



La mise en œuvre d'une charpente à chevrons-formant-fermes du XIII^e siècle : l'exemple expérimental de Guédelon

Frédéric Epaud

► To cite this version:

Frédéric Epaud. La mise en œuvre d'une charpente à chevrons-formant-fermes du XIII^e siècle : l'exemple expérimental de Guédelon. Les chantiers et les matériaux de construction de l'Antiquité à la Révolution industrielle en Occident et en Orient. Actes du colloque. Textes réunis par A. Baud et G. Charpentier, Sep 2015, Chantier de Guédelon, Treigny (Yonne), France. pp.209-222. hal-02402121

HAL Id: hal-02402121

<https://hal.science/hal-02402121>

Submitted on 10 Dec 2019

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

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

La mise en œuvre d'une charpente à chevrons-formant-fermes du XIII^e siècle : l'exemple expérimental de Guédelon.

Par Frédéric Epaud, avec la collaboration de Nicolas Touchefeu, Jean-Michel Huré, Florian Renucci et tous les charpentiers équerisseurs de Guédelon
(Toutes les illustrations sont de l'auteur).

Le chantier de Guédelon

Dans l'Yonne, au cœur d'une forêt de la Puisaye, un château philippien est actuellement en cours de construction. Une quarantaine d'ouvriers (carriers, tailleurs de pierre, maçons, bûcherons, charpentiers, forgerons, tuiliers, charretiers, vanniers, cordiers...) y reproduisent les gestes et les techniques du XIII^e siècle, et contribuent à faire de ce chantier ouvert au public une expérience humaine hors du commun à vocation expérimentale, scientifique, pédagogique et touristique, avec le soutien d'un comité scientifique¹.



Fig. 1 : Construction du logis du château de Guédelon avec le levage de la charpente de la chambre (septembre 2008).

L'intérêt de ce projet pour les archéologues réside dans la restitution en grandeur réelle d'un chantier du XIII^e siècle tant du point de vue des outils, des techniques de construction, de l'approvisionnement des matériaux, de la manutention, que de l'organisation du travail et de la gestion des équipes. Toutes les étapes de la chaîne opératoire sont présentes, de l'extraction de la pierre *in situ* à la pose des enduits peints réalisés avec l'argile locale. Si le cahier des charges s'attache au respect des plans d'élévations, des outils et des matériaux qui sont bien connus pour cette période et pour ce type de construction en Bourgogne, il reste néanmoins

¹ Anne Baud, Maître de conférence à l'université de Lyon 2, Nicolas Reveyron, Professeur à l'université de Lyon 2, Nicolas Faucherre, Professeur à l'université d'Aix-Marseille, Philippe Durand, Maître de conférence à l'université de Bordeaux 3, Frédéric Epaud, CNRS LAT UMR7324, Christian Corvisier, historien de l'architecture, Gilles Rollier, INRAP et Pierre Mille, INRAP.

une large part du chantier médiéval qui demeure mal documentée par les textes et l'archéologie comme par exemple le temps de séchage d'une voûte ou du mortier dans un mur épais, les techniques de pose d'une croisée d'ogive, le fonctionnement des engins de levage, le temps d'exécution de certains ouvrages, la gestion des approvisionnements en matériaux, la manutention des pierres sur les échafaudages, les cadences de travail, etc... autant de données qui peuvent être renseignées par l'expérimentation : « construire pour comprendre ».

Le protocole d'expérimentation

Le couvrement du logis présentait dès lors une opportunité pour expérimenter la mise en œuvre d'une charpente voûtée à chevrons-formant-fermes des années 1240. Si l'état des connaissances permet de proposer sans difficulté des plans précis et fiables d'une charpente de ce type, bien renseignée par des exemples conservés en Bourgogne et dans le Bassin parisien, et datés par dendrochronologie², de nombreuses données restent néanmoins mal documentées par les textes et l'archéologie comme la quantité d'arbres nécessaires pour la construction d'une charpente de ce type, le nombre de charpentiers et le temps nécessaires pour l'équarrissage, la taille et l'exécution ou encore les procédés de levage des fermes. A cela se rajoute des questions sur l'usage de certains types d'assemblages, dont la fonction nous échappe encore, les percements inexpliqués présents sur de nombreux bois ou encore l'absence du contreventement longitudinal dans ces charpentes, encore interprété comme un défaut conceptuel mais qui peut être lié là aussi à des modes particulier de levage. Ce chantier d'expérimentation ouvrait donc des perspectives de recherche inédites pour répondre à ces questions dans la mesure où un protocole scientifique était mis en place pour garantir la fiabilité des résultats. Ce protocole consistait donc à dresser un cahier des charges strict à respecter, résultant des connaissances déjà acquises sur ce type de charpentes, à savoir le type de structure à exécuter tant dans sa forme générale que dans ses assemblages, le bois utilisé (section, profil, cœur de chêne...), les outils de taille ou le type de marques utilisé. Sur la base de ces données à respecter scrupuleusement, l'expérimentation consistait, pour une équipe de praticiens expérimentés depuis dix ans aux techniques de charpenterie médiévales, à imaginer et à concevoir les meilleurs procédés d'exécution et de manutention, d'un point de vue pratique et économique, pour toutes les étapes de la chaîne opératoire, sans aucun conseil extérieur. Dès lors, il s'agissait pour l'archéologue d'observer les charpentiers au travail, de noter les solutions techniques qu'ils mettaient en œuvre, et d'enregistrer les données quantitatives que ce soit pour la consommation en bois d'œuvre que pour le temps de travail mis pour l'équarrissage et l'exécution de la charpente.

