

RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL



ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE THIÈS

**PROJET
DE
FIN D'ÉTUDES**

GC.0303

NUM

TITRE CONCEPTION D'UN SYSTEME DE TOITURE
EN CHARPENTE METALIQUE POUR BATIMENT
INDUSTRIEL OU COMMERCIAL

Auteur: Fodé SYLLA

Génie: Civil

Date: Juin 1985

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

GC.0303

DEPARTEMENT DU GENIE CIVIL

PROJET DE FIN D'ETUDES

TITRE: CONCEPTION D'UN SYSTEME

DE TOITURE EN CHARPENTE

METALLIQUE POUR BATIMENTS

INDUSTRIEL OU COMMERCIAL

AUTEUR: FODE SYLLA

DIRECTEUR DU PROJET: THOMAS AQUIN

SESSION: JUIN 1985

D E D I C A C E

Je dédie ma Thèse d'ingénieur à :

Tous ceux qui de près ou de loin ont participé à ma
formation.

A mon père

A ma mère

A mes grand-parents

A mes frères et soeurs

A tous mes amis

Et enfin à tous ceux qui
croient et oeuvrent pour un
Sénégal Nouveau

Remerciements

Je tiens à remercier le plus sincèrement

- Mr Thomas Aquin mon directeur de projet qui n'a ménagé ni son temps, ni ses contraintes académiques pour nous guider par ses conseils et ses suggestions judicieux.
- Mr Joseph Gabriel Sambou, mon collaborateur, pour sa pleine participation et son esprit d'équipe louable.
- Tous mes collègues, pour leurs conseils et encouragement pour la réussite du projet.
- M lle Bineta Bououm, la secrétaire qui a assuré la frappe du présent document et qui a été tout le long de la rédaction d'une disponibilité et d'une gentillesse sans limite.

S O M M A I R E

Cette thèse vise par le biais de l'exemple de la conception d'un système de toiture, à voir s'il n'existe pas des réalisations de structures légères en construction métalliques faisant appel à une technologie de fabrication plus simple que ce dont on dispose traditionnellement.

Dans notre étude, il s'agit de dimensionner tous les éléments structuraux d'une toiture en charpente métallique ainsi que les assemblages les reliant. La méthode utilisée est celle du calcul aux états limites des structures. Elle a remplacé la méthode aux contraintes admissibles et est en général plus économique. Nous nous sommes référés au code National du Bâtiment du Canada du fait de l'indisponibilité du code sénégalais. Néanmoins, nous nous sommes efforcés d'utiliser au maximum les matériaux en acier disponibles sur le marché sénégalais. Cela va des nuances d'acier jusqu'aux boulons et électrodes de Soudage. Le matériau utilisé est l'acier formé à froid. La manufacture qui consiste au déroulage, à la coupe et au pliage, ne requiert pas une technologie sophistiquée. Les formes de fermes, seront par conséquent simples, sections C et I. Dans la dernière partie, nous nous ferons une étude économique dans laquelle nous ferons une comparaison entre la forme de ferme conçue et celle qui est traditionnellement utilisée (ferme avec profilés laminés).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Référence 1 Handbook of steel construction, Canadian
Institute of steel construction, Ontario 1980
- Référence 2 Picard A. et Baulieu D., "Calcul aux états limites
des charpentes d'acier", Institut Canadien de la
construction en Acier, Ontario 1981
- Référence 3 Gazel R., "La charpente en fer plus de 1000
solutions", Editions Eyrolles 1978
- Référence 4 "Poutrelles à treillis en acier, Recommandations
techniques", Institut Canadien de la Construc-
tion en Acier, 1980
- Référence 5 Weston & Brighan, "Gestion financière",
2e édition, les éditions HRW Ltée, Montréal,
1976

C H A P I T R E I

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

A Généralités :

Ce projet consiste en la conception d'un système de toiture pour bâtiment industriel ou commercial. Ce qui fait son originalité vis à vis des systèmes qui sont utilisés communément n'est ni le type de structure utilisée, (ferme WARREN), ni les méthodes de calculs développées mais le matériau utilisé : l'acier formé à froid.

En effet, il existe deux façons principales d'obtenir des sections d'acier comme produit fini prêt pour l'utilisation dans la construction : le laminage et l'acier formé à froid. Ce dernier type est obtenu à partir de rouleau d'acier qu'on déroule, qu'on coupe aux dimensions voulues et qu'on plie selon les formes désirées. Un certain nombre de critères nous ont amenés à choisir ce genre d'acier pour les structures à concevoir.

Ce sont notamment :

a) Critère économique :

En règle général, l'acier laminé coûte 40 % plus cher que l'acier en rouleau. En outre, les coûts de manufacture (déroulage, découpage, pliage) sont de loin inférieure à la différence de prix mais cela reste à prouver dans une étude de coûts ultérieure.

b) Critère Technologique :

Les opérations de manufacture (déroulage, découpage, pliage) pour former l'acier à froid sont très simples. ELLES ne nécessitent pas une qualification technique poussée, ce qui

répond bien à notre situation de pays en voie de développement.

c) Disponibilité du Matériau :

Le Sénégal ne dispose pas d'industrie sidérurgique.

On ne trouve pas aussi d'acier en rouleau dans les différentes maisons de commerce de la place. Mais on nous signale que c'est seulement un problème lié à la demande. Si cette dernière est suffisante, il suffit de faire les commandes pour recevoir l'acier en rouleau.

B) Définition du Problème :

Il s'agit de la conception d'un système de toiture en charpente métallique pour bâtiments industriels ou commerciaux. Notre étude se fera pour les portées de 10,12,14,16,18, et 20 m. Le type de ferme choisi est le type WARREN, c'est un type de ferme classique (voir figure suivante)

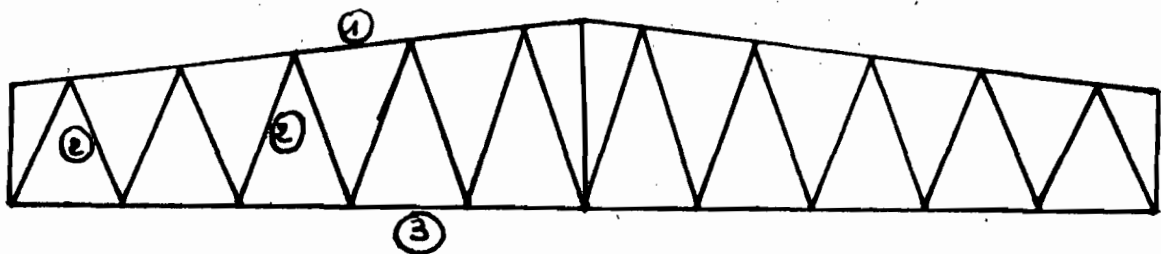


Figure N°1.1 : Ferme type WARREN

Légende :

- 1) : membrure Supérieure
- 2) : Diagonales
- 3) : membrure inférieure

Cette ferme constitue l'élément principal du système de toiture. Elle est intégrée comme suit au sein du bâtiment

(c.f. figure N°1.2)

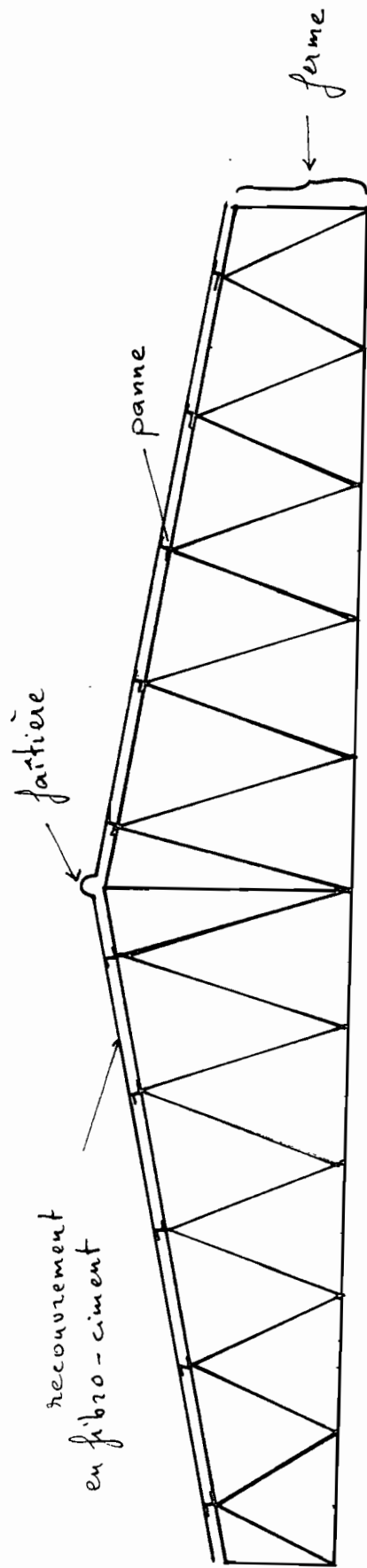


figure 1.2 Disposition des éléments constituant
la toiture

CHAPITRE II

Analyse Structurale

II.1 Etude des Fermes de Type WARREN

La structure est considérée comme étant isostatique (voir fig 2.1). Comme les charges s'exercent aux noeuds, les éléments des fermes sont soit en compression, soit en traction. On ne considère pas donc la flexion locale dans notre analyse.

