

Note N° 14  
Janv. 2017

**Version finale**  
02/01/2017

# BOIS LAMELLÉ ET AMBIANCES AGRESSIVES

STRUCTURES EN BOIS LAMELLÉ SOUMISES  
À DES CONDITIONS SÉVÈRES D'EXPLOITATION  
OU À DES AMBIANCES AGRESSIVES



**Union des Industriels et Constructeurs Bois**

**SNBL - Commission technique**

Document professionnel



UNION DES INDUSTRIELS ET CONSTRUCTEURS BOIS  
le renouvelable c'est l'avenir





*«Bois lamellé et ambiances agressives» est un ouvrage collectif,*

*Réalisé sous l'animation de  
Dominique Millereux,  
Secrétaire Général  
du Syndicat National du Bois Lamellé*

*Avec la participation active de  
la Commission Technique du SNBL  
l'Institut Technique FCBA  
l'OHGPI  
l'association ACERBOIS*

<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>4</b>
<b>2. LE MATÉRIAU BOIS</b>	<b>5</b>
2.1 Anatomie	5
2.2 Composition chimique	6
<b>3. LES COLLES</b>	<b>7</b>
<b>4. LES PROPRIÉTÉS ET CARACTÉRISTIQUES</b>	<b>8</b>
4.1 Propriétés physiques	8
4.2 Propriétés mécaniques	10
4.3 Propriétés thermiques	11
4.4 Propriétés électriques	11
4.5 Résistance aux produits chimiques	13
4.6 Résistance à la température des bois et colles	26
4.7 Résistance aux actions climatiques extérieures	28
4.8 Comportement à l'humidité	30
4.9 Résistance aux agents biologiques	32
<b>5. CHOIX ET COMPORTEMENT DES ASSEMBLAGES</b>	<b>37</b>
5.1 Assemblages métalliques	38
5.1.1 Phénomènes de corrosion	38
5.1.2 Protection pour les assemblages métalliques	39
5.2 Les assemblages inox	44
5.3 Les assemblages en matériaux de synthèse	44
5.4 Les assemblages bois sur bois	45
<b>6. CONCEPTION DE LA CONSTRUCTION</b>	<b>46</b>
6.1 Processus de conception	46
6.2 Durée de vie attendue de l'ouvrage ou parties d'ouvrage	47
6.3 Niveaux de fiabilité	48
6.4 Coût global	49
6.5 Identification des facteurs de risques et des niveaux associés	49
6.5.1 L'humidité d'exploitation	49
6.5.2 La température	51
6.5.3 La teneur en humidité du bois	51
6.5.4 Les agents chimiques	53
6.5.5 Les agents biologiques	54
6.6 Exigences réglementaires (Installations classées)	56
6.7 Choix d'une forme structurale	57
<b>7. EXPLOITATION ET ENTRETIEN DES BÂTIMENTS</b>	<b>59</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE ET NORMES DE RÉFÉRENCE</b>	<b>60</b>
<b>INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES</b>	
Figure 1- Structure du bois (observations multi-échelles)	5
Figure 2- Vue microscopique de cellules du bois	6
Tableau 1- Critères de choix de l'adhésif constitutif d'un bois lamellé	7
Tableau 2- Coefficients de retrait	9
Tableau 3- Caractéristiques mécaniques du bois lamellé homogène	10
Tableau 4- Quelques exemples de coefficients de dilatation linéaire	12
Tableau 5- Conductivité thermique de différents matériaux	12
Tableau 6- Quelques exemples de résistances électriques	12
Figure 3- Schéma acides/bases	13
Figure 4- Effet de la température sur les résistances	27
Figure 5- Etat hygrométrique par rapport à la température	30
Figure 6- Etapes de sélection des essences	33
Tableau 7- Qualification des aciers et autres matériaux d'assemblage	37
Tableau 8- Risque de corrosion	40
Tableau 9- Catégories de corrosivité (structures immergées ou enterrées)	41
Tableau 10- Protection contre la corrosion des organes d'assemblages	42
Tableau 11- Performances indicatives des principaux types de peinture	43
Figure 7- Etapes du processus de conception	46
Tableau 12- Durées indicatives d'utilisation de projet	47
Tableau 13- Teneur en humidité du bois selon l'usage du bâtiment	51
Figure 8- Définitions des classes de service	52
Tableau 14- Classes d'emploi	54
Figure 9- Volumes élémentaires et systèmes constructifs associés	57
Figure 10- Exemples de solutions en bois lamellé	58

Matériau renouvelable aux caractéristiques physiques connues et maîtrisées, le bois lamellé est fréquemment prescrit pour des bâtiments industriels qui abritent des exploitations générant des ambiances agressives. Usine d'anodisation, centre de traitement de déchets, stockage de matériaux chimiques tels que potasse et soufre... en sont quelques exemples.

Les structures en bois sont par ailleurs utilisées dans des conditions extrêmes d'exploitation, comme par exemple pour des bases polaires, des refuges en haute montagne, des biscuiteries ou encore des saunas.

A ces réalisations contemporaines, on peut ajouter celles du passé, où le bois a servi de structures, de récipients ou de machines, pour des usages externes ou agressifs, tels que des conduites de sels, des fonderies, du stockage de batteries, d'alcools, l'entreposage de produits laitiers, etc.

Ces qualités de résistance du bois lamellé face aux ambiances agressives sont très souvent méconnues (et non codifiées). C'est pourquoi, le Syndicat National du Bois Lamellé (SNBL) a pris l'initiative avec l'ensemble de ses adhérents, de réaliser un état de l'art sur le sujet afin d'apporter quelques recommandations pour l'emploi de ce matériau dans des configurations d'ambiances agressives.

L'expérience, les réalisations et les données scientifiques apportent les preuves de l'excellence du bois lamellé dans de tels contextes. Si l'on ajoute à ces garanties le caractère éminemment renouvelable de ce matériau de structure, on peut affirmer que le bois lamellé présente, à l'évidence, de belles perspectives pour l'avenir.

Le Président du SNBL  
Eric VERRIERE

Ce document se veut être une source d'informations pour les maîtres d'ouvrages, les bureaux d'études, les bureaux de contrôle, les entreprises du bois ainsi que tous les spécialistes des entreprises concernées. Aussi, il propose une vue d'ensemble sur les différentes possibilités d'utilisation des structures en bois lamellé dans des conditions sévères d'exploitation ou soumises à une exposition chimique agressive de l'air ambiant (non de l'atmosphère extérieure). De telles conditions ne se rencontrent pas exclusivement dans l'industrie chimique ; on les trouve aussi, par exemple, dans des centres de traitement de déchets, des stations thermales de bains salins, des laiteries, des biscuiteries, etc.

Il est important de rappeler que la notion « d'ambiance agressive » n'est pas normalisée pour les ouvrages en bois. Elle caractérise, en général, des conditions d'exploitation ou d'usage très différentes de celles des habitations situées dans des contextes normaux et qui peuvent avoir des influences sur le comportement du bâtiment et de sa structure. Une ambiance agressive peut avoir comme origine un stockage de produits, une exploitation avec des produits acides, basiques ou sels, une humidité ou une température importante, une exposition marine, une localisation géographique particulière (pôles)...

Soulignons enfin que le contenu de ce document se limite essentiellement aux structures de bâtiments tels que les usines comme par exemple les zingueries, les productions d'accumulateurs électriques, les déchetteries, les stations d'épuration, les tanneries, en passant par les entrepôts de sels ou d'engrais... et pour des conditions permettant une exploitation avec du personnel (respect des valeurs d'émissions imposées par la réglementation en vigueur et en particulier les dispositions du code du travail). La résistance à l'incendie (autre situation accidentelle) n'est ainsi pas abordée dans le présent document.

Au delà de ces applications, il convient de rappeler que le bois est aussi utilisé depuis longtemps pour diverses installations techniques spéciales comme des tours de refroidissement, des conduites pour les salines, des citernes, des fosses à lisiers ou des couvercles pour des produits agressifs, etc.

## 2- LE MATÉRIAU BOIS

### 2.1 Anatomie

Le bois est un matériau poreux constitué de millions de cellules de nature, de taille, de forme et de composition différentes. Une représentation de ce matériau à échelles multiples est proposée sur la Figure 1 et permet de visualiser les constituants, du sciage à la molécule.

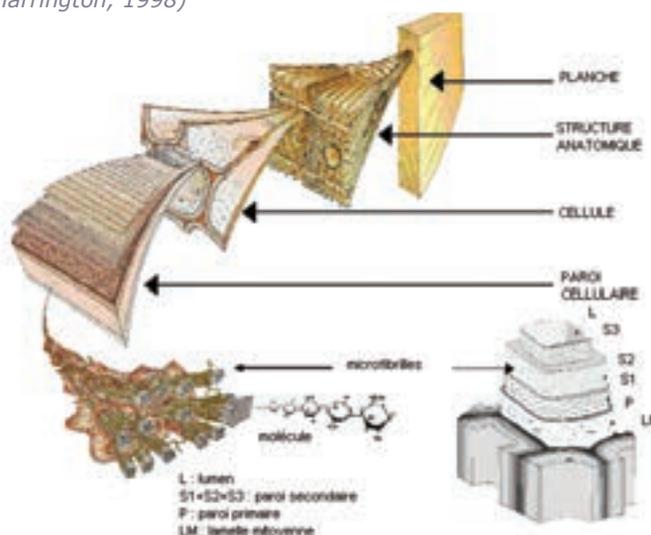
L'ensemble de ces cellules, de par leurs spécificités et leur arrangement, constituent la base de la structure anatomique et anisotrope du bois, et permet à chaque essence de se différencier par son plan ligneux.

En fonction du rôle assuré et selon l'essence on rencontre :

- Des fibres (cellules de soutien) ;
- Des vaisseaux (cellules de conduction) dans les feuillus uniquement ;
- Des cellules de parenchyme ; (cellules de réserves)
- Des trachéides (cellules de soutien et de conduction dans les bois résineux et les bois feuillus).

Le rôle des cellules de soutien et de conduction est particulièrement important pour les propriétés physiques et mécaniques du bois. Concernant le bois soumis à des agressions chimiques, il est important de considérer, outre les propriétés de résistance mécanique, les propriétés de conduction des liquides et des gaz, ainsi que la résistance thermique.

**FIGURE 1** - Structure du bois (observations multi-échelles, d'après Harrington, 1998)



## 2.2 Composition chimique

Du point de vue chimique, le bois est essentiellement composé des trois éléments composant les parois cellulaires : la cellulose, les hémicelluloses et la lignine. Ces trois éléments sont poly-moléculaires et confèrent aux cellules du bois leur solidité grâce à leur structure hautement ordonnée.

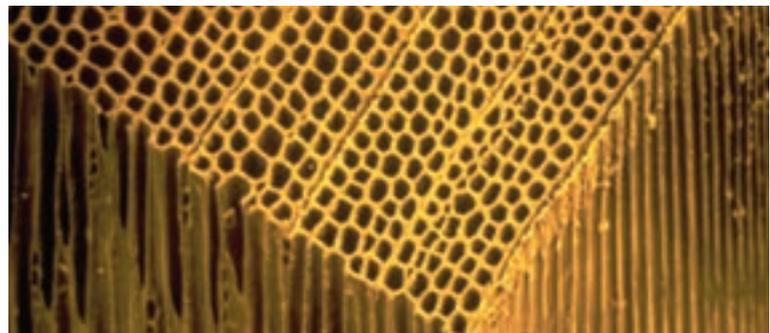
**La cellulose** (40 à 50%) fournit la substance constituant la paroi cellulaire du bois. Ses longues chaînes moléculaires filiformes s'organisent en unités résistantes à la traction, les fibrilles. En simplifiant, la fonction de la cellulose pourrait être comparée à celle des tiges d'acier dans le béton armé.

**Les lignines** (20 à 30%) diffèrent en fonction des bois résineux ou feuillus et fournissent bien sûr un des éléments composant les parois cellulaires. Elles consistent en de complexes macromolécules tridimensionnelles liées entre elles, qui confèrent aux parois cellulaires et par conséquent au bois leur résistance à la pression, en comblant l'espace restant entre les fibrilles de cellulose.

**Les hémicelluloses** (15 à 25%) forment de petites chaînes moléculaires dont la composition chimique diffère selon que l'on a à faire à des résineux ou à des feuillus. En généralisant, leur fonction peut être vue comme celle d'un liant ou d'une colle entre les deux composants précédents.

En plus de ces trois composants principaux des parois cellulaires, on trouve un grand nombre de substances consistant en de petites molécules. Celles-ci confèrent au bois, entre autres, sa couleur, son odeur, les propriétés de sa surface et sa résistance aux insectes ou champignons.

**FIGURE 2** - Vue microscopique de cellules du bois (source : CTBA)



## 3- LES COLLES

Note N° 14  
Janvier 2017

Le bois lamellé est fabriqué avec des adhésifs structuraux permettant d'abouter les lamelles entre elles et de les coller face contre face de manière à reconstituer les dimensions de section désirées et la longueur d'élément attendue. C'est ce principe de fabrication qui permet de s'affranchir des dimensions de l'arbre et de travailler sur de grandes portées.

