrotech (Rennes) et EFCLab (Nantes).

Les informations récoltées par l'étude dendrométrique ont permis de définir les caractéristiques des arbres abattus (hauteur, diamètre des grumes, défilement, âge moyen...), et d'appréhender le type de futaie exploitée, sa structure et sa gestion par l'homme (densité de peuplement, mode de régénération de la parcelle, type de coupe). Ainsi, la plupart de bois (94 %) furent taillés à partir de jeunes chênes de 50-60 ans, de faible diamètre (23 à 28 cm) pourvus d'un fût fin, rectiligne, au profil élancé avec peu de branches et un houppier déployé qu'à la cime. Ils sont aussi caractérisés par un très faible défilement et une forte croissance radiale en début de croissance. Ces arbres proviendraient de futaies régénérées selon le régime du taillis, par rejet de souche, suite à des coupes à blanc qui devaient être réalisées dans les limites d'un enclos pour la protection des rejets. Ces peuplements ainsi protégés ne connurent par la suite aucune éclaircie et se développèrent rapidement en maintenant la population des rejets à une très forte densité, au maximum des capacités biologiques du chêne. Ce mode de régénération et cette forte densité du peuplement expliquent ces profils de fût très élancés à moins de 60 ans.

Il a été possible d'estimer la consommation totale à 1170 chênes pour la construction de la grande charpente de la cathédrale en 1256-1258, et d'évaluer ainsi la superficie forestière abattue à 3 hectares seulement, du fait de ces fortes densités.

Les analyses dendrochronologiques ont révélé des abattages étalés en 1230 et 1255, soit un approvisionnement du chantier sur 26 ans avant la mise en œuvre de l'ouvrage, et donc un stockage des grumes à très grande échelle. Ce cas rarissime, propre aux très grands chantiers comme ceux des cathédrales de Tours et de Poitiers pour la même période, renseigne donc sur la gestion raisonnée des approvisionnements en bois d'œuvre comme sur leur financement par des achats ou des donations ponctuelles de parcelles à exploiter rapidement. Les analyses pratiquées le laboratoire EFC-Lab a permis aussi d'identifier une attaque massive par des xylophages de l'ensemble des bois, liés aux conditions de stockage, et leur traitement par fumigation peu avant leur mise en œuvre en 1256, comme en témoignant par ailleurs les traces de carbonisation observées sur de nombreux bois. Ce traitement, qui a été efficace pour l'arrêt des vrillettes, est le seul exemple connu de ce type.

L'étude menée sur les charpentes et aussi les élévations maçonnées a permis de revoir le phasage du chantier de la cathédrale : le chœur fut érigé de 1195 à 1214 avec une toiture provisoire et la mise en place d'une cloison sur toute la hauteur de l'édifice pour fermer le chœur durant la construction de la nef, cloison dont les négatifs n'avaient à présent jamais été observés. Le chantier de la nef fut entrepris entre 1225 jusqu'à la pose de la charpente qui fut faite de l'ouest vers l'est sur l'ensemble du vaisseau en deux temps, d'abord sur la nef en 1256, puis sur le chœur en 1258. Une reprise est intervenue en 1263 à leur jonction pour le rajout d'une flèche qui fut démontée au XVIII^e siècle. La structure générale de ces deux charpentes à chevrons-formant-fermes est globalement la même, avec des travées courtes pour limiter les poussées latérales des fermes secondaires, des fermes à grandes croisées d'écharpes et un dispositif longitudinal de contreventement identique d'un bout à l'autre du vaisseau, témoignant d'une unique maîtrise d'œuvre à l'origine du projet et dans sa mise en œuvre. Notons que ce dispositif longitudinal n'était pas concluant puisqu'il a provoqué la rupture de nombreux poinçons. Le temps de réalisation de la charpente de la nef et de celle du chœur, entre l'équarrissage, l'exécution et le levage, a été estimée à 19 mois avec une équipe de 10 à 20 charpentiers, d'après les données expérimentales. Les grandes voûtes sexpartites furent quant à elles construites qu'en 1266 vraisemblablement, ainsi que les arcs des arcs-boutants destinées à reprendre leurs poussées.

Un décalage chronologique similaire s'observe à la cathédrale de Chartres avec la mise en service du chœur en 1221, et la construction des voûtes et des arcs-boutants 40 ans plus tard entre 1257 et 1260 (Lautier 2011). On observe aussi à la cathédrale de Beauvais, comme à Bourges, que les grandes charpentes furent aussi achevées en 1257-1258.

La situation politique ne fut peut-être pas étrangère à l'achèvement de ces cathédrales avec notamment la fin de la septième croisade en 1253 et au retour de Louis IX en France. Les évêchés purent ainsi vraisemblablement remobiliser leurs moyens financiers pour reprendre les abattages et achever ainsi ces vastes chantiers de construction qui furent interrompus pendant presque 10 années.

L'étude archéologique a suivi de près le chantier de restauration de cette charpente. Certaines investigations archéologiques ont ainsi pu être réalisées sur les nombreux bois déposés lors des travaux. Une courte collaboration avec l'ACMH P. Ponsot avait au début du chantier permis une réflexion commune pour modifier le projet de restauration initial et préserver certains éléments remarquables. Toutefois, ces échanges n'ont pas permis d'éviter la dépose d'une grande quantité de bois d'origine, estimée à 1/6^e de la charpente, pourtant en très bon état de conservation. De même, il n'a pas été permis d'éviter la mise en place de dispositifs préjudiciables à l'équilibre de la charpente. Un article a été diffusé sur internet en 2015 pour dénoncer cette « restauration », suscitant de nombreux débats et polémiques (<http://www.sppef.fr/2015/12/09/la-de-restauration-de-la-charpente-du-xiii-e-siecle-de-la-cathedrale-de-bourges/>). Dans l'ouvrage paru en 2017, cette réflexion sur les bonnes pratiques en matière de restauration des charpentes anciennes a été mise en annexe. Suite à ce débat, certaines restaurations en ont depuis tenues comptes comme celle de la charpente du XII^e siècle de l'église de Sainte-Marie-aux-Anglais dans le Calvados en 2009 par l'architecte B. Maffre.

Toute cette étude a fait l'objet d'un ouvrage monographique publié aux PUF en 2017. Ce livre aborde les bois d'œuvre, les forêts exploitées, les structures de la charpente, les techniques de mises en œuvre, son fonctionnement, son évolution au cours des siècles et le chantier de construction. Il aborde aussi

l'analyse archéologique du grand beffroi de la tour sud, de 14 m de hauteur, qui fut découvert et daté de 1270 durant ces travaux.

Epaul 2017a

Epaul F. - *La charpente de la cathédrale de Bourges. De la forêt au chantier*, PUF, Coll. Perspectives historiques, série archéologie, Tours, 2017. [hal-01802160](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01802160)

Epaul 2012b

Epaul F. - La charpente de la nef de la cathédrale de Bourges, in : *Revue archéologique du Centre de la France*, tome 50, 2012, URL : <http://racf.revues.org/1686>. [halshs-01243354](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01243354)

3.4.4.8 La cathédrale Notre Dame de Paris

3.4.4.8.1 Cadre institutionnel de la recherche

Suite à la mobilisation des chercheurs au lendemain de l'incendie du 15 avril 2019 (fig. 83), une dynamique de recherche s'est mise en place dans l'Action transverse « Chantier scientifique Notre-Dame » de la MITI, coordonné M. Regert et P. Dillmann pour le CNRS, A. Magnien et P. Liévaux pour le Ministère de la Culture, avec la création de huit groupes de travail dont le GT Bois/Charpente coordonné par A. Dufraisse (UMR AASPE) auquel je suis rattaché.

Lors de la réunion qui s'est tenue le 18 juillet 2019 avec la maîtrise d'œuvre, j'ai proposé à l'ACMH Rémi Fromont de réaliser l'étude archéologique de la charpente du XIII^e siècle. Celle-ci fut rendue en deux volumes en mai et juin 2020 à la maîtrise d'œuvre et mis à la disposition de la communauté scientifique.

Parallèlement à ce travail, à l'automne 2019, j'ai commencé avec O. Girardclos, dendrochronologue au CNRS (UMR 6249) du GT Bois/Charpente, une première identification des bois carbonisés qui étaient stockés sur le parvis de ND, après avoir passé une formation Risque-

plomb. Avec le premier confinement, ce travail fut arrêté et ne fut pas repris en raison de nouvelles précautions de conditionnement des bois, désormais déposés sous emballage plastique, et l'évacuation automatique des matériaux sur la base militaire de Villacoublay.

Le GT Bois/Charpente a déposé en 2020 le projet ANR CASIMODO (optimum ClimAtique médiéval et développements SocIo-éconoMiqueS : Etude de la charpente de nOtre Dame et implications pour les fOreTs) à hauteur de 695 000 euros, sur plusieurs thèmes de recherche coordonnés par A. Dufraisse, projet qui a été validé. Ces thèmes portaient essentiellement sur l'effet de la carbonisation sur le bois, à savoir les conséquences anatomiques et chimiques du feu sur le bois (50 %), puis l'analyse dendrologique et la datation des fragments, le contexte climatique et l'étude archéologique de la charpente qui constituait un Work Package de 60 000

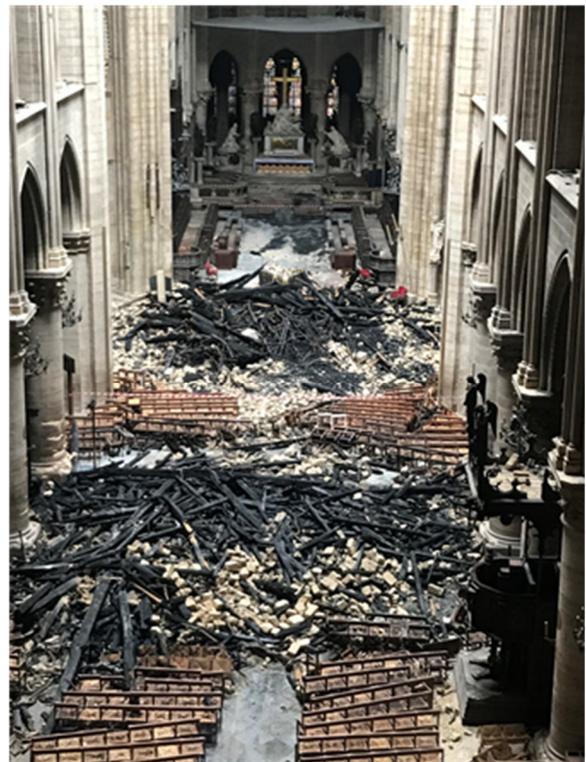


Fig. 83 : Cathédrale Notre-Dame de Paris, au lendemain de l'incendie, avril 2019.

euros que je coordonnais et dans lequel l'approche historique et contextuelle du chantier était abordée. Peu avant le dépôt de l'ANR, un différend m'a opposé avec A. Dufraisse qui a entraîné mon départ du projet. Pour autant, j'ai continué mes travaux de recherche sur ND indépendamment de cette ANR.

Ce travail sur la charpente de ND a depuis fait l'objet de plusieurs articles, conférences et d'interviews autant vers le large public qu'à la communauté scientifique.

3.4.4.8.2 Etude de la charpente disparue

Début 2019, la cathédrale conservait encore sa charpente gothique du XIIIe siècle dans les grands combles du chœur et de la nef. Aux abords de la flèche et sur les deux bras du transept, elles furent refaites par Lassus et Viollet-le-Duc au milieu du XIXe siècle. L'objet de ce travail porte donc sur les parties médiévales de la nef et du chœur.

L'étude archéologique de la charpente s'est basée sur les relevés réalisés en 2015 par Rémi Fromont et Cédric Trentesaux, devenus depuis respectivement ACMH et architecte du patrimoine à la maîtrise d'œuvre de ND. Ces relevés, très précis et détaillés, ont valeur de relevés archéologiques excepté le phasage chronologique et l'analyse interprétative des structures qui restaient à faire. Ces relevés furent vectorisés pour les besoins de cette étude par K. Jacquot (UMR MAP 3495). Le phasage chronologique fut réalisé par l'analyse de plus de 900 photos qu'il a fallu collecter auprès des visiteurs, charpentiers, touristes... et relocaliser dans la structure. Ces photos ont permis ainsi de repérer les réemplois, des bois sciés ou équarris différemment, des tiges clavetées ou boulonnées permettant d'identifier les reprises. Elles ont apporté surtout des informations sur les techniques d'assemblage d'origine, l'utilisation de bois courbes, la qualité des bois et leurs déformations, voire leur rupture, renseignant ainsi sur les défauts de conception de la charpente. Des données supplémentaires ont été fournies par quelques scans et les analyses dendrochronologiques pratiquées entre 1991 et 1996 qui furent réinterprétées en 2020 par Olivier Girardclos (CNRS, UMR6249). Cette étude archéologique a fait l'objet de deux rapports déposés en mai et juin 2020.

Grâce à toutes ces données, il a été possible de reconsidérer et de dater plus précisément les principales étapes du chantier des parties hautes de la cathédrale gothique, en inversant notamment le phasage entre le chœur et la nef :

Le premier chœur gothique a été achevé et couvert par sa charpente vers 1185. Le chantier s'est poursuivi sur la nef avec une surélévation des murs de 2,60 m par rapport à ceux du chœur pour affranchir la charpente de la proximité des voûtes et pour y insérer des chéneaux d'évacuation des eaux pluviales. Lorsque la nef fut achevée vers 1215, le maître d'œuvre est revenu sur le chœur pour y démonter les parties hautes et les réadapter à ces nouveaux dispositifs. Les murs furent ainsi rehaussés et pourvus de chéneaux, et une nouvelle charpente fut construite vers 1226 sur le modèle de celle de la nef avec le réemploi massif des bois du XIIe siècle.

Comme dans la plupart des charpentes médiévales, les bois utilisés étaient du chêne vert équarris *a minima* à la hache avec notamment l'emploi de bois courbes pour les arbalétriers. On estime que 93 % des 1000 chênes consommés étaient issus de fûts de 25-30 cm de diamètre, de 12 m de long maximum, au profil fin, élancé et âgés de 60-80 ans. Le reste, soit 7 % seulement, correspondait à des fûts de 35-40 cm de diamètre et de 14 m maximum pour les entrails et les poinçons.

La restitution de la première charpente gothique des années 1185 à partir des réemplois a révélé ses défauts structurels qui justifiaient en partie son démontage quelques décennies plus tard, avec notamment l'absence d'entrait à la base des fermes et sa proximité avec les voûtes sous-jacentes. Les nouvelles charpentes gothiques de la nef en 1215 et du chœur en 1226, appartiennent quant à elles à la génération des charpentes « à report de charges » caractérisées par un dispositif longitudinal de répartition des charges des fermes secondaires sur les fermes

principales, avec quelques différences entre la nef et le chœur. Ce dispositif visait à limiter les poussées latérales générées par les fermes secondaires sur les murs minces. Le maître charpentier de Notre Dame a conçu une structure qui faisait la parfaite synthèse de toutes les expérimentations réalisées en son temps aux cathédrales de Rouen, Meaux, Auxerre, à la collégiale de Mantes ou dans des granges comme celle de Saint-Lazare de Beauvais. En complément de cet agencement, les travées de charpente furent limitées à 3,60 m seulement de façon à limiter encore ces poussées comme on le voit aussi sur d'autres charpentes de son temps. L'étude a cependant montré que la charpente du chœur comportait des défauts de conception comme le positionnement des poteaux de décharge sur les fermes principales qui a entraîné des ruptures d'entrants. Ce travail a aussi montré que le maître d'œuvre a expérimenté sur les premières travées de la charpente de la nef une multitude de techniques d'assemblage entre les raidisseurs, avant d'arrêter son choix à la ferme principale n°5 pour le restant de la charpente. Ces techniques se basent sur l'emploi de pièces monoxyles ou de pièces faites avec deux bois de même longueur plaqués l'un contre l'autre pour prendre en moise les autres raidisseurs. Ce chantier expérimental, jamais observé jusqu'à présent dans les charpentes anciennes, se retrouve sur les premières travées de la charpente du chœur avec aussi ce choix entre des bois monoxyles et des bois moisant, ce qui prouverait l'intervention du même maître charpentier sur la nef et le chœur à une décennie d'intervalle.

Fig. 84 : Charpente disparue de la nef, cathédrale Notre-Dame de Paris, vers 1215.



Enfin, ce travail a révélé la qualité exceptionnelle de la croupe absidiale qui est pourvue d'un dispositif longitudinal de contrebutement interne d'une complexité tout à fait remarquable. Elle figurait sans nul doute parmi les plus grands chefs d'œuvre de la charpenterie gothique française.

Enfin, il a été mis en évidence, comme on le voit dans d'autres grandes charpentes gothiques exposées aux intempéries à 30-40 m de hauteur depuis huit siècles, que les chevrons-formant-fermes ont su se déformer avec une grande élasticité, en absorbant les poussées des vents forts grâce à la flexibilité des fermes, leur indépendance, l'absence de contreventement et l'emploi

de longs bois. Ceux-ci se sont donc pliés sans jamais se briser. En termes mécaniques, une charpente flexible ne se casse pas, alors qu'une structure rigide se brise. Il s'agit ici d'une des particularités des grandes charpentes gothiques du XIII^e siècle qui permet aussi de préserver de la rupture les murs minces sous-jacents, ouverts de larges vitraux, lors de très fortes intempéries.