II.1.1 Procédure :

On considère la moitié d'une ferme qu'on charge avec un chargement unitaire uniformément réparti (voir fig 2.1). et cela pour toute les portées (10 jusqu'à 20 m). On analyse ce cas de chargement à l'aide d'un programme d'ordinateur. On a ainsi les efforts qui sollicitent chaque élément. Pour trouver les efforts dus à l'application des charges pondérées, il suffit alors de multiplier, les valeurs trouvées pour une charge unitaire par la valeur de la charge pondérée critique. Quelques sorties d'ordinateur donnant les résultats des chargements unitaires sont données en annexe page. 90 à 95

On remarque, à l'examen de ces résultats que la membrure supérieure est en compression, alors que la membrure inférieure est en traction

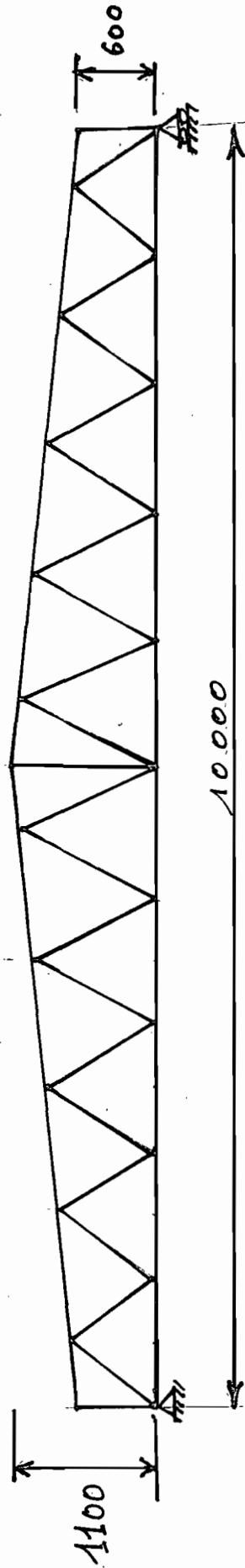


FIGURE N° 2. 1 : FERME DE TYPE WARREN
PORTEE 10M

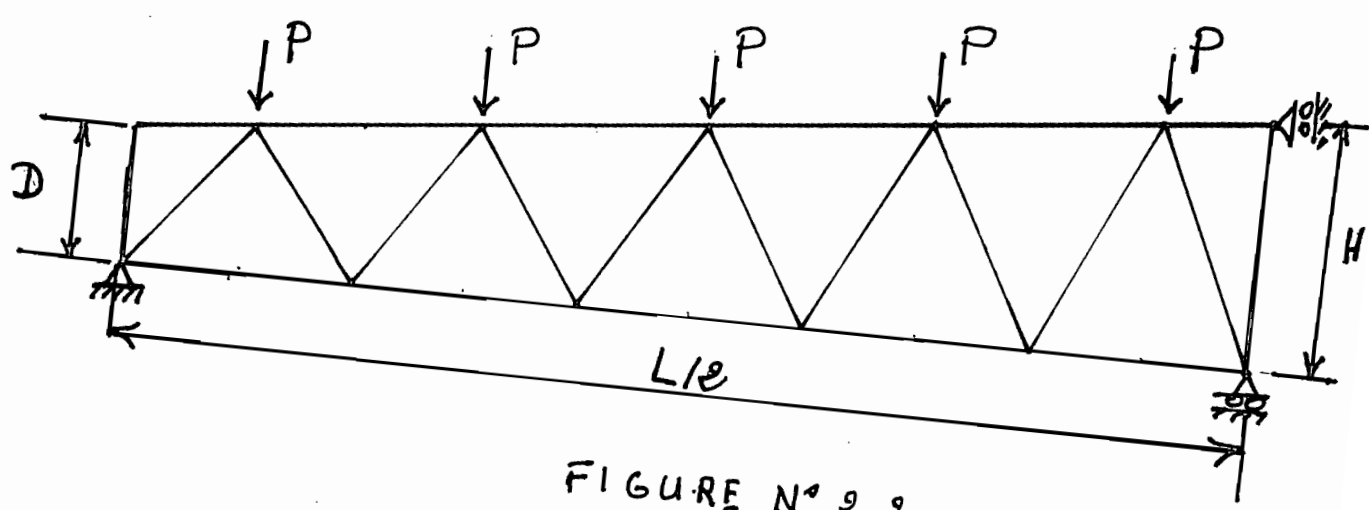


FIGURE N° 2.2

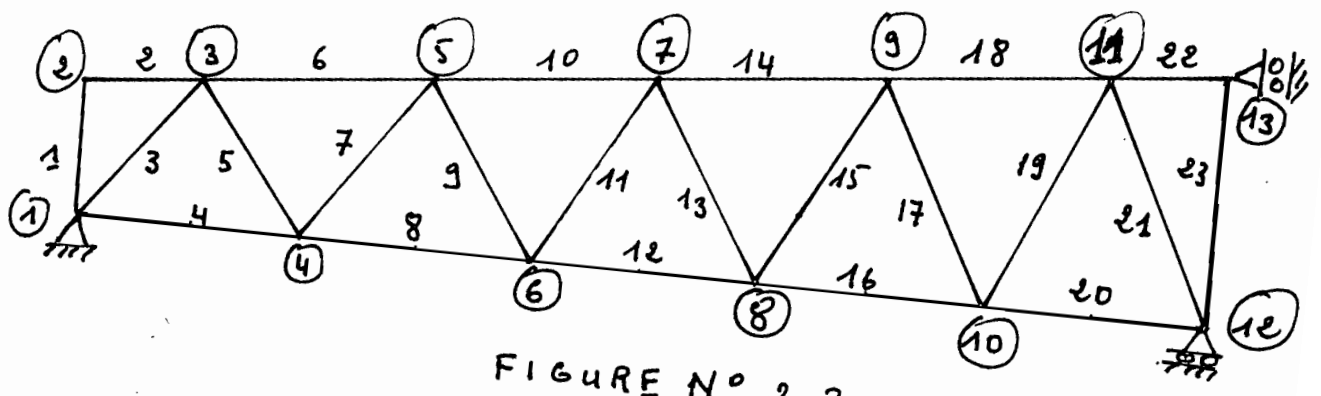


FIGURE N° 2.3

II.2 DETERMINATION DES CHARGES

II.2.2 Généralités

C'est la première phase de l'étude.

Elle revêt une importance capitale du fait qu'elle conditionne directement le dimensionnement des éléments structuraux. Nous utiliserons la méthode de calcul aux états limites.

II.2.3 Charges prévues :

a) La charge permanente D qui comprend :

- le poids propre de l'élément
- le poids des matériaux qui sont supportés de façon permanente par l'élément
- le poids de l'équipement permanent

b) La surcharge due à l'usage prévue : L

(y compris les charges dues aux ponts roulants)

c) La surcharge due aux vents : Q

(compte non tenu de celle due aux séismes)

Ces charges constituent les charges d'utilisation qui sont les charges qui sollicitent réellement la structure. Dans la méthode aux états limites on utilise les charges pondérées qui sont obtenues en multipliant les charges d'utilisation par des coefficients de pondération appropriés. Ces coefficients tiennent compte de la distribution probabiliste des charges.

II.2.4 Hypothèses de Calcul :

On fera l'approximation des toits plats du fait de la faiblesse des pentes ($\leq 10\%$)

Les charges du côté au vent identiques à celles sous le vent.

La structure (ferme) est donc symétrique et symétriquement chargée, on fera l'étude d'une moitié de ferme.

II.2.5 Calcul des Charges :

Charges permanentes :

Charpente en acier	0,05 KN/m ²
Pannes métalliques	0,05 KN/m ²
Couverture en amiante-ciment	0,15 KN/m ²
et accessoires (pas de plafond suspendu)	
Surcharge permanente (luminaire, etc)	0,10 KN/m ²
TOTAL	D = 0,35 KN/m ²

Surcharge due L'usage prévu

La pression prévue exercée par le vent , p

$$p = q C_e C_g C_p$$

où p : pression statique

q : pression dynamique de référence

C_e : coefficient d'exposition

C_g : coefficient de rafale

C_p : coefficient de pression extérieure

Le Code national du bâtiment du Canada (C N B C) nous recommande les valeurs suivantes :

$$C_e = 1,0 \text{ si hauteur du bâtiment } \leq 12 \text{ m}$$

$$C_g = 2,0 \text{ pour les principaux éléments structuraux}$$

q = 0,35 KN/m². Cette valeur correspond à un vent de 23 m/s, ce qui semble sécuritaire par rapport aux vitesses de vent enregistrées à l'ASENA.

D'après le code C_p C_g = - 1,3 pour les bâtiments dont la

hauteur ne dépasse pas 20 m.

Dans nos calculs on négligera le coefficient de pression intérieur C_{pi} qui dépend des ouvertures du bâtiment.

$$p = 0,35 \times 1,0 \times 1,3 = 0,46 \text{ KN/m}^2$$

$$Q = - 0,46 \text{ KN/m}^2$$

Calcul des Charges pondérées

On doit considérer toutes les combinaisons possibles de chargement (D, L et Q)

affectées des coefficients de pondération et voir les cas les plus critiques.

