



UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA – BOUMERDES

Faculté des sciences de l'ingénieur
DEPARTEMENT GENIE DES MATERIAUX
En vue de l'obtention du titre de Magister

OPTION : PHYSIQUE ET MECANIQUE DES MATERIAUX

MEMOIRE DE MAGISTER

THEME

Présenté par
Mme BELABID FATIHA

***Dimensionnement probabiliste d'une structure de charpente
en bois de pin d'Alep***

Soutenue le :

Devant le jury composé de :

Président :	Mr ZERIZER A.	MC	Université de Boumerdes
Examineur :	Mr BEZZAZI B.	Professeur	Université de Boumerdes
Examineur :	Mr AIT TAHAR K.	MC	Université de Tizi Ouzou
Examineur :	Mr BELAIDI I.	CC Dr de l'ENSAM	Université de Boumerdes
Rapporteur :	Mr BENOTMANE .	CC	Université de Boumerdes

RESUME :

L'approche probabiliste dans les règles de calcul des structures. Ainsi une meilleure utilisation du matériau bois dans le domaine de la construction notamment dans les structures , est tributaire de la connaissance des propriétés physiques et mécaniques du matériau d'une part et de la maîtrise des règles de calcul des structures d'autre part .

Dans ce travail ,notre intérêt porte sur l'étude des paramètres liés au dimensionnement d'une structure de charpente en bois de pin d'Alep , en utilisant une approche semi probabiliste .

La fiabilité peut intervenir également lors du fonctionnement du système, l'observation de l'évolution des pannes d'une structure permet d'avoir des informations sur les lois de probabilité des différentes défaillances .L'étude statique et l'étude statistique sont des parties intégrantes de la théorie de fiabilité.

cette étude , regroupant la méthode statique et la méthode statistique d'où la théorie de fiabilité,est centrée sur l'évolution de calcul statique et de la probabilité de bon fonctionnement d'une structure .

ABSTRACT :

In the goal of a Wood dimensionnement structure made about ALEP Wood , the probabilist approach was used .

The permanent actions and the variable ones were determined with the static méthode the euro code and the SIA .

The variances in relation with those actions were defined with the WEIBULL model .

The structure fiability was illustrated in the end in the accordance to a fiabilist méthode.

ملخص

من اجل تحديد مقاييس هيكل مصنوعة من خشب الصنوبر الحلبي. سيتم استعمال الطريقة عنى اسس احتمالي من تقييم خشب قانون « SIA » و « EUROCODES » الحمولات الدائمة و المتغيرة على الهيكل (الطريقة الثابتة) و تقييم المتغيرات التابعة لها (الطريقة الاحصائية) ثم تقييم مؤشر تامين الهيكل حسب طريقة احتمالية مضمونها نموذج يانيول.

Table des matières

Introduction Générale

PARTIE 1

Chapitre I : Structure anatomique et singularités du bois de pin d'Alep

I-1/ Anatomie du bois

I-1-1/ croissance de l'arbre.....	1
I-1-2/ Anatomie du bois	1
I-1-3/ Classification botanique	2
a/ Les résineux	2
b/ Les feuillus	2
I-2/ Singularités du bois.....	3

Chapitre II/ Propriétés physiques de la structure

II-I/ Introduction	4
II-I-1/ Masse volumique	4
a/ Masse volumique apparente à Sec	5
b/ Masse volumique à l'état humide	5
c/ Variation de la densité	5
II-1-2/ Hygroscopie	6
a/ Taux d'humidité	6
b/ Variations dimensionnelles et déformations	7
a/ Retrait volumique	7
II-2/ Propriétés thermiques.....	8
II-3/ Propriétés acoustiques	8

Chapitre III / Propriétés mécaniques de la structure

III-1 / Propriétés mécaniques de la structure pin d'Alep	9
III-2/ Classement du bois	10
III-2-1/ Bois scié	10
III-2-2/ Bois rond	10
III-2-3/ Dimensionnement des éléments d'une charpente	11
a/ Dimensionnement des éléments d'une charpente en pin d'Alep	11

PARTIE 2

Chapitre IV / Approche probabiliste et dimensionnement des éléments d'une charpente

IV-1/ Méthode statique	13
a/ Introduction	13
b/ Choix de la structure de la charpente	13
IV-I-1 / Calcul des actions de la structure	14
a/ calcul des effets instantanés des actions	14
IV-I-2 / Résistance de la structure	15
a/ Résistance en section	16
b/ Traction parallèle aux fibres	16
c/ Traction perpendiculaire aux fibres	17
d/ Traction oblique	18
e/ Compression parallèle aux fibres	18
f/ Flambage linéaire	19
g/ Compression de section rectangulaire.....	19
h/ Compression de section circulaire	19
IV-I-3/ Calcul de flexion	
a/ Résistance en flexion	20
b/ Résistance au cisaillement	21
c/ Résistance au cisaillement pour une section rectangulaire	22
d/ Résistance au cisaillement pour une section circulaire	22
IV-I-4/ Flexion oblique	23
IV-I-5/ Flexion et effort normal combinées	23
a/ flexion et traction axiale combinées	24
b/ flexion et compression axiale combinées	25
IV-I-6/ Vérification des vibrations et des oscillations	25
a/ Vérification aux états limites de service	25
IV-I-7/ L'assemblage d'une charpente en bois	27
a/ Moyen d'assemblage traditionnel	27
b/ L' assemblage par contact bois –bois	27
c/ L' assemblage par contact bois –matériau dur	28
d/ Assemblage par embrèvements	28
d-1/ embrèvement simple	28
d-2/ embrèvement arrière	28
d-3/ embrèvement double	28
c/ Le jeu de l'assemblage	28
IV-2/Méthode statistique	29
a/ Caractéristiques essentielles d'un ensemble statistique	29
b/ Moyenne arithmétique	29

c/ Variance	29
d/ Ecart -type	29
e/ Coefficient de variation	30
f/ Estimation des caractéristiques statistiques	30
IV-3/ la Fiabilité des systèmes.....	31
a/ Caractéristique de fiabilité	31
b/ loi de weibull	31
c/ Expression du taux de défaillance.....	31
d/ fonction de répartition	31

PARTIE 3

Chapitre V / Méthodologie de calcul les paramètres de structure d'une charpente

V-1/ Méthode statique	33
V-1-1/ Essai de flexion	33
a/ Dispositif expérimental	33
V-1-2/ Essai de Traction	34
a/ Dispositif expérimental	34
V-1-3/ Essai de Compression	35
a/ Dispositif expérimental	35
b/ Calcul de la poutre simple	38
c/ Dimensionnement de la liaison sabot / tirant	38
e/ Assemblage par emboîtement	39
V-2/Méthode statistique	42
V-2-1/ Essai de flexion, traction et compression	42
moyenne arithmétique.....	43
Calcul de la variance.....	43
Ecart- type	44
Coefficient de variation	44
III-3/ Méthode De Fiabilité Des Systèmes.....	45
a /Essai de flexion, traction et compression	45
Etude de la fiabilité « loi Weibull».....	45
La fiabilité correspondante	45
La fonction de répartition	45
Taux de défaillance	45

PARTIE 4

Chapitre VI/ Résultats et interprétations

a/ Etude statique	46
b/ Etude statistique	59
c/ Etude fiabiliste	62

Chapitre VII- Conclusion générale	69
--	-----------

Bibliographie	71
----------------------------	-----------

Annexe	74
---------------------	-----------

Liste des illustrations

Partie 1

Chapitre I : Structure anatomique et singularités du bois .

Tableau N°01: présentation des couches de l'arbre	01
Tableau N°02: Récapitulatifs des singularités du bois	02

Chapitre II : Propriétés physiques de la structure

Tableau N°03: valeur de la masse volumique de pin d'Alep	04
Tableau N°04 : Valeurs de la masse volumique ρ_0 apparente à sec de Pin d'Alep	05
Tableau N°05 : Valeurs de la densité de pin d'Alep	06
Tableau N°06 : les différent taux d'humidité du bois	06
Tableau N°07 : le coefficient de retrait volumique	07

Chapitre III : Propriétés mécaniques de la structure

Tableau N°08 : Présentation des actions	10
Tableau N°09 : Coefficients de forme et distribution de la charge sur les toitures à 1 versant	10
Tableau N°10 : Coefficients de forme et distribution de la charge sur les toitures à 2 versants	10
Tableau N°11 : Présentation des différents classements du bois	11
Tableau N°12 : Dimensions standardisées des éléments d'une charpente	12

Partie 2

Chapitre IV : Approche probabiliste des éléments d'une charpente

Tableau N°0 1 : Les valeurs des coefficients des actions instantanés.....	15
Tableau N° 02: Valeur limites des flèches pour la déformation	23
Graphe N° 01: Allure de la fiabilité (loi de Weibull)	29
Graphe N° 02: l'obtention du paramètre de forme	30

Partie 3

Chapitre v : méthodologie d'étude des paramètres de structure

FIG N°01: Machine instron 5567 « Essai de flexion »	32
FIG N° 02 : Eprouvette de traction	33
FIG N° 03 : Eprouvette de compression	33

Partie 4

Chapitre VI: Résultats et interprétations

Tableau N° 01 : Résultats d'essai de flexion	74
Tableau N° 02 : Résultats d'essai de traction	75
Tableau N°03 : Résultats d'essai de compression	76
Tableau N°04 : Les résultats obtenus par la méthode statique	86
Tableau 05: Résultat de la fiabilité d'essai de flexion suivant « Weibull».....	78
Tableau 06 : Résultat de la fiabilité d'essai de traction suivant « weibull ».....	80
Tableau 07 : Résultat de la fiabilité d'essai de compression suivant « weibull »	82
Graphe N°03: Interprétation des résultats d'essai de flexion « loi de Weibull ».....	79
Graphe N°04: Interprétation des résultats d'essai de traction « loi de Weibull ».....	81
Graphe N°05: Interprétation des résultats d'essai de compression « loi de Weibull »....	83

Notation

Majuscule Latines

A : action accidentelle
A : air , surface
C : coefficient , facteur
C : effort normal de compression
C : porosité du bois
D : diamètre
E : module d'élasticité
F : force, action, décomposition d'efforts
G : action permanent
G : module de cisaillement
H : composante horizontale associée à un effort normal
I : inertie de la section
L : niveau sonore
M : moment de flexion
N : effort normal
P : force , action
Q : action variable , charge concentrée
R : résistance , réaction
S : moment statique
S : sollicitation
S : surface
T : effort normal de traction
V : effort tranchant , composante verticale
V : volume
W : module de flexion de la section
X : valeur du paramètre mécanique

Minuscule latines

a : dimension ,distance , épaisseur
b : largeur , épaisseur
c : grandeur géométrique
c : célérité
d : diamètre , grandeur géométrique
e : excentricité , entraxe
f : fréquence de vibration , résistance du matériau
f : grandeur géométrique
g : poids propre
h : hauteur
k : constante , coefficient
l : longueur , portée
m : nombre de section cisailées
m : masse
n : relatif à un nombre
p : *q* : charge répartie
q : pression
s : charge de neige
s : grandeur géométrique
t : durée *u*, *v*, *w* : déplacement
v : charge du au vent

Majuscule grecques

Δ : variation , différence
 Σ : somme

Minuscule grecques

α, β, γ : angles
 α : coefficient
 β : coefficient de gonflement / retrait
 β : facteur
 γ : poids volumique
 γ : coefficient partiel
 ε : déformation
 θ : angle
 λ : coefficient
 μ : coefficient
 π : pi
 ρ : masse volumique
 δ : contrainte normale
 τ : contrainte tangentielle ou cisaillement
 ϕ : humidité relative de l'air
 χ : coefficient
 ψ : facteur de combinaison

fonction

cos : cosinus
d : dérivée
f : densité de probabilité
F : densité de probabilité cumulée
Pf : probabilité de rupture
R : probabilité de fonctionnement
Sin : sinus
Tan : tangente
 μ : moment de flexion d'une poutre simple

Valeurs des contraintes

$\sigma_{c//}$: contrainte de compression // aux fibres
 $\sigma_{c\perp}$: contrainte de compression $\perp$ aux fibres
 $\sigma_{c\alpha}$: contrainte de compression oblique
 σ_{cr} : contrainte d'Euler
 σ_m : contrainte de flexion
 $\sigma_{t//}$: contrainte de traction // aux fibres
 $\sigma_{t\perp}$: contrainte de traction $\perp$ aux fibres

v : longueur d'avant –bois
 v :vitesse
 w :teneur en eau du bois

Valeurs des résistance selon Eurocode 5

$f_{c, //}$: résistance de compression // aux fibres
 $f_{c, \perp}$: résistance de compression $\perp$ aux fibres
 $f_{c, \alpha}$: résistance de compression oblique
 f_m : résistance de flexion
 $f_{m, j}$: résistance de flexion d'un joint d'aboutage
 $f_{t, //}$: résistance de traction // aux fibres
 $f_{t, \perp}$: résistance de traction $\perp$ aux fibres
 $f_{t, \alpha}$: résistance de traction oblique
 f_v : résistance de cisaillement
 f_v : fractile 5% de la distribution statistique associée

Valeurs des résistance selon SIA 164

$\sigma_{c, //}$: contrainte nominale de compression // aux fibres
 $\sigma_{c, \perp}$: contrainte nominale de compression $\perp$ aux fibres
 $\sigma_{c, \alpha}$: contrainte nominale de compression oblique
 $\sigma_{c, cr}$: contrainte nominale d'Euler
 $\sigma_{c, m}$: contrainte nominale de flexion
 $\sigma_{t, //}$: contrainte nominale de traction // aux fibres
 $\sigma_{t, \perp}$: contrainte nominale de traction $\perp$ aux fibres
 $\sigma_{t, \alpha}$: contrainte nominale de traction
 τ : contrainte nominale tangentielle
 τ_a : contrainte nominale de cisaillement

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Il existe près de 30 000 espèces de végétaux ligneux donnant du bois dans le monde. Chacune d'elles est identifiable par la structure de ses tissus et sa composition chimique ; on classe ses espèces en deux grands groupes : [1],[18],[9],[25]

- Les feuillus (chênes, châtaigner, sipo, bouleau, orme et acajou.....)
- Les résineux (pin maritime, sapin, mélèze, red cedar, pin sylvestre et douglas....)

Une centaine de ces espèces existe, mais seulement une dizaine d'entre elles sont couramment employées dans le bâtiment.

Le bois est une matière première renouvelable pour autant que le milieu où se développe soit géré de manière appropriée. Les exploitations trop intensives et les déforestations de certains pays provoquent des déséquilibres importants du biotope forestier dont les conséquences à long terme ne peuvent encore aujourd'hui être évaluées avec certitude.

Une exploitation judicieuse, en revanche, telle qu'elle est préconisée actuellement permet une gestion saine du matériau de construction qu'est le bois, tout en développant les fonctions protectrices et écologiques de la forêt. Par ailleurs, le bois étant un matériau naturel et renouvelable, son utilisation comme matériau de construction doit être privilégiée dans le cadre des nouvelles contraintes systématiques sur le développement durable au travers de la relation écologie - environnement – produits finis.

Le bois est un polymère complexe qui possède une organisation micro-structurale extrêmement élaborée. Les mécanismes de synthèse et de dégradation de la matière bois, en insistant sur la cellule, origine du plan ligneux.

Les efforts déployés au dix-neuvième et au vingtième siècle pour soumettre au calcul les propriétés de résistance des matériaux aux sollicitations mécaniques ont abouti à l'édification d'une science fort utile, certes, pour ce qu'elle apporte, mais, sont toutes, très académiques et laissant sans réponse de nombreux problèmes pratiques.

Il a donc fallu s'en retourner avec humilité vers l'étude expérimentale. Ce n'était pas encore assez. Si les lois de la déformation sont complexes, celles de la rupture le sont plus encore et, pourtant, c'est bien la rupture qui est essentiellement à craindre.

Il a donc bien fallu faire intervenir la théorie de fiabilité car c'est un moyen de chiffrer cette qualité, et par là même d'être en mesure de choisir de façon simple ce qu'il y a de meilleur.

La fiabilité peut intervenir dans le fonctionnement du système, l'observation de l'évolution des pannes d'un système permet d'avoir des informations sur les lois de probabilité des différentes défaillances. L'analyse statique des durées de vie fait donc partie intégrante de la théorie de fiabilité.

Cette étude, regroupant les méthodes mathématiques méthodes statiques et la théorie de fiabilité, est donc centrée sur l'évolution, en fonction du temps, de la probabilité de bon fonctionnement d'un système.

L'approche probabiliste dans les règles de calcul des structures, ainsi que la meilleure utilisation du matériau bois dans le domaine de construction, sont tributaires de la connaissance des propriétés physiques et mécaniques du matériau d'une part et de la maîtrise des règles de calcul des structures d'autre part.

Dans ce travail, notre intérêt porte sur l'étude des paramètres liés au dimensionnement d'une structure de charpente en bois de pin d'Alep, en utilisant une approche semi-probabiliste.

I / STRUCTURE ANATOMIQUE

I-1/ Anatomie du bois

I-1-1/ Croissance de l'arbre

La croissance de l'arbre se fait grâce à la création de cernes annuels composés [1], [2].

- * du bois final : couche étroite et dense, crée en été en période de croissance lente.
- * du bois initial : couche plus large, crée au printemps en période de croissance rapide.

La qualité d'un bois se reconnaît à ses cernes d'accroissement. La proportion entre le bois initial (bois de printemps) et le bois final (bois d'été) s'appelle la texture. Variable selon les essences et le climat, elle détermine souvent l'usage du bois

$$\text{Tex} = \text{BF} / (\text{BI} + \text{BF}) \quad \text{I-1}$$

I-1-2/ Anatomie du bois

La coupe transversale d'un tronc d'arbre fait apparaître, de l'extérieur vers l'intérieur :

Tableau N°01: présentation des couches de l'arbre

Désignation	Propriétés
Ecorce :	enveloppe extérieure protégeant les tissus en formation.
Aubier :	couche de bois en formation, de couleur claire, c'est la partie vivante du bois, elle est vulnérable aux attaques des parasites.
Bois parfait :	c'est la masse principale du tronc, appelée aussi bois de cœur ou duramen, elle est plus dense et en général plus sombre que l'aubier.
Moelle :	appelée aussi cœur mou. En règle générale, c'est une partie à éliminer. La protection du bois exige l'élimination de l'aubier
Les Nœuds	Ce sont les points d'attache des branches. Selon que la branche a été éliminée naturellement, volontairement ou accidentellement.

I-1-4/ Classification Botanique

On peut décomposer de façon simplifiée les bois en deux grandes classes qui sont :

- *Les essences résineuses classées dans les gymnospermes
- *Les essences feuillues classées dans les angiospermes

Les structures et la construction en bois sont généralement réalisées en résineux. On utilise cependant couramment certains feuillues pour réaliser au droit des assemblages, des sabots ou des cales permettant l'introduction de charges concentrées élevées, agissant transversalement aux fibres.

a/ Les Résineux

Les bois résineux sont apparus bien avant les bois feuillues dans l'histoire phylogénétique et datent d'environ 350 millions d'années. Le tissu est formé de trachéides qui sont les cellules fusiformes couramment appelées veines ou fibres du bois.

Les trachéides situées dans le bois de printemps remplissent en premier lieu une fonction conductrice et sont pourvues de nombreuses ponctuations aréolées qui servent à l'échange d'eau et de substances nutritives entre deux cellules longitudinales et radiales.

La répartition et les réserves de substances nutritives sont assurées par les cellules de parenchymes, qui sont disposées parallèlement (parenchymes axiaux) ou perpendiculairement (parenchymes radiaux) aux trachéides.

Les parenchymes radiaux se forment autour des rayons ligneux, appelés également rayons médullaires, représentant des trachéides horizontales.

Les trachéides du bois d'été ont des parois plus épaisses et constituent principalement un tissu de soutien conférant au bois ses qualités mécaniques. La plupart des résineux ont également des canaux résinifères qui sont disposés parallèlement aux trachéides.

Le pin d'Alep est une essence résineuse de bonne caractéristique mécanique qui est supérieure à celles du sapin et de l'épicéa, bois largement utilisé en construction chez le pin d'Alep. L'aubier est d'épaisseur faible et le duramen est nettement reconnaissable à sa couleur rouge, ce dernier à une bonne résistance aux attaques d'insectes naturels, ce qui peut favoriser l'utilisation du bois dans la construction.

