

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

---

Département du Génie Civil

---

PROJET DE FIN D'ETUDES

---

SYSTEME DE TOITURE  
POUR BATIMENTS INDUSTRIELS ET COMMERCIAUX

Auteur : JOSEPH GABRIEL SAMBOU

Directeur : THOMAS AQUIN ing. M.Sc.A.

1985

0-1

FERDINAND et MARIE THERESE

MAMAN

0-2ux

PARENTS et AMIS

## R E M E R C I E M E N T S

L'auteur ne peut s'empêcher de paraphraser Yves Giroux de l'Université Laval qui disait que "les sociétés ne peuvent progresser que si chaque génération dépasse la précédente et repousse encore plus loin les frontières de ses réalisations" pour signifier ce qui lui vient à l'esprit au moment de débiter la rédaction de ce document.

Il tient aussi à sacrifier à la tradition, en adressant quelques mots de remerciements à l'endroit de toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à leur façon à la réussite de ce document, particulièrement :

- Mr Thomas AQUIN, directeur du projet, qui n'a ménagé aucun effort pour nous permettre de mener à bien cette étude ; qu'il soit assuré, à travers ces quelques mots, de la sincérité de nos remerciements ;

- Mr Fodé SYLLA, élève-ingénieur de la 8e promotion, pour sa franche et sympathique collaboration ;

- Mlle Aïda NDIAYE, secrétaire, qui a patiemment dactylographié le manuscrit ;

- Mr Talla CISSE de la SENAC pour son soutien matériel.

====ooOOoo====

## S O M M A I R E

Le domaine actuel d'emploi des profilés formés à froid en construction métallique peut se limiter aux constructions pour lesquelles le poids, la forme, la rapidité d'exécution ont une importance particulière telle que la réalisation d'un grand nombre de bâtiments industriels et commerciaux. Il convient de signaler que le titre de ce document peut être l'objet d'interprétations diverses. En fait, il s'agit d'étudier un type de toiture particulièrement adapté au contexte sénégalais. Ce document devrait permettre aux utilisateurs de s'en servir comme un "avant-projet détaillé" et ainsi prendre toutes les dispositions nécessaires quand il s'agira de réaliser les ouvrages de ce genre.

En écrivant ce document, nous avons voulu en premier lieu présenter au lecteur toutes les caractéristiques relatives aux matériaux utilisés pour cette étude, car avant d'entreprendre des calculs, il est indispensable de bien connaître le matériau qui sera utilisé pour la charpente. Le second chapitre est consacré à l'analyse structurale, le troisième au choix des sections. Les procédés d'assemblages font l'objet du quatrième chapitre. Dans une deuxième partie, nous avons tenté d'estimer les coûts de fabrication liés à une telle réalisation et fournir quelques notes sur les possibilités d'implantation d'une unité industrielle de formage à froid de profilés. Evidemment nous n'avons pas la prétention d'avoir fourni un document complet car l'étude d'une charpente est normalement le travail d'un groupe d'études.

Nous espérons, néanmoins, avoir jeté les bases d'un calcul rationnel pour la réalisation de ce type d'ouvrage.

## T A B L E   D E S   M A T I E R E S

---

Page	
i	Remerciements
ii	Sommaire
iii	Table des matières
1	INTRODUCTION
2	I PRESENTATION DES MATERIAUX
3	I.1 Matériau de couverture
5	I.2 Eléments de charpente
9	II ANALYSE STRUCTURALE
10	II.1 Bases de calcul
11	II.2 Géométrie de la structure
13	II.3 Détermination des charges
19	II.4 Détermination des efforts des membrures
20	III DIMENSIONNEMENT
21	III.1 Design des éléments
22	III.1.1 Choix des montants et diagonales
25	III.1.2 Choix de la membrure supérieure
27	III.1.3 Choix de la membrure inférieure
29	III.1.4 Choix des pannes
36	III.1.5 Stabilité latérale en cours de construction
39	III.2 Assemblages
39	III.2.1 Assemblage boulonné avec gousset
44	III.2.2 Assemblage soudé
46	III.2.3 Assemblage par joint de montage
48	III.2.4 Autres assemblages avec gousset
52	III.3 Détails de réalisation
57	IV ETUDE ECONOMIQUE
58	IV.1 Coût de réalisation
61	IV.2 Equipements d'unité industrielle
63	CONCLUSION
65	DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS

	<b>APPENDICES</b>	
68	Appendice 1	Fermes de charpente
76	Appendice 2	Tableaux et figures
85	Appendice 3	Résultats divers
105	Appendice 4	Listes de prix
110	Appendice 5	Illustrations
112	<b>REFERENCES</b>	

Liste des tableaux et figures

Figures	A	Système pour stabilité latérale
	B	Détail d'assemblages pour la ferme PRATT
	C	Diagramme de distribution des moments pour le desgn des pannes
	D	Profilés pliés courants utilisés dans les structures
Tableaux	2.1	Valeurs de charges pondérées selon la portée
	2.2	Valeurs de résistance pour la ferme de 10 m
	2.3.a	Efforts dans les membrures dus aux charges de gravité
	2.3.b	Efforts dans les membrures dus au soulèvement.

## I N T R O D U C T I O N

La concurrence de plus en plus vive faite de métal par d'autres matériaux nous amène pour les constructions métalliques à souligner l'importance du critère principal de l'économie : le poids. En construction métallique, on a trop souvent consommé inutilement de la matière, alors que pour répondre aux besoins de la technologie nouvelle, l'acier doit être utilisé au maximum de ses qualités et de sa capacité de résistance. On sait que l'acier est le matériau qui présente la plus grande résistance pour la plus faible section. L'utilisation de profilés rationnels s'impose par la possibilité qui est offerte de placer la matière non plus pour répondre à des exigences de fabrication, mais là où les lois de la résistance des matériaux l'exigent.

Les profilés formés à froid, caractérisés par leur grande souplesse de production et d'emploi, notamment du point de vue légèreté et facilité d'adaptation, doivent ouvrir des perspectives nouvelles dans l'industrie.

Au Sénégal, ce domaine doit être exploré à fond pour réduire la masse de produits importés qui ne cessent de miner l'économie du pays.

Examiner les possibilités d'utilisation de ces profils dans les constructions métalliques est le but que nous nous sommes efforcés de considérer dans les pages qui suivent.

I

*P* R É S E N T A T I O N   D E S   M A T E R I A U X

La réalisation d'une toiture pour un bâtiment nécessite une connaissance approfondie, une maîtrise même des éléments qui doivent la composer. Pour l'essentiel, les principales composantes sont la couverture et la charpente.

Nous nous efforcerons, en guise de préliminaire, de présenter ces matériaux en donnant le maximum de caractéristiques possible.

### I. 1. MATERIAU DE COUVERTURE

Les plaques ondulées en amiante-ciment seront utilisées pour des raisons économiques d'abord, elles sont disponibles sur place (la SENAC-ETERNIT s'occupe de la fabrication et de la pose), ensuite pour des caractéristiques techniques, non moins importantes, que nous allons évoquer.

Les plaques ondulées forment un ensemble homogène pour la réalisation de couvertures de bâtiments industriels, agricoles et des entrepôts. Elles sont particulièrement appréciées pour leur résistance au vieillissement, à l'humidité et leur incombustibilité ; elles ne nécessitent qu'un entretien périodique notamment l'enlèvement des mousses.

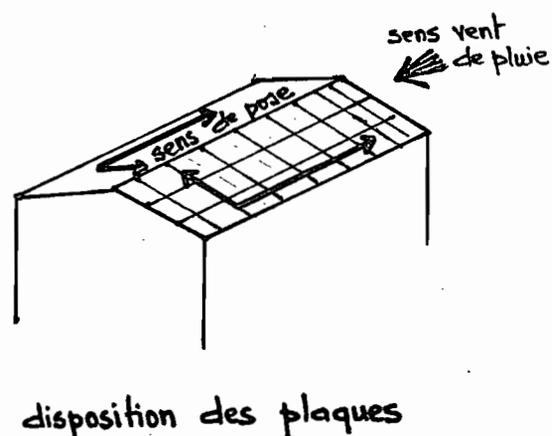
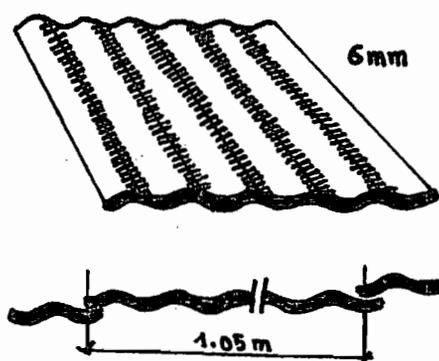
Toutefois, pour leur permettre d'assurer pleinement leur rôle, il est nécessaire de veiller au maintien en bon état des évacuations d'eaux pluviales et de surveiller les éléments du gros-oeuvre dont la mauvaise tenue pourrait entraîner des désordres dans la couverture.

La capacité d'absorption d'eau de l'amiante-ciment peut faire apparaître sur des plaques récemment posées, des traces d'humidité en sous-face après une forte pluie.

Ce phénomène n'est pas le signe d'une mauvaise étanchéité, et disparaît généralement rapidement.

Les plaques ondulées de six (06) ondes posées à une onde de recouvrement sont utilisées pour les très faibles pentes ( à partir de 0.05 m par m ) ce qui répond bien à cette caractéristique de notre étude ; elles peuvent avoir plusieurs teintes à part la teinte naturelle.

4

Plaque ondulée OGF

Leurs dimensions sont variantes ; on distingue les plaques courantes (de 1.25 à 3.05 m de longueur) et les plaques dites complémentaires (longueurs variant entre 0.83 et 1.75 m). En règle générale, leur manutention est aisée en raison de leur faible poids.

L'étude d'une couverture en plaques ondulées doit répondre à certaines exigences : format des plaques, les recouvrements et par suite la répartition des plaques, la position des pannes etc... La mise en oeuvre est subordonnée à la préparation des plaques (perçage pour fixations, coupe des coins...). Seul le sens de pose des plaques est déterminant pour la préparation des plaques et doit donc être défini en premier lieu. Les plaques sont posées indifféremment de gauche à droite ou de droite à gauche ; chaque fois que l'on connaîtra le sens du vent de pluie dominant, les plaques seront posées dans le sens opposé à ce vent.

Le manuel de pose de la SENAC ETERNIT [réf.2] fournit tous renseignements complémentaires nécessaires à la bonne maîtrise de ce matériau.

## I. 2. ELEMENTS DE CHARPENTE

Essentiellement, l'étude que nous nous sommes proposés de faire s'est fixée comme objectif de voir toutes les possibilités d'utilisation de produits plats pour la fabrication de profilés nécessaires à la confection de l'ossature de la ferme à mettre en place.

En acier, il existe deux familles d'éléments structuraux. L'une est le groupe familial des profilés laminés et des éléments constitués de plats.

L'autre, moins familial mais qui connaît depuis quelques années un développement assez spectaculaire est composée de sections formées à froid à partir des tôles ou des feuillards. Ce développement est lié principalement à l'importance croissante des besoins de la construction, orientée pour des raisons économiques vers des matériaux bien adaptés aux techniques de production industrielle.

Le profilage des tôles et des feuillards permet de substituer aux profilés classiques laminés à chaud, d'autres profilés de formes plus étudiées, plus complexes utilisant au maximum les propriétés de ce matériau.

### I. 2.1 Produits utilisés [réf.3]

La fabrication des profilés minces formés à froid utilise comme matières premières la tôle et le feuillard.

Tôle : produit laminé plat (largeur supérieure ou égale à 500 mm) dont les bords sont affranchis par cisailage.

Feuillard : produits laminés plats (largeur en principe inférieur à 500 mm) pouvant être livrés en bandes droites ou en rouleaux.

L'unité de laminage est soit la feuille donnant par découpage une ou plusieurs tôles, soit dans certains cas une bande enroulée au laminage et destinée à être déroulée avant découpage.

En particulier, nous utiliserons les tôles uniquement car étant le matériau disponible dans le marché sénégalais.

Elles sont classifiées suivant leur épaisseur (e en mm)

- tôles minces  $e < 3$
- tôles moyennes  $3 \leq e < 4.76$
- tôles fortes  $e \geq 4.76$

### I. 2.2 Procédés de fabrication

Les profilés formés à froid peuvent être obtenus par profilage au banc, profilage à la presse ou par profilage à la machine à galets. Ces trois procédés de fabrication permettent d'obtenir des productions très variées. Nous ne retiendrons pas les procédés au banc et à la machine à galets essentiellement pour leurs prix de revient très élevés.

Le profilage à la presse plieuse utilise généralement des presses verticales à deux bielles du type col de cygne à la commande mécanique ou hydraulique. Ces presses comportent une table et un coulisseau longs et très étroits recevant respectivement une matrice et un poinçon en forme de V femelle et mâle entre lesquels on vient pincer la tôle à travailler.

Les produits destinés au pliage doivent, au préalable, être coupés à la largeur déterminée, planés et dressés. Il faut donc qu'à côté des presses à plier il existe des cisailles, des planeuses et des dérouleurs.

Ce procédé, bien que permettant avec un nombre limité d'outils d'obtenir des profils variés, présente quelques inconvénients et notamment :

- longueur limitée à la dimension de la machine
- obligation d'employer la tôle dans la plupart des cas
- donne rarement un profil en une seule opération

Signalons que ce procédé écrouit de façon très régulière la tôle, ce qui ajoute à la rigidité du profil obtenu.

Les profils réalisés sont de formes diverses :

Ceux dits courants ne représentent qu'une adaptation plus ou moins évoluée des profilés laminés courants (consulter appendice) ; il en existe toute une gamme, utilisés en construction métallique spécialement étudiés pour réaliser un gain appréciable de matière à résistance égale.

### I. 2.3 Influence du formage à froid sur les caractéristiques mécaniques de l'acier

La fabrication des profils en tôle mince entraîne des modifications des caractéristiques du métal de base qu'il

importe de signaler.

D'abord, tous les problèmes liés au chauffage et au refroidissement des pièces sont réduits, ainsi on remarque que les profilés formés à froid sont partie intégrante du groupe des sections à contraintes résiduelles réduites ce qui a une influence sur le comportement de la pièce en plastification.

Prenons l'exemple d'un profilé laminé et d'un profilé formé à froid sollicités en flexion. A section égale :

- le moment d'inertie étant plus grand, un profilé formé à froid résiste plus
- les conditions de flèches ne seront limitatives que pour des portées très importantes ; en effet la flèche étant inversement proportionnelle à l'inertie, les portées utiles des poutres travaillant au maximum de contrainte seront d'autant plus grandes que le rapport des inerties.

Signalons qu'en compression également, l'accroissement de l'inertie entraîne une diminution de l'élanement  $L/\sqrt{I/A}$  et toujours à poids égal la longueur de flambement pour une même contrainte sera plus importante.

Citons les qualités suivantes qui sont reconnues aux profilés formés à froid :

- légèreté, donc réduction des charges sur les fondations et des frais de manutention
- une bonne résistance et une rigidité appréciable
- une qualité uniforme
- une facilité d'installation
- une fabrication et une production en série faciles.

La combinaison de tous ces facteurs peut occasionner des réductions de coûts importantes durant la construction.

#### I. 2.4 Conclusion

Les caractéristiques remarquables qui ressortent de ce procédé de fabrication particulière qu'est le formage à froid sont donc :

- la diversité des formes qui permettent une adaptation à de

multiples applications,

- une économie de matières premières,
- l'intégration de différents stades de travail dans une ligne de production c'est-à-dire couper sur mesure, plier, perforer etc...

L'épaisseur des pièces constitue néanmoins la grande limitation dans ce domaine.

Si une plus grande vulgarisation de ce procédé de fabrication de profils est réalisée au Sénégal, on peut s'attendre au cours des prochaines années à un développement accru de l'usage des profilés à froid dans le bâtiment.

II

$\square$ -] N A L Y S E   S T R U C T U R A L E

## II. 1. BASES DE CALCUL

La géométrie de l'ouvrage est présentée au chapitre suivant.

Les matériaux utilisés sont l'acier et l'amiante-ciment.

Acier épaisseurs de tôles : 2 - 3 mm  
type : doux ou extra-doux  
limite élastique : 250 MPa  
longueur des plaques : généralement 6 m

L'acier des éléments doit être un acier de construction de qualité convenant au soudage.

### Amiante-ciment

Assemblages boulons ordinaires : diamètre 10 mm  
désignation : A307 M10  
soudure : métal d'apport électrode E410

Normes ACNOR S136 Cold-Formed Steel Structures  
CAN3 - S16.1 - M78 Charpentes en acier de bâtiments  
- Calcul aux états limites

### Documents utilisés

Les titres des ouvrages sont donnés aux références suivantes : 1, 2, 4 et 5.

## II. 2 GEOMETRIE DE LA STRUCTURE

Pour l'essentiel, la toiture est constituée d'une charpente et d'une couverture. Il peut y être joint des accessoires tels que plafonds, sous-toitures revêtement etc... La structure à réaliser dans le cas de ce projet est un ensemble charpente, pannes et couverture. L'illustration en est donnée à la figure suivante :

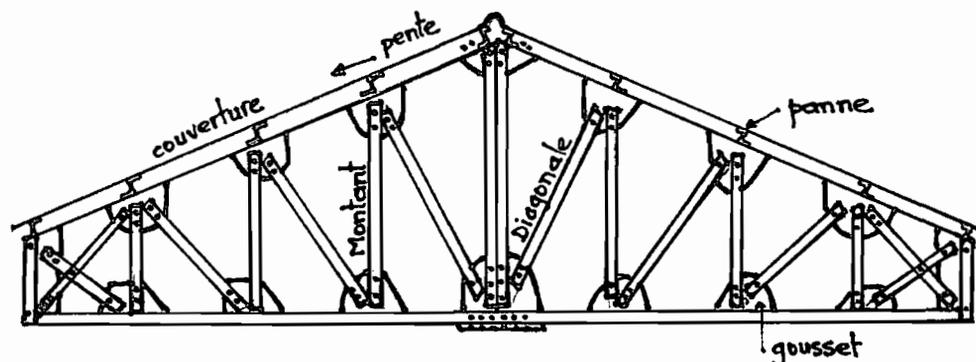


figure 2.1

La charpente est une ferme de type PRATT qui a les caractéristiques suivantes : l'inclinaison des diagonales est très proche de 45 degrés (suffisamment pour la considérer comme telle) ; les montants sont comprimés et les diagonales tendues sauf en cas de renversement d'efforts. L'hypothèse des nœuds parfaitement articulés conduira à la sollicitation des barres au seul effort normal pourvu que les charges soient appliquées aux nœuds. Les profils des diagonales et des montants seront choisis de manière à conserver le moment d'inertie le plus favorable. La pente de toiture est choisie faible.

Les pannes sont choisies pour la transmission des efforts aux nœuds. Les profils retenus sont de type Zed dont la fixation à la charpente par boulonnage est très facile.

La couverture est en amiante-ciment ; c'est précisément de la plaque ondulée qui est un matériau fabriqué sur place et qui pourrait être très économique.

Il s'agit donc de réaliser l'étude théorique de ce système de toiture pour différentes portées : 10, 12, 14, 16, 18 et 20 mètres et un espacement de fermes de 4 mètres et demi.

Pour la détermination des éléments de la charpente, la ferme sera idéalisée comme suit :

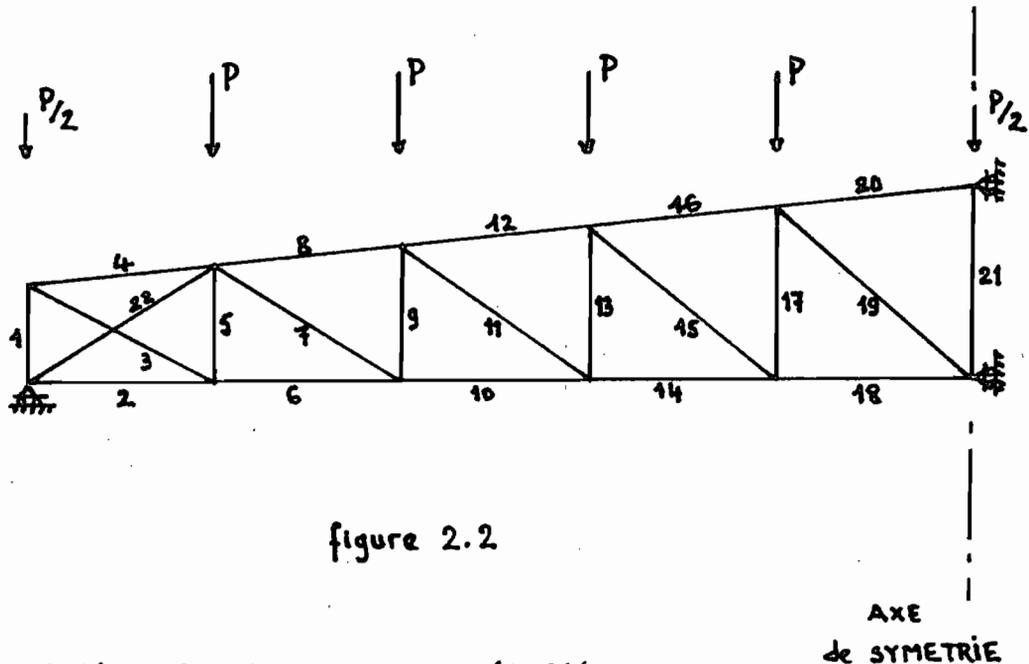


figure 2.2

La moitié de la structure sera étudiée pour des raisons de symétrie.

Remarque : la diagonale repérée par 22 a été ajoutée à la géométrie initiale pour permettre une réduction d'efforts dans d'autres éléments notamment ceux en compression.

La conception des charpentes sera réalisée en effectuant un exemple complet de calculs pour la portée de 10 mètres. Pour les autres portées, les résultats figureront en appendices, les calculs étant identiques.

## II - 3 DETERMINATION DES CHARGES

### II. 3.1 Généralités

Les bâtiments et leurs éléments structuraux doivent être calculés de manière à avoir une résistance et une intégrité structurale suffisantes pour supporter effectivement et en toute sécurité les charges, effets des charges et autres sollicitations pouvant être raisonnablement prévus, compte tenu de la durée utile de ces bâtiments. On utilisera, pour déterminer les charges, le calcul aux états limites ; et les éléments structuraux devront, dans tous les cas, satisfaire à ces exigences de calcul.

### II. 3.2 Charges prévues

Le calcul des éléments de fermes, qui constitue l'essentiel du sujet, doit tenir compte des charges et surcharges suivantes :

- i) D, la charge permanente qui comprend :
  - le poids propre de l'élément
  - le poids de tous les matériaux destinés à être supportés de façon permanente par l'élément et
  - le poids de l'équipement permanent
- ii) L, la surcharge, résultant de l'usage prévu (comprend les charges verticales dues aux ponts roulants)
- iii) Q, la surcharge due au vent (celle due aux séismes n'étant pas considérée).

Cet ensemble de charges constituent les charges d'utilisation, charges réelles qui sollicitent ou qui sont susceptibles de solliciter la charpente.

Pour le calcul de la charpente, on utilisera les charges pondérées qui sont obtenues en multipliant les charges d'utilisation par les coefficients de pondération appropriés. Ces coefficients tiennent compte de la distribution probabiliste des charges.

### II. 3.3 Hypothèses de calcul

Les pentes choisies pour les toitures étant faibles (de l'ordre de 0.05 m par m) on fera l'approximation du toit plat c'est-à-dire que les charges s'appliquent sur le côté au vent sont supposées identiques à celles agissant sur le côté sous le vent. On fera donc l'étude d'une moitié de structure pour raison de symétrie.

Il a été retenu, compte tenu du matériau de couverture, d'utiliser des pannes comme structure intermédiaire entre les charges et les éléments. Cela nécessite de considérer les surfaces tributaires correspondantes aux mises en charge. La position d'un treillis par rapport aux autres influe sur les dimensions de la surface tributaire.

La figure n° 1 permet de matérialiser la position du treillis ; on en tire les considérations suivantes :

- un treillis situé à l'extérieur (repéré par 1) a une surface tributaire deux fois plus petite qu'un treillis d'intérieur (repéré par 2) ;
- un treillis de type 2 devra supporter les plus grandes charges ; pour des raisons pratiques en chantier, on travaillera avec ce type de treillis uniquement (en considérant divers types de treillis, des erreurs de montage au chantier pourraient survenir).