L'étude de cette charpente devrait être complétée dans les années à venir par les analyses dendrochronologiques des bois carbonisé même si leur état très dégradé laisse peu d'espoir quant à l'obtention de date d'abattage plus précise.

La publication de cette étude devrait se faire sous la forme d'un ouvrage scientifique grand public dans les années à venir, en collaboration avec R. Fromont et C. Trentesaux, auteurs des relevés.

Epaud 2020d

Epaud F. - *Etude archéologique de la charpente de la nef de la cathédrale Notre-Dame de Paris*, CNRS, UMR7324-LAT, 2 vol., 77 p., 75 fig., 2020. ([hal-03046995](#))

Epaud 2020e

Epaud F. - *Etude archéologique de la charpente du chœur de la cathédrale Notre-Dame de Paris*. CNRS, UMR7324-LAT, 2 vol., 81 p., 72 fig., 2020. ([hal-03047012](#))

D'ores-et-déjà plusieurs articles grands publics ont été publiés :

Epaud 2020c

Epaud F. – Les secrets de la forêt disparue de Notre Dame, *in* : *Archéologia*, Notre-Dame un an après, l'archéologie à son chevet, Editions Faton, n° 590, 2020 : 36-37. ([hal-02944261](#))

Epaud 2019d

Epaud F. – La charpente disparue de Notre-Dame, *in* : *Revue Histoire*, Hors-série n°57, décembre 2019 : 40-45. ([hal-02442889](#))

Epaud 2019e

Epaud F. - Le monde des charpentes, *in* : *Les dossiers d'Archéologie*, Cathédrales gothiques, Edition Faton, 2019 : 17-20. ([hal-02405690](#))

3.4.4.8.3 Le débat public autour de la reconstruction des charpentes

Quelques semaines après l'incendie, de nombreuses inepties furent diffusées dans les médias et réseaux sociaux concernant les charpentes de Notre-Dame et ses bois qui auraient été taillés dans des chênes énormes tirés de la forêt primaire, vieux de plusieurs siècles, séchés pendant des décennies, et que pour la reconstruire il faudrait raser des forêts, abattre une quantité d'arbres impossible à réunir aujourd'hui, qu'il faudrait tremper dans l'eau, etc.... De vifs propos furent tenus aussi dans la presse nationale pour dénoncer l'éventualité d'une reconstruction à l'identique avec des bois équarris à la hache, toujours sur la base de préjugés tout autant dénués de fondements.

Pour contrer ces contrevérités et éviter qu'elles ne se répandent trop dans l'opinion publique, j'ai publié sur internet un premier article début mai sur le site de l'association des scientifiques au service de la restauration de Notre-Dame de Paris. Face à la diffusion très rapide de ce billet, le Journal du CNRS m'a proposé de le rediffuser en juin 2019. Ce post de quelques pages seulement, intitulé « Stop aux idées reçues ! » rétablissait certains faits sur les charpentes médiévales et les bois utilisés. Je défendais surtout le projet d'une reconstruction à l'identique selon les techniques traditionnelles de taille à la hache en remettant en perspective ces pratiques dans le contexte actuel d'un point de vue économique,

écologique et patrimonial. Concernant la structure de la charpente, mon argumentation s'appuyait sur son efficacité mécanique et l'absence de reprise de sa structure sur huit siècles, excepté celles liées au défaut d'entretien des couvertures au XVIIe siècle et la prise en compte de quelques défauts sur le chœur. Quant à l'équarrissage manuel, cette technique permettrait d'avoir des bois plus stables au séchage avec une meilleure résistance mécanique, une consommation en bois d'œuvre moindre avec peu de pertes, des abattages de chênes de faible diamètre, et un chantier avec une empreinte carbone quasi nulle. Ce texte défend aussi l'idée de transmettre le savoir-faire de charpenterie traditionnelle dans le cadre d'un chantier Monument Historique, au même titre que pour la taille de pierre, le vitrail ou les peintures murales. Ce post fut l'un des plus lus de la revue en 2019 et fut traduit en anglais et en japonais. A la suite de ces publications sur internet et à leur large diffusion sur les réseaux sociaux, j'ai été sollicité de nombreuses fois pour des interviews de médias français et étrangers comme la BBC. Plusieurs conférences ont aussi été faites sur ce sujet.

Suite à la dernière réunion de la Commission nationale de l'architecture et du patrimoine (CNPA) le 25 mars 2021, le chantier s'orienterait finalement vers une reconstruction de la charpente à l'identique avec vraisemblablement l'emploi des techniques de taille à la hache, ce qui serait une première en France.

Epaud 2019c

Epaud F. Charpente de Notre-Dame : stop aux idées reçues ! *in* : *CNRS Le journal*, CNRS, 2019. <https://lejournalejournal.cnrs.fr/billets/charpente-de-notre-dame-stop-aux-idees-recues> (hal-03176926)

Epaud 2019f

Epaud F., La charpente de Notre-Dame de Paris : état des connaissances et réflexions diverses autour de sa reconstruction, *in* : *Scientifiques Notre-Dame*, 2019. <https://www.scientifiquesnotre-dame.org/articles#2> (hal-03176917)

4 La dendroarchéologie : une approche pour l'étude des bois d'œuvre et des forêts

Le bois était il y a encore peu d'années rarement questionné en archéologie du bâti sinon pour obtenir une date d'abattage et ainsi celle de l'achèvement d'un ouvrage. Les questions liées à l'approvisionnement du chantier, au type d'arbre utilisé, aux peuplements forestiers exploités et à leur gestion par l'homme n'étaient presque jamais prises en compte, du moins pour la période médiévale. Ma démarche scientifique a cherché à les intégrer à mes travaux dès mon doctorat et surtout lors sa publication en 2007 grâce à la collaboration de Vincent Bernard (CReAAH) et de Yannick Le Digol (Dendrotech) qui avaient analysé les bois des charpentes de mon corpus normand. Il me semblait alors primordial d'interroger le bois en tant que matériau vivant et source d'information potentielle des activités anthropiques et non seulement en tant qu'élément datant. Ma formation universitaire en biologie végétale, acquise lors de ma Licence de Biologie-Géologie à l'université de Rouen, y est peut-être pour quelque chose.

Dans les années qui ont suivies, je n'ai pas eu la possibilité de renouveler cette approche à une échelle régionale, mais je l'ai néanmoins poursuivie à chaque nouvelle étude de charpente en précisant mes relevés dendrométriques et en questionnant les bois sur leur profil écologique, le plus souvent en collaboration avec le dendrochronologue Christophe Perrault du laboratoire CEDRE. Ce n'est vraiment qu'avec l'étude de la charpente de cathédrale de Bourges entre 2012 et 2016 que j'ai pu développer et approfondir ce type d'analyse que je détaillerai ci-après. Il aura donc fallu attendre une dizaine d'années pour renouveler cette approche, cette fois-ci à l'échelle d'une grande charpente, car l'exercice réclamait des moyens financiers conséquents et un cadre de recherche favorable.

Dans ce mémoire, cette approche dendroarchéologique est présentée après mes autres travaux car elle s'inscrit dans la continuité des recherches précédentes, notamment celles consacrées aux charpentes des cathédrales. Dans ma démarche scientifique, ces problématiques autour du bois et de la forêt apparaissent comme une prolongation de ma réflexion sur l'origine des matériaux et la mise en contextualisation écologique des chantiers qui n'est peut-être pas étrangère aux questionnements actuels de notre société sur son environnement naturel. Par ailleurs, j'ai toujours remarqué lors de mes communications face à un large public que les questions portaient le plus souvent sur le thème des forêts et de la provenance des bois, ce qui m'a probablement incité au fil des années à réfléchir davantage à ces sujets. De même, mes cours dispensés aux étudiants de L3 à l'université de Tours ont évolué en dix ans pour laisser une plus large part aux forêts, à leur gestion et aux liens qu'entretiennent les hommes avec le bois, d'un point de vue écologique, économique et sociétal. Comme une évolution logique, je perçois le développement de cette approche dans ma démarche scientifique comme un retour aux sources, une quête des origines et du naturel qui ne peut s'effectuer qu'avec l'accumulation des expériences et une relative maturité. Il n'est pas anodin que cette réflexion ait pu trouver un écho dans mes récents travaux sur la charpente de la cathédrale Notre Dame de Paris. Le projet de reconstruction touche en effet de très près à des considérations écologiques en termes d'impacts sur les écosystèmes forestiers et de qualité des bois d'œuvre qui interrogent sur les sylvicultures pratiquées au XIII^e siècle et celle d'aujourd'hui tout en les mettant en perspective l'une et l'autre.

4.1 Aspects méthodologiques, objectifs et contextes

La dendroarchéologie consiste à faire la synthèse des informations tirées d'une part du relevé morphologique des bois utilisés dans les charpentes et d'autre part des analyses dendrochronologiques réalisées sur ces mêmes bois. Les relevés morphologiques enregistrent l'ensemble des informations dendrométriques contenus visuellement sur les pièces de charpente à savoir le mode de débitage/taille de la poutre (équarri ou scié), les sections (en pied, milieu et tête de pièce), les longueurs, le défilement (profil du fût), les déformations naturelles, la localisation des aubiers, des nœuds et départs de branche... Les analyses dendrochronologiques et dendrologiques réalisées par un laboratoire spécialisé renseignent quant à elles sur l'âge des bois, la date d'abattage et leur profil de croissance.

Pour ce faire, certains protocoles d'étude doivent être respectés. Les courbes de croissance sont analysées en les considérant toujours avec les mesures morphologiques des bois. Très tôt, les dendrochronologues avec qui je collaborais (Dendrotech et CEDRE) adoptèrent des outils spécifiques (coupeuse électrique) pour améliorer le prélèvement des derniers cernes d'aubiers, rarement conservés lors du carottage, afin d'avoir des dates d'abattage précise à la saison près. De même, l'intégralité des séquences de croissance, du premier au dernier cerne, sur plus de 90 % des échantillons devenait primordiale pour ce type d'analyse. L'emplacement des prélèvements est donc défini selon les questions posées, en pied et en tête de pièce, et la quantité d'échantillons adaptée aux dimensions des charpentes, avec parfois plusieurs centaines de prélèvements (cathédrale de Bourges et Poitiers).

Ce travail permet ainsi de déterminer l'aspect des peuplements forestiers dont les bois sont issus (futaie, taillis-sous-futaie, futaie-sur-souche, bocage...), le régime d'exploitation de ces parcelles avec les cycles de régénération, des éclaircies, des traitements sylvicoles particuliers, la densité du peuplement, et plus généralement d'avoir des données fiables sur la sylviculture pratiquée à des périodes peu documentées par les textes, généralement antérieures au XIV^e siècle.

Au-delà de la forêt même, ces travaux ouvrent de nouvelles perspectives de recherches sur les modalités d'approvisionnement des chantiers, les conditions de présélection des arbres en forêt, l'évaluation des surfaces forestières consommées, et de façon plus générale sur l'évolution de la consommation en bois d'œuvre et du potentiel forestier au cours du Moyen Âge. Cette réflexion ouvre aussi des portes sur la compréhension de l'évolution des techniques avec notamment l'apparition de la scie en réponse aux cas de pénurie en bois d'œuvre de qualité, que ce soit pour des cas isolés au XIII^e siècle comme la cathédrale de Bayeux, ou de manière plus globale à partir du XV^e siècle avec l'emploi de plus en plus massif de bois inadaptés en section ou de mauvaise qualité (bois nouveaux, tors...) lié à une modification de la gestion forestière à l'échelle du Bassin parisien.

Les premiers travaux de dendroarchéologie furent engagés peu après le doctorat afin d'exploiter les données des nombreuses études de charpentes des XI^e-XIII^e siècles en Normandie déjà réalisées et celles qui étaient alors en cours dans d'autres régions. Toutes les informations tirées des relevés et des études dendrochronologiques furent donc analysées en vue de la publication de la thèse, en collaboration avec Vincent Bernard (CNRS, UMR 6566 – Rennes) et Yannick Ledigol, dendrochronologue à Rennes. L'ensemble des résultats y fut publié en 2007, de même que dans un article en 2008 consacré spécifiquement aux bois de bocage, aux bois tors et nouveaux.

Entre 2012 et 2016, une autre opportunité s'est ouverte pour appliquer cette approche à plus grande échelle mais sur une unique charpente du XIII^e siècle, celle de la cathédrale de Bourges, l'une des plus grandes et des mieux conservées de France, de près de 100 m de long. Sa restauration (2011-2015) permettait l'accès à tous les bois sur toute la hauteur de la structure grâce à plusieurs planchers d'échafaudage et la dépose de nombreux bois d'origine autorisait le prélèvement par tranche à la tronçonneuse. Ainsi, près de 300 prélèvements purent être réalisés, ce qui représentait la plus grande étude de ce type jamais menée en dendroarchéologie. Les relevés morphologiques furent menés par moi-même tandis que les analyses dendrologiques furent réalisées par trois laboratoires : le CEDRE (Besançon), Dendrotech (Rennes) et EFCLab (Nantes). Les investigations morphologiques firent appel aux conseils de plusieurs chercheurs de l'INRA et de forestiers de l'ONF. Son financement a été couvert par le programme Charpcentre (APR) que j'ai dirigé de 2012 à 2016. Les résultats furent publiés dans un ouvrage en 2017.

Enfin, cette approche fut également appliquée à l'étude des charpentes des cathédrales de Poitiers en 2012 et de Tours, en 2016. D'autres études de charpentes et analyses d'édifices, en Ile-de-France et en région Centre-Val de Loire ont permis d'affiner les résultats afin de dégager des tendances générales à

l'échelle du Bassin parisien sur plusieurs siècles dont les principaux résultats furent réunis dans un article de synthèse publié dans l'ouvrage sur la forêt au Moyen Âge (Bépoix et Richard 2019). La richesse des informations obtenues alimente donc plusieurs thématiques dont quelques-unes sont ici présentées dans les grandes lignes.

4.2 L'approvisionnement des chantiers des cathédrales gothiques

Le défi que représente un grand chantier pour les maîtres d'œuvre du XIII^e siècle n'était pas uniquement la conception des structures ni la logistique du montage. Il était surtout de pouvoir approvisionner le chantier en grande quantité de bois d'œuvre de qualité en un temps relativement court, ce qui suppose des forêts bien gérées et localisées à proximité pour limiter le coût du transport. Les estimations de quantité de grumes nécessaires à la mise en œuvre des charpentes d'une cathédrale sont en effet assez édifiantes. Les charpentes de la cathédrale de Rouen posées sur tous les grands vaisseaux entre 1220 et 1232 ont nécessité 1200 grumes pour une structure de 130 m linéaire ; celles de la cathédrale de Bayeux entre 1223 et 1250, 1020 grumes pour 100 m ; celles de la cathédrale de Lisieux entre 1183 et 1216, 940 grumes pour 100 m. A la cathédrale de Bourges, les charpentes longues de 100 m ont été posées en l'espace de deux ans seulement en 1256-1258 alors qu'elles ont réclamé l'abattage de 1170 chênes d'une très grande qualité, sans compter les bois nécessaires aux charpentes des collatéraux, des beffrois, des échafaudages et au lattis de la couverture. Il apparaît que de tels approvisionnements représentaient un coût excessif s'il n'était pas anticipé longtemps à l'avance. Les datations dendrochronologiques réalisées sur de nombreuses charpentes montrent pourtant que les abattages étaient réalisés juste avant la mise en œuvre, si tant est que ces analyses soient faites sur un échantillonnage proportionnel aux dimensions de la charpente. Basées sur un échantillonnage de cent à trois cents échantillons, les analyses faites sur plusieurs charpentes de cathédrales montrent que ce ne fut pas toujours le cas et que les approvisionnements furent parfois prévus longtemps avant le chantier, vraisemblablement pour en limiter le coût. Il est à noter que ces cas de figures restent exceptionnels et s'expliquent uniquement par l'ampleur démesurée du chantier.

A la cathédrale de Poitiers, l'abattage des 700 chênes destinés aux trois charpentes des deux bras du transept et du chœur, structurellement identiques, fut programmé près de 20 ans avant leur montage, avec au moins dix coupes distinctes réparties entre 1196 et 1222. Ces différentes campagnes d'abattage, qui avaient été réalisées dans des parcelles forestières distinctes, concernaient néanmoins des bois morphologiquement similaires en diamètre et en longueur. Respectant ainsi des gabarits précis, les abattages ont été programmés sur le long terme pour sélectionner des bois standardisés, destinés à des charpentes conçues aussi vraisemblablement, dans leur forme générale, deux décennies avant leur montage.

Ce cas de figure se rencontre aussi à la cathédrale de Tours où la coupe des bois du chœur fut anticipée 15 ans avant la mise en œuvre de l'ouvrage, avec une multitude de campagnes d'abattage réparties entre 1248 et 1263.

La cathédrale de Bourges est certainement l'exemple le plus intéressant de ce point de vue. La grande charpente dressée en seulement deux ans, en 1256-1258, sur les 100 m du vaisseau principal fut réalisée avec 1200 chênes dont l'approvisionnement fut anticipé 26 ans avant le chantier, avec au moins 21 coupes d'abattage réparties sur toute cette durée, entre 1230 et l'automne-hiver 1254-1255, avec donc nécessairement un stockage des grumes.