Les caractéristiques mécaniques, spéciales pour le pin d'Alep, sont supérieures à celles du sapin et de l'épicéa. L'épaisseur de l'aubier est faible et le duramen est nettement reconnaissable à sa couleur rouge.

Cette essence est très appréciée dans la construction, en raison de la bonne résistance du duramen aux attaques d'insectes et des champignons, lui conférant une bonne durabilité naturelle. [10], [12], [15]

b/ Les Feuillus

Les feuillus montrent une réduction sensible de leurs caractéristiques. Ils sont donc appréciés pour leurs performances mécaniques transversales, alors que, à densité équivalente aux résineux, ils ont des propriétés plus faibles dans l'axe longitudinal [2].

L'épaisseur des parois des fibres détermine la densité ainsi que les principales propriétés physiques du bois. La densité varie très fortement chez les feuillus, alors qu'elle est relativement uniforme pour les résineux.

Sur la coupe transversale des feuillus les vaisseaux apparaissent comme des trous permettant de distinguer les feuillus des conifères, la distribution des pores est uniforme, porosité diffuse. Dans le cas contraire les pores sont concentrés dans le bois de printemps, (porosité annulaire). Ce qui explique que les rayons ligneux sont alors beaucoup plus apparents sur une coupe transversale, donc que les propriétés mécaniques transversales des feuillus sont supérieures à celles des résineux.

I-2/ Singularités du bois

Le bois peut présenter des singularités, c'est-à-dire des irrégularités de sa structure ou de sa composition chimique, qui modifient son aspect et ses propriétés et restreignent son emploi [1] [27], [29], [28].

Tableau N°02: Récapitulatifs des singularités du bois

Les Singularités	Propriétés
Blessures	Les causes : éclats d'obus, mauvais élagage, brûlures
Cœur excentré	il est dû au développement irrégulier d'arbres placés en bordure de forêt.
Élevures	Ce sont des fentes radiales causées par un froid brusque.
Roulure	C'est une fente circulaire due au décollement des cernes du bois sous l'action d'un froid intense et d'un vent violent.
Lunure	Causée par un froid intense, la lunure a l'aspect d'un anneau d'aubier blanchâtre situé dans le bois de cœur. Elle est fréquente chez le chêne.
Veines résineuses	Les veines résineuses peuvent nuire à la présentation des ouvrages. Les bois ainsi altérés n'acceptent aucun traitement.
Gui	Le gui est un parasite végétal qui est implanté sur l'arbre et détourne la sève à son profit. Sa prolifération peut amener l'épuisement complet du sujet.

CHAPITRE II

PROPRIETES PHYSIQUES DE LA STRUCTURE

II / PROPRIETES PHYSIQUES DE LA STRUCTURE

II-1/ INTRODUCTION

Tous les bois n'ont pas le même poids spécifique ; Certains sont légers, d'autres très lourds, la masse volumique varie non seulement d'une essence à l'autre, mais au sein d'une même espèce [1].

La résistance d'un bois augmente généralement avec sa masse volumique, il faut donc toujours tenir compte de la densité des pièces.

Il est important de remarquer que le bois est un matériau poreux. On considère en général que la surface des pores est grande relativement à la surface totale ; plus le bois est léger, et moins il est résistant, dur et stable.

La masse volumique est certainement le critère le plus important de la caractérisation physique du matériau bois, et cette caractéristique est très liée aux propriétés élastiques, donc mécaniques du bois.

La masse spécifique ρ_c de la matière ligneuse, ne varie pratiquement pas quelle que soit l'essence considérée [2].

II-1-1 / Masse volumique

En revanche, la masse volumique ρ du bois varie très fortement en fonction des paramètres suivants :

- * La teneur en eau H
- * L'essence
- * Les caractéristiques de croissance
- * La texture de croissance

La masse volumique du bois peut donc être donnée avec sa référence de teneur en eau. On définit la masse volumique ρ_o pour l'état anhydre et la masse volumique ρ_w pour une teneur en eau donnée.

Tableau N°03: valeur de la masse volumique de pin d'Alep

Désignation	Masse volumique (g/cm ³) à H = 12 %
*Pin d'Alep	* 0,5.....0,6

a/ Masse Volumique Apparente À Sec

ρ pour un bois ayant subi une dessiccation complète au four à 103 °C ($\omega=0\%$), est définie par [2] :

$$\rho_o = m_o / v_o \quad (\text{kg/m}^3) \quad \text{II.1}$$

m_o : masse à l'état anhydre (kg)

v_o : volume à l'état anhydre (m^3)

Tableau N°04: Valeurs en kg/m^3 de la masse volumique ρ_o apparente à sec [5]

Essence	Valeur moyenne		Limites et valeur moyenne
	Bois de printemps	Bois d'été	
Pin d'Alep	350	850	450.....510.....550

b/ Masse volumique à l'état humide

Pour un bois avec une teneur en eau ω déterminée, est défini par [2].

$$\rho_\omega = m_\omega / V_\omega \quad (\text{kg/m}^3) \quad \text{II-2}$$

m_ω : masse à l'état humide

V_ω : volume à l'état humide

m_ω, V_ω , en fonction de la masse et le volume à l'état anhydre.

$$\rho_\omega = (\rho_o (1+\omega/100)) / (1+ (\beta_{vol}/100)\omega) \quad \text{II-3}$$

β_{vol} : coefficient de gonflement volumique.

d/ Variation de la densité

La variation de la densité d'une essence à l'autre dépend de la porosité du bois .Le volume des pores C % est défini par [2]:

$$C = (1 - (\rho_o / \rho_\omega)) 100 \quad \% \quad \text{II-4}$$

La variation de ρ_0 et C , pour différentes essences, est donnée par les deux extrêmes que sont le balsa, pour le plus léger, et l'amourette qui est l'un des bois les plus denses. On remarque que la masse volumique ρ_0 du bois le plus lourd est obligatoirement inférieure, de façon sensible à la masse volumique ρ de la matière ligneuse afin de conserver une porosité vitale permettant la circulation de la sève.

Tableau N° :05 Valeurs en g/cm³ de la densité du pin d'Alep [5]

Essence	Valeur moyenne de la densité	
	à sec	à l' air
Pin d'Alep	0.520	0.560

II-I-2/ Hygroscopie

La teneur en eau du bois w , également appelée taux hygroscopique ou t_a d'humidité, est définie comme étant le rapport entre la masse d'eau contenue et la masse de bois à l'état sec [2].

$$w = \frac{m_w - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad \text{II-5}$$

m_w : masse à l'état humide

m_0 : masse à l'état

$m_w - m_0$: masse d'eau contenue dans bois

Cette définition de la teneur en eau implique que, pour des bois dont la porosité est supérieure à 60%, la teneur en eau peut être plus de 100%.

a/ Taux d'humidité

Il est indispensable de connaître exactement le taux d'humidité du bois que l'on veut utiliser, car sa résistance et ses déformations mécaniques en dépendent. Ainsi un bois léger gorgé d'eau peut être aussi lourd qu'un bois lourd contenant peu d'eau, mais il est beaucoup moins résistant.

$$T_h = (P_n - P_0) / P_0 \cdot 100 \quad \text{II-6}$$

T_h : Taux d'humidité, P_n : Poids initial du bois, P_0 : Poids du bois à l'état anhydre

Tableau N°06 : les différents taux d'humidité du bois

Désignation	Propriétés
Etat Anhydre (w=0%)	Il n'y a pas d'eau liée ou libre dans le bois (130° C)
Etat Liée (0% < w<30%)	Cette eau est dite liée au bois par l'intermédiaire d'une liaison
Point De Saturation (w=30%)	toutes les fibres sont saturées d'eau.
Eau Libre (w>30%)	Cette eau remplit les pores du bois (saturation totale)

b/ Variations Dimensionnelles Et Déformations

Les changements d'humidité provoquent la déformation des sciages et souvent des fentes :

*Retrait : après une évaporation d'humidité

*Gonflement : après une absorption d'humidité

On notera que les variations dimensionnelles longitudinales sont négligeables .Les variations perpendiculaires aux fibres sont en revanche importantes et varient d'un facteur deux selon que l'on soit orienté tangentiellement ou radialement par rapport aux cernes , l'anneau tangentiel est plus variable à cause de la continuité de sa haute densité .

$$\Delta l = (R / 100). \Delta w. L \quad \text{II-7}$$

Δl	: variation dimensionnelle selon la direction considérée	mm
R	: coefficient de gonflement et de retrait selon la direction naturelle considérée	%%
Δw	: part de la variation de la teneur en eau (comprise entre 0 et 30 %)	%
l	: longueur de l'élément	mm

$$\Delta a_l = a (R_l / 100). \Delta w \quad \text{II-8}$$

$$\Delta a_t = a (R_t / 100). \Delta w \quad \text{II-9}$$

$$\Delta a_r = a (R_r / 100). \Delta w \quad \text{II-10}$$

c/ Retrait volumique

Le retrait volumique traduit l'aptitude du bois à changer de volume .Le coefficient de rétractibilité volumétrique est sensiblement égal à la somme des trois coefficients de retrait linéaire .Il a une influence sur la qualification donnée aux bois et sur leur utilisation est : R_v le retrait volumique [5]

Tableau N° 07 : le coefficient de retrait volumique

Désignation	Retrait volumique (R_v)
*PIN D'ALEP	$0,15 < R < 0,35$

II- 2/ PROPRIETES THERMIQUES

II-2-1/ Dilatabilité Thermique

Les variations dimensionnelles du bois sous l'effet de la chaleur sont environ trois fois plus faibles que celles du béton ou l'acier [2].

Pour une variation de température de 1°C, ce coefficient, qui varie selon les essences, a une valeur moyenne de :

*0,50% x 10⁻⁴ : dans les direction tangentielle et radiales.

*0,05% x 10⁻⁴ : dans la direction axiale.

L'allongement ou le raccourcissement Δl d'une pièce de bois de longueur l , libre de se déformer et soumise à une variation de température ΔT , vaut : [2]

$$\Delta l = \alpha_T \Delta T l \quad \text{II-11}$$

Δl : allongement (mm), α_T : coefficient de dilation thermique (°C⁻¹), ΔT : différence de température (°C), l : longueur de la pièce (mm)

Dans la construction en bois, les problèmes de dilatation thermique sont pratiquement toujours négligés car le coefficient α_T de dilatation thermique du le bois est faible.

II-3/ PROPRIETES ACOUSTIQUES

Dans le cas d'habitat, et plus spécialement d'habitation à structure en bois, on devra porter une attention particulière à la conception des éléments par rapport aux phénomènes de propagation du son dans les solides et dans une moindre mesure, à la propagation du son dans l'air. [19]

L'onde sonore est une onde élastique qui voyage dans tout les corps, dans un modèle de propagation essentiellement longitudinal, et qui transporte une énergie décomposée en énergie cinétique,

$$I_{ac} = (P_{ac}^2 / \rho c) \quad (w/m^2) \quad \text{II-13}$$

P_{ac}^2 : pression acoustique

(Pa)

ρ : Masse volumique du milieu traversé

(kg/m³)

c : célérité des ondes dans le milieu traversé

(m/s)

CHAPITRE III

PROPRIETES MECANQUES DE LA STRUCTURE

III-I / PROPRIETES MECANIKES DE LA STRUCTURE

Il convient tout d'abord de distinguer les actions directes des actions indirectes. Les premières correspondent aux charges directement appliquées sur la structure, telles que les charges permanentes, les charges d'exploitations, les charges de neige, l'action du vent et les actions indirectes

L'Eurocode 1-2 « 4.4 » classe les actions en fonction de leur variation dans le temps, en distinguant :

Tableau N°8 : Présentation des actions

Désignation	Propriétés
Les Actions Permanentes g,	Les charges permanentes comprennent le poids propre de la structure porteuse
Les Actions Variables Q,	les charges dues au vent ou à la neige $q_k = \mu_i s_k$ (q_k : valeur caractéristique de la charge de la neige, μ_i : la charge de la neige au sol, s_k : coefficient de forme de toiture)
Action De Vent	des charges engendrées par le vent est basée sur une pression de référence $q_{réf} = 0.5 \rho v_{réf}^2$ ($q_{réf}$: pression de référence N/m ² , ρ : masse volumique de l'air, égale à 1.25 kg/m ³ , $v_{réf}$: vitesse de référence m/s)
Charges Sismiques	pour tenir compte d'une dissipation possible d'énergie. $A_u = q A_y$ (A_u : Signifie que l'accélération max du sol associée au tremblement de terre « ultime », q : Pour tenir compte d'une dissipation possible d'énergie, A_y : force sismique donnée par l'accélération max du sol)

Tableau N°09 : Coefficients de forme et distribution de la charge sur les toitures à 1 versant

Toiture à 1 versant	
Angle du versant sur l'horizontale	Coefficient de forme μ
$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	0.8
$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$0.8 (60 - \alpha) / 30$
$\alpha \geq 60^\circ$	0.0

Tableau N°10: Coefficients de forme et distribution de la charge sur les toitures à 2 versants

Toiture à 2 versants		
Angle du versant sur l'horizontale	Coefficient de forme μ	Coefficient de forme μ
$0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$	0.8	0.8
$15^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	0.8	$0.8 + 0.6 (\alpha - 15) / 30$
$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$0.8 (60 - \alpha) / 30$	$1.1 (60 - \alpha) / 30$
$\alpha \geq 60^\circ$	0.0	0.0

III-2 / CLASSEMENT DU BOIS

a/Méthode de classement

Les bois sont classés selon deux méthodes :

*Classement d'aspect fondé sur l'examen visuel du bois et singularités :

- liées à sa structure (nœuds, poches de résine, fentes, fils tors).
- liées au débit (flaches, gerces).
- liées au à des altérations (bleuissement, échauffure, piqûres...).

*Classement « machines » basé sur l'examen de la résistance mécanique des bois et réalisé , en général , à partir de la mesure du module d'élasticité en flexion à plat par des machines de classement automatiques .

b/ Bois scié

L'évolution des concepts de vérification avec la définition des valeurs ultimes, a conduit à préciser les classes de matériaux bois disponibles .Antérieurement, chaque pays utilisait deux à trois classes de bois sciés. Voir le tableau ci-dessous « 1 »

*la classe I, *la classe II, *la classe III [5]

Tableau N°11 : Présentation des différents classements du bois

CLASSEMENT REGLEMENTAIRE NF B 52-001			
Caractéristiques	classe I	classe II	classe III
Définition	Bois de choix	Bois de choix	Bois de sains
*fil	* pente générale < 7% * localement < 10%	* pente générale < 12% * localement < 20%	* pente générale < 18% * localement < 25%
*fentes superficielles aux extrémités	* tolérées	* tolérées	* tolérées
*fentes aux extrémités	* exclues	* exclues	* tolérées
*flaches accidentelles	*exclues	* exclues	* tolérées
*dégât d'insectes	*aucun dégât d'insecte sauf	les piqûres noires qui peuvent être tolérées	
* nœuds sains et adhérents	* acceptés non groupés diamètre < 30 mm	* acceptés non groupés diamètre < 30 mm	* acceptés sans limitation diamètre
* echauffure et pourriture	*aucune trace d'échauffure	ni de pourriture n'est acceptée	
*bleuissement de l'aubier	* acceptés car sans influence	sur les propriétés mécaniques	

c/ Bois rond

Les performances du bois rond étaient toujours supérieures à celles du bois scié. Ceci signifie que la qualité mécanique du bois rond est supérieure à celles du bois scié [2], [35]

III-2-3 / DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS DE CHARPENTE

Dans ce chapitre on donne les notions de base pour la vérification des éléments de construction afin de pouvoir ensuite assembler, concevoir des systèmes porteurs et stabiliser l'ensemble de ces systèmes. [2], [38]

Avec l'arrivée des Eurocodes, les principes de vérification des éléments sont actuellement en pleine phase d'évolution. En insistant sur les phénomènes comportementaux spécifiques au bois, et sur leur interprétation dans la vérification.

a/ Dimensionnement des éléments de charpente en Pin D'Alep

Certaines sections courantes donnent lieu à des appellations « Commerciales ». Les caractéristique dimensionnelles de ces pièces sont définies dans le tableau ci-dessous, les dimensions standardisées sont données à une humidité de référence de 20%. [2]

Cela ne signifie pas que les bois doivent toujours être à cette humidité lors des transactions commerciales mais que si elle est ramenée à 20% , leurs dimensions doivent correspondre aux dimensions standardisées . D'après les normes AFNOR

Tableau N°12 : dimensions standardisées des éléments d'une charpente

Dénominations	Epaisseur e (mm)	Largeur l (mm)	Proportion	Sections courantes
Basting	$50 < e < 63$	$150 < l < 175$	$2 < l/e < 3$	50x150, 63x160, 63x175
Carrelet	$15 < e < 50$	$15 < l < 50$	$e = l$	15x15, 27x27, 50x50
Chevron	$40 < e < 125$	$40 < l < 125$	$e = l$	75x75, 100x100, 115x115
Liteau	$e < 40$	$l < 50$	----	15x40, 27x27
Madrier	$75 < e < 100$	$175 < l < 225$	$2 < l/e < 3$	75x175, 75x200, 75x225, 100x225
Planche	$25 < e < 40$	$115 < l < 150$	$l/e > 4$	32x115, 32x125, 32x150
Poutre	$e > 120$	$l > 120$	$e = l$	125x125, 150x150, 200x200, 225x225
Solivette (demi-basting)	$32 < e < 38$	$150 < l < 200$	$l/e \approx 5$	32x150, 38x175, 38x200
Volige	$12 < e < 22$	$50 < l < 115$	$l/e > 4$	18x75, 18x100, 22x100, 22x115

Partie 2

CHAPITRE IV

APPROCHE PROBABILISTE ET DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS D'UNE CHARPENTE

IV/ APPROCHE PROBABILISTE ET DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS D'UNE CHARPENTE

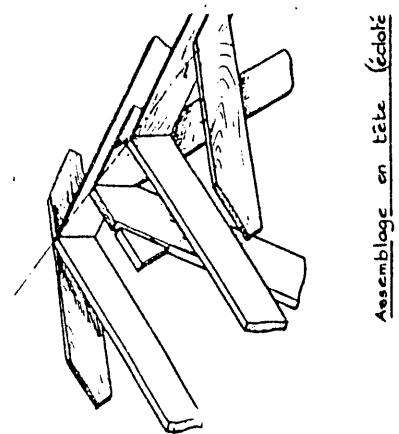
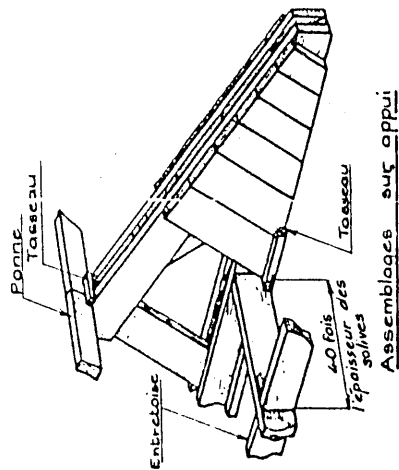
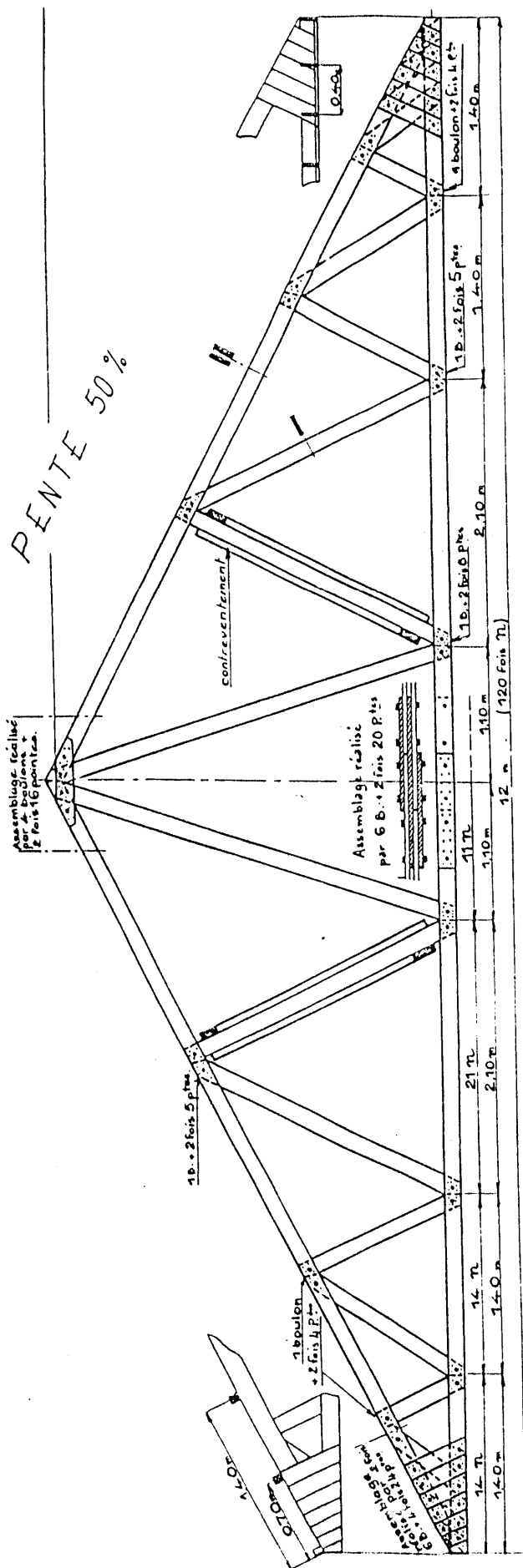
La structure sera étudiée statiquement d'une part et statistiquement d'autre part comme un treillis qui n'est pas seulement chargé aux nœuds, mais aussi entre les nœuds, par des pannes supportant la couverture, ces charges génèrent des sollicitations composées dans l'arbalétrier qui est donc vérifié dans les nœuds et entre les nœuds avec les interactions, en tenant compte du flambage. Les membrures supérieures et inférieures (arbalétriers et entrails). et l'étude de calcul des contraintes en flexion, traction et compression sera basée sur l'utilisation des Euro code, SIA, la Norme Française. [4], [14], [24].

