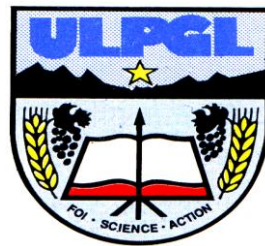


UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS
ULPGL/GOMA



BP. 368 GOMA

www.ulpgl.net

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
APPLIQUEES

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT
D'UN HANGAR EN BOIS : CAS DE LA
PLANTATION DU RIZ A KIWANJA

Travail de fin de cycle présenté en vue de l'obtention du
Diplôme de Graduat en science Appliquées.

Présenté par : SIFA MUSUBAO Esther

Directeur : Master. Ir. Germaine BASHIGE

Encadreur : Ir BADESIRE Paterne

Année académique 2021-2022

EPIGRAPHE

« A force de démolir, on finit par apprendre à construire »

Laurent Barré

DÉDICACES

A

*Tous ceux qui, avec l'aide de Dieu
Luttent jour et nuit
Pour révéler au monde
La meilleure version de leur personne.*

SIFA MUSUBAO Esther.

REMERCIEMENTS

Notre gratitude s'adresse principalement ;

À Dieu pour le souffle de vie, la force, le courage et l'intelligence qu'il ne cesse de nous accorder.

Au Master Ir Germaine BASHIGE pour la direction de ce travail et à l'ingénieur BADESIRE Paterne pour l'encadrement indéfectible au cours de la rédaction de ce présent travail.

Aux autorités académiques et scientifiques de l'ULPGL, particulièrement celles de la faculté des sciences et Technologies Appliquées pour la formation de qualité tout le long de ce premier cycle.

A nos parents, frères et sœurs pour leur soutien et amour inconditionnel.

Nous exprimons nos sincères remerciements également à tous nos amis, camarades de promotion, ainsi qu'à toute personne qui de près ou de loin, de par leurs conseils, ont contribué à notre formation en tant que futur ingénieur.

SIFA MUSUBAO Esther

SIGLES, ABRÉVIATIONS ET NOTATIONS

A	:	Aire chargée
A_o	:	Aire de référence
CECO bois	:	Le Centre d'expertise sur la Construction commerciale en bois au Canada
C_r	:	Coefficient de paroi
EC5	:	EUROCODE5
ELS	:	État Limite de Service
ELU	:	État Limite Ultime
f_{limite}	:	Flèche limite max
H	:	La hauteur
I	:	Moment d'inertie
L	:	La longueur
m_s	:	Masse du même échantillon après séchage
m_w	:	Masse d'un échantillon dans l'état à quantifier
P_c	:	Charge dus au point des clous
P_e	:	Poids de l'ouvrier d'entretien
P_{lat}	:	Charge due au poids du matériau
P_{mt}	:	Poids de matériels d'entretien
P_{tot}	:	Charge du point des tôles
Q	:	Effet de cite
q_h	:	Effet de hauteur
H_A	:	Réaction verticale au point A
H_B	:	Réaction verticale au point B
RDC	:	République démocratique du Congo
ULPGL	:	Université des Pays Libre des Grands Lacs
$^{\circ}C$:	Degré Celsius
λ	:	Elancement
σ_{adm}	:	Contrainte admissible
P	:	Charge permanente
$f_{t,0,k}$, $f_{c,0,k}$:	Contrainte de traction axiale et de compression axiale
N	:	Effort pondéré
I, M_{max}	:	Le moment d'encastrement, Moment maximale

RESUME

Ce travail porte sur la conception et le dimensionnement d'un hangar de stockage en bois appliqué à une plantation de riz à KIWANJA en chefferie de Bwicha, territoire de Rutshuru dans la province du Nord Kivu en RDC. Pour ce faire, ce travail traite dans un premier temps de la conception architecturale pour enfin dégager les différents plans architecturaux de l'ouvrage en bois, en second lieu de la méthode de dimensionnement des principaux éléments de la structure entre autre les éléments de la ferme, les poteaux (colonnes) et la fondation par la vérification aux états limites ultimes. Après calcul et vérification, nous avons adopté les dimensions suivantes, les pannes ont la même section de $60 \times 60 \text{mm}^2$, les arbalétriers ont une section de $200 \times 200 \text{mm}^2$, les montants $150 \times 150 \text{mm}^2$, les diagonales $250 \times 250 \text{mm}^2$ et enfin les entrails $200 \times 200 \text{mm}^2$. Tous les poteaux supportant la charpente ont la même section de $200 \times 200 \text{mm}^2$. Les boulons utilisés pour les assemblages ont pour section de 45mm.

Les différentes sections vérifient les conditions de résistance aux états limites ultimes tout cela en utilisant l'Eurocode 5(NF EN 1995) pour la conception et le dimensionnement de la structure bois et la norme NV 65 pour l'étude du vent.

Mots clés : Conception, Dimensionnement, Bois et Hangar.

ABSTRACT

This work deals with the design and dimensioning of a wooden storage shed applied to a rice plantation in KIWANJA in the Bwicha chiefdom, Rutshuru territory in the province of North Kivu in the DRC. To do this, this work deals firstly with the architectural design to finally identify the different architectural plans of the wooden structure, secondly the method of dimensioning of the main elements of the structure including the elements of the truss, the columns and the foundation by the verification of the ultimate limit states. After calculation and verification, we adopted the following dimensions, the purlins have the same section of 60x60mm², the crossbeams have a section of 200 x 200mm², the uprights 150 x 150mm², the diagonals 250 x 250 mm² and finally the entrails 200 x 200mm². All the posts supporting the frame have the same section of 200 x 200mm². The bolts used for the connections have a section of 45mm.

The different sections check the resistance conditions at the ultimate limit states using the Eurocode 5 (NF EN 1995) for the design and dimensioning of the wood structure and the NV 65 standard for the wind study.

Key words: Design, Dimensioning, Wood and Hangar.

SOMMAIRE

SIGLES, ABRÉVIATIONS ET NOTATIONS	iv
RESUME	v
ABSTRACT	vi
SOMMAIRE	vii
LISTE DES FIGURES	xi
LISTE DES TABLEAUX	xii
LES ANNEXES	xiii
INTRODUCTION GENERALE	1
<i>Chapitre 1. GENERALITES SUR LE MATERIAUX BOIS</i>	3
1.1 INTRODUCTION	3
1.2 DEFINITION	3
1.3 COMPOSITION DU BOIS	3
1.4 PROPRIÉTÉS PRINCIPALES DU BOIS	4
1.4.1 Du point de vue structure anatomique	4
1.4.2 Propriétés physiques	5
1.4.3 Propriétés Thermiques du bois	6
1.4.4 Propriétés acoustiques	7
1.5 TYPOLOGIE DU BOIS	8
1.5.1 Bois scié	9
1.5.2 Bois rond	9
1.5.3 Bois Lamellé Collé	10
1.5.4 Bois Lamellé Multi-Collé	10
1.6 DOMAINE D'UTILISATION DU BOIS	10
1.6.1 Les utilisations domestiques du bois	11
a. Les ponts routiers.	11
b. Les passerelles	12
c. Les écrans (les murs antibruit).	12

d. Les glissières de sécurité.	13
e. Pylônes et poteaux	13
f. Autres ouvrages	14
1.7 PRESERVATION ET DURABILITE DU BOIS	16
1.7.1 Dégradation	16
1.7.2 Durabilité naturelle des essences	17
1.7.3 Prévention des dégradations	17
1.8 L'ATOUTS DE L'UTILISATION DU MATÉRIAU BOIS DANS LA CONSTRUCTION	18
1.8.1 La rapidité d'exécution	19
1.8.2 La construction à sec	19
1.8.3 Le respect des délais	19
1.8.4 L'architecture sur mesure	19
1.8.5 La facilité d'adaptation	19
1.8.6 La légèreté	20
1.8.7 Le confort et le bien-être	20
1.9 CONCLUSION PARTIELLE	20
Chapitre 2. METHODES ET TECHNIQUES DE TRAVAIL	21
2.1 INTRODUCTION	21
2.2 HYPOTHESES DE CALCUL	21
2.3 ETUDE AU VENT	21
2.3.1 La pression de calcul du vent [10]	21
2.3.2 La pression dynamique de base q_{10}	22
2.3.3 La pression dynamique du vent q_h	23
2.3.4 Coefficient de masque K_m	23
2.3.5 Coefficient de réduction de la pression	23
2.3.6 Coefficient résultant C_r	23
2.3.7 Actions résultantes	25
2.3.8 Recherche des pressions dynamiques [10]	26
2.4 DIMENSION DES ELEMENTS	26
2.4.1 Calcul de la panne	26

2.4.2	Calcul de la ferme	30
2.5	POTEAUX	33
2.5.1	Introduction	33
2.5.2	Hypothèses	33
2.5.3	Calcul de section du poteau en bois	33
2.6	ASSEMBLAGE DES ELEMENTS	35
2.6.1	Généralités	35
2.6.2	Calculs sur les assemblages	36
2.7	LA FONDATION	36
2.7.1	Introduction	36
2.7.2	Calcul de la taille de la fondation	37
2.7.3	Calcul de l'épaisseur des fondations	38
2.8	CONCLUSION PARTIELLE	39
Chapitre 3. DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE		40
3.1	INTRODUCTION	40
3.2	PRESENTATION STRUCTURALE DU HANGAR	40
3.3	ETUDE AU VENT	42
3.3.1	La pression du vent	42
3.3.2	Le coefficient résultant C_r	43
3.3.3	Actions résultantes	44
3.3.4	Recherche des pressions dynamiques	44
3.4	DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS	45
3.4.1	Calcul de la panne	45
3.4.2	Calcul de la ferme	48
3.5	DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS DE LA FERME	52
3.6	LES POTEAUX	54
3.6.1	Hypothèses	54
3.6.2	Calcul de section du poteau en bois	54
3.7	ASSEMBLAGES DES ELEMENTS	55
A.	Calculs sur les assemblages	55

3.8	LA FONDATION	56
3.8.1	Détermination de l'épaisseur de la fondation	57
3.8.2	Détermination de la hauteur de la fondation	57
3.9	CONCLUSION PARTIELLE	57
3.10	CONCLUSION GÉNÉRALE	59
<i>BIBLIOGRAPHIE</i>		60
<i>ANNEXES</i>		61

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1-1 Photo illustrant un pont routier</i>	<i>11</i>
<i>Figure 1-2: Photo illustrant une passerelle</i>	<i>12</i>
<i>Figure 1-3: Image illustrant un écran.....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 1-4:Image illustrant une glissière de sécurité</i>	<i>13</i>
<i>Figure 1-5: Image illustrant un pylône à gauche et poteau à droite</i>	<i>14</i>
<i>Figure 1-6 : Ouvrages divers en bois successivement de gauche à droite un soutien de terre, une estacade et ponton et candélabres</i>	<i>15</i>
<i>Figure 1-7 Platelage et cheminements</i>	<i>16</i>
<i>Figure 2-3 Photo illustrant un assemblage par boulon</i>	<i>36</i>
<i>Figure 2-4 Photo illustrant une semelle de fondation</i>	<i>38</i>
<i>Figure 3-1 Façade droite du hangar.....</i>	<i>41</i>
<i>Figure 3-2 Vue en plan.....</i>	<i>41</i>
<i>Figure 3-3 Illustrant la ferme du hangar</i>	<i>42</i>

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 2-1 : Les valeurs de q_{10} pour la RDC [10]</i>	<u>22</u>
<i>Tableau 2-2 Coefficient de site K_s pour la RDC</i>	<u>22</u>
<i>Tableau 2-3: Coefficient de réduction des différents éléments [10]</i>	<u>23</u>
<i>Tableau 2-4: Coefficient de pression moyen C_e [10]</i>	<u>24</u>
<i>Tableau 2-5: Tableau récapitulatif de la classification du bois résineux [12]</i>	<u>27</u>
<i>Tableau 2-6. Tableau récapitulatif des sollicitations des barres [3]</i>	<u>31</u>
<i>Tableau 3-1: Tableau récapitulatif des efforts et sollicitations dans les barres</i>	<u>52</u>
<i>Tableau 3-2: Tableau récapitulatif des efforts considérés</i>	<u>56</u>
<i>Tableau 3-3 Tableau récapitulatif des dimensions des éléments du hangar</i>	<u>58</u>

LES ANNEXES

<i>Annexe 1: Les différentes façades (successivement la façade principale, arrière, gauche et droite)</i>	
.....	62
<i>Annexe 2: Les différentes coupes</i>	64
<i>Annexe 3: Le plan structural</i>	64

INTRODUCTION GENERALE

Un hangar étant un bâtiment souvent réduit à une couverture et servant à abriter des véhicules, des aéronefs, stocker des récoltes, les fourrages, des matériaux. En générale il sert à ranger du matériel, des marchandises, etc. C'est aussi un espace de travail abrité (pour abriter des personnes, des animaux lorsqu'ils se reposent par exemple, etc.) [1].

Un bâtiment agricole peut être conçu sous forme de hangar tout en tenant compte de toutes les contraintes afin d'offrir un confort aux animaux, un espace optimisé pour le stockage et un confort de travail à l'agriculteur ; simplifier le passage des engins et la mise en place de nouveaux matériels et enfin être adaptée aux besoins d'évolution de l'exploitation etc. [2].

La plantation de KIWANJA se trouvant dans la chefferie de Bwicha, à Rutshuru, territoire de Nord-Kivu, province de la RDC vaste de plusieurs hectares ne dispose malheureusement d'aucun bâtiment de stockage des récoltes ni d'un espace de travail pour le tri ou le séchage des denrées produits. Et pourtant le territoire dispose des ressources nécessaires afin de proposer un bâtiment agricole pour mettre en sécurité les récoltes de ses habitants.

La question est de savoir quel serait le type de bâtiment adéquat qui pourrait contenir la capacité des récoltes et qui répondrait aux exigences de sécurité et de confort ?

Dans le but de répondre à la question posée dans la problématique, nous avons postulé l'hypothèse selon laquelle, construire un hangar à ossature en bois qui servirait d'un dépôt de stockage pour un petit nombre des cultivateurs contribuerait à la résolution du problème auquel font face les habitants de RUTSHURU.

L'objectif de ce travail est donc de concevoir et dimensionner un hangar en bois. Cela nous permettra aussi d'approfondir nos connaissances dans le dimensionnement des structures en bois.

Pour atteindre à l'objectif principal fixé il sera nécessaire de dimensionner la ferme et les poteaux suivant certaines méthodes dont :

- La méthode analytique ; portant sur l'analyse du projet lui-même
- La méthode structurale ; correspondant à un modèle de conception de calcul
- La méthode systématique ; qui se rapporte à un système ; qui est l'ensemble des mécanismes afin d'aboutir à un résultat.