La question du stockage d'autant de grumes sur une telle durée a été éludée par les analyses du laboratoire EFCLab qui a analysé les attaques des xylophages en surface des bois. Les conclusions aboutissent à un stockage en milieu forestier en zone froide et humide de fond de vallée qui favorise la conservation du bois et la limitation des attaques d'insectes et de champignons. Aussi, il a pu être mis en évidence par l'analyse microscopique des aubiers que l'ensemble des bois stockés a subi un traitement par le feu suite à une attaque généralisée des bois par la petite vrillette peu avant leur mise en œuvre en 1256, suite au transfert des grumes sur le chantier. Ces traces de feu ont en effet pu être repérées sur les bois de la charpente mis en œuvre (fig. 85) et par microscope sur 93 % des échantillons.

Fig. 85 : Bois carbonisé suite au traitement des grumes par le feu, charpente de la cathédrale de Bourges, 1258.



Cette anticipation des approvisionnements s'explique par les difficultés rencontrées par le chapitre et l'archevêque pour financer le chantier de la nef comme en témoignent les importants emprunts contractés par l'Eglise de Bourges et les sollicitations auprès du pape Grégoire IX en 1237 et 1241 pour permettre de soulager les dettes.

4.3 Les types d'arbre consommés

En regroupant les analyses des bois d'œuvre consommés dans les charpentes du XIe au XIIIe siècle sur un vaste territoire, c'est surtout une évolution globale de la consommation en bois d'œuvre qui a pu être mise en évidence. Cette recherche appliquée aux charpentes du Nord-Ouest du Bassin parisien (Normandie-Ile-de-France) a permis de montrer que le passage de la charpente romane à la charpente gothique marque une baisse de la consommation de bois de futaie de forte section mais que les bois de faible section et de grande longueur augmentent en proportion à cause notamment du changement des structures. En effet, les charpentes romanes utilisent pour leurs nombreux entrants de forte section des gros chênes à croissance lente, très âgés (150-250 ans), issus de peuplements anciens et vieillissants, alors les chevrons et leurs raidisseurs, de faible longueur et de petite section, utilisent des bois issus de jeunes taillis, à croissance rapide (fig. 86). Après 1150, avec l'avènement des charpentes gothiques, les entrants se restreignent aux fermes principales et diminuent en section tandis que les chevrons et les raidisseurs augmentent en longueur et légèrement en section du fait du redressement de la pente (fig. 87).

Fig. 86 : Types d'arbre utilisés dans les charpentes romanes, avec des gros bois à croissance lente pour les entrails et des jeunes tiges à croissance rapide de taillis pour les chevrons et les raidisseurs

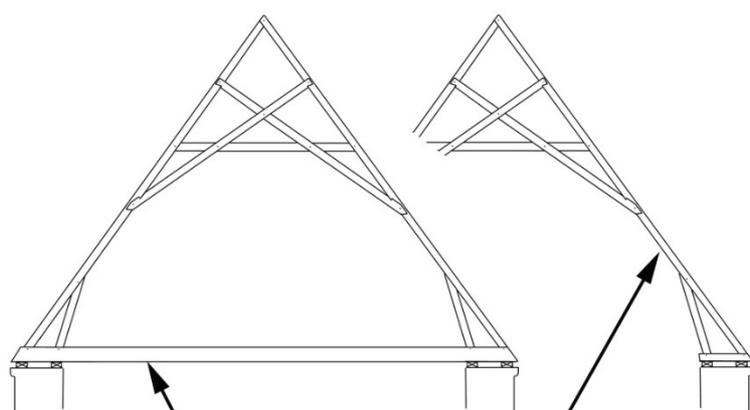
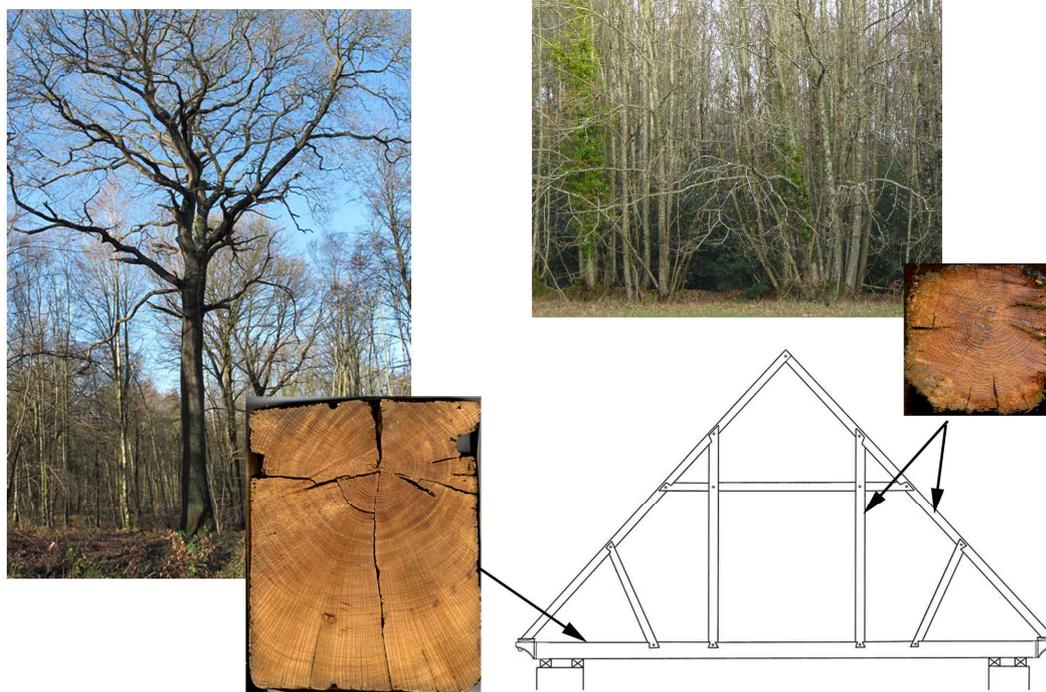


Fig. 87 : Types d'arbre utilisés dans les charpentes gothiques, avec des tiges de moyenne section et de plus grande longueur pour les chevrons et les raidisseurs. Les entrails consomment des bois plus âgés mais qui demeurent moins épais que ceux des charpentes romanes.

On passe ainsi d'une situation bigarrée avant 1150, avec l'utilisation mixte de vieux bois de très fort diamètre et de vieux bois de taillis de faible très fins, à une situation remarquable par son homogénéité dès la fin du XIIe et durant le XIIIe siècle, avec des bois jeunes (50-60 ans) de moyenne section provenant de taillis ou de futaies sur souche selon leur vieillissement (fig. 88).

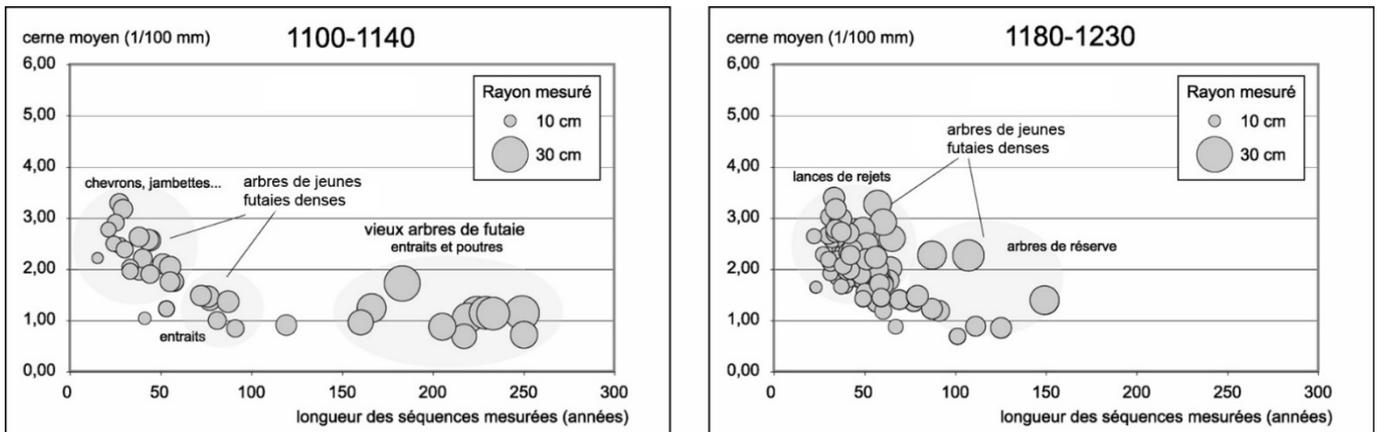


Fig. 88 : Distribution des bois selon leurs âge et croissance moyenne des bois des charpentes romanes (à gauche) et des charpentes gothiques (à droite) du Nord-Ouest du Bassin parisien. (V. Bernard, dans Epaud 2007a p.16)

Ainsi, ces travaux démontrent que le passage de la charpente romane à la charpente gothique a entraîné une modification des modes d'approvisionnement non en quantité mais en qualité des bois, imposée par l'évolution des critères structurels des charpentes entre le XIIe et le XIIIe siècle.

Si dans la majorité des charpentes des XIIe-XIIIe siècles du Bassin parisien, les bois sélectionnés sont droits, celles construites sur les territoires littoraux peuvent utiliser des bois sinueux et tors. A Bayeux dans le Calvados, les charpentes de la première moitié du XIIIe siècle de la cathédrale de Bayeux et de la maison canoniale de l'impasse prud'homme utilisent exclusivement des bois courbes et tors, issues de forêts exploitées à proximité du littoral et exposées fortement au climat maritime.

4.3.1 Des chênes jeunes, fins et élancés

Dans les charpentes gothiques de la fin du XII^e et du XIII^e siècle de Normandie, d'Ile-de-France et de la région Centre, on constate une très forte proportion (90-95 %) de bois fins et homogènes issus de chênes jeunes à peine matures avec un début de croissance très rapide. En Normandie entre 1180 et 1230 (fig. 88), on voit l'emploi quasi-exclusif d'arbres de 50 cernes pour un diamètre de 20-25 cm en pied de fût, le reste correspondant à des bois de réserve de 35 à 50 cm de diamètre pour les pièces maîtresses (entrails, poinçons), avec des longueurs allant de 8 à 14 m. Les charpentes de la cathédrale de Lisieux érigées autour de 1200 ont consommé plus de 900 chênes dont 97 % d'entre eux n'avaient que 22 cm de diamètre en pied pour 9 m de long. Vers 1230, celles de la cathédrale de Rouen a nécessité l'abattage de 1 200 chênes dont 92 % avaient aussi 22 cm de diamètre en pied pour 10 m de long. On retrouve ces valeurs dans les mêmes proportions dans la plupart des charpentes d'églises, de cathédrales, de logis, de granges ou d'abbayes du Bassin parisien de cette période. Nous sommes donc bien loin de cette image d'Epinal des énormes chênes au tronc épais abattus pour les charpentes des cathédrales gothiques.

De même, les 1200 arbres abattus en 1256-1258 pour la gigantesque charpente de la cathédrale de Bourges étaient pour 94 % d'entre eux du même type (fig. 89 : Type 1) : âgés de 56-59 ans en moyenne, d'une longueur minimale de 14 m pour un diamètre en pied de 23 cm dans la nef et de 28 cm dans le chœur, et de 16 cm en tête. Le fût de ces arbres est donc de faible diamètre, fin, au profil très élancé et régulier sur une grande hauteur. Ces bois se caractérisent aussi par une croissance rapide avec une forte croissance radiale de 2,1 mm en moyenne par an (fig. 90). Les 6 % restant (fig. 89 : Type 2 et 3) correspondent à des bois du même type mais à un stade plus avancé de leur évolution pour les plus grosses pièces de la charpente (poinçons et entrails).

Type d'arbre	Défilement (cm/m)	Âge moyen (années)	Diamètre et longueur	Pièces	Quantité de grumes		Proportion (%)
Type 1	2,5	56	28 cm / 14 m	fermes	335	374	93,5
				pièces longitudinales	39		
Type 2	2,6	74	32 cm / 12 m	poinçons	12		3
Type 3	2,5	125	45 cm / 15-20 m	entraits	14		3,5
Total					400		100

Fig. 89 : Types d'arbres consommés dans la charpente du chœur de la cathédrale de Bourges (1258).

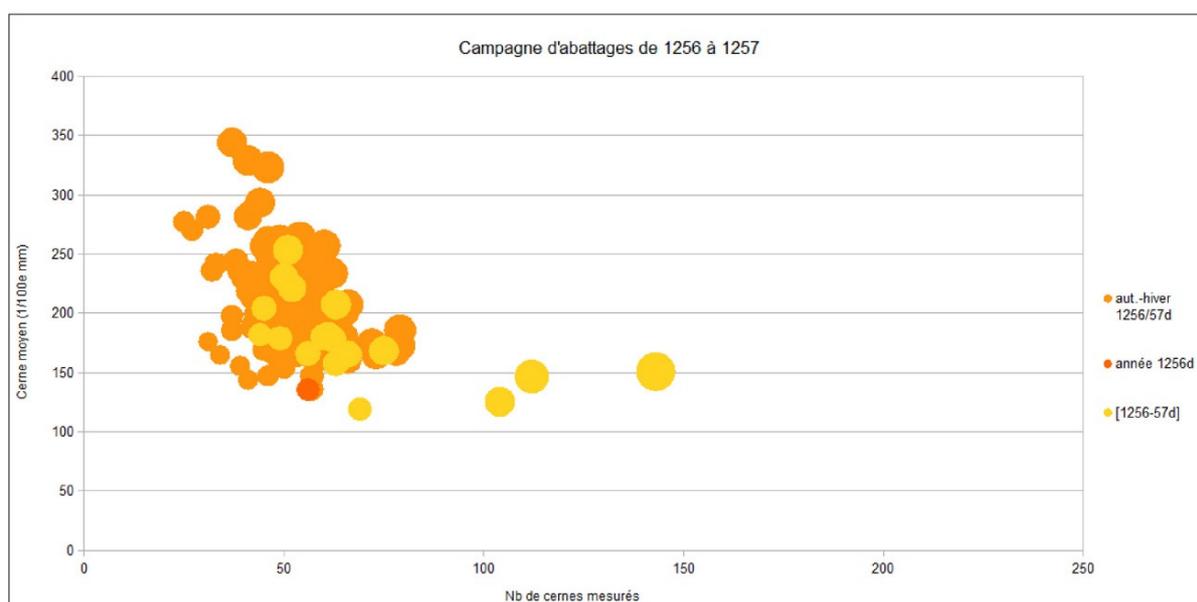


Fig. 90 : Distribution des bois du chœur de la cathédrale de Bourges selon leurs âge et croissance moyenne (Dendrotech).

La très grande majorité des bois utilisés dans les charpentes gothiques ont aussi un défilement moyen très faible, autour de 2 cm/m. Ceux de la cathédrale de Bourges ont un défilement de 1,6 à 2,5 cm/m. Cet indice, appelé aussi décroissance métrique moyenne, correspond au nombre de centimètre que le fût perd sur sa circonférence par mètre de hauteur. Il définit la forme plus ou moins tronconique du fût et renseigne sur la densité du peuplement d'après des tables officielles établies pour le chêne (Poncelet 1992, Chaudé 1946). Un défilement aussi faible autour de 2 cm/m est propre aux fûts filiformes quasi cylindriques sur toute leur hauteur, et signifie que la futaie était très densément peuplée, au maximum des capacités biologiques du chêne. A noter aussi que la faible quantité de nœuds de branches charpentières le long des bois témoigne d'un houppier peu développé en partie sommitale, indice là encore d'une forte densité des peuplements.

D'autres études dendrochronologiques réalisées en région Centre sur 28 charpentes des XI^e-XVI^e siècles ont aussi permis de caractériser l'emploi de bois jeunes à forte croissance juvénile uniquement aux XII^e-XIII^e siècles (Jacquet 2003 ; Epaud, Tournadre et Noblet 2017). Les travaux effectués sur les charpentes de cette période à l'abbaye de Fontevraud en Anjou rejoignent aussi ces résultats (Hunot 2001).



Les modes de gestion sylvicole actuels ne permettent pas de produire des chênes avec des rapports âge/diamètre/hauteur de fût correspondants à ceux des bois du XIII^e siècle, que ce soit pour la cathédrale de Bourges comme pour les autres exemples. S'il est possible de trouver des chênes morphologiquement identiques, leur âge est en revanche nettement supérieur de 30 à 40 ans, comme dans la forêt de Bercé dans la Sarthe (fig. 91). En effet, les sylvicultures dynamiques pratiquées en France par l'ONF aujourd'hui assurent une croissance toujours régulière des cernes avec des éclaircies périodiques qui favorisent une croissance des fûts en épaisseur et non en hauteur.

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

Fig. 91 : Forêt de Bercé (Sarthe). Chêne de 28 cm de diamètre en pied, de 16 m de hauteur de fût exploitable et âgé de 77 à 83 ans, morphologiquement similaire aux bois de Type 1 de Bourges mais de 30 ans plus âgés.