L'étude statistique confirmera les résultats trouvés dans l'étude statique sachant que toutes les méthodes de recherche se basent sur la statistique : science qui a pour objet de recueillir un ensemble de données numériques, relatives au phénomène aléatoire de causalité, et en faire l'analyse et l'interprétation et en finalité on utilisera la loi de weibull pour définir la fiabilité de notre charpente

a/ Choix de la structure de la charpente [7]

Choix de Bois : Pin D'Alep « charpente de 12 m de portée »

*Epaisseur moyenne des accroissement inférieur ou égale à.....	5 mm
*Densité minimum à 20%d'humidité.....	0,4
*Série lourde Charges et surcharges totales	175 kgf/m ²
*Série très lourde Charges et surcharges totales	225 kgf/m ²
*Ecartement des fermes	1.75-2.00-2.500-3.00-4.00-5.00m
*Ecartement des pannes.....	0.70-1.40m
*Ecartement des solives	0.4.00m



Type de charpente choisis pour l'étude

IV-1/ METHODE STATIQUE

IV-1-1/ VALEURS DE CALCUL DES ACTIONS DE LA STRUCTURE

a/Calcul des effets instantanés des actions

Les déformations résultent des efforts intérieurs liés aux actions et également, pour certains bois, des efforts de son hygroscopie.

Combinaisons rares ou combinaisons caractéristiques utilisées pour le calcul des effets instantanés des actions

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + Q_{k1} + \sum_{i > 1} (I_{oi} Q_{ki}) \quad \text{IV-I-1}$$

G_{kj} : valeur caractéristique des actions permanentes

Q_{k1} : valeur caractéristique de l'action variable dominante

I_{oi} : coefficient défini et appliqué à l'action variable

Q_{ki} : valeur caractéristique des autres actions variables

Tableau N° : 0 1 Les valeurs des coefficients des actions instantanés

Cas	Action	Symbole	P/T ¹⁾	A ¹⁾
Cas A : Perte d'équilibre statique, résistance du matériau structural ou du sol non significative	Action permanentes (poids propre des éléments structuraux, actions permanentes causées par le sol, l'eau souterraine et la nappe libre) :			
	• défavorables	$\gamma_{G,sup}$	1,10	1,00
	• favorables	$\gamma_{G,inf}$	0,90	1,00
	Actions variables défavorables	γ_Q	1,50	1,00
	Actions accidentelles	γ_A		1,00
Cas B : Défaillance de la structure ou d'éléments structuraux, yc. Ceux des semelles, pieux, murs de soubassement, etc. ., due à un manque de résistance du matériau structural	Action permanentes			
	• défavorables	$\gamma_{G,sup}$	1,35	1,00
	• favorables	$\gamma_{G,inf}$	1,00	1,00
	Actions variables défavorables	γ_Q	1,50	1,00
	Actions accidentelles	γ_A		1,00

¹⁾ P : Situation durable, T : Situation transitoire, A : Situation accidentelle.

IV-1-2/ CALCUL DE LA RESISTANCE DE LA STRUCTURE

a/ Résistance en section

Comme on l'a vu, la résistance d'un échantillon de bois sans défaut est plus élevée en traction qu'en compression. Cependant, lorsque l'on passe à des éléments de structure, le phénomène est inversé [9], [7].

$$R_d = X_d = k_{\text{mod}} (X_k / \gamma_M) \quad \text{IV-I-5}$$

X_d : valeur de calcul du paramètre mécanique

k_{mod} : coefficient de modification, fonction de la durée de chargement.

X_k : valeur caractéristique du paramètre mécanique

γ_M : coefficient partiel pour le matériau bois

L'équation générale pour la vérification de sécurité structurale selon la SIA 160 prend alors la forme suivante.

$$S_d \leq 1,5 \bar{R} \quad \text{IV-I-7}$$

S_d : valeur de calcul de sollicitation

R : résistance ultime de bois

γ_R : facteur de résistance

$1,5$: constante d'ajustement entre charge aux états limites et résistance en valeur admissible

$\bar{R}$: résistance admissible

b/Traction parallèle aux fibres

L'Euro code 5 prend en compte le phénomène décrit précédemment dans la définition de la valeur caractéristique de la résistance en traction. En effet, la valeur caractéristique de la résistance en traction est inférieure à celle de compression (d'environ $\frac{1}{4}$ à plus de $\frac{1}{3}$), et cela de manière plus accentuée dans les classes faibles, du fait des exigences de triage permettant de limiter les éventuels défauts dans les classes élevées.

$$\sigma_{t//,d} \leq K_h f_{t//,d} \quad \text{IV-I-8}$$

$\sigma_{t//,d}$: Valeur de calcul de la contrainte de traction // aux fibres, K_h : coefficient de hauteur

$f_{t//,d}$: valeur de calcul de la résistance en traction // aux fibres

la valeur de calcul de la contrainte de traction $\sigma_{t//,d}$ étant obtenue par :

$$\sigma_{t//,d} = T_d / A_n \quad \text{IV-I-9}$$

T_d : effort normal de calcul en traction, A_n : aire nette de la section considérée

c/Traction perpendiculaire aux fibres

La valeur caractéristique de la résistance en traction perpendiculaire aux fibres est donnée pour un volume de référence V_0 .

$$\sigma_{t,\perp,d} \leq f_{t,\perp,d} \quad \text{IV-I-10}$$

$\sigma_{t,\perp,d}$: Valeur de calcul de contrainte de traction perpendiculaire aux fibres

$f_{t,\perp,d}$: Valeur de calcul de résistance de traction perpendiculaire aux fibres

V_0 : volume de référence égal à $0,01 \text{ m}^3$

d/Traction oblique

L'étude de la traction oblique n'a pas été intégrée dans L'Euro code 5. Un raisonnement identique à celui pour la traction perpendiculaire aux fibres pourrait alors être appliqué à cette vérification. Cependant pour simplifier, il suffirait d'utiliser uniquement le facteur de réduction $C_{t,\alpha}$, pour obtenir les valeurs de résistance en traction oblique :

$$\sigma_{t,\alpha,d} \leq f_{t,\alpha,d} \quad \text{IV-I-11}$$

$\sigma_{t,\alpha,d}$: Valeur de calcul de contrainte de traction oblique

$f_{t,\alpha,d}$: Valeur de calcul de résistance en traction oblique

e/Compression parallèle aux fibres

La résistance en compression de bois de pin d'Alep est également réduite lorsque l'on passe du petit échantillon, avec des axes naturels parfaitement orthogonaux, aux éléments de structure intégrant différents niveaux de défauts naturels tels que l'asymétrie des cernes de croissance sur la section, ou plus encore les nœuds traversant aléatoirement une partie de section. Les valeurs de référence de la compression du bois de pin d'Alep en mode parallèle aux fibres sont alors sensiblement supérieures à celles de la traction, et la vérification se résume à :

$$\sigma_{c,\parallel,d} \leq f_{c,\parallel,d} \quad \text{IV-I-12}$$

$\sigma_{c,\parallel,d}$: Valeur de calcul de contrainte de compression parallèle aux fibres

$f_{c,\parallel,d}$: Valeur de calcul de résistance en compression parallèle aux fibres

f/ Flambage centre élastique linéaire

On applique dans ces conditions à la barre de rigidité EI , un effort normal N , pour une déformation ω_0 , infiniment petite, appliquée à cette barre, il se produit un moment :

$$M_0 = N \omega_0 \quad \text{IV-I-14}$$

La charge critique peut être généralisé :

$$N_{cr} = (\pi^2 EI) / l_k^2 \quad \text{IV-I-15}$$

Et la contrainte correspondante vaut

$$\sigma_{cr} = (N_{cr}) / A = (\pi^2 EI) / (l_k^2 A) = (\pi^2 E) / \lambda_k^2 \quad \text{IV-I-16}$$

A : Aire de la section

l_k : longueur de flambage de la barre

λ_k : élancement de la barre

L'élancement λ_k de la barre est donc défini par :

$$\lambda_k = l_k / i \quad \text{IV-I-17}$$

i : Rayon de giration de la section par rapport à l'axe perpendiculaire au plan de déformation Considéré. Et le rayon de giration est donné à son tour par :

$$i = \sqrt{I/A} \quad \text{IV-I-18}$$

g/Compression des sections rectangulaires de coté : $b \times h$

$$i_y = \sqrt{I_y/A} = (bh^3/12) / bh = h / \sqrt{12} = 0,289 h \quad \text{IV-I-19}$$

$$i_z = 0,289 b \quad \text{IV-I-20}$$

I : Inertie de la section par rapport à l'axe perpendiculaire au plan de déformation considéré

h/ Compression des sections circulaires de diamètre d

$$i_y = i_z = \sqrt{I/A} = d/4 \quad \text{IV-I-21}$$

IV-1-4/CALCUL DE LA FLEXION

a/ Résistance en flexion

Pour une section rectangulaire, le diagramme des contraintes étant considéré comme linéaire, les contraintes de traction et de compression aux fibres extrêmes auront la même intensité.

En effet, dans le cas de la flexion, le taux de contrainte maximale s'applique sur une faible partie de la section (fibres extrêmes), ce qui réduit la probabilité d'être en présence d'un point faible (noeud), responsable du comportement fragile de la rupture en traction. Pour la section déterminante, la résistance en flexion sera garantie par l'équation suivante :

$$\sigma_m \leq k_h f_{m,d} \quad \text{IV-I-22}$$

σ_m : valeur de calcul de la contrainte de flexion

k_h : coefficient de hauteur

$f_{m,d}$: valeur de calcul de la résistance en flexion

b/ Résistance au cisaillement

Pour une poutre fléchie, étant donné la faible résistance au cisaillement du bois, il faut vérifier au droit des appuis que la contrainte tangentielle de calcul $\tau_{v,d}$, due à l'effort tranchant V_d , respecte la condition suivante :

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d} \quad \text{IV-I-23}$$

$\tau_{v,d}$: valeur de calcul de la contrainte de cisaillement

$f_{v,d}$: valeur de calcul de la résistance en cisaillement

La valeur de calcul de la sollicitation $\tau_{v,d}$, représente la contrainte tangentielle maximale, due à l'effort tranchant V_d , obtenue par le calcul des efforts intérieurs en flexion, soit :

$$\tau_{v,d} = (V_d S) / (I b) \quad \text{IV-I-24}$$

V_d : valeur de calcul de l'effort tranchant

S : module de flexion par rapport à l'axe considéré

I : inertie par rapport à l'axe considéré

B : largeur de la section

c/ Résistance au cisaillement pour une section rectangulaire

$$\tau_{v,d} = 3 V_d / 2 A \quad \text{IV-I-25}$$

A : aire de la section

d/ Résistance au cisaillement section circulaire

$$\tau_{v,d} = 4 V_d / 3 A \quad \text{IV-I-26}$$

IV-1-4/ FLEXION OBLIQUE

Dans la construction en bois , des éléments fléchis peuvent ne pas être sollicités uniquement suivant leur axe de plus grande inertie , mais suivant un plan de flexion oblique , induisant de la flexion oblique ou flexion déviée , qui illustre le cas des pannes sur toits inclinés .

La vérification de la sécurité structurale en flexion oblique consiste à satisfaire, comme pour la flexion simple, dans laquelle la valeur de calcul de la sollicitation $\sigma_{m,d}$ est égale à la somme des contraintes maximales dues aux moments $M_{y,d}$, $M_{z,d}$.La contrainte maximale.

$$\sigma_{m,d} = \sigma_{m,y,d} + \sigma_{m,z,d} = (M_{y,d} / W_y) + (M_{z,d} / W_z) \quad \text{IV-I-27}$$

$\sigma_{m,d}$: valeur de calcul de la contrainte totale de flexion

$\sigma_{m,y,d}$: valeur de calcul de la contrainte de flexion suivant l'axe y

$\sigma_{m,z,d}$: valeur de calcul de la contrainte de flexion suivant l'axe Z

W_y : module de flexion de la section suivant l'axe y

W_z : module de flexion de la section suivant l'axe z

IV-1-5/ FLEXION ET EFFORT NORMAL COMBINES

a/ Flexion et traction axiale combinées :

Dans le cas d'une barre soumise à la traction axiale et à la flexion (simple ou oblique) combinées, le comportement mécanique de la barre reste élastique fragile.

L'interaction est donc linéaire, et la vérification est basée sur la sommation des taux de contraintes engendrées par chaque sollicitation, par rapport au niveau ultimes de la résistance

$$* \quad \frac{(\sigma_{t//,d})}{(f_{t//,d})} = k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$* \quad \frac{(\sigma_{t//,d})}{(f_{t//,d})} = \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$\sigma_{t//,d}$: valeur de calcul de la contrainte de traction parallèle aux fibres

$f_{t//,d}$: valeur de calcul de la résistance de traction parallèle aux fibres

k_m : facteur de combinaison des résistances en flexion , traduisant les effets de flexion bi axiale

$\sigma_{m,y,d}$:valeur de calcul de la contrainte de flexion suivant l'axe y

$\sigma_{m,z,d}$: valeur de calcul de la contrainte de flexion suivant l'axe z

$f_{m,y,d}$: valeur de calcul de la résistance de flexion suivant l'axe y

$f_{m,z,d}$: valeur de calcul de la résistance de flexion suivant l'axe z

IV-1-6/ FLEXION ET COMPRESSION AXIALE COMBINEES

Le comportement interactif se traduit en fait par une phase élasto-plastique moins fragile que dans le cas de la flexion simple, spécialement pour les poutres de qualités inférieures (initialement plus fragiles).

C'est le cas de la vérification proposée actuellement par Euro code 5(4.1) pour les barres de faible élément .Pour les barres dont l'élancement nécessite de tenir compte au flambage, on se reportera à l'équation suivante.

$$* \frac{(\sigma_{c//,d})^2}{(f_{c//,d})^2} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{IV-I-28}$$

$$* \frac{(\sigma_{c//,d})^2}{(f_{c//,d})^2} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{IV-I-29}$$

$$* \frac{(\sigma_{c//,d})}{k_{c,z} (f_{c//,d})} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{IV-I-30}$$

$$* \frac{(\sigma_{c//,d})}{k_{c,y} (f_{c//,d})} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{IV-I-31}$$

$\sigma_{c//,d}$: valeur de calcul de la contrainte de compression parallèle aux fibres

$f_{c//,d}$: valeur de calcul de la résistance de compression parallèle aux fibres

k_m : facteur de combinaison en flexion, traduisant les effets de flexion bi axiale

$\sigma_{m,y,d}$: valeur de calcul de la contrainte de flexion suivant l'axe y

$\sigma_{m,z,d}$: valeur de calcul de la contrainte de flexion suivant l'axe z

$f_{m,y,d}$: valeur de calcul de la résistance en flexion suivant l'axe y

$f_{m,z,d}$: valeur de calcul de la résistance en flexion suivant l'axe z

Expérimentalement, la vérification de l'interaction linéaire est pour des élancement λ_k supérieur à **50**, lorsque simultanément $\lambda_{rel,y} \leq 0.50$ et $\lambda_{rel,z} \leq 0.50$ (faibles élancement relatifs suivant les deux axes), des conditions non linéaires sera suffisante. La détermination

des coefficients de flambage $k_{c,y}$ et $k_{c,z}$ se fait en utilisant les équations adoptées aux notations suivant les deux axes y et z .

IV-1-7/ VERIFICATION DES VIBRATIONS ET DES OSCILLATIONS

On se reportera à l'Euro code 5[4.1] qui fixe les limites à respecter pour les fréquences propres ainsi que les vérifications à effectuer .Cependant, il convient de souligner que le calcul théorique de la fréquence propre d'une structure complexe est rendu difficile par la déformabilité des moyens d'assemblage et des éléments dits non porteurs.

a/ Vérification aux états limites de service

La vérification aux états limites de service consiste à garantir l'aptitude au fonctionnement de la structure porteuse en limitant les paramètres liés à l'aspect, au confort et à la durabilité,

$$E_d \leq C_d$$

IV-I-32

E_d : valeur de calcul de l'effet des actions

C_d : valeur prescrite

La flèche mesurée de la droite reliant les appuis, appelée flèche nette et notée U_n , a pour expression.

$$U_n = U_1 + U_2 - U_0$$

Tableau N° 02: Valeur limites des flèches pour la déformation

	Travée	Porte-à-faux
Flèches instantanées	$U_{2,inst} \leq L/300$	$U_{2,inst} \leq L/150$
Flèches finales	$U_{2,fin} \leq L/200$ $U_{n,fin} \leq L/200$	$U_{2,fin} \leq L/100$ $U_{n,fin} \leq L/200$

IV-1-8/ LE CALCUL D'ASSEMBLAGE **D'UNE CHARPENTE EN BOIS**

a/ Moyen d'assemblage traditionnel

Les assemblages présentés sont utilisés généralement pour des liaisons de moindre importance.

b/ Résistance des assemblages par contact Bois - Bois

Dans le cas d'assemblages par contact bois /bois , les cernes des deux pièces assemblées ne coïncident pas forcément .Des parties de bois plus résistantes (bois d'été) s'appuient donc sur du bois plus tendre (bois de printemps) .