Nos calculs se feront manuellement par la méthode aux états limites. La conception de l'ouvrage s'est faite en utilisant le logiciel Archicad.

L'intérêt de ce travail est d'apporter une solution au problème des stockage des récoltes dans la plantation de riz à Kiwanja en territoire de RUTSHURU.

En plus de l'introduction et la conclusion générale, ce travail est subdivisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre traite les généralités du matériau bois,
- Le deuxième chapitre aborde la méthodologie du travail et
- Le troisième chapitre est consacré au dimensionnement de la structure.

Chapitre 1. GENERALITES SUR LE MATERIAUX BOIS

1.1 INTRODUCTION

Ce chapitre présente la constitution du bois, nous parlons aussi des caractéristiques du bois ; les types des bois plus particulièrement de basant sur l'origine végétale, les méthodes du tirage, la mise en œuvre ; son domaine d'utilisation du bois, suivis des pathologies et prévention ; pour terminer par le choix en atout du matériau bois tout en présentant une conclusion partielle du chapitre.

1.2 DEFINITION

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 bois est un matériau « vivant », ou mieux le bois est le matériau d'un organisme vivant « la plante ». Connaître le mode de vie de la plante permet de découvrir certaines de propriétés du bois [2].

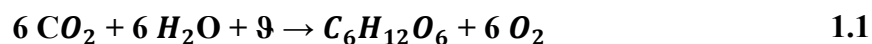
1.3 COMPOSITION DU BOIS [2]

Le bois est une matière organique : parmi ses principaux constituants organiques nous pouvons citer [2] :

- La cellulose (50%)
- La lignite (20%)

Chimiquement le bois se compose presque toujours de 50% de carbone, 42% d'oxygène, 6% d'hydrogène, 1% d'azote et 1% d'éléments divers.

La photosynthèse du bois se réalise au niveau des feuilles des végétaux selon l'équation 1.1



Dans cette relation, nous avons :

6CO_2 : Carbone gazeux; $6 \text{H}_2\text{O}$: Energie de l'eau; $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$: Carbone organique O_2 : Oxygène et \mathfrak{S} : Energie de la lumière.

En partant du cœur vers l'extérieur du tronc, on rencontre successivement les parties suivantes [2] :

- La moelle, ou bois juvénile, partie de faible diamètre plus colorée avec milieu vide ou rempli d'un tissu spongieux ;
- Le bois parfait, formé de cellules vieilles et qui forme le bois d'œuvre par excellence. On l'appelle aussi duramen lorsqu'on peut le distinguer visuellement de l'aubier (comme dans le chêne, le châtaignier, le pin sylvestre et le pin maritime, ce n'est pas le cas pour les sapins et les épicéas). Les chemins de circulation de la sève sont bouchés par des sels minéraux et métalliques, les tanins, qui confèrent à cette partie une certaine résistance aux insectes à larves xylophages ;
- L'aubier, bois plus jeune dans lequel remonte la sève (donc impropre à la plupart des utilisations) dont une couche se transforme chaque année en bois parfait ;
- Le cambium, couche de bois en phase de transformation, l'aubier vers l'intérieur et le liber vers l'extérieur ;
- Le liber, couche très poreuse dans laquelle redescend la sève élaborée et qui est la base de l'écorce ;
- Et l'écorce.

1.4 PROPRIÉTÉS PRINCIPALES DU BOIS [2]

1.4.1 Du point de vue structure anatomique

La structure anatomique particulière confère au bois trois propriétés fondamentales, qui se retrouvent plus ou moins fortement dans toutes les essences:

- **L'hétérogénéité** : Du fait que la composition des cellules n'est pas uniforme, les propriétés physiques du bois ne sont pas distribuées spatialement de façon homogène. On dit alors que le bois est un matériau aux propriétés hétérogènes. Il existe un effet d'échelle : plus une pièce de bois est grande, plus la probabilité d'avoir des défauts est forte.
- **L'anisotropie** : Les propriétés mécaniques (résistances et modules d'élasticité) et physiques (coefficients de retrait, conductivités thermique, . . .) dépendent fortement de la direction considérée. On définit ainsi trois directions privilégiées, la direction axiale (ou longitudinale) selon l'axe du tronc, les directions radiale et tangentielle (ou ortho radiale), perpendiculaire et parallèle respectivement, aux cernes dans le plan perpendiculaire à l'axe du tronc (voir Figure 2 à la page suivante).
- **L'hygroscopie** : Les fibres du bois (cellulose) ont des liaisons sur lesquelles peuvent se fixer les molécules d'eau (liaison hydroxyles -OH). Selon l'humidité environnante, les

fibres contiendront plus ou moins d'eau (eau dite liée). Les variations de la teneur en eau au sein du bois (i.e., les variations de son degré d'humidité) provoquent des déformations plus ou moins importantes selon la direction considérée. Au vu de l'importance de cette propriété, nous y reviendrons de manière détaillée comme l'une des propriétés physiques du bois.

1.4.2 Propriétés physiques [2]

1.4.2.1 La masse volumique et la densité

La masse volumique et la densité qui lui est associée sont les critères les plus importants dans la caractérisation physique du matériau bois. De plus, cette caractéristique est fortement liée aux propriétés mécaniques du bois.

On distingue :

- **La masse volumique spécifique ou infra-densité ou encore masse volumique des parois cellulaires notée φ_c .**

Elle est particulièrement constante quel que soit l'essence considérée : $\varphi_c = 1530 \text{ kg/m}^3$

- **La masse volumique du bois à l'état humide φ_w** obtenue par la formule 1.2:

$$\varphi_w = \frac{M_w}{V_w} \quad 1.2$$

Où M_w est la masse du bois à l'état humide et V_w son volume au même état.

- **La masse volumique apparente à sec, notée φ_o** , l'échantillon est disséqué à l'étuve à 100° C jusqu'à ce que la masse devienne constante. Soit M_o cette masse et V_o le volume correspondant,

La masse volumique apparente est obtenue par la formule 1.3 :

$$\varphi_o = \frac{M_o}{V_o} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad 1.3$$

Remarque : Si β_{vol} est le coefficient de gonflement volumique, on exprime alors φ_w par la formule 1.4:

$$\varphi_w = (1 + w \cdot 100) V_o (1 + \beta_{\text{vol}} \cdot w \cdot 100) = \varphi_o \cdot (1 + w \cdot 100) (1 + \beta_{\text{vol}} \cdot w \cdot 100) \quad 1.4$$

Avec w la teneur en eau de l'échantillon.

1.4.2.2 Hygroscopie

La teneur en eau ou le taux hygroscopique ou encore taux d'humidité w (ou H) est défini par la formule 1.5 :

$$W = H = (M_w - M_o) * \frac{100}{M_o} \quad (\text{en \%}) \quad 1.5$$

Où M_w et M_o sont respectivement la masse à l'état humide et la masse anhydride ou à l'état sec défini précédemment.

La masse d'eau contenue dans le bois sera donc obtenue par la formule 1.6 :

$$M_w - M_o \quad 1.6$$

Les fluctuations de la teneur en eau entraînent des variations dimensionnelles appelées gonflement ou retrait selon que l'échantillon augmente ou diminue de volume. Le graphique ci-dessous nous présente la variation du volume en fonction de la teneur en eau [2].

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°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.

1.4.3 Propriétés Thermiques du bois

1.4.3.1 Dilatation thermique

La dilatation ΔL d'une pièce de longueur L suite à une élévation de température ΔT a pour expression 1.7 :

$$\Delta L = \alpha_T * \Delta T * L \quad 1.7$$

Où α_T est le coefficient de dilatation thermique du bois.

Cette dilatation est plus souvent négligée car :

- Le coefficient de dilatation α_T du bois est très faible ;
- Les variations dimensionnelles dues à la température sont négligeables devant celles dues à l'hygroscopie ;
- Les pièces de bois sont souvent de petite longueur et les jeux des assemblages permettent de compenser les petites variations de longueur.

1.4.3.2 Conductibilité thermique

Du fait de sa structure poreuse et du nombre réduit de ses éléments, le bois est un faible conducteur thermique. Ceci justifie son utilisation comme matériau d'isolation thermique ou comme matériau coupe-feu. La conductibilité thermique λ_T représente l'énergie thermique et qui est transmise par unité de temps t à travers une épaisseur b du matériau et pour une surface impliquée S_t exposée à une différence de température $T_2 - T_1$ [2].

La conductibilité est donnée par la formule 1.8 :

$$\lambda_T = E_T \times b \times S_t \times (T_2 - T_1) \quad 1.8$$

La conductibilité est beaucoup importante selon l'axe (matière continue) est plus faible dans le plan transversal (porosité).

1.4.4 Propriétés acoustiques

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 la suite dans la conception des ouvrages et singulièrement ceux en bois, 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 des nombreux produits de sonorisation et par conséquent les constructions en bois ont un bon comportement acoustique. Aussi dans le cas du son aérien l'isolement est rendu possible par l'utilisation d'une paroi à plaque de bois, dans le cas plus marqué, une couche de panneau (plancher) de faible densité peut être posée sur la dalle.

1.5 TYPOLOGIE DU BOIS [2]

Aussi vaste qu'il soit, le matériau bois présente une diversité remarquable. Cette partie décrit les types des bois sur le point de vue origine végétale, par la méthode de triage et par la méthode de mis en œuvre.

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

- **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'Epicéa, le Mélèze et les nombreuses variétés de Pin.
- **Les feuillus** : 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 1.9 :

$$S_d \leq R_d \quad 1.9$$

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 la formule 1.10:

$$S_d \leq X_d = k_{mod} * \frac{X_k}{\gamma_M} \quad 1.10$$

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

γ_M : Coefficient partiel du matériau considéré. En construction, plusieurs bois sont en œuvre, présentons d'emblée certains d'entre eux :

1.5.1 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.

Pour la nomenclature, les résineux sont nommés de C14 (bois de classe 14), C16 (bois de classe 16, peut servir de bois de résistance ou d'emballage) à C40 suivant la qualité de l'essence considérée. Par ailleurs, les feuillus sont nommés de D30 à D70.

1.5.2 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. 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.

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.

1.5.3 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.

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 dimensions maximales dépendent de leur transport depuis l'usine jusqu'au lieu d'utilisation.

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

1.5.4 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

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.

Fabrication : Les éléments de base sont des planches en résineux d'une épaisseur maximale de 50 mm et de 1.5 à 5 m de longueur. On utilise le plus souvent l'épicéa, mais le sapin, le pin sylvestre et le douglas se rencontrent aussi ou, moins couramment, le mélèze, le pin maritime, voire l'iroko. Ces planches, pour pouvoir être collées, sont séchées jusqu'à une humidité inférieure à 15 % puis elles sont classées mécaniquement. Les nœuds d'extrémité sont éliminés pour garantir un aboutage de bonne qualité. Les parties contenant des flashes (cavité ou creux) sont éliminées.

1.6 DOMAINE D'UTILISATION DU BOIS [3]

La disponibilité du matériau bois, accroît ses domaines d'utilisation vue sa malléabilité. Cette section présente les domaines d'utilisation domestiques du bois, son usage dans le génie civil, ainsi que d'autres ouvrages.

1.6.1 Les utilisations domestiques du bois

Le bois énergie peut s'employer sous diverses formes selon l'usage que l'on en fait. De même, certaines essences sont plus spécialement indiquées pour certaines utilisations :

- ✓ Le charbon de bois est utilisé pour la cuisson des aliments. À masse égale, ce combustible possède un pouvoir calorifique deux fois supérieur à celui du bois sec ;
- ✓ Le bois sec issu de résineux (épicéa, pin, sapin) ou de feuillus tendres (mélèze, saule, peuplier) alimente les fours à pain traditionnels. Ces bois brûlent vite et dégagent rapidement de la chaleur en quantité importante ;
- ✓ Des bûches de feuillus durs (chêne, hêtre, frêne, charme, noyer, châtaignier) sont utilisées comme mode de chauffage dans des cheminées ouvertes ou fermées (inserts), des poêles ou des chaudières. Les poêles et chaudières fonctionnent aussi avec des plaquettes (branches déchiquetées) ou des granulés (sciure de bois compressée).

Le bois, de tout temps, a été présent dans de multiples ouvrages de génie civil, son usage est en développement depuis quelques années grâce notamment à certaines évolutions qui sont explicitées. Notamment dans constructions diverse telles que :

a. Les ponts routiers

C'est un pont dont le matériau de construction est principalement le bois. L'exemple d'un pont routier est montré sur la figure 1-1.



Figure 1-1 *Photo illustrant un pont routier* [4]

b. Les passerelles

La passerelle est un pont étroit qui est réservée aux piétons. La figure 1-2 montre une passerelle.



Figure 1-2: Photo illustrant une passerelle

c. Les écrans (les murs antibruit)

L'écran est une structure extérieure, solide, destinée pour développer un effet d'isolation phonique. La figure 1-3 montre un écran.



Figure 1-3: Image illustrant un écran [5]

d. Les glissières de sécurité.

Une glissière de sécurité est une bordure de protection le long d'une route. La figure 1-4 nous montre une glissière de sécurité.



Figure 1-4: Image illustrant une glissière de sécurité [6]

Dans le cadre de la France, les glissières de sécurité en bordure de chaussées routières connaissent un développement important depuis plus d'une dizaine d'années. Ce développement a été possible par la validation des produits par le SETRA qui décerne des agréments techniques par marques commerciales.

Les bois de constitution peuvent faire l'objet d'une certification CTB-B+ qui atteste notamment de l'efficacité des traitements de préservation, ce qui apporte des garanties sur la longévité de l'ouvrage.

e. Pylônes et poteaux

La figure 1-5 nous présente un pylône et un poteau. Ils sont plus utilisés dans le domaine d'électricité pour le raccordement des fils électriques.



Figure 1-5: Image illustrant un pylône à gauche et poteau à droite [7]

f. Autres ouvrages

Le bois est présent dans des ouvrages très divers extérieurs:

- **Soutien de terre pour voie terrestre**
- **Estacade et pontons**
- **Candélabres**

La figure 1-6 nous montre successivement un soutien de terre, une estacade&ponton et un candélabre.



Figure 1-6 : Ouvrages divers en bois successivement de gauche à droite un soutien de terre, une estacade et ponton et candélabres [8]

➤ **Platelages et cheminements**

Concernant les platelages et cheminements, le bois est employé comme représenté sur ces figures 1-7.



Figure 1-7 Platelage et cheminements [3]

Le bois est également utilisé dans un grand nombre de structures très diverses : les poteaux téléphoniques, les jeux d'enfants, les tours, ...