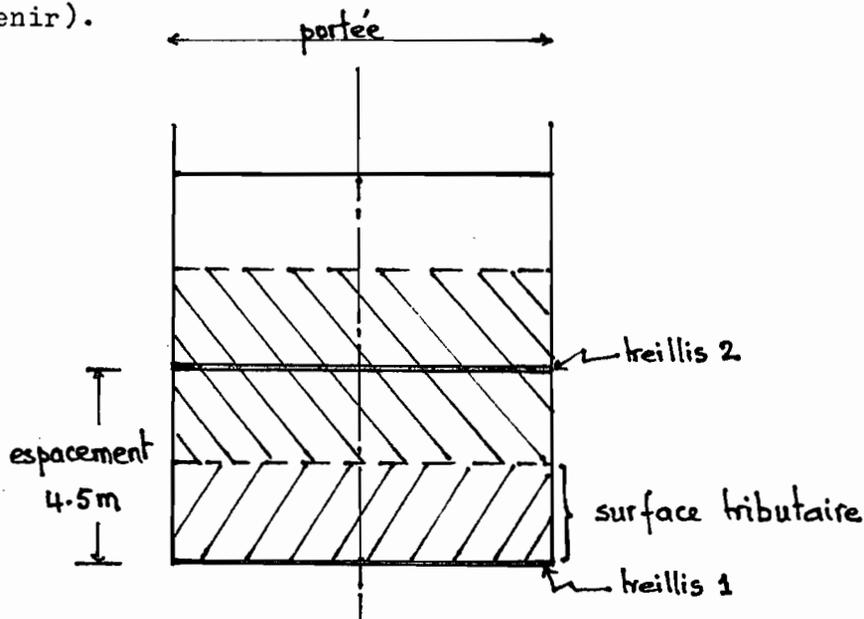


Figure n° 2.3

VUE EN PLAN D'UNE PARTIE DE TOITURE

## II. 3.4 Calcul des charges

### i) Charge permanente

- Charpente en acier	0.05 KN/m <sup>2</sup>
- Pannes métalliques	0.05 KN/m <sup>2</sup>
- Couverture en amiante-ciment et accessoires (pas de plafond suspendu)	0.15 KN/m <sup>2</sup>
- Surcharge permanente (luminaire, 0.10 KN/m <sup>2</sup> électricité, etc...)	

$$\text{Charge permanente } D = 0.35 \text{ KN/m}^2$$

### ii) Surcharge due à l'usage prévu

Le Code National du Bâtiment du Canada nous suggère pour les toits la valeur  $1 \text{ KN/m}^2$  (CNBC)

$$\text{Surcharge due à l'usage } L = 1 \text{ KN/m}^2$$

### iii) Surcharge due au vent

La pression prévue exercée par le vent doit être calculée d'après la formule  $P = q C_e C_g C_p$  [réf. 5]

où  $P$  : pression prévue, s'exerçant de façon statique et dans une direction normale aux parois du bâtiment, positivement (de l'extérieur vers l'intérieur) ou négativement (de l'intérieur vers l'extérieur),

$q$  : pression dynamique de référence

$C_e$  : coefficient d'exploitation

$C_g$  : coefficient de rafale

$C_p$  : coefficient de pression extérieure

Le C.N.B.C. nous suggère les valeurs suivantes :

$C_e = 1.0$  pour un bâtiment dont la hauteur ne dépasse pas 12 m (ce que nous avons considéré)

$C_g = 2.0$  pour les principaux éléments structuraux

$q = 0.35 \text{ KN/m}^2$  ; le code signale que cette valeur

correspond à une vitesse de 23 m/s ce qui semble sécuritaire vis-à-vis des valeurs de vitesses de vent recueillies auprès du Service de Climatologie (ASECNA).

Pour le calcul de la pression exercée par le vent, on fera abstraction du coefficient  $C_{p_i}$  de pression intérieure ; ce dernier dépend des ouvertures qui peuvent être de natures différentes, sa détermination nécessitera quatre cas différents. On considérera seulement la pression extérieure en retenant qu'elle nous fournira une valeur sécuritaire.

Le Code donne pour les structures pas très grandes les valeurs du produit  $C_p C_g$  (bâtiment dont la hauteur de référence ne dépasse pas 20 m ce qui est le cas ici) ; cette valeur sera prise égale à -1.3.

$$P = 0.35 \text{ KN/m}^2 \times 1.0 \times -1.3 = -0.46 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Surcharge due au vent } Q = -0.46 \text{ KN/m}^2$$

#### II. 3.4.1 Calcul des charges pondérées

Nous considérons deux mises en charge : la première sera relative à une charge de soulèvement dû au vent ; la seconde correspondra à une prépondérance des charges de gravité.

L'effet des charges pondérées est donné par la combinaison des effets dus aux charges  $D$ ,  $L$  et  $Q$  multipliées par les coefficients de charge  $\alpha$ , le coefficient de simultanéité  $\psi$  et le coefficient de risque  $\gamma$ . La simultanéité des charges pondérées est représentée par la relation :

$$\alpha_D D + \gamma \psi [\alpha_L L + \alpha_Q Q] \quad [\text{réf. 4}]$$

Les valeurs de ces différents coefficients sont les suivantes :

$$\alpha_D = 1.25 \quad \text{ou dans le cas de soulèvement } 0.85$$

$$\alpha_L = 1.5$$

$$\alpha_Q = 1.5$$

$$\psi = 1.0 \quad \text{lorsqu'une seule des charges } L \text{ et } Q \text{ est en jeu}$$

$\Psi = 0.70$  lorsque les deux charges L et Q sont en jeu

$\gamma = 1.0$  pour tous les bâtiments (sauf indication contraire)

i) Chargement dû au vent

La longueur tributaire est la valeur de l'espacement choisi pour la position des fermes, soit 4.5 m.

P est la valeur de l'effort

$$P = 0.85 D + 1.0 \times 1.0 \times 1.5 Q \quad (\text{en KN/m linéaire})$$

$$P = 0.85 \times 0.35 \times 4.5 + 1.0 \times 1.0 \times 1.5 \times (-0.46) \times 4.5$$

$$P = - 1.77 \text{ KN/ml}$$

La valeur de la charge est donc fonction de la portée (de la largeur tributaire) ; le tableau 2.1 donne toutes les charges.

ii) Chargement dû aux charges de gravité

Signalons d'abord que lorsqu'un élément structural supporte une surface tributaire d'un toit qui mesure plus de  $20 \text{ m}^2$  de surface, la surcharge prévue due à l'usage verra sa valeur multipliée par  $0.3 + \sqrt{9.8/B}$  [réf. 4]

B étant la surface tributaire exprimée en mètres carrés

Cette considération s'applique à notre cas puisque la plus petite surface existante est  $45 \text{ m}^2$ . Ceci est une recommandation du Code National du Bâtiment du Canada.

$$P = 1.25 D + 1.0 \times 1.0 \times 1.5 \times L \times (0.3 + \sqrt{9.8/B})$$

La valeur de P dépend de la portée puisque B varie avec cette dernière ; on a la même longueur tributaire 4.5 m.

- portée 10 m

$$P = 1.25 \times 0.35 \times 4.5 + 1.0 \times 1.5 \times 1.0 \times 4.5 \times (0.3 + \sqrt{9.8/45})$$

$$P = 7.14 \text{ KN/ml}$$

- portée 12 m \_\_\_\_\_

$$P = 1.25 \times 0.35 \times 4.5 + 1.0 \times 1.5 \times 1.0 \times 4.5 \times (0.3 + \sqrt{9.8/54})$$

$$P = 6.87 \text{ KN/ml}$$

- portée 14 m \_\_\_\_\_

$$P = 1.25 \times 0.35 \times 4.5 + 1.0 \times 1.5 \times 1.0 \times 4.5 \times (0.3 + \sqrt{9.8/63})$$

$$P = 6.66 \text{ KN/ml}$$

- portée 16 m \_\_\_\_\_

$$P = 1.25 \times 0.35 \times 4.5 + 1.0 \times 1.5 \times 1.0 \times 4.5 \times (0.3 + \sqrt{9.8/72})$$

$$P = 6.48 \text{ KN/ml}$$

- portée 18 m \_\_\_\_\_

$$P = 1.25 \times 0.35 \times 4.5 + 1.0 \times 1.5 \times 1.0 \times 4.5 \times (0.3 + \sqrt{9.8/81})$$

$$P = 6.34/\text{ml}$$

- portée 20 m \_\_\_\_\_

$$P = 1.25 \times 0.35 \times 4.5 + 1.0 \times 1.5 \times 1.0 \times 4.5 \times (0.3 + \sqrt{9.8/90})$$

$$P = 6.22 \text{ KN/ml}$$

Les valeurs de charges figurent au tableau 2.1

## II. 4 DETERMINATION DES EFFORTS DES MEMBRURES

L'utilisation d'un programme d'ordinateur relatif à la détermination des efforts dans les membrures de treillis nous a permis de réaliser entièrement cette partie. On peut signaler que ces efforts peuvent être déterminés à partir de méthodes analytiques telles que :

- méthode de Culman ou des noeuds
- méthode des coupes de Ritter
- méthode de Cremona

Dans le cadre de ce projet, il a été procédé à une vérification des résultats d'ordinateur en utilisant une méthode permettant de trouver l'effort dans un élément quelconque : le Cremona (référer appendice 3 ).

Seulement les résultats sont valables pour des charges unitaires ( $P = 1 \text{ KN}$ ) ; on utilisera donc le principe de proportionnalité (en multipliant l'effort trouvé par la valeur de la charge pondérée) pour déterminer les efforts dans les membrures.

Exemple treillis portée 10 m ; élément 8

effort dû à une charge P unitaire = - 10.050 KN

effort sous le 1er cas de chargement =  $-10.050 \times -1.77 = 17.788 \text{ KN}$

effort sous le 2nd cas de chargement =  $-10.050 \times 7.14 = -71.757 \text{ KN}$

Les efforts des membrures pour toutes les portées figurent en appendice.

III

1) DIMENSIONNEMENT

### III. 1 DESIGN DES ELEMENTS

Les éléments concernés par le choix de sections sont les suivants :

- montants
- diagonales
- membrures supérieure et inférieure
- pannes
- entretoises

L'utilisation de profilés formés à froid exige de tenir compte du pliage des tôles ceci surtout pour des raisons économiques. Il a donc été retenu les profils suivants qui occasionneront le minimum de pliage :

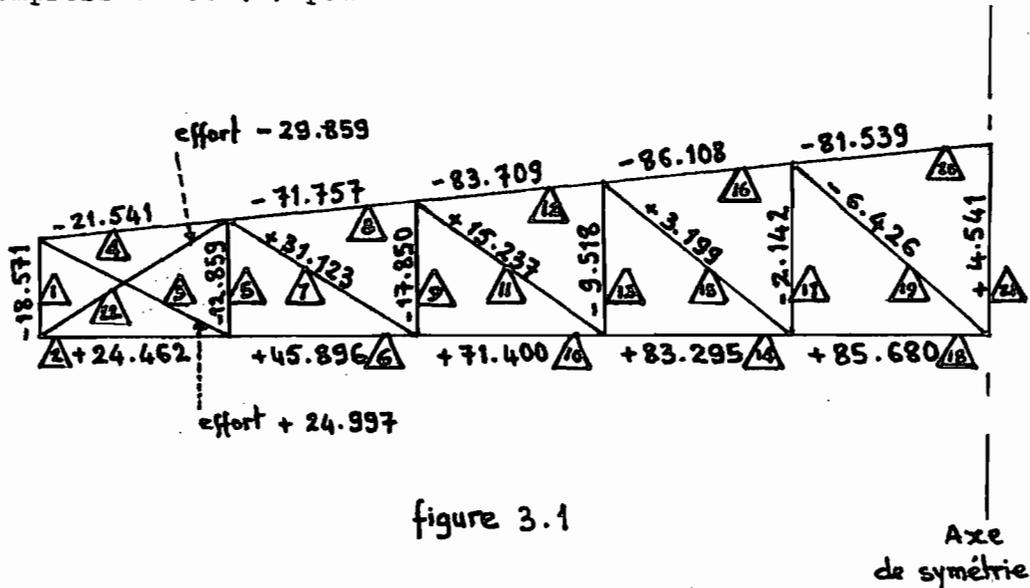
- fers C pour les montants, diagonales et entretoises
- fers C dos à dos pour la membrure supérieure
- cornières dos à dos pour la membrure inférieure
- Zed pour les pannes.

Pour des raisons pratiques de chantier et des besoins de standardisation, il sera utilisé un même type de profilé pour le maximum d'éléments possible.

Le choix des sections est réalisé à l'aide de la méthode dite itérative. Les exemples de calcul fournis présentent le choix définitif.

FERME PRATT - PORTEE 10 METRES

La ferme est supposée articulée. Les efforts axiaux déterminés précédemment sont reproduits à la figure ci-dessous. Tous les efforts sont en Kilonewtons (KN) avec les signes (-) pour la compression et (+) pour la traction.



### III. 1.1 Choix des montants et diagonales

En considérant les marques (numéros d'éléments) mentionnées précédemment il y aura comme :

- diagonales : D3, D7, D11, D15, D19, D22
- montants (verticales) : V1, V5, V9, V13, V17, V21

Les dimensions de profilés à choisir sont fonctions des considérations pratiques telles que le pliage des tôles, l'assemblage par boulons qui nécessite un espace minimum. Ainsi pour la ferme à dimensionner, le fer C le plus petit a comme dimensions :

- 45 mm pour l'âme
- 25 mm pour les semelles
- 2 mm d'épaisseur

Les dimensions de l'âme et des semelles sont celles hort-tout pour tenir compte des rayons de pliage. Ne connaissant pas ces derniers, les calculs de voilement local utiliseront les

dimensions hors-tout ce qui se situe du côté sécuritaire.

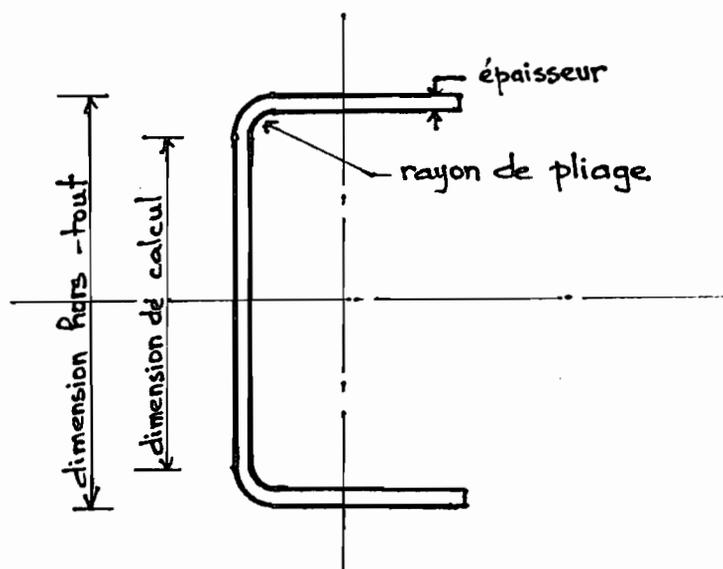


figure 3.2

Rappelons que les calculs pour le flambage local imposent des dimensions maximales pour l'âme et les semelles.

Le dimensionnement des pièces se fera de la manière suivante : un élément tendu sera analysé comme tel mais aussi sera vérifié pour la compression à cause de la possibilité de renversement d'efforts.

Le profilé C 45 x 25 x 2 répond à toutes les exigences d'efforts pour les montants et les diagonales de la ferme de 10 mètres de portée.

#### Exemple de calculs types

Diagonale D11 [45 x 25 x 2

Surface  $A = (2 \times 25) \times 2 + [(45 - 2 \times 2) \times 2] = 182 \text{ mm}^2$

L'effort résistant est  $Tr = \phi A_n F_y = \phi [A_g - 2(d + 4)] F_y$

$\phi = 0.9$ ,  $F_y = 250 \text{ MPa} \Rightarrow Tr = 0.9 \times 154 \times 0.250$

$Tr = 34.650 \text{ KN} > Tf = 15.237 \text{ KN}$

d : diamètre du boulon d'assemblage OK

S'il y a renversement d'effort le profilé doit pouvoir résister ;  
les calculs sont les suivants :

Voilement local pour les semelles  $\frac{b_0}{t} \leq \frac{260}{\sqrt{F_y}}$  [réf.1]

$$\frac{b_0}{t} = \frac{25}{2} = 12.5 \leq \frac{260}{\sqrt{F_y}} = \frac{260}{\sqrt{250}} = 16.4 \quad \text{OK}$$

Voilement local pour l'âme  $\frac{h}{w} \leq \frac{670}{\sqrt{F_y}}$  [réf.1]

$$\frac{h}{w} = \frac{45 - 2 \times 2}{2} = 20.5 \leq \frac{670}{\sqrt{250}} = 42.4 \quad \text{OK}$$

Le voilement local n'est pas à craindre.

Caractéristiques géométriques de la section

$$I_x = \frac{1}{12} \left[ 25 \times 45^3 - (25 - 2) (45 - 2 \times 2)^3 \right] = 57745.167 \text{ mm}^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{57745.167}{182}} = 17.81 \text{ mm}$$

De la même manière on trouve

$$I_y = 11194.18 \text{ mm}^4 \quad \text{et} \quad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 7.84 \text{ mm}$$

La ferme étant articulée, on choisira  $K = 1.0$

$L$  = longueur de l'élément = 1250 mm

Calcul de l'élanement

Plan YY  $\frac{KL}{r_x} = \frac{1.0 \times 1250}{17.81} = 70.2$

Plan XX  $\frac{KL}{r_y} = \frac{1.0 \times 1250}{7.84} = 159.4 < 200 \quad \text{OK}$

L'élanement maximum permis par le code [réf.6] est 200

Le flambage a lieu autour de l'axe faible YY

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_{\max} = 159.4$$

Calcul de la résistance pondérée

$$\lambda = \frac{KL}{r} \sqrt{\frac{F_y}{\pi^2 E}} \quad [\text{réf. 1}]$$

$$\lambda = 159.4 \sqrt{\frac{250}{\pi^2 \times 2 \times 10^5}} = 1.794$$

[réf. 1] courbe n° 1. équation (C)  $1.2 < \lambda \leq 1.8$

$$C_r = \phi A F_y (0.051 + 0.801 \lambda^{-2})$$

$$C_r = 0.9 \times 182 \times 0.250 \left(0.051 + \frac{0.801}{(1.794)^2}\right) = 12.280 \text{ KN}$$

$$C_f = 3.777 \text{ KN}$$

$$C_r > C_f \quad \text{OK}$$

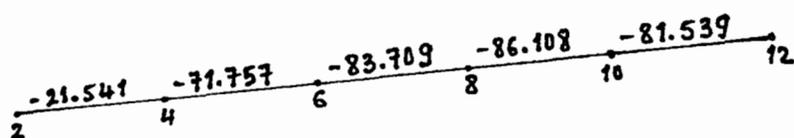
Le profilé convient.

Les mêmes calculs peuvent être répétés pour tous les éléments de la ferme. Le tableau 2.2 donne les valeurs de résistance pour chaque élément.

### III. 1.2 Choix de la membrure supérieure

Cette membrure comporte plusieurs marques, on en choisira deux pour faire la vérification.

Les efforts sont en kilonewtons (KN) ; (-) pour la compression



Marques 8 et 10

Profilé  70 x 30 x 2

$$A = 2 \left[ (2 \times 30)^2 + (70 - 2 \times 2)^2 \right] = 504 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 373352 \text{ mm}^4 \quad r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 27.22 \text{ mm}$$

$$I_y = 72352 \text{ mm}^4 \quad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 11.98 \text{ mm}$$

$K = 1.0$  (ferme articulée)      Longueur de l'élément  $L = 1010 \text{ mm}$

Le voilement local n'est pas à craindre puisque

$$\frac{b_o}{t} = \frac{30}{2} \leq \frac{260}{\sqrt{F_y}} \quad \text{et} \quad \frac{h}{w} = \frac{70 - 2 \times 2}{2} \leq \frac{670}{\sqrt{F_y}}$$

Calcul de l'élançement

$$\text{Plan YY} \quad \frac{KL}{r_x} = \frac{1.0 \times 1010}{27.22} = 37.11$$

$$\text{Plan XX} \quad \frac{KL}{r_y} = \frac{1.0 \times 1010}{11.98} = 84.31 < 200 \quad \text{OK}$$

Le flambage a lieu autour de l'axe faible YY

$$\left( \frac{KL}{r} \right)_{\max} = 84.31$$

Calcul de la résistance pondérée

$$\lambda = \frac{KL}{r} \sqrt{\frac{F_y}{\pi^2 E}} = 84.31 \sqrt{\frac{250}{\pi^2 \times 2 \times 10^5}} = 0.949$$

[réf. 1] courbe n° 1    equation (b)     $0.15 < \lambda \leq 1.2$

$$C_r = \phi A F_y (0.990 + 0.122 \lambda - 0.367 \lambda^2)$$

$$C_r = 0.9 \times 504 \times 0.250 (0.990 + 0.122 \times 0.949 - 0.367 \times 0.949^2)$$

$$C_r = 87.914 \text{ KN}$$

N.B. : Un espaceur sera utilisé pour faire travailler les profils ensemble.

$$C_f = 86.108 \text{ KN}$$

$$C_r > C_f \quad \text{OK}$$

Le profilé convient.

La vérification n'est pas nécessaire pour les autres marques, la longueur des éléments étant identique.

Remarque : en cas de renversement d'effort, la membrure résiste en tension

$$T_r = \phi A_n F_y = 0.9 \times 476 \times 0.250 = 107.1 \text{ KN}$$

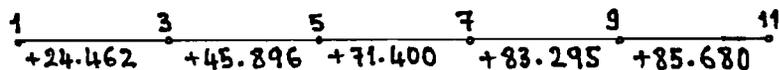
$$T_f = 21.346 \text{ KN}$$

$$T_r > T_f \quad \text{OK}$$

### III. 1.3 Choix de la membrure inférieure

La membrure inférieure sera tendue, il n'est donc pas nécessaire d'utiliser le même genre de profilé que pour la membrure supérieure. Des cornières dos à dos suffiront pour résister.

Les efforts sont en kilonewtons (KN) ; (+) pour la traction



Considérant la différence d'efforts entre les éléments à l'extrémité gauche de la membrure et les autres, il serait certainement économique d'utiliser des profilés de dimensions différentes en distinguant par exemple les marques 1, 3 et 5 et les marques 5, 7, 9, 11.

Remarque 1 : Pour les portées 16, 18 et 20 mètres, cette méthode pourra être utilisée ; pour les portées plus petites cela ne s'avère pas nécessaire à cause des dimensions de profilés qui pourraient être très petites. Comme illustration, pour la portée de 10 mètres les marques 1, 3 et 5 peuvent se contenter d'un profilé JL 25 x 25 x 3 ; seulement il peut poser des problèmes de pliage.

Remarque 2 : Les deux types de profilés pourront être rattachés par une pièce de transfert (gousset ou épissure par exemple).  
Même pour les portées plus petites si la membrure ne peut être réalisée d'une seule pièce (problèmes de disponibilité du matériau ou de manutention), on aura recours à cette méthode de réalisation.

Vérification pour les marques 9 et 10

Profilé  45 x 45 x 3

$$A = (45 + 45 - 3) \cdot 3 \cdot 2 = 522 \text{ mm}^2$$

$$T_r = \phi A_n F_y = 0.9 \times 494 \times 0.250 = 111.15 \text{ KN}$$

$$T_f = 85.680 \text{ KN} \quad T_r > T_f \quad \text{OK}$$

S'il y a renversement d'effort, l'effort pondérée est  $C_f = 21.240 \text{ KN}$  ; le profilé doit pouvoir résister à cet effort. Faisons les vérifications nécessaires.

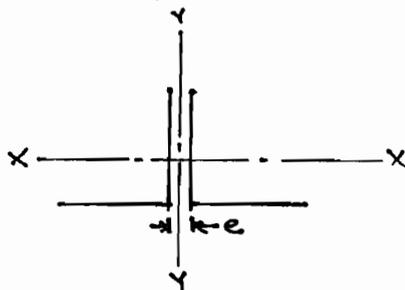
Caractéristiques géométriques

$$I_x = 0.103 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 14.1 \text{ mm}$$

Le rayon de giration  $r_y$  dépend de la distance séparant les deux cornières, soit  $e$ .

Les rayons ont été trouvés pour les distances suivantes :



$e$  est en millimètres

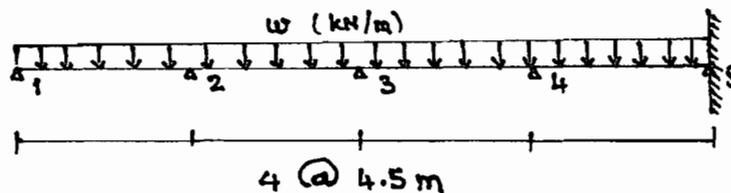
$e = 0$	$\Rightarrow$	$r_y = 18.7 \text{ mm}$
$e = 8$	$\Rightarrow$	$r_y = 21.6 \text{ mm}$
$e = 10$	$\Rightarrow$	$r_y = 22.3 \text{ mm}$
$e = 12$	$\Rightarrow$	$r_y = 23.1 \text{ mm}$

Conférer [ réf. 6 ]

La panne étant considérée comme poutre, travaillera donc principalement en flexion. Généralement c'est le moment fléchissant qui est l'effort critique et c'est en considérant cet effort qu'on fait le choix de la section.

Il suffit alors de déterminer le moment maximum produit par les charges pondérées  $M_f$  et de choisir une section telle que  $M_r \geq M_f$  ;  $M_r$  est le moment résistant.

La courbe de distribution de moments figure en appendice et les valeurs de moments servent au dimensionnement. Pour réaliser cette distribution, la panne a été idéalisée comme suit :



Les moments de la première portée 1 - 2 sont les plus grands, on fera le dimensionnement avec ces valeurs pour ne pas avoir à choisir plusieurs types de pannes pour une même ferme.

Valeur de moment négatif au droit du noeud 2

$$M (-) = 3615 \text{ KN.mm}$$

en doublant la section au droit de ce moment négatif, le moment résistant devra être  $\geq \frac{3615}{2} = 1808 \text{ KN.mm}$

Le moment positif maximum est 2658 KN.mm

Le choix de la section se fera à partir de cette dernière valeur.

On utilisera un profilé dont le flambage local se produirait entre  $M_y$  et  $M_p$ .

Le moment résistant sera de la forme  $M_r = \phi S_x F_y$

Pour dimensionner, on fera  $M_f = M_r$  et on trouvera  $S_x$ .

$$M_{\text{résistant}} = \phi S_x F_y \implies S_x_{\text{résistant}} = \frac{M_{\text{résistant}}}{\phi F_y}$$

$$M_{\text{résistant}} = 2658 \text{ KN.mm} \implies S_x_{\text{résistant}} = \frac{2658}{0.9 \times 0.250}$$

$$S_x_{\text{résistant}} = 11\,813 \text{ mm}^3$$

Avant de procéder au choix définitif de la section qui pourra résister, établissons la valeur limite de flèche.

$$[\text{réf. 6}] \quad \text{flèche limite} \quad \frac{\Delta}{L} \leq \frac{1}{300}$$

Le moment d'inertie nécessaire est  $I_n$

$$I_n = W \cdot C_d \cdot B_d \quad (10^6 \text{ mm}^4)$$

$B_d$  coefficient pour les conditions d'appui = 1.0

$C_d$  constante de déflexion (dépend de  $\frac{\Delta}{L}$ ) = 0.38

$W$  valeur de chargement en KN

Signalons qu'on vérifie les flèches avec les charges vives uniquement. Dans ce cas, la surcharge est  $1 \text{ KN/m}^2$

La longueur à considérer est 4.5 m donc

$$W = 4.5 \text{ KN}$$

$$\text{d'où } I_n = (4.5 \times 0.38 \times 1.0) \times 10^6 = 1.71 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

Le moment d'inertie ( $I_x$ ) de la section devra être supérieur au moment d'inertie requis ( $I_n$ ).

