

**UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS**  
**FACULTE DE SCIENCES ET TECHNOLOGIES**

**DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL**



BP. 368 GOMA

[www.ulpgl.net](http://www.ulpgl.net)

**ETUDE ET DIMENSIONNEMENT D'UNE**  
**CHARPENTE EN BOIS : CAS D'UNE SALLE**  
**DE SPECTACLE**

Par **MULENDA MASUDI Chançard**

Travail présenté et défendu en vue de l'obtention du  
Diplôme de Licence en Sciences de l'Ingénieur

**Option : Génie Civil**

**Directeur : Prof. Dr. Ing. BISHWEKA Chérif**

**Encadreur : Ing. Franklin BISIMWA**

**ANNEE ACADEMIQUE 2023 - 2024**

## **Epigraphe**

*« Ce n'est pas la matière qui fait l'œuvre, mais la façon dont l'homme la façonne.»*

**Le Corbusier**

## Dédicace

Avec gratitude et profond respect, ce travail est dédié aux familles MASUDI et MULENDA, piliers de sagesse, d'amour et de résilience, dont le soutien constant et les valeurs transmises ont été une lumière sur le chemin de ce parcours académique.

## Remerciements

Loué soit Allah, Maître de l'univers, source de toute sagesse, de toute force et de toute persévérance. C'est par sa grâce infinie que ce travail a vu le jour. À Lui seul reviennent les premiers remerciements, pour m'avoir soutenu dans les épreuves et guidé dans l'accomplissement de ce parcours.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à l'Université Libre des Pays des Grands Lacs (ULPGL) pour le cadre académique offert, et tout particulièrement au Directeur Prof. Dr. Ing. BISHWEKA Shérif, dont la bienveillance et la rigueur ont marqué ce travail. Mes remerciements sincères vont également à l'Ingénieur Franklin BISIMWA, pour la clarté de ses orientations, son exigence intellectuelle et son accompagnement constant.

À MUNGANGA Pascal, pour son appui fraternel empreint de sagesse, et à mes dignes compagnons de lutte, ainsi qu'à tant d'autres, je rends hommage avec une reconnaissance profonde. Votre fraternité éclairée, votre constance inébranlable et votre solidarité exemplaire ont été des piliers solides sur ce chemin parsemé de défis. Ce mémoire, reflet de nos efforts et de nos valeurs communes, porte en lui la trace indélébile de votre sagesse et de votre engagement inestimable.

## Résumé

Ce mémoire présente une étude approfondie portant sur le dimensionnement d'une charpente en bois, appliquée au cas concret d'une salle de spectacle située à Uvira, en République Démocratique du Congo. L'objectif principal de ce travail est de concevoir une structure à la fois stable, durable et conforme aux exigences normatives, en mettant en valeur le bois comme matériau de construction écologique et performant. Pour y parvenir, l'approche méthodologique s'appuie sur l'Eurocode 5, norme européenne de référence pour les structures bois, et comprend plusieurs étapes rigoureuses : l'analyse des différentes charges (poids propre, exploitation, vent), la modélisation géométrique de la charpente (constituée de deux fermes monopentes et d'une ferme centrale à double pente), la répartition des efforts internes à l'aide de la méthode des nœuds, puis le dimensionnement des éléments porteurs (pannes, entrails, arbalétriers, poteaux) selon l'État Limite Ultime (ELU). Les calculs ont permis de définir les sections adéquates pour chaque élément : pannes de 13×13 cm, entrails et arbalétriers de 10×10 cm, fiches et contre-fiches de 5×5 cm, le tout assemblé à l'aide de boulons de 10 mm de diamètre. Le travail inclut également une réflexion sur les assemblages, la durabilité du bois et les traitements contre les agressions biologiques. En plus de répondre à une problématique technique précise, cette étude ambitionne de servir de base pour d'autres projets similaires, en fournissant une méthode de calcul rigoureuse et adaptable au contexte congolais. Elle constitue ainsi une contribution utile à la promotion des constructions en bois dans les bâtiments publics et culturels, tout en valorisant les ressources naturelles et en tenant compte des contraintes économiques et environnementales.

**Mots clés :** Dimensionnement, charpente en bois, salle de spectacle.

## Abstract

This thesis presents a comprehensive study on the sizing of a timber frame, applied to the specific case of a performance hall located in Uvira, Democratic Republic of Congo. The main objective of this work is to design a structure that is stable, durable, and compliant with regulatory requirements, while highlighting wood as an ecological and efficient construction material. To achieve this, the methodological approach is based on Eurocode 5, the European standard for timber structures, and includes several rigorous steps: analysis of various loads (dead load, live load, wind), geometric modeling of the frame (comprising two single-pitched trusses and one central double-pitched truss), distribution of internal forces using the joint method, followed by the sizing of the load-bearing elements (purlins, tie beams, rafters, columns) according to Ultimate Limit States (ULS). The calculations determined the appropriate cross-sections for each element: 13×13 cm purlins, 10×10 cm tie beams and rafters, 5×5 cm braces and counter-braces, all assembled with 10 mm diameter bolts. The study also includes considerations on connections, wood durability, and treatments against biological attacks. Beyond addressing a specific technical challenge, this research aims to serve as a foundation for similar projects by providing a rigorous calculation method adaptable to the Congolese context. It thus constitutes a valuable contribution to the promotion of timber construction in public and cultural buildings, while enhancing natural resources and taking economic and environmental constraints into account.

**Keywords:** Sizing, timber frame, performance hall

## Table des matières

Epigraphe .....	i
Dédicace.....	ii
Remerciements.....	iii
Résumé.....	iv
Table des matières .....	vi
Liste des abréviations.....	x
Liste des tableaux.....	xi
Liste des figures .....	xii
<b>0. Introduction générale .....</b>	<b>1</b>
0.1 Contexte .....	1
0.2 Identification et formulation du problème .....	1
0.3 Questions de recherche.....	2
0.4 Formulation des hypothèses .....	2
0.5 Justification du choix du sujet et motivations .....	2
0.6 Énoncé des objectifs de recherche .....	3
0.6.1 L'objectif général .....	3
0.7 Méthodologie et délimitation du travail.....	3
0.8 Structure du mémoire .....	3
<b>Chapitre 1 : LES GENERALITES .....</b>	<b>4</b>
1.1 Les ossatures bois et les charpentes .....	4
1.1.1 Description des éléments de construction en ossature bois .....	5
1.1.2 Les Charpentes en bois .....	7
1.2 Constitution du bois .....	10
1.2.1 Eléments Composants le tronc.....	10

1.2.2	Caractéristiques fondamentales .....	11
1.3	Les propriétés du bois .....	13
1.3.1	Propriétés Physiques .....	13
1.3.2	Propriétés Mécaniques .....	15
1.3.3	Propriétés Acoustique .....	16
1.4	Le bois dans la construction .....	17
1.4.1	Aperçu.....	17
1.4.2	Les matériaux bois utilisés en construction .....	18
1.5	Performance et classement de bois en construction .....	18
1.5.1	Les résineux .....	18
1.5.2	Les feuillus.....	19
1.5.3	Bois scié.....	20
1.5.4	Bois rond.....	20
1.5.5	Bois Lamellé Collé .....	21
1.5.6	Bois Lamellé Multi-Collé .....	21
1.6	Classe de service .....	22
1.7	Conclusion.....	24
<b>Chapitre 2 : CONCEPTION ET BASE DU DIMENSIONNEMENT .....</b>		<b>25</b>
2.1	Conception .....	25
2.2	Bases du dimensionnement .....	26
2.2.1	Actions appliquées sur la structure .....	26
2.2.2	Effets du vent .....	29
2.2.3	Calcul de la charge linéique et moment fléchissant.....	30
2.2.4	Calcul des sollicitations .....	30
2.2.5	Détermination des contraintes et efforts intérieurs .....	30
2.3	Condition de vérification.....	31
2.3.1	État Limite Ultime (ELU).....	31
2.3.2	État Limite de Service (ELS).....	31
2.4	Vérification de section à l'ELU .....	32
2.4.1	Traction axiale .....	32
2.4.2	Compression axiale.....	33

2.4.3	Compression transversale .....	35
2.4.4	Flexion simple.....	35
2.4.5	Flexion composée [9].....	37
2.4.6	Vérification des déformations (ELS).....	38
2.5	Assemblage .....	39
2.6	Durabilité du bois, préservation et disposition.....	40
2.6.1	Durabilité .....	40
2.6.2	Prévention des dégradations .....	41
2.6.3	Dispositions et Protection Chimique .....	41
2.7	Conclusion.....	43
<b>Chapitre 3 : PRESENTATION DES RESULTATS .....</b>		<b>44</b>
3.1	Présentation de la ferme et type du bois.....	44
3.1.1	Présentation de la ferme.....	44
3.1.2	Types de bois .....	45
3.2	Inventaire de charges et donnée du problème .....	46
3.2.1	Actions variables.....	46
3.2.2	Actions permanentes .....	47
3.3	Dimensionnement de panne .....	47
3.3.1	Hypothèse du travail .....	47
3.3.2	Bilan des actions sollicitant la panne .....	48
3.3.3	Calcul de panne.....	48
3.4	Dimensionnement de la ferme et assemblage .....	53
3.4.1	Hypothèse du travail .....	53
3.4.2	Bilan des actions sur les nœuds .....	53
3.4.3	Calculs des réactions aux appuis.....	54
3.4.4	Détermination des efforts dans les barres .....	55
3.4.5	Calculs des sections .....	58
3.5	Calcul sommaire de pièce d'assemblage.....	66
3.5.1	Détermination du diamètre des boulons .....	66
3.6	Conclusion.....	68
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>		<b>69</b>

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE.....	71
ANNEXES.....	73

## Liste des abréviations

PSF	Point de Saturation de la Fibre
BLC	Bois Lamellé Collé
BLMC	Bois Lamellé Multi-Collé
BM	Bois massif
ELU	État Limite Ultime
EN	Norme Européenne
Cm	Centimètre
mm	Millimètre
MPa	Méga Pascal
Pa	Pascal
KN	kilo Newton

## Liste des tableaux

Tableau 1-1 : <i>Classe de service</i> .....	23
Tableau 2-1: <i>Textes réglementaires des différentes types d'actions</i> [11] .....	27
Tableau 2-2 : <i>Valeurs des charges d'exploitation en fonctions de l'usage du bâtiment</i> [11] .....	28
Tableau 2-3 : <i>Valeurs de la pression dynamique <math>q_{10}</math> pour les zones de la RDC</i> [6] .....	29
Tableau 2-4 : <i>Longueur efficace <math>l_{ef}</math> d'après le Tableau 6.1 de l'EN 1995-1-1</i> [9] .....	37
Tableau 2-5 : <i>Valeurs limites pour les flèches verticales et horizontales</i> [9] .....	39
Tableau 3-1 : <i>Valeurs caractéristique du bois choisi</i> [9] [11] .....	46
Tableau 3-2 : <i>Les valeurs des efforts dans les barres de la ferme monopente</i> .....	56
Tableau 3-3 : <i>Les valeurs des efforts dans les barres de la ferme double-pente</i> .....	57
Tableau 3-4 : <i>Les dimensions définitives retenus pour le projet</i> .....	68

## Liste des figures

Figure 1-1 : Les différentes types de charpente .....	9
Figure 1-2 : Tronc d'arbre et ses parties .....	11
Figure 1-3 : Les différentes directions .....	12
Figure 1-4 : Variation du volume du bois en fonction de la teneur en eau.....	14
Figure 1-5 : Vue schématique d'une poutre en BLC et détail de l'aboutage par entures de 2 lamelles [4] .....	21
Figure 1-6 : Représentation schématique du BLC (à gauche) et celle du BLMC (à droite) .....	22
Figure 2-1 : Portique de référence pour le dimensionnement .....	26
Figure 3-1 : Configuration géométrique de la ferme monopente .....	45
Figure 3-2 : Configuration géométrique de la ferme principale.....	45
Figure 3-3: Représentation des actions sur les nœuds pour la ferme monopente .....	53
Figure 3-4: Représentation des actions sur les nœuds pour la ferme principale.....	54

# 0. Introduction générale

Dans le domaine de la construction, la charpente joue un rôle crucial en assurant la stabilité et la durabilité des structures. En particulier, la charpente en bois est choisie pour ses qualités esthétiques, sa légèreté relative et sa capacité à supporter des charges importantes.

## 0.1 Contexte

Les charpentes en bois présentent des avantages tels que leur durabilité, leur flexibilité de conception et leur impact environnemental réduit. Dans les salles de spectacle, où l'acoustique, l'esthétique et la résistance structurale sont essentielles, elles constituent un choix idéal. En République Démocratique du Congo, l'utilisation du bois local peut également renforcer l'économie tout en préservant l'environnement. Ainsi, concevoir et dimensionner une charpente en bois adaptée aux besoins spécifiques est crucial. Ce travail de recherche se focalise sur l'étude et le dimensionnement d'une charpente en bois, en prenant comme cas d'étude une salle de spectacle.

## 0.2 Identification et formulation du problème

Le problème central réside dans le manque de méthodes de conception et de dimensionnement spécifiquement optimisées et fiables pour les charpentes en bois, particulièrement pour des applications exigeantes comme les salles de spectacle, où la sécurité et la performance sont primordiales. Bien que le bois soit un matériau écologique et polyvalent, il est crucial de se demander comment concevoir et dimensionner ces structures pour garantir leur fiabilité, optimiser l'utilisation du matériau et les coûts, tout en répondant aux contraintes spécifiques de tels ouvrages.

### **0.3 Questions de recherche**

Pour guider cette recherche, quelques questions ont été posées notamment :

1. Comment garantir la stabilité structurelle d'une charpente en bois pour une salle de spectacle ?
2. Quelles sont les meilleures pratiques pour assurer la durabilité d'une charpente en bois dans des conditions spécifiques ?
3. Quelles sont les normes applicables pour le calcul et le dimensionnement optimal d'une charpente en bois ?

### **0.4 Formulation des hypothèses**

En réponse à ces questions de recherche, voici quelques hypothèses potentielles :

1. Pour garantir la stabilité structurelle d'une charpente en bois, on procédera à la vérification de la stabilité et le dimensionnement des éléments structuraux.
2. Les traitements préventifs contre les termites et les produits de protection contre l'humidité peuvent augmenter significativement la durabilité des charpentes en bois dans des environnements défavorables.
3. Les normes clés pour le calcul et le dimensionnement d'une charpente en bois reposent sur l'Eurocode5 et Documents techniques unifiés : Règles de conception et de construction des maisons à ossatures bois (DTU 31).

### **0.5 Justification du choix du sujet et motivations**

Le choix du sujet « conception et dimensionnement d'une charpente en bois » découle de l'importance de développer des solutions fiables et optimisées pour les structures en bois. Ainsi, l'intérêt développé pour ce thème est guidé par la volonté d'approfondir les principes techniques du dimensionnement et d'explorer les méthodes adaptées aux caractéristiques du matériau bois, qui est à la fois écologique et polyvalent.

## **0.6 Énoncé des objectifs de recherche**

### **0.6.1 L'objectif général**

L'objectif général de cette recherche est de concevoir et de dimensionner une charpente en bois pour une salle de spectacle, en garantissant la stabilité, la durabilité, et la capacité à supporter des charges importantes.

### **0.6.2 Les objectifs opérationnels/spécifiques**

Pour atteindre cet objectif général, les objectifs spécifiques suivants sont définis :

- Définir des critères de dimensionnement pour assurer la stabilité et la durabilité de la charpente.
- Identifier les techniques modernes de construction en bois qui peuvent être appliquées dans le contexte des salles de spectacle.
- Vérifier la conformité des solutions proposées aux normes et réglementations en vigueur.
- Proposer des méthodes d'entretien et de maintenance pour prolonger la durée de vie de la charpente.

## **0.7 Méthodologie et délimitation du travail**

La conception et le dimensionnement d'une charpente en bois nécessitent une approche méthodique garantissant stabilité et durabilité. Cette méthodologie repose sur l'application rigoureuse de l'Eurocode 5 et l'utilisation du logiciel Revit pour une modélisation précise et optimisée.

## **0.8 Structure du mémoire**

Hormis l'introduction et la conclusion, ce travail se subdivise en trois chapitres notamment :

- Le premier chapitre parle des généralités sur le matériau bois
- Le deuxième chapitre traite de la méthodologie, c'est-à-dire la démarche adoptée pour obtenir les résultats.
- Le chapitre troisième traitera sur la présentation et interprétation des résultats.

# Chapitre 1 : LES GENERALITES

Ce premier chapitre présente les généralités sur le bois en tant que matériau de construction. Il aborde d'abord la description des ossatures bois et des charpentes, puis la constitution anatomique du bois et ses principales propriétés physiques, mécaniques et acoustiques. Il traite également des différents types de bois utilisés dans le bâtiment, de leur classement ainsi que de leur durabilité. Ces notions fondamentales permettront de mieux comprendre les choix techniques effectués dans les chapitres suivants, notamment pour le dimensionnement de la charpente.

Le bois est un matériau naturel qui accompagne l'humanité depuis des millénaires, offrant une multitude d'usages allant de la construction aux objets du quotidien. Sa structure unique lui confère des propriétés physiques et mécaniques qui le rendent indispensable dans divers secteurs industriels et artisanaux. Le bois est un polymère complexe qui possède une organisation microstructurale extrêmement élaborée, il est en effet, un amas des cellules végétales mortes stockées au sein de l'arbre.