1.7 PRESERVATION ET DURABILITE DU BOIS [2]

1.7.1 Dégradation

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

- **Aux insectes** : ceux qui posent problème dans la construction sont ceux qui s'attaquent au bois sec (d'autres s'attaquent seulement aux bois verts ou saturés en eau ou pourris), les plus connus sont les vrillettes, les capricornes et les termites.
- **Aux champignons ou micro-organismes** : qui nécessitent un taux d'humidité relativement élevé pour se développer.

Par ailleurs, à part ces attaques précitées, le feu est un autre régulateur forestier, si trop de matière organique a été accumulée sur le sol, la biodégradation peut s'avérer trop lente, le feu intervient alors comme relais.

Bref, nous retenons que la dégradation du bois se présente sous deux types dont la biodégradation et la dégradation par le feu.

1.7.2 Durabilité naturelle des essences

La norme EN 350 classe les différentes essences de bois en fonction de leur durabilité naturelle aux attaques :

- **Des insectes** : La norme EN 350 donne la liste des essences ayant une durabilité naturelle conférée pour chaque type d'espèce d'insecte. Par exemple, le Teck et l'Iroko ont une durabilité naturelle conférée contre les termites, le Douglas, le Red Cedar et le Mélèze contre les capricornes.
- **Des champignons** : en classant de 1-Très durable (Iroko) à 5-Non durable (peuplier) la résistance naturelle des essences à l'attaque des champignons. Le sapin et l'épicéa, très utilisés comme bois de construction, ont des durabilités faibles (4) vis à vis des champignons. Il conviendra donc de les protéger de façon adaptée à l'environnement auquel ils seront exposés.

1.7.3 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 les bois pour augmenter leur durabilité

1.7.3.1 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 champignon à 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 de capillarité. On doit donc éviter l'accès à l'eau des sections transversales et assurer une bonne ventilation.

A tout état de cause, la protection constructive doit intégrer le choix de l'essence, le mode de débit du bois, la géométrie de l'ouvrage, l'utilisation de revêtements, la conception des détails et la physique du bâtiment.

1.7.3.2 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 (insectes, champignons, etc.).

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 avec une application plus rapide mais avec plus de perte.
- **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'oléo thermie** : imprégnation d'un mélange d'huiles végétales et d'adjuvants naturels chauffé à basse température (moins de 150 °C)
- **L'injection** : utilisé en curatif, à l'aide de mèches creuses enfoncées dans le bois servant à injecter sous pression le produit au cœur du bois.

1.8 L'ATOUTS DE L'UTILISATION DU MATÉRIAU BOIS DANS LA CONSTRUCTION [2]

Ce présent point décrit les atouts d'utilisation du matériau bois que je cite la rapidité d'exécution, la construction à sec, le respect des délais, l'architecture sur mesure, la facilité d'adaptation, la légèreté, le confort et le bien-être [3].

Dans notre pays, la qualité de bois est excellente pour la construction. Les raisons principales sont probablement culturelles, d'une part, et liées à certaines craintes, d'autre part. On peut citer :

- L'opposition présente dans notre inconscient culturel entre la pierre, utilisée pour la construction des vraies demeures, et le bois, utilisé pour les baraquements, pavillons de chasse et hangars agricoles.
- La crainte du feu.
- Les craintes liées à la pérennité du matériau.

Les avantages de bois comme matériau de construction peuvent être mis en valeur s'agissant de la construction de bâtiments

1.8.1 La rapidité d'exécution

Le gros-œuvre protégé des intempéries peut être réalisé en une ou deux semaines. S'il y a préfabrication en atelier, l'assemblage sur chantier peut être réalisé en deux journées. Une maison en bois permet de commencer rapidement le travail de second œuvre (sanitaire, chauffage, électricité, menuiserie, sols, ...) pour terminer l'ensemble dans un délai de deux à trois mois.

1.8.2 La construction à sec

A l'exception des fondations ou soubassements, les maisons en bois sont des constructions entièrement sèches qui permettent d'emménager directement après la fin du chantier. Ceci représente un confort réel lorsque l'on sait qu'une maison en maçonnerie doit évacuer durant plusieurs mois les 15000 litres d'eau utilisés dans les bétons, maçonneries et enduits divers. Les travaux de finitions tels que tapisserie, peinture, parquet, ... Peuvent débiter dès la fin du chantier sans qu'il ne faille camper plusieurs mois dans l'attente du séchage.

1.8.3 Le respect des délais

La possibilité de préfabrication qu'offre la construction de maisons à ossature bois permet de défier à la fois le temps calendrier et météorologique. La préfabrication en atelier à l'abri des intempéries permet de garantir, en plus de la qualité, les délais de fin de chantier.

1.8.4 L'architecture sur mesure

Le bois, par son extrême souplesse et sa légèreté, permet de composer de nouveaux volumes et espaces répondant aux besoins actuels. Il admet toutes les audaces architecturales et se combine avantageusement avec d'autres matériaux plus froids comme la pierre, le verre ou le métal. Pour les architectes, la construction en bois laisse une grande place à la créativité et permet de répondre encore plus fidèlement aux souhaits du candidat bâtisseur.

1.8.5 La facilité d'adaptation

Une maison reflète l'histoire d'une famille, au moins. Comme la famille, la maison grandit, évolue en qualité, confort, goût. Elle s'adapte au gré de l'évolution des moyens financiers des occupants, de l'arrivée d'enfants, des besoins de ceux-ci lors de l'adolescence, de leur départ, de l'arrivée de petits-enfants ou, de moins en moins dans notre société, de l'hébergement des grands-parents voire, hélas, parfois d'un handicap survenu à un membre de la famille.

La maison à ossature bois se prête mieux qu'une maison traditionnelle en maçonnerie aux percements de cloisons, divisions de pièces ou ajouts de salle de bain. Le travail étant plus léger, il peut être réalisé par un bon bricoleur [3] .

Certains matériaux peuvent être réutilisés et, fait non négligeable, les dégagements de poussières sont quasi nuls.

Cet avantage est très parlant pour la ménagère qui a déjà dû subir les conséquences de quelques coups de disqueuse appliqués dans de la maçonnerie par un mari bricoleur. La quantité de matériau à mettre en décharge est beaucoup plus faible, voire nulle, ce qui constitue un avantage écologique, pour la société, et financier, pour le propriétaire.

1.8.6 La légèreté

Une poutre de 3 mètres de portée capable de supporter 20 tonnes pèse 60 kg en bois résineux, 80 kg en acier et 300 kg en béton armé. Cette légèreté rapportée à son efficacité en fait un matériau apprécié dans les zones où le sol est faiblement porteur, dans le cadre des surélévations de bâtiments, ou lorsque la mise en œuvre est réalisée par le propriétaire lui-même.

1.8.7 Le confort et le bien-être

Lorsqu'on pense bois, on l'associe directement au confort et au bien-être. Le bois contient des cellules emprisonnant de l'air, ce qui lui confère ses propriétés d'isolant thermique. Les maisons en bois proposent un bon niveau d'isolation, ce qui conduit à des déperditions faibles à travers les parois mais présente aussi l'avantage d'offrir des parois chaudes en hiver et fraîches en été. Un même niveau de confort est obtenu avec une température intérieure plus basse que si des parois plus fraîches rayonnaient vers l'intérieur. La nature cellulaire du bois lui permet d'absorber momentanément l'humidité en excès dans l'air pour la restituer progressivement plus tard, jouant ainsi le rôle de régulateur naturel du climat intérieur. Ce matériau est donc parfaitement indiqué, par exemple, pour les personnes souffrant de rhumatisme.

1.9 CONCLUSION PARTIELLE

Dans ce chapitre, il a été présenté le matériau bois, sa constitution, ses propriétés, ses types, ses pathologies et disposition préventive que curative pour bien mettre en disposition un hangar et en profiter dans une longévité efficace.

Certains textes non justifiés

Chapitre 2. METHODES ET TECHNIQUES DE TRAVAIL

2.1 INTRODUCTION

Ce présent chapitre traite sur les méthodologies du travail, et donc les procédés de dimensionnement des constituants de notre hangar.

2.2 HYPOTHESES DE CALCUL

L'action exercée par le vent sur une des forces d'un élément de la paroi est considérée comme normale à cet élément et elle est en fonction de [9] :

- La vitesse du vent ; V
- La catégorie de la construction et de ses proportions d'ensemble ;
- L'emplacement de l'élément considéré dans la construction et son orientation par rapport au vent ;
- Des dimensions de l'élément considéré ;
- La forme de la paroi à laquelle appartient l'élément considéré ;
- L'action élémentaire unitaire par le vent sur une des faces d'un élément de parois

2.3 ETUDE AU VENT

2.3.1 La pression de calcul du vent [10]

La pression statique du vent est donnée par la formule 2.1:

$$P = q_h \times K_S \times K_m \times S \times C_r \quad 2.1$$

Avec :

q_h = pression dynamique agissant à la hauteur h

K_S = coefficient de site

K_m = coefficient de masque

S = coefficient de réduction de la pression

C_r = coefficient résultant

2.3.2 La pression dynamique de base q_{10}

Par convention, la pression dynamique de base (normale ou extrême) est celle qui s'exerce à la hauteur de 10m au-dessus du sol, pour un site normal, sans effet de masque, sur un élément dont la plus grande dimension est égale à 0,50m.

En ce qui concerne la RDC, le pays peut être divisé en trois zones de vent suivantes :

Zone 1 : cette zone regroupe (conformément à l'ancien découpage) les provinces de Kinshasa, Bas-Congo et Bas Ndundu.

Zone 2 : dans cette zone se trouvent les deux Kasai et l'équateur

Zone 3 : Elle comprend les provinces suivantes : Nord-Kivu et Sud-Kivu, Maniema, Province orientale et le Katanga

Partant de l'ancienne administration, on peut retrouver les 26 nouvelles provinces et les repartir. Les différentes valeurs de q_{10} sont données (conformément aux zones du vent) au tableau 2-1:

Tableau 2-1 : Les valeurs de q_{10} pour la RDC [10]

Zones RDC	q_{10} (daN/m ²)	
	Valeur normale	Valeur extrême
1	50	87,5
2	87 ,5	122 ,5
3	90	157,5

Les différentes valeurs de k_s sont données suivant le tableau 2-2 :

Tableau 2-2 Coefficient de site K_s pour la RDC

Région	Site protégé	Site normale	Site extrême
1	10	20	30
2	80	80	80
3	11,35	11,30	11,25

2.3.3 La pression dynamique du vent q_h

Elle est donnée par la formule 2.2 :

$$q_h = q_{10} \times \frac{H+18}{H+60} \times 2.5 \quad 2.2$$

Avec ;

q_{10} : pression dynamique de base

q_h : effet de hauteur et m

H : la hauteur.

Pour $H \leq 10m$

2.3.4 Coefficient de masque K_m

Il se déduit en fonction de l'emplacement, l'on suppose pour notre construction qu'elle n'est pas masquée.

2.3.5 Coefficient de réduction de la pression

C'est l'affectation d'un coefficient de réduction sur les pressions dynamiques de base s'exerçant sur les éléments constitutifs de la structure en fonction du point le plus haut de cette surface (la hauteur ou la portée). Le coefficient de réduction des différents éléments est représenté par le tableau 2-3.

Tableau 2-3: Coefficient de réduction des différents éléments [10]

Élément	Dimension correspondante en m	S
Panne	5	0,87
Ferme	16	0,80
Poteau	6	0,86
Potelet	7,5	0,85
Lisse	5	0,87

2.3.6 Coefficient résultant C_r

Le coefficient résultant C_r représente la différence entre le coefficient extérieur C_e et le coefficient intérieur C_i comme illustre la formule 2.3 :

$$(C_e - C_i) \quad 2.3$$

2.3.6.1 Les actions extérieures

Calculs des rapports de dimensions

Les rapports de dimensions sont donnés par les formules 2.4 et 2.5 :

$$A = \frac{H}{a} < 0,5 \quad 2.4$$

$$B = \frac{H}{b} < 1 \quad 2.5$$

Le coefficient est donnée par le quadrant inférieur droit en fonction du rapport A et B

➤ **Parois verticale**

La paroi verticale face au vent admet un coefficient C_e montré par la formule 2.6 :

$$C_e = +0,8 \forall \gamma a \quad 2.6$$

La paroi verticale face sous le vent admet un coefficient C_e obtenu par la formule 2.7 :

$$C_e = - (1,3\gamma a - 0,8) \quad 2.7$$

➤ **Parois inclinée (versant de la toiture)**

La paroi inclinée admet le coefficient C_e suivant les formes des versants, les différents formules selon le versant sont données suivant le tableau 2-4 :

Tableau 2-4: Coefficient de pression moyen C_e [10]

Forme de versant	Angle	Paroi du versant	Paroi sous le vent
	$ \alpha $	C_e	C_e
Versants plans	$0^\circ \alpha \leq 10^\circ$	$-2\left(0,25 + \frac{ \alpha }{100}\right)$	$-1,5\left(0,33 - \frac{ \alpha }{100}\right)$
	$10^\circ \alpha \leq 40^\circ$	$-2\left(0,45 + \frac{ \alpha }{100}\right)$	$-1,5\left(0,60 - \frac{ \alpha }{100}\right)$

Versants voutes	$0^\circ \leq \alpha \leq 10^\circ$	$-1.8 (0.40 + \frac{ \alpha }{100})$	$-1.8 (0.40 - \frac{ \alpha }{100})$
	$10^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$	$-2 (0.5 - \frac{ \alpha }{100})$	$-1.8 (0.40 - \frac{ \alpha }{100})$

2.3.6.2 Actions intérieures

Le calcul de perméabilité des parois μ en pourcentage est le calcul de perméabilité des parois permet de connaître la nature de la construction si elle est fermée, ouverte ou partiellement ouverte [10].

Les coefficients des pressions C_i pour la toiture sont les mêmes à ceux des parois intérieures de perméabilité $\mu \geq 35\%$ sont normales au vent.

Les actions intérieures concernent notre cas, qui est une construction fermée, sont définies par le coefficient C_i qui sont obtenues par les formules 2.8 et 2.9 :

$$\text{Face au vent : } C_i = +0,6(1,8-1.3 \gamma a) \quad 2.8$$

$$\text{Face sous le vent : } C_i = -(1.3 \gamma a - 0,8) \quad 2.9$$

2.3.7 Actions résultantes

Elles sont exprimées par $(C_e - C_i)$.