Récapitulatif des étapes de construction du logis et de la mise en place du plancher

Adossé à la courtine, le logis est de plan rectangulaire, de 24 x 8,80 m hors œuvre, avec un rez-de-chaussée subdivisé par un mur de refend en un vaste cellier et une cuisine à l'est, et un étage qui reprend la même compartimentation avec une grande salle de 15,50 x 5,80 m dans œuvre, accessible par un degré au sud, et une chambre de 5 m de long. A l'étage, la cheminée de la chambre est adossée au refend tandis que celle de la grande salle s'intègre dans la courtine nord, avec une trémie dans la charpente. Comme dans la plupart des logis castraux du second quart du XIII^e siècle en Bourgogne, les salles hautes sont couvertes d'une charpente voûtée à chevrons-formant-fermes (**fig. 2**).

² Epaut F. - *De la charpente romane à la charpente gothique en Normandie*, Publications du CRAHM, Caen, 2007 ; Hoffsummer P. (dir.), *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle, typologie et évolution en France du Nord et en Belgique*, Cahiers du Patrimoine n° 62, 2002 ; Hoffsummer P. (dir.), *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle. Typologie et évolution dans le Grand Ouest de la France*, AMA vol. 5, Brepols, 2011.

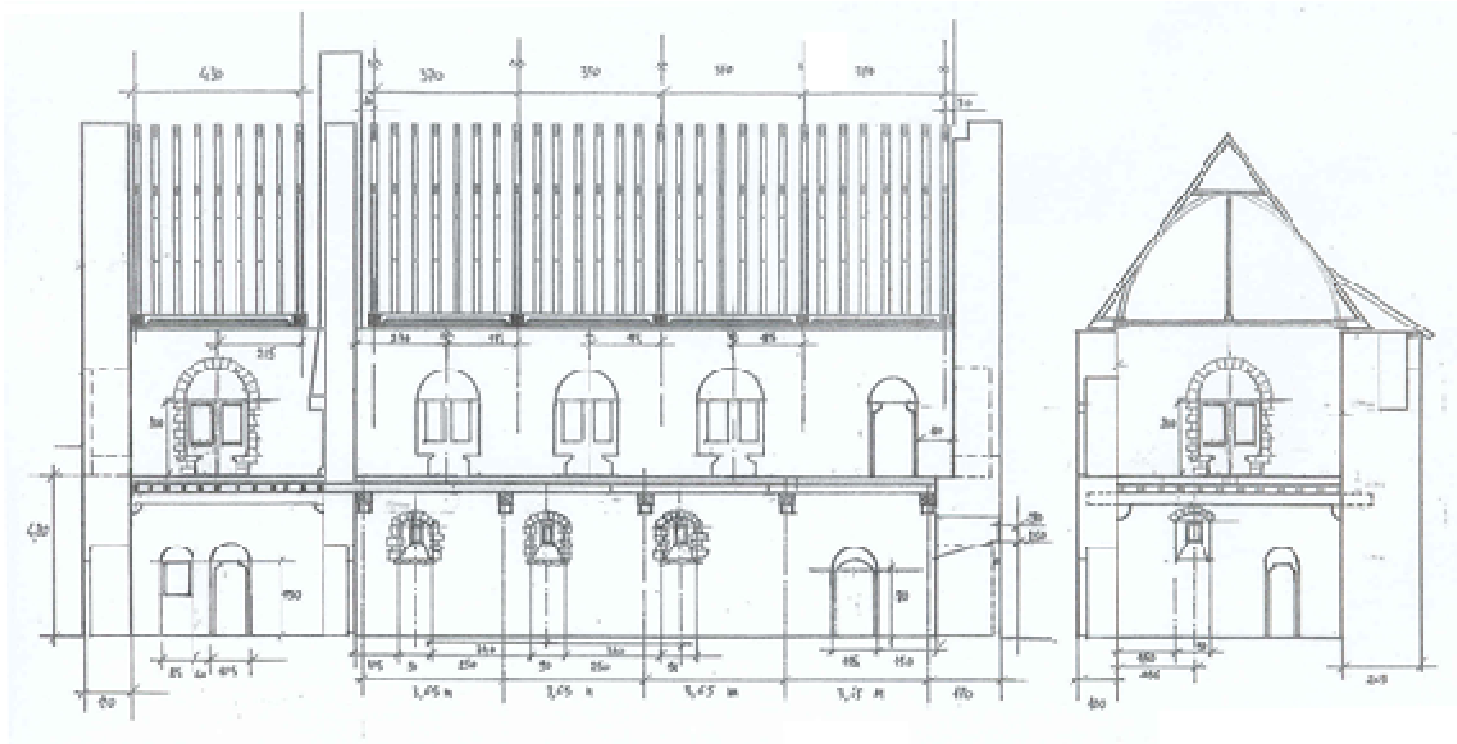


Fig. 2 : Plan de la charpente du logis, en coupe longitudinale, vue du nord, et transversale, côté grande salle.

Débutée en 2004, la construction du logis demanda six ans de travail, en parallèle à d'autres chantiers comme celui de la tour-maitresse. Concernant les éléments du plancher, les six gros sommiers de 800 kg chacun et de 7,60 m de long furent équarris dès la première année du chantier. Ils furent posés l'année suivante en 2005 sur les gouttereaux, à 4,20 m de hauteur, profitant que les murs étaient inachevés et aménagés en « escalier » pour lever les poutres par basculement successif. Elles y restèrent en attente encore un an, disposées côte-à-côte, le temps d'achever les murs du rez-de-chaussée, en égalisant leur arase, pour ensuite disposer les sommiers à leur emplacement définitif. Ils reçurent alors un plancher provisoire pour la poursuite