Le tronc de l'arbre fonctionne normalement quand il est vivant : Il est à l'état saturé d'eau et protégé en grande partie par son écorce.

- Le bois est un matériau vivant ou mieux le bois est le matériau d'un organisme vivant des plantes.

## 1.1 Les ossatures bois et les charpentes

Depuis des siècles, le bois est utilisé comme matériau de construction, façonnant des habitations chaleureuses et robustes à travers le monde. Aujourd'hui, la construction à ossature bois est en plein essor, fusionnant tradition et modernité pour offrir des structures aussi esthétiques que performantes. À travers son adaptabilité et sa légèreté, cette méthode s'impose comme un choix privilégié pour concevoir des bâtiments durables et élégants.

### 1.1.1 Description des éléments de construction en ossature bois

L'ossature bois est une technique de construction qui repose sur l'assemblage de structures en bois pour former un bâti solide et durable. Cette méthode, choisie pour ses performances thermiques, sa légèreté et son faible impact environnemental, permet de concevoir des bâtiments modulables et esthétiques. Les éléments constitutifs d'une ossature bois, tels que les montants, les traverses et les panneaux de contreventement, jouent un rôle fondamental dans la stabilité et l'isolation du bâtiment. Leur conception et leur agencement sont donc essentiels pour garantir une structure résistante et performante, adaptée aux exigences modernes de durabilité et de confort [1].

Les grands principes à suivre lorsqu'on travaille sur des ouvrages en bois, en particulier en restauration. Le respect de l'existant et l'importance de conserver le plus possible les éléments originaux, en expliquant comment intervenir sur les charpentes, les murs en pan de bois et les planchers [1].

#### 1.1.1.1 Charpente en bois

Lorsqu'une pièce de bois d'une structure doit être réparée, on effectue ce qu'on appelle une greffe. Cette greffe doit être réalisée à partir de bois ancien ayant les mêmes caractéristiques que la pièce d'origine, ou à défaut, avec du bois neuf soigneusement séché. Le type d'assemblage utilisé pour fixer la greffe dépend du type de pièce à réparer et des contraintes auxquelles elle est soumise [2]

Les assemblages doivent être choisis avec soin, en tenant compte des efforts mécaniques que la pièce subira (comme la traction ou la compression), de la facilité de mise en œuvre sur le chantier, de l'exposition possible à l'humidité ainsi que des critères esthétiques. Ces assemblages sont souvent techniques, et leur bonne exécution est essentielle pour garantir la solidité et la durabilité de la réparation [1].

Enfin, les performances d'une pièce de bois sont aussi influencées par plusieurs facteurs naturels [1]. L'humidité présente dans le bois, la présence de nœuds, la position du cœur, ou encore la direction du fil (c'est-à-dire l'orientation des fibres du bois) sont autant d'éléments à prendre en compte lors de la sélection et de l'utilisation du matériau [1].

Une définition des mots techniques [2] :

- **Grefte** : en charpente, c'est l'opération qui consiste à remplacer une partie défectueuse d'un élément en bois par une pièce neuve, soigneusement ajustée pour retrouver la continuité de la structure.
- **Assemblage** : c'est la manière dont deux pièces de bois sont réunies ou fixées entre elles, par entures, tenons, boulons, ou d'autres techniques adaptées selon les contraintes mécaniques et les exigences esthétiques.
- **Nœud** : zone circulaire dans le bois correspondant à l'attache d'une branche. Les nœuds peuvent affaiblir le bois ou altérer son apparence.
- **Cœur du bois** : partie centrale du tronc d'un arbre. Il est souvent plus dense mais aussi plus fragile ou fendu.
- **Fil du bois** : orientation naturelle des fibres du bois. Elle détermine comment le bois se fend, se travaille, et réagit aux efforts.

### 1.1.1.2 Pans de bois

Le pan de bois est une structure porteuse formée d'une ossature en bois (poteaux, poutres, traverses) et d'un remplissage non porteur comme le torchis ou les briques. Sa stabilité est assurée par des pièces obliques, appelées guettes ou décharge, ainsi que par des connexions solides avec les murs. L'humidité étant son principal ennemi, il nécessite des protections telles que bardages, enduits ou peintures pour garantir sa durabilité [3] [1].

- **Pan de bois** : mur composé d'une ossature en bois et d'un remplissage (torchis, briques...) [1].
- **Torchis** : mélange de terre, paille et eau, utilisé comme remplissage [3].
- **Guette / Décharge** : pièce de bois inclinée qui stabilise la structure [3].
- **Bardage** : revêtement extérieur de protection.
- **Enduit** : couche de mortier qui protège le mur.

### 1.1.1.3 Planchers en bois

Les planchers en bois sont composés d'une ossature formée de poutres principales et de solives, recouvertes de voliges et d'un remplissage léger (comme du plâtre ou de la maçonnerie). Ils présentent parfois une souplesse naturelle, avec une légère flèche, sans que cela soit un défaut structurel. Cependant, les zones d'appui, surtout au contact des murs, sont sensibles à l'humidité et donc exposées au risque de pourriture [4].

## 1.1.2 Les Charpentes en bois

La charpente en bois est un élément essentiel de la construction, assurant la solidité et la stabilité d'un édifice. Utilisée depuis des siècles, elle se distingue par sa robustesse, sa flexibilité et son esthétisme naturel. Composée de pièces soigneusement assemblées, elle permet de soutenir la toiture tout en garantissant une bonne répartition des charges. Grâce aux propriétés du bois, la charpente offre une solution durable et écologique, adaptée aux exigences modernes de construction.

### 1.1.2.1 Types de charpentes en bois

Une charpente est la structure qui soutient un bâtiment, notamment son toit. Elle peut être traditionnelle en bois massif, industrielle avec des éléments préfabriqués, ou métallique pour une grande robustesse. Chaque type a ses avantages selon le projet de construction [2].

Il existe plusieurs types de charpentes, classées selon différents critères : forme, matériaux, techniques de construction, etc. Voici une classification courante [2] :

#### 1.1.2.1.1 Selon la forme de la charpente

1. Charpente traditionnelle
  - En bois massif.
  - Assemblage par tenons-mortaises, chevilles, etc.
  - Utilisée dans les maisons anciennes ou de prestige.
2. Charpente industrielle (ou à fermettes)
  - En bois préfabriqué.
  - Assemblage par connecteurs métalliques.
  - Légère, économique, très utilisée dans les maisons récentes.

3. Charpente à fermes
  - Utilisée pour des portées moyennes à grandes (granges, entrepôts).
  - Forme triangulée, composée de fermes, pannes, chevrons.
4. Etc ...

#### **1.1.2.1.2 Selon les matériaux**

1. Charpente en bois
  - Bois massif ou lamellé-collé.
  - Traditionnelle ou moderne.
2. Charpente métallique
  - En acier ou en aluminium.
  - Grande portée, très résistante.
3. Charpente mixte
  - Bois + métal, ou bois + béton.
  - Utilisée pour combiner les avantages des matériaux.
4. Charpente en béton
  - Surtout dans les bâtiments industriels.

#### **1.1.2.1.3 Selon la technique ou la typologie**

1. Charpente à deux pans
2. Charpente à quatre pans
3. Charpente en appentis
4. Charpente lamellée-collée
5. Etc ...

Voici quelques images exemplaires de différents types de charpentes

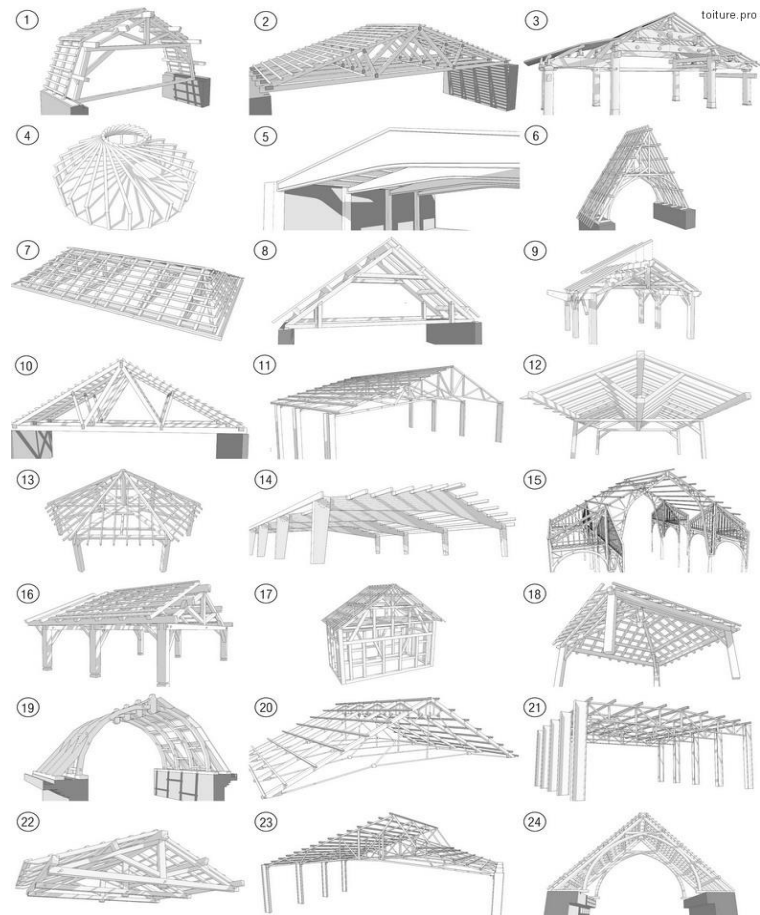


Figure 1-1 : Les différentes types de charpente

Tableau 1-1 : Les noms de ces types de charpente

1.Charpente Mansart	2.Charpente fermette	3.Charpente asiatique	4.Charpente autoporteuse
5.Charpente béton	6.Charpente cathédrale	7.Charpente à croupes	8. Charpente en A
9.Charpente en kit	10.Charpente en W	11.Charpente hyperstatique	12.Charpente inversée
13.Charpente en kiosque	14.Charpente en lamellé collé	15.Charpente Eiffel	16.Charpente sur piliers
17.Charpente alsacienne	22.Charpente pendulaire	23.Charpente-Philibert Delorme	24.Charpente Polonceau
21.Charpente portique	22.Charpent traditionnelle	23.Charpente shed	24.Charpente-en berceau

## 1.2 Constitution du bois

Il est un matériau organique, la photosynthèse du bois se réalise au niveau des feuillis des végétaux selon l'équation :



Dans cette relation:

- $6\text{CO}_2$  : Carbone gazeux
- $6\text{H}_2\text{O}$  : Energie de l'eau
- $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  : Carbone organique
- $6\text{O}_2$  : Oxygène
- $\nu$  : Energie solaire

Il est dit matériau composite car il est composé de 3 éléments dont :

- 50% de Cellulose
- 25% d'Hémi-Cellulose
- 25% de Lignine

Il est dit matériau organique car il est constitué du carbone.

### 1.2.1 Eléments Composants le tronc

Les éléments composant le tronc doivent remplir deux fonctions :

- Véhiculer la sève, des racines aux feuillis pour la sève brute (eau) et des feuillis aux racines pour la sève nourricière.
- Supporter les charges mécaniques (poids propre de l'arbre, feuilles, ses fruits, charge de neige et de vent).

Tel qu'illustré à la figure 1-2, de l'extérieur à l'intérieur d'un arbre, on trouve les composantes suivantes, on trouve les composantes suivantes :

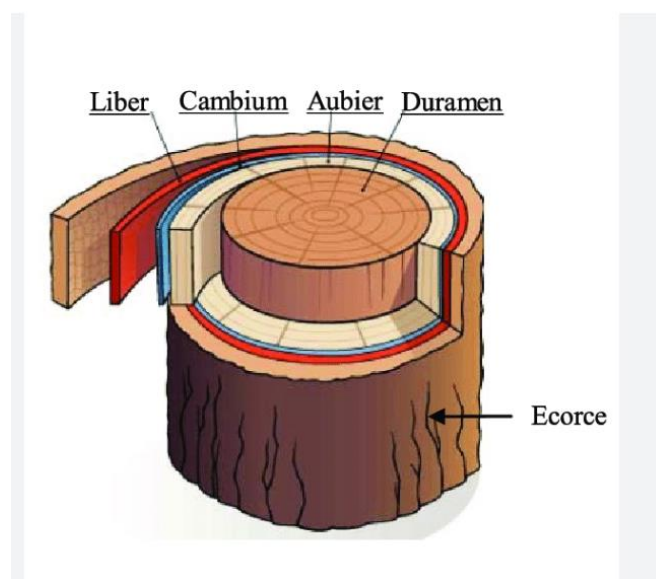


Figure 1-2 : Tronc d'arbre et ses parties

- **L'écorce** qui joue le rôle de protection vis-à-vis de l'extérieur
- **Le liber** qui sert au transport de la sève nourricière
- **Le cambium** qui est la couche de croissance formée par division tangentielle au printemps
- **L'aubier** qui sert au transport de la sève brute
- **Le bois du cœur** ou **duramen**, inactif et qui durcit au cours du temps. C'est cette partie de l'arbre qui sera utilisée comme bois de construction.

### 1.2.2 Caractéristiques fondamentales

La structure anatomique particulière confère au bois trois caractéristique fondamentale qui se retrouvent plus ou moins dans toutes les essences, ces caractéristiques sont :

- **L'hétérogénéité** : Du fait que la composition des cellules n'est pas uniforme, les propriétés physiques du bois ne sont distribuées spécialement de façon homogène.
- **L'anisotropie** : Les propriétés mécaniques (résistance et modules d'élasticité) et physique (coefficient de retrait ; conductivités thermiques, ...) dépendant fortement de la direction considérée.

- **L'hygroscopie** : Les fibres du bois (cellulose) ont des liaisons sur lesquelles peuvent se fixer les molécules d'eau (liaison hydroxyle OH). Selon l'humidité environnante, les fibres contiendront plus ou moins d'eau (eau dite liée).

Du point de vue macroscopique, le bois est un matériau orthotrope ; c'est un matériau dont les propriétés mécaniques varient selon trois directions perpendiculaires entre elles. En d'autres termes, le bois se comporte différemment lorsqu'il est sollicité dans le sens de ses fibres, perpendiculairement à celles-ci (radialement) ou tangentiellement.

Comme nous montre la figure 1-3, les différentes directions dont varient les résistances ;

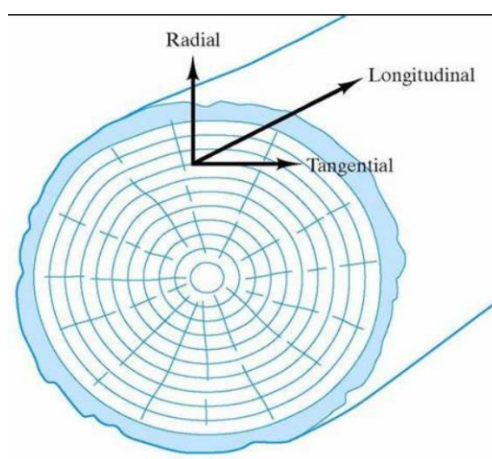


Figure 1-3 : Les différentes directions

Du point de vue botanique, on distingue deux catégories de bois :

- Conifères, appelé aussi Résineux ; ils ne possèdent pas des vaisseaux, la sève brute monte par les trachéites. Il en résulte en particulier des bonnes résistances mécaniques dans le sens longitudinal.
- Les feuillus, appelé aussi dicotylédones ; possèdent toujours des vaisseaux qui lui donnent une rigidité dans le sens radial et tangentiel.

## 1.3 Les propriétés du bois

### 1.3.1 Propriétés Physiques

#### 1.3.1.1 La masse volumique et la densité

La masse volumique et la densité qui lui est associé sont les critères le plus importants dans la caractérisation physique du matériau bois.

De plus, cette caractérisation est fortement liée aux propriétés mécaniques du bois.

On distingue :

- La masse volumique des parois cellulaires, noté  $\varphi_c$ , toujours constant.

$$\varphi_c = 1530 \text{ Kg/m}^3$$

- La masse volumique du bois humide,  $\varphi_w$  obtenue par :

$$\varphi_w = M_w / v_w \text{ (Kg/m}^3\text{)} \quad \text{où } M_w = \text{masse bois humide}$$

$$v_w = \text{volume au même état}$$

- La masse volumique apparente à sec  $\varphi_0$ , l'échantillon est disséqué à l'étude jusqu'à ce que la masse devienne constante.

Soit  $M_0$ , cette masse et  $v_0$  un volume correspond, on a alors :

$$\varphi_0 = M_0 / v_0 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

#### 1.3.1.2 Hygroscopie

La teneur en eau ou le taux hygroscopique ou encore le taux d'humidité **W** ou **H** est définie par :

$$\mathbf{W} = \mathbf{H} = (M_w - M_0) * 100 / M_0 \text{ (en \%)}$$

Où  $M_w$  et  $M_0$  sont respectivement la masse à l'état humide et ma masse anhydride ou à l'état se définie précédemment.

La masse d'eau contenue dans le bois sera donc :  $M_w - M_0$

Les fluctuations de la teneur en eau entraînent des variations dimensionnelles appelé gonflement ou retrait, selon que l'échantillon augmente ou diminue de volume.