La flèche maximum  $\Delta_m$  est

$$\Delta_m = \frac{L}{300} \quad \text{avec } L = 4\,500 \text{ mm} \Rightarrow \Delta_m = 15 \text{ mm}$$

#### Sollicitations pondérées maximales

La panne est considérée comme une poutre continue.

Le diagramme des moments dus à un chargement unitaire permet de déterminer le moment maximum  $M_f$ .

On déterminera aussi l'effort tranchant maximum  $V_f$ .

Charges pondérées

$$W = 1.25 (0.15 \times 1.0) + 1.50 (1.00 \times 1.0)$$

$$W = 1.69 \text{ KN/m}$$

On aura donc

$$M_f = 1.69 \times 1573$$

$$M_f = 2660 \text{ KN}\cdot\text{mm}$$

$$V_f = 1.69 \times \frac{4.5}{2}$$

$$V_f = 3.80 \text{ KN}$$

On constate à travers ces chiffres que le moment fléchissant gouvernera le choix de la section ce qui est pratiquement courant.

#### Section d'essai

Essayons un zed ayant pour dimensions : 125 mm de profondeur, 60 mm de largeur et 3 mm d'épaisseur.

Calcul du moment d'inertie  $I_x$

$$I_x = \frac{(125)^3 \times 3}{12} + 2 \left[ \frac{(60 - 3)^3}{12} + (60 - 3) \times 3 \times \left( \frac{125}{2} - \frac{3}{2} \right)^2 \right]$$

$$I_x = 1.761 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_x > I_n \quad \text{OK}$$

$$\text{Flèche réelle } \Delta = \frac{I_n}{I_x} \times \Delta_m = \frac{1.71 \times 10^6}{1.761 \times 10^6} \times 15 = 14.55 \text{ mm}$$

Puisque ce profilé satisfait au critère de flèche, effectuons toutes les vérifications relatives à cette poutre.

Caractéristiques géométriquesMoment d'inertie  $I_y$ 

$$I_y = \frac{125 \times 3^3}{12} + 2 \left[ \frac{3 (60 - 3)^3}{12} + 3 (60 - 3) \left(\frac{60}{2}\right)^2 \right]$$

$$I_y = 0.401 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

Moment d'inertie de torsion  $J$ 

$$J = \frac{1}{3} \sum lt^3$$

La section est composée, pour ce calcul, en rectangles de largeur  $l$  et d'épaisseur  $t$

$$J = \frac{1}{3} \left[ 2 \times 60 \times 3^3 + (125 - 2 \times 3) \times 3^3 \right]$$

$$J = 2150 \text{ mm}^4$$

Constante de gauchissement  $C_w$ 

$$C_w = \frac{d^2 I_y}{4} \quad (\text{méthode simplifiée}) \quad [\text{réf. 1}]$$

$$d : \text{profondeur moyenne} = 125 - 3 = 122 \text{ mm}$$

$$C_w = \frac{(122)^2 \times 0.401 \times 10^6}{4} \quad C_w = 1.492 \times 10^9 \text{ mm}^6$$

Module de flexion  $S_x$ 

$$S_x = \frac{I_x}{y} \quad \text{avec} \quad y = \frac{d}{2}$$

$$S_x = \frac{1.761 \times 10^6}{\frac{125}{2}} \quad S_x = 28.176 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$S_x > S_x \text{ résistant} \quad \text{OK}$$

Section  $A$ 

$$A = 3 \left[ 125 + 2 (60 - 3) \right] = 717 \text{ mm}^2$$

Les modules d'Young et de Coulomb sont respectivement :

$$E = 200\ 000\ \text{MPa}$$

$$G = 77\ 000\ \text{MPa}$$

### Contraintes normales longitudinales

Longueur non latéralement supportée : des barres de reteme seront installées à mi-portée ,  $L = 2500\ \text{mm}$

Le coefficient d'uniformisation des moments est

$$W = 0.6 + 0.4 \frac{M_{f1}}{M_{f2}} \geq 0.4$$

Pour la travée avec laquelle le calcul est effectué

$$\text{on a } M_{f1} = 0 \quad \text{donc } W = 0.6$$

Le moment ultime est

$$[\text{réf. 1}] \quad M_u = \frac{\pi}{wL} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L}\right)^2 I_y C_w}$$

Le moment élastique est

$$[\text{réf. 1}] \quad M_y = S_x F_y$$

$$M_y = 28.176 \times 10^3 \times 0.250 = 7044\ \text{KN.mm}$$

$$\text{et } \frac{2}{3} M_y = 4696\ \text{KN.mm}$$

En remplaçant les termes de l'équation de  $M_u$  par leurs valeurs numériques on aura

$$M_u = 14967\ \text{KN.mm}$$

$$\text{Donc } M_u > \frac{2}{3} M_y \Rightarrow M_r = 1.15 \phi M_y \left(1 - 0.28 \frac{M_y}{M_u}\right) \leq \phi M_y$$

[réf. 1]

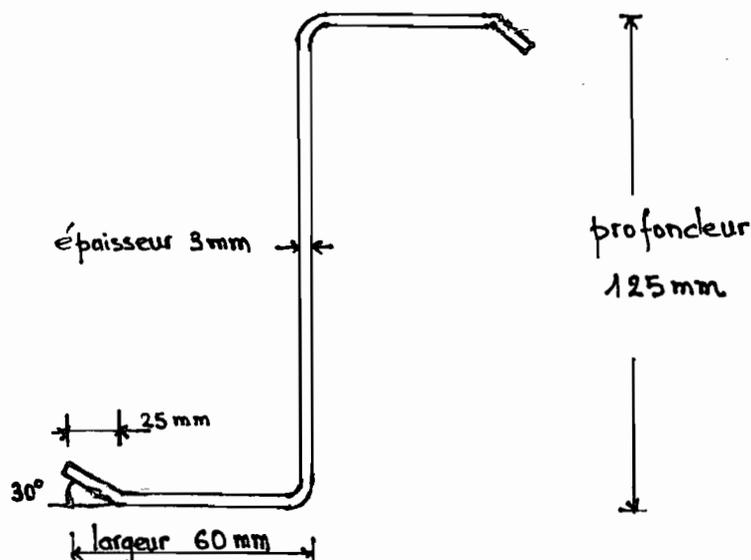
$$\phi M_y = 0.9 \times 7044 = 6340\ \text{KN.mm}$$

$$M_r = 1.15 \times 0.9 \times 7044 \left(1 - 0.28 \times \frac{7044}{14967}\right) = 6330\ \text{KN.mm}$$

$$M_f = 2660 \text{ KN}\cdot\text{mm} \text{ et } M_r = 6330 \text{ KN}\cdot\text{mm}$$

$$M_f < M_r \quad \text{OK}$$

Le profilé choisi est le suivant :



#### Vérification du flambage sous charge uniforme

$$[\text{réf. 6}] \quad q_r = \phi \frac{115\,000}{(h/w)^2} 5.5 w$$

$$\text{Charge à considérer } 1.25 \times 0.15 = 0.19 \text{ KN/m}$$

$$q_r = 0.9 \frac{115\,000}{(119/3)^2} 5.5 \times 3 = 1.085 \text{ KN/m} > 0.19 \text{ KN/m OK}$$

#### Vérification sous les contraintes tangentielles

$$[\text{réf. 6}] \quad \text{coefficient } k_v = 5.34$$

$$\frac{h}{w} = \frac{119}{3} = 39.67$$

$$\frac{h}{w} \leq 439 \sqrt{\frac{k_v}{F_y}} \implies F_s = 0.66 F_y$$

$$F_s = 0.66 \times 250 = 165 \text{ MPa}$$

$$V_r = \phi A_w F_s$$

$$A_w = h_w = 119 \times 3 = 357 \text{ mm}^2$$

$$V_r = 0.9 \times 357 \times 0.165 = 53 \text{ KN} > V_f \quad \text{OK}$$

Remarque : Les autres vérifications concernant les contraintes normales transversales ne sont pas nécessaires dans ce cadre puisque les conditions d'appui ne seront réellement connues que si le système de toiture est complété par les autres éléments du bâtiment (murs, porteurs, etc...).

Le profilé  $\int$  125 x 60 x 3 convient donc et sera utilisé comme panne.

### III. 1.5 Stabilité de la structure en cours de construction

On a souvent recours à un système d'entretoisement pour assurer les éléments de la charpente contre les mouvements pendant la construction. Néanmoins il n'est pas nécessaire de l'enlever après construction.

L'entretoisement permanent devrait alors être utilisé.

Il est recommandé [réf.1] de tenir compte des facteurs suivants pour le design du système :

- la charge latérale devra être entre 2 et 5 % de la charge de la membrure inférieure,
- l'entretoisement en diagonale doit avoir un élancement  $L/r$  ne dépassant pas 200, où "L" est la longueur de l'élément d'entretoise, et où "r" est le plus faible rayon de giration,
- les éléments d'entretoisement horizontal ne doivent pas avoir un élancement supérieur à 300.

### Calculs

Charge de la membrure inférieure = 85.680 KN

En supposant une charge latérale valant 5 % de la charge de la membrure inférieure on a :

Charge à considérer = 4.284 KN

- Si on utilise l'entroulement horizontal  $L = 4\ 500$  mm

alors  $\frac{L}{r} \leq 300 \Leftrightarrow r \geq \frac{L}{300}$  donc  $r \geq 15$  mm

- En utilisant l'entroulement diagonal  $L = \frac{4500 \sqrt{2}}{2}$  mm

soit  $L = 3182$  mm , alors  $\frac{L}{r} \leq 200$   $r \geq 15.91$  mm

Les grandes valeurs de rayon de giration nécessaires pour dimensionner ces éléments d'entroulement nous amène à revoir le système d'entroulement. En effet, un rayon de giration  $r \geq 15$  mm nécessitera le choix d'une section très grosse ; il y aurait ainsi surabondance de matière vu la petite charge à supporter.

Seul l'élanement guiderait le design, ce qui pourrait ne pas être économique.

### Système proposé

Pour contourner ces difficultés, on essaiera de placer, à partir de la membrure inférieure, des éléments en diagonale qu'on fixerait sur l'âme de la panne, par boulonnage (consulter la figure **A**). La panne devra supporter un moment de 1 KN.m.

Il faudra veiller à ce que la panne puisse supporter cette nouvelle charge. L'élément sera placé à  $45^\circ$  par rapport à l'axe de la membrure inférieure. Des plats fixés à cette membrure permettront de retenir les éléments des deux cotés. Précisons que les plats seront soudés à la membrure inférieure.

Section      L 35 x 35 x 3

longueur de l'élément L = 1160 mm

A = 201 mm<sup>2</sup> ;      r<sub>Z</sub> = 6.91 mm

Résistance en traction

$$Tr = \phi A_n F_y = 0.9 \times 173 \times 0.250 = 39 \text{ KN} > 4.284 \text{ KN} \quad \text{OK}$$

Résistance à la compression

$$\frac{KL}{r_z} = \frac{1.0 \times 1160}{6.91} = 168 < 200 \quad \text{OK}$$

$$\lambda = \frac{KL}{r} \sqrt{\frac{F_y}{\pi^2 E}} = 168 \times \sqrt{\frac{250}{2 \times 10^5 \times \pi^2}} = 1.89$$

[réf. 1]      courbe n° 1      (d)

$$Cr = \phi A F_y (0.008 + 0.942 \lambda^{-2})$$

$$Cr = 0.9 \times 201 \times 0.250 \left( 0.008 + \frac{0.942}{(1.89)^2} \right) = 12.3 \text{ KN}$$

$$Cr > 4.284 \text{ KN} \quad \text{OK}$$

Le profilé convient.

Assemblage

Cette partie constituant un volet essentiellement "dispositions constructives", le constructeur fournira les éléments nécessaires à l'assemblage en respectant le plus fidèlement possible les explications données précédemment.

Signalons que l'épaisseur des plats sera de 2 mm.

La grosseur du cordon de soudure 2 mm.

### III. 2 ASSEMBLAGES

Les pièces des charpentes d'acier sont assemblées par boulonnage ou par soudage. On signale que la pose des boulons est relativement facile alors que la réalisation d'une soudure de bonne qualité requiert des ouvriers très expérimentés.

Pour ce qui concerne le sujet précis qui nous préoccupe, nous insisterons sur les facilités de réalisation et de montage de la structure. En général, les soudures seront faites en atelier et le boulonnage sera réalisé en chantier ; tous les boulons auront le même diamètre aussi bien pour un assemblage que pour tous les assemblages de la charpente.

La nature des assemblages est définie comme suit :

- les montants et les diagonales seront boulonnés à un gousset alors que ce dernier sera soudé à la membrure correspondante ;
- un joint de montage sera utilisé si les pièces sont trop longues (cas de la membrure inférieure) ; il sera mis en place aussi pour assembler les deux parties de la ferme.

#### III. 2.1 Assemblage avec gousset

Métal de base  $F_y = 250 \text{ MPa}$  ;  $F_u = 380 \text{ MPa}$

Boulons A 307 Diamètre 10 mm ;  $F_u = 415 \text{ MPa}$

On considère un assemblage concentrique en cisaillement.

#### Résistance d'un boulon

$$V_r = 0.60 \varnothing m A_b F_{u_b} \quad [\text{réf. 1}]$$

$m$  : plan (s) de cisaillement = 1 et  $\varnothing = 0.67$

$$A_b = \frac{\pi d^2}{4} = 78.5 \text{ mm}^2$$

$$F_{u_b} = 415 \text{ MPa}$$

L'épaisseur des pièces étant inférieure à 10 mm, on réduira

$V_r$  de 30 % d'où :

$$V_r = 0.70 \times 0.60 \times \varnothing m A_b F_{u_b}$$

Si  $P$  est l'effort à transmettre,  $n$  le nombre de boulons on a la relation  $n = \frac{P}{V_r}$  avec  $n \geq 2$  boulons.

### Pression de contact

Avec l'hypothèse d'une distribution uniforme de la pression la résistance pondérée à la pression diamétrale est :

$$B_r = \phi \text{ et } F_{u_m} \leq 3 \phi \text{ td } F_{u_m} \quad [\text{réf. 1}]$$

Le nombre de boulons sera calculé avec la relation

$$n = \frac{P}{V_r} \text{ puis il suffira de vérifier } B_r \geq \frac{P}{n} .$$

$e$  est la pince longitudinale

$t$  est l'épaisseur de la pièce

$d$  est le diamètre du boulon ; et  $\phi = 0.67$

Comme il s'agit de dimensionner l'assemblage, nous procéderons d'une manière un peu différente.

### Calculs

$$V_r = 0.70 \times 0.60 \times 0.67 \times 1.0 \times 78.5 \times 0.415 = 9.17 \text{ KN}$$

On calculera  $B_r$  avec l'épaisseur du plat le plus dangereux soit 2 mm.

$$B_r = 3 \phi \text{ td } F_{u_m} = 3 \times 0.67 \times 2 \times 10 \times 0.380 = 15.28 \text{ KN}$$

$B_r > V_r$ , on utilisera la valeur de  $V_r$  pour continuer les calculs.

En tenant compte de la pression diamétrale, il convient de chercher la valeur minimale de la pince longitudinale,  $e$ .

$$B_r = \phi \text{ te } F_{u_m} = 0.67 \times 2 \times e \times 0.380 = 0.509 e$$

La valeur de  $e$  sera fonction du nombre de boulons.

Il est recommandé [réf. 1] de considérer les valeurs suivantes :

- $e \geq 1.5 d$  (pince longitudinale)
- $e_t \geq 1.75 d$  (pince transversale)
- $p = 3d$  (intervalle centre en centre des rangées de boulons)

Les boulons seront disposés uniquement par file puisque les petites dimensions des profilés ne favorisent pas l'installation de plusieurs files.

Marque V1      P = 18.571 KN

$$n \geq \frac{18.571}{9.17} = 2.02 \quad \text{soit } 3 \text{ boulons à condition que}$$

$$0.509 e \geq \frac{18.571}{3} \implies e \geq 12.2 \text{ mm}$$

Les mêmes calculs sont répétés pour les autres montants et diagonales, et donnent les résultats suivants :

Marque	Effort (KN)	Nombre de boulons	e. mini calculé (mm)
V5	12.859	2	12.6
V9	17.850	2	17.5
V13	9.518	2	9.4
V17	2.142	2	9.0
V21	4.541	2	9.0
D3	24.997	3	16.4
D7	31.123	4	15.3
D11	15.237	2	15
D15	3.199	2	9.0
D19	6.426	2	9.0
D22	29.859	4	15

Etant donné la recommandation  $e \geq 15$  mm, nous retiendrons les valeurs supérieures ou égales à 15 mm ; celles inférieures seront remplacées par  $e = 15$  mm.

#### Vérification de la résistance des pièces en traction

Ayant une seule file de boulons dans tous les cas, la ligne de rupture est identique en section droite.

Soit le montant V1 ;  $b_n$  est la largeur nette

$$b_n = b - D \quad \text{avec} \quad D = d + 4 \text{ mm}$$

$$b_n = (45 + 25 \times 2 - 2 \times 2) - (10 + 4) = 77 \text{ mm}$$

$$A_n = b_n t = 77 \times 2 = 154 \text{ mm}^2 \quad (\text{aire nette})$$

réf.  $A_n \leq 0.85 A_g$

or  $A_g = 182 \text{ mm}^2 \quad A_n \leq 155 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$

$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{250}{380} = 0.66 < 0.75$$

$$\left. \begin{array}{l} A_n F_u = 154 \times 0.380 = 58.5 \\ A_g F_y = 182 \times 0.250 = 45.5 \end{array} \right\} \Rightarrow A_n F_u > A_g F_y$$

$$\Rightarrow Tr = \phi A_n F_y \quad \text{avec} \quad \phi = 0.9$$

$$Tr = 0.9 \times 154 \times 0.250 = 34.65 \text{ KN}$$

$$Tr > T_f = 4.604 \text{ KN} \quad \text{OK}$$

La vérification est identique pour tous les autres éléments.  
Toutes les pièces résistent en traction.

#### Calcul de goussets

Le dimensionnement d'un gousset nécessite généralement les vérifications suivantes :

- écrasement du gousset autour des boulons ;
- déchirure du gousset aux extrémités des pièces assemblées travaillant en traction ;
- vérification des efforts sur quelques sections du gousset.

Nous admettrons que les boulons, utilisés pour attacher au gousset une pièce chargée axialement, se partagent également l'effort à transmettre au gousset.

i) Ecrasement du gousset,  $Br = \phi$  et  $F_u \leq 3 \phi dt F_u$

$$\text{avec } Br \geq \frac{P}{n}$$

Calculons le gousset qui serait le plus sollicité, celui qui servira à attacher les éléments V5, D7 et D22.

$$\text{Effort } P = 12.859 + 31.123 + 29.859 = 73.841 \text{ KN}$$

Nombre de boulons  $n = 10$  boulons

$$Br = 3 \phi dt F_u = 3 \times 0.67 \times t \times 10 \times 0.380 = 7.638 t$$

$$Br \geq \frac{P}{n} \implies t \geq 1.0 \text{ mm}$$

ii) déchirure du gousset

On utilisera l'hypothèse de Withmore [réf. 1]. Selon cette hypothèse, les contraintes normales maximales dans le gousset peuvent être obtenues en supposant que la force dans la pièce assemblée est distribuée uniformément sur une surface égale à l'épaisseur du gousset ( $t$ ) multipliée par une largeur effective ( $le$ ).

$$\phi A_n F_y \geq T_f$$

$$\text{où } A_n = (le - \sum D) t \quad \text{avec } D = d + 4 \text{ mm}$$

La longueur à considérer pour le calcul de  $le$  est

$$3 P + e = 3 \times 30 + 15 = 105 \text{ mm}$$

$$le = 2 \times 105 \times \text{tg } 30^\circ = 121.2 \text{ mm}$$

$$A_n = (121.2 - 14) t = 107.2 t$$

$$(T_f)_{\max} \leq \phi \times 107.2 t F_y$$

$$(T_f)_{\max} = 73.841 \text{ KN}$$

$$73.841 \leq 0.9 \times 107.2 t \times 0.250 \implies t \geq 3.06 \text{ mm}$$

Nous retiendrons comme épaisseur de gousset

$$t = 4 \text{ mm}$$

La résistance au cisaillement du gousset est

$$V_r = 0.50 \phi A_g F_y \quad ; \quad \phi = 0.9$$

$A_g$  est l'aire brute de la surface cisailée

$$V_f = C_f \sin \alpha_1 + T_f \sin \alpha_2$$

position du montant : verticale  $\alpha_1 = 90^\circ$

position de la diagonale : inclinée  $\alpha_2 = 45^\circ$

$$V_f = C_f + T_f \frac{\sqrt{2}}{2}$$

Pour le gousset d'attache de V5, D7 et D22 on a

$$C_f = 12.859 \text{ KN}$$

$$T_f = 31.123 + 7.402 = 38.525 \text{ KN}$$

$$V_f = 12.859 + \frac{\sqrt{2}}{2} \times 38.525 = 40.1 \text{ KN}$$

$$V_r \geq V_f \Leftrightarrow 0.50 \times 0.9 \times A_g \times 0.250 \geq 40.1$$

$$\Rightarrow A_g \geq 356.4 \text{ mm}^2$$

Nous choisissons comme aire brute de la surface cisailée  $A_g = 360 \text{ mm}^2$ . La plaque aura 90 mm de hauteur.

### III. 2.2 Assemblage soudé

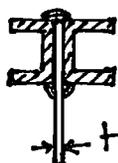
Pour le calcul de cet assemblage, il est pratique de considérer le flux de cisaillement ( $q_r$ ) résistant par millimètre de grosseur nominale.

La compatibilité des électrodes et du métal de base exige d'utiliser une électrode E 410 [réf. 1] dont le flux de cisaillement  $q_r = 130 \text{ N/mm/mm}$ .

La grosseur nominale minimale d'une soudure d'angle dépend de la plus épaisse des pièces à joindre. Toutefois cette grosseur ne peut pas être plus grande que la plus mince des pièces jointes.

pièces à joindre : gousset  $t = 4 \text{ mm}$   
 élément  $t = 2 \text{ mm}$

Cisaillement dans le métal de base



$$\phi = 0.9$$

$$2 D_{qr} \leq 0.66 \phi F_y t$$

Il y a deux (2) surfaces cisillées par 4 cordons.

$$D \leq \frac{0.66 \times 0.9 \times 0.250}{2 \times 0.130} t$$

$$t = 4 \text{ mm} \Rightarrow D \leq 2.28 \text{ mm}$$

Pour respecter toutes les conditions autour de la grosseur du cordon de soudure, choisissons

$$D = 2 \text{ mm}$$

Considérons un assemblage concentrique pour ce cas précis. La résistance pondérée de la soudure est :

$$V_r = q_r l D$$

La valeur de  $V_r$  (dans notre exemple de calcul) est

$$V_r = 0.50 \phi A_g F_u = 0.50 \times 0.9 \times 360 \times 0.250 = 40.5 \text{ KN}$$

$$q_r l D \geq 40.5 \Rightarrow l \geq \frac{40.5}{2 \times 0.130} = 156 \text{ mm}$$

$l$  est la longueur totale de soudure.

Résistance de la surface de fusion  $V_r = 0.66 \phi A_m F_Y$

$$V_r = 0.66 \times 0.9 \times 2 \times 156 \times 0.250 = 46.33 \text{ KN} > 40.5 \text{ KN} \quad \text{OK}$$

Le fabricant de la charpente d'acier pourra décider de la manière d'exécuter les soudures. Il s'agira simplement de respecter les résultats donnés par les calculs.

### III. 2.3 Assemblage par joint de montage

La membrure inférieure de la ferme a une longueur totale de dix (10) mètres et sera divisée en trois (3) parties.

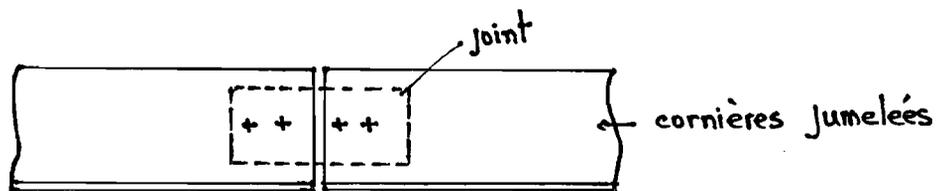
- la partie centrale aura 6 mètres de longueur ou un peu moins (selon les dispositions constructives)
- les deux extrémités, 2 mètres chacune (ou un peu plus) ; ces parties seront assemblées bout à bout par des joints de continuité ; pour des raisons de symétrie, les deux joints seront du même type.

#### Calculs

L'effort de traction pondéré dans l'aile de la section  $\text{JL } 35 \times 35 \times 3$  est  $T_f = 85.680 \text{ KN}$ .

Comme la section n'a pas de moment à transmettre, nous n'utiliserons qu'un joint de continuité placé entre les deux (02) cornières et fixé au moyen de boulons ; il y aura donc deux (02) plans de cisaillement.

Le schéma suivant permet de visualiser l'assemblage



Comme la section a une largeur de 35 mm, on choisira une largeur de plaque de 30 mm pour réaliser la continuité.