Trois types de colle sont couramment utilisés :

- Mélamine Urée Formol (MUF)
- Phénol Résorcine (PRF)
- Polyuréthane (PU)

La norme de fabrication du bois lamellé (NF EN 14080) fournit les conditions d'utilisation des adhésifs employés. La norme NF EN 301, cadre les exigences relatives aux colles de nature phénolique et aminoplaste, et la norme NF EN 15425 celles relatives aux colles PU. Un résumé des informations contenues dans ces normes se trouve au Tableau 1, qui montre que la classe de service (selon EC5) permet de déterminer quel type d'adhésif est requis.

**TABLEAU 1** : Critères de choix de l'adhésif constitutif d'un bois lamellé

TYPE D'ADHÉSIF	TYPE I	TYPE I	TYPE II
TEMPÉRATURE	> 50°C	≤ 50°C	≤ 50°C
ÉQUIVALENCE CLIMATIQUE*	Non spécifiée	> 85 % HR à 20°C	≤ 85 % HR À 20°C
EXEMPLES	Exposition prolongée à une température élevée	Exposition totale aux conditions climatiques (intempéries)	Bâtiments chauffés et ventilés. A l'extérieur, protection contre les intempéries ou courtes périodes d'exposition
ÉQUIVALENCE CLASSES DE SERVICE EUROCODE 5	1, 2 et 3	1, 2 et 3	1 et 2

\* Une humidité relative de l'air de 85 % à 20°C entraîne une humidité de 20 % environ, dans un bois résineux ainsi que dans la plupart des feuillus, et une humidité légèrement inférieure dans les panneaux dérivés du bois.

## 4. PROPRIÉTÉS ET CARACTÉRISTIQUES

Lorsque les règles constructives de protection du bois sont respectées, on peut considérer la durabilité et l'utilisation du bois comme quasiment illimitées. Dans certaines conditions toutefois, le bois, en tant que matériau organique, peut être modifié ou altéré par des agents biologiques, physiques, chimiques ou climatiques et il convient d'en connaître les effets et si nécessaires les protections à apporter.

### 4.1 Propriétés physiques

Lorsqu'il est encore « vert », le bois fait montre de bonnes propriétés de conduction de l'eau et des solutions aqueuses (par exemple des produits de protection); c'est du moins le cas pour l'aubier. En ce qui concerne le cœur du bois (duramen), cette propriété de conduction est plus limitée, du fait de transformations secondaires qui visent à obturer les pores et empêcher le transfert des liquides. Pour de nombreuses essences de bois, la capacité de conduction se perd de façon irréversible lors du séchage. C'est particulièrement vrai pour l'épicéa, chez qui les passages intercellulaires (sorte de vannes entre les cellules conduisant la sève) se bouchent au séchage, laissant le bois quasiment inapte au transfert de liquide.

En fonction de la température et de l'humidité de l'air ambiant, une humidité d'équilibre s'installe sur les parois cellulaires du bois sec par adsorption (Cf [Comportement à l'humidité](#)). L'eau est transportée par capillarité le long des parois cellulaires et liée entre les fibrilles. Par ce film d'eau, des éléments chimiques peuvent être transportés sous forme de sels dissous et les gaz peuvent pénétrer au moins les premières couches du bois.

La teneur en humidité du bois s'exprime par le pourcentage de la masse d'eau par rapport à la masse anhydre.

*H* : taux d'humidité dans le bois (%)

*M<sub>H</sub>* : masse du bois à l'humidité *H*

*M<sub>O</sub>* : masse du bois à l'état anhydre

Le taux d'humidité est un paramètre physique fondamental qui influe sur les caractéristiques mécaniques du bois.

$$H = \frac{M_H - M_O}{M_O} \cdot 100$$



## 4. PROPRIÉTÉS ET CARACTÉRISTIQUES

Pour des taux d'humidité inférieurs au PSF (Point de Saturation des Fibres de l'ordre de 28% à 30%), au cours d'une désorption (séchage) ou une adsorption (reprise d'humidité), le bois subit des variations dimensionnelles, respectivement un retrait ou un gonflement. La rétractibilité est la propriété du matériau bois de diminuer ou d'augmenter de dimensions lorsque son taux d'humidité varie et elle est fortement anisotrope. Les coefficients de retrait linéaires traduisent selon le sens, la variation de dimension pour une variation de 1% d'humidité de la pièce de bois.

$$R_{\text{tangentielle}} > R_{\text{radiale}} > R_{\text{longitudinale}}^*$$

\* considéré généralement comme négligeable

Le Tableau 2 indique quelques valeurs de coefficients de retrait pour des essences servant à la fabrication du bois lamellé.

La densité ou masse volumique est un paramètre physique qui vise à préciser la quantité massique de matière ligneuse contenue dans le volume donné de bois. Mais, au regard de la nature hygroscopique du matériau, elle ne peut être définie que sous certaines conditions d'humidité : 0%, 15% ou H% quelconque.

**TABLEAU 2** : Coefficients de retrait

ESSENCES	$R_r$ (retrait radial en %)*	$R_t$ (retrait tangentiel en %)*
Epicéa	0.12	0.26
Sapin	0.19	0.37
Douglas	0.17	0.27
Pin Sylvestre	0.19	0.32
Iroko	0.18	0.25

\* Les coefficients de retrait sont donnés en pourcentage de variation dimensionnelle pour 1% de variation d'humidité du bois / Source : Bois matériau d'ingénierie

#### 4.2 Propriétés mécaniques

Elles sont aujourd'hui, parfaitement connues et font l'objet d'un cadre normatif conséquent tant sur le plan international que national. Les valeurs qui leur sont associées dépendent des codes de calculs utilisés (EC5, CB71,...) et des coefficients incorporés (coefficients de sécurité, coefficients de fluage, etc.).

Pour le bois lamellé, les normes NF EN 14080 et NF P 21-400 définissent les classes mécaniques (GL24, GL28, GL32) avec les caractéristiques de calcul associées.

Le Tableau 3 rappelle les caractéristiques mécaniques du bois lamellé homogène selon EN 14080, utilisables pour le calcul avec l'Eurocode 5.

Lors du dimensionnement en résistance d'un ouvrage en lamellé (ELU), ces valeurs sont modifiées par un coefficient  $K_{mod}$  (rupture différée) fonction des classes de service (Humidité) et des classes de durée de chargement et également par un coefficient de sécurité  $\gamma_m$ . Pour la vérification des déformations (ELS) l'humidité agit également au travers des classes de service par l'introduction d'un coefficient  $k_{def}$  minorant les modules d'élasticité.

Dans de rares situations, des conditions extrêmes d'humidité et de températures sous contrainte peuvent conduire à une déformation élastique, qui doit le cas échéant être prise en considération lors de la conception de l'ouvrage et modélisée.

**TABLEAU 3** : Caractéristiques mécaniques du bois lamellé homogène selon EN 14080, utilisables pour le calcul avec l'Eurocode 5

Classe de résistance		GL 20h	GL 24h	GL 28h	GL 32h
Résistance en flexion	$f_{m,g,k}$	20	24	28	32
Résistance en traction	$f_{t,0,g,k}$	16	19,2	22,4	25,6
	$f_{t,90,g,k}$			0,5	
Résistance en compression	$f_{c,0,g,k}$	20	24	28	32
	$f_{c,90,g,k}$			2,5	
Résistance en cisaillement	$f_{v,g,k}$			3,5	
Module d'élasticité	$E_{0,g,moy}$	8 400	11 500	12 600	14 200
	$E_{0,g,05}$	7 000	9600	10 500	11 800
	$E_{90,g,moy}$			300	
Module de cisaillement	$G_{g,moy}$			650	
Masse volumique	$\rho_{g,k}$	340	385	425	440

### 4.3 Propriétés thermiques

Comme pour les autres matériaux, les dimensions d'une pièce de bois fluctuent en fonction de la température. Le coefficient de dilatation est cependant bien inférieur à celui de la plupart des autres matériaux de construction comme l'acier, le béton, l'aluminium ou les matières plastiques, de sorte que l'on néglige la plupart du temps la dilatation lors des calculs de statique. Cette faible valeur explique l'absence de joints de dilatation dans les structures de grande longueur en bois lamellé. On admet aussi que les jeux d'assemblages absorbent la dilatation.

Le [Tableau 4](#) donne quelques valeurs de coefficients de dilatation linéaire.

A l'opposé, il faut considérer les variations dimensionnelles dues au retrait lors du séchage ou au gonflement lors de l'humidification. Ces déformations ne peuvent être négligées. Comparé aux autres matériaux de construction, le bois peut être considéré comme un excellent isolant thermique. Sa conductivité thermique en est la meilleure représentation.

Le [Tableau 5](#) donne quelques exemples chiffrés.

Le coefficient de conductivité thermique des matériaux,  $\lambda$ , exprime la quantité de chaleur traversant en 1 seconde 1 mètre de matériau homogène pour un écart de température de 1°C entre ses deux faces. Plus  $\lambda$  est faible, plus le matériau isole.

### 4.4 Propriétés électriques

Le bois sec est un bon isolant électrique, c'est ce qui explique son emploi pour la réalisation de poteaux supports de lignes électriques ou téléphoniques. L'humidité contenue dans le bois peut modifier considérablement les caractéristiques de résistance électrique (plus le bois est humide, plus la résistance est faible). Cette propriété est utilisée pour mesurer l'humidité du bois avec des humidimètres à pointes. Quelques valeurs sont livrées dans le [Tableau 6](#).

Le bois est également réputé pour faire obstacle aux champs électriques ELF (Source OMS). Bien qu'il n'y ait que peu de données sur le sujet, le bois semble être considéré comme un matériau diamagnétique faible.

## 4. PROPRIÉTÉS ET CARACTÉRISTIQUES

**TABLEAU 4 :** Quelques exemples de coefficients de dilatation linéaire

MATÉRIAU	Coefficient de dilatation linéaire en mm/mm/°C x 10 <sup>-6</sup>
Acier	12
Verre	9
Aluminium	24
Béton	14
Brique	7
PVC	80
Bois	5

**TABLEAU 5 :** Conductivité thermique de différents matériaux de construction

MATÉRIAU	Conductivité thermique $\lambda$ en W/m.°C
Polystyrène expansé	0,03
Bois	0,10 à 0,30
Brique	0,30 à 0,96
Béton	1,75
Acier	52

**TABLEAU 6 :** Quelques exemples de résistances électriques

MATÉRIAU	Résistance en Ohm x m
Bois sec	3 x 10 E +17
Verre	10 E -1
Aluminium	2.7 X 10 E -8
Cuivre	1.7 X 10 E -8

#### 4.5 Résistance aux produits chimiques

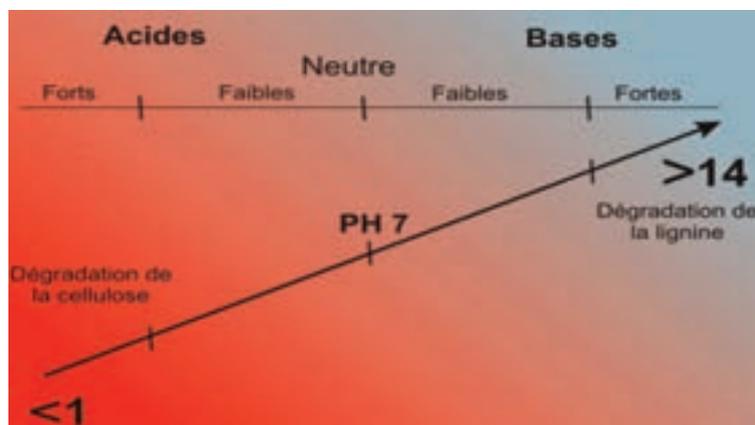
Le bois lamellé et autres bois collés (contreplaqués, BMR, etc.) sont fortement résistants à l'action de nombreux produits chimiques, si on les compare à d'autres matériaux de construction. Ils permettent de réaliser des structures tout à fait appropriées pour une utilisation dans des environnements acides, basiques, solvantés, huileux, etc., à la condition de prévoir la conception du bâtiment et des assemblages en conséquence. Les retours d'expérience pour des emplois du bois lamellé dans des conditions extrêmes sont aujourd'hui conséquents et quelques exemples significatifs sont détaillés ci-après.

La résistance du bois aux agents chimiques dépend essentiellement du type de produit, de sa concentration, de la température de la solution en présence, du contact éventuel avec le produit, de la durée et fréquence d'utilisation. Il est communément admis (Europe, Amérique du Nord, Australie) que dans la plage suivante le bois peut parfaitement être utilisé :

$$2 < pH < 10$$

Rappelons que le pH qui est un indicateur de concentration en ions hydrogène libres dans les solutions, permet de classer les produits en acides ou bases. Sachant qu'une solution neutre a un pH de 7, plus la valeur est faible plus le produit est acide et inversement pour un produit basique. Au delà de cette plage, les valeurs limites de résistance du bois se laissent difficilement définir car la décomposition des constituants du bois (cellulose et lignine) commence par des détériorations marginales qui peuvent se prolonger jusqu'à la destruction complète du bois et affecter la solidité de l'ouvrage.