Le coefficient de gonflement est donné par :

$$\beta = \frac{\Delta L}{L * \Delta w} * 100 \text{ (Variation de dimension unidirectionnel)}$$

Où  $\Delta L$  : la variation de la longueur dans la direction choisie

$\Delta w$  : la variation de la teneur en eau comprise entre 0 et 30%

$L$  : la longueur de l'élément

Le graphique sur la figure ci-dessous nous présente la variation du volume en fonction de la teneur en eau.

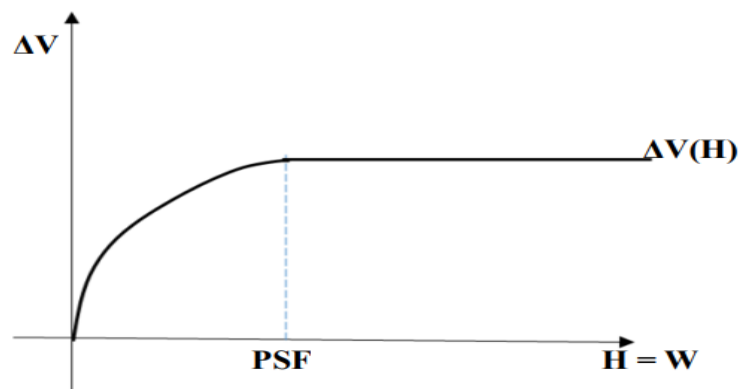


Figure 1-4 : Variation du volume du bois en fonction de la teneur en eau

A partir de  $H=0\%$  (état anhydre), toute variation du taux d'humidité entraîne une variation de volume jusqu'au Point de Saturation de la Fibre (PSF). Ce point, correspond à celui où l'échantillon a de l'eau à 100%, ceci fait qu'à partir de ce point toute augmentation de  $H$  n'influence plus sur le volume. Pour la plupart de bois  $PSF = 30\%$ .

L'eau se trouve dans le bois sous trois formes :

- **L'eau de constitution** : elle rentre dans les éléments constitutifs du bois. Pour l'éliminer il faut détruire le bois par incinération par exemple.
- **L'eau liée** : c'est l'eau que l'on retrouve dans le bois entre l'état anhydre et le PSF. On l'élimine en chauffant le bois à  $103^\circ\text{C}$  dans une étuve. Elle est notre phase de calcul.
- **L'eau libre** : c'est celle que l'on a après le point de saturation de la fibre.

## 1.3.2 Propriétés Mécaniques

### 1.3.2.1 Résistance à la compression

Comme pour toutes les propriétés mécaniques, la dispersion des résultats obtenus est importante (30 à 40%), même entre échantillons d'un même lot. Cela s'explique par le fait que les différentes couches de bois ont été formées à des années d'écart, dans les conditions climatiques différentes. L'influence des défauts locaux, comme les nœuds, joue également un rôle important. [3]

La résistance à la compression est très différente suivant qu'il s'agira de compression parallèle ou perpendiculaire aux fibres. Le mode de ruine est d'ailleurs fondamentalement différencié : écrasement des fibres si l'effort leur est perpendiculaire décollage des fibres puis flambement individuel de celle-ci si l'effort leur est parallèle. [3]

### 1.3.2.2 Résistance à la traction

La résistance ultime en traction axiale du bois parfait vaut 2 à 3 fois la résistance en compression dans le sens des fibres car celle-ci ne tendent pas ni à s'écarter ni à flamber individuellement.

En effet pratique, cependant, il est difficile tirer parti de la pleine résistance en traction à cause des défauts locaux et des difficultés d'assemblages. La résistance à la traction transmissible est une rare propriété mécanique qui ne s'est pas liée à la densité du matériau car elle ne dépend de la qualité des fibres. [3]

Sur le plan de la solidité, le bois a une grande résistance à la compression et à la traction dans le sens longitudinal. Il est toutefois beaucoup plus faible dans le sens transversal. Une bonne compréhension de cette propriété est capitale lors de l'utilisation des différents bois [2].

### 1.3.2.3 Résistance au cisaillement

La résistance au cisaillement a une grande importance pratique pour l'étude des assemblages et de la résistance à l'effort tranchant des pièces flèche. Elle varie largement avec la direction de l'effort par rapport aux fibres mais en pratique, on ne considère que le cisaillement longitudinal qui est susceptible d'amener la rupture par fendage parallèlement aux fibres.

Le principe de réciprocité de contrainte tangentielle indique que ces plans sont le plus critiques. Elle vaut environ 10% de la résistance à la compression. [3]

### 1.3.2.4 Module d'élasticité

A cause de l'anisotropie, il faut distinguer de différents modules d'élasticité et différents coefficients de poisson. On peut retenir comme ordre de grandeur :

- 12 000 MPa pour le module longitudinal
- 12 000 MPa pour le module radial
- 6 000 MPa pour le module transversal
- Le coefficient de poisson est de 0,45 à 0,50.

## 1.3.3 Propriétés Acoustique

L'acoustique en bâtiment est un domaine très étendu qui concerne la propagation du son, de bruit et de vibration aussi bien dans le bâtiment que dans son environnement. Par exemple la suite dans la conception des ouvrages et singulièrement ceux en bois [7].

On devra porter une attention particulière à la conception des éléments par rapport au phénomène de la propagation du son dans le solide (bruit d'impact) et dans une moindre mesure de la propagation du son dans l'air. Le bois est un matériau de base pour nombreux produits de sonorisation et par conséquent les constructions en bois ont un bon comportement acoustique. Ainsi dans le cas du son aérien, l'isolement est rendu possible par l'utilisation d'une paroi à plaque de bois. [7]

## **1.4 Le bois dans la construction**

Le bois est un matériau robuste et isolant, largement utilisé en construction pour les charpentes, revêtements et meubles. Son aspect naturel apporte chaleur aux bâtiments, mais il nécessite un choix et un traitement adaptés pour assurer sa durabilité [5].

### **1.4.1 Aperçu**

Le bois est présenté comme un matériau abondant, disponible, renouvelable, transformable et historique. Il a accompagné l'humanité dans toutes les grandes étapes de son développement. Il est aujourd'hui un matériau biosourcé, c'est-à-dire issu de matières d'origine biologique, qui revient au cœur des politiques de construction durables.

#### **1.4.1.1 Importance et utilité du bois dans l'architecture et la construction**

- Le bois est utilisé dans toutes les typologies de bâtiments (individuels, collectifs, publics, etc.).
- Il est aussi employé dans les ouvrages d'art, l'aménagement urbain, et les intérieurs (menuiseries, escaliers, parquets...).

#### **1.4.1.2 Avantages et inconvénients de l'utilisation du bois**

##### **1.4.1.2.1 Avantages [8]**

- Faible empreinte carbone : réduction jusqu'à 60 % des émissions sur les chantiers.
- Rapidité de mise en œuvre : préfabrication en atelier.
- Isolation thermique et confort hygrométrique.
- Esthétique et adaptabilité.

##### **1.4.1.2.2 Contraintes :**

- Exige des compétences spécifiques pour la conception et la mise en œuvre.
- Sensibilité à l'humidité et aux insectes, mais maîtrisée avec les traitements et choix adaptés. [5]

## 1.4.2 Les matériaux bois utilisés en construction

Matériau ancestral et toujours d'actualité, le bois se distingue par sa polyvalence, sa résistance et son charme naturel, faisant de lui un choix privilégié dans la construction moderne.

Parmi les bois utilisés dans la construction, nous pouvons citer [5] :

### 1. Bois massif

Utilisé pour les charpentes, les fermes, les chevrons, les poteaux, etc.

### 2. Bois abouté

Élément reconstitué par collage bout à bout, utilisé pour les structures (ossature, charpente, planchers).

### 3. Bois reconstitué

Bois assemblé mécaniquement ou par collage, notamment pour des charges importantes.

### 4. Bois lamellé-collé

Idéal pour les grandes portées, utilisé en charpente et poutres.

### 5. Bois lamellé-croisé

Panneaux massifs composés de plis croisés, utilisés pour murs, planchers et toitures dans le logement collectif ou tertiaire.

## 1.5 Performance et classement de bois en construction

Du point de vue anatomique, les bois sont classés en deux grands groupes :

### 1.5.1 Les résineux

Les résineux ne perdent pas leurs feuilles pendant la saison sèche, ils sont à feuillage persistant. Le Mélèze est une exception, puisque c'est un résineux à feuilles caduques : il perd ses aiguilles à la saison sèche. Les essences utilisées comme bois de construction sont le Sapin, l'Épicéa, le Mélèze et les nombreuses variétés de Pin.

### 1.5.2 Les feuillus

Ceux sont les arbres qui perdent leurs feuilles à la saison sèche.

On parle d'arbres à feuilles caduques. Ils ont en général des feuilles larges, qui ne sont pas sous la forme d'aiguilles. Les feuillus sont apparus plus récemment (150 millions d'année, contre 350 pour les résineux), et leur diversité biologique est très supérieure à celle des résineux. Ils sont plus évolués et ont donc une structure anatomique plus complexe que celle des résineux. On peut citer les essences suivantes : Châtaignier, Chêne, Erable, Tilleul, Frêne, . . .

Néanmoins, en construction, les performances et les classements des bois sont basées sur l'équation ci-dessous [3]:

$$S_d \leq R_d \quad (\text{Équation 1-1})$$

Avec  $S_d$  la valeur de calcul des actions et  $R_d$  la valeur de calcul de résistance.

Pour le bois, on définit pour un paramètre mécanique donné, la valeur de calcul en fonction de la valeur caractéristique par l'expression ci-dessous :

$$s_d \leq X_d = k_{mod} * \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (\text{Équation 1-2})$$

Avec :

$X_d$  : Valeur de calcul du paramètre mécanique

$k_{mod}$ : Coefficient de modification, il est fonction de la durée de charge et du taux hygroscopique des pièces

$X_k$ : Valeur caractéristique du paramètre mécanique

$\gamma_M$ : Coefficient partiel matériau considéré.

En construction, plusieurs bois sont en œuvre, présentons d'emblée certains d'entre eux :

### 1.5.3 Bois scié

Le bois scié est la section en bois la plus utilisée en construction. Les formes couramment rencontrées sont : la forme rectangulaire servant de poutre, et la forme carrée qui sert de poteau. Le principe de vérification aux états limites ultimes que nous allons présenter au deuxième chapitre classe le matériau bois disponible. Selon, les normes, on utilise deux à trois classes de bois sciés : classe 1, classe 2 et classe 3. La classe 1 sera obtenue pour les bois de qualité légèrement supérieure, la classe 2 pour une qualité moyenne et la classe 3 pour une qualité inférieure. [6] Pour la nomenclature, les résineux sont nommés de C<sub>14</sub> (bois de classe 14), C<sub>16</sub> (bois de classe 16, peut servir de bois de résistance ou d'emballage) à C<sub>40</sub> suivant la qualité de l'essence considérée [10] [9]. Par ailleurs, les feuillis sont nommés de D<sub>30</sub> à D<sub>70</sub> [9].

### 1.5.4 Bois rond

Le bois rond constitue la forme du bois la plus simple dans la construction, il est directement façonné à partir du tronc ou de la branche rectiligne dont on a enlevé l'écorce pour avoir une forme cylindrique [9]. C'est le bois d'œuvre qui présente beaucoup d'avantages du point de vue économique et du point de vue résistance. Du point de vue mécanique, il est celui qui requière moins d'opération mécanique pour son élaboration, et du point de vue résistance il présente moins de fibres coupées pendant son façonnage, ce qui fait qu'il présente moins de variabilité dans ses propriétés de résistance, avec sa forme circulaire, il permet au mieux la reprise des efforts axiaux. [9].

Cependant, cette forme est moins appropriée pour la reprise des efforts de flexion, mis à part cet aspect désavantagé, soulignons aussi qu'il offre moins de surface plane pour faciliter l'assemblage et est sensible aux effets de différence entre retrait radial et retrait tangentiel, produisant ainsi des fentes longitudinales ; mais ce défaut peut être réduit en appliquant des gorges de charge sur le bois en question.

Retenons que ce type de bois est utilisé beaucoup dans l'élévation des structures extérieures, comme par exemple le mur antibruit, les poteaux d'électricité, les jeux d'enfant, etc [9].

### 1.5.5 Bois Lamellé Collé

La construction en bois rond ou en bois scié pose une limite restrictive en structure à savoir les dimensions de section et longueur des éléments disponibles sont petites pour des grandes constructions. [9].

De ce fait, le bois lamellé collé désigné souvent par BLC, vient lever cette difficulté. En effet, il permet de franchir sans beaucoup de difficulté les dimensions imposées par les grumes, et leur dimension maximale dépendent de leur transport depuis l'usine jusqu'au lieu d'utilisation. [9]. La fabrication des BLC comprend quatre phases dont : l'aboutage, le rabotage de planches, le collage et le rabotage de poutres, et enfin le taillage et la finition. La figure 1-5 ci-dessous présente une vue schématique d'une poutre BLC avec détail de l'aboutage par entures de deux lamelles.

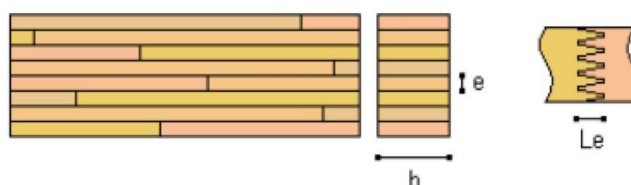


Figure 1-5 : Vue schématique d'une poutre en BLC et détail de l'aboutage par entures de 2 lamelles [4]

### 1.5.6 Bois Lamellé Multi-Collé

Le bois lamellé multi-collé désigné par BLMC est une dérivée de BLC qui intègre une étape supplémentaire : une semelle à lame verticale dans la zone de la poutre fléchie (voir figure 1-6 ci-dessous).

Compte tenu de son organisation des planches, le BLMC a des performances imputables. En effet, le fonctionnement du BLMC est un système qui se présente de manière mixte (série-parallèle) contrairement au BLC, qui lui a un système de fonctionnement en série. Pour le système série, lorsque le maillon faible se rompt, on assiste à l'effondrement de toute la structure. Par contre dans le système mixte, la rupture du maillon faible provoque la redistribution de la contrainte et le système tient encore. D'où l'intérêt du BLMC

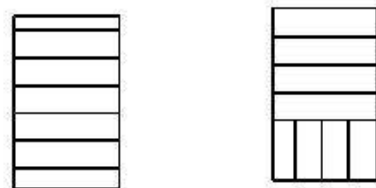


Figure 1-6 : Représentation schématique du BLC (à gauche) et celle du BLMC (à droite)

## 1.6 Classe de service

Les classes classe de service définissent les conditions d'humidité et d'exposition du bois en construction, détermine ainsi ses risques biologiques et guidant le choix des essences, traitement et protections nécessaires pour assurer sa durabilité.

Tableau 1-1 : *Classe de service*

<i>Classe</i>	<i>Situation en service</i>	<i>Exemple</i>	<i>Zone sensible</i>	<i>Risque biologique</i>
<b>1</b>	Bois sec, humidité toujours inférieure à 20%	Menuiseries intérieures	2mm de profondeur	- Insectes - Termites
<b>2</b>	Bois dont l'humidité peut accidentellement dépasser 20%	Charpentes	2mm de profondeur	- Insectes - Termites - Champignons de surface
<b>3</b>	Bois dont l'humidité est fréquemment supérieure à 20%	Constructions extérieure verticales : boudage, fenêtre	Toute la partie humidifiable de la zone non durable naturellement	- Pourriture - Insectes - Termites
<b>4</b>	Bois dont l'humidité est toujours supérieure à 20%	Bois extérieur horizontaux et en contact avec le sol	Toute la zone non durable naturellement	- Pourritures - Termites - Insectes
<b>5</b>	Bois en contact permanent avec l'eau de mer	Pontons	Toutes la zone non-durable naturellement	- Pourritures - Insectes

## **1.7 Conclusion**

Ce chapitre démontre que le bois est un matériau polyvalent, durable et adapté à la construction, grâce à ses propriétés physiques et mécaniques uniques. Il met en évidence la nécessité de comprendre ses caractéristiques pour un dimensionnement optimal des structures, en intégrant des mesures de préservation et de protection. Cette approche permet de garantir la stabilité, la durabilité et la performance des charpentes en bois, tout en tenant compte des contraintes environnementales et techniques.

## Chapitre 2: CONCEPTION ET BASE DU DIMENSIONNEMENT

La conception et le dimensionnement d'une charpente en bois suivent une démarche qui allie logique, cohérence et adaptation au contexte. Chaque étape vise à assurer équilibre, solidité et harmonie, en tenant compte des sollicitations essentielles et des contraintes du projet. C'est un travail qui cherche la justesse autant dans la forme que dans résistance.

### 2.1 Conception

Avant toute implantation, il est primordial d'évaluer la superficie réellement exploitable du terrain. Cette étape vise à anticiper le nombre de fermes pouvant y être installées, tout en respectant les contraintes techniques et les objectifs du projet.

Le site retenu pour ce travail se trouve en République Démocratique du Congo, dans la province du Sud-Kivu, ville d'Uvira, Commune de Kalundu, quartier Kilibula, Avenue Shaba.

Il accueille la construction d'une salle de spectacle aux dimensions de 25m sur 36m, **dix fermes** de 25 m d'ouverture sont implantées, espacées de 3,5 m. Ce travail porte spécifiquement sur l'étude de la charpente cette salle, élément essentiel à sa stabilité et à sa durabilité.