4.3.2 Des bois équarris à minima

Les charpentes médiévales du Bassin parisien consomment de manière quasi exclusive des chênes équarris à la doloire qui conservent le cœur de l'arbre dans la pièce (bois de brin). Ils sont généralement façonnés et mis en place peu après leur abattage, sauf cas exceptionnels mentionnés ci-dessus. Dans l'ensemble, les bois sont peu sinueux mais leur courbure naturelle n'a jamais été considérée comme un handicap par les charpentiers, ni lors de leur sélection, ni lors de leur mise en œuvre qui montre une parfaite maîtrise des ajustements des courbures aux assemblages. La présence quasi systématique d'aubier prouve que l'équarrissage des grumes a été minimal et que les chênes abattus correspondaient de très près aux sections recherchées par les charpentiers. Cette économie du dégrossissage représentait un gain de temps non négligeable mais elle prouve surtout que le potentiel forestier permettait de satisfaire la demande des nombreux chantiers du bâtiment en chênes parfaitement calibrés aux besoins. Les rares exceptions où on voit des éléments sciés au XIII^e siècle, issus du débitage de bois surdimensionnés, sont liées à l'absence de futaies à proximité du chantier comme pour la charpente du bras sud de la cathédrale de Bayeux vers 1225 ou ceux de la commanderie templière de Chanu dans

l'Eure vers 1190. Au XIV^e siècle, les bois sciés se rencontrent plus souvent dans les charpentes comme au manoir du Mesnil-sous-Jumièges en Seine-Maritime vers 1300 mais il faut attendre la fin du Moyen Âge et surtout l'époque moderne pour que l'emploi du bois débité sur quartier se généralise avec une plus forte consommation de chênes aux troncs épais, trapus et noueux. Ce changement témoigne d'une modification profonde des ressources ligneuses avec le développement du taillis-sous-futaie et vraisemblablement une mutation de la propriété forestière.

4.4 Le type de futaie exploitée

4.4.1 Un régime de taillis

L'étude des croissances radiales des bois de la charpente du XIII^e siècle de la cathédrale de Bourges permettent d'avancer des propositions de restitution de régime sylvicole avec une certaine fiabilité en raison de la grande quantité d'échantillons analysés. Le classement des bois selon leur profil de croissance a permis de définir 19 classes dendrotypologiques (fig. 92).

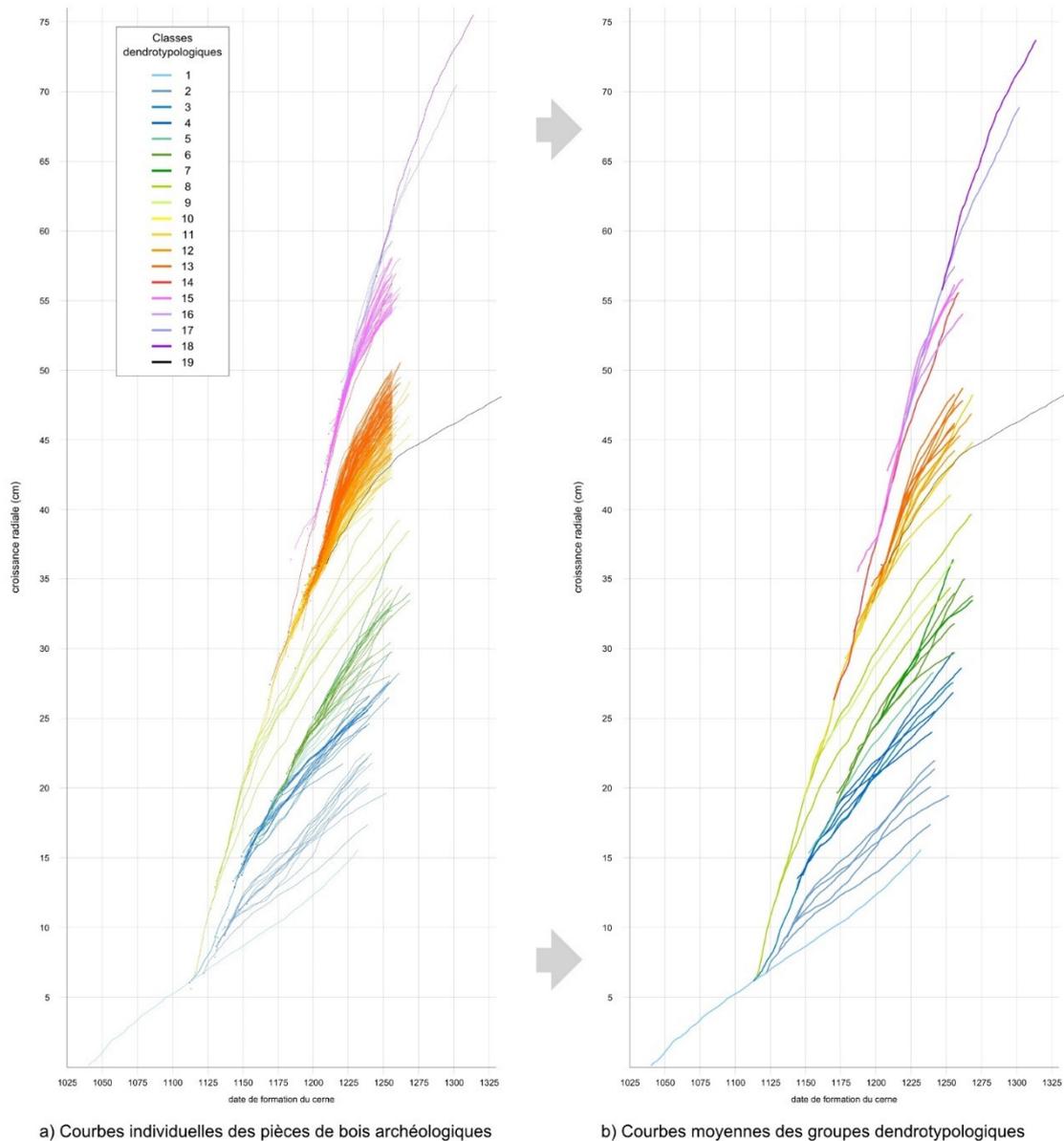
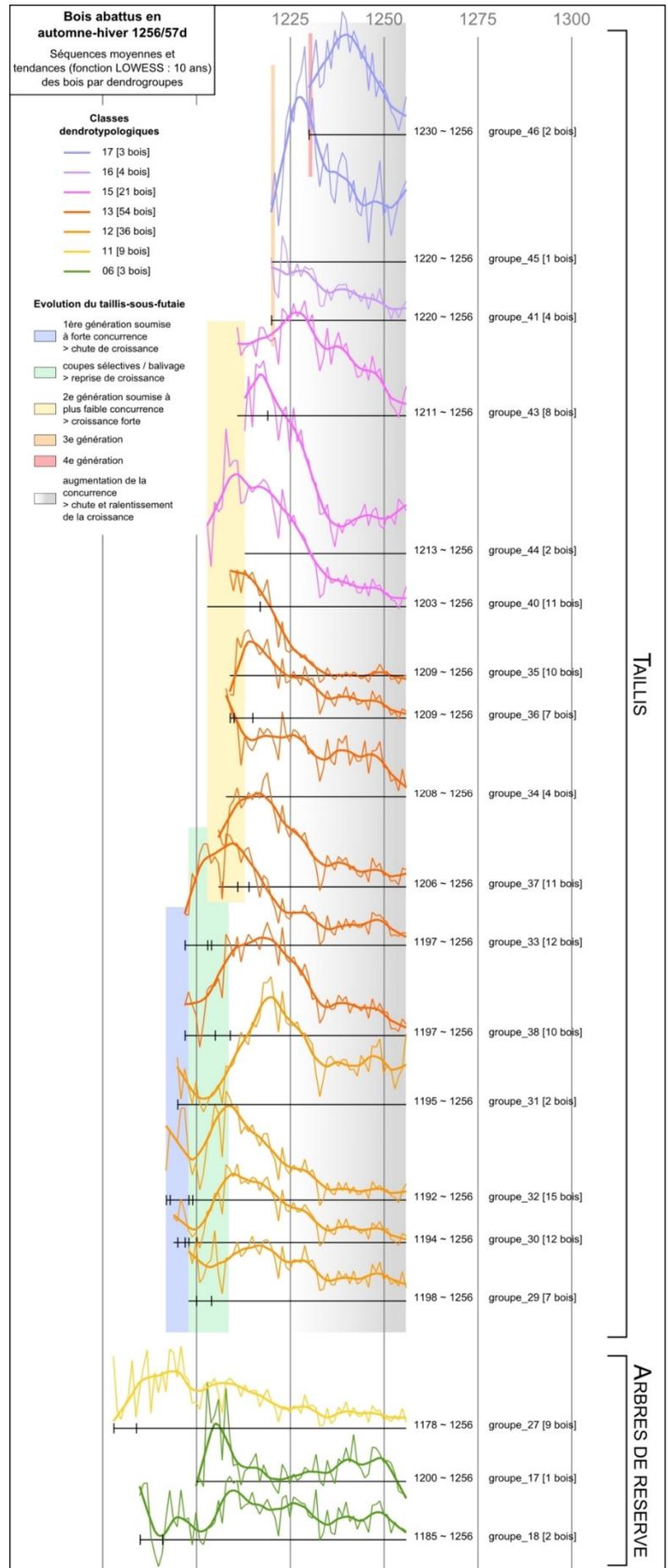


Fig. 92 : Assemblage des courbes de croissance cumulée des bois de la cathédrale de Bourges (Dendrotech).

Fig. 93 : Tendances de croissance des bois du chœur de la cathédrale de Bourges, aut./hiv 1256/1257 (Dendrotech).

Les arbres abattus en automne-hiver 1256/57 pour la charpente du chœur, en grande partie associés aux classes 12, 13 et 15, forment un ensemble particulièrement cohérent et statistiquement intéressant pour une analyse détaillée (fig. 93). Les groupes constitués des individus les plus anciens (n° 29-33 et 38) présentent quasiment tous une tendance décroissante en début de vie qui pourrait indiquer qu'il s'agit soit de jeunes semis en concurrence avec les autres individus du sous-étage forestier, soit plus vraisemblablement de rejets de souche issus d'un taillis déjà dense et en compétition avec d'autres rejets. La tendance de croissance s'inverse aux alentours de 1200, sûrement à l'occasion d'une coupe. Les arbres atteignent leur croissance maximale 15 à 25 ans après le début de leur pousse, bénéficiant de l'ouverture ainsi opérée. A ce même moment, une deuxième génération de tiges apparaît (groupes n° 34-37, 40 et 43-44), qui, dans tous les cas sont vraisemblablement des rejets sur souche. La croissance de ces derniers est toujours maximale dans les 15 premières années puis ralentit drastiquement sous l'effet d'une concurrence toujours plus forte. Ce ralentissement est présent sur la quasi-totalité des bois dont les tendances se stabilisent à partir du début des années 1230 où naissent alors de nouveaux rejets (groupe n° 46). L'évolution spécifique de ce peuplement pourrait donc aussi bien évoquer la conversion d'un peuplement en futaie sur souche que l'entretien d'une futaie sur souche déjà ancienne. L'hypothèse de futaies régénérées selon le régime du taillis, par rejet de souche (reproduction végétative), et non par semis naturel (reproduction sexuée), apparaît comme la plus probable. Les fortes croissances radiales mesurées sur les bois du chœur et aussi sur ceux de la nef, abattus surtout après 1243, correspondraient à des peuplements issus



de taillis, de la reproduction végétative de souches.

Les observations dendrologiques faites sur les bois de Bourges se font aussi sur ceux de la plupart des charpentes des XIII^e-XIII^e siècles en région Centre et du Nord-Ouest de la France. Les bois ont des tendances de croissance similaires avec une forte vigueur dans les 20-30 premières années avec des cernes de croissance larges puis un ralentissement prononcé avec des cernes étroits, caractéristiques du régime du taillis par rejet de souche. En effet, le rejet bénéficie des apports nourriciers de la souche porteuse qui lui assurent une croissance juvénile supérieure à celle d'un semis. Le taillis atteint donc sa maturité plus rapidement qu'un peuplement issu d'un semis naturel. De ce fait, les tiges s'élancent plus vite en hauteur et ont tendance à dépasser les semis de même âge et à les étouffer. Les croissances des rejets de souches se caractérisent en effet par de fortes croissances radiales durant 20 à 30 ans puis par un ralentissement rapide qui est lié à la formation d'un système racinaire indépendant de la souche mère et à la mise en concurrence des tiges entre elles. Ils sont donc non seulement capables de fournir un fût adulte et viable mais ils bénéficient d'un rythme de croissance supérieur à celui d'un brin issu de germination. Leur développement spectaculaire en hauteur et non en largeur produit donc en quelques décennies seulement un fût fin et très long, soit le matériau de construction idéal et parfaitement adapté aux besoins des charpentiers et au travail d'équarrissage. Par ailleurs, la très forte croissance juvénile des rejets de souche exclut la possibilité d'un semis par régénération naturelle (glands issus des bois de réserve) pour combler les vides dans le peuplement. En effet, dans les taillis de chêne, les semis qui peuvent s'installer disparaissent tous dans les premières années, étouffés par les rejets qui les dépassent rapidement. Le régime du taillis de chêne est donc exclusif et ne tolère aucun semis.

D'après l'étude des textes, l'hypothèse que ces rejets de souche furent régénérés par recépage (action de couper un arbre près de terre afin d'obtenir de nouvelles pousses depuis la souche) semble la plus plausible. Pour permettre une bonne régénération de ces taillis, le recépage doit se pratiquer en automne-hiver et s'effectuer au plus près du sol car il permet de dynamiser la repousse, de favoriser l'affranchissement des rejets et d'éviter l'épuisement de la souche (Ducrey 1988). La scie était proscrite pour l'abattage, encore au XVII^e siècle où elle est accusée d'anémier la souche (Corvol 1991). Tous les textes mentionnant les coupes de bois au Moyen Âge sont unanimes et recommandent, comme la coutume de Touraine de 1584, de couper le bois *par le pied a raz de terre (...) afin que le pied des souches puisse en rejeter* (Jacquet vol. 3 p. 402). Cette pratique du recépage s'est maintenue à l'époque moderne avec l'exploitation « à tire et aire » imposée par l'Ordonnance de Colbert en 1669 qui reposait exclusivement sur la capacité des feuillus à rejeter et dont seule la coupe au plus près du sol à la cognée garantissait le renouveau du peuplement sans que l'homme n'ait eu à agir entre chaque coupe. [Dans le Bassin parisien](#), les vieilles futaies domaniales (Réno-Valdieu, Perche, Bercé, Perseigne, Tronçais...) issues des réformes de Colbert ont ainsi été régénérées par rejet de souche (Bontemps : 242-253) et il est fortement probable que les taillis de chênes exploités aux XII^e-XIV^e siècles pour la construction l'eussent été également « *pres et raz de terre* ».

4.4.2 Des jeunes futaies sur souche hyperdenses

Outre les bois de la cathédrale de Bourges, les analyses dendrométriques effectuées sur les charpentes du XIII^e siècle dans le Bassin parisien révèlent que plus de 90 % de leurs bois sont aussi issus de chênes jeunes avec une forte croissance juvénile, au fût de faible diamètre, fin, au profil très élancé et régulier sur une grande hauteur, avec peu de branches et un houppier comprimé à la cime. [D'après les tables officielles établies pour le chêne](#), [Ce profil standardisé](#) et leur faible défilement compris généralement autour de 2 cm/m témoignent d'une compression maximale du milieu et d'une très forte densité du peuplement forestier (Chaudé 1946, Bricchet et Dutorme 1931, Poncet 1992). Ces arbres proviendraient donc de hautes futaies sur souche gérées en mode taillis, où la densité du peuplement serait maximale et où la forte mise en concurrence entre les sujets les a contraints à croître rapidement en hauteur vers la lumière et non en épaisseur. Les jeunes tiges, bénéficiant d'une vigoureuse capacité de croissance juvénile grâce aux souches porteuses, et soumises à la compression du milieu, peuvent ainsi présenter à 50-60 ans des bois très élancés, fins et réguliers, dépassant les 14 m de hauteur exploitable, tels qu'on les observe dans les charpentes des XIII^e-XIII^e siècles sur l'ensemble du Bassin parisien.

La bonne qualité et fertilité des sols est aussi à prendre en considération pour expliquer ces croissances hors norme. Par exemple, la forêt de Saint Palais, exploitée au XIII^e siècle pour l’approvisionnement du chantier de la cathédrale de Bourges, est classée aujourd’hui parmi les meilleures chênaies de France avec des sols qui assurent la production de bois de qualité pour la merranderie.

A titre de comparaison, le seul peuplement recensé aujourd’hui selon ce mode de gestion sylvicole est situé au bois de Gabor, anciennement forêt royale, à Lavarat dans le Tarn (Information M. Bartoli). Il y subsiste un peuplement de chênes rouvres géré en taillis depuis 70 ans environ sans éclairci (fig. 94). Tous les sujets, très élancés, sont issus de souches depuis plusieurs générations. Seuls les rejets morts naturellement ont été enlevés au fur et à mesure. L’âge et le profil anatomique des fûts correspondent en effet aux caractéristiques des bois consommés dans les charpentes des XII^e-XIII^e siècles Cette forêt semble avoir été exploitée selon le mode taillis et taillis-sous-futaie depuis au moins le XVI^e siècle (Bartoli et Millet 2010).