La résistance d'un boulon est donnée par la relation

$$V_r = 0.70 \times 0.60 \times \varnothing m A_b F_{ub} \quad [\text{réf. 1}]$$

avec  $m = 2$  ;  $V_r = 0.70 \times 0.60 \times 0.67 \times 2 \times 78.5 \times 0.415$

$$V_r = 18.33 \text{ KN}$$

Le nombre de boulons reliant la plaque de continuité et la section est (généralement un multiple de 4)

$$n \geq \frac{T_f}{V_r} \quad , \quad n \geq \frac{85.680}{18.33} = 4.67$$

On utilisera **8** boulons qu'on placera sur une seule ligne.

L'aire nette d'une plaque de continuité sera

$$A_n = [30 - (10 + 4)] t = 16 t$$

L'aire brute est  $A_g = 30 t$

$$0.85 A_g = 25.5 t$$

L'aire nette doit être telle que  $A_n \leq 0.85 A_g$   
ce qui est vérifiée.

$$\left. \begin{array}{l} A_n F_u = 0.380 \times 16 \times t = 6.08 t \\ A_g F_y = 0.250 \times 30 \times t = 7.50 t \end{array} \right\} \Rightarrow A_g F_y > A_n F_u$$

$$T_r = \varnothing A_n \left( \frac{A_n}{A_g} F_u \right) = 0.9 \times 16 \times t \times \left( \frac{16}{30} \times 0.380 \right)$$

$T_r = 2.92 t \geq P$  ;  $t$  est l'épaisseur de la plaque  
et  $P$  l'effort à transmettre

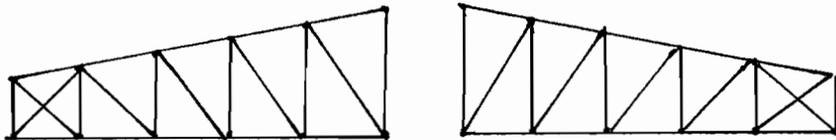
Comme il y a **8** boulons (par demi-assemblage) chacun d'eux  
supportera un effort  $P = \frac{85.680}{8} = 10.710 \text{ KN}$

$$2.92 t \geq 10.710 \Rightarrow t \geq \frac{10.710}{2.92} = 3.67 \text{ mm}$$

L'épaisseur de la plaque de continuité sera **4** mm.

### III. 2.4 Goussets d'assemblage des parties symétriques de la ferme

Il s'agit de dimensionner les goussets de façon à assembler au chantier les deux moitiés de fermes représentées ci-dessous



La membrure supérieure doit pouvoir supporter une charge pondérée de 86.108 KN

$$\text{le nombre de boulons sera } n \geq \frac{86.108}{9.17} = 9.4$$

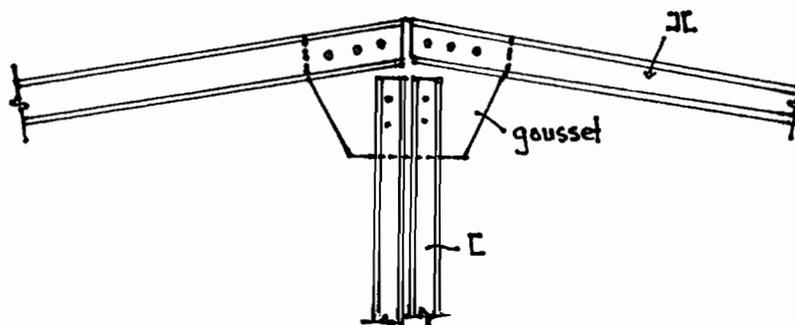
$$\text{soit 10 boulons à condition que } 0.509 e \geq \frac{86.108}{10}$$

donc  $e \geq 17$ . On retiendra comme valeur de  $e$ , 17 mm à cause de la recommandation du code canadien. [réf. 6].

Le gousset assemblera les pièces suivantes :

- les deux parties de la membrure supérieure
- les deux verticales aux extrémités ou poinçons

Le schéma de principe est le suivant :



Supposons une épaisseur de gousset de 4 mm (pour uniformiser les dimensions) et vérifions si elle est acceptable.

#### Ecrasement du gousset

$$Br = \emptyset \text{ et } Fu \leq 3 \emptyset \text{ dt } Fu$$

$$e = 17 \text{ mm} < 3 d \quad \text{donc} \quad Br = \emptyset \text{ et } Fu$$

$$Br = 0.9 \times 17 \times 4 \times 0.380 = 23.26 \text{ KN}$$

$$\text{Effort } P = 2 \times 4.541 + 2 \times 86.108 = 181.298 \text{ KN}$$

$$\text{Nombre de boulons } n = 10$$

$$\frac{P}{n} = 18.130 \text{ KN} < Br = 23.26 \text{ KN} \quad \text{OK}$$

#### Déchirure du gousset

Nous utiliserons toujours l'hypothèse de Withmore [réf.1] longueur à considérer pour le calcul de  $le = 2P + e = 75 \text{ mm}$

$$le = 2 \times 75 \times \text{tg } 30^\circ = 86.60 \text{ mm}$$

$$An = (le - \sum D) t = (86.60 - 14) \times 4 = 290.4 \text{ mm}^2$$

$$Tr = \emptyset An Fy = 0.9 \times 290.4 \times 0.250 = 65.34 \text{ KN}$$

$$\text{or } (T_f)_{\max} = 2 \times 4.541 + 21.346 \times 2$$

$$(T_f)_{\max} = 51.774 \text{ KN} < Tr \quad \text{OK}$$

#### Estimation de l'aire brute de la surface cisailée

Pour ce gousset d'attache on a

$$C_f = 86.108 \times 2 = 172.216 \text{ KN}$$

$$T_f = 4.541 \times 2 = 9.082 \text{ KN}$$

La membrure supérieure est inclinée de  $\alpha \sim 5.7^\circ$  par rapport à l'horizontale ; les montants ont une position verticale.

$$V_f = C_f \times \alpha + T_f = 26.215 \text{ KN}$$

La résistance au cisaillement du gousset est

$$V_r = 0.50 \emptyset Ag Fy$$

$V_r$  doit être supérieure ou égale à  $V_f$

$$0.50 \phi A_g F_y \geq 26.215 \implies A_g \geq \frac{26.215}{0.5 \phi F_y}$$

$$A_g \geq 233 \text{ mm}^2$$

Choisissons comme aire brute  $A_g = 240 \text{ mm}^2$

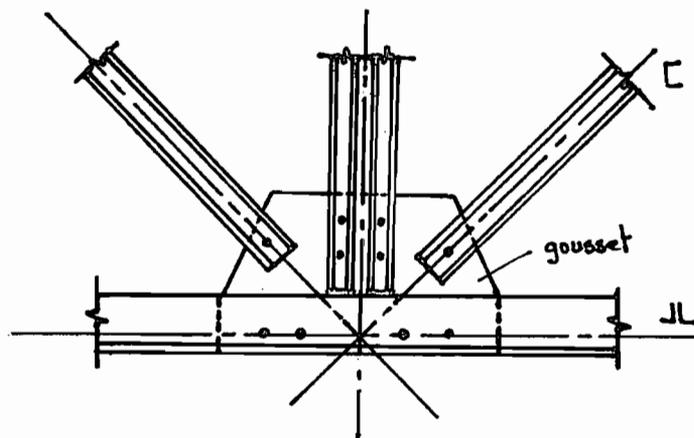
La plaque aura donc une hauteur de 60 mm.

Toutes ces vérifications montrent qu'un gousset d'épaisseur  $t = 4 \text{ mm}$  conviendra.

Dans la partie inférieure, le gousset attachera plusieurs éléments :

- la membrure inférieure
- les poinçons et les diagonales rattachées

Le schéma de principe est le suivant :



Le nombre de boulons dans la membrure inférieure est :

$$n \geq \frac{42.840}{9.17} = 4.67 \quad \text{soit} \quad n = 5 \quad \text{à condition}$$

$$\text{que } 0.509 e \geq \frac{42.840}{5} \implies e \geq 16.8 \text{ mm}$$

Retenons la même hypothèse que précédemment  $t = 4 \text{ mm}$ .

Ecrasement du gousset

Choisissons  $e = 18 \text{ mm} < 3d$  donc  $Br = \emptyset$  et  $F_u$

$$Br = 0.9 \times 18 \times 4 \times 0.380 = 24.62 \text{ KN}$$

$$\text{Effort } P = 85.680 + 2 \times 4.541 + 2 \times 6.426 = 107.61 \text{ KN}$$

$$\frac{P}{n} = 5.978 \text{ KN} < Br \quad \text{OK}$$

avec  $n = 18$  boulons

Déchirure du gousset

$$l_e = 2 \times (30 + 18) \times \text{tg } 30^\circ = 55.43 \text{ mm}$$

$$A_n = (l_e - \sum D) t = (55.43 - 14) \times 4 = 165.72 \text{ mm}^2$$

$$Tr = \emptyset A_n F_y = 0.9 \times 165.72 \times 0.250 = 37.287 \text{ KN}$$

$$\text{or } (T_f)_{\max} = 2 \times 4.541 + 2 \times 1.593 + 8.568 = 20.836 \text{ KN}$$

$$Tr > T_f \quad \text{OK}$$

Estimation de l'aire brute de la surface cisailée

Pour ce gousset les efforts sont les suivants

$$C_f = 2 \times 6.426 = 12.852 \text{ KN}$$

$$T_f = 2 \times 4.541 + 85.680 = 94.762 \text{ KN}$$

$$V_f = 12.852 \frac{\sqrt{2}}{2} + 94.762 = 112.937 \text{ KN}$$

$$V_r = 0.50 \emptyset A_g F_y \geq V_f$$

$$A_g \geq \frac{112.937}{0.5 \times 0.9 \times 0.250} = 1003.9$$

Soit  $A_g = 1004 \text{ mm}^2$ . La plaque aura donc une hauteur de 251 mm.

Le gousset d'épaisseur  $t = 4 \text{ mm}$  convient.

### III. 3 DETAILS DE REALISATION

Il s'agit de passer en revue quelques aspects de réalisation du système de toiture proposé et qui nécessite des calculs et/ou des recommandations.

#### Couverture en plaques ondulées

Il existe un service spécialisé (de la Société Sénégalaise de l'Amiante-Ciment, SENAC) dans le domaine de ma mise en oeuvre d'une couverture en plaques ondulées. Donc si la réalisation est entreprise, il convient de faire appel à leur compétence.

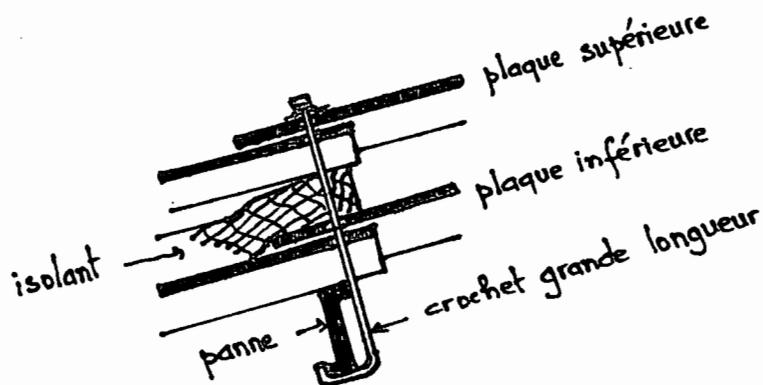
Les impératifs d'économie, de confort et de rendement incitent de plus en plus les constructeurs à étudier soigneusement les problèmes d'isolation thermique afin de réduire les déperditions calorifiques à travers la couverture. Pour les couvertures en plaques ondulées deux solutions peuvent être utilisées :

- la sous toiture à l'aide de matériaux plans en amiante-ciment
- la couverture double en plaques ondulées.

Nous ne retiendrons pas la première car nécessitant plus de matériaux (isolant, film, pare-vapeur... etc...).

La couverture double est composée d'une première couverture en plaques ondulées, de pannes entre lesquelles est disposé un isolant d'épaisseur 45 ou 75 mm [ réf. 2 ] et d'une seconde couverture en plaques ondulées.

Les plaques ondulées inférieures et supérieures peuvent être fixées avec les mêmes boulons crochets de grande longueur. Dans ce cas, les plaques sont rigoureusement superposées.



Il faut aussi tenir compte de la ventilation. Il est recommandé [réf. 2] de réaliser la ventilation de l'espace compris entre la couverture et l'isolant au moyen de deux séries d'ouvertures permettant d'une part l'entrée et d'autre part la sortie d'air en respectant les dispositions suivantes :

- les deux séries doivent comporter une différence d'attitude
- la distance entre les deux séries ne doit pas excéder 12 mètres, ce qui est le cas
- la hauteur de passage d'air doit être au minimum de 5 cm.

Une conception de ventilation n'est pas de notre ressort mais doit être envisagée pour les bâtiments à atux hygrométrique élevé.

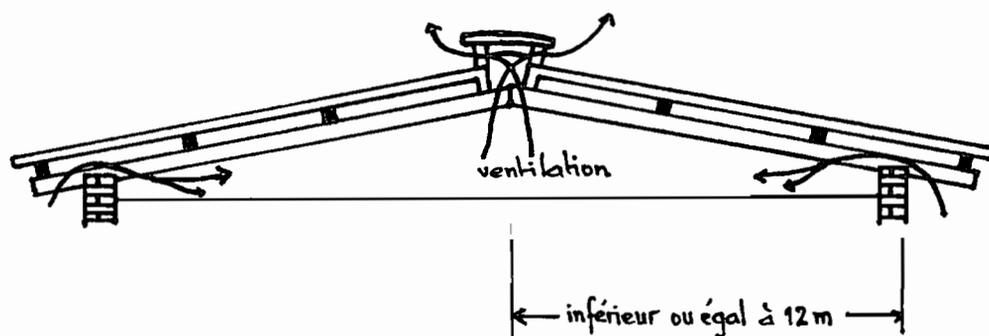


schéma de disposition de séries d'ouvertures

### Croisement

Au premier panneau de la moitié de ferme (extrémité gauche), deux diagonales repérées par D3 et D22 se croisent. Le choix des sections de ces éléments a tenu compte de ce croisement. En effet, si les éléments sont retenus, leur longueur de flambage est diminuée de moitié ce qui occasionne un gain appréciable de matière pour le choix des sections.

Elles seront boulonnées âme contre âme ; le constructeur trouvera le moyen adéquat pour réaliser cet assemblage.

Tirants

Les tirants ont pour but d'empêcher l'affaissement latéral des pannes dans le sens de la pente du toit.

Pour les calculs, on admet que les tirants supportent la composante de la charge permanente et de la surcharge agissant parallèlement à la surface du toit. La composante perpendiculaire à la surface du toit est reprise par les pannes. Les tirants les plus sollicités sont situés au sommet du toit puisqu'ils reprennent les efforts de traction de tous les tirants situés plus bas. Néanmoins, les tirants seront situés à la mi-portée seulement.

$$T_f = 332 \text{ N}$$

$$T_r = \phi A_n F_y \quad ; \quad T_f \leq T_r \implies T_f \leq \phi A_n F_y$$

$$A_n \geq \frac{T_f}{\phi F_y} = \frac{332}{0.9 \times 0.25} = 2 \text{ mm}^2$$

Nous retiendrons le choix de barres circulaires comme tirants ; pour faciliter l'assemblage et permettre d'appliquer une tension initiale dans les barres, ces dernières pourront être filetées. Dans ce cas on doit tenir compte dans les calculs de résistance que les filets réduisent d'environ 25 % de l'aire de la section.

D'après le tableau des filets standards (norme canadienne), la réduction peut être estimée à 22 % ce que nous retiendrons. Il est recommandé (par la même source) de ne pas choisir un diamètre de barre inférieur à 12 mm.

$$\text{Si } d = 12 \text{ mm} \implies A_n = 0.78 \frac{\pi d^2}{4} = 88.22 \text{ mm}^2$$

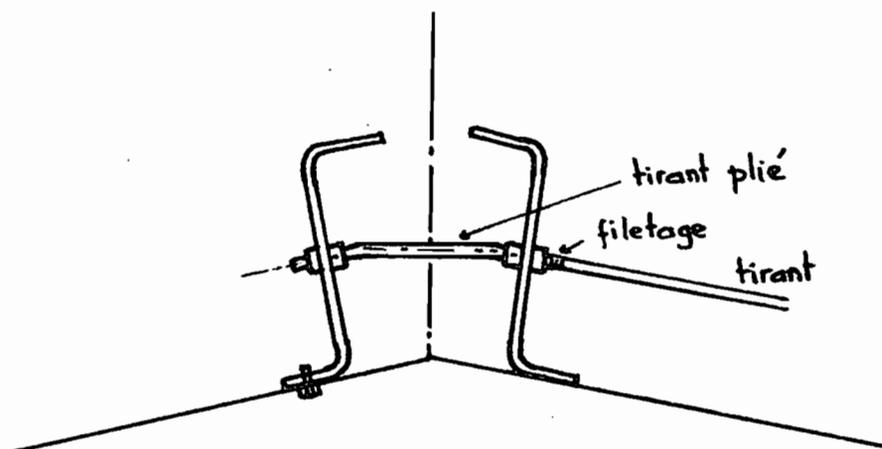
ce qui est largement suffisant.

Vérification pour la plastification de la section brute avant la rupture de la section nette

$$\left. \begin{aligned} A_n F_u &= 88.22 \times 0.380 = 33.52 \\ A_g F_y &= \frac{\pi (12)^2}{4} \times 0.250 = 28.27 \end{aligned} \right\} \implies A_n F_u > A_g F_y$$

$$T_r = 0.85 \phi A_n F_u = 25.65 \text{ KN} > T_f \quad \text{OK}$$

La suspenste sera installée au milieu de l'âme de la panne.  
 Pour réunir les deux pannes faitières opposées, il sera mis en place un tirant plié.



disposition des pannes faitières

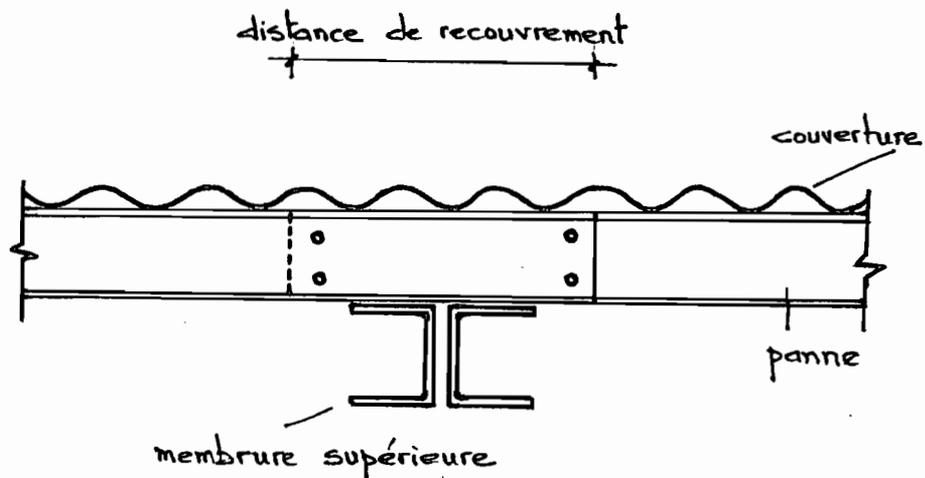
#### Recouvrement de pannes

Comme signalé précédemment, il est nécessaire de doubler la section au droit du moment négatif qui constitue l'effort critique. Le moment est ainsi réduit de moitié et la section choisie ne sera pas très grosse.

Les pannes devront donc se recouvrir sur une certaine distance et seront retenues par boulonnage.

Pour la détermination de la distance de recouvrement, l'analyse est réalisée sur le diagramme des moments relatifs aux charges supportées par les pannes.

Le boulonnage se fera à l'aide de boulons de diamètre 10 cm.  
 Il sera utilisé 4 boulons sur la distance de recouvrement. Ces  
 boulons seront placés aux extrémités suivant la disposition représentée  
 ci-dessous :



N.B. Les sections de pannes auront l'extrémité de l'aile inclinée  
 de  $30^\circ$  par rapport à l'horizontale sur une distance de  
 25 mm ; cette variante est introduite pour prévenir le  
 flambage local de l'aile.

IV

**E** TUDE ÉCONOMIQUE

Ce dernier volet que nous abordons est essentiellement réservé à l'économie du projet, précisément aux coûts générés par les divers aspects du sujet.

Nous passerons en revue les coûts occasionnés par le système de toiture avant de présenter quelques équipements susceptibles de servir de matériel de base à une unité industrielle de fabrication de profilés.

#### IV. 1 COÛTS DE REALISATION

##### IV. 1.1 Couverture

L'estimation du coût de la couverture en aminate-ciment nécessite une certaine démarche que nous présentons ci-dessous

Option : couverture OGF, Teinte Naturelle (TN) de 2 m.

Le mode opératoire est le suivant :

- détermination de la quantité de plaques (et faitières)
- détermination de la quantité de fixation
- évaluation du coût de main d'oeuvre pour la surface requise

##### Exemple de calcul

Données : surface à couvrir 5 m x 18 m  
 largeur utile de OGF.2 m : 1.050 m (6 ondes)  
 catalogue de prix

nombre de plaques dans le sens de la longueur

$$n_1 = \frac{18}{1.05} = 17.1 \quad n_1 = 18 \text{ plaques de 2 m}$$

nombre de plaques dans le sens de la largeur

$$n_2 = \frac{5}{1.050} = 4.8 \quad n_2 = 5 \text{ plaques de 2 m}$$

Chaque plaque amène deux (02) fixations par panne

$$\text{donc } f = 18 \times 2 \times 2 + 5 \times 2 \times 2 = 92$$

La main d'oeuvre est évaluée à 550 F CFA 1'heure

On estime qu'un temps de 3 h est nécessaire pour couvrir 10 m<sup>2</sup>

$$\text{donc } 550 \times 3 = 1.650 \text{ F CFA}$$

$$\text{Coût de main d'oeuvre pour } 90\text{m}^2 = 14.850 \text{ F CFA}$$

Récapitulatif des coûts (prix toutes taxes détail TTC - DT)

plaques	(18 x 3 + 5 x 10) x 5012	=	521 248
fixations	92 x 140	=	12 880
main d'oeuvre		=	14 850
faitières doubles grand modèle	18 x 1242	=	22 356
petit modèle	18 x 925	=	16 650
Total			587 984 F CFA

Le coût par m<sup>2</sup> est donc estimé à 6 500 F CFA

Remarques

- Si la teinte de la plaque n'est pas naturelle (elle peut avoir plusieurs couleurs), les prix s'en ressentiront ; par exemple pour la teinte rouge, le prix de la plaque de 2 m passe à 5 508 F CFA.
- Si un plaformage est aussi nécessaire, on en tiendra compte dans le calcul de coûts en déterminant le prix de plaque plane.

IV. 1.2 Charpente métallique

Le matériau "acier" étant commercialisé au kilogramme, nous ferons l'estimé des coûts pour la charpente de la ferme de 10 mètres de portée, et de longueur 18 m.

Poids de la charpente = 112 kg  
d'où un poids total de 560 kg (5 fermes espacées de 4.5 m)

Le poids des goussets est évalué à environ 10 % du poids de la charpente d'où 56 kg

Poids total d'acier 616 kg

Le bulletin de la Commission d'Officialisation des prix (du Bureau des prix du SENEGAL) propose comme prix moyen de tôles, 2 à 5 mm d'épaisseur 391 F CFA/kg (prix Hors TVA, Janvier 1985)

La TVA est d'environ 20 % d'où un prix brut d'acier

$$P_B = 391 \times 1.20 \times 616 = 289\,027.2 \text{ F CFA}$$

Le coût de fabrication de l'acier (pliage, boulons, etc...) est estimé à 50 % du prix brut donc 144 514 F CFA

$$\text{Prix total pondéré (TTC)} = 433\,550 \text{ F CFA}$$

Si l'acier est galvanisé, le prix est majoré de 40 % soit

$$610\,000 \text{ F CFA}$$

Conclusion ferme portée 10 m longueur 18 m

Le coût total de réalisation d'un tel système est estimé à environ deux (02) millions de francs CFA.

#### Elément de comparaison

Il existe une ferme de même type figurant dans la référence 9 "La charpente en fer, plus de 1000 solutions" ayant pour portée 10 m.

Le poids total d'acier est environ de 1800 kg d'où une différence de poids assez substantielle de 1184 kg.

Il est vrai aussi que la charge pondérée supportée par cette ferme est de 1000 kg/m alors qu'elle est d'environ 850 kg/m pour notre système de toiture.

En valeur relative, une différence de charge de 15 % se trouve en face d'un écart de poids de 66 %.

Il convient donc de reconnaître une certaine économie de poids dans l'utilisation de la solution profilés formés à froid par rapport à la solution profilés laminés.

Cette économie de poids serait estimée à environ 50 % ce qui constituerait une très importante réduction de coûts.

#### IV. 2 EQUIPEMENTS D'UNITE INDUSTRIELLE

Comme nous l'avons vu précédemment, le formage à froid des profilés donne lieu à un ensemble d'activités mécaniques liées à la nature du procédé de fabrication.

L'implantation d'une unité industrielle qui s'occuperait d'une telle tâche, nécessite une étude spéciale que nous sommes loin de pouvoir effectuer.

Nous nous bornerons, néanmoins, à souligner quelques aspects relatifs à l'équipement nécessaire.

Les articles principaux retenus pour le pliage à froid des profilés à partir de la tôle d'acier sont :

- le dérouleur
- la cisaille
- la plieuse

Ces articles doivent constituer la base d'une ligne de production, d'autres éléments pouvant y être adjoints. Ils devront aussi être importés ce qui occasionnera, à coup sur, des frais de transport et de douane entre autres.

