GLULAM HANDBOOK FRANCE

MANUEL DU BOIS LAMELLÉ
VOL. 1

Adaptation française du

GLULAM HAND BOOK

MANUEL DU BOIS LAMELLÉ

Volume 1

Présentation d'un matériau du XXI^{ème} siècle

MANUEL DU BOIS LAMELLE – EDITION 2018

Cet ouvrage, adaptation française du Glulam handbook, a été réalisé dans le cadre de la campagne « Bois Lamellé dans la Ville » avec le soutien de SNBL, SWEDISH WOOD, CODIFAB, ACERBOIS

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION 7

Intelligence constructive 7

Forces du Bois lamellé 9

CHAPITRE 1 : HISTOIRE ET DEVELOPPEMENT DU BOIS LAMELLE 11

1.1. L'invention de la lamellation : 16ème siècle, en France 11

1.2. 18 et 19ème siècle : expérimentations européennes 13

1.2.1. 18ème siècle : déclinaison du procédé en Europe 13

1.2.2. Tournant du 19ème siècle : la longueur de portée 14

1.3. 20ème siècle : industrialisation du bois lamellé collé 15

1.3.1. Innovation et industrialisation en Allemagne : Otto Hetzer 15

1.3.2. De nouvelles perspectives 16

1.3.3. Étape charnière : 1910, Exposition Universelle 16

1.3.4. Outil industriel : le tournant numérique 17

1.4. Diffusion en europe 18

1.4.1. Suisse et Pays-Bas 18

1.4.2. Suède, Norvège et Finlande 19

1.4.3. Au-delà de l'Europe… vers les États-Unis 22

1.4.4. Panorama et bilan 23

1.5. Le bois lamellé en france 23

1.5.1. Du charpentier à l'industriel 23

1.5.2. Les Trente Glorieuses : le marché tire l'industrie 25

1.5.3. Les précurseurs 27

1.5.4. Une industrie, des outils de développement 28

CHAPITRE 2 : ARCHITECTURE UNE SINGULARITE FRANÇAISE 31

2.1. Matière à architectures 32
2.1.1. Équipement de la ville et des territoires 33
2.1.2. Immeubles de bureaux et logement 36
2.1.3. Bâtiments d'activité : industrie, logistique, commerce 40

CHAPITRE 3 : CARACTÉRISTIQUES DU BOIS LAMELLE 45

3.1. Le bois lamellé et l'environnement 45
3.1.1. Caractéristiques environnementales : ACV et FDES 45
3.1.2. Bois renouvelable et gestion de la ressource 46
3.1.3. Fabrication respectueuse de l'environnement 47
3.1.4. Bilan carbone 47
3.1.5. Qualités sanitaires 48

3.2. Réglementation, certification et contrôles 50
3.2.1. Règlement Produit de Construction et DoP 50
3.2.2. Marquage CE 50
3.2.3. Contrôle de la production en usine 51
3.2.4. Certification ACERBOIS-Glulam 51

3.3. Propriétés 52
3.3.1. Essences de bois 52
3.3.2. Adhésifs 52
3.3.3. Qualité d'aspect 54
3.3.4. Dimensions et formes des éléments 55
3.3.5. Forme des ouvrages et systèmes constructifs 56
3.3.6. Propriétés physiques 57
3.3.7. Caractéristiques de résistance mécanique 57
3.3.8. Qualités thermiques 57
3.3.9. Teneur en humidité et stabilité aux variations de température et d'humidité 58
3.3.10. Sécurité incendie et résistance au feu 58
3.3.11. Durabilité : résistance au temps et aux ambiances agressives 59

3.4. Éléments en bois lamellé 60
3.4.1. Produits sur gamme 60
3.4.2. Éléments en bois lamellé produits à façon 64
3.4.3. Protection pendant le transport 68
3.4.4. Montage 68

CHAPITRE 4 : CONCEPTION 71

4.1. Work in progress... 71

POSTFACE 72
Mises à jour du manuel du bois lamellé 72
Textes de référence et bibliographie 73
Références normatives 73
Quelques références complémentaires 73
En savoir plus 74
Contributeurs au Glulam Handbook Version originale - 2013 74
Contributeurs au Manuel du Bois Lamellé Version française adaptée du Glulam handbook - 2018 75

INTRODUCTION

INTELLIGENCE CONSTRUCTIVE

Le bois lamellé est un matériau de structure, composé à 97 % de bois massif. Inventé au tout début du 20ème siècle, ce matériau est imaginé, conceptualisé et expérimenté dès le 16ème siècle… en France. Résulte de cette longue histoire, une solution constructive exceptionnellement performante, qui cumule responsabilité écologique et prouesses techniques. Le bois lamellé s'impose aujourd'hui comme une solution structurelle d'avenir, dont les tenants et les aboutissants historiques, architecturaux, techniques et pratiques sont présentés dans les différents volumes de cet ouvrage.

Exposition Universelle Milan 2015, Pavillon France, en bois lamellé. Architecte : X-TU. Photo : Andrea Bosio

Jeune héritier d'une charpenterie millénaire, réputée méticuleuse, imaginative et passionnée, le bois lamellé jouit déjà de plus d'un siècle de recul et d'expérience. Cent années de construction qui viennent prouver l'intelligence de cette solution, qui décuple

les dons naturels du bois et permet à la matière de dépasser les limites que la nature lui avait octroyées.

Car le bois lamellé, mieux que de s'adapter à son époque, a toujours été un matériau précurseur, dessinant les prémices de ce que l'avenir de la construction pourrait être. A n'en pas douter, cet avenir sera respectueux, responsable, conscient et néanmoins léger, créatif, inventif… intelligent.

Matériau renouvelable, naturel, économe en énergie, le bois lamellé est une solution structurelle couramment utilisée par les nouveaux concepteurs et notablement appréciée pour ses qualités esthétiques, ses prouesses techniques et sa cohérence écologique.

Les réalisations érigées depuis un siècle partout dans le monde, en Europe et plus particulièrement en France, viennent démontrer la durabilité et la pérennité de cette solution.

Montage d'une structure en bois lamellé

ATOUTS DU BOIS LAMELLE

- **Durabilité** : utilisation de bois issus de forêts gérées durablement pour contribuer à la préservation et au renouvellement du patrimoine forestier
- **Environnement** : renouvelable, réutilisable, recyclable
- **Performance** : optimisation des caractéristiques mécaniques du bois
- **Productivité** : utilisation efficace de la matière grâce au processus de fabrication
- **Fabrication de précision** : process industrialisé
- **Economie de ressources** : fabrication économe en énergie
- **Grandes dimensions** : aboutage de lamelles
- **Créativité architecturale** : possibilités techniques infinies et grande liberté de formes
- **Stabilité :** le bois lamellé ne se déforme pas au cours du temps
- **Légèreté et solidité :** capacité de franchissement de grandes portées
- **Ambiances agressives :** exceptionnelle résistance du bois lamellé
- **Feu :** très grande résistance au feu, prévisible et maîtrisable
- **Surpasser la nature :** plus grand, plus résistant, plus rigide que le bois massif
- **Solution universelle :** du bâtiment résidentiel au pont en passant par la charpente de toiture, le bois lamellé apporte une réponse rationnelle

Piscine de Mantes la Jolie. Architectes : Caroline Barat et Thomas Dubuisson (agence SEARCH). Photo : Michel Denancé.

CHAPITRE 1

1. HISTOIRE ET DEVELOPPEMENT DU BOIS LAMELLE

Le bois lamellé est un matériau hors du commun, qui a nourri le monde de la construction comme celui de l'architecture au fur et à mesure de son développement. L'histoire de ce matériau est pétrie d'évolutions, de progrès et d'hommes de génie qui, depuis le XVI^{ème} siècle, ont contribué à développer une solution constructive à la hauteur des enjeux du XXI^{ème} siècle.

1.1. L'INVENTION DE LA LAMELLATION : 16EME SIECLE, EN FRANCE

Si l'on retrouve des traces du procédé propre au bois lamellé dès le 12ème siècle au Japon, c'est à l'architecte français Philibert De l'Orme (conseiller du roi Henri II et responsable des chantiers royaux) que l'on doit les prémices du bois lamellé en Europe. A la fois spécialiste de la pierre et de la charpente marine, il est le premier à avoir eu l'idée, en 1548, de faire avec du bois ce que, jusqu'alors, on ne faisait qu'avec de la pierre : des charpentes en voutes. Cette forme en arc permettait d'obtenir en tout point de la pièce des sections presque totalement comprimées, autorisant le franchissement de grandes portées. Il invente alors une nouvelle forme de charpente, « à l'impériale », en courbe et contre-courbe. Un type d'ouvrage que l'on retrouve aujourd'hui encore sur certains bâtiments, notamment en Lozère. Ces charpentes en arches sont composées de courtes sections de bois, solidarisées entre elles par un clavetage en bois, afin de réaliser des fermes cintrées. Le procédé de la lamellation était né.

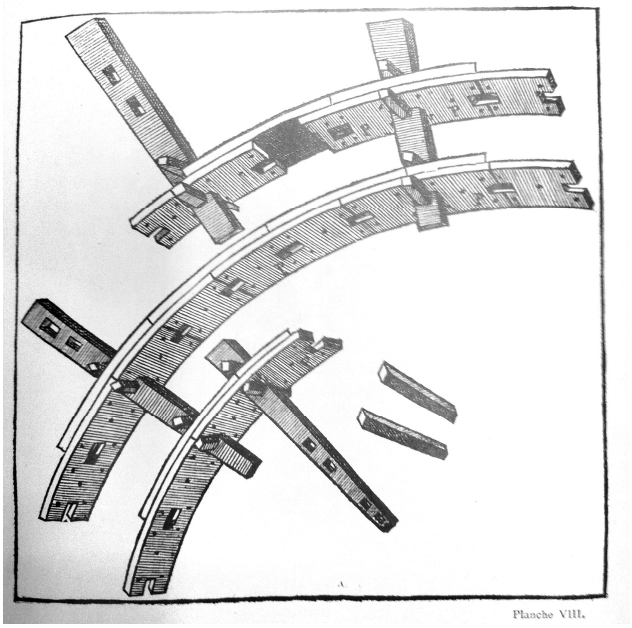


Schéma descriptif réalisé par Philibert de l'Orme et publié dans Les Nouvelles Inventions, en 1561.

Dans le traité qu'il publia en 1561 ***« Nouvelles inventions pour bien bâtir et à petits frais »***, Philibert De l'Orme présente cette technique nouvelle qui consiste à remplacer poutres et solives par des assemblages de petites pièces constituant des structures porteuses. Il souligne en outre de nombreux avantages : pallier la rareté des grands arbres, dégager les combles en éliminant tous les éléments traditionnels qui occupent l'espace dans les charpentes habituelles, faciliter l'entretien car il est plus aisé et moins coûteux de remplacer un petit élément défaillant que de refaire toute une toiture, ce qui accroît la longévité de l'édifice. En outre, ce système d'assemblage fondé sur l'addition de pièces standardisées permet selon l'auteur de couvrir des portées inimaginables avec les procédés ordinaires limités par la taille des poutres. Ainsi De l'Orme évoque-t-il la possibilité de jeter de grands ponts d'une seule arche longue de près de 400 mètres. Visionnaire.

L'architecte fait allusion à plusieurs bâtiments qu'il a couverts grâce à sa technique dans les chantiers royaux, au château d'Anet, à Fontainebleau, au Pavillon de La Muette de Saint-Germain en Laye. Tous ont aujourd'hui disparu ; en revanche, la charpente en berceau de la caserne de Rochambeau à Mont-Dauphin, bien que construite entre le 17ème et le 19ème siècle, reprend fidèlement le procédé inventé par De l'Orme et témoigne aujourd'hui encore d'un génie qui a su s'étendre et évoluer, en France, en Europe et bien au-delà.

La caserne de Rochambeau, conçue au 17ème siècle par Vauban, dispose aujourd'hui encore de sa charpente « à la Philibert de l'Orme », réalisée au 19ème. Elle s'étend sur 230 mètres et est constituée de 430 arcs de bois lamellé.

Il y a 5 siècles, Philibert de l'Orme rédigeait ce plaidoyer pour convaincre ceux qui, à l'époque ne s'appelaient pas encore « prescripteurs », mais architectes et maîtres maçons, de promouvoir cette innovation :

« Ainsi que se pourra faire par cette invention, qui ne sera pas seulement profitable à ceux qui font bâtir, mais aussi à vous tous, pour avoir la commodité de faire plus pour cent écus que ne pourriez autrement pour trois cents. Par ce moyen, vous gagnerez plus que vous ne faites, avec ce qu'il ne vous faudra tant d'engins et cordages, ne si grandes voitures comme vous aviez accoutumé, qui vous sera une grande épargne. Et, par la façon que je vous écris, pourrez entendre cette nouvelle invention si familièrement que vous en pourrez faire beaucoup de services aux seigneurs. Vous avisant que ceux qui auront bon esprits trouveront encore d'eux-mêmes autres façons, ainsi comme j'en pense une infinité de sortes, voire plus que je n'en saurais écrire (…)

« Et vous veux avertir que quand je fus résolu et assuré de telle invention, je la laissais sans en oser parler, craignant ce que j'en ai vu depuis. Car on ne la pouvait croire, semblant être chose impossible, même aux ouvriers à qui je faisais faire les couvertures du château de La Muette à Saint-Germain-en-Laye, ayant dix toises de large dedans œuvre, qui ne l'ont pu croire bonne jusques à ce que ledit château a été parfait, et lors qu'ils ont vu l'expérience, ne la pouvaient quasi assez louer. »

Nouvelles Inventions pour bien bâtir à petits frais, Philibert De l'Orme, 1561

Rationalité économique, prouesse technologique, gestion du patrimoine forestier, facilité de transport, capacité d'évolution de l'innovation et étonnante longueur de portée… Les arguments, à l'image de l'innovation qu'ils portent, sont si solides et pérennes qu'ils ont traversé le temps.

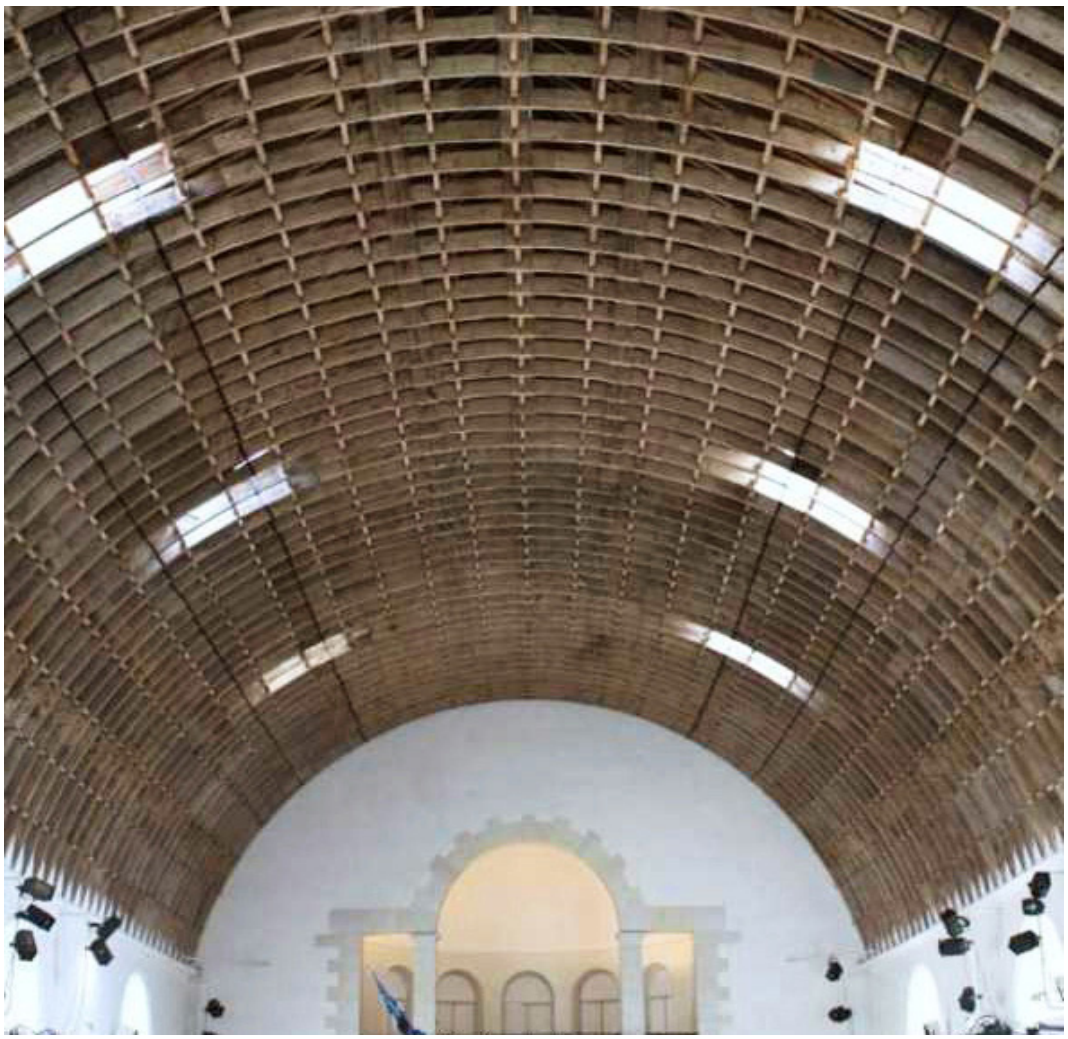
* Sources : « Un siècle de charpente lamellée collée », Compagnons du Devoir Institut de la Charpente - Etats généraux du bois 2007 ; « Nouvelles Inventions pour bien bâtir », Ph. De l'Orme, 1561 ; Article rédigé par Yves Pauwels (CERS, Tours) – 2005.

1.2. 18 ET 19EME SIECLE : EXPERIMENTATIONS EUROPEENNES

1.2.1. 18ème siècle : déclinaison du procédé en Europe

Dès la fin du 18ème siècle, les militaires s'inspirent de Philibert De l'Orme pour la construction de manèges et casernes. Les méthodes d'assemblage des « planches » varient, expérimentant différentes solutions dont on retrouve des traces à Mont-Dauphin (assemblage par clavette en bois), au manège d'Arras (assemblage par boulons) ou encore au manège de Saint-Germain-en-Laye (assemblage par clous).