La base de vérification se fait sur les équations illustré ci dessous , en affectant un coefficient de 0,8 au facteur de réduction $C_{c,\alpha}$ c'est-à-dire que la résistance est réduite par rapport aux valeurs usuelles ,en raison de l'interprétation des fibres [4].

$$C_{c,\alpha} = \frac{0.8 f_{c,\perp,k}}{0.8 f_{c,/,k} \sin^2 \alpha + 0.8 f_{c,\perp,k} \cos^2 \alpha} \quad \text{IV-I-33}$$

La valeur caractéristique de la résistance pour un angle α mesuré entre l'axe des fibres et les contraintes valent alors :

$$f_{c,c,\alpha} = C_{c,\alpha} f_{c,/,k} = \frac{0.8 f_{c,\perp,k} f_{c,/,k}}{0.8 f_{c,/,k} \sin^2 \alpha + 0.8 f_{c,\perp,k} \cos^2 \alpha} \quad \text{IV-I-34}$$

Pour un assemblage en bois de bout ($\alpha = 0$) , la réduction de la résistance représente 20% : A : surface de contact

$$\mu f_{c,0^\circ,\alpha} = 0.8 f_{c,/,k} \quad \text{IV-I-35}$$

$$\sigma = N_d / A \quad \text{IV-I-36}$$

Pour un assemblage avec des contraintes perpendiculaires aux fibres, le phénomène d'interpénétration des fibres n'apparaît pas

$$f_{c,90^\circ,\alpha} = f_{c,\perp,k} \quad \text{IV-I-37}$$

La différence entre les valeurs de la résistance obtenues par la théorie présentée précédemment reste cependant faible pour les angles α les plus couramment rencontrés ($30 \leq \alpha \leq 60$).

c/ Résistance des assemblages par contact bois - matériau dur

Dans le cas d'un assemblage par contact d'une pièce en bois sur un matériau rigide (bois /acier, bois /béton), la réduction de la résistance n'est pas nécessaire.

$$\sigma_{d1} = V_d / A_1 \quad \sigma_{d2} = H_d / A_2 \quad \text{IV-I-38}$$

A : surface de contact à considérer

d/ ASSEMBLAGES PAR EMBREVEMENTS**d-1/ Embrèvement Simple**

La géométrie de l'embrèvement simple est donnée

$$\varepsilon = \frac{1}{2} (180^\circ - \beta) = 90^\circ - \beta \quad \text{IV-I-39}$$

d-2/ Embrèvement arrière

La géométrie de l'embrèvement arrière (appelé aussi embrèvement décalé), l'effort N est transmis par contact sur la surface découpée perpendiculairement à l'axe longitudinal de la barre qui vient s'embréver dans la pièce horizontale.

L'avantage est en revanche d'augmenter au maximum la longueur d'avant-bois à disposition. Pour éviter une fissuration de la pièce inclinée due au retrait, il faut prévoir un jeu de 1.0 à 2.0 mm dans l'assemblage au niveau de l'arête supérieure de la poutre horizontale.

d-3/ Embrèvement Double

L'embrèvement double est une combinaison de l'embrèvement simple et de l'embrèvement arrière, l'effort N est transmis par contact sur les deux entailles de profondeur t_1 et t_2 .

L'avantage de cet assemblage est que la longueur d'avant bois est maximale pour une longueur des pièces à assembler donnée, et que le rapport capacité portante sur profondeur de l'entaille est meilleur que pour les embrèvements simples ou arrières.

e/ Jeu de l'assemblage

Pour tous les moyens d'assemblage, qu'ils soient pré percés ou non, que le perçage soit ajusté ou de diamètre supérieur à celui de la tige, on observe un jeu ω_0 dans la courbe charge –déformation ce jeu s'exprime par une déformation initiale pour laquelle le moyen d'assemblage ne reprend pas ou que très peu de charges (l'assemblage se met en place).

IV-2/ METHODE STATISTIQUE

a/Caractéristiques essentielles d'un ensemble statistique

Toutes les méthodes de recherche se basent sur la statistique. Science qui a pour objet de recueillir un ensemble de données numériques, relatives au phénomène aléatoire de causalité et en faire l'analyse et l'interprétation.

Les caractéristiques statistiques essentielles d'une série statistique sont :

b/Moyenne arithmétique

La moyenne arithmétique est donnée par la relation suivante :

$$\overline{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{IV-II-40}$$

n : Taille de l'échantillon

x_i : Variable aléatoire

c/ Caractéristiques de dispersion

Variance :

Pour $n < 30$: La variance d'une série d'essai et de valeurs est la moyenne arithmétique des carrés des écarts de ces valeurs par rapport à leur moyenne arithmétique.

$$s^2 = \overline{x^2} - (\overline{x})^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n (x_i - \overline{x})^2 \right] \quad \text{IV-II-41}$$

n-1 : Degré de liberté

Ecart-type :

L'écart -type est la racine carrée positive de la variance correspondante

$$S = \sqrt{s^2} \quad \text{IV-II-42}$$

d/ Coefficient de variation :

La valeur S caractérise la dispersion d'un échantillon, mais pour comparer la dispersion, on utilise la qualité appelée dispersion relative.

$$C_v = S / \overline{x} \quad \text{IV-II-43}$$

Appelée aussi coefficient de variation, en multipliant C_v par 100%, on obtient l'irrégularité quadratique d'une série d'essai C, en pourcent

$$C = C_v \times 100\% \quad \text{IV-II-44}$$

e/ Estimation des caractéristiques .Echantillons de petite taille (n<30)

L'erreur absolue de confiance de la moyenne arithmétique peut être, dans ce cas, déterminée de la manière suivante :

$$\varepsilon = t_t (S / \sqrt{n}) \quad \text{IV-II-45}$$

où

t_t : valeur tabulée du critère de student, $t_t = f(v ; P) = t_t [\alpha = 1-P ; v = n-1]$

$v = n$: nombre de degrés de liberté : $v = n-1$;

P : Probabilité de confiance $P = 1 - \alpha$;

α : seuil de confiance

Les valeurs tabulées du critère de student sont données dans les tables de probabilité (voir annexe).

La division de l'erreur absolue de la moyenne ε par la moyenne arithmétique donne l'erreur relative de la moyenne arithmétique c'est-à-dire :

$$\delta = \varepsilon / \overline{X} \times 100\% \quad \text{IV-II-46}$$

L'intervalle de confiance de la moyenne arithmétique est de :

$$\bar{\varepsilon} - \overline{X} \leq \mu \leq \bar{\varepsilon} + \overline{X} \quad \text{IV-II-47}$$

Dans le cas de petit échantillon, l'intervalle de confiance de l'écart type est asymétrique et peut être déterminé de la manière suivant :

$$\theta_1 \times S \leq \sigma \leq \theta_2 \times S \quad \text{IV-II-48}$$

Avec :

$$\theta_1 = (n-1) / (\chi^2_t [\alpha/2; v = n-1]) \quad , \quad \theta_2 = (n-1) / (\chi^2_t [1-\alpha/2; v = n-1])$$

Où X est le critère de PEARSON

Les valeurs tabulées du critère de Pearson, sont données dans les tables de probabilité (annexe) .Elles sont en fonction du seuil de confiance α et du nombre de degrés de liberté $v = n-1$.

Comme dans le cas précédent, l'intervalle de confiance du coefficient de variation est asymétrique et se détermine de la manière suivante :

$$K_1 \times C_v \leq \gamma \leq K_2 \times C_v \quad \text{IV-II-49}$$

f/ Faut-il rejeter ou accepter les valeurs anormales ?

Pour déterminer le cas favorable, on utilise la méthode statistique basée sur le calcul de l'écart type (critère de Smirnov -Grabbs).

Les valeurs calculées de ce critère sont déterminées de la manière suivant :

$$V_{cmin} = (\bar{x} - x_{max}) / S \sqrt{n / (n-1)} \quad ; \quad V_{cmax} = (x_{max} - \bar{x}) / S \sqrt{n / (n-1)}$$

La Valeur tabulée est en fonction de la probabilité de confiance et du nombre total d'essais n $V_t = V_t[P ; n]$, si les valeurs calculées sont inférieure à celle tabulées $V_c < V_t$.Les données sont acceptées .Dans le cas contraire $V_c > V_t$ sont rejetées .

IV-3/ METHODE DE FIABILITE DES SYSTEMES

a/ Caractéristique de fiabilité

Définition de la fiabilité

La fiabilité peut être définie comme une probabilité de fonctionnement sans défaillance d'un dispositif dans des conditions déterminées et pour une période de temps définie. [3]

Notre objectif, tout au long de ce chapitre, est de construire des outils afin d'évaluer la probabilité de bon fonctionnement d'un élément ou d'un système.

b/ LOI DE WEIBULL

Voici maintenant, sans aucun doute, la plus populaire des lois rencontrées en fiabilité aussi bien dans les domaines mécaniques qu'électroniques. sa caractérisation par son taux de défaillance qui est fonction puissance de t . une variable T suit une loi de Weibull $W(a, b)$ [8].

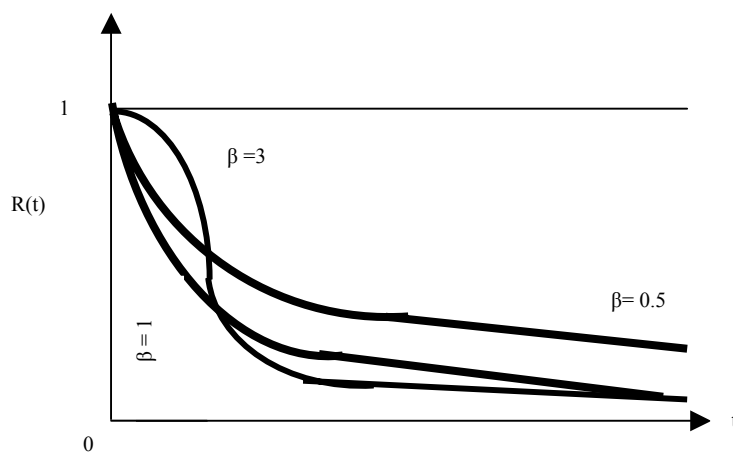
Cette loi permet de modéliser de nombreuses situation d'usure de matériel .Mais on la trouve également comme approximation dans des situation très simple Ainsi, on a :

$$R(t) + F(t) = 1 \quad \text{IV-III-50}$$

D'où :

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-(t-\gamma)/\eta)^\beta} : \quad \text{loi de weibull} \quad \text{IV-III-51}$$

$$\text{*Allure de la fonction de fiabilité} \quad R(t) = 1 - F(t) \quad \text{IV-III-52}$$



Graph N° : 01

Allure de la fiabilité (loi de Weibull)

Expression du taux de défaillance en fonction de β :

$$\lambda(t) = f(t) / R(t) = (\beta / \eta) \left((t - \gamma) / \eta \right)^{\beta-1} \quad \text{IV-III-53}$$

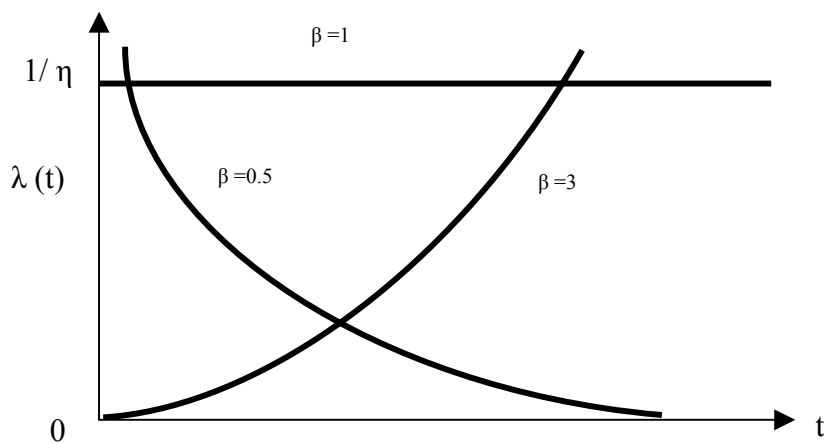
L'étude de $\lambda(t)$ nous montre que :

Si $\beta < 1$, on a $\lambda(t)$ qui décroît en fonction de t

Si $\beta = 1$, on a $\lambda(t)$ qui est constant égal à $(1/\eta)$

Si $\beta > 1$, on a $\lambda(t)$ qui est croissant en fonction de t

Allure de $\lambda(t)$



Graph N°: 02 l'obtention du paramètre de forme

***Calcul de β :**

β est le paramètre de forme, il représente la pente de droite. Pour l'obtenir, on fait passer une droite parallèle à la droite réelle par le point 1 et on lit la valeur de β sur l'échelle β .

***Calcul de η :**

η est le paramètre d'échelle, il se lit à l'intersection de la droite tracée et de la ligne 63.2% sur le graphique d'Allen plot.

Sa fonction de répartition

$$F(x) = 1 - e^{-(x-\gamma)/\eta)^{\beta}} \quad \text{IV- III-54}$$

La fiabilité correspondante est

$$R(x) = e^{-(x-\gamma)/\eta)^{\beta}} \quad \text{IV-III-55}$$

Partie 3

CHAPITRE V

METHODOLOGIE DE CALCUL DES PARAMETRES DE STRUCTURE D'UNE CHARPENTE EN BOIS DE PIN D'ALEP

V/ METHODOLOGIE D'ETUDE DES PARAMETRES DE STRUCTURE

a/ METHODE STATIQUE

Méthodologie des essais (traction, flexion, compression)

La variation des paramètres ($H\%$, M_v , F) sur les éprouvettes testées de dimensions (30x30x300) mm, démontrent la variabilité physique et mécanique du bois en pin d'Alep.

Les résultats obtenus des contraintes (y_1, y_2) en (flexion, traction, compression), seront traités par l'étude statique et statistique, et en finalité on confirmera les résultats par la méthode de fiabilité et les résultats des éprouvettes obtenues sont valables pour la structure d'après Euro code 5[3.2]

Dispositif expérimental

La forme des éprouvettes utilisées pour ce type d'essais est une haltère H2 de dimensions (30x30x300) mm. Les mors de traction sont des mors auto serrants normalement utilisés pour des éprouvettes.

Essai de flexion



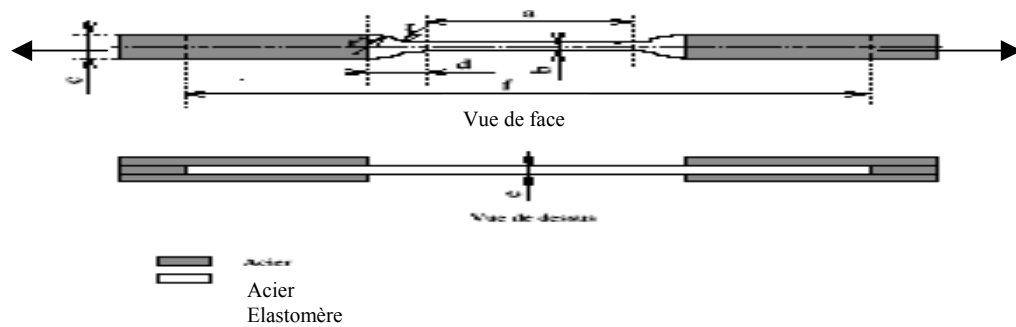
FIG :N°01 – MACHINE INSTRON 4505
Essai de flexion

Traction

Dispositif expérimental

La forme des éprouvettes utilisées pour ce type d'essais est une haltère H2 modifiée de dimensionne (30x30x300) mm. Les mors de traction sont des mors auto serrant normalement utilisés pour des éprouvettes.

Essai de traction



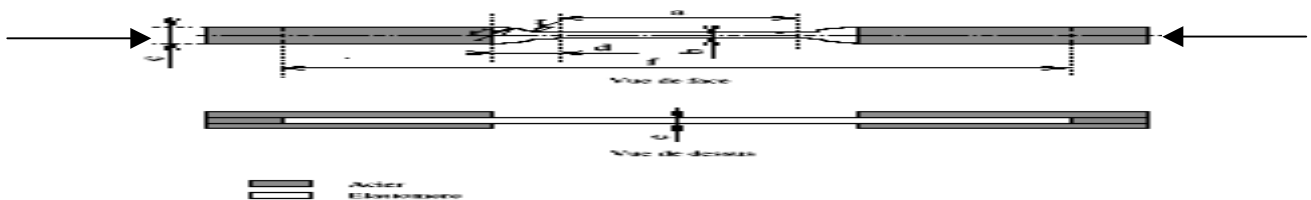
Eprouvette de traction FIG : 02

Compression

Dispositif expérimental

La forme des éprouvettes utilisées pour ce type d'essais est une haltère H2 modifiée de dimensions (30x30x300)mm. Les mors de compression sont des mors auto serrant normalement utilisés pour des éprouvettes.

Essai de compression



Eprouvette de compression FIG : 03

b/ CALCUL DE LA POUTRE SIMPLE

mis en œuvre, le dimensionnement d'une poutre en considérant successivement une série de poutres simples,

ordre de grandeur de la section

Poutre simple de section constante :

$$l/20 \leq h \leq l/40 \quad \text{V-I-1}$$

Les charges étant importantes, on choisit :

$$b = \underline{200} \text{ mm} \quad \text{et} \quad h \text{ (mm)}$$

Vérification de la flexion

Poids propre de la poutre :

$$g_2 = b h \beta_w \text{ (KN / M}^3\text{)} \quad \text{V-I-2}$$

$$g_m = g_1 e + g_2 \text{ (KN/m)} \quad \text{V-I-3}$$

Valeur de calcul de la sollicitation : cas « charge utile prépondérante »

$$S_d = \gamma_G g_m + \gamma_Q q_r e$$

$$q_d \text{ (KN/m)}$$

***Valeur de calcul des contraintes : pour une poutre**

$$M_d = (q_d l^2) / 8 \text{ (_KN m)} \quad \text{V-I-4}$$

Il en résulte la valeur de calcul de la contrainte de flexion :

$$\sigma_{m,d} = M_d / W_y \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Contrainte de flexion

$$\sigma_{m,d} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{V-I-5}$$

$$c_H = (300 / 990)^{1/9} = (300/990)^{1/9} = \underline{0.880} \quad \text{V-I-6}$$

la valeur de calcul de la résistance :

$$1.5 \overline{\sigma}_m = 1.5 C_D C_W C_H \sigma_m \text{ (N/mm}^2 \text{)} \quad \text{IV-I-7}$$

$C_D = 1.0$: charges de longue durée, selon SIA 164 (3.15.2)
 $C_W = 1.0$: éléments protégés des intempéries, selon SIA164 (3.15.2)
 $\sigma_m =$: 14 N/mm²

Vérification :

$$\sigma_{m,d} = M_d / W_y \leq \overline{1.5 \sigma}_m \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

$$\sigma_{m,d} = \text{N/mm}^2 \leq \overline{1.5 \sigma}_m \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

Vérification de l'effort tranchant : valeur de calcul des contraintes

$$V_d = ((q_d l) / 2) \text{ (KN)}$$

Il en découle la valeur de calcul de la contrainte de cisaillement :

$$\tau_{v,d} = (3 V_d) / (2A) \text{ N/mm}^2 \quad \text{V-I-8}$$

Valeur de calcul de la résistance :

$$1.5 \tau_{v,d} = 1.5 C_D C_W C_H \overline{\tau} \text{ N/mm}^2 \quad \text{V-I-9}$$

$C_D = 1.0$: charges de longue durée, selon SIA 164 (3.15.2)
 $C_W = 1.0$: éléments protégés des intempéries, selon SIA164 (3.15.2)
 τ : 1.2 N/mm²

Vérification :

$$\tau_{v,d} = \text{N/mm}^2 \leq \overline{1.5 \tau} \text{ N/mm}^2$$

Vérification de l'aptitude au service : Seuls les problèmes liés aux déformations seront abordés.

Sollicitations de service :

Les Sollicitations intervenant dans la vérification de la rigidité et du confort sont les actions de courte durée .On a donc uniquement la charge utile qui prend la valeur (SIA 160 4.04.2) :

$$q_{\text{ser, court e}} \text{ (KN/ m)}$$

Sollicitation intervenant dans la vérification des déformations de longue durée

$$q_{\text{ser, long}} = g_m = \text{KN/ m}$$

33

*Calcul des déformations : flèche u_2 due aux actions de longue durée (charges permanentes)

$$u_2 = (1 + \varphi) (5 q_{\text{ser, long}} l^4) / (384 \cdot E I) = \underline{\text{mm}}$$

$\varphi : 0.5$: SIA 164 (3.16.2)

(Teneur en eau adaptée aux conditions d'emplois et pour des éléments protégés des intempéries).

flèche : $u_4 = (5 q_{\text{ser, long}} e l^4) / (384 \cdot E I) = \underline{\text{mm}}$ V-I-10

On a alors : $u_2 + u_4 \leq 1 / 400$

c/ ASSEMBLAGE PAR CONTACT :

On considère l'assemblage par contact entre l'arbalétrier et le tirant d'une ferme avec les conditions suivantes : classe II

Vérifier la sécurité structurale de l'assemblage en prenant un sabot de 50 mm, d'épaisseur en Dimensionner la liaison sabot / tirant en utilisant des clous sans pré perçage.