Nous tiendrons en compte le cas le plus défavorable dans la suite du travail, ainsi les actions résultantes dans les parois verticales sont données par les formules 2.10 et 2.11 :

➤ Parois verticales

$$\text{Face au vent : } (0,8 + C_i) q \quad 2.10$$

$$\text{Face sous le vent : } (-0,5 + C_i) q \quad 2.11$$

➤ Parois inclinée

Les actions résultantes dans les parois inclinées sont obtenues par les formules 2.12 et 2.13 :

Face au vent : $(- 0,37-C_i) q$	2.12
Face sous le vent : $(-0,4325+C_i)q$	2.13

2.3.8 Recherche des pressions dynamiques [10]

Ici nous devons trouver les pressions dynamiques de base dues au vent sur les parois verticales et sur les parois inclinée (toiture) qui sont données par les formules 2.14, 2.15, 2.16 et 2.17 :

➤ **Parois verticale**

$$\text{Face au vent : } 1,1q \times K_s \times S = V_1 \quad 2.14$$

$$\text{Face sous le vent : } -0,28 \times K_s \times S = V_2 \quad 2.15$$

➤ **Parois inclinée**

$$\text{Face au vent : } -0,67 \times K_s \times S = V_1 \quad 2.16$$

$$\text{Face sous le vent : } -0,173 \times K_s \times S = V_2 \quad 2.17$$

2.4 DIMENSION DES ELEMENTS

Le bon dimensionnement d'une structure se fait mieux, de haut en bas ; alors que la bonne construction commence de bas vers le haut. Dans cette section, il est présenté la méthodologie relative au dimensionnement des différents éléments du hangar.

2.4.1 Calcul de la panne

Les pannes qui ont pour charge de supporter la couverture. Elles sont disposées parallèlement à la ligne de faitage dans le plan des versants [11].

Les pannes sont soumises à des charges verticales (poids propre de la panne, couverture) et la charge oblique du vent qui est perpendiculaire au versant.

2.4.1.1 Hypothèses de calcul

Ici nous aurons à utiliser :

- L'entre axe des pannes
- Poids propre de la couverture
- Les surcharges d'exploitations

Notre bâtiment étant d'usage de stockage, la valeur des surcharges sera de 7000 KN/m² selon les normes de la charpente en bois [12].

$$Q = 7500 \text{ KN/m}^2$$

- Surcharges du vent sur la panne
- Charge permanente

2.4.1.2 Surface d'influence pour la panne

La surface d'influence est donnée par la formule 2.18 :

$$S_{\text{panne}} = L \times I \quad 2.18$$

Avec :

L : Longueur moyenne de la panne

I : Entre axes des pannes

2.4.1.3 La charge permanente de la panne

Ayant choisi d'utiliser le bois résineux C40, le tableau 2-5 représente les caractéristiques y relatifs.

Tableau 2-5: Tableau récapitulatif de la classification du bois résineux [12]

Symbole	Désignation	Unité	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40
$f_{m,k}$	Contrainte de flexion	N/mm ²	14	16	18	22	24	27	30	35	40
$f_{t,0,k}$	Contrainte de traction axiale	N/mm ²	8	10	11	13	14	16	18	21	24
$f_{t,90,k}$	Contrainte de traction perpendiculaire	N/mm ²	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
$f_{c,0,k}$	Contrainte de compression axiale	N/mm ²	16	17	18	20	21	22	23	25	26
$f_{c,90,k}$	Contrainte de compression perpendiculaire	N/mm ²	2,0	2,2	2,2	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
$f_{v,k}$	Contrainte de cisaillement	N/mm ²	1,7	1,8	2,0	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8
$E_{0,mean}$	Module moyen axial	kN/mm ²	7	8	9	10	11	11,5	12	13	14
$E_{0,05}$	Module axial au 5 ^e pourcentile	kN/mm ²	4,7	5,4	6,0	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4
$E_{90,mean}$	Module moyen transversal	kN/mm ²	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47
G_{mean}	Module de cisaillement	kN/mm ²	0,44	0,50	0,56	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88
ρ_k	Masse volumique caractéristique	kg/m ³	290	310	320	340	350	370	380	400	420
$\rho_{m,mean}$	Masse volumique moyenne	kg/m ³	350	370	380	410	420	450	460	480	500

Les pièces de bois seront de section carrée c'est-à-dire dont la hauteur h est égale à la base b . Ainsi, le moment d'inertie sera donné par la formule 2.19 :

$$I_{yy} = I_{zz} = \frac{b \times h}{12} = \frac{h^4}{12} \quad 2.19$$

2.4.1.4 Vérification de la panne

La condition de vérification des pannes est donnée par la formule 2.20 :

$$\min \left| \begin{array}{c} \frac{\sigma_{c y}}{F_{m,c,d,z}} + k_m \frac{\sigma_{c z}}{F_{m,c,d,y}} \\ k_m \frac{\sigma_{c y}}{F_{m,c,d,y}} + \frac{\sigma_{c z}}{F_{m,c,d,z}} \end{array} \right| \leq 1 \quad 2.20$$

Les éléments apparaissant dans la formule II.20 Sont définis comme suit :

$\sigma_{c y}$: Contrainte de flexion induite par la combinaison d'action des états limites ultimes en MPa suivant y

$\sigma_{c z}$: Contrainte de flexion induite par la combinaison d'action des états limites ultimes en MPa suivant z

k_m : Coefficient modificatif en fonction de la charge de plus courte durée et de la classe de service.

$F_{m,c,d,y}$: Résistance de flexion induite par la combinaison d'action des états limites ultimes calculée en MPa suivant l'axe y

$F_{m,c,d,z}$: Résistance de flexion induite par la combinaison d'action des états limites ultimes calculée en MPa suivant l'axe z

Ainsi pour obtenir les différentes contraintes nous utiliserons les formules 2.21 et 2.22 :

$$\sigma_{c,y} = \frac{M_z}{I_z} \nu \quad 2.21$$

$$\sigma_{c,z} = \frac{M_y}{I_y} \nu \quad 2.22$$

En partant des formules des contraintes, déterminons les moments y associés obtenus par les formules 2.23 et 2.24 :

$$M_y = \frac{Pz}{8} l^2 \quad 2.23$$

$$M_z = \frac{P_y}{8} l^2 \quad 2.24$$

Avec :

l : la distance entre fermes

Notre vérification s'est porté en ELU, la charge variable est obtenue par la formule 2.25

$$P = 1.35 G + 1.5 Q \quad 2.25$$

Selon les axes on utilise les formules 2.25 et 2.26 :

$$P_y = P \times \sin \alpha \quad 2.26$$

$$P_z = P \times \cos \alpha \quad 2.27$$

Pour trouver la charge Q nous utiliserons la formule 2.28 :

$$Q = q_h \times \text{surface d'influence} \quad 2.28$$

La surface d'influence qui est égale à :

$S = \text{Entre axe entre ferme} \times \text{Entre axe entre horizontale des pannes}$

En fin on cherche les moments d'inerties qui sont obtenus par la formule 2.29 :

$$I_y = I_z = \frac{1}{12} h^4 \quad 2.29$$

Avec : $I_y = I_z$ (la section sera carée)

$$v = \frac{h}{2} \quad 2.30$$

h étant la hauteur

Enfin les résistances de flexion induite par la combinaison d'action des états limites ultimes calculée en MPa sont déterminées par les formules 2.31:

$$F_{m,c,d,z} = f_{m,c,d,y} = \frac{f_{m,k} \times k_{mod} \times k_s \times K_h}{\gamma} \quad 2.31$$

2.4.2 Calcul de la ferme

2.4.2.1 Hypothèses [10]

- Poids propre de la ferme
- Poids propre des tôles
- Surcharges d'exploitation
- Charge du vent

2.4.2.2 Inventaire des charges

a. Charges permanente

$P = \text{Poids propre de la ferme} + \text{Poids propre des tôles} + \text{Surcharges d'exploitation}$

Ensuite P sera multiplié par le coefficient de sécurité $\gamma = 1,35$

b. Charge du vent

La charge du vent composé des charges $V1$ et $V2$

$V1$ et $V2$ seront aussi multipliés par le coefficient de sécurité $\gamma = 1,35$

Ensuite $V1$ et $V2$ seront multipliés par la distance entre deux fermes pour avoir une charge linéique [10].

Efforts dans les barres

La détermination des efforts dans les barres passe par les étapes suivantes :

- **Vérification de l'isostaticité**

On vérifie l'isostaticité avec la formule 2.32 :

$$2n - b = 3 \qquad 2.32$$

- **Les reaction aux appuis**

La ferme s'appuie sur un système d'appuis simple à droite et appuis double à gauche, ce qui nous conduit à l'obtention des réactions aux appuis par calcul simple d'une poutre [3].

- **Détermination des efforts dans les barres**

En calculant une ferme, on admet que toutes les barres sont articulées dans les nœuds.

Le procédé le plus facile de détermination des efforts dans les barres d'une ferme est le graphique de « Cremona ». La solution analytique est également possible.

Nous pouvons également utiliser la méthode de Culman (méthode d'isolement des nœuds successifs) pour déterminer les efforts dans les barres. Exemple illustratif de la détermination des efforts par la méthode des nœuds.

La ferme peut être considérée comme un ensemble de nœuds articulés et de barres soumises à des efforts axiaux. Comme elle est en équilibre, chaque nœud doit aussi se trouver parfaitement équilibré.

Cet équilibre peut être mis en évidence par le schéma du nœud isolé à partir duquel nous pouvons facilement écrire les équations d'équilibre.

Tout d'abord on calcule les réactions d'appuis et les efforts intérieurs dans chaque barre. Ensuite viendra la convention de signe, (+) Traction et (-) Compression. Enfin établir un tableau récapitulatif exprimé par le tableau 2-6 :

Tableau 2-6. Tableau récapitulatif des sollicitations des barres [3]

Barre (N)	Efforts en daN	Signe	Sollicitation	Effort à prendre pour le dimensionnement

Dans ce tableau on y reproduira les efforts trouvés dans chaque barre, leurs sollicitations. Les calculs se feront pour tous les barres aboutissant à un nœud.

2.4.2.3 Dimensionnement des éléments de la ferme

Le dimensionnement de la section en général s'effectue sur base de la formule 2.33 et 2.34 [12];

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq f_{0d} \quad 2.33$$

$$f_{0,d} = \frac{\sigma_{adm} \times k_{mod}}{\gamma_m} \quad 2.34$$

Avec:

σ_{adm} : la contrainte admissible caractéristiques selon le type de sollicitation soit en traction ou en compression.

k_{mod} : Coefficient modificatif en fonction de la charge de plus courte durée et de la classe de service (humidité du bois).

γ_m : Coefficient partiel qui tient compte de la dispersion du matériau.

A : la section à rechercher

Avec cela on arrive à dimensionner toutes les barres, en faisant le calcul [3];

- **De l'arbalétrier**
- **De l'entrait**
- **Des montants**
- **Des diagonales**
- **Des pannes**

NB. On fait des calculs pour toutes ces catégories, se référant à la barre la plus sollicitée de chaque catégorie [3].

- **Traction axiale parallèle aux fils**

Pour le bois massif on utilisera les formules 2.35 et 2.36 [11] :

$$\sigma_{t0k} \leq k_h \times f_{t0k} \Leftrightarrow \frac{N \times \gamma_f}{S} \leq k_h \times \frac{f_{t0k}}{\gamma_m} \quad 2.35$$

$$f_{t0,d} = f_{t0,k} \times \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \times k_h \quad 2.36$$

Avec :

$f_{t0,d}$: contrainte de résistance en traction axiale en MPa.

$f_{t0,k}$: contrainte caractéristique de résistance en traction axiale en MPa.

k_{mod} : coefficient modificatif en fonction de la charge de plus courte durée (le vent) et de la classe de service, charpente abritée, classe 2.

γ_f : Coefficient de sécurité (1,5)

γ_m : coefficient partiel qui tient compte de la dispersion du matériau. ($\gamma_M = 1,3$)

k_h : coefficient de hauteur ;

Où

$$k_h = \min \left(1,3 ; \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} \right) \quad 2.37$$

- **Compression parallèle aux fils**

Pour déterminer la section des éléments de la ferme compression parallèle on utilisera la formule 2.38 :

$$\sigma_{c,0,k} \leq f_{c,0,k} \Leftrightarrow \frac{N \times \gamma_f}{S} \leq k_h \times \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} \quad 2.38$$

Avec :

$\sigma_{c,0,d}$: contrainte de compression axiale

$f_{c,0,d}$: résistance de compression axiale calculée en MPa

2.5 POTEAUX

2.5.1 Introduction

Les poteaux sont des barres verticales qui reçoivent la charge à partir de la poutre de chaînage et le transmet à la longrine.

Dans ce point ci présent, nous aurons à traiter sur le dimensionnement des poteaux [3].

2.5.2 Hypothèses [10]

- Longueur du poteau
- Espacement entre les poteaux
- Charges permanente : qui implique un effort N_p
 $N_p = \text{Charges permanente} \times \text{longueur du poteau} \times \text{largeur du rectangle}/2$
- Surcharge du vent dans le sens vertical V : Implique un effort N_v
 $N_v = \text{Charges permanente} \times \text{longueur du poteau} \times \text{largeur du rectangle}/2$

D'où l'effort de compression total du poteau est donné par la formule 2.39 :

$$N = N_p + N_v \quad 2.39$$

2.5.3 Calcul de section du poteau en bois [9]

En connaissant la contrainte admissible en compression du matériau on utilisera la formule 2.40 ;

Soit;

$$\sigma = \frac{N}{A} \gamma_M \leq \sigma_{adm} \quad 2.40$$

Vérfications s'il y a flambement :

L'élancement est donné par la formule 2.41 :

$$\lambda = \frac{l_{flamb}}{\sqrt{\frac{I}{A}}} \quad 2.41$$

Sachant que;

$$l_{flamb} = k_0 \cdot l ; k_0 = 1 \quad 2.42$$

Pour les barres bi articulées avec la condition $180 \geq \lambda$

Soit $\beta_c = 0,2$ pour le bois massif ; l'élancement mécanique est donné par la formule 2.43 :

$$\lambda_E = \pi \times \sqrt{\frac{E_{0,05}}{f_{c,0,k}}} \quad 2.43$$

Avec :

λ_E : Elancement mécanique

$f_{c,0,k}$: Contrainte caractéristique de résistance en compression axiale

$E_{0,05}$: Module axial au 5^e pourcentage

L la longueur du flambement de la pièce est donnée par la formule 2.44 :

$$l_k = 0,85 \times l \text{ (encastré appuyé)} \quad 2.44$$

Le coefficient d'élancement est donné par la formule 2.46 :

$$\lambda_y = \frac{l_k}{i} \quad 2.45$$

Avec :

$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$ ou I est le moment d'encastrement et A est la section.

2.6 ASSEMBLAGE DES ELEMENTS

2.6.1 Généralités

Les assemblages constituent la Section 8 de l'EN 1995-1.1. [3]

Les assemblages sont une partie essentielle d'une construction en bois. En effet, la majorité des désordres observés sur une structure bois provient des assemblages. Il conviendra donc de soigner particulièrement la conception et le dimensionnement des assemblages.

