



# Le bois pour l'emballage industriel

Fiche Connaitre 03

## Pascal RAFIN consultant emballage industriel (PR-CEI)

Issu d'une formation technique en emballage et conditionnement, j'ai débuté ma carrière au début des années 1980 en tant que contrôleur de conformité des emballages dans le cadre de projets d'ingénierie. Cette expérience initiale m'a permis d'acquérir une connaissance approfondie des normes et des exigences du secteur.

Mon parcours m'a ensuite conduit à gérer des projets d'emballage d'envergure, impliquant plusieurs milliers de tonnes de matériel destiné à l'exportation. J'ai notamment supervisé sur site la réalisation de l'emballage d'une usine métallurgique complète à destination de la Chine, une expérience qui a consolidé ma capacité à piloter des opérations complexes sur le terrain.

Fort de cette expertise, j'ai eu l'opportunité de prendre la direction de différents sites de production d'emballage en France, où j'ai pu mettre en œuvre mes compétences en management et en optimisation des processus.

Au-delà des responsabilités opérationnelles, je suis conseiller technique actif auprès du SEILA, où je participe aux commissions Emballage et Matériaux, ainsi qu'au groupe de relecture des Spécifications Techniques. Ce rôle me permet de contribuer directement à l'évolution des standards de notre profession.

Mon expérience m'a révélé un manque criant d'outils de formation et de guides pratiques pour les techniciens du secteur. C'est pourquoi, fort de ce constat et de mon engagement au sein du SEILA, je souhaite faire de ce guide un outil de travail et de formation indispensable, conçu pour transmettre les bases techniques essentielles à la réalisation de prestations d'emballage industriel de haute qualité. Ce projet est ma contribution à la professionnalisation et au partage des savoirs, comblant ainsi un vide critique dans l'écosystème de l'emballage industriel.

La violation des droits d'auteur est une contrefaçon sanctionnée de trois ans d'emprisonnement et 300 000 euros d'amende (art. L. 335-2 du CPI).

Toute reproduction, traduction ou adaptation totale ou partielle sans autorisation de PR-CEI, l'auteur ou ses ayants droit est illégale (art. L. 122-4 du CPI).



# Le bois pour l'emballage industriel

## Fiche connaitre 03

Auteur Pascal RAFIN, PR-CEI

PR-DOC032025



# SOMMAIRE

## Table des matières

Généralités sur le bois.....	2
La croissance des bois : .....	2
Les normes et classement des bois : .....	3
Les dimensions des sciages : .....	8
La norme NIMP15 ou ISPM15 : .....	9
Sollicitation mécanique des éléments simples de structure : .....	10
Dimensionnement en flexion : .....	13
Facteurs agissant sur la flèche et la résistance : .....	14
Charge maximale admissible en flexion : .....	16

## Généralités sur le bois

Le bois est un matériau **naturel, renouvelable et polyvalent**. Dans l'emballage industriel, il est utilisé pour sa résistance mécanique, sa légèreté et sa durabilité. Les essences de bois les plus couramment employées sont :

- ♦ **les résineux**, comme le pin, l'épicéa et le sapin, en raison de leur croissance rapide et de leur coût abordable.

On trouve également

- ♦ **Les feuillus**, comme le peuplier, qui est apprécié pour sa légèreté, mais aussi le hêtre, le chêne pour leur résistance mécanique et leur stabilité dimensionnelle.

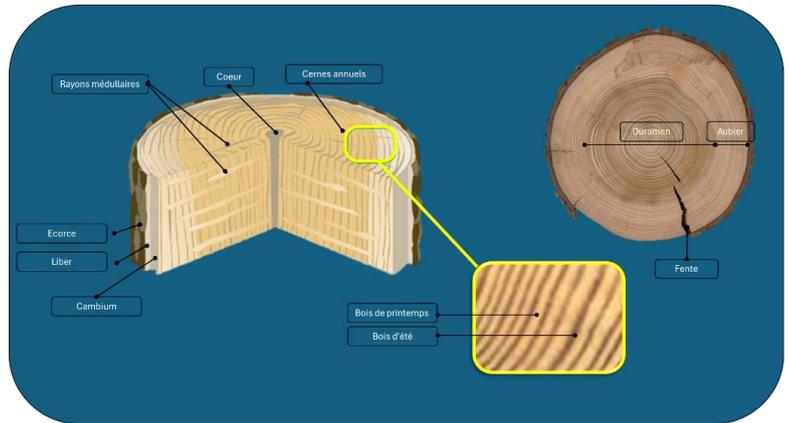
## La croissance des bois :

Elle est directement influencée par le climat, ce qui se reflète dans les cernes de croissance de l'arbre. Ces anneaux, visibles sur une section transversale du tronc, agissent comme un journal qui enregistre les conditions environnementales de chaque année.



## Le processus de croissance

La croissance de l'arbre se produit principalement au printemps et en été grâce à la photosynthèse. Au printemps, lorsque les conditions (température, humidité) sont optimales, les cellules de bois formées sont larges et à parois fines, créant un bois de printemps de couleur claire. En été, avec le ralentissement de la croissance, les cellules deviennent plus petites et plus denses, formant le bois d'été de couleur foncée. L'alternance de ces deux types de bois crée un cerne de croissance annuel distinct.



## L'influence du climat

Le climat est le principal facteur qui détermine l'épaisseur et l'apparence des cernes :



**Précipitations et humidité :** Une année avec beaucoup de pluie et peu de sécheresse favorise une croissance forte, ce qui se traduit par un cerne large. Inversement, une année de sécheresse crée un cerne très fin, voire inexistant dans les cas extrêmes.



**Température :** Des températures chaudes pendant la saison de croissance accélèrent la photosynthèse et la croissance, à condition que l'humidité soit suffisante. Cependant, une chaleur excessive, surtout couplée à un manque d'eau, peut stresser l'arbre et limiter la croissance, produisant un cerne fin.



**Lumière du soleil :** L'ensoleillement est essentiel à la photosynthèse. Un ensoleillement suffisant, sans chaleur extrême, contribue à la formation de cernes épais.

## Les normes et classement des bois :

### Classement d'aspect Visuel des bois sciés résineux :

La norme européenne **NF EN 1611-1/A1** encadre la classification des bois sciés résineux tels que sapin, épicéa, pin, douglas et mélèze.

Le classement d'aspect s'effectue selon des critères visuels liés aux singularités naturelles et éventuelles altérations biologiques, observées sur deux ou quatre faces.

Il existe deux méthodes : G2 ou G4, « G » signifiant « Grading » (classement).

- ♦ **La méthode G2 :** classe le bois en observant les nœuds sur deux faces et les défauts sur les quatre côtés, et s'applique aux pièces de 30 mm d'épaisseur maximum. Le préfixe G2 est complété du numéro de choix 0 à 4, 0 étant la meilleure qualité. Si les qualités des deux faces diffèrent, la pièce reçoit le classement supérieur à celui de la moins bonne face.