Cet équipement existe à MONTREAL (CANADA) avec les caractéristiques suivantes :

Article	Poids (kg)	Gabarit (mètre)	Prix F.O.B. MONTREAL
Dérouleur	5000	1.5 x 2.0 x 3.0	20 000
Cisaille	21800	2.3 x 2.5 x 6.5	77 000
Plieuse	26300	1.8 x 3.3 x 6.3	82 000

les prix sont en dollars canadiens

FOB free on board

Pour avoir le prix FOB Dakar, il faut tenir compte des frais de transport qui peuvent être de deux natures :

- frais occasionnés par le poids de l'équipement
- frais occasionnés par le volume de l'équipement.

Nous nous limiterons uniquement à donner les prix pour les deux modèles et ce, pour chaque article.

Au taux de 350 F CFA le dollar canadien, les valeurs des articles sont :

dérouleur 7 millions CFA  
 cisaille 26 950 000 CFA  
 plieuse 28 700 000 CFA

PRIX TRANSIT SATA - FOINE (en CFA)

	DEROULEUR	CISAILLE	PLIEUSE
Au cubage	174 746	581 714	648 887
Au poids	204 345	689 350	807 113

La valeur globale de l'équipement rendu au port de Dakar, sans frais de douane, est évaluée à 65 millions de francs CFA.

### Conclusion

Cette évaluation du coût global de l'équipement permet de se rendre compte de l'importance de l'investissement initial qu'occasionnerait l'implantation d'une telle unité ; ce qui doit inciter à envisager une étude sérieuse d'implantation et par suite de rentabilité de l'opération.

 ONCLUSION

La conception d'une charpente réside dans la détermination des sections de ses éléments et leurs assemblages. Cette conception est basée sur le principe que la charpente doit résister à toutes les charges appliquées quelque soit leur combinaison. L'ingénieur en structures doit déterminer les charges ou combinaisons de charges qui donnent lieu aux forces internes maximales dans une structure ainsi que les déformations maximales.

C'est essentiellement cet ensemble de considérations que nous nous sommes efforcés de passer en revue tout au long de ce document. Les points suivants ont particulièrement retenu notre attention.

- Les charges appliquées sont faibles ce qui a pour but de permettre des efforts pas très importants dans les éléments ; cet avantage a permis de choisir des sections relativement petites.
- Les assemblages se sont avérés simples et nous avons alors choisi d'utiliser la soudure quand il était plus facile de la réaliser avant d'aller au chantier ; et de boulonner au chantier ne serait-ce que pour éviter des problèmes de manutention.
- Pour ne pas utiliser trop de boulons, nous proposons de changer les boulons M10 en M12, ceci ne changera pas les dimensions des sections.
- L'utilisation des profilés à froid évite les problèmes de disponibilité des matériaux puisque souvent, pour les laminés, l'on n'a pas exactement la section qu'il faut.
- L'économie de poids réalisée, en rapport avec les points soulignés précédemment, permet de dire que le système étudié peut et doit parfaitement convenir aux charpentes légères. Les sections des profilés à froid ayant à remplir une fonction porteuse répondront à la tendance à augmenter l'allègement par rapport à la force portante.

L'objectif premier de l'étude d'une charpente composée d'éléments formés à froid était de montrer que l'on peut, du moins en ce qui concerne les charpentes légères, envisager d'abandonner la solution conventionnelle "profilés laminés" à cause de l'économie de poids réalisée d'où une réduction des coûts de réalisation d'un système de toiture.

Notre étude se termine donc sur une note d'espoir puisque son objectif principal est atteint.

7) I S C U S S I O N   E T   R E C O M M A N D A T I O N S

Le domaine d'emploi des profilés formés à froid s'il s'étend à de nombreuses constructions n'en est pas moins limité. Cette restriction dans leur emploi peut être attribuée à plusieurs causes ; nous retiendrons les suivantes :

#### FORME DES PROFILS

Bon nombre de profilés utilisés ne diffèrent pas en principe des laminés correspondant ; leurs propriétés particulières résultent de la faible épaisseur de leurs parois des faces planes parallèles et des courbures vers l'extérieur données à certains bords.

Créer des profilés spécialement conçus pour la tôle procurant un maximum de rendement des possibilités du matériau est le but vers lequel il faut tendre.

#### CONTRAINTES ADMISSIBLES

Le peu d'éléments de calcul actuellement en place semble ne pas permettre de déterminer avec précision les charges susceptibles d'être supportées par les profilés minces formés à froid. Ainsi, dans tous nos calculs, les formules établies pour les laminés ont été appliquées même s'il y a eu une certaine adaptation. Dans le même ordre d'idées, les profilés choisis l'ont été de manière à éviter les risques de flambage local ; néanmoins, les contraintes admissibles sont restées faibles. Un relèvement de ces dernières pourrait donner aux profilés formés à froid un regain d'intérêt.

#### LA CORROSION

C'est un point que nous n'avons pas soulevé mais qui s'avère très important. En raison de l'épaisseur relativement mince des profilés formés à froid, il faut se prémunir contre les risques de corrosion. La peinture, procédé habituel classique, semble ne pas offrir toutes les garanties souhaitables. Il convient donc de s'orienter de plus en plus vers la galvanisation.

LE PRIX DE REVIENT

Il est clair que les constructions utilisant des profils formés à froid ne sauraient se maintenir que si elles comportent des avantages nets d'ordre économique par rapport au système classique.

Le procédé est intéressant pour des cas spéciaux où l'économie de poids prime tout. Sinon, il faudra trouver une méthode de production dont le coût soit relativement peu élevé. En outre, une standardisation sera nécessaire pour rendre rentable les outils et les gabarits spéciaux et réduire ainsi les prix actuels.

A P P E N D I C E 1

---

FERMES DE CHARPENTE INCLINEES A 0.05 m PAR m

## NOTES EXPLICATIVES

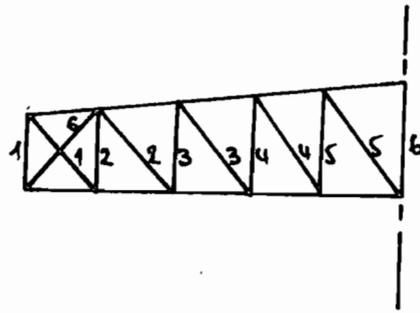
Les calculs ont été conduits en tenant compte des prescriptions des règles de la Construction Métallique.

L'ensemble des surcharges de VENT et d'UTILISATION le poids mort des éléments de charpente (toiture et couverture) ont été évalués en se plaçant dans le cas le plus favorable, en tenant compte de la pente de la membrure supérieure ainsi que du système de couverture autorisé. Les efforts dans les pièces ont été déterminés à l'aide d'un outil informatique utilisant un programme de "cadres rigides".

Les portées varient, par tranches de 2 mètres, depuis 10 mètres jusqu'à 20 mètres couvrant ainsi les cas les plus couramment rencontrés par les utilisateurs. Les espacements entre pannes varient de 1.0 à 2.0 m suivant les cas.

Les calculs relatifs aux pannes, aux goussets ainsi qu'aux joints de montage sont exclus de ces tableaux, mais les indications figurant dans le texte servent de modèle pour retrouver les résultats donnés. De même, les détails d'assemblage relatifs à la ferme de 10 mètres de portée pourront servir de modèle pour la réalisation des assemblages des autres portées.

## FERME PRATT - PORTEE 10 METRES

Dimensions (mm)

Membrure supérieure **C** 70 x 30 x 2  
 Membrure inférieure **JL** 45 x 45 x 3

Montants **C**Diagonales **C**

1	45 x 25 x 2	1	45 x 25 x 2
2	45 x 25 x 2	2	45 x 25 x 2
3	45 x 25 x 2	3	45 x 25 x 2
4	45 x 25 x 2	4	45 x 25 x 2
5	45 x 25 x 2	5	45 x 25 x 2
6	45 x 25 x 2	6	45 x 25 x 2

Profil de la panne **L** : 125 x 60 x 3

Profil de l'élément de stabilité latérale : **C** 45 x 25 x 2

Epaisseur de gousset d'assemblage : 4 mm

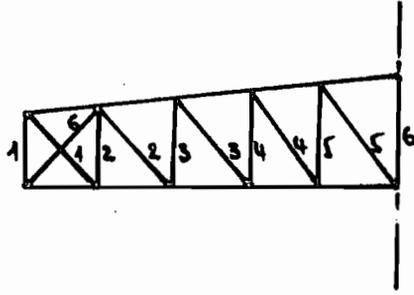
de cordon de soudure : 2 mm

de joint de montage : 4 mm

Diamètre des tirants : 12 mm

Poids de la charpente : 112 kg

FERME PRATT - PORTEE 12 METRES



Dimensions (mm)

Membrure supérieure  .80 x 35 x 2

Membrure inférieure  .45 x 45 x 3

Montants 

Diagonales 

1 45 x 25 x 2

1 45 x 25 x 2

2 45 x 25 x 2

2 55 x 35 x 2

3 45 x 25 x 2

3 45 x 25 x 2

4 45 x 25 x 2

4 55 x 35 x 2

5 45 x 25 x 2

5 55 x 35 x 2

6 45 x 25 x 2

6 55 x 35 x 2

Profil de la panne  : 125 x 60 x 3

Profil de l'élément de stabilité latérale :  45 x 25 x 2

Epaisseur de gousset d'assemblage : 4 mm

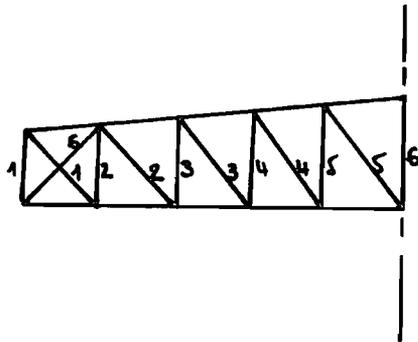
de cordon de soudure : 2 mm

de joint de montage : 6 mm

Diamètre des tirants : 12 mm

Poids de la charpente : 160 kg

## FERME PRATT - PORTEE 14 METRES

Dimensions (mm)

Membrure supérieure  70 x 35 x 3

Membrure inférieure  45 x 45 x 3

Montants 

Diagonales 

1 55 x 35 x 2

1 55 x 35 x 2

2 55 x 35 x 2

2 55 x 35 x 2

3 55 x 35 x 2

3 55 x 35 x 2

4 55 x 35 x 2

4 55 x 35 x 2

5 45 x 25 x 2

5 55 x 35 x 2

6 55 x 35 x 2

6 55 x 35 x 2

Profil de la panne  : 125 x 60 x 3

Profil de l'élément de stabilité latérale :  45 x 25 x 2

Epaisseur de gousset d'assemblage : 4 mm

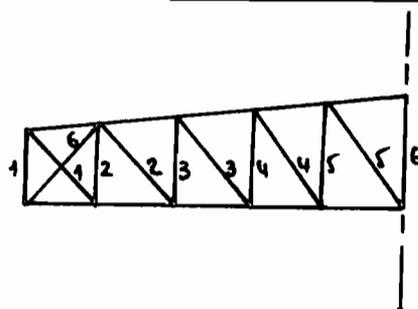
de cordon de soudure : 2 mm

de joint de montage : 6 mm

Diamètre des tirants : 12 mm

Poids de la charpente : 225 kg

## FERME PRATT - PORTEE 16 METRES

Dimensions (mm)

Membrure supérieure **I** 80 x 40 x 3

Membrure inférieure **JL** 70 x 50 x 3

Montants **C**

1	50 x 30 x 3
2	50 x 30 x 3
3	50 x 30 x 3
4	50 x 30 x 3
5	50 x 30 x 3
6	50 x 30 x 3

Diagonales **C**

1	50 x 30 x 3
2	50 x 30 x 3
3	50 x 30 x 3
4	50 x 30 x 3
5	50 x 30 x 3
6	50 x 30 x 3

Profil de la panne **L** : 150 x 60 x 3

Profil de l'élément de stabilité latérale : **C** 50 x 30 x 3

Epaisseur de gousset d'assemblage : 6 mm

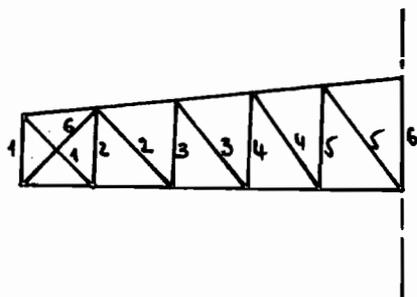
de cordon de soudure : 2 mm

de joint de montage : 6 mm

Diamètre des tirants : 12 mm

Poids de la charpente : 315 kg

## FERME PRATT - PORTEE 18 METRES

Dimensions (mm)

Membrure supérieure **C** 90 x 45 x 3

Membrure inférieure **JL** 70 x 50 x 3

Montants **C**

Diagonales **C**

1 50 x 30 x 3

1 50 x 40 x 3

2 50 x 30 x 3

2 50 x 40 x 3

3 50 x 40 x 3

3 50 x 40 x 3

4 50 x 30 x 3

4 50 x 40 x 3

5 50 x 30 x 3

5 50 x 40 x 3

6 50 x 40 x 3

6 50 x 40 x 3

Profil de la panne **L** : 150 x 60 x 3

Profil de l'élément de stabilité latérale : **C** 50 x 30 x 3

Epaisseur de gousset d'assemblage : 6 mm

de cordon de soudure : 2 mm

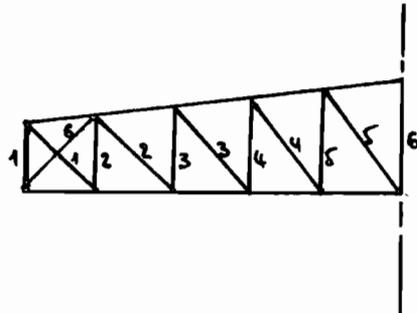
de joint de montage : 6 mm

Diamètre des tirants : 12 mm

Poids de la charpente : 385 kg

FERME PRATT - PORTEE 20 METRES

---



Dimensions (mm)

Membrure supérieure **JC** 100 x 50 x 3  
 Membrure inférieure **JL** 70 x 50 x 3

Montants <b>C</b>		Diagonales <b>C</b>	
1	50 x 40 x 3	1	50 x 40 x 3
2	50 x 40 x 3	2	50 x 40 x 3
3	50 x 40 x 3	3	50 x 40 x 3
4	50 x 40 x 3	4	50 x 45 x 3
5	50 x 40 x 3	5	50 x 45 x 3
6	50 x 40 x 3	6	50 x 40 x 3

Profil de la panne  : 150 x 60 x 3

Profil de l'élément de stabilité latérale : **C** 50 x 30 x 3

Epaisseur de gousset d'assemblage : 6 mm

de cordon de soudure : 2 mm

de joint de montage : 6 mm

Diamètre des tirants : 12 mm

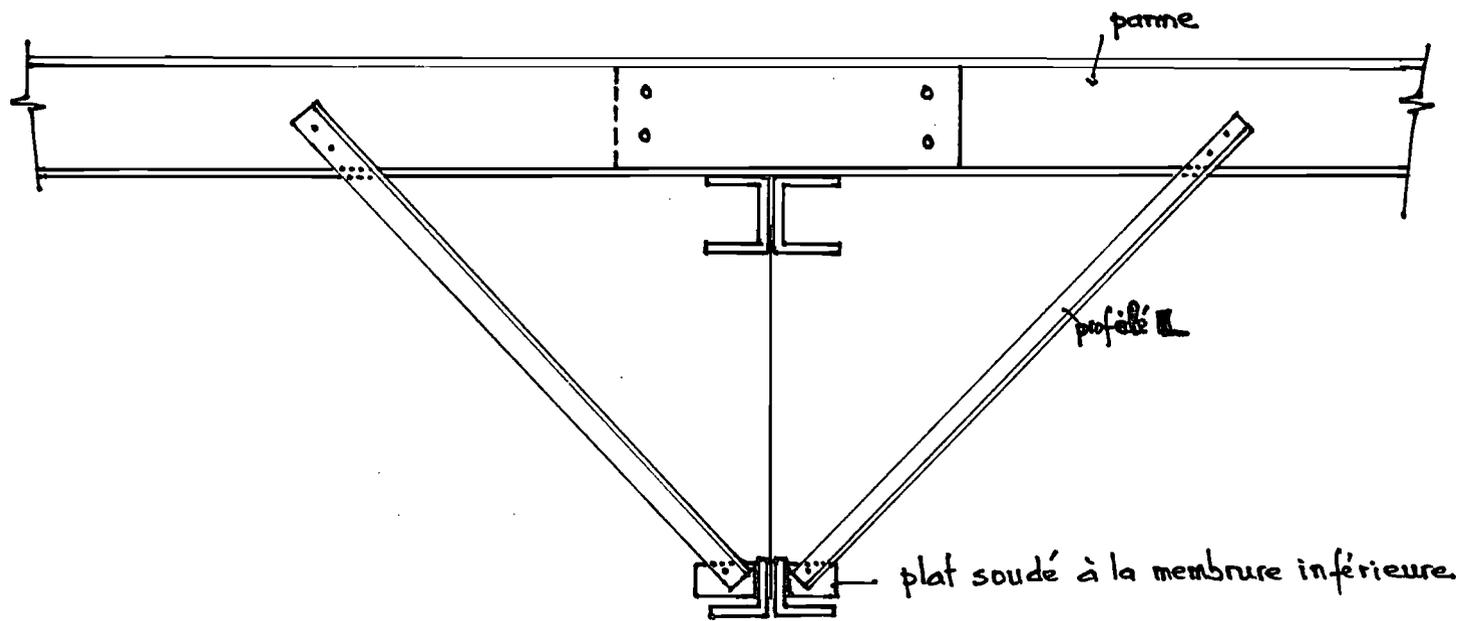
Poids de la charpente : 455 kg

A P P E N D I C E 2

---

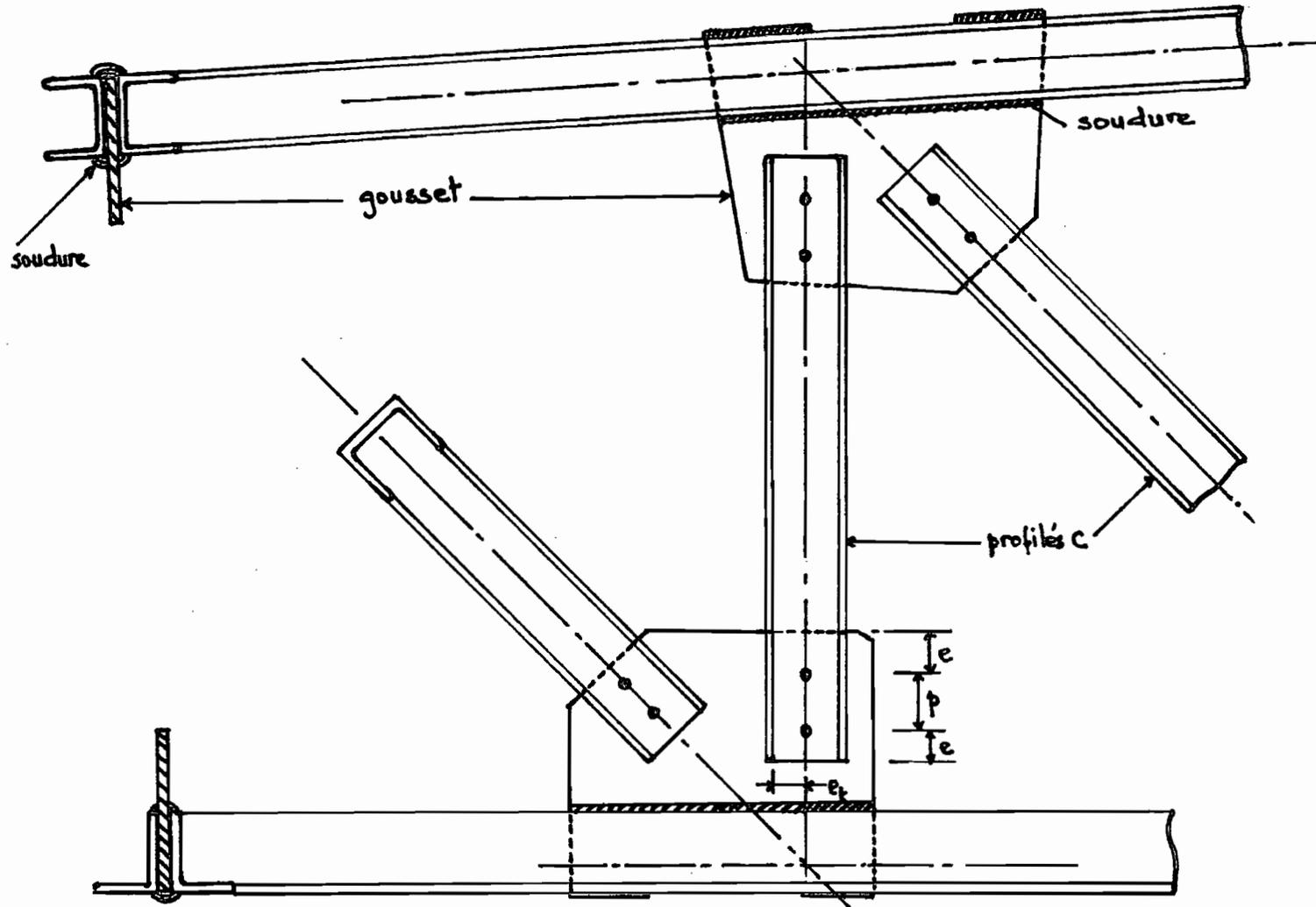
TABLEAUX ET FIGURES

fig A système pour stabilité latérale



détail d'assemblage

fig B ferme PRATT



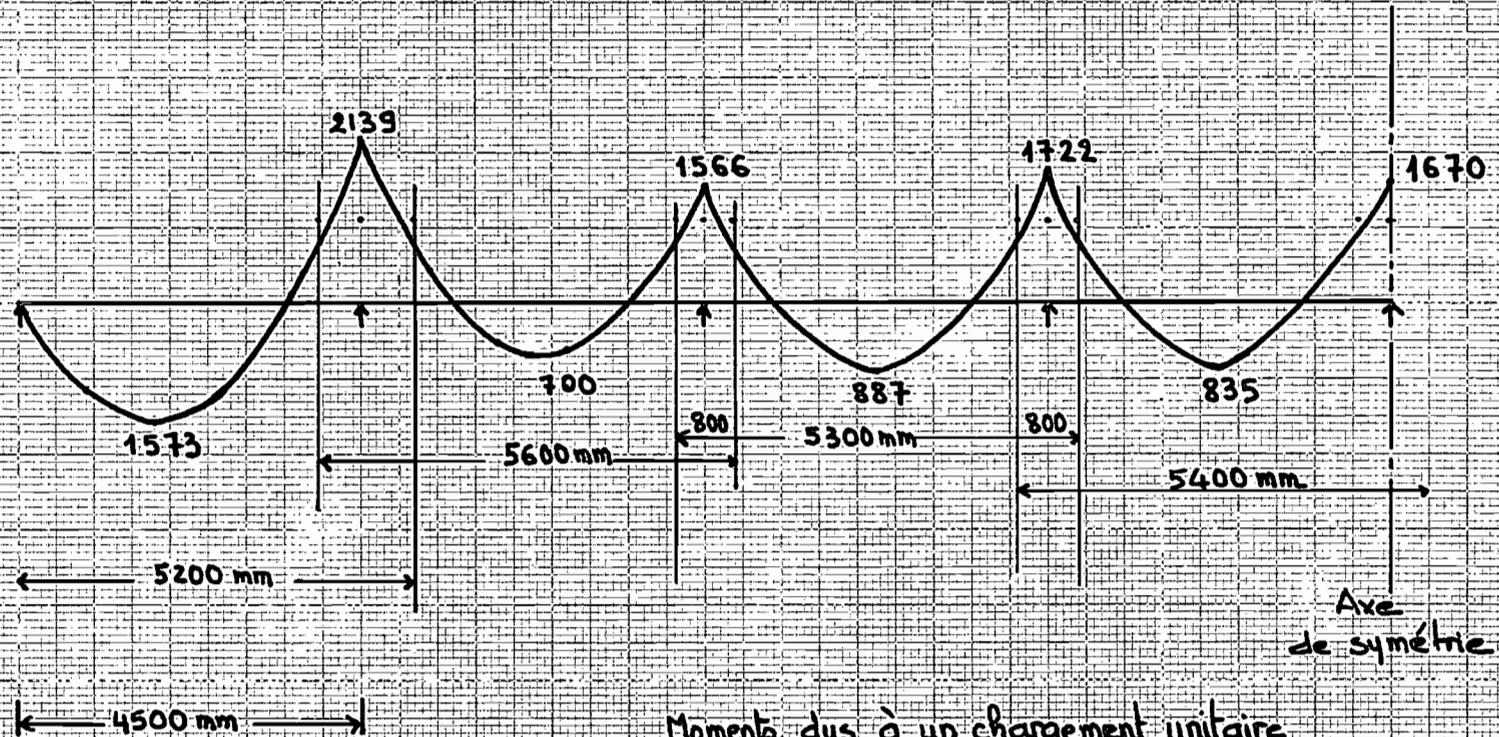
78

78

détail d'assemblages

fig. C CALCUL des pannes

- distribution des moments
- distances de recouvrement



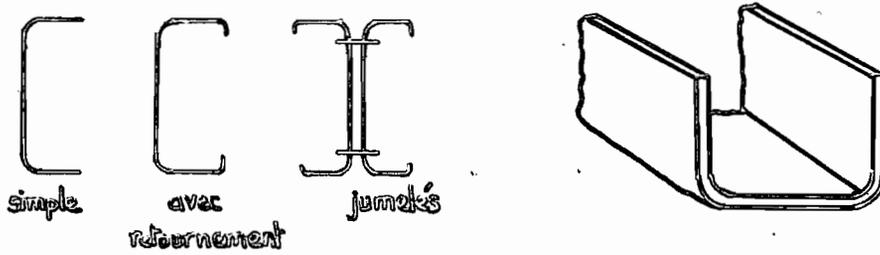
Moments dus à un chargement unitaire

Moments en KN.mm

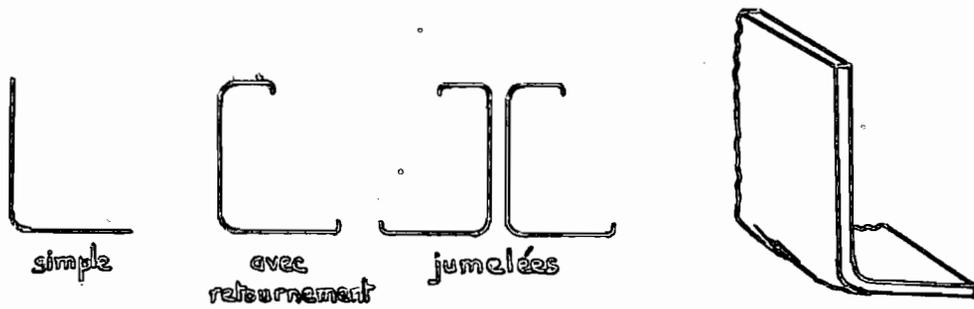
figure D

PROFILÉS PLIÉS COURANTS  
UTILISÉS DANS LES STRUCTURES

## FERS C



## CORNIÈRES



## PROFILES ZED

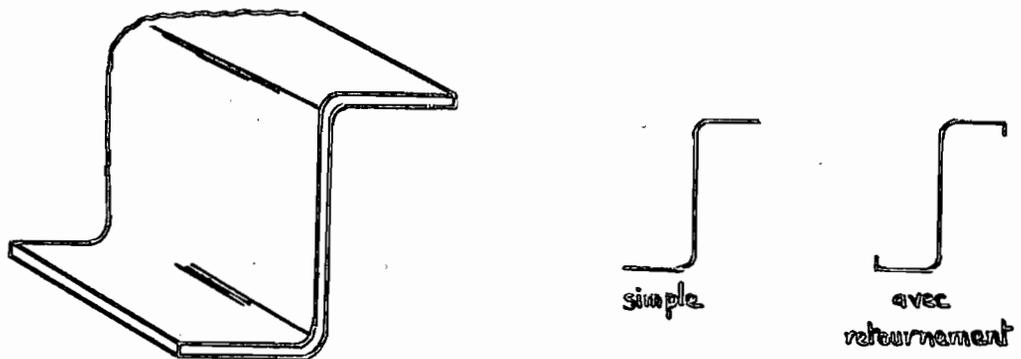


Tableau 2.1

VALEURS DES CHARGES PONDEREES SELON LA PORTEE

PORTEE (m)	LARGEUR TRIBUTAIRE (m)	1ère mise en charge		2nde mise en charge	
		KN/ml	KN	KN/ml	KN
10	1.0	- 1.77	- 1.77	7.14	7.14
12	1.2	- 1.77	- 2.12	6.87	8.24
14	1.4	- 1.77	- 2.48	6.66	9.32
16	1.6	- 1.77	- 2.83	6.48	10.37
18	1.8	- 1.77	- 3.19	6.34	11.41
20	2.0	- 1.77	- 3.54	6.22	12.44