Par ailleurs, la conception et la réalisation des assemblages représentent un coût significatif sur l'ensemble des coûts du gros œuvre. Le choix et la conception des assemblages a donc un impact non négligeable sur le coût total de la structure.

Le choix du type d'assemblage se fera en fonction de la géométrie des pièces à assembler (nombre de pièces et angles entre chaque pièce) et de la sollicitation à transmettre. On pourra ajouter comme critère de choix le type de section des barres à lier (rectangulaire, circulaire, . . .), des considérations esthétiques (assemblage visible ou non) et des exigences de montages (place disponible, facilité du montage, . . .).

Dans la mesure du possible, on ne combinera pas plusieurs moyens d'assemblage entre eux, la rigidité entre deux moyens d'assemblage peut varier énormément. Superposer deux moyens d'assemblage de rigidités différentes ne conduit pas à un assemblage pouvant reprendre la somme des efforts repris par chacun des deux assemblages pris individuellement. En effet, seul le moyen d'assemblage le plus rigide travaillera dans un premier temps et le deuxième ne travaillera qu'après la rupture du premier. Concrètement, il faudra donc s'assurer que chacun des moyens d'assemblages est donc capable de reprendre la totalité des efforts, ce qui supprime tout intérêt à utiliser deux moyens d'assemblage en parallèle.

Il existe de nombreux moyens d'assemblage [3].

On distinguera:

- **les assemblages traditionnels**, tels que les tenons-mortaises, les embrèvements. Ce sont des assemblages travaillant principalement par contact entre deux pièces de bois, donc en compression.
- **les assemblages par organe métallique**. Ces assemblages utilisent un connecteur métallique pour joindre les pièces de bois entre elles. Ces connecteurs peuvent être des

pointes (clous), des agrafes, des boulons, des tirefonds, des goujons, des crampons, des anneaux, . . .

2.6.2 Calculs sur les assemblages [9]

Pour déterminer le diamètre du clou ou du boulon on procédera par la formule 2.46 :

$$\tau = \frac{N^*}{2\pi d^2} \leq \sigma_r \quad 2.46$$

L'effort pondéré est donné par la formule II.46 :

$$N^* = \frac{Ni}{\gamma_{fb}} \quad 2.47$$

$$\sigma_r = \frac{\sigma_i}{\gamma_{fa}} \quad 2.48$$

Avec :

N^* : L'effort pondéré

γ_{fa} : 1,15 ; coefficient de sécurité de l'acier

γ_{fb} : 1,3 ; coefficient de sécurité du bois

On travaillera avec l'effort le plus défavorable dans la barre aboutissant à un nœud. La figure 2-3 montre un assemblage par boulon.

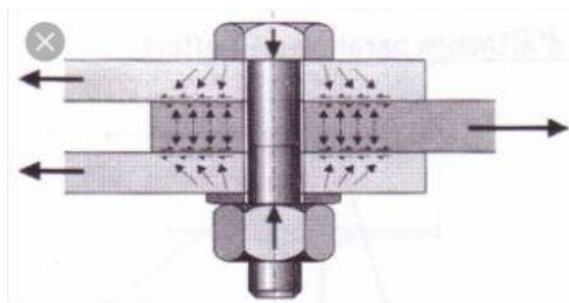


Figure 2-1 Photo illustrant un assemblage par boulon [13]

2.7 LA FONDATION

2.7.1 Introduction

Une fondation est un ouvrage destiné à assurer la stabilité d'une construction. Les fondations, c'est fondamental ! Et pour cause : elles assurent la solidité de la maison. Elles garantissent la stabilité de la construction dans le temps en répartissant de manière cohérente les charges [3].

Dans ce présent point on aura à voir la méthodologie de dimensionnement et exécution de la fondation de notre hangar, bien que la fondation soit une étude vaste appart.

Tout d'abord qui dit fondation dit nature du sol : en effet, un sol naturel ou non, est capable de supporter une charge qui s'exprime en pression admissible, à savoir quel poids le sol peut-il supporter sans s'affaisser ?

Le fait qu'un terrain s'affaisse n'est pas, en construction, une catastrophe sauf si bien sûr l'affaissement n'est pas uniforme et que le bâtiment en souffre [14].

On peut distinguer 7 typologies de terrains à la portance très différente [14]:

- **Très bonne portance** : la roche, le gravier et sable mélangés, les terrains dits durs (marne, glaise compacte).
- **Bonne portance** : les sables grossiers.
- **Moyenne portance** : sable, glaise sablonneuse.
- **Mauvaise portance** : argile aquarifère, remblai, sables aquarifères.

Les indices de pression sont exprimés en Newton/mm², l'échelle est la suivante :

- 5 à 0,7 N/mm² pour les matériaux les plus stables,
- de 0,69 à 0,4 N/mm² pour une bonne portance,
- 0,39 à 0,1 N/mm² pour une portance modérée,
- et de 0,09 à 0,03 N/mm² pour une portance faible.

Il existe deux sortes de fondations [14] :

- **La semelle filante** : le poids des fondations est porté sur la longueur de l'ouvrage et se calcule au mètre linéaire.
- **Le pilier (ou poteau)** : le poids des fondations se calcule pour le pilier uniquement (ou socle)

2.7.2 Calcul de la taille de la fondation

Pour calculer la taille de la fondation le calcul est le suivant :

Il faut prendre en compte le poids de ce qui prendra appui sur cette fondation (exemple mur porteur + poids de la toiture + marge ; mais également le poids de la fondation elle-même. En tenant compte bien sûr de la répartition des charges [14].

2.7.3 Calcul de l'épaisseur des fondations

Le sol de Rutshuru étant de moyenne portance, on prend par sondage des expertises des bureaux d'étude du lieu une contrainte admissible du sol $\sigma_{sol} = 0,2 \text{ N/mm}^2$ [3].

La section de la semelle est donnée par la formule 2.48 :

$$A = \frac{P}{\sigma_{sol}} \quad 2.49$$

En considérant une semelle carrée, l'épaisseur des fondations est déterminée sera donné par la formule 2.50 :

$$E_p = \sqrt{A} \quad 2.50$$

On obtient la hauteur nécessaire en multipliant l'épaisseur du mur par la tangente de 60° par la formule 2.51 :

$$h = a \times \sqrt{3} \quad 2.51$$

Avec :

h : la hauteur nécessaire,

a : l'épaisseur du mur.

La figure 2-4 présente une semelle de fondation.

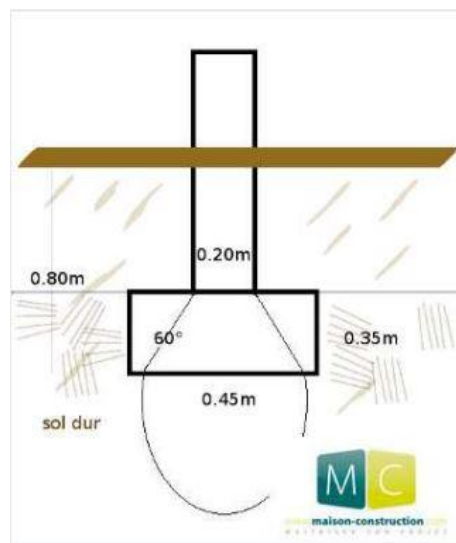


Figure 2-2 Photo illustrant une semelle de fondation [14]

2.8 CONCLUSION PARTIELLE

Dans ce chapitre nous avons montré la manière de procéder pour le dimensionnement de tous les éléments importants de notre hangar, qui sont la ferme, les poteaux et la fondation.

Chapitre 3. **DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE**

3.1 INTRODUCTION

Dans cette partie nous allons dimensionner l'ouvrage, déterminer les sections des éléments structuraux, ce qui nous conduit au dimensionnement de la ferme, des éléments modulaires (poteaux et poutres) et de la fondation.

Les hypothèses de calcul :

- Type de bois C40, un résineux ayant des propriétés précisés sur le tableau 5 (Tableau récapitulatif de la classification du bois résineux)
- Angle d'inclinaison de la toiture $26,56^\circ$
- Nous utiliserons la ferme triangulée comme élément de la charpente.
- Zone 3 (référence Tableau 1)
- Flèche limite max $f_{\text{limite}}=l/200$
- Section de la panne $(6 \times 6) \text{ cm}^2$

3.2 PRESENTATION STRUCTURALE DU HANGAR

Notre plan est un rectangle de longueur $L=1600\text{cm}$ et de largeur $l=700\text{cm}$; la hauteur totale $H=600\text{cm}$; avec comme hauteur de la toiture $h=200\text{cm}$. Il faudra ajouter une distance de $0,5\text{m} \times 2$ pour les avant-toits. D'où la longueur $L=1700\text{cm}$ et la largeur $l=800\text{cm}$ ce sont ces distances qui seront successivement la longueur et la largeur de notre hangar sur le sol.

La superficie de notre hangar est de $1\,120\,000 \text{ cm}^2$.

La couverture de notre hangar est une toiture de deux versants plans inclinés de $26,56^\circ$ sur l'horizontal. Les différentes façades, coupes et plan structural sont présentés dans les ANNEXES.

Les figures 3-1 et 3-2 montrent successivement la façade droite du hangar et la vue en plan de la toiture.

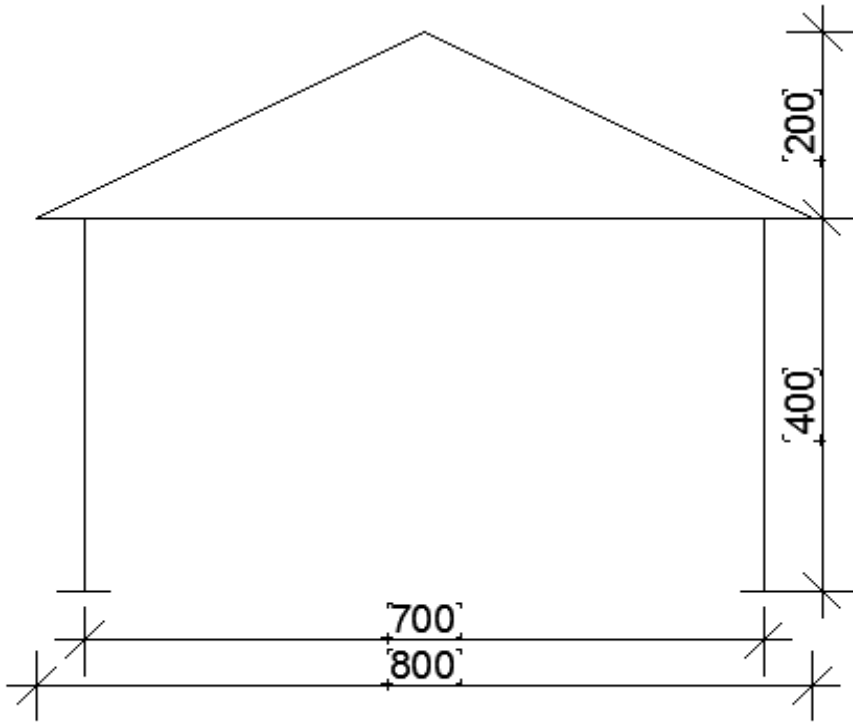


Figure 3-1 Façade droite du hangar

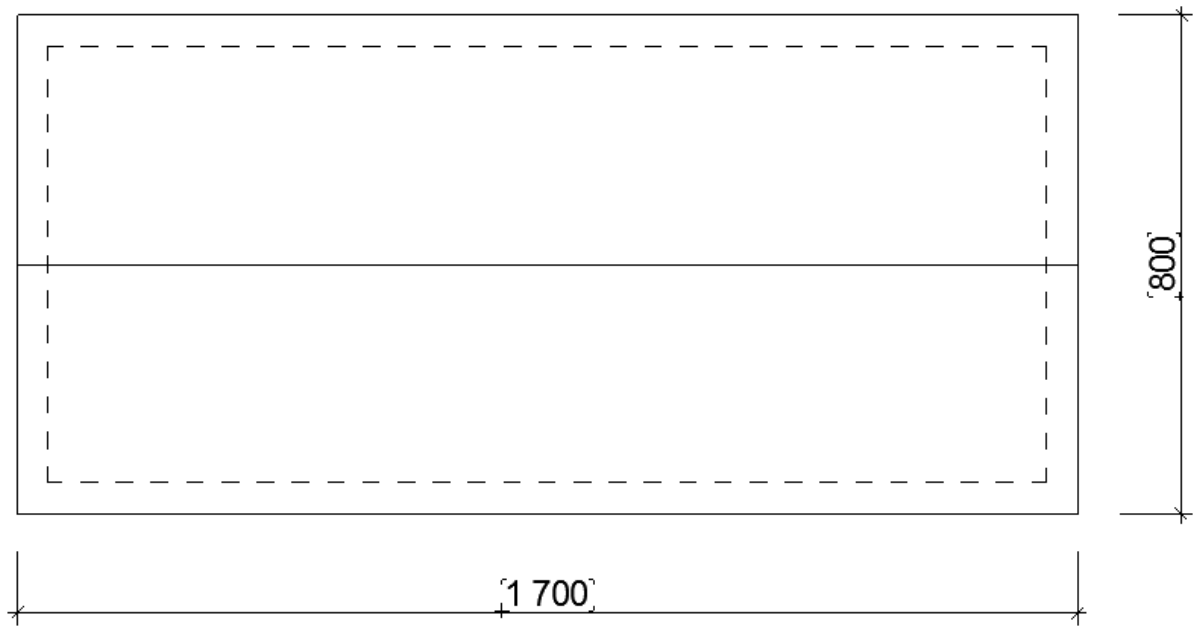


Figure 3-2 Vue en plan de la toiture

Soit la ferme de distance entre les montants est de 1,33m ; présentant les différents nœuds, barres et directions du vent ; la figure 3-3 montre la ferme du hangar.