Exemple : 1 face choix 1 et une face choix 3 (la moins belle) => la pièce est classée en choix 2.

Type de produits utilisant ce classement : volige, planches, liteaux, ...



- ♦ **La méthode G4** : consiste à classer le bois en examinant ses singularités et altérations sur les 4 faces. Elle s'applique aux pièces d'au moins 30 mm d'épaisseur.

Si les 4 cotés ne sont pas de même qualité, il y a deux possibilités :

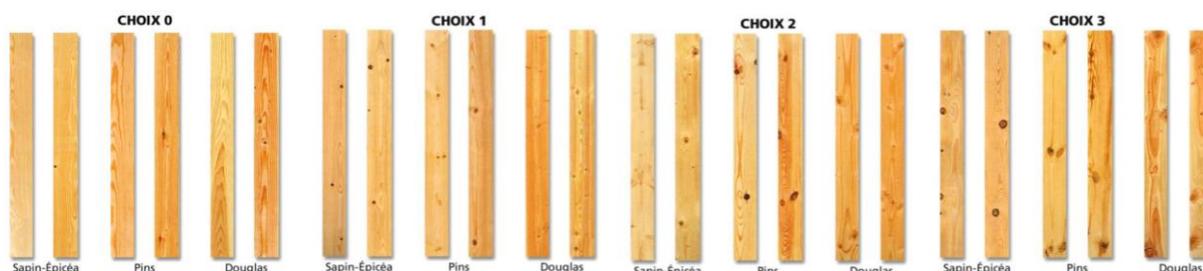
Le coté le moins beau est une face, alors la pièce est classée dans le choix juste supérieur à celui de ce côté

Exemple : 1 face en choix 3 (moins beau côté) et les 3 autres côtés en choix 1 ou 0 => la pièce est classée en choix 2 (supérieur à choix 3)

Le coté le moins beau est une rive, alors la pièce est classée dans le choix de ce côté

Exemple : 1 rive en choix 2 (moins beau côté), les faces en choix 0 et l'autre rive en choix 1 => la pièce est classée en choix 2

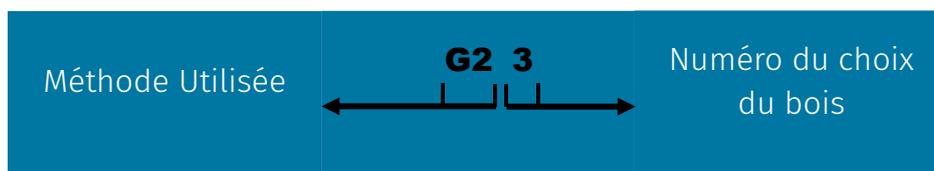
En France, dans le classement visuel d'aspect des pins, on trouve sur le marché des bois dont les 4 faces sont sans défauts qui sont désignés par le choix «0-A».



Le choix 4, Correspond à toutes les pièces déclassées des choix précédents. La configuration géométrique de la pièce doit toutefois être préservée. Les flèches peuvent être importantes mais restent limitées à 20 mm épaisseur. La présence de pourriture est limitée à quelques taches.

Le choix 4 est communément dénommé « bois de coffrage », il n'est pas accepté pour un emballage sous label de la marque SEI

**Le marquage :**



**Classement mécanique des bois :**

Ce classement s'applique à tous les éléments structurels ainsi qu'à la majorité des composants utilisés dans la construction des bâtiments.

- ♦ **Méthodes de classement mécanique**

Les bois peuvent être classés suivant 2 techniques :

Méthode visuelle (norme : NF B 52 001)



Le classement mécanique repose sur l'évaluation des singularités du bois afin de définir ses classes de résistance mécanique. Une relation peut ensuite être établie entre la classe d'aspect et la classe mécanique.

Classes		ST I		ST II		ST III		ST IV
Essences	Critères							
<b>Largeur des cernes d'accroissement (mm)</b>								
Sapin-Epicéa		≤ 6		≤ 8		≤ 10		-----
Pins		≤ 5		≤ 5		≤ 10		≤ 10
Mélèze		≤ 6		≤ 8		≤ 10		-----
Douglas	Section en mm <sup>2</sup>	≤ 18 000	> 18 000	≤ 18 000	> 18 000	≤ 18 000	> 18 000	-----
		≤ 6	≤ 8	≤ 6	≤ 10	≤ 8	≤ 12	-----
<b>Diamètre des noeuds</b>								
Sapin-Epicéa	Section en mm <sup>2</sup>	≤ 20 000 mm <sup>2</sup>		≤ 20 000	> 20 000 mm <sup>2</sup>	≤ 20 000 mm <sup>2</sup>	> 20 000 mm <sup>2</sup>	
	Sur la face	Ø ≤ 30 mm et Ø ≤ 1/6 de l		Ø ≤ 50 mm et Ø ≤ 1/2 de l		Ø ≤ 100 mm et Ø ≤ 3/4 de l		-----
	Sur la rive	Ø ≤ 40 mm et Ø ≤ 2/3 de e		Ø ≤ 40 mm et Ø ≤ 2/3 de e	Ø ≤ 80 mm et Ø ≤ 2/3 de e	Ø ≤ 40 mm et Ø ≤ 2/3 de l	Ø ≤ 80 mm et Ø ≤ 2/3 de e	-----
Pins	Sur la face	Ø ≤ 15 mm et Ø ≤ 1/10 de l		Ø ≤ 50 mm et Ø ≤ 1/3 de l		Ø ≤ 100 mm et Ø ≤ 2/3 de l		Ø ≤ 150 mm et Ø ≤ 4/5 de l
	Sur la rive	Ø ≤ 15 mm et Ø ≤ 1/3 de e		Ø ≤ 30 mm et Ø ≤ 1/2 de e		Ø ≤ 30 mm et Ø ≤ 1/2 de e		Ø ≤ 50 mm et Ø ≤ 4/5 de e
Mélèze	Sur la face	Ø ≤ 35 mm et Ø ≤ 1/4 de l		Ø ≤ 75 mm et Ø 1/2 de l		Ø ≤ 100 mm et Ø ≤ 3/4 de l		-----
	Sur la rive	Ø ≤ 40 mm et Ø ≤ 2/3 de e						
Douglas	Section	≤ 18 000 mm <sup>2</sup>	> 18 000 mm <sup>2</sup>	≤ 18 000	> 18 000 mm <sup>2</sup>	≤ 18 000 mm <sup>2</sup>	> 18 000 mm <sup>2</sup>	
	Sur la face	Ø ≤ 30 mm et Ø ≤ 1/6 de l	Ø ≤ 40 mm et Ø ≤ 1/6 de l	Ø ≤ 50 mm et Ø ≤ 1/2 de l	Ø ≤ 70 mm et Ø ≤ 1/2 de l	Ø ≤ 100 mm et Ø ≤ 3/4 de l	Ø ≤ 130 mm et Ø ≤ 3/4 de l	-----
	Sur la rive	Ø ≤ 40 mm et Ø ≤ 2/3 de e	Ø ≤ 80 mm et Ø ≤ 2/3 de e	Ø ≤ 40 mm et Ø ≤ 2/3 de e	Ø ≤ 80 mm et Ø ≤ 2/3 de e	Ø ≤ 40 mm et Ø ≤ 2/3 de e	Ø ≤ 80 mm et Ø ≤ 2/3 de e	-----
<b>Fentes<sup>3 4</sup></b>								
Toutes essences	Traversantes	Longueur ≤ deux fois la largeur de la pièce				Longueur ≤ 600 mm		
	Non traversantes	Longueur ≤ moitié de la largeur de la pièce				Non limité		
<b>Grosse poche de résine</b>								
Toutes essences		Non admise		Admise si < 80 mm				
<b>Entre écorce</b>								
Toutes essences		Non admise						
<b>Pente de fil</b>								
Toutes essences	Locale	10%		25%				
	Générale	7%		17%				
<b>Flaches</b>								
Toutes essences	Longueur	Non admises		< 1/3 de la longueur de la pièce et < 100 cm				
	Largeur			< 1/3 de l'épaisseur de la rive				
<b>Altérations biologiques</b>								
	Bleu – trace de gui	admis						
Toutes essences	Piqûre noires	Admises si elles apparaissent sur une seule face						
	échauffure	Non admise						
<b>Déformation maximale en mm pour une longueur de 2m</b>								
	De face (mm)	< 10		< 20				
	De rive (mm)	< 8		< 12				
Toutes essences	Gauchissement	1mm/25mm large		2mm/25mm large				
	Voilement transversal ou tuilage	Pas de restrictions						