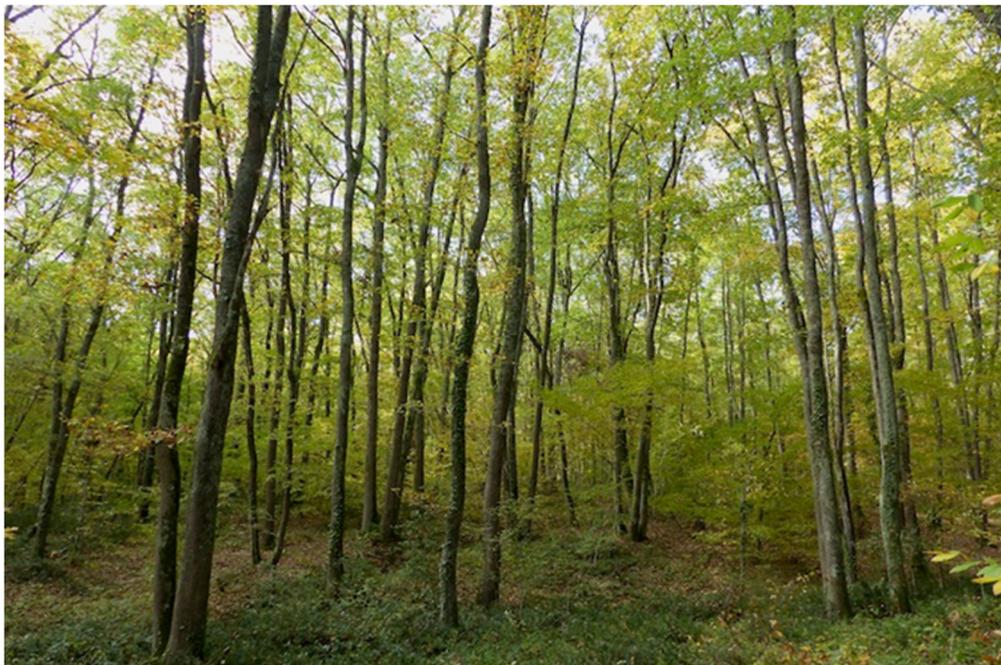


Fig. 94 : Taillis de chêne rouvre d’environ 70 ans dans la forêt de Gabor (Tarn) (Cl. M. Bartoli)

4.4.3 Des coupes à blanc dans des peuplements homogènes

L’approvisionnement des chantiers s’opère le plus souvent durant l’automne-hiver en un minimum de coupes afin de limiter le coût de la main d’œuvre à mobiliser pour l’abattage, le débardage et le transport des grumes. Si nous avons vu plus haut que pour les grands chantiers il pouvait y avoir des coupes multiples étalées sur le temps long, certaines grandes charpentes médiévales furent aussi constituées de bois issus d’une unique campagne d’abattage comme celle de la grange Saint-Lazare de Beauvais dont les 760 chênes furent abattus en une seule coupe l’automne/hiver 1219-1220. Quelque soit la quantité de coupes nécessaires, la standardisation des bois observés dans ces charpentes gothiques (âge, profil de croissance, diamètre, forme, défilement...) suppose dans la plupart des cas un prélèvement non pas par furetage (bois sélectionnés et coupés isolément au sein du peuplement) mais par coupe à blanc dans un peuplement homogène. Si les questions d’ordre logistique justifient la coupe de surface pour l’abattage de hauts fûts et le débardage, la similarité des croissances, bien observée dans le cas des coupes multiples à Bourges, s’explique surtout par un prélèvement dans des peuplements équiens (de même âge) et homogènes liés au régime du taillis. Ces parcelles exploitées témoigneraient donc d’une gestion spécifique à laquelle répondrait la coupe de surface pour la régénération d’un peuplement régulier aux arbres de même âge.

4.4.4 Des peuplements en autorégulation et protégés par des enclos ?

La plupart des analyses des profils de croissance des bois consommés dans les charpentes du XIII^e siècle montre l'absence d'éclaircie. Cela s'expliquerait par une autorégulation du peuplement sans intervention humaine, sans coupe d'éclaircie, dépressage, détournage ou balivage (abattage sélectif de sujets dans un peuplement très dense afin de favoriser le développement des arbres-objectifs ainsi conservés), ce qui justement tendrait à une hyperdensité du taillis. Le peuplement devait s'autoréguler de lui-même avec une mortalité naturelle des tiges dominées (auto-éclaircie). Les textes médiévaux ne mentionnent d'ailleurs jamais de coupe d'entretien des taillis ni d'éclaircie. Aucun personnel n'existait au sein des seigneuries pour effectuer ce travail. Les seuls prélèvements qui existaient étaient des *nettoiements* ou *expurgades* qui consistaient à prélever le bois mort et le mort-bois dans le cadre des droits d'usage lorsque ceux-ci n'étaient pas tout simplement interdits sur ces parcelles habituellement *mises en defens* après la coupe. Encore à l'époque moderne, les taillis et taillis-sous-futaies étaient exploités uniquement lors de l'abattage et de la vidange, en préservant au mieux la capacité de rejeter des souches, puisqu'aucune autre intervention humaine ne se faisait alors (Corvol 1991).

Il est fortement probable que ces peuplements hyperdenses, issus de taillis sur souche et destinés à la production de bois d'œuvre de qualité, étaient protégés de la faune sauvage et du sylvopastoralisme, largement pratiqué au Moyen Âge. Les textes médiévaux mentionnent en effet des *mises en defens* par une interdiction du pâturage, qui varie en général de 2 à 5 ans après la coupe (Devèze 1961), jusqu'à parfois 12 à 15 ans au XIV^e siècle en Normandie (Roquelet 1984), avec une suspension des droits d'usage et de la mise en place de talus, de fossés et des plantations de haies. Concernant la forêt royale de Gabor dans le Tarn, mentionnée ci-dessus, une ordonnance de 1517 rend obligatoire aux marchands de clore après la coupe de palissades ou de fossés afin de protéger le taillis (Bartoli 2020). Les enclos de 1 à 3 ha détectés au Lidar dans certaines forêts comme celle de Bercé dans la Sarthe (Le Jeune, Dardignac et David 2017 et Noël 2007), de formes polygonales fermées, fossoyées et talutés, pourraient correspondre à ces *mises en defens* de parcelles en régénération.

4.4.5 La surface forestière sollicitée

Les peuplements témoins de chênaies en secteur ligérien régulés uniquement par la mortalité naturelle et n'ayant connu aucune intervention humaine excepté le nettoyage des bois morts présentent une densité de 1700 tiges/ha à 60 ans (Pardé 1978 et Lemaire 2010) ce qui constitue un rapport *a minima* comparé à l'hyperdensité des futaies sur souche exploitées au XIII^e siècle. De plus, il faut supposer que dans le cas d'une coupe à blanc, même s'il s'agit de peuplements homogènes, le rendement de bois utiles au chantier d'après l'expérimentation faite à Guédelon est d'un arbre sur quatre abattus en prenant l'estimation la plus faible.

Ainsi, les 1170 chênes nécessaires à la construction de la grande charpente de la cathédrale de Bourges en 1256-1258 correspondent à une coupe à blanc d'à peine 3 hectares pour l'évaluation la plus large. On est donc là encore très loin des idées reçues sur les « grands défrichements » liés à la construction des cathédrales. L'étendue des forêts médiévales du Bassin parisien et ce mode de production de bois d'œuvre permettaient de pourvoir largement aux besoins des nombreux chantiers de construction durant tout le Moyen Âge. Ceci est confirmé par la rareté des réemplois dans les charpentes médiévales de ce territoire, par des structures très consommatrices en matériau et par la qualité des bois d'œuvre employés durant cette période. Le texte de Suger qui relate des difficultés à trouver 12 longues poutres pour la basilique de Saint Denis vers 1144, texte longtemps surinterprété pour évoquer une supposée pénurie de bois d'œuvre, est à relativiser car ces 12 bois, destinés vraisemblablement aux entrants, ne pouvaient avoir plus de 10 m de long et 50 cm de diamètre d'après les charpentes gothiques connues du XII^e siècle. Ils n'ont donc rien d'exceptionnels pour l'époque et ce texte ne sert qu'à promouvoir les mérites du célèbre abbé.

4.5 Une sylviculture au service de la construction

Pour résumer brièvement, les études des bois consommés dans les charpentes des XII^e-XIII^e siècles du Bassin parisien, comme celle de la cathédrale de Bourges, montrent que ceux-ci provenaient dans leur grande majorité de hautes futaies sur souche, aux peuplements hyperdenses issus du régime de taillis. Leur régénération par coupe à blanc et recépage aurait bénéficié d'une *mise en defens* de plusieurs années, matérialisée probablement par un enclos afin de protéger les rejets. Dès lors, et toujours d'après les profils de croissance, le taillis était laissé en autorégulation sans aucune intervention humaine pour maintenir la densité au maximum des capacités biologiques du chêne et garantir ainsi une forte compétition entre les sujets, une croissance très rapide en hauteur et un fort élancement des tiges.

Il est donc impropre de parler de « sylviculture » comme on l'entend aujourd'hui où les peuplements bénéficient de nombreux aménagements tout au long de leur croissance (cloisonnements cultureux, dépressage, élagage, façonnage, coupes d'éclaircies tous les 8-12 ans) afin d'optimiser la production de gros bois à grain fin. Pour le Moyen Âge, il s'agit plutôt d'une non-gestion par l'homme puisque ces peuplements ne bénéficient d'aucun traitement particulier, d'aucune éclaircie ni d'entretien des sujets, sinon d'une protection de la parcelle au moment de sa régénération et du maintien de l'hyperdensité du taillis jusqu'à la coupe à blanc, faite *pres et raz de terre*. Ces coupes de surface, nécessaires à la régénération, garantissent en outre une récolte rapide du matériau à moindre coût dans des forêts denses encore dépourvues de chemins. Ainsi, ce mode de gestion consiste à laisser faire la nature, à optimiser sa prodigalité et les facultés régénératives des souches en protégeant les rejets des hommes et des animaux par la *mise en defens*.

La croissance rapide des rejets de souche faisant suite à une coupe rase confère à ceux-ci des cernes larges sur au moins une vingtaine d'années (fig. 95). Ces bois sont donc plus riches en bois final (bois d'été), lequel est davantage fibreux, plus dense et résistant que ceux à croissance lente et à cerne étroit. Ces chênes à croissance rapide ont des propriétés mécaniques très avantageuses pour les charpentes puisqu'ils sont plus solides et résistants à la flexion. Dépourvus de nœud et de grande portée, ces bois répondent donc parfaitement aux exigences des grandes structures du gothique.

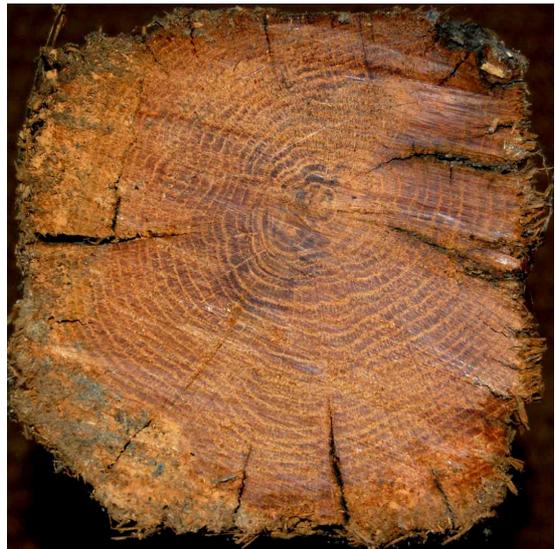


Fig. 95 : Tranche d'un chevron de 1256 de la cathédrale de Bourges. Cernes larges liés à une croissance rapide.

Les peuplements équiens issus de cette pratique sylvicole assurent ainsi une production rapide en grande quantité d'un matériau standardisé, idéal pour la construction, avec des bois fins, résistants à la flexion, de faible diamètre (20-25 cm) et de plus de 10 m de long exploitable au bout d'une cinquantaine d'années seulement. En l'espace d'une vie d'homme, une coupe de ce type peut ainsi assurer la production massive de bois de construction de première qualité pour un grand ouvrage.

Ces bois sont précisément adaptés aux techniques médiévales de taille à la hache caractérisées par un équarrissage *a minima* qui préserve le cœur de l'arbre au centre de la poutre (bois de brin), l'aubier aux arêtes et qui suit le fil du bois et ses courbures, ce qui permet de limiter les pertes de matière, le temps de façonnage et ainsi le coût de production d'une poutre. Le bois ainsi façonné est bien plus résistant et flexible qu'un bois débité issu du sciage mécanique car il conserve l'intégrité des capacités de résistance du chêne, surtout en flexibilité pour de grandes longueurs, et ce malgré leur finesse. Moins le bois perd de sa matière, plus il gagne en résistance. Ce mode de gestion sylvicole assure en conséquence la production d'un matériau de construction idéal, en qualité comme en quantité, pour les techniques de charpenterie en vigueur durant cette période.

Les charpentes gothiques qui se diffusent largement aux XII^e-XIII^e siècles dans le Bassin Parisien sont majoritairement à chevrons-formant-fermes (charpentes constituées d'une succession de fermes

rapprochées). Ces structures sont très consommatrices de ces bois standardisés longs et fins pour les nombreuses fermes qui les composent et surtout pour les chevrons des toitures à fortes pentes. Les grandes charpentes des cathédrales gothiques avec leurs versants de 12 à 16 m de long dressées face aux vents ne pouvaient être réalisées qu'avec des bois d'œuvre de cette qualité. L'aire de diffusion de ces charpentes gothiques semble signifier que cette pratique sylvicole de taillis de chênaies était pratiquée dans la plupart des massifs forestiers du Bassin parisien du XII^e au XIV^e siècle.

4.6 Les signes d'une dégradation des futaies et le recul du bois

Les inventaires des charpentes réalisés en Normandie, dans le Val d'Oise et en région Centre Val-de-Loire, couplés à des observations dendrométriques plus ponctuelles sur les bois d'œuvre permettent de dresser des constats sur l'évolution des types de bois consommés et des techniques de charpenterie sur le temps long, tant dans l'architecture civile que religieuse.

Au sortir de la guerre de Cent ans, avec les nombreuses reconstructions des XV^e-XVI^e siècles, on constate un renouvellement des formes des charpentes et un changement du type de bois consommé qui se confirmera dans les siècles suivants. Les ouvrages utilisent de plus en plus pour les pièces maîtresses (entraîts, poinçons...) des bois surdimensionnés alors que les pièces secondaires sont majoritairement issues du débitage sur quartier à la scie, parfois dès la seconde moitié du XIV^e siècle. Les charpentes de comble délaissent selon les régions les structures à chevrons-formant-fermes au profit des fermes et pannes (charpente constituée de fermes espacées de plusieurs mètres et portant des pannes pour fixer le chevronnage), plus économes en matériaux et qui facilitent surtout la consommation de bois de petit calibre débités pour les chevrons qui ne sont plus sollicités par des assemblages. La consommation des bois de brin équarris, longs et fins tend à se raréfier dans le paysage architectural au profit de bois de plus fort diamètre. Les charpentes adoptent les fermes à portique qui conviennent aux bois courts et épais, le plus souvent débités en deux pour constituer la paire d'arbalétriers. Les fermes à poinçon haut apparaissent au XVI^e siècle et remplacent celles à poinçon de fond, certes pour rendre le comble habitable mais aussi pour économiser les bois longs. Dans la construction en pan de bois des XV^e-XVI^e siècle, le constat est le même avec une plus large utilisation de poutres de forte section pour l'ossature et de bois sciés pour le solivage et les éléments secondaires de plus faible section avec des compositions de façade employant davantage de pièces courtes et sciées. Certaines techniques comme le renfort métallique des assemblages ou le moilage (prise en tenaille d'un ensemble de bois par deux pièces parallèles reliées par des clés) se diffusent dans ce contexte pour s'adapter à des bois plus vulnérables aux déformations. Le sciage se diffuse donc largement comme une adaptation technique au changement de la qualité du matériau ligneux, caractérisé par des bois devenus plus gros, plus courts et noueux.

Cette évolution résulte vraisemblablement d'une modification de la gestion seigneuriale des ressources forestières et des pratiques sylvicoles que l'on voit apparaître dès le XV^e siècle. Les futaies sont de plus en plus gérées par faire valoir indirect, baillées à cens ou à rente à des marchands de bois qui acquièrent progressivement le monopole des coupes et des ventes avec une logique commerciale de profit à court terme et de contrôle spéculatif des stocks. On voit ainsi se généraliser le prélèvement par furetage qui profite à l'adjudicataire en sélectionnant les meilleurs bois, laissant une forêt dégradée et éclaircie. Les ordonnances condamnant le furetage se multiplient au XVI^e siècle devant le développement de cette pratique. Les futaies régressent au profit du taillis et du taillis-sous-futaie qui tente de concilier les besoins des chantiers de construction, des usagers et des industries de plus en plus consommatrices en charbon de bois et en bois de chauffe. Les bois issus des baliveaux des taillis-sous-futaies et de ces forêts éclaircies sont plus courts, de plus fort diamètre, noueux et leur débitage à la scie devient dès lors nécessaire afin de les adapter en section aux besoins de la construction.

A l'époque moderne, la crise forestière s'amplifie avec l'expansion du taillis-sous-futaie et la généralisation du furetage laissant des forêts ouvertes et dégradées. Les ordonnances de Colbert de 1661 et 1669 chercheront à y remédier sans réel succès. La médiocre qualité des bois utilisés dans les charpentes des XVII^e-XVIII^e siècles en témoigne avec l'emploi généralisé de pièces courtes, épaisses, courbes, noueuses, flacheuses et débitées à la scie. Le réemploi de vieux bois devient systématique afin de répondre aux difficultés d'approvisionnement alors qu'il était exceptionnel au Moyen Âge. Dans les charpentes d'époque moderne, la large diffusion des fermes à portiques, dont l'ossature n'est constituée que d'arbalétriers courts, et des structures à la Philibert Delorme, n'utilisant que des planchettes

assemblées entre elles, en lieu et place de véritables poutres, répond d'une adaptation nécessaire des techniques et de l'architecture à la pénurie de bois de qualité longs et fins à l'échelle du pays entier.