La Suisse, réputée pour la qualité de ses ponts en bois (mieux protégés qu'ailleurs), se distingue une fois encore avec les charpentiers Hans-Ulrich et Jean Grubenmann qui réalisent à Wettingen, entre 1764 et 1766, le pont présentant la plus grande portée au monde (110 mètres furent évoqués à l'époque, mais des études semblent prouver qu'il ne pouvait excéder 60 mètres de portée libre). Composé d'arcs en madriers, assemblés les uns aux autres par des pendillards moisants, une prouesse… incendiée en 1799 par l'armée française.



Le Manège Royal de Saint Germain-en-Laye, édifié au tout début du 19ème siècle, bénéficie d'une charpente en arcs de bois lamellé assemblés par clous ; classé Monument Historique depuis 1993. Photo : Patrimoine de France.

1.2.2. Tournant du 19ème siècle : la longueur de portée

En France, le Colonel Émy marqua l'histoire en réalisant la synthèse de ces avancées et en œuvrant à augmenter la portée des arcs. Sa solution : l'empilement de planches disposées horizontalement et cintrées perpendiculairement à leur plan ; les joints sont décalés. Ces planches sont serrées par des liens moisants, alternés avec boulons et colliers en acier. Un procédé qui fut appliqué au manège de Libourne en 1821 et à celui de Bayonne en 1826 avec des portées de 21 mètres.

Deux autres étapes majeures, moins connues, furent franchies au cours du siècle : en Allemagne et en Grande-Bretagne. En Allemagne, Carl Friedrich Von Wiebeking fit construire, lors de la première moitié du siècle, un pont à Altenmarkt, réalisé à partir d'arcs en bois. Pour la première fois, il est fait usage d'une liaison des lamelles par collage après que les lamelles aient été chauffées au feu de charbon. L'ouvrage a été largement étudié et commenté par le Colonel Émy (dans son ***Traité de l'Art de la Charpenterie***) qui lui reproche de longs bois, coûteux et difficiles à trouver. En Grande-Bretagne, la halle de réunion du Collège du Roi Edward à Southampton, construite en 1860 nous rapproche encore un peu plus de la charpente en bois lamellé, telle que nous la connaissons aujourd'hui : il est le premier ouvrage connu ayant mis en œuvre des arcs en bois lamellé dont les lamelles sont assemblées par collage. Mais il faudra attendre un demi-siècle pour que cette initiative, demeurée quasi confidentielle, soit consolidée et développée…

Salle de réunion du Collège du Roi Edward à Southampton, construite en 1860. Les arcs, « à la colonel Emy », sont les premiers connus à faire usage de colle : les lamelles sont assemblées avec une colle à la caséine.

1.3. 20ème SIECLE : INDUSTRIALISATION DU BOIS LAMELLE COLLE

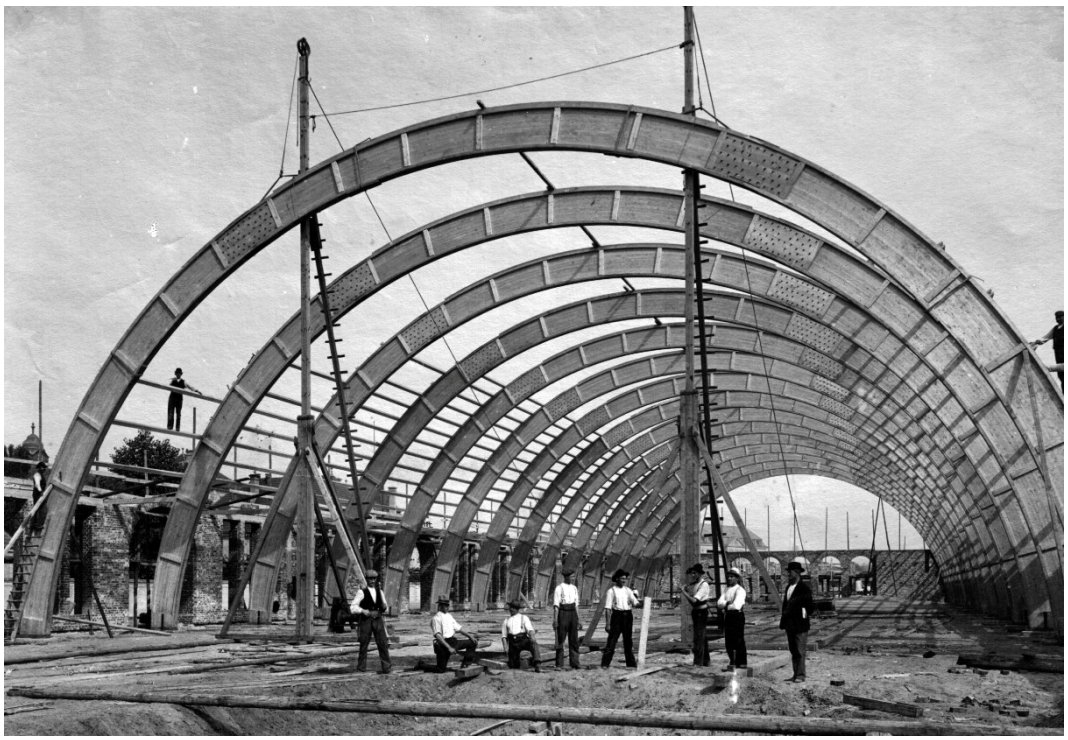
1.3.1. Innovation et industrialisation en Allemagne : Otto Hetzer

C'est à l'aube du 20ème siècle que le bois lamellé tel que nous le connaissons actuellement fait son apparition, en Allemagne. Reprenant le « système Émy », Otto Hetzer, maître charpentier à Weimar, mit à profit les avancées de la chimie moderne en remplaçant les assemblages par boulons et colliers par de la colle.

Les lamelles enduites de colle étaient placées les unes sur les autres et pressées ensemble à l'aide de presses à vis. La recette de la colle d'Hetzer fut tenue secrète jusque dans les années 50. Mais nous savons aujourd'hui qu'il s'agissait d'une colle à la caséine, fabriquée à partir de lait. Cette colle n'était pas étanche, mais résistante à l'humidité. Elle ne satisferait pas les exigences actuelles, mais les premières structures porteuses en bois lamellé, telles que le hall principal de la gare centrale de Stockholm, remplissent encore très bien leur rôle.

Hetzer, qui possédait une scierie, était un charpentier expérimenté et un ingénieur en structure talentueux. Il a créé une entreprise, l'Otto Hetzer Holzpflege und Holzbearbeitungs AG, dans le cadre de laquelle il a développé de nouveaux éléments en bois et démontré qu'il était possible de laminer industriellement des poutres et des arcs. Invention pour laquelle il obtint un brevet en juin 1906 pour l'Allemagne, en octobre 1906 pour la France et en juin 1907 pour la Suisse.

Désormais le charpentier possédait un matériau qui le libérait de la dimension de l'arbre, de sa forme, tout en améliorant les performances mécaniques par l'utilisation de lamelles de faibles épaisseurs (15 à 45 mm) exemptes de gros défauts.



Charpente en arcs bois lamellé, début du XXème siècle

1.3.2. De nouvelles perspectives

L'intérêt de cette technique est aussi celui que Philibert de l'Orme avait identifié en son temps : elle permet de ne pas tenir compte de la dimension des arbres pour construire des structures porteuses et de fabriquer des éléments de différentes formes, notamment cintrée. L'idée entre cependant avec Hetzer dans une ère industrielle.

La lamination industrialisée des planches va de pair avec une autre avancée : maîtriser la qualité et les défauts du bois. Un bois peut être utilisé pour différentes parties d'éléments en fonction de ses caractéristiques. Ceci permet d'améliorer considérablement les caractéristiques mécaniques (notamment, en traction et compression) et d'optimiser les bois. Hetzer combinait ainsi différentes essences de bois. Le hêtre, qui résiste mieux à la compression, pouvait être utilisé dans la zone de compression de l'élément mixte et l'épicéa, dans la zone de traction. Les lamelles extérieures, davantage soumises aux contraintes, devaient être non jointées ; celles qui étaient moins exposées pouvaient avoir des joints bout à bout convenablement espacés. L'épaisseur des lamelles était déterminée en fonction du rayon de courbure requis.

Soucieux de valoriser la matière et d'adapter les formes des poutres à la stricte nécessité mécanique, il réalisera le plus souvent des poutres composées en I à inertie variable. Des essais réalisés à l'époque, à Berlin et Dresde, démontraient déjà qu'il était possible d'exercer des forces plus importantes sur les poutres en bois lamellé que sur le même type de poutre en bois de sciage.

1.3.3. Étape charnière : 1910, Exposition Universelle

Un tournant décisif dans l'histoire du bois lamellé s'est produit au moment de l'Exposition Universelle de Bruxelles de 1910, avec la construction d'un hall à la hauteur de l'événement. Cet ouvrage se distinguait par des proportions hors du commun, que le bois lamellé a permis de concrétiser. Les arcs qui constituaient sa structure présentaient

une portée de 43 mètres ; les sections transversales mesuraient près de 3 mètres de haut et 30 cm de large. La traction admise pour les poutres était de 136 kg/cm^2 (13,6 N/mm^2) : une valeur équivalente aux exigences actuelles. Cette réalisation, profitant de la visibilité offerte par l'Exposition Universelle, a évidemment largement contribué à la promotion de cette solution constructive innovante.

Cette réalisation a été le point de départ d'un constat : le bois lamellé offre une solution techniquement rationnelle et économiquement compétitive pour les structures de bâtiments de grande taille. C'est ainsi qu'Otto Hetzer a concentré ses efforts sur les édifices à grande portée tels les gares et les hangars d'aéronefs.

Le bois se comportait mieux que l'acier dans les milieux agressifs et, comme les structures en bois lamellé sortaient de l'usine sèches et prêtes être montées, le chantier n'en était que plus rapide. Entre 1906 et 1910, Otto Hetzer construisit une cinquantaine de charpentes à relativement grande portée. Quelques années plus tard, le premier de quatre hangars d'aéronefs est exporté au Chili. De 1908 à 1925, plus de 20 entreprises de différents pays ont acheté les droits d'exploitation du brevet d'Hetzer.

La société Hetzer, de son côté, prospéra, mais ne pu faire face à la crise économique qui succéda à la première guerre mondiale. La société fut liquidée en 1926. La diffusion de cette technologie nouvelle se déroula alors avec ceux qui avaient acquis la licence d'exploitation.

1.3.4. Outil industriel : le tournant numérique

Le XX^{ème} siècle aura également été le siècle des prémices de la robotisation. Et l'industrie du bois, qui plus est du bois lamellé, a bénéficié de cette robotisation industrielle. En l'occurrence, ce sont les machines à commandes numériques qui ont offert au bois lamellé un degré de précision et de constance exceptionnels. Ces machines à commandes numériques ont amorcé un développement dès 1942. En France, l'industrie du bois s'empare de cette technologie à compter de 1995.

Jusqu'alors, l'usinage des grandes pièces s'effectuait, en général, manuellement et par petites séries. L'arrivée de ces machines a ainsi permis de réaliser des formes complexes à de plus grande cadence, avec une précision sans faille. Une révolution qui a induit un repositionnement des industriels et le développement de nouveaux process : systèmes de contrôle, logiciels de dernière génération (CAO, FAO, 3D) et ingénierie de la conception se sont déployés… Ces centres d'usinage ont, de fait, poussé la profession vers une nouvelle ère « High-tech », où la conception, le calcul et la modélisation sont en lien direct avec la fabrication, grâce à la numérisation des données.

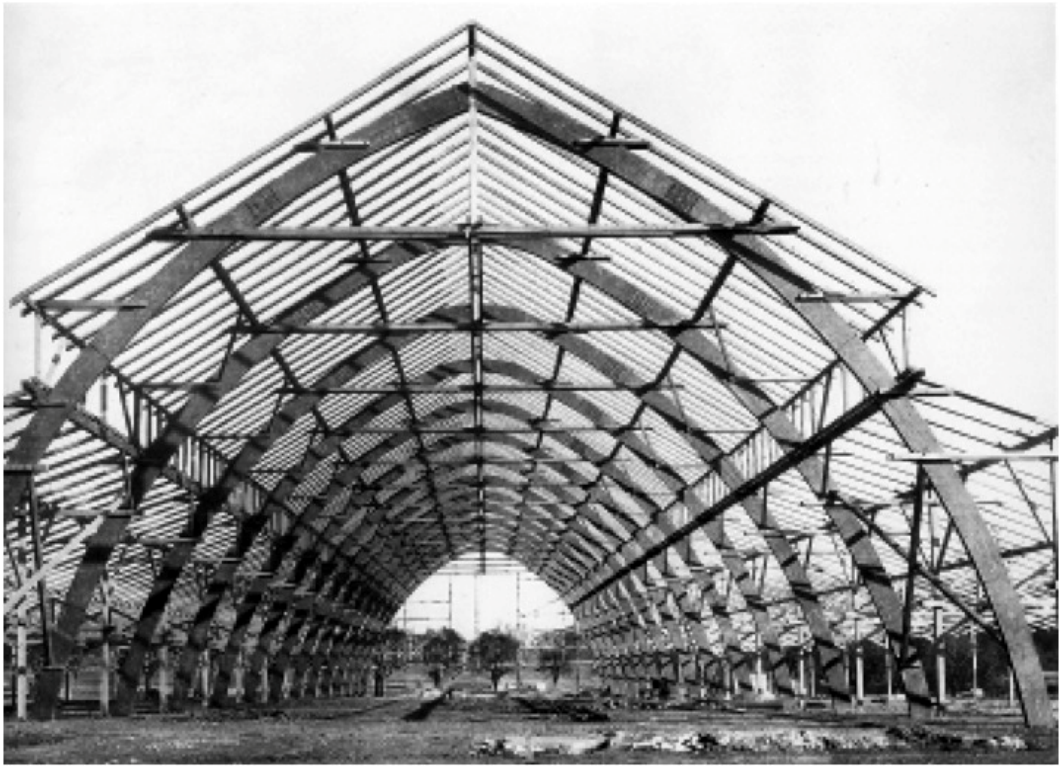
Le premier jalon était posé et a octroyé au bois une longueur d'avance, que l'on constate aujourd'hui avec l'arrivée du BIM.

CAO couplée aux machines à commande numérique : le bois lamellé passe à l'ère digitale bien avant l'heure du BIM

1.4. DIFFUSION EN EUROPE

1.4.1. Suisse et Pays-Bas

En Suisse, la licence fut acquise dès 1910, par les mêmes ingénieurs qui avaient réalisé les premiers essais de résistance mécanique : Terner et Chopard. Une société est ainsi créée : la Schweizerische AG fur Hetzersche Holzbauweise. Dès 1912, l'entreprise réalise à Berne un dépôt de locomotives de 7 200 m^2 de surface. De nombreuses autres réalisations suivent, plus particulièrement dans le Nord de la Suisse, germanophone.



Hangar réalisé en Suisse en 1924. Les arcs présentent une portée de 28 mètres

Aux Pays-Bas, la société Nemaho, s'est acquis dès 1921 la collaboration d'une partie du personnel et des compétences de la société Hetzer. Cette même année Nemaho réalise à Amsterdam un hall d'exposition de 30 mètres de portée. A partir de 1935, Nemaho construit dans le monde entier des ouvrages d'envergure, comme par exemple à Barranquilla en Colombie, avec un bâtiment présentant 68 mètres de portée érigé en 1952. La société a également participé à la création d'entreprises en France, en Grande-Bretagne et en Afrique du Sud. La société a cessé son activité en 2009, mais d'autres entreprises spécialisées dans le bois lamellé ont pris sa suite et poursuivi le développement du marché aux Pays-Bas.

1.4.2. Suède, Norvège et Finlande

La technique de construction en bois de structure d'Hetzer est arrivée relativement tôt en **Norvège**. Guttorm Brekke (qui obtient également le droit d'exploitation de la colle développée par Hetzer) démarre la production en 1918 avec la société AS Trekonstruktioner Kristiania (ancien nom d'Oslo). Entre les années 1950 et 1960, la société devient l'une des plus importantes entreprises norvégiennes du secteur du bois et prend le nom de Moelven. Moelven Industrier AS a bénéficié d'une importante publicité lors de la construction pour les Jeux olympiques d'hiver de 1994, des structures des salles de sport de Lillehammer et Hamar. Dans le cas des constructions à ossature avancée, les forces appliquées aux assemblages sont transférées à l'aide de goujons en acier et de plaques métalliques en âme. Cette technique tire son origine d'un système développé par le Suisse Hermann Blumer, appelé « système BSB ». La société Moelven a travaillé sur un système similaire, en développant sa propre variante. Aujourd'hui, Moelven est un acteur majeur dans le monde de la construction bois et du bois d'ingénierie. On lui doit, entre autres, l'immeuble Treet à Bergen qui, jusqu'en 2016, est l'immeuble à structure bois (bois lamellé et CLT) le plus haut du monde avec 14 étages.

Cloître cistercien de Tautra (Norvège), construit en 2006. Architecte : Jensen & Skodvin.

En 1919 la société norvégienne AS Trekonstruktioner ouvre une filiale en **Suède**. Le premier bâtiment en bois lamellé de Suède est un bâtiment industriel, comportant des arcs à trois rotules fabriqués selon la méthode d'Hetzer. Suivent un cinéma à Töreboda en 1920, une passerelle enjambant une voie ferrée à Älvängen en 1921… Puis arrive un ouvrage qui marquera son siècle. Le chemin de fer est en plein essor dans les pays nordiques et exige des structures à grande portée. Un contexte qui annonce la percée du bois lamellé.

En 1923, la gare centrale de Malmö devenue trop exigüe par rapport au trafic qui s'y développe, s'offre un nouveau hall en bois lamellé (la colle utilisée est la colle à la caséine d'Otto Hetzer). Aujourd'hui encore, la toiture est maintenue par les élégants arcs en bois lamellé. Le site a été classé monument historique en 1986.