Tableau 2.2

Valeurs de résistance pour les éléments  
de la ferme de 10 mètres de portée

Élément	Longueur de flambage (mm)	Résistance en compression (KN)	Résistance en tension (KN)
Membrure supérieure	1010	87.914	113.4
Membrure inférieure	1000	65.120	90.45
Montants V1	600	33.708	40.950
V5	700	30.404	
V9	800	26.482	
V13	900	21.768	
V17	1000	18.029	
V21	1100	15.262	
Diagonales D3	1150	14.142	
D7	1225	12.711	
D11	1250	12.290	
D15	1350	10.614	
D19	1425	9.560	
D22	612.5	31.616	

Tableau 2.3.a

Effort dans les membrures dus aux charges de gravité (en KN)

		PORTEE					
		10 M	12 M	14 M	16 M	18 M	20 M
Membrure supérieure		- 86.108	- 99.226	- 106.184	- 128.112	- 141.323	- 155.251
Membrure inférieure		+ 85.680	+ 98.880	+ 105.790	+ 127.635	+ 140.833	+ 154.692
M O N T A N T S	V1	- 18.571	- 20.971	- 23.375	- 26.735	- 29.280	- 32.059
	V5	- 12.859	- 14.972	- 16.712	- 18.904	- 20.846	- 22.740
	V9	- 17.850	- 22.248	- 25.404	- 27.222	- 30.489	- 32.903
	V13	- 9.518	- 12.731	- 14.671	- 15.192	- 17.297	- 18.484
	V17	- 2.142	- 4.120	- 4.912	- 4.386	- 5.372	- 5.510
	V21	+ 4.541	+ 3.807	+ 4.074	+ 5.485	+ 5.558	+ 6.368
D I A G O N A L E S	D3	+ 24.997	+ 26.994	+ 28.753	+ 35.661	+ 38.726	+ 42.904
	D7	+ 31.123	+ 37.080	+ 40.662	+ 46.914	+ 52.075	+ 56.827
	D11	+ 15.237	+ 19.891	+ 22.116	+ 24.316	+ 27.566	+ 29.708
	D15	+ 3.199	+ 6.098	+ 7.046	+ 6.607	+ 8.101	+ 8.346
	D19	- 6.426	- 5.381	- 5.611	- 7.860	- 7.966	- 9.168
	D22	- 29.859	- 33.718	- 37.167	- 43.283	- 47.443	- 52.072

Tableau 2.3.b Efforts dans les membrures dus au soulèvement (en KN)

		PORTEE					
		10 M	12 M	14 M	16 M	18 M	20 M
Membrure supérieure		+ 21.346	+ 25.529	+ 28.255	+ 34.962	+ 39.511	+ 44.179
Membrure inférieure		- 21.240	- 25.440	- 28.150	- 34.832	- 39.374	- 44.020
M O N T A N T S	V1	+ 4.604	+ 5.395	+ 6.220	+ 7.296	+ 8.186	+ 9.123
	V5	+ 3.188	+ 3.852	+ 4.447	+ 5.159	+ 5.828	+ 6.471
	V9	+ 4.425	+ 5.724	+ 6.760	+ 7.429	+ 8.524	+ 9.363
	V13	+ 2.359	+ 3.275	+ 3.904	+ 4.146	+ 4.836	+ 5.260
	V17	+ 0.531	+ 1.060	+ 1.307	+ 1.197	+ 1.502	+ 1.568
	V21	- 1.126	- 0.979	- 1.084	- 1.497	- 1.554	- 1.812
D I A G O N A L E S	D3	- 6.197	- 6.945	- 7.651	- 9.732	- 10.827	- 12.209
	D7	- 7.715	- 9.540	- 10.820	- 12.803	- 14.559	- 16.171
	D11	- 3.777	- 5.118	- 5.885	- 6.636	- 7.707	- 8.454
	D15	- 0.793	- 1.569	- 1.875	- 1.803	- 2.265	- 2.375
	D19	+ 1.593	+ 1.384	+ 1.493	+ 2.145	+ 2.227	+ 2.609
	D22	+ 7.402	+ 8.675	+ 9.890	+ 11.812	+ 13.264	+ 14.818

A P P E N D I C E 3

---

RESULTATS DIVERS

DETERMINATION DES EFFORTS

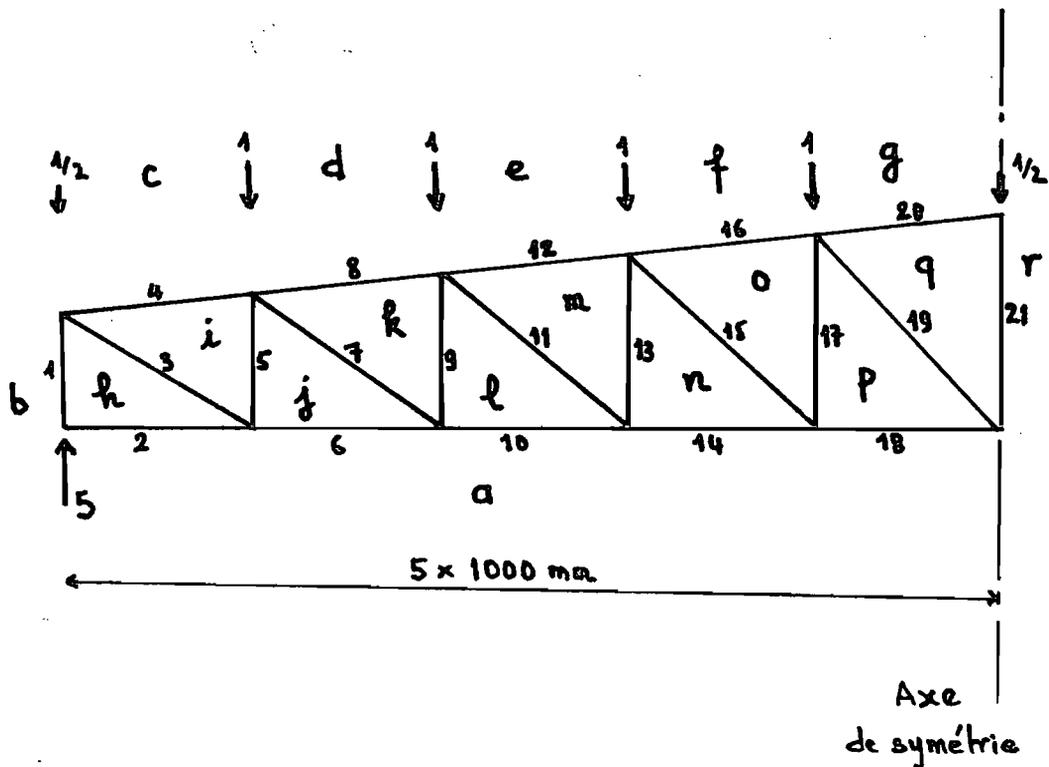
EXEMPLE DE CALCUL

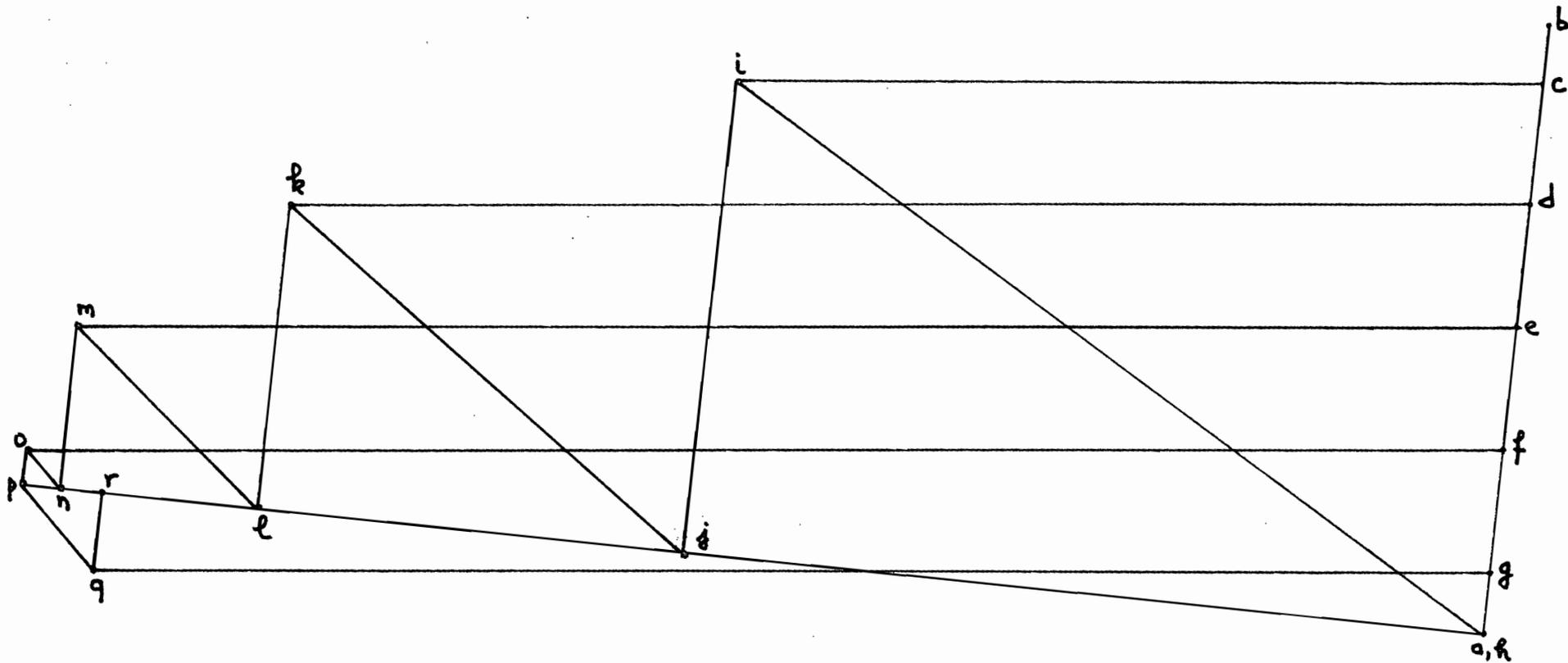
- Structure utilisée :
- ferme type PRATT
  - portée 10 m
  - rapport des hauteurs 600 au bout  
1100 au milieu

Des charges unitaires ont été appliquées aux noeuds.

Pour déterminer les efforts dans les éléments, il a été utilisé la méthode du Cremona.

Les résultats obtenus seront comparés à ceux donnés par le programme d'ordinateur. Ainsi, on vérifiera que le programme est valable pour ce qui concerne ce problème précis de détermination des efforts.





Echelle 2 cm  $\equiv$  1 kN

A partir du CREMONA on a les résultats suivants :

Membrure	Identification	Nature de l'effort	Distance cm	Effort KN
1	bh	C	10	5
2	ah	-	0	0
3	hi	T	15	7.5
4	ci	C	12.9	6.45
5	ij	C	7.7	3.85
6	aj	T	12.85	6.425
7	jk	T	8.5	4.25
8	dk	C	19.9	9.95
9	kl	C	5	2.5
10	al	T	19.8	9.9
11	ml	T	4.2	2.1
12	em	C	23.1	11.55
13	mn	C	2.66	1.33
14	an	T	23	11.5
15	no	T	0.90	0.45
16	of	C	23.8	11.9
17	op	C	0.6	0.3
18	ap	T	23.6	11.8
19	pq	C	1.9	0.95
20	qg	C	22.5	11.25
21	qr	T	1.3	0.65

## RESULTATS DONNES PAR LE PROGRAMME D'ORDINATEUR

ELEMENT	NOEUDS		NATURE DE L'EFFORT	EFFORT (KN)
1	1	2	C	5.000
2	1	3	-	0.000
3	2	3	T	7.497
4	2	4	C	6.461
5	3	4	C	3.857
6	3	5	T	6.429
7	4	5	T	4.360
8	4	6	C	10.050
9	5	6	C	2.500
10	5	7	T	10.000
11	6	7	T	2.134
12	6	8	C	11.725
13	7	8	C	1.333
14	7	9	T	11.667
15	8	9	T	0.448
16	8	10	C	12.060
17	9	10	C	0.300
18	9	11	T	12.000
19	10	11	C	0.900
20	10	12	C	11.421
21	11	12	T	0.636

C O N C L U S I O N

A travers les résultats obtenus, il convient de dire qu'il y a une certaine concordance entre les valeurs trouvées. Ceci permet de faire confiance aux résultats donnés par le programme d'ordinateur pour ce cas précis de calcul d'efforts.

Seulement on pourra retenir le principe que pour les calculs subséquents on fera une vérification des résultats d'ordinateur en choisissant une membrure quelconque dont on déterminera l'effort.

## PROJET FIN ETUDE 1

Problem Name: SASY1

FERME PRATT , 10M

## NODE COORDINATES:

NODE #	X COORD.	Y COORD.	Z COORD.
1	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
2	0.00000E+00	6.00000E+02	0.00000E+00
3	1.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
4	1.00000E+03	7.00000E+02	0.00000E+00
5	2.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
6	2.00000E+03	8.00000E+02	0.00000E+00
7	3.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
8	3.00000E+03	9.00000E+02	0.00000E+00
9	4.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
10	4.00000E+03	1.00000E+03	0.00000E+00
11	5.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
12	5.00000E+03	1.10000E+03	0.00000E+00

## MATERIAL PROPERTIES:

MAT #	AREA	E	G	J	IY	IZ
1	2.00000E+03	2.00000E+05	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+01

## PROBLEM GEOMETRY:

ELEMENT #	MAT #	NODE #1	NODE #2	NODE #3	NODE #4	ANGLE OF RDLL
1	1	1	2	0	0	0.00000E+00
2	1	1	3	0	0	0.00000E+00
3	1	2	3	0	0	0.00000E+00
4	1	2	4	0	0	0.00000E+00
5	1	3	4	0	0	0.00000E+00
6	1	3	5	0	0	0.00000E+00
7	1	4	5	0	0	0.00000E+00
8	1	4	6	0	0	0.00000E+00
9	1	5	6	0	0	0.00000E+00
10	1	5	7	0	0	0.00000E+00
11	1	6	7	0	0	0.00000E+00
12	1	6	8	0	0	0.00000E+00
13	1	7	8	0	0	0.00000E+00
14	1	7	9	0	0	0.00000E+00
15	1	8	9	0	0	0.00000E+00
16	1	8	10	0	0	0.00000E+00
17	1	9	10	0	0	0.00000E+00
18	1	9	11	0	0	0.00000E+00
19	1	10	11	0	0	0.00000E+00
20	1	10	12	0	0	0.00000E+00
21	1	11	12	0	0	0.00000E+00
22	1	1	4	0	0	0.00000E+00

## NODE LOADS:

NODE #	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
2	0.00000E+00	-5.00000E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
6	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
8	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
10	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
12	0.00000E+00	-5.00000E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

## NODE RESTRAINTS:

NODE #	X	Y	Z	RX	RY	RZ	VALUE
1	0	1	0	0	0	0	0.00000E+00
11	1	0	0	0	0	0	0.00000E+00
12	1	0	0	0	0	0	0.00000E+00

## ELEMENT FORCES:

ELEM #	NODE #	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	1	2.60149E+00	-3.59688E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.18519E-04
	2	-2.60149E+00	3.59688E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.72930E-05
2	1	-3.42626E+00	2.34467E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.80682E-05
	3	3.42626E+00	-2.34467E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.46400E-04
3	2	-3.50106E+00	-1.19209E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.16900E-06
	3	3.50106E+00	1.19209E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.22676E-05
4	2	3.01711E+00	1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	9.41238E-05
	4	-3.01711E+00	-1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.38602E-04
5	3	1.80127E+00	-7.04867E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.46063E-04
	4	-1.80127E+00	7.04867E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.47343E-04
6	3	-6.42840E+00	3.02839E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.73970E-05
	5	6.42840E+00	-3.02839E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.45444E-04
7	4	-4.35938E+00	-2.14577E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.04345E-05
	5	4.35938E+00	2.14577E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	9.43537E-05
8	4	1.00496E+01	4.76837E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	9.16715E-05
	6	-1.00496E+01	-4.76837E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.23957E-04
9	5	2.49989E+00	-4.82165E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.20679E-04
	6	-2.49989E+00	4.82165E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.65053E-04
10	5	-9.99973E+00	4.74280E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.19117E-04
	7	9.99973E+00	-4.74280E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.66546E-04
11	6	-2.13427E+00	-3.21865E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.10362E-04
	7	2.13427E+00	3.21865E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	7.79540E-05
12	6	1.17245E+01	1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.85419E-05
	8	-1.17245E+01	-1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.31725E-04
13	7	1.33328E+00	-1.34402E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-8.29824E-05
	8	-1.33328E+00	1.34402E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.79797E-05
14	7	-1.16663E+01	-4.35470E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.61519E-04
	9	1.16663E+01	4.35470E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.17972E-04
15	8	-4.48431E-01	4.14252E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.56020E-05
	9	4.48431E-01	-4.14252E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.20367E-05
16	8	1.20595E+01	-1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.81444E-05
	10	-1.20595E+01	1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.84491E-04
17	9	2.99988E-01	8.03954E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.76694E-05
	10	-2.99988E-01	-8.03954E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.27259E-05
18	9	-1.19996E+01	-2.20663E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.17680E-04
	11	1.19996E+01	2.20663E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.98584E-06
19	10	8.99949E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-7.74761E-05
	11	-8.99949E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.24761E-05
20	10	1.14199E+01	-1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.69741E-04
	12	-1.14199E+01	1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.01866E-05
21	11	-6.36322E-01	-5.42518E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.94916E-05
	12	6.36322E-01	5.42518E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.01854E-05
22	1	4.18229E+00	-3.45707E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.04509E-05
	4	-4.18229E+00	3.45707E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	7.75039E-05

NODE DISPLACEMENTS:

NODE #	X	Y	Z	RX	RY	RZ
1	-1.08801E-04	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.61947E-07
2	4.41746E-05	-3.90224E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.58763E-07
3	-1.00235E-04	-2.64425E-04	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.47364E-07
4	6.29239E-05	-2.67577E-04	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.47588E-07
5	-8.41644E-05	-5.00901E-04	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.00352E-07
6	6.13810E-05	-5.05901E-04	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.89227E-07
7	-5.91650E-05	-6.67522E-04	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.28936E-07
8	4.82387E-05	-6.70522E-04	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.18811E-07
9	-2.99992E-05	-7.59708E-04	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.90635E-08
10	2.67821E-05	-7.60458E-04	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.77994E-08
11	0.00000E+00	-7.82740E-04	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.38980E-09
12	0.00000E+00	-7.80990E-04	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-8.05889E-11

NODE REACTIONS:

NODE #	X	Y	Z	MX	MY	MZ
1	0.00000E+00	4.99988E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
11	1.13633E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

## FERME PRATT, 12M.

Problem Name: SAMBOU1

## NODE COORDINATES:

NODE #	X COORD.	Y COORD.	Z COORD.
1	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
2	0.00000E+00	8.00000E+02	0.00000E+00
3	1.20000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
4	1.20000E+03	9.00000E+02	0.00000E+00
5	2.40000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
6	2.40000E+03	1.00000E+03	0.00000E+00
7	3.60000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
8	3.60000E+03	1.10000E+03	0.00000E+00
9	4.80000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
10	4.80000E+03	1.20000E+03	0.00000E+00
11	6.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
12	6.00000E+03	1.30000E+03	0.00000E+00

## MATERIAL PROPERTIES:

MAT #	AREA	E	G	J	IY	IZ
1	2.00000E+03	2.00000E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+01

## PROBLEM GEOMETRY:

ELEMENT #	MAT #	NODE #1	NODE #2	NODE #3	NODE #4	ANGLE OF ROLL
1	1	1	2	0	0	0.00000E+00
2	1	1	3	0	0	0.00000E+00
3	1	2	3	0	0	0.00000E+00
4	1	2	4	0	0	0.00000E+00
5	1	3	4	0	0	0.00000E+00
6	1	3	5	0	0	0.00000E+00
7	1	4	5	0	0	0.00000E+00
8	1	4	6	0	0	0.00000E+00
9	1	5	6	0	0	0.00000E+00
10	1	5	7	0	0	0.00000E+00
11	1	6	7	0	0	0.00000E+00
12	1	6	8	0	0	0.00000E+00
13	1	7	8	0	0	0.00000E+00
14	1	7	9	0	0	0.00000E+00
15	1	8	9	0	0	0.00000E+00
16	1	8	10	0	0	0.00000E+00
17	1	9	10	0	0	0.00000E+00
18	1	9	11	0	0	0.00000E+00
19	1	10	11	0	0	0.00000E+00
20	1	10	12	0	0	0.00000E+00
21	1	11	12	0	0	0.00000E+00
22	1	1	4	0	0	0.00000E+00

## NODE LOADS:

NODE #	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
2	0.00000E+00	-5.00000E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
6	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
8	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
10	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
12	0.00000E+00	-5.00000E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

## NODE RESTRAINTS:

NODE #	X	Y	Z	RX	RY	RZ	VALUE
1	0	1	0	0	0	0	0.00000E+00
11	1	0	0	0	0	0	0.00000E+00
12	1	0	0	0	0	0	0.00000E+00

## ELEMENT FORCES:

ELEM #	NODE #	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	1	2.54462E+00	-1.93858E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-8.61457E-05
	2	-2.54462E+00	1.93858E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.89405E-05
2	1	-3.27390E+00	1.46425E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.79744E-05
	3	3.27390E+00	-1.46425E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.07737E-04
3	2	-3.27642E+00	3.21865E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.07903E-06
	3	3.27642E+00	-3.21865E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.84615E-05
4	2	2.73560E+00	1.93715E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	7.40203E-05
	4	-2.73560E+00	-1.93715E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	9.96196E-05
5	3	1.81743E+00	-4.28466E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.91074E-04
	4	-1.81743E+00	4.28466E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.94546E-04
6	3	-6.00005E+00	2.22393E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.48748E-05
	5	6.00005E+00	-2.22393E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.01997E-04
7	4	-4.50003E+00	1.90735E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.70289E-05
	5	4.50003E+00	-1.90735E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.47524E-05
8	4	9.63335E+00	3.57628E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	9.40558E-05
	6	-9.63335E+00	-3.57628E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.65799E-04
9	5	2.70001E+00	-3.41666E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.90401E-04
	6	-2.70001E+00	3.41666E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.51266E-04
10	5	-9.60006E+00	5.93897E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-7.63497E-05
	7	9.60006E+00	-5.93897E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.47617E-04
11	6	-2.41405E+00	-2.38419E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.03959E-05
	7	2.41405E+00	2.38419E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.66068E-05
12	6	1.14943E+01	2.38419E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.41378E-05
	8	-1.14943E+01	-2.38419E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.98132E-04
13	7	1.54541E+00	-1.21260E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-8.39759E-05
	8	-1.54541E+00	1.21260E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.94099E-05
14	7	-1.14546E+01	-1.01965E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.20248E-04
	9	1.14546E+01	1.01965E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.08012E-04
15	8	-7.39905E-01	-3.03984E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-8.05337E-05
	9	7.39905E-01	3.03984E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.43725E-05
16	8	1.20416E+01	2.38419E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.81890E-05
	10	-1.20416E+01	-2.38419E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.64038E-04
17	9	4.99969E-01	3.23527E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.18329E-06
	10	-4.99969E-01	-3.23527E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.76401E-05
18	9	-1.20000E+01	-1.37746E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.73569E-04
	11	1.20000E+01	1.37746E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.27388E-06
19	10	6.52749E-01	-5.96046E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.84729E-05
	11	-6.52749E-01	5.96046E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.43307E-05
20	10	1.15785E+01	-5.96046E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.33205E-04
	12	-1.15785E+01	5.96046E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.77348E-05
21	11	-4.61548E-01	-5.41078E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.26058E-05
	12	4.61548E-01	5.41078E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.77343E-05
22	1	4.09238E+00	4.76837E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.81717E-05
	4	-4.09238E+00	-4.76837E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.78983E-05