La charge pondérée est donnée par la formule générale :

$$W = \alpha_D D + \gamma \psi (\alpha_L L + \alpha_Q Q)$$

où :

$$\alpha_D = 1,25 \text{ pour les charges de gravité}$$

$$\alpha_D = 0,85 \text{ pour les charges de soulèvement}$$

$$\alpha_L = 1,5$$

$$\alpha_Q = 1,5$$

$$\psi = 1,0 \text{ lorsqu'une seule des charges L ou Q agit}$$

$$\psi = 0,70 \text{ lorsque les deux charges L et Q sont en}$$

jeu

$$\gamma = 1,0 \text{ coefficient de risque}$$

Etude des Différentes Combinaison de Charges :

1er Cas : D et Q agissent :

$$P = 0,85 D + 1,0 \times 1,0 \times 1,5 Q$$

où P est la charge exercée.

$$P = 0,85 \times 0,35 + 1,5 (- 0,46) \times 4,5$$

$$P = - 1,77 \text{ KN/m}$$

Les fermes intérieures étant espacées de 4,5 m

on a $S = 4,5 \times 1 \text{ (m}^2\text{)}$

II.2.6 Etude des Différentes Combinaisons de Charges :

1er Cas : D et Q agissent

$$P = 0,85 D + 1,0 \times 1,0 \times 1,5 Q$$

où P : est la charge exercée.

$$P = 0,85 \times 0,35 + 1,5 (- 0,46) \times 4,5$$

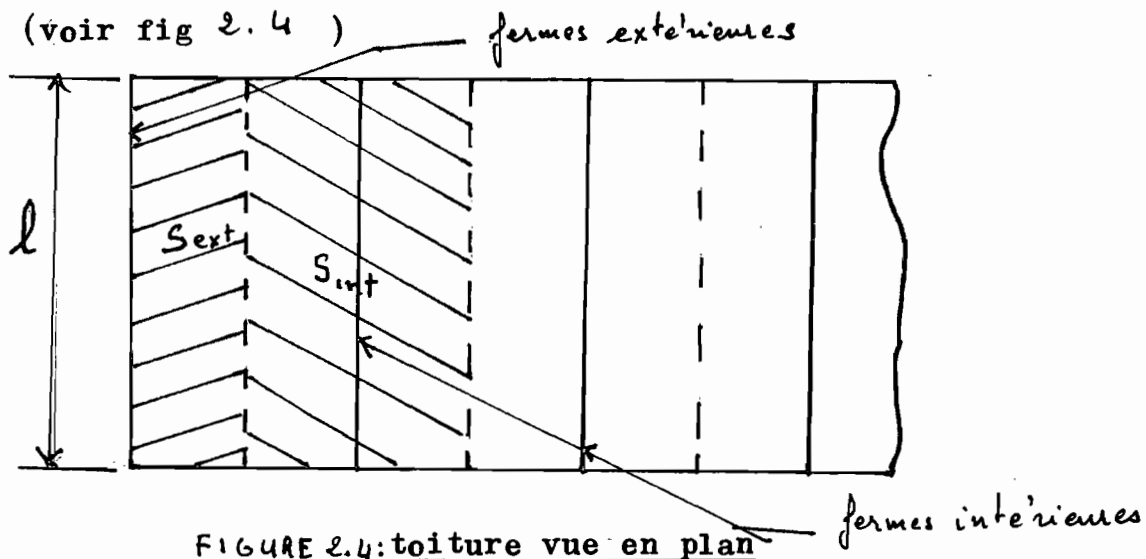
$$P = - 1,77 \text{ KN/m.}$$

Les fermes intérieures étant espacées de 4,5 m

on a $S = 4,5 \times l$ (m²)

où S : est la surface tributaire d'une ferme intérieure
(voir fig 2.4)

l : est la dimension dans le sens perpendiculaire
(voir fig 2.4)



2e Cas : D et L agissent simultanément

Le Code nous suggère d'utiliser un facteur de réduction
d'charges L, lorsque la surface du toit excède 20 m²

$$C = 0,3 + \sqrt{9,8/B}$$

où :

C : facteur de réduction

B : surface tributaire (m²)

Dans notre cas, la surface minimum excède $4,5 \text{ m}^2$ ($4,5 \text{ m} \times 10 \text{ m}$).
on a alors :

$$P = 1,25 D + 1,5 L \times (0,3 + \sqrt{9,8/B})$$

Puisque B dépend L, on calculera P paramètre linéaire

- Portée 10 m :

$$B = 4,5 \times 10 = 54$$

$$P = 1,25 \times 0,35 \times 4,5 + 1,5 \times 4,5 \times (0,3 + \sqrt{9,8/54})$$

$$P = 7,14 \text{ KN/m}$$

- Portée 12 m :

$$P = 1,25 \times 0,35 \times 4,5 + 1,5 \times 4,5 (0,3 + \sqrt{9,8/54})$$

$$P = 6,87 \text{ KN/m}$$

Le tableau II.1 résume les différents cas.

!! Portée :	Largeur :	1er cas (D+ Q)	2e cas (D+L)	!
! (m) :	tributaire :	_____ :	_____ :	!
! _____ :	(m) :	KN/m :	KN :	KN/m :: KN !
! 10 :	1,0 :	- 1,77 :	- 1,77 :	7,14 : 7,14 !
! _____ :	_____ :	_____ :	_____ :	_____ !
! 12 :	1,2 :	- 1,77 :	- 2,12 :	6,877 : 8,24 !
! _____ :	_____ :	_____ :	_____ :	_____ !
! 14 :	1,4 :	- 1,777 :	- 2,48 :	6,66 : 9,32 !
! _____ :	_____ :	_____ :	_____ :	_____ !
! 16 :	1,6 :	- 1,77 :	- 2,83 :	6,48 : 10,377 !
! _____ :	_____ :	_____ :	_____ :	_____ !
! 18 :	1,8 :	- 1,77 :	- 3,19 :	6,34 : 11,41 !
! _____ :	_____ :	_____ :	_____ :	_____ !
! 20 :	2,0 :	- 1,77 :	- 3,54 :	6,22 : 12,44 !
! _____ :	_____ :	_____ :	_____ :	_____ !

TABLEAU II.1 : Valeurs des charges unitaires

C H A P I T R E III
D E S I G N - D E S - E L E M E N T S

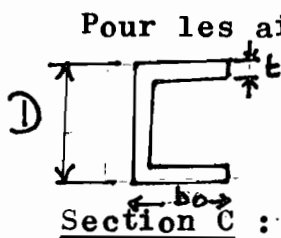
=====

III.1 Procédure :

Choix des sections de la membrure Supérieure.

La membrure supérieure est en compression, il y a donc des problèmes de flambage.

III.1.1 Flambage local :



Pour les ailes on a $\frac{b_o}{t} \leq \frac{260}{\sqrt{F_y}}$

$$\frac{b_o}{t} \leq \frac{260}{\sqrt{F_y}}$$

où b_o = largeur de l'aile

t : épaisseur de la section

F_y : limite élastique de l'acier

Prenons $F_y = 250$ MPa, (nuance disponible au Sénégal).

on a alors $\frac{b_o}{t} \leq 16,4$

d'où $b_o \leq 16,4 t$

Si $t = 2$, $b_o \leq 32,8$ mm

Si $t = 3$, $b_o \leq 49,2$ mm

Pour l'âme on a :

$$\frac{b}{t} \leq \frac{670}{\sqrt{F_y}}$$

$$\frac{b}{t} \leq \frac{670}{\sqrt{250}} = 42,4$$

$$b \leq 42,4 t$$

Si $t = 2$ $b \leq 84,8$ mm

Si $t = 3$ $b \leq 127,2$ mm

III.1.2 Flambage général des éléments :

Le flambage général dépend du rapport kl/r

Ici nous avons des éléments rotulés aux deux extrémités,

k est alors égal à 1.

r , le rayon de giration dépend du moment d'inertie de la section par rapport à l'axe autour duquel le flambage est considéré, I et A , l'aire de la section.

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Pour le calcul de I et A , j'ai bâti un programme d'ordinateur (voir annexe II. p 76). Ce programme permet aussi le calcul de la charge critique " C_r " en fonction de la longueur de l'élément. (voir Tableau p. 15)

III.2. Choix des sections de la membrure inférieure

Les éléments de la membrure inférieure sont en traction, le problème du flambage ne se pose donc pas.

On doit seulement vérifier la relation suivante

$$T_f \leq T_r$$

où T_f : la force de tension appliquée.

T_r : la résistance pondérée à la traction

Tr = résistance à la traction de la membrure.

$$\text{on a : (i) } Tr = \phi An Fy \text{ quand } An/Ag \geq Fy/Fu$$

$$= \phi \frac{(Fu An)}{Ag} \text{ quand } An/Ag < Fy/Fu$$

$$(i i) Tr = 0,85 \phi An Fu$$

Tr : étant égal à la plus petite des valeurs calculées en i) et i i)

Dans ces formules on a :

An : l'aire nette des sections

Fu : la limite ultime de l'acier utilisé.

Ag : l'aire brute de la section.