*** vérification de la surface de contact verticale**

Pour l'arbalétrier : $\sigma_{c, a, d} \leq 1.5 \overline{\sigma_c}_{40^\circ}$ V-I-11

Pour le sabot : $\sigma_{c, a, d} \leq 1.5 \overline{\sigma_c}_{c//}$ V-I-12

Valeur de calcul de la sollicitation : l'effort de compression sur la surface verticale vaut

$$H_d = F_d \cos \beta \underline{\text{KN}}$$

La contrainte de compression qui en découle vaut :

$$\sigma_{c, a, d} = H_d / A \underline{\text{N/mm}^2}$$

A : surface de contact vertical

Valeur de calcul de la résistance, selon SIA (3.22.12)

$$\sigma_{c40^\circ} = (0.8 \sigma_{C//} \sigma_{C\perp}) / (0.8 \sigma_{C//} \sin^2 40^\circ + \sigma_{C\perp} \cos^2 40^\circ) \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{C//} : 8.5 \text{ N/mm}^2, \quad \sigma_{C\perp} : 1.6 \text{ N/mm}^2$$

La résistance vaut donc :

$$1.5 \overline{\sigma}_{c40^\circ} = 1.5 C_D C_W \sigma_{c40} \underline{\text{N/mm}^2}$$

$C_D = 1.0$ charge de longue durée, selon SIA (3.15.2)

$C_W = 1.0$ éléments protégés des intempéries, selon SIA (3.15.2)

Vérification :

$$\sigma_{c,a,d} \leq 1.5 \overline{\sigma}_{c40^\circ} \text{ N/mm}^2$$

Vérification de la surface de contact horizontale :

$$\text{Pour l'arbalétrier} \quad \sigma_{c,a,d} \leq 1.5 \overline{\sigma}_{c50^\circ} \quad \text{V-I-13}$$

$$\text{Pour le tirant} \quad \sigma_{c,a,d} \leq 1.5 \overline{\sigma}_{c\perp} \quad \text{V-I-14}$$

$\overline{\sigma}_{c\perp}$: étant inférieur à $\overline{\sigma}_{c50}$, c'est la vérification du tirant qui est déterminante.

valeur de calcul de la sollicitation : La contrainte de compression qui en découle vaut :

$$\sigma_{c,a,d} = V_d / A \quad (\underline{\text{N/mm}^2}) \quad \text{V-I-15}$$

A : surface de contact horizontal

Valeur de calcul de la résistance :

$$1.5 \overline{\sigma}_{c\perp} = 1.5 C_D C_W \sigma_{c\perp} \sigma_{c\perp} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{V-I-16}$$

Vérification :

$$\sigma_{c,a,d} \text{ N/mm}^2 \leq 1.5 \overline{\sigma}_{c\perp} \text{ N/mm}^2$$

d/ DIMENSIONNEMENT DE LA LIAISON SABOT / TIRANT**Valeur de calcul de la résistance**

L'effort nominal F_N par clou et par section cisailée vaut, selon SIA (3.23.12) :

$$F_N = 50 d_N^{1.7} \quad \text{V-I-17}$$

En choisissant des clous de 5.0/130 mm on a un effort nominal

$$F_N = (\text{KN})$$

La résistance d'un clou vaut alors

$$1.5 \overline{F_N} = 1.5 C_D C_w F_N \quad \text{KN} \quad \text{V-I-18}$$

Vérification des conditions de calcul

L'épaisseur minimale du bois a , pour du bois équarri, vaut, selon SIA 164 (3.23.13)

$$(3+0.8 d_N) d_N \text{ mm} \leq t \text{ mm}$$

d_N : diamètre du clou , t : épaisseur du sabot

Selon SIA 164 (2.23.14), pour un assemblage à simple section de cisaillement, la pénétration s dans le second bois doit être d'au moins $12 d_N$, pour que le clou travaille à sa charge maximale :

$$12 d_N (\text{mm}) \leq s (\text{mm})$$

l_N : longueur de clous nécessaires :

$$n = H_d / m 1.5 F_N \quad \text{V-I-19}$$

$m : 1.0$: nombre de sections cisailées , On admet donc 30 clous de 5.0 / 130 mm.

Espacements des clous, selon SIA 164

$\perp$ Aux fibres, entre clous	: $e_1 \geq 5 d_N = 25 \text{ mm}$	on choisit 25 mm
$\perp$ Aux fibres, bord non chargé	: $e_2 \geq 5 d_N = 25 \text{ mm}$	on choisit 30 mm
// Aux fibres, entre clous	: $e_3 \geq 12 d_N = 60 \text{ mm}$	on choisit 60 mm
// Aux fibres, bord chargé	: $e_4 \geq 15 d_N = 75 \text{ mm}$	on choisit 75 mm

Le sabot a donc les dimensions suivants : 160/420/50 mm .La mise en place des clous avec les espacements choisis :

e/ASSEMBLAGE PAR EMBREVEMENT

La liaison arbalétrier / triant est réalisée par un emboîtement simple avec une profondeur d'entaille $t = 50$ mm .Les conditions sont indiquées et la géométrie de l'assemblage est donnée.

*Vérifier les conditions géométriques de l'emboîtement (avant –bois, profondeur de l'entaille, hauteur de l'arbalétrier, longueur de l'appui).

Condition De La Profondeur De L'entaille t : On doit avoir, selon SIA (3.22.21)

$$t \geq (F_d \cos \beta) / (b \cdot 1.5 \cdot \overline{\sigma_{ca}}) = (F_d \cos \beta) / (b \cdot 1.5 \cdot C_D \cdot C_w \cdot \sigma_{ca})$$

b : largeur d'appui de l'arbalétrier , $\alpha = \beta/2$: pour un emboîtement simple
 $C_D = 1.0$: charge de longue durée , $C_w = 1.0$: éléments protégés des intempéries

La contrainte normale sous sollicitation biaise de 20° vaut :

$$\sigma_{c40^\circ} = (0.8 \cdot \sigma_{C//} \cdot \sigma_{C\perp}) / (0.8 \cdot \sigma_{C//} \sin^2 40^\circ + \sigma_{C\perp} \cos^2 40^\circ)$$

$$\sigma_{c40^\circ} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{V-I -20}$$

$$\sigma_{C//} : 8.5 \text{ N/mm}^2, \quad \sigma_{C\perp} : 1.6 \text{ N/mm}^2$$

La profondeur de l'entaille doit être de :

$$t \geq (F_d \cos \beta) / (b \cdot 1.5 \cdot \sigma_{ca}) \text{ N/mm}$$

Vérification de la longueur de l'avant –bois v : On doit avoir , selon SIA 164

$$v \geq (F_d \cos \beta) / (b \cdot 1.5 \cdot \overline{\tau_a}) = (F_d \cos \beta) / (b \cdot 1.5 \cdot C_D \cdot C_w \cdot \tau_a)$$

$$\tau_a = 0.6 \text{ N/mm}^2 : \text{classe II}$$

Vérification de la hauteur de l'arbalétrier d : $\beta = \alpha = 40^\circ$, on doit avoir, selon SIA

$$d \geq (F_d \cos \beta) / (b \cdot 1.5 \cdot \overline{\sigma_{ca}}) = (F_d \cos \beta) / (b \cdot 1.5 \cdot C_D \cdot C_w \cdot \sigma_{ca})$$

La contrainte nominale sous sollicitation biaise de 40° vaut :

$$\sigma_{ca} = \sigma_{c40^\circ} = (0.8 \cdot \sigma_{C//} \cdot \sigma_{C\perp}) / (0.8 \cdot \sigma_{C//} \sin^2 40^\circ + \sigma_{C\perp} \cos^2 40^\circ) \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{C//} : 8.5 \text{ N/mm}^2, \quad \sigma_{C\perp} : 1.6 \text{ N/mm}^2$$

La hauteur de l'arbalétrier doit être de :

$$d \geq (F_d \cos \beta) / (b \cdot 1.5 \sigma_{ca}) = (F_d \cos \beta) / (b \cdot 1.5 C_D \cdot C_w \cdot \sigma_{ca})$$

Condition sur la profondeur de l'entaille : Dans le cas d'un embrèvement simple avec un angle $\beta \leq 50^\circ$, la profondeur de l'entaille ne doit pas dépasser la valeur de $h/4$, selon SIA

$$t \text{ mm} \leq h/4 \text{ mm}$$

Vérification de la longueur de l'appui la

$$l_a \geq V_d / (b \cdot 1.5 \overline{\sigma_{ca}}) = (F_d \sin \beta) / (b \cdot 1.5 C_D \cdot C_w \cdot \sigma_{c\perp})$$

$$\sigma_{c\perp} = 1.6 \text{ N/mm}^2 : \text{classe II}$$

Vérification de la sécurité structurale du tirant : L'introduction excentrée de l'effort F_d crée un moment de flexion. On vérifie le tirant au droit de la section affaiblie A-A, en considérant l'interaction flexion – traction

Valeur de calcul des sollicitation : l'effort de traction dans tirant vaut

$$H_d = F_d \cos \beta = 45 \text{ KN} \cdot \cos 40^\circ (\text{ KN})$$

La valeur de calcul de la **contrainte en traction** au droit de la section A-A

$$\sigma_{t//,d} = H_d / A_n \text{ mm}^2 \quad \text{V-I-21}$$

Le moment de **flexion** par rapport au centre de gravité S_n vaut :

$$M_d = F_d e - V_R a = \underline{\text{KNm}}$$

$a=5.7 \text{ cm}, e=11.3 \text{ cm}, l_a=20 \text{ cm}$

La valeur de calcul de la contrainte en flexion vaut :

$$\sigma_{m,d} = (M_d) / (W_n) = (6 M_d) / b (h-t)^2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Traction : $1.5 \sigma_{t//} = 1.5 \overline{C_K} \cdot C_w, C_D \sigma_{t//} \text{ N/mm}^2 \quad \text{V-I-22}$

Flexion : $1.5 \sigma_m = 1.5 \overline{C_K} \cdot C_w, C_D \sigma_m \text{ N/mm}^2 \quad \text{V-I-23}$

$C_K = 0.8$: coefficient d'entaille , $\sigma_{t//} = 8.5 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_m = 10.0 \text{ N/mm}^2$

Vérification, selon SIA

$$(\sigma_{m,d}) / (1.5 \sigma_m) + (\sigma_{t//,d}) / (1.5 \sigma_{t//}) \leq (\text{ N/mm}^2)$$

f/ NŒUD DE TREILLIS CLOUE

L'exécution de classe II

vérifier la sécurité structurale , Dimensionner l'assemblage en prenant des clous avec pré perçage et en tenant compte de l'excentricité des attaches.

Calcul approximatif de la hauteur de la membrure : Pour déterminer une première approximation de la hauteur de la membrure h, on se base sur la SIA 164.

Valeur de calcul de la résistance en traction

$$1.5 \sigma_{t//} = 1.5 \overline{C_K} \cdot C_D \sigma_{t//} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \textbf{V-I-24}$$

$C_D = 1.0$: charge de longue durée , $C_w = 1.0$: éléments protégés des intempéries
 $C_K = 0.8$: pour des clous avec perçage et avec du bois équarri
 $\sigma_{t//} = 8.5 \text{ N/mm}^2$: classe II , selon la SIA 164

$$\sigma_{\max,d} \leq 2/3 (1.5 \overline{\sigma_{t//}}) = F_{\max,d} / bh \quad \textbf{V-I-25}$$

$\sigma_{\max,d}$: valeur de calcul de la contrainte de traction maximale dans la membrure

$F_{\max,d}$: valeur de calcul de l'effort de traction maximal dans la membrure

b : largeur de la section , h : hauteur de la section

d'où :

$$h \geq (F_{\max,d} .3) / (2 b 1.5 \overline{\sigma_{t//}}) \text{ mm} \quad \textbf{V-I-26}$$

Vérification de l'interaction flexion -*traction dans la membrure

Le **moment** introduit dans la membrure par l'excentricité des efforts vaut :

$$M_d = 2 F_{2d} \cos 50^\circ (h/2) \text{ KNm}$$

Valeur de calcul des sollicitations

$$\textbf{Traction :} \quad \sigma_{t//,d} = H_{3,d} / A_n \text{ N/mm}^2 \quad \textbf{V-I-27}$$

A_n : section nette de la membrure

flexion : $\sigma_{m,d} = M_d / W = 6 M_d / b h^2 \text{ N/mm}^2$ **V-I-28**

40

valeurs de calcul des résistances :

Traction : $1.5 \overline{\sigma_{t,d}} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$ **V-I-29**

flexion : $1.5 \overline{\sigma_m} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$ **V-I-30**

vérification , selon SIA

$$(\sigma_{m,d} / \overline{\sigma_m} 1.5) + (\sigma_{t,d} / \overline{1.5 \sigma_{t,d}}) \geq 1.0$$

On augmente donc la hauteur à $h = 140 \text{ mm}$ pour laquelle on obtient une valeur d'interaction de 1.0 .

Vérification de membrure au cisaillement : Valeur de calcul de la sollicitation

Valeur de calcul de la **contrainte de cisaillement** au droit de la membrure vaut :

$$\tau_{v,d} = V_d / A = \underline{\underline{\text{N/mm}^2}}$$

valeur de calcul de la résistance

$$1.5 \overline{\tau_{v,d}} = 1.5 C_D C_W \tau = \underline{\underline{\text{N/mm}^2}} \quad \text{V-I-31}$$

$$\tau : 1.0 \text{ N/mm}^2$$

Vérification :

$$\tau_{v,d} = \text{N/mm}^2 \leq 1.5 \overline{\tau} \text{ N/mm}^2$$

VI-2/ ETUDE STATISTIQUE

l'hygroscopie joue un rôle sur la variabilité et la durabilité du bois de structure , elle influe également sur les performances physiques et mécaniques .

Des essais sur des éprouvettes de dimensions 30x30x300 (mm) ,ont permis d'observer la variabilité du matériau bois « pin d'Alep » vis-à-vis de Humidité , Masse Volumique , charge.

En général on a affaire aux valeurs aléatoires d'où on peut analyser , mesurer , et traiter les valeurs telles que : les propriétés des matériaux leurs caractéristiques physico mécaniques , les paramètres des processus technologiques , les paramètres de la teneur en humidité . Habituellement , les valeurs aléatoires sont réunies en ensembles statistiques .

Dans ce qui suit on déterminera les caractéristiques statistiques inhérentes aux grandeurs mécaniques spécifiques aux calculs de structures à savoir .

- Moyenne et variations de l'effort de flexion.
- Moyenne et variations de l'effort de traction.
- Moyenne et variations de l'effort de compression.

D'autres caractéristiques statistiques sont également déterminées [22].

Caractéristiques essentielles d'un ensemble statistique

Moyenne arithmétique

La moyenne arithmétique est donnée par la relation suivante :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{IV-I-32}$$

Calcul de la variance_ n < 30

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \quad \text{IV-II-33}$$

Appelée aussi coefficient de variation , en multipliant Cv par 100% , on obtient l'irrégularité quadratique d'une série d'essai C , en pourcent

$$C = C_v \times 100\%$$

IV-II-36

Estimation des caractéristiques .E échantillons de petite taille (n<30)

L'erreur absolue de confiance de la moyenne arithmétique peut être , dans ce cas , déterminée de la manière suivante :

$$\varepsilon = t_t \left(S / \sqrt{n} \right) \quad \text{IV-II-37}$$

d'où

t_t : valeur tabulée du critère de student , $t_t = f(v ; P) = t_t [\alpha = 1-P ; v = n-1]$

$v = n$: nombre de degrés de liberté : $v = n-1$;

P : Probabilité de confiance $P = 1 - \alpha$;

α : seuil de confiance

Valeur tabulée du critère de student

$\alpha = 1 - p$: seuil de confiance

$v = n - 1$: nombre de degré de liberté

Les valeurs tabulées du critère de student sont données dans les tables de probabilité (voir annexe) .

La division de l'erreur absolue de la moyenne ε par la moyenne arithmétique donne l'erreur relative de la moyenne arithmétique c'est-à-dire :

$$\delta = (\varepsilon) \times 100\% \quad \text{IV-II-38}$$

L'intervalle de confiance de la moyenne arithmétique est de :

$$\varepsilon - \overline{X} \leq \mu \leq \varepsilon + \overline{X} \quad \text{IV-II-39}$$

Dans le cas de petit échantillon , l'intervalle de confiance de l'écart type est asymétrique et peut être déterminé de la manière suivant :

$$\theta_1 \times S \leq \sigma \leq \theta_2 \times S \quad \text{IV-II-40}$$

avec :

$$\theta_1 = (n-1) / (\chi^2_t [\alpha/2 ; v = n-1]) \quad , \quad \theta_2 = (n-1) / (\chi^2_t [1- \alpha/2 ; v = n-1]))$$

c/Les valeurs tabulées du critère de Pearson

$$\chi^2_{t[\alpha/2] ; v = n-1} \quad \chi^2_{t[1-(\alpha/2)] ; v = n-1}$$

$$\theta_1 = (n-1) / \chi^2_{\alpha/2; v}$$

$$\theta_2 = (n-1) / \chi^2_{1-\alpha/2; v}$$

Les valeurs tabulées du critère de Pearson , sont données dans les tables de probabilité (annexe) .Elles sont en fonction du seuil de confiance α et du nombre de degrés de liberté $v = n-1$.

L'intervalle de confiance de l'écart type est asymétrique

$$\theta_1 \times S \leq \sigma \leq \theta_2 \times S$$

IV-II-41

Coefficient de variation

Comme dans le cas précédent , l'intervalle de confiance du coefficient de variation est asymétrique et se détermine de la manière suivante :

$$K_1 \times C_v \leq \gamma \leq K_2 \times C_v$$

IV-II-42

$$K_1 = \sqrt{n / (\chi^2_{\alpha/2; v})(1 - C_v)^2 - n C_v^2} ; K_2 = \sqrt{n / (\chi^2_{1-\alpha/2; v})(1 - C_v)^2 - n C_v^2}$$

Les données expérimentales comportent , parfois , des valeurs qui sont trop grande ou très petite , cette grande déviation peut s'expliquer :

*L'erreur d'essai ou de l'expérience

*Le caractère aléatoire des valeurs .

d/faut-il rejeter ou accepter les valeurs anormales ?

Pour déterminer le cas favorable , on utilise la méthode statistique basée sur le calcul de l'écart type (critère de Smirnov -Grabbs).

Elimination des valeurs anormales

on utilise la méthode statistique basée sur l'erreur relative (Critère de smirnov - Grabbs)
Les valeurs calculées de ce critère sont déterminées de la manière suivant :

$$V_{\min} = (\bar{x} - x_{\max}) / S \sqrt{n / (n-1)} ; V_{\max} = (x_{\max} - \bar{x}) / S \sqrt{n / (n-1)}$$

$$V_{\min} < V_t ; V_{\max} < V_t$$

IV-II-43

La Valeur tabulée est en fonction de la probabilité de confiance et du nombre totale d'essais n
 $V_t = V_t [P ; n]$, si les valeurs calculées sont inférieure à celle tabulées $V_c < V_t$, les données
sont acceptées. Dans le cas contraire $V_c > V_t$, elle sont rejetées.