En parallèle à cette dégradation progressive des forêts, on constate un changement profond du regard porté sur le bois dans le paysage architectural. Avec la Renaissance et le retour de la mode antique pour la pierre, les charpentes médiévales voûtées des logis sont dissimulées par des plafonds, et celles qui restent visibles dans les églises sont systématiquement lambrissées. Les façades en pans de bois perdent peu à peu leur décor sculpté et se recouvrent de peintures à l'époque moderne avant d'être complètement masqués par du plâtre ou des enduits pour imiter les façades maçonnées, alors que les pans de bois étaient jusqu'au XVIe siècle nus et apparents. De même, les voûtes lambrissées des églises finissent par être entièrement plâtrées. Ainsi, aux XVIIe-XVIIIe siècles, le bois, symbole de l'ordre naturel et sauvage, tend à disparaître des architectures savantes alors qu'il demeure encore apparent dans les constructions rurales et vernaculaires. Les forêts sont domestiquées et rationalisées par les réformes de Colbert tout comme les arbres qui sont taillés et ordonnés dans les jardins à la Française. Avec cet éloignement du bois, on constate une perte des compétences techniques en charpenterie avec de nombreux ouvrages montrant des erreurs de conception, des défauts structurels et l'emploi généralisé de renforts métalliques.

Il faudra attendre l'abandon du charbon de bois dans l'industrie, la création de l'Ecole forestière de Nancy en 1824 et d'un nouveau code forestier pour voir les hautes futaies reconquérir lentement le territoire français. Comme en écho, la redécouverte du Moyen Âge à travers le romantisme et les premières restaurations de monuments médiévaux prestigieux vont permettre au bois de revenir peu à peu dans le paysage architectural sous le Second Empire et surtout la Troisième République.

Ces travaux ont fait l'objet de plusieurs publications :

Epaud 2019a

Epaud F. - Les forêts et le bois d'œuvre au Moyen Âge dans le Bassin parisien, in : Bépoix S. et Richard H. (dir.), *La forêt au Moyen Âge*, Les Belles Lettres, Paris : 142-153. [\(hal-02401264\)](#)

Epaud 2017a

Epaud F. - *La charpente de la cathédrale de Bourges. De la forêt au chantier*, PUFR, Coll. Perspectives historiques, série archéologie, Tours, 2017. [\(hal-01802160\)](#)

Epaud, Bernard et Le Digol 2008

Epaud F., Bernard V. et Le Digol Y. - Bois de haie, bois de bocage, bois d'architecture, in : Antoine A. et Marguerite R. (dir.), *Bocages et Sociétés*, Actes du colloque (Rennes 29 sept-01 octobre 2004), PUR, Rennes, 2008 : 213-230. [\(halshs-01249277\)](#)

Epaud 2007a

Epaud F. - *De la charpente romane à la charpente gothique en Normandie. Evolution des techniques et des structures de charpenterie aux XIIe-XIIIe siècles*. Publications du CRAHM, Caen, 2007, 613 p. [\(halshs-00368122\)](#)

5 Coordination de la recherche, enseignements et encadrements universitaires

La transmission du savoir fait partie intégrante du travail du chercheur. Elle lui en donne même tout son sens et sa légitimité. Par ailleurs, nous savons tous ici que c'est le plus souvent en partageant nos résultats lors de communications orales ou de la rédaction d'articles que bien souvent, les meilleures idées jaillissent. Notre recherche s'alimente aussi de sa propre diffusion.

Depuis la publication de mon premier ouvrage (Epaud 2007a), je me suis évertué à faire en sorte que la diffusion de mes travaux soit la plus large possible et que celle-ci ne soit pas limitée à la communauté scientifique. Cette volonté a toujours été prégnante dans mon parcours sachant que le public le plus intéressé par mes publications est constitué essentiellement de charpentiers, de « gens du métier », voire de passionnés du patrimoine. Mon travail d'écriture a donc toujours cherché à être le plus accessible possible, d'autant plus qu'il concerne une discipline ardue avec un vocabulaire technique difficile. Ceci dit, j'ai toujours défendu l'idée que les choses les plus complexes pouvaient être expliquées de façon simple et limpide, d'où le plus souvent, l'utilisation dans mes travaux de nombreuses photographies, de dessins de coupes, de plans et de représentations en axonométrie, avec un glossaire.

La liste complète de mes travaux et publications, jointe à mon dossier en pièce séparée, détaille ma production scientifique depuis une vingtaine d'année avec 4 ouvrages dont un en co-direction, une soixantaine d'articles, de chapitres d'ouvrage, et une quarantaine de rapports inédits, l'ensemble étant accessible en ligne sur HAL.

5.1 La coordination de la recherche au sein du LAT

Depuis ma titularisation en 2007 au sein du Laboratoire Archéologie et Territoires (UMR7324 CITERES, Tours), je coordonne l'Axe 2 « Architecture et techniques de construction » au sein duquel j'assume aussi la responsabilité du Thème 1 « Archéologie de la construction en bois ». Cet axe 2 porte sur l'étude des techniques et des matériaux de construction pour les périodes antique et médiévale. Il s'attache, d'une part, à l'analyse des procédés de mise en œuvre des matériaux comme le bois, la pierre, la terre cuite architecturale et, d'autre part, à l'analyse des monuments de l'architecture civile, religieuse et militaire. Ces travaux portent aussi bien sur des constructions en bois (Axe 2), en pierre que celles utilisant une mixité de matériaux dont la brique. L'objectif de ces recherches est de comprendre l'évolution des techniques d'utilisation et de transformation des matériaux de construction, et les transformations des structures architecturales sur le temps long. Les approches utilisées appartiennent aux méthodes d'investigation propres à l'archéologie du bâti, la fouille, l'ethnographie et l'archéologie expérimentale. Cet axe de recherche regroupent 22 archéologues de la région Centre-Val de Loire (SRA, INRAP, Service archéologique départementale de l'Indre-et-Loire, EVEHA...) travaillant sur ces thématiques. J'anime chaque année l'organisation et l'animation d'un séminaire au sein de cet axe afin de réunir les membres associés au laboratoire et faire connaître nos travaux de recherche respectifs.

Au cours des deux derniers contrats quadriennaux, cet axe a regroupé quatre programmes de recherche (Appel à Projets de Recherche d'Intérêt Régional). J'ai assumé la direction de l'un d'entre eux (CharpCentre) et la responsabilité au sein du laboratoire pour un autre (SICAVOR) :

- SICAVOR (dir. Salamagne A., CESR), 2014-2017 : Inventaire et relevés des caves d'Orléans,
- CharpCentre (dir. Epaud F.), 2012-2015 : étude des charpentes en région Centre,
- Fouille programmée du château de Montbazon (dir. M.-D. Delayen INRAP), 2012-2014 : fouille programmée et étude d'archéologie du bâti du château de Montbazon (37),
- RIHVAGE (dir. Benoist P., CESR), 2012-2014 : recherches interdisciplinaires sur l'histoire des châteaux et des cours du Val-de-Loire à l'âge médiéval et renaissance,

Le programme CharpCentre que j'ai coordonné de 2012 à 2015 est un contrat régional (appel à projets de recherche d'intérêt régional de la Région Centre-Val de Loire) qui a bénéficié du financement de la Région de 111 000 euros en complément de celui de l'Etat à hauteur de 103 000 euros, soit un coût total du projet de 214 000 euros. Ce projet a porté sur le recensement des charpentes anciennes en région Centre et l'étude des charpentes de la cathédrale de Bourges. Je renvoie le lecteur à la partie sur

l'inventaire des charpentes en région Centre et celle sur la cathédrale de Bourges pour le détail de ce programme.

Outre ces contrats régionaux, je me suis impliqué dans plusieurs Projets Collectifs de Recherches :

- « Habitat rural du Moyen Âge en Région Centre », A. Nissen-Jaubert et Jesset S. (dir.), 2007-2010,
- « Naissance et évolution de l'ensemble castral de Vesvre à Neuvy-Deux-Clochers, Cher », V. Mataouchek (dir.), 2012-2020,
- « Étude microtopographique des fortifications de terre de Haute-Normandie », A.-M. Flambard-Héricher (dir.), 2004-2011,
- « L'abbatiale de Saint-Germain-des-Prés », P. Plagnieux (dir.), 2016-2021,
- « Vix et son environnement », B. Chaume (dir.), 2007-2021.

Et je finirais en évoquant ma participation au projet européen « les toits en Europe II », Hoffsummer P. (dir.), du Centre Européen d'Archéométrie (Liège), entre 2006 et 2009, pour lequel j'ai communiqué dans deux workshops internationaux dont un en Tchéquie, et publié deux articles dans l'ouvrage collectif de ce programme (Epaud 2009a et 2009b).

5.2 Enseignements et formations universitaires

Comme évoqué ci-dessus, dispenser des cours et former des étudiants sont inhérents au travail du chercheur. Depuis ma titularisation, je dispense des cours à l'université François-Rabelais de Tours à des étudiants inscrits en archéologie en L3, Master 1 et 2. Chaque année, depuis 2012 je dispense 24 h TD et 8h CM répartis entre les L3, M1 et M2, alors qu'entre 2007 et 2011, ce n'était que 9h (CM et TD) dispensés aux L3. Ces cours portent sur la forêt au Moyen Âge, le bois d'œuvre, les étapes du chantier de charpenterie, l'évolution architecturale des charpentes médiévales.

En 2012, j'ai mis en place un stage de formation universitaire de 16h sur les techniques de relevé du bâti, les nouveaux outils et les logiciels d'archéométrie (tachéomètre, scanner, photogrammétrie) pour les étudiants inscrits en archéologie.

J'ai organisé aussi, entre 2012 et 2019, avec Alain Salamagne (PU en histoire de l'art, CESR), chaque année, une journée-séminaire pour les étudiants en M1-M2 en archéologie et en histoire de l'art. L'objectif était de présenter l'actualité de la recherche en archéologie du bâti et en histoire de l'art aux étudiants de ces deux disciplines complémentaires. Ainsi, grâce à cette formation, plusieurs étudiants formés en histoire de l'art ont continué leur cursus en archéologie du bâti, jusqu'au doctorat pour certains. Je considère que ces deux disciplines ne devraient en faire qu'une seule et que leurs formations soient mutualisées au-delà des clivages des laboratoires et des départements universitaires.

Outre les séminaires que j'organise chaque année au sein de l'axe 2 du LAT, et ceux que je coordonne tous les ans au sein de l'université pour les étudiants en Master 1 et 2, je suis aussi appelé à donner des conférences dans des séminaires d'autres universités, ce qui représente une cinquantaine de séminaires dispensés depuis mon doctorat (voir liste dans le CV). De plus, depuis 2002, mes travaux de recherche ont été présentés à travers une cinquantaine de conférences données lors de colloques, tables-rondes, journées d'étude, workshops et aussi lors de présentations publiques (voir liste dans le CV).

Concernant l'encadrement et la formation des étudiants, depuis 2007, j'ai dirigé et co-dirigé plus d'une trentaine de Master 1 et 4 à l'université François Rabelais de Tours dont trois à l'Université de Rouen, sur des sujets touchant à l'architecture médiévale et aux charpentes (voir liste dans le CV). Un impératif pour moi est d'initier l'étudiant au terrain le plus tôt possible et de pouvoir le former aux techniques de relevés par le biais d'un édifice ou d'une charpente accessible.

J'ai aussi assuré l'encadrement de six doctorats dont trois sont toujours en cours, certains d'entre eux ayant été des étudiants que j'avais eu en Master. La plupart ont obtenu une allocation de recherche et bénéficient du soutien financier du LAT pour leurs frais d'analyse et de déplacements. J'ai de même été dans le comité de suivi de deux thèses et dans le jury de thèse de trois doctorats.

6 Perspectives de recherche

Mon parcours de recherche a toujours emprunté plusieurs chemins disciplinaires : l'archéologie du bâti, l'étude des plans de fouilles, la fouille elle-même, l'ethnographie, la reconstruction expérimentale, la pratique manuelle de la charpenterie et encore l'étude des textes. La diversité de ces approches m'a semblé nécessaire pour étudier un art de la construction dont on ne peut comprendre les traces et les vestiges que par l'étude des techniques et des gestes des charpentiers qui les ont produits sur le temps long, et aussi par la diversité des savoir-faire qui s'expriment dans d'autres pays. Ce regard m'a conduit au fil des années à prendre davantage de recul, passant des charpentes des XIIIe-XIIIe siècles à celle des premières constructions du Néolithique. Ce voyage dans le temps a été l'opportunité de découvrir de nouvelles pistes de réflexion sur les architectures anciennes, tant sur la qualité surprenante de leurs structures que sur la perception que les archéologues en ont aujourd'hui. Ces questionnements portent notamment sur le fait que les premières constructions en bois furent sans nul doute les plus monumentales que l'homme ait jamais construites sur le territoire hexagonal. Au Néolithique moyen et au Néolithique final (4800-2400 av. n. è.), on voit des édifices aux dimensions gigantesques de 1300 à 2400 m² comme celui de « Vaux » à Moulins-sur-Céphons dans l'Indre, de 130 x 18,5 m, qui soulèvent bien des questions sur le haut niveau de technicité atteint par ces sociétés dès le Ve millénaire av. n. è.. Ces méga-constructions investissent un champ de recherche novateur pour la Préhistoire récente en Europe de l'Ouest, notamment sur les questions inhérentes à aux structures et aux techniques de charpenterie pour expliquer des portées sans support intermédiaire qui atteignent les 13 m, voire plus. Les négatifs de ces constructions demeurent encore incompris et méritent des travaux de recherches plus approfondis. D'autres questions prolongent cette thématique comme celles sur la pérennité de ces savoir-faire durant la Protohistoire, notamment sur les sites princiers du Hallstatt final caractérisées parfois par de grandes architectures comme le palais de Vix en Côte d'Or, de 750 m². Ce domaine de recherche est d'autant plus intéressant que la perception misérabiliste qui règne sur ces architectures est toujours prégnante dans la profession comme dans la société. Les propositions de restitution souffrent depuis le XIXe siècle de préjugés primitivistes qui résument ces architectures encore à des charpentes à poteaux faitiers dont on a démontré toute l'in vraisemblance architectonique, surtout pour de grands bâtiments. Il serait donc nécessaire de poursuivre ces travaux de recherche sur la base de modèles structurels ethnographiques fiables en tenant compte des types dendromorphologiques de chênes disponibles, les capacités de montage communautaire, le fonctionnement mécanique des charpentes, les techniques d'assemblage et l'outillage propre à cette période.

Concernant l'ethnographie, le constat a été fait que certaines techniques se sont maintenues à travers les siècles, parfois en « se réfugiant » dans l'architecture vernaculaire de régions isolées, comme le poteau planté, le cruck ou la charpenterie romane. Ainsi, certaines constructions protohistoriques ont pu être interprétées grâce à l'analyse ethnographique de loges d'Anjou-Touraine du début du XXe siècle. De même, il a pu être possible de comprendre le principe du chevron-formant-ferme du XXe siècle à travers l'observation du levage manuel d'une structure de ce type sur une maison paysanne en Transylvanie orientale. Ces interactions entre l'ethnographie et la charpenterie ancienne furent nombreuses au cours de mes recherches, et son apport scientifique est primordiale pour la compréhension des architectures anciennes. Il m'importe donc de développer cet axe de recherche dans les années à venir car elle contribue à apporter des éléments de réponse aux questions sur les structures, les techniques et la restitution des architectures qu'elles soient protohistoriques ou médiévales. Par exemple, les centaines de gravures rupestres du Val Camonica, dans les Alpes italiennes, du milieu du VIIe au IVe siècle av. n. è. qui représentent des charpentes d'habitations (fig. 95) et dont l'intérêt archéologique a été encore

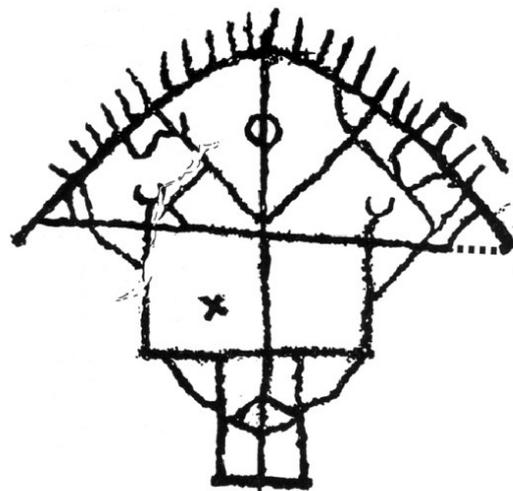


Fig. 95 : Gravure protohistorique de la roche 60 de la grotte de Coren del Valento, Val Camonica, Italie (Péfaux 2021, p. 203).

récemment souligné (Péfau 2021), ne pourront être comprises qu'en faisant des comparaisons ethnographiques avec des architectures montagnardes comparables. Il s'agit des représentations les plus anciennes et les plus précises de charpentes protohistoriques et l'analyse architecturale en termes de techniques de charpenterie reste à faire. On y devine des fermes triangulées avec poinçon de fond et contrefiches, des encorbellements sur aisselier, des crochets d'arrêt de neige sur les toitures, des contreventements obliques dans les pans de bois et une multitude de détails d'une richesse étonnante rarement exploitée. Ces témoignages sont d'autant plus précieux que la ferme, le pan de bois, le contreventement oblique et les étages sont encore fortement contestés pour cette période. Ces gravures devront dans les années à venir bénéficier d'un projet de recherche à part entière, en collaboration vraisemblablement avec Pierre Péfau (TRACES UMR 5608).