Avec $t = 3$ on a $Fu = 410$ MPa

(cf. p. 60--77 de la référence 2)

$$\text{on a donc } \frac{Fy}{Fu} = \frac{250}{410} = 0,61$$

III.2.1 Calcul Des Aires Nettes An :

D'après l'article 12.3.4 du Code , on a :

$$An \leq 0,85 Ag \text{ lorsque } Fy/Fu \leq 0,75$$

Ce qui est le cas de notre étude.

Toutes les membrures en traction à savoir les membrures inférieures et les diagonales seront dimensionnées en tenant compte de ces critères.

Exemple de Calcul :

Portée 10 m


Élément N° 8 : (VOIR PAGE 5)

$$Tf = 61,9 \text{ KN} \left(8,66 \times 7,14 \right) \quad Anr = \frac{61,9}{0,9 \times 0,250} = 275 \text{ mm}^2$$

(VOIR PAGE 91, MEMB#8, Fx)

$$Anr1 = 275 + 32 = 307 \text{ mm}^2$$

Anr1 = aire nette requise

Section Choisie : 70 x 25 x 2 

où D : profondeur , $D = 70 \text{ mm}$

B : largeur de l'aile , $B = 25 \text{ mm}$

t : épaisseur de l'acier , $t = 2 \text{ mm}$

$$A_g = 372 \text{ mm}^2$$

$$A_n = 372 - 32 = 340 \text{ mm}^2$$

$$\underline{A_n} = \underline{340} = 0,91$$

$$A_g = 372$$

$$A_n = 0,85 A_g$$

$$A_n = 0,85 \times 372 = 316 \text{ mm}^2$$

$$Tr_1 = \phi A_n F_y = 0,9 \times 316 \times 0,250$$

$$Tr_1 = 72,1 \text{ KN}$$

On remarque que $Tr_1 < Tr_2$

$$Tr_2 = 0,85 \phi A_n F_u$$

$$0,85 F_u = 0,85 \times 410 = 348,5 \quad F_y = 250$$

$$\text{d'où } Tr = Tr_1 = 71 \text{ KN} > Tr_2 = 61,9 \text{ KN}$$

La section choisie convient donc.

On fait de même pour toute les membrures en traction pour

les portées ce qui donne les résultats suivants :

III.2. 2 Résultats Selon les portées

Portée : 10 m :

Membrure inférieure

! Élément :	Force	Force	Anr	Section	An	Tr
! N°	: unitaire	: totale	: (mm ²)	: choisie	: (mm ²)	: (KN)
! :	: (KN)	: (KN)	:	: (DxBx t)	:	:
! 4	: - 3,85	:- 27,49	: 192	: 70x25x2	: 316	: 71
!	:	:	:	:	:	!
! 8	: - 8,67	:- 61,9	: 307	: "	: 316	: 71
!	:	:	:	:	:	!
! 12	: -11,18	:- 79,83	: 355	: 70x45x2	: 384	: 86,4
!	:	:	:	:	:	!
! 16	: -12,10	:- 86,39	: 384	: 70x45x2	: 384	: "
!	:	:	:	:	:	!
! 20	: -11,90	:- 84,97	: 378	: "	: "	: "
!	:	:	:	: A = 452	:	!

Portée 12 m :

Tableau III.1

! Élément :	Force	Force	Anr	Section	An	T2
! N°	: unitaire	: totale	:	: choisie	:	:
! 4	: - 3,53	:- 29,09	: 130	: 70x25x2	: 316	: 71
!	:	:	:	:	:	!
! 8	: -8,21	:- 67,65	: 300	: A = 372	: "	: 71
!	:	:	:	:	:	!
! 12	: -10,86	:- 89,49	: 398	: 80x55x2	: 452	: 101,7
!	:	:	:	:	:	!
! 16	: -12,00	:- 98,88	: 440	: "	: 452	: "
!	:	:	:	:	:	!
! 20	: -12,00	:- 98,88	: 440	: A = 532	: "	: "
!	:	:	:	:	:	!

Tableau III.2

Portée 14 m :MEMBRURE INFÉRIEURE

! Élément !	Force unit :	Force :	Anr :	Section :	An :	T2 !
! N° :	(KN) :	totale :	(mm ²) :	choisie :	(mm ²) :	(KN) !
! :	(KN) :	(2 x) :	:	:	:	! :
! 4 :	- 3,30 :	- 30,76 :	138 :	80x25x2 :	350 :	78,8 !
! :	:	:	:	:	:	! :
! 8 :	- 7,71 :	- 71,9 :	320 :	80x25x2 :	350 :	78,8 !
! :	:	:	:	:	:	! :
! 12 :	- 10,23 :	-95,3 :	430 :	A = 412 :	486 :	109 !
!! :	:	:	:	:	:	! :
! 16 :	- 11,34 :	-105,77 :	475 :	80x65x2 :	486 :	" !
! :	:	:	:	:	:	! :
!! 20 :	- 11,36 :	-105,7 :	475 :	A = 572 :	486 :	" !
! :	:	:	:	:	:	! :

Tableau III.3

Portée 16 m :

! :	:	:	:	:	:	! :
! :	:	:	:	:	:	! :
! 4 :	- 3,74 :	- 38,8 :	174 :	80x25x3 :	520 :	117 !
! :	:	:	:	:	:	! :
! 8 :	- 8,59 :	- 89,1 :	400 :	A = 612 :	" :	" !
! :	:	:	:	:	:	! :
! 12 :	- 11,26 :	-116,8 :	520 :	80x40x3 :	596 :	134 !
! :	:	:	:	:	:	! :
! 16 :	- 12,35 :	-128,1 :	575 :	A = 702 :	" :	" !
! :	:	:	:	:	:	! :
! 20 :	- 12,27 :	-126,5 :	565 :	" :	" :	" !
! :	:	:	:	:	:	! :

Tableau III.4

Portée 18 mMEMBRURE INFERIEURE

! Élément !	Force	Force	Anr	Section	An	Tr	!
! N° !	unitaire:	totale:	(mm ²)	choisie	(mm ²)	(KN)	!
!	(KN)	(KN)		(2x			!
! 4	: - 3,67	: 41,9	: 188	: 80x25x3	: 520	: 117	!
!	:	:	:	:	:	:	!
! 8	: - 8,51	: 97,1	: 436	: A = 612	: "	: "	!
!	:	:	:	:	:	:	!
! 12	: -11,21	: 127,9	: 570	: 80x45x3	: 647	: 145	!
!	:	:	:	: A = 762	:	:	!
! 16	: -12,36	: 141	: 627	: "	: 647	: 145	!
!	:	:	:	:	:	:	!
! 20	: -12,33	: 141	: 627	: "	: "	: "	!
!	:	:	:	:	:	:	!

Portée 20 m : Tableau III.5

!	:	:	:	:	:	:	!
!	:	:	:	:	:	:	!
! 4	: - 3,75	: -46,7	: 209	: 80x25x3	: 520	: 117	!
!	:	:	:	:	:	:	!
! 8	: - 8,64	: -107,5	: 478	: "	: "	: "	!
!	:	:	:	:	:	:	!
! 12	: -11,34	: -141,1	: 628	: 90x50x3	: 698	: 157	!
!	:	:	:	: A = 822	:	:	!
! 16	: -12,477	: -155,1	: 690	: "	: "	: "	!
!	:	:	:	:	:	:	!
! 20	: -12,41	: -154,4	: 687	: "	: "	: "	!
!	:	:	:	:	:	:	!

Tableau III.6

Portée 10 m :

Membrure Supérieure (en compression)

Elt	L	Force	Force	section	C2
		unitaire (KN)	totale (KN)		
6	1004	6,46	46,12	60x54x2	72
				A = 440	
10	1004	10,05	71,76	"	72
14	1004	11,72	83,68	80x60x2	93
18	1004	12,06	86,11	80x60x2	93
				A = 544	
22	502	11,42	81,54	80x60x2	

Portée 12 m :

Tableau III.7

Membrure Sup :

Elt	L(mm)	Force	Force	Section	Cr
		unitaire	totale	choisie	
6	1205	6,02	49,60	70x64x2	
10	1205	9,63	79,35	70x64x2	83,9
				A = 520	
14	1205	11,49	94,68	80x70x2	100
				A = 584	
18	1205	12,04	99,21	80x70x2	
				A = 584	
22	603	11,58	95,42	"	

Tableau III.8

Portée L = 16m

Membrure Sup

! Elt	: L(mm)	: Force	: Force	: Sections choisies	: Cr(KN)	!
! :	:	:unitaire	:totale	:KN:	:	!
! 6	: 1607	: 6,34	: 65,77	:] [80 x 70 x 2	: 69,9	!
!	:	:	:	: A = 584	:	!
! 10	: 16077	: 10,03	: 104	: 80 x 70 x 3	: 105	!
!	:	:	:	: A = 864	:	!
! 14	: 16077	: 11,88	: 123,2	: 80 x 76 x 3	: 130	!
!	:	:	:	: A = 900	:	!
! 18	: 16077	: 12,35	: 128,1	: "	:	!
!	:	:	:	:	:	!
! 22	: 804	: 11,81	: 122,5	: "	:	!
!	:	:	:	:	:	!