des travaux sur l'étage. Aucune protection ne fut appliquée sur ces bois, malgré leur exposition aux intempéries pendant trois ans et l'apparition rapide de champignons. En effet, ces derniers disparurent aussitôt la couverture posée. La cinquième année, les élévations de la chambre furent achevées avec son pignon oriental. Sa charpente fut dès lors levée alors même que les murs de la grande salle n'étaient pas encore terminés (**fig. 1**). Après le levage, une cloison provisoire constituée d'une fermette bardée de grandes planches fut mise en place contre la dernière ferme dressée, au droit du futur mur-pignon de refend, dans l'attente de la reprise du chantier au printemps suivant. Enfin, la sixième année, après l'achèvement des élévations de la grande salle, pignons compris, la charpente fut levée, toujours de l'est vers l'ouest.

La charpente à chevrons-formant-fermes du logis : modèles et présentation de la structure

Les charpentes voûtées à chevrons-formant-fermes du XIII^e siècle sont aujourd'hui bien connues en France septentrionale. Ces charpentes ne présentent pas de fortes spécificités régionales et s'observent avec la même structure aussi bien sur des logis, des maisons que sur des églises et des bâtiments conventuels.

Pour la première moitié du XIII^e siècle, retenons, parmi d'autres exemples, les charpentes du logis seigneurial de Crépy-en-Valois dans l'Oise, de la maison canoniale de l'impasse Prud'homme à Bayeux, dans le Calvados (1225d), du prieuré de Juigné-la-Prée à Morannes

dans le Maine-et-Loire (1241d)³, du dortoir de l'abbaye de Noirlac dans le Cher (1240-1250d), de l'église abbatiale de Paimpont dans l'Ile-et-Vilaine (1230-1234d), des églises de Norrey-en-Auge dans le Calvados, sur la nef (1237d), de Sarge-lès-le-Mans dans la Sarthe (1245d)⁴, de Selles dans l'Eure sur la nef (1248d) et, plus tardivement, celles du manoir abbatial de Saint Amand à Boos en Seine-Maritime⁵, de l'église de Saint-Pierre-la-Rivière dans l'Orne, sur le chœur (1254d), du logis de Saint-Julien-du-Sault dans l'Yonne (1266d) et du logis des gouverneurs, au 13 rue des Changes à Chartres, (vers 1270d).

