

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة سعيدة - د. مولاي الطاهر

UNIVERSITÉ DE SAÏDA - Dr.MOULAY TAHAR



Faculté de Technologie

Département de Génie Civil et d'Hydraulique

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE

Présenté pour l'obtention du Diplôme de MASTER en Génie civil

Spécialité : Structures

Étude Expérimentale Des Forces Dans Un Treillis Simple

Présenté par :

FEDLAOUI Abdelkader

ALLOU Abdelkader

Soutenu le 26 /09/ 2024, devant le jury composé de :

M^r. Seddik Benali

Maître assistant A

Président

M^r. BENTAHAR Mohammed

Maître de conférences classe (A)

Encadreur

M^r. Kaci Hakim.

Professeur

Examineur

Année universitaire 2023/2024

Remerciement

Je tiens à remercier chaleureusement mon encadreur : Dr BENTAHAR Mohammed d'avoir accepté de diriger ce travail et de m'avoir prodigué des Conseils scientifiques, ont été précieux et des orientations pour la réalisation de ce travail.

Des remerciements aux membres du jury, pour l'intérêt et d'avoir accepté de juger ce travail.

A l'ensemble des enseignants qui ont contribué à ma formation ainsi que tout le personnel administratif qui, a participé au bon déroulement de ce travail, les enseignants du département de génie civil .Pour sa disponibilité, sa patience et ses conseils qu'ils sont prodigués.

Mes remerciements aussi à mon père, mon frère, mes sœurs, mes enseignants, mes amis, mes collègues de travail ainsi que mes collègues de la promotion 2023/2024.

A tous ceux qui, par leur encouragement ou leur amitié.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail : A mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et ma soutenu durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, merci infiniment mes parents.

A toute la famille " FEDLAOUI "

A mes meilleurs amis en particuliers : ALLOU ABDELKADER et à

Tous ceux qui me sont chère sans exception.

A mon encadreur bien sur : " Mr. BENTAHAR Mohamed "qui on fait tout leurs Possible pour nous aider et nous orienté dans l'élaboration de notre mémoire.

A tout la promotion de Génie Civil 2024

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail : A mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et ma soutenu durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, merci infiniment mes parents.

A toute la famille " ALLOU "

A mes meilleurs amis en particuliers : FEDLAOUI ABDELKADER et à

Tous ceux qui me sont chère sans exception.

A mon encadreur bien sûr : " Mr. BENTAHAR Mohamed " ...qui on fait tous leurs Possible pour nous aider et nous orienté dans l'élaboration de notre mémoire.

A tout la promotion de Génie Civil 2024

Symboles et notations

Symboles	unité
N: Effort normal	(N)
F/X : Translation horizontale	(NM)
F/Y : Translation verticale	(NM)
M_z : Rotation	(degré)
p : Poids	(N)
P, q : Charge concentrée	(N)
A et B : Réactions d'appuis	(N)
→:Force horizontale	(N)
S efforts dans la barre,	(N)
indice V forces verticales,	(N)
indice H forces horizontales	(N)
r : le nombre de réactions;	(U)
n' : le nombre de nœuds.	(U)
C nœuds	(n)
ϵ_r : l'erreur relative	(%)
F force	(N)
↑: Force verticale	(N)
M : Masse	(Kg)
b : Largeur	(cm)
L : Longueur de barre	(cm)
$\alpha \beta \gamma$: Angle de rotation	(degré)
k Degré d'Hyperstaticité	nombre
X_e : Valeur théorique exacte de la même grandeur.	(cm)
Δx : incertitude absolue	(U.G. M)
ϵ : Déformation	(mm)
X : la valeur mesurée de la grandeur,	(cm)

تعد القوة عاملاً أساسياً في قوة المواد وفي حل المشكلات سواء في التعريشات البسيطة أو المعقدة. تعتمد دراسة هذه المذكرة على عرض تحليل القوى البسيطة، وتوزيع القوى في الهياكل الشريطية البسيطة. بالإضافة إلى ذلك، تم استخدام أربع أنابيب ذات مسافات قصيرة ومتوسطة وطويلة، كل منها زاوية مثلثية ($60^\circ-60^\circ-60^\circ$ ، $90^\circ-45^\circ-45^\circ$ ، $120^\circ-30^\circ-30^\circ$ و $30^\circ-30^\circ-120^\circ$)، على التوالي. بالإضافة إلى ذلك تم استخدام جهاز (جونت هامبورغ) لإجراء هذا الاختبار. وتمت مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها مع النتائج المرجعية الأخرى. الكلمات المفتاحية: القوى، دراسة تجريبية، جهاز (جونت هامبورغ)، العقد

Abstract:

Force is an essential parameter in material strength, and in solving problems in either simple or complicated trellis. The study of this article based on the demonstration of simple force decompositions, and the distribution of forces in simple bar structures. In addition, three tubes of short, medium and long spacing were used, each of which is triangular angle ($60^\circ-60^\circ-60^\circ$, $90^\circ-45^\circ-45^\circ$, $120^\circ-30^\circ-30^\circ$ and $30^\circ-30^\circ-120^\circ$), respectively. In addition, the device (gunt HAMBURG) was used to carry out this experience. The results obtained were compared with other reference results.

Key words: gunt HAMBURG, Forces, Truss, Experimental study, node

Résumé:

La force est un paramètre essentiel dans la résistance des matériaux et dans la résolution des problèmes en treillis simple ou compliqué. L'étude de ce mémoire est basée sur la démonstration de décompositions des forces simples et de la répartition des forces dans des structures de barres simples. De plus, quatre tubes d'espacement court, moyen et long ont été utilisés, chacun étant à angle triangulaire ($60^\circ-60^\circ-60^\circ$, $45^\circ-90^\circ-45^\circ$, $30^\circ-120^\circ-30^\circ$ et $30^\circ-30^\circ-120^\circ$), respectivement. De plus, l'appareil (Gunt HAMBURG) a été utilisé pour réaliser cette expérience. Les résultats obtenus ont été comparés à d'autres résultats de référence.

Mots clés: Gunt HAMBURG, Forces, Treillis, Étude expérimentale, nœud

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENT.....	II
DÉDICACE.....	III
SYMBOLES ET NOTATION.....	V
الملخص :.....	VI
TABLE DES MATIÈRES.....	VII
LISTE DES FIGURES.....	X
LISTE DES TABLEAUX.....	XII
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
CHAPITRE I ASPECTS GÉNÉRAUX SUR LES TREILLIS	
1. ASPECTS GÉNÉRAUX SUR LES TREILLIS.....	4
1.1 INTRODUCTION.....	4
1.2. DÉFINITION.....	4
1.3. TERMINOLOGIE.....	5
1.3.1. BARRES.....	5
1.3.2. TYPES DE NŒUDS.....	6
1.3.2.1. NŒUD SIMPLE.....	6
1.3.2.2. NŒUDS AVEC APPUIS D'UN TREILLIS.....	7
A- APPUI DOUBLE (ARTICULATION).....	7
B- APPUI SIMPLE.....	7
1.4. LES DIFFÉRENTES FORMES DES TREILLIS.....	8
1.4.1. LE TREILLIS SIMPLE EST FORMÉ UNIQUEMENT DE MAILLES TRIANGULAIRES.....	8
1.4.3. LE TREILLIS FORMÉ DE BARRES QUI SE CHEVAUCHENT SANS ÊTRE RELIÉES PHYSIQUEMENT.....	9
1.5. LES DIFFÉRENTES SYSTÈMES.....	9
1.5.1. SYSTÈME ISOSTATIQUE.....	9
1.5.2. SYSTÈME HYPERSTATIQUE.....	10
1.5.3. SYSTÈME INSTABLE.....	11
1.6. DEGRÉ D'HYPERSTATICITÉ DES STRUCTURES PLANES ARTICULÉES OU TREILLIS.....	11
1.7. MÉTHODES DE CALCUL DES EFFORTS DANS LES MEMBRANES D'UN TREILLIS.....	12
1.7.1. MÉTHODE D'ÉQUILIBRE DES NŒUDS.....	12
1.7.2. MÉTHODE DES SECTIONS (RITTER).....	13

CHAPITRE II ASPECTES GÉNÉRAUX SUR LA MÉTROLOGIE 1. EXPÉRIMENTAUX

.....	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.
2 ASPECTES GÉNÉRAUX SUR LA MÉTROLOGIE EXPÉRIMENTAUX.....	17
2.1 INTRODUCTION	17
2.2 LES VOCABULAIRES METROLOGIQUES	17
2.2.1 Vocabulaires des résultats obtenue	18
2.2.2 Vocabulaires des opérations métrologiques	19
2.2.3 Les vocabulaires des équipements de mesure	20
2.3 DIFFÉRENTES CARACTÉRISTIQUES MÉTROLOGIQUES DES APPAREILS DE MESURE	20
2.4 DIFFÉRENTS CLASSIFICATION DES INCERTITUDES DE MESURE	21
2.4.1 Les incertitudes de mesure	21
2.5 LES INSTRUMENTS DE MESURE ET DE CONTROLE UTILISES	22
2.5.1 Pied à coulisse à montre	22
2.5.2 Comparateur	23
2.5.3 Types de comparateur	23
2.6 CONCLUSION	25

Chapitre III CALCUL ANALYTIQUE DES TREILLIS

3.1 INTRODUCTION	27
3.2. CONVENTION DE SIGNE	27
3.3. ANALYSE DES TREILLIS PAR LA MÉTHODE D'ASSEMBLAGE.....	27
3.4 EXEMPLES ANALYTIQUES	28
SOLUTION	28
ANALYSE DES ARTICULATIONS A.	29
ANALYSE DES ARTICULATIONS D.	29
3.3.1 MEMBRES À FORCE NULLE.....	30
3.3.2 ANALYSE DES FERMES PAR LA MÉTHODE DE SECTION.....	30
SOLUTION	32
3.4 RÉSUMÉ DU CHAPITRE.....	33
FORCES INTERNES DANS LES FERMES PLANES : LES FERMES SONT DES SYSTÈMES STRUCTURELS CONSTITUÉS D'ÉLÉMENTS DROITS ET ÉLANCÉS RELIÉS À LEURS EXTRÉMITÉS. LES HYPOTHÈSES DANS L'ANALYSE DES FERMES PLANES SONT LES SUIVANTES :	33
MEMBRES.....	34
3.5 EXEMPLES SCHÉMATIQUE DES TREILLIS	34

3.6 CONCLUSION	36
Chapitre IV ETUDE EXPERIMENTALE DES FORCES DANS UN SIMPLE TREILLIS	
4.1 INTRODUCTION	38
4.2 DESCRIPTION	40
4.2.1 CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES	41
4.2.2. INSTRUCTIONS DE MONTAGE	42
4.3 CALCUL DES FORCES DANS LES BARRES	43
4.4. L'ÉTALONNAGE DE L'APPAREIL	43
4.5 PARTIE EXPÉRIMENTALE	44
4.5.1. LES TENSIONS DANS LES BARRES DÉCOULENT DES ÉQUILIBRES DE NŒUDS	44
4.5.1.1 MODÈLE DE $A=60^\circ$, $B=60^\circ$ ET $\Gamma=60^\circ$	44
- CALCUL ANALYTIQUE	45
CALCUL ANALYTIQUE	45
4.5.1.2. MODÈLE DE $A=90^\circ$, $B=45^\circ$ ET $\Gamma=45^\circ$	47
CALCUL ANALYTIQUE	47
4.5.2.3 MODÈLE DE $A=120^\circ$, $B=30^\circ$ ET $\Gamma=30^\circ$	50
CALCUL ANALYTIQUE	50
TABLEAU 4.5 LES DIFFÉRENTES RÉSULTATS OBTENUS D'UN TREILLIS DE $A=120^\circ$, $B=30^\circ$ ET $\Gamma=30^\circ$	51
4.5.2.4. Modèle de $\alpha=30^\circ$, $\beta=30^\circ$ et $\gamma=120^\circ$	53
CALCUL ANALYTIQUE	53
4.6. CONCLUSION	56
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	58

LISTE DES FIGURES

Figure 1. 1. Illustration Treillis type Polonceau [1].....	5
Figure 1.2. Illustration des différentes terminologies d'un treillis [2].....	5
Figure 1.3. les section des barres [2].....	5
Figure 1. 4. Illustration de nœuds en 3D a) monter et b) démonté [2].....	6
Figure. 1.5. Treillis flottant	6
Figure. 1.6. Treillis avec des appuis (double et simple) [3].....	7
Figure 1.7.Appui double	7
Figure 1.8.Appui simple.....	7
Figure 1.9.Appui encastré	8
Figure. 1.10.Illustration des appuis; a) appui encastré et b) appui double [3].....	8
Figure 1.11. Treillis simple avec des mailles triangulaires[4]	8
Figure 1.12.treillis composé[4]	9
Figure 1.13. treillis hyperstatique[4].....	9
Figure 1.14. Treillis isostatique[4].....	9
Figure 1.15. Système isostatique d'un treillis	10
Figure 1.16. Système hyperstatique d'un treillis	10
Figure 1.17. Système instable d'un treillis.....	11
Figure 1.18. Exemple de calcul de degré d'hyperstaticité [5].....	13
Figure 1.19. Exemple d'une structure d'équilibre des nœuds [7].....	13
Figure 1.20. Exemple d'une structure (Ritter) [7].....	14
Figure 2.1 différentes Vocabulaires des résultats obtenus [8]	18
Figure 2.2 différentes Vocabulaires des opérations métrologiques [8]	19
Figure 2.3 différentes Vocabulaires des équipements de mesure [9]	20
Figure 2.4 Caractéristiques métrologiques d'un appareil de mesure.....	20
Figure 2.5 Les instruments de mesure et de contrôleutilisé dans ce mémoire [21].....	22
Figure 2.6 Les constitutions de pied à coulisse.....	23
Figure 2.7 Comparateur : (a) à montre et (b) comparateur à cadran monté sur un support.....	24
Figure 2.8 Composantes d'un comparateur	25
Figure 3.1 Ferme simple [10].....	28
Figure 3.2 Membres de la force zéro	30
Figure 3.3. Exemple d'un treillis analysé par la méthode de section [10]	31
Figure 3.4 Illustration schématique de la méthode d'assemblage [10]	34
Figure 3.5 Illustration schématique de la méthode de section	34

Figure. 3.6 illustration schématique de classification des treillis [10].....	36
Figure 4.1 modèle d'un treille simple de $\alpha = 60^\circ$, $\beta = 60^\circ$ et $\gamma = 60^\circ$	38
Figure 4.2 modèle d'un treille simple de $\alpha = 90^\circ$, $\beta = 45^\circ$ et $\gamma = 45^\circ$	39
Figure 4.3 modèle d'un treille simple de $\alpha = 120^\circ$, $\beta = 30^\circ$ et $\gamma = 30^\circ$	39
Figure 4.4 modèle d'un treille simple de $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 30^\circ$ et $\gamma = 120^\circ$	39
Figure 4.5 l'appareil de l'essai avec ses éléments.....	40
Figure 4.6 : treillis simple à la position du montage.....	41
Figure 4.7 différents types d'écartement [11]	42
Figure 4.8 illustration du montage par ordre [11].....	42
Figure 4.9 illustration des forces sur les nœuds.....	43
Figure 4.10 La position d'étalonnage	44
Figure 4.11 L'appareil à la position du montage dans le cas de $\alpha = 60^\circ$, $\beta = 60^\circ$ et $\gamma = 60^\circ$ [12]....	44
Figure 4.12 Variation de tension en fonction du poids dans le cas d'un treillis de $\alpha = 60^\circ$, $\beta = 60^\circ$ et $\gamma = 60^\circ$	46
Figure 4.13 L'appareil à la position du montage dans le cas de $\alpha = 90^\circ$, $\beta = 45^\circ$ et $\gamma = 45^\circ$ [12].....	47
Figure 4.14 Variation de tension en fonction du poids dans le cas d'un treillis de $\alpha = 90^\circ$, $\beta = 45^\circ$ et $\gamma = 45^\circ$	49
Figure 4.15 L'appareil à la position du montage dans le cas de $\alpha = 120^\circ$, $\beta = 30^\circ$ et $\gamma = 30^\circ$ [12]..	50
Figure 4.16 Variation de tension en fonction du poids dans le cas d'un treillis de $\alpha = 120^\circ$, $\beta = 30^\circ$ et $\gamma = 30^\circ$	52
Figure 4.17 L'appareil à la position du montage dans le cas de $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 30^\circ$ et $\gamma = 120^\circ$ [12]..	53
Figure 4.18 Variation de tension en fonction du poids dans le cas d'un treillis de $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 30^\circ$ et $\gamma = 120^\circ$	55

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 4.1. Différentes constitutions de l'appareil -----	41
Tableau 4.2. Caractéristiques techniques de l'appareil de l'essai -----	41
Tableau 4.3 Les différents résultats obtenus d'un treillis de $\alpha=60^\circ$, $\beta=60^\circ$ et $\gamma=60^\circ$ -----	45
Tableau 4.4 Les différents résultats obtenus d'un treillis de $\alpha=90^\circ$, $\beta=45^\circ$ et $\gamma=45^\circ$ -----	48
Tableau 4.5 Les différents résultats obtenus d'un treillis de $\alpha=120^\circ$, $\beta=30^\circ$ et $\gamma=30^\circ$ -----	51
Tableau 4.6. Les différents résultats obtenus d'un treillis de $\alpha=30^\circ$, $\beta=30^\circ$ et $\gamma=120^\circ$ -----	54

INTRODUCTION

**/'
GÉNÉRALE**

A soft, grey shadow is cast behind the word 'GÉNÉRALE', extending to the left and slightly downwards, giving it a three-dimensional appearance.

Introduction générale

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le génie civil représente l'ensemble des techniques de construction civiles, C'est l'art de concevoir et de réaliser des structures essentielles pour le société. Il existe différents types de génie civil, chacun ayant sa propre spécialisation pour traiter des aspects spécifiques de la construction. Le génie civil est une profession vaste et diversifiée. Elle peut vous mener sur de nombreux chemins. Dans le domaine du génie civil, on retrouve la spécialisée de base représentée dans la résistance des matériaux, qui joue un rôle essentiel dans l'étude de la durée de vie des structures sous tous ses aspects, notamment en les testant pour résister aux forces externes ou internes des éléments entre elles. La résistance des matériaux vient de la mécanique classique, mais dans ce cas son applicabilité consiste à déterminer la capacité d'un matériau à se dissiper ou à adopter des comportements équilibrés en fonction des charges imposées. Dans ce domaine, des comportements élastiques et inélastiques peuvent être supposés, bien entendu la caractérisation du matériau lorsqu'il est soumis à une contrainte se résume à l'indication des déformations obtenues lorsque des forces sont appliquées à un objet fabriqué avec un matériau donné. Après cela, en tenant compte des caractéristiques géométriques. En outre, Le génie civil se concentre également sur l'étude des structures en treillis, ses treillis est une structure composée d'un ensemble d'éléments structurels reliés par des axes ou des nœuds. En théorie, les axes n'offrent aucune résistance à la rotation et se comportent comme des charnières. En pratique, ce n'est pas toujours le cas. L'avantage d'une ferme est que les éléments sont principalement chargés axialement. En outre, une ferme donne une forme stable capable de supporter une charge externe considérable sur une grande portée, les composants étant principalement sollicités en traction ou en compression axiale. Les pièces individuelles se croisent au niveau des joints de ferme ou des points de panneau. Le travail présenté sera organisée de la manière suivante :

Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique sur les treillis, qui permettra de donner un aspect générale sur les treillis,

Introduction générale

Le deuxième chapitre porte sur l'étude analytique des treillis avec les méthodes les plus connues pour calculer les tensions aux niveaux des différents nœuds.

le troisième chapitre est consacré aux généralités sur la métrologie et sur les différentes caractéristiques métrologiques des appareils de mesure.

Au quatrième chapitre, l'étude expérimentale est présentée. Ainsi, les différents résultats obtenus avec leurs discussions sont également détaillés. Notant que l'étude expérimentale est faite par l'appareil de l'essai de flexion (gunt HAMBURG), et les éprouvettes des différents matériaux.

Chapitre I

ASPECTS GÉNÉRAUX

SUR LES TREILLIS

1. ASPECTS GÉNÉRAUX SUR LES TREILLIS

1.1 INTRODUCTION

Un treillis est une structure composée d'un ensemble d'éléments reliés par des articulations ou des nœuds. En théorie, les articulations à axe n'offrent aucune résistance à la rotation et se comportent comme des charnières. L'avantage d'un treillis est que les éléments sont principalement chargés axialement. Cela signifie qu'ils sont soit en compression, soit en tension, soit sans force, ce qu'on appelle des éléments à force nulle. Cela fait des treillis une forme structurelle particulièrement efficace. Ce chapitre a pour objectif de présenter les aspects généraux du problème en treillis. Cependant, elle est couramment utilisée pour déterminer les efforts normaux dans chacune des barres, pour calculer les déplacements des nœuds.

1.2. DÉFINITION

Un treillis est un élément structurel fondamental largement utilisé en ingénierie, et en architecture pour fournir un support et une stabilité à diverses structures. Il s'agit d'une structure composée d'éléments interconnectés formant une série de triangles, qui fonctionnent ensemble pour répartir efficacement les charges. Les fermes sont conçues pour résister aux forces de tension et de compression, ce qui en fait un composant essentiel dans une large gamme d'applications, notamment les ponts, les toits et les tours. Dans ce contexte on peut dire que l'étude d'un système triangulé basée sur:

- La détermination des efforts normaux dans chacune des barres;
- calcul des déplacements des nœuds.

Les fermes sont utilisées dans la construction depuis des siècles en raison de leur remarquable rapport résistance/poids et de leur intégrité structurelle. En utilisant des triangles, qui sont des formes géométriques intrinsèquement stables, les fermes peuvent répartir efficacement les charges et résister à la déformation dans diverses conditions. Cette conception ingénieuse permet aux ingénieurs de créer des structures robustes et fiables tout en minimisant la quantité de matériau nécessaire.

La polyvalence des fermes est évidente dans leur application dans divers domaines. En génie civil, les fermes constituent l'épine dorsale de nombreux ponts, offrant résistance et stabilité sur de longues portées. Les architectes intègrent les fermes dans la conception des structures de toit pour créer des intérieurs ouverts et spacieux sans sacrifier le soutien. Les fermes sont également utiles dans la construction de tours de transmission, de grues et même de structures aérospatiales, où leur composition légère mais robuste est très appréciée. La figure 1.1 présente un exemple de toiture des grandes salles de sport ainsi que des ponts et pylônes.

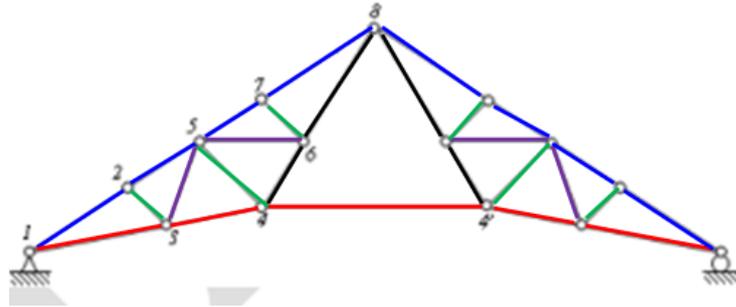


Figure 1. 1. Illustration des treillis type Polonceau [1]

1.3. TERMINOLOGIE

Les barres d'un treillis sont des pièces triangulées. Elles sont faites d'acier, de bois ou autre. On associe généralement les barres ou membrures des treillis à des barres articulées au point (A et B).