## NODE DISPLACEMENTS:

NODE #	X	Y	Z	RX	RY	RZ
1	-1.26986E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.49513E-04
2	6.71128E-02	-5.08923E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.46072E-04
3	-1.17164E-01	-3.02801E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.37585E-04
4	8.39991E-02	-3.06891E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.38366E-04
5	-9.91639E-02	-5.79233E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.96448E-04
6	7.81560E-02	-5.85983E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.86664E-04
7	-7.03637E-02	-7.78933E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.29258E-04
8	5.98669E-02	-7.83183E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.19752E-04
9	-3.60000E-02	-8.92221E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.07796E-05
10	3.27028E-02	-8.93721E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.98426E-05
11	0.00000E+00	-9.22507E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.22671E-06
12	0.00000E+00	-9.21007E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.39348E-06

## NODE REACTIONS:

NODE #	X	Y	Z	MX	MY	MZ
1	0.00000E+00	5.00005E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
11	1.15384E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
12	-1.15385E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

FERME PRATT, 14M

Problem Name: SAMBOU2

## NODE COORDINATES:

NODE #	X COORD.	Y COORD.	Z COORD.
1	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
2	0.00000E+00	1.00000E+03	0.00000E+00
3	1.40000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
4	1.40000E+03	1.12000E+03	0.00000E+00
5	2.80000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
6	2.80000E+03	1.24000E+03	0.00000E+00
7	4.20000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
8	4.20000E+03	1.36000E+03	0.00000E+00
9	5.60000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
10	5.60000E+03	1.48000E+03	0.00000E+00
11	7.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
12	7.00000E+03	1.60000E+03	0.00000E+00

## MATERIAL PROPERTIES:

MAT #	AREA	E	G	J	IY	IZ
1	2.00000E+03	2.00000E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+01

## PROBLEM GEOMETRY:

ELEMENT #	MAT #	NODE #1	NODE #2	NODE #3	NODE #4	ANGLE OF ROLL
1	1	1	2	0	0	0.00000E+00
2	1	1	3	0	0	0.00000E+00
3	1	2	3	0	0	0.00000E+00
4	1	2	4	0	0	0.00000E+00
5	1	3	4	0	0	0.00000E+00
6	1	3	5	0	0	0.00000E+00
7	1	4	5	0	0	0.00000E+00
8	1	4	6	0	0	0.00000E+00
9	1	5	6	0	0	0.00000E+00
10	1	5	7	0	0	0.00000E+00
11	1	6	7	0	0	0.00000E+00
12	1	6	8	0	0	0.00000E+00
13	1	7	8	0	0	0.00000E+00
14	1	7	9	0	0	0.00000E+00
15	1	8	9	0	0	0.00000E+00
16	1	8	10	0	0	0.00000E+00
17	1	9	10	0	0	0.00000E+00
18	1	9	11	0	0	0.00000E+00
19	1	10	11	0	0	0.00000E+00
20	1	10	12	0	0	0.00000E+00
21	1	11	12	0	0	0.00000E+00
22	1	1	4	0	0	0.00000E+00

## NODE LOADS:

NODE #	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
2	0.00000E+00	-5.00000E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
6	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
8	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
10	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
12	0.00000E+00	-5.00000E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

## NODE RESTRAINTS:

NODE #	X	Y	Z	RX	RY	RZ	VALUE
1	0	1	0	0	0	0	0.00000E+00
11	1	0	0	0	0	0	0.00000E+00
12	1	0	0	0	0	0	0.00000E+00

## ELEMENT FORCES:

ELEM #	NODE #	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	1	2.50842E+00	-1.19576E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.69532E-05
2	2	5.0842E+00	1.19576E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.24271E-05

2	1	-3.11449E+00	9.89267E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.50587E-05
	3	3.11449E+00	-9.89267E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.34386E-05
3	2	-3.08520E+00	-1.54972E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-8.20757E-06
	3	3.08520E+00	1.54972E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.55686E-06
4	2	2.51974E+00	-1.04308E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.08305E-05
	4	-2.51974E+00	1.04308E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	7.67221E-05
5	3	1.79323E+00	-2.66438E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.47834E-04
	4	-1.79323E+00	2.66438E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.50577E-04
6	3	-5.62501E+00	1.55598E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.78380E-05
	5	5.62501E+00	-1.55598E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.59999E-04
7	4	-4.36343E+00	1.43051E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.06772E-05
	5	4.36343E+00	-1.43051E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.08106E-05
8	4	9.06540E+00	2.98023E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.21901E-05
	6	-9.06540E+00	-2.98023E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.10773E-04
9	5	2.72582E+00	-2.19598E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.50094E-04
	6	-2.72582E+00	2.19598E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.22208E-04
10	5	-9.03228E+00	4.98723E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.07163E-05
	7	9.03228E+00	-4.98723E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.20537E-04
11	6	-2.37321E+00	-1.00136E-05	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-7.34324E-05
	7	2.37321E+00	1.00136E-05	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.62755E-05
12	6	1.08485E+01	5.96046E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.51337E-05
	8	-1.08485E+01	-5.96046E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.55826E-04
13	7	1.57350E+00	-8.17279E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.84601E-05
	8	-1.57350E+00	8.17279E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.26901E-05
14	7	-1.08088E+01	-1.95911E-10	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-8.83525E-05
	9	1.08088E+01	1.95911E-10	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.80793E-05
15	8	-7.56322E-01	-2.38419E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.22484E-05
	9	7.56322E-01	2.38419E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.63464E-05
16	8	1.13930E+01	-5.96046E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.08883E-05
	10	-1.13930E+01	5.96046E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.28805E-04
17	9	5.27008E-01	1.75408E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-7.14201E-07
	10	-5.27008E-01	-1.75408E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.66746E-05
18	9	-1.13513E+01	-9.10159E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.33713E-04
	11	1.13513E+01	9.10159E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.28843E-06
19	10	6.02216E-01	-2.08616E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.09222E-05
	11	-6.02216E-01	2.08616E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.53898E-05
20	10	1.09776E+01	-5.96046E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.04558E-04
	12	-1.09776E+01	5.96046E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.97117E-05
21	11	-4.37485E-01	-3.21188E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.16791E-05
	12	4.37485E-01	3.21188E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.97110E-05
22	1	3.98849E+00	1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.18947E-05
	4	-3.98849E+00	-1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.23421E-05

## NODE DISPLACEMENTS:

NODE #	X	Y	Z	RX	RY	RZ
1	-1.39762E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.22199E-04
2	7.56637E-02	-6.27106E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.18617E-04
3	-1.28861E-01	-3.15436E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.12266E-04
4	9.37101E-02	-3.20457E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.13034E-04
5	-1.09174E-01	-6.05370E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.76510E-04
6	8.68934E-02	-6.13820E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.67865E-04
7	-7.75606E-02	-8.16228E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.16571E-04
8	6.64527E-02	-8.21578E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.07810E-04
9	-3.97297E-02	-9.36180E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.48202E-05
10	3.62745E-02	-9.38130E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.46863E-05
11	0.00000E+00	-9.68222E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.81964E-06
12	0.00000E+00	-9.66472E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.03238E-06

## NODE REACTIONS:

NODE #	X	Y	Z	MX	MY	MZ
1	0.00000E+00	5.00002E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
11	1.09375E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
12	-1.09375E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

## FERME PRATT, 16M.

Problem Name: SAMBOU3

## NODE COORDINATES:

NODE #	X COORD.	Y COORD.	Z COORD.
1	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
2	0.00000E+00	1.00000E+03	0.00000E+00
3	1.60000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
4	1.60000E+03	1.14000E+03	0.00000E+00
5	3.20000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
6	3.20000E+03	1.28000E+03	0.00000E+00
7	4.80000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
8	4.80000E+03	1.42000E+03	0.00000E+00
9	6.40000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
10	6.40000E+03	1.56000E+03	0.00000E+00
11	8.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
12	8.00000E+03	1.70000E+03	0.00000E+00

## MATERIAL PROPERTIES:

MAT #	AREA	E	B	J	IY	IZ
1	2.00000E+03	2.00000E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+01

## PROBLEM GEOMETRY:

ELEMENT #	MAT #	NODE #1	NODE #2	NODE #3	NODE #4	ANGLE OF ROLL
1	1	1	2	0	0	0.00000E+00
2	1	1	3	0	0	0.00000E+00
3	1	2	3	0	0	0.00000E+00
4	1	2	4	0	0	0.00000E+00
5	1	3	4	0	0	0.00000E+00
6	1	3	5	0	0	0.00000E+00
7	1	4	5	0	0	0.00000E+00
8	1	4	6	0	0	0.00000E+00
9	1	5	6	0	0	0.00000E+00
10	1	5	7	0	0	0.00000E+00
11	1	6	7	0	0	0.00000E+00
12	1	6	8	0	0	0.00000E+00
13	1	7	8	0	0	0.00000E+00
14	1	7	9	0	0	0.00000E+00
15	1	8	9	0	0	0.00000E+00
16	1	8	10	0	0	0.00000E+00
17	1	9	10	0	0	0.00000E+00
18	1	9	11	0	0	0.00000E+00
19	1	10	11	0	0	0.00000E+00
20	1	10	12	0	0	0.00000E+00
21	1	11	12	0	0	0.00000E+00
22	1	1	4	0	0	0.00000E+00

## NODE LOADS:

NODE #	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
2	0.00000E+00	-5.00000E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
6	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
8	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
10	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
12	0.00000E+00	-5.00000E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

## NODE RESTRAINTS:

NODE #	X	Y	Z	RX	RY	RZ	VALUE
1	0	1	0	0	0	0	0.00000E+00
11	1	0	0	0	0	0	0.00000E+00
12	1	0	0	0	0	0	0.00000E+00

ELEM #	NODE #	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	1	2.57792E+00	-1.28176E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-7.06708E-05
	2	-2.57792E+00	1.28176E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.75055E-05
2	1	-3.39932E+00	8.86969E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.37413E-05
	3	3.39932E+00	-8.86969E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.81733E-05
3	2	-3.43912E+00	5.72205E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.67464E-07
	3	3.43912E+00	-5.72205E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.19534E-05
4	2	2.92751E+00	2.98023E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.77732E-05
	4	-2.92751E+00	-2.98023E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.23399E-05
5	3	1.82274E+00	-2.71877E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.53887E-04
	4	-1.82274E+00	2.71877E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.56053E-04
6	3	-6.31567E+00	1.26099E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.37610E-05
	5	6.31567E+00	-1.26099E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.57998E-04
7	4	-4.52361E+00	-5.24521E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.59234E-05
	5	4.52361E+00	5.24521E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.83702E-05
8	4	1.00380E+01	2.98023E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.59228E-05
	6	-1.00380E+01	-2.98023E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.08103E-04
9	5	2.62497E+00	-2.03723E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.47223E-04
	6	-2.62497E+00	2.03723E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.13543E-04
10	5	-9.99980E+00	2.63448E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.91463E-05
	7	9.99980E+00	-2.63448E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.11297E-04
11	6	-2.34481E+00	9.53674E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-7.01255E-05
	7	2.34481E+00	-9.53674E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.97375E-05
12	6	1.18760E+01	1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.44347E-05
	8	-1.18760E+01	-1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.53597E-04
13	7	1.46478E+00	-6.58208E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.09373E-05
	8	-1.46478E+00	6.58208E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.25284E-05
14	7	-1.18308E+01	-1.21881E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.00098E-04
	9	1.18308E+01	1.21881E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.05974E-05
15	8	-6.37413E-01	-1.37091E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.33154E-05
	9	6.37413E-01	1.37091E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.29735E-05
16	8	1.23545E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.77540E-05
	10	-1.23545E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.25634E-04
17	9	4.23065E-01	2.52489E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.02390E-06
	10	-4.23065E-01	-2.52489E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.43643E-05
18	9	-1.23075E+01	-8.41748E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.38595E-04
	11	1.23075E+01	8.41748E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.91397E-06
19	10	7.58311E-01	4.58956E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.38805E-05
	11	-7.58311E-01	-4.58956E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.76733E-05
20	10	1.18095E+01	1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.06120E-04
	12	-1.18095E+01	-1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.98125E-05
21	11	-5.29419E-01	-3.02368E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.15892E-05
	12	5.29419E-01	3.02368E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.98134E-05
22	1	4.17390E+00	-2.86102E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.69298E-05
	4	-4.17390E+00	2.86102E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.37151E-05

## NODE DISPLACEMENTS:

NODE #	X	Y	Z	RX	RY	RZ
1	-1.75413E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.67070E-04
2	8.46708E-02	-6.44480E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.63778E-04
3	-1.61815E-01	-4.31431E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.53297E-04
4	1.10512E-01	-4.36626E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.53914E-04
5	-1.36553E-01	-8.21671E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.07602E-04
6	1.04479E-01	-8.30071E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.96825E-04
7	-9.65534E-02	-1.10059E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.35425E-04
8	8.07367E-02	-1.10579E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.25340E-04
9	-4.92302E-02	-1.25737E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.31469E-05
10	4.43476E-02	-1.25902E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.17041E-05
11	0.00000E+00	-1.29843E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.14336E-06
12	0.00000E+00	-1.29618E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.13868E-06

## NODE REACTIONS:

NODE #	X	Y	Z	MX	MY	MZ
1	0.00000E+00	4.99992E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
11	1.17646E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

## FERME PRATT 18M.

Problem Name: SAMBOU4

## NODE COORDINATES:

NODE #	X COORD.	Y COORD.	Z COORD.
1	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
2	0.00000E+00	1.15000E+03	0.00000E+00
3	1.80000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
4	1.80000E+03	1.30000E+03	0.00000E+00
5	3.60000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
6	3.60000E+03	1.45000E+03	0.00000E+00
7	5.40000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
8	5.40000E+03	1.60000E+03	0.00000E+00
9	7.20000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
10	7.20000E+03	1.75000E+03	0.00000E+00
11	9.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
12	9.00000E+03	1.90000E+03	0.00000E+00

## MATERIAL PROPERTIES:

MAT #	AREA	E	G	J	IY	IZ
1	2.00000E+03	2.00000E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+01

## PROBLEM GEOMETRY:

ELEMENT #	MAT #	NODE #1	NODE #2	NODE #3	NODE #4	ANGLE OF ROLL
1	1	1	2	0	0	0.00000E+00
2	1	1	3	0	0	0.00000E+00
3	1	2	3	0	0	0.00000E+00
4	1	2	4	0	0	0.00000E+00
5	1	3	4	0	0	0.00000E+00
6	1	3	5	0	0	0.00000E+00
7	1	4	5	0	0	0.00000E+00
8	1	4	6	0	0	0.00000E+00
9	1	5	6	0	0	0.00000E+00
10	1	5	7	0	0	0.00000E+00
11	1	6	7	0	0	0.00000E+00
12	1	6	8	0	0	0.00000E+00
13	1	7	8	0	0	0.00000E+00
14	1	7	9	0	0	0.00000E+00
15	1	8	9	0	0	0.00000E+00
16	1	8	10	0	0	0.00000E+00
17	1	9	10	0	0	0.00000E+00
18	1	9	11	0	0	0.00000E+00
19	1	10	11	0	0	0.00000E+00
20	1	10	12	0	0	0.00000E+00
21	1	11	12	0	0	0.00000E+00
22	1	1	4	0	0	0.00000E+00

## NODE LOADS:

NODE #	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
2	0.00000E+00	-5.00000E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
6	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
8	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
10	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
12	0.00000E+00	-5.00000E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

## NODE RESTRAINTS:

NODE #	X	Y	Z	RX	RY	RZ	VALUE
1	0	1	0	0	0	0	0.00000E+00
11	1	0	0	0	0	0	0.00000E+00
12	1	0	0	0	0	0	0.00000E+00

ELEMENT PROPERTIES

ELEM #	NODE #	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	1	2.56574E+00	-9.60827E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.10660E-05
	2	-2.56574E+00	9.60827E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.94282E-05
2	1	-3.37052E+00	6.85878E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.70297E-05
	3	3.37052E+00	-6.85878E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	7.64293E-05
3	2	-3.39417E+00	-4.29153E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.31733E-06
	3	3.39417E+00	4.29153E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.71920E-05
4	2	2.87017E+00	1.93715E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.07454E-05
	4	-2.87017E+00	-1.93715E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	7.09723E-05
5	3	1.82741E+00	-2.09713E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.35159E-04
	4	-1.82741E+00	2.09713E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.37468E-04
6	3	-6.23077E+00	1.01154E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.15385E-05
	5	6.23077E+00	-1.01154E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.40539E-04
7	4	-4.56444E+00	-1.66893E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.14011E-05
	5	4.56444E+00	1.66893E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.02085E-05
8	4	9.96549E+00	2.38419E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.13787E-05
	6	-9.96549E+00	-2.38419E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.84965E-04
9	5	2.67241E+00	-1.62724E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.32465E-04
	6	-2.67241E+00	1.62724E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.03484E-04
10	5	-9.93107E+00	2.35415E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.82829E-05
	7	9.93107E+00	-2.35415E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00657E-04
11	6	-2.41599E+00	-3.45707E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.22279E-05
	7	2.41599E+00	3.45707E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.33661E-05
12	6	1.18535E+01	-1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.92529E-05
	8	-1.18535E+01	1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.37955E-04
13	7	1.51562E+00	-5.54489E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.68240E-05
	8	-1.51562E+00	5.54489E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.18944E-05
14	7	-1.18125E+01	-7.61716E-09	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-8.71977E-05
	9	1.18125E+01	7.61716E-09	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	7.34874E-05
15	8	-7.09583E-01	-1.19209E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.66872E-05
	9	7.09583E-01	1.19209E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.68482E-05
16	8	1.23856E+01	1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.93744E-05
	10	-1.23856E+01	-1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.13937E-04
17	9	4.71436E-01	1.74260E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.21012E-06
	10	-4.71436E-01	-1.74260E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.82855E-05
18	9	-1.23429E+01	-6.51087E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.22547E-04
	11	1.23429E+01	6.51087E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.35049E-06
19	10	6.98372E-01	-6.10948E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.88754E-05
	11	-6.98372E-01	6.10948E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.46497E-05
20	10	1.18832E+01	-2.98023E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.33460E-05
	12	-1.18832E+01	2.98023E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.96910E-05
21	11	-4.86847E-01	-2.61526E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.99999E-05
	12	4.86847E-01	2.61526E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.96900E-05
22	1	4.15764E+00	-3.09944E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.40362E-05
	4	-4.15764E+00	3.09944E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.65181E-05

## NODE DISPLACEMENTS:

NODE #	X	Y	Z	RX	RY	RZ
1	-1.96595E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.65548E-04
2	1.00772E-01	-7.37650E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.62202E-04
3	-1.81428E-01	-4.82746E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.52318E-04
4	1.27876E-01	-4.88685E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.53068E-04
5	-1.53389E-01	-9.21404E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.07768E-04
6	1.19587E-01	-9.31091E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.97262E-04
7	-1.08699E-01	-1.23674E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.36245E-04
8	9.18514E-02	-1.24280E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.26273E-04
9	-5.55429E-02	-1.41505E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.39363E-05
10	5.02549E-02	-1.41711E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.25283E-05
11	0.00000E+00	-1.46251E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.38240E-06
12	0.00000E+00	-1.46020E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.48517E-06

## NODE REACTIONS:

NODE #	X	Y	Z	MX	MY	MZ
1	0.00000E+00	4.99999E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
11	1.18421E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
12	-1.18421E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

## FERME PRATT, 20M.

Problem Name: SAMBOUS

## NODE COORDINATES:

NODE #	X COORD.	Y COORD.	Z COORD.
1	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
2	0.00000E+00	1.25000E+03	0.00000E+00
3	2.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
4	2.00000E+03	1.42000E+03	0.00000E+00
5	4.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
6	4.00000E+03	1.59000E+03	0.00000E+00
7	6.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
8	6.00000E+03	1.76000E+03	0.00000E+00
9	8.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
10	8.00000E+03	1.93000E+03	0.00000E+00
11	1.00000E+04	0.00000E+00	0.00000E+00
12	1.00000E+04	2.10000E+03	0.00000E+00

## MATERIAL PROPERTIES:

MAT #	AREA	E	G	J	IY	IZ
1	2.00000E+03	2.00000E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+01

## PROBLEM GEOMETRY:

ELEMENT #	MAT #	NODE #1	NODE #2	NODE #3	NODE #4	ANGLE OF ROLL
1	1	1	2	0	0	0.00000E+00
2	1	1	3	0	0	0.00000E+00
3	1	2	3	0	0	0.00000E+00
4	1	2	4	0	0	0.00000E+00
5	1	3	4	0	0	0.00000E+00
6	1	3	5	0	0	0.00000E+00
7	1	4	5	0	0	0.00000E+00
8	1	4	6	0	0	0.00000E+00
9	1	5	6	0	0	0.00000E+00
10	1	5	7	0	0	0.00000E+00
11	1	6	7	0	0	0.00000E+00
12	1	6	8	0	0	0.00000E+00
13	1	7	8	0	0	0.00000E+00
14	1	7	9	0	0	0.00000E+00
15	1	8	9	0	0	0.00000E+00
16	1	8	10	0	0	0.00000E+00
17	1	9	10	0	0	0.00000E+00
18	1	9	11	0	0	0.00000E+00
19	1	10	11	0	0	0.00000E+00
20	1	10	12	0	0	0.00000E+00
21	1	11	12	0	0	0.00000E+00
22	1	1	4	0	0	0.00000E+00

## NODE LOADS:

NODE #	FX	FY	FZ	HX	MY	MZ
2	0.00000E+00	-5.00000E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
6	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
8	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
10	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
12	0.00000E+00	-5.00000E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

## NODE RESTRAINTS:

NODE #	X	Y	Z	RX	RY	RZ	VALUE
1	0	1	0	0	0	0	0.00000E+00
11	1	0	0	0	0	0	0.00000E+00
12	1	0	0	0	0	0	0.00000E+00

## ELEMENT FORCES:

ELER #	NODE #	FX	FY	FZ	RX	MY	MZ
1	1	2.57684E+00	-8.22411E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.66696E-05
	2	-2.57684E+00	8.22411E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.61313E-05
2	1	-3.41290E+00	5.69797E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.31085E-05
	3	3.41290E+00	-5.69797E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	7.08511E-05
3	2	-3.44945E+00	-8.34465E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.81928E-07
	3	3.44945E+00	8.34465E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.77586E-05
4	2	2.93568E+00	4.47035E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.63130E-05
	4	-2.93568E+00	-4.47035E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.60264E-05
5	3	1.82820E+00	-1.76753E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.24529E-04
	4	-1.82820E+00	1.76753E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.26461E-04
6	3	-6.33803E+00	8.20351E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.59189E-05
	5	6.33803E+00	-8.20351E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.28152E-04
7	4	-4.56824E+00	-6.19888E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.84938E-05
	5	4.56824E+00	6.19888E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.78298E-05
8	4	1.00992E+01	3.57628E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.38642E-05
	6	-1.00992E+01	-3.57628E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.68746E-04
9	5	2.64465E+00	-1.34087E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.20242E-04
	6	-2.64465E+00	1.34087E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.29568E-05
10	5	-1.00629E+01	1.74365E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.57390E-05
	7	1.00629E+01	-1.74365E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	9.06132E-05
11	6	-2.38761E+00	-8.22544E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.66455E-05
	7	2.38761E+00	8.22544E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.09359E-05
12	6	1.19749E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.91442E-05
	8	-1.19749E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.25331E-04
13	7	1.48584E+00	-4.41457E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.04021E-05
	8	-1.48584E+00	4.41457E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.72945E-05
14	7	-1.19318E+01	-7.63141E-09	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-8.11472E-05
	9	1.19318E+01	7.63141E-09	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.58830E-05
15	8	-6.70586E-01	3.87430E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.17557E-05
	9	6.70586E-01	-3.87430E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.33566E-05
16	8	1.24801E+01	1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.62805E-05
	10	-1.24801E+01	-1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.03019E-04
17	9	4.43024E-01	1.57765E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.23344E-06
	10	-4.43024E-01	-1.57765E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.72153E-05
18	9	-1.24353E+01	-5.41946E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.12474E-04
	11	1.24353E+01	5.41946E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.08524E-06
19	10	7.37176E-01	2.62260E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.45649E-05
	11	-7.37176E-01	-2.62260E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.26567E-05
20	10	1.19477E+01	-1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-8.56697E-05
	12	-1.19477E+01	1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.72944E-05
21	11	-5.11902E-01	-2.09702E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.67420E-05
	12	5.11902E-01	2.09702E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.72955E-05
22	1	4.18564E+00	-4.88758E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.35611E-05
	4	-4.18564E+00	4.88758E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.50634E-05