A partir de ces exemples, un dessin d'une charpente à chevrons-formant-fermes a été proposé en retenant l'ensemble des dispositifs structurels et des techniques d'assemblages en vigueur aux alentours des années 1240 (**fig. 2**). Cette charpente présente une structure subdivisée en travées de six fermes secondaires pour une ferme principale, excepté sur la chambre où l'unique travée comprend sept fermes secondaires. Les fermes principales sont constituées d'un entrain à la base, d'un couple de chevrons assemblés en tête par enfourchement et raidis par un faux entrain tenonnés aux extrémités et un couple d'aisseliers et de jambes de force courbes. Le profil voûté en tiers point des fermes est dessiné par la courbure naturelle des aisseliers et des jambes de force ainsi que par le chantournement entre assemblages des chevrons et entrains retroussés. Les aisseliers et les jambes de force, en tête, sont assemblés par de simples embrèvements à talon oblique, maintenus par des chevilles. Un faux poinçon assure la suspension de l'entrain en étant assemblé en tête par mi-bois à queue d'aronde au faux entrain et, en pied, à l'entrain par un tenon taillé en demi-queue d'aronde, bloqué par une cale, dite rossignol. Le poinçon de fond, assemblé en tête aux chevrons, ne se développera en effet qu'à partir du milieu du XIII^e siècle. Entre les assemblages, l'entrain et le poinçon ont leurs arêtes rabattues, terminées par des congés en cuillère et une bague moulurée. Les fermes secondaires reprennent la même disposition excepté l'entrain et le poinçon, avec en pied de chevron un blochet qui s'assemble ½ queue d'aronde bloqué par un rossignol dans une poutre de rive. C'est une forte entretoise qui s'assemble à tenon à dans le flanc des entrains. Attesté sur d'autres charpentes de cette période, cette poutre de rive et cet assemblage des blochets permettent de mieux résister aux poussées latérales des fermes secondaires qui tendent à s'écarter à leur base, d'où, aussi, la forte section des poutres de rive. Ces poutres de rive sont aussi moulurées sur leur arête inférieure intérieure par trois cavets se réunissant en cuillère. Blochets et poutres de rive reposent sur un cours continu de doubles sablières, reliées par des entretoises, avec des entailles à mi-bois à demi queue d'aronde pour les blochets au niveau de la chambre, puis l'assemblage se simplifie dans la aula où ils reposent simplement en appuis sur les sablières. Du côté nord, de longs coyaux de 3 m de long sont assemblés aux fermes afin de couvrir le passage extérieur longeant la courtine. Aucun dispositif longitudinal n'a été prévu pour contreventer ces fermes, seul le lattis de la couverture assurant la stabilité de la structure comme, là encore, dans la plupart des exemples des années 1240.

Les bois d'œuvre et l'approvisionnement en forêt

Les bois utilisés dans les charpentes du XIII^e siècle, en France septentrionale, sont des chênes qui conservent le cœur de l'arbre dans chaque pièce (appelés « bois de brin »), et présentent un équarrissage minimal à la doloire, avec très souvent des flaches⁶ et de l'aubier⁷ conservé, ce qui prouve que les arbres abattus correspondaient précisément aux besoins des

³ Hoffsummer 2011, *op. cit.*, p.93.

⁴ DENDROTECHTM - Fiche intitulée "Eglise Saint-Aubin - SARGE LES LE MANS (72328)".

⁵ Epaud 2007 *op. cit.*, p. 547.

⁶ Flache : dépression naturelle sur l'arête d'un bois qui correspond à la surface du tronc qui n'a pas pu être corrigée lors de l'équarrissage.

⁷ Aubier : partie superficielle de l'arbre, située entre l'écorce et le cœur, qui correspond à la zone de circulation de la sève.

charpentiers, limitant ainsi le travail du débit et les pertes. D'après certaines études⁸, la plupart des charpentes du début du XIIIe siècle consomment plus de 90 % de bois de faible diamètre, voisin de 22 cm, le reste correspondant à des bois de plus fort diamètre pour les entrails. Cette grande proportion de bois fins correspond à des arbres âgés en moyenne de 90 à 100 ans à croissance rapide tandis que les plus gros proviennent d'arbres de réserve âgés jusqu'à 150 ans. Il est probable que ces bois fins au fût rectiligne de grande hauteur soient issus de futaies sur souche, au peuplement très dense et uniforme, au sein de laquelle les pieds francs issus de glandée ont connu une forte mise en concurrence après une coupe à blanc, puis laissés sans aucune éclaircie jusqu'à l'âge adulte.