Portée 14 m :

Tableau III.9

Membrure Supérieure

! Elt	: L	: Force	: Force	: Sections choisies	: Cr	!
! :	:	:unitaire	:globale	:	:	!
! 6	: 1406	: 5,65	: 52,66	:] [80 x 70 x 2	: 86,7	!
!	:	:	:	: A = 584	:	!
! 10	: 1406	: 9,07	: 84,53	: 80 x 70 x 2	: 86,7	!
!	:	:	:	:	:	!
! 14	: 1406	: 10,85	: 101,12	: 80 x 80 x 2	: 108,6	!
!	:	:	:	: A = 624	:	!
! 18	: 1406	: 11,39	: 106,15	: "	: 108,6	!
!	:	:	:	:	:	!
! 22	: 703	: 10,98	: 102,33	: "	:	!
!	:	:	:	:	:	!

Tableau III.10

Portée L = 18 m

Membrure Supérieure

! Elt	: Longueur	: Force	: Force	: Section	: Choiesies	: Cr
! j	: (mm)	: unit (KN)	: totale	:	:	!
! 6	: 18077	: 6,25	: 71,3	:] [80 x 70 x 3	: 185!
!	:	:	:	:	A = 864	: !
! 10	: 18077	: 9,977	: 114	:	80 x 80 x 3	: 122!
!	:	:	:	:	A = 924	: !
! 14	: 1807	: 11,85	: 135,2	:	100 x 86 x 3	: 151!
!	:	:	:	:	A = 1080	: !
! 18	: 1807	: 12,39	: 141,4	:	"	: !
!	:	:	:	:		: !
! 22	: 904	: 11,88	: 135,6	:	"	: 226!
!	:	:	:	:		: !

Portée L = 20 m

Tableau III.11

Membrure Sup

! Elt	: L	: Force uni	: Force tot	: Section	: choisies	: Cr
!	: (mm)	: (KN)	: (KN)	:	:	!
! 6	: 2008	: 6,36	: 79,1	:] [80 x 76 x 3	: 82 !
!	:	:	:	:	A = 900	: !
! 10	: 2008	: 10,10	: 125,6	:	90 x 90 x 3	: 141 !
!	:	:	:	:	A = 1044	: !
! 14	: 2008	: 11,977	: 148,9	:	100 x 96 x 3	: 166 !
!	:	:	:	:	A = 1440	: !
! 18	: 2008	: 12,48	: 155,3	:		: !
!	:	:	:	:		: !
! 22	: 1004	: 11,95	: 148,7	:		: !
!	:	:	:	:		: !

Tableau III.12

III.4 Dimensionnement Des Diagonales :

On distingue les diagonales en traction et celles en compression. Leur dimensionnement se fait selon les mêmes principes que les membrures en traction ou en compression. L'application des principes donne les résultats suivants :

III.4.1 Diagonales en compression

Les modes de chargement critiques étant les mêmes : pour toutes les portées, on a les diagonales 3, 7, 11, 15, 17, et 21 qui sont toujours comprimées.

Portée 10 m :

!! Élément :	L	Effort	Section	Aire	Crit
! N° :	(mm)	(KN)	choisie	(mm ²)	(KN)
! :	:	:	(BxDxT)	:	!
! 3 :	820	45,04	60x35x2	252	47,5
! :	:	:	:	:	!
! 7 :	902	28,81	35x30x2	182	29
! :	:	:	:	:	!
! 11 :	987	16,577	45x25x2	182	18,4
! :	:	:	:	:	!
! 15 :	1074v	6,72	"	"	15,9
! :	:	:	:	:	!
! 17 :	1074	6,72	"	"	"
! :	:	:	:	:	!
! 21 :	1163	8,98	"	"	13,9
! :	:	:	:	:	!

Tableau III.13

Portée 12 m :

! Élément :	L	Effort :	Section :	Aire	Cr :
! N° :	(mm)	(KN)	choisie :	(mm ²)	(KN)
! 3	: 1041	: 50,4	: 60x45x2	: 292	: 55
!	:	:	:	:	:
! 7	: 1124	: 34,1	: 45x40x2	: 242	: 41,5
!	:	:	:	:	:
! 11	: 1210	: 20,8	: 50x30x2	: 212	: 21
!	:	:	:	:	:
! 15	: 1298	: 9,77	: 45x30x2	: 202	: 18
!	:	:	:	:	:
! 17	: 1298	: 14,1	: "	: "	: 18
!	:	:	:	:	:
! 21	: 1387	: 8,8	: "	: "	: 16
!	:	:	:	:	:

Tableau III.14

Portée 14 m

! Élément :	L	Effort :	Section :	Aire	Cr :
! N° :	(m)	(KN)	choisie :	(mm ²)	(KN)
! 3	: 1271	: 55,84	: 80x50x2	: 352	: 60,77
!	:	:	:	:	:
! 7	: 1372	: 38,12	: 80x40x2	: 312	: 39
!	:	:	:	:	:
! 11	: 1476	: 23,56	: 80x35x2	: 292	: 26
!	:	:	:	:	:
! 15	: 1584	: 11,15	: 80x35x2	: 292	: 13
!	:	:	:	:	:
! 17	: 1692	: 0,28	: 45x30x2	: 202	: 11,6
!	:	:	:	:	:
! 21	: 1692	: 9,60	: "	: "	: "

Tableau III.15

Portée 16 m :

!! Élément :	L :	Effort :	Section :	Aire :	Cre :
!! N° :	(m) :	(KN) :	choisie :	:	(KN) !
! 3 :	1236 :	64,74 :	80x45x3 :	492 :	78 !
! :	:	:	:	:	!
! 7 :	1451 :	42,85 :	80x40x3 :	462 :	53,7 !
! :	:	:	:	:	!
! 11 :	1570 :	25,61 :	80x35x3 :	432 :	33 !
! :	:	:	:	:	!
! 15 :	1692 :	11,36 :	60x35x3 :	372 :	26,77 !
! :	:	:	:	:	!
! 19 :	1692 :	0,89 :	" :	" :	" !
! :	:	:	:	:	!
! 21 :	1816 :	11,93 :	" :	" :	" !
! :	:	:	:	:	!

Tableau III.16

Portée 18 m :

! 3 :	1521 :	70,79 :	70x50x3 :	492 :	78 !
! :	:	:	:	:	!
! 7 :	1644 :	47,477 :	70x45x3 :	462 :	55 !
! :	:	:	:	:	!
! 11 :	1771 :	28,78 :	60x40x3 :	402 :	34 !
! :	:	:	:	:	!
! 15 :	1902 :	13,16 :	50x35x3 :	342 :	20 !
! :	:	:	:	:	!
! 19 :	1902 :	13,16 :	50x35x3 :	" :	" !
! :	:	:	:	:	!
! 21 :	2035 :	12,55 :	" :	" :	17,7 !
! :	:	:	:	:	!

Tableau III.17

Portée 20 m :

!	3	:	1668	:	77,75	:	70x55x3	:	522	:	83	!
!		:		:		:		:		:		!
!	7	:	1807	:	51,75	:	70x50x3	:	492	:	61	!
!		:		:		:		:		:		!
!	11	:	1951	:	31,10	:	65x45x3	:	447	:	39,8	!
!		:		:		:		:		:		!
!	15	:	2099	:	13,93	:	45x35x3	:	327	:	16	!
!		:		:		:		:		:		!
!	19	:	2099	:	13,93	:	"	:	"	:	16	!
!		:		:		:		:		:		!
!	21	:	2250	:	14,06	:	"	:	"	:	14,07	!
!		:		:		:		:		:		!

Tableau III.18

III. 5 TABLEAU RECAPITULATIF DES SECTIONS

!! Elément:		Portée						!!						
! N°	:	10 m	:	:	12 m	:	:	14 m	:	!!				
!	:	Section	:	Aire	:	Section	:	Aire	:	Section	:	Aire	!!	
!	S2	:	60x54x2	:	440	:	70x65x2	:	392	:	80x70x2	:	584	!!
!!	S6	:	"	:	"	:	"	:	"	:	"	:	"	!!
!	S10	:	"	:	"	:	"	:	"	:	"	:	"	!!
!	S16	:	80x50x2	:	544	:	80x70x2	:	584	:	80x80x2	:	624	!!
!	S18	:	"	:	"	:	"	:	"	:	"	:	"	!!
!!	S22	:	"	:	"	:	"	:	"	:	"	:	"	!!
!	I4	:	JL 70x25x2	:	372	:	JL 70x25x2	:	372	:	"	:	"	!!
!	I8	:	"	:	"	:	"	:	"	:	"	:	"	!!
!	I12	:	70x45x2	:	384	:	80x55x2	:	532	:	JL 2x 80x65x2	:	572	!!
!	I16	:	70x45x2	:	384	:	"	:	"	:	"	:	"	!!
!	I20	:	"	:	"	:	"	:	"	:	"	:	"	!!
!		:		:		:		:		:		:		!!
!	D1	:	45x25x2	:	182	:	45x25x2	:	182	:	45x25x2	:		!!
!	D3	:	66x35x2	:	252	:	60x45x2	:	292	:	70x50x2	:	332	!!
!	D5	:	45x25x2	:	182	:	45x25x2	:		:	45x25x2	:		!!
!	D7	:	45x30x2	:	202	:	50x30x2	:	212	:	65x25x2	:	292	!!
!	D9	:	45x25x2	:	182	:	45x25x2	:		:	45x25x2	:		!!
!	D11	:	45x30x2	:	202	:	50x30x2	:	212	:	65x35x2	:	262	!!
!	D13	:	45x25x2	:	182	:	45x25x2	:		:	45x25x2	:		!!
!	D15	:	"	:	"	:	45x30x2	:	202	:	50x30x2	:	212	!!
!	D17	:	"	:	"	:	45x25x2	:		:	45x25x2	:		!!
!	D19	:	"	:	"	:	45x30x2	:		:	50x30x2	:		!!
!	D21	:	"	:	"	:	45x25x2	:		:	45x25x2	:		!!

