

POINT DE VUE D'ACADÉMICIENS : « POURQUOI IL EST POSSIBLE DE REFAIRE RAPIDEMENT LA CHARPENTE MÉDIÉVALE DE NOTRE-DAME DE PARIS, EN CHÊNES DU XXI^e SIÈCLE »

La toiture de la cathédrale Notre-Dame de Paris a brûlé lors d'un spectaculaire incendie le 15 avril 2019. Plusieurs membres de la section « Forêts et filière bois » de l'Académie d'agriculture ont souhaité exprimer leur avis sur la charpente de cet édifice, et sur les perspectives de sa reconstitution.

En préliminaire, ils font remarquer que la charpente a parfaitement joué son rôle de protection, résistant au feu pendant une bonne heure, ce qui a permis l'évacuation sans dommage des personnes, et même aux pompiers de sauver de précieux objets de notre patrimoine. Son remplacement à l'identique mérite donc d'être envisagé en priorité.

LES TECHNIQUES EMPLOYÉES AU XIII^e SIÈCLE SONT BIEN DOCUMENTÉES

Les historiens, en utilisant les outils de la dendrochronologie, ont percé les mystères des charpentes médiévales. Les charpentiers de l'époque, s'appuyant sur des siècles d'innovations, savaient utiliser le bois tiré des forêts françaises. Ils sélectionnaient surtout des arbres élancés et d'assez petit diamètre (25-35 cm) qui étaient plutôt jeunes (moins de 100 ans). Ils utilisaient les troncs entiers, simplement équarris et non sciés, pour garder la résistance de l'arbre, et surtout ils les mettaient en place dans la charpente rapidement après l'abattage qui se faisait en hiver. Les pièces de charpente n'étaient donc pas séchées avant l'utilisation.

Avec ces techniques appliquées au chêne, les charpentiers de l'époque ont réussi quantité de charpentes monumentales qui ont résisté durant des siècles (800 ans pour Notre-Dame de Paris). Les compagnons charpentiers d'aujourd'hui connaissent ces techniques, savent parfaitement les mettre en œuvre et sont mobilisés pour intervenir sur ce chantier prestigieux. Des études (Institut technologique FCBA-Monuments historiques) ont montré que les pièces de charpente ancienne (1 à 2 siècles) ne perdaient pas leurs propriétés de résistance mécanique avec le temps. Sauf accident majeur, dans les conditions normales d'utilisation du bâtiment, leurs propriétés de réaction et résistance au feu ne sont pas dégradées non plus. Soulignons tout de suite que le bois massif ne s'enflamme que difficilement, après avoir été chauffé à 280 °C au moins (voir ci-dessous).

IL EST TOUT À FAIT POSSIBLE DE RECONSTRUIRE UNE CHARPENTE EN CHÊNE MASSIF

Il y a plus de chênes en France aujourd'hui, sous une très grande variété d'âges et de dimensions, qu'au Moyen Âge. La quantité d'arbres, nécessaires pour refaire la charpente de Notre-Dame de Paris, ne représente qu'une goutte d'eau dans nos forêts : au maximum 2 000 m³ pour une

récolte annuelle française en 2017 d'environ 2,3 millions de m³ de grumes de chêne destinées au sciage. Le bois de chêne est un produit 100 % naturel, que produisent des forêts gérées durablement et certifiées comme telles. Issu des terroirs français, et des techniques sylvicoles perfectionnées au fil des siècles par les forestiers français, il est mobilisable en circuit court. De plus, chaque mètre cube de bois produit résulte du prélèvement dans l'atmosphère d'une tonne de CO₂⁽¹⁾.

Les forestiers sont mobilisés et les chênes nécessaires peuvent être coupés dès cet hiver 2019-2020 et livrés avant le printemps 2020. Avec les outils modernes comme le lidar (mesure laser très précise de la géométrie), le scanner à rayons X (image de la structure interne des troncs, en particulier la densité du bois), l'analyse mécanique dynamique (DMA) et la spectrométrie proche infrarouge (richesse en tannin du bois de chêne), il est de nos jours possible de sélectionner des pièces de charpente de très bonne qualité mécanique et très résistantes aux insectes et aux champignons.