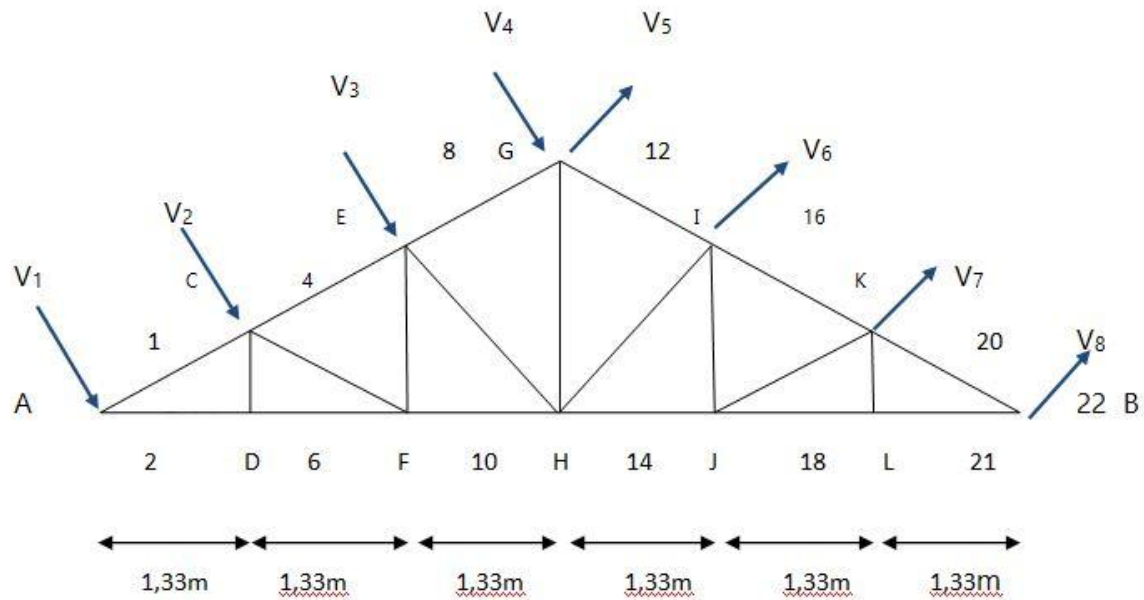


Figure 3-3 Illustrant la ferme de notre hangar

3.3 ETUDE AU VENT

3.3.1 La pression du vent

La pression statique du vent est donnée par la formule 3.1 :

$$P = q_h \times K_s \times K_m \times S \times C_r \quad 3.1$$

- Les longueurs des barres

Afin de trouver les longueurs dans les barres, on procédera par :

$$L_{AD} = 1\text{m} ; L_{DF} = L_{FH} = 1.5\text{m}$$

$$L_{AC} = \frac{L_{AD}}{\cos \alpha} = \frac{1}{\cos 26.56} = 1.118\text{m}$$

$$L_{AE} = \frac{L_{AF}}{\cos \alpha} = 2.79\text{m}$$

$$L_{AG} = \frac{L_{AH}}{\cos \alpha} = 4.47\text{m}$$

- **Etude du vent.**

Pour déterminer la pression dynamique nous utilisons la formule 3.2:

$$q_h = q_{10} \times \frac{H+18}{H+60} \times 2.5 \quad 3.2$$

$$q_{10} = 157,5 \text{ daN/m}^2$$

$$q_h = 157,5 \text{ daN/m}^2 \times \frac{6+18}{6+60} \times 2.5$$

$$q_h = 143,18 \text{ daN/m}^2$$

Multiplions cette charge par le sinus de $26,56^\circ$

$$q_h = 143,18 \text{ daN/m}^2 \times \sin 26,56^\circ = 64,015 \text{ daN/m}^2$$

3.3.2 Le coefficient résultant C_r

3.3.2.1 Les actions extérieures

Calculs de rapport de dimensions

Les rapports de dimensions sont donnés par les formules 3.3 et 3.4 :

$$A = \frac{H}{a} < 0,5 \quad 3.3$$

$$B = \frac{H}{b} < 1 \quad 3.4$$

Ainsi on aura :

$$\gamma_a = \frac{H}{a} = \frac{6}{16} = 0,375 < 0,5 \quad H=6\text{m et } a=16\text{m}$$

$$\gamma_b = \frac{H}{b} = \frac{6}{7} = 0,857 < 1 \quad H=6\text{m et } b=7\text{m}$$

Le coefficient est donné par le quadrant inférieur droit en fonction du rapport A et B d'où :

$$\gamma_a = 1 \text{ et } \gamma_b = 0,95$$

➤ **Parois verticale**

Face au vent admet un coefficient $C_e = +0,8 \forall \gamma_a$

Sous le vent admet un coefficient $C_e = -(1,3\gamma_a - 0,8) = -0,5$

➤ **Parois inclinée (versant de la toiture)**

$$\text{Parois au vent : } C_e = -1,5 \left(0,33 - \frac{|\alpha|}{100} \right) = -1,5 \left(0,33 - \frac{|26,56|}{100} \right) = -1,43$$

$$\text{Parois sous le vent : } C_e = -1,5 \left(0,60 - \frac{|\alpha|}{100} \right) = -1,5 \left(0,60 - \frac{|26,56|}{100} \right) = -0,5$$

3.3.2.2 Actions intérieures

Le coefficient C_i qui sont obtenues par les formules 3.5 et 3.6 :

$$\text{Face au vent : } C_i = +0,6(1,8-1,3\gamma_a) = +0,3 \quad \mathbf{3.5}$$

$$\text{Face sous le vent : } C_i = -(1,3\gamma_a - 0,8) = -0,6(1,3 \times 0,95 - 0,8) = -0,216 \quad \mathbf{3.6}$$

3.3.3 Actions résultantes

➤ Parois verticales

Les parois verticales sont obtenues par les formules 3.7 et 3.8 :

$$\text{Face au vent : } (0,8 + C_i) q = (0,8+0,3)q_h = 1,1q_h \quad \mathbf{3.7}$$

$$\text{Face sous le vent : } (-0,5+C_i) q = (-0,5+0,216)q_h = -0,28q_h \quad \mathbf{3.8}$$

➤ Parois inclinée

Les parois verticales sont obtenues par les formules 3.9 et 3.10 :

$$\text{Face au vent : } (-0,37-C_i) q = -1,73q_h \quad \mathbf{3.9}$$

$$\text{Face sous le vent : } (-0,4325+C_i)q_h = -0,284q_h \quad \mathbf{3.10}$$

3.3.4 Recherche des pressions dynamiques

Les pressions dynamiques de base dues au vent sur les parois verticales et sur les parois inclinée (toiture) qui sont données par les formules 3.11, 3.12, 3.13 et 3.14 :

➤ Parois verticale

$$\text{Face au vent : } V_1 = 1,1q \times K_s \times S \quad \mathbf{3.11}$$

$$\text{Face sous le vent : } V_2 = -0,28 \times K_s \times S \quad \mathbf{3.12}$$

$$V_1 = 1,1 \times 143,18 \text{ daN/m}^2 \times 1,25 \times 0,86$$

$$\mathbf{V_1 = 169,31 \text{ daN/m}^2}$$

$$V_2 = -0,28 \times 143,18 \text{ daN/m}^2 \times 1,25 \times 0,86$$

$$\mathbf{V_2 = -43,097 \text{ daN/m}^2}$$

➤ Parois inclinée

$$\text{Face au vent : } V_1 = 1,73 \times K_s \times S \quad \mathbf{3.13}$$

$$\text{Face sous le vent : } V_2 = -0,284 \times K_s \times S \quad \mathbf{3.14}$$

Face au vent :

$$V_1 = 1,73 \times 64,015 \text{ daN/m}^2 \times 1,25 \times 0,86$$

$$V_1 = 119,05 \text{ daN/m}^2$$

Face sous le vent :

$$V_2 = -0,284 \times 64,015 \text{ daN/m}^2 \times 1,25 \times 0,86$$

$$V_2 = -19,5 \text{ daN/m}^2$$

3.4 DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS

3.4.1 Calcul de la panne

3.4.1.1 Surface d'exploitation

Entre axe des fermes = 2.66m

Longueur des pannes = 3,5m

La surface d'influence égale:

$S = \text{Entre axe des fermes} \times \text{longueur des pannes}$

$$S = 2,66\text{m} \times 3,5\text{m} = \mathbf{9,31\text{m}^2}$$

Notre bâtiment étant d'usage de stockage, la valeur des surcharges sera de 7000 KN/m² selon les normes de la charpente en bois.

$$\mathbf{Q = 700 \text{ daN/m}^2}$$

3.4.1.2 Charge permanente

Supposant que:

- ✓ Poids de la couverture = 8 daN/m²
- ✓ Poids des matériaux = 10 daN/m²
- ✓ Poids des attaches = 6 daN/m²
- ✓ Charge exploitation; P_e

La charge permanente G est donnée par la formule 3.15 :

$$\mathbf{G = \text{Poids de la couverture} + \text{Poids des matériaux} + \text{Poids des attaches} \quad \mathbf{3.15}}$$

$$G=8+10+6=24 \text{ daN/m}^2 = 240 \text{ N/m}^2$$

Connaissant que :

$$\checkmark \text{ Surcharges climatique; } q_h = 143,18 \text{ daN/m}^2$$

Le poids d'entretien est donné par la formule 3.16:

$$\mathbf{P_e = P_{er} + P_{mt}} \quad \mathbf{3.16}$$

Avec: P_e = Poids de l'ouvrier d'entretien

P_{mt} = Poids des matériels d'entretien

En supposant que l'ouvrier pèse 90kg et le poids des matériels ou outils égal à 15kg

$$\mathbf{P_e = 90 + 15 = 105 \text{ kg}}$$

Multiplions ce poids par $g = 10 \text{ m/s}^2$

$$P_e = 105 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 1050 \text{ Kgm/s}^2 = 1050 \text{ N/m}^2$$

$$\mathbf{P_e = 105 \text{ daN/m}^2}$$

Le poids total P est donné par la formule 3.17:

$$\mathbf{P = G + P_e} \quad \mathbf{3.17}$$

$$P = 24 + 105 = \mathbf{349 \text{ daN/m}^2}$$

En multipliant par le coefficient de sécurité $\gamma = 1,35$

$$P = 349 \text{ daN/m}^2 \times 1,35 = \mathbf{471,15 \text{ daN/m}^2}$$

3.4.1.3 Surface d'influence pour la panne

Ayant trouvé dans nos lignes précédentes que la surface d'influence $S_{\text{panne}} = 9,31 \text{ m}^2$

3.4.1.4 Vérification de la panne

Nous allons vérifier si la section qu'on s'est proposé est convenable pour notre structure :

La vérification s'effectuera sous la formule 3.18:

$$\min \left| \frac{\sigma_{cy}}{F_{m,c,d,z}} + k_m \frac{\sigma_{cz}}{F_{m,c,d,y}} \right| \leq 1 \quad \mathbf{3.18}$$

$$\left| k_m \frac{\sigma_{cy}}{F_{m,c,d,y}} + \frac{\sigma_{cz}}{F_{m,c,d,z}} \right|$$

EN ELU

Nous utiliserons la formule 3.19:

$$\mathbf{P = 1.3 G + 1.5 Q} \quad \mathbf{3.19}$$

$$P = 996.585 \text{ daN/m}^2$$

$$P_y = P \times \sin 26,56^\circ$$

$$P_y = 445.6 \text{ daN}$$

$$P_y = 4.456 \text{ KN}$$

$$P_z = P \times \cos 26,56^\circ$$

$$P_z = 891.41 \text{ daN}$$

$$P_z = 8.91 \text{ KN}$$

$$Q_h = 64,015 \text{ daN/m}^2\text{m}$$

$$Q = q_h \times 9.31\text{m} = 256,06\text{daN/m}^2$$

Les moments sont obtenus par les formules 3.20 et 3.21 :

$$\mathbf{M_y = \frac{P_z}{8} l^2} \quad \mathbf{3.20}$$

$$\mathbf{M_z = \frac{P_y}{8} l^2} \quad \mathbf{3.21}$$

Avec l : la distance entre fermes

$$M_y = 7.88 \text{ KNm}$$

$$M_z = 3.94 \text{ KNm}$$

Les moments d'inerties sont obtenus par la formule 3.22 :

$$\mathbf{I_y = I_z = \frac{1}{12} h^4} \quad \mathbf{3.22}$$

$I_y = I_z$ car, la section est carrée $h = 60\text{mm}$

$$I_y = I_z = 1080000\text{mm}^4$$

Les contraintes sont données par les formules 3.23

$$\mathbf{\sigma_{c,y} = \frac{M_z}{I_z} v} \quad \mathbf{\sigma_{c,z} = \frac{M_y}{I_y} v} \quad \mathbf{3.23}$$

$$\text{Or } v = \frac{h}{2}$$

$$\sigma_{c,y} = 0.109\text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,z} = 0.218 \text{ N/mm}^2$$

Résistance de flexion induite par la combinaison d'action des états limites ultimes calculée en MPa est donnée par la formule 3.24 :

$$F_{m,c,d,z} = f_{m,c,d,y} \frac{f_{m,k} \times k_{mod} \times k_s \times K_h}{\gamma_{mod}} \quad 3.24$$

Avec: $f_{m,k} = 40 \text{ N/mm}^2$

$$k_{mod}=0.6$$

$$k_s=1.25$$

$$k_h=1.24$$

$$\gamma_{mod}=1.3$$

$$F_{m,c,d,z} = f_{m,c,d,y} = 28.6 \text{ N/mm}^2$$

Enfin faisons la verification;

$$\left| \frac{0.109}{28.6} + 0.7 \frac{0.218}{28.6} \right| \leq 1 \quad \left| \frac{0.009}{0.0102} \right| \leq 1$$

D'où notre section est convenable

3.4.2 Calcul de la ferme

3.4.2.1 Inventaire des charges

a. **Charge permanente** : $P=471,15 \text{ daN/m}^2$

b. **Charge de vent**

La charge du vent composé des charges V1 et V2

$$V_1=119,05 \text{ daN/m}^2$$

$$V_2=19,54 \text{ daN/m}^2$$

Multiplions les deux valeurs par le coefficient de sécurité $\gamma = 1,35$

$$V_1=160,7 \text{ daN/m}^2$$

$$V_2=26,4 \text{ daN/m}^2$$

Multiplions ensuite les deux charges par la distance entre deux fermes (2,66m) pour avoir une charge linéique :

$$V_1= 427,46 \text{ daN/m}^2$$

$$V_2= 70,16 \text{ daN/m}^2$$

Inventaire des charges sur notre ferme

Les charges linéiques en multipliant les charges par la distance entre fermes sont :

$$V_1 = 427,46 \text{ daN/m}^2$$

$$V_2 = 70,16 \text{ daN/m}^2$$

$$P = 1253,259 \text{ daN/m}^2$$

c. Répartition des charges concentrées sur les nœuds

Déterminons ensuite les charges concentrées sur les nœuds de la ferme, qui sont obtenus à partir du produit des charges linéique et des longueurs des barres

➤ Charge permanente $P = 1253,259 \text{ daN/m}^2$

On multipliera par

$$P_1 = 1253,259 \text{ daN/m}^2 \times 0,75 \text{ m} = 940 \text{ daN}$$

$$P_2 = 1253,259 \text{ daN/m}^2 \times 1,5 \text{ m} = 1879,88 \text{ daN}$$

$$P_3 = 1253,259 \text{ daN/m}^2 \times 1,5 \text{ m} = 1879,88 \text{ daN}$$

$$P_4 = 1253,259 \text{ daN/m}^2 \times 0,75 \text{ m} = 940 \text{ daN}$$

Pour les charges V_1 et V_2 on effectuera le même processus on a :

Face au vent : $V_1 = 427,46 \text{ daN/m}^2$

$$V_{11} = 320,6 \text{ daN} \quad V_{12} = 641,19 \text{ daN}$$

$$V_{13} = 641,19 \text{ daN} \quad V_{14} = 320,6 \text{ daN}$$

Face sous le vent : $V_2 = 70,16 \text{ daN/m}^2$

$$V_{21} = 52,62 \text{ daN} \quad V_{22} = 105,24 \text{ daN}$$

$$V_{23} = 105,24 \text{ daN} \quad V_{24} = 52,62 \text{ daN}$$

Trouvons maintenant les composantes de la charge du vent en X et Y, nous constatons que les forces sont perpendiculaires au versant de la toiture.