LEGENDE:

S = MEMBRURE SUPERIEURE

I = " " INFERIEURE

D = DIAGONALE

Tableau III.19

!! Elément:		Portée					
! N°	: 16 m	:	:	18 m	:	:	20 m
! Section	: Aire:	Section	: Aire:	Section	: Aire:	Section	: Aire!
! S2	: 80x70x2	:584	:	80x80x3	:702	:	90x90x3 : 1044!
!! S6	: "	: "	:	"	: "	:	" : "
! S10	: "	: "	:	"	: "	:	" : "
! S14	: 80x80x3	:702	:	100x90x3	:822	:	100x100x3 :1164!
! S18	: "	: "	:	"	: "	:	" : "
! S20	: "	: "	:	"	: "	:	" : "
! I4	: JL 2x80x25x3	: 612	:	JL 2x80x25x3	: 612	:	JL 2x80x25x3 : 612 !
! I8	: "	: "	:	"	: "	:	" : "
! I12	: JL 2x80x40x3	: 702	:	JL 2x80x45x3	: 762	:	JL 2x90x50x3 : 822 !
! I16	: "	: "	:	"	: "	:	" : "
! I20	: "	: "	:	"	: "	:	" : "
!	:	:	:	:	:	:	!!
! D1	: 45x25x2	:182	:	45x25x2	:	:	45x25x2 :182 !!
! D3	: 80x45x3	:492	:	70x50x3	:492	:	70x55x3 :522 !
! D5	: 50x30x2	:212	:	50x35x2	:224	:	60x35x2 :244 !
! D7	: 80x40x3	:462	:	70x45x3	:462	:	70x50x3 :492 !!
! D9	: 45x25x2	:	:	45x25x2	:	:	45x25x2 : !
! D11	: 80x35x3	:432	:	60x40x3	:402	:	65x45x3 :447 !
! D13	: 45x25x2	:	:	45x25x2	:	:	45x25x2 : !
! D15	: 60x35x3	:372	:	50x35x3	:342	:	45x35x3 :327 !
! D17	: 45x25x2	:	:	45x25x2	:	:	45x25x2 : !
! D19	: 60x35x3	:	:	50x35x3	:	:	45x35x3 : !
! D21	: 45x25x2	:	:	45x25x2	:	:	45x35x2 : !

Tableau III.20

III.6 Dimensionnement Des Pannes :

Les pannes sont les éléments qui soutiennent directement le recouvrement du toit. Elles font donc la liaison entre celui-ci et les fermes.

Les pannes sont posées perpendiculairement aux fermes.

III. 6.1 Forme De Section Choisie :

Pour une facilité de mise en oeuvre, la section suivante a été choisie (voir figure N°3.3)

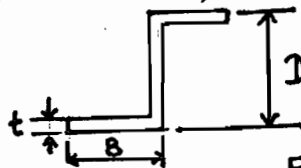


FIGURE 3.3

III.6 .2 Chargement des pannes :

Les pannes supportent donc des charges uniformément réparties. Ces charges sont créées par le vent, le recouvrement et la Surcharge de construction. Ce sont :

Les charges permanentes :

poids propres des pannes	0,15 KN/m ²
accessoires	0,15 KN/m ²

Les Surcharges :

Surcharge de vent	- 0,46 KN/m ²
Surcharge d'exploitation	1 KN/m ²

1er Cas de chargement : (D + Q)

$$W = 0,85(0,15 + 0,15) - 1,5 \times 2 \times 0,46$$

$$W = - 1,13 \text{ KN/m}^2$$

2e Cas de Chargement : (D + L)

$$W = 1,25 \times D + 1,5 L$$

$$W = 1,25 \times 0,15 \times 2 + 1,5 \times 1$$

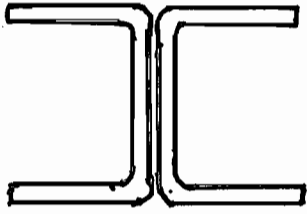


FIGURE N° 3.3
SECTION DE LA
MEMBRURE SUPER-
-RIEURE

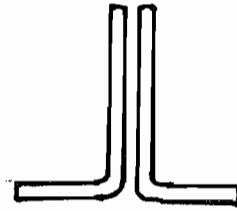


FIGURE N° 3.4.
SECTION DE LA
MEMBRURE INFÉRIEURE



FIGURE N° 3.5
SECTION DES
DIAGONALES

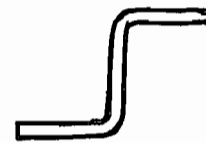


FIGURE N° 3.6
SECTION DES
PANNES

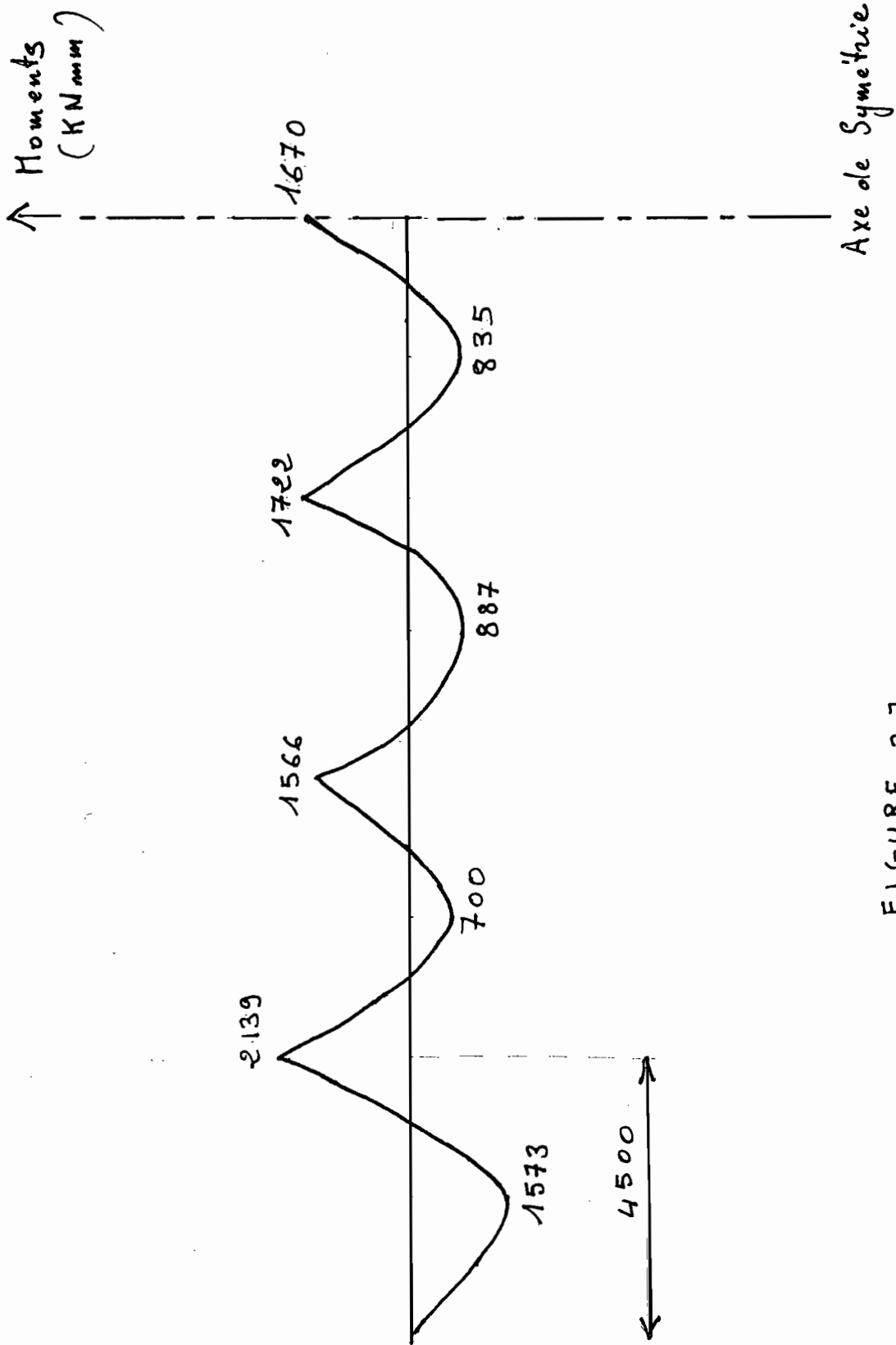


FIGURE 3.7

$$W = 1,875 \text{ KN/m}^2$$

On constate que ce dernier cas est le plus critique.