III-3/ METHODE DE FIABILITE

a/ESSAIS DE FLEXION , COMPRESSION ET TRACTION

Etude de la fiabilité suivant le modèle de Weibull

Calcul de gamma

xi min	xi max	xi moy	gamma
--------	--------	--------	-------

Déterminer du graphe avec $x \geq \gamma$

γ	η	β	x	y
----------	--------	---------	---	---

La fiabilité correspondante est :

$$R(x) = e^{-(x-\gamma)/\eta)^{\beta}} \quad \text{IV-III-44}$$

la fonction de répartition et de :

$$F(x) = 1 - e^{-(x-\gamma)/\eta)^{\beta}} \quad \text{IV-III-45}$$

Taux de défaillance :

$$\lambda(x) = F(x) / R(x) \quad \text{IV-III-46}$$

pour vérifier :

$$F(x) + R(x) \quad \text{IV-III-47}$$

γ , η et β sont déterminer graphiquement

Partie 4

CHAPITRE VI

*RESULTATS
ET
INTERPRETATIONS*

VI- RESULTATS ET INTERPRETATIONS

a/ ETUDE STATIQUE

CALCUL DE LA POUTRE SIMPLE

Afin de chiffrer numériquement le gain au niveau du volume de bois de pin d'Alep mis en œuvre, le dimensionnement d'une poutre en considérant successivement une série de poutres simples,

ORDRE DE GRANDEUR DE LA SECTION

Poutre simple de section constante :

$$l/20 \leq h \leq l/40 \quad \text{VI-I-1}$$

Les charges étant importantes, on choisit :

$$b = 200 \text{ mm} \quad \text{et} \quad h = l/12 = 12 \cdot 10^3 / 12 = 990 \text{ mm} \quad \text{VI-I-2}$$

Vérification de la flexion

*Valeurs représentatives des actions : poids propre du plancher mixte

$$g_1 = 2.6 \text{ KN/M}^2$$

Poids propre de la poutre :

$$g_2 = b \cdot h \cdot \rho_w = (0.2 \cdot 0.99) \text{ m}^2 \cdot 5.0 \text{ KN/m}^3 = 0.99 \text{ KN / M}^3$$

$$g_m = g_1 \cdot e + g_2 = 2.6 \text{ KN/m}^2 \cdot 3.0 \text{ m} + 0.99 \text{ KN/m} = 8.79 \text{ KN/m} \quad \text{VI-I-3}$$

Charge utile : classe II selon SIA160 [4.04.2]

$q_r = \underline{3.0 \text{ KN/m}^2}$

***Valeur de calcul de la sollicitation :** cas « charge utile prépondérante »

$$S_d = \gamma_G g_m + \gamma_Q q_r e$$

46

$$q_d = 1.3 \cdot 8.79 \text{ KN/m} + 1.5 \cdot 3.0 \text{ KN/m}^2 \cdot 3.0 \text{ m} = 24.87 \text{ KN/m} \quad \text{VI-I-4}$$

Valeur de calcul des contraintes : pour une poutre

$$M_d = (q_d l^2) / 8 = (24.87 \text{ KN/m} (12)^2 \text{ m}^2) / 8 = 447.66 \text{ KN m} \quad \text{VI-I-5}$$

Il en résulte la valeur de calcul de la contrainte de flexion :

$$\sigma_{m,d} = M_d / W_y = (447.66 \cdot 10^6) \text{ N mm} / (30.1 \cdot 10^6) \text{ mm}^3 = 14.84 \text{ N/mm}^2 \quad \text{VI-I-6}$$

Contrainte de flexion

$$\sigma_{m,d} = 14.84 \text{ N/mm}^2$$

Valeur de calcul de la résistance : coefficient de déversement pour une poutre stabilisée

$$K_D = 1.0$$

Coefficient de hauteur c_H :

$$c_H = (300 / 990)^{1/9} = (300/990)^{1/9} = 0.880 \quad \text{VI-I-7}$$

la valeur de calcul de la résistance :

$$1.5 \sigma_m = \overline{1.5} C_D C_W C_H \sigma_m = 1.5 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 0.880 \cdot 14.0 \text{ N/mm}^2 = 18.48 \text{ N/mm}^2 \quad \text{VI-I-8}$$

$C_D = 1.0$	: charges de longue durée, selon SIA 164 (3.15.2)
$C_W = 1.0$	: éléments protégés des intempéries, selon SIA 164 (3.15.2)
$\sigma_m =$	: 14 N/mm^2

Vérification :

$$\sigma_{m,d} = M_d / W_y = 14.84 \text{ N/mm}^2 \leq \overline{1.5} \sigma_m = 18.48 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,d} = 14.84 \text{ N/mm}^2 \leq 1.5 \overline{\sigma_m} = 18.48 \text{ N/mm}^2 \quad \text{VI-I-9}$$

$$16.84 \text{ N/mm}^2 \leq 18.48 \text{ N/mm}^2$$

***Vérification de l'effort tranchant :** valeur de calcul des contraintes

$$V_d = (q_d l) / 2 = (31.2 \text{ KN/m} \cdot 12 \text{ m}) / 2 = 187.2 \text{ KN}$$

Il en découle la valeur de calcul de la contrainte de cisaillement :

47

$$\tau_{v,d} = (3 V_d) / (2A) = (3/2) (187.10^3 \text{ N}) / (200.990 \text{ mm}^2) = 1.34 \text{ N/mm}^2 \quad \text{VI-I-10}$$

Valeur de calcul de la résistance :

$$1.5 \tau_{v,d} = 1.5 \bar{C}_D \bar{C}_W \bar{C}_H \tau = 1.5 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.2 = 1.8 \text{ N/mm}^2 \quad \text{VI-I-11}$$

$\bar{C}_D = 1.0$: charges de longue durée, selon SIA 164 (3.15.2)
 $\bar{C}_W = 1.0$: éléments protégés des intempéries, selon SIA164 (3.15.2)
 τ : 1.2 N/mm^2

Vérification :

$$\tau_{v,d} = 1.34 \text{ N/mm}^2 \leq 1.5 \bar{\tau} = 1.8 \text{ N/mm}^2$$

$$1.34 \text{ N/mm}^2 \leq 1.8 \text{ N/mm}^2$$

Vérification de l'aptitude au service : Seuls les problèmes liés aux déformations seront abordés.

***Sollicitations de service :**

Les Sollicitations intervenant dans la vérification de la rigidité et du confort sont les actions de courte durée .On a donc uniquement la charge utile qui prend la valeur (SIA 160 4.04.2) :

$$q_{\text{ser, court}} = 2.0 \text{ KN/m}^2 \cdot 3.0 \text{ m} = 6 \text{ KN/ m}$$

Sollicitation intervenant dans la vérification des déformations de longue durée

$$q_{\text{ser, long}} = g_m = 8.75 \text{ KN/ m}$$

Calcul des déformations : flèche u_2 due aux actions de longue durée (charges permanentes)

$$u_2 = (1 + \varphi) (5 q_{\text{ser, long}} l^4) / (384 \cdot E I) = \quad \text{VI-I-13}$$

$$[(1+0.5)(5/384)] [(8.75 \text{ N/mm} / 11.10^3 \text{ N/mm}^2) (12 \cdot 10^3 \text{ mm})^4 / 14.29 \cdot 10^9 \text{ mm}^4] \approx 15.29 \text{ mm}$$

$$u_2 \approx 15.29 \text{ mm} \quad \text{VI-I-12}$$

$\varphi : 0.5$: SIA 164 (3.16.2)

(Teneur en eau adaptée aux conditions d'emplois et pour des éléments protégés des intempéries).

flèche :

$$u_4 = (5 q_{\text{ser, long}} e l^4) / (384 \cdot E I) =$$

$$((5/384) q_{\text{ser, court}} e l^4) / EI \approx 10.19 \text{ mm}$$

$$u_4 \approx 10.19 \text{ mm}$$

48

on a alors :

$$u_2 + u_4 = 15.29 + 10.19 = 25.48 \text{ mm} \leq 1/400 = 12.10^3 / 400 = 30 \text{ mm}$$

$$u_2 + u_4 \leq 1/400 \quad \text{VI-I-14}$$

$$25.48 \text{ mm} \leq 30 \text{ mm}$$

Conclusion

La vérification pour les poutres simples est déterminée généralement pour les poutres fortement chargées et pour les poutres de section très élancées ($h/b > 10$), ou lorsqu'on a une réduction de la section au droit de l'appui. Dans notre structure [poutre en pin d'Alep], la vérification de la sécurité structurale a été déterminée :

- Pour une contrainte en flexion d'une valeur de 16.84 N mm^{-2} qui se trouve inférieur à la valeur de la contrainte calculée selon SIA
- Un effort tranchant de la valeur de $1.41 \text{ N mm}^{-2} < 1.8 \text{ N mm}^{-2}$ [valeur calculée suivant SIA]

La vérification structurale nous conduit à vérifier le contact vertical et le contact horizontal ; pour le premier la valeur de la contrainte déterminée est de 4.31 N mm^{-2} est inférieure à la contrainte calculée selon la SIA et qui est de 4.35 N mm^{-2} .

Ces résultats satisfont les recommandations de la SIA pour le calcul des poutres simples et la sécurité structurale suivant ce critère est assurée.

On peut conclure que le pré dimensionnement de la poutre principale (simple) de notre charpente et requise au dimensionnement définitive de la poutre principale de la charpente vu les résultats obtenus d'après les calculs. $u_2 + u_4 \leq 1/400$.

ASSEMBLAGE PAR CONTACT :

On considère l'assemblage par contact entre l'arbalétrier et le tirant d'une ferme avec les conditions suivantes : **classe II**

Vérifier la sécurité structurale de l'assemblage en prenant un sabot de 50 mm, d'épaisseur en Dimensionner la liaison sabot / tirant en utilisant des clous sans pré perçage.

vérification de la surface de contact verticale

$$\text{Pour l'arbalétrier :} \quad \sigma_{c,a,d} \leq 1.5 \overline{\sigma_{c40^\circ}} \quad \text{VI-I-15}$$

$$\text{Pour le sabot :} \quad \sigma_{c,a,d} \leq 1.5 \overline{\sigma_{c//}} \quad \text{VI-I-16}$$

49

$\overline{\sigma_{c40^\circ}}$: étant inférieur à $\overline{\sigma_{c//}}$, c'est la vérification des contraintes de compression pour l'arbalétrier qui est déterminante.

Valeur de calcul de la sollicitation : l'effort de compression sur la surface verticale vaut
 $H_d = F_d \cos \beta = 45 \text{ KN} \cos 40^\circ = 34.5 \text{ KN}$

La contrainte de compression qui en découle vaut :

$$\sigma_{c,a,d} = H_d / A = (34.5 \cdot 10^3 \text{ N}) / (160 \cdot 50 \text{ mm}^2) = 4.21 \text{ N/mm}^2 \quad \text{VI-I-17}$$

A : surface de contact vertical

Valeur de calcul de la résistance, selon SIA (3.22.12)

$$\sigma_{c40^\circ} = (0.8 \sigma_{C//} \sigma_{C\perp}) / (0.8 \sigma_{C//} \sin^2 40^\circ + \sigma_{C\perp} \cos^2 40^\circ)$$

$$\sigma_{c40^\circ} = (0.8 \cdot 8.5 \text{ N/mm}^2 \cdot 1.6 \text{ N/mm}^2) / (0.8 \cdot 8.5 \text{ N/mm}^2 \cdot \sin^2 40^\circ + 1.6 \text{ N/mm}^2 \cdot \cos^2 40^\circ)$$

$$\sigma_{c40^\circ} = 2.90 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{C//} : 8.5 \text{ N/mm}^2, \quad \sigma_{C\perp} : 1.6 \text{ N/mm}^2$$

La résistance vaut donc :

$$1.5 \sigma_{c40^\circ} = 1.5 C_D C_W \sigma_{c40^\circ} = 1.5 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 2.90 \text{ N/mm}^2 = 4.35 \text{ N/mm}^2 \quad \text{VI-I-19}$$

$C_D = 1.0$ charge de longue durée, selon SIA (3.15.2)

$C_W = 1.0$ éléments protégés des intempéries, selon SIA (3.15.2)

Vérification :

$$\sigma_{c,a,d} = 4.21 \text{ N/mm}^2 \leq 1.5 \sigma_{c40^\circ} = 4.35 \text{ N/mm}^2$$

Vérification de la surface de contact horizontale :

Pour l'arbalétrier : $\sigma_{c,a,d} \leq 1.5 \overline{\sigma_{c50^\circ}}$ VI-I-20

Pour le tirant : $\sigma_{c,a,d} \leq 1.5 \overline{\sigma_{c\perp}}$ VI-I-21

$\overline{\sigma_{c\perp}}$: étant inférieur à $\overline{\sigma_{c50}}$, c'est la vérification du tirant qui est déterminante.

valeur de calcul de la sollicitation :

L'effort de **compression** sur la surface horizontale vaut :

$$V_d = F_d \sin \beta = 4.5 \text{ KN} \sin 40^\circ = 28.9 \text{ KN}$$

$$V_d = 28.9 \text{ KN}$$

La contrainte de compression qui en découle vaut :

$$\sigma_{c,a,d} = V_d / A = (28.9 \text{ KN}) / (160.283 \text{ mm}^2) = 0.64 \text{ N/mm}^2 \quad \text{VI-I-22}$$

$$\sigma_{c,a,d} = 0.64 \text{ N/mm}^2$$

A : surface de contact horizontal

Valeur de calcul de la résistance :

$$1.5 \overline{\sigma_{c\perp}} = 1.5 \overline{C_D} C_w \overline{\sigma_{c\perp}} = 1.5 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.6 \text{ N/mm}^2 = 2.4 \text{ N/mm}^2 \quad \text{VI-I-23}$$

Vérification :

$$\sigma_{c,a,d} = 0.64 \text{ N/mm}^2 \leq 1.5 \overline{\sigma_{c\perp}} = 2.4 \text{ N/mm}^2 \quad \text{VI-I-24}$$

$$0.64 \text{ N/mm}^2 \leq 2.4 \text{ N/mm}^2$$

Conclusion

➤ Les sollicitations suivant l'axe vertical de l'assemblage satisfont les critères de la SIA. La valeur des sollicitations suivant l'axe horizontal de l'assemblage est de 0.64 N/mm^2 , inférieures à la valeur de la contrainte calculée suivant SIA qui est de l'ordre de 2.4 N/mm^2 .

➤ Les valeurs de sollicitations verticales de l'assemblage pour l'essence utilisé [pin d'Alep], satisfont les recommandations de la SIA.

DIMENSIONNEMENT DE LA LIAISON SABOT / TIRANT

***Valeur de calcul de la sollicitation** : l'effort de cisaillement qui doit être transmis de sabot au tirant vaut :

$$H_d = 34.5 \text{ KN}$$

51

***Valeur de calcul de la résistance**

L'effort nominal F_N par clou et par section cisailée vaut, selon SIA (3.23.12) :

$$F_N = 50 d_N^{1.7}$$

En choisissant des clous de 5.0/130 mm on a un effort nominal

$$F_N = 0.771 \text{ KN}$$

La résistance d'un clou vaut alors

$$1.5 \bar{F}_N = 1.5 C_D C_w F_N \quad \text{KN} \quad \text{VI-I-25}$$

$$1.5 \bar{F}_N = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 0.771 = 1.157 \text{ KN}$$

$$1.5 \bar{F}_N = 1.157 \text{ KN}$$

***Vérification des conditions de calcul**

L'épaisseur minimale du bois équarri, vaut, selon SIA 164 (3.23.13)

$$(3+0.8 d_N) d_N = (3+0.8 \cdot 5.0) \cdot 5.0 = 35 \text{ mm} \leq t = 50 \text{ mm}$$
$$35 \text{ mm} \leq t = 50 \text{ mm}$$

d_N : diamètre du clou , t : épaisseur du sabot

Selon SIA 164 (2.23.14), pour un assemblage à simple section de cisaillement, la pénétration s dans le second bois doit être d'au moins $12 d_N$, pour que le clou travaille à sa charge maximale :

$$12 d_N = 12 \cdot 0.5 \cdot 10 \text{ mm} = 60 \text{ mm} \leq s = l_N - 50 \text{ mm} = 130 - 50 = 80 \text{ mm}$$

$$60 \text{ mm} \leq 80 \text{ mm}$$

l_N : longueur de clous nécessaires :

$$n = H_d / m \cdot 1.5 \cdot F_N = 34.5 \text{ KN} / 1.0 \cdot 1.157 \text{ KN} = 29.8$$

VI-I-26

m : 1.0 : nombre de sections cisailées , on admet donc 30 clous de 5.0 / 130 mm.

Espacements des clous, selon SIA 164

⊥ Aux fibres, entre clous	: $e_1 \geq 5 \text{ dN} = 25 \text{ mm}$	on choisit 25 mm
⊥ Aux fibres, bord non chargé	: $e_2 \geq 5 \text{ dN} = 25 \text{ mm}$	on choisit 30 mm
// Aux fibres, entre clous	: $e_3 \geq 12 \text{ dN} = 60 \text{ mm}$	on choisit 60 mm
// Aux fibres, bord chargé	: $e_4 \geq 15 \text{ dN} = 75 \text{ mm}$	on choisit 75 mm

Conclusion

- Les valeurs de sollicitations verticales de l'assemblage pour l'essence utilisé [pin d'Alep], satisfont les recommandations de la SIA.

Les dimensions tolérées de la liaison sabot / tirant reste au dessous de la dimension limite toléré

ASSEMBLAGE PAR EMBREVEMENT

La liaison arbalétrier / triant est réalisée par un emboîtement simple avec une profondeur d'entaille $t = 50 \text{ mm}$. Les conditions sont indiquées et la géométrie de l'assemblage est donnée.

Vérifier les conditions géométriques de l'emboîtement (avant –bois, profondeur de l'entaille, hauteur de l'arbalétrier, longueur de l'appui).

Condition de la profondeur de l'entaille t : On doit avoir, selon SIA (3.22.21)

$$t \geq (F_d \cos \beta) / (b \cdot 1.5 \cdot \sigma_{ca}) = (F_d \overline{\cos \beta}) / (b \cdot 1.5 \cdot C_D \cdot C_w \cdot \sigma_{ca}) \quad \text{VI-I-27}$$

b : largeur d'appui de l'arbalétrier

$\alpha = \beta / 2$: pour un emboîtement simple

$C_D = 1.0$: charge de longue durée

$C_w = 1.0$: éléments protégés des intempéries

La contrainte normale sous sollicitation biaise de 20° vaut :

$$\sigma_{c40^\circ} = (0.8 \cdot \sigma_{C//} \cdot \sigma_{C\perp}) / (0.8 \cdot \sigma_{C//} \sin^2 40^\circ + \sigma_{C\perp} \cos^2 40^\circ) \quad \text{VI-I-28}$$

$$\sigma_{c40^\circ} = (0.8 \cdot 8.5 \text{ N/mm}^2 \cdot 1.6 \text{ N/mm}^2) / (0.8 \cdot 8.5 \text{ N/mm}^2 \cdot \sin^2 20^\circ + 1.6 \text{ N/mm}^2 \cdot \cos^2 20^\circ)$$

$$\sigma_{c40^\circ} = 4.95 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{C//} : 8.5 \text{ N/mm}^2, \sigma_{C\perp} : 1.6 \text{ N/mm}^2$$

La profondeur de l'entaille doit être de :

$$t \geq (F_d \cos\beta) / (b \cdot 1.5 \cdot \sigma_{ca}) = 45.10^3 \text{ N} \cos 40^\circ / 160 \text{ mm} \cdot 1.5 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 4.93 \text{ N/mm} \\ = \mathbf{28.9 \text{ mm} < 50 \text{ mm}}$$

Vérification de la longueur de l'avant-bois v : On doit avoir, selon SIA 164

53

$$v \geq (F_d \cos\beta) / (b \cdot 1.5 \cdot \tau_a) = (F_d \cos\beta) / (b \cdot 1.5 \cdot C_D \cdot C_w \cdot \tau_a)$$

$$v \geq 45.10^3 \text{ N} \cos 40^\circ / 160 \text{ mm} \cdot 1.5 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 0.6 \text{ N/mm}$$

$$= \mathbf{240 \text{ mm} < 249 \text{ mm}}$$

$$\tau_a = 0.6 \text{ N/mm}^2 : \text{classe II}$$

Vérification de la hauteur de l'arbalétrier d : $\beta = \alpha = 40^\circ$, on doit avoir, selon SIA 164

$$d \geq (F_d \cos\beta) / (b \cdot 1.5 \cdot \sigma_{ca}) = (F_d \cos\beta) / (b \cdot 1.5 \cdot C_D \cdot C_w \cdot \sigma_{ca})$$