Nous remarquons qu'à la partie du versant les forces font avec l'horizontal un angle β .

$$\beta = \alpha + 90^\circ \quad \text{Avec } \alpha = 26,56^\circ$$

$$\beta = 116,56^\circ$$

Suivant la partie au vent on a en X : $V_X = V_{1X} \times \cos \beta$

$$V_{11X} = -143,3 \text{ daN}$$

$$V_{12X} = -286,6 \text{ daN}$$

$$V_{13X} = -286,6 \text{ daN}$$

$$V_{14X} = -143,3 \text{ daN}$$

$$\text{En Y : } V_X = V_{1X} \times \sin \beta$$

$$V_{11Y} = 286,6 \text{ daN}$$

$$V_{12Y} = 573,2 \text{ daN}$$

$$V_{13Y} = 573,2 \text{ daN}$$

$$V_{14Y} = 286,6 \text{ daN}$$

Suivant la partie sous le vent on a :

$$\text{Ici pour trouver l'angle } \beta \text{ on fait : } \beta = 90^\circ - \alpha$$

$$\text{Selon l'axe X : } \beta = 63,5^\circ$$

$$V_X = V_{2X} \times \cos \beta$$

$$V_{21X} = 23,46 \text{ daN}$$

$$V_{22X} = 46,9 \text{ daN}$$

$$V_{23X} = 46,9 \text{ daN}$$

$$V_{24X} = 23,46 \text{ daN}$$

Suivant l'axe Y :

$$V_{21Y} = 47,04 \text{ daN}$$

$$V_{22Y} = 94,08 \text{ daN}$$

$$V_{23Y} = 94,08 \text{ daN}$$

$$V_{24Y} = 47,04 \text{ daN}$$

- **Vérification de l'isostaticité**

Pour déterminé l'isostaticité on procedera par la formule 3.25

$$2n - b = 3$$

3.25

$$2 \times 7 - 11 = 3$$

3 = 3 Condition vérifiée

- **Les reactions aux appuis**

$$\sum F_x = 0$$

$$-H_B + V_{1,2,3,4,x} \text{ (face au vent)} + V_{1,2,3,4,x} \text{ (sous le vent)} = 0$$

$$H_B = 718,48 \text{ daN}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$V_A + V_B = P_{1,2,3,4} \text{ (face au vent)} + P_{5,6,7,8} \text{ (sous le vent)} + V_{1,2,3,4,y} \text{ (face au vent)} + V_{1,2,3,4,y} \text{ (sous le vent)}$$

$$P_{1,2,3,4} \text{ (face au vent)} = P_{5,6,7,8} \text{ (sous le vent)}$$

$$V_A = 7641,6 \text{ daN} - V_B$$

$$\sum M_A = 0$$

$$1,333(V_{1,2,y} + P_2) + 2,666(V_{1,3,y} + P_3) + 3,999(V_{1,4,y} + P_4 - V_{12y}) + 5,332(P_5 - V_{2,2,y}) + 6,665(P_6 - V_{2,3,y}) + 8(P_7 - V_{2,4,y}) - 8V_B = 0$$

$$V_B = \frac{38083,75 \text{ daN}}{8}$$

$$V_B = 4760,46 \text{ daN}$$

$$V_A = 2881,13 \text{ daN}$$

- **Détermination des efforts dans les barres**

Nœud A

$$\sum F_x = 0$$

$$-V_{11x} + N_1 \cos 26,56^\circ + N_2 = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$-V_{11y} - P_1 - V_A + N_1 \sin 26,56^\circ = 0$$

$$143,3 \text{ daN} + N_1 \cos 26,56^\circ + N_2 = 0 \quad (1)$$

$$-286,6 \text{ daN} + 940 \text{ daN} + 2881,13 \text{ daN} + N_1 \sin 26,56^\circ = 0 \quad (2)$$

$$N_1 \sin 26,56^\circ = -1654,53 \text{ daN} \quad (1)$$

$$N_1 = -3700,58 \text{ daN} \quad (3)$$

(3) dans (1)

$$143,3 \text{ daN} - 3700,58 \cos 26,56^\circ + N_2 = 0$$

$$143,3 \text{ daN} - 3310,04 + N_2 = 0$$

$$N_2 = -3165,01 \text{ daN} \quad (4)$$

Nous avons synthétisé les résultats obtenus des efforts dans les barres dans le tableau 3-1, après avoir effectué tous les calculs.

Tableau 3-1: Tableau récapitulatif des efforts et sollicitations dans les barres

N° Barres	Efforts normaux(en daN)	Sollicitations	Types	Efforts à prendre pour le dimensionnement
1	-3700,58daN	Compression	Arbalétrier	
2	3165,01daN	Traction	Entrait	
3	0daN	-	Fiche ou montant	
4	2583,62daN	Traction	Arbalétrier	
5	-5963,59daN	Compression	Contre-fiche	✓
6	3165,01daN	Traction	Entrait	
7	2666,32daN	Traction	Fiche ou montant	✓
8	-2662,25daN	Compression	Arbalétrier	
9	5566,38daN	Traction	Contre-fiche	
10	-2166,44daN	Compression	Entrait	
11	-1666,97daN	Compression	Poinçon	✓
12	-2528,2daN	Compression	Arbalétrier	
13	-1837,97daN	Compression	Contre-fiche	
14	4453,04daN	Traction	Entrait	✓
15	-611,58daN	Compression	Fiche	
16	-3950,25daN	Compression	Arbalétrier	
17	1367,88daN	Traction	Contre-fiche	
18	3230,15daN	Traction	Entrait	
19	0daN	-	Fiche	
20	2634,92daN	Traction	Arbalétrier	
21	-2332,16daN	Compression	Entrait	

3.5 DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS DE LA FERME

Avec nos formules 3.26 et 3.27 :

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq f_{od} \quad 3.26$$

$$f_{od} = \frac{\sigma_{adm} \times k_{mod}}{\gamma_M} \quad 3.27$$

Trouvons les sections ;

➤ **Section de l'arbalétrier**

Au total on a six entrants

La barre la plus sollicitée est $N_{14}=4453,04\text{daN}=445304\text{N}$ (Traction)

$$S \geq \frac{N_{14} \times \gamma_f \times \gamma_M}{F_{t,0,k}}$$

$$S = \frac{445304 \times 1,5 \times 1,3}{24} = \mathbf{36180,95\text{mm}^2}$$

Nous adopterons une section de 200mm×200mm

➤ **Section fiche (4 Fiches)**

La barre la plus sollicitée est $N_7=226632\text{N}$ (Traction)

$$S = \frac{226632 \times 1,5 \times 1,3}{24} = \mathbf{21663,85\text{ mm}^2}$$

Nous adopterons une section de 150mm×150mm

➤ **Section contre-fiche (4 Contre-fiche)**

La barre la plus sollicitée est $N_5=596359\text{N}$ (Compression)

$$S = \frac{596359 \times 1,5 \times 1,3}{26} = \mathbf{44726,92\text{ mm}^2}$$

Nous adopterons une section de 250mm×250mm

➤ **Section poinçon**

La barre la plus sollicitée est $N_{11}=166697\text{N}$ (Compression)

$$S = \frac{166697 \times 1,5 \times 1,3}{26} = \mathbf{12502,27\text{ mm}^2}$$

Nous adopterons une section de 150mm×150mm

Dans le but d'uniformiser toutes la section de la structure, nous considérons une section de 80cm² comme section moyenne de toutes les barres qui est une section qu'on trouve au marché avec les madriers.

Car si nous optons pour nos sections calculées, nous serons obligés de recourir aux machines pour réduire nos sections.

D'où on utilisera la section de 80cm².

3.6 DIMENSIONNEMENT DES POTEAUX

3.6.1 Hypothèses

- Longueur du poteau : 4m
- Espacement entre les poteaux : 4m
- Charges permanente :

$$N_p = 471,15 \text{ daN/m}^2 \times 4 \text{ m} \times 8 \text{ m} / 2 = 7538,4 \text{ daN}$$

- Surcharge du vent dans le sens vertical V :

$$N_v = 43,097 \text{ daN/m}^2 \times 4 \text{ m} \times 8 \text{ m} / 2 = 689,5 \text{ daN}$$

- La section du poteau est de 150mm × 150mm

D'où l'effort de compression total du poteau est :

$$N = 7538,4 \text{ daN} + 689,5 \text{ daN} = 8227,952 \text{ daN}$$

$$N = 822795,2 \text{ N}$$

3.6.2 Calcul de section du poteau en bois

En connaissant la contrainte admissible en compression du matériau il sera question d'utiliser la formule 3.28 pour déterminer la section du poteau ;

$$\Sigma \frac{N}{A} y_M \leq \sigma_{adm} \quad 3.28$$

$$\frac{N}{S} \leq \sigma_{adm}$$

$$S \geq \frac{N}{\sigma_{adm}} \quad S = \frac{822795,2 \text{ N}}{26 \text{ N/mm}^2}$$

$$S = 31645,9 \text{ mm}^2$$

$$S \geq 31645,9 \text{ mm}^2$$

Nous adopterons une section de 200mm × 200mm

Vérifications s'il y a flambement :

$$\text{Elancement est donné par : } \lambda = \frac{l_{flamb}}{\sqrt{\frac{I}{A}}}$$

Sachant que;

$$l_{flamb} = k_0 \cdot l ; k_0 = 1 \text{ pour les barres bi articulés avec la condition } 180 \geq \lambda$$

Soit $\beta_c = 0,2$ pour le bois massif

$$\lambda_E = \pi \times \sqrt{\frac{9,4\text{KN/mm}^2}{26\text{N/mm}^2}} \quad \text{Avec : } f_{c,0,k} : 26\text{N/mm}^2 ; E_{0,05} : 9,4\text{KN/mm}^2$$

$$\lambda_E = 361,538$$

La longueur du flambement de la pièce est de $l_k = 0,85 \times l$ (encasté appuyé)

$$L_k = 0,85 \times 4\text{m} = 3,4\text{m}$$

$$\lambda_y = \frac{lk}{i} \quad \text{avec :} \quad i = \frac{I}{A} \text{ ou } I \text{ est le moment d'encastrement et } A \text{ est la section}$$

$$\lambda_y = \frac{3,4\text{m}}{0,00057\text{m}} \quad I = \frac{0,000571787}{12} = 0,00004764\text{m}^4$$

$$\lambda_y = 5964,9 \quad i = \sqrt{\frac{0,00004764\text{m}^4}{0,083\text{m}^2}} = 0,00057\text{m}$$

$$\frac{\lambda_y}{\lambda_E} = \frac{5964,9}{361,538} = 16,49$$

Comme $16,49 \leq 37,5$

D'où les piliers respectent les conditions du flambement.

3.7 ASSEMBLAGES DES ELEMENTS

A. Calculs sur les assemblages

Pour déterminer le diamètre du clou ou du boulon on procédera par la formule 3.29 :

$$\tau = \frac{N^*}{2\pi d^2/4} \leq \sigma_r \quad \mathbf{3.29}$$

Avec :

N^* : L'effort pondéré

$\gamma_{fa} = 1,15$; coefficient de sécurité du bois

$\gamma_{fb} = 1,3$; coefficient de sécurité du bois

$$N^* = N_i \times \gamma_{fb}$$

$$\sigma_r = \frac{\sigma_i}{\gamma_{fa}}$$

On va travailler avec l'effort le plus défavorable dans chaque barre aboutissant à un nœud, nous calculerons pour chaque nœud.

- **Nœud D et L**

La plus grande charge est $N6=3165,01\text{daN}=316501\text{N}$

$$F^* = 316501\text{N} \times 1,3 = 411451,3\text{N}$$

$$\sigma_r = \frac{\sigma_i}{\gamma f a} = 208,697\text{N/mm}^2$$

$$d \geq \frac{41145,3 \times 4}{2 \times 3,14 \times 208,695} = 1255,76 \text{ mm}^2$$

Après les calculs pour chaque nœuds suivant le même processus, nous avons synthétisé nos résultats obtenus dans le tableau 3-2 :

Tableau 3-2: Tableau récapitulatif des efforts considérés

Nœuds	Efforts considérés	$d \geq$ (mm ²)
Nœuds D et L	N6	1255,76
Nœuds A et B	N1	1468,29
Nœuds C et K	N5	2366,13
Nœuds E et I	N9	2208,536
Nœud G	N8	1056,28
Nœud H	N9	2208,536
Nœuds F et J	N6	1255,76

Selon que le nombre des boulons seront élevé, le diamètre de celui-ci baisse. Pour notre bâtiment, nous prendrons des boulons de 45mm de diamètre [3].

3.8 LA FONDATION

Cherchons la charge totale :

$P =$ Les charges permanentes +charges des poteaux+marges

Par hypothèse ; prenons la marge égale à 30daN

$$P = 1879,88 \text{ daN} + 940 \text{ daN} + 1879,88 \text{ daN} + 940 \text{ daN} + 8227,952\text{daN} + 30\text{daN}$$

$$P = 13897,712\text{daN}$$

3.8.1 Détermination de l'épaisseur de la fondation

Le sol de Rutshuru étant de moyenne portance, on prend par sondage des expertises des bureaux d'étude du lieu $e_p = 0,2 \text{ N/mm}^2$.

$$A = P / e_p = 13897,712 \text{ daN} / 0,02 = 694885,6 \text{ mm}^2 = 0,6948856 \text{ m}^2$$

La racine carré de A nous conduit à l'épaisseur de la fondation.

$$e_f = \sqrt{A} = 0.83359 \text{ m}$$

3.8.2 Détermination de la hauteur de la fondation

On obtient la hauteur apparente nécessaire en multipliant l'épaisseur du mur par la tangente de 60° ,

$$\text{Soit } h = a \times \sqrt{3},$$

Avec : h ; la hauteur apparent nécessaire

a ; l'épaisseur du mur.