### Méthode par machine (norme : NF EN 519)

Les propriétés mécaniques du bois sont déterminées à l'aide de mesures réalisées par des machines. Différentes technologies, telles que l'analyse vibratoire, optique, les ultrasons ou la flexion dynamique, sont utilisées par les appareils disponibles sur le marché.

L'utilisation de ces machines requiert une homologation conforme à un processus normatif spécifique à chaque essence, territoire, plage de sections et combinaison de classes mécaniques.

Pour les résineux, le classement mécanique réalisé par machine conduit à une limitation du déclassement des pièces.

En ce qui concerne les feuillus, le rendement pourrait être optimisé, notamment grâce à des opérations de pré-tri.

### La norme NF EN 338

C'est la norme française et européenne qui établit un système de classes de résistance pour le bois de structure. Elle définit les valeurs caractéristiques des propriétés mécaniques des bois de résineux et de feuillus utilisés dans la construction, servant de base pour les calculs de structures selon **l'Eurocode 5**.

#### ♦ Qu'est-ce que la norme NF EN 338 ?

Elle s'applique à tous les bois feuillus et résineux destinés à la construction et à un usage structurel.

Elle fixe les valeurs mécaniques nécessaires pour dimensionner les structures en bois.

Elle est liée à l'Eurocode 5 (EN 1995) qui donne les règles de conception et de calcul, mais la NF EN 338 fournit les données de résistance.

#### ♦ Comment fonctionne le classement ?

La norme définit des classes de résistance pour les bois.

Pour les résineux, on trouve par exemple les classes C18, C24, C30.

Pour les feuillus, on trouve les classes D18, D24, D30.

Les correspondances entre ces classes de résistance et les classements visuels sont définis par la norme NF EN 1912.

#### ♦ Pourquoi est-elle importante ?

Elle garantit la sécurité des constructions en bois en fournissant des propriétés mécaniques fiables.

Elle permet aux ingénieurs et architectes de concevoir des structures en bois solides et durables.

Propriétés caractéristiques des bois massifs RÉSINEUX définies par NF EN 338, pour les calculs avec Eurocode05

Symbole	Désignation	Unité	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
f <sub>m,k</sub>	Contrainte de flexion	N/mm <sup>2</sup>	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
f <sub>t,0,k</sub>	Contrainte de traction axiale	N/mm <sup>2</sup>	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
f <sub>t,90,k</sub>	Contrainte de traction transversale	N/mm <sup>2</sup>	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
f <sub>c,0,k</sub>	Contrainte de compression axiale	N/mm <sup>2</sup>	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
f <sub>c,90,k</sub>	Contrainte de compression transversale	N/mm <sup>2</sup>	2	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
f <sub>v,k</sub>	Contrainte de cisaillement	N/mm <sup>2</sup>	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4	4	4	4	4	4
E <sub>0,mean</sub>	Module moyen d'élasticité axiale	kN/mm <sup>2</sup>	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
E <sub>0,05</sub>	Module élasticité axial au 5ème percentile	kN/mm <sup>2</sup>	4,7	5,4	6	6,4	6,7	7,4	7,7	8	8,7	9,4	10	10,7
E <sub>90,mean</sub>	Module moyen d'élasticité transversale	kN/mm <sup>2</sup>	0,23	0,27	0,3	0,32	0,33	0,37	0,38	0,4	0,43	0,47	0,5	0,53
G <sub>mean</sub>	Module moyen de cisaillement	kN/mm <sup>2</sup>	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1
ρ <sub>k</sub>	Masse volumique caractéristique	kg/m <sup>3</sup>	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
ρ <sub>mean</sub>	Masse volumique moyenne	kg/m <sup>3</sup>	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550



## La norme NF EN 1912

Concerne le classement visuel des bois de structure en fonction de leurs propriétés de résistance mécanique.

Elle établit la correspondance entre le **classement visuel** d'un type de bois et sa **classe de résistance mécanique** (classes C ou D selon la norme NF EN 338).

Essences	Classe Visuelle selon NF B 52-001	Classe Mécanique selon NF EN 338
Sapin, épicéa, pins, douglas, peuplier	ST-I	C30
Mélèze	ST-I	C27
Sapin, épicéa, pins, douglas, peuplier, mélèze	ST-III	C24
	ST-III	C18
Pins	ST-IV	C14

### Taux d'humidité des bois

En ingénierie et dans le bâtiment, les normes considèrent le taux d'humidité du bois pour déterminer ses propriétés mécaniques et sa durabilité. Les valeurs de référence varient selon les normes et les applications.

#### ◆ Taux d'humidité de référence

Le taux d'humidité de référence utilisé pour la classification et le calcul des propriétés mécaniques du bois est généralement fixé à **12 %** dans les normes européennes comme la NF EN 338 (Classes de résistance).

#### ◆ Taux d'humidité de mise en œuvre

Les normes de construction, telles que les DTU (Documents Techniques Unifiés), spécifient des taux d'humidité à respecter lors de la mise en œuvre du bois, afin de minimiser les déformations et les fissures ultérieures.

Charpente traditionnelle et fermette : 15 % à 22 %

Ossature bois : ≤ 18 % en moyenne

Menuiserie extérieure : 15 % à 18 %

#### ◆ Critère de durabilité

Pour limiter le développement des champignons lignivores, les normes recommandent un seuil d'humidité critique situé entre 20 % et 22 %. Lorsque ce taux est dépassé, le bois devient susceptible à la dégradation. Ainsi, le marquage CE des sciages utilisés en construction impose une teneur moyenne en humidité inférieure à 20 % pour les bois classés "secs".