FIGURE 3



### Les acides

En règle générale, le bois et ses dérivés résistent bien aux acides faibles, comme bon nombre d'acides organiques courants (acide acétique, oxalique, formique, lactique) ou aux acides minéraux en faible concentration. Les acides minéraux forts ( $\text{pH} < 2$ ) et certains acides organiques forts en contact avec le bois, l'hydrolysent en formant des sucres mélangés pouvant aboutir à une destruction du matériau.

### Les bases

En ce qui concerne les réactions et dégradations occasionnées par les produits basiques (alcalins) la sensibilité du bois est plus forte. Pour les bases faibles, des attaques peuvent se produire en particulier avec des températures élevées. Pour les bases fortes (soude par exemple), les solutions dissolvent la lignine et affaiblissent le bois. Rappelons qu'il s'agit là d'un des procédés utilisés par l'industrie papetière pour l'extraction de la cellulose.

D'une manière générale, et vis à vis du comportement face aux acides et aux bases faibles, les bois résineux sont plus résistants que les feuillus.

### Les sels

Concernant la résistance du bois par rapport aux sels courants (NaCl, etc.) il ne semble pas y avoir d'effets significatifs, les nombreux hangars à sels des Ponts et Chaussées en témoignent. Les environnements riches en chlorures comme par exemple les piscines ou les ambiances maritimes (eau de mer) n'affectent pas le bois (sauf l'influence de l'humidité).

### Les alcools

Les alcools, dont certains sont stockés dans des récipients en bois, n'affecteront pas le comportement mécanique des structures en bois, hormis le gonflement occasionné par la reprise d'humidité. De nombreux chais sont ainsi construits avec du bois lamellé.

### Huiles et solvants

Les huiles, hydrocarbures et solvants organiques n'auront pas ou peu d'effets sur le comportement mécanique du bois.

## 4. PROPRIÉTÉS ET CARACTÉRISTIQUES

Lors de la conception d'un bâtiment de stockage ou de tout autre bâtiment utilisant des produits chimiques ou exposé à des ambiances agressives, il est important de connaître les agressivités « potentielles » occasionnées par des réactions chimiques prévisibles.

Par exemple, des produits chimiques solides sont susceptibles d'absorber de l'humidité et donner des solutions salines (acides ou basiques) concentrées pour lesquelles il convient d'éviter un contact avec le bois. Des bains peuvent produire des vapeurs acides (basiques plus rarement) qui, en se fixant sur la surface du bois, conduiront à des dégradations, en général à caractère superficiel, mais fréquemment inesthétiques.

De manière générale, les concentrations « courantes » de HCl, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S et NO<sub>x</sub> ne posent aucun problème.

Le [diaporama](#), dans les pages qui suivent, présente quelques exemples de construction amenant aux ambiances agressives et qui ont été réalisées par les adhérents du Syndicat National du Bois Lamellé.

Note N° 14  
Janvier 2017



# DIAPORAMA///

Stockage de potasse, de soufre, d'engrais, de tourteaux, hangars à sel...

Note N° 14  
Janvier 2017



*Hangar à sel,  
à Auxerre.  
Architecte :  
Patrick Branchu (89)*



*Extension d'un silo  
à sucre  
Sucrierie de Bourdon  
Clermont-Ferrand (63)*



*Centre de stockage et  
traitement des déchets  
La Veuve (51)  
Architectes :  
S'PACE (94),  
SEPOC (69)*



*Centre de traitement  
des déchets  
Fos sur Mer (13)  
Architectes :  
S'PACE architecture,  
Ct Miranda*



*Unité de traitement de  
l'eau potable  
Saint Emiliand (71)  
Architectes : BBJ*

# DIAPORAMA///

Ateliers d'anodisation, accumulateurs électriques, fours d'aluminium...

Note N° 14  
Janvier 2017

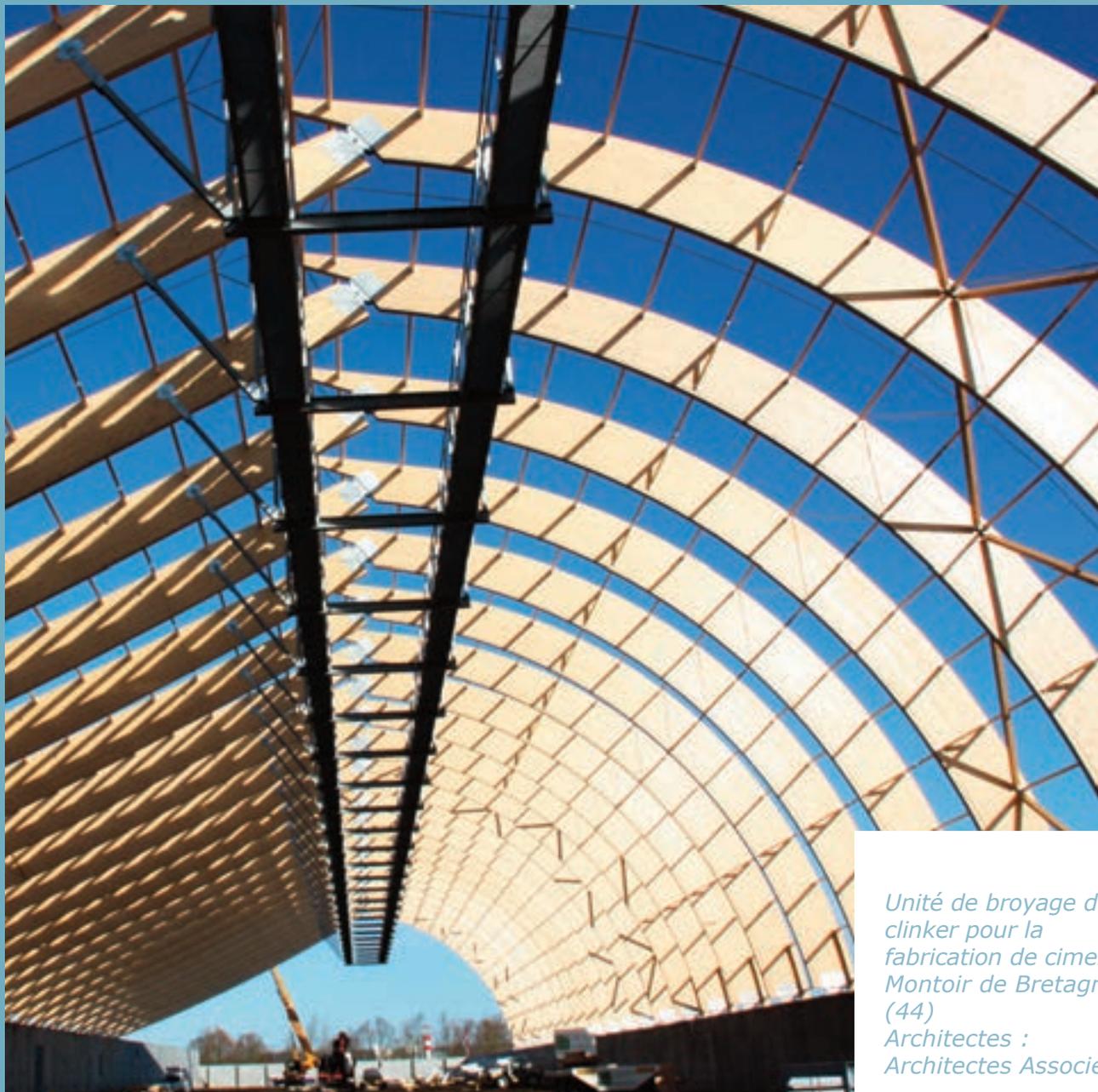


*Usine de fabrication  
d'aluminium  
(Société Alsacienne  
d'Aluminium)  
Sélestat (67)  
Architectes :  
François Kieffer (67)*

# DIAPORAMA///

Ateliers d'anodisation, accumulateurs électriques, fours d'aluminium...

Note N° 14  
Janvier 2017



*Unité de broyage de  
clinker pour la  
fabrication de ciment  
Montoir de Bretagne  
(44)  
Architectes :  
Architectes Associés*

# DIAPORAMA///

Chais, sucreries, biscuiteries, élevage, fromageries, poissonnerie...

Note N° 14  
Janvier 2017



*Ferme d'élevage  
piscicole - Bassins  
recouverts d'un  
champs photovoltaïque  
Mezos (40)  
Architectes :  
Loisier-Baret*

# DIAPORAMA///

Chais, sucreries, biscuiteries, élevage, fromageries, poissonnerie...

Note N° 14  
Janvier 2017



*Chais du Chateau de  
Brane-Cantenac  
Margaux (33)  
Architectes : Vincent  
Defos du Rau,  
GPA (31)*

# DIAPORAMA///

Chais, sucreries, biscuiteries, élevage, fromageries, poissonnerie...

Note N° 14  
Janvier 2017



*Poissonnerie, fromagerie, épicerie...  
au marché couvert  
Barjouville (28)  
Architectes :  
Celereau & Partners*

### 4.6 Résistance des bois et colles à la température

En ce qui concerne l'influence de la température sur les propriétés mécaniques, ces dernières diminuent quand la température augmente et inversement quand elle baisse. En dessous de 100°C on n'observe aucune dégradation thermique, même après une longue durée. C'est au delà de 100°C que commence une lente dégradation qui est d'autant plus rapide que la température est haute.

A des températures très froides (Zones polaires, haute altitude, périodes hivernales, etc.) les résistances à la flexion, compression et aux chocs sont plus élevées que celles constatées à des températures normales.

Sur un plan normatif, l'Eurocode 5 (EN 1995-1-1) considère dans son domaine d'application, que ses dispositions de dimensionnement s'appliquent à des structures soumises à des températures n'excédant pas 60°C.

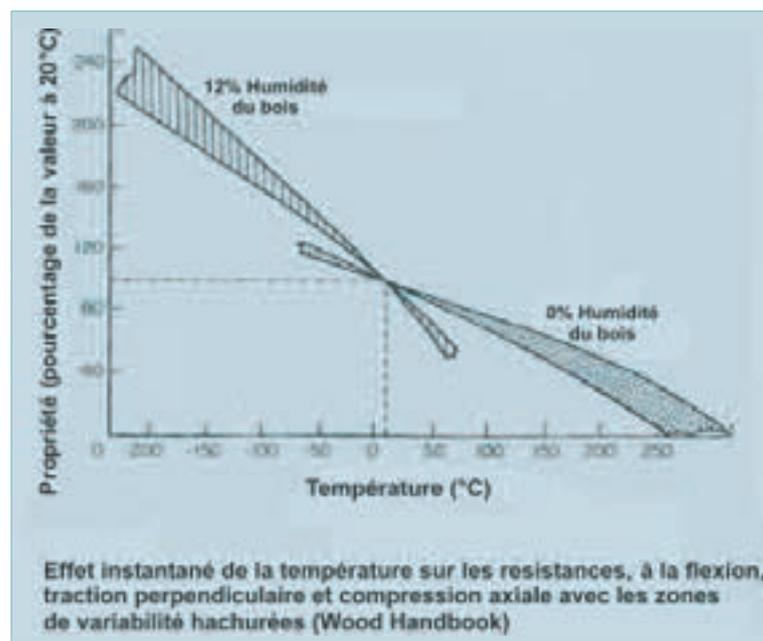
Pour ce qui est de l'adhésif, il est d'usage de dire qu'il risque de perdre ses propriétés mécaniques lorsqu'il atteint ce que l'on appelle la température de transition vitreuse notée  $T_g$ . Dans ce cas, la chute de résistance peut être catastrophique et soudaine. Ce paramètre est une caractéristique de la colle au même titre que la viscosité ou le temps d'assemblage. Il est fonction de la formulation, dépend de la vitesse de montée en température ou de refroidissement et reste propre à chaque colle. Les procédés d'assemblages structuraux à base d'organes métallo collés et soumis à la procédure d'agrément technique précisent leur limite d'emploi vis-à-vis de la température dans leurs documents techniques.

## 4. PROPRIÉTÉS ET CARACTÉRISTIQUES

L'effet de la température sur la résistance au cisaillement des joints de colles entre lamelles a été étudié au sein de l'Institut fédéral suisse de technologie (M FONTANA) et a mis en évidence que les bois collés avec une résorcine avaient seulement une perte de résistance de 20 % à 80°C. Dans le cadre de ces travaux, plusieurs colles polyuréthane étudiées présentaient un pourcentage d'affaiblissement similaire mais avec une grande variation selon leur composition.

Dans le cadre des essais de délamination requis par la certification Acerbois-Glulam et la norme EN 14080 pour la fabrication du bois lamellé avec des adhésifs de type 1, les méthodes de validation B et C se font à des températures excédant 60°C.

**FIGURE 4** - Effet de la température sur les résistances



### 4.7 Résistance aux actions climatiques extérieures

Le « grisaillement » est le terme couramment utilisé pour définir la lente dégradation de la couche superficielle du bois massif non revêtu et exposé à l'extérieur et qui se caractérise par une modification de couleur et une érosion des fibres extérieures. Toutefois il ne traduit pas complètement le phénomène, c'est pourquoi dans les pays anglo-saxons il est utilisé l'expression « vieillissement climatique » qui associe plusieurs paramètres pour expliquer les modifications de la surface du bois en extérieur.