La salle de spectacle, aux dimensions 25m sur 36m, est couverte par une charpente composée de trois entités distinctes : deux fermes monopentes de 6,5m de portée situées latéralement, encadrant une ferme centrale à double pente de 12m de portée.

Les portiques sont constitués chacune de quatre poteaux judicieusement positionnés : deux internes, chacun supporte une ferme mono pente et deux autres dédiées à la ferme centrale. Entre poteaux des fermes mono pentes et ceux de la ferme principale, un joint glissant est intégré, assurant une isolation des efforts portés par chaque poteau et évitant le transfert indésirable de contrainte, ce qui optimise la répartition des charges et la flexibilité structurale.

La figure suivante nous montre la forme de notre charpente et les mesures des éléments qui sont en mètre :

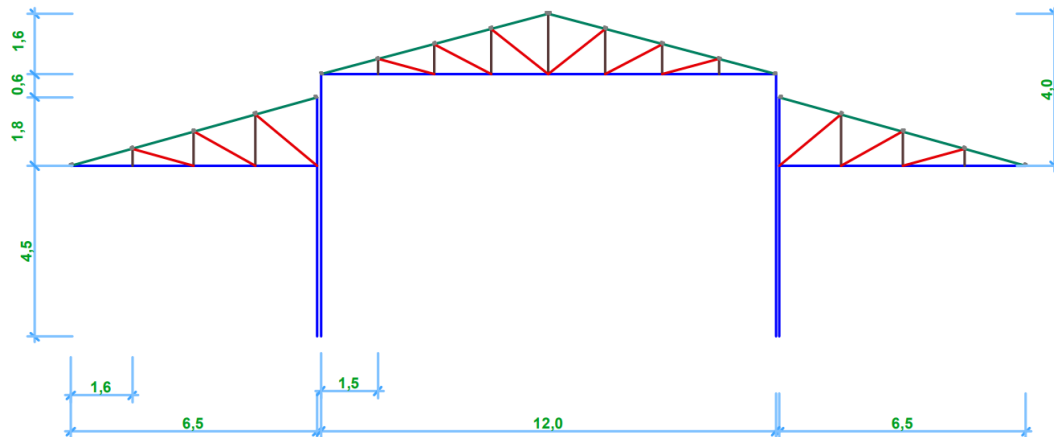


Figure 2-1 : *Portique de référence pour le dimensionnement*

## 2.2 Bases du dimensionnement

### 2.2.1 Actions appliquées sur la structure

Les actions sont un ensemble de forces appliquées à la structure. Le poids propre d'une structure sera une action permanente nommée **G**. Les charges d'exploitation et les effets de la neige et du vent seront des actions variables nommées **Q**. Le feu, les chocs de véhicules, le risque d'explosions, la remontée exceptionnelle de la nappe phréatique sont des exemples d'actions accidentelles nommées **A**. Enfin, le risque de tremblement de terre est pris en compte par les actions sismiques nommées **A<sub>E</sub>** [11].

Le tableau 2-1 à la page suivante associe les textes réglementaires aux différents types d'actions.

Tableau 2-1: Textes réglementaires des différentes types d'actions [11]

Symbole	Types	Désignation	Norme- règlement
<b>G</b>	Actions permanentes	Poids propre de la structure	NF EN 1991-1-1 de mars 2003
		Poids propre des équipements	–
<b>Q</b>	Actions variables	Charges d'exploitation	<b>Q</b> NF EN 1991-1-1 de mars 2003
		Charges climatiques de neige	<b>S</b> NF EN 1991-1-3 de mars 2007
		Charges climatiques de vent	<b>W</b> NF EN 1991-1-4 de novembre 2005 ou NF EN 1991-4 (à paraître) ou DTU P 06-002 d'avril 2000 x 1.2 en période transitoire
<b>A</b>	Actions accidentelles	Explosions, chocs	–
		Actions sismiques	<b>A</b> <b>E</b> NF EN 1998 (toutes les parties)

Dans la suite de notre travail, nous avons considéré les charges permanentes telles que le poids propre de la structure (ferme, pannes, couverture) ainsi que la charge d'exploitation. Les charges variables incluent principalement les effets du vent, en tenant compte des conditions climatiques locales. La charge de neige a été négligée, car la ville d'Uvira ne connaît pas d'enneigement. Cette approche permet d'obtenir une estimation réaliste et adaptée aux contraintes environnementales spécifiques de la région.

Lors de l'analyse structurale, il est crucial d'évaluer les permanentes (G), telles que le poids propre, le revêtement et les équipements fixes, en parallèle avec les variables (Q) telles que le vent et les charges d'exploitation, afin d'assurer la résistance et la durabilité de la structure.

Les principales charges d'exploitation sont définies dans le tableau 2-2 à la page suivante.

Tableau 2-2 : Valeurs des charges d'exploitation en fonctions de l'usage du bâtiment [11]

Catégorie	$q_k$ (kN/m <sup>2</sup> )	$Q_k$ (kN)
<b>A Logement</b>		
Plancher	1.5	2
Balcon	2.5	2
Escalier	3.5	2
<b>B Bureau</b>		
Bureau	2.5	4
<b>C Locaux publics</b>		
C1 Locaux avec tables (écoles, restaurants, etc.)	2.5	3
C2 Locaux avec sièges fixes (théâtres, cinémas, etc.)	4	4
C3 Locaux sans obstacles à la circulation (musées, salles d'exposition, etc.)	4	4
C4 Locaux pour activités physiques (dancings, salles de gymnastique, etc.)	5	7
C5 Locaux susceptibles d'être surpeuplés (salles de concert, terrasses, etc.)	5	4.5
<b>D Commerces</b>		
D1 Commerces de détails courants	5	5
D2 Grands magasins	5	7
<b>E Aires de stockage et locaux industriels</b>		
E1 Surfaces de stockage (entrepôts, bibliothèques...)	7.5	7
E2 Usage industriel	Cf. CCTP	Cf. CCTP
<b>H Toitures</b>		
Si pente ≤ 15 % + étanchéité	0,8*	1.5
Autres toitures	0	1.5
<b>I Toitures accessibles</b>		
Pour les usages des catégories A à D	Charges identiques à la catégorie de l'usage	
Si aménagement paysager	≥ 3	
$q$ : charge uniformément répartie $Q$ : charge ponctuelle (*) $q_k$ sur une surface rectangulaire projetée (A x B) de 10 m <sup>2</sup> tel que 0.5 A/B ≤ 2.		

## 2.2.2 Effets du vent

L'action du vent influence aussi les charges d'exploitation en une composante dynamique. Pour nombreuses structures, l'effet dynamique peut être négligé, une étude détaillée sera requise dans les structures élancées et flexibles.

La pression exercée par le vent est proportionnelle au carré sa vitesse. La détermination des charges engendrées par le vent est basée sur une pression de référence  $q_{ref}$  qui est même une fonction de la vitesse de référence  $V_{ref}$ . [12].

$$q_{ref} = 0.5V_{ref}^2\varphi \quad (\text{Équation 2-1})$$

Avec  $\varphi$  masse volumique de l'air en  $kg/m^3$ ,

$q_{ref}$  la pression en  $N/m^2$  et  $V_{ref}$  la vitesse de référence en  $m/s$ .

Par ailleurs, Pendant une période de transition, il est possible de conserver les Règles NV 65 en augmentant de 20 % les valeurs obtenues[12] [9]. Selon la norme NV65(Neige et Vent 1965) l'effet du vent  $qv$  est calculé par la formule :

$$qv = 2.5 \times \frac{h+18}{h+60} \times q_{10} \quad (\text{Équation 2-2})$$

Avec  $q_{10}$  la pression dynamique de base et  $h$  la hauteur au-dessus du sol.

Le tableau 2-3 ci-dessous donne les valeurs de  $q_{10}$  pour les zones de la RDC

Tableau 2-3 : Valeurs de la pression dynamique  $q_{10}$  pour les zones de la RDC [6]

Zones de la RDC	$q_{10}$ (daN/m <sup>2</sup> )	$q_{10}$ (daN/m <sup>2</sup> )
	valeur normale	valeur extrême
Zone 1 : Kinshasa Bas-Congo Bandundu	50	87.5
Zone 2 : 2 Kasai Equateur	70	122.5
Zone 3 : Nord-Kivu Sud-Kivu Province Orientale Maniema Katanga	90	157.5

### 2.2.3 Calcul de la charge linéique et moment fléchissant

Si la charge est surfacique ( $q$  en  $\text{kN/m}^2$ ), on la transforme en linéique par :

$$q_l = q * e \quad (\text{Équation 2-3})$$

Avec  $e$  = entraxe des éléments porteurs (ex. pannes sur fermes)

Le moment fléchissant maximal d'une poutre simplement appuyée soumise à une charge répartie est donné par la formule  $\frac{q \cdot L^2}{8}$ , essentielle pour le dimensionnement en Résistance des Matériaux.

### 2.2.4 Calcul des sollicitations

Dans le cadre du dimensionnement de la ferme, nous avons procédé à une répartition rigoureuse des charges sur les nœuds afin de garantir une analyse équilibrée des forces en présence. Nous avons ensuite appliqué la méthode des nœuds pour déterminer les efforts internes dans chaque barre, en prenant en compte les charges concentrées agissant sur la structure [13]. Cette approche nous a permis d'identifier précisément les forces de traction et de compression dans les éléments de la ferme, facilitant ainsi le choix des matériaux et des sections adaptées pour assurer la stabilité et la résistance de l'ensemble [15].

### 2.2.5 Détermination des contraintes et efforts intérieurs

La détermination des contraintes et efforts intérieurs va permettre de vérifier la sollicitation subie par chacune des barres. Pour cette fin, plusieurs méthodes sont envisageables selon que la structure à étudier est isostatique ou hyperstatique (dans ce travail il s'agira d'une structure isostatique) [15]. Parmi ces méthodes on peut citer :

- Méthode analytique des nœuds
- Méthode de Ritter
- Méthode des déplacements
- Méthode de Cross,
- etc...

Dans la suite de ce travail, nous appliquons la méthode analytique des nœuds pour la détermination des efforts interne dans les barres.

## 2.3 Condition de vérification

Une structure doit être vérifiée pour assurer pendant toute sa durée d'exploitation la sécurité des personnes et permettre une utilisation conforme à sa destination [11]. Elle doit résister à toutes les actions et influences (humidité) susceptibles d'intervenir pendant sa réalisation (montage sur le chantier) et sa durée d'utilisation [11].

### 2.3.1 État Limite Ultime (ELU)

Il vise à garantir la sécurité de la structure, éviter la rupture ou l'effondrement.

Avec la combinaison de des actions, nous l'appliquons dans la formule suivante [14] ;

$$E_d = \gamma_G * G_k + \gamma_Q * Q_k \quad (\text{Équation 2-4})$$

Où :

$\gamma_G$  et  $\gamma_Q$  sont les coefficients partiels de sécurité (1,35 pour G, 1,5 pour Q)

$G_k$  et  $Q_k$  sont valeurs caractéristiques des charges permanentes et variables

On distingue trois ELU [9] :

- STR : Vérification de la résistance et des déformations des différentes parties de la structure
- EQU : vérification des risques de perte d'équilibre statique
- GEO : vérification du non-dépassement de la résistance du sol

### 2.3.2 État Limite de Service (ELS)

Cet état limite vise à assurer le confort des personnes (vibrations) et à limiter les déformations. L'état limite de service est dépassé lorsque les déformations maximales sont dépassées [9]. Il faut vérifier que la flèche provoquée par les actions appliquées à la structure reste inférieure ou égale à la flèche limite. [9]

Exemple :  $w_{net,fin} \leq w_{vertical\ ou\ horizontale\ limite}$

Où :  $w_{net,fin}$  est la flèche provoquée par les actions appliquées à la structure

$w_{vertical\ ou\ horizontale\ limite}$  est la flèche limite

La combinaison fréquente des charges en ELS est donnée par la relation :

$$E_{ELS} = G_k + Q_k \quad (\text{Équation 2-5})$$

Dans ce travail, nous nous limiterons à la vérification de la résistance et des déformations des différentes parties de la structure, d'où nos calculs seront en ELU.

## 2.4 Vérification de section à l'ELU

La vérification de section à l'ELU constitue une étape essentielle dans le dimensionnement d'un élément de structure. Elle permet de s'assurer que la section choisie est capable de résister aux sollicitations maximales sans atteindre la rupture ou un niveau de déformation inacceptable [11].

### 2.4.1 Traction axiale

La traction axiale correspond à un effort normal  $N_u > 0$  orienté selon le fil du bois. Les éléments soumis à la traction axiale sont les entrants, les éléments de contreventement, les membrures inférieures des poutres composites.

Elle est vérifiée par :

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1 \quad (\text{Équation 2-6})$$

Où :

- $\sigma_{t,0,d}$  est la contrainte de calcul due à l'effort de traction, telle que :

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_u}{A_{net}} \quad (\text{Équation 2-7})$$

Avec  $A_{net}$  la section nette (section totale moins les évidements).

- $f_{t,0,d}$  est la résistance de calcul à la traction axiale, se calcul comme suit :

$$f_{t,0,d} = k_{mod} * k_h * \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} \quad (\text{Équation 2-8})$$

où :

$k_{mod}$  est coefficient modificatif en fonction de la charge,

$f_{t,0,k}$  est la contrainte de traction axiale de la qualité du bois utilisé,

$\gamma_M$  est valeur en fonction de la dispersion du matériau,

$k_h$  : Pour la traction, le coefficient de hauteur  $k_h$  s'applique aux sections rectangulaires pour des essences de masse volumique inférieure à 700 kg/m<sup>3</sup>.

Il dépend de la plus grande dimension de la section transversale. Il majore les résistances pour les dimensions inférieures à 150 mm pour le bois massif et 600 mm pour le bois lamellé-collé.

$$\begin{aligned} \text{Si } h \geq 150 \text{ mm, } k_h &= \min(1,15 ; (600/h)^{0,2}) \\ \text{Et si } h \leq 150 \text{ mm, } k_h &= \min(1,3 ; (150/h)^{0,2}). \end{aligned}$$

Avec  $h$  la plus grande dimension de la section de la pièce en millimètre. [9]

## 2.4.2 Compression axiale

La compression axiale correspond à un effort normal  $N_u < 0$  orienté selon le fil du bois. Pour les pièces élancées, il faut prendre en compte le risque de flambement. Les poteaux, les montants de maison ossature bois, les éléments de contreventement sont des éléments qui peuvent être soumis à la compression axiale. Elle se calcul comme suit :

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} * k_c \leq 1 \quad (\text{Équation 2-9})$$

Où :

- $\sigma_{c,0,d}$  est la contrainte de calcul due à l'effort de compression, telle que :

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_u}{A'_{net}} \quad (\text{Équation 2-10})$$

Avec  $A'_{net}$  la section nette restreinte aux évidements ne contenant pas d'organe d'assemblage.

- $f_{c,0,d}$  est la résistance de calcul à la compression axiale qui se calcul :

$$f_{c,0,d} = k_{mod} * \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} \quad (\text{Équation 2-11})$$

Avec  $f_{c,0,k}$  est la contrainte de compression axiale de la qualité du bois utilisé,

- $k_c = \min(k_{cy}; k_{cz})$  est le coefficient de flambement le plus défavorable. Le coefficient de flambement est  $\leq 1$  et vient pénaliser les éléments dont l'élancement est important.

Pour déterminer le coefficient de flambement, on détermine les élancements relatifs dans les deux plans de flambement potentiels :

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{(f_{c,0,d}/E_{0,05})} \text{ et } \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{(f_{c,0,d}/E_{0,05})} \quad (\text{Équation 2-12})$$

Où  $\lambda_y$  et  $\lambda_z$  sont les élancements mécaniques dans les directions y et z, respectivement, donnés par :

$$\lambda_y = l_f \sqrt{(A/I_{Gyy})} \text{ et } \lambda_z = l_f \sqrt{(A/I_{Gzz})} \quad (\text{Équation 2-13})$$

Ici A est l'aire de la section,  $I_{Gyy}$  (respectivement  $I_{Gzz}$ ) le moment quadratique par rapport à l'axe (Gy) (respectivement (Gz)), pour une section rectangulaire  $b \times h$ , si z est aligné avec le grand coté h de la section, alors  $I_{Gyy} = bh^3/12$  et  $I_{Gzz} = hb^3/12$ .

$l_f$  est la longueur de flambement théorique définie en fonction des liaisons aux extrémités de l'élément.

En général, pour une construction en bois, on considère des liaisons de type rotule, alors on a  $l_f = L_0$ .