Principal hall de la gare centrale de Malmö (Suède), construit en 1923. Le bâtiment de la gare remplit encore pleinement ses fonctions. Architecte : Folke Zettervall, SJ Arkitektkontor, Suède.

Quelques années plus tard, la gare de Stockholm succombe au bois lamellé. La jeune société Fribärande Träkonstruktioner prend en charge cette réalisation et déploie un hall de 119 mètres de long, 28 mètres de large et 13 mètres de haut. Les arcs de ce hall présentent une forme elliptique et une section transversale en forme de I. Des raidisseurs d'âme, équipés de feuillards d'acier, ont été placés à des distances précises (ce qui indiquerait que la résistance de l'adhésif n'était pas complètement fiable).

Gare centrale de Stockholm – le principal hall actuel a été construit en 1925. Architecte : Folke Zettervall.

Au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, le bois lamellé s'est amplement déployé en Suède, de nouveaux fabricants apparaissent, et les ouvrages se multiplient. Logements, usines mais aussi réalisations remarquables se déploient tout au long du vingtième siècle puis du vingt-et-unième naissant, comme le pavillon de l'Exposition Universelle de Shanghai (2010) ou encore le Palais Sibelius à Lahti.

Palais Sibelius de Lahti, Suède. Architecte : Kimmo Lintula et de Hannu Tikka. Photo : Mikko Auerniitty

En **Finlande**, la production de bois lamellé a débuté en 1945, avec la fabrication par la société Oy Laivateollisuus AB des premières coques de navires en bois lamellé destinés à l'URSS en tant qu'indemnités de guerre. Les livraisons se sont échelonnées sur une décennie. La société s'est ensuite engagée dans la fabrication de halls en bois lamellé en y transposant le savoir-faire développé en charpente marine et en mettant en œuvre un principe de coque inversée, pour des bâtiments de grande envergure. C'est un peu plus tard, à partir de la fin des années 1950 (1958) que le bois lamellé a débuté une percée dans l'industrie du bâtiment. Le pays compte à l'heure actuelle quatre principaux fabricants de bois lamellé et un certain nombre de fabricants de moindre importance.

1.4.3. Au-delà de l'Europe… vers les États-Unis

Bénéficiant d'un important patrimoine forestier, les Etats-Unis apparaissaient comme un bon candidat au développement de cette solution constructive. Il « suffisait » d'importer la connaissance. Ce qui arriva avec Max Hanish. L'architecte-ingénieur allemand, avait créé dès 1918 une entreprise de construction au sein de laquelle il fabriquait des poutres lamellé courbes (jusqu'à 18 mètres de portée). Il émigre aux Etats-Unis en 1928. En 1934, il lance, avec ses fils ingénieurs, la société Unit Structures, à Pesthito dans le Wisconsin. L'un de ses premiers ouvrages réalisés fut le bâtiment destiné au Forest Products Laboratory (photo ci-dessous). Au début des années 1950, les Etats-Unis comptaient une quinzaine d'entreprises spécialisées dans le bois lamellé ; à la fin des années 1970 : 30 entreprises contribuaient à une production de 500 000 m^3/an.

Bâtiment du Forest Products Laboratory à Madisons : premier ouvrage en bois lamellé aux Etats-Unis. Les arcs présentent une portée de 16,50 mètres.

1.4.4. Panorama et bilan

Si les pays nordiques possèdent une longue tradition du bois, due à une ressource forestière conséquente, ils sont cependant loin d'être les producteurs de bois lamellé les plus importants. En comparaison, l'Autriche comme l'Allemagne – qui pour autant ont une ressource nettement moins abondante - produisent chacun près de 10 fois plus de bois lamellé que la Suède. L'Amérique du Nord, refuge d'une forte tradition du bois qui dispose également d'une ressource abondante, a offert au bois lamellé un terrain favorable. Il s'y impose désormais comme matériau de construction éprouvé. Quant à la France…

1.5. LE BOIS LAMELLE EN FRANCE

1.5.1. Du charpentier à l'industriel

Dès 1910 le procédé fut employé partout en Europe... à l'exception de la France. Ainsi la première réalisation dont peut s'enorgueillir le territoire français (la caserne Bruat de Colmar, édifiée en 1913) fut en réalité édifiée sur un territoire qui à l'époque était allemand : l'Alsace. L'industrialisation de la charpente a réclamé plus de temps pour s'enclencher en France que dans les pays voisins, qui ont été notablement actifs lors de la première moitié du 20ème siècle. A compter des années 1950, la « dynamique bois lamellé » s'empare de l'hexagone et fait profondément évoluer le visage de la charpenterie.

Charpente bois lamellé de la caserne Bruat de Colmar, réalisée en 1913.

Ce n'est qu'après la Seconde Guerre mondiale que les charpentiers français commencent à s'intéresser au procédé d'Hetzer. La technique est présentée en 1947 lors d'une conférence à l'Institut Technique du Bâtiment par Jean Campredon - conservateur des Eaux et Forêts et Directeur des laboratoires de l'Institut National du bois. Cet expert fait état des réalisations en charpente bois lamellé à travers le monde, et détaille les caractéristiques des colles. L'exposé ne suscita pas l'enthousiasme escompté auprès des charpentiers. Le marché de la charpente était alors essentiellement concentré sur la rénovation. Des unités de production de taille réduite et peu de perspectives de développement : voici les deux causes majeures de cette réserve face à l'innovation.

Atelier de charpente au début du 20ème siècle.

50 ans plus tard… Atelier de fabrication de bois lamellé, en France, en 1965.

1.5.2. Les Trente Glorieuses : le marché tire l'industrie

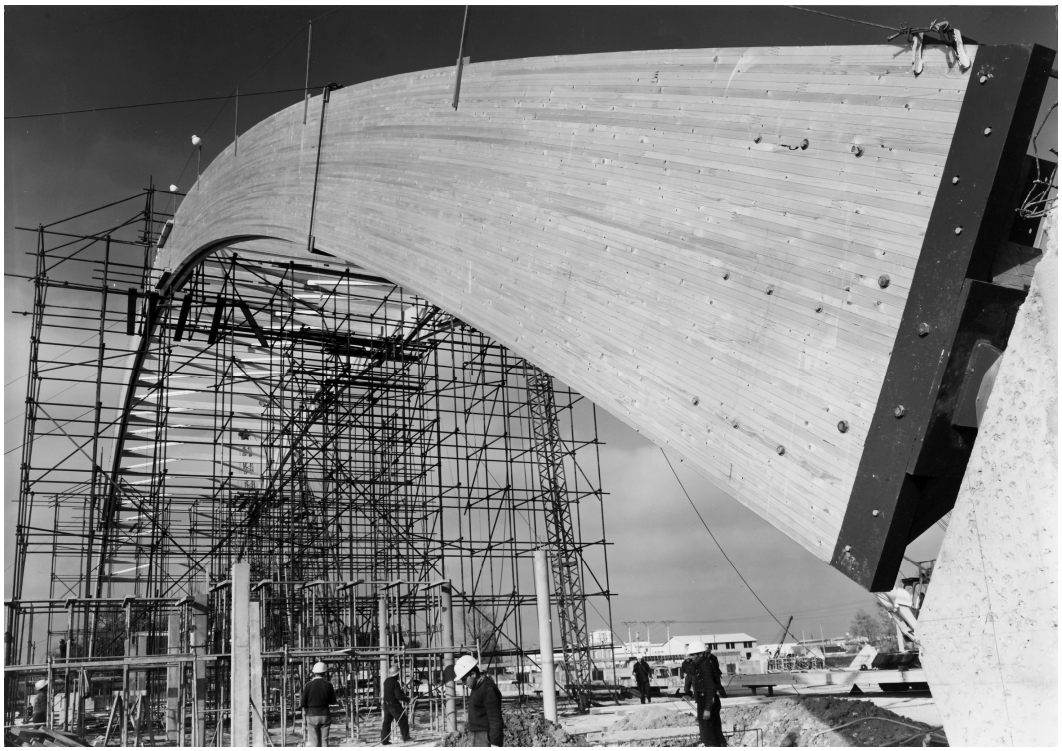
En 1952, un industriel français de la réfrigération (Alizon) s'intéresse au procédé de Hetzer afin de valoriser ses chutes de bois. Mais c'est en 1954 que se produit l'événement charnière : l'action fracassante de l'Abbé Pierre et la prise de conscience face au mal logement entrainent la réaction des pouvoirs publics qui doivent apporter une réponse efficace à cette crise sans précédent. 3 millions de logements sociaux doivent être construits d'urgence. Et la construction de devenir un enjeu politique. Entre 1954 et 1970, la France passe de 90 000 logements construits annuellement à 500 000 (dont la moitié de logements sociaux).

La planification économique, mise en place par le Général de Gaulle afin de moderniser et d'équiper la France, consolide cette forte dynamique constructive. Plus particulièrement, ce sont les deux plans déployés entre 1962 et 1970 (4ème et 5ème

plans) qui encouragent fortement le développement d'équipements collectifs : hôpitaux, bâtiments d'enseignement, complexes sportifs, salles de spectacles… Bon nombre de ces équipements seront réalisés avec le bois lamellé.

« A cette époque, un gymnase se construisait chaque jour, une salle polyvalente tous les trois jours… Des programmes dont l'importance ont permis de doter notre pays d'une véritable industrie de la construction, une des toutes premières. »

Claude Weisrock, un des pionniers français du bois lamellé
et fondateur de la société Weisrock



Montage de la Grande Halle du parc des expositions de Tours, en 1965. Architecte : AZAGURY.

Ce premier choc de développement a ainsi conduit bon nombre de charpentiers à moderniser et développer leurs entreprises tout en investissant dans des systèmes constructifs innovants et performants… au premier rang desquels se trouve bien entendu le bois lamellé. Peu à peu, de nouvelles machines et de nouvelles méthodes (dont la modélisation) améliorent la productivité. *« La tendance lourde du marché a tendu la perche du progrès. Les charpentiers ont su la saisir pour évoluer vers la qualité et la modernité. En contrepartie, l'architecture contemporaine leur a permis de marquer leur époque d'ouvrages remarquables* » conclut Claude Weisrock.

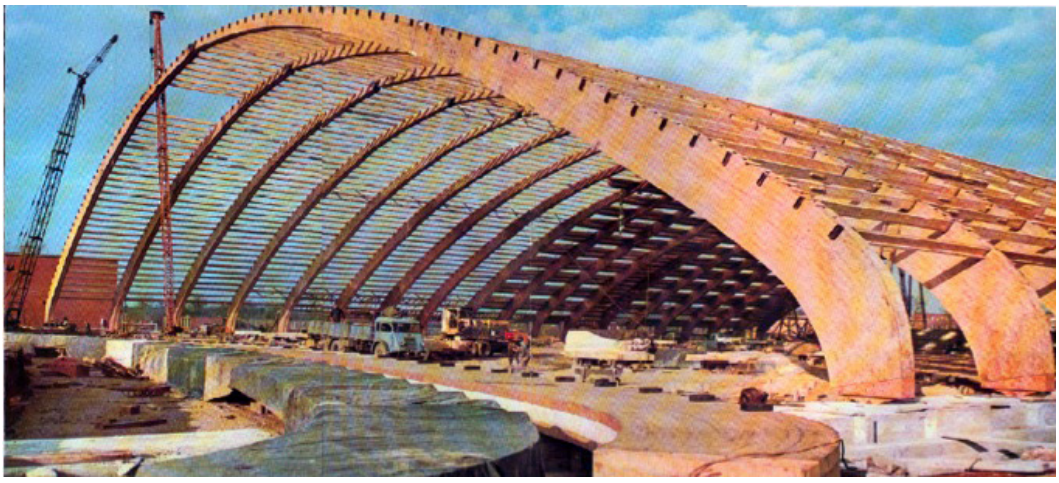
Les 7 Amphithéâtres de l'Université de Reims, réalisés par Weisrock en 1967 : des gradins en béton en porte-à-faux, sont soutenus par la charpente en bois lamellé. Architectes : Duvard (Gaillardbois), Clauzier, Seet

1.5.3. Les précurseurs

En 1956 l'entreprise Margueron réalise un premier ouvrage avec l'aide du charpentier suisse François Soudan. L'année suivante, la société George Paris (devenue Noiret) lance une activité soutenue de fabrication de bois lamellé et de construction de bâtiments industriels. Mais c'est le tournant des années 1960 qui, en France, peut être retenu comme véritable démarrage de la charpente en bois lamellé. Une dynamique qui repose avant tout sur des hommes, pionniers. Pour citer quelques noms : Bernard Robert, l'entreprise Bermaho (filiale de la NEMAHO hollandaise), Georges Paris, Ephrem Longépé, Claude Weisrock, Edouard Charles, mais aussi Laganne, Yves Fournier, René Fargeot, Paul-Henri Mathis... autant d'entrepreneurs de charpente et d'hommes visionnaires, qui ont su amorcer le développement du bois lamellé et accompagner la transformation du métier en France. Dans un même élan, de grands architectes (Berthelot, Philippe et Colboc, Arsène Henri, Taillibert, Arretche, Novarinna, Azagury...) ont perçu les possibilités offertes à leur art par ce nouveau matériau, qui repoussait les limites du bâtiment et inspirait une nouvelle esthétique à la construction.

Entre les charpentiers et les architectes, de nouveaux acteurs s'imposent et modifient en profondeur l'univers de la charpente : les ingénieurs. Fanjat de Saint Font, Brochard, Lourdin, Hualde, Bernier, Truong… sont de ces hommes qui ont marqué l'histoire du bois lamellé français. En effet, dès les années 1960, les entreprises ont intégré les bureaux d'études afin d'accompagner les concepteurs dans la concrétisation de leurs projets. Indépendante ou intégrée, cette ingénierie est aujourd'hui pourvue d'outils de calcul et de dessin de pointe. Ces acteurs sont ainsi au cœur de la conception pour transformer la construction en un domaine de haute précision : depuis le dimensionnement, jusqu'aux plans d'exécution et aux données de fabrication.

Cette trilogie « architectes, ingénieurs, charpentiers », socle de la construction bois lamellé, a permis un développement de la technique à la fois rapide et très atypique, en regard du développement observé en Suisse, en Allemagne, en Autriche, ou aux Etats-Unis. Dans ces pays, le développement s'est principalement fondé sur la première transformation, qui s'est adaptée et a industrialisé son outil, menant principalement à la production, pragmatique, de poutres droites. La France s'est quant à elle, très rapidement distinguée avec des ouvrages d'architectures évoluées, présentant de grandes portées souvent issues des formes cintrées. Dignes héritiers de Philibert de L'Orme et d'Otto Hetzer, les charpentiers français ont misé sur les infinies possibilités que la performance technique offrait à l'architecture. Ainsi, en France, s'est développée, à la faveur du bois lamellé, une véritable industrie de la seconde transformation qui a su répondre aux exigences de la créativité et à la dynamique de progrès et de modrnité.



Montage du Hall de l'Institut National des Sports (INSEP) de Joinville, en 1962. Les arcs à trois articulations qui le composent, présentent une portée de 89 mètres. Architecte : Berthelot.

L'INSEP de Joinville a fait date : largement médiatisé (l'émission « La tête et les jambes » y était tournée dans les années 60), il prouve à la France entière les possibilités du bois lamellé. Architecte : Berthelot.

1.5.4. Une industrie, des outils de développement

Quasiment du jour au lendemain, ces charpentiers sont passés des charpentes de combles à faibles portées à des ouvrages complexes de grande envergure. Cette transition n'aurait pu se faire avec le succès qu'on lui connaît sans l'implication d'hommes très ouverts, compétents et conscients des nouvelles exigences requises pour leurs constructions. Au rang de ces exigences :

- Une parfaite maîtrise de la résistance des matériaux
- Une grande ouverture d'esprit
- Une recherche constante de la qualité

Cette recherche de qualité s'est traduite par la création, en 1973, du Syndicat National des Constructeurs en Bois Lamellé Collé, présidé par Bernard Robert. En parallèle de ce nouvel organisme œuvrant au développement du bois lamellé en France, Bernard Robert mit en place les qualifications nationales QUALIBAT. Vint ensuite, en 1993, la certification ACERBOIS GLULAM, qui permet de garantir un niveau d'exigence supérieur, distinguant le bois lamellé de fabrication française. Des actions de recherche, de développement et de marketing, conduites collectivement par le syndicat, le CTBA et le CNDB ont soutenu le progrès des entreprises du bois lamellé en France.

Après sept décennies de recherches et de développement et moult réalisations à l'appui, les industriels et les constructeurs bois lamellé ont su s'imposer comme des acteurs majeurs, à la pointe du progrès. Au fil du temps, la préfabrication a été poussée à son paroxysme, permettant à la fois une maîtrise incontestable de la qualité et un gain de temps considérable sur les délais d'exécution. Aux côtés des ouvrages d'équipement – certains modestes, d'autres majestueux - qui ont fait sa renommée, d'autres types de bâtiments se sont développés : industriels, logistiques, commerciaux ou encore des immeubles tertiaires. Depuis quelques années, on observe une certaine tendance à la verticalité, en France comme partout dans le monde. De fait, le bois lamellé apporte une réponse adaptée à la construction multi-étages… et s'apprête à reconquérir le marché de l'habitat urbain pour participer à la construction de la ville de demain.

Lycée professionnel maritime de Saint-Malo, réalisé en 2015. Architecte : Liard & Tanguy.

Chapitre 2

2. ARCHITECTURE UNE SINGULARITE FRANÇAISE

Cet ouvrage n'a pas vocation à présenter un panorama complet des réalisations et des utopies architecturales que le bois lamellé a rendu possible. Néanmoins, l'approche historique et l'analyse des différents leviers qui ont impulsé le développement de cette solution en France ont nettement fait ressortir une singularité française qui repose sur un lien tout particulier du bois lamellé avec l'architecture. Un lien étroit, qui trouve ses racines dans le sens que revêt la « Charpente » en France :

« Te parant de la seule vertu, Charpente, tu es l'architecture tout entière » (prologue d'Histoire des Charpentiers, d'Antoine Moles). Un lien revendiqué avec tant de ferveur ne pouvait être ignoré dans ce manuel.