Les milliers de charpentiers qui font partie des métiers d'art recensés en France⁽²⁾ perpétuent et perfectionnent les savoirs et savoir-faire des charpentiers du Moyen Âge. Mobiliser leurs compétences sur le chantier de la charpente de Notre-Dame de Paris, en associant le plus possible de jeunes en apprentissage, est le meilleur soutien que l'on puisse donner à la reconnaissance de leur métier.

La charpente de Notre-Dame de Paris avait été entièrement numérisée en trois dimensions. On a donc les plans complets pour reconstruire, et les bureaux d'ingénierie bois construction français, compétents dans les outils numériques d'aide à la conception, sont prêts à aider les compagnons charpentiers.

LE CHÊNE MASSIF EST SUPÉRIEUR À D'AUTRES SOLUTIONS ENVISAGEABLES

D'autres solutions que le chêne massif sont envisageables, mais aucune ne présenterait autant d'avantages :

- d'autres bois autochtones que le chêne, moins riches en tannins, n'offriraient pas une aussi bonne durabilité sur le long terme ;
- d'autres matériaux que le bois n'offriraient pas une aussi bonne sécurité incendie ; l'acier, par exemple, perd sa résistance mécanique en moins de dix minutes sous un chauffage à 600 °C ;
- d'autres techniques que la charpente bois ne présenteraient pas l'avantage de pouvoir être appliquées sans étude préalable approfondie (répartition des charges en particulier).

Le chêne massif de la charpente de la cathédrale Notre-Dame de Paris a, tant pour des raisons spirituelles que nationales, une valeur symbolique.

Si l'on souhaitait pourtant innover raisonnablement dans la reconstruction de certaines parties de cette charpente, tant en matière de portée, que de résistance au feu et de légèreté, le recours partiel à du lamellé collé de chêne⁽³⁾, et à des assemblages innovants (broches métalliques noyées dans le bois pour les préserver de la fonte en cas de feu, redonnant l'aspect des assemblages « à tenon et mortaise ») allierait tradition et innovation. Cette solution respecterait parfaitement les normes et règlements de sécurité en vigueur.

Il n'y a donc, au total, pas de raisons techniques, ni écologiques, ni économiques pour ne pas refaire une charpente en chêne massif aujourd'hui. Tous les clignotants sont au vert pour tenir

(1) Une tonne de bois de chêne contient environ 400 kg de carbone.

(2) Les entreprises habilitées à intervenir sur les monuments historiques doivent être titulaires d'une qualification nationale Qualibat. La majorité sont membres du Groupement français des entreprises de restauration de monuments historiques (GMH).

(3) Comme il a été expérimenté pour le projet de la tour de la terre de 200 mètres de haut, non réalisé.

les délais, à un coût raisonnable. Les décideurs politiques doivent peser l'ensemble des arguments techniques et sociétaux pour faire le bon choix.

UNE NÉCESSITÉ : MIEUX PROTÉGER LES CHARPENTES DE NOS MONUMENTS CONTRE L'INCENDIE

La très grande majorité des charpentes monumentales de notre patrimoine sont faites en chêne, avec des pièces de forte section. Le chêne sec à l'air de ces charpentes est un bon combustible, c'est-à-dire qu'il peut brûler, mais en réalité il ne brûle pas si facilement comme en attestent les très longues durées de vie des charpentes.

Pour amorcer la combustion autonome d'une poutre en chêne, il faut apporter une grande quantité de chaleur, à des températures supérieures à 280 °C, pendant un temps suffisamment long (10 minutes environ). Le bois qui a commencé sa combustion autonome va ensuite apporter la quantité de chaleur nécessaire pour enflammer progressivement le reste de la charpente.

Dans les épisodes récents de feux de charpentes monumentales, le démarrage de l'incendie est quasiment toujours associé à des travaux dans le voisinage de la charpente. Cela signifie que ces travaux sont capables d'apporter localement de grandes quantités de chaleur, par exemple par accumulation de combustible facile à enflammer (y compris du bois en petites sections) et d'amorces de feu (dont les étincelles électriques). La répétition des accidents liés aux travaux prouve que les règles de sécurité en vigueur ne sont pas adaptées aux situations des monuments. Il faut éviter qu'une grande quantité de chaleur puisse se développer au voisinage immédiat des pièces de charpente sans être immédiatement détectée.