III.6 . 3 Procédure De Design :

On doit considérer la flexion au niveau des pannes. On doit donc vérifier la relation fondamentale

$$M_f \leq M_r \quad (3.6.1.)$$

où

M_f est le moment produit par les charges pondérées

M_r est le moment résistant des pannes

$$\text{or} \quad M_r = \phi M_{px} \quad (3.6.2.)$$

$$M_r = \phi Z_x F_y \quad (3.6.3.)$$

M_{px} : moment plastique de la section

Z_x : module de flexion plastique

on a donc :

$$M_f \leq \phi Z_x F_y \quad (3.6.4.)$$

On obtient M_f à partir du diagramme des moments produits par les charges pondérées critiques. A cet effet on simplifie l'étude, en étudiant un chargement unitaire et en traçant pour ce cas un diagramme des moments (voir figure N° 3.7 p. 29)

A partir de (3.6.4.) on tire

$$Z_x \geq \frac{M_f}{\phi F_y} \quad (3.6.5.)$$

A l'examen du diagramme des moments dû aux charges pondérées unitaires (voir figure N° 3.7 p. 29), on constate que les moments maximaux sont au droit des appuis (moments négatifs). On pourrait diviser la panne en quatre travées et on trouverait des sections pouvant résister au moment M_f . Mais par souci de Standardisation et de facilité de mise en oeuvre, on a préféré choisir une section unique pour chaque portée. Le dimensionnement va donc se faire par rapport au moment

maximum agissant sur la panne. On a ainsi :

$$W_{cr} = W_u \times l \quad (3.6.5)$$

où :

W_{cr} = charge critique

W_u = charge unitaire

l = largeur tributaire

Portée 10 m :

$$W_{cr} = 1,875 \times 1,0 \text{ m}$$

$$W_{cr} = 1,875 \text{ KN/m}$$

Les appuis étant espacés de 4,5 m, on est donc physiquement limité du fait que les longueurs maximum d'éléments qu'on peut avoir sont de 6 m. Cette contrainte est due à la poutre utilisée qui a une longueur de 6,3 m.

A l'examen de la figure 3.7 (p. 29)

on constate que le moment positif maximum et le moment négatif maximum se trouvent sur la première travée.

$$M_{\max 1} = + 1573 \text{ KN/mm}$$

$$M_{\max 2} = - 2139 \text{ KN/mm}$$

on remarque que : $2 \times M_{\max 1} > M_{\max 2}$

$$2 \times 1573 > 2139$$

$$3146 > 2139$$

Il est judicieux de placer le chevauchement des pannes au niveau des appuis. On déterminera ainsi la distance sur laquelle aura lieu le chevauchement et par conséquent une résistance double sera offerte par les pannes.

$$M_f = 1573 \times 1,875 = 2949,4 \text{ KN mm}$$

D'après la relation (3.6.5)

$$Z_x \gg \frac{M_f}{\sigma / F_y}$$

$$Z_x \gg \frac{29494,00}{0,9 \times 250}$$

$$Z_x \gg 13109 \text{ mm}^3$$

Choix de la Section :

La section 70x 55x 3 convient

$$\text{car } Z_x = 141277 \text{ mm}^3 > 13109 \text{ mm}^3$$

Le calcul de Z_x se fait comme suit :

$$Z_x = 2Q_x \quad (3.6.7)$$

$$Z_x = 2 \left[(A_1 \times \frac{D}{4}) + (A_2 \times \frac{D-t}{4}) \right]$$

$$Q_x = (\frac{D-t}{2}) A_1 + (\frac{D-t}{2}) \frac{A_1}{2}$$

$$Q_x = (\frac{D-t}{2}) t \times B + (\frac{D-t}{2}) \times (\frac{D-t}{2}) \times \frac{t}{2}$$

$$Z_x = 2 Q_x$$

$$Z_x = (D-t) t \times B + (\frac{D-t}{2}) \times (\frac{D-t}{2}) t$$

$$\text{si } D = 70, B = 55, t = 3$$

$$Z_x = 141277 \text{ mm}^3$$

III.6.4 Vérification Des Flèches :

Le C.N.B.C. recommande

$$\frac{\Delta}{L} = \frac{1}{300} \quad (3.4.7)$$

où Δ : déflexion verticale

L : longueur de la travée.

$$\text{d'où : } \Delta = \frac{L}{300}$$

$$\Delta = \frac{4500}{300} = 15 \text{ mm}$$

$$\text{D'autre part } \Delta_{\text{eff}} = \frac{5 \omega L^4}{384 EI} \quad (3.4.8)$$

où

Δ_{eff} : de flexion effective

ω : charge vive

$$\omega : 1 \text{ KN/m}^2 \times 1 \text{ m} = 1 \text{ KN/m}$$

$$\Delta_{eff} = \frac{5 \times 1 \times 4,5 \times (4500)^3}{384 E I}$$

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

$$I = 436 \ 126 \text{ mm}^4 \text{ (annexe II P. 76)}$$

$$\Delta_{eff} = \frac{5 \times 1 \times 4,5 \times (4500)^3}{384 \times 200 \ 000 \times 436 \ 126}$$

$$\Delta_{eff} = 0,06 \text{ mm} < 15 \text{ mm} \quad \text{ok !}$$

III.6.5 Détermination de Distance De Chevauchement des pannes : d

Au niveau du moment négatif maximum

on a un moment de

$$M_{max} = 2139 \times 1,875$$

$$M_{max} = 4011 \text{ KN mm}$$

Chaque panne participant à la jonction devra reprendre un moment de 2006 KN mm. Sur le diagramme, au droit de l'appui considéré, on localise le point ayant pour ordonnée 2006 KN mm. De part et d'autre de la courbe on ajoute 70 mm (D) à l'échelle. La distance interceptée par ces deux points constitue d, la distance où l'on double la section par le biais de la jonction (c.f. figure N° 37. p. 29)

Portée 12 m

On fait la même démarche que précédemment:

charge critique

$$W_{er} = 1,875 \times 1,2 = 2,25 \text{ KN/m}$$

$$M_f = 1,573 \times 2,25 = 3,539 \text{ KNm} = 3539 \text{ KNmm}$$

Section choisie : 70 x 65 x 3

$$Z_x = 16497 \text{ mm}^3$$

Nous avons ainsi : TABLERAU III.21

! Portée :	Z _{xf}	Section	Z _{xr}	eff
! (m) :	(mm ³)	choisie	(mm ³)	(mm)
!! 10	: 131077	: 70x 55 x 3	: 141277	: 0,06
!	:	:	:	!
! 12	: 164377	: 70x 65 x 3	: 164377	: !
!	:	:	:	!!
! 14	: 18351	: 80x 65 x 3	: 19122	: !
!	:	:	:	!
! 16	: 210677	: 80x 75 x 3	: 21432	: !
!	:	:	:	!
! 18	: 23689	: 90x 75 x 3	: 24867	: !
!	:	:	:	!
! 20	: 26320	: 90x 85 x 3	: 27477	: !
!	:	:	:	!

III 5 Dimensionnement Des Suspentes et des entretoises :

III 5.1 Design des Suspentes

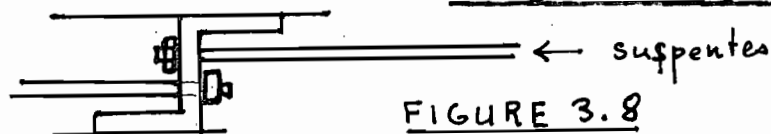


FIGURE 3.8

Rôle des suspentes :

Elles retiennent latéralement les pannes et empêchent ainsi le déversement latéral.

Ce sont des éléments qui doivent être dimensionnés en traction seulement. On peut choisir des tirants (fer rond). Ils doivent vérifier la relation suivante

$$T_f \leq T_r$$

où : T_f est la composante h

de la charge permanente et de la surcharge agissant parallèlement à la surface du toit d'où $T_f \leq \phi A F_y$

$$\Rightarrow A \geq T_f / \phi F_y$$

Nous obtenons le tableau suivant :

! Portée :	T_{fmax} :	A_{nr} :	Diamètre :	A_{nr} :
! (m) :	(KN) :	(mm ²) :	choisie :	(mm ²) :
! :	:	:	(mm) :	:
! 10 :	0,095 :	0,422 :	8 :	50 :
! :	:	:	:	!! :
! 12 :	0,132 :	0,587 :	" :	" :
! :	:	:	:	! :
! 14 :	0,182 :	0,809 :	" :	" :
! :	:	:	:	! :
! 16 :	0,240 :	1,067 :	" :	" :
! :	:	:	:	! :
! 18 :	0,306 :	1,36 :	" :	" :
! :	:	:	:	! :
! 20 :	0,370 :	1,644 :	" :	" :

TABLÉAU III. 2

En fait, on peut choisir le tirant ayant un diamètre plus petit car la condition requise est $A_{nr} \leq A_n$

Si on prend A_{nr} (aire nette requise)

maximum on a : $A_{nr} = 0,164 \text{ mm}^2$

$$\text{or } A_n = \frac{\pi D^2}{4} \Rightarrow D \geq \sqrt{\frac{4 \times A_{nr}}{\pi}}$$

$$D \geq 1,5 \text{ mm}$$

Donc à la limite on pourrait même se dispenser d'utiliser

ces tirants cela est d'ailleurs recommandé dans la référence 2 (p.65)

III.7.2 Design des entretoises :

Les entretoises constituent les supports latéraux des membrures supérieures et inférieures et limitent ainsi leur longueur de flambement. La charge horizontale à laquelle elles résistent est, en général, prise comme 5 % de la charge verticale sollicitant les membrures. Par souci de standardisation et de simplification, on choisit une section pour toutes les entretoises d'une portée. On a ainsi le tableau suivant :

! Portée :	effort	:	Aire nette	:	Section choisie !
! (m) :	horizontal(P)	:	requis	:	(mm ²) !
! _____ :	(KN)	:	(mm ²)	:	_____ !
! 10 :	4,3	:	20	:	45 × 25 × 2 !
! 12 :	5	:	23	:	A = 136 !
! 14 :	5,3	:	24	:	" !
! 16 :	6,4	:	29	:	" !
! 18 :	7	:	32	:	" !
! 20 :	7,7	:	35	:	" !
! _____ :		:		:	_____ !