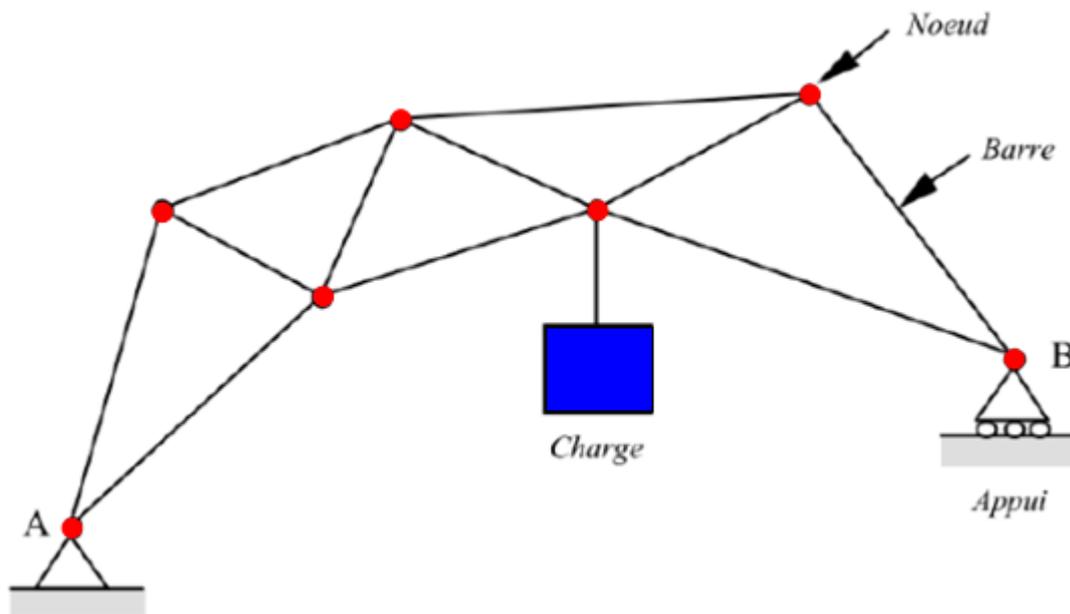


Figure 1.2. Illustration des différentes terminologies d'un treillis [2]



Figure 1.3. La section des barres [2]

1.3.1. Barres

Un treillis est un ensemble de barres. Les barres sont reliées entre elles à leurs extrémités ce qui forme des nœuds. Pour simplifier la modélisation mécanique, nous ferons les hypothèses suivantes:

1. les fibres moyennes des barres concourent en un même point : le nœud. Dans notre problème, nous simplifierons encore cette hypothèse en supposant que les sections des barres sont rondes.

La fibre moyenne est alors tout simplement le centre de la barre.

2. les barres sont supposées libres en rotation aux nœuds (pivots).

3. Les efforts extérieurs ne sont appliqués qu'aux nœuds et non aux barres. En particulier, on néglige le poids propre des barres. On peut démontrer que dans ce cas, il n'y a pas d'effort fléchissant ou tranchant dans les barres. Autrement dit, la barre n'est soumise qu'à un effort de traction/compression colinéaire à la fibre moyenne (au centre de la barre ronde pour nous).

1.3.2. Types de nœuds

1.3.2.1. Nœud simple

Le point de rencontre de deux ou plusieurs barres s'appelle un nœud. Les nœuds peuvent être fait de joint solide (assemblage par rivetage, soudage,...) ou des articulations (assemblage par rotule, axe, ...). La figure 1.4 présente un exemple de détail de la réalisation pratique d'un nœud de treillis en 3D [2].

Nœuds simples ils ne relient que des barres. Des efforts (forces) extérieurs (connus) peuvent leur être appliqués. Avec uniquement des nœuds simples, on peut définir la géométrie du treillis et les efforts qui lui sont appliqués, un exemple schématisé d'un treillis flottant voir la figure 1.5.

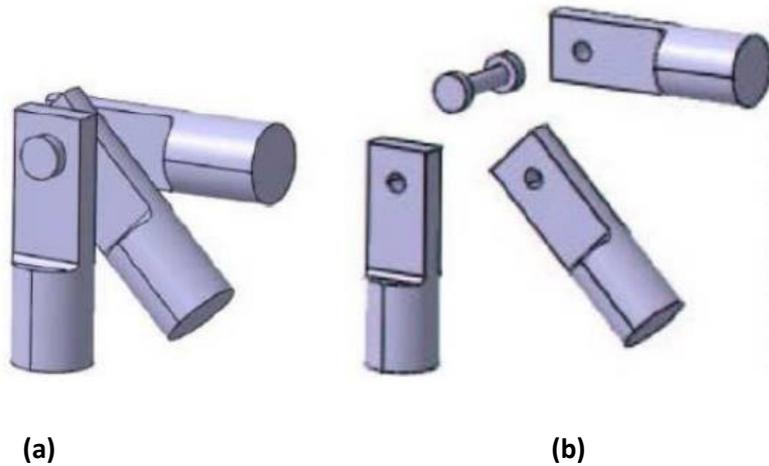


Figure 1. 4. Illustration de nœuds en 3D a) monter et b) démonté [2]

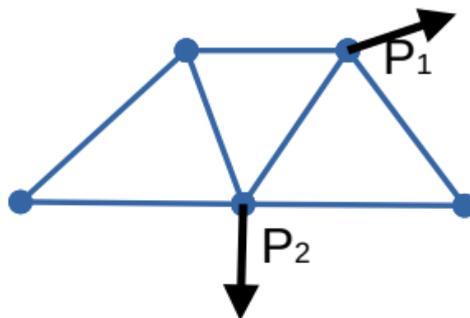


Figure 1.5. Treillis flottant

1.3.2.2. Nœuds avec appuis d'un treillis

La figure 1.6 explique un exemple de treillis avec appuis, un petit exemple où le terrain est horizontal. Dans cet exemple la représentation du terrain est trompeuse : c'est le nœud (le centre du cercle bleu) qui devrait être sur le terrain. Ici, on a décalé sous le symbole pour que ce soit « plus joli ».

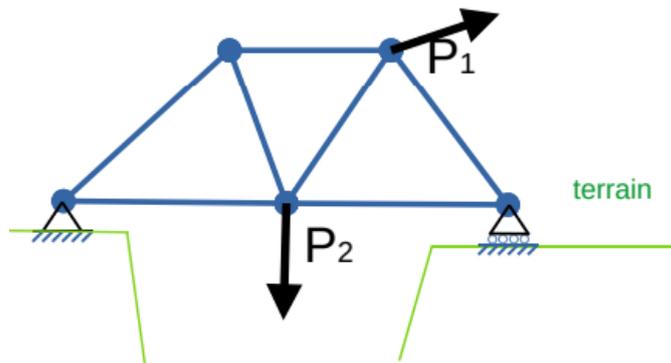


Figure 1.6. Treillis avec des appuis (double et simple) [3]

a- Appui double (articulation).

Le nœud est totalement bloqué en translation (sa position est fixe). Par contre, il respecte l'hypothèse générale sur les nœuds : les barres associées à ce nœud restent libres en rotation.

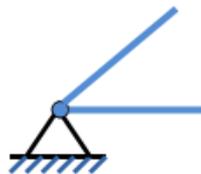


Figure 1.7. Appui double

b- Appui simple

Dans le cas d'un appui simple le nœud peut se déplacer tangentielllement au terrain, mais empêche tout déplacement normal au terrain. On voit que ces appuis devraient être associés à une modélisation du terrain pour savoir quelles sont les directions tangentielle et normale. Dans l'exemple de la figure 1.6, le nœud à droite peut se déplacer horizontalement, mais pas verticalement.

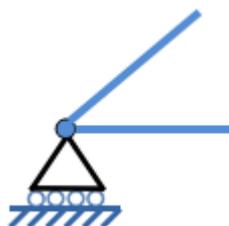


Figure 1.8. Appui simple

c- Appui encastré

Dans le cas d'un appui encastré le nœud est totalement bloqué en translation et en rotation. Dans ce cas, il ne respecte donc pas l'hypothèse que les barres associées aux nœuds sont libres en rotation.

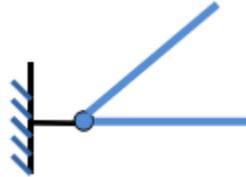


Figure 1.9. Appui encastré

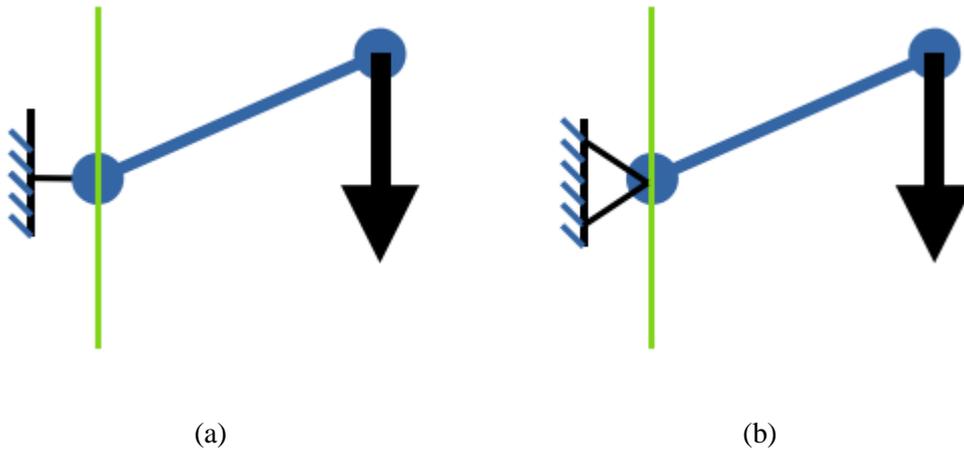


Figure. 1.10. Illustration des appuis; a) appui encastré et b) appui double [3]

1.4. LES DIFFÉRENTES FORMES DES TRELLIS**1.4.1. Le treillis simple est formé uniquement de mailles triangulaires**

Si le nombre de réactions d'appui ne dépasse pas trois, ce type de treillis est le plus souvent isostatique. Il existe toutefois des exceptions comme le montre de la figure 1.11. Il s'agit d'un treillis simple qui se referme sur lui-même et dont le degré d'hyperstaticité interne est égal à 3.

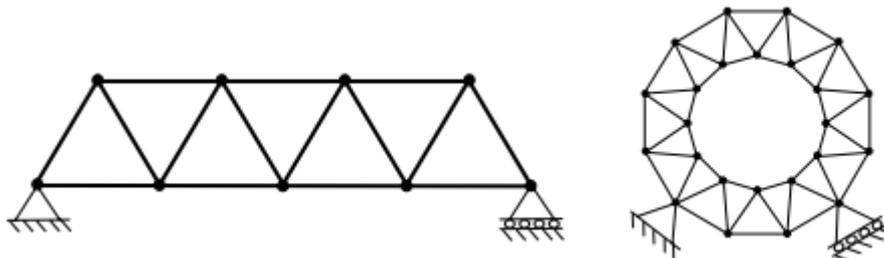


Figure 1.11. Treillis simple avec des mailles triangulaires [4]

1.4.2. Le treillis composé résulte de l'assemblage de treillis simples

Un tel treillis peut être isostatique (c'est le cas du treillis ci-contre) ou hyperstatique.

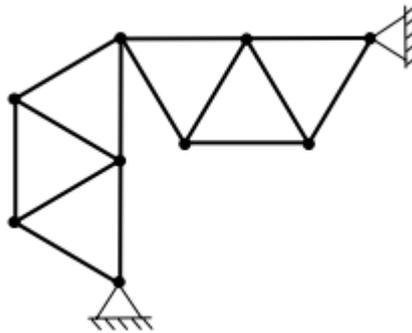


Figure 1.12. Treillis composé [4]

1.4.3. Le treillis formé de barres qui se chevauchent sans être reliées physiquement

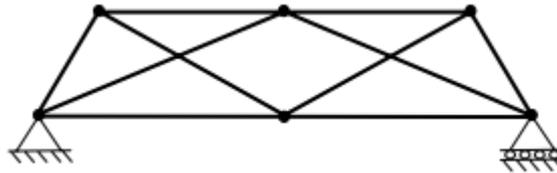


Figure 1.13. Treillis hyperstatique[4]

Un tel treillis peut être isostatique ou hyperstatique : dans le cas de la figure 1.13 il est hyperstatique de degré 1. Le treillis de la figure 1.14, par contre, est isostatique. Il est toutefois qualifié de complexe car il ne peut être analysé ni par la méthode de Cremona ni par la méthode des sections (décrites toutes deux au §5). Seule une méthode matricielle lui est applicable.

1.5. LES DIFFÉRENTES SYSTÈMES

1.5.1. Système isostatique

Dans ce système le nombre d'éléments inconnus des réactions d'appuis est égal au nombre d'équations d'équilibre dont on dispose, le système est dit isostatique. On a un système possédant autant d'inconnues que d'équations donc on peut résoudre ce type de système, voir le tableau ci-dessous.

Système isostatique		
Équations	(3)	Les inconnus (3)
Équilibre de translation	$\sum F_x = 0$ $\sum F_y = 0$	A_x A_y B_y
Équilibre de rotation	$\sum M = 0$	

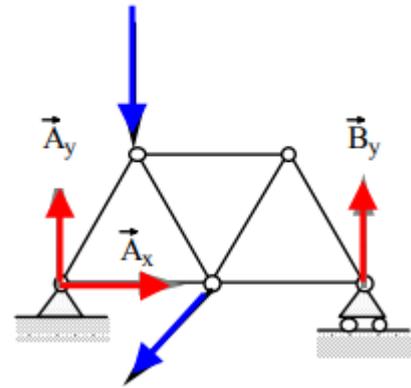


Figure 1.14. Système isostatique d'un treillis

1.5.2. Système hyperstatique

Dans ce système le nombre d'éléments inconnus des réactions d'appuis est supérieur au nombre d'équations d'équilibre dont on dispose, le système est dit hyperstatique. On a un système possédant plus d'inconnues que d'équations donc on ne peut résoudre ce type de système par les méthodes que l'on connaît voir le tableau ci-dessous.

Système hyperstatique		
Équations	(3)	Les inconnus (4)
Équilibre de translation	$\sum F_x = 0$ $\sum F_y = 0$	A_x A_y B_x B_y
Équilibre de rotation	$\sum M = 0$	

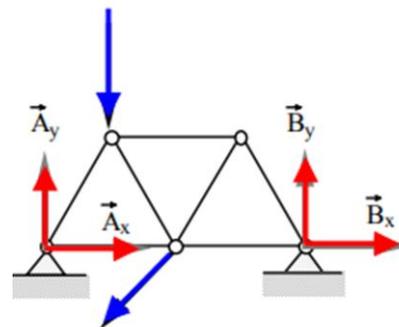


Figure 1.15. Système hyperstatique d'un treillis

1.5.3. Système instable

Dans ce système le nombre d'éléments inconnues des réactions d'appuis est inférieur au nombre d'équations d'équilibre dont on dispose, le système est dit instable. C'est par exemple le cas d'un système reposant sur deux appuis simple comme l'exemple ci-dessous: on peut dire que la structure peut se déplacer latéralement voir les détails dans le tableau ci-dessous.

Système instable		
Équations	(3)	Les inconnus (2)
Équilibre de translation	$\Sigma F_x = 0$ $\Sigma F_y = 0$	Ay By
Équilibre de rotation:	$\Sigma M = 0$	

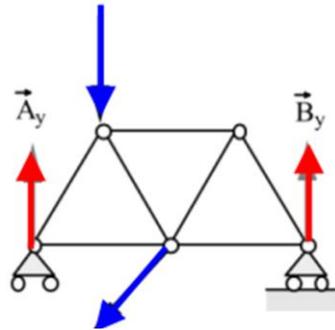


Figure 1.16. Système instable d'un treillis

1.6. DEGRÉ D'HYPERSTATICITÉ DES STRUCTURES PLANES ARTICULÉES OU TREILLIS

Pour calculer le nombre de degré d'hyperstaticité on utilise la relation:

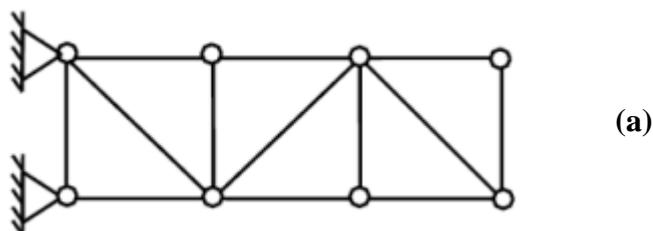
$$k = b + r - 2n \tag{1.1}$$

Où :

b : le nombre de barre ;

r : le nombre de réactions;

n' : le nombre de nœuds.

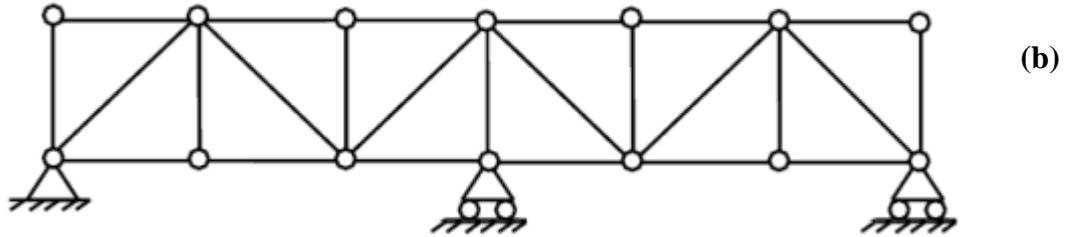


Le nombre de degré d'hyperstaticité de structure (a)

b=13, r=4 et n=8

Donc

$$k=4+13-2*8=1$$

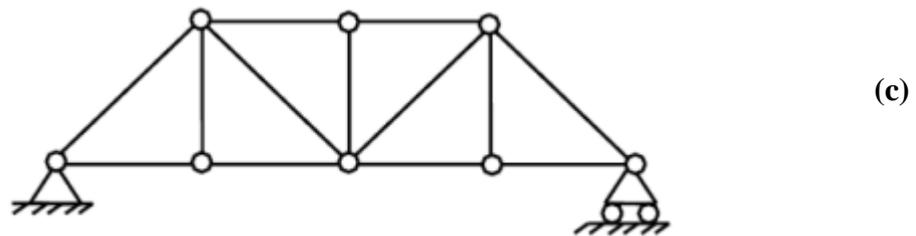


Le nombre de degré d'hyperstaticité de structure (b)

$$b=25, r=4 \text{ et } n=14$$

Donc

$$k=4+25-2*14=1$$



Le nombre de degré d'hyperstaticité de structure (c)

$$b=13, r=3 \text{ et } n=8$$

Donc

$$k=3+13-2*8=0$$

Figure 1.17. Exemple de calcul de degré d'hyperstaticité [5]

1.7. MÉTHODES DE CALCUL DES EFFORTS DANS LES MEMBRANES D'UN TREILLIS

On peut citer deux méthodes principales qui permettent de calculer analytiquement les efforts dans les membranes d'un treillis.

1.7.1. Méthode d'équilibre des nœuds

Le principe de la méthode des nœuds consiste à déterminer de manière analytique l'équilibre de chaque nœud du treillis. [6]

Modéliser la structure entière (barres, appuis et chargements) ;

Déterminer la nature du treillis ;

Calculer les actions de liaisons (réaction d'appuis) ;

Dessiner la structure éclatée (isolée) en n'oubliant pas de dessiner les nœuds entre chaque barre ainsi que les forces extérieures (Réactions d'appuis et chargement);

Avec un peu de réflexion et grâce au PFS, ainsi que le principe des actions mutuelles, on détermine l'équilibre des nœuds (sachant que seul les efforts normaux passent dans les barres – pas d'effort tranchant ni de moment). On équilibre les nœuds afin de n'avoir que 2 inconnues pour résoudre la structure ($\sum F_x = 0$; $\sum F_y = 0$) ; ☐

- Il faut établir un tableau donnant les efforts dans chaque barre

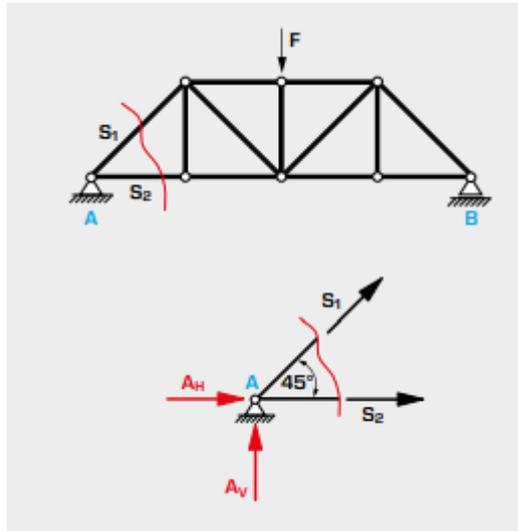


Figure 1.18. Exemple d'une structure d'équilibre des nœuds [7]

S ; efforts dans la barre,

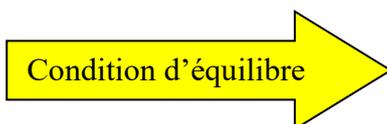
R_A+R_B ; réactions d'appui,

F ; forces,

indice V forces verticales,

indice H forces horizontales

Avec la méthode des nœuds, on coupe tous les nœuds les uns après les autres. À chaque nœud, on établit les conditions d'équilibre. Pour pouvoir appliquer la méthode des nœuds, il faut que le nombre de forces inconnues qui s'exercent au niveau du nœud soit de deux maximums. Grâce à cette méthode, aucune des efforts dans la barre n'est oublié en cas de treillis complexes.



$$\begin{aligned} \sum F_V = 0 &= A_V + S_1 \sin 45^\circ \\ \sum F_H = 0 &= S_2 + S_1 \cos 45^\circ + A_H \end{aligned} \tag{1.2}$$

1.7.2. Méthode des sections (Ritter)

Le principe de la méthode de Ritter consiste à effectuer des coupes habilement positionnées de manière à déterminer les efforts qui passent dans les barres. Les coupes ne doivent libérer au maximum que 3 inconnues. En appliquant le PFS sur l'une des deux parties de la structure, on détermine ces efforts. Puisque l'on applique les 3 équations du PFS sur la demi-structure (de

gauche ou de droite), il faut choisir judicieusement le point pour effectuer la somme du moment. On essaye généralement de ne pas faire intervenir d'autres équations pour ne pas cumuler les erreurs.

b) Méthodologie : • Modéliser la structure entière (barres, appuis et chargements) ;

Déterminer la nature du treillis; Calculer les actions de liaisons (réaction d'appuis) ; Effectuer une première coupure traversant au maximum 3 barres. ; ... Appliquer le PFS sur l'un des tronçons du treillis et en déterminer les actions de liaisons entre les tronçons (on mettra toutes les forces dans le sens de la traction); Passer aux coupures suivantes traversant de nouvelles barres ;

- Il faut établir un tableau donnant les efforts dans chaque barre

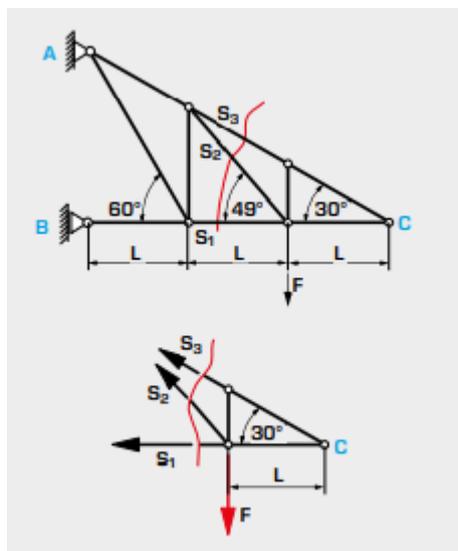


Figure 1.19. Exemple d'une structure (Ritter) [7]

S ; efforts dans la barre,

R_A+R_B ; réactions d'appui,

C; nœuds,

F; force,

L ; longueur de barre,

S_2 ; effort dans la barre recherché

Pour déterminer les efforts individuels dans la barre dans un treillis, il faut utiliser la méthode des sections de Ritter.