Le mécanisme de dégradation dépend de l'essence mais surtout d'une combinaison de différents facteurs, à savoir:

- Ultra violets
- Humidité du bois et eau liquide
- Température
- Abrasion par le vent (sable, etc.)
- Réactions à des produits chimiques (nettoyage, etc.)

Il n'affecte que la surface (0.05 à 0.5 millimètres de profondeur) et démarre dès qu'il y a une exposition aux UV avec, tout d'abord, un changement de couleur puis ensuite un desserrement des fibres extérieures et une érosion de celles-ci. Pour des bois non protégés, la vitesse de dégradation est extrêmement lente et de l'ordre 10 mm/100 ans (Source FPL).

En raison de la faible profondeur du phénomène les conséquences sur les résistances mécaniques peuvent être négligées.

**Les rayons UV** provoquent une photo-dégradation qui touche aussi bien la lignine (fission des anneaux aromatiques) que les hémicelluloses (réaction d'oxydation) et le bois change de couleur. Les bois clairs ont tendance à s'assombrir alors que les bois foncés s'éclaircissent. La température n'est pas un facteur critique mais une augmentation de celle-ci concourt à accélérer le processus de dégradation causé par les UV.

**Les projections d'eau** liquide dues à la pluie, la vapeur d'eau contenue dans l'air ambiant avec des variations diurnes ou saisonnières et un séchage plus ou moins rapide génèrent des tensions superficielles qui favorisent le développement de fentes superficielles mais qui n'affectent pas les propriétés mécaniques structurelles.

**Le vent**, qui véhicule du sable et autres particules solides, joue un rôle abrasif sur la surface du bois. La pénétration de particules dans les micro-fentes superficielles est génératrice de tensions et d'érosion des fibres du bois.

La protection du bois vis à vis des actions climatiques extérieures peut se faire par deux moyens :

- La conception architecturale (débords, avancées...)
- L'application de produits de finition (peintures, lasures, huiles...) et leur entretien

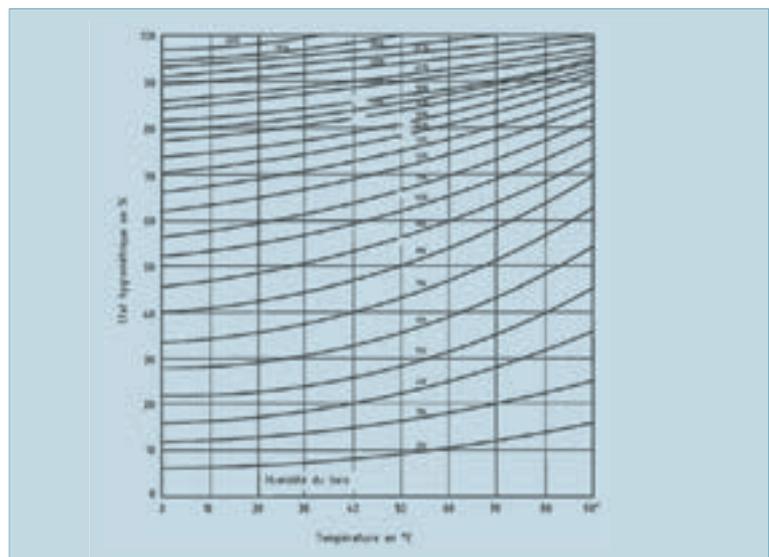
#### 4.8 Comportement à l'humidité

Lorsque l'on laisse suffisamment longtemps un élément en bois lamellé dans une ambiance dont les caractéristiques de température et d'état hygrométrique (humidité relative) demeurent constantes, il finit par présenter une teneur en humidité stable, 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 et elles permettent avec une précision relative de connaître 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, de plus, 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 comprise entre 8 et 15 % et il est très fréquent que des 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.

**FIGURE 5** - Etat hygrométrique par rapport à la température



Les fentes ou gerces superficielles parallèles aux fibres du bois et non traversantes sont, dans les éléments en bois lamellé, une conséquence naturelle des variations de teneur en humidité et, d'une manière générale, elles ont une influence négligeable sur le comportement structural (à ne pas confondre avec d'éventuelles fentes de « délamination » qui se produiraient au droit de joints de colles). Les fibres du bois en périphérie des poutres vont se mettre rapidement en équilibre avec l'atmosphère environnante et se rétracter, alors que celles situées à l'intérieur de la poutre perdront de l'humidité avec une vitesse plus lente. Un séchage rapide augmente l'écart entre l'extérieur et l'intérieur de l'élément et favorise le développement de ces fentes superficielles. Ce phénomène se stabilise lorsque l'équilibre de la teneur en humidité de la poutre avec son environnement est atteint.

Pour des bâtiments abritant une atmosphère très sèche, il convient de prendre les précautions suivantes :

- Coller avec un taux d'humidité du bois très bas, voisin de 10 %
- Utiliser des lamelles de faible épaisseur,
- Ne pas laisser le bois lamellé reprendre une variation d'humidité pendant le transport et le stockage sur chantier en le traitant avec un produit hydrofuge et en le protégeant,
- S'assurer, après la pose de la charpente et de la couverture, que le chauffage soit mis de façon progressive et demeure relativement bas dans la première période d'utilisation,
- S'assurer que l'hygrométrie de l'air ambiant au niveau de la charpente reste dans des limites normales.

La teneur en humidité du bois a également une incidence sur:

- Le risque d'attaque par les champignons (H% > 20%) Cf. [Résistance aux agents biologiques](#),
- Les caractéristiques mécaniques et déformations de la structure ; Cf [Propriétés mécaniques](#),
- La rétractibilité et ses conséquences constructives Cf [Propriétés physiques](#).

L'étude thermique associée à la conception de l'ouvrage est un élément très important qui apporte des données sur les températures moyennes et sur les humidités relatives de l'air ambiant pendant l'exploitation. Elle permettra de prévoir les teneurs en humidité des éléments en bois lamellé en usage.

### 4.9 Résistance aux agents biologiques

Le comportement du bois lamellé face au risque d'attaques des insectes ou des champignons est identique à celui du bois massif constituant ses lamelles.

L'utilisation de l'ensemble du dispositif normatif existant et en vigueur permet d'assurer la durabilité des ouvrages en bois lamellé et ce, même dans des conditions extrêmes et agressives. Ce dispositif s'appuie sur une identification des risques (insectes et champignons) et des classes d'emplois associées. Les classes d'emplois sont définies dans la norme NF EN 335 de la manière suivante :

#### CLASSE D'EMPLOI 1

Situation dans laquelle le bois ou le produit à base de bois est sous abri, entièrement protégé des intempéries et non exposé à l'humidification.

#### CLASSE D'EMPLOI 2

Situation dans laquelle le bois ou le produit à base de bois est sous abri et entièrement protégé des intempéries mais où une humidité ambiante élevée peut conduire à une humidification occasionnelle mais non persistante.

#### CLASSE D'EMPLOI 3

Situation dans laquelle le bois ou le produit à base de bois n'est ni abrité, ni en contact avec le sol. Il est, soit continuellement exposé aux intempéries, soit à l'abri des intempéries mais soumis à une humidification fréquente.

#### CLASSE D'EMPLOI 4

Situation dans laquelle le bois ou le produit à base de bois est en contact avec le sol ou de l'eau douce et est ainsi exposé en permanence à l'humidification.

#### CLASSE D'EMPLOI 5

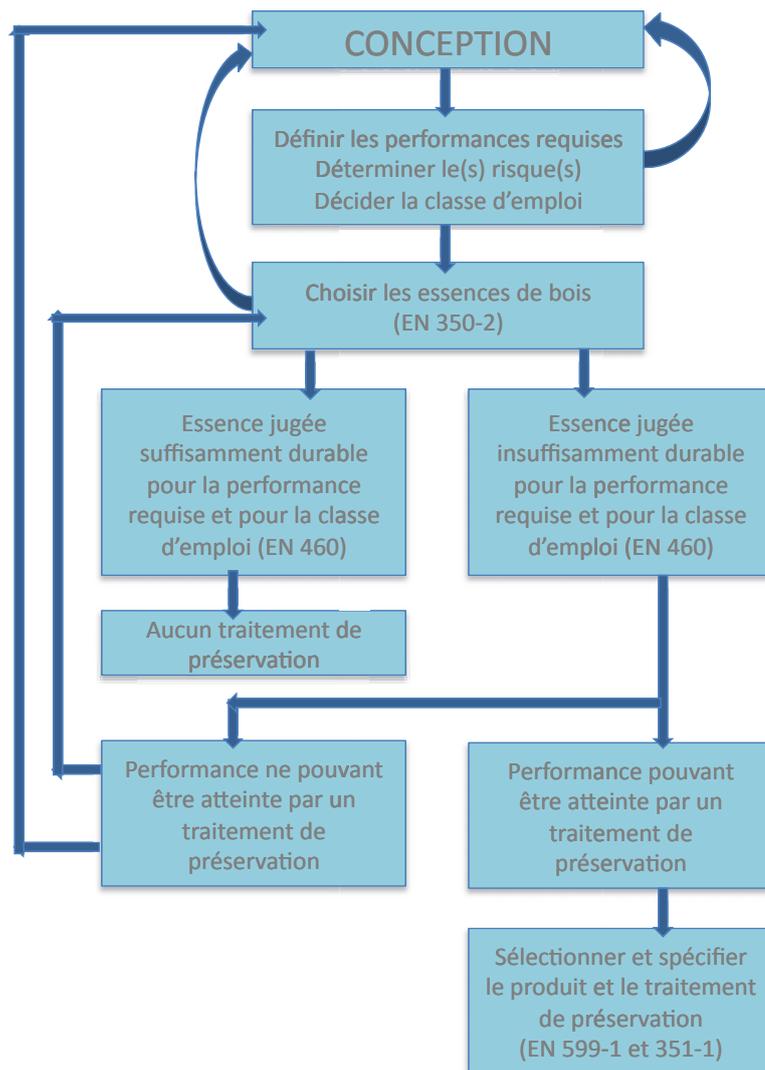
Situation dans laquelle le bois ou le produit est en permanence exposé à de l'eau salée.

Le choix d'une essence (sous réserve de sa possibilité de collage) avec éventuellement un traitement de préservation, se fait selon le processus de décision décrit ci-après



4.9.1 Schéma synthétique

FIGURE 6 - Etapes de sélection des essences



Note N° 14  
Janvier 2017



### 4.9.2 Spécificités du bois lamellé

Vis-à-vis des risques d'attaques et de la durabilité, il existe quelques spécificités propres au bois lamellé qu'il convient de connaître :

#### Le paramètre de « massivité »

Les éléments en bois de forte section nécessitent du temps pour se mettre en équilibre et peuvent être amenés dans certaines situations (à partir de la classe d'emploi 3) à avoir des taux importants d'humidité en particulier dans leur partie centrale. C'est pourquoi la norme NF B 50-105-3 a introduit deux sous-classes (a et b) pour la classe 3.

Dans ce cadre il est précisé que le niveau de traitement doit être choisi en fonction de la sévérité de l'exposition et de la section des pièces :

- Classe 3a (faible) : sous faible exposition et faible section : traitement superficiel pour les bois faiblement sollicités et risques réduits (accessibles par tous procédés). Cas par exemple des bois utilisés en extérieur hors sol et protégés.

- Classe 3b (forte) : sous forte exposition, traitement en profondeur pour bois fortement sollicités et risques notables (non accessibles par les procédés de traitements de surfaces). Cas par exemple des bois non protégés utilisés en extérieur hors sol et de forte section.

#### Le collage de lamelles traitées préalablement en classe 4

La fabrication du bois lamellé impose un pré-rabotage des lamelles avant encollage. De ce fait des lamelles qui ont subi un traitement préalable perdent pour partie leur protection. C'est pourquoi l'utilisation de lamelles traitées classe 4 pour la réalisation d'un bois lamellé conduit à son classement conventionnel en classe 3.

### Solutions pour obtenir du bois lamellé en classe 4

- A partir d'essences imprégnables et pour des petites longueurs (limites du matériel de traitement), pratiquer un traitement par vide et pression avec un produit CTB P+ classe 4.

- Utiliser des essences naturellement durables en classe de risque 4 comme par exemple le robinier, le tadjuba, le doussié, le bilinga, etc. (on se reportera utilement au document professionnel du SNBL : « *Possibilités d'emploi de certaines essences à cœur durable pour des pièces de structures en bois lamellé en classes de risques 3 et 4* » de 2001. Il est important de souligner que lorsque les conditions très sévères de la classe 4 sont effectives (poteau encastré dans le sol par exemple) aucune essence ne peut assurer une durabilité infinie et que les pertes de masses dues aux attaques fongiques conduiront inexorablement, après quelques décennies, à des pertes de résistance substantielles. Cela n'exclut pas, néanmoins, la possibilité de réaliser par encastrement en terre des ouvrages pour lesquels une durée de vie de l'ordre de 30 à 40 ans est jugée suffisante (bâtiments agricoles, poteaux de ligne, clôtures...)