La première difficulté de la mise en œuvre de la charpente de Guédelon était donc de trouver une forêt susceptible de fournir une grande quantité de bois similaires à ceux utilisés au XIIIe siècle. Après de longues recherches, la futaie de Bellary dans la Nièvre a été retenue en raison d'une gestion sylvicole proche de celle d'une forêt des XIIe-XIIIe siècles. En effet, après une mise à blanc entre 1910 et 1915, ses 2000 hectares furent laissés en friche sans entretien pendant 60 ans, avant de connaître des cycles d'éclaircissement périodiques. Aujourd'hui, cette haute futaie présente des sujets de 100 ans pour un fût de 15 m de longueur exploitable et de 30 cm de diamètre à un mètre du pied (**fig. 3**). Si ces bois sont un peu trop âgés et d'un diamètre un peu supérieur à ceux recensés au XIIIe siècle, ils se rapprochent le plus de la qualité et des besoins recherchés. En tout état de cause, il est quasiment impossible de retrouver dans les forêts actuelles des bois d'œuvre exactement identiques à ceux du XIIIe siècle.

Fig. 3 : Forêt de Bellary (Nièvre), jeune chêne (au centre de la photo) correspondant aux mensurations d'un chevron du XIIIe siècle.

Les mesures de la charpente de Guédelon sont là-aussi directement calquées sur les modèles du début du XIIIe siècle, adaptées aux portées du logis. Avec une pente de 52° pour des chevrons de 6 m environ, les fermes ont une largeur totale à la base de 7,60 m et sont espacées de 38 cm, de rive à rive. Les chevrons, les jambes de force, les blochets et les aisseliers ont une section moyenne de 15 x 15 cm, les entrails retroussés de 17,5x15 cm, posés de chant, les poutres de rive de 20 x 20 cm, comme les entrails, avec un amincissement du fût pour ces derniers jusqu'à 15 x 15 cm, et le poinçon, une section de 15 x 15 cm, aminci



⁸ Epaud 2002, *op. cit.*, p. 10-25. Epaud F., « Les charpentes » dans Andrault-Schmitt C. (dir.) *La cathédrale Saint-Pierre de Poitiers. Enquêtes croisées*, Geste éditions, La Crèche, 2013, 188-208 p. ; Epaud F., « La charpente de la nef de la cathédrale de Bourges » dans *Revue archéologique du Centre de la France* 2012 [En ligne], URL : <http://racf.revues.org/1686>.

⁹ Hoffsummer 2011, p 130/140

jusqu'à un fût de section hexagonale de 10 x 10 cm. Les sablières plates sont quant à elles de 15 x 10 cm de section, posées à plat.

Les abattages ont donc 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). Des mesures intermédiaires prises dans les chutes (25 cm de diamètre) ont été utilisées pour la production des lattes.

La mise en œuvre de cette charpente, qui compte 38 fermes, soit 86 chevrons en comptant ceux pris dans les pignons, 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, ce qui est intéressant dans le cadre de calculs de consommation en bois d'œuvre pour des charpentes gothiques du même type. 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 entre février et juillet, et les bois taillés aussitôt. Les gros chênes de 35 cm de diamètre pour les entrails et les poutres de rives de 20 x 20 cm ont été prélevés dans des réserves déclassées.

L'équarrissage

Après abattage, les grumes ont été transportées directement au chantier pour être équarries et mises en œuvre sur place. Tous les bois ont été travaillés 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.

Le déplacement des grumes sur le chantier, entre les ateliers et le logis, s'est fait par traction animal à l'aide d'un cheval et d'un trinquedalle. Sur ce chantier, il existe deux ateliers distincts. Le premier, destiné aux équarrisseurs-bucheron, est situé en sous-bois à proximité du château et comprend une aire d'équarrissage et une loge qui sert d'abri et de réserve pour les outils. Le second, consacré aux charpentiers, est situé au pied du château et comprend l'aire d'épuration ainsi que deux loges.

L'équarrissage des grumes est réalisé sur le premier atelier, en sous-bois, par une équipe de deux à trois équarrisseurs. La coopération entre le maître-charpentier et les équarrisseurs est permanente puisque les bois doivent être équarris selon des mesures précises définies par la structure de la charpente.

Comme au XIII^e siècle, tous les chênes sont équarris en conservant le cœur du bois et en respectant le fil du bois. Chaque fût est préalablement découpé en plusieurs billes plus ou moins longues selon la rectitude du bois, pour les faire correspondre aux différentes pièces des fermes. Ainsi, les parties courbes, en tête de fût souvent, vont être retenues pour les aisseliers et jambes de force courbes tandis que les parties les plus rectilignes et les plus longues seront privilégiées pour les chevrons. Une grume de 13 m de long pouvait être par exemple débitée en un chevron de 6,50 m et un coyau de 3,50 m pour la partie droite du fût, avec une ou deux pièces courbes en tête, ou bien, si le fût était droit sur toute sa longueur, en deux chevrons.