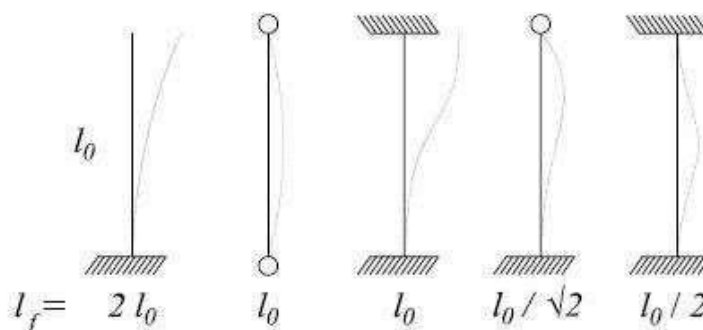


Figure 2-2 : Longueur de flambement théorique en fonction des liaisons aux extrémités [10]

Lorsque  $\lambda_{rel,y} \leq 0,3$  et  $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$ , alors il n'y a pas lieu de prendre en compte le risque de flambement ( $k_{c,y} = k_{c,z} = 1$ ). Dans le cas contraire, on détermine le coefficient  $k_{c,y}$  (idem pour  $k_{c,z}$  en remplaçant y par z) comme :

$$k_{c,y} = 1 / \left( k_y + \sqrt{(k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2)} \right) \leq 1 \quad (\text{Équation 2-14})$$

$$k_y = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) \quad (\text{Équation 2-15})$$

Le coefficient  $\beta_c$  prend en compte la plus ou moins bonne rectitude de l'élément. Il vaut 0.2 pour du bois massif et 0.1 pour du bois lamellé-collé. Si nous sommes dans l'hypothèse de dire qu'il n'y a pas de risque de flambement, le coefficient est 1 et c'est le coefficient le plus défavorable. [9]

### 2.4.3 Compression transversale

La compression transversale se produit lorsqu'une pièce de bois subit une action perpendiculaire aux fibres. C'est le cas au niveau des appuis pour une poutre. Elle est vérifiée par :

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{f_{c,90,d}} * k_{c,90} \leq 1 \quad (\text{Équation 2-16})$$

Où :

- $\sigma_{c,90,d}$  est la contrainte de calcul due à l'effort de compression transverse aux fibres, telle que :

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_u}{b * L_{ef}} \quad (\text{Équation 2-17})$$

- $f_{c,90,d}$  est la résistance de calcul à la compression transverse ,se calcul comme suit :

$$f_{c,90,d} = k_{mod} * \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} \quad (\text{Équation 2-18})$$

Sachant que  $F_u$  est la compression (résultante à l'appui par exemple),  $b$  la largeur de l'élément et  $L_{ef}$  est la longueur efficace de l'appui qui prend en compte l'effet de diffusion des charges. Ma longueur efficace est définie comme  $L_{ef} = l + \text{Min}(30, a, 0.5 l)$  [mm] et  $l$  est la longueur.

### 2.4.4 Flexion simple

La flexion simple concerne de nombreuses pièces : solives, poutres et tout autre élément soumis à un chargement perpendiculaire à la fibre neutre. On parle de flexion simple lorsque l'élément n'est soumis qu'à la flexion dans un seul plan et que l'effort normal est nul. C'est souvent le critère de déformation qui est dimensionnant. [6]. La vérification du cisaillement aux appuis est présentée dans la section suivante.

On vérifiera que :

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d} \quad (\text{Équation 2-19})$$

Où :

- $\sigma_{m,d}$  est la contrainte de flexion maximale, telle que :

$$\sigma_{m,d} = M_{uz} \cdot V / I_{Gzz} \quad (\text{Équation 2-20})$$

- $f_{m,d}$  est la résistance de calcul à la flexion :

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot k_h \cdot k_{sys} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} \quad (\text{Équation 2-21})$$

Dans les équations précédentes  $M_{uz}$  est le moment de flexion ultime.  $I_{Gzz}$  le moment quadratique de la section et  $V$  la distance entre l'axe neutre et les bords supérieurs et inférieurs de la section. Pour une section rectangulaire  $b \cdot h$ ,  $V = h / 2$ .

Le coefficient d'effet système  $k_{sys}$  est à prendre en compte lorsque plusieurs éléments fléchis sont connectés latéralement par un système de redistribution des charges (cas des poutres supportant un plancher ou des fermes dont les linteaux ou pannes jouent ce rôle de transfert de charge). Dans ces cas, on prendra  $k_{sys} = 1.1$ .

Le coefficient de renversement d'instabilité  $k_{crit}$  prend en compte le risque de déversement de la poutre. Dans le cas où le déplacement de la face comprimée est bloqué (platelage sur solives, voltige sur chevrons), le risque de déversement est évité et  $k_{crit} = 1$ . Dans les autres cas on détermine et  $k_{crit}$  en fonction de l'élancement relatif en flexion :

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{(f_{m,k} / \sigma_{m,crit})} \quad (\text{Équation 2-22})$$

Où  $\sigma_{m,crit}$  est la contrainte de flexion critique déterminée en adoptant les valeurs de rigidité à  $\sigma_{m,crit}$ . Pour une poutre rectangulaire en bois résineux, de section  $b \cdot h$ , on adoptera :

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78 \cdot b^2 \cdot E_{0,05}}{L_{ef} \cdot h} \quad (\text{Équation 2-23})$$

Sachant que la longueur efficace est définie à partir de la portée réelle  $l$ , comme indiqué dans le tableau 2-4 :

Tableau 2-4 : Longueur efficace  $l_{ef}$  d'après le Tableau 6.1 de l'EN 1995-1-1 [9]

Type de poutre	Type de chargement	$L_{ef}/L$
Sur appuis simples	Moment constant	1.0
	Charge répartie constante	0.9
	Charge concentrée au milieu	0.8
Porte à faux	Charge répartie constante 0 :5	0.5
	Charge concentrée à l'extrémité	0.8

**Note :**  $L_{ef}$  doit être augmentée de  $2h$  si la charge est appliquée sur la fibre comprimée (cas courant) et peut-être diminuer de  $0.5h$  si la charge est appliquée sur la fibre tendue de la poutre.

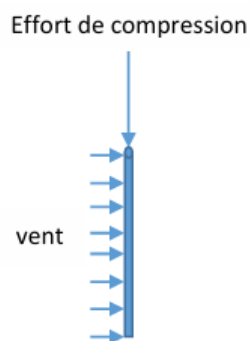
On détermine  $k_{crit}$  de cette manière

- Pour  $\lambda_{rel,m} \leq 0.75$  ,  $K_{crit} = 1$
- Pour  $\lambda_{rel,m} ] 0.75 ; 1.4]$ ,  $K_{crit} = 1.56 - 0.75 \lambda_{rel,m}$
- Pour les valeurs de  $\lambda_{rel,m}$  inférieures à 1.4,  $K_{crit} = 1/\lambda_{rel,m}^2$

**Remarque importante :** il n'y a pas a priori de risque de déversement pour les poutres de faible élancement vertical, c'est-à-dire tant que  $h < 6b$  [6] [9].

### 2.4.5 Flexion composée [9]

La flexion composée provient de l'action composée d'une flexion due à un chargement latéral et d'un effort axial (traction ou compression) ou seulement de l'effet d'un effort normal excentré par rapport à l'axe moyenne de l'élément. Par exemple, une colonne comprimée par l'effort de compression  $N$  avec le vent d'une direction comme illustrée sur le schéma ci-dessous :



Elle sera vérifiée par la relation :

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + \left( \frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * f_{m,d}} \right)^2 \leq 1 \quad (\text{Équation 2-24})$$

Où :

- $\sigma_{c,0,d}$  est la contrainte de compression induite par la combinaison d'action des états limites ultimes ,
- $f_{c,0,d}$  est la résistance de compression calculée en MPa,
- $k_{c,z}$  est le coefficient de flambement (ou  $k_{c,y}$ , s'il est plus défavorable),
- $\sigma_{m,d}$  est la contrainte de flexion induite par la combinaison d'action des états limites ultimes en MPa,
- $f_{m,d}$  est la résistance de flexion calculée en MPa,
- $k_{crit}$  est le coefficient d'instabilité provenant du déversement.

#### 2.4.6 Vérification des déformations (ELS)

La vérification de la flèche se fait en état limite de service, en effet il faut vérifier que la flèche provoquée par les actions appliquées à la structure reste inférieure ou égale à la flèche limite verticale ou horizontale notée  $w_{limite}$  ; on vérifiera par la formule suivante :

$$\frac{w_{inst(Q)}}{w_{limite}} \leq 1 \quad (\text{Équation 2-25})$$

Où :

- $w_{inst(Q)}$  est la flèche instantanée, provoquée par l'ensemble des charges (charges permanentes in cluses) sans tenir compte de l'influence de la durée de la charge et de l'humidité du bois sur la flèche.
- $w_{limite}$  est la flèche limite qu'il ne faut pas dépasser pour une sécurité à la flexion. Les valeurs de la flèche limite sont présentés dans le tableau 2-5 suivant.

Tableau 2-5 : Valeurs limites pour les flèches verticales et horizontales [9]

	Bâtiments courants			Bâtiments agricoles et similaires		
	$W_{inst}(Q)$	$W_{net,fin}$	$W_{fin}$	$W_{inst}(Q)$	$W_{net,fin}$	$W_{fin}$
Chevrons	–	L/150	L/150	–	L/150	L/150
Éléments structuraux	L/300	L/200	L/125	L/200	L/150	L/100

Sachant que :

- Consoles et porte-à-faux : la valeur limite sera doublée. La valeur limite minimum est 5 mm.
- Panneaux de planchers ou supports de toiture :  $W_{limite} < L/250$ .
- Flèche horizontale : L/200 pour les éléments individuels soumis au vent. Pour les autres applications, elles sont identiques aux valeurs limites verticales des éléments structuraux.

## 2.5 Assemblage

L'assemblage permet de réunir et de solidariser plusieurs pièces, assurant ainsi la transmission et la répartition des diverses sollicitations. Pour ce qui est de ce travail, nous ne ferons qu'une étude sommaire de l'assemblage à utiliser pour la charpente. Ainsi nous optons pour un assemblage simple par boulonnage où grâce à une formule, nous vérifierons la résistance des boulons au cisaillement, permettant ainsi de trouver le diamètre des boulons. Ainsi donc, par les calculs, nous allons nous limiter à déterminer le diamètre des boulons à utiliser. Pour trouver le diamètre du boulon nous utiliserons l'expression ci-dessous [10]:

$$\tau = \frac{F^*}{\frac{n \cdot \pi \cdot \phi^2}{4}} \leq \delta_r \quad (\text{Équation 2-26})$$

Où :

- $\tau$  est la contrainte de cisaillement calculée
- $n$  est le nombre des plans de cisaillement du boulon
- $\phi$  le diamètre du boulon

- $F^*$  est l'effort pondéré est donné par l'expression suivante :

$$F^* = N * \gamma_{bois} \quad (\text{Équation 2-27})$$

Avec N est l'effort le plus défavorable dans le nœud considéré et

$\gamma_{bois}$  est le coefficient de sécurité du bois

- $\delta_r$  est la contrainte admissible ou contrainte de rupture et est donné par l'expression suivante :

$$\delta_r = \frac{\delta_i}{\gamma_{acier}} \quad (\text{Équation 2-28})$$

Où :

$\delta_i$  et  $\gamma_{acier}$  sont respectivement la limite élastique et le coefficient de sécurité de l'acier .

## 2.6 Durabilité du bois, préservation et disposition

### 2.6.1 Durabilité

Le bois, matériau, se place dans la chaîne alimentaire de certains insectes ou micro-organismes. On parle alors de biodégradation, on distingue les attaques dues :

- **Aux insectes** : Ceux qui posent probablement dans la construction sont ceux qui s'attaquent au bois sec. (D'autre s'attaquent seulement aux bois vert ou saturé en eau ou pourris), le plus connus sont les vrillettes, les capricornes et le termite. [4]
- **Aux champignons ou micro-organismes** : qui nécessitent un taux d'humidités relativement élevé pour se développer.

Par ailleurs à part ces attaques, "le feu" est un autre régulateur forestier. Si trop de matière organique a été accumulée sur le sol, la biodégradation est trop lente, le feu intervient alors comme relais. [4]

Il existe des procédés permettant au bois de résister aux attaques.

### 2.6.1.1 Le traitement autoclave

Par un jeu de pression en étuvage on vide le bois de sa substance que l'on remplace par un mélange de plomb et de mercure. Aux termes de ce procédé, on vide le bois de tous les nutriments dont se nourrissent les insectes.

### 2.6.1.2 Les traitements artificiels ou de surface

Les bois sont trempés ou soumis à la pulvérisation des produits chimiques insecticides d'une durée approximative de 10 ans. Néanmoins ce type de traitement est peu fiable et déconseillé.

On distingue parmi ces traitements le badigeonnage, la pulvérisation, l'injection, etc...

La construction étant vouée à durer dans le temps, il faut apporter beaucoup de soins à la sélection du bois. C'est pourquoi l'essence joue un rôle de premier plan. Il faut s'assurer que le bois ne comporte que peu d'aubier car celui-ci est la partie attaquable. Il faut en outre que le bois duraminise, c'est à dire qu'il se minéralise dans le temps et manque donc des nutriments car ceux-ci servent de nourriture aux insectes xylophages. [10]

**Note :** A tout état de cause, la protection constructive doit intégrer quelques éléments en l'occurrence du choix de l'essence, le mode de débit du bois, la géométrie de l'ouvrage, l'utilisation des revêtements, la conception des détails, et la physique du bâtiment. [10] [4]

## 2.6.2 Prévention des dégradations

Si la durabilité naturelle du bois choisi n'est pas suffisante pour l'exposition à laquelle sera soumise la pièce de bois, alors il faut :

- Soit adopter des dispositions constructives adéquates
- Soit traiter le bois pour augmenter leur durabilité.

## 2.6.3 Dispositions et Protection Chimique

### 2.6.3.1 Dispositions ou protections constructives

- Elles visent à protéger le bois de l'eau stagnante ou infiltrée, élément catalyseur de la réaction de biodégradation. On arrive ainsi, grâce à une ventilation convenable à empêcher le champignons o se développer.

- Pour le bois exposé aux intempéries (cas d'une passerelle), la protection constructive permet un séchage rapide grâce à une bonne ventilation. Dans ce cas, on choisira une essence très durable accompagnée d'une protection effective et efficace.
- Le soleil surtout les rayons ultraviolets qu'il transporte peut également contribuer à la dégradation du bois et concerne très souvent uniquement la couleur.
- Une attention particulière doit être portée aux extrémités de poutres qui absorbent facilement de l'eau par le phénomène capillaire. On doit donc éviter l'accès à l'eau des sections transversales et assurer une bonne ventilation.

### 2.6.3.2 Protection Chimique

Elle est généralement coûteuse et complexe, d'où la protection constructive doit être systématiquement appliquée. Elle poursuit le but de rendre le bois impropre à ses prédateurs. Parmi les techniques utilisées pour la protection chimique, on cite :

- **Le badigeonnage** : Produit appliqué au pinceau en préventif
- **La pulvérisation** : Produit pulvérisé, le résultat est identique au badigeonnage
- **Le trempage** : Le bois est plongé directement dans un bac contenant le produit de préservation. La durée du traitement est de quelques minutes à plusieurs jours selon la classe de l'essence
- **L'autoclavage** : Imprégnation sous pression par des cycles de variation de pression de 0,1 à 8 bars
- **L'oléothermie** : Imprégnation d'un mélange d'huile végétales et d'adjuvants naturels chauffé à basse température
- **L'injection** : Utilisé en curatif, à l'aide de mèches creuses enfoncés dans le bois servant à injecter sous pression le produit au cœur du bois.

## 2.7 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a permis de poser les bases essentielles pour assurer la compatibilité entre la conception architecturale et les exigences techniques de résistance, de stabilité et de durabilité. Il fournit un cadre méthodologique précis qui sert de soutien aux choix techniques ultérieurs et prépare le terrain pour l'analyse des résultats présentés dans le chapitre suivant. Cette approche méthodique garantit que chaque élément de la charpente est correctement dimensionné afin de répondre aux sollicitations réelles, tout en assurant la sécurité et la longévité de l'ouvrage.

## Chapitre 3: PRESENTATION DES RESULTATS

Ce chapitre rassemble et analyse les résultats obtenus suites aux calculs et dimensionnements effectués sur la charpente en bois de la salle de spectacle. Il met en lumière les différentes valeurs des efforts, les dimensions retenues pour chaque élément structural, ainsi que la conformité de la structure par rapport aux normes en vigueur. Cette présentation permettra de valider la pertinence des choix techniques et de démontrer la sécurité et la stabilité de l'ouvrage dans son ensemble.

### 3.1 Présentation de la ferme et type du bois

#### 3.1.1 Présentation de la ferme

Dans le cadre de cette étude, la charpente de la salle de spectacle repose sur une structure composée de trois fermes distinctes : deux fermes à un versant de 6,5m situées latéralement et une ferme centrale de 12m à deux versants. Ces fermes sont conçues pour couvrir une portée totale de 25m.

Chacune des fermes est étudiée en fonction de sa configuration géométrique, de la répartition des charges qu'elle supporte et de type de bois utilisé. Pour les besoins du dimensionnement, on considère une ferme type représentative de chaque configuration, afin d'optimiser les vérifications tout en respectant les conditions de stabilité, de rigidité et de sécurité de la structure.

Les éléments constitutifs de chaque ferme (arbalétriers, entrants, poinçons, etc ...) seront analysés séparément pour en déterminer les sections et contraintes associées. Une figure illustrera la forme géométrique de la ferme utilisée comme base dans cette analyse.

Les figures ci-dessous nous présentent la configuration de chaque ferme qui fait l'objet de notre étude.