En ethnoarchéologie, une recherche sur les constructions à poteaux plantés mérite aussi d'être développée avec un recensement des bâtiments construits selon cette technique comme celui que j'ai pu mener sur les loges en Anjou-Touraine ou celles du centre de la Bretagne. Il subsiste en Europe occidentale encore des constructions vernaculaires de ce type notamment en Allemagne, en Angleterre et dans certains pays de l'Est (Roumanie, Hongrie, pays des Balkans). Il s'agit le plus souvent de bâtiments agricoles des XVIIIe-XXe siècles et aussi d'aménagements secondaires tels des appentis, des fenils ou des porches d'entrée de ferme. Leur recension suppose des campagnes de prospection sur des territoires ciblés. L'étude des bâtiments à poteaux plantés permettrait d'avoir des modèles fiables de comparaison pour mieux appréhender les architectures protohistoriques comme celles du haut Moyen Âge. Les récents travaux sur ce sujet révèlent en effet le besoin de comparatifs ethnographiques pour étayer certaines propositions de restitution comme celle des poteaux axiaux de soutien de plafond en lieu et place des poteaux faitiers.

Il serait tout aussi utile de cartographier les principaux types de charpentes en Europe tempérée avec les aires de répartition géographique des chevrons-formant-fermes, des structures à portiques ou du blockbau (poutres horizontales empilées), avec leurs variantes. La région des Maramures en Roumanie serait le terrain propice pour investiguer les chevrons-formant-fermes indépendants à entrain à la base de type roman (fig. 96), technique disparue en France au XIIe siècle, les poteaux plantés encore nombreux dans l'architecture rurale, et aussi la sculpture. Les poteaux sculptés des façades des maisons paysannes présentent en effet d'étonnantes similitudes avec celui retrouvé dans la fontaine Saint-Pierre de Bibracte, daté du Ier siècle av. n. è., et il est probable que le vocabulaire ornemental ait perduré également à travers les siècles dans certaines régions où l'artisanat du bois est resté très prégnant jusqu'au XXe siècle. Certains habitats de cette région sont aussi des sujets d'étude avec des maisons mixtes hommes/animaux, une absence de cheminée pour une évacuation des fumées dans le comble qui sert au stockage des denrées et de fumoir, des couvertures en essentes, etc...(fig. 97).



Fig. 96 : Charpente à fermes rapprochées à entrain de type roman. Grange des Maramures (Roumanie).



Fig. 97 : Maison paysanne, Maramures (Roumanie).

Si l'incendie de la cathédrale Notre-Dame de Paris devait nous apprendre quelque chose, ce serait l'urgence d'étudier et de relever les plus anciennes charpentes des monuments les plus emblématiques de notre patrimoine culturel. Celle de Notre-Dame n'avait en effet pas encore été étudiée et seuls des relevés d'architectes avaient été faits en 2015, ce est qui en soit déjà rarissime. De très nombreuses charpentes des XIIe-XIIIe siècles de monuments français protégés au titre des Monuments Historiques et parfois classés au patrimoine mondial par l'UNESCO (cathédrales de Beauvais, d'Amiens, l'abbaye de Fontenay, l'abbatiale de Saint-Savin sur Gartempe...) ne sont toujours pas relevées archéologiquement ni étudiées. Comme nous l'avons tous compris, ces grandes charpentes sont fragiles et susceptibles de disparaître subitement comme celles de la cathédrale de Nantes en 1972 ou de Chartres en 1836, sans que les mesures de protection anti-incendie ne puissent rien empêcher, même sur les monuments les plus visités au monde. Certes, ce n'est pas un argument suffisant pour engager des travaux de recherche sur ces ouvrages mais leur caractère préventif devrait aussi être pris en compte, en plus des arguments scientifiques.

Dans cet optique et en restant dans la prolongation de mes recherches sur l'évolution des techniques et des structures de charpenterie médiévales, j'entrevois la nécessité de poursuivre l'étude de certains types de charpentes encore peu étudiés.

Le premier concerne les premières grandes charpentes du XIIIe siècle afin de comprendre l'apparition et de développement des premiers principes architectoniques gothiques comme la triangulation de fond ou le report des charges des fermes secondaires sur les fermes secondaires. A ce titre, j'envisage d'étudier les charpentes de la cathédrale Saint-Etienne de Sens dans l'Yonne qui est l'une des toutes premières églises d'architecture gothique de la Chrétienté avec l'abbatiale de Saint-Denis. Les charpentes du début de la seconde moitié du XIIe siècle sont toujours présentes sur le chœur et la nef (fig. 98) et n'ont à ce jour toujours pas été étudiées, relevées ni datées par dendrochronologie. Leur structure à chevrons-formant-fermes montre d'étonnants dispositifs comme des « proto-poinçons » en forme de suspentes et des grandes croisées d'écharpes venant s'assembler à la base des fermes, ce qui est exceptionnel. La charpente emploie aussi massivement des longs bois d'une très grande finesse qui interrogent sur la qualité des chênaies disponibles pour ce vaste chantier. Il s'agit de la plus ancienne charpente gothique connue à ce jour et son étude s'inscrirait dans la continuité de mes travaux sur cette thématique.



Fig. 98 : Charpente de la cathédrale de Sens.

De même, la charpente de la collégiale Notre-Dame de Mantes-la-Jolie (Yvelines), construite vers 1210, mériterait d'être intégrée dans mes prochains travaux de recherche. Conservée sur tout l'édifice, elle présente l'un des tout premiers dispositifs longitudinaux de report de charges (fig. 99) tel qu'on le verra utilisé avec certains perfectionnements quelques années plus tard à Notre-Dame de Paris. Cette charpente montre des techniques expérimentales plus ou moins maladroites qui ont entraîné la rupture de plusieurs entrants, avec parfois l'emploi de bois courbes ou des assemblages rudimentaires renforcés par des agrafes métalliques (fig. 100). On devine un chantier expérimental où des techniques ont été testées pour la première fois par le maître d'œuvre. L'analyse dendrochronologique a déjà été réalisée en 2020. Son étude s'inscrirait là aussi dans la continuité de mes recherches sur les premières charpentes gothiques et surtout de celle de la cathédrale Notre-Dame de Paris dont les liens de parenté architecturaux sont bien établis. Une journée d'étude organisée par A. Warie (TRAME UR 4284) consacrée à ce sujet s'est d'ailleurs tenue le 17 juin 2021 sur « La collégiale de Mantes-la-Jolie et Notre-Dame de Paris : la première architecture gothique en Île-de-France » où j'ai présenté mes observations préliminaires sur cette charpente.



Fig. 99 : Charpente de la collégiale Notre-Dame de Mantes-la-Jolie, 1210.



Fig. 100 : Assemblages renforcés par agrafes métalliques, collégiale Notre-Dame de Mantes-la-Jolie, 1210.

Autre grande charpente gothique du XIII^e siècle à étudier, celle de la cathédrale Saint-Symphorien de Tours, des années 1262-1284, pour laquelle le relevé au scanner et les datations dendrochronologiques ont déjà été réalisées. Il reste à effectuer l'analyse archéologique détaillée des structures qui apporteront des informations sur les perfectionnements des dispositifs longitudinaux de report de charge.

Au-delà des grandes charpentes, ces problématiques s'appliquent aussi aux édifices plus modestes pour lesquels d'autres questions se posent comme par exemple leur adaptation aux premières voûtes maçonnées et aux grandes portées dans le cas où les toitures couvrent sous deux versants le vaisseau central et les deux bas-côtés. Pour répondre à ces questions, certaines charpentes des XII^e-XIII^e siècles recensées en région Centre dans le cadre de mon APR CharpCentre (2012-2016) devraient être investigués dans les années à venir. Plusieurs structures exceptionnelles ont en effet été découvertes et datées par dendrochronologie mais leur étude archéologique et leur relevé restent à faire. Retenons les charpentes des églises de Boësses (Loiret), de Paulnay (Indre) de 1255 et de Saint-Amand-Montrond (Cher) de 1217 qui intègre des structures en pan de bois d'origine tout à fait exceptionnelles. Il est donc envisagé de répondre à un nouvel Appel à Projet Régional afin de réaliser le relevé de ces charpentes avec les scanners acquis par le LAT. Une méthodologie spécifique sera mise en place afin de faire des études synthétiques en raison du temps que prend généralement une analyse archéologique « normale ». Cet APR permettrait de former également un post-doc au relevé de charpentes.

Enfin, pour les années à venir, j'envisage plusieurs publications et notamment un ouvrage de synthèse sur les charpentes médiévales et modernes en France destiné au plus large public. On fait rapidement le constat qu'il n'existe à ce jour aucun ouvrage généraliste sur l'évolution des charpentes anciennes alors que la demande est forte de la part des professionnels du patrimoine (charpentiers, architectes du patrimoine, archéologues du bâti...). Cet ouvrage réunirait mes principales études et des contributions extérieures comme celles d'Olivier Coarentin sur les charpentes armoricaines, de Patrick Hoffsmmer sur celles du Nord, d'Emilien Bouticourt sur celles du Sud-Est et de Jean-Yves Hunot sur celles d'Anjou. Un chapitre serait consacré aussi aux techniques de taille traditionnelle à la hache des bois d'œuvre et à la restauration des ouvrages.

Un autre projet d'ouvrage est envisagé sur la construction à poteaux plantés du Néolithique, de la Protohistoire et du haut Moyen Âge. Il s'agit de faire une synthèse de mes travaux en ethnoarchéologie, en expérimentation et sur les interprétations des plans, avec une réflexion sur les propositions de restitution des charpentes. Les besoins de mieux comprendre les négatifs de ces architectures sont là aussi importants pour la communauté scientifique en raison notamment de nombreux préjugés primitivistes qui ont figé la réflexion depuis des décennies.

Parmi les études déjà réalisées et qui mériteraient une publication, il y a évidemment celle de la charpente de Notre-Dame de Paris en collaboration avec les auteurs des relevés de 2015, Rémi Fromont, ACMH sur le chantier de restauration et Cédric Trentesaux, son collaborateur. Cet ouvrage sera consacré

à l'étude archéologique de la charpente gothique que j'ai réalisée en 2020, avec les relevés et les photos de ces auteurs, en y intégrant peut-être un chapitre sur sa reconstruction si celle-ci s'effectue avec la taille à la hache, ce qui permettra de faire le parallèle entre l'apport de l'archéologie pour un projet de reconstruction.

Enfin, l'étude ethnoarchéologique des loges du centre de la Bretagne réalisée en 2009-2010 devra aussi faire l'objet d'un article de synthèse. Il s'agit du recensement d'une trentaine de loges à cruck et poteaux plantés, situées à la limite des Côtes-d'Armor, du Morbihan et de l'Ille-et-Vilaine, du relevé précis de cinq d'entre elles et de la collecte de témoignages oraux de leur mise en œuvre et de leurs utilisations. Cette publication permettra d'apporter des éléments de réflexion pour l'étude et la restitution des constructions à poteaux plantés.

Conclusion

Pour clore ce mémoire, j'insisterai sur le point le plus fondamental de notre discipline, celui qui motive ma démarche d'habilitation à diriger des recherches : la formation des jeunes chercheurs. Depuis 2007, j'ai dispensé des cours, des séminaires et formés des étudiants sur des questions touchant à la construction en bois. La liste des sujets de recherche proposés aux étudiants que j'ai encadrés en master et en doctorat, fournie au CV du dossier, reflète l'éventail des thématiques en lien avec mes activités de recherche. La formation des étudiants en archéologie du bâti et plus spécifiquement sur la construction en bois est primordiale puisque cette discipline compte très peu de spécialistes en France, que l'on dénombre actuellement sur les doigts d'une seule main. Pourtant, depuis peu, on voit une demande de plus en plus insistante de la part des acteurs du patrimoine (CRMH, UDAP, services patrimoniaux municipaux, architectes du patrimoine...) pour réaliser des études du bâti sur des architectures en bois. De même, on note davantage de prescriptions archéologiques sur des sites en contexte humide, parfois à caractère préventif en raison du réchauffement climatique comme à Bibracte où l'assèchement des fontaines et des sources situées au pied de l'oppidum incitent à sauvegarder le potentiel mobilier en bois qui s'y trouverait. Les prestataires archéologiques publics ou privés sont le plus souvent démunis face à ces demandes et recherchent des spécialistes dans ce domaine. Si, ces dernières années, le développement des formations universitaires aux techniques de relevé par scan et photogrammétrie répond en partie à ce besoin pour l'archéologie du bâti, il ne saurait masquer leurs lacunes en histoire de l'architecture, de l'art et des techniques de construction autour de la question du bois et de la charpenterie. Il apparaît donc nécessaire de développer davantage l'enseignement de cette discipline aux jeunes chercheurs et archéologues afin de pouvoir répondre à ces attentes et d'élargir cette recherche à de nouvelles approches.

Déjà évoquées en partie dans le dernier chapitre du mémoire, ces approches novatrices concernent tout autant la dendrologie pour l'étude des sylvicultures passées que l'ethnoarchéologie pour l'analyse des constructions à poteaux plantés néolithiques et protohistoriques. Si les travaux sur les charpentes médiévales méritent assurément de plus amples développements, grâce notamment aux progrès récents des systèmes d'acquisitions 3D, il n'en demeure pas moins que cette approche « classique » de l'archéologie du bâti devra répondre dans les années à venir à de nouveaux enjeux scientifiques et sociétaux. Les débats qui animent aujourd'hui la communauté scientifique, le grand public et le ministère de la Culture autour de la reconstruction des charpentes de Notre-Dame de Paris à l'identique et en bois taillés à la hache en sont un exemple. Ces controverses renvoient en effet à mes travaux de recherches : comment les bois du XIII^e siècle étaient façonnés à la hache et en quoi sont-ils efficaces mécaniquement ? Quels sont les défauts de conception des chevrons-formant-fermes du XIII^e siècle et comment les corriger ? Quel type d'arbre faut-il abattre pour refaire la charpente de Notre-Dame ? etc. Ces discussions rentrent aussi en résonance avec une question naïve qui m'a souvent été posée : « à quoi ça sert d'étudier les vieilles charpentes ? » Au-delà des considérations historiques, cette interrogation renvoie à la nécessité de raccrocher nos recherches aux enjeux du XXI^e siècle qu'ils soient économiques, culturels, patrimoniaux, voire écologiques. Si les applications pour Notre-Dame semblent évidentes, cette recherche peut servir aussi à promouvoir les savoir-faire de la charpenterie traditionnelle tout comme à revaloriser certaines formes de sylviculture pour la filière forêt-bois. De même, elle devrait permettre une meilleure prise en compte des charpentes dans la protection des édifices au titre des Monuments Historiques, voire par l'UNESCO.

Aussi, plus largement, que nous apprennent ces « vieilles charpentes » sur nous-même et sur la considération que notre société porte et portera à l'avenir sur la construction en bois, sur l'arbre, sa place dans nos paysages, et sur les forêts dans le contexte du bouleversement climatique actuel ? On ne saurait y répondre ici mais cette recherche peut déjà contribuer à déconstruire en partie cette vision misérabiliste qu'elle cultive depuis des décennies à l'encontre des architectures anciennes en bois comme des techniques de taille à la hache, jugées de moyenâgeuses lors des débats sur Notre-Dame, alors que celles-ci seraient bien plus en adéquation avec les préoccupations de demain.

Bibliographie

Albore Livadie 2011

Albore Livadie C. - Nola, une Pompéi du Bronze ancien 1800-1700 environ avant J.-C., *in* : Garcia (dir.) *L'âge du Bronze en Méditerranée : Recherches récentes. Séminaire d'Antiquités nationales et de Protohistoire européenne d'Aix-en-Provence*, Errance, Paris, 2011 : 65-82.

Bartoli 2020

Bartoli M. – De l'utilisation d'archives de la Renaissance pour comprendre les forêts d'aujourd'hui, *in* : *La Forêt Privée*, 372, 2020 : 74-81.

Bartoli et Millet 2010

Bartoli M. et Millet J.-F. – Une forêt exemplaire : le bois de Gabor (Tarn), ses avatars du XIII^e au XXI^e siècle, *in* : *Revue Forestière Française*, t. LXII-6, 2010 : 655-670.

Beeching 2018

Beeching A. - La maison néolithique et sa charpente, *in* : *ArchéOrient - Le Blog*, 21 décembre 2018, [En ligne] <https://archeorient.hypotheses.org/11141>.

Beeching et al. 2018

Beeching A., Bernabo Brea M., Bertolotti P., Bronzoni L. et Maffi M. - Bâtiments néolithiques et chalcolithiques dans la plaine du Pô. Questions d'architecture autour du plan quadrangulaire, *in* : Lermercier O., Sénépart I., Besse M. et Mordant C. (dir.) *Habitations et habitat du Néolithique à l'âge du Bronze en France et ses marges*, Actes des II^e Rencontres Nord/Sud de Préhistoire récente (Dijon 19-21 novembre 2015), Archives d'Ecologie Préhistorique, Toulouse, 2018 : 269-280.