Cette gestion de l'approvisionnement forestier offre un éclairage nouveau sur les charpentes gothiques : La croissance du chêne fait que leur fût contient en général à la fois des parties courbes et des parties rectilignes, or ce type de charpente présente la particularité d'utiliser au mieux les ressources physiques de l'arbre en intégrant toutes ses capacités dans le même ouvrage. On peut en déduire une économie d'échelle limitant la consommation de bois d'œuvre.



Fig. 4 : Equarrissage à la doloire suivant les encoches d'ébauchage.

Pour l'équarrissage, la bille est installée sur deux tréteaux et maintenue par des clameaux même si leur existence n'est pas archéologiquement prouvée pour le XIII^e siècle en France (**fig. 4**). Si le fût est droit, l'équarrisseur pratique un ébauchage en faisant une série d'entailles espacées de 30-40 cm qui vont faciliter le retrait des dosses à la hache. Cette technique est en effet attestée pour le XIII^e siècle en France septentrionale d'après les traces observées sur les bois d'œuvre. Une fois les deux faces verticales équarries, la bille est tournée à 90° pour blanchir les deux faces restantes. Pour les pièces courbes, l'équarrisseur utilise un gabarit sous la forme d'une planche découpée pour tracer la courbure sur la bille et garantir ainsi l'homogénéité de profil de ces pièces dans la charpente (**fig. 5**).



Fig. 5 : Utilisation d'un gabarit pour le tracé pour l'équarrissage d'une pièce courbe.

Ce 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 faut en moyenne une heure par homme pour équarrir 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 6,50 m et de 25-30 cm de diamètre, 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.

Pour la dernière travée, il a fallu re-sélectionner à nouveau des bois sur pied pour compléter l'approvisionnement.

L'établissage sur épure

Après équarrissage, les bois sont transportés au fur et à mesure à l'atelier des charpentiers, puis stockés provisoirement, par type de pièces (chevrons, aisseliers, blochets...), dans l'attente de leur mise en œuvre.

L'atelier des charpentiers comprend une aire d'épure sur plancher de 60 m², protégée par une toiture sur poteaux, sur laquelle sont tracées les épures des structures à réaliser (**fig. 6**). Trois épures superposées furent dessinées en 2007 à la pointe à tracer, rehaussée d'une pierre ocre par la suite lors des chantiers successifs. La première représente une ferme qui va servir à l'exécution des fermes principales et secondaires. La seconde épure fut celle du plan de la travée de la chambre, représentant l'agencement des entrails, des sablières, des blochets et des poutres de rive, par un ou deux traits correspondant aux flancs des pièces. Enfin, la troisième, tracée en connexion à la première, montre en coupe longitudinale, face interne, la poutre de rive avec les jambes de force de la travée et, en coupe, les deux entrails.



Fig. 6 : Piquage des bois disposés les uns sur les autres suivant les traits de l'épure.

Ce procédé, inspiré des techniques traditionnelles de charpenterie, présente donc l'avantage de réunir sur la même aire d'épure, les tracés nécessaires au montage de toute la structure de la charpente de la première travée. Comme les quatre travées suivantes de la grande salle, toutes identiques, sont moins longues que celle de la chambre (3,70 m à l'entraxe contre 4,30 m pour la première), avec une ferme secondaire en moins, l'épure a été modifiée en partie, notamment les tracés du plan de la travée et de la poutre de rive, pour la poursuite du chantier sur la grande salle.

Dans l'état actuel des connaissances, il ne subsiste aucun témoignage sur les tracés d'épure de charpente au XIII^e siècle. En effet, ces épures étaient réalisées sur des sols provisoires qui étaient démontés après utilisation. Toutefois, les techniques utilisées ici sont traditionnelles et identiques de celles en vigueur à l'époque moderne, d'après les manuels et encyclopédies.

Avant d'être mises sur épure, chaque pièce équaree est lignée, c'est-à-dire qu'un trait axial est tracé au cordeau sur sa face interne afin de définir un axe d'assemblage qui sera commun à toutes les pièces de la ferme. Ces traits de lignage sont en effet attestés au XIII^e siècle, sous la forme de traits noirs faits au graphite ou au noir de charbon, dans l'axe des assemblages.

Les bois sont ensuite disposés sur l'épure en les superposant entre eux horizontalement à l'aide de cales, en les alignant précisément sur les tracés de l'épure à l'aide d'un fil à plomb. Dès lors, le piquage est réalisé en traçant au fil à plomb, à l'intersection des bois, des traits qui délimitent l'emplacement des assemblages à tailler. Là encore, ces piquages sont attestés au XIII^e siècle sous la forme d'incisions faites à la pointe métallique. Une fois tracés, les bois sont déposés et les assemblages peuvent dès lors être taillés. Lorsque tous les assemblages sont taillés, les bois sont assemblés sur le tracé de l'épure pour vérifier leur bon ajustement (« mise-dedans ») et les trous de chevilles sont alors percés à la tarière.