Héritières légitimes d'un millénaire d'histoire et de réalisations, l'industrie et la construction en bois lamellé se sont nourries de cette culture. En résulte un matériau qui, à l'inverse des autres mouvances européennes, ne s'est pas contenté de volumes et de productions rationalisées. Outre la poutre droite, la France s'est fait le chantre du sur-mesure… Se plaçant au service de la bel ouvrage et offrant à l'architecture une matière qui se plie à ses ambitions créatives. Une voie qualitative, pleine d'innovations et d'audace qui serait le propre du bois lamellé français.

Quelques thématiques et typologies de réalisations suivent pour effleurer ce vaste sujet.

Zénith de Limoges, 2007, BTuA et Atelier 4.

2.1. MATIERE A ARCHITECTURES

Polyvalent, le bois lamellé se présente à la fois comme une solution pragmatique et économique, pour réaliser rapidement des bâtiments de formes courantes, et comme une solution créative, pour concrétiser des ouvrages hors du commun. Dans un cas comme dans l'autre, ce matériau de structure se distingue par des caractéristiques qui font sa force : une grande flexibilité de forme, une solidité éprouvée, une légèreté peu commune, et en conséquence, la possibilité d'importants franchissements. Avec le bois lamellé, technique et performance se mettent au service de l'architecture.

Les composants de structure en bois lamellé se déclinent le plus communément en deux types de forme : des poutres rondes ou des poutres parallélépipédiques, avec une possibilité intermédiaire ovoïde. Outre les variations de forme des éléments eux-mêmes, les poutres de bois lamellé permettent différents systèmes (depuis les poutres et portiques, jusqu'aux arcs et systèmes tridimensionnels). Cette diversité aboutit à une multitude de solutions au service de la forme.

Cette diversité des éléments combinée à l'exceptionnelle longueur de portée du lamellé (jusqu'à 40 mètres pour des chantiers courants et au-delà de 100 mètres pour des chantiers exceptionnels) autorise des dessins d'ouvrages aux formes multiples, souples et originales. Ici, non seulement les volumes laissent place à la créativité, mais la structure devient un véritable spectacle.

La mixité est une autre piste, largement empruntée, qui ouvre de belles perspectives, tant sur le plan architectural que sur le plan industriel. Le bois lamellé se marie adroitement à d'autres matériaux, tels le béton, l'acier ou encore le verre. Ces alliances ouvrent de nouvelles voies esthétiques. Mais, au-delà de l'aspect, la mixité offre des réponses cohérentes à une approche rationnelle : mutualiser les qualités et performances des différents matériaux pour répondre le plus efficacement possible aux contraintes techniques comme aux enjeux économiques, écologiques, énergétiques et, bien sûr, architecturaux.

Réhabilitation du NIL, Angoulême, 2014. Architecte : Jean-Marc Beffre

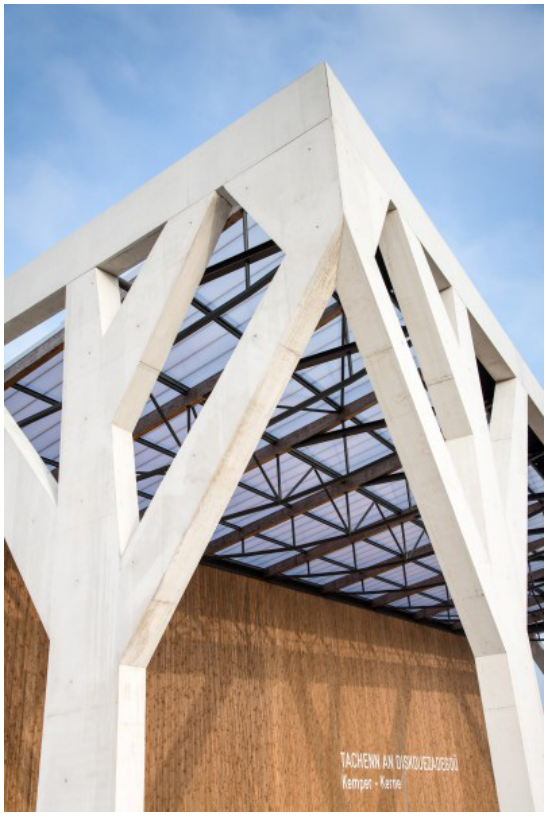
2.1.1. Équipement de la ville et des territoires

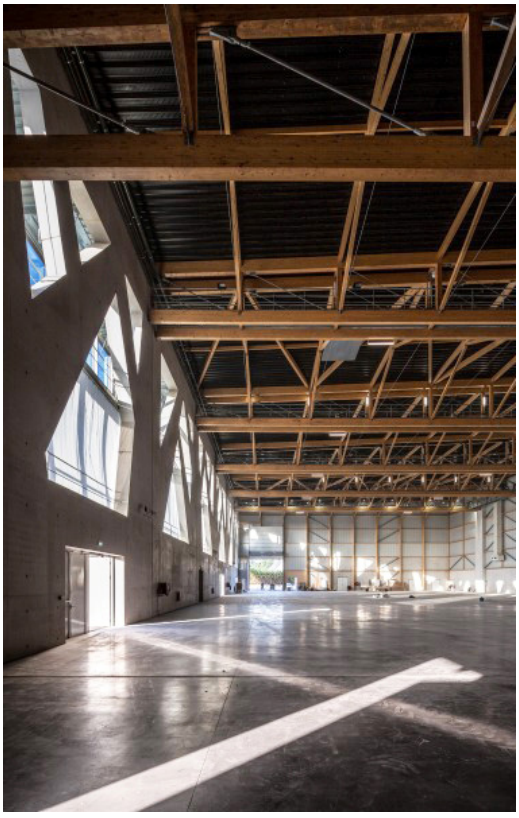
La ville d'aujourd'hui - et plus encore celle de demain - amorce un tournant décisif. Contrainte d'accueillir une population en constante augmentation, elle doit également répondre urgemment à des problématiques essentielles, telle la diminution des consommations énergétiques, la lutte contre le réchauffement climatique ou encore le développement d'un mieux vivre en zone urbaine.

Le bois lamellé apporte à la ville des réponses à la hauteur de ses ambitions en matière de densité, d'environnement et de projet de société. Puits de carbone, filière sèche, préfabrication, mixité, créativité architecturale, démarche design… les arguments sont légion et les exemples poussent comme autant d'arbres en France, en Europe et dans le monde.

Construction verticale, d'un côté, avec des immeubles en bois de 3, 10, 14, 18 étages, permettant de répondre au besoin en logements et en bureaux pour les populations urbaines. Construction horizontale, de l'autre, avec bâtiments culturels, lycées, gares ou aéroports, complexes sportifs, centres commerciaux, ou « logistique du dernier kilomètre »… Le nouveau visage de la ville se dessine avec le bois lamellé.

Preuve que le bois lamellé est résistant et sécurisant : le centre de secours de Kayserberg, réalisé en 2000.





En haut : Lycée « Les Eaux Claires » de Grenoble, 2014. Architecte : Véronique Klimine, R2K. Photos : KALICE.
En bas : parc des expositions de Quimper, 2014. Architectes : Philippe Brulé.

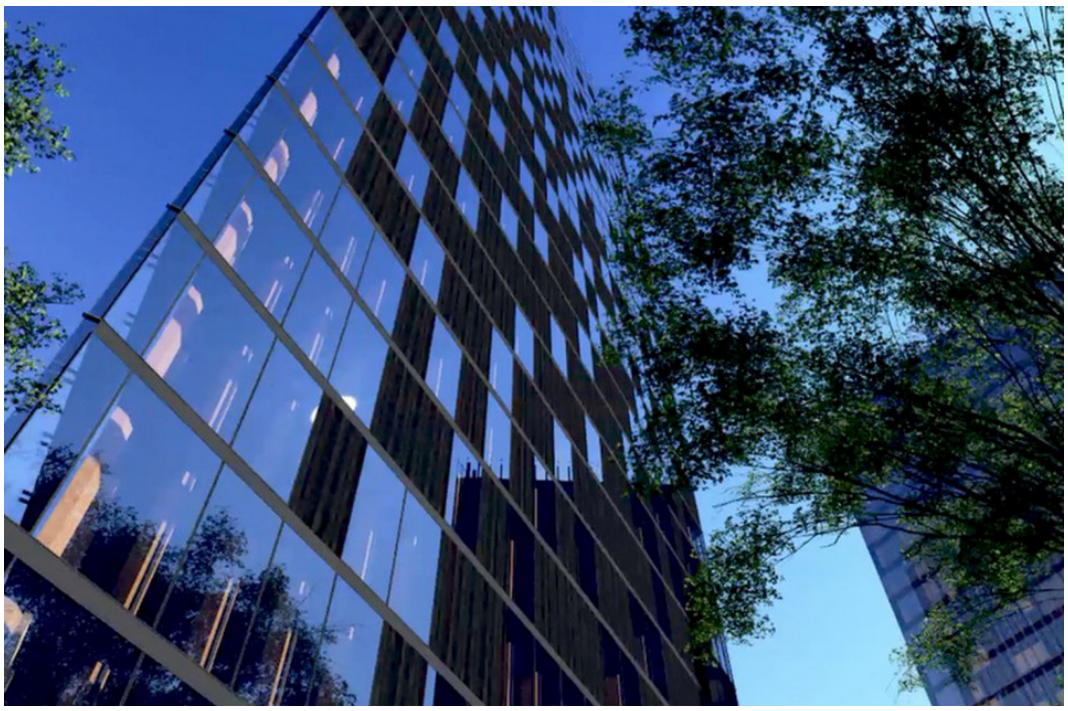
En haut : piscine de Barentin (76) réalisée en bois lamellé en 2014. Architectes : OCTANT.
En bas : Stade Alliance Riviera, à Nice, 2014. La plus grande structure tridimensionnelle jamais conçue pour un bâtiment de ce type. Architecte : Wilmotte & as. . Photos : Milène Servelle et Serge Demailly

En haut : aérogare de Pamandzy (Mayotte), 2014. Architectes : Atelier REC. Photo : Isabelle Bonillo.
En bas : auvent de la gare de tramway La Haluchère, à Nantes, en 2011. Architectes : groupement SCE, ARDADIS, AUP, Lavigne Cheron

2.1.2. Immeubles de bureaux et logement

Le parti-pris environnemental, l'identité « nature » et la possibilité de se démarquer en toute subtilité sont autant d'arguments qui permettent aujourd'hui au bois lamellé de proposer une nouvelle manière d'envisager le logement ou de valoriser une entreprise à travers son siège ou ses bureaux. Pour toutes ces raisons, le bois lamellé s'impose de plus en plus comme solution pertinente en zones urbaines. S'il autorise toutes les audaces pour véhiculer une identité hors normes, il est tout aussi capable de se faire plus modeste lorsque la rationalité prime.

S'agissant des immeubles de logement, le bois lamellé dispose de caractéristiques mécaniques autorisant la construction verticale, qui peut être « tout bois » ou se prêter aisément à la mixité. Les constructions multi-étages, en moyenne ou grande hauteur, permettent ainsi de résoudre la problématique foncière qui se pose aux centres urbains. Un autre avantage sur ce terrain est la légèreté du matériau combinée à sa préfabrication : en découle la possibilité de construire sur des terrains fragiles ou difficiles d'accès (dents creuses) et d'envisager surélévations ou extensions de bâtiments existants.



Le projet Tall Wood, envisage la grande hauteur en bois. Architecte : Michaël Green - MGA

Siège social du groupe BH à La Chaize le Vicomte, 2009, BMT Architectes.

En haut : Siège du Crédit Agricole Centre-France (Aurillac), 2011. Architectes : AFAA.
En bas : programme « logements + tertiaire », 2013 (Savigny le Temple), JAP Architecture

En haut : logements + bureaux + commerces Eco-quartier du Viallenc (Aurillac), 2014. Architectes : Atelier Simon Teyssou.
En bas : immeuble de bureaux (R+6) Docks Libres (Marseille), 2015. Architecte : CARTA - Photo : Y Bouvier

2.1.3. Bâtiments d'activité : industrie, logistique, commerce

Au cours des dernières années, le bois lamellé a su proposer une solution pertinente sur le terrain des bâtiments industriels, des grandes plateformes logistiques et centres commerciaux. Une alternative qui repose sur le principe de préfabrication, donnant lieu à des chantiers secs, donc particulièrement courts... et, en conséquence, économiquement compétitifs. En outre, dans ce type de constructions, les structures en bois lamellé (ou mixtes) sont, la plupart du temps, techniquement simples, apportant des réponses économiquement satisfaisantes.

Ces structures ont d'autres intérêts : tout à fait adaptées aux nouvelles exigences sur le risque sismique, elles disposent aussi d'une excellente capacité à gérer et absorber les efforts et tassements. De même, les bâtiments en bois lamellé répondent parfaitement aux exigences quant à la sécurité incendie et sont en capacité de garantir un temps de résistance et donc une évacuation sereine des établissements recevant du public.

La pertinence de ce matériau en contexte industriel tient, entre autre, à sa résistance toute particulière aux ambiances agressives. Sel, eau de mer, humidité, huiles, hydrocarbures, solvants... une structure en bois lamellé ne pâtît aucunement de tels voisinages.

S'agissant plus spécifiquement des grands centres commerciaux et halles de marchés couverts, le bois lamellé apporte une réponse simple à la question fondamentale de l'activité commerciale : un maximum d'espace. Car il permet de dégager l'espace au sol de toute entrave. Le bois lamellé a affirmé sa position sur ce secteur du fait des garanties qu'il apporte en matière de sécurité en général (notamment sur la question de la sécurité incendie), et plus particulièrement en matière de sécurité sanitaire et d'innocuité.

En plus de quoi, le bois lamellé offre la possibilité d'évolutions ultérieures à coût maîtrisé. Une souplesse qui permet aux petites et moyennes entreprises industrielles d'envisager restructuration ou agrandissements, et éviter ainsi la perspective du déménagement. En outre, le bois lamellé offre un réel confort aux usagers : ambiance, matière, confort thermique, apports optimisés en lumière naturelle font ainsi partie des arguments des bâtiments en bois lamellé.

En haut : centre de traitement des déchets (Fos sur Mer), 2010. Architectes : S'PACE architecture.
En bas : marché couvert « La Compagnie des Marchés » (Barjouville). Architecte : Celereau & partners.

En haut et en bas : Site de production industrielle de la société SMTC (Boufféré), 2013. Architectes : Terre et Ciel.

En haut : centre commercial Intermarché (Nogent le Rotrou), 2012. Architecte : SPACE architecture.
En bas : plateforme logistique, préparation de commandes Yves Rocher (Sainte Marie de Redon), 2009. Pour GSE.

Chapitre 3

3. CARACTÉRISTIQUES DU BOIS LAMELLE

3.1. LE BOIS LAMELLÉ ET L'ENVIRONNEMENT

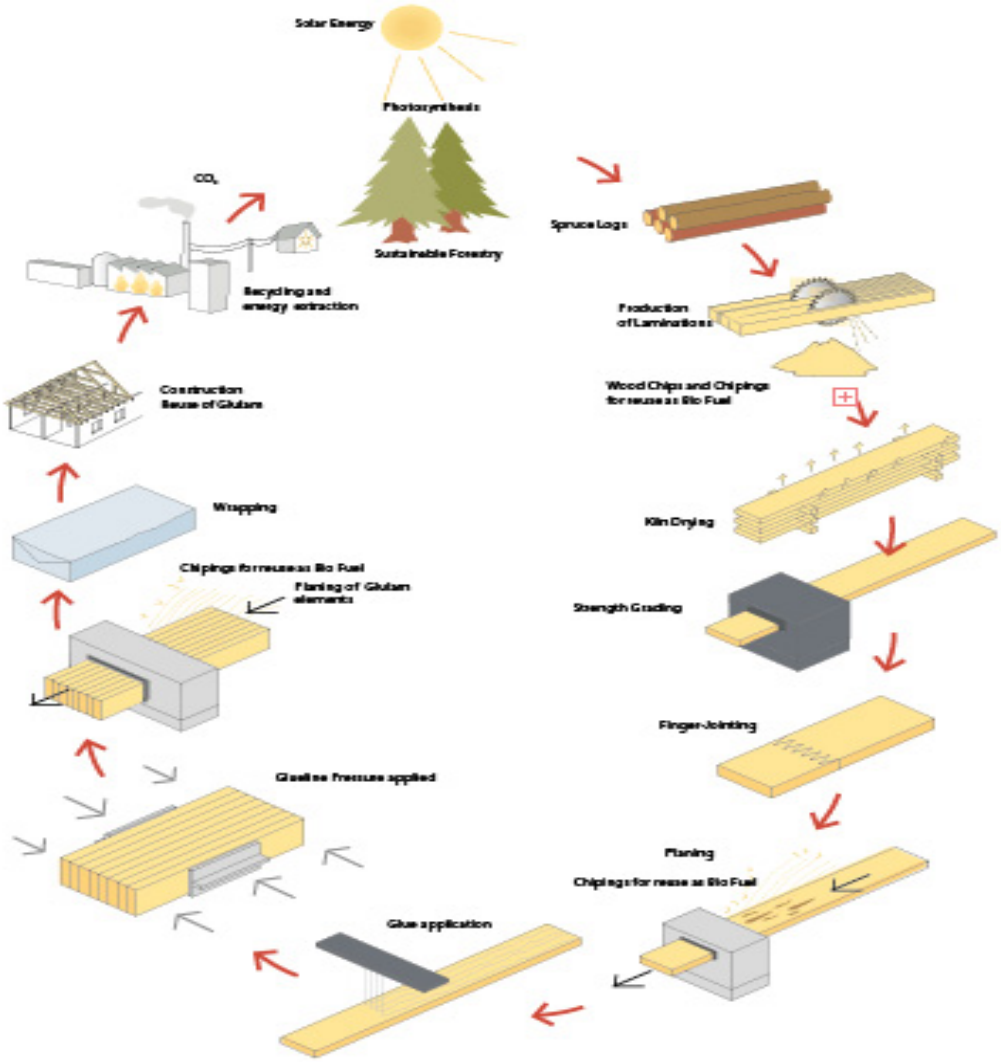
Composé à plus de 97 % de bois, le bois lamellé est un matériau de structure exceptionnel du point de vue environnemental. Naturel, renouvelable, recyclable et durable, il se présente également comme un formidable puits de carbone qui contribue activement à la lutte contre le réchauffement climatique en prélevant du CO_2 de l'atmosphère et en stockant le carbone. Au-delà de ces qualités intrinsèques, le bois lamellé se distingue également par une fabrication responsable : avec une transformation réclamant peu d'énergie, des colles faiblement émissives et une gestion efficace des déchets (notamment à travers la valorisation énergétique des chutes de bois). En phase de mise en œuvre : filière sèche et préfabrication permettent d'importantes économies d'eau et limitent considérablement les pollutions sur chantier.