Bépoix et Richard 2019

Bépoix S. et Richard H. (dir.), *La forêt au Moyen Âge*, Les Belles Lettres, Paris, 2019.

Billard et al. 2018

Billard C., Bernard V., Blanchet S., Chamaux G., Creusillet M.-F., Epaud F., Germain-Vallée C., Ghesquière E., Grimaud V., Guyodo J.-N., Hamon T., Juhel L., Kerdivel G., Laporte L., Louis A., Marcigny C., Marcoux N., Noël J.-Y., Verjux C. - Variabilité et innovations dans les architectures domestiques du Néolithique moyen du Centre à l'Ouest de la France, *in* : Lermercier O., Sénépart I., Besse M. et Mordant C. (dir.) *Habitations et habitat du Néolithique à l'Âge du Bronze en France et ses marges*, Actes des II^e Rencontres Nord/Sud de Préhistoire récente (Dijon 19-21 novembre 2015), Archives d'Ecologie Préhistorique, Toulouse, 2018 : 137-155.

Bernard 2003

Bernard V. - Stratégie d'approvisionnement en bois en Gaule du Nord-Ouest (du I^{er} s. av. au IV^e s. apr. J.-C.), *Revue Archéologique de Picardie*, n° 1-2 : 77-86.

Blain, Maggi et Hoffsummer 2015

Blain S., Maggi C. et Hoffsummer P. – Les charpentes de la collégiale Saint-Denis à Liège (Belgique) : apports de l'archéométrie et de l'archéologie du bâti à l'histoire du site (XI^e-XVIII^e siècles), *in* : *Archéologie médiévale*, t. 45, 2015 : 85-116.

Bontemps 2006

Bontemps J.-D. - *Evolution de la productivité des peuplements réguliers et monospécifiques de hêtre (Fagus sylvatica L.) et de chêne sessile (Quercus petraea Liebl.) dans la moitié Nord de la France au cours du XX^e s.*, Thèse de l'Ecole Nationale du Génie Rural, des eaux et Forêts, soutenue à Nancy, 2006.

Brichet et Duterme 1931

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

Buchsenschutz 2005

Buchsenschutz O. - Du comparatisme à la théorie architecturale, *in* : O. Buchsenschutz et C. Mordant (dir.) *Architectures protohistoriques en Europe occidentale du Néolithique final à l'âge du fer, Actes des congrès nationaux des sociétés historiques et scientifiques 127^e congrès, (Nancy, 15-20 avril 2002)*, CTHS, Paris, 2005 : 49-64.

Buchsenschutz et Audouze 1989

Buchsenschutz O. et Audouze F. - *Villes, villages et campagnes de l'Europe celtique : du début du II^e millénaire à la fin du I^{er} s. avant J.-C.*, Paris, 1989.

Buchsenschutz et Mordant (dir.) 2005

Buchsenschutz O. et Mordant C. (dir.) - *Architectures protohistoriques en Europe occidentale du Néolithique final à l'âge du fer, Actes des congrès nationaux des sociétés historiques et scientifiques 127^e congrès, (Nancy, 15-20 avril 2002)*, CTHS, Paris, 2005.

Buchsenschutz et Mötsch 2018

Buchsenschutz O. et Mötsch A. - Réflexions sur l'architecture monumentale à la fin du premier Âge du fer, *in* : A. Villard-Le Tiec (dir.), *Architectures de l'âge du Fer en Europe Occidentale et Centrale. Actes du 40^e colloque international de l'AFEAF (Rennes, 4-7 mai 2016)*, PUR, Rennes, 2018 : 259-271.

Castaldo, Albore Livadie et Citro 2017

Castaldo E., Albore Livadie C., Citro D. - *Architecture of Early Bronze Age huts in the protohistoric settlement of Nola (Croce del Papa area - Naples - Italy)*, 23rd EAA Annual Meeting, Maastricht, Netherlands, 2017.

Chalvet 2011

Chalvet M. – Une histoire de la forêt, Ed. du Seuil, Paris, 2011.

Chaudé 1946

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

Chaume et Mordant 2011

Chaume B., Mordant C. - *Le complexe aristocratique de Vix : nouvelles recherches sur l'habitat, le système de fortification et l'environnement du mont Lassois*. Ed. universitaires de Dijon, 2 vol., Dijon, 2011.

Chevalier et Sapin 2011

Chevalier P. et Sapin C. - ANR Corpus architecturae religiosae europeae [CARE], saec. IV-X, *in* : *Bulletin du Centre d'études médiévales d'Auxerre*, Centre d'études médiévales d'Auxerre : ARTEHIS, UMR CNRS/uB, 15, 2011 : 113-114.

Corvol 1991

Corvol A. - Exploitation sylvicole et botanique forestière aux XVII^e-XVIII^e s., *in* : *La forêt*, Actes du 113^e congrès national des sociétés savantes, CTHS, Paris, 1991 : 303.

Coudart 2010

Coudart, A. - La maison néolithique : métaphore matérielle, sociale et mentale des petites sociétés sédentaires *in* : Demoule J.-P. (dir.) *La révolution néolithique dans le monde*. Paris, CNRS Éditions, 2010 : 215-235.

Coudart 1998

Coudart A. - *Architecture et société néolithique. L'unité et la variance de la maison danubienne*, Ed. de la MSH, Daf n°67, 1998.

Devèze 1961

Devèze M. - *La vie de la forêt française au XVIe s.*, EPHE-SEVPEN, Paris, 1961.

Ducrey 1988

Ducrey M - Sylviculture des taillis de chêne vert. Pratiques traditionnelles et problématiques des recherches récentes, *in* : *Revue forestière française*, t. XL-4, 1988 : 302-313.

Duperroy et Desmet 2016

Duperroy F. et Desmet Y (dir.), *Les couvertures médiévales : images et techniques*, Etudes et documents, Monuments et sites, SPW Editions, Namur, 14, 2016.

Fichtl 2018

Fichtl S. - L'architecture monumentale à la fin de l'âge du Fer, *in* : A. Villard-le-Tiec (dir.) *Architectures de l'âge du Fer en Europe occidentale et centrale*. Actes du 40e colloque international de l'AFEAF (Rennes, 4-7 mai 2016), PUR, Rennes, 2018 : 419-437.

Filgis 2011

Filgis M. N. - Synthèse : interprétation architecturale du bâtiment à abside et fonctions, *in* : Chaume B. et Mordant C. (dir.) *Le complexe aristocratique de Vix : Nouvelles recherches sur l'habitat, le système de fortification et l'environnement du mont Lassois*, vol. 2, Editions Universitaires de Dijon, Dijon, 2011 : 739-751.

Fouéré et al. 2018

Fouéré P. Pérez P. et Lesueur F. - Les grands bâtiments artenaciens type « Antran » : essai de restitution architecturale sur la base des fouilles du site de « Beauclair » à Douchapt (Dordogne), *in* : O. Lermancier, I. Sénépart, M. Besse et C. Mordant (dir.) *Habitations et habitat du Néolithique à l'Âge du Bronze en France et ses marges*, Actes des IIe Rencontres Nord/Sud de Préhistoire récente (Dijon 19-21 novembre 2015), Toulouse, 2018 : 313-318.

Gullbrandsson 2015

Gullbrandsson R. - *Medeltida taklag I Skara stifts kyrkor*, Jönköpings läns museum, Skara 2015.

Hamon et al. 2018

Hamon T., Rodot M.-A., Bapst B., Bourne S., Hulin G., Linton J., Rousselet O., Weisser S., Braguier S. - Le gisement des « Vaux » à Moulins-sur-Céphons (Indre) : de l'espace habité à l'espace exploité *in* : O. Lermancier, I. Sénépart, M. Besse et C. Mordant (dir.) *Habitations et habitat du Néolithique à l'Âge du Bronze en France et ses marges*, Actes des IIe Rencontres Nord/Sud de Préhistoire récente (Dijon 19-21 novembre 2015), Toulouse, 2018 : 297-312..

Hodge 1960

Hodge A. T. - *The Woodwork of Greek Roofs*, Cambridge University Press, Cambridge, 1960.

Hoffsummer 2011

Hoffsummer P. (dir.) - *Les charpentes du XIe au XIXe s., typologie et évolution en France du Nord-Ouest de la France*, Cahiers du Patrimoine, Monum, Editions du Patrimoine, Paris, 2011.

Hoffsummer 2009

Hoffsummer P. (dir.) - *Charpentes d'Europe*, Institut du Patrimoine Wallon, Carnet du Patrimoine, Namur, 2009.

Hoffsummer 2002

Hoffsummer P. (dir.) - *Les charpentes du XIe au XIXe s., typologie et évolution en France du Nord et en Belgique*, Cahiers du Patrimoine n° 62, Monum, Editions du Patrimoine, Paris, 2002.

Hunot 2001

Hunot J.-Y. - *L'évolution de la charpente de comble en Anjou du XII^e au XVIII^e s.*, Patrimoine d'Anjou : études et travaux 1, Angers, 2001.

Gentili 2009

Gentili F. - Typologie et analyse spatiale des fonds de cabane du haut Moyen Âge en Pays de France. L'exemple de Villiers-le-Sec et des sites environnants : Baillet-en-France, Le Mesnil-Aubry, Louvres et Villiers-le-Bel, *in* : Gentili F. et Lefèvre A. (dir.), *L'habitat rural du haut Moyen Âge en Île-de-France*, 2e supplément au *Bulletin archéologique du Vexin français et du Val-d'Oise*, Centre de recherches archéologiques du Vexin français, Guiry-en-Vexin, 2009 : 31-59

Gentili 2001

Gentili F. (dir.) - *Louvres (Val d'Oise) « Château d'Orville »*, Campagne 2001, rapport final d'opération, SRA Ile-de-France, Saint-Denis.

Jacquet 2003

Jacquet Gaëlle, *La forêt en Val de Loire aux périodes préindustrielles : histoire, morphologie, archéologie, dendrologie. L'exemple de l'Indre-et-Loire (X^e-XVI^e s.)*, thèse de doctorat d'histoire, Université François Rabelais de Tours, 2003.

Jeunesse 2021

Jeunesse C. - Méga-habitat, très grandes maisons et tertres funéraires géants, *in* : Les grands monuments invisibles de la préhistoire. La démesure architecturale au Néolithique. *L'Archéologue*, n°157, 2021 : 24-35.

Lamouille 2019

Lamouille S. - Les charpentes dans l'architecture monumentale en Grèce ancienne : réflexions historiographiques, techniques et méthodologiques, *in* : Lamouille S., Péfau P., Rougier Blanc S. (dir.) - *Bois et architecture dans la Protohistoire et l'Antiquité (XVI^e s. av. J.-C. - II^e s. apr. J.-C). Grèce, Italie, Europe occidentale. Actes du colloque (Toulouse, avril 2018)*, Pallas, 110, Revue d'études antiques, Toulouse, 2019 : 223-243.

Lamouille, Péfau et Rougier Blanc 2019

Lamouille S., Péfau P., Rougier Blanc S. (dir.) - *Bois et architecture dans la Protohistoire et l'Antiquité (XVI^e s. av. J.-C. - II^e s. apr. J.-C). Grèce, Italie, Europe occidentale. Actes du colloque (Toulouse, avril 2018)*, Pallas, 110, Revue d'études antiques, Toulouse, 2019.

Lautier 2011

Lautier C. - Restauration récentes à la cathédrale de Chartres et nouvelles recherches, *in* : *Bulletin Monumental*, t. 169-1, 2011 : 3-11.

Le Jeune, Dardignac et David 2017

Le Jeune Y, Dardignac C. et David S. - Bercé avant la forêt. Premiers résultats de l'exploitation des cartes anciennes et des données lidar sur la forêt de Bercé (Sarthe), *in* : *Revue forestière française*, t. LXIX, 2017, p. 519-543.

Lemaire 1010

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

Lemercier, Sénépart, Besse et Mordant 2018

Lemercier O., Sénépart I., Besse M., Mordant C. - *Habitations et habitat du Néolithique à l'âge du Bronze en France et ses marges. Actes des secondes rencontres Nord/Sud de Préhistoire récente (Dijon, nov. 2015)*, Editions Archives d'Ecologie Préhistorique, Toulouse, 2018.

Lontcho 2021

Lontcho F. – « Basilique » néolithique, *in* : Les grands monuments invisibles de la préhistoire. La démesure architecturale au Néolithique. *L'Archéologue*, n°157, 2021 : 16-17.

Maguer et al. 2018

Maguer P., Achard-Corompt N., Gaudefroy S., Robert G., Le Gall J. *et al.* Maisons et dépendances à l'âge du Fer dans le nord et l'ouest de la France : de La Tène moyenne à La Tène finale, *in* : A. Villard-le-Tiec (dir.), *Architectures de l'âge du Fer en Europe occidentale et centrale*. Actes du 40e colloque international de l'AFEAF (Rennes, 4-7 mai 2016), PUR, Rennes, 2018 : 303-326.

Maguer et Le Gall 2018

Maguer P. et Le Gall J. - Maisons et dépendances dans le nord-ouest de la France au second âge du Fer, *in* : A. Villard-le-Tiec (dir.), *Architectures de l'âge du Fer en Europe occidentale et centrale*. Actes du 40e colloque international de l'AFEAF (Rennes, 4-7 mai 2016), PUR, Rennes, 2018 : 327-347.

Martin 1977

Martin R. - Les premières manifestations de la charpente, la charpente dans l'antiquité méditerranéenne, *in* : Librairie du Compagnonnage (éd.), *La charpente et la construction en bois*, t.1, Paris, 1977 : 101-125.

Noël 2007

Noël L. - *Essai d'interprétation d'un type de vestige en milieu forestier : l'exemple des structures fossoyées en forêt de Bercé (Sarthe)*, Mémoire de master 2 d'archéologie (dir. FICHTL Stephan et GRUEL Katherine), Université de Tours, 2007.

Ollivier et Pautreau 1994

Ollivier A., Pautreau J.-P. - Une construction de type Antran : les chavis à Vouillé (Vienne), *in*: Bulletin de la Société préhistorique française, tome 91, n°6, 1994 : 420-421.

Pardé 1978

Pardé J. - Normes de sylviculture pour les forêts de chêne rouvre, *in* : *Revue forestière française*, t. XXX 1978 : 14.

Prigent 2016

Prigent D. - Les édifices antérieurs au milieu du XIe siècle en Val de Loire : l'évolution du regard de l'archéologue, *in* : S. Balcon-Berry, B. Boissavit-Camus, P. Chevalier, *La mémoire des pierres : Mélanges d'archéologie, d'art et d'histoire en l'honneur de Christian Sapin*, Brepols, 2016 : 85-96.

Poncelet 1992

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

PRODEO 2007

Prodéo, F. (dir.) - *Pineuilh (33) « La Motte »*, Rapport de fouilles, Pessac : Inrap, 2 vol. (858 p.)

Robert (à paraître)

Robert G. - Recherches sur l'architecture à poteaux inclinés, de la fin de l'âge du Fer au début de la période gallo-romaine : études de cas.

Roquelet 1984

Roquelet A. - *La vie de la forêt normande à la fin du Moyen Âge. Le coutumier d'Hector de Chartres*, Société de l'Histoire de Normandie, Rouen, 1984.

Stemmermann 1942

Stemmermann P.H. - *Vorgeschichtliche Speicherbauten im Anjou*, *in* : *Germanen Erbe* : 55-63.

Tinevez 1996

Tinevez J.-Y. avec la coll. de Nicolas E., Jovin S. et Talbo C. - *La hersonais à Pléchâtel (Ille-et-Vilaine), Un vaste ensemble du Néolithique final*. Rapport de synthèse du programme de fouille 1994-1996, SRA Bretagne.

Trier 1969

Trier B. - *Das Haus im Nordwesten der Germania Libera*, Münster, 1969.

Trochet 2006

Trochet J.-R. - *Maisons paysannes en France et leur environnement (XVe-XXe s.)*, Creaphis, Paris, 2006.

Tegel et al. 2012

Tegel W., Elburg R, Hakelberg D, Stäuble H, Büntgen U. - Early Neolithic Water Wells Reveal the World's Oldest Wood Architecture, *in* : PLOS One, vol. 7, 2012.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051374>

Villard-Le Tiec 2018

Villard-Le Tiec A. (dir.) - *Architectures de l'âge du Fer en Europe occidentale et centrale*. Actes du 40e colloque international de l'AFEAF (Rennes, 4-7 mai 2016), PUR, Rennes, 2018.

Wasylyszyn 2006

Wasylyszyn N. - Inventaire et observations sur les églises Romanes précoces de Haute-Normandie (Xe-XIe siècles), *in* : *Haute-Normandie Archéologique*, XIII, 2006.

Zimmermann 1998

Zimmermann W. H. - Pfosten, Ständer und Schwelle und der Übergang vom Pfosten- zum Ständerbau – Eine Studie zu Innovation und Beharrung im Hausbau, *Probleme der Künstenforschung im südlichen Nordseegebiet*, 25 : 9-241.

Zippelius 1975

Zippelius, A. - Zur Rekonstruktion der Urnenfelderzeitlichen Holzbauten von Künzing, *in* : *Ausgrabungen in Deutschland*, Mayence : 164-168.

Zippelius 1953

Zippelius, A. - Das vormittelalterische dreischiffige Hallenhaus im Mitteleuropa, *in* : *Bonner Jahrbuch*, 153 : 13-45.