Les bois correctement assemblés sont ensuite marqués. Cela consiste à inscrire sur les bois d'une même ferme un signe identique afin de les reconnaître et éviter toute confusion au moment du réassemblage des bois lors du levage. Chaque ferme aura ainsi sa marque distinctive. Les bois sont en effet non interchangeables en raison de leur irrégularité et de la précision de taille des assemblages. Les marques utilisées ici sont des signes particuliers sans valeur numérique, identiques à ceux en usage dans la première moitié du XIII^e siècle.

Les marques ont été inscrites à la rainette lorsque ceux-ci étaient préassemblés sur l'aire d'épure. Les bois ont ensuite été démontés puis stockés par type de pièce en attente du levage de la charpente.

Toutes les opérations pour l'exécution d'une ferme secondaire, à savoir le lignage, le piquage, la taille des assemblages et la mise-dedans, 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 de l'entrait et du poinçon 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.

Le levage

L'une des principales questions portant sur les charpentes à chevrons-fermes-fermes médiévales concerne leur levage, à savoir comment les fermes sont montées au sommet d'un édifice, et plus particulièrement pour un grand monument. En l'absence de source textuelle, iconographique ou archéologique, les théories avancées proposaient différentes hypothèses, comme le levage pièce par pièce avec un montage *in situ* en haut des murs, grâce à des échafaudages complexes, ou bien le levage des fermes déjà assemblées au sol par des engins placés en haut des murs. Aucune proposition n'était réellement convaincante sur le plan technique et la question restait sans réponse.

La démarche expérimentale de Guédelon consistait à confronter des charpentiers expérimentés aux contraintes logistiques d'un chantier de grande ampleur et de voir les solutions techniques qu'ils mettaient en œuvre. Sans aucun conseil extérieur, les charpentiers ont expérimenté un procédé d'une grande simplicité qui permettait de lever toute la charpente avec une réelle efficacité en toute sécurité. Il consistait à installer un plancher de travail en haut des murs, à 30 cm au-dessous des sablières et sur la longueur de l'édifice, en appui sur un solide échafaudage (**fig. 7**). Ce plancher offre ainsi aux charpentiers un vaste espace de travail qui autorise le stockage des bois, la manutention en toute sécurité des grandes pièces, la présence de nombreux manœuvriers et surtout l'espace nécessaire au réassemblage des fermes et à leur levage successif, l'une après l'autre, à la main et à l'aide de cordes.



Fig. 7 : Réassemblage d'une ferme sur le plancher de travail.

Le montage s'opère donc par travée, suivie aussitôt après de sa mise hors d'eau par la pose de la couverture en tuiles. Les bois sont montés à la main pour les petits ou à la cage d'écureuil disposée au pied de l'édifice pour les plus gros, puis stockés par type de pièce. Pour chaque travée, le principe de montage est le même. Dans un premier temps, le carré de la travée est assemblé sur les murs avec les sablières, les deux entrails, les deux poutres de rives et les blochets, en respectant les marques d'assemblage. Vient ensuite le remontage des fermes. Chaque ferme est remontée à plat sur le plancher en respectant là aussi le marquage des bois. Les chevrons sont assemblés simultanément avec l'entrail retroussé et les assemblages sont chevillés en enfonçant les chevilles verticalement. Ce détail est important puisqu'une fois les fermes dressées, le sens d'enfoncement des chevilles indique le sens de progression du chantier. Pour les études de charpentes médiévales à chevrons-formant-fermes, les archéologues se référaient à la numérotation des marques des fermes pour retrouver le sens de progression du montage de la charpente alors que le sens d'enfoncement des chevilles est, selon ce principe de montage, bien plus fiable. En effet, quand les fermes sont numérotées de

I à XV par exemple, le montage pouvait se faire dans le sens inverse du marquage, de XV à I. Il s'agit ici d'une donnée expérimentale utile pour l'étude archéologique des charpentes médiévales.

1112fois la ferme réassemblée, une corde est accrochée en pied des chevrons, puis tendue pour les faire correspondre précisément à l'emplacement des mortaises des blochets déjà en place. La ferme est ensuite levée à la verticale à la main par une dizaine d'hommes et à l'aide de fourches et de cordage accrochée à une poulie (**fig. 8**). Quelques lattes sont alors clouées provisoirement sur la ferme et sur celles déjà levées pour les maintenir en place en attendant la fixation définitive du lattis. Les fermes sont ainsi levées les unes après les autres, travée après travée. Les jambes de force, sont alors assemblées aux fermes en place grâce à leur embrèvement aux chevrons. Là aussi, ce chantier expérimental permet de comprendre la présence de ce type d'assemblage dans les charpentes médiévales qui se justifie par une mise en place après coup sur des fermes déjà levées.