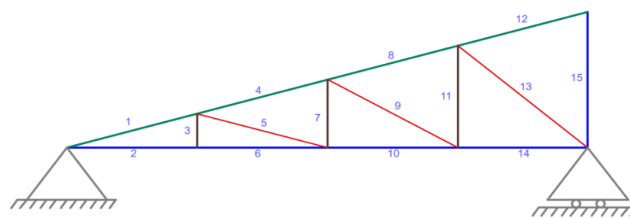


Figure 3-1 : Configuration géométrique de la ferme monopente

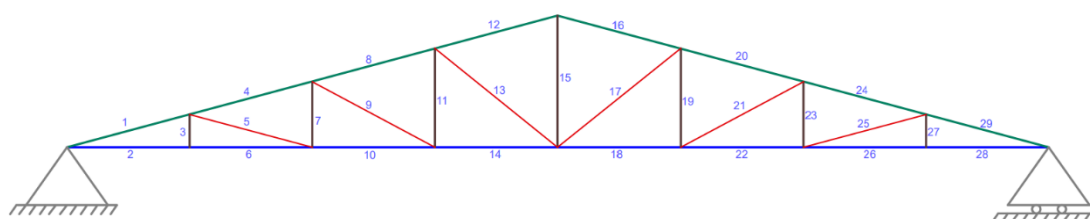


Figure 3-2 : Configuration géométrique de la ferme principale

### 3.1.2 Types de bois

Dans le cadre de ce travail, le choix des matériaux a été guidé par des critères de performance et d'adaptation. Le bois massif D40 a été utilisé pour la ferme et ses composants en raison de sa grande résistance mécanique, convenant aux effets concentrés sur ces éléments porteurs. Le lamellé-collé GL28h a été préféré pour les pannes grâce à sa capacité à franchir de longues portées, sa stabilité dimensionnelle et sa résistance élevée aux déformations.

Le tableau 3-1 présente les caractéristiques du bois choisi :

Tableau 3-1 : Valeurs caractéristique du bois choisi [9] [11]

CARACTERISTIQUES ET UNITES	VALEURS	VALEURS
TYPE DU BOIS	D40	GL28h
$f_{m,k}$ : Contrainte de flexion (N/mm <sup>2</sup> )	40	28
$f_{t,0,k}$ : Contrainte de traction axiale (N/mm <sup>2</sup> )	24	19,5
$f_{t,90,k}$ : Contrainte de traction perpendiculaire (N/mm <sup>2</sup> )	0,6	0,45
$f_{c,0,k}$ : Contrainte de compression axiale (N/mm <sup>2</sup> )	26	26,5
$f_{c,90,k}$ : Contrainte de compression perpendiculaire (N/mm <sup>2</sup> )	8,8	3,0
$f_{v,k}$ : Contrainte de cisaillement (N/mm <sup>2</sup> )	3,8	3,2
$E_{0,mean}$ : Module moyen axial (KN/mm <sup>2</sup> )	11	12,6
$E_{0,05}$ : Module axial au 5 <sup>e</sup> pourcentile (KN/mm <sup>2</sup> )	9.4	10,2
$E_{90,mean}$ : Module moyen transversal (KN/mm <sup>2</sup> )	0,75	0,42
$G_{mean}$ : Module de cisaillement (KN/mm <sup>2</sup> )	0,70	0,78
$\rho_{g,k}$ :Masse volumique caractéristique (Kg/m <sup>3</sup> )	590	425

## 3.2 Inventaire de charges et donnée du problème

Ce point consiste à recenser toutes les charges agissant sur la charpente, afin de poser clairement les données nécessaires au bon dimensionnement de la structure.

### 3.2.1 Actions variables

- La pression dynamique du vent a été prise dans sa valeur extrême, soit 157, 5daN/m<sup>2</sup>, afin de garantir une sécurité maximale dans le dimensionnement le milieu d'étude se situe dans la zone 3(Sud-Kivu).

- La charge d'exploitation a été prise à 1,5KN, conformément aux valeurs de référence de l'Eurocode 5, les charges d'exploitation sont définies dans le tableau 3-1 car notre charpente se situe dans la catégorie I autres toitures.

### 3.2.2 Actions permanentes

- Avec une épaisseur de 0,75mm, la charge des tôles  $7 \text{ kg/m}^2$  car nous utiliserons les tôles en bac acier. [12]
- Le poids propre (poids des pannes, poids de la ferme et ses composantes)

## 3.3 Dimensionnement de panne

Le dimensionnement des pannes vise à assurer la transmission des charges de la couverture vers les éléments porteurs tout en garantissant la stabilité et la sécurité de la toiture.

L'étude des pannes s'impose comme une étape clé dans le dimensionnement d'une charpente, car elle permet d'assurer une répartition efficace des charges qu'elle supporte vers les éléments porteurs. Dans le cas présent, la charpente présente une inclinaison de  $15^\circ$ , ce qui implique que les pannes sont également inclinées. Le vent agissant perpendiculairement à ces pannes, il est nécessaire de considérer un système d'axes tourné de  $15^\circ$ , aligné avec l'inclinaison de la toiture. Ce nouveau repère devient la base du calcul des sollicitations, permettant une meilleure représentation des efforts réels subis par les éléments de la charpente.

Afin d'assurer une analyse précise, le calcul portera sur la panne la plus chargée, celle qui supporte les sollicitations maximales dues aux charges permanentes et variable.

### 3.3.1 Hypothèse du travail

Avant de commencer les calculs, il est indispensable de poser quelques hypothèses simplificatrices entre autres :

- Les pannes ne se retrouvent que sur l'arbalétrier,
- Toute les pannes sont de même matériau bois GL28h,
- On considèrera que la panne a une section carrée :  $b = h$ ,

- Le dimensionnement se fait en fonction de la panne la plus sollicitée et la section trouvée est uniformisée pour toutes les pannes de la structure pour une bonne géométrie et apparence de l'ouvrage,
- Le poids propre de la panne est non négligeable, la structure est isostatique et les pannes reposent sur des fermes distantes de 3,5m, l'entraxe entre panne étant de 1,6 m pour nos deux fermes secondaires et de 1,55m pour notre ferme principale.

### 3.3.2 Bilan des actions sollicitant la panne

Les actions qui agissent sur la panne de sont les suivantes :

- Poids propre,
- Poids des tôles,
- Actions effectives du vent.

### 3.3.3 Calcul de panne

Le calcul d'une panne permet de déterminer sa capacité à supporter les charges appliquées tout en respectant les critères de résistance et de déformation.

Dans le cadre du dimensionnement de la panne, la section étant inconnue au départ, le calcul du poids propre se fait en considérant cette section comme une variable ; sa valeur définitive sera déterminée à l'issue du dimensionnement.

Poids propre :  $425 \cdot 10 \cdot h \cdot h = 4250h^2$  N/m

Poids de tôle :  $7\text{kg}/\text{m}^2 = 70$  N/m<sup>2</sup>

#### 3.3.3.1 La ferme monopente

Avec un entraxe de ferme de 3,5m et entre panne de 1,6m

Poids propre :  $4250h^2$  N/m

Poids tôle :  $70$  N/m<sup>2</sup> \*  $1,6\text{m} = 112$  N/m

Charge du vent :  $7954$  N/1,6m =  $4971,25$  N/m

Après calcul et pondération, nous avons :

$$\vec{P} = (-1489h^2 - 39) \vec{e}_x + (-5541h^2 - 5117) \vec{e}_y$$

Alors :

$$P\vec{e}_x = -1489h^2 - 39$$

$$P\vec{e}_y = -5541,99h^2 - 5117$$

- **Calcul des moments de flexion**

Les calculs des moments de flexion sont alors donnés par les expressions suivantes :

$$M_x = \frac{(5541,99h^2 + 5117)(3,5)^2}{8} = \frac{67\,889,5h^2 + 62\,683}{8}$$

$$M_y = \frac{(1489h^2 + 39)(3,5)^2}{8} = \frac{18\,240h^2 + 477,75}{8}$$

- **Calculs des contraintes induites par la charge suivant l'axe x et l'axe y**

En considérant que notre pièce est carrée, c'est-à-dire que le moment d'inertie est donné par  $I_{xx} = I_{yy} = \frac{h^4}{12}$  et le module de section efficace sera égal à  $w_{x,eff} = \frac{h^3}{6} = w_{y,eff}$ .

Sachant que  $\sigma_{m,x(y),d} = \frac{PL^2}{8} * \frac{6}{h^3} = 0,75 \frac{PL^2}{h^3}$  ; alors

$$\sigma_{m,x,d} = 0,75 * \frac{67\,889,5h^2 + 62\,683}{h^3} = \frac{50\,917,125h^2 + 47\,012,25}{h^3}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 0,75 * \frac{18\,240h^2 + 477,75}{h^3} = \frac{13\,680h^2 + 358,3}{h^3}$$

- **Calcul de la contrainte de résistance**

A l'aide de la formule :  $f_{m,d} = f_{m,y,d} = f_{m,x,d} = k_{mod} * k_{sys} * k_h * \frac{f_{m,k}}{\gamma_M}$

Et sachant que  $k_{mod} = 0,8$  ;  $k_{sys} = 1,1$  ;  $k_h = 1,3$  ;  $f_{m,k} = 28 \frac{N}{mm^2}$  et  $\gamma_M = 1,25$ .

–  $k_{mod} = 0,8$  correspond à une durée de charge longue en milieu sec, typique des charges permanentes ou quasi permanentes,

–  $k_{sys} = 1,1$  est appliqué pour tenir compte de l'effet favorable de la répartition des charges entre plusieurs éléments porteurs travaillant en parallèle,

–  $k_h = 1,3$  est utilisé ici à titre conservatif, en l'absence de la hauteur exacte de la section, conformément aux recommandations de l'Eurocode 5 pour les sections de hauteur  $\leq 150$  mm,

–  $f_{m,k} = 28 \text{ N/mm}^2 = 28 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$  est typique d'un bois lamellé-collé de classe GL28h,

–  $\gamma_M = 1,25$  est appliqué pour les éléments en bois lamellé-collé soumis à des sollicitations mécaniques.

Alors  $f_{m,d} = f_{m,y,d} = f_{m,x,d} = 25,625 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$

- **Vérification de la section de la panne**

$$\text{Taux de travail} = \text{maximum} \left\{ \begin{array}{l} \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \\ k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \end{array} \right\} \leq 1$$

Avec  $\sigma_{m,x,d} = \sigma_{m,z,d}$  et  $K_m = 0,7$

Nous pouvons alors réécrire la condition de résistance en flexion et on a ce qui suit :

$$\frac{50\,917,125 h^2 + 47\,012,25}{25,625 \cdot 10^6 h^3} + 0,7 * \frac{13\,680 h^2 + 358,3}{25,625 \cdot 10^6 h^3} \leq 1$$

$$0,7 * \frac{50\,917,125 h^2 + 47\,012,25}{25,625 \cdot 10^6 h^3} + \frac{13\,680 h^2 + 358,3}{25,625 \cdot 10^6 h^3} \leq 1$$

Après un long calcul, nous en déduisons que  $\text{maximum}(0,12 ; 0,10) \leq 1$ , nous pouvons dire que  $h \geq 12 \text{ cm}$ .

### 3.3.3.2 Pour la ferme principale

Avec un entraxe de ferme de 3,5m et entre panne de 1,55m

Poids propre :  $4250h^2$  N/m

Poids tôle :  $70 \text{ N/m}^2 * 1,6\text{m} = 108,5 \text{ N/m}$

Charge du vent :  $8130 \text{ N/1,55m} = 5245,16 \text{ N/m}$

Après calcul et pondération,

$$\vec{P} = (-1489h^2 - 37,9) \vec{e}_x + (-5541,99h^2 - 5386,64) \vec{e}_y$$

Alors :

$$P\vec{e}_x = -1489h^2 - 37,9$$

$$P\vec{e}_y = -5541,99h^2 - 5386,64$$

- **Calcul des moments de flexion**

Les calculs des moments de flexion sont alors donnés par les expressions suivantes :

$$M_x = \frac{(5541,99h^2 + 5386,64)(3,5)^2}{8} = \frac{67\,889,5h^2 + 65\,978,5}{8}$$

$$M_y = \frac{(1489h^2 + 37,9)(3,5)^2}{8} = \frac{18\,240h^2 + 464,275}{8}$$

- **Calculs des contraintes induites par la charge suivant l'axe x et l'axe y**

En considérant que notre pièce est carrée, c'est-à-dire que le moment d'inertie est donné

par  $I_{xx} = I_{yy} = \frac{h^4}{12}$  et le module de section efficace sera égal à  $w_{x,eff} = \frac{h^3}{6} = w_{y,eff}$ .

Sachant que  $\sigma_{m,x(y),d} = \frac{PL^2}{8} * \frac{6}{h^3} = 0,75 \frac{PL^2}{h^3}$  ; alors

$$\sigma_{m,x,d} = 0,75 * \frac{67\,889,5h^2 + 65\,978,5}{h^3} = \frac{50\,917,125 h^2 + 49\,483,875}{h^3}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 0,75 * \frac{18\,240h^2 + 464,275}{h^3} = \frac{13\,634,25 h^2 + 348,2}{h^3}$$

- **Calcul de la contrainte de résistance**

A l'aide de la formule :  $f_{m,d} = f_{m,y,d} = f_{m,x,d} = k_{mod} * k_{sys} * k_h * \frac{f_{m,k}}{\gamma_M}$

Et sachant que  $k_{mod} = 0,8$  ;  $k_{sys} = 1,1$  ;  $k_h = 1,3$  ;  $f_{m,k} = 28 \frac{N}{mm^2}$  et  $\gamma_M = 1,25$ .

$$f_{m,d} = f_{m,y,d} = f_{m,x,d} = 25,625 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

- **Vérification de la section de la panne**

Avec  $\sigma_{m,x,d} = \sigma_{m,z,d}$  et  $K_m = 0,7$

Nous pouvons alors réécrire la condition de résistance en flexion et on a ce qui suit :

$$\frac{50\,917,125\,h^2 + 49\,483,875}{25,625 \cdot 10^6 h^3} + 0,7 * \frac{13\,634,25\,h^2 + 348,2}{25,625 \cdot 10^6 h^3} \leq 1$$

$$0,7 * \frac{50\,917,125\,h^2 + 49\,483,875}{25,625 \cdot 10^6 h^3} + \frac{13\,634,25\,h^2 + 348,2}{25,625 \cdot 10^6 h^3} \leq 1$$

Nous en déduisons que maximum  $(0,12 ; 0,11) \leq 1$ , nous pouvons dire que  $h \geq 12 \text{ cm}$ .

Après les calculs et les vérifications de section, la panne adoptée présente une section de **13** × **13 cm**, garantissant une répartition efficace des charges et une résistance conforme aux exigences de notre travail.

## 3.4 Dimensionnement de la ferme et assemblage

### 3.4.1 Hypothèse du travail

Pour pouvoir calculer les éléments de la ferme, on considèrera quelques hypothèses simplificatrices suivantes :

- Les charges sont appliquées aux nœuds,
- Les axes des barres doivent concourir aux nœuds,
- Les éléments de la ferme sont des barres à effort normal,
- La structure est isostatique intérieurement et extérieurement,
- Toutes les barres sont constituées d'un même matériau bois D40,
- Les articulations entre les barres sont considérées comme parfaites,
- Le dimensionnement se fait en fonction des éléments les plus sollicités et les sections trouvées seront uniformisées pour les autres éléments.

### 3.4.2 Bilan des actions sur les nœuds

Les actions qui agissent sur les nœuds de la ferme sont les suivantes :

- Poids des tôles,
- La charge d'exploitation,
- Actions effectives du vent,
- Poids des pannes sur l'arbalétrier.

Les figures ci-dessous présente les différentes charges et leurs points d'applications sur la ferme.

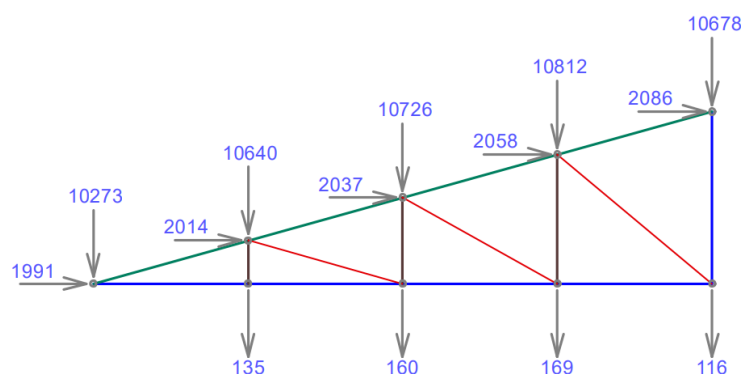


Figure 3-3: Représentation des actions sur les nœuds pour la ferme monopente

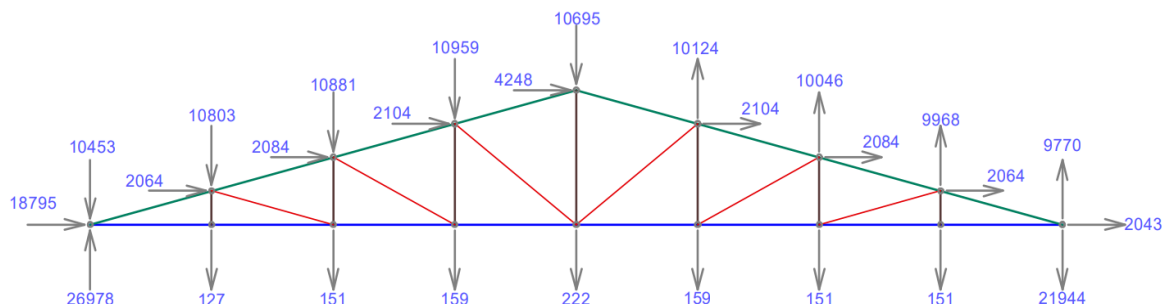


Figure 3-4: Représentation des actions sur les nœuds pour la ferme principale

### 3.4.3 Calculs des réactions aux appuis

Le calcul des réactions aux appuis constitue la première étape essentielle dans l'analyse d'un système isostatique, permettant de connaître les efforts transmis par la structure à ses points d'appui.