### 4.9.3 Le cas des ouvrages portuaires

Les ouvrages portuaires immergés (pilotis, jetées, défenses, quais, etc.) lorsqu'ils sont en bois, sont en classe d'emploi 5, au sens de la norme NF EN 335.

#### Dans ces usages, les bois peuvent être altérés par :

- Des mollusques bivalves de la famille des « teredinidae » et couramment appelés « tarets » (shipworms). Ils forment des galeries à section circulaire de plusieurs dizaines de centimètres de long et parallèlement au fil du bois.
- Des mollusques bivalves de la famille des « pholadidae » (genre martesia et pholas) couramment nommés « pholades ». Très implantés dans les eaux tropicales, ces mollusques pratiquent des trous correspondant à leur corps mais qui peuvent être prolongés à l'arrivée d'une nouvelle génération. Ils attaquent le bois mais aussi les roches crayeuses.
- Des crustacés « xylophages » et principalement les « limnories » (gribble) qui réalisent des galeries de 2 à 3 cm

#### Face à ces risques, plusieurs précautions :

- Utiliser de préférence des essences réputées comme naturellement résistantes, comme l'Azobé, l'Angélique, le Teck, etc
- Appliquer un produit de préservation adapté et de préférence par traitement « vide et pression » sur une essence imprégnable. Certains produits qui ont été très utilisés par le passé (Créosote, CCA, etc.), ne sont plus admis aujourd'hui et ce conformément à la réglementation en vigueur.
- Avant l'immersion, appliquer un système « anti-fouling » visant à détruire ces espèces ou prévoir des fourreaux en matériaux de synthèse.



## 5. CHOIX ET COMPORTEMENT DES ASSEMBLAGES

Dans les structures en bois lamellé exposées à des ambiances agressives, le choix et la conception des assemblages sont primordiaux.

Plusieurs paramètres sont à prendre en compte et en particulier la nature des produits concourant à l'agressivité, la classe de service de l'ouvrage (humidité), la localisation géographique éventuelle, la durabilité et l'entretien. Pour y répondre, le concepteur a généralement le choix entre différents matériaux pour réaliser ses assemblages et qui sont indiqués dans le Tableau 7, ci-dessous.

**TABLEAU 7** : Qualification des aciers et autres matériaux d'assemblage

Matériaux pour assemblages		Composition	Fabrication	Protection	Commentaires
<b>Aciers non-alliés</b>		Fer et carbone Symbole «S»	Assemblages soudés, pliés ou moulés	Revêtements métalliques ou peintures	Technique courante
<b>Aciers inoxydables</b>		Fer, carbone, chrome	Assemblages soudés ou pliés	Aucune En milieu chloré on veillera aux qualités	Technique courante
<b>Autres métaux</b>	<b>Fontes</b>	Symbole «F»	Assemblages moulés	Fonction du matériau constitutif et de la nature de l'agression. En général, les fontes sont davantage protégées que les alliages aluminium	Non pris en compte dans la norme NF EN 1995-1-1
	<b>Alliages légers en aluminium</b>	Symbole «A»			
	<b>Alliages zinc</b>				
<b>Matériaux de synthèse</b>		Nylon, polyamide, plastique renforcé de fibres	Moulés, extrudés, pultrusion	Aucune	Non pris en compte dans la norme NF EN 1995-1-1, relève d'Avis Techniques
<b>Assemblages bois/bois</b>		Bois	Entailles, entures collées, perçages, chevilles	En fonction des classes d'emploi vis-à-vis de l'humidité	Technique courante

Les assemblages entre les éléments porteurs en bois doivent être dimensionnés conformément à la norme NF EN 1995-1-1, « Conception et calcul des structures en bois – Généralités – Règles communes et règles pour les bâtiments ». Par ailleurs cette norme définit des qualités minimales de protection des assemblages métalliques en fonction des classes de service de l'ouvrage.

### 5.1 Les assemblages métalliques

#### 5.1.1 Les phénomènes de corrosion

Les assemblages en acier ou en fonte sont sujets à la corrosion. Ceci est vrai en principe pour tous les aciers non inoxydables. C'est pourquoi la protection contre la corrosion prend une importance spécifique dès que l'on a à faire à des aciers non alliés (ceci est aussi vrai pour les aciers faiblement alliés, qui ne seront pas traités à part).

C'est principalement la teneur en vapeur d'eau, ou humidité relative de l'atmosphère, qui est à la base des phénomènes de corrosion atmosphérique de l'acier. On admet que l'acier se corrode à une vitesse accélérée lorsque l'humidité relative de la couche d'air située au-dessus de la surface excède 70 %. Si l'humidité relative est élevée, il se forme à la surface de l'acier un film d'eau fortement oxygénée, parfois invisible, d'épaisseur variable et qui constitue une couche mince d'électrolytes propice à générer la corrosion du métal. Outre l'humidité relative, les activateurs de la corrosion atmosphérique sont : l'oxyde de soufre ou anhydride sulfureux (SO<sub>2</sub>), l'ozone, les ions H<sup>+</sup> ou protons, les chlorures et les dépôts de particules (suie et poussières) à la surface de l'acier.

La protection anticorrosion passive couvre les mesures qui visent à protéger la surface de l'acier contre les substances corrosives (telles que les polluants atmosphériques, la rosée, etc.), en appliquant des peintures ou des revêtements métalliques (galvanisation, métallisation, etc.) ou des systèmes duplex (revêtement de la surface métallique) qui inhibent de façon prolongée ou durable la réaction avec les substances agressives de l'environnement ou qui ralentissent sensiblement la vitesse de réaction. La protection anticorrosion active regroupe toutes les mesures dont le but est de prévenir la corrosion. Citons, entre autres, les méthodes de lutte contre la pollution de l'air, la conception anticorrosion appropriée de structures en acier et - non des moindres - le choix d'un matériau approprié pour un risque de corrosion déterminé sans mesure de protection comme par exemple l'utilisation d'assemblages en matériau inoxydable.

### 5.1.2 Choix d'une protection pour les assemblages métalliques

Un ensemble normatif complet (ISO et EN) est aujourd'hui à la disposition des concepteurs pour prescrire une solution d'assemblage métallique adaptée au contexte de l'ouvrage en bois lamellé et à l'ambiance dans lequel il se trouve (corrosivité des atmosphères) et il convient notamment de citer les normes suivantes :

**Norme ISO 9223:1992** *Corrosion des métaux et alliages -- Corrosivité des atmosphères -- Classification*

Cette norme propose une classification de la corrosivité des environnements atmosphériques types basée sur des classes de durée de persistance de l'humidité et des catégories de pollution par les chlorures et l'anhydride sulfureux. Ces deux substances permettent en effet à elles seules de représenter l'ensemble des atmosphères existantes, à l'exception des atmosphères extrêmes, telles que celles des usines chimiques ou métallurgiques.

**Norme ISO 9224:1992** *Corrosion des métaux et alliages -- Corrosivité des atmosphères -- Valeurs de référence relatives aux classes de corrosivité*

La présente norme internationale prescrit des valeurs de référence pour les caractéristiques de corrosion selon les diverses classes de corrosivité définies dans la norme précédente ISO 9223. Ces valeurs de référence correspondent aux vitesses de corrosion de matériaux de construction et peuvent être utilisées dans les calculs de conception. Elles indiquent le contenu technique des diverses classes de corrosivité pour chaque métal de référence. Cette norme peut servir de moyen de prévision de la durée de vie des métaux, alliages et, dans certains cas, des revêtements métalliques utilisés dans des atmosphères correspondant aux différentes classes de corrosivité. Les valeurs de référence de corrosion fournissent également une base technique pour la détermination de la nécessité de protection et d'autres décisions de conception. Les valeurs résultent de l'expérience acquise sur un grand nombre de sites d'exposition et de performances en service. Les vitesses de corrosion correspondant à une classe de corrosivité donnée peuvent être dépassées au voisinage d'un détail particulier de construction provoquant une corrosion localisée ou galvanique.

## 5. CHOIX ET COMPORTEMENT DES ASSEMBLAGES

**NF EN ISO 12944-1 à 8 :1998** *Peintures et vernis -- Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture -- Partie 2 : Classification des environnements*

La partie 2 caractérise les conditions atmosphériques ambiantes sous forme de catégories de corrosivité en se fondant sur des indications de perte de masse ou d'épaisseur par unité de surface d'acier et de zinc au cours de la première année d'exposition aux intempéries. Des exemples de conditions ambiantes caractéristiques aident à classer les constructions réelles dans la catégorie de corrosivité adéquate et favorisent la mise au point d'un système de protection anticorrosion en mettant l'accent sur la durée de protection (voir Tableau 8). Exception faite de conditions spéciales, cette méthode permet une évaluation suffisamment fiable de la charge corrosive pour la majorité des structures en acier. La teneur de l'air en SO<sub>2</sub> est mesurée sur de nombreux sites en Europe.

**TABLEAU 8** : Risque de corrosion – classification des conditions ambiantes selon EN ISO 12944-2

Risque de corrosion	Perte d'épaisseur de zinc la 1 <sup>ère</sup> année (en mm)*	Exemples d'environnements caractéristiques	
		Extérieur	Intérieur
<b>C1 insignifiant</b>	≤ 0,1		Bâtiment isolé Humidité relative de l'air ≤ 60%
<b>C2 faible</b>	> 0,1 – 0,7	Atmosphère faiblement polluée, climat sec, Ex. zones rurales	Bâtiment non isolé avec condensations d'eau passagères, ex. entrepôts, salles de sport
<b>C3 moyen</b>	> 0,7 – 2,1	Atmosphère urbaine et industrielle ayant une faible pollution au SO <sub>2</sub> ou zone côtière à faible salinité	Humidité relative de l'air élevée + impuretés Ex. brasseries, blanchisseries, laiteries
<b>C4 important</b>	> 2,1 – 4,2	Atmosphère industrielle ou zone côtière à faible salinité	Piscines, installations chimiques
<b>C5 très important I</b>	> 4,2 – 8,4	Atmosphère industrielle à humidité importante et à atmosphère agressive	Bâtiment ou zone à condensations d'eau quasiment permanentes et forte pollution
<b>C6 très important M</b>	> 4,2 – 8,4	Zones côtières et littoral à salinité importante	

\* Egalement appelée perte de masse (g/m<sup>2</sup>)

### NF EN ISO 12944 Partie 5: Systèmes de peinture

La présente partie de l'ISO 12944 décrit les types de peinture et de systèmes de peinture les plus couramment utilisés pour la protection contre la corrosion des structures en acier. Elle constitue également un guide pour le choix de systèmes de peinture suivant l'environnement dans lesquels ils seront utilisés (voir ISO 12944-2), les qualités de préparation de surface (voir ISO 12944-4) et la durabilité prévisible (voir ISO 12944-1). La durabilité des systèmes de peinture est classée en termes de durabilité limitée, moyenne et haute.

### NF EN ISO 14713 : Protection contre la corrosion du fer et de l'acier dans les constructions. Revêtements de zinc et d'aluminium

Cette norme décrit les recommandations générales relatives à la protection contre la corrosion des constructions en fer et en acier par des revêtements en zinc ou en aluminium.

En outre, elle détaille particulièrement les aspects techniques à prendre en compte lors de la conception des pièces destinées à la galvanisation à chaud.

**TABLEAU 9** : Catégories de corrosivité pour les structures immergées ou enterrées (ISO 12 944-2)

Catégorie	Environnement	Exemples d'environnements et structures
<b>Im1</b>	Eau douce	Installations de rivières, centrales hydroélectriques
<b>Im2</b>	Eau de mer ou eau saumâtre	Zones portuaires avec des structures comme des écluses, portes, jetées, structures offshore
<b>Im3</b>	Sol	Réservoirs enterrés, piles en acier, tuyaux en acier

## 5. CHOIX ET COMPORTEMENT DES ASSEMBLAGES

### NF EN 1995-1-1, Conception et calcul des structure en bois

Pour des ouvrages courants, les exigences de protection minimale à la corrosion ou de spécifications des matériaux pour les différentes classes de service sont données Tableau 10.