Fig. 8 : Levage d'une ferme.

La charpente fut réalisée et levée sur trois années consécutives (2008-2010) avec, pour chaque année, une exécution d'une ou deux travées au printemps-été suivi de leur levage en octobre clôturant ainsi l'année de chantier. Après chaque phase de levage, le lattis et la couverture en tuiles furent aussitôt posés sur la charpente nouvellement montée.

La première année concernait la travée de la chambre qui fut levée en partant du pignon oriental et qui fut clôturée à l'autre extrémité par une cloison provisoire de planches pour protéger la chambre des intempéries. L'année suivante fut consacrée aux deux travées suivantes sur la grande salle, après avoir mis en place le plancher de travail sur toute la superficie de la salle. Enfin, la dernière année, les deux travées restantes de la grande salle furent réalisées et posées mais selon un protocole différent. En effet, les charpentiers furent confrontés au problème de la présence du mur-pignon occidental, achevé peu avant, et donc de l'impossibilité de réassembler à plat les fermes sur le plancher de travail faute de place à

l'approche du pignon. La solution qui fut trouvée consistait à lever toutes les fermes dans l'avant dernière travée, là où il était encore possible de le faire, en les accolant les unes contre les autres pour gagner sur l'espace de levage. Une glissière fut alors mise en place sous les entrails retroussés de ces fermes, fixée sur deux poteaux et ancrée à l'extrémité dans le mur-pignon (**fig. 9**). 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 solution ingénieuse pourrait être envisagée lors de reprises de charpentes médiévales sur des cathédrales où les pignons ont été conservés.

Fig. 9 : Dispositif de la glissière pour mettre en place les fermes de la dernière travée.



Ce chantier a apporté de précieuses informations sur le temps imparti aux opérations de levage, jamais documenté. On constate que le montage de la charpente est très rapide pour une équipe d'une dizaine d'hommes composée des charpentiers et de manouvriers. Pour la travée de la chambre, l'approvisionnement, le montage des bois sur le plancher de travail et la pose du carré de la travée (sablières, entrails et poutres de rive) ont demandé deux jours de travail et le réassemblage puis le levage des 9 fermes ont nécessité une journée et demie, soit 40 minutes maximum par ferme. En tout, le levage d'une travée a réclamé à peine quatre jours de travail continu, comme pour les travées suivantes qui pour certaines ont même été rapides à monter.

Pour conclure, la chambre et la grande salle sont aujourd'hui couvertes d'une charpente voûtée apparente, dépourvue de lambris de couverture (**fig. 10**). En effet, la plupart des charpentes voûtées du XIIe au XIVe siècle étaient apparentes sur les logis, les églises et les bâtiments conventuels, même s'il existait quelques exemples isolés de lambrissage comme à

l'hôpital de Tonnerre au XIII^e siècle ou au donjon de Vincennes au XIV^e siècle⁹. Les hommes du Moyen Âge, quel que soit leur statut social, vivaient davantage dans des constructions en bois apparentes où il était habituel de voir la charpente à nue. Il faut attendre la mode de la Renaissance aux XV^e-XVI^e siècles pour que ces voûtements soient dissimulés par un lambris, quand on ne les remplaçait pas tout simplement par des plafonds. La plupart des lambris couvrant les voûtes des charpentes des XIII^e-XIV^e siècles sont effectivement datés par dendrochronologie de la fin du Moyen Âge, sans aucun réemploi de lambris ancien. Dans l'état actuel des connaissances, nous pouvons donc encore admirer le magnifique travail réalisé par les charpentiers de Guédelon et il faudra attendre 2200, si on devait respecter le calendrier du chantier, pour lambrisser les salles voûtées du logis.



Fig. 10 : Charpente à chevrons-formant-fermes de la grande salle du logis.

⁹ La commande royale atteste de circuits commerciaux d'importation de bois depuis la Baltique pour certains lambris (Chapelot Jean, " Les lambris du donjon de Vincennes (Val-de-Marne) : un rarissime témoignage du décor intérieur d'une résidence royale du XIV^e s.", *Actes des journées archéologiques d'Ile-de-France*, 30 novembre et 1^{er} décembre 2002, Institut d'art et d'archéologie, Paris, 2005, p. 57-76).