Pour appliquer cette méthode, il faut que les réactions d'appui et les forces externes soient connues.

Condition d'équilibre

$$\begin{aligned} \sum F_V = 0 &= -F + S_2 \sin 49^\circ + S_3 \sin 45^\circ \\ \sum F_H = 0 &= -S_3 \cos 30^\circ - S_1 - S_2 \cos 49^\circ \\ \sum M_C &= F \cdot L - S_2 \cdot \sin 49^\circ \cdot L = 0 \end{aligned} \tag{1.3}$$

1.8. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons étudié les différents points nécessaires concernant les treillis. On a rappelé les principaux points pour définir les treillis, tout d'abord, l'étude des treillis est un phénomène très complexe dans l'étude d'une durée de vie d'une structure en génie civil. Pour cela, nous avons cité les éléments essentiels à l'étude du comportement des treillis, à savoir les différents types des treillis, terminologie, méthodes de calcul des efforts dans les membranes d'un treillis, calcul degré d'hyperstaticité des structures planes articulées ou treillis, les différentes systèmes, et les différentes formes des treillis.

Chapitre II

ASPECTES GÉNÉRAUX

SUR LA MÉTROLOGIE

2 ASPECTES GÉNÉRAUX SUR LA MÉTROLOGIE EXPÉRIMENTAUX

2.1 INTRODUCTION

La métrologie est la science et l'art de la mesure et son applications, ainsi l'ensemble des moyens techniques utilisés pour le contrôle dimensionnel des pièces pour tous les domaines son exceptions. Elle s'intéresse d'étudier les caractéristiques des appareils de mesure. La métrologie inclut tous les aspects théoriques et pratiques de la mesure, quelles que soient l'incertitude de mesure et champs d'application. Il couvre aussi les principes de base concernant les grandeurs et unités, les vocabulaires métrologiques de mesure et les institutions de normalisation.

La métrologie s'intéresse sur les différents types de métrologie (scientifique dit ou laboratoire, légale et industrielle). La métrologie est un vaste domaine [8].

2.2 LES VOCABULAIRES METROLOGIQUES

En effet, un vocabulaire est un dictionnaire terminologique contenant les désignations et définitions concernant un ou plusieurs domaines spécifiques. Les vocabulaires métrologiques basés sur les trois axes principaux, les vocabulaires des résultats obtenus, les vocabulaires des opérations métrologiques et les vocabulaires des équipements de mesure.

Vocabulaire fournit un ensemble de définitions et de termes associés, pour un système de concepts fondamentaux et généraux utilisés en métrologie.

2.2.1 Vocabulaires des résultats obtenue

On métrologie les résultats obtenus basées sur les vocabulaires suivantes :

Grandeur: Attribut d'un phénomène, d'un corps ou d'une substance, qui est susceptible d'être distingué qualitativement et déterminé quantitativement. Ex : pression de vapeur

Mesurande: est une grandeur particulière soumise à mesurage exemple pression de vapeur d'un échantillon d'eau à 20°C

Mesurage: Ensemble d'opérations ayant pour but de déterminer une valeur d'une grandeur

Grandeur d'influence: Grandeur qui n'est pas le mesurage mais qui a un effet sur le résultat du mesurage

Résultats obtenus

Exactitude de mesure: Étroitesse de l'accord entre le résultat d'un mesurage et une valeur vraie du mesurande (concept qualitatif)

Incertitude de mesure: Est un paramètre associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient être raisonnablement attribuées au mesurande (concept quantitatif).

Erreurs maximales tolérées : Sont des Valeurs extrêmes d'une erreur tolérées par les spécifications, règlements, etc. pour un instrument de mesure donné.

Figure 2.1. Différentes vocabulaires des résultats obtenus [8]

2.2.2 Vocabulaires des opérations métrologiques

On métrologie les opérations métrologiques basées sur les vocabulaires suivantes :

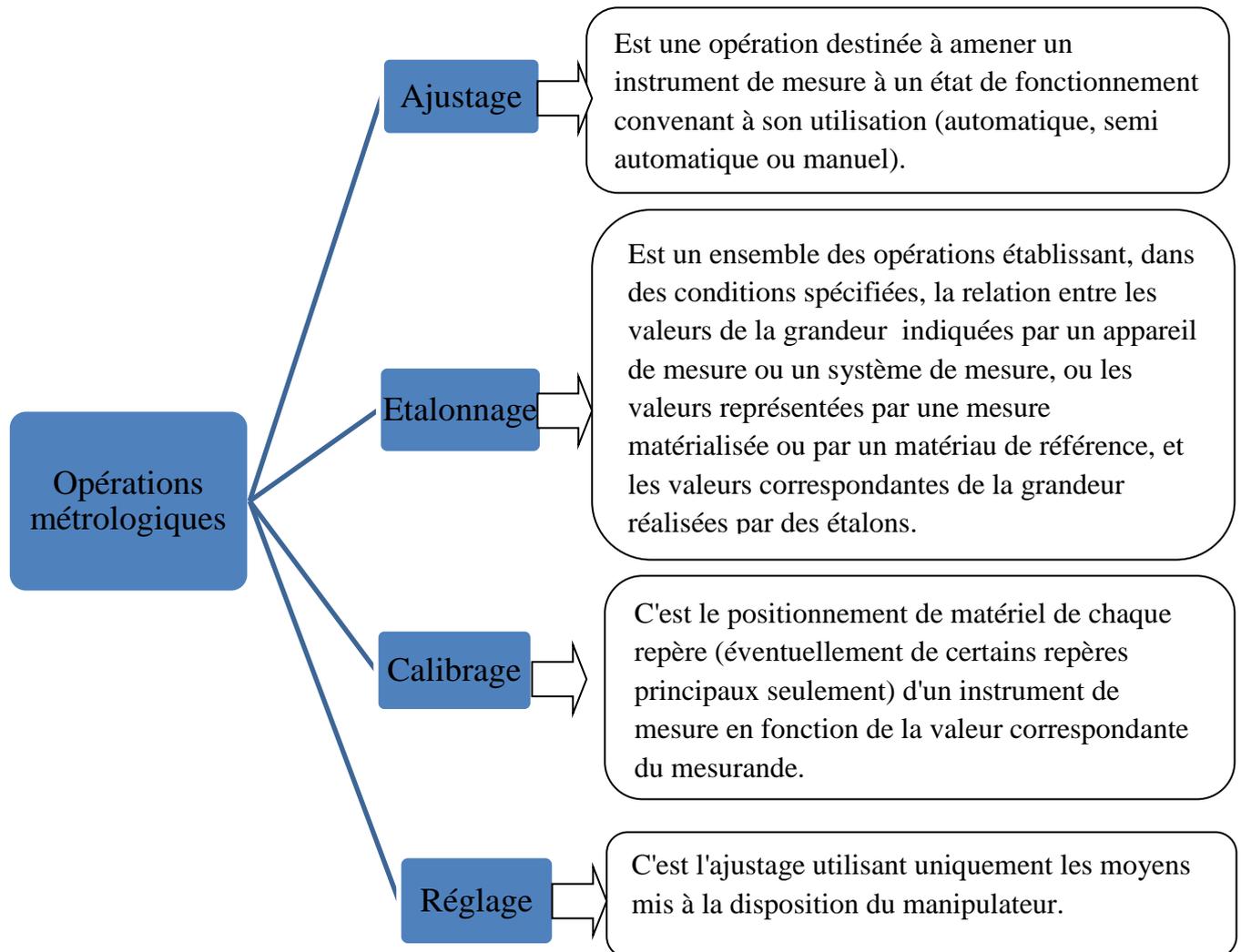


Figure 02.2. Différentes vocabulaires des opérations métrologiques [8]

2.2.3 Les vocabulaires des équipements de mesure

On métrologie les équipements de mesure basées sur les vocabulaires suivantes:

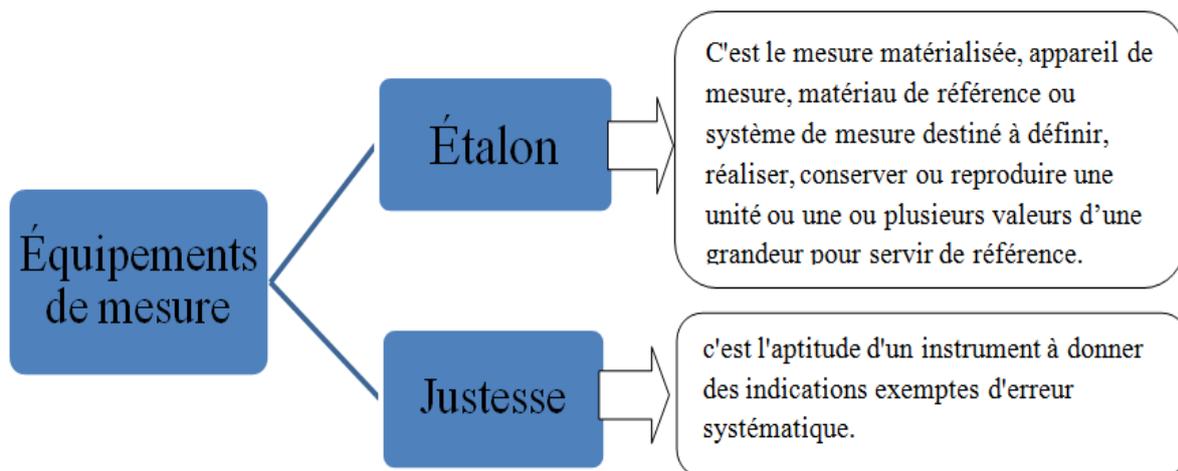


Figure 2.3. Différentes vocabulaires des équipements de mesure [9]

2.3 DIFFÉRENTES CARACTÉRISTIQUES MÉTROLOGIQUES DES APPAREILS DE MESURE

Les caractéristiques métrologiques des appareils de mesure est très critique et bénéfique pour le processus de sélection. Les caractéristiques qui montrent les performances d'un instrument sont l'exactitude, la précision, la justesse, la fidélité, la répétitivité et la reproductibilité, ces caractéristiques, elle permet aux utilisateurs de sélectionner l'instrument le plus approprié pour des travaux de mesure spécifiques.

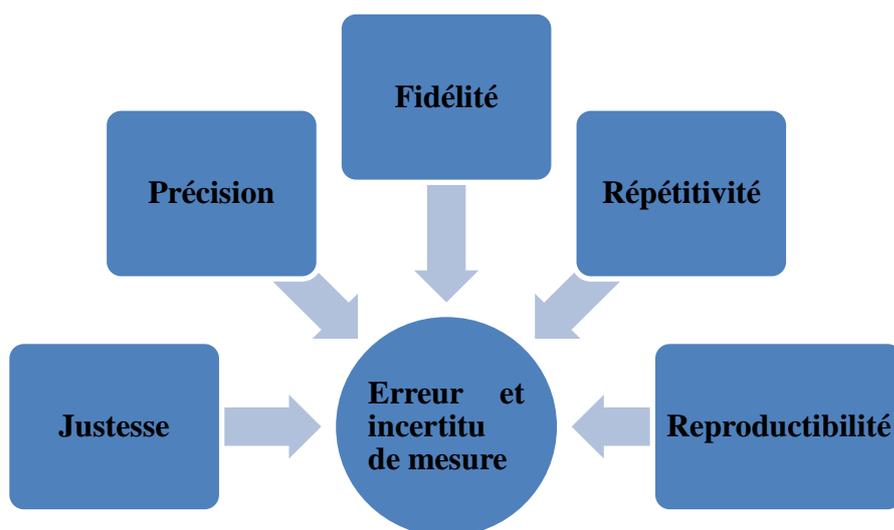


Figure 0.4. Caractéristiques métrologiques d'un appareil de mesure

2.4 DIFFÉRENTS CLASSIFICATION DES INCERTITUDES DE MESURE

2.4.1 Les incertitudes de mesure

On appelle incertitude de mesure ΔX , la limite supérieure de la valeur absolue l'écart entre la valeur mesurée et la valeur exacte de la mesurande. En pratique on ne peut qu'estimer cette incertitude. On distingue deux types d'incertitudes:

- incertitude absolue ΔX , qui s'exprime en même unité que la grandeur mesurée.
- l'incertitude relative qui s'exprime généralement en pourcentage (%).

2.4.1.1 Erreur absolue, incertitude absolue

Soient :

- X : la valeur mesurée de la grandeur,
- X_e : la valeur théorique exacte de la même grandeur.

L'erreur absolue, notée δX , est l'écart qui existe entre la valeur mesurée et sa valeur théorique exacte exprimée avec la même unité.

$$\delta X = X - X_e \quad (2.1)$$

Dans le cas où la valeur exacte de la grandeur à mesurer est inconnue, il faut évaluer une limite supérieure de l'erreur absolue qui n'est autre que l'incertitude absolue notée : $\Delta X = \sup (\delta X)$

2.4.1.2 Erreur relative, incertitude relative

L'erreur relative est le quotient de l'erreur absolue à la valeur exacte.

$$\varepsilon_r = \frac{\delta X}{X_e} = \frac{X - X_e}{X_e} \quad (2.1)$$

Comme il s'agit d'un nombre sans dimension (pas d'unité), on l'exprime généralement en Pourcentage (%) :

$$\varepsilon_r (\%) = \frac{\delta X}{X_e} \times 100 = \frac{X - X_e}{X_e} \times 100 \quad (2.2)$$

2.5 LES INSTRUMENTS DE MESURE ET DE CONTRÔLE UTILISÉS

L'équipement d'essai est divisé en trois groupes: les instruments de mesure directe et indirecte, les machines de mesure et de contrôle et les instruments de contrôle des dimensions.

Les appareils de mesure sont divisés en appareils de mesure fixes et indicateurs.

Les enseignements incarnent soit la mesure, soit la mesure et la forme de l'objet à tester.

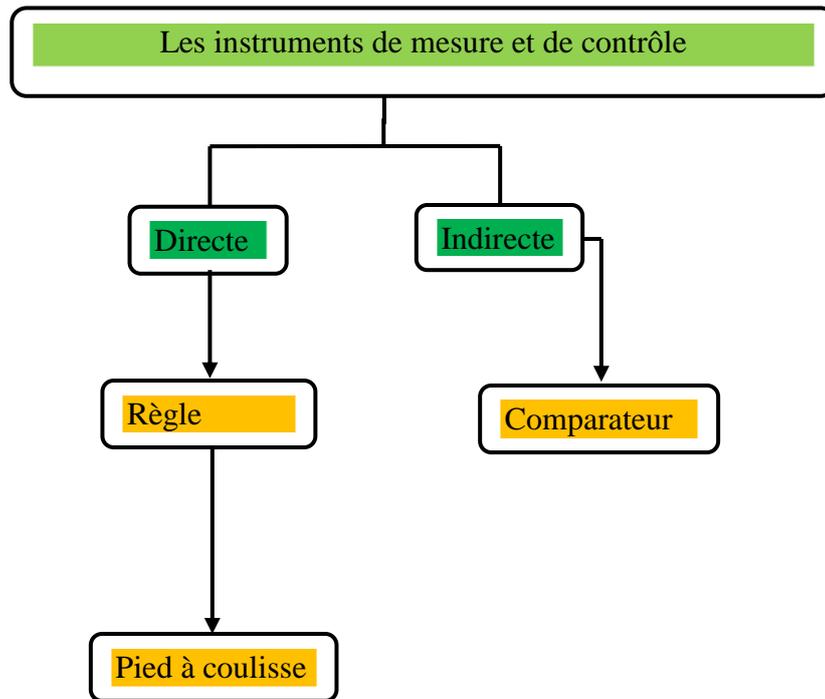


Figure 0.5. Les instruments de mesure et de contrôle utilisés dans ce mémoire [21]

2.5.1 Pied à coulisse à montre

Le pied à coulisse à montre possède un cadran qui affiche la mesure avec un indicateur de pointeur. La mesure obtenue est éventuellement cumulée avec la lecture obtenue mentionnée sur l'échelle passant le long du faisceau de l'étrier. Ainsi, une structure mécanique comprenant un système de mécanisme à crémaillère et pignon. Pour l'examiner, la valeur la plus notable est analysée à partir de la règle et de la lecture partielle du cadran. La bonne caractéristique des pieds à coulisse de cadran est qu'ils n'ont pas besoin de piles pour fonctionner. Même si les étriers à cadran ne sont pas résistants à l'eau, ils fonctionnent bien même si le temps est humide.

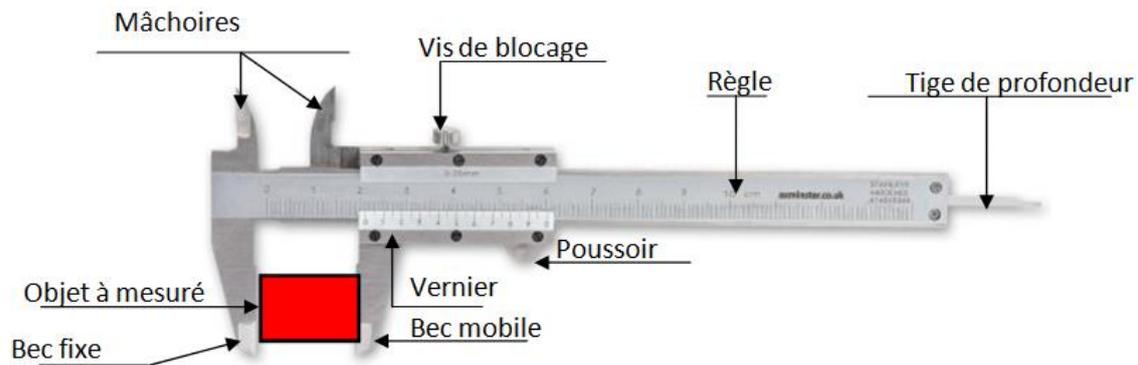


Figure 02.6. Les constitutions de pied à coulisse

2.5.2 Comparateur

Le comparateur est un instrument de mesure, qui permet de mesurer les démentions indirecte par comparaison. Cet instruments de mesure basé sur deux types essentielle l'un est le comparateur à cadran et l'autre type est le comparateur digitale (le paragraphe ci-dessous) explique le comparateur à cadran.

2.5.3 Types de comparateur

2.5.3.1 Comparateur à cadran

Comparateur à cadran le plus simple. C'est un instrument très polyvalent et sensible. Il utilise un système d'engrenage avec une crémaillère et un pignon. L'indicateur de cadran se compose d'un piston qui peut monter ou descendre en déplaçant l'aiguille du cadran dans le sens horaire ou antihoraire direction. Le cadran plus petit indique le nombre de tours complets de la grande aiguille.

Les indicateurs à cadran ont une plage de course et une discrimination de **0,01mm** ou généralement de **0,001** "pour les indicateurs à base de pouce.

Assurez-vous que l'axe du piston est toujours perpendiculaire à la surface à évaluer, sinon une erreur de mesure être engagé.

Les indicateurs à cadran montrent l'écart entre une dimension et une dimension «vraie».

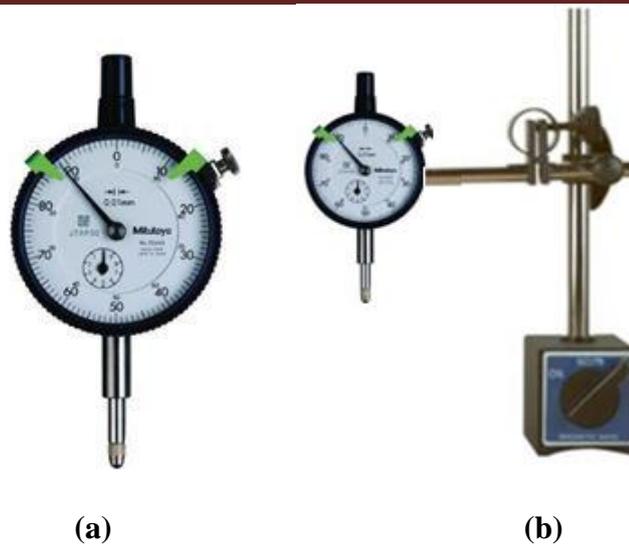


Figure 2.7. Comparateur : (a) à montre et (b) comparateur à cadran monté sur un support

La figure.2.7(b) montre un comparateur à cadran monté sur un support typique qui à son tour est placé sur une surface rigide. Un échantillon de référence (maître) de hauteur exactement connue est ensuite placé sous le piston et la lunette est tournée de sorte que l'instrument indique exactement zéro; assurez-vous que le plongeur peut toujours se déplacer dans les deux directions et qu'il n'est pas «abaissé» dans une direction. L'instrument est maintenant configuré pour comparer un spécimen à la hauteur «calibrée». L'instrument indiquera l'écart de cette dimension par rapport à l'étalon «calibré»

2.5.3.2 Composantes d'un comparateur

- La grande aiguille, commandée par le palpeur fait un tour pour une différence de cote de 1 mm.
- Le grand cadran est divisé en 100 parties égales, il est donc possible d'apprécier le 1/100^è de mm.
- Le petit cadran (totaliseur) indique le nombre de tours de la grande aiguille.
- L'ensemble de la grande graduation (lunette) peut tourner autour de l'axe de la montre, afin que la division "zéro" puisse être mise à volonté devant l'aiguille centrale.

Il existe également des comparateurs à cadran permettant d'apprécier le 1/1000^è de mm.



Figure 2.8. Composantes d'un comparateur

2.6 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons étudié un aspect utile et nécessaire dans la métrologie. Pour cela, nous avons cité les différents vocabulaires essentiels à l'étude de tel essai expérimentale, comme les résultats obtenus, les opérations métrologiques et les équipements de mesure. Tout d'abord, on a rappelé les caractéristiques métrologiques des appareils de mesure chacune d'elles de coté justesse, précision, fidélité, répétitivité, reproductibilité d'un appareil de mesure.