La contrainte nominale sous sollicitation biaise de 40° vaut :

$$\sigma_{ca} = \sigma_{c40^\circ} = (0.8 \cdot \sigma_{C//} \cdot \sigma_{C\perp}) / (0.8 \cdot \sigma_{C//} \sin^2 40^\circ + \sigma_{C\perp} \cos^2 40^\circ) \quad \mathbf{VI-I-29}$$

$$\sigma_{c40^\circ} = (0.8 \cdot 8.5 \text{ N/mm}^2 \cdot 1.6 \text{ N/mm}^2) / (0.8 \cdot 8.5 \text{ N/mm}^2 \cdot \sin^2 40^\circ + 1.6 \text{ N/mm}^2 \cdot \cos^2 40^\circ)$$

$$\sigma_{c40^\circ} = \mathbf{2.89 \text{ N/mm}^2}$$

$$\sigma_{C//} : 8.5 \text{ N/mm}^2, \sigma_{C\perp} : 1.6 \text{ N/mm}^2$$

La hauteur de l'arbalétrier doit être de :

$$d \geq (F_d \cos\beta) / (b \cdot 1.5 \cdot \sigma_{ca}) = (F_d \cos\beta) / (b \cdot 1.5 \cdot C_D \cdot C_w \cdot \sigma_{ca})$$

$$\mathbf{64.9 \text{ mm} < 220 \text{ mm}}$$

Condition sur la profondeur de l'entaille : Dans le cas d'un embrèvement simple avec un angle $\beta \leq 50^\circ$, la profondeur de l'entaille ne doit pas dépasser la valeur de $h/4$, selon SIA 164.

$$t = 50 \text{ mm} \leq h/4 = 70 \text{ mm}$$

$$\mathbf{50 \text{ mm} \leq 70 \text{ mm}}$$

Vérification de la longueur de l'appui la

$$l_a \geq V_d / (b \cdot 1.5 \overline{\sigma_{ca}}) = (F_d \sin \beta) / (b \cdot 1.5 C_D \cdot C_w \cdot \sigma_{c\perp})$$

$\sigma_{c\perp} = 1.6 \text{ N/mm}^2$: classe II

Vérification de la sécurité structurale du tirant : L'introduction excentrée de l'effort F_d crée un moment de flexion. On vérifie le tirant au droit de la section affaiblie A-A, en considérant l'interaction flexion – traction

*Valeur de calcul des sollicitation : l'effort de traction dans tirant vaut

$$H_d = F_d \cos \beta = 45 \text{ KN} \cdot \cos 40^\circ = \mathbf{35 \text{ KN}} \quad \text{VI-I-30}$$

La valeur de calcul de la **contrainte en traction**

$$\sigma_{t//,d} = H_d / A_n = 34.5 \cdot 10^3 / (h-t)^b = 34.5 \cdot 10^3 / (280-50) \cdot 160 \text{ mm}^2 \quad \text{VI-I-31}$$

$$\sigma_{t//,d} = \mathbf{0.96 \text{ N/mm}^2}$$

Le moment de **flexion** par rapport au centre de gravité S_n vaut :

$$M_d = F_d e - V_R a = 5.1 \text{ KNm} - 0.94 \text{ KNm} = \mathbf{4.28 \text{ KNm}}$$

$a=5.7 \text{ cm}$, $e=11.3 \text{ cm}$, $la=20\text{cm}$

La valeur de calcul de la **contrainte en flexion** vaut :

$$\sigma_{m,d} = (M_d) / (W_n) = (6 M_d) / b (h-t)^2 = \mathbf{2.47 \text{ N/mm}^2} \quad \text{VI-I-32}$$

$$\sigma_{m,d} = \mathbf{2.47 \text{ N/mm}^2}$$

Traction :

$$\mathbf{1.5 \sigma_{t//}} = 1.5 C_K \cdot \overline{C_w} , C_D \sigma_{t//} = 1.5 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 0.8 \cdot 8.5 \text{ N/mm}^2 \quad \text{VI-I-33}$$

$$\mathbf{1.5 \sigma_{t//}} = \mathbf{10.2 \text{ N/mm}^2}$$

Flexion :

$$\mathbf{1.5 \sigma_m} = 1.5 \overline{C_K} \cdot C_w , C_D \sigma_m = 1.5 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 0.8 \cdot 10.0 \text{ N/mm}^2 = 12.0 \text{ N/mm}^2$$

$$\mathbf{1.5 \overline{\sigma_m}} = \mathbf{12.0 \text{ N/mm}^2}$$

$C_K = 0.8$: coefficient d'entaille, selon 3.35 , $\sigma_{t//} = 8.5 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_m = 10.0 \text{ N/mm}^2$

***Vérification, selon SIA**

$$(\sigma_{m,d}) / (1.5 \overline{\sigma}_m) + (\sigma_{t, //, d}) / (1.5 \overline{\sigma}_{t, //}) \leq (2.36+0.94)N/mm^2 / (12.0+10.2)N/mm^2$$

$$= 0.19 + 0.09 = 0.28 \leq 1.0$$

Conclusion

Le calcul des assemblages par emboîtement se limite à la vérification des conditions géométriques, on retiendra les valeurs suivantes : Profondeur de l'entaille 29 mm < 50 mm
La longueur avant bras 239 mm < 250 mm, Hauteur de l'arbalétrier 65 mm < 220 mm
Ces valeurs de dimensions sont nettement inférieures au seuil de tolérance et de ce fait les assemblages par emboîtement dans notre cas de structure de charpente en bois de pin d'Alep sont vérifiés.

NŒUD DE TREILLIS CLOUE

vérifier la sécurité structurale

Dimensionner l'assemblage en prenant des clous avec pré perçage et en tenant compte de l'excentricité des attaches.

Calcul approximatif de la hauteur de la membrure : Pour déterminer une première approximation de la hauteur de la membrure h, on se base sur la SIA 164.

Valeur de calcul de la résistance en traction

$$1.5 \sigma_{t, //} = 1.5 C_K \cdot C_w, C_D \sigma_{t, //} = 1.5 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 0.8 \cdot 8.5 N/mm^2 \quad \text{VI-I-34}$$

$$1.5 \sigma_{t, //} = 10.2 N/mm^2$$

$C_D = 1.0$: charge de longue durée
 $C_w = 1.0$: éléments protégés des intempéries
 $C_K = 0.8$: pour des clous avec perçage et avec du bois équarri
 $\sigma_{t, //} = 8.5 N/mm^2$: classe II

on doit donc avoir, selon la SIA 164

$$\sigma_{max, d} \leq 2/3 (1.5 \overline{\sigma}_{t, //}) = F_{max, d} / bh \quad \text{VI-I-35}$$

$\sigma_{max, d}$: valeur de calcul de la contrainte de traction maximale dans la membrure
 $F_{max, d}$: valeur de calcul de l'effort de traction maximal dans la membrure

b : largeur de la section
h : hauteur de la section

$$d'o\grave{u} : h \geq (F_{\max,d} \cdot 3) / (2 b \bar{\sigma}_{t//}) = 89 \text{ mm}$$

$$h \geq 89 \text{ mm}$$

Vérification de l'interaction flexion - traction dans la membrure

Le **moment** introduit dans la membrure par l'excentricité des efforts vaut :

$$M_d = 2 F_{2d} \cos 50^\circ (h/2) = 2.23.8.10^3 \text{ N} \cdot \cos 50^\circ (120/2) = \mathbf{1.84 \text{ KNm}}$$

$$M_d = \mathbf{1.84 \text{ KNm}}$$

Valeur de calcul des sollicitations

*Traction

$$\sigma_{t//,d} = H_{3,d} / A_n = 60.8.10^3 / 10\,800 \text{ mm}^2 = \mathbf{5.59 \text{ N/mm}^2} \quad \text{VI-I-36}$$

$$\sigma_{t//,d} = \mathbf{5.59 \text{ N/mm}^2}$$

A_n : section nette de la membrure

Le nombre de clous n'étant pas encore déterminé, on a diminué l'aire de la section de 10 % pour calculer l'air nette A_n .

flexion :

$$\sigma_{m,d} = M_d / W = 6 M_d / b h^2 = 6.1.84 \cdot 10^6 / 240\,000 \text{ mm}^3 = \mathbf{7.77 \text{ N/mm}^2} \quad \text{VI-I-37}$$

$$\sigma_{m,d} = \mathbf{7.77 \text{ N/mm}^2}$$

pour plus de précision, il est possible de calculer W_n mais cela représente un écart très faible

valeurs de calcul des résistances :

Traction

$$1.5 \bar{\sigma}_{t//} = \mathbf{10.2 \text{ N/mm}^2} \quad \text{VI-I-38}$$

flexion :

$$1.5 \bar{\sigma}_m = \mathbf{12.0 \text{ N/mm}^2} \quad \text{VI-I-39}$$

vérification, selon SIA

$$(\sigma_{m,d} / \bar{\sigma}_m 1.5) + (\sigma_{t//,d} / 1.5 \bar{\sigma}_{t//}) = \mathbf{1.19 \geq 1.0} \quad \text{VI-I-40}$$

On augmente donc la hauteur à $h = 140 \text{ mm}$ pour laquelle on obtient une valeur d'interaction de 1.0 .

Vérification de membrure au cisaillement : Valeur de calcul de la sollicitation

Valeur de calcul de la **contrainte de cisaillement** au droit de la membrure vaut :

$$\tau_{v,d} = V_d / A = 1.2 \text{ N/mm}^2 \quad \text{VI-I-41}$$

valeur de calcul de la résistance

$$1.5 \tau_{v,d} = 1.5 \bar{C}_D C_W \tau = 1.4 \text{ N/mm}^2 \quad \text{VI-I-42}$$

$\tau : 1.0 \text{ N/mm}^2$

Vérification : $\tau_{v,d} = 1.3 \text{ N/mm}^2 \leq 1.5 \tau = 1.5 \text{ N/mm}^2$

$$1.2 \text{ N/mm}^2 \leq 1.5 \text{ N/mm}^2$$

Interprétation de l' étude statique

l'étude statique d'une charpente permettant sa conception finale et son dimensionnement exige une double analyse : celle de l'action des charges verticales , et l'action des charges horizontales l'étude de l'action des charges horizontales , ou étude de la stabilisation ,prend en compte principalement les charges de vent et certaines charges d'exploitation (pont roulant , freinage , choc) .Dans des zones géographiques particulières , les sollicitations dynamiques dues aux tremblements de terre sont également à considérer : c'est l'étude complémentaire du comportement sismique .En construction en bois , la conception de la stabilisation de la structure se ramène très souvent à développer un système porteur relatif aux charges horizontales , intégré au système secondaire de la structure , les contreventements assurant la stabilisation, seront ainsi disposés en toiture et dans les ossatures verticales de façades .Dans la majorité des cas , l'aspect tridimensionnel de la structure devra être considéré dans le calcul statique des systèmes . car le concept de vérification aux états limités ultimes était étendu pour le bois , par SIA 164 et l'Euro code5[3.2].

Les contreventements sont bien sur spécifiques aux types de structures primaires choisis : systèmes triangulés , diaphragmes , parois rigides , etc. .la conception des contreventements réalisés en bois doit privilégier les éléments travaillant en compression , favorisant ainsi la simplicité des détails d'assemblage .Pour des raisons économiques , les contreventements travaillant en traction seront principalement réalisés en acier , avec des feuillard , des fers plats ou ronds .

b/ ETUDE STATISTIQUE

1/ essai de flexion de l'éprouvette « 30x30x300 »
étude statistique des éprouvettes de dimension 30x30x300 mm
en variant H% , Masse volumique cm³ et g
(propriété de résistance)

tableau n° 01 : Résultats d'essai de flexion

N°	Y1	Y2	Ymoy	Mv	H%
1	2,99	2,97	2,98	45	7,50%
2	2,7	2,5	2,6	0,46	12%
3	3,3	3	3,15	0,47	15%
4	3,57	3,75	3,66	0,48	17,50%
5	3,8	3,8	3,8	0,49	20%
6	4,12	4,15	4,135	0,5	22,50%
7	4,9	4,5	4,7	0,52	25%
8	5,55	5	5,275	0,55	30%

Caractéristiques essentielles d'un ensemble statistique

Moyenne Arithmétique

La moyenne arithmétique est donnée par la relation suivante :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 3,73 \text{ N} \quad \text{VI-II-1}$$

Calcul de la variance $n < 30$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] = 0,96116 \text{ N} \quad \text{VI-II-2}$$

Caractéristiques essentielles d'un ensemble statistique

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 5,17 \text{ N} \quad \text{VI-II-3}$$

Moyenne Arithmétique

La moyenne arithmétique est donnée par la relation suivante

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] = 1,88319 \text{ N} \quad \text{VI-II-4}$$

Calcul de la variance $n < 30$ **3- Essai de compression**

*étude statistique des éprouvettes de dimension 30x30x300 mm
en variant H [%], Masse volumique [Kg / cm³] et F [N]*

Essai de compression (propriété de résistance)

N°	Y1	Y2	Ymoy	Mv	H%
1	2,83	2,32	2,575	45	7,50%
2	3,02	3,05	3,035	0,46	12%
3	3,3	3	3,15	0,47	15%
4	3,57	3,55	3,56	0,48	17,50%
5	3,85	3,58	3,715	0,49	20%
6	4,12	4,15	4,135	0,5	22,50%
7	4,4	4,45	4,425	0,52	25%
8	4,9	4,98	4,94	0,55	30%

Moyenne Arithmétique

La moyenne arithmétique est donnée par la relation suivante :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 3,67 \text{ N} \quad \text{VI-II-5}$$

Calcul de la variance $n < 30$

$$S^2 = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] = 0,58057 \text{ N} \quad \text{VI-II-6}$$

CHAPITRE VI

Résultats et interprétations

Ecart type

L'écart type est la racine carrée positive de la variance correspondante

$$S = \sqrt{S^2} = 0,76 \quad \text{VI-II-7}$$

Tableau N° : 04 Les résultats obtenus par la méthode statique :

Désignation	Flexion [N]	Traction [N]	Compression[N]
Moyenne moy	3.73	5.17	3.67
Variances S^2	0.961	0.88	0.58
Ecart types S	0.98	1.37	0.76
Coefficient de variation Cv	0.26	0.26	0.21
L'irrégularité quadratique C	26.26%	26.72%	20.7%
Estimation de la caractéristique ε	0.6564	0.918	0.51
Calcul T_t (Cri student)	1.89	1.89	1.89
L'erreur absolue	0.65	0.91	0.51
L'erreur relative	17.58%	17.76%	13.9%
L'intervalle de confiance de la $M_{oy,arit}$	$3.08 \leq \mu \leq 4.39$	$1.263. \leq \mu \leq 6.09$	$0.33 \leq \mu \leq 3.156$
L'intervalle de confiance de l'écart type	$0.4289 \leq \sigma \leq 4.060$	$0.600 \leq \sigma \leq 5.68$	$0.18 \leq \sigma \leq 2.75$
Coefficient de variation			
K1	0.99	1.00	0.91
K2	4.67	4.78	3.34
L'intervalle de seuil de confiance	$0.260 \leq Y \leq 4.580$	$0.260 \leq Y \leq 4.737$	$0.188 \leq Y \leq 2.75$
l'intervalle de confiance du coefficient de variation			
Vc min	$1.29 < 2.172$	$1.14 < 2.172$	$1.53 < 2.172$
Vcmax	$1.68 < 2.172$	$1.51 < 2.172$	$1.780 < 2.172$
Vt	2.17	2.17	2.17

Interprétation de l'étude statistique

les résultats d'essais obtenus démontrent que la variabilité et la performance des propriétés physiques et mécaniques du pin d'Alep , peut construire des outils afin d'évaluer la probabilité de bon fonctionnement des éléments de notre structure .Ce type d'étude amène à l'utilisation des résultats classiques (statique) dans la théorie générale des probabilités , d'après les résultats obtenus les valeurs de la variance est minime ce qui implique qu'il n'y a pas une grande fluctuation dans les résultats obtenus, donc une stabilité relative conséquente ,de ce faite la contrainte à la flexion , et a la traction est relativement stable . vu l'écart type de flexion qui de 0.98 , et celui de traction qui est de 0.88 , Est considère comme acceptable

, l'erreur type est minimale, mais pour la compression la valeur de l'écart type et de 0.58 il est plus au moins important, donc on peut dire que notre structure est moins stable (variable) en compression.

d/ METHODE DE FIABILITE

a/ ESSAI DE FLEXION

Etude de la fiabilité suivant le modèle de Weibull

Tableau 05 : Résultat D'essai de la fiabilité suivant le modèle de Weibull

N°	Y1	Y2	Ymoy = xi	Ft cumul	Ft
1	2,99	2,97	2,6	11,11%	0,11
2	2,7	2,5	2,98	22,22%	0,22
3	3,3	3	3,15	33,33%	0,33
4	3,57	3,75	3,66	44,44%	0,44
5	3,8	3,8	3,8	55,56%	0,56
6	4,12	4,15	4,135	66,67%	0,67
7	4,9	4,5	4,7	77,78%	0,78
8	5,55	5	5,275	88,89%	0,89

Calcul de gamma

xi min	xi max	xi moy	gamma
2,6	5,275	3	2,5

Déterminer du graphe avec $x \geq \gamma$

γ	η	β	X	y
2.5	1.2	0.45	2.50	6.45

La fiabilité correspondante est :

$$R(x) = e^{-(x-\gamma)/\eta)^{\beta}} = e^{-((2.5055-2.5)/1.2)^{0.45}} = 0.918 \quad \text{VI-III-1}$$

la fonction de répartition et de :

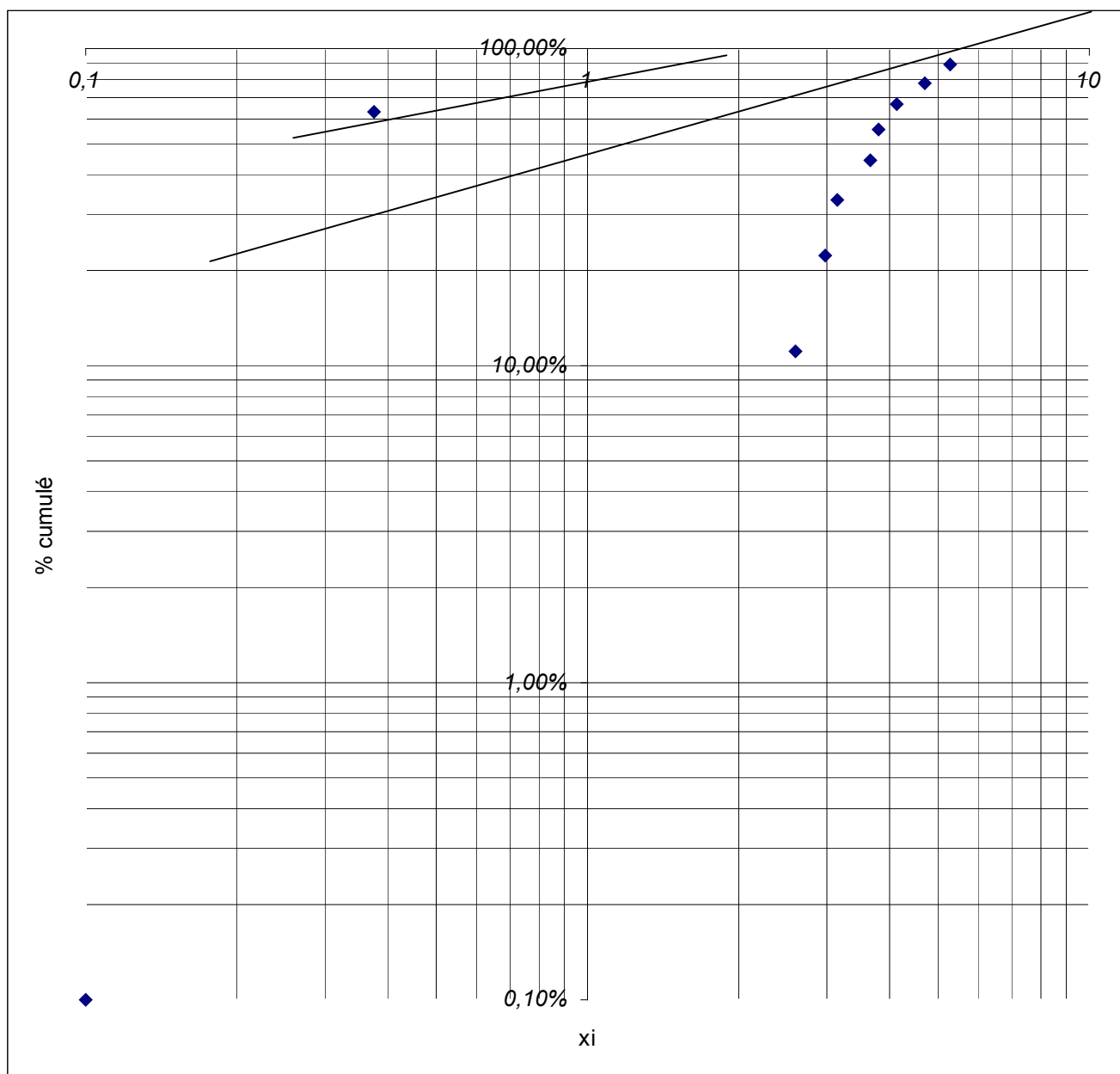
$$F(x) = 1 - e^{-(x-\gamma)/\eta)^{\beta}} = 1 - 0.918 = 0.081 \quad \text{VI-III-2}$$