Il est important de noter que l'humidité du bois est un facteur variable qui dépend de l'environnement, c'est pourquoi les normes distinguent différentes classes de service basées sur l'humidité d'équilibre du bois dans sa situation finale :

Classe de service 1 : Ambiance intérieure chauffée (taux d'humidité d'équilibre de 7 % à 13 %).

Classe de service 2 : Ambiance abritée, soumise à des variations hygrométriques (taux d'humidité d'équilibre de 13 % à 20 %).

Classe de service 3 : Conditions climatiques extérieures plus élevées.



## Les dimensions des sciages :

### ◆ Longueur des sciages

Dans les années 70, il était encore courant de trouver des bois de charpente et de menuiserie dont les longueurs étaient exprimées en pieds, soit des multiples de 33 cm. Cette pratique perdure encore aujourd'hui, bien que moins courante, en particulier pour des travaux de rénovation ou dans des scieries artisanales qui maintiennent les traditions. La longueur de 33 cm n'est pas une norme officielle du système métrique, mais la rémanence d'une ancienne unité de mesure, le pied du Roi, qui a longtemps servi de référence pour le sciage du bois en France.

Aujourd'hui, la plupart des scieries et des négociants en bois proposent une gamme de longueurs prédéfinies pour les bois de charpente et de construction. Cette gamme commence souvent à 1,5 m et s'étend jusqu'à 6,5 m ou 7 m, avec des incréments de 50 cm. C'est le cas pour les sections les plus courantes comme les chevrons, bastaings et madriers.

Au-delà de 6,5 m : Pour les longueurs supérieures à 6,5 m, il est souvent nécessaire de faire une commande spéciale ou de s'adresser à une scierie spécialisée dans les grandes longueurs. Ces commandes sont appelées "sciages sur liste" ou "sciages à façon". Les scieries peuvent alors adapter leurs machines pour débiter une grume à la longueur exacte demandée par le client, ce qui peut éviter des pertes de matière. Ce service est essentiel pour les projets de qui exigent des portées importantes.

### ◆ La norme NF EN 336

La norme **NF EN 336** spécifie les dimensions, les tolérances et les modes de mesure du bois de structure à section rectangulaire. Elle s'applique aux bois résineux et de peuplier.

### ◆ Dimensions nominales

La norme donne une liste de dimensions nominales pour les épaisseurs et les largeurs des bois. Ces dimensions sont les valeurs de référence auxquelles les fabricants et les utilisateurs se réfèrent pour leurs échanges commerciaux.

Épaisseurs : 18, 22, 25, 32, 38, 45, 50, 60, 75, 100, 120, 150, 175, 200, 225, 250, 275 et 300 mm.

Largeurs : 50, 60, 75, 100, 120, 150, 175, 200, 225, 250, 275 et 300 mm.

### ◆ Tolérances dimensionnelles

La norme définit les écarts admissibles (tolérances) sur ces dimensions, qui sont basées sur une teneur en eau de référence de 20%. Ces tolérances sont divisées en trois classes :

Classe 1 : Tolérances larges (pour une utilisation générale).

Classe 2 : Tolérances plus strictes (pour des applications où la précision est importante).

Classe 3 : Tolérances très strictes (pour des besoins de haute précision).

Par exemple, pour une section de 75 mm, la tolérance peut varier de  $\pm 2$  mm à  $\pm 1$  mm selon la classe de tolérance.

### ◆ Mesures et Teneur en Eau

La norme établit également les procédures de mesure pour l'épaisseur, la largeur et la longueur des sciages. Elle insiste sur le fait que **la mesure doit être prise à une teneur en eau de 20%** et qu'il faut appliquer des corrections si la mesure est réalisée à une teneur en eau différente.

En résumé, la norme NF EN 336 assure l'uniformité des dimensions et de la qualité pour le bois de construction, ce qui est crucial pour la sécurité et la fiabilité des structures en bois.



## La norme NIMP15 ou ISPM15 :

La NIMP 15 (Norme Internationale pour les Mesures Phytosanitaires n°15) est une réglementation internationale qui a pour but d'éviter la propagation d'organismes nuisibles aux végétaux (insectes et champignons) par le biais des matériaux d'emballage en bois brut utilisés dans le commerce international.

Voici les points clés à connaître sur cette norme :

### ◆ Bois concernés

La NIMP 15 s'applique à tous les matériaux d'emballage en bois brut d'une épaisseur supérieure à 6 mm, utilisés pour le transport de marchandises entre pays. Cela inclut :

Les palettes.

Les caisses.

Les cales et les bois de calage.

Les fûts et les tourets.

Sont exemptés de cette norme les emballages fabriqués à partir de bois transformé (contreplaqué, OSB, MDF) car le processus de fabrication (chaleur, pression, colle) élimine les organismes nuisibles.

### ◆ Traitement à la chaleur (HT)

Le traitement thermique (HT) est la méthode principale et la plus répandue pour rendre les emballages en bois conformes. Il consiste à chauffer le bois de manière à ce que la température minimale atteigne 56°C au cœur du bois et soit maintenue pendant au moins 30 minutes. Ce processus est efficace pour tuer les insectes et leurs larves.

### ◆ Interdiction du traitement au bromure de méthyle (MB)

La fumigation au bromure de méthyle (MB) était une méthode de traitement autorisée par la NIMP 15. Cependant, en raison de son impact négatif sur la couche d'ozone et de sa toxicité, ce traitement a été interdit dans l'Union européenne depuis mars 2010. Bien qu'il soit encore accepté dans certains pays, le traitement thermique (HT) est fortement privilégié.

### ◆ Traçabilité et contrôle

La conformité à la NIMP 15 est assurée par un système strict de traçabilité et de contrôle.

**Agréments :** En France, les entreprises productrices ou traitant les emballages en bois doivent être agréées par le ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire.

**Audits :** Des audits réguliers, réalisés par des organismes de contrôle accrédités, vérifient que l'entreprise respecte bien le cahier des charges de la norme.

**Registres :** Chaque entreprise agréée doit tenir des registres détaillés de ses opérations de traitement pour garantir la traçabilité. Il est impératif de pouvoir tracer les lots de bois (Commande, Bl, Bois, attestation de traitement)

### ◆ Marquage



Le marquage est l'élément essentiel qui atteste de la conformité d'un emballage à la NIMP 15. Il doit être apposé de manière lisible et permanente sur au moins deux faces opposées de l'emballage. Le marquage se compose de plusieurs éléments :

Le symbole IPPC : Un épi de blé stylisé qui est le logo de la Convention Internationale pour la Protection des Végétaux.