Chapitre III

CALCUL ANALYTIQUE

DES TREILLIS

3 CALCUL ANALYTIQUE DES TREILLIS**3.1 INTRODUCTION**

Une ferme peut être définie comme une structure formée en joignant ses éléments bout à bout. Le joint auquel deux ou plusieurs éléments sont joints est appelé un nœud. La beauté d'une structure en treillis réside dans sa robustesse ; puisque les forces externes conduisent à des forces internes réactives de traction ou de compression, la structure est très stable et est très couramment utilisée pour construire des ponts. La construction et les nuances des ponts et leur construction constituent un vaste sujet en génie civil. Nous proposons dans ce chapitre quelques exemples de calculs analytiques pour déterminer les forces aux niveaux de différents nœuds par l'utilisation de la méthode des nœuds et la méthode de sections.

3.2. CONVENTION DE SIGNE

Dans l'analyse des fermes, une force axiale négative sur un élément implique que l'élément ou les joints aux deux extrémités de l'élément sont en compression, tandis qu'une force axiale positive sur un élément indique que l'élément ou les joints aux deux extrémités de l'élément sont en tension.

3.3. ANALYSE DES TREILLIS PAR LA MÉTHODE D'ASSEMBLAGE

Cette méthode est basée sur le principe selon lequel si un système structurel constitue un corps en équilibre, alors tout assemblage de ce système est également en équilibre et peut donc être isolé de l'ensemble du système et analysé en utilisant les conditions d'équilibre. La méthode des assemblages consiste à isoler successivement chaque assemblage d'un système de fermes et à déterminer les forces axiales dans les éléments se rencontrant au niveau de l'assemblage en appliquant les équations d'équilibre. La procédure détaillée d'analyse par cette méthode est indiquée ci-dessous.

Procédure d'analyse

- Vérifiez la stabilité et la stabilité de la structure. Si la ferme est stable et stable, passez à l'étape suivante.
- Déterminer les réactions d'appui dans la ferme.
- Identifiez les éléments à force nulle dans le système. Cela réduira considérablement les efforts de calcul impliqués dans l'analyse.
- Sélectionnez un assemblage à analyser. Il ne doit en aucun cas y avoir plus de deux forces inconnues dans l'assemblage analysé.

- Dessinez le diagramme de corps libre isolé de l'assemblage sélectionné et indiquez les forces axiales dans tous les éléments se rencontrant au niveau de l'assemblage en traction (c'est-à-dire en s'éloignant de l'assemblage). Si cette hypothèse initiale est erronée, la force axiale de l'élément déterminée sera négative dans l'analyse, ce qui signifie que l'élément est en compression et non en tension.
- Appliquer les deux équations $\Sigma F_x = 0$ et $\Sigma F_y = 0$ pour déterminer les forces axiales des membres.
- Continuez l'analyse en passant à l'articulation suivante avec deux forces d'éléments inconnues ou moins.

3.4 EXEMPLES ANALYTIQUES

Dans cette partie, On utilisant la méthode d'assemblage pour déterminer la force axiale dans chaque élément de treillis voir la figure ci-dessous.

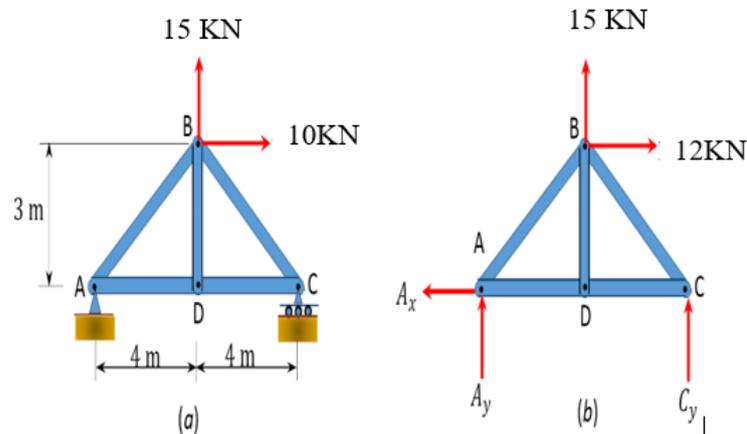


Figure 3.1. Ferme simple [10]

Solution

Réactions d'appui. En appliquant les équations d'équilibre statique au diagramme de corps libre représenté sur la figure 3.1.b, les réactions d'appui peuvent être déterminées comme suit :

$$+ \curvearrowright \Sigma M_A = 0$$

$$15 (4) - 10 (3) + (8) C_y = 0$$

$$C_y = - 3,75 \text{ KN}, C_y = 3,75 \text{ KN} \downarrow$$

$$+ \uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$A_y - 3,75 + 15 = 0$$

$$A_y = - 11,25 \text{ KN} + \rightarrow \Sigma F_x = 0 \text{ A}, y = 11,25 \text{ KN} \downarrow$$

$$-A_x + 10 = 0$$

$$A_x = 10 \text{ KN}, A_x = 10 \text{ KN} \leftarrow$$

Analyse des joints. L'analyse commence par la sélection d'un joint qui a deux forces d'éléments inconnues ou moins. Le diagramme des corps libres de la ferme montrera que les joints (A et B) satisfont à cette exigence. Pour déterminer les forces axiales dans les éléments se rencontrant au niveau du joint (A), isolez d'abord le joint de la ferme et indiquez les forces axiales des éléments comme (F_{AB} et F_{AD}) comme illustré à la figure 3.1c. Les deux forces inconnues sont initialement supposées être de traction (c'est-à-dire qu'elles s'éloignent du joint). Si cette hypothèse initiale est incorrecte, les valeurs calculées des forces axiales seront négatives, ce qui signifie une compression.

Analyse des articulations A.

$$+ \uparrow \sum F_y = 0$$

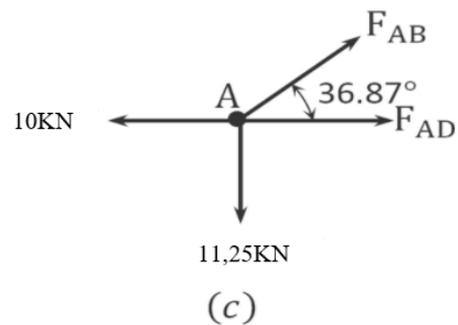
$$F_{AB} \sin 36,87^\circ - 11,25 = 0$$

$$F_{AB} = 20,56$$

$$+ \rightarrow \sum F_x = 0$$

$$- 10 + F_{AD} + F_{AB} \cos 36,87^\circ = 0$$

$$F_{AD} = 10 - 20,56 \cos 36,87^\circ = - 7,06 \text{ kN}$$



Après avoir terminé l'analyse des articulations A, articulation B ou D peut être analysé, car il n'y a que deux forces inconnues.

Analyse des articulations D.

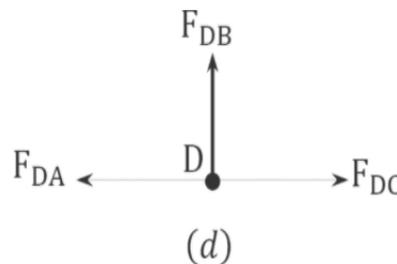
$$+ \uparrow \sum F_y = 0$$

$$F_{DB} = 0$$

$$+ \rightarrow \sum F_x = 0$$

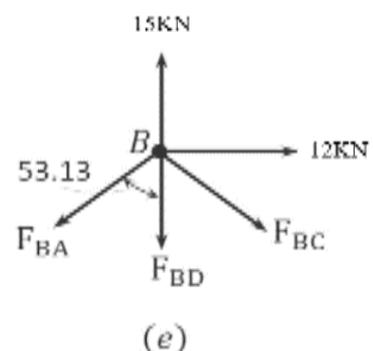
$$- F_{DA} + F_{DC} = 0$$

$$F_{DC} = F_{DA} = - 7,06 \text{ kN}$$



Analyse des articulations B.

$$+ \rightarrow \sum F_x = 0$$



$$-F_{BA} \sin 53,13 + F_{BC} \sin 53,13 + 12 = 0$$

$$F_{BC} \sin 53,13 = -12 + 20,56 \sin 53,13 =$$

$$F_{BC} = 5,36 \text{ KN}$$

3.3.1 Membres à force nulle

L'analyse complexe des fermes peut être grandement simplifiée en identifiant d'abord les « éléments à force nulle ». Un élément à force nulle est un élément qui n'est soumis à aucune charge axiale. Parfois, de tels éléments sont introduits dans le système de fermes pour empêcher le flambage et la vibration des autres éléments. Les agencements d'éléments de ferme qui donnent lieu à des éléments à force nulle sont répertoriés comme suit :

1. Si une non-colinéarité existe entre deux éléments se rencontrant au niveau d'un joint qui n'est soumis à aucune force externe, alors les deux éléments sont des éléments à force nulle (voir Figure 3.2a).
2. Si trois éléments se rencontrent à un joint sans force externe et que deux d'entre eux sont colinéaires, le troisième élément est un élément à force nulle (voir Figure 3.2b).
3. Si deux éléments se rencontrent au niveau d'un joint et qu'une force appliquée au niveau du joint est parallèle à un élément et perpendiculaire à l'autre, alors l'élément perpendiculaire à la force appliquée est un élément à force nulle (voir Figure 3.2c).

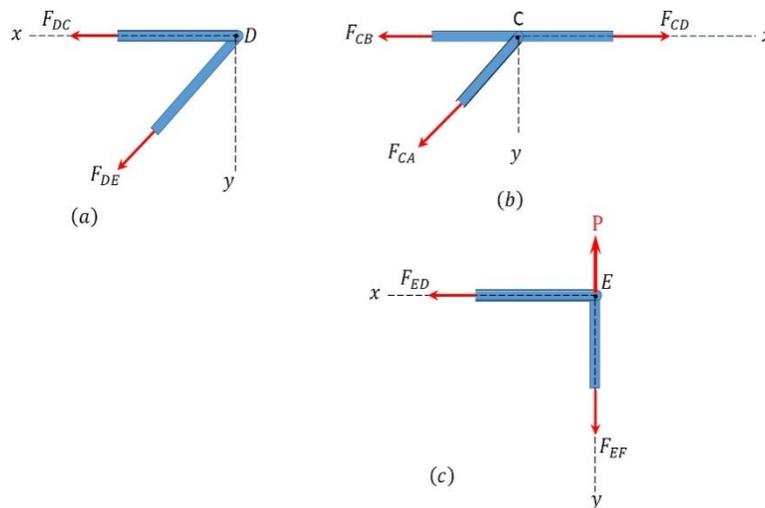


Figure 3.2. Membres de la force zéro

3.3.2 Analyse des fermes par la méthode de section

Parfois, la détermination de la force axiale dans des éléments spécifiques d'un système de fermes par la méthode des assemblages peut être très complexe et fastidieuse, en particulier lorsque le système est constitué de plusieurs éléments. Dans de tels cas, l'utilisation de la méthode des

sections peut faire gagner du temps et, par conséquent, être préférable. Cette méthode consiste à faire passer une section imaginaire à travers la ferme de manière à diviser le système en deux parties et à couper les éléments dont les forces axiales sont souhaitées. Les forces axiales des éléments sont ensuite déterminées en utilisant les conditions d'équilibre. La procédure détaillée d'analyse par cette méthode est présentée ci-dessous.

Procédure d'analyse des fermes par la méthode de section

- Vérifiez la stabilité de la structure. Si la ferme est stable, passez à l'étape suivante.
- Déterminer les réactions d'appui dans la ferme.
- Réalisez une coupe imaginaire à travers la structure de manière à inclure les éléments dont les forces axiales sont souhaitées. La coupe imaginaire divise la ferme en deux parties.
- Appliquer des forces sur chaque partie de la ferme pour la maintenir en équilibre.
- Sélectionnez l'une ou l'autre partie de la ferme pour la détermination des forces des éléments.
- Appliquer les conditions d'équilibre pour déterminer les forces axiales des éléments.

Exemple 3.2

En utilisant la méthode de section, déterminer les forces axiales dans les éléments CD, CG, et HG de la ferme illustrée à la figure 5.12a.

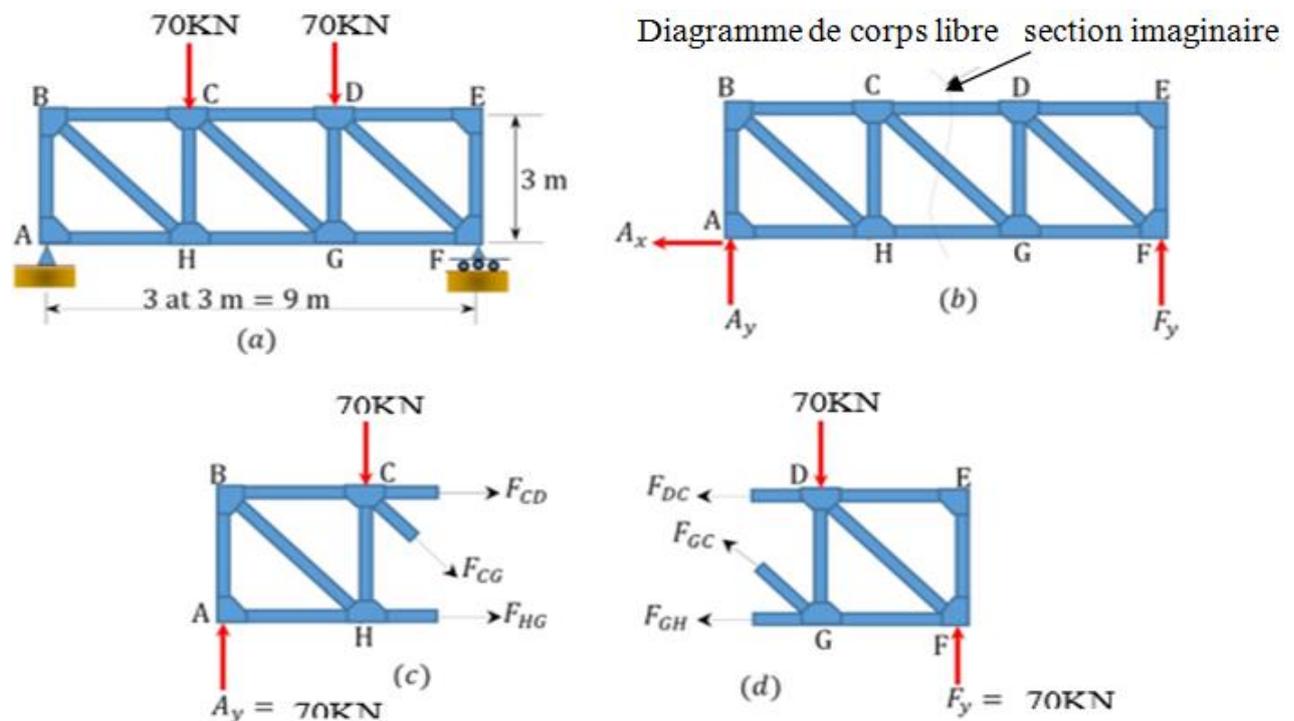


Figure 3.3. Exemple d'un treillis analysé par la méthode de section [10]

Solution

Réactions d'appui. En appliquant les équations d'équilibre statique au diagramme de corps libre de la figure 5.12b, les réactions d'appui peuvent être déterminées comme suit :

$$A_y = F_y = 140/2 = 70 \text{ KN}$$

$$+ \rightarrow \Sigma F_x = 0 \quad A_x = 0$$

Analyse par méthode de section. Tout d'abord, une section imaginaire est passée à travers la ferme de manière à ce qu'elle coupe les éléments CD, CG, et HG et divise la ferme en deux parties, comme le montrent les figures 3.3c et 3.3d. Les forces exercées sur les éléments sont toutes indiquées comme des forces de traction (c'est-à-dire des forces d'arrachement du joint). Si cette hypothèse initiale est erronée, les forces calculées sur les éléments seront négatives, ce qui indique qu'ils sont en compression. L'une ou l'autre des deux parties peut être utilisée pour l'analyse. La partie gauche sera utilisée pour déterminer les forces exercées sur les éléments dans cet exemple. En appliquant l'équation d'équilibre au segment gauche de la ferme, les forces axiales dans les éléments peuvent être déterminées comme suit :

Force axiale dans l'élément CD. Pour déterminer la force axiale dans l'élément CD, trouvez un moment à propos d'un joint dans la ferme où seulement CD aura un moment sur ce joint et tous les autres éléments coupés n'auront aucun moment. Un examen attentif montrera que le joint qui répond à cette exigence est un joint G. Prenant ainsi le moment pour G suggère ce qui suit :

$$+ \curvearrowright \Sigma M_G = 0$$

$$- 70 (6) + 70 (3) - F_{CD} (3) = 0$$

$$F_{CD} = -70 \text{ KN} \quad 70 \text{ KN (C)}$$

Force axiale dans l'élément HG.

$$+ \curvearrowright \Sigma M_C = 0$$

$$- 70 (3) + F_{HG} (3) = 0$$

$$F_{HG} = 70 \text{ KN} \quad 70 \text{ KN (T)}$$

Force axiale dans l'élément CG. La force axiale dans l'élément CG est déterminée en considérant l'équilibre vertical de la partie gauche. Ainsi,

$$+ \uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$70 - 70 - F_{CG} \cos 45^\circ = 0$$

$$F_{CG} = 0$$

3.4 RÉSUMÉ DU CHAPITRE

Forces internes dans les fermes planes : Les fermes sont des systèmes structurels constitués d'éléments droits et élancés reliés à leurs extrémités. Les hypothèses dans l'analyse des fermes planes sont les suivantes :

1. Les éléments des fermes sont reliés à leurs extrémités par des axes sans frottement.
2. Les éléments sont droits et soumis à des forces axiales.
3. Les déformations des membres sont faibles et négligeables.
4. Les charges dans les fermes ne sont appliquées qu'à leurs joints.

Les éléments d'une ferme peuvent être soumis à une compression axiale ou à une tension axiale. La compression axiale des éléments est toujours considérée comme négative, tandis que la tension axiale est toujours considérée comme positive.

Les fermes peuvent être déterminées ou indéterminées de manière externe ou interne. Les fermes déterminées de manière externe sont celles dont les réactions externes inconnues peuvent être déterminées en utilisant uniquement l'équation d'équilibre statique. Les fermes indéterminées de manière externe sont celles dont la réaction externe inconnue ne peut pas être déterminée complètement en utilisant les équations d'équilibre. Pour déterminer le nombre de réactions inconnues dépassant l'équation d'équilibre pour les fermes indéterminées, des équations supplémentaires doivent être formulées en fonction de la compatibilité des parties du système. Les fermes déterminées de manière interne sont celles dont les éléments sont disposés de telle sorte que juste assez de cellules triangulaires sont formées pour empêcher l'instabilité géométrique du système.

La formulation de la stabilité et de la détermination dans les fermes est la suivante :

$b + r < 2n$ la structure est statiquement instable

$b + r = 2n$ la structure est déterminée

$b + r > 2n$ la structure est indéterminée

Méthodes d'analyse des fermes : Les deux méthodes courantes d'analyse des fermes sont la méthode de l'assemblage et la méthode de la section (ou du moment).

Méthode d'assemblage : Cette méthode consiste à isoler chaque assemblage de la ferme et à prendre en compte l'équilibre de l'assemblage lors de la détermination de la force axiale de l'élément. Deux équations utilisées pour déterminer les forces axiales des éléments sont $\Sigma F_x = 0$ et $\Sigma F_y = 0$. Les joints sont isolés consécutivement pour une analyse basée sur le principe selon lequel le nombre de forces axiales des éléments inconnus ne doit jamais être supérieur à deux dans le joint considéré dans un plan de confiance.

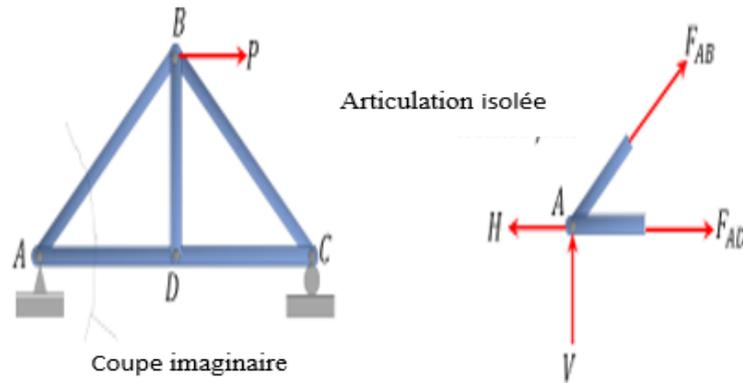


Figure 3.4. Illustration schématique de la méthode d'assemblage [10]

Méthode de section: Cette méthode consiste à faire passer une section imaginaire à travers la ferme pour la diviser en deux sections. Les efforts des membres sont déterminés en considérant l'équilibre de la partie de la ferme de chaque côté de la section. Cette méthode est avantageuse lorsque les efforts axiaux dans des membres spécifiques sont nécessaires dans une ferme à plusieurs membres.

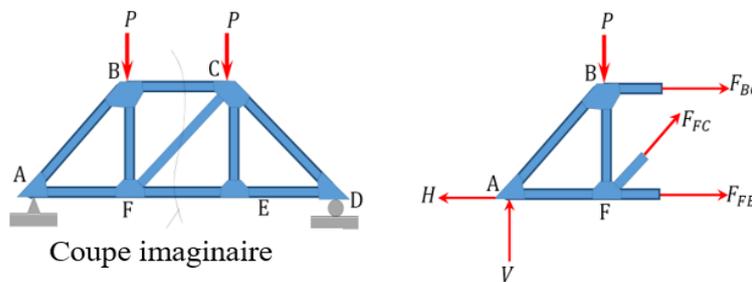
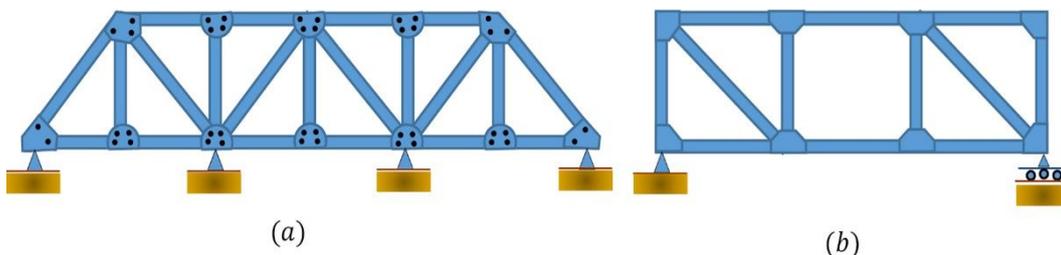
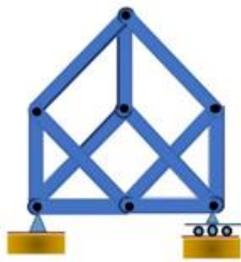


Figure 3.5. Illustration schématique de la méthode de section

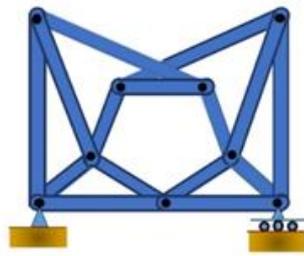
3.5 EXEMPLES SCHÉMATIQUE DES TREILLIS

Dans cette partie nous proposons quelques schéma des différentes treillis compliqués et simple.