Pour déterminer les réactions aux appuis d'un treillis isostatique à deux appuis, on applique le principe fondamental de la statique, selon lequel la somme des projections des forces sur un axe donné est nulle. Ce principe permet d'établir les équations d'équilibre nécessaires au calcul tel que :

$$\sum F_x = 0 \text{ et } \sum F_y = 0$$

Ce principe sera appliqué dans la suite pour la détermination des efforts dans les différentes barres. Ainsi pour le calcul des réactions aux appuis nous avons ce qui suit :

#### 3.4.3.1 Pour la ferme monopente

$$\sum F_x = 0 \Leftrightarrow H_A = -(1991 + 2014 + 2037 + 2058 + 2056) \Leftrightarrow H_A = -10\,186 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 \Leftrightarrow R_A + R_B = 53\,709 \text{ N}$$

$$\sum M_B = 0 \Leftrightarrow R_A = 1/6,5(66\,774 + 51\,724 + 34\,835 + 17\,569 - 805 - 1629 - 2469 - 3337)$$

$$\Leftrightarrow R_A = 25\,024 \text{ N}$$

$$\Leftrightarrow R_B = 28\,686 \text{ N}$$

### 3.4.3.2 Pour la ferme à double pente

$$\sum F_x = 0$$

$$\Leftrightarrow H_A = -(2043 + 2064 + 2084 + 2104 + 4248 + 2104 + 2084 + 2064 + 2043)$$

$$\Leftrightarrow H_A = -20\,838\text{ N}$$

$$\sum F_Y = 0 \Leftrightarrow R_A + R_B = 5\,034\text{N}$$

$$\sum M_B = 0 \Leftrightarrow R_A = \frac{1}{12}(125\,436 + 113\,431 + 97\,929 + 82\,192 + 5\,700 + 1\,332 + 715 + 453 + 190,5) - \frac{1}{12}(165,1 + 3\,334 + 5096 + 6\,796 + 45\,558 + 30\,138 + 29\,904)$$

$$\Leftrightarrow R_A = 26\,978\text{N}$$

$$\Leftrightarrow R_B = -21\,944\text{N}$$

### 3.4.4 Détermination des efforts dans les barres

Dans le cadre de cette étude, la détermination des efforts dans les barres du treillis a été réalisée à l'aide de la méthode des nœuds. Cette méthode consiste à isoler chaque nœud de la structure et à appliquer les équilibres des forces horizontales et verticales pour en déduire les efforts dans les barres qui y convergent. Elle est particulièrement adaptée aux treillis isostatiques, offrant une démarche simple et rigoureuse.

L'analyse a ainsi permis de calculer les efforts normaux (traction ou compression) agissant dans chaque élément constitutif de la ferme. Ces valeurs serviront de base pour vérifier les sections de bois utilisées et garantir la résistance et la stabilité de l'ensemble de la charpente. Après avoir déterminé les réactions aux appuis, il sera donc question d'appliquer la méthode des nœuds successifs pour déterminer les efforts dans les barres dont les résultats se résument dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3-2 : Les valeurs des efforts dans les barres de la ferme monopente

Barre	Intensité de l'effort(N)	Nature de la sollicitation
1	- 56993	Compression
2	63246	Traction
3	125	Traction
4	-37218	Compression
5	-21859	Compression
6	63246	Traction
7	5817	Traction
8	-16571	Compression
9	-24667	Compression
10	42131	Traction
11	11367	Traction
12	4335	Traction
13	-27862	Compression
14	20152	Traction
15	-11802	Compression

Tableau 3-3 : Les valeurs des efforts dans les barres de la ferme double-pente

Barres	Intensité de l'effort(kN)	Nature de la sollicitation
1	-63 847	Compression
2	80 466	Traction
3	127	Traction
4	-43 798	Compression
5	-22 184	Compression
6	80 466	Traction
7	5 892	Traction
8	-23 517	Compression
9	-24 546	Compression
10	59 037	Traction
11	11 682	Traction
12	-2 798	Compression
13	-28 064	Compression
14	37 362	Traction
15	1 636	Traction
16	-7 195	Compression
17	25 046	Traction
18	-4 489	Compression
19	-10 020	Compression
20	11 059	Traction
21	21 681	Traction
22	-23 632	Compression
23	-4 703	Compression
24	28 719	Traction
25	18 754	Traction
26	-41 746	Compression
27	813	Traction
28	21 183	Traction
29	45 336	Traction

### 3.4.5 Calculs des sections

Le calcul des sections consiste à dimensionner les éléments de la structure en fonction des efforts auxquels ils sont soumis, afin de garantir leur résistance et leur stabilité.

Après avoir établi les formules nécessaires au chapitre précédent, il est désormais essentiel de les appliquer pour dimensionner chaque élément de la structure [18]. Cette étape vise à déterminer les sections optimales capables de supporter les efforts identifiés, tout en respectant les critères de sécurité, de performance mécanique et d'économie de matière.

#### 3.4.5.1 Hypothèse de travail

- La ferme est constituée du même matériau bois D40,
- Pour la vérification des sections, les efforts maximaux en compression et en traction sont considérés respectivement sur l'entrait et l'arbalétrier ; sur la fiche et contre-fiche,
- Après vérification des sections en compression et en traction, on retiendra systématiquement la plus grande des deux pour chaque élément, afin de garantir la sécurité et la résistance de la structure,
- Le coefficient  $k_{mod} = 0,8$  est choisi en supposant une durée d'action moyenne, typique des charges permanentes,
- Le coefficient partiel de sécurité  $\gamma_M = 1,3$  correspond à celui recommandé pour le bois massif dans l'Eurocode 5,
- $k_h = 1$  est retenu car les barres sont supposées sollicitées axialement, sans excentricité ni flambement, ce qui permet une transmission directe des efforts,
- $k_c = 1$ , il est utilisé car les barres comprimées sont supposées centrées et guidées, sans flambement latéral, ce qui permet une résistance axiale optimale.

### 3.4.5.2 Calcul de l'arbalétrier et de l'entrait

Pour la vérification des sections, l'effort maximal en compression sera pris soit sur l'entrait, soit sur l'arbalétrier, selon le cas le plus défavorable.

#### 3.4.5.2.1 Pour la ferme monopente

Comme illustré dans la figure de la configuration géométrique de la ferme monopente, et selon les indications du tableau 9-3, les barres N1, N4, N8 et N12 constituent l'arbalétrier, tandis que N2, N6, N10 et N14 forment l'entrait.

$$N_{u_{Tmax}} = 63\,246\text{N} \text{ et } N_{u_{Cmax}} = 56\,993\text{N}$$

Où

- $N_{u_{Tmax}}$  Est l'effort ultime maximal en traction,
- $N_{u_{Cmax}}$  Est l'effort ultime maximal en compression.

#### 3.4.5.2.1.1 Vérification de section avec l'effort de traction

$$N_{u_{Tmax}} = 63\,246\text{N}$$

Elle est vérifiée par :  $\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$

Sachant que

- $\sigma_{t,0,d} = \frac{N_u}{A_{net}} = \frac{63\,246\text{ N}}{A_{net}}$
- $f_{t,0,d} = k_{mod} * k_h * \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M}$

Et  $f_{t,0,k} = 24\text{ MPa}$

$$\Rightarrow f_{t,0,d} = 0,8 * 1 * \frac{24}{1,3} = 14,76 \approx 15\text{MPa}$$

Alors

$$\begin{aligned} \Rightarrow \frac{63\,246}{A_{net}} \leq 1 & \langle \Rightarrow \rangle A_{het} \geq \frac{63\,246}{15} \\ & \langle \Rightarrow \rangle A_{het} \geq 4\,216,4\text{ mm}^2 \\ & \langle \Rightarrow \rangle A_{het} \geq 43\text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Avec une section de  $43\text{ cm}^2$ , soit une section  $b = h$  de  $7 \times 7\text{ cm}^2$ .

➤ **Vérification**

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_u}{A_{net}} = \frac{63\,246\text{ N}}{4\,900\text{ mm}^2} = 12,90\text{ MPa} \approx 13\text{ MPa}$$

$$\Rightarrow \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

$$\Rightarrow \frac{13}{15} \leq 1$$

⇒ **0,87 ≤ 1**, Soit un taux de travail est de **87%**

**3.4.5.2.1.2 Vérification de section avec l'effort de compression**

$$N_{u_{cmax}} = 56\,993\text{ N}$$

Elle est vérifiée par :  $\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} * k_c \leq 1$

Sachant que

- $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_u}{A'_{net}} = \frac{56\,993\text{ N}}{A'_{net}}$

- $f_{c,0,d} = k_{mod} * \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M}$

Et  $f_{c,0,k} = 26\text{ MPa}$

$$\Rightarrow f_{c,0,d} = 0,8 * \frac{26}{1,3} = 16\text{ MPa}$$

Alors :

$$\Rightarrow \frac{56\,993}{A_{net}} \leq 1 \quad (\Rightarrow) \quad A_{net} \geq \frac{56\,993}{16}$$

$$(\Rightarrow) \quad A_{net} \geq 3\,562\text{ mm}^2$$

$$(\Rightarrow) \quad A_{net} \geq 36\text{ cm}^2$$

Avec une section de  $36\text{ cm}^2$ , soit une section  $b = h$  de  $(6 \times 6)\text{ cm}^2$  ou  $(7 \times 7)\text{ cm}^2$ .

➤ **Vérification**

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_u}{A'_{net}} = \frac{56\,993\text{ N}}{4\,900\text{ mm}^2} = 11,6\text{ MPa} \approx 12\text{ MPa}$$

$$\Rightarrow \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} * k_c \leq 1$$

$$\Rightarrow \frac{12}{16} * 1 \leq 1$$

$\Rightarrow 0,75 \leq 1$ , Soit un taux de travail est de **75%**

### 3.4.5.2.2 Pour la ferme à double versant

Comme illustré dans la figure de la configuration géométrique de la ferme à double versant, et selon les indications du tableau 10-3, les barres N1, N4, N8, N12, N16, N20, N24 et N29 constituent l'arbalétrier, tandis que N2, N6, N10, N14, N18, N22, N26 et N28 forment l'entrait.

$$N_{u_{Tmax}} = 80\,466\text{N} \text{ et } N_{u_{Cmax}} = 63\,847\text{N}$$

#### 3.4.5.2.2.1 Vérification de section avec l'effort de traction

$$N_{u_{Tmax}} = 80\,466\text{N}$$

Avec :  $\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$  et :

- $\sigma_{t,0,d} = \frac{N_u}{A_{net}} = \frac{80\,466\text{ N}}{A_{net}}$
- $f_{t,0,d} = k_{mod} * k_h * \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M}$

Et  $f_{t,0,k} = 24\text{ MPa} \Rightarrow f_{t,0,d} = 14,76 \approx 15\text{MPa}$  (Calculé précédemment)

$$\Rightarrow \frac{80\,466}{A_{net}} \leq 15 \quad \langle \Rightarrow \rangle \quad A_{net} \geq \frac{80\,466}{15}$$

$$\langle \Rightarrow \rangle \quad A_{net} \geq 5\,364,4\text{ mm}^2$$

$$\langle \Rightarrow \rangle \quad A_{net} \geq 54\text{ cm}^2$$

Avec une section de  $54\text{ cm}^2$ , soit une section  $b = h$  de  $8 \times 8\text{ cm}^2$ .

#### ➤ Vérification

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_u}{A_{net}} = \frac{80\,466\text{ N}}{64\,00\text{ mm}^2} = 12,57\text{ MPa} \approx 13\text{ MPa}$$

$$\Rightarrow \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

$$\Rightarrow \frac{13}{15} \leq 1$$

$\Rightarrow 0,87 \leq 1$ , Soit un taux de travail est de **87%**

### 3.4.5.2.2 Vérification de section avec l'effort de compression

$$N_{u_{Cmax}} = 63\,847\text{N}$$

Elle est vérifiée par :  $\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} * k_c \leq 1$

Sachant que

- $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_u}{A'_{net}} = \frac{63\,847\text{N}}{A'_{net}}$
- $f_{c,0,d} = 16\text{ MPa}$  (Calculé précédemment)
- $f_{c,0,k} = 26\text{ MPa}$

Alors

$$\begin{aligned} \Rightarrow \frac{\frac{63\,847}{A'_{net}}}{16} \leq 1 & \langle \Rightarrow \rangle A_{het} \geq \frac{63\,847}{16} \\ & \langle \Rightarrow \rangle A_{het} \geq 3\,990\text{ mm}^2 \\ & \langle \Rightarrow \rangle A_{het} \geq 40\text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Avec une section de  $40\text{ cm}^2$ , soit une section  $b = h$  de  $(7 \times 7)\text{ cm}^2$ .

#### ➤ Vérification

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_u}{A'_{net}} = \frac{63\,847\text{ N}}{4\,900\text{ mm}^2} = 13,03\text{ MPa} \approx 13\text{ MPa}$$

$$\Rightarrow \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} * k_c \leq 1$$

$$\Rightarrow \frac{13}{16} * 1 \leq 1 \Rightarrow 0,814 \leq 1, \text{ Soit le taux de travail est de } 82\%$$

### 3.4.5.3 Calcul de fiche et contre-fiche

Pour la vérification des sections, l'effort maximal en compression sera pris soit sur la contre-fiche, soit sur la fiche, selon le cas le plus défavorable.

#### 3.4.5.3.1 Pour la ferme monopente

Comme illustré dans la figure de la configuration géométrique de la ferme monopente, et selon les indications du tableau 9-3, les barres N7, N3, N11 et N15 constituent les fiches, tandis que N5, N9 et N15 forment les contre-fiches.

$$N_{u_{Tmax}} = 11\,367\text{ N et } N_{u_{Cmax}} = 27\,862\text{ N}$$

### 3.4.5.3.1.1 Vérification de section avec l'effort de traction

$$N_{uTmax} = 11\,367\text{ N}$$

Avec :  $\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$  et :

- $\sigma_{t,0,d} = \frac{N_u}{A_{net}} = \frac{63\,246\text{ N}}{A_{net}}$
- $f_{t,0,d} \approx 15\text{ MPa}$
- $f_{t,0,k} = 24\text{ MPa}$

Alors :

$$\begin{aligned} \Rightarrow \frac{11\,367}{\frac{A_{net}}{15}} &\leq 1 \quad (\Rightarrow) \quad A_{het} \geq \frac{11\,367}{15} \\ &(\Rightarrow) \quad A_{het} \geq 757,8\text{ mm}^2 \\ &(\Rightarrow) \quad A_{het} \geq 8\text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Avec une section de  $8\text{ cm}^2$ , soit une section  $b = h$  de  $3 \times 3\text{ cm}^2$ .

#### ➤ Vérification

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_u}{A_{net}} = \frac{11\,376\text{ N}}{900\text{ mm}^2} = 12,63\text{ MPa} \approx 13\text{ MPa}$$

$$\Rightarrow \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

$$\Rightarrow \frac{13}{15} \leq 1$$

$\Rightarrow 0,87 \leq 1$ , Soit un taux de travail est de **87%**

### 3.4.5.3.1.2 Vérification de section avec l'effort de compression

$$N_{uCmax} = 27\,862\text{ N}$$

Avec :  $\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} * k_c \leq 1$  et

- $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_u}{A'_{net}} = \frac{27\,862\text{ N}}{A'_{net}}$
- $f_{c,0,d} = 16\text{ MPa}$  (Calculé précédemment)
- $f_{c,0,k} = 26\text{ MPa}$

Alors

$$\Rightarrow \frac{27\,862}{A_{net}} \leq 1 \quad \langle \Rightarrow \rangle \quad A_{het} \geq \frac{27\,862}{16}$$

$$\langle \Rightarrow \rangle \quad A_{het} \geq 1742 \text{ mm}^2$$

$$\langle \Rightarrow \rangle \quad A_{het} \geq 18 \text{ cm}^2$$

Avec une section de  $18 \text{ cm}^2$ , soit une section  $b = h$  de  $(5 \times 5) \text{ cm}^2$ .