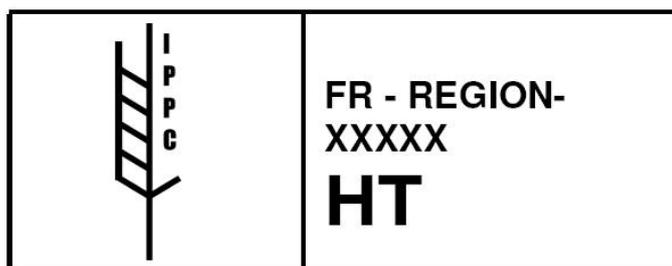
Le code pays : Le code ISO à deux lettres du pays où l'emballage a été traité (ex. : FR pour la France).

Le code d'identification : Un numéro d'enregistrement unique de l'entreprise productrice ou de traitement.

Le code du traitement : Il indique la méthode de traitement utilisée :

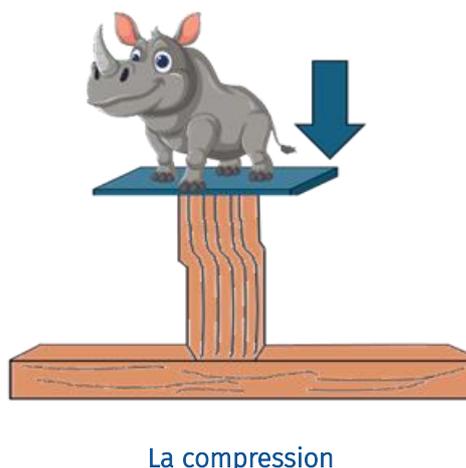
HT pour le traitement thermique (Heat Treatment).

Exemple de marquage : FR-00000-H



## Sollicitation mécanique des éléments simples de structure :

Les éléments de charpente et de structure en bois sont soumis à diverses sollicitations mécaniques telles que la traction, la compression, la flexion, le cisaillement et la torsion. Ces contraintes provoquent des comportements spécifiques des pièces de bois, dont certains sont présentés ci-dessous.



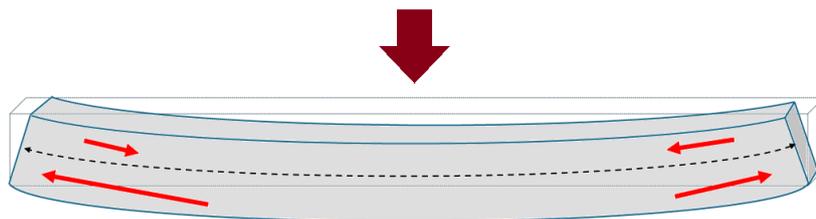
La présente fiche traite des sollicitations fréquemment observées sur les éléments de structure simples, à savoir la flexion et la compression. Les phénomènes de traction et de torsion ne seront pas abordés dans ce document.

### ♦ La flexion :

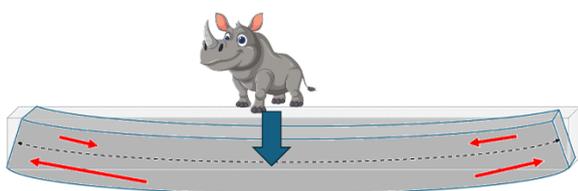
La sollicitation principale observée pour un longeron, des planches de plancher, des dispositifs de préhension correspond à une flexion induite par les charges appliquées. Cette contrainte provoque la courbure de l'élément



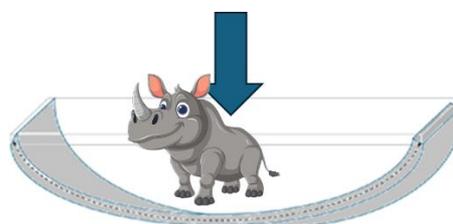
selon la direction des forces exercées. Ainsi, la partie supérieure, soumise à la compression, tend à se raccourcir, tandis que la partie inférieure, soumise à la traction, s'allonge. La fibre médiane, représentée en pointillés, demeure exempte de ces contraintes, elle constitue la fibre neutre.



À ce stade, il est recommandé de solliciter une pièce en flexion dans le sens de sa « grande inertie ». L'inertie dépend de la section transversale de l'élément soumis à la flexion. Les deux dessins suivants illustrent cette notion de sollicitation permettant d'obtenir un comportement optimal en flexion.



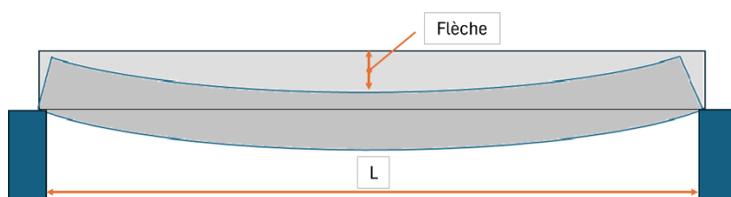
Bois à Chant



Bois à plat

♦ Flèche :

La flèche correspond à la distance maximale atteinte par une pièce lorsqu'elle se déforme sous l'effet de la flexion, mesurée par rapport à sa ligne droite ou à sa forme initiale.



Il convient de ne pas confondre la flèche avec la déformation naturelle de la pièce (gauchie ou cintrée), qui pourrait s'y superposer positivement ou négativement.

La flèche relative correspond au rapport entre la flèche et la portée, avec 1 au numérateur. Par exemple, pour une poutre de 4 m (400 cm) ayant une flèche de 4 cm, la flèche relative est  $4/400 = 1/100$ , soit « un centième ».

♦ Le Fluage

Le fluage du bois est une déformation lente sous contrainte constante, où les fibres s'ajustent progressivement. Utiliser du **bois trop humide** augmente non seulement le risque de fluage, mais aussi de retraits, de fentes et de gerces lors du séchage.

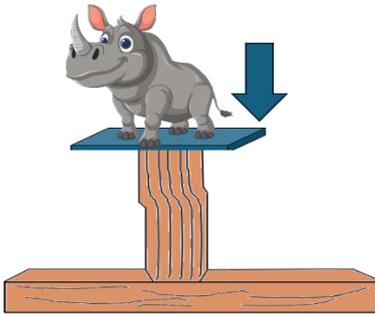


Le chargement de pièces humides peut entraîner une augmentation de deux à trois fois du fluage au début de leur utilisation, jusqu'à ce que l'équilibre hygroscopique soit atteint.

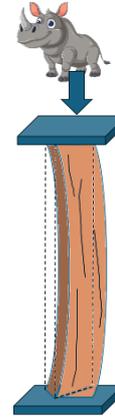


♦ La compression Axiale :

La compression axiale, principale sollicitation d'une chandelle, raccourcit les fibres du bois et peut causer une instabilité appelée flambement pour les pièces longues et fines (planches verticales).