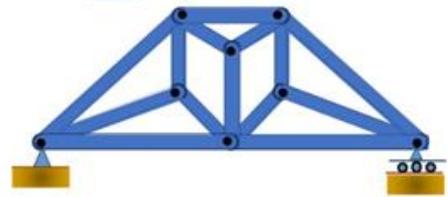




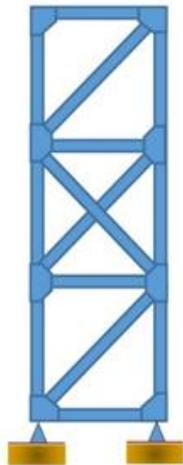
(c)



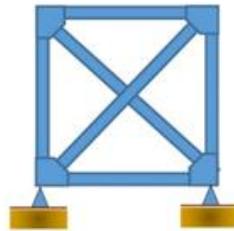
(d)



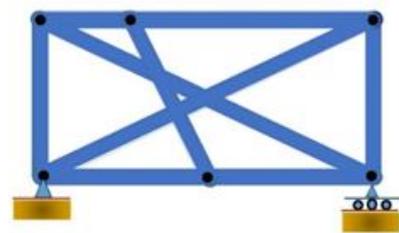
(e)



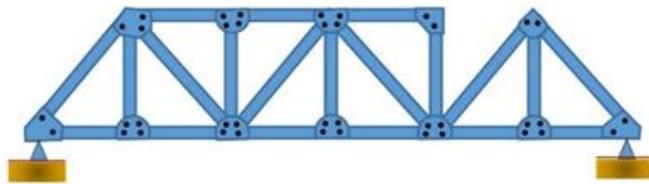
(f)



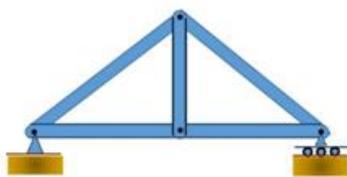
(g)



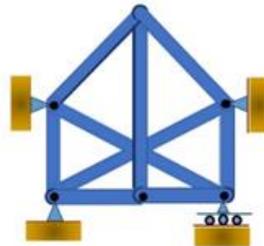
(h)



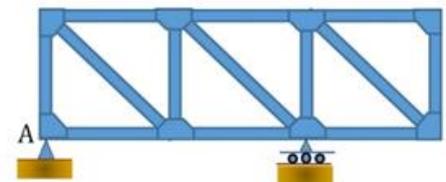
(i)



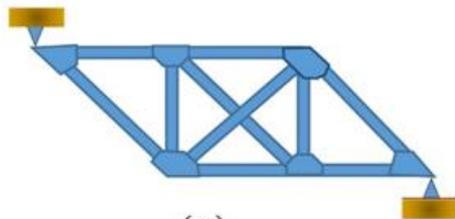
(j)



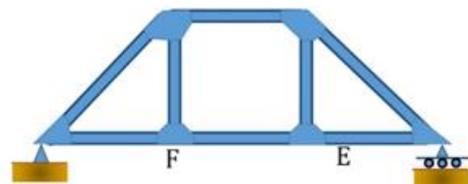
(k)



(l)



(m)



(n)

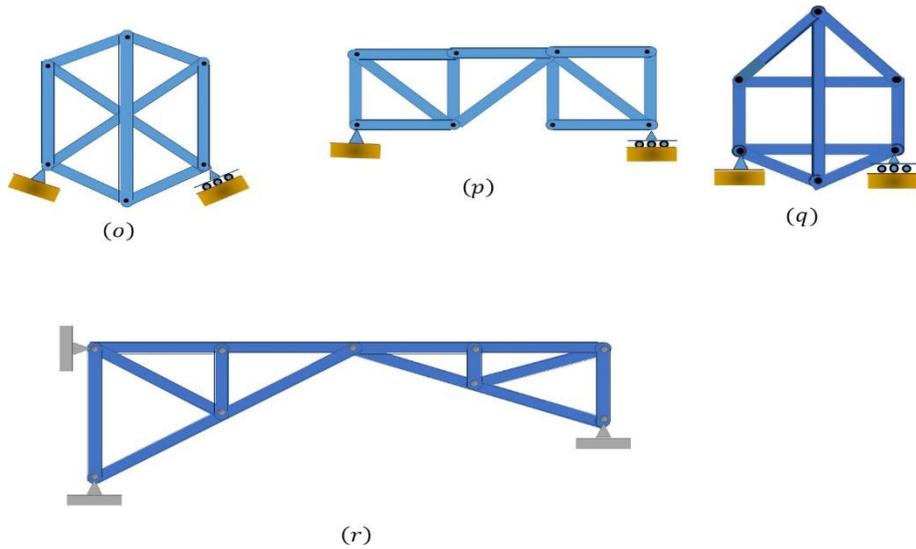


Figure 3.6. Illustration schématique de classification des treillis. [10].

3.6 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons étudié les différentes méthodes nécessaires et connues concernant les calculs des tensions aux niveaux des nœuds. Tout d'abord, l'étude des treillis est un phénomène très complexe dans l'étude d'une durée de vie d'une structure en génie civil. C'est pourquoi nous avons mentionné quelques exemples analytiques et discuté dans ce chapitre des étapes de résolution des problèmes liés aux tensions aux niveaux des nœuds.

Chapitre IV

ETUDE EXPERIMENTALE DES FORCES

DANS UN TREILLIS SIMPLE

4 ETUDE EXPERIMENTALE DES FORCES DANS UN TREILLIS SIMPLE

4.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous allons présenter une étude expérimentale des forces dans un treillis simple. Les résultats obtenus par cette étude sont comparés à ceux du résultat de références proposées par [11].

Pour cela, en faisant varier plusieurs angles du treillis. Ainsi, la variation du poids:

- modèle de α , β et γ égale $60^\circ, 60^\circ$ et 60° respectivement (figure 4.1).
- modèle de α , β et γ égale $45^\circ, 90^\circ$ et 45° respectivement (figure 4.2).
- modèle de α , β et γ égale $30^\circ, 120^\circ$ et 30° respectivement (figure 4.3).
- modèle de α , β et γ égale $30^\circ, 30^\circ$ et 120° respectivement (figure 4.4).

Cette étude expérimentale est faite dans le laboratoire de génie civil qui se trouve dans la faculté de Technologie dans l'université de Dr MOULAY Tahar de SAIDA.

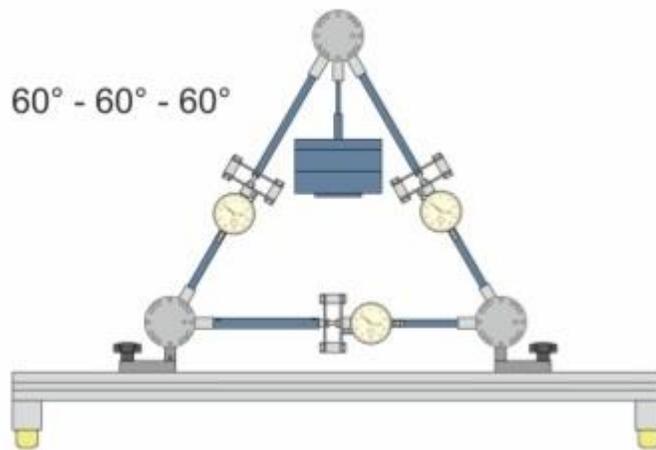


Figure 04.1. Modèle d'un treillis simple de $\alpha = 60^\circ$, $\beta = 60^\circ$ et $\gamma = 60^\circ$

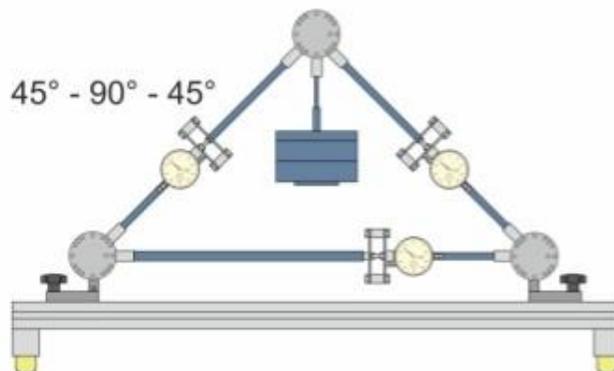


Figure 4.2. Modèle d'un treilles simple de $\alpha = 90^\circ$, $\beta = 45^\circ$ et $\gamma = 45^\circ$

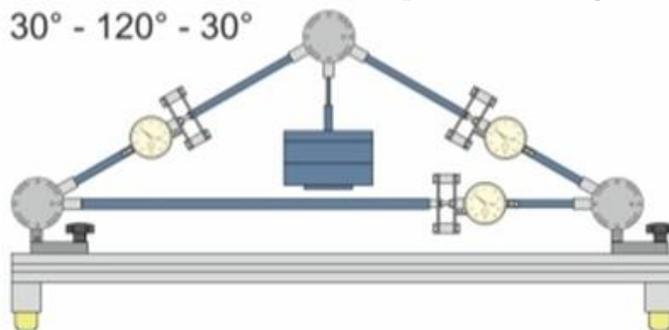


Figure 4.3. Modèle d'un treilles simple de $\alpha = 120^\circ$, $\beta = 30^\circ$ et $\gamma = 30^\circ$

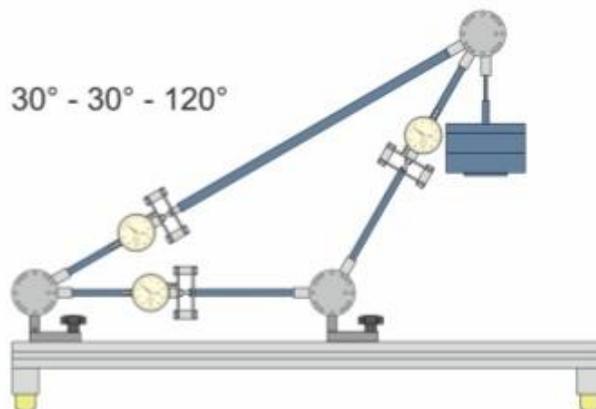


Figure 4.4. Modèle d'un treilles simple de $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 30^\circ$ et $\gamma = 120^\circ$

***Chapitre IV* ETUDE EXPERIMENTALE DES FORCES DANS UN TREILLIS SIMPLE**

4.2 DESCRIPTION

Le modèle FL111 ferme simple permet de démontrer de simples décompositions de forces et la distribution des forces dans des structures à barres simples.



Figure 4.5 L'appareil de l'essai avec ses éléments

Le modèle se compose de trois barres (1, 2, 3) reliées entre elles par des disques de jonction (4, 5, 6) articulés voir la **figure 4.6**. Afin de pouvoir régler différents rapports d'angles, une barre (3) est réglable sur 3 longueurs différentes. Les barres ont aux extrémités des loqueteaux faciles à actionner qui se verrouillent dans les disques de jonction.

Deux (4, 5) des 3 disques de jonction forment les appuis. Ils sont fixés par serrage sur le cadre de base solide (7) en profilé d'aluminium. Afin de garantir un système statiquement déterminé, un appui (4) est réalisé sous la forme d'un appui pendulaire.

Un support de poids (8) avec des poids (max. 50N) peut être fixé aux disques de jonction afin de réaliser une charge définie.

La force agissant dans la barre est mesurée via la déformation d'éléments de ressort à lames (9). Les éléments de ressort à lames sont disposés au milieu de la barre. La mesure de déformation se fait à l'aide de comparateurs à cadran fixes (10), comme illustre de la figure ci-dessous.

Chapitre IV ETUDE EXPERIMENTALE DES FORCES DANS UN TREILLIS SIMPLE

Tableau 4.1. Différentes constitutions de l'appareil

Éléments	Constitutions
1	barre
2	barre
3	barre
4	disque
5	disque
6	disque
7	cadre de base
8	Support de poids
9	ressort à lames
10	comparateur

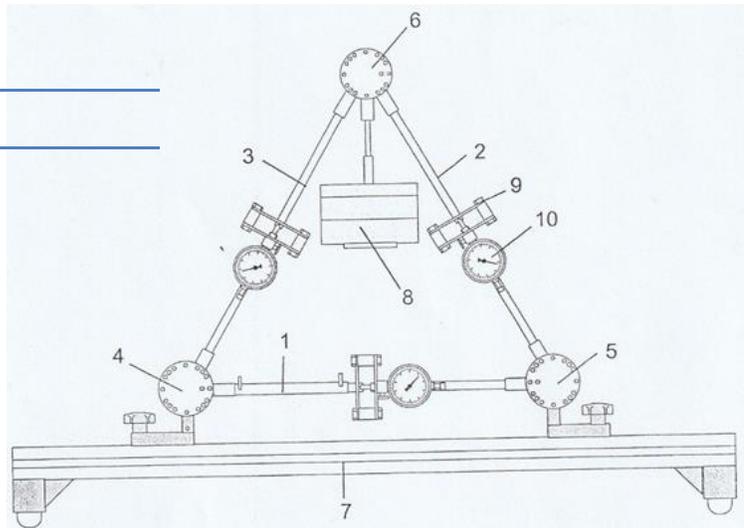


Figure 4.6. Treillis simple à la position du montage

4.2.1 Caractéristique techniques

Tableau 4.2. Caractéristiques techniques de l'appareil de l'essai

Caractéristiques techniques	
Dimensions (L x I x H)	900 x 200 x 600 mm
Poids	15 kg
Jeu de poids	10-50 N
Nombre de nœuds	3
Nombre de barres	3
Longueurs des barres (mesurées entre les centres des nœuds)	
fixes	440 mm
réglables	440 – 622 – 762 mm
Angles réglables	30°, 45°, 60°, 90°, 120°
Comparateur à cadran	0 – 10 mm

Chapitre IV ETUDE EXPERIMENTALE DES FORCES DANS UN TREILLIS SIMPLE

4.2.2. Instructions de montage

Lors du montage de la structure à barres, procéder comme suit :

- Presser le boulon de liaison de la fermeture à ressort avec les doigts et pousser la fermeture à ressort entre les disques perforés du nœuds (1).

-Laisser ensuite se verrouiller le boulon de liaison conformément à l'angle des barres (2).

- Les prolongements des axes des barres doivent passer par le centre du disque de jonction (3).

Remarque: les comparateurs à cadran doivent tous se trouver du même côté.

Remarque: afin de construire une charpente solide, une barre de chaque nœud doit faire prise dans la broche d'arrêt(4) du disque de jonction. Le disque de jonction est ainsi solidement relié à la barre.

- L'appui pendulaire (5) doit être en position verticale. Sinon, détacher l'appui (6) et le déplacer jusqu'à ce que l'appui pendulaire soit vertical.

- La modification de la longueur de la barre se fait par remplacement du tube d'écartement (7).

Enlever les goupilles fendues à cet effet (8).

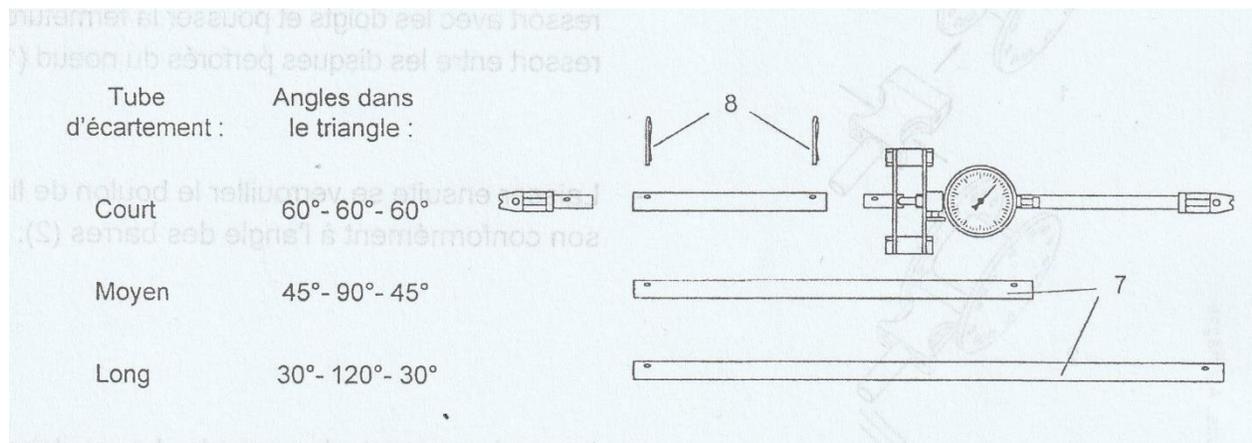


Figure 4.7. Différents types d'écartement [11]

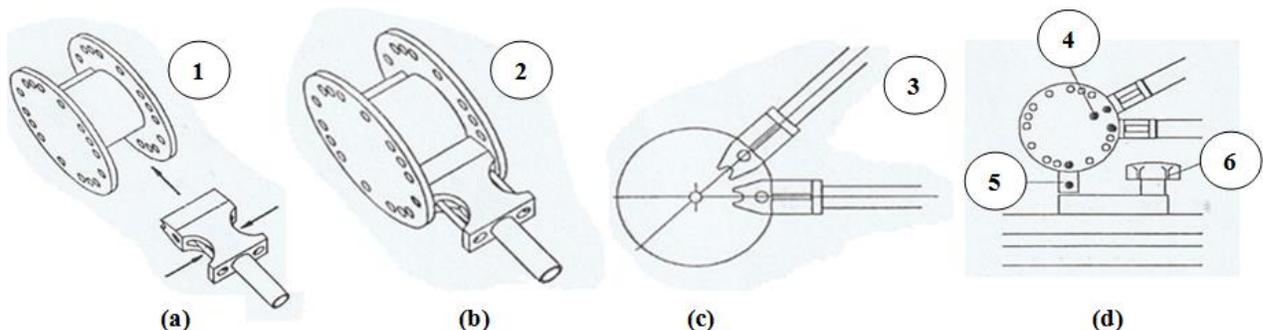


Figure 4.8. Illustration du montage par ordre [11]

4.3 CALCUL DES FORCES DANS LES BARRES.

Pour la structure à barres symétrique, on établit un plan d'implantation des barres avec toutes les forces. Les barres et les nœuds sont numérotés de 1 à 3. La structure à barres est mise en charge par la force unique au nœud III. Il n'y a pas de forces d'appui horizontales.

Pour la structure à barres symétrique, on a:

$$\gamma = \beta$$

$$R_A = R_B = \frac{F}{2}$$

De la sorte, on ne doit calculer qu'une moitié de la structure à barres.

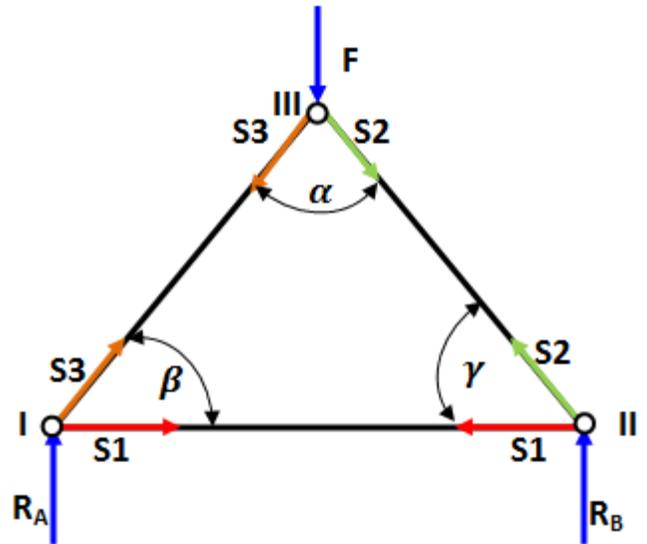


Figure 4.9. Illustration des forces sur les nœuds

4.4. L'ÉTALONNAGE DE L'APPAREIL

La réalisation de l'essai commence par l'étalonnage, le réglage et le calibrage de l'appareil et diverses opérations métrologiques. Pour cette raison, nous avons préparé un chapitre entier contenant tous les processus nécessaires à la réalisation de notre travail expérimental, voir le chapitre 2.

Afin de calibrer la mesure de force, on effectue d'abord un essai d'étalonnage.

- ✓ Pourvoir une barre de deux disques de jonction.
- ✓ Nous Accrochons la barre à un disque de jonction et mettre le comparateur à cadran à zéro (1).
- ✓ Nous attachons un support de poids, d'un poids de 50 Newtons, à un disque de jonction.

Chapitre IV ETUDE EXPERIMENTALE DES FORCES DANS UN TREILLIS SIMPLE

- ✓ Nous Accrochons à nouveau la barre au disque de jonction et lire l'allongement de la barre en charge sur le comparateur à cadran (2).
- ✓ La constante de force découle alors du quotient de la charge et de l'allongement.

Pour les valeurs exemplatives de $F_0 = 50 \text{ N}$ et $x_0 = -0,22 \text{ mm}$, on obtient :

$$k = \frac{F_0}{x_0} = \frac{50 \text{ N}}{-22,0 \frac{1}{100} \text{ mm}} = -2,27 \frac{\text{N}}{\frac{1}{100} \text{ mm}} \quad (4.1)$$

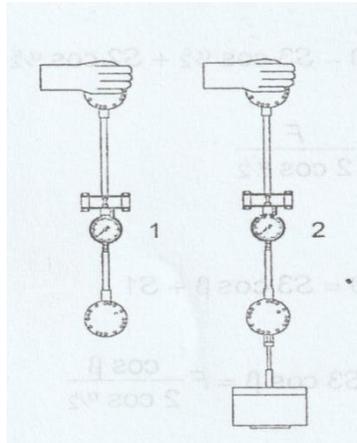


Figure 4.10. La position d'étalonnage

4.5 PARTIE EXPERIMENTALE

4.5.1. Les tensions dans les barres découlent des équilibres de nœuds

4.5.1.1 Modèle de $\alpha=60^\circ$, $\beta=60^\circ$ et $\gamma=60^\circ$

L'exemple proposé dans cette partie repose sur la modification des trois angles $\alpha = 60^\circ$, $\beta = 60^\circ$ et $\gamma = 60^\circ$, en utilisant le poids $P = 10, 20, 30, 40$ et 50 N , en utilisant trois comparateurs placés sur les trois barres du treillis pour lire la valeur de tension par nœud.



Figure 4.11 L'appareil à la position du montage dans le cas de $\alpha=60^\circ$, $\beta=60^\circ$ et $\gamma=60^\circ$ [12]

Chapitre IV ETUDE EXPERIMENTALE DES FORCES DANS UN TREILLIS SIMPLE

- Calcul analytique

Pour obtenir la tension à chaque nœud, il faut appliquer la méthode des nœuds. Comme nous l'avons vu précédemment dans les deux chapitres 1 et 3, avec l'utilisation des conditions d'équilibres.