Taux de défaillance :

$$\lambda(x) = F(x) / R(x) = 0.081 / 0.915 = 0.088 \quad \text{VI-III-3}$$

pour vérifier : $\mathbf{F(x) + R(x) = 0.918 + 0.088 = 1}$

VI-III-4



**Graphe N° : 03 Interprétation des résultats d'essai de flexion
« loi de Weibull »**

b/ ESSAI DE TRACTION

Etude de la fiabilité suivant le modèle de weibull**Tableau N° 06 : Résultat d'essai de la fiabilité suivant le modèle de weibull**

N°	Y1	Y2	Ymoy = xi	Ft cumul	Ft
1	3,9	3,5	3,7	11,11%	0,11
2	4,02	4,1	4,06	22,22%	0,22
3	4,2	4,15	4,175	33,33%	0,33
4	4,2	4,3	4,25	44,44%	0,44
5	5,1	5	5,05	55,56%	0,56
6	6,05	6	6,025	66,67%	0,67
7	7	7,02	7,01	77,78%	0,78
8	7,05	7,2	7,125	88,89%	0,89

Calcul de gamma

xi min	xi max	xi moy	gamma
3,7	7,125	2,1	3,3135849

La fiabilité correspondante est :

$$R(x) = e^{-(x-\gamma)/\eta)^{\beta}} = e^{-((2.5055-2.5)/1.2)^{0.45}} = \mathbf{0.918}$$

VI-III-4

la fonction de répartition et de :

$$F(x) = 1 - e^{-(x-\gamma)/\eta)^{\beta}} = 1 - 0.918 = \mathbf{0.081}$$

VI-III-5

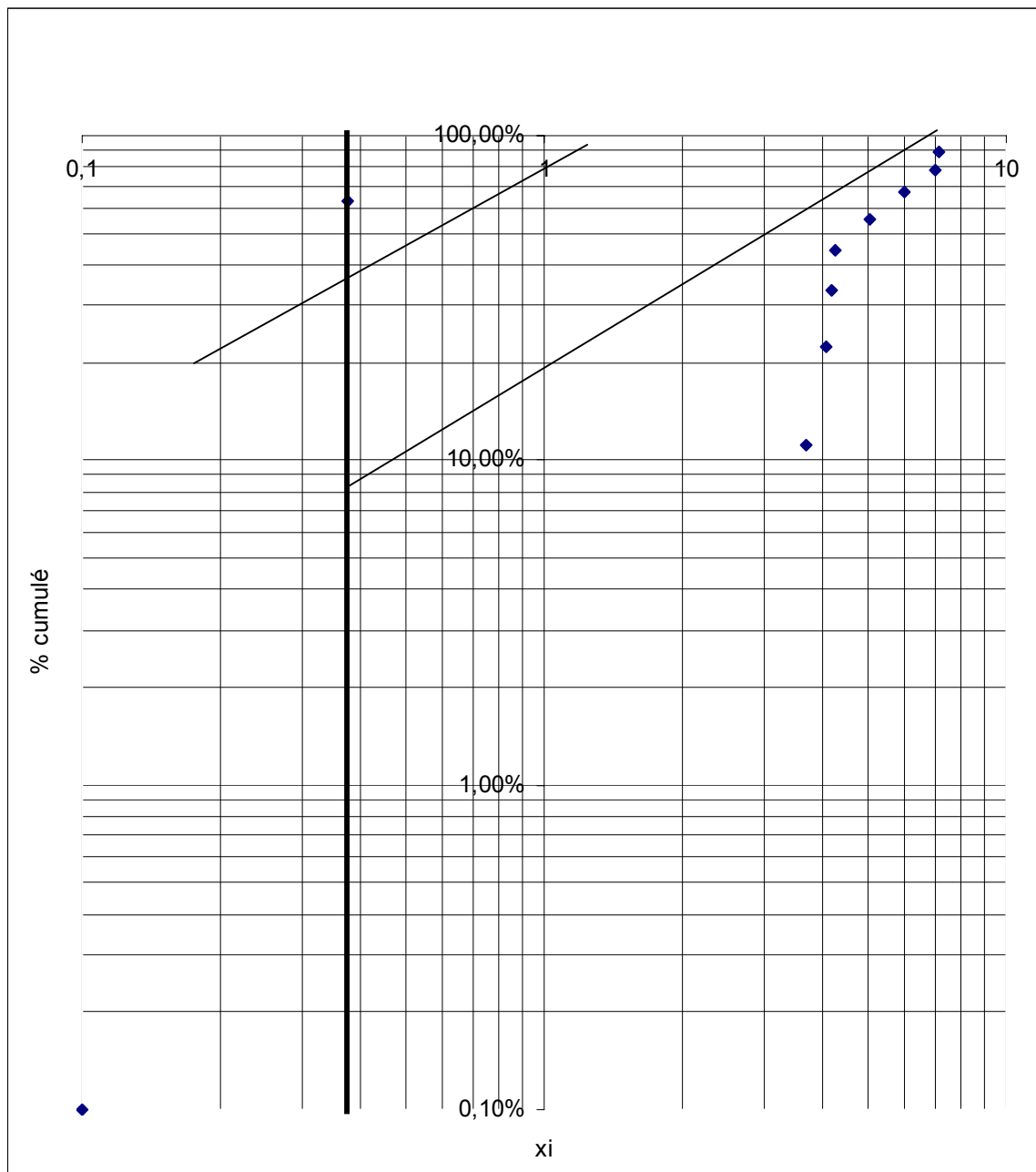
Taux de défaillance :

$$\lambda(x) = F(x) / R(x) = 0.081 / 0.915 = \mathbf{0.088}$$

VI-III-6

$$\text{pour vérifier : } F(x) + R(x) = 0.918 + 0.088 = \mathbf{1}$$

VI-III-7



**Graphe N° : 04 Interprétation des résultats d'essai de traction
« loi de Weibull »**

C/ ESSAI DE COMPRESION

Etude de la fiabilité suivant le modèle de weibull

Tableau N° : 21

N°	Y1	Y2	Ymoy = xi	Ft cumul	Ft
1	2,83	2,32	2,57	11,11%	0,11
2	3,02	3,05	3,035	22,22%	0,22
3	3,3	3	3,15	33,33%	0,33
4	3,57	3,55	3,56	44,44%	0,44
5	3,85	3,58	3,715	55,56%	0,56
6	4,12	4,15	4,135	66,67%	0,67
7	4,4	4,45	4,425	77,78%	0,78
8	4,9	4,98	4,94	88,89%	0,89

Calcul de gamma

xi min	xi max	xi moy	gamma
2,57	4,94	3.5	0,87

γ	η	β	x	Y
0.87	1.8	1.45	0.90	0.635

La fiabilité correspondante est : $x \geq \gamma$

$$R(x) = e^{-(x-\gamma)/\eta) \beta} = e^{-(0.90-0.87)/1.8) 1.45} = \mathbf{0.99736} \quad \text{VI-III-9}$$

la fonction de répartition et de :

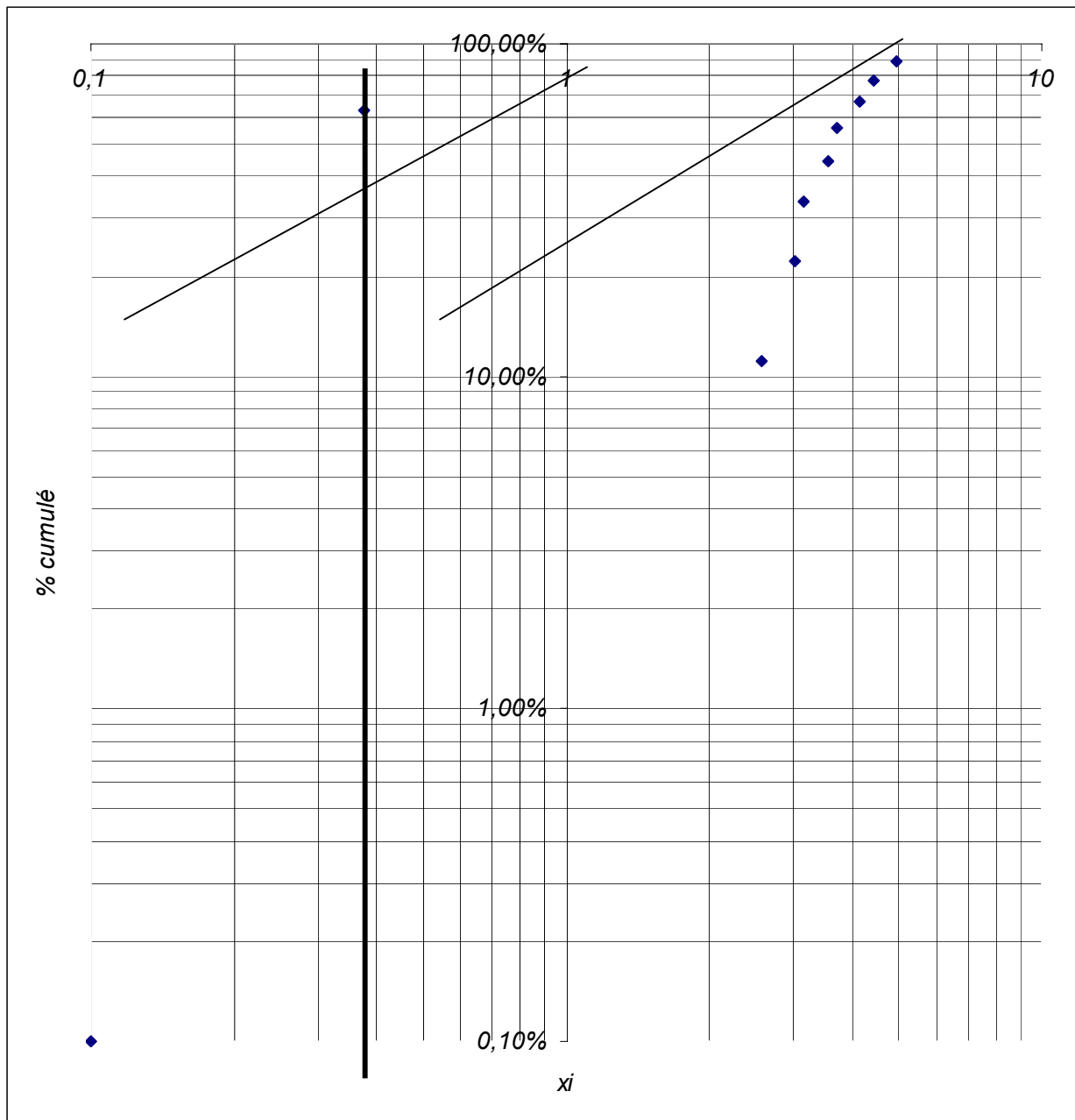
$$F(x) = 1 - e^{-(x-\gamma)/\eta) \beta} = 1 - e^{-(0.90-0.87)/1.8) 1.45} = 1 - 0.99 = \mathbf{0.00264} \quad \text{VI-III-10}$$

Taux de défaillance :

$$\lambda(x) = F(x) / R(x) = 0.0026 / 0.99 = \mathbf{0.00264} \quad \text{VI-III-11}$$

pour vérifier :

$$F(x) + R(x) = 0.9973 + 0.00264 = \mathbf{1} \quad \text{VI-III-12}$$



**Graphe N° : 05 Interprétation des résultats d'essai de compression
« loi de Weibull »**

Interprétation de l' étude fiabiliste

L'étude de fiabilité des échantillons de Pin D'Alep nous mène à conclure que les résultats obtenus dans la méthode statique et la méthode statistique, son confirme à partir des calcul obtenus : car la fiabilité correspondante des contraintes de flexion, traction, compression son très rapprochées de la fiabilité idéale qui est égale à 1 ; les résultat de fiabilité correspondante à la flexion = 0.918, la fiabilité correspondante en traction = 0.85, et pour la fiabilité correspondante en compression = 0.99, et pour définir le taux de défaillance comme on peut le constate il est vraiment minimale, d'où le taux de défaillance des calculs (flexion = 0.081, traction = 0.15, compression = 0.026); et pour conclure il faut passe par la vérification des résultats obtenus dans cette méthode de fiabilité et on obtient en finalités les résultats de vérifications suivants pour les calcul (flexion =1, traction =1, compression =1). Donc les résultats des calculs son fiables .

CHAPITRE VII

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Le bois est un matériau naturel défini à partir de trois axes de croissance , qui lui confèrent une très forte anisotropie .Pour le dimensionnement, on a considéré donc l'action des contraintes externes par rapport à ces axes , avec principalement les contraintes parallèles et les contraintes perpendiculaires aux fibres .Pour les contraintes obliques , les modèles non-linéaires d'évolution des contraintes par rapport à l'angle de l'action permettent de trouver les caractéristiques du bois , pour un angle quelconque .

Dans le domaine de la variabilité des propriétés mécaniques du bois , les variables (taux hygroscopique et température) affectent les propriétés nominales .Si pour le bois la température est négligée en dimensionnement, le taux hygroscopique est très important et nécessite , comme pour le domaine de durabilité , de se reporter à la classe d'ouvrage appropriée pour l'application des coefficients de réduction correspondants .

L'étude statique d'une structure permettant sa conception finale et son dimensionnement exige une double analyse ; celle de l'action des charges verticales , et celle de l'action des charges horizontales. L'étude de l'action des charges horizontales (ou étude de la stabilisation) prend en compte principalement les charges de vent et certaines charges d'exploitation (pont roulant , freinage , choc). Dans des zones géographiques particulières , les sollicitations dynamiques dues aux séismes sont également à considérer : c'est l'étude complémentaire du comportement sismique. Le calcul des assemblages par emboîtement se limite à la vérification des conditions géométriques .

L'étude de la méthode statistique permet d'améliorer les prévisions ou le contrôle nécessaire .

L'étude de fiabilité nous mène à conclure que les résultats obtenus dans la méthode statique et la méthode statistique , sont confirmés à partir des méthodes de calcul ,car La fiabilité peut intervenir également lors du fonctionnement du système, l'observation de l'évolution des pannes d'une structure permet d'avoir des informations sur les lois de probabilité des différentes défaillances .l'étude statique et l'étude statistique étant des parties intégrantes de la théorie de fiabilité.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Jean –Armand SETRA .L’approche semi –probabiliste La Philosophie Des Euro-codes , CIFP D’ARRAS –11 octobre 2001
- [2] . Daniel Guinard ,La construction en bois ,Première édition SBN2-88074-400-8 année 1968
- [3] Julius Natterer rMatériau , technologie et dimensionnent , volume 3 presses polytechnique et universitaires romandes
- [4] Jean Luc Sandoz . Matériau , technologie et dimensionnent , CH-1015 Lauanne2000
- [5] Martial Rey , Les maison à ossature bois , Chez l’éditeur DELARAVE dans la collection TECHNOR
- [6] Holzskelettbauten . assemblages, Brouchure Holzinformation Austria1978*
- [7] Martial Rey les Types de charpente en bois , cahiers du centre technique du bois N°67-3 édition Avril 1974
- [8] Roland Schweitzer. Statistique et probabilité , 1ere édition LICET Paris
- [9] Daniel Guinard.. Les procédés d’assemblage dans la charpente en bois , technique du bois N°77-3 édition Janvier 1968
- [10] L.H. ADAMS, E.D. WILLIAMSON, and J. JOHNSTON. The determination of the compressibility of solids at high pressures. Journal of American Chemical Society, vol. 41, pages 12–42, 1919.
- [11] J.D. COLLINS and G . C. HART. Statistical identification of structures. AIAA Journal, vol. 12 (2), pages 185–189, 1974.
- [12] P. CHARRIER. Optimisation du collage souple des baies vitrées sur navires à passagers. Thèse, Ecole Centrale de Nantes, 1999.
- [13] LU Chuming. Etude du comportement mécanique et des mécanismes d’endommagement des élastomères en fatigue et en fissuration par fatigue. Thèse, Conservatoire National des Arts et Métiers, 1991.
- [14] P.G. CIARLET. Introduction à l’analyse numérique matricielle et à l’optimisation. Edition Masson, Paris, 1989.

- [15] N. COUTY. Simulation numérique par éléments finis et étude expérimentale de phénomènes de choc : modélisation en dynamique incluant un comportement d'élastovisco hystérésis volumique et coque. Application à l'impact de plaques. P h D thesis, Université de Bretagne Sud, 1999.
- [16] J.M. DORLOT, J.P. BAILON, and J. MASOUNAVE. Des matériaux. Ecole Polytechnique, Montréal, 1986.
- [17] B. DELTORT. Identification of the thermo-mechanical behaviour of a martensitic steel under dynamic and static conditions. In ACAM-Australian Congress on Applied Mechanics, 1996.
- [18] R. DAUTRAY and J.L. LIONS. Analyse mathématique et calcul numérique pour les sciences et techniques, volume 1 à 9. Edition Masson, Paris, 1987.
- [19] G. DHATT and G. TOUZOT. Une présentation de la méthode des éléments finis. Maloine, Compiègne, 1984.
- [20] I. FRIED and A.R. JOHNSON. Nonlinear computation of axisymmetric solid rubber deformation. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, vol. 67, pages 241–253, 1988.
- [21] I. FRIED and A.R. JOHNSON. A note on elastic energy density functions for largely deformed compressible rubber solids. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, vol. 69, pages 53–64, 1988.
- [22] R. FLETCHER. Practical methods of optimisation, Vol. I, unconstrained optimisation. Wiley, New York and Toronto, 1980.
- [23] A. GAVRUS. Identification automatique des paramètres rhéologiques par analyse inverse. Thèse, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 1996.
- [24] C. GEINDREAU. Modélisation du comportement viscoplastique des poudres métalliques. Simulation à l'aide d'un matériau analogique. Thèse, Université Joseph Fourier. Grenoble I, 1996.
- [25] F. GERMAIN. Contribution à la simulation du comportement mécanique des matériaux en grandes transformations, en statique et dynamique. Etude d'une nouvelle formulation poutre. Thèse, Université du Maine, 1996.
- [26] V. GROLLEAU. Approche de la validation expérimentale des simulations numériques de la coupe avec prise en compte des phénomènes locaux à l'arête de l'outil. Thèse, Ecole Centrale de Nantes, 1996.
- [27] A.E. GREEN and W. ZERNA. Theoretical elasticity. Clarenton Press, Oxford, 1954.
- [28] P. HEUILLET and M.N. BOUCHEREAU. Viscoélasticité des élastomères. formulation et propriétés mécaniques. In AUSSOIS-Colloque National MECAMAT, pages 85–90, 1999.

- [30] P. HEUILLET and L. DUGAUTIER. Modélisation du comportement hyperélastique des élastomères compacts. In APOLLOR-Génie mécanique des caoutchoucs, pages 67–104, 1997.
- [31] P. HEUILLET. Modélisation du comportement hyperélastique des caoutchoucs et élastomères thermoplastiques, compacts ou cellulaires. SIA, pages 1–26, 1995.
- [32] M.A. JOHNSON and M.F. BEATTY. A constitutive equation for the mullins effect in stress controlled uniaxial extension experiments. Continuum Mechanics and Thermodynamics, vol. 5, pages 301–318, 1993.
- [33] P. ROUGEE. Mécanique des grandes transformations. Springer, Berlin, 1997.
- [35] C. TRUESDELL. Introduction à la mécanique rationnelle des milieux continus. Masson et Cie, Paris, 1974.