#### ➤ Vérification

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_u}{A'_{net}} = \frac{27\,862 \text{ N}}{25\,00 \text{ mm}^2} = 11,15 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} * k_c \leq 1$$

$$\Rightarrow \frac{11,15}{16} * 1 \leq 1 \Rightarrow \mathbf{0,696} \leq 1, \text{ Soit un taux de travail est de } \mathbf{70\%}$$

#### 3.4.5.3.2 Pour la ferme à double pente

Comme illustré dans la figure de la configuration géométrique de la ferme à double versant, et selon les indications du tableau 10-3, les barres N3, N7, N11, N15, N19, N23 et N27 constituent les fiches, tandis que N5, N9, N13, N17, N21 et N25 forment les contre-fiches.

$$N_{u_{Tmax}} = 25\,046 \text{ N} \text{ et } N_{u_{Cmax}} = 28\,064 \text{ N}$$

##### 3.4.5.3.2.1 Vérification de section avec l'effort de traction

$$N_{u_{Tmax}} = 25\,046 \text{ N}$$

$$\text{Avec : } \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

- $\sigma_{t,0,d} = \frac{N_u}{A_{net}} = \frac{25\,046 \text{ N}}{A_{net}}$
- $f_{t,0,d} = 14,76 \approx 15 \text{ MPa}$  (Calculé précédemment)
- $f_{t,0,k} = 24 \text{ MPa}$

Alors

$$\Rightarrow \frac{25\,046}{A_{net}} \leq 1 \quad \langle \Rightarrow \rangle \quad A_{het} \geq \frac{25\,046}{15}$$

$$\langle \Rightarrow \rangle \quad A_{het} \geq 1\,670 \text{ mm}^2$$

$$\langle \Rightarrow \rangle A_{het} \geq 17 \text{ cm}^2$$

Avec une section de  $17 \text{ cm}^2$ , soit une section  $b = h$  de  $5 \times 5 \text{ cm}^2$ .

➤ **Vérification**

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_u}{A_{net}} = \frac{25\,046 \text{ N}}{2\,500 \text{ mm}^2} = 10,0184 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

$$\Rightarrow \frac{10,0184}{15} \leq 1 \Rightarrow \mathbf{0,667} \leq \mathbf{1}, \text{ Soit un taux de travail est de } \mathbf{67\%}$$

### 3.4.5.3.2.2 Vérification de section avec l'effort de compression

$$N_{u_{cmax}} = 28\,064 \text{ N}$$

Avec :  $\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} * k_c \leq 1$  et :

- $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_u}{A'_{net}} = \frac{63\,847 \text{ N}}{A'_{net}}$
- $f_{c,0,d} = 16 \text{ MPa}$  (Calculé précédemment)
- $f_{c,0,k} = 26 \text{ MPa}$

Alors :

$$\begin{aligned} \Rightarrow \frac{28\,064}{A_{net}} \leq 1 \quad \langle \Rightarrow \rangle A_{het} &\geq \frac{28\,064}{16} \\ \langle \Rightarrow \rangle A_{het} &\geq 1\,754 \text{ mm}^2 \\ \langle \Rightarrow \rangle A_{het} &\geq 18 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Avec une section de  $18 \text{ cm}^2$ , soit une section  $b = h$  de  $(5 \times 5) \text{ cm}^2$ .

➤ **Vérification**

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_u}{A'_{net}} = \frac{28\,064 \text{ N}}{2\,500 \text{ mm}^2} = 11,02256 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} * k_c \leq 1$$

$$\Rightarrow \frac{11,2256}{16} * 1 \leq 1 \Rightarrow \mathbf{0,701} \leq \mathbf{1}, \text{ Soit un taux de travail est de } \mathbf{70\%}.$$

Par mesure de sécurité et pour garantir une meilleure résistance mécanique, il a été décidé d'opter pour une section de  $10 \times 10 \text{ cm}$  pour les arbalétriers et entrants, bien que  $8 \times 8 \text{ cm}$  aurait suffi selon les vérifications. Pour les fiches et contre-fiches, une section de  $5 \times 5 \text{ cm}$  a été jugée adéquate au vu des efforts appliqués. Ce choix reste ouvert à adaptation selon les contraintes d'exécution.

### 3.5 Calcul sommaire de pièce d'assemblage

Après la vérification des sections, l'étape suivante porte sur le choix et le dimensionnement de l'assemblage, essentiel à la transmission des efforts entre les barres. Dans cette étude, l'assemblage par boulonnage a été retenu pour sa fiabilité en structure bois. Le nœud analysé est celui qui reçoit les barres N13, N14, N15, N17 et N18, représentant une jonction soumise à de fortes sollicitations. La barre N14, très sollicitée en traction, impose un contrôle rigoureux de la résistance au cisaillement et au glissement des boulons.

#### 3.5.1 Détermination du diamètre des boulons

Dans le cadre de ce projet de charpente, le choix s'est porté sur l'acier de type E24 pour l'assemblage, en raison de ses performances mécaniques satisfaisantes, notamment une limite élastique de 240 MPa [10].

L'effort le plus défavorable dans l'assemblage est celui transmis par la barre N14, fortement sollicitée en traction, ce qui en fait l'élément de référence pour le dimensionnement des boulons.

D'après les formules données dans le précédent chapitre, nous savons que :

- $F^* = N * \gamma_{bois} \langle \Rightarrow \rangle F^* = 37\,362 \text{ N} \times 1,3 = 48\,570,6 \text{ N}$
- $\delta_r = \frac{\delta_i}{\gamma_{acier}} \quad \langle \Rightarrow \rangle \delta_r = \frac{240}{1,15} = 208,7 \text{ MPa}$

Alors

$$\tau = \frac{F^*}{\frac{n * \pi * \phi^2}{4}} \leq \delta_r$$

$$\Rightarrow \frac{48\,570,6 \text{ N}}{\frac{4 * 3,14 * \phi^2}{4}} \leq 208,7 \text{ MPa} \langle \Rightarrow \rangle \phi \geq 8,60 \text{ mm}$$

$$\langle \Rightarrow \rangle \phi \geq 9 \text{ mm}$$

Pour assurer une marge de sécurité et faciliter la mise en œuvre, un diamètre standard de **10 mm pour les boulons** a été retenu, arrondi à la valeur supérieure proche du résultat calculé de 8,6 mm.

### 3.6 Conclusion

Ce troisième chapitre marque une étape décisive dans le travail de conception de la charpente en bois. En effet, il a permis de traduire les principes théoriques des chapitres précédents en une application concrète à travers des calculs précis et structurés. En présentant la configuration géométrique des fermes, le choix des matériaux (bois massif D40 pour les éléments principaux, lamellé-collé GL28h pour les pannes), et les hypothèses de travail, le chapitre a démontré une démarche rigoureuse et adaptée au contexte local (ville d'Uvira).

Les efforts internes ont été déterminés avec méthode, et les sections de chaque composant ; pannes, fermes, poteaux ont été dimensionnées conformément aux sollicitations spécifiques comme les charges permanentes, l'effet du vent et les réalités climatiques. De plus, les assemblages ont été étudiés de manière sommaire mais pertinente, avec un choix judicieux des boulons de 10 mm et une attention à la résistance des nœuds les plus sollicités.

Les résultats respectent les exigences de l'Eurocode 5 et montrent une structure fiable, fonctionnelle et économiquement réalisable. La structure obtenue est non seulement stable et résistante, mais aussi adaptée à l'environnement technique et économique de la région, ce qui confirme que l'objectif du chapitre ; prouver la validité des choix techniques est atteint. Ce chapitre offre donc une synthèse concrète du processus de conception, de la modélisation jusqu'à la justification finale des sections, en s'assurant que chaque composant joue efficacement son rôle dans l'équilibre global de la charpente.

Tableau 3-4 : *Les dimensions définitives retenus pour le projet*

ELEMENTS	DIMENSIONS
PANNES	<i>13 × 13 cm</i>
ARBALETRIERS	<i>10 × 10 cm</i>
ENTRAITS	<i>10 × 10 cm</i>
FICHES & CONTRE-FICHES	<i>5 × 5 cm</i>
BOULONS	<i>10 mm de diamètre</i>

## CONCLUSION GENERALE

Ce mémoire a traité de l'étude et du dimensionnement d'une charpente en bois destinée à une salle de spectacle située à Uvira, en République Démocratique du Congo. L'objectif principal était de concevoir une structure stable, résistante, durable, et adaptée aux réalités climatiques, économiques et techniques du milieu local. Ce travail a permis de démontrer, à travers une démarche scientifique rigoureuse, que le bois, matériau à la fois traditionnel et moderne, constitue une solution pertinente pour des ouvrages publics, surtout lorsqu'il est valorisé localement.

La première partie a posé les bases théoriques, en explorant les propriétés physiques, mécaniques et technologiques du bois. Elle a mis en évidence les avantages structurels du bois, son comportement face aux agents de dégradation, ainsi que les différentes typologies de charpentes. Cette exploration a fourni un socle solide pour comprendre les contraintes et potentialités du matériau dans le contexte congolais.

La deuxième partie a été consacrée aux principes de conception et aux règles de dimensionnement selon l'Eurocode 5. Elle a structuré les méthodes d'analyse des charges (actions permanentes et variables), les vérifications aux états limites (ELU et ELS), et les exigences normatives permettant d'assurer la sécurité et la performance des éléments en bois. Ces normes européennes ont été adaptées au contexte local, ce qui souligne l'effort d'intégration méthodologique.

La troisième partie a transformé la théorie en pratique, en dimensionnant chaque élément de la charpente : pannes, fermes, poteaux, et assemblages. Les calculs ont été exécutés avec précision, en respectant les hypothèses de charge réelles (vent, poids propre, surcharge) et les conditions locales (absence de neige, humidité de l'air). Les sections obtenues (ex. : pannes 13×13 cm, arbalétriers 10×10 cm) montrent que la structure proposée est fiable, fonctionnelle et conforme aux normes. Les assemblages par boulons ont été vérifiés, garantissant une transmission correcte des efforts.

En définitive, ce mémoire démontre que la construction en bois, lorsqu'elle est bien pensée, calculée et protégée, peut répondre pleinement aux exigences d'ouvrages modernes. Il apporte une contribution significative à la promotion du bois dans le bâtiment, tout en proposant une méthodologie claire et reproductible. Ce travail peut servir de référence pour d'autres projets similaires, notamment dans des zones où le bois est disponible mais sous-exploité. Il témoigne également d'un engagement envers une construction durable, économique et respectueuse des ressources locales.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] R. Culture de Communication, « OUVRAGES DE CHARPENTE EN BOIS,» Sous-direction des monuments historiques, FEVRIER 2002.
- [2] A. E. D. Ceukelaire, «Manuel modulaire bois,» Fonds de Formation professionnelle de , Bruxelles, 2013.
- [3] «H Y G R O B A, Etude de la réhabilitation hygrothermique des parois anciennes,» Cahier n°3 : Murs en pan de bois et torchis, 2013.
- [4] CAUE, «LES PLANCHIERS BOIS,» Hotel du Departement, Paris .
- [5] P. d. F. B. F. Michel DRUILHE, « Le Bois dans la construction,» France Bois Forêt, 120 avenue Ledru-Rollin, septembre 2020.
- [6] A. B. Ursula Bouteveille, «Traité de Charpente et couverture,» Le Moniteur, 2020-06-17.
- [7] P. I. Cherif, CONstruction en bois L3, Goma, 2024.
- [8] G. d. Quebec, «Bois et ses dérivées».
- [9] G. KASHALA, «Dimensionnement d'une passerelle piétonne en Bois a implanter sur la nationale n2 au niveau du marché alanine à Goma,» TFC/FSTA /Génie Civil , GOMA, 2017-2018.
- [10] O.GAGLIARDINI, «CONSTRUCTION BOIS SELON L'EUROCODE 5,» UNIVERSITE GRENOBLE ALPES, 2020-2021.
- [11] O.GAGLIARDINE, «Construction en bois selon l'EURODE 5,» L3 Génie Civil et UJFGrenoble I , France, 2014/15.
- [12] B. L. V. T. Yves Benoit, « CALCULS DES STRUCTURES EN BOIS,Guide d'application,» AFNOR, EYROLLES. .
- [13] M. Franklin, «Amenagement d'une couverture d'un site commercial pour une charpente en bois,» ULPGL, Goma, 2020-2021.
- [14] B. Shérif, «COURS DE RESISTANCE DES MATERIAUX,» ULPGL, Goma, 2019.
- [15] «Treillis,» DocExercices, ?.

- [16] C. Lackner, «BOIS LAMELLÉ-COLLÉ,» Binderholz GmbH, Jenbach(Autriche), 2024.
- [17] M. Brico, «Toiture et comble,» Constructeur travaux.
- [18] «Guide technique sur la conception de poutres et colonnes en gros,» cecobois, Québec, 2015.
- [19] JUnit.org. [En ligne]. Available: <http://www.junit.org>. [Accès le 2 Janvier 2019].
- [20] A. K.D, «Conception et dimensionnement d'un hangar automobile en bois pour un centre commercial dans la ville de Goma,» TFC/FSTA/Génie Civil , Goma, 2012-2013.

## ANNEXES

### ANNEXE 1 : Perspective de la salle de spectacle



**ANNEXE 2 : Perspective de notre charpente**



### ANNEXE 3 : Valeurs caractéristiques des bois massifs feuillus

Symbole	Désignation	Unité	D30	D35	D40	D50	D60	D70
$f_{m,k}$	Contrainte de flexion	N/mm <sup>2</sup>	30	35	40	50	60	70
$f_{t,0,k}$	Contrainte de traction axiale	N/mm <sup>2</sup>	18	21	24	30	36	42
$f_{t,90,k}$	Contrainte de traction perpendiculaire	N/mm <sup>2</sup>	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$f_{c,0,k}$	Contrainte de compression axiale	N/mm <sup>2</sup>	23	25	26	29	32	34
$f_{c,90,k}$	Contrainte de compression perpendiculaire	N/mm <sup>2</sup>	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
$f_{v,k}$	Contrainte de cisaillement	N/mm <sup>2</sup>	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
$E_{0,mean}$	Module moyen axial	kN/mm <sup>2</sup>	10	10	11	14	17	20
$E_{0,05}$	Module axial au 5 <sup>e</sup> pourcentile	kN/mm <sup>2</sup>	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
$E_{90,mean}$	Module moyen transversal	kN/mm <sup>2</sup>	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
$G_{mean}$	Module de cisaillement	kN/mm <sup>2</sup>	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
$\rho_k$	Masse volumique caractéristique	kg/m <sup>3</sup>	530	560	590	650	700	900
$\rho_{mean}$	Masse volumique moyenne	kg/m <sup>3</sup>	640	670	700	780	840	1080

### ANNEXE 4: Valeurs caractéristiques des bois lamellés

Symbole	Désignation	Unité	Lamellés-collés homogènes				Lamellés-collés panachés			
			GL24h	GL28h	GL32h	GL36h	GL24c	GL28c	GL32c	GL36c
$f_{m,g,k}$	Contrainte de flexion	N/mm <sup>2</sup>	24	28	32	36	24	28	32	36
$f_{t,0,g,k}$	Contrainte de traction axiale	N/mm <sup>2</sup>	16,5	19,5	22,5	26,0	14,0	16,5	19,5	22,5
$f_{t,90,g,k}$	Contrainte de traction perpendiculaire	N/mm <sup>2</sup>	0,40	0,45	0,50	0,60	0,35	0,40	0,45	0,50
$f_{c,0,g,k}$	Contrainte de compression axiale	N/mm <sup>2</sup>	24	26,5	29	31	21	24	26,5	29
$f_{c,90,g,k}$	Contrainte de compression perpendiculaire	N/mm <sup>2</sup>	2,7	3,0	3,3	3,6	2,4	2,7	3,0	3,3
$f_{v,g,k}$	Contrainte de cisaillement	N/mm <sup>2</sup>	2,7	3,2	3,8	4,3	2,2	2,7	3,2	3,8
$E_{0,g,mean}$	Module moyen axial	kN/mm <sup>2</sup>	11,6	12,6	13,7	14,7	11,6	12,6	13,7	14,7
$E_{0,g,05}$	Module axial au 5 <sup>e</sup> pourcentile	kN/mm <sup>2</sup>	9,4	10,2	11,1	11,9	9,4	10,2	11,1	11,9
$E_{90,g,mean}$	Module moyen transversal	kN/mm <sup>2</sup>	0,39	0,42	0,46	0,49	0,32	0,39	0,42	0,46
$G_{g,mean}$	Module de cisaillement	kN/mm <sup>2</sup>	0,75	0,78	0,85	0,91	0,59	0,72	0,78	0,85
$\rho_{g,k}$	Masse volumique caractéristique	kg/m <sup>3</sup>	380	410	430	450	350	380	410	430

**ANNEXE 5 : Valeurs de  $k_{mod}$  du bois massif, du lamellé-collé, du Lamibois et du contreplaqué**

Durée de chargement		Classe de service		
Classe de durée	Exemple	1 Hbois < 13 % (local chauffé)	2 13 % < Hbois < 20 % (sous abri)	3 Hbois > 20 % (extérieur)
Permanente (> 10 ans)	Charge de structure	0,6	0,6	0,5
Long terme (6 mois à 10 ans)	Stockage	0,7	0,7	0,55
Moyen terme (1 semaine à 6 mois)	Charges d'exploitation Neige Altitude > 1 000 m	0,8	0,8	0,65
Court terme (< 1 semaine)	Neige Altitude < 1 000 m	0,9	0,9	0,7
Instantanée	Vent, neige exceptionnelle	1,1	1,1	0,9

**ANNEXE 5 : Valeur de  $\gamma_M$  en fonction de la dispersion du matériau**

États limites ultimes		
Combinaisons fondamentales		
Matériaux	Bois	1,3
	Lamellé-collé	1,25
	Lamibois (LVL), OSB	1,2
Assemblages (p. 171)		1,3
Combinaisons accidentelles		1,0
États limites de service		1,0