**TABLEAU 10** : Spécifications minimales pour la protection contre la corrosion des organes d'assemblages (\*) en fonction des classes de service

Organes d'assemblages	Classe de service 1	Classe de service 2**	Classe de service 3***	
			ambiance humide courante	ambiance humide agressive
<b>Pointes, broches, vis</b>	Aucune	Fe/Zn 12 c	Fe/Zn 25 c ou solution inoxydable	Fe/Zn 40 c Galvanisation à chaud Acier inoxydable
<b>Boulons</b>	Aucune	Fe/Zn 12 c	Fe/Zn 25 c ou solution inoxydable	Fe/Zn 40 c Galvanisation à chaud Acier inoxydable
<b>Chevilles</b>	Galvanisation à chaud Electrozinguée	Galvanisation à chaud Electrozinguée	Acier inoxydable A2	Inox spéciaux
<b>Agraphes</b>	Fe/Zn 12 c	Fe/Zn 12 c	Acier inoxydable A2	Acier inoxydable A4
<b>Connecteurs et plaques métalliques</b> (épaisseur ≤ 3 mm)	Fe/Zn 12 c	Fe/Zn 12 c	Acier inoxydable A2	Fe/Zn 40 c Galvanisation à chaud Acier inoxydable
<b>Plaques métalliques</b> (3 mm < épaisseur < 5 mm)	Aucune	Fe/Zn 12 c	Fe/Zn 25 c	Fe/Zn 40 c Galvanisation à chaud Acier inoxydable
<b>Plaques métalliques</b> (épaisseur > 5 mm)	Aucune	Protection minimale au moyen d'un primaire	Fe/Zn 25 c	Fe/Zn 40 c Galvanisation à chaud Acier inoxydable

\* Si un revêtement par galvanisation à chaud est utilisé, Fe/Zn 12 c doit être, en général, remplacé par Z275 et Fe/Zn 25 c par Z350, conformément à l'EN 10147.

\*\* Classe de service 2 : caractérisée par une teneur en humidité dans les matériaux qui correspond à une température de 20°C et une humidité relative ambiante ne passant 85% que quelques semaines par an. Elle correspond à une humidité moyenne d'équilibre de 20% dans le bois.

\*\*\* Classe de service 3 : caractérisée par des conditions climatiques conduisant à des taux d'humidité dans le bois plus élevés qu'en classe de service 2.

## 5. CHOIX ET COMPORTEMENT DES ASSEMBLAGES

Note N° 14  
Janvier 2017

### Recommandations de l'OHGPI

L'Office d'homologation des garanties de peinture industrielle regroupe la Fédération des Industries des Peintures, Encres, Couleurs, Colles et Adhésifs et le GEPI (Groupement National Technique des Entrepreneurs de Peintures Industrielles). Il a pour vocation, entre autres, d'examiner et homologuer les clauses techniques contractuelles de garantie de tous marchés relatifs à des travaux de peinture industrielle et revêtements anti-corrosion. L'OHGPI a conçu et édité un guide (Guide 2000 – La Filière Antico Peinture) rassemblant les informations et recommandations essentielles en matière de protection par peintures. Les catégories de corrosivité atmosphérique sont définies conformément à la norme ISO 12-944.2 (C1 à C6). Pour des bâtiments de type C3m (corrosivité moyenne), C4 (corrosivité élevée) et C5 (très élevée) des systèmes de peinture sont préconisés selon leurs propriétés de résistance (l'ACQPA Association pour la Certification et la Qualification en Peinture Anti-corrosion délivre des certificats attestant la performance des systèmes de peintures).

**TABLEAU 11** : Performances indicatives des principaux types de peinture (ISO 12 944-5) - issu du Guide 2000 La Filière Antico Peinture

	Principaux types de peinture										
	Époxydique à l'éthyle de vinyle	Cauchoouc phène	Acrylique	Disure	Alcyde	Polyuréthane (PUR) type polyuréthane aromatique	Polyuréthane (PUR) type alcyde aromatique	Epoxy	Silicate de zinc	Base époxydique/PUR	Base vinylique
La notation peut varier suivant les différentes formules existant pour un même type de produit 1)											
Permanence de l'éclat	☺	☺	☺	●	☺	●	☺	●	-	●	●
Permanence de la couleur	☺	☺	☺	●	☺	●	☺	●	-	●	●
<b>Résistance</b>											
à l'immersion dans l'eau	☺	☺	●	●	☺	●	☺	●	☺	●	●
à la pluie ou condensation	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺
aux sels	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
aux éclaboussures de solvants	●	●	●	●	☺	☺	☺	●	●	●	●
aux acides	●	●	●	●	●	☺	☺	●	●	●	●
aux éclaboussures d'acides	☺	☺	☺	●	●	☺	☺	●	●	●	●
aux alcalins	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
aux éclaboussures d'alcalins	☺	☺	☺	☺	●	●	☺	●	●	●	●
<b>Résistance à la chaleur sèche</b>											
50 à 70°C	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺
70 à 120°C	●	●	☺	●	☺	☺	☺	●	●	●	●
120 à 150°C	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
> 150°C	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<b>Caractéristiques physiques</b>											
résistance à l'abrasion	●	●	●	●	☺	☺	☺	●	●	●	●
résistance à la flexion par choc	☺	☺	☺	☺	●	☺	☺	●	●	●	●
flexibilité	☺	☺	☺	☺	●	☺	☺	●	●	●	●
durée	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺
<b>Application</b>											
au pinceau	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	●	●	●	●
au rouleau	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
au pistolet	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺

1) La présence de deux symboles dans la même cellule signifie que des différences importantes peuvent se produire; par conséquent, les deux notations doivent s'appliquer.

### Spécifications du Steel Structures Painting Council

Le SSPC publie depuis des années des « standards » (spécifications et recommandations) qui se retrouvent fréquemment référencés en complément des normes ASTM dans des cahiers des charges d'ouvrages à réaliser dans des ambiances agressives ou pour des matériels très sollicités (Armée, etc.) en Amérique du Nord ou pour des marchés internationaux (offshore..). De plus un certain nombre de fabricants de peinture y font référence dans leur documentation. Elle a établi sa propre classification de conditions d'usage et en particulier pour les catégories extrêmes sur la base d'expositions chimiques.

### 5.2 Les assemblages inox

En matière d'aciers inox, la désignation de la nuance doit se faire conformément à la norme EN 10-088. Pour les emplois en couverture, façades et autres usages dans des ambiances sévères, il est généralement préconisé d'utiliser des inox de la famille des austéniques au molybdène classe 1.4404 (X2CrNiM017). Pour les organes de fixation (vis, boulons, écrous) il convient d'utiliser des nuances (selon NF EN ISO 3506 1 et 2) au minimum A2 et A4 pour les atmosphères industrielles très agressives ou ambiances salines.

### 5.3 Les assemblages en matériaux de synthèse

Les tiges, boulons, écrous et rondelles en FRP/PRF (Matrice polymère renforcée de fibres en carbone ou en verre ou en aramide) en nylon ou en polyamide, fabriqués dans des moules ou par pultrusion sont particulièrement bien adaptés pour les milieux chimiquement agressifs. De plus, leur neutralité vis-à-vis du magnétisme peut présenter un intérêt pour certains ouvrages.

Toutefois leur utilisation en structure exige en général un avis technique ou une évaluation de ce type par un laboratoire et en particulier vis-à-vis de leur comportement dans le temps. Ceci est aujourd'hui nécessaire parce qu'il n'existe pas de texte normatif sur ce type de produits et pour un usage dans la construction.

D'une manière générale, il est à remarquer que ces boulons et tiges montrent une grande résistance à la traction (rupture après 300 N/mm<sup>2</sup>), mais une faible résistance à la torsion. C'est pourquoi le couple à l'installation d'un boulon serré est un point critique. Afin de limiter au plus les forces de frottement résultantes, il est conseillé d'utiliser des écrous et des rondelles recouverts de téflon.

6405 Aussen

Note N° 14  
Janvier 2017

### 5.4 Les assemblages bois sur bois

Du fait du bon comportement du bois lamellé aux ambiances agressives, de la stabilité du matériau reconstitué et des possibilités nouvelles des centres d'usinage, les assemblages bois-bois sont particulièrement intéressants. Les progrès récents dans leurs process de fabrication ont également apporté une dimension économique indéniable à leurs emplois.

Les assemblages de la charpente traditionnelle (tels que : assemblages moisés, tenons et mortaises, queues d'arondes, embrèvements, etc.) constituent de bonnes solutions, et ce, malgré leur rendement mécanique faible. Les organes complémentaires qui leur sont associés comme par exemple les chevilles, les tiges ou les boulons, devront être protégés ou de nature durable face aux risques de corrosion. Pour les parties des éléments d'assemblage qui sont en contact direct avec le bois (c'est-à-dire sans qu'il ne reste de l'air entre les deux), comme c'est le cas avec une cheville, un clou ou une vis, etc., une galvanisation pour cette partie suffit. Les tolérances de ces éléments doivent être si possible bien définies.

Pour les autres surfaces en contact direct avec l'air, une couche protectrice supplémentaire à base de matériau plastique (en général en plusieurs couches), de bitume ou de goudron est souhaitable. Cela concerne par exemple les têtes des boulons, les écrous, les têtes des clous et des vis, ainsi que les parties saillantes métalliques restantes. C'est pourquoi les chevilles métalliques doivent être enfoncées le plus possible dans le bois et les trous percés fermés par des bouchons de bois collés ; ce procédé étant usuel pour augmenter la résistance au feu. Une autre possibilité d'isolation de l'élément en acier contre l'air ambiant est le collage de plats formant écrans en matériau résistant, comme c'est aussi le cas pour la protection contre le feu.

L'utilisation d'assembleurs (clous, tiges, boulons..) protégés par galvanisation ou par dépôt de film de peinture demande de l'expérience et un travail soigné. Si une certaine détérioration de la protection contre la corrosion ne peut être exclue lors de la pose des éléments ou lors de l'utilisation du bâtiment, il peut être judicieux d'employer des matériaux de nature durable (acier inoxydable).

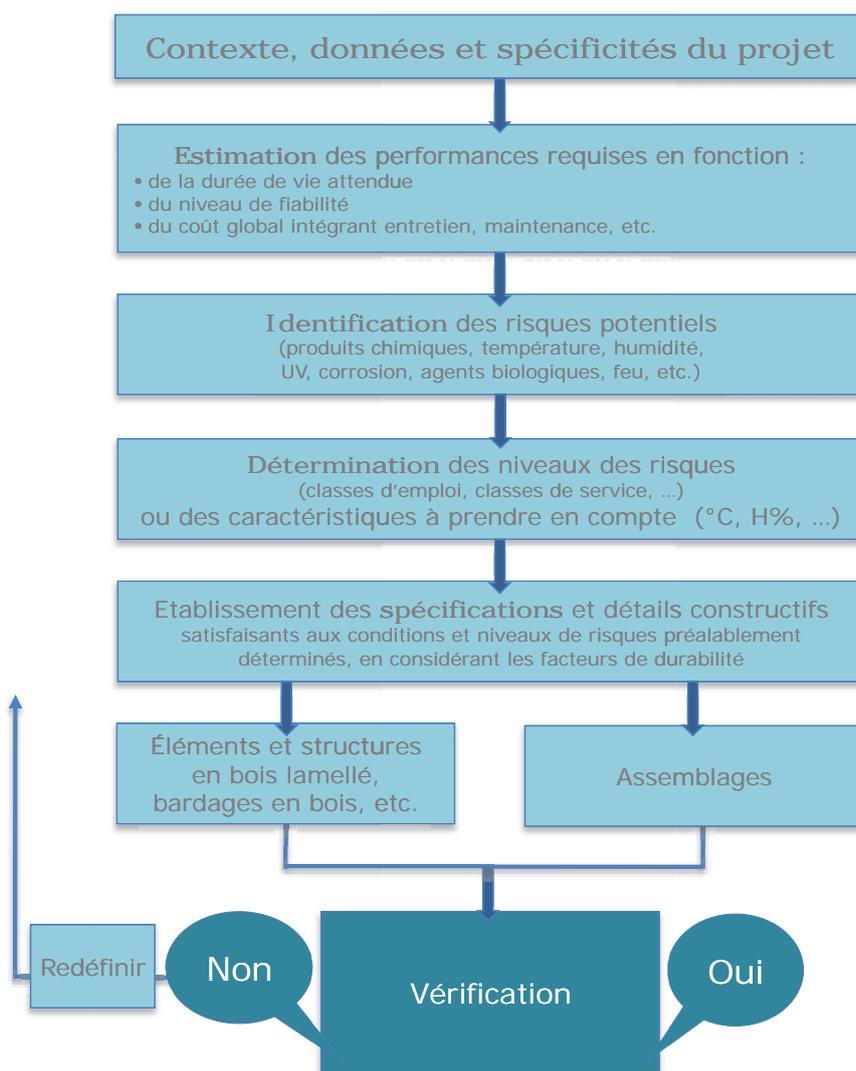
Les assemblages structuraux collés peuvent être également employés comme par exemple les aboutages à entures multiples de grandes dimensions (NF EN 14080) ou l'utilisation de goussets collés à base de contreplaqués ou LVL.

# 6. CONCEPTION DE LA CONSTRUCTION

## 6.1 Processus de conception

Le logigramme présenté ci après montre différentes étapes nécessaires dans le processus de conception d'un ouvrage en bois lamellé placé dans un contexte d'ambiance agressive et qui permet d'aboutir à une construction de bonne facture.

FIGURE 7 - Etapes du processus de conception



## 6.2 Durée de vie attendue de l'ouvrage ou des parties de l'ouvrage

La durée de vie de l'ouvrage ou des parties d'ouvrage jouant un rôle structural est de 50 ans en règle générale et ce conformément à l'Eurocode 0 (NF EN 1990 au paragraphe 2.3). Le Tableau 12 donne des durées indicatives d'utilisation du projet en fonction de la partie d'ouvrage.