Calcul analytique

Nœud III :

$$\sum F_H = 0 = S3 \sin \alpha/2 - S2 \sin \alpha/2 \quad (4.2)$$

$$S2 = S3$$

$$\sum F_V = 0 = S3 \cos \alpha/2 + S2 \cos \alpha/2 - F \quad (4.3)$$

$$S2 = -\frac{F}{2 \cos \alpha/2}$$

Nœud I :

$$\sum F_H = 0 = S3 \cos \beta + S1 \quad (4.4)$$

$$S1 = -S3 \cos \beta = F \frac{\cos \beta}{2 \cos \alpha/2}$$

Les résultats obtenus de cette étude expérimentale sont comparés avec les résultats de références pour le cas d'un treillis de $\alpha=60^\circ$, $\beta=60^\circ$ et $\gamma=60^\circ$, avec les différentes poids p= (10, 20, 30, 40 et 50N). Le tableau 4.3 regroupent les différents résultats de tensions dans les barres avec l'erreur calculée.

Tableau 4.3 Les différents résultats obtenus d'un treillis de $\alpha=60^\circ$, $\beta=60^\circ$ et $\gamma=60^\circ$

Angles			Force (N)	Tensions dans les barres								
α	β	γ		F	Ts1 mesuré	Ts1 Calculer	Erreur $\epsilon_1\%$	Ts2 mesuré	Ts2 Calculer	Erreur $\epsilon_2\%$	Ts3 mesuré	Ts3 Calculer
60	60	60	10	2,80	2,88	2,8	5,68	5,77	1,6	5,68	5,77	1,6
			20	5,55	5,77	3,8	11,30	11,55	2,1	11,30	11,55	2,1
			30	8,25	8,66	4,7	16,93	17,32	2,3	16,93	17,32	2,3
			40	10,90	11,54	5,5	22,40	23,09	3,0	22,40	23,09	3,0
			50	13,50	14,43	6,4	27,80	28,87	3,7	27,80	28,87	3,7

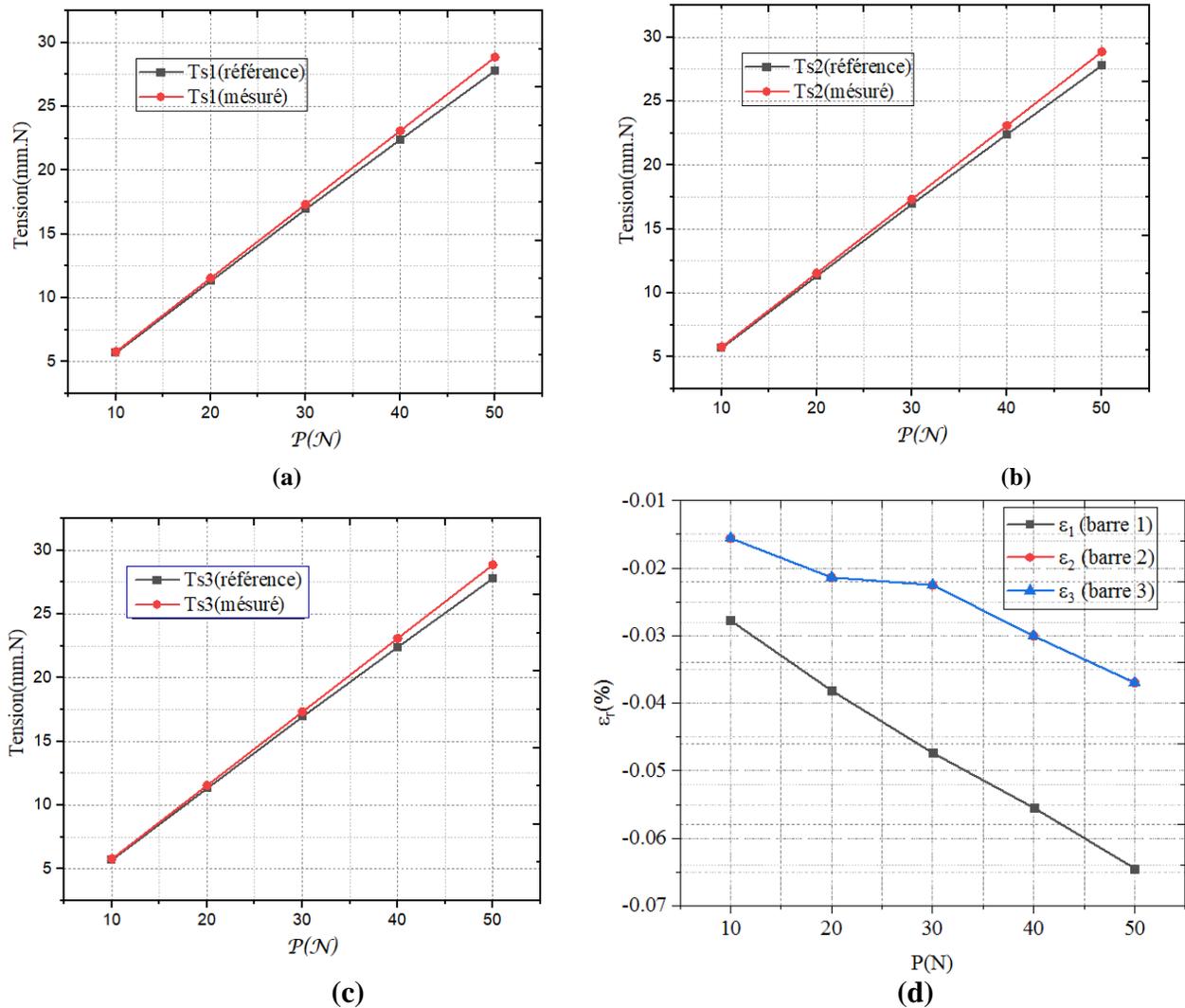


Figure 4.12. Variation de tension en fonction du poids dans le cas d'un treillis de $\alpha=60^\circ$, $\beta =60^\circ$ et $\gamma= 60^\circ$

La figure 4.12 montre la variation de tension en fonction du poids, entre la méthode expérimentale et la méthode de référence, pour un treillis à des différents angles $\alpha=60^\circ$, $\beta =60^\circ$ et $\gamma= 60^\circ$. On peut voir que les résultats obtenus nous permettent de conclure qu'il y a une très bonne concordance entre elle. La figure 4.12a présente la tension du sagement 1, la figure 4.12b présente la tension du sagement 2 et la figure 4.12c présente la tension du sagement 3, d'autre part on peut remarquer que l'augmentation du poids (p) provoque une augmentation de tension dans tous les sagements, en outre l'angle $\beta = \gamma=30^\circ$, plus le poids augment plus l'erreur sera grands. Voir les résultats calculé de l'erreur dans le tableau 4.3. La comparaison entre les trois erreurs illustre dans la figure 12d, cette

Chapitre IV ETUDE EXPERIMENTALE DES FORCES DANS UN TREILLIS SIMPLE

validation présente une erreur de -2.8% et 6.4% dans le sagement S1 pour $\alpha=60^\circ$ et -1.6% et 3.7% dans les deux sagement (S2 et S3) pour $\beta=\gamma=60^\circ$.

Il est constaté dans la figure 4.12 que les résultats obtenus de la tension illustrent clairement la proportionnalité entre les deux méthodes (expérimentale et référence). Cependant, au niveau de l'estimation de l'erreur est très acceptable.

4.5.1.2. Modèle de $\alpha=90^\circ$, $\beta=45^\circ$ et $\gamma=45^\circ$

L'exemple proposé dans cette partie repose sur la modification des trois angles $\alpha=90^\circ$, $\beta=45^\circ$ et $\gamma=45^\circ$, en utilisant le poids P = 10, 20, 30, 40 et 50N, en utilisant trois comparateurs placés sur les trois barres du treillis pour lire la valeur de tension par nœud.

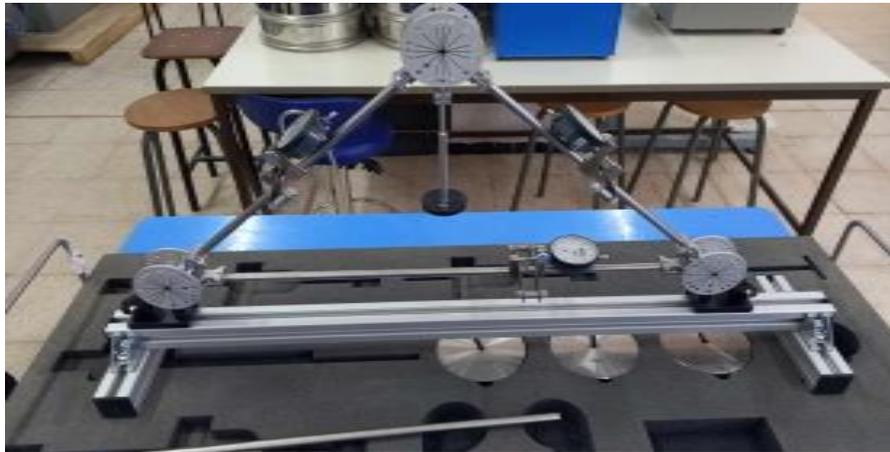


Figure 4.13 L'appareil à la position du montage dans le cas de $\alpha=90^\circ$, $\beta=45^\circ$ et $\gamma=45^\circ$ [12]

Calcul analytique

Nœud III :

$$\sum F_H = 0 = S3 \sin \alpha/2 - S2 \sin \alpha/2 \quad (4.5)$$

$$S2 = S3$$

$$\sum F_V = 0 = S3 \cos \alpha/2 + S2 \cos \alpha/2 - F \quad (4.6)$$

$$S2 = -\frac{F}{2 \cos \alpha/2}$$

Nœud I :

$$\sum F_H = 0 = S3 \cos \beta + S1 \quad (4.7)$$

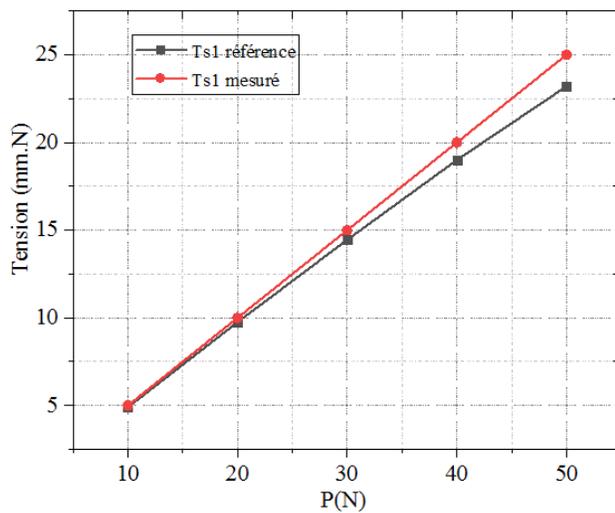
$$S1 = -S3 \cos \beta = F \frac{\cos \beta}{2 \cos \alpha/2}$$

Chapitre IV ETUDE EXPERIMENTALE DES FORCES DANS UN TREILLIS SIMPLE

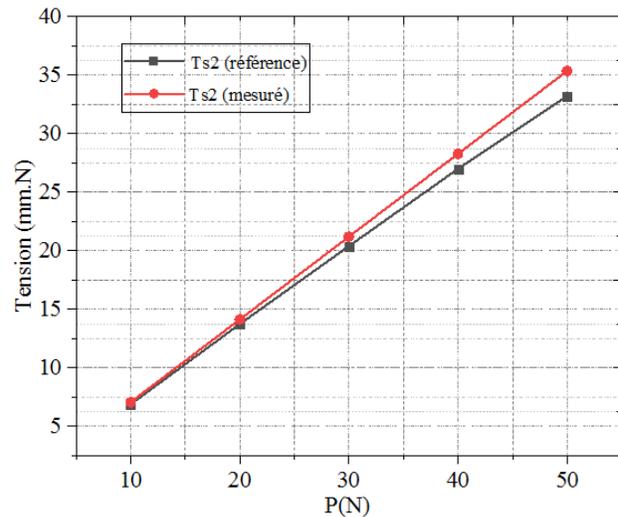
Les résultats obtenus de cette étude expérimentale sont comparés avec les résultats de références pour le cas d'un treillis de $\alpha=90^\circ$, $\beta=45^\circ$ et $\gamma=45^\circ$, avec les différentes poids $p=(10, 20, 30, 40$ et $50\text{N})$. Le tableau 4.4 regroupent les différents résultats de tensions dans les barres avec l'erreur calculée.

Tableau 4.4 Les différents résultats obtenus d'un treillis de $\alpha=90^\circ$, $\beta=45^\circ$ et $\gamma=45^\circ$

Angles			Force (N)	Tensions dans les barres								
α	β	γ		Ts1 mesuré	Tss1 Calculer	Erreur $\varepsilon_1\%$	Ts2 mesuré	Ts2 Calculer	Erreur $\varepsilon_2\%$	Ts3 mesuré	Ts3 Calculer	Erreur $\varepsilon_3\%$
90	45	45	10	4,90	5,00	2,0	6,90	7,07	2,0	6,90	7,07	2,0
			20	9,75	10,00	3,0	13,75	14,14	3,0	13,75	14,14	3,0
			30	14,45	15,00	4,0	20,40	21,21	4,0	20,40	21,21	4,0
			40	19,00	20,00	5,0	27,00	28,28	5,0	27,00	28,28	5,0
			50	23,20	25,00	7,0	33,20	35,35	6,0	33,20	35,35	6,0



(a)



(b)

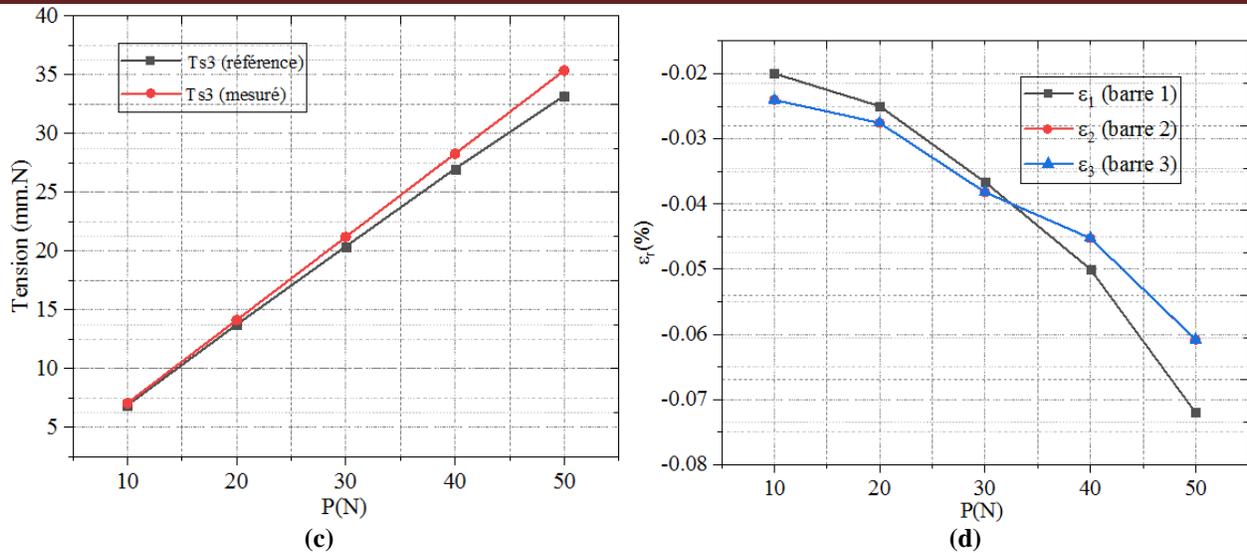


Figure 4.14 variation de tension en fonction du poids dans le cas d'un treillis de $\alpha=90^\circ$, $\beta=45^\circ$ et $\gamma=45^\circ$

La figure 4.14 montre la variation de tension en fonction du poids, entre la méthode expérimentale et la méthode de référence, pour un treillis à des différents angles $\alpha=90^\circ$, $\beta=45^\circ$ et $\gamma=45^\circ$. On peut voir que les résultats obtenus nous permettent de conclure qu'il y a une très bonne concordance entre elle. La figure 4.14a présente la tension du sagement 1, la figure 4.14b présente la tension du sagement 2 et la figure 4.14c présente la tension du sagement 3, d'autre part on peut remarquer que l'augmentation du poids (p) provoque une augmentation de tension dans tous les sagement, en outre l'angle $\beta = \gamma=30^\circ$, plus le poids augmente plus l'erreur sera grande. Voir les résultats calculés de l'erreur dans le tableau 4.4. La comparaison entre les trois erreurs illustre dans la figure 18d, cette validation présente une erreur de -2% et 7% dans le sagement S1 pour $\alpha=90^\circ$ et -2% et 6% dans les deux sagement (S2 et S3) pour $\beta = \gamma=45^\circ$.

Il est constaté dans la figure 4.14 que les résultats obtenus de la tension illustrent clairement la proportionnalité entre les deux méthodes (expérimentale et référence). Cependant, au niveau de l'estimation de l'erreur est très acceptable.

***Chapitre IV* ETUDE EXPERIMENTALE DES FORCES DANS UN TREILLIS SIMPLE**

4.5.2.3 Modèle de $\alpha=120^\circ$, $\beta=30^\circ$ et $\gamma=30^\circ$

L'exemple proposé dans cette partie repose sur la modification des trois angles $\alpha=120^\circ$, $\beta=30^\circ$ et $\gamma=30^\circ$, en utilisant le poids $P = 10, 20, 30, 40$ et 50N , en utilisant trois comparateurs placés sur les trois barres du treillis pour lire la valeur de tension par nœud.



Figure 4.15 L'appareil à la position du montage dans le cas de $\alpha=120^\circ$, $\beta=30^\circ$ et $\gamma=30^\circ$ [12].

Calcul analytique

Nœud III:

$$\sum F_H = 0 = S3 \sin \alpha/2 - S2 \sin \alpha/2 \quad (4.8)$$

$$S2 = S3$$

$$\sum F_V = 0 = S3 \cos \alpha/2 + S2 \cos \alpha/2 - F \quad (4.9)$$

$$S2 = -\frac{F}{2 \cos \alpha/2}$$

Nœud I:

$$\sum F_H = 0 = S3 \cos \beta + S1 \quad (4.10)$$

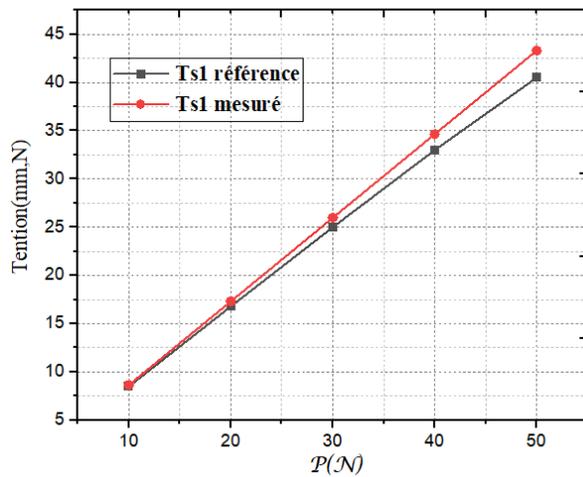
$$S1 = -S3 \cos \beta = F \frac{\cos \beta}{2 \cos \alpha/2}$$

Chapitre IV ETUDE EXPERIMENTALE DES FORCES DANS UN TREILLIS SIMPLE

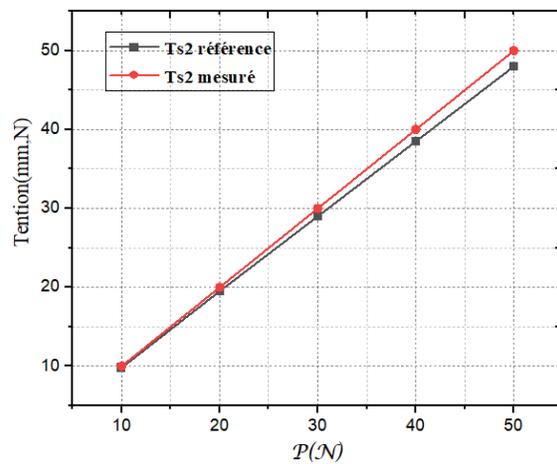
Les résultats obtenus de cette étude expérimentale sont comparés avec les résultats de références pour le cas d'un treillis de $\alpha=120^\circ$, $\beta=30^\circ$ et $\gamma=30^\circ$, avec les différentes poids $p= (10, 20, 30, 40$ et $50N)$. Le tableau 4.5 regroupent les différents résultats de tensions dans les barres avec l'erreur calculée.

Tableau 4.5 Les différents résultats obtenus d'un treillis de $\alpha=120^\circ$, $\beta=30^\circ$ et $\gamma=30^\circ$

Angles			Force (N)	Tensions dans les barres								
α	β	γ		Ts1 (mesuré)	Ts1 (Calculer)	Erreur $\epsilon_1\%$	Ts2 (mesuré)	Ts2 (Calculer)	Erreur $\epsilon_2\%$	Ts3 (mesuré)	Ts3 Calculer	Erreur $\epsilon_3\%$
120	30	30	10	8,5	8,7	2,0	9,80	10,00	2,0	9,80	10,00	2,0
			20	16,8	17,3	3,0	19,50	20,00	2,5	19,50	20,00	2,5
			30	25,0	26,0	4,0	29,00	30,00	3,3	29,00	30,00	3,3
			40	33,0	34,6	5,0	38,50	40,00	3,8	38,50	40,00	3,8
			50	40,5	43,3	6,0	48,00	50,00	4,0	48,00	50,00	4,0



(a)



(b)

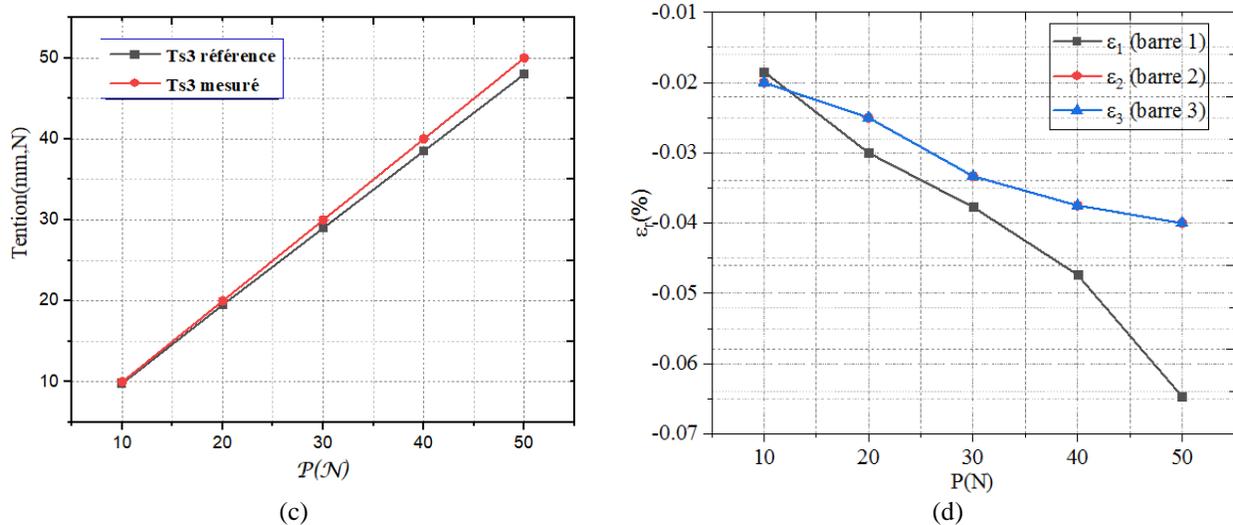


Figure 4.16 variation de tension en fonction du poids dans le cas d'un treillis de $\alpha=120^\circ$, $\beta =30^\circ$ et $\gamma= 30^\circ$

La figure 4.16 montre la variation de tension en fonction du poids, entre la méthode expérimentale et la méthode de référence [11], pour un treillis à des différents angles $\alpha=120^\circ$, $\beta =30^\circ$ et $\gamma= 30^\circ$. On peut voir que les résultats obtenus nous permettent de conclure qu'il y a une très bonne concordance entre elle. La figure 4.16a présente la tension du sagement 1, La figure 4.16b présente la tension du sagement 2 et la figure 4.16c présente la tension du sagement 3, d'autre part on peut remarquer que l'augmentation du poids (p) provoque une augmentation de tension dans tous les sagement, en outre l'angle $\beta = \gamma=30^\circ$, plus le poids augment plus l'erreur sera grands. Voir les résultats calculé de l'erreur dans le tableau 4.5. La comparaison entre les trois erreurs illustres dans la figure 16d, cette validation présente une erreur de -2% et 6% dans le sagement S1 pour $\alpha=120^\circ$ et -2% et 4% dans les deux sagement (S1 et S3) pour $\beta = \gamma =30^\circ$.