Et pour notre cas on prend l'épaisseur du mur en fonction de la section du poteau, Ce qui implique que $a = 150 \text{ mm}$

$$h = a \times \sqrt{3} = 150 \times \sqrt{3} = 259,81 \text{ mm}$$

3.9 CONCLUSION PARTIELLE

Dans cette partie du travail nous avons dimensionné les éléments de la structure dont les éléments de la ferme, les poteaux ainsi que la fondation. Tout cela pour assurer sur la solidité du bâtiment en déterminant les différentes sections des éléments structuraux de notre ouvrage pour son exploitation en toute sécurité. Le hangar a une forme rectangulaire de longueur $L=16\text{m}$, de largeur $l=7\text{m}$, de hauteur totale $H=6\text{m}$; avec comme hauteur de la toiture $h=2\text{m}$.

Ainsi les caractéristiques géométriques des sections obtenues pour les différents éléments sont reprises dans le tableau 3-3 :

Tableau 3-3 Tableau récapitulatif des dimensions des éléments du hangar

ELEMENTS	DIMENSIONS
PANNES	60x60mm ²
ARBALETRIERS	200 x 200mm ²
ENTRAITS	200 x 200mm ²
MONTANTS	150 x 150mm ²
DIAGONALES	250 x 250 mm ²
POTEAUX	200 x200mm ²
BOULONS	Ø45mm

3.10 CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail a porté sur la conception et dimensionnement d'un hangar en bois dans la plantation du riz à KIWANJA. Cet ouvrage permettra en toute sécurité de stocker la récolte sans inquiétude.

Dans ce travail, nous avons présenté en premier lieu les généralités du matériau bois, en second lieu la méthodologie dans laquelle nous avons relevé les méthodes de dimensionnement des éléments important d'un hangar et en dernier lieu nous avons traité le dimensionnement proprement-dit des éléments structuraux et la vérification des sections décrites dans le chapitre deux.

Pour arriver aux objectifs du travail il a été question nous avons diverses normes comme Eurocode5, NV65. Ces normes ont été utilisées dans les calculs de vérification effectués afin de s'assurer que les dimensions des sections choisies permettent d'avoir une structure qui résiste aux contraintes engendrées par les charges considérées, à savoir la charge du vent, la surcharge d'exploitation ainsi que le poids propre des éléments.

En définitif, à l'issue de ce travail, nous avons trouvé des résultats satisfaisants basés sur les différentes normes :

- Les pannes ont la même section de $60 \times 60 \text{mm}^2$
- Les éléments de la ferme ont les sections suivantes : les arbalétriers une section de $200 \times 200 \text{mm}^2$, les montants $150 \times 150 \text{mm}^2$, les diagonales $250 \times 250 \text{mm}^2$ et enfin les entrants $200 \times 200 \text{mm}^2$.
- Tous les poteaux supportant la charpente ont la même section de $200 \times 200 \text{mm}^2$.
- Les boulons utilisés pour les assemblages ont pour section de 45mm.

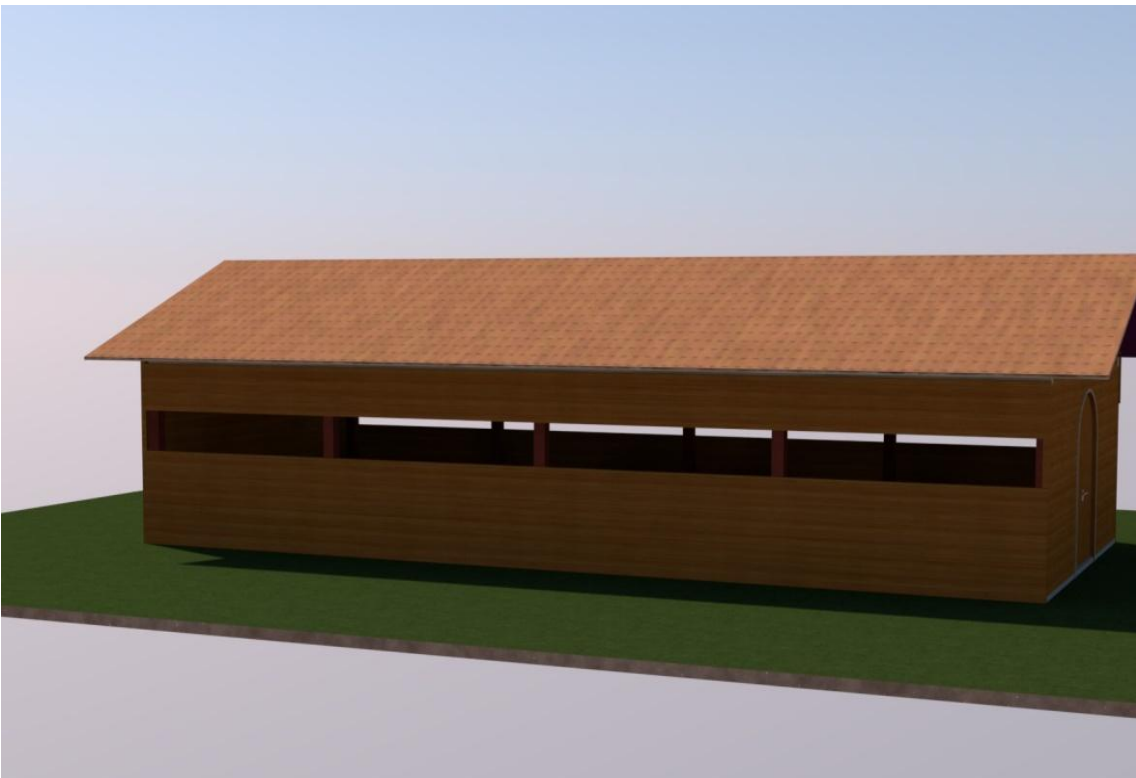
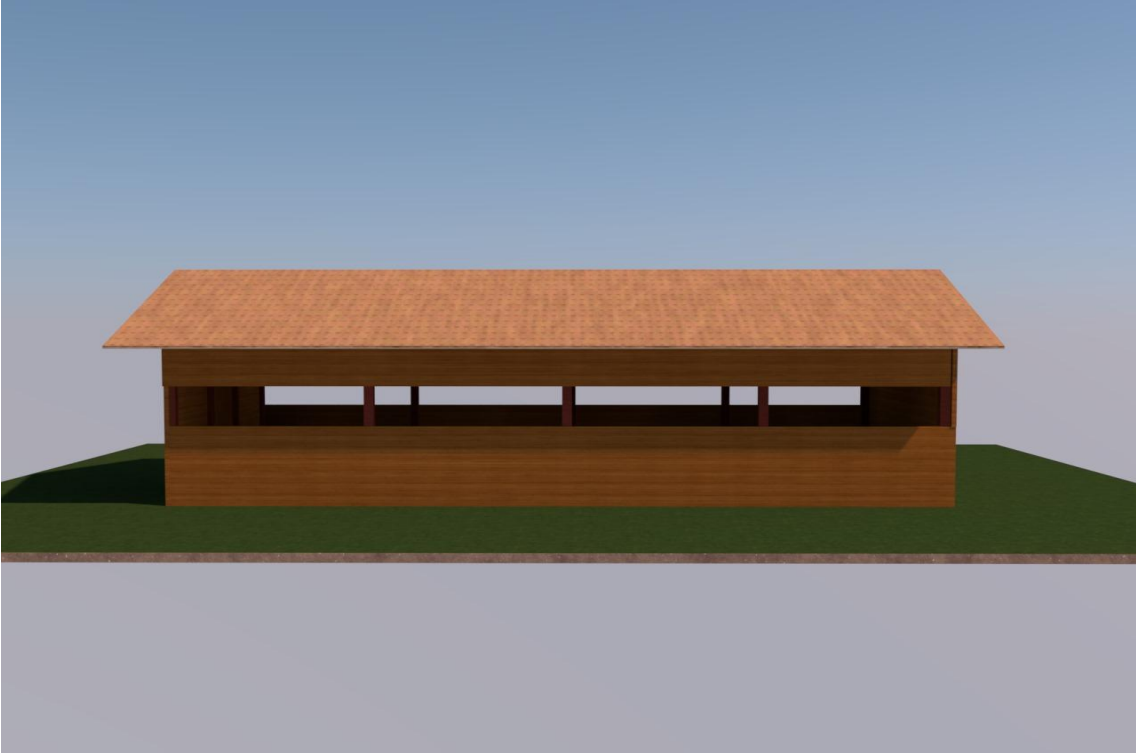
Pour clore, nous estimons avoir réalisé un travail complet pour toute référence en matière de construction en bois dans le territoire de Rutshuru. Néanmoins, comme toute œuvre humaine, ce travail n'est pas parfait ; ainsi, les remarques et suggestions sont les bienvenues.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] «Hangar,» [En ligne]. Available: www.wikipedia.org. [Accès le 12 septembre 2022].
- [2] C. B. Shérif, *Cours de construction en bois G3 Genie Civil/ULPGL*, 2021-2022.
- [3] N. S. Deogratias, «Conception et dimensionnement d'un entrepot de café en bois à toiture translucide,» 2019-2020.
- [4] «pont routier,» [En ligne]. Available: www.google.com. [Accès le 29 Janvier 2023].
- [5] «Ecran en bois,» [En ligne]. Available: www.google.com. [Accès le 29 Janvier 2023].
- [6] «glissiere de sécurité en bois,» [En ligne]. Available: www.google.com. [Accès le 29 Janvier 2023].
- [7] «pylone et poteau,» [En ligne]. Available: www.google.com. [Accès le 29 Janvier 2023].
- [8] «soutien de terre,» [En ligne]. Available: www.google.com. [Accès le 29 Janvier 2023].
- [9] C. E. MURHIMANYI, «Conception et dimensionnement d'un hangar en bois couvrant les parkings du Campus Moise/ULPGL-Goma,» 2017-2018.
- [10] K. E. RUGOSO, «Dimensionnement d'un hangar en bois pour le marché public de Kala dans la ville d'Uvira,» 2018-2019.
- [11] B. F. MURHULA, «AMENAGEMENT D'UNE COUVERTURE D'UN SITE COMERCIAL PAR UNE CHARPENTE EN BOIS: cas du marché central de Mugunga,» 2020-2021.
- [12] BENOIT, LEGRAND et V.TASTET, Eurocode 5; Calcul des structures en bois, Eyrolles, Deuxieme tirage 2008.
- [13] «assemblage boulon,» [En ligne]. Available: www.google.com. [Accès le 29 Janvier 2023].
- [14] «Calcul de la fondation,» [En ligne]. Available: <https://www.syma-maisonbois.fr/Fondations%20et%20dalle%20maison%20bois.htm>. [Accès le 29 janvier 2023].
- [15] Y.Benoit, Eurocode 5, Afnor, pp. 61,195,319.
- [16] «Bois,» [En ligne]. Available: www.cecobois.com. [Accès le 12 Septembre 2022].
- [17] «passerelle,» [En ligne]. Available: www.google.com. [Accès le 29 Janvier 2023].

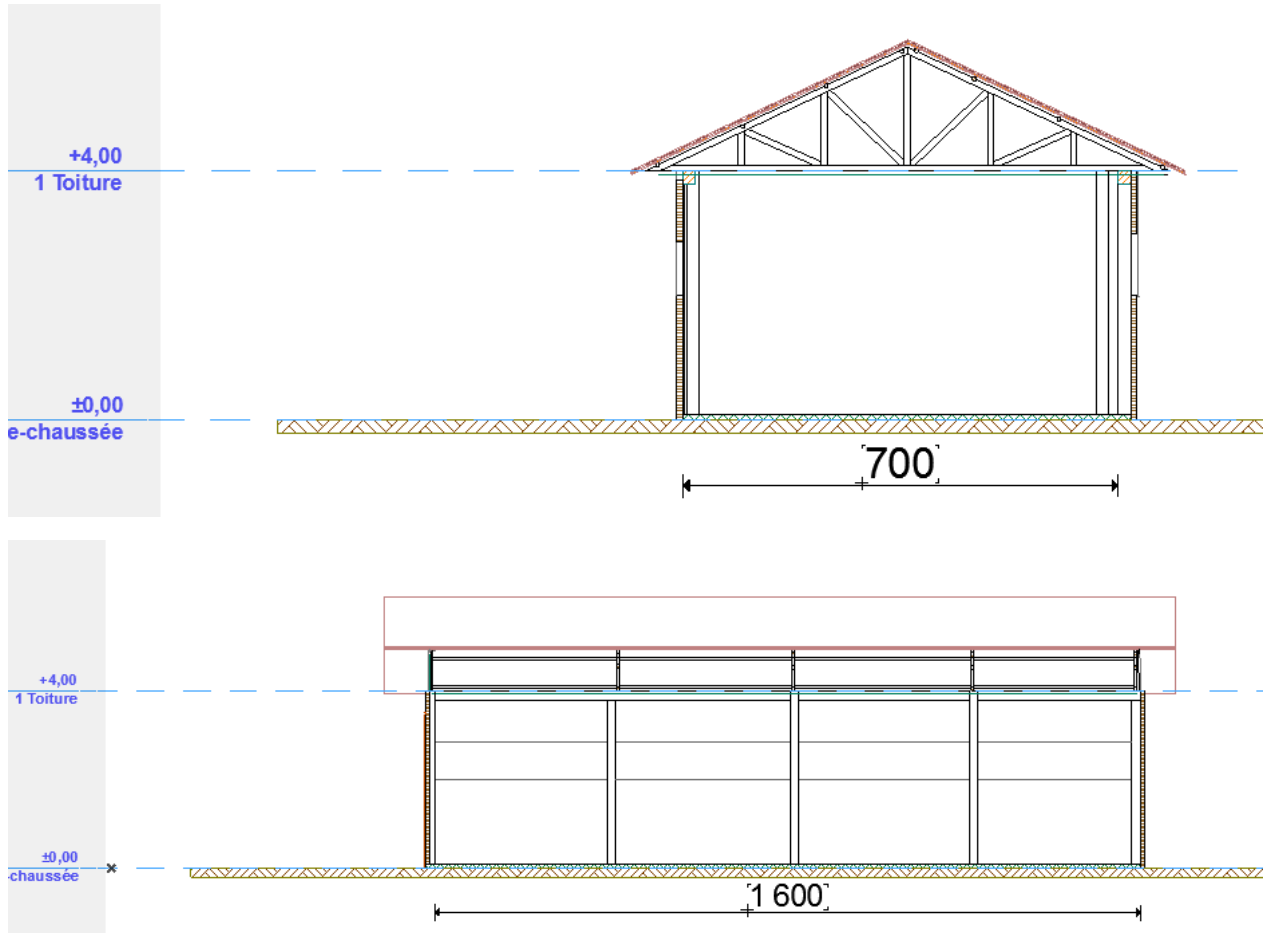
ANNEXES

Annexe 1: Les différentes façades (successivement la façade principale, arrière, gauche et droite)





Annexe 2: Les différentes coupes



Annexe 3: Le plan structural