Il peut être parfaitement envisagé lors de la conception de considérer les parties basses de bardages ou les protections en bois qui seraient en contact régulier avec des matériaux agressifs comme ayant une durée de vie attendue de 25 ans (voire 10 ans) et le reste de la construction une durée de vie attendue de 50 ans.

**TABLEAU 12** : Durées indicatives d'utilisation de projet

Catégorie de durée d'utilisation de projet	Durée indicative d'utilisation du projet (en années)	Exemples
1	10	Structures provisoires (*)
2	10 à 25	Éléments structuraux remplaçables, par exemple poutres de roulement, appareils d'appui
3	15 à 30	Structures agricoles et similaires
4	50	Structures de bâtiments et autres structures courantes
5	100	Structures monumentales de bâtiments, ponts et autres ouvrages de génie civil

\* Les structures ou parties de structure qui peuvent être démontées dans un but de réutilisation ne doivent normalement pas être considérées comme provisoires

### 6.3 Niveaux de fiabilité

Toute structure en bois lamellé doit être conçue et réalisée de sorte que, pendant sa durée de vie escomptée, avec des niveaux de fiabilité appropriés et de façon économique :

- Elle résiste à toutes les actions et influences susceptibles d'intervenir pendant son exécution et son utilisation ;
- Elle reste adaptée à l'usage pour lequel elle a été conçue.

La norme NF EN 1990 (Eurocode 0 paragraphe 2.2) prévoit qu'il est possible d'atteindre la fiabilité exigée en matière de résistance structurale et d'aptitude au service par des combinaisons appropriées des mesures suivantes :

#### a- Mesures de protection et de prévention

Par exemple mise en place de barrières de sécurité, mesures de protection actives et passives contre l'incendie, protection, telle que peinture ou protection cathodique, contre les risques de corrosion) ;

#### b- Mesures relatives aux **calculs** de dimensionnement

- Valeurs représentatives des actions ;
- Choix des coefficients partiels.

#### c- Mesures relatives à la **gestion de la qualité** ;

**d- Mesures destinées à réduire les erreurs** dans le projet et l'exécution de la structure, et les erreurs humaines grossières ;

#### e- Mesures relatives aux **autres questions** :

- Les exigences de base ;
- Le degré de robustesse (intégrité structurale) ;
- La durabilité, y compris le choix de la durée d'utilisation de projet ;
- L'étendue et la qualité des investigations préliminaires concernant les sols et les éventuelles influences de l'environnement ;
- La précision des modèles mécaniques utilisés ;
- Les dispositions constructives.

**f- Exécution efficace**, par exemple par la conformité aux normes d'exécution référencées dans les EN 1991 à EN 1999;

**g- Inspection et maintenance** appropriées selon les procédures spécifiées dans la documentation du projet.

La mise en place de protections passives à base de bois et facilement remplaçables comme par exemple des bardages, planches ou panneaux en bois ou dérivés et vis à vis de certains risques (chimiques, humidité, etc.) est parfaitement envisageable dans la prévision de la fiabilité de l'ouvrage. De même les dimensionnements selon les codes normatifs en vigueur (CB71 et EC5) assurent une probabilité de ruine extrêmement faible de l'ouvrage ou d'un de ses composants sur une période de référence de 50 ans.

### 6.4 Coût global

Le comportement à long terme pour des ouvrages en situation à risque, comme par exemple dans les ambiances agressives, variera en fonction de la qualité initiale des matériaux mais aussi de la maintenance prévue, de l'entretien requis et des éventuelles réparations. A l'évidence, une bonne conception associant des détails constructifs judicieux et des finitions adaptées favorisera la longévité de l'ouvrage.

Lors de l'étude économique du projet, l'approche en «coût global», intégrant les coûts de maintenance, d'exploitation et de modifications fonctionnelles, favorisera l'analyse et les choix.

### 6.5 Identification des facteurs de risques et des niveaux associés

Lorsqu'on a à réaliser des bâtiments soumis à des ambiances agressives (produits chimiques, températures, etc.), il est nécessaire que l'ensemble des considérations physiques soient prises très tôt en compte lors de la conception. Force est de constater que très fréquemment pour les ouvrages soumis à des ambiances agressives les facteurs de risques liés à l'humidité sont souvent plus prépondérants que ceux d'origine chimique.

#### 6.5.1 L'humidité d'exploitation

L'humidité est un facteur de risque qui peut avoir différentes origines, à savoir :

- Humidité relative de l'air ambiant extérieur avec certaines situations à risques (bord de mer, zones tropicales...)
- Humidité relative de l'air ambiant intérieur liée aux conditions d'exploitation de l'ouvrage
- Condensations éventuelles en surface ou à l'intérieur de parois ou dans les plénums ou cavités
- Eau liquide (pluie, exploitation ou lavage)
- Neige (congères, accumulations)
- Humidité des matériaux stockés (ex : sels, fruits, etc.)

Les conditions et systèmes de ventilation sont à identifier.

L'étude des échanges hygrothermiques à l'intérieur des parois pour des bâtiments dont les conditions d'exploitation occasionnent une humidité relative de air ambiant importante et avec des températures élevées est absolument nécessaire. Cette étude doit permettre le choix des matériaux rentrant dans la composition de la paroi (isolant, pare-vapeur, pare-pluie, etc.) et des revêtements éventuels (anti humidité).

Pour les bâtiments soumis à de fortes productions de vapeur d'eau, on peut formuler les conseils suivants:

- **Diminution de l'humidité atmosphérique** par des mesures prises par l'entreprise (aération, éventuellement climatisation). Le surcoût doit être mis en relation avec le gain de durée de vie du bâtiment grâce à ces mesures. Il est souhaitable de limiter l'humidité relative de l'air à 85% pour une température de 20°C, ce qui correspond, pour une pièce de bois entièrement à l'intérieur, à une humidité juste en dessous de 20%. Avec une humidité relative de l'air de 70%, l'humidité du bois passe à environ 15%.

- **Implantation des éléments porteurs** en bois (de la charpente, des poteaux,...) si possible entièrement, ou du moins sur trois côtés, à l'intérieur du bâtiment, c'est-à-dire soumis à l'air intérieur. Un agencement couvert à l'extérieur conduit en hiver à un important gradient de température et à une plus grande humidité (sauf si les surfaces intérieures de la couverture sont étanches à la vapeur et à l'air de façon fiable). Un avantage supplémentaire de cet arrangement est la possibilité de contrôler l'état des éléments en bois et de prévenir les dégâts potentiels.

Les plénums, ou autres poches de concentration d'humidité ou de température, doivent être étudiés lors de la conception avec beaucoup de soins. L'expérience montre qu'une absence de ventilation (ou un défaut) dans ces zones ou parties d'ouvrages peut entraîner des pathologies si les éléments en bois n'ont pas la durabilité adaptée à cette situation. Un exemple classique concerne les structures en forme de dôme ou il est indispensable que le volume supérieur au faîtage soit ventilé.

### 6.5.2 La température

Les températures élevées ont, en règle générale, pour origine l'exploitation de l'ouvrage. Parfois des poutres ou des parties sont exposées, soit directement au soleil (cas des bandeaux) ou indirectement derrière des matériaux translucides (verre, etc.) concentrant de l'énergie et peuvent être soumises à des températures importantes.

Rappelons qu'en dessous de 60°C ( $\theta$  prévue par l'EC5) aucune disposition particulière n'est à prendre (sauf le cas d'assemblages métallo collés non traditionnels et soumis à l'avis technique).

### 6.5.3 La teneur en humidité du bois

La teneur en humidité du bois étant un élément important (Cf paragraphes 4.3 et 4.4), il convient à l'origine du projet de s'attacher à connaître les valeurs moyennes et combinées des températures et humidités relatives de l'air tant à l'intérieur (exploitation) qu'en extérieur de l'ouvrage. Le tableau 13 indique quelques exemples de combinaison de température pour différentes exploitations.

**TABLEAU 13** : Teneur en humidité du bois selon l'usage du bâtiment

Usages / Activités	Température	Humidité relative de l'air	Teneur en humidité du bois
<b>Habitat</b> (pièces sèches)	20 à 22 °C	40 à 60 %	7 à 11 %
<b>Habitat</b> (pièces humides)	22 à 25 °C	60 à 70 %	10 à 13 %
<b>Bureaux</b>	20 à 22 °C	40 à 60 %	7 à 11 %
<b>Piscines intérieures</b>	24 à 28 °C	65 à 90 %	11 à 20 %
<b>Bâtiments d'élevage</b> (bovin)	0 à 30 °C	60 à 80 %	10 à 17 %
<b>Bâtiments d'élevage</b> (porcin)	20 à 30 °C	60 à 80 %	10 à 16 %
<b>Bâtiments d'élevage</b> (caprin)	0 à 25 °C	60 à 80 %	10 à 17 %
<b>Bâtiments d'élevage</b> (volaille)	18 à 35 °C	60 à 80 %	10 à 16 %
<b>Entreposage de légumes humides</b>	4 à 20 °C	75 à 95 %	14 à 25 %
<b>Déchetteries</b>	50 à 60 °C	100 %	22 à 25 %
<b>Activités de boulangerie</b>	18 à 27 °C	50 à 75 %	9 à 14 %
<b>Activités de confiserie</b>	17 à 20 °C	50 à 65 %	9 à 12 %
<b>Activités textiles</b>	20 à 29 °C	50 à 70 %	9 à 13 %
<b>Préparation de tabac</b>	20 à 30 °C	55 à 95 %	10 à 25 %

\* Valeurs données à titre indicatif : il convient pour chaque construction de se rapprocher du bureau d'études thermiques.

Cette connaissance de la teneur en humidité moyenne du bois permet d'associer une classe de service définie par la norme NF ENV 1995 (NF P 21-711: Eurocode 5) qui permettra le dimensionnement, mais aussi la préconisation d'une protection sur les assemblages (Cf. [paragraphe 5.1.2](#)).

**FIGURE 8** - Définitions des classes de service

<p><b>Classe de service 1</b></p>	<p>La teneur en humidité dans les matériaux correspond à une température de 20°C et une humidité relative ambiante ne dépassant 65% que quelques semaines par an (humidité du bois résineux <math>\leq 12\%</math>)</p>
<p><b>Classe de service 2</b></p>	<p>La teneur en humidité dans les matériaux correspond à une température de 20°C et une humidité relative ambiante ne dépassant 85% que quelques semaines par an (humidité du bois résineux <math>\leq 20\%</math>)</p>
<p><b>Classe de service 3</b></p>	<p>Conditions climatiques conduisant à des taux d'humidité plus élevés qu'en classe 2</p>



### 6.5.4 Les agents chimiques

En fonction des concentrations (pH), les agents chimiques pouvant présenter des risques sont décrits au chapitre 4.1 et pour certaines situations (condensation) il convient de ne pas exclure les possibilités de dégradation possibles du fait de la dissolution des acides ou bases dans l'eau.

L'expérience montre que les dommages du bois ne dépassent pas une profondeur de 2 cm, même lors d'une forte action d'acides ou de bases dissous dans de l'eau de condensation. Le bois en dessous reste intact. Une pièce de bois de grande section a proportionnellement moins de bois endommagé qu'une pièce de petite section puisque la dégradation de la surface ne dépasse pas 2 cm de profondeur.

Les justifications des structures soumises à de fortes concentrations de produits chimiques agressifs peuvent donc se rapprocher des justifications faites en cas d'incendie en augmentant les sections.

Note N° 14  
Janvier 2017



### 6.5.5 Les agents biologiques

Les classes d'emploi qui sont définies dans la norme NF EN 335.2 permettent d'apprécier les risques d'attaques par les agents biologiques.

**TABLEAU 14** : Classes d'emploi

	Situation en service	Exemples d'emplois	Zone sensible	Risques biologiques
<b>1</b>	Bois sec, humidité toujours inférieure à 20 %	Menuiseries intérieures à l'abri de l'humidité : parquets, escaliers intérieurs, portes ...	2 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insectes</li> <li>• Termites, dans les régions infestées</li> </ul>
<b>2</b>	Bois sec mais dont l'humidité peut occasionnellement dépasser 20 %	Charpente, ossatures correctement ventilées en service	2 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insectes</li> <li>• Champignons de surface</li> <li>• Termites, dans les régions infestées</li> </ul>
<b>3</b>	Bois à une humidité fréquemment supérieure à 20 %	Toutes pièces de construction ou menuiseries extérieures verticales soumises à la pluie : bardages, fenêtres ... Pièces abritées mais en atmosphère condensante	Toute la partie humidifiable de la zone non durable naturellement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pourriture</li> <li>• Insectes</li> <li>• Termites, dans les régions infestées</li> </ul>
<b>4</b>	Bois à une humidité toujours supérieure à 20 %	Bois horizontaux en extérieur (balcons, coursives ...) et bois en contact avec le sol ou une source d'humidification prolongée ou permanente	Zone non durable naturellement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pourriture</li> <li>• Insectes y compris termites</li> </ul>
<b>5</b>	Bois en contact permanent avec l'eau de mer	Piliers, pontons, bois immergés	Zone non durable naturellement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pourriture</li> <li>• Insectes</li> <li>• Térébrants marins</li> </ul>

Il faut dans tous les cas faire correspondre la durabilité naturelle ou conférée de la pièce de bois avec la classe d'emploi dans laquelle elle évolue conformément à la NF EN 335-1 «Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois» afin d'éviter les attaques biologiques rendues possibles à cause de l'humidité du bois trop élevée.