***Chapitre IV* ETUDE EXPERIMENTALE DES FORCES DANS UN TREILLIS SIMPLE**

4.5.2.4. Modèle de $\alpha=30^\circ$, $\beta=30^\circ$ et $\gamma=120^\circ$

L'exemple proposé dans cette section repose sur la modification des trois angles $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 30^\circ$ et $\gamma = 120^\circ$, à l'aide du poids $P = 10, 20, 30, 40$ et 50N , ainsi qu'à l'aide de trois comparateurs placés sur les trois barres de treillis pour lire la valeur de tension de chaque nœud.

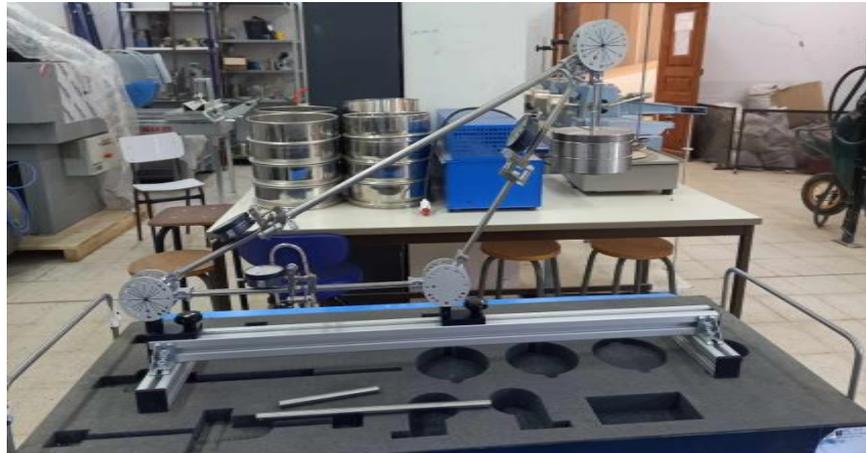


Figure 4.17. L'appareil à la position du montage dans le cas de $\alpha=30^\circ$, $\beta=30^\circ$ et $\gamma=120^\circ$ [12].

Calcul analytique

Nœud III :

$$\sum F_H = 0 = S_3 \sin \alpha/2 - S_2 \sin \alpha/2 \quad (4.11)$$

$$S_2 = S_3$$

$$\sum F_V = 0 = S_3 \cos \alpha/2 + S_2 \cos \alpha/2 - F \quad (4.12)$$

$$S_2 = -\frac{F}{2 \cos \alpha/2}$$

Nœud I :

$$\sum F_H = 0 = S_3 \cos \beta + S_1 \quad (4.13)$$

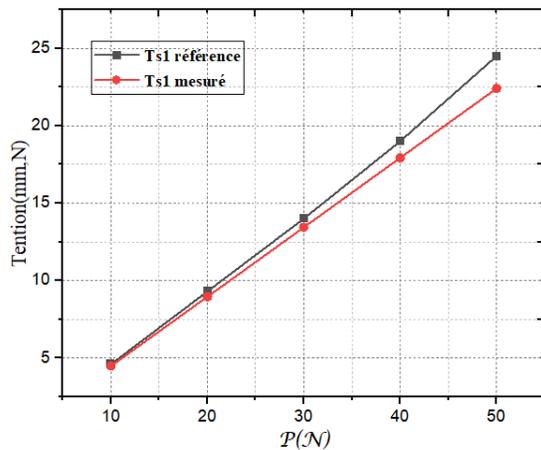
$$S_1 = -S_3 \cos \beta = F \frac{\cos \beta}{2 \cos \alpha/2}$$

Chapitre IV ETUDE EXPERIMENTALE DES FORCES DANS UN TREILLIS SIMPLE

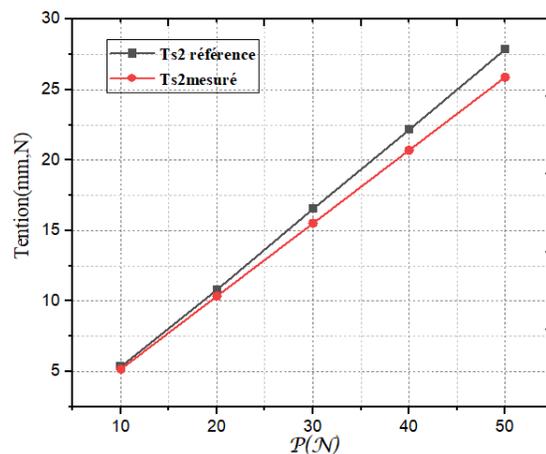
Les résultats obtenus de cette étude expérimentale sont comparés avec les résultats de références [11] pour le cas d'un treillis de $\alpha=30^\circ$, $\beta=30^\circ$ et $\gamma=120^\circ$, avec les différents poids $p= (10, 20, 30, 40$ et $50\text{N})$. Le tableau 4.6 regroupent les différents résultats de tensions dans les barres avec l'erreur calculée.

Tableau 4.6. Les différents résultats obtenus d'un treillis de $\alpha=30^\circ$, $\beta=30^\circ$ et $\gamma=120^\circ$

Angles			Force (N)	Tensions dans les barres								
α	β	γ		F	Ts1 (mesuré)	Ts1 (Calculer)	Erreur $\epsilon_1\%$	Ts2 (mesuré)	Ts2 (Calculer)	Erreur $\epsilon_2\%$	Ts3 (mesuré)	Ts3 (Calculer)
30	30	120	10	4,60	4,48	2,7	5,34	5,17	3,3	5,10	5,17	1,4
			20	9,30	8,96	3,8	10,80	10,35	4,3	10,10	10,35	2,4
			30	14,00	13,44	4,2	16,54	15,52	6,6	15,10	15,52	2,7
			40	19,00	17,93	6,0	22,15	20,70	7,0	20,00	20,70	3,4
			50	24,50	22,41	9,3	27,86	25,88	7,7	24,80	25,88	4,2



(a)



(b)

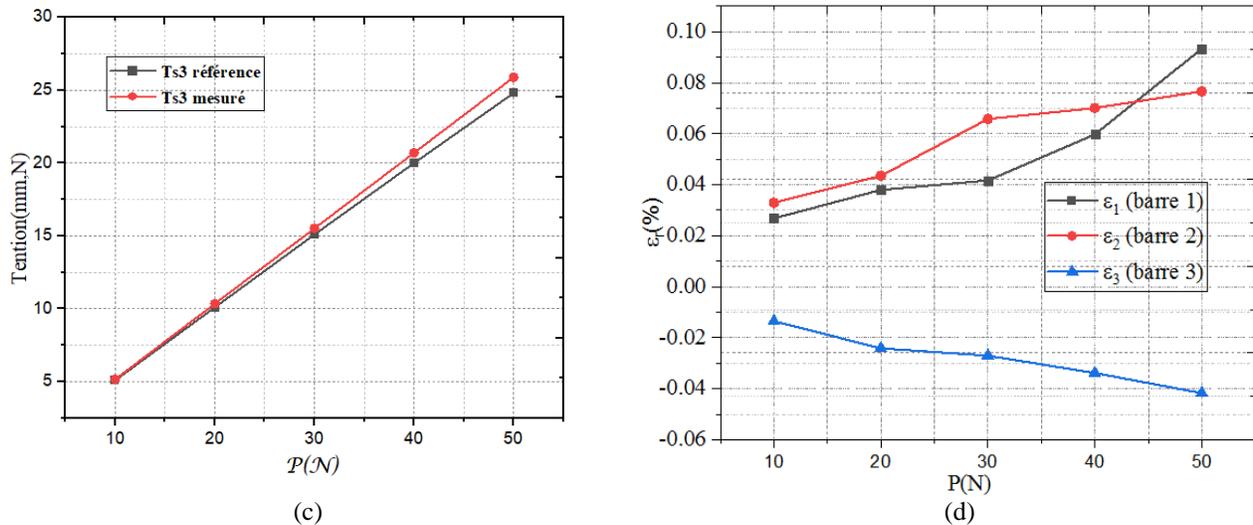


Figure 4.18. Variation de tension en fonction du poids dans le cas d'un treillis de $\alpha=30^\circ$, $\beta =30^\circ$ et $\gamma= 120^\circ$

La figure 4.18 montre la variation de tension en fonction du poids, entre la méthode expérimentale et la méthode de référence [11], pour un treillis à des différents angles $\alpha=30^\circ$, $\beta =30^\circ$ et $\gamma= 120^\circ$. On peut voir que les résultats obtenus nous permettent de conclure qu'il y a une très bonne concordance entre elle. La figure 4.18a présente la tension du sagement 1, la figure 4.18b présente la tension du sagement 2 et la figure 4.18c présente la tension du sagement 3, d'autre part on peut remarquer que l'augmentation du poids (p) provoque une augmentation de tension dans tous les sagement, en outre l'angle $\beta = \gamma=30^\circ$, plus le poids augment plus l'erreur sera grands. Voir les résultats calculé de l'erreur dans le tableau 4.6. La comparaison entre les trois erreurs illustre dans la figure 18d, cette validation présente une erreur de -2% et 6% dans le sagement S1 et S2 pour $\alpha= \beta =30^\circ$ et -2% et 4% dans les deux sagement (S3) pour $\gamma =120^\circ$.

4.6. Conclusion

La méthode utilisée est une expérience faite dans le laboratoire de génie civil qui se trouve dans la faculté de Technologie dans l'université de Dr MOULAY Tahar de SAIDA.

La tension est trouvée par plusieurs changements des différents angles des treillis. Les résultats de la présente expérience fournissent des valeurs avantageusement comparables et montrent leur efficacité dans notre cas étudié expérimentalement concernant le problème de treillis. D'autre part, l'estimation de l'erreur entre les deux méthodes est inférieure à 4.9%, elle est évaluée comme un seuil acceptable.

Nous avons obtenu une bonne corrélation des résultats entre les deux méthodes.

Conclusion générale

Le but de ce mémoire a été l'étude expérimentale des comportements des treillis simple des quatre changements des angles.

Une étude bibliographique nous a permis de donner des aspects généraux, concernant le comportement des treillis simple.

Nous avons introduit les notions de base couramment utilisées dans les treillis.

En outre, nous avons étudié un aspect utile et nécessaire dans la métrologie. Les outils de l'étude expérimentale comme (l'appareil, les éprouvettes, les instruments de mesure comme le pied à coulisse la règle et le comparateur) ont été utilisés et présentés dans un chapitre indépendant.

La comparaison que nous avons effectuée montre un bon accord entre les résultats de notre étude et les résultats de référence.

D'autre part, plusieurs comparaisons, ont été présentées pour l'évolution de la tension. Ainsi, l'erreur relative a été calculée pour faire l'estimation des résultats obtenus.

On a étudié la variation des tensions sur la variation des différents poids.

L'augmentation du poids (p) provoque une augmentation de tension dans tous les sagement, les résultats obtenus nous permettent de conclure qu'il y a une très bonne concordance entre elle.

On constate dans toutes les figures obtenues concernant la variation de tension en fonction du poids que les résultats obtenus montrent une bonne proportionnalité entre les deux méthodes (la méthode expérimentale et la méthode de référence [11]).

L'estimation de l'erreur entre les deux méthodes est inférieure à 4.93%, elle est évaluée comme un seuil acceptable.

En fin, l'analyse des résultats des différentes formes géométriques a permet d'examiner notamment l'erreur et les lois de comportement des différents treillis, il a été possible d'optimiser et d'établir de façon relative en fonction de chargement, la géométrie de la structure la plus appropriée de point de vue résistance et cout comme perspective qui pourraient apporter des réponses aux différentes interrogations soulevées dans ce travail expérimental pour optimiser l'utilisation des treillis.

Référence

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Dr Belhadj A.F, Institut d'Architecture & Des Sciences de la Terre, COURS RDM2, 2^{ème} Année LMD, Département d'Architecture, Année Universitaire 2020/2021
- [2] Chapitre 1 CALCUL DES STRUCTURES 03 Année LMD GC-MILA 2018/2019
- [3] Projet treillis - Info M2, 12 novembre 2022,
- [4] Chapitre 8 Les treillis Projet de passerelle mixte bois/acier sur l'Ourthe à La Roche en Ardennes, Belgique. Maître d'œuvre Francy Simon, La Roche en Ardenne, Belgique, 2004.
- [5] Dr Belhadj A.F, Institut d'Architecture & Des Sciences de la Terre, COURS RDM2 2^{eme} ALMD, Département d'Architecture, Année Universitaire 2020/2021
- [6] -IUT Béthune – Génie Civil – Mécanique des structures Cours – S. KESTELOOT MS1 – Partie 1 : STATIQUE – Etude des Treillis
- [7] Mécanique appliquée – statique Forces dans un treillis, gunt Hamburg,
- [8] POLYCOPIE de Cours métrologie élaboré par : Dr. BENTAHAR Mohammed Année universitaire 2020/2021. UNIVERSITÉ DE SAÏDA - Dr. MOULAY TAHAR Faculté de Technologie Département de Génie Civil et d'Hydrauliques sous le N°7/21 date de l'inscription 24/ 03 /2021.
- [9] International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM) 3rd edition 2008.
- [10] Methods of Truss Analysis, [Delft University of Technology](#) via [TU Delft Open](#).
- [11] Documentation de manuelle de la machine (gunt HAMBURG) de TP de treillis.
- [12] Laboratoire de génie civil, faculté de Technologie l'université de Dr MOULAY Tahar de SAIDA.

RÉFÉRENCES SITOGRAPHIQUES

- https://gunt.de/images/download/Mthode-des-sections-pour-les-treillis-plans-connaissances-de-base_french.pdf
- <https://iast.univ-setif.dz/documents/Cours/Cours4RDML2Arch21.pdf>
- <https://byjus.com/gate/truss/>

Référence

https://elearning.centre-univ-mila.dz/a-2023/pluginfile.php/21136/mod_resource/content/1/Ch01.pdf

<https://savoirs-en-commun.insa-strasbourg.fr/wp-content/uploads/2023/01/sujetTreillis.pdf>

https://www.issd.be/PDF/8_Chap8_6Juillet2006.pdf

Annexe

Annexe

Déterminer la force dans chaque élément des fermes illustrées dans les figures P5.2 à P5.12 en utilisant la méthode d'assemblage.

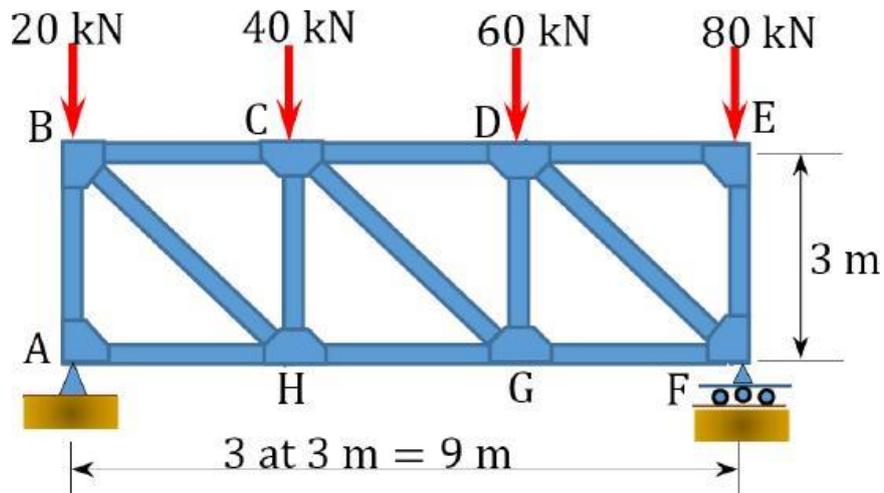


Figure. P5.2. Ferme.

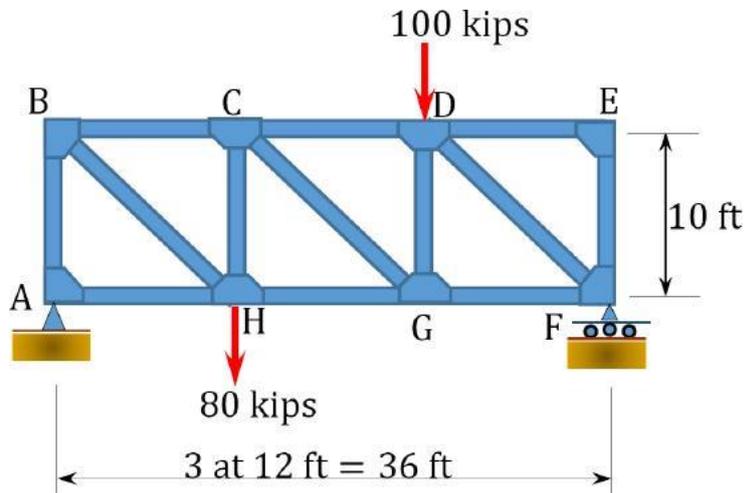


Figure. P5.3. Ferme.

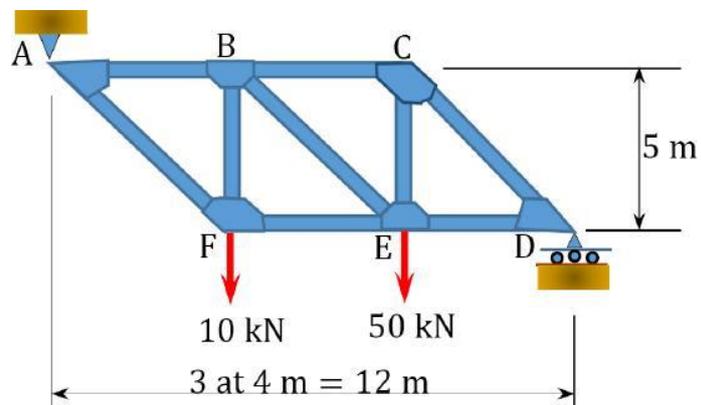


Figure. P5.4. Ferme.

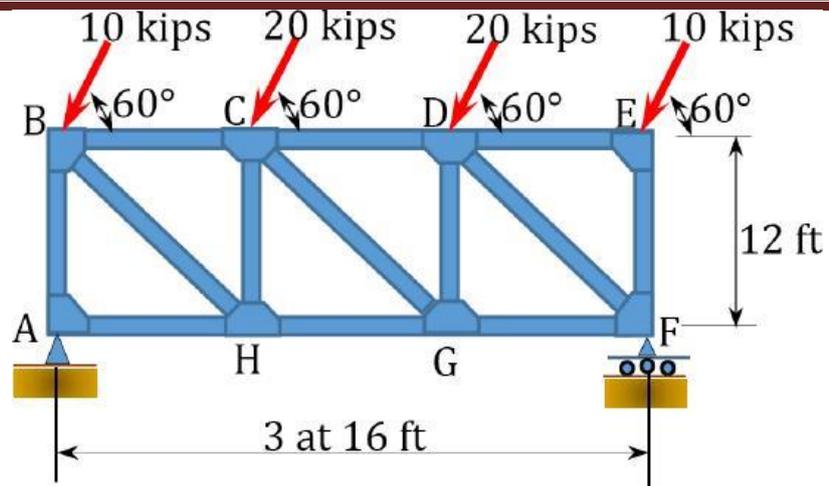


Figure. P5.5. Ferme.

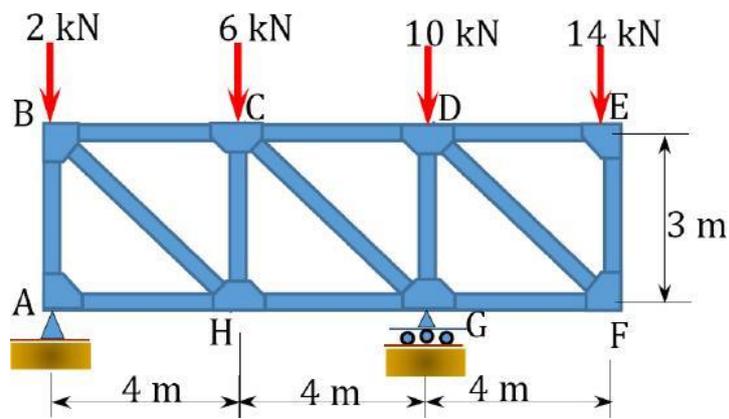


Figure. P5.6. Ferme.

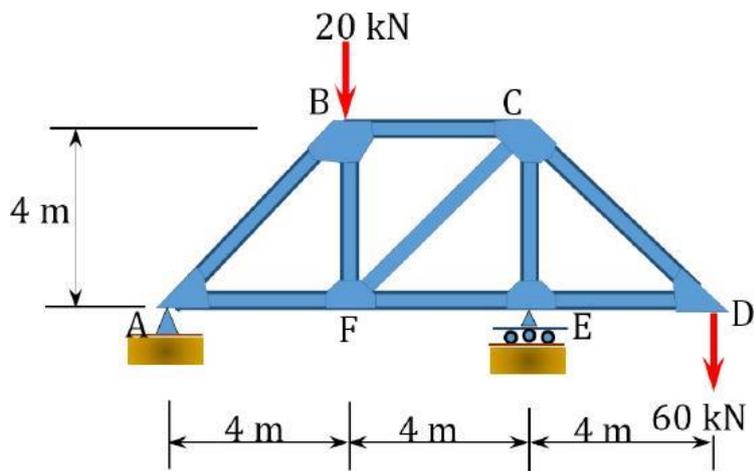


Figure. P5.7. Ferme.