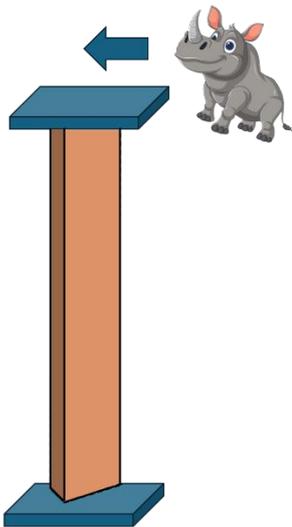


Compression axiale pièces courtes, écrasement

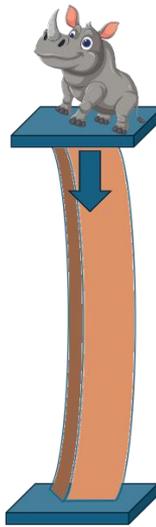


Compression axiale pièces longues, flambage

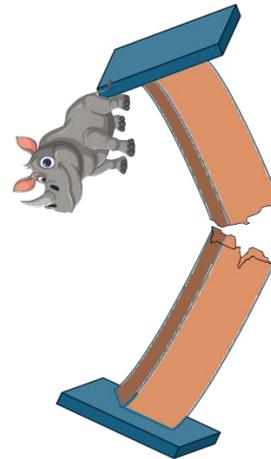
Le flambage est un phénomène qui conduit à la ruine de la pièce comprimée lorsqu'il intervient. Pour une charge déterminée, le flambage sera conditionné par une longueur critique de flambement ( $L_f$ ). L'instabilité de l'élément bois sollicité en compression interviendra obligatoirement dans le sens de sa petite inertie.



Installation de la charge



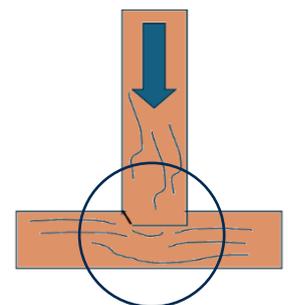
Flambage



Ruine de la pièce

♦ La compression transversale :

La compression transversale du bois, exercée perpendiculairement aux fibres, montre une résistance environ **8 à 10 fois inférieure à celle en compression axiale**. Cette faiblesse est prise en compte dans les normes telles que l'Eurocode 5, car elle peut causer des déformations ou ruptures, exigeant parfois une section plus grande ou un bois de meilleure qualité.



## Dimensionnement en flexion :

En France, le dimensionnement des structures en bois dans le secteur de la construction est régi par l'Eurocode 5 (EC5), qui impose la vérification de la rigidité et de la résistance des éléments afin d'assurer la sécurité et la fonctionnalité des ouvrages. Ces principes doivent être appliqués comme référence pour le développement de solutions d'emballage industriel en bois.

### ♦ La Résistance (ELU)

L'État Limite Ultime (ELU) correspond à la vérification de la résistance d'une pièce en bois. Ce contrôle vise à déterminer si la poutre peut supporter les charges maximales envisagées sans rupture. Le calcul ELU prend en compte la capacité portante de l'élément, ainsi que les charges permanentes (structure, machine) et les charges d'exploitation (neige, vent, usage). Lors de la vérification à la flexion, la contrainte de flexion calculée ( $\sigma_{m,d}$ ) doit être inférieure ou égale à la contrainte de résistance de la pièce ( $f_{m,k}$ ), ajustée par un coefficient de sécurité ( $\gamma_m$ ) et modifiée selon la durée de la charge et le taux d'humidité ( $k_{mod}$ ).

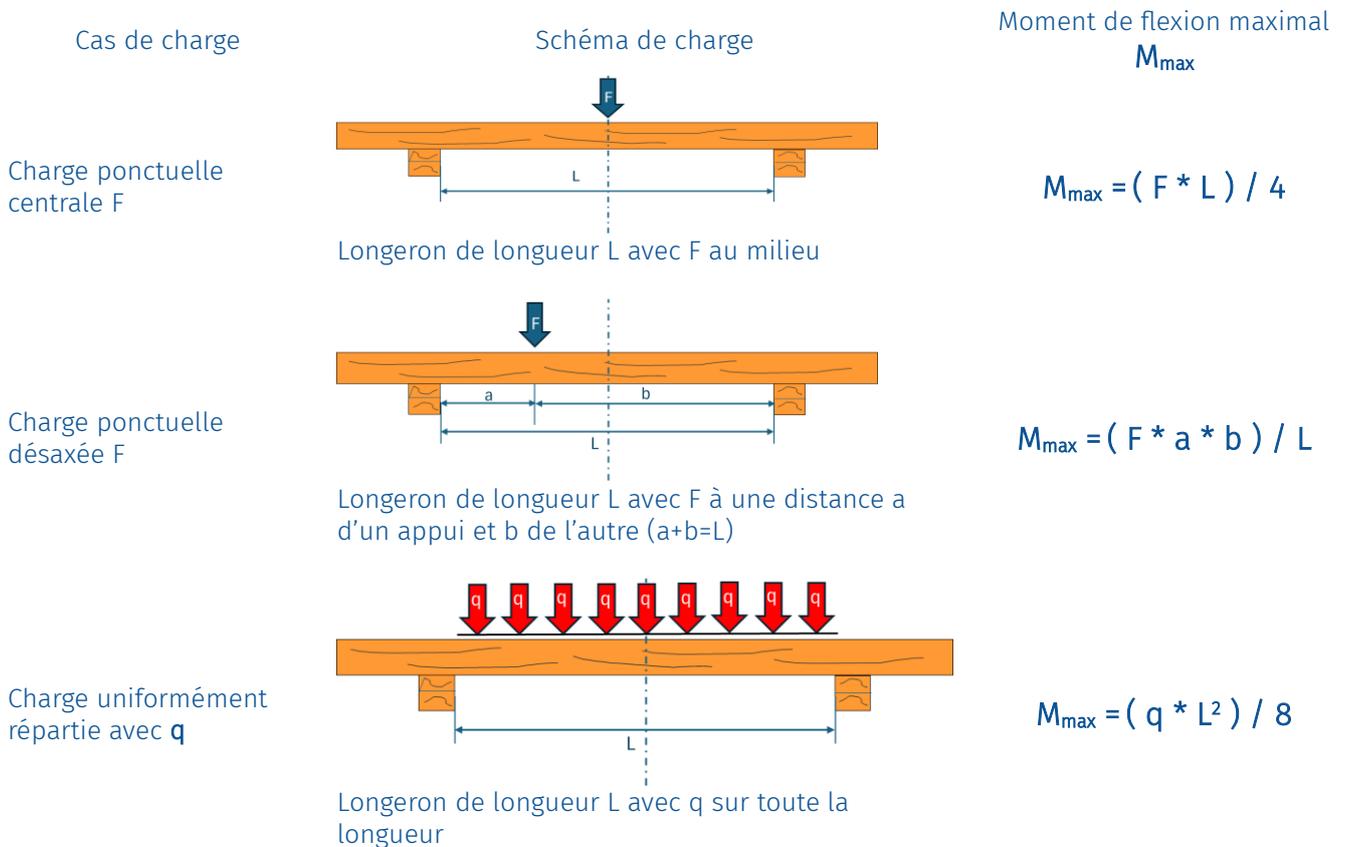
### ♦ Calcul de la contrainte de flexion ( $\sigma_{m,d}$ )