3.1.1. Caractéristiques environnementales : ACV et FDES

Dès 2002, l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) d'une poutre en bois lamellé a été réalisée pour analyser le comportement de ce matériau de sa fabrication jusqu'à sa fin de vie. Le bois lamellé a été, en outre, l'un des premiers matériaux de structure à produire, en 2003, une Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES), mise à jour en 2007, puis 2013, selon le format défini par la norme NF P01-010 (la Déclaration Environnementale a également été réalisée conformément à la norme NF EN 15804).

Le bilan environnemental d'une poutre générique met en évidence les nombreux intérêts environnementaux de ce matériau. Nous n'en révèlerons ici que l'essentiel :

- Le bois lamellé affiche une faible consommation d'énergie non renouvelable sur l'ensemble du cycle de vie de la poutre.
- Un tiers de l'énergie mobilisée pour la fabrication d'une poutre en bois lamellé est d'origine renouvelable.
- Le bois lamellé arrivé en fin de vie est recyclable (panneaux, composants...), réutilisable (dans une autre construction) ou valorisable comme source d'énergie.



De la ressource forestière au recyclage en fin de vie, le bois lamellé de fabrication française apporte des garanties fiables.

3.1.2. Bois renouvelable et gestion de la ressource

Le bois est un matériau de construction totalement renouvelable… à la condition que la forêt dont il est issu soit gérée durablement. Car il existe une nuance de taille entre un bois « renouvelable en théorie » et un bois « réellement renouvelé », donc issu de forêts durablement gérées et apportant les garanties de ce renouvellement.

Les bois utilisés pour la fabrication de lamellé français sont, à plus de 98 %, issus de forêts européennes (majoritairement scandinaves, allemandes et françaises). Or le patrimoine forestier européen se distingue par sa gestion durable garantissant une croissance soutenue : dépressage et éclaircies combinés à des replantations continuelles assurent l'équilibre nécessaire au développement des jeunes arbres en particulier, et de

la forêt en général. En conséquence, les forêts européennes grandissent chaque année de 510 000 hectares, soit un accroissement net estimé à 645 millions de m^3.

Afin d'assurer la traçabilité des bois et de garantir au consommateur que tel bois lamellé est bien fabriqué avec du bois issu de forêts durablement gérées, des marques de certification ont été développées. PEFC, FSC et ACERBOIS-FC (voir partie « Certifications et contrôles) sont les principales marques attestant de manière objective et indépendante (organismes de certification agréés par le Cofrac) de la provenance des bois.

L'accroissement de la forêt européenne est estimé à 510 000 hectares par an, exploité à 64% à peine.

3.1.3. Fabrication respectueuse de l'environnement

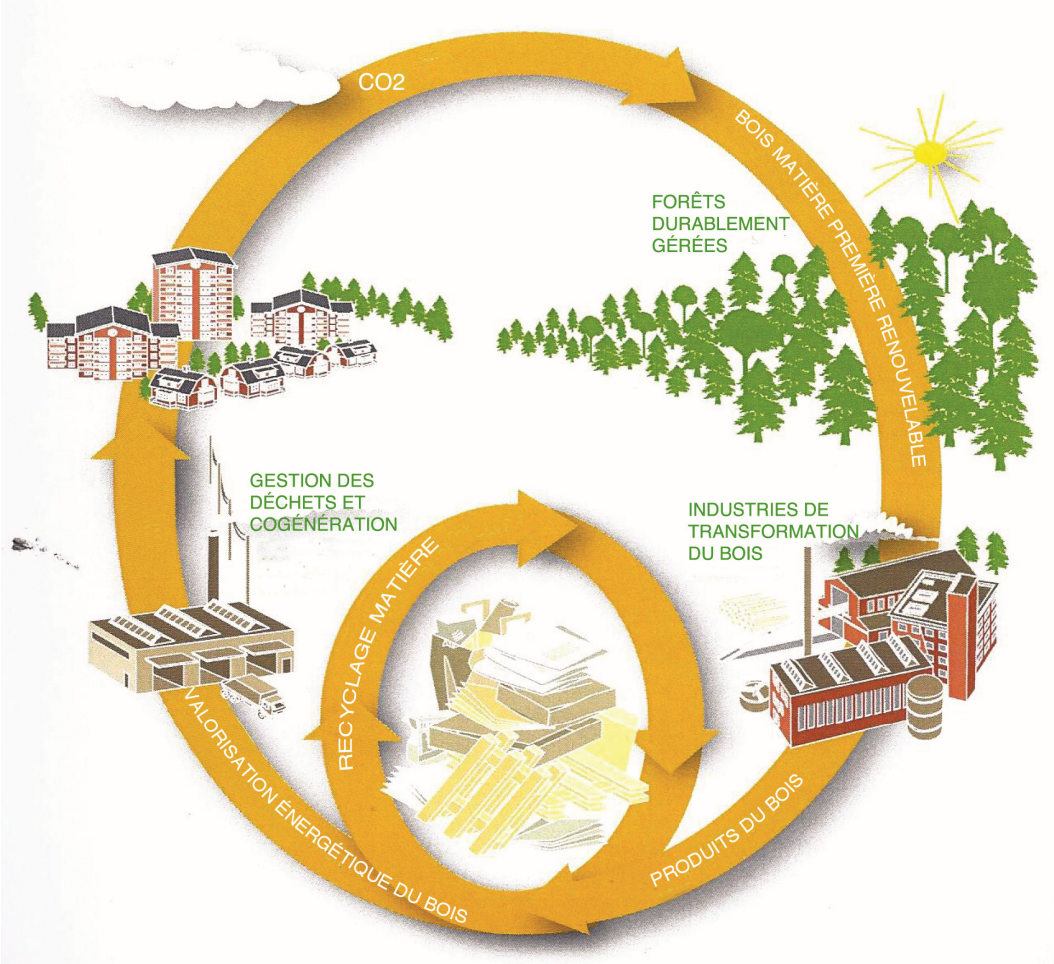
Le bois lamellé ne nécessite que peu de transformation, comparé à d'autres matériaux de construction. Une partie importante de l'énergie utilisée pour cette transformation est celle contenue dans le bois (les déchets de fabrication servant à produire l'énergie). Le recours aux énergies non renouvelables est relativement faible ; et de ce fait, le bilan carbone demeure excellent. Enfin, les exigences qui président à la fabrication d'une poutre en bois lamellé garantissent un produit performant et de qualité constante. Au-delà du produit, les conditions dans lesquelles il est fabriqué ne sont pas oubliées. Les usines sont des installations classées (ICPE) et à ce titre, elles font l'objet de contrôles réguliers dont le but est de garantir le respect des normes rigoureuses auxquelles elles sont soumises (rejets, eau, bruit, poussières...)

3.1.4. Bilan carbone

L'accroissement qui caractérise la ressource forestière européenne présente un intérêt certain du point de vue de la matière. Il présente aussi et surtout un avantage incommensurable au regard des enjeux environnementaux : l'accroissement du patrimoine forestier va de pair avec l'accroissement concomitant de l'effet « puits de carbone ».

Car, pour grandir, un arbre prélève du dioxyde de carbone (CO_2), un gaz à effet de serre dont la concentration augmente dangereusement dans l'atmosphère. Sous l'action de la

lumière, l'arbre stocke le carbone dans ses cellules, pour se développer et rejette le dioxygène dans l'air. Ce phénomène, la photosynthèse, contribue à la lutte contre le changement climatique et est d'autant plus efficace que la forêt s'étend. Il est important de noter également, que le carbone stocké dans le bois reste captif lorsque ce bois est mis en œuvre. Aussi, dans un contexte de changement climatique où le stockage en forêt peut-être risqué (tempête, incendie), le stockage dans les produits, bien qu'inférieur en quantité, est une solution de gestion durable.
La consommation de bois lamellé permet de soutenir cet effet vertueux et d'accroître les puits de carbone.



Puits de carbone + gestion durable de la ressource + recyclage et gestion des déchets : une spirale vertueuse pour l'environnement.

La poutre contribue à atténuer l'impact sur le changement climatique.

3.1.5. Qualités sanitaires

Le bois lamellé concourt au **confort intérieur** des constructions en apportant un certain nombre de garanties quant à la qualité de l'air intérieur. Si la réglementation européenne en vigueur exige une conformité aux classes E1 ou E2 (norme EN 14080), la Fiche de Déclarations Environnementales et Sanitaires du bois lamellé français met en exergue des émissions inférieures à la classe d'émission la plus exigeante (inférieures à E1). D'autre part, en 2009, l'étude FORMACOL, réalisée par l'Institut FCBA, a qualifié les émissions de COV et de formaldéhydes selon le cadre imposé par le Protocole AFSSET, dont les contraintes dépassent de loin celles du cadre réglementaire. Cette étude a apporté la preuve de la conformité du bois lamellé (colle PU, finition phase aqueuse) aux exigences pour les scenarii étudiés (chambre et gymnase).

Les **produits et adjuvants** utilisés (traitement, finition, colles) ont considérablement évolué, en conformité avec les règlementations françaises et européennes. Depuis 1990, les produits de préservation utilisés dans le cadre de la marque ACERBOIS font l'objet d'une évaluation santé-environnement (produits certifiés CTB-P+). Cette évaluation apporte la garantie de la non nocivité des bois traités avec ces produits.

La colle, dans une poutre bois lamellé représente 3% de la masse et 1/500° de la surface émissive. En la matière, les produits en phase aqueuse se sont progressivement substitués aux produits solvantés, jusqu'à les remplacer totalement. L'émissivité des colles a été grandement diminuée et des colles sans formaldéhyde sont aujourd'hui disponibles et utilisées par les industriels.

NOTE (version française) :

Depuis 2006, le bois lamellé fabriqué en France fait l'objet d'essais bisannuels en laboratoire (laboratoires Excell, accrédité par le Cofrac) de sorte à qualifier et quantifier les émissions de COV, formaldéhyde, pesticides, résidus de solvants et une vaste gamme de molécules pouvant altérer la qualité de l'air ou les produits en contacts avec le matériau. Ces études, menées sur les bases du Protocole AFSSET, ont démontré la totale innocuité du matériau (Attestation Zone Verte Niveau Bronze et Silver). Les émissions se sont avérées si faibles pour certaines poutres, qu'un usage en milieu confiné est possible, sans aucun risque d'altération de la qualité de l'air.

Petite enfance : une indispensable qualité sanitaire. Ici une école maternelle avec le bois lamellé – Arch. : Schmitt (88).

3.2. REGLEMENTATION, CERTIFICATION ET CONTRÔLES

3.2.1. Règlement Produit de Construction et DoP

Le Règlement Produits de Construction (Règlement (UE) n° 305/2011) publié le 4 avril 2011, et entré en vigueur le 24 avril 2011, renforce la responsabilité du fabricant vis-à-vis des informations qu'il communique à travers la Déclaration de Performances (DoP) et le marquage CE sur ses produits. Le bois lamellé, couvert par une norme harmonisée, est soumis à ce règlement. Le fabricant est donc tenu d'établir une DoP et un marquage CE, tous deux accompagnant systématiquement le produit pour sa mise sur le marché européen. Ces deux documents informent l'acheteur quant aux caractéristiques essentielles du produit. Ils engagent la responsabilité du fabricant sur la conformité du produit aux performances déclarées.

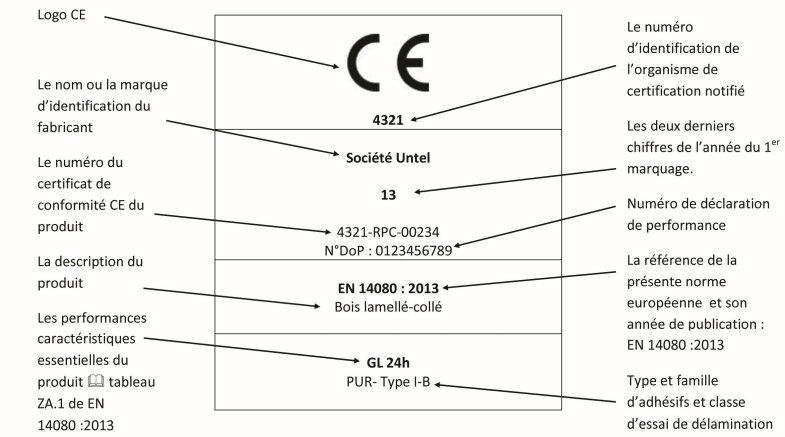
3.2.2. Marquage CE

Un produit couvert par une norme harmonisée, pour être mis sur le marché de l'Union Européenne, doit obligatoirement être accompagné du Marquage CE. Le bois lamellé français est fabriqué conformément à la norme européenne 14080 et est donc soumis à un marquage visible et durable afin de prouver qu'il respecte les exigences de cette norme.

Ce marquage induit l'information quant au produit s'agissant de ses caractéristiques (essence, traitements, adhésif…), des performances déclarées (mécaniques, résistances, durabilité...) et de la qualité de fabrication. Afin de justifier de ces qualités, le marquage CE exige un contrôle indépendant par un organisme notifié qui délivre une Déclaration de Performances (DoP).

NOTE (version française) :

Les fabricants de bois lamellé français s'attachent à un respect scrupuleux des exigences normatives françaises et européennes, tant sur le terrain de la qualité de conception et de fabrication que de la qualité du produit (norme harmonisée NF EN 14080) ou de sa mise en œuvre. L'attachement à ce respect est lisible à travers le nombre d'entreprises françaises disposant du droit d'usage de la marque ACERBOIS-Glulam.



Synthèse du Marquage CE, produite dans le Guide d'Application de la norme 14080 (2013, SNBL)

3.2.3. Contrôle de la production en usine

La fabrication du bois lamellé exige une grande précision et un certain nombre de contrôles réguliers. Caractéristiques des bois, des colles et des produits de traitement, mais aussi process de fabrication (fraisage des aboutages, préparation et l'application de la colle, pression de prise et temps de pressage…), résistance et durabilité des poutres… font ainsi l'objet d'un contrôle continu. Afin d'obtenir des éléments réguliers et de qualité constante, des autocontrôles sont réalisés en usine en permanence tant au niveau des approvisionnements que de la chaine de production. Des organismes accrédités vérifient ces procédures d'autocontrôle lors de visites d'inspection fortuites suivies d'essais en laboratoire, de sorte à vérifier la légitimité des contrôles internes.

3.2.4. Certification ACERBOIS-Glulam

NOTE (version française) :

ACERBOIS-Glulam est une certification, relevant d'une démarche volontaire des industriels, qui assure à l'utilisateur la fiabilité et la qualité des éléments structuraux mis en œuvre. Cette garantie repose à la fois sur l'engagement des industriels et sur des inspections indépendantes biannuelles vérifiant à la fois les approvisionnement (et leurs caractéristiques), la chaine de production (et la qualité des process) et les produits. Basée sur un référentiel (déposé au ministère de l'Industrie), cette marque impose un ensemble d'exigences dépassant le cadre réglementaire quant à la qualité des poutres en bois lamellé. Au-delà du marquage CE, la marque de certification ACERBOIS-Glulam apporte des garanties s'agissant de la traçabilité des matières premières et contrôle la provenance ainsi que la caractérisation des bois (forêts gérées, classement des bois, humidité). Elle exige l'usage exclusif de produits connexes sous certification et contrôle la conformité des colles utilisées aux Procès Verbaux d'essais sur les émissions de COV. Les process de fabrication doivent en outre obéir à une exigence de haute qualité : aboutage, rabotage, serrage, caractéristiques produits sont ainsi contrôlés et doivent répondre à des contraintes strictes. Ces informations sont enfin vérifiées lors d'audits réalisés deux fois par an par un organisme agréé afin de valider l'ensemble de ces caractéristiques (échantillonnages, essais, visite des laboratoires internes et contrôle des factures). ACERBOIS-Glulam certifie une poutre bois lamellé sur différents domaines :

- Caractéristiques mécaniques,
- Classes d'emploi,
- Taux d'humidité et les classes d'usage,
- Approvisionnements issus à 100% de forêts gérées durablement
- Classe d'aspect

Bois lamellé ACERBOIS-Glulam : la qualité contrôlée et certifiée.

3.3. PROPRIÉTÉS

3.3.1. Essences de bois

L'usage en structure exige des bois classés et des performances mécaniques qualifiées. Les essences utilisées doivent présenter des caractéristiques adaptées à un rôle structurel dans la construction. Seules sont utilisées les essences qui présentent les caractéristiques (mécaniques, humidité, classe d'usage, aptitude au collage) requises pour la fabrication de bois lamellé. Les essences plus couramment employées en structure sont des résineux (sapin, l'épicéa, pin sylvestre, douglas, mélèze). D'autres essences, résineux ou feuillus, présentent les caractéristiques nécessaires et peuvent également être utilisées : western hemlock, pin laricio, pin noir d'Autriche, pin maritime, peuplier, pin radiata, épicéa de Sitka ou western red cedar.