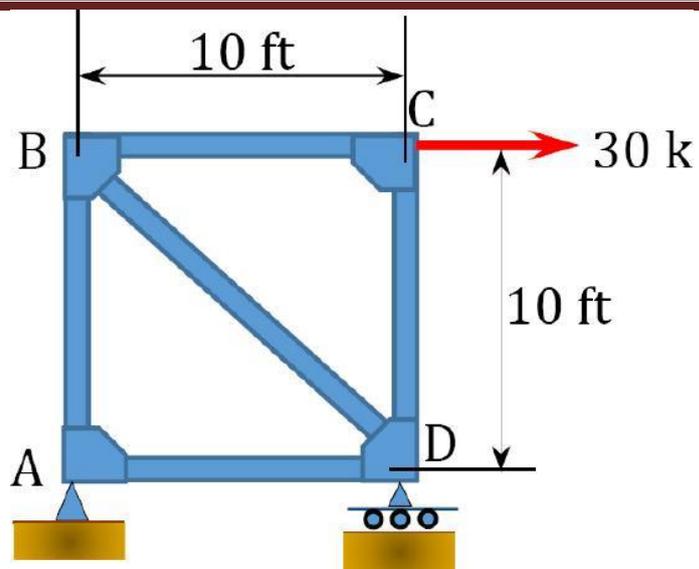


Figure. P5.8. Ferme.

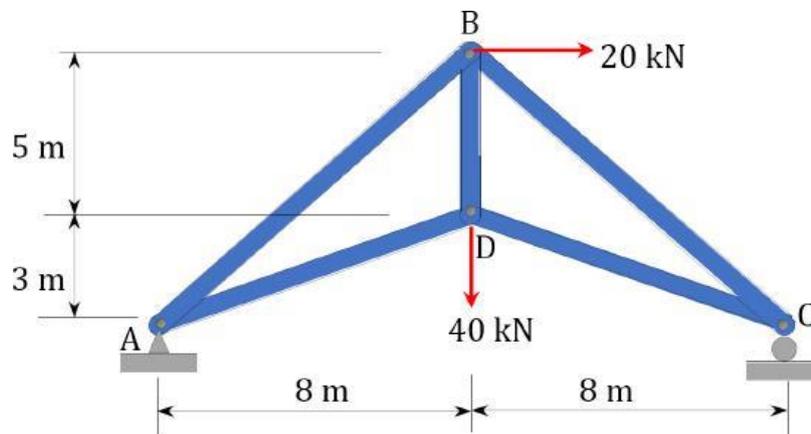


Figure. P5.9. Ferme.

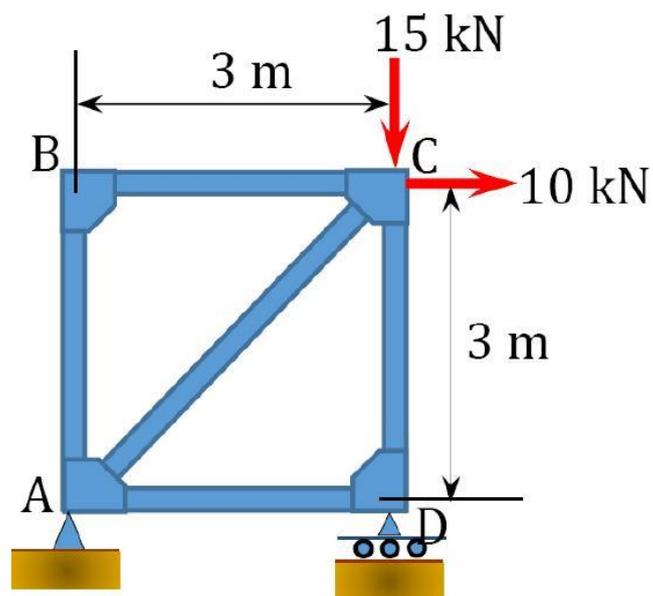


Figure. P5.10. Ferme.

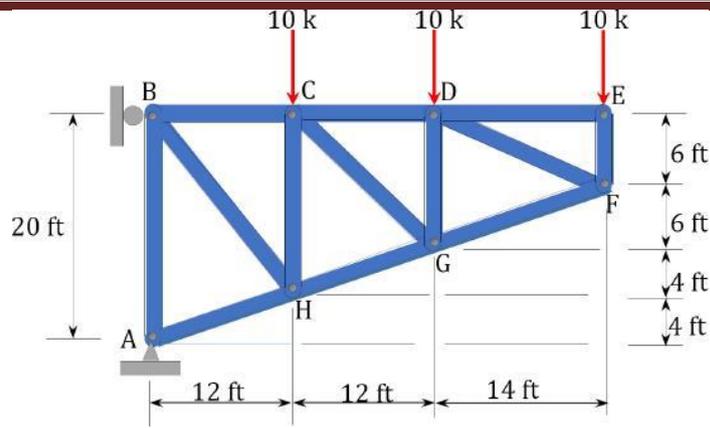


Figure. P5.11. Ferme

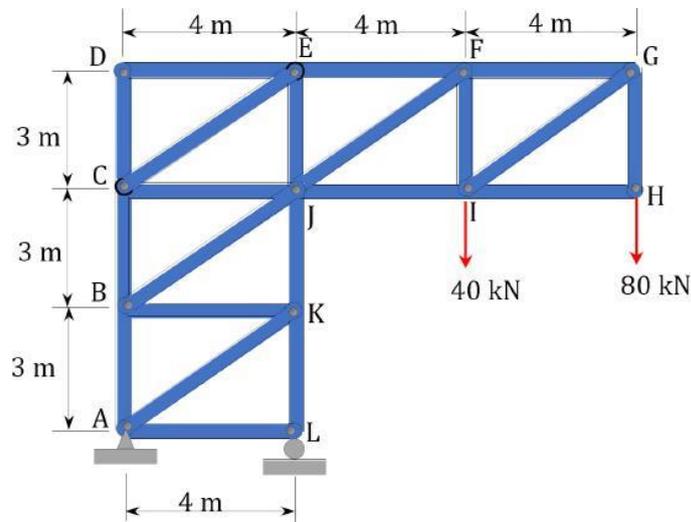


Figure. 5.12. Ferme.

En utilisant la méthode de la section, déterminez les forces dans les éléments marqués X des fermes illustrées dans les figures P5.13 à P5.19.

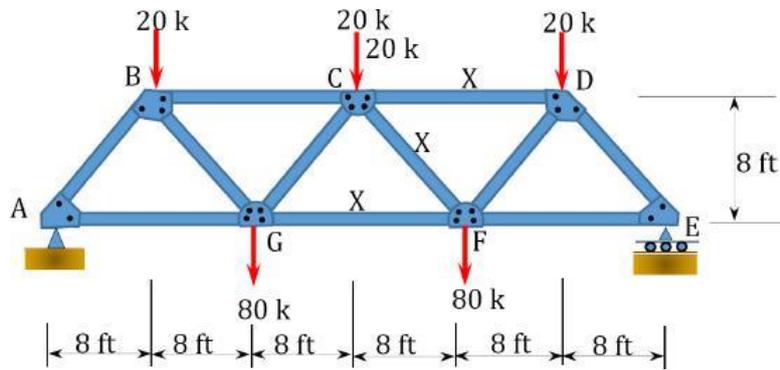


Figure. P5.13. Ferme.

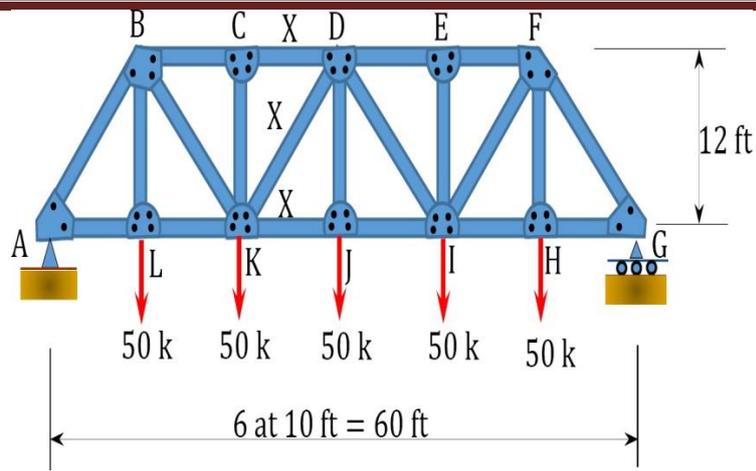


Figure. P5.14. Ferme.

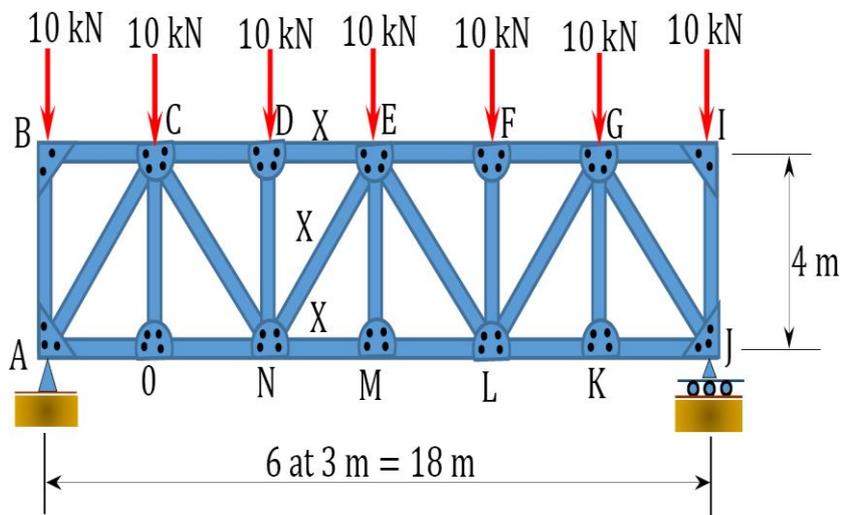


Figure. P5.15. Ferme.

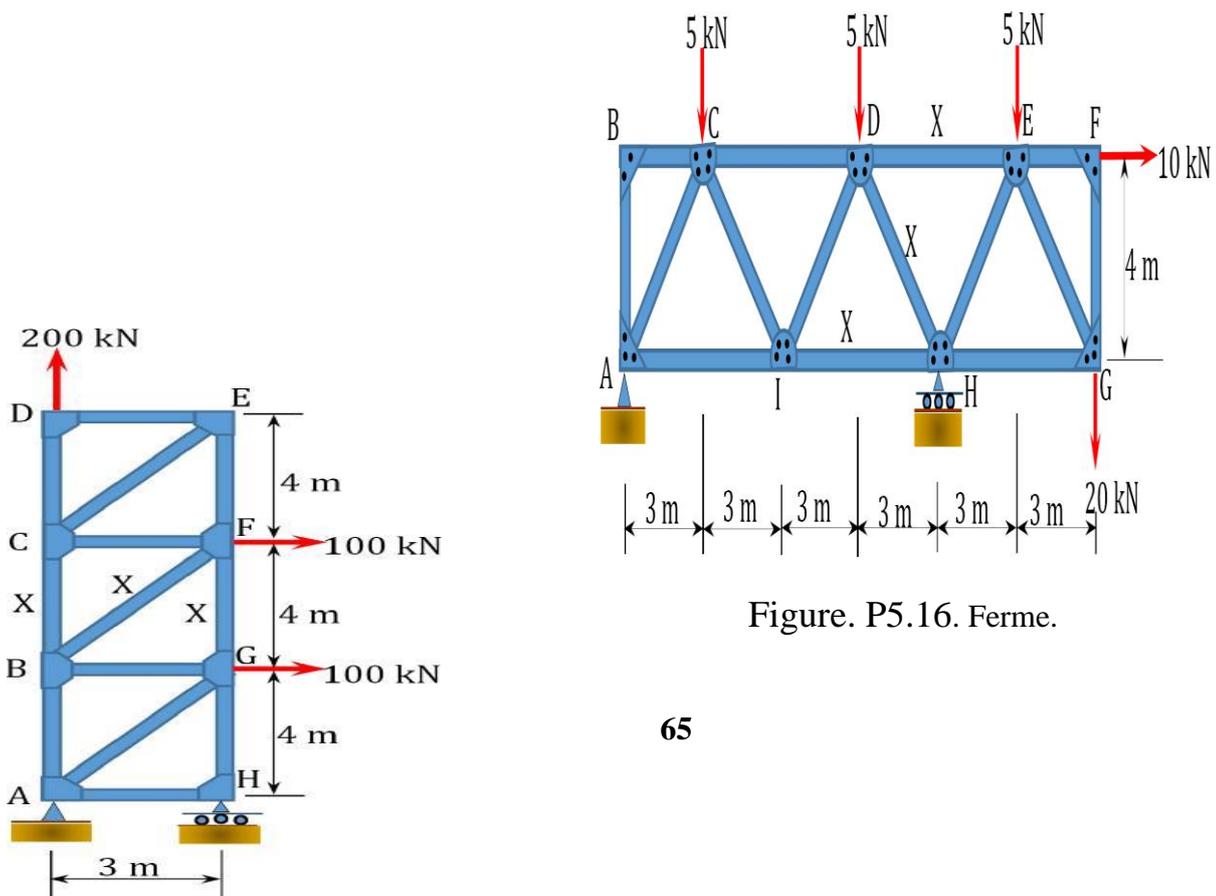
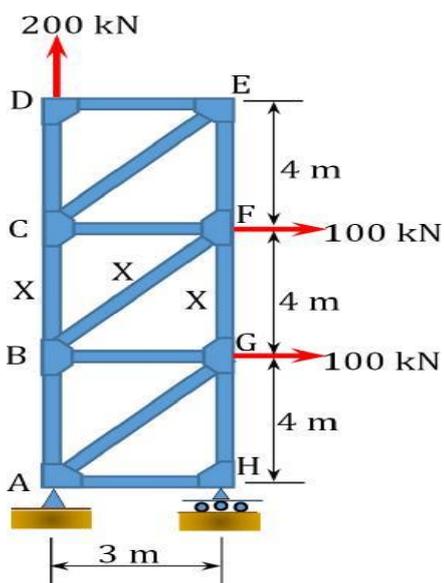


Figure. P5.16. Ferme.



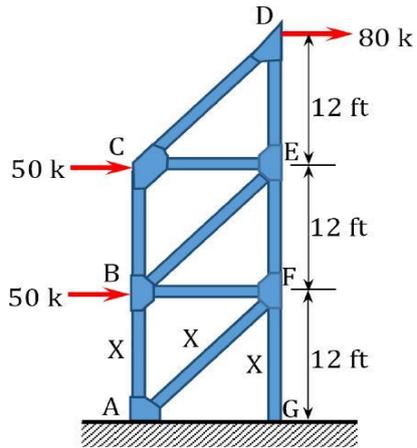


Figure. P5.17.Ferme.Figure. P5.18. Ferme.

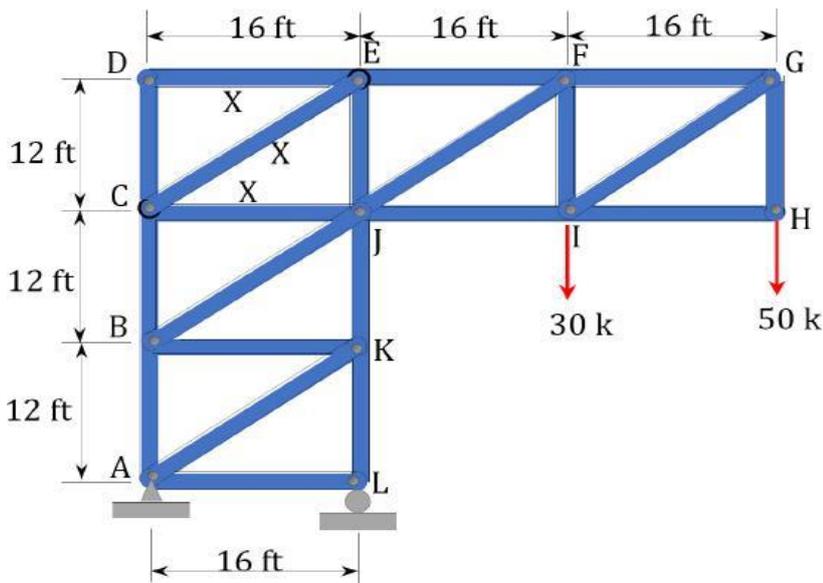
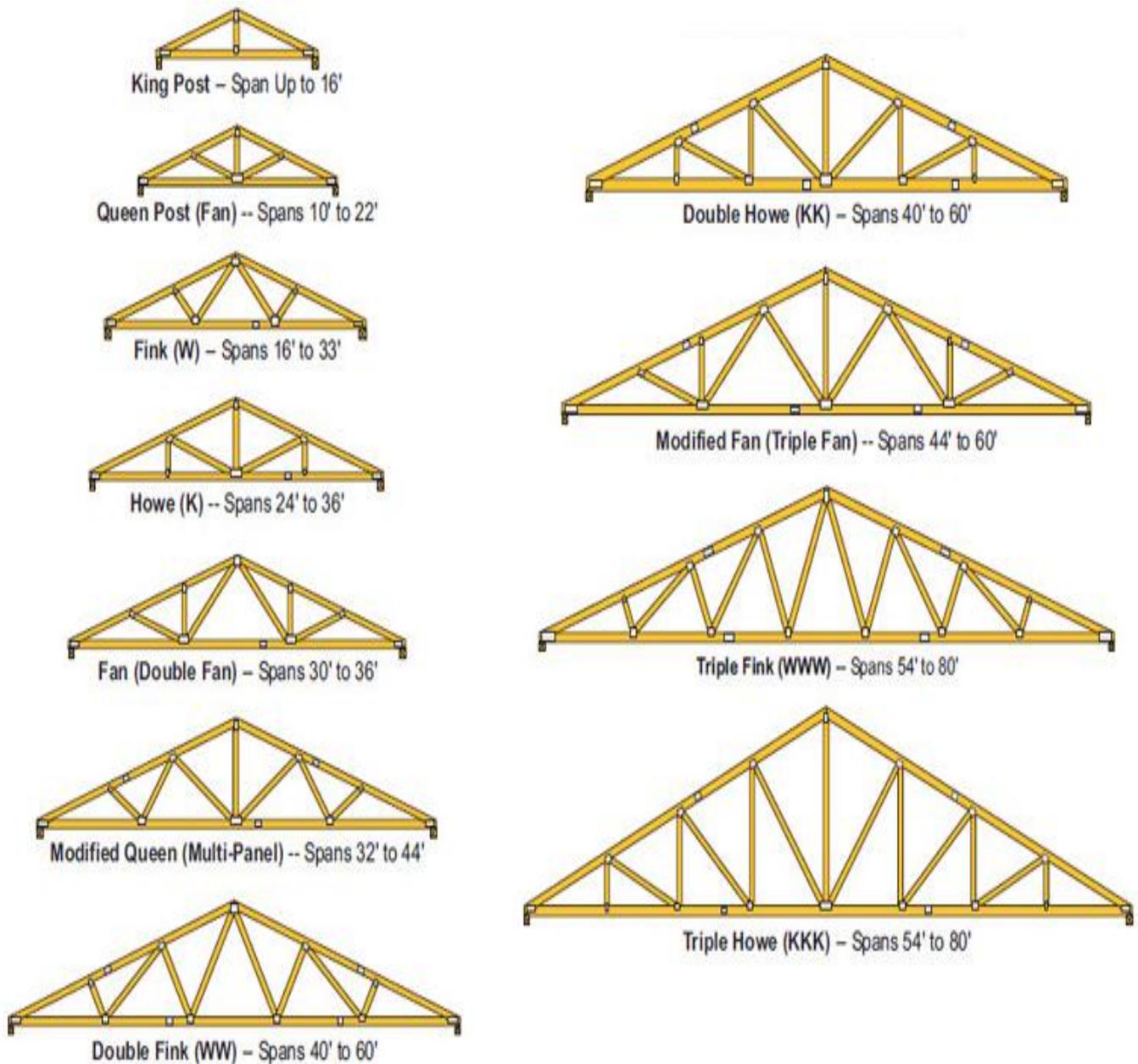


Figure. P5.19. Ferme.

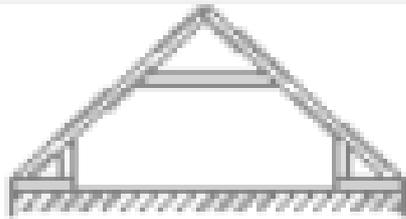
PRÉSENTATION

Le type de ferme commune ou en pente, caractérisé par sa forme triangulaire symétrique, est le type de ferme le plus couramment utilisé pour la construction de toits. Les fermes communes sont nommées en fonction de leur configuration d'âme interne, comme indiqué ci-dessous :

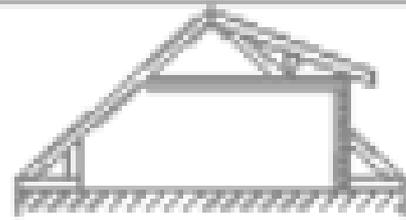


Les dimensions des membrures et les configurations des âmes sont déterminées par la portée, la charge et l'espacement des fermes. Il existe une limite pratique à la longueur autorisée de toute membrure ou élément d'âme de ferme, c'est pourquoi des portées plus grandes nécessitent généralement plus de panneaux et d'âmes.

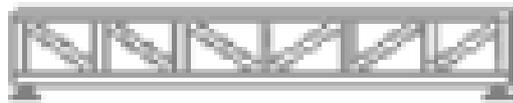
Possibilités du Système



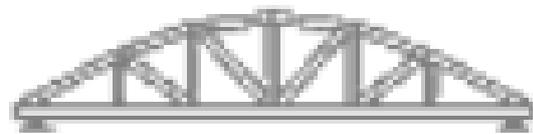
**Ferme A
sur Dalle**



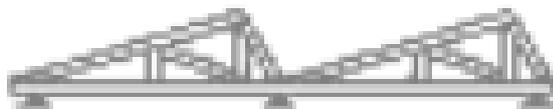
**Ferme A
Chien Assis**



Poutre Parallèle



Arc Triangulé



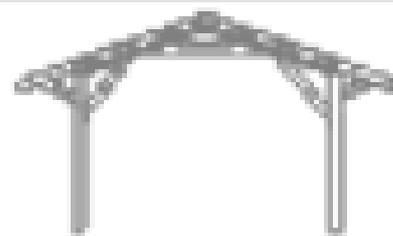
Fermes Sheds



**Poteau et
Portique**



**Portique
2 Articulations**



**Portique
Agricole**

 <p>Ferme W</p>	 <p>Monopente</p>
 <p>Ferme E</p>	 <p>Ferme M</p>
 <p>Polonceau</p>	 <p>Ciseaux</p>
 <p>Ferme A Entrait Porteur 3 ap.</p>	 <p>Ferme A Entrait Porteur 2 ap.</p>