La contrainte de flexion de calcul est déterminée à partir du rapport du moment de flexion maximal ( $M_{max}$ ) sur le module de résistance de la section ( $W$ ).

$$\sigma_{m,d} = M_{max} / W$$

avec

Moment de flexion maximal ( $M_{max}$ ) en fonction de la répartition des charges

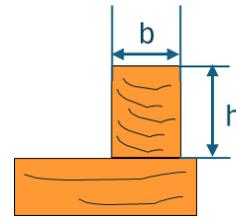


Module de résistance de la section ( $W$ )

$$W = (b * h^2) / 6$$

$b$  = base du longeron (mm)

$h$  = hauteur du longeron (mm)



♦ Formule de vérification (ELU)

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} \text{ avec } f_{m,d} = k_{mod} * (f_{m,k} / \gamma_m)$$

$f_{m,d}$ : Résistance de calcul en flexion

$f_{m,k}$ : Résistance caractéristique en flexion du bois (en fonction de la classe de résistance)

$k_{mod}$ : Coefficient de modification en fonction de la durée et de la classe de service (humidité)

$\gamma_m$ : Coefficient partiel de sécurité (1,3 pour le bois)

♦ La rigidité (ELS)

L'État Limite de Service (ELS) est la vérification de la rigidité de la pièce en bois. Il s'agit de s'assurer que la déformation (flèche) du longeron reste dans des limites acceptables sous les charges de service, c'est-à-dire les charges normales d'utilisation. Si la flèche est trop importante, l'ouvrage peut présenter des désordres même si le longeron ne risque pas de rompre.

La vérification ELS consiste à s'assurer que la flèche calculée ( $w_{fn}$ ) est inférieure à une flèche limite admissible ( $w_{lim}$ ), qui est généralement une fraction de la portée de la pièce bois (par exemple, Portée/300 ou Portée/400).

♦ Formule de vérification (ELS) :

$$w_{fn} \leq w_{lim}$$

$w_{fn}$  : Flèche finale calculée, qui inclut la déformation instantanée due aux charges et la déformation différée (fluage) du bois.

$w_{lim}$  : Flèche limite admissible définie par les normes ou les spécifications du projet.

La vérification de la rigidité consiste à s'assurer qu'une pièce présente une rigidité suffisante pour éviter des déformations excessives sous charge, maintenant ainsi la fonctionnalité et le confort de l'ouvrage.

Pour illustrer la différence entre rigidité et résistance, on peut considérer un longeron en bois reposant sur deux appuis : sous une charge importante, le longeron se courbe d'abord (flèche visible, ELS), puis, si la charge augmente davantage, il peut se rompre (ELU). Le dimensionnement approprié vise à limiter la flèche et à éviter la rupture de la poutre.

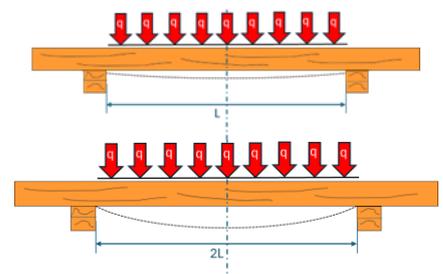
## Facteurs agissant sur la flèche et la résistance :

La flèche et la résistance (longerons de caisse) dépendent

♦ De la portée

La flèche augmente considérablement lorsque l'on augmente la portée. Par exemple, pour une pièce sous charge répartie si je double la portée avec une charge uniformément répartie, la flèche maximale est proportionnelle à la puissance 4 de la portée.

Si la portée augmente de 10 %, la flèche sera multipliée par **1,10<sup>4</sup>**, ce qui correspond à une augmentation d'environ **46,4 %** et la résistance divisée par **4**



◆ De la hauteur du longeron :

La flèche augmente considérablement pour une diminution de hauteur si je diminue la hauteur par 2, la flèche est multipliée par 8 et la résistance divisée par 4

En fait la flèche est inversement proportionnelle au cube de la hauteur.

Exemple : Un madrier de 75 \* 225 mm est 9 fois plus rigide sur chant qu'à plat (et 3 fois plus résistant).

◆ De la largeur du longeron :

La largeur ne joue que proportionnellement deux madriers 75 \* 225 mm jumelés, réduiront de moitié la flèche et auront une charge de sécurité doublée

◆ De la qualité des bois :

D'une façon générale, les bois denses et sans défaut offrent une bonne résistance et se déforment peu, tandis que les bois peu denses et avec défauts risquent de se déformer fortement ou de casser. Le dimensionnement s'appuie sur les classes de résistance mécanique selon les normes EN 338

◆ De l'humidité

Les propriétés mécaniques du bois, telles que la résistance en flexion ( $f_m$ ) et la résistance en compression ( $f_c$ ), sont directement liées à sa teneur en eau (TE). La norme EN 338, qui définit les classes de résistance du bois, utilise **une TE de 12%** comme référence.

◆ Perte d'eau (séchage) :

Quand le bois sèche, l'eau libre et une partie de l'eau liée s'évaporent. Les fibres de cellulose se rapprochent, et les liaisons entre elles se renforcent. Ce resserrement rend le bois **plus dense, plus rigide** et plus résistant. C'est pourquoi un bois sec est plus performant mécaniquement qu'un bois vert. Un séchage excessif (**en dessous de 10% de TE**) peut toutefois rendre le **bois plus cassant ou fragile**, car il perd une partie de sa flexibilité.

◆ Reprise d'eau (humidification) :

Quand le bois absorbe de l'eau, il gagne en masse et en volume (gonflement). L'eau s'insère entre les fibres de cellulose, les écartant et réduisant la densité des liaisons interfibrillaires. Ce phénomène a un **impact négatif sur les propriétés mécaniques**, notamment la résistance en compression.

Pour compenser les variations de TE dans les calculs de dimensionnement, les normes comme l'Eurocode 5 utilisent des coefficients de modification ( $k_{mod}$ ) qui tiennent compte de la durée de la charge et de la classe de service (humidité). Ces coefficients permettent de s'assurer que même dans des conditions d'humidité élevées (utilisation extérieure, par exemple), la structure reste sûre et fonctionnelle.

◆ De l'entraxe

Lorsque l'espacement entre deux longerons augmente, la flèche à l'élingage augmente également. Ainsi, le SEILA précise dans ses spécifications techniques que l'espacement maximal entre deux structures longitudinales d'un plateau est de **60 cm**. Cette limitation permet également de contrôler la contrainte en flexion des planches de plancher, fixant un espace entre appuis à 60 cm.

◆ Du chargement

Plus la charge est maintenue longtemps, plus la déformation de fluage est importante. C'est pourquoi les charges permanentes ont un impact significatif sur la déformation finale.