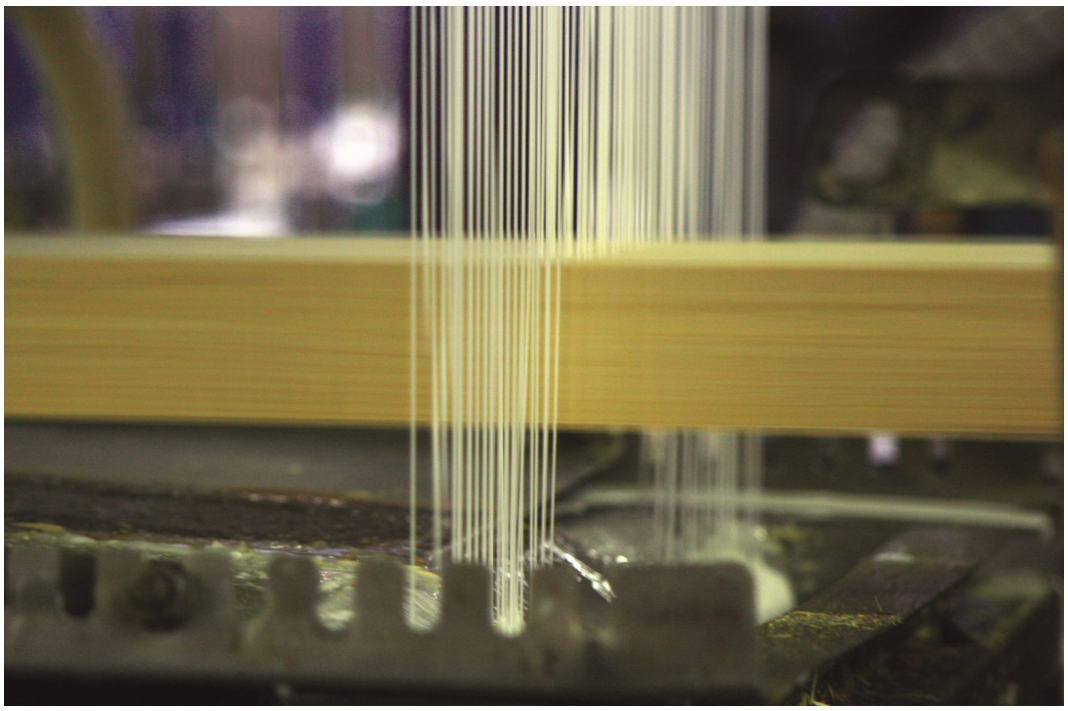
NOTE (version française) : Certaines essences feuillues sont utilisables comme le chêne et le hêtre sous réserve de justification.

La sélection des lamelles qui constituent le bois lamellé est permise par un classement de résistance mécanique normatif. Chaque lot de lamelles dispose ainsi d'une classe de résistance qui la distingue. La classe de résistance d'une poutre en bois lamellé est directement liée à la classe de résistance des lamelles qui la constituent.

Echantillon des essences les plus couramment employées pour la fabrication du bois lamellé.

3.3.2. Adhésifs

3% de colle… La colle ne représente que deux pour mille de la surface émissive d'une poutre en bois lamellé. La proportion est faible et l'émissivité d'autant plus réduite. Un important travail a cependant été réalisé par les fabricants pour minimiser les émissions induites par cet adjuvant et positionner le bois lamellé sur un terrain environnemental volontariste. Des colles de moins en moins émissives ont ainsi été mises au point et des colles sans formaldéhydes peuvent entrer dans la composition des poutres. Aujourd'hui, toutes les poutres produites en France répondent à minima aux impératifs de la classe européenne E1. Certaines franchissent les tests de l'exigeant protocole AFSSET, très en amont des contraintes actuelles en termes d'émissions de Composés Organiques Volatiles (COV).



Phase d'encollage. La colle doit avant tout apporter la preuve de sa fiabilité et de sa stabilité.

Caractéristiques exigées - Le bois lamellé a une vocation structurelle… les adhésifs qui entrent dans sa composition doivent donc satisfaire à de hautes exigences de résistance, stabilité, fiabilité et durabilité. Ces exigences sont indiquées dans les normes européennes EN 14080 et EN 301 (il convient en outre de respecter les exigences relatives aux adhésifs polyuréthane mono composants de la norme EN 15425, le cas échéant).

La norme NF EN 301 définit deux types d'adhésifs, selon leurs performances :

- Type I, capable de résister à toutes les expositions extérieures et aux températures dépassant 50°C
- Type II, pour usage intérieur chauffé et ventilé ; à l'extérieur sous abri et avec une température supérieure à 50°C très occasionnelle.

Le bois lamellé fabriqué à l'aide d'un adhésif de type I peut être utilisé quel que soit l'air environnant (classes de service 1 à 3 conformément à l'Eurocode 5) alors que les adhésifs de type II ne doivent être utilisés que pour des structures protégées des intempéries (classes de service 1 et 2 conformément à l'Eurocode 5). Une liste des adhésifs homologués est publiée par l'agence de supervision accréditée de chaque pays concerné.

Les adhésifs les plus couramment utilisés pour les éléments de structure en bois lamellé sont principalement de trois types : Mélamine-Urée-Formol (MUF), Polyuréthane (PU) et Résorcine- Phénol-Formol (RPF). Ce troisième type, bicomposants synthétiques, a été progressivement abandonné au profit des deux autres :

La colle mélamine-urée-formaldéhyde - appelée « mélanine » ou « MUF » dans le langage courant - est actuellement utilisée de façon quasi exclusive pour des raisons environnementales. Il s'agit d'un adhésif de type I. Les plans de collage sont clairs au début, mais peuvent revêtir une couleur légèrement plus foncée avec le temps.

La colle mélanine claire est pratiquement la seule utilisée pour l'aboutage des lamelles. Les aboutages n'apparaissent alors que comme de minces lignes à la surface des éléments. Les adhésifs polyuréthane (PUR) peuvent aussi servir à réaliser ces aboutages.

3.3.3. Qualité d'aspect

L'aspect du bois lamellé, différent du bois massif bien sûr, est plus contemporain, avec une superposition de lamelles qui confère aux poutres une esthétique très « structurée ». Il peut, selon les attentes, présenter un aspect homogène (collage de bois de même essence et de même qualité) ou panaché (collage et panachage de qualités et d'essences différentes). Il propose, par ailleurs, d'agir à la surface de la matière. Depuis les produits issus directement des sciages, pour une matière très brute, jusqu'aux rabotés, poncés, voire sablés... la gamme des aspects possibles est vaste.

Poutres bois lamellé habillées de gris pour la piscine de Barentin. Arch. : OCTANT

La diversité des essences offre également un intéressant panel de couleurs qui peut ainsi contribuer à l'esthétique de l'ouvrage. Dans le cas d'un emploi en extérieur, ces teintes naturelles peuvent évoluer (rayons UV du soleil, pour les pièces qui y sont soumises) et tirer vers un coloris argenté. Certains apprécient cet effet qui offre aux bois de structure une certaine « patine ». Il est cependant possible d'éviter cette évolution en appliquant sur les bois des produits de finition (vernis, lasures, peintures) qui les préserveront de ce phénomène et garantiront la stabilité du coloris initial.

Selon leur composition les produits de finition protègeront l'aspect originel du bois ou le modifieront. On peut ainsi faire évoluer une essence claire et accorder une autre teinte, plus soutenue ou sombre. Autre rendu, les peintures microporeuses en phase aqueuse, plus couvrantes, permettent un aplat de couleur uniforme.

Mais les finitions n'apportent pas que de la couleur (ou de la transparence) : elles se déclinent également sur le thème du toucher. Ainsi a-t-on vu se développer, ces dernières années, des gammes de produits à l'aspect brillant, satiné ou ultra mat qui participent pleinement à définir le style d'un bâtiment.

3.3.4. Dimensions et formes des éléments

La technique du bois lamellé permet de varier considérablement la forme de la section transversale et la géométrie des éléments structuraux. Seules limites ? Celles fixées par le transport, les locaux des fabricants et les équipements mécaniques.

Il existe des réglementations communes à l'ensemble des pays de l'UE, mais certains peuvent imposer d'autres règles.

Forme des éléments - Deux types de composants en bois lamellé se distinguent : les poutres et les dalles. Pour les poutres, les possibilités de formes sont infinies. Les sections peuvent ainsi être parallélépipédiques, ovoïdes, rondes mais aussi en forme de I, de T, de L ou même creuses. Ces sections présentent une inertie constante ou variable. La ligne directrice de la poutre peut être droite, brisée, dédoublée ou même courbe. Et la variation de ces différents paramètres donne sa forme à l'élément. Les dalles en bois lamellé, quant à elles, peuvent être utilisées en plancher, en toiture, et même en mur.

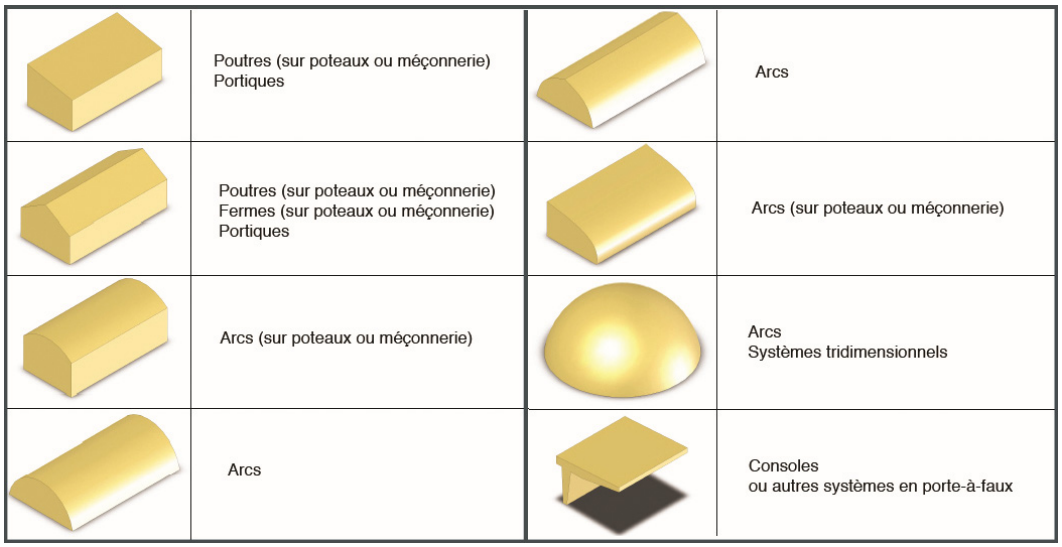
Dimensions des éléments - La hauteur d'une poutre droite correspond en principe à un multiple d'une épaisseur de lamelle de 45 mm, c'est-à-dire à 90, 135, 180, 225, 270, 315, etc. La hauteur d'une poutre courbe correspond en principe à un multiple d'une épaisseur de lamelle de 33 mm, c'est-à-dire à 266, 300, 333, 366, etc. Lorsque le rayon de courbure est inférieur à 7 m, des lamelles plus fines sont nécessaires.

La largeur maximale d'une poutre en bois lamellé dépend de la disponibilité de lamelles larges. S'il est généralement difficile de se procurer du bois de sciage d'une largeur supérieure à 225 mm, il est parfois possible d'obtenir des largeurs jusqu'à 260 mm. S'agissant de la longueur, il est généralement possible de livrer des éléments en bois lamellé d'une longueur de 30 m. Dans la pratique, la longueur est limitée par le transport : des autorisations spéciales peuvent être nécessaires si la longueur totale du véhicule dépasse 25,25 mètres. Il existe des réglementations communes à l'ensemble des pays de l'Union européenne.

3.3.5. Forme des ouvrages et systèmes constructifs

La diversité des formes de sections et de poutres permet des dessins d'ouvrages aux formes multiples, souples et originales. Si, par ailleurs, on prend en compte l'exceptionnelle portée du bois lamellé et les dimensions envisageables (jusqu'à 40 mètres pour des chantiers courants et au-delà de 100 mètres pour des chantiers exceptionnels) les possibilités architecturales semblent quasiment infinies. Tous les types de volumes sont envisageables et la structure devient un véritable spectacle. Nombre d'ouvrages intégrant une structure en bois lamellé ose ainsi les rondeurs ou la rigueur et fait apparaître cette structure qui participe à l'élégance de l'ensemble. Toutes les formes imaginables reposent sur des volumes élémentaires. Avec le bois lamellé, ces volumes sont multiples, souples et originaux :

- Les poutres (sur poteaux ou maçonnerie)
- Les portiques
- Les fermes (sur poteaux ou maçonnerie)
- Les arcs (sur poteaux ou maçonnerie)
- Les systèmes tridimensionnels
- Les consoles ou autres systèmes en porte-à-faux



Diversité des systèmes constructifs proposés par le bois lamellé.

Par combinaison de ces volumes élémentaires, on obtient un large éventail de formes possibles pour les bâtiments en bois lamellé. Selon la volonté du concepteur et le type d'ouvrage envisagé, différents systèmes constructifs sont proposés :

- Les systèmes isostatiques (poutres, treillis, arcs à 3 articulations) : de modélisation plus simple, ils mettent en œuvre des assemblages courts.
- Les systèmes hyperstatiques (voiles, coques, arcs à 2 articulations) : réclamant des calculs plus complexes, ils permettent cependant une optimisation des poutres grâce aux calculs et donc des économies de matière.
- L'association de ces deux systèmes.

3.3.6. Propriétés physiques

Le bois lamellé se distingue par un rapport performance/masse particulièrement intéressant. En un mot : léger et solide à la fois, il autorise la réalisation de sections importantes, capables d'assumer de très longues portées. C'est par ailleurs un matériau peu conducteur de chaleur qui participe à la performance thermique globale d'un ouvrage en limitant les ponts thermiques. Enfin, la maîtrise du taux d'humidité relative du bois lamellé est une garantie d'une stabilité, assurée par des coefficients de rétractabilité connus et contrôlés.

- Masse volumique (sapin/Epicéa) à 15 % d'humidité : entre 400 et 500 kg/m^3
- Coefficient de conductivité thermique (lambda) : 0,12 W/m°C
- Coefficient de rétractabilité radiale/tangentielle par % de variation d'humidité aux environs de 0,25%
- Coefficient de rétractabilité longitudinale : négligeable
- Résistance courante à la flexion : de 24 à 30 Mpa

3.3.7. Caractéristiques de résistance mécanique

En tant qu'élément de structure, le bois lamellé est avant tout un matériau solide qui offre une grande stabilité, ne se tord ni ne se déforme.

Les contraintes que peut supporter une structure en bois lamellé sont directement liées aux performances mécaniques des bois lamellés qui la composent. Ces classes de résistance des éléments sont déterminées à partir des classes de résistance des lamelles qui composent l'élément (norme NF EN 14080, 2013).

Pour faciliter la correspondance entre les besoins d'un ouvrage et les caractéristiques mécaniques d'une poutre en bois lamellé, la norme EN 1194 a établi des classes de résistance, permettant d'évaluer les poutres. Les classes le plus couramment employées en France sont GL 24 et GL 28.

Ce classement permet de connaître l'ensemble des caractéristiques mécaniques, en particulier les différentes résistances du bois lamellé. Ainsi, selon la classe, sont déterminées les résistances en flexion, en traction (axiale et transversale), en compression (axiale et transversale) et au cisaillement. La masse volumique, le module moyen d'élasticité axiale et le module moyen de cisaillement sont également connus. Ces informations permettent de conformer le matériau à son usage futur.

La classe du bois lamellé se présente sous la forme des deux lettres GL (pour glulam), suivies d'un nombre qui donne la valeur de résistance à la flexion, puis d'une lettre qui indique si le lamellé est homogène (lettre "h"), panaché (autrement appelé combiné, lettre "c") ou panaché à combinaison asymétrique (lettres "ca"). Les propriétés mécaniques, autres que la résistance à la flexion, peuvent être déduites de celle-ci.
Par exemple, un bois lamellé classé "GL 24 h" est un bois lamellé homogène, avec une résistance caractéristique à la flexion de 24 MPa.

NOTE (version française) : Plus de détails sur les classes de résistance et les résistances caractéristiques du bois lamellé sur le **Portail du Bois Lamellé**

3.3.8. Qualités thermiques

Comparé au métal, le bois se caractérise par un bon comportement sous l'effet des variations de température. Cela signifie que les contraintes liées à des variations de température dans le bois lamellé sont rarement source de problèmes.

La conductibilité thermique et la capacité calorifique sont les mêmes que celles du bois massif (bois résineux). À l'instar des autres produits du bois, le lamellé possède de relativement bonnes qualités calorifuges. Le coefficient de conductivité thermique du bois lamellé (λ), qui s'exprime en W/m °C, est par exemple comparable à celle du béton léger et est considérablement moins élevée que celle du béton traditionnel et de l'acier. Cette conductivité thermique est de 0,11 W/m °C dans le sens perpendiculaire au fil et de 0,24 W/m °C dans le sens parallèle au fil. Le bois lamellé, utilisé en structure, n'a cependant pas de rôle isolant à proprement parler, ces qualités thermiques lui permettent cependant de contribuer à l'efficacité énergétique globale d'un bâtiment.

La capacité thermique massique du bois lamellé est relativement élevée (inertie thermique). Elle est estimée aux environs de 1 300 J/kg °C – contre 880 J/kg °C pour le béton par exemple. Cependant, en raison de la faible quantité de bois lamellé présent dans un bâtiment, les possibilités de mettre à profit cette caractéristique pour éliminer les écarts de température sont limitées.

3.3.9. Teneur en humidité et stabilité aux variations de température et d'humidité

L'expression « teneur en humidité de référence » est utilisée pour le bois lamellé conformément à la norme EN 14080. Cette valeur varie, pour chaque lamelle, entre 8 et 15 %.

Au moment de l'assemblage, la teneur en humidité de chaque lamelle doit être comprise entre 6 et 15 %. La teneur en humidité de deux lamelles ne doit cependant pas différer de plus de 5 %.

En œuvre, dans des conditions de température et d'état hygrométrique (humidité relative) constantes, le bois lamellé se stabilise afin de présenter à terme une teneur en humidité d'équilibre, ne variant que si les conditions d'ambiance changent d'elles mêmes. On dit que le bois est en équilibre hygroscopique. Des courbes normalisées ont été établies pour déterminer, avec une précision relative, la teneur moyenne en humidité d'équilibre.