Pour plus de précisions, on pourra se référer au mémento «Durabilité des ouvrages bois – Classes d'emplois associées» édité par la FIBC (Fédération Industrie Bois Construction) et l'Institut Technologique FCBA (ex-CTBA: Centre Technique du Bois et de l'Ameublement) qui est un recueil d'interprétations et de précisions concernant des points de détail de constructions.

Pour la protection chimique du bois on se reportera aux normes de traitement. Il n'y a pas là de problèmes spécifiques à l'utilisation en milieux agressifs. Dans un milieu basique, l'apparition de champignons est d'ailleurs moins à craindre qu'en milieu neutre. Il faut considérer au cas par cas dans quel niveau de risque se trouve le bâtiment.

Dans les cas exceptionnels, où une grande humidité et de la condensation est à craindre, la protection par principe constructif prend une importance particulière et le sujet appartient aux connaissances de base du concepteur ou de l'ingénieur concerné. On évitera par exemple les pièges à eau et l'eau stagnante sur les éléments en bois.

### 6.6 Exigences réglementaires (installations classées)

La législation relative aux installations classées pour la protection de l'environnement est la base juridique de la politique de l'environnement industriel en France. En dehors des installations nucléaires et des mines (qui relèvent d'autres législations), elle vise toutes les activités industrielles, les élevages intensifs et les activités de traitement de déchets. La loi du 19 juillet 1976, codifiée au titre 1er du Livre V du code de l'environnement, a succédé à une loi de 1917, et cette dernière à un décret de 1810.

La législation des installations classées met en place un système simple. Les activités industrielles qui relèvent de cette législation sont énumérées dans une nomenclature qui les soumet soit à un régime d'autorisation, soit à un régime de déclaration.

Fondée sur l'approche intégrée, une seule autorisation est délivrée pour un site industriel au titre de la protection de l'environnement (et non pas plusieurs autorisations, dont une autorisation pour les rejets liquides, une pour les rejets gazeux, une pour le risque, etc.). L'approche intégrée permet la prise en compte de tous les impacts sur l'environnement (air, eau, sol, bruit, vibrations) et du risque industriel.

La nomenclature des installations classées définit des rubriques relatives aux substances et d'autres à la nature des activités. Des arrêtés consécutifs précisent les spécifications relatives au type d'installation et notamment celles concernant les structures (comportement lors d'un incendie).



### 6.7 Choix d'une forme structurale

Pour des bâtiments soumis à des conditions sévères d'exploitation ou à des ambiances agressives, le choix d'une forme structurale est important. Outre la portée de franchissement requise par le projet, les conditions d'usage et d'entretien sont des éléments à intégrer dès la conception de la structure et parmi les principaux critères qui sont à prendre en compte, on peut citer :

- Possibilités de reprise d'humidité
- Limitation des dépôts de poussières (parfois acides ou basiques)
- Facilité de surveillance
- Entretien aisé, etc.

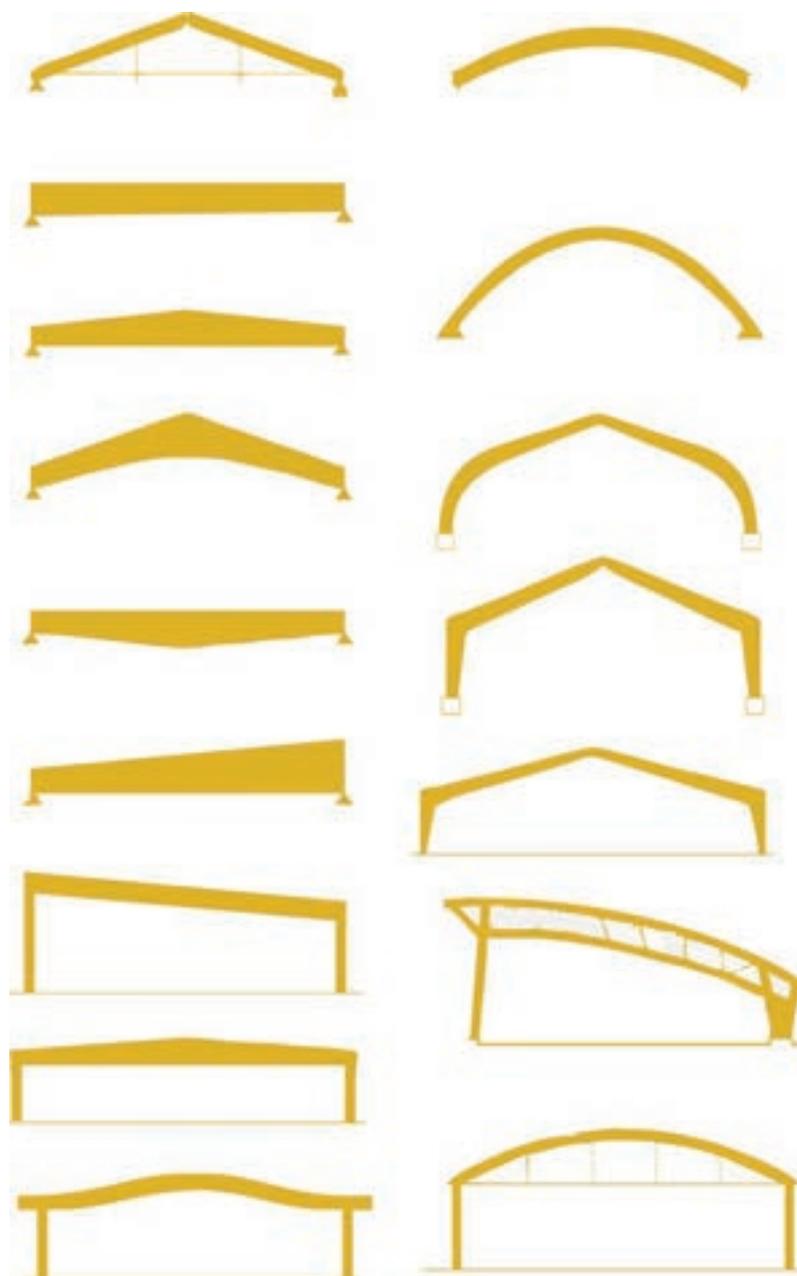
Les possibilités de formes structurales à base de bois lamellé sont nombreuses et les schémas et exemples ci-après en présentent quelques unes.

**FIGURE 9** - Volumes élémentaires et systèmes constructifs associés

	Poutres (sur poteaux ou maçonnerie) Portiques
	Poutres (sur poteaux ou maçonnerie) Fermes (sur poteaux ou maçonnerie) Portiques
	Arcs (sur poteaux ou maçonnerie)
	Arcs
	Arcs
	Arcs (sur poteaux ou maçonnerie)
	Arcs Systèmes tridimensionnels
	Consoles Autres systèmes en porte-à-faux

La Herbert Gallery : une coque de résille de bois lamellé avec des formes mouvantes  
Localisation : Coventry (Royaume-Uni) - Livraison : 2008  
Architectes : Pringle Richards Sharrat (Londres)

**FIGURE 10** - Exemples de solutions en bois lamellé



Zénith de Limoges : structure rayonnante de 43 arcs  
Localisation : Limoges (87) - Livraison : 2006  
Architectes : Bernard Tschumi, BTuA (75) et Atelier 4 (87)

## 7. EXPLOITATION ET ENTRETIEN DES BÂTIMENTS

Pour obtenir un bon usage d'un bâtiment en bois lamellé et en particulier dans des conditions sévères d'exploitation ou des ambiances agressives, il faut savoir l'utiliser, l'entretenir et le réparer si nécessaire.

### Utiliser

- Ne pas modifier sans précaution, l'équilibre hygroscopique initial du bâtiment
- Pérenniser les ventilations prévues initialement (c'est-à-dire ne pas obstruer les orifices des lames d'air ou des vides sanitaires)
- Ne pas modifier la structure sans étude préalable
- Ne pas transformer les complexes d'isolation sans études préalables

### Entretenir

- Contrôles réguliers de la structure bois (tous les ans) et de ses assemblages (humidité des bois et altérations éventuelles par des acides ou des bases concentrés)
- Toitures plates ou à sheds : nettoyage régulier des chéneaux et grilles d'évacuation
- Réfection des finitions selon une fréquence liée à la nature du produit : peinture/protection anti-corrosive

### Faire réparer

Les éventuelles réparations doivent être réalisées par une entreprise qualifiée (charpente, couverture, isolation, etc.). Il conviendra en particulier de procéder rapidement à toutes les réparations qui peuvent avoir une incidence sur une augmentation de la teneur en humidité des bois.

- Fuites dans les couvertures ou les façades
- Les installations de ventilation
- Pratiquer des actions curatives et/ou de renforcement si nécessaire

# BIBLIOGRAPHIE ET NORMES DE RÉFÉRENCE

## **CHARPENTES EN BOIS LAMELLÉ-COLLÉ :**

Guide Pratique de Conception et de mise en œuvre (Eyrolles)

## **Durabilité des ouvrages BOIS**

Classes d'Emplois Associées (Guide FIBC/CTBA)

## **Note FIBC / SNCCBLC N°1 – mise à jour Février 2016**

Recommandations pour la réparation de bois lamellé collé structural présentant des fissures ou des fentes.

## **Note FIBC / SNCCBLC N°4 – Mars 2001**

Possibilités d'emploi de certaines essences à cœur durable pour des pièces de structures en bois lamellé-collé en classe de risques 3 et 4.

## **Note FIBC / SNCCBLC N°9 – Juillet 2006**

La Résistance au feu des ouvrages en bois lamellé collé

## **ACERBOIS-GLULAM**

Référentiel modifié et validé le 3 mars 2015

## **Note FIBC/SNBL N°11 - Février 2016**

Les encastremements dans les structures en bois lamellé - Recommandation pour calcul et la réalisation

## **Note FIBC/SNBL N°12 - Février 2016**

Les charpentes en bois lamellé - Recommandations professionnelles

## **Note FIBC/SNBL - Juillet 2015**

Prise en compte du bac acier pour le transfert des efforts d'antiflambement et d'anti-déversement d'éléments travaillant en flexion et/ou en compression : Note de positionnement de la commission technique du SNBL

## **Normes**

**NF EN 301 (NF T 76-151) :** Adhésifs de nature phénolique et aminoplaste, pour structure portante en bois - Classification et exigences de rétention

**NF EN 338 (NF P 21-353) :** Bois de structure - Classes de résistance

**NF EN 384 (NF P 21-358) :** Bois de structure - Détermination des valeurs caractéristiques des propriétés mécaniques et de la masse volumique

**NF EN 15497 (NF P 21-361) :** Bois massif de structure à entures multiples - Exigences de performances et exigences minimales de fabrication

# BIBLIOGRAPHIE ET NORMES DE RÉFÉRENCE

Note N° 14  
Janvier 2017

**NF EN 408 (NF P 21-302)** : Structures en bois - Bois massif et bois lamellé-collé - Détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques

**NF EN 519 (NF P 21-359)** : Bois de structure - Classement - Spécifications pour les bois classés par machine pour sa résistance et les machines à classer

**NF EN 1912 (NF P 21-395)** : Structures en bois - Classes de résistance - Affection des classes visuelles et des essences

**NF B 52-001** : Règles d'utilisation du bois dans les constructions - Classement visuel pour l'emploi en structure des principales essences résineuses et feuillues

**NF P 21-400** : Bois de structure et produits à base de bois - Classe de résistance et contraintes admissibles associées

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

**NF EN 335** : Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois- Définition des classes de risque d'attaque

**NF EN 350** : Durabilité des bois et des matériaux dérivés du bois- Durabilité naturelle du bois massif

**NF EN 351** : Durabilité des bois et des matériaux dérivés du bois- Bois massif traité avec produit de Préservation

**NF EN 460** : Durabilité des bois et des matériaux dérivés du bois – Guide d'exigences de durabilité du bois pour son utilisation selon les classes de risque

**NF P 21-701 : CB 71** - Règles de calcul et de conception des charpentes en bois

**NF ENV 1995 (NF P 21-711) : EC 5 - Eurocode 5** : Calcul des structures en bois

Aérogare en zone tropicale - Aéroport de Dzaoudzi  
Localisation : Pamandzij (Mayotte) - Livré en 2014  
Architectes : Atelier REC, DRLW Architectes, AMA

61

## Contacts utiles et organismes

SNBL : [www.glulam.org](http://www.glulam.org)  
ACERBOIS : [www.acerbois.org](http://www.acerbois.org)  
FCBA : [www.fcba.fr](http://www.fcba.fr)  
UICB : [www.batibois.org](http://www.batibois.org)  
OHGPI : [www.ohgpi.com](http://www.ohgpi.com)



Station Antarctique Concordia  
Lieu : Pôle Nord - Livrée en 1996  
Architecte : J. Dubourg (33)