Ce problème ressemble beaucoup aux départs de feux de forêt. Des progrès considérables ont été faits quant à la physique de ces feux, et il faut en tirer parti pour les monuments. En utilisant ces connaissances et les développements très rapides des moyens de surveillance (caméras thermiques, intelligence artificielle) et d'intervention précoce (robots extincteurs) appuyant les services de lutte contre l'incendie, il est possible d'établir rapidement des règles de sécurité mieux adaptées. Généralisées, ces règles de prévention permettraient au drame de Notre-Dame de Paris de déboucher sur des progrès bénéficiant à l'ensemble de notre patrimoine historique bâti posédant des structures en bois.

L'expertise des membres de l'Académie d'agriculture – section « Forêts et filière bois » – est à disposition.

Les signataires du présent avis se déclarent disponibles pour apporter leur expertise au chantier de la reconstruction de Notre-Dame de Paris.

Signataires de l'avis (30 avril 2019) :

Sylvie ALEXANDRE, Yves BIROT, Joseph BUONGIORNO, Andrée CORVOL, Xavier DEGLISE, Robert FLIES, Georges – Henri FLORENTIN, Meriem FOURNIER, Marc GIZARD, Jérôme GRASSIN, Joseph GRIL, Jean-Marc GUEHL, Jean-Claude GUÉRIN, Daniel GUINARD, Marc HANNEWINKEL, Jean-Yves HENRY, François HOULLIER, Claire HUBERT, Hervé JACTEL, Myriam LEGAY, Yves LESGOURGUES, Frits MOHREN, Patrick OLLIVIER, Jean-Luc PEYRON, Henri PLAUCHE-GILLON, Christopher PRINS, Bernard ROMAN-AMAT, Jacques STURM, Gérard TENDRON, Bernard THIBAUT, Jacques VALEIX, Michel VERNOIS.

NB : Un *point de vue* d'académicien engage ses seuls auteurs ; un *avis* de l'Académie engage l'ensemble de la Compagnie (ce qui suppose une longue phase de préparation).

QUELQUES RÉFÉRENCES

- ACADÉMIE D'AGRICULTURE DE FRANCE. *La Forêt et le bois en France en 100 questions*. [En ligne] disponible sur : <https://www.academie-foret-bois.fr/>
- ALIX C., ÉPAUD P., 2013. *La Construction en pan de bois au Moyen Âge et à la Renaissance*. PUF, Coédition Presses universitaires de Rennes. 450 p.
- Charte internationale sur la conservation et la restauration des monuments et des sites, dite « Charte de Venise » : approuvée par le II^e Congrès international des architectes et des techniciens des monuments historiques, réuni à Venise du 25 au 31 mai 1964.
- DEGLISE X., VERNIS M., 2015. *La combustion du bois contribue-t-elle à la pollution de l'air ?* Rapport Académie d'Agriculture. [En ligne] disponible sur : <https://www.academie-agriculture.fr/sites/default/files/agenda/rapporturlapollutiondelacombustiondubois.pdf>
- EPAUD F., 2017. *La Charpente de la cathédrale de Bourges. De la forêt au chantier*. Presses universitaires de France. 208 p.
- FCBA - l'Institut Technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement. Site internet : <https://www.fcba.fr/content/presentation-fcba>
- HENNIN ET NORMIER architectes, FCBA, CSTB. *Projet de Tour de la Terre 2000*. [En ligne] disponible sur : https://www.charpente-concept.com/fr/realisations/concours-et-projets/_realisation/tour-de-la-terre#!
- INSTITUT NATIONAL DE L'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE ET FORESTIÈRE (IGN). *Résultats de l'Inventaire forestier national*. [En ligne] disponible sur : <https://inventaire-forestier.ign.fr>
- MASSON D., 2001. Chapitre 9 : Comportement et Protection du Bois au feu. In : *Durabilité des bois* / D. Dirol et X. Deglise éditeurs. Hermès Science Publications. ISBN 2-7462-0139-9.
- MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE. Enquête annuelle de branche. [En ligne] disponible sur : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/enquetes/forets-bois-et-derives/recolte-de-bois-et-production-de/>
- Norme « Charpente et escaliers en bois » : NF DTU 31.1
- Norme EUROCODE 5. *Calcul des structures en bois*. NF EN 1995. [En ligne] disponible sur : <http://eurocodes.fr/fr/eurocode5.html>
- Société des compagnons charpentiers du devoir du tour de France. Site internet : <http://compagnonsdutourde-france.org/pages/les-societes-compagnonniques>.