La vitesse de mise en équilibre dépend de l'essence employée, des dimensions de la pièce de bois et de l'amplitude des variations. En règle générale plusieurs semaines ou mois sont nécessaires à des pièces massives pour aboutir à l'équilibre hygroscopique. Il faut souligner que la présence de finitions (peintures, vernis, ignifuges) peut ralentir le phénomène. On note également un décalage (phénomène d'hystérésis) entre les courbes d'adsorption et de désorption pour une température donnée.

Pour des questions de fabrication (collage) l'humidité des lamelles doit être de 6 à 15 %. En France, il est courant que les éléments de structure en bois lamellé soient approvisionnés avec une teneur en humidité de l'ordre de 12 %. Ce qui convient parfaitement pour bon nombre d'ouvrages (habitat, bureaux, bâtiments commerciaux, etc.), pour lesquels les températures moyennes et humidités relatives conduisent à ce taux.

3.3.10. Sécurité incendie et résistance au feu

Lors d'un incendie, les caractéristiques mécaniques des pièces en bois lamellé sont maintenues pour un temps déterminé. Sous l'influence du feu, une carbonisation se produit à la surface du bois. Le charbon de bois ainsi formé limite la pénétration de l'oxygène dans les couches inférieures et empêche l'élévation de température. En conséquence, la température centrale de la pièce en bois lamellé exposée à un essai au

feu n'excède pas 50°C au bout de 45 mn… sachant que les caractéristiques mécaniques du bois lamellé ne sont pas affectées par une élévation de température jusqu'à environ 60/80°C.

La résistance au feu des ouvrages en bois lamellé (soit leur capacité à maintenir leurs fonctions structurelles en cas d'incendie) est donc prévisible et maîtrisable dès la conception. Cette résistance au feu se justifie par des règles normalisées (Eurocode 5-partie « feu ») sur la base d'une vitesse moyenne de carbonisation de 0,6 à 0,7 mm/mn. Il est donc aisé pour les concepteurs de prévoir les épaisseurs nécessaires au maintien des performances mécaniques des éléments de structure, pour un temps exigé.

La réaction au feu détermine le caractère plus ou moins combustible d'un matériau et donc sa propension à participer ou non au développement d'un feu. En l'occurrence, le bois lamellé est prévisible : des essais ne sont donc pas nécessaires. D'autant que le matériau bénéficie d'un classement conventionnel, qui permet d'évaluer ses compétences. Ce classement peut enfin être amélioré par un traitement ignifuge en surface (vernis, peinture) ou dans la masse.

En conclusion, les structures en bois lamellé apportent des réponses sécurisantes à la question incendie. Au premier rang de ces réponses : le document technique APSAD D14 (publié par le Centre National de la Prévention et de la Protection en septembre 2010). Destiné aux assurances souhaitant s'informer sur la qualité des éléments de structure, ce document s'intéresse tout particulièrement à la sécurité incendie. La présence du bois lamellé dans ce document souligne que les structures en bois lamellé ne présentent aucun risque aggravant pour la sécurité incendie.

3.3.11. Durabilité : résistance au temps et aux ambiances agressives

Tout comme les ouvrages en bois massif, **les ouvrages en bois lamellé résistent au temps** et franchissent les décennies sans dommage, pour peu qu'ils soient correctement protégés. Les traitements et finitions appliqués au matériau lors de la fabrication correspondent à l'usage qui sera fait du matériau et renforcent sa durabilité. Ils lui procurent une résistance accrue aux agents biologiques - qui pourraient se développer dans les situations d'humidité - ainsi qu'aux rayons ultraviolets.

De fait, le bois lamellé offre une bonne **résistance** aux microorganismes lorsqu'il est correctement utilisé. Tout au long de la durée de vie du bâtiment, la structure doit cependant être protégée de ces attaques. La meilleure façon de protéger le bois consiste à veiller, lors de la conception, à ce que la décomposition ne puisse pas se produire : il convient avant tout de faire en sorte que le bois reste sec ou qu'il sèche rapidement lorsqu'il a été mouillé. Dans les endroits particulièrement exposés, l'utilisation de bois traités et le recours à une classe adaptée sont des solutions efficaces.

Pour en savoir plus, se référer au Volume 2 du Manuel.

En outre, les structures en bois lamellé présentent un excellent comportement en **contexte d'ambiance agressive**. Ces structures résistent ainsi aux acides faibles (acétique, oxalique, lactique - avec une bonne résistance jusqu'à un pH de 2) comme aux ambiances basiques (jusqu'à un pH de 10). Avec les sels courants, l'expérience prouve qu'il n'y a aucun effet significatif : le bois lamellé, couramment utilisé pour des hangars de stockage de sel, résiste parfaitement au sel comme à l'eau de mer. Pareillement, huiles, hydrocarbures, solvants et alcools n'affectent pas le comportement mécanique des structures en bois lamellé.

Cette résistance aux ambiances agressives explique la forte présence du bois lamellé dans des ouvrages tels que les piscines, bâtiments industriels, centres de traitement, stockage des déchets ou encore station d'observation en conditions extrêmes.

Il convient, bien entendu, de prévoir la conception du bâtiment et des assemblages en conséquence.

NOTE (version française) : Pour plus d'informations, se reporter à l'ouvrage **« Bois lamellé et résistance aux ambiances agressives », disponible sur le Portail du Bois Lamellé** (SNBL, 2017)

Station Antarctique Concordia en bois lamellé, 1996. Arch. : J. Dubourg (33)

3.4. Éléments en bois lamellé

On distingue deux types d'éléments en bois lamellé selon le modèle de fabrication

- Produits sur gamme, généralement des poutres droites et fréquemment sur stock
- Produits fabriqués à façon en fonction de leur destination et qui concerne des poutres droites, à inertie variable ou des poutres courbes

3.4.1. Produits sur gamme

Les éléments en bois lamellé droits présentent des surfaces parfaitement rabotées (non réparées) et sont gardés en stock. Leurs longueurs peuvent généralement atteindre 12 à 13 mètres. Les sections varient en Europe selon les essences et les pays (cf tableaux des dimensions cibles France et tableau des sections scandinaves).

Les caractéristiques mécaniques de ces éléments varient du GL 24 au GL 30 selon les producteurs et les essences choisies. Pour les éléments en bois lamellé issus de poutres refendues à l'aide d'une scie à ruban, il convient de réduire les caractéristiques initiales de 2N/mm^2.

Tableau des dimensions cibles des producteurs français

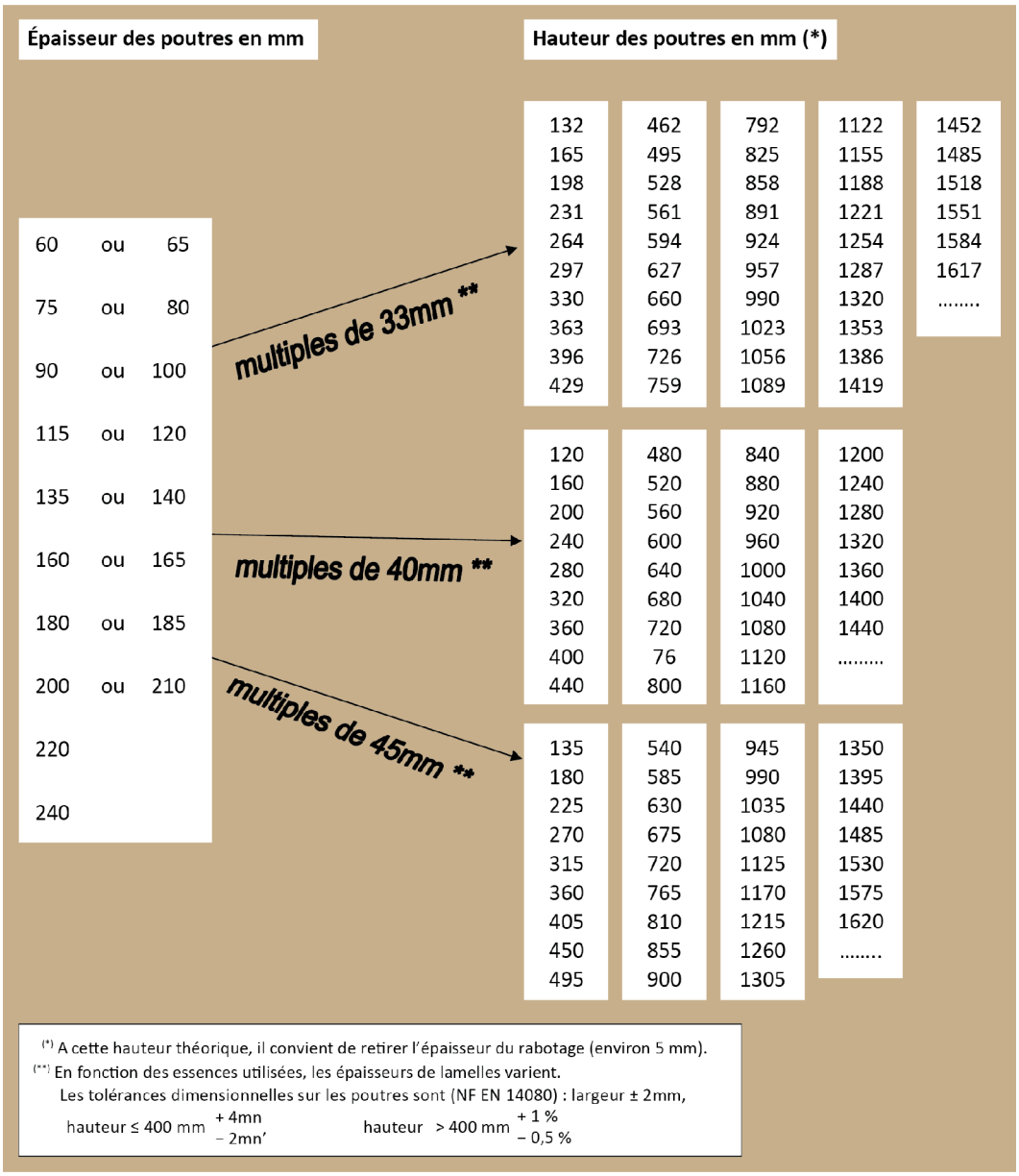


Tableau des dimensions cibles des producteurs français de bois lamellé

Tableau des sections des poutres scandinaves

Épaisseur x hauteur : b x h en mm

Classe de résistance GL28cs b x h	Classe de résistance GL30c b x h	Classe de résistance GL30h b x h
42 x 180	**90** x 180	**90** x
x 225	x 225	
x 270	x 270	**115** x 115
	x 315	
56 x 225	x 360	**140** x 135
x 270	x 405	x 140
	x 450	
42 x 270		**160** x 160
x 315	**115** x 180	
	x 225	**165** x 165
	x 270	
	x 315	
	x 360	
	x 405	
	x 450	
	x 495	
	x 630	
	140 x 225	
	x 270	
	x 315	
	x 360	
	x 405	

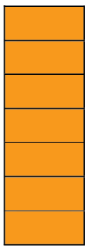


Tableau des sections des poutres scandinaves : dimensions b x h de la section transversale des produits en bois lamellé en stock fabriqués dans les pays nordiques. Elles tiennent compte d'une teneur en humidité équivalant à une teneur en humidité de référence de 15 % et concernent le bois lamellé appartenant à la catégorie d'aspect standard « surface proprement rabotée, non réparée ».

Les fournisseurs de bois lamellé peuvent avoir en stock des dimensions autres que celles indiquées dans les tableaux ci-dessus. Il est également possible de commander d'autres dimensions (pour les éléments droits, la hauteur de la section transversale h est égale à n x 45 mm).

Observations relatives aux poutres en bois lamellé refendues hautes (b < 90 mm) :
Le rapport largeur/hauteur des poutres refendues doit être b/h ≤ 1/8. Néanmoins, si une poutre refendue dont le rapport largeur/hauteur est b/h ≥ 1/8 satisfait aux exigences de résistance, la hauteur h de la poutre peut au besoin être augmentée tout en conservant la même largeur, le rapport largeur/hauteur maximum étant b/h 1/10.

Exemple : si une poutre refendue de 42 x 315 satisfait aux exigences de résistance, mais qu'une poutre plus haute est nécessaire en raison, par exemple, de l'épaisseur isolante, la hauteur de la poutre refendue peut être augmentée et atteindre jusqu'à 405 mm. Il est possible de prendre en compte la hauteur totale de la poutre dans le calcul à l'état limite de service.

Tolérances dimensionnelles

Les tolérances dimensionnelles du bois lamellé sont régies par la norme EN 14080. Les exigences en matière de tolérances s'appliquent par rapport à des dimensions cibles tenant compte d'une teneur en humidité de 15 % (teneur en humidité de référence), conformément à la norme EN 14298. Si la teneur en humidité d'un élément en bois lamellé diffère de la teneur en humidité de référence, les dimensions doivent être recalculées conformément à la norme EN 14080 :

b (largeur)	± 2 mm	
h (hauteur)	≤ 400 mm	+ 4 mm à - 2 mm
	> 400 mm	+1 % à - 0,5 %
L (longueur)	≤ 2,0 m	± 2 mm
	> 2,0 ≤ 20 m	± 0,1 %
	> 20 m	± 20 mm
Angles	Les angles de la section transversale peuvent dévier au maximum de 1:50 par rapport aux angles droits.	

Longueur d'un élément droit	L ≤ 2 m	± 2 mm
Longueur développée d'un élément courbe	2 m ≤ L ≤ 20 m	± 0,1 %
	L > 20 m	± 20 mm

Voilement longitudinal mesuré comme la déformation maximale sur une longueur de 2000 mm pour les éléments droits quelle que soit la contre-flèche	≤ 4 mm

Déformation par mètre de longueur développée pour les éléments lamellés-collés courbes	≤ 6 lamelles ± 4 mm
	> 6 lamelles ± 2 mm

Contexte normatif et réglementaire

Le contexte technico-réglementaire concernant le bois lamellé repose sur trois types distincts d'exigence :

- des exigences sur le produit "bois lamellé"
- des exigences sur la conception des ouvrages en bois lamellé
- des exigences sur l'exécution de ces ouvrages

Historiquement définies au niveau national, les exigences technico-règlementaires concernant le bois lamellé sont aujourd'hui de plus en plus définies au niveau européen,

avec des adaptations nationales possibles. Il en est de même pour l'ensemble des matériaux et techniques de construction.

Etape intermédiaire vers l'harmonisation européenne, les exigences quant aux produits de construction étaient, jusqu'en 2011, régies par une Directive européenne, donnant lieu à des adaptations règlementaires nationales. Depuis 2011, un Règlement Européen a remplacé la Directive et s'applique dans tous les pays de l'Union (voir section Certifications et contrôles). Il renvoie, pour le bois lamellé, à une norme européenne harmonisée (NF EN 14080), qui permet le marquage CE. Ce texte normatif, énonce l'ensemble des contraintes de fabrication (mécanique, résistance au feu, santé, hygiène…) et renvoie aux normes appropriées.

Concernant la conception des ouvrages en bois lamellé, le cadre national (Règles CB71 et Guide pratique du bois lamellé) a cédé la place aux normes européennes de conception des ouvrages, avec une conception (calculs, dimensionnement) selon l'Eurocode.

Concernant l'exécution des ouvrages, le cadre reste aujourd'hui national, via les normes DTU, liés à la notion d'assurance, même si des démarches au niveau européen sont en cours.

NOTE (version française) : Les textes techniques de référence, pour la fabrication du bois lamellé, la conception des ouvrages, et leur mise en œuvre sont listés sur le **Portail du bois Lamellé**.

3.4.2. Éléments en bois lamellé produits à façon

Poutres droites en bois lamellé

Les éléments en bois lamellé les plus courants sont les éléments droits. Ils sont généralement fabriqués à partir de lamelles de bois de 45 mm d'épaisseur et sont utilisés pour les poutres de plancher, les poutres de toiture et les poteaux. Les éléments en bois lamellés droits sont souvent inclus comme composants dans différents systèmes structuraux. Pour en savoir plus, se référer à la section « Systèmes structuraux ».

En cas de grande portée, il peut être nécessaire d'appliquer une contre-flèche aux poutres sur appuis libres pour éviter une flèche importante. Ces poutres peuvent être fabriquées sur commande.

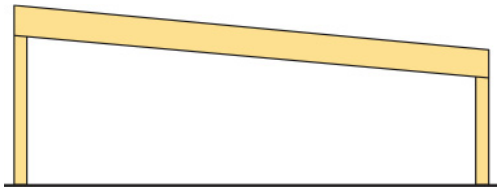
Éléments courbes en bois lamellé

Les éléments en bois lamellé courbes sont utilisés pour les portiques ou les arcs, mais aussi comme poutres courbes.

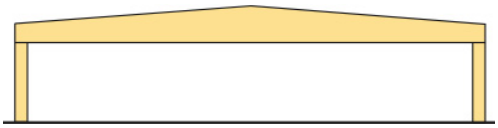
La hauteur de la section transversale de ces éléments courbes sous forme d'arcs ou de portiques doit, dans la mesure du possible, être constante au niveau des parties courbes. Les poutres bananes et les portiques aux reins courbes peuvent être conçus avec des chanlattes ou, en cas d'exigences particulières en matière d'aspect, être collés, cloués de façon mobile ou vissés au niveau du faîtage ou des reins.

L'épaisseur des lamelles pour les éléments courbes est normalement de 33 mm. Des lamelles plus fines sont toutefois nécessaires lorsque le rayon de courbure est inférieur à 7 m.