Lorsque l'espacement entre deux longerons augmente, la flèche à l'élingage augmente également. Ainsi, le SEILA précise dans ses spécifications techniques que l'espacement maximal entre deux structures longitudinales d'un plateau est de 60 cm. Cette limitation permet également de contrôler la contrainte en flexion des planches de plancher, fixant un espace entre appuis à 60 cm.

## Charge maximale admissible en flexion :

### ◆ Charge uniformément répartie

Ces 3 tableaux présentent des **estimations** des charges maximales admissibles en flexion pour des pièces de bois résineux de différentes qualités et dimensions. Les valeurs sont basées sur le calcul simplifié d'une **charge uniformément répartie** sur toute la surface de la pièce.

### Comment les valeurs ont-elles été calculées ? 📊

Le calcul est basé sur la **résistance à la flexion** ( $f_{m,k}$ ) du bois et le **module de résistance de la section** ( $W$ ). La formule est :

$$\text{Charge totale (en N)} = \frac{8 * f_{m,k} * W}{L}$$

- $f_{m,k}$  est la contrainte de flexion admissible, qui varie selon la classe de bois :
  - **C18** : 18 MPa (18 N/mm<sup>2</sup>)
  - **C24** : 24 MPa (24 N/mm<sup>2</sup>)
  - **C30** : 30 MPa (30 N/mm<sup>2</sup>)
- $W$  est le module de résistance, qui dépend des dimensions (largeur  $b$  et épaisseur  $h$ ) :

$$W = \frac{b * h^2}{6}$$

- $L$  est la portée en mm.

La charge totale obtenue est ensuite convertie **en kg** en divisant par l'accélération de la gravité (9,81 m/s<sup>2</sup>).

**Note importante :** Ces valeurs sont des approximations théoriques. Elles ne remplacent en aucun cas un calcul d'ingénierie et ne prennent pas en compte la déformation (flèche) de la planche, les charges dynamiques, les conditions d'utilisation, ou les coefficients de sécurité indispensables à une construction. Pour tout projet, il est fortement recommandé de consulter un ingénieur en structure.

### Bois de qualité C18

Largeur (mm)	Épaisseur (mm)	50 cm	60 cm	100 cm	200 cm	350 cm	500 cm
100	25	383	319	191	96	55	38
150	25	574	479	287	143	82	57
63	75	2683	2236	1342	671	383	268
75	63	1695	1412	847	424	242	169
80	110	9274	7728	4637	2318	1325	927
110	80	5402	4502	2701	1350	772	540
63	163	15000	12500	7500	3750	2143	1500
163	63	4379	3649	2189	1095	626	438
80	220	22616	18847	11308	5654	3231	2262



**Bois de qualité C24**

Largeur (mm)	Épaisseur (mm)	50 cm	60 cm	100 cm	200 cm	350 cm	500 cm
100	25	510	425	255	127	73	51
150	25	765	638	383	191	109	76
63	75	3577	2981	1789	894	511	358
75	63	2260	1883	1130	565	323	226
80	110	12365	10304	6182	3091	1766	1236
110	80	7203	6002	3601	1801	1029	720
63	163	20000	16667	10000	5000	2857	2000
163	63	5838	4865	2919	1460	834	584
80	220	30154	25128	15077	7538	4308	3015

**Bois de qualité C30**

Largeur (mm)	Épaisseur (mm)	50 cm	60 cm	100 cm	200 cm	350 cm	500 cm
100	25	638	531	319	160	91	64
150	25	956	797	478	239	137	96
63	75	4471	3726	2236	1118	639	447
75	63	2825	2354	1412	706	403	282
80	110	15456	12880	7728	3864	2208	1546
110	80	9004	7503	4502	2251	1286	900
63	163	25000	20833	12500	6250	3571	2500
163	63	7297	6081	3649	1824	1043	730
80	220	37692	31410	18847	9424	5385	3769

♦ **Charge concentrée au milieu de la portée**

Les tableaux avec les charges maximales admissibles, mais cette fois-ci calculées pour une charge concentrée au centre de la portée. Cette configuration est souvent la plus contraignante pour la flèche et la flexion. Les valeurs sont en kilogrammes.

**Comment les valeurs ont-elles été calculées ?**

Le calcul est basé sur la **résistance à la flexion** ( $f_{m,k}$ ) du bois et le **module de résistance de la section** ( $W$ ). La formule est :

$$\text{Charge totale (en N)} = \frac{4 * f_{m,k} * W}{L}$$

- $f_{m,k}$  est la contrainte de flexion admissible, qui varie selon la classe de bois :
  - C18 : 18 MPa (18 N/mm<sup>2</sup>)
  - C24 : 24 MPa (24 N/mm<sup>2</sup>)
  - C30 : 30 MPa (30 N/mm<sup>2</sup>)
- $W$  est le module de résistance, qui dépend des dimensions (largeur  $b$  et épaisseur  $h$ ) :

$$w = \frac{b * h^2}{6}$$

- $L$  est la portée en mm.

La charge totale obtenue est ensuite convertie **en kg** en divisant par l'accélération de la gravité (9,81 m/s<sup>2</sup>).



**Note importante :** Ces valeurs sont des approximations théoriques. Elles ne remplacent en aucun cas un calcul d'ingénierie et ne prennent pas en compte la déformation (flèche) de la planche, les charges dynamiques, les conditions d'utilisation, ou les coefficients de sécurité indispensables à une construction. Pour tout projet, il est fortement recommandé de consulter un ingénieur en structure.

### Bois de qualité C18

Largeur (mm)	Épaisseur (mm)	50 cm	60 cm	100 cm	200 cm	350 cm	500 cm
100	25	96	80	48	24	14	10
150	25	143	119	71	36	21	14
63	75	671	559	335	168	96	67
75	63	424	353	212	106	61	42
80	110	2318	1932	1159	580	331	232
110	80	1350	1125	675	337	193	135
63	163	3750	3125	1875	938	536	375
163	63	1095	912	547	274	156	110
80	220	5654	4712	2827	1413	808	565

### Bois de qualité C24

Largeur (mm)	Épaisseur (mm)	50 cm	60 cm	100 cm	200 cm	350 cm	500 cm
100	25	127	106	64	32	18	13
150	25	191	159	96	48	27	19
63	75	894	745	447	224	128	89
75	63	565	471	282	141	81	57
80	110	3091	2576	1546	773	442	309
110	80	1801	1500	900	450	257	180
63	163	5000	4167	2500	1250	714	500
163	63	1460	1216	730	365	208	146
80	220	7538	6282	3769	1885	1077	754

### Bois de qualité C30

Largeur (mm)	Épaisseur (mm)	50 cm	60 cm	100 cm	200 cm	350 cm	500 cm
100	25	160	133	80	40	23	16
150	25	239	199	120	60	34	24
63	75	1118	932	559	280	160	112
75	63	706	588	353	176	101	71
80	110	3864	3220	1932	966	552	386
110	80	2251	1876	1125	563	321	225
63	163	6250	5208	3125	1563	893	625
163	63	1824	1520	912	456	261	182
80	220	9424	7853	4712	2356	1346	942