## NODE DISPLACEMENTS:

NODE #	X	Y	Z	RX	RY	RZ
1	-2.20905E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.71292E-04
2	1.09458E-01	-8.05262E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.67999E-04
3	-2.03840E-01	-5.47706E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.57421E-04
4	1.41096E-01	-5.54196E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.58106E-04
5	-1.72150E-01	-1.04378E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.11304E-04
6	1.32743E-01	-1.05429E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.00458E-04
7	-1.21836E-01	-1.39902E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.38128E-04
8	1.02294E-01	-1.40556E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.27961E-04
9	-6.21764E-02	-1.59922E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.46127E-05
10	5.60856E-02	-1.60136E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.30415E-05
11	0.00000E+00	-1.65210E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.33300E-06
12	0.00000E+00	-1.64941E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.37357E-06

## NODE REACTIONS:

NODE #	X	Y	Z	MX	MY	MZ
1	0.00000E+00	4.99999E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
11	1.19048E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
12	-1.19048E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

## CALCUL DES PANNES.

Problem Name: PANNE1

## NODE COORDINATES:

NODE #	X COORD.	Y COORD.	Z COORD.
1	1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
2	9.00000E+02	0.00000E+00	0.00000E+00
3	1.80000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
4	2.70000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
5	3.60000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
6	4.50000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
7	5.40000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
8	6.30000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
9	7.20000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
10	8.10000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
11	9.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
12	1.12500E+04	0.00000E+00	0.00000E+00
13	1.35000E+04	0.00000E+00	0.00000E+00
14	1.57500E+04	0.00000E+00	0.00000E+00
15	1.80000E+04	0.00000E+00	0.00000E+00

## MATERIAL PROPERTIES:

MAT #	AREA	E	B	J	IY	IZ
1	1.00000E+03	2.00000E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.00000E+03
2	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
3	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
5	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
6	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
7	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
8	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
9	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
10	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
11	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
12	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

## PROBLEM GEOMETRY:

ELEMENT #	MAT #	NODE #1	NODE #2	NODE #3	NODE #4	ANGLE OF ROLL
1	1	1	2	0	0	0.00000E+00
2	1	2	3	0	0	0.00000E+00
3	1	3	4	0	0	0.00000E+00
4	1	4	5	0	0	0.00000E+00
5	1	5	6	0	0	0.00000E+00
6	1	6	7	0	0	0.00000E+00
7	1	7	8	0	0	0.00000E+00
8	1	8	9	0	0	0.00000E+00
9	1	9	10	0	0	0.00000E+00
10	1	10	11	0	0	0.00000E+00
11	1	11	12	0	0	0.00000E+00
12	1	12	13	0	0	0.00000E+00
13	1	13	14	0	0	0.00000E+00
14	1	14	15	0	0	0.00000E+00

## ELEMENT LOADS:

ELEMENT #	LOAD	ANGLE
1	1.00000E-03	9.00000E+01
2	1.00000E-03	9.00000E+01
3	1.00000E-03	9.00000E+01
4	1.00000E-03	9.00000E+01
5	1.00000E-03	9.00000E+01
6	1.00000E-03	9.00000E+01
7	1.00000E-03	9.00000E+01
8	1.00000E-03	9.00000E+01
9	1.00000E-03	9.00000E+01
10	1.00000E-03	9.00000E+01
11	1.00000E-03	9.00000E+01
12	1.00000E-03	9.00000E+01
13	1.00000E-03	9.00000E+01
14	1.00000E-03	9.00000E+01

9	1.00000E-03	9.00000E+01
10	1.00000E-03	9.00000E+01
11	1.00000E-03	9.00000E+01
12	1.00000E-03	9.00000E+01
13	1.00000E-03	9.00000E+01
14	1.00000E-03	9.00000E+01

## NODE RESTRAINTS:

NODE #	X	Y	Z	RX	RY	RZ	VALUE
1	0	1	0	0	0	0	0.00000E+00
6	0	1	0	0	0	0	0.00000E+00
11	0	1	0	0	0	0	0.00000E+00
13	0	1	0	0	0	0	0.00000E+00
15	1	1	0	0	0	1	0.00000E+00

## ELEMENT FORCES:

ELEM #	NODE #	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	1	1.30740E-12	-1.77402E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.81470E-05
	2	-1.01005E-06	8.75018E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.19074E+03
2	2	1.01006E-06	-8.75026E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.19074E+03
	3	-2.02122E-06	-2.49743E-02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.57327E+03
3	3	2.02121E-06	2.49744E-02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.57327E+03
	4	-3.03238E-06	-9.24975E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.14578E+03
4	4	3.03239E-06	9.24976E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.14579E+03
	5	-4.04356E-06	-1.82498E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	9.16910E+01
5	5	4.04355E-06	1.82497E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.16909E+01
	6	-5.05472E-06	-2.72498E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.13917E+03
6	6	5.05472E-06	2.72498E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.13917E+03
	7	-6.06589E-06	1.47739E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.04514E+02
7	7	6.06590E-06	-1.47739E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.04514E+02
	8	-7.07707E-06	5.77393E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.20141E+02
8	8	7.07705E-06	-5.77394E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.20142E+02
	9	-8.08823E-06	-3.22607E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.34796E+02
9	9	8.08824E-06	3.22606E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.34796E+02
	10	-9.09941E-06	-1.22261E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.05509E+01
10	10	9.09941E-06	1.22261E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.05508E+01
	11	-1.01106E-05	-2.12261E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.56590E+03
11	11	1.01106E-05	2.12261E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.56590E+03
	12	-1.26385E-05	-3.47436E-02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-8.87180E+02
12	12	1.26385E-05	3.47436E-02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.87180E+02
	13	-1.51664E-05	-2.28474E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.72224E+03
13	13	1.51664E-05	2.28474E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.72224E+03
	14	-1.76943E-05	1.15813E-02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-8.35064E+02
14	14	1.76943E-05	-1.15812E-02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.35064E+02
	15	-2.02223E-05	-2.23842E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.67013E+03

## NODE DISPLACEMENTS:

NODE #	X	Y	Z	RX	RY	RZ
1	9.09951E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.47580E+00
2	9.07681E-07	4.45372E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.98633E+00
3	9.00861E-07	6.63835E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	7.24948E-01
4	8.89490E-07	5.77380E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.48586E+00
5	8.73570E-07	2.72572E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.82360E+00
6	8.53098E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.46575E+00
7	8.28077E-07	1.92945E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.24402E+00
8	7.98505E-07	1.34172E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	9.62065E-01
9	7.64383E-07	1.57390E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.89115E-01
10	7.25711E-07	6.57296E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.28702E+00
11	6.82489E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.90865E-01
12	5.54525E-07	2.94451E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-7.32872E-02
13	3.98123E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.77163E-02
14	2.13281E-07	2.61471E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.44292E-02
15	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

## NODE REACTIONS:

NODE #                    V                    W                    T                    M1                    M2                    M3

A P P E N D I C E 4

---

LISTES DE PRIX

\*\* SENAC-ETERNIT \*\*

TARIF CATALOGUE NO: 31 AU:01/06/84

PAGE: 1

1801 CLT DG DAF DAC P INF

REF	DESIGNATION	POIDS	METRE	C	HT. USI	TTC. US	TTC. GR	TTC. DT
A.110	PLAQUE PLANE 1.00*1.00*5A/A	7.50	*****	1	1409	1690	1866	1992
A.111	PLAQUE PLANE 1.00*1.00*6A/A	9.00	*****	1	1686	2023	2234	2385
A.113	PLAQUE PLANE 1.00*1.00*8A/A	12.00	*****	1	2252	2702	2984	3185
A.115	PLAQUE PLANE 1.00*1.00*10A/A	15.00	*****	1	2810	3372	3724	3975
A.117	PLAQUE PLANE 1.00*1.00*12A/A	18.00	*****	1	3375	4050	4473	4775
A.120	PLAQUE PLANE 1.20*1.20*5A/A	10.80	*****	1	2066	2479	2738	2923
A.121	PLAQUE PLANE 1.20*1.20*6A/A	13.00	*****	1	2479	2974	3285	3507
A.123	PLAQUE PLANE 1.20*1.20*8A/A	17.30	*****	1	3300	3960	4374	4669
A.125	PLAQUE PLANE 1.20*1.20*10A/A	21.60	*****	1	4134	4960	5478	5848
A.127	PLAQUE PLANE 1.20*1.20*12A/A	26.00	*****	1	4954	5944	6565	7008
A.130	PLAQUE PLANE 1.00*1.20*5A/A	9.00	*****	1	1707	2048	2262	2414
A.131	PLAQUE PLANE 1.00*1.20*6A/A	10.80	*****	1	2047	2456	2712	2895
A.133	PLAQUE PLANE 1.00*1.20*8A/A	14.40	*****	1	2725	3270	3612	3856
A.135	PLAQUE PLANE 1.00*1.20*10A/A	18.00	*****	1	3408	4089	4516	4821
A.137	PLAQUE PLANE 1.00*1.20*12A/A	21.60	*****	1	4090	4908	5421	5787
A.210	PLAQUE PLANE 2.00*1.00*5A/A	15.00	*****	1	2810	3372	3724	3975
A.211	PLAQUE PLANE 2.00*1.00*6A/A	18.00	*****	1	3372	4046	4469	4771
A.213	PLAQUE PLANE 2.00*1.00*8A/A	24.00	*****	1	4497	5396	5960	6362
A.215	PLAQUE PLANE 2.00*1.00*10A/A	30.00	*****	1	5619	6742	7447	7950
A.217	PLAQUE PLANE 2.00*1.00*12A/A	36.00	*****	1	6745	8094	8940	9544
A.220	PLAQUE PLANE 2.40*1.00*5A/A	18.00	*****	1	4145	4974	5494	5865
A.221	PLAQUE PLANE 2.50*1.20*10A/A	45.00	*****	1	9942	11930	13177	14067
A.310	PLAQUE PLANE 3.00*1.00*5A/A	22.50	*****	1	4078	4893	5404	5769
A.311	PLAQUE PLANE 3.00*1.00*6A/A	27.00	*****	1	4898	5877	6491	6929
A.313	PLAQUE PLANE 3.00*1.00*8A/A	36.00	*****	1	6526	7831	8650	9234
A.315	PLAQUE PLANE 3.00*1.00*10A/A	45.00	*****	1	8157	9788	10811	11541
A.317	PLAQUE PLANE 3.00*1.00*12A/A	54.00	*****	1	9791	11749	12977	13854
A.320	PLAQUE PLANE 3.00*1.20*5A/A	27.00	*****	1	4909	5890	6506	6945
A.321	PLAQUE PLANE 3.00*1.20*6A/A	32.40	*****	1	5885	7062	7800	8327
A.323	PLAQUE PLANE 3.00*1.20*8A/A	43.20	*****	1	7851	9421	10406	11109
A.325	PLAQUE PLANE 3.00*1.20*10A/A	54.00	*****	1	9816	11779	13011	13890
A.327	PLAQUE PLANE 3.00*1.20*12A/A	64.00	*****	1	11779	14134	15612	16667
A.510	PLAQUE PLANE 1.00*1.00*5A/A RR	7.50	*****	1	1571	1885	2082	2222
A.910	PLAQUE PLANE 3.00*1.00*5A/A RR	22.50	*****	1	4546	5455	6025	6432
A.911	PLAQUE PLANE 3.00*1.00*6A/A RR	27.00	*****	1	6037	7244	8001	8541
B.100	OGF TN 1.30A	14.20	*****	2	2773	3327	3675	3923
B.101	OGF TN 1.00A	10.80	*****	2	1761	2113	2334	2491
B.102	OGF TN 1.25A	13.50	*****	2	2191	2629	2903	3099
B.103	OGF TN 1.50A	16.40	*****	2	2694	3232	3570	3811
B.104	OGF TN 1.75A	18.90	*****	2	3543	4251	4695	5012
B.105	OGF TN 1.83A	19.70	*****	2	3543	4251	4695	5012
B.106	OGF TN 2.00A	21.60	*****	2	3543	4251	4695	5012
B.107	OGF TN 2.50A	27.00	*****	2	4480	5376	5938	6339
B.108	OGF TN 3.00A	32.80	*****	2	5454	6544	7228	7716
B.109	OGF TN 1.52A	16.40	*****	2	2694	3232	3570	3811
B.110	OGF TN 0.83A	8.96	*****	2	1793	2151	2375	2535

*6 m/m*

\*\* SENAC-ETERNIT \*\*

TARIF CATALOGUE NO: 31 AU:01/06/84

PAGE:

REF	DESIGNATION	POIDS	METRE	C	HT.USI	TTC.US	TTC.GR	TTC.DT
B.111	OGF TN 2.4M	26.03	*****	2	4373	5247	5795	6186
B.112	PLAQUE LOSANGEE TN 1.25M	16.20	*****	3	4270	5124	5849	6268
B.113	PLAQUE LOSANGEE TN 1.50M	20.00	*****	3	4749	5698	6504	6970
B.116	PLAQUE LOSANGEE TN 2.00M	26.70	*****	3	5610	6732	7684	8234
B.117	PLAQUE LOSANGEE TN 2.5M	33.30	*****	3	6530	7836	8944	9585
B.118	PLAQUE LOSANGEE TN 3.00M	39.20	*****	3	9470	11364	12972	13902
B.121	OGF TN 2M70	29.52	*****	2	5567	6680	7378	7876
B.132	CHASSIS D'ECLAIRAGE TN 1.25M	20.00	*****	3	7556	9067	10349	11091
B.133	CHASSIS D'ECLAIRAGE TN 1.50M	23.80	*****	3	8961	10753	12274	13154
B.134	CHASSIS D'ECLAIRAGE TN 1.75M	27.30	*****	3	10281	12337	14082	15091
B.136	CHASSIS D'ECLAIRAGE TN 2.00M	30.30	*****	3	12101	14521	16575	17763
B.137	CHASSIS D'ECLAIRAGE TN 2.50M	37.20	*****	3	13996	16795	19171	20545
B.138	CHASSIS D'ECLAIRAGE TN 3.00M	43.10	*****	3	15971	19165	21876	23444
B.141	PLAQUE CINTREE 1.50M	16.40	*****	3	4174	5008	5716	6125
B.142	PLAQUE CINTREE 3.00M	32.80	*****	3	7854	9424	10757	11528
B.143	PLAQUE D'AERATION CINTREE TN	10.80	*****	3	2333	2799	3195	3424
B.151	CANALETAS 850 3.00M	52.20	*****	5	10346	12415	14171	15187
B.152	CANALETAS 850 4.00M	69.60	*****	5	13893	16671	19029	20393
B.153	CANALETAS 850 5.00M	87.00	*****	5	17286	20743	23678	25375
B.154	CANALETAS 850 6.00M	104.40	*****	5	19461	23353	26657	28568
B.501	OGF RA 1.00M	10.80	*****	2	2002	2402	2653	2832
B.502	OGF RA 1.25M	13.50	*****	2	2428	2913	3217	3434
B.503	OGF RA 1.50M	16.40	*****	2	2969	3562	3934	4199
B.504	OGF RA 1.75M	18.90	*****	2	3894	4672	5160	5508
B.505	OGF RA 1.83M	19.70	*****	2	3894	4672	5160	5508
B.506	OGF RA 2.00M	21.60	*****	2	3894	4672	5160	5508
B.507	OGF RA 2.50M	27.00	*****	2	4910	5892	6508	6947
B.508	OGF RA 3.00M	32.80	*****	2	5971	7165	7914	8448
B.512	PLAQUE LOSANGEE RA 1.25M	16.20	*****	3	4679	5614	6408	6867
B.513	PLAQUE LOSANGEE RA 1.50M	20.00	*****	3	5217	6260	7145	7657
B.516	PLAQUE LOSANGEE RA 2.00M	26.70	*****	3	6171	7405	8452	9058
B.517	PLAQUE LOSANGEE 2.50M	33.30	*****	3	7252	8702	9933	10645
B.518	PLAQUE LOSANGEE RA 3.00M	39.20	*****	3	10406	12487	14253	15274
B.532	CHASSIS D'ECLAIRAGE RA 1.25M	20.00	*****	3	8281	9937	11343	12156
B.533	CHASSIS D'ECLAIRAGE RA 1.50M	23.80	*****	3	9847	11816	13487	14454
B.534	CHASSIS D'ECLAIRAGE RA 1.75M	27.30	*****	3	11319	13582	15503	16614
B.536	CHASSIS D'ECLAIRAGE RA 2.00M	3.30	*****	3	13299	15958	18216	19522
B.537	CHASSIS D'ECLAIRAGE RA 2.50M	37.20	*****	3	15365	18438	21046	22554
B.538	CHASSIS D'ECLAIRAGE RA 3.00M	43.10	*****	3	16995	20394	23279	24948
B.803	OGF VERTE MASSE 1.50M	16.40	*****	2	3837	4604	5085	5428
B.806	OGF VERTE MASSE 2.00M	21.60	*****	2	5044	6052	6685	7136
B.807	OGF VERTE MASSE 2.50M	27.00	*****	2	6378	7653	8453	9024
B.808	OGF VERTE MASSE 3.00M	32.80	*****	2	7762	9314	10288	10983
C.101	OGL TN 1.00M	6.80	*****	4	1426	1711	1837	1956
C.102	OGL TN 1.25M	8.50	*****	4	1818	2181	2342	2493
C.103	OGL TN 1.50M	10.25	*****	4	2149	2578	2768	2947

6m/m

\*\* SENAC-ETERNIT \*\*

TARIF CATALOGUE NO: 31 AU:01/06/84

PAGE:

REF	DESIGNATION	POIDS	METRE	C	HT. USI	TTC. US	TTC. GR	TTC. DT
D.150	BAC SOLAIRE	80.00	*****	3	71986	86383	98606	105676
D.151	LANE DE PERSIENNE 1.50M SICAP	6.00	*****	3	2537	3044	3474	3723
D.152	LANE DE PERSIENNE 2.00M SICAP	9.00	*****	3	3470	4164	4753	5093
D.153	LANE DE PERSIENNE 2.40M SICAP	15.00	*****	3	5037	6044	6899	7393
D.170	PLAQUE DE RIVE 2000/250 DROIT	11.10	*****	3	7682	9218	10522	11276
D.171	LANE Z DE 2.40M	5.33	*****	3	2688	3225	3681	3944
D.172	RIVE BAS DE VERSANT 580/400	3.90	*****	3	13709	16450	18777	20123
D.173	RIVE HAUT DE VERSANT 350/350	2.40	*****	3	8847	10616	12118	12986
D.174	HAUT DE VERSANT 350/350	6.75	*****	3	19978	23973	27365	29327
D.175	PLAQUE BAS DE VERSANT 580/400	11.63	*****	3	5290	6348	7246	7765
D.176	CLOSOIR DENTELE PLAN DROIT	.75	*****	3	426	511	583	624
D.177	CLOSOIR DENTELE PLAN GAUCHE	.75	*****	3	426	511	583	624
D.178	LANE Z DE 1.50M	3.38	*****	3	2025	2430	2773	2971
D.179	PLAQUE DE RIVE 2000/250 GAUCHE	11.10	*****	3	7682	9218	10522	11276
D.181	FAITIERE BO TN 4M/4M PA	2.80	*****	3	631	757	864	925
D.182	FAITIERE BO TN 4M/4M GA	3.75	*****	3	847	1016	1159	1242
D.191	FAITIERE BP TN 4M/4M PA	3.30	*****	3	640	768	876	938
D.192	FAITIERE BP TN 4M/4M GA	3.60	*****	3	710	852	972	1041
D.200	FAITIERE CANALETAS 850 PA	7.04	*****	3	1290	1548	1767	1893
D.201	BANDE DE RIVE CANALETAS 2.00M D	14.60	*****	3	3143	3771	4304	4612
D.202	BANDE DE RIVE CANALETAS 2.00M G	14.60	*****	3	3143	3771	4304	4612
D.204	RACCORD DE MUR ET DE LANT. CANAL. D	8.00	*****	3	1933	2319	2647	2836
D.206	RACCORD DE MUR ET DE LANT. CAN. G	8.00	*****	3	1933	2319	2647	2836
D.207	FAITIERE CANALETAS 850 GA	8.96	*****	3	1641	1969	2247	2408
D.217	BANDE RIVE FIBRO TUILE DROIT	1.20	*****	3	409	490	559	599
D.218	BANDE RIVE FIBRO TUILE GCHE	1.20	*****	3	409	490	559	599
D.502	FAITIERE BO RA PA	4.50	*****	3	1055	1266	1445	1548
D.503	FAITIERE BO RA GA	5.50	*****	3	1327	1592	1817	1947
D.504	ABOUT D'ARETIER RA 1.25M	4.10	*****	3	1109	1330	1518	1626
D.505	ARETIER RA 1.52M	5.20	*****	3	1248	1497	1708	1830
D.506	ABOUT DE RIVE RA 1.50M	9.00	*****	3	2189	2626	2997	3211
D.509	ANGLE DE BARDAGE RA 1.25M	12.50	*****	3	3225	3870	4417	4733
D.510	ANGLE DE BARDAGE RA 1.50M	15.20	*****	3	3926	4711	5377	5762
D.511	ANGLE DE BARDAGE RA 2.50M	25.00	*****	3	6418	7701	8790	9420
D.512	BANDE DE RIVE RA 1.50M	9.00	*****	3	2189	2626	2997	3211
D.513	BANDE DE RIVE RA 2.50M	15.10	*****	3	3822	4586	5234	5609
D.514	BANDE DE RIVE RA 3.00M	18.00	*****	3	4373	5247	5989	6418
D.515	RACCORD DE MUR LATERAL RA 1.25M D	6.70	*****	3	1871	2245	2562	2745
D.516	RACCORD DE MUR LATERAL RA 1.50M G	8.20	*****	3	2270	2724	3109	3331
D.517	RACCORD DE MUR LATERAL RA 2.50M G	13.50	*****	3	3806	4567	5213	5586
D.518	CLOSOIR ONDULE STANDARD RA D	2.60	*****	3	835	1002	1143	1224
D.519	CLOSOIR ONDULE STANDARD RA G	2.60	*****	3	835	1002	1143	1224
D.520	ECUSSON STANDARD RA	2.20	*****	3	826	991	1131	1212
D.521	RACCORD DE MUR ET DE LANTERNEAU RA G	4.10	*****	3	1122	1346	1536	1646
D.522	RIVE FRONTALE LISSE RA D	7.00	*****	3	2079	2494	2846	3050
D.523	CHAPEAU HEX. A BUSE RA DIAM. 100	5.00	*****	3	1489	1786	2038	2184

FRAIS DE TRANSIT - PRIX EN CFA - S A T A - F O I N E

	DEROULEUR		CISAILLE		PLIEUSE	
	Au poids	Au cubage	Au poids	Au cubage	Au poids	Au cubage
Acconage	46 135	17 475	237 031	132 810	285 960	132 810
Taxe de port	60 700	60 700	264 652	264 652	319 282	319 282
Taxe terre plein	1 610	1 610	7 020	7 020	8 469	8 469
TSD	12 500	12 500	12 500	12 500	12 500	12 500
Timbre	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
Photocopies	500	500	500	500	500	500
Compte débours	3 456	2 654	14 664	11 745	17 604	13 316
Honoraires agréé en douane	40 600	40 600	75 620	75 620	78 420	78 420
Engin levage	13 884	13 884	20 820	20 820	20 820	20 820
Vacation	2 448	2 448	2 448	2 448	2 448	2 448
Compte transit	5 735	5 735	25 005	25 005	30 166	30 166
Frais fixes	3 022	3 022	3 022	3 022	3 022	3 022

A P P E N D I C E 5

---

ILLUSTRATIONS

- . Exemple de réalisation de charpente  
avec profilés pliés
- . Exemple d'opérations de pliage  
d'une tôle d'acier

PROJET DE FIN D'ETUDE

Elèves-ingénieurs :

Joseph Gabriel Sambou

Fodé Sylla

Directeur :

Thomas Aquin ing. M.Sc.A

SECHOIR A MAIS  
st Césaire-QUEBEC  
CANADA

PHOTO N° 1

Vue d'ensemble



PHOTO N° 2

Extrémité gauche

Vue du sommet



PHOTO N° 3

Détail des croisillons  
cadre de droite



DETAILS DE FABRICATION

PHOTO N° 4

Début de l'opération "PLIAGE"  
des toles de 3 mm d'épaisseur.  
Noter : la réglette gabarit  
est retenue par la pince  
à étau



PHOTO N° 5

Une nouvelle réglette est  
utilisée à chaque pliage.  
Cette dernière s'appuie  
directement sur la matrice  
de la presse



PHOTO N° 6

Opération terminée  
Noter : le faible rayon  
de courbure ainsi que la  
précision des angles de  
coin (90°).



/ R E F E R E N C E S /

- réf. 1 André Picard et Denis Beaulieu, "Calcul aux états limites des charpentes d'acier", 1ère édition, ICCA, 1981
- réf. 2 Eternit Industries, "Manuel de pose. Plaques ondulées et Bardenit", 1ère édition, 3 - CB, 1977
- réf. 3 Y. Cozzi et P. Arnault, "Profilés formés à froid", Editions Eyrolles, 1961
- réf. 4 Comité associé du code national du bâtiment, "Code National du Bâtiment du Canada 1980", Conseil National de Recherches du Canada CNRC n° 17303 F
- réf. 5 Comité associé du code national du bâtiment, "Supplément du Code National du Bâtiment du Canada, 1980", Conseil National de Recherches du Canada CNRC n° 17724 F
- réf. 6 Canadian Institute of Steel Construction, "Handbook of Steel Construction", 1980
- réf. 7 Wei-Wen Yu, "Cold-Formed Steel Structures", Mc Graw-Hill Book Company, 1973
- réf. 8 Syndicat National du Profilage des Produits Plats en Acier, et Office Technique pour l'Utilisation de l'Acier, "Profilés formés à froid"
- réf. 9 Raymond Gazel, "La charpente en fer, plus de 1000 solutions", Editions Eyrolles, 1979
- réf. 10 Institut Canadien de la construction en acier, "Eléments de dessin d'atelier pour charpentes d'acier", 3e édition, 1982.