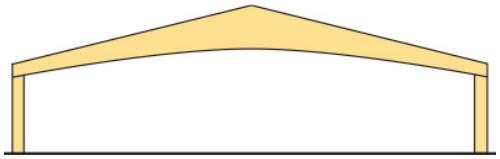
Exemples d'utilisation du bois lamellé pour les halls :



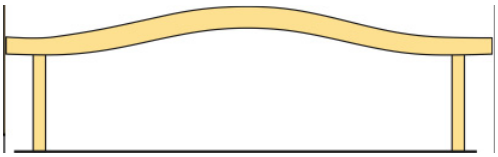
Poutres droites sur poteaux ≤ 30 m



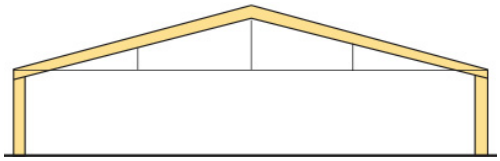
Poutres à double décroissance sur poteaux 10 - 30 m



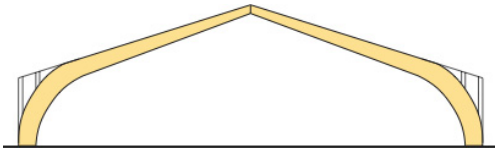
Poutres bananes sur poteaux 10 - 20 m



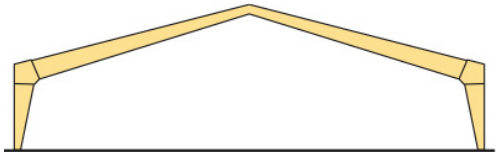
Poutres courbes 10 - 20 m



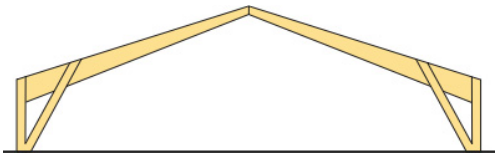
Fermes à trois rotules avec tirant sur poteaux 15 - 50 m



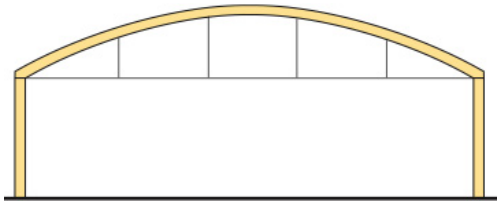
Portiques à trois rotules et aux reins courbes 15 - 40 m



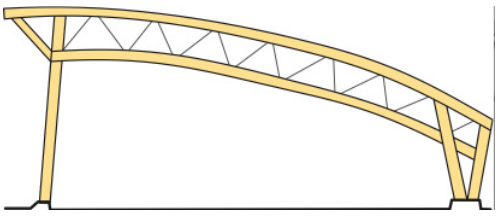
Portiques à trois rotules et aux reins assemblés par entures multiples 15 - 25 m



Portiques à trois rotules de type composite 15 - 35 m

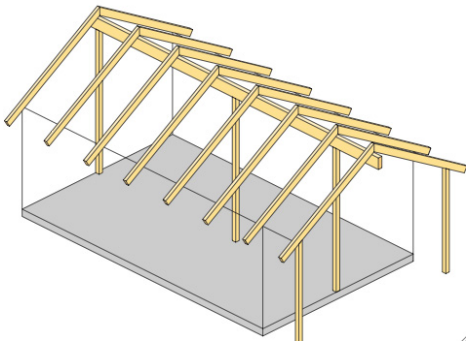


Arcs à trois rotules sur poteaux 20 - 100 m

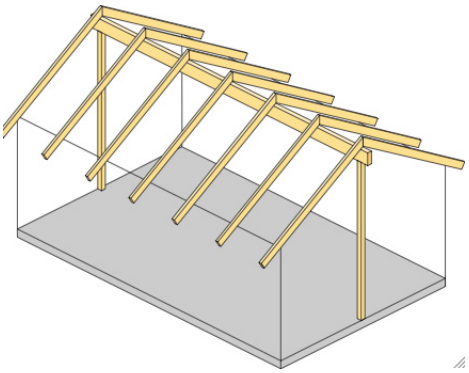


Poutres à treillis 30 - 85 m

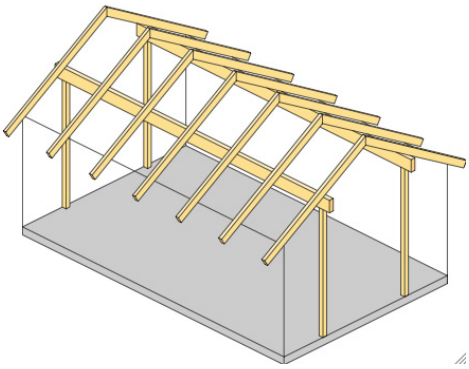
Exemples d'utilisation du bois lamellé pour les maisons individuelles :



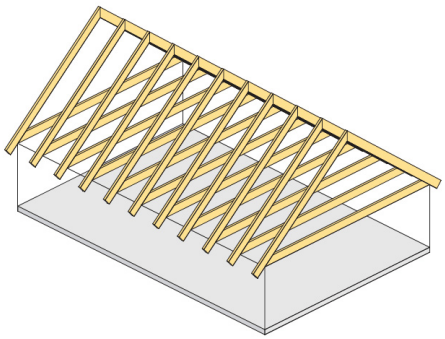
Poutre primaire au niveau du faîtage avec ou sans appui intermédiaire



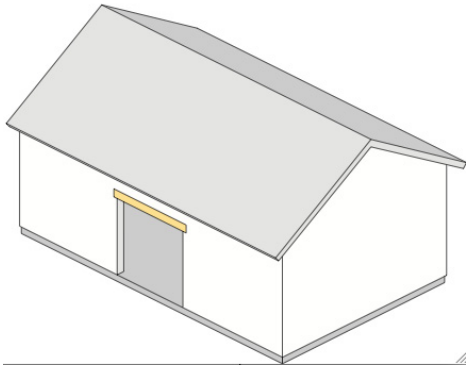
Chevrons appuyés sur une poutre de faîte primaire



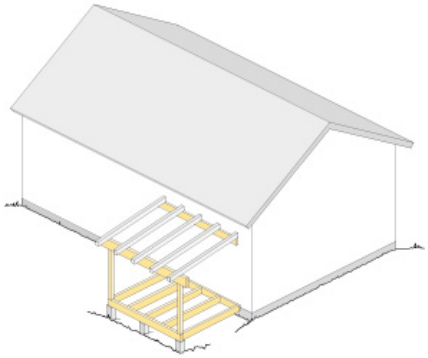
Chevrons appuyés sur deux poutres primaires



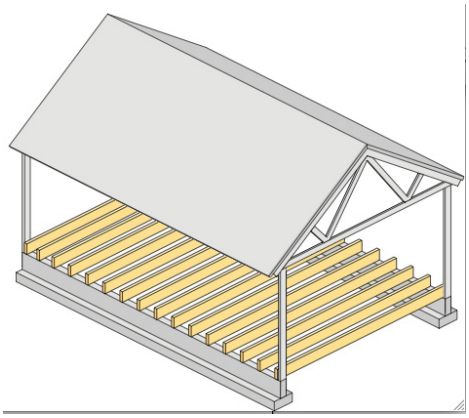
Fermes



Poutre au-dessus d'une ouverture dans des murs porteurs



Vérandas

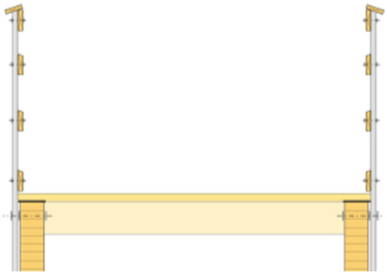


Poutres de plancher

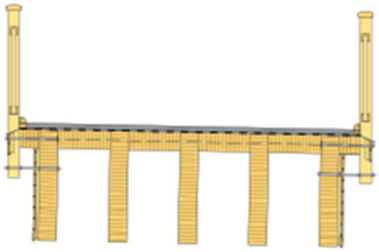
Exemples d’utilisation du bois lamellé pour les ponts en bois

Passerelles pour piétons et ponts pour cyclistes

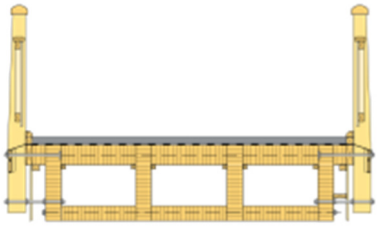
Plaque tendue transversalement ≤ environ 20 m



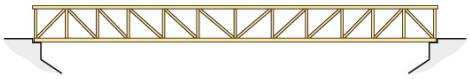
Pont-poutre ≤ environ 20 m



Pont à poutres en T ≤ 30 m

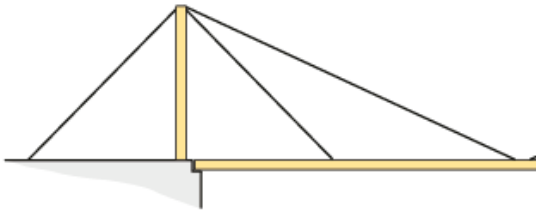


Pont à poutres-caissons ≤ 30 m



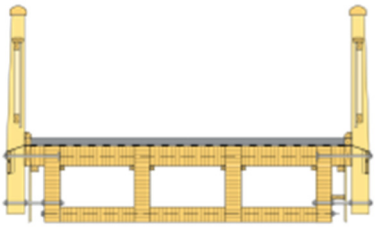
Pont en treillis environ 25 - 40 m

Pont en arc environ 25 - 60 m



Pont à pylônes environ 40 - 100 m

Plaque tendue transversalement ≤ environ 20 m



Pont à poutres-caissons ≤ environ 20 m

Pont en arc environ 25 - 50 m

3.4.3. Protection pendant le transport

Les fabricants se chargent de l'emballage – généralement individuel et composé de matières respectueuses de l'environnement – des éléments en bois lamellé. L'emballage est conçu de façon à protéger l'élément de l'humidité, de la lumière ultraviolette et d'un certain nombre de dommages mécaniques pouvant survenir pendant le transport, le stockage et le montage.

Lors de la réception, le destinataire est chargé de veiller à ce que les produits soient correctement stockés (piles, protégés de l'humidité du sol, des précipitations, de la saleté et du soleil). Le plus souvent, l'emballage doit être ouvert pour empêcher ou évacuer la condensation. Le stockage à long terme des éléments sur le lieu de construction doit être évité. Lors de la réception, il convient de vérifier que la teneur en humidité de référence est conforme à celle spécifiée dans la commande.

3.4.4. Montage

Sur chantier, les professionnels sont désormais équipés du matériel d'implantation adéquat, calqué sur le modèle des outils du géomètre (niveau laser et plumb-plane, laser mètre, théodolite). Ce matériel permet aujourd'hui aux entreprises d'implanter leurs ouvrages dans des temps très réduits en ne mobilisant qu'un seul salarié.

Le matériel d'élévation du personnel a aussi permis des avancées importantes en termes d'amélioration des conditions de travail, donc d'efficacité et de sécurité des équipes. Les cadences de pose varient suivant la conception de la charpente et peuvent atteindre jusqu'à 5000 m2 par semaine. La diversité des types de nacelles rend assez rares les situations où les constructeurs sont contraints de revenir à d'autres moyens d'accès comme les échafaudages collectifs ou les lignes de vie. Quant au matériel de grutage, il évolue d'année en année : plus rapide dans ses mouvements, plus compact, plus précis... Mais c'est sans doute l'arrivée des élévateurs frontaux télescopiques qui a le plus apporté en matière de diminution des coûts de manutention.

Engin de levage employé pour la pose de poutres en bois lamellé sur poteaux béton.

Tant que le système de stabilisation permanent du bâtiment n'est pas achevé, des mesures temporaires doivent être prises pour que la structure résiste au vent et aux autres charges pendant toute la durée de la construction. Des câbles d'acier tendus à l'aide de tendeurs à lanterne constituent le meilleur moyen de fixer les portiques et les arcs. Des câbles d'acier sont également utilisés pour maintenir la structure dans la bonne position jusqu'au montage des contreventements ou d'un système similaire.

Chapitre 4

4. CONCEPTION

4.1. Work in progress…

Ce quatrième chapitre du Manuel du bois lamellé – Volume 1 présente les bases de la conception des structures et des locaux incluant du bois lamellé. Cette partie aborde les possibilités et les limites des produits en bois lamellé, pour accompagner la conception. Elle décrit les conditions techniques de construction et les systèmes structuraux les plus courants permettant répondre et concrétiser les projets.

Ce chapitre, en cours d'adaptation pour la version française, fera l'objet de mises à jour du Manuel. Cs mises à jour seront consultables et téléchargeables sur le site **www.glulam.org** et diffusées à tous ceux qui se seront inscrits pour être tenus informés.

POSTFACE

MISES À JOUR
DU MANUEL DU BOIS LAMELLE

LE PRÉSENT OUVRAGE FERA L'OBJET DE MISES À JOUR RÉGULIÈRES ET D'ENRICHISSEMENTS S'AGISSANT DE LA VERSION FRANÇAISE, ADAPTATION DE L'OUVRAGE D'ORIGINE.

CES MISES À JOUR SERONT DIFFUSÉES SUR LE SITE WWW.GLULAM.ORG ET ENVOYÉES AUTOMATIQUEMENT AUX PERSONNES INSCRITES SUR CE MÊME SITE.

POUR TÉLÉCHARGER LE PRÉSENT DOCUMENT ET ÊTRE TENU INFORMÉ DES PROCHAINS MISES À JOUR :

WWW.GLULAM.ORG

Textes de référence et bibliographie

Références normatives

EN 1995-1-1 : Eurocode 5 – Conception et calcul des structures en bois – Partie 1-1 : généralités – Règles communes et règles pour les bâtiments.

EN 1995-1-2 : Eurocode 5 – Conception et calcul des structures en bois – Partie 1-2 : généralités – Calcul des structures au feu.

EN 14080:2013 : Structures en bois – Bois lamellé-collé et bois massif reconstitué – Exigences

EN 14298:2004 : Bois scié – Estimation de la qualité du séchage.

EN 301:2006 : Adhésifs de nature phénolique et aminoplaste, pour structures portantes en bois – Classification et exigences de performance.

Quelques références complémentaires

Références bibliographiques (pour la version française du présent Manuel)

Nouvelles inventions pour bien bâtir et à petits frais, Philibert De l'Orme, 1561

Traité de l'Art de la Charpenterie, Colonel Émy, 1878

Histoire des Charpentiers, Antoine Moles, 1949 (Gründ)

Un siècle de charpente lamellée collée, Compagnons du Devoir Institut de la Charpente - Etats généraux du bois, 2007

Article rédigé par Yves Pauwels (CERS, Tours) – 2005

Documentation professionnelle (pour la version française du présent Manuel)

« Règlement Produits Construction », Guide Memento, FCBA, CODIFAB, 2015

Ebook du Centenaire du Lamellé (SNBL, 2012)

Bois Lamellé et Résistance aux ambiances agressives (SNBL, 2017)

Réparation des fissures ou des fentes – Février 2016

Les encastrements dans les structures en bois lamellé – Février 2016

Recommandations professionnelles – Février 2016

Contraintes admissibles

Possibilités d'emploi de certaines essences à cœur durable

Résistance au feu

Guide pratique de conception et de mise en œuvre

Ces notes techniques, concernant la version française, sont disponibles sur le portail www.glulam.org

En savoir plus

Le présent ouvrage correspond au Volume 1 du Manuel du bois lamellé, publié en trois volumes. Le Volume 1 rassemble des informations sur le bois lamellé et des conseils en matière de conception (chapitre 4, qui fera l'objet de mises à jour fin 2018-début 2019). Le Volume 2 contient les calculs structuraux pour le dimensionnement statique du bois lamellé. Le Volume 3 présente un certain nombre d'exemples de calculs pour les structures en bois lamellé-collé les plus courantes.

Contributeurs au Glulam Handbook Version originale - 2013

Groupe de référence et collaborateurs factuels :

Chef de projet Roberto Crocetti, Lunds Tekniska Högskola, Lund, Suède

Leif Cederlöf, Setra Trävaror AB, Suède

Roberto Crocetti, Lunds Tekniska Högskola, Suède

Mikael Fonselius, Woodvalue, Finlande

Johan Fröbel, Svenskt Trä, Suède

Jouni Hakkarainen, Metsä Wood, Finlande

Åge Holmestad, Moelven Limtre AS, Norvège

Thomas Johansson, Moelven Töreboda AB, Suède

Greger Lindgren, Martinson Group AB, Suède

Harald Liven, Moelven Limtre AS, Norvège

Päivi Myllylä, Puuinfo OY, Finlande

Tero Vesanen, Finnish Glulam Association, Finlande

Gunnar Utskot, Vestlandske Limtre Industri AS, Norvège

Auteur et responsable du Volume 1 Holger Gross, Gross Produktion AB

Histoire du bois lamellé Sture Samuelsson, professeur émérite, Stockholm.

Illustrateur Thelander Arkitektur & Design AB, Stockholm, Suède

Traducteurs William Per Hartfree, Sigtuna, Suède - Torbjörn Schmidt, Schmidt Träkonsult, Sollentuna, Suède (termes techniques)

Conception graphique et production Proservice Reklambyrå i Malmö AB, Malmö, Suède

Contributeurs au Manuel du Bois Lamellé
Version française adaptée du Glulam handbook - 2018

Chefs de projet Dominique Millereux (SNBL/ UICB), Otto Bosch (Swedish Wood)

Groupe de référence Dominique Millereux (SNBL/ UICB), Otto Bosch (Swedish Wood), Clément Quineau (SNBL/ UICB) et la Commission Technique du Syndicat National du Bois Lamellé (SNBL)

Auteur et responsable du Volume 1 Claire Leloy, SNBL

Auteur et responsable du Volume 2 Laurent Lemagorou, Institut FCBA

Auteur et responsable du Volume 3 Eric Sauvignet, BE2S

Conception graphique et production Desk, France ; Adrienne Bornstein, France

Cet ouvrage, adaptation française du Glulam handbook, a été réalisé dans le cadre de la campagne « Le Bois Lamellé dans la Ville », soutenue et réalisée par :

CODIFAB – www.codifab.fr

SWEDISH WOOD – www.swedishwood.com

SYNDICAT NATIONAL DU BOIS LAMELLÉ – www.glulam.org

ACERBOIS – www.acerbois.org

CONTACT /

Tél. : 01 43 45 53 43

Courrier électronique : contact@uicb.pro

Tous les droits liés au contenu du présent manuel appartiennent au Syndicat National du Bois Lamellé.

Le contenu est protégé par la législation sur le droit d'auteur. Il est formellement prohibé de violer ces droits. Il est interdit de copier le contenu du présent document. Le Syndicat National du Bois Lamellé décline toute responsabilité en cas de dommage dû au contenu du présent manuel.