Tableau

a) Exemple de calcul :

Portée 20 m

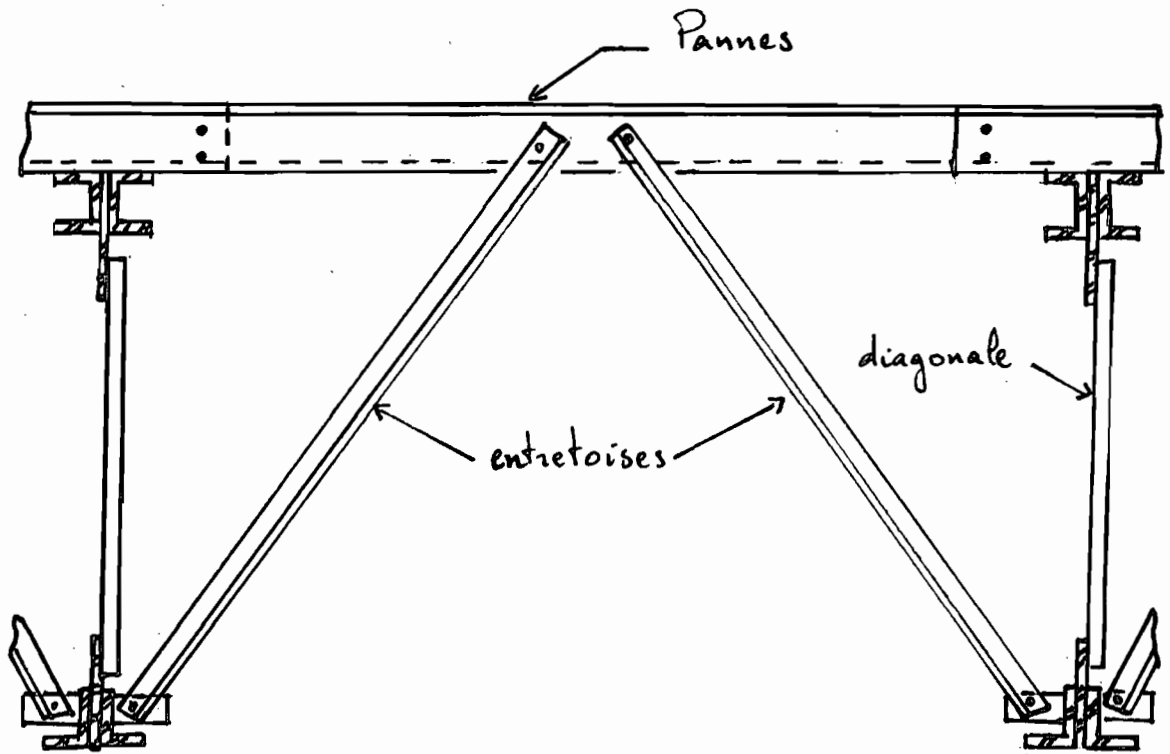
$P_{fmax} = 155,3 \text{ KN}$ (élément N° 18)

$P = 5 \% \times P_{fmax} = 0,05 \times 155,3 = 7,7 \text{ KN}$

$$\text{Anr} \geq \frac{P}{\phi \times F_y} \Rightarrow \text{Anr} \geq \frac{7,7}{0,9 \times 0,250}$$

$$\text{Anr} \geq 35$$

36 bis



Système d'entretôisement

C H A P I T R E I V
A S S E M B L A G E D E S E L E M E N T S

IV 1 Introduction :

L'assemblage des pièces constituant les structures se fera par boulonnage ou par soudage. Le boulonnage offre l'avantage de la facilité alors qu'une bonne soudure requiert des ouvriers qualifiés. Notons que l'avantage du soudage réside dans le fait que celui-ci se fait en atelier alors que le boulonnage se fait essentiellement au chantier. Donc aux avantages de l'un correspond les inconvénients de l'autre et vice-versa. Nous allons donc appliquer ces deux types d'assemblage aux éléments des fermes à assembler.

IV 2 Assemblages boulonnés

IV 2 1 Assemblage Diagonale-membrure :

Pour ces assemblages, nous utiliseront des goussets. (voir fig. 4.3)

a) Détermination du nombre
de boulons nécessaires :

Ici les filets des boulons sont inclus :

$$V_{rr} = 0,42 \phi m A_b F_u \quad (4.1)$$

où :

V_{rr} = résistance pondérée d'un boulon

ϕ = coefficient de tenue. $\phi = 0,67$

m = nombre de plans cisailés

F_u = la contrainte minimale de rupture d'un boulon

A_b = aire d'un boulon, choisissons des boulons de 12 mm de diamètre.

$$A_b = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 12^2}{4}$$

$$A_b = 113 \text{ mm}^2$$

$$V_r = 0,42 \times 0,67 \times 1 \times 113 \times 0,414$$

$$V_r = 13 \text{ KN}$$

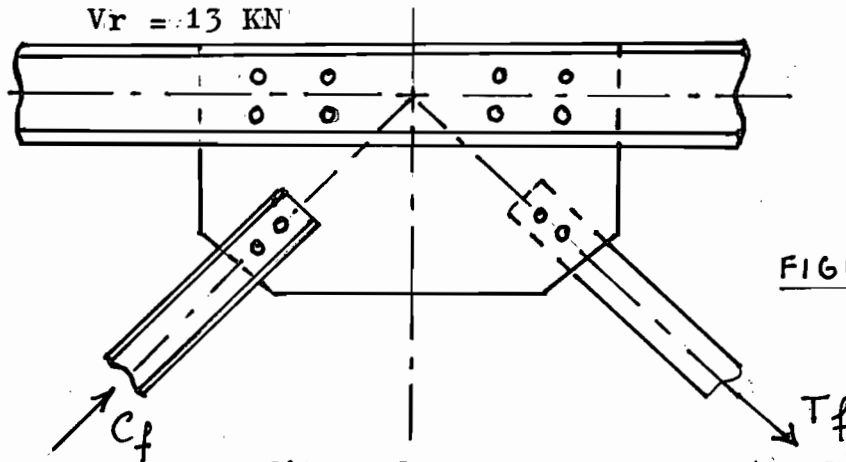


FIGURE 4.3

Nous avons un genre d'assemblage comme le montre la figure 5.1

L'effort sollicitant les boulons au niveau des diagonales est égal à l'effort de traction ou de compression dans la diagonale. Pour un assemblage par contact, le nombre de boulons nécessaires pour résister à l'effort total pondéré (P) est égal à

$$n \geq \frac{P}{V_r} \quad (4.2)$$

Nous avons ainsi

Portée 10 m :

! Noeuds :	Effort :	n :	n' :	!
! N° :	(KN) :	:	:	!
! 3-4 :	30,27 :	3 :	4 :	!
! :	:	:	:	!
! 5-6 :	17,14 :	2 :	2 :	!
! :	:	:	:	!
! 7-8 :	6,9 :	" :	" :	!
! 9-10 :	1,6 :	" :	" :	!
! 11-12 :	:	" :	:	!

n' : est le nombre de boulons qu'on a décidé de mettre pour obtenir un assemblage concentrique compte tenu de la disposition constructive adoptée (boulons mis par paire voir figure 4.1).

Portée 12 m :

! Noeuds :	Effort :	n :	n' :	!
! N° :	(KN) :	:	:	!
! 3-4 :	35,3 :	3 :	4 :	!
! :	:	:	:	!
! 5-6 :	27,4 :	2 :	2 :	!
! :	:	:	:	!
! 6-7 :	9,9 :	" :	" :	!
! :	:	:	:	!
! 8-9 :	14 :	" :	" :	!
! :	:	:	:	!
! 10-11 :	7,9 :	" :	" :	!

Portée 14 m :

! Noeuds :	Effort :	n :	n' :	!
! N° :	(KN) :	:	:	!
! 3-4 :	39,3 :	3 :	4 :	!
! :	:	:	:	!
! 5-6 :	24,1 :	2 :	2 :	!
! :	:	:	:	!
! 7-8 :	11,4 :	" :	" :	!
! :	:	:	:	!
! 9-10 :	0,3 :	" :	" :	!
! :	:	:	:	!
! 11-12 :	8,8 :	" :	" :	!

Tableau N° IV 1

Portée 16 m :

! Noeuds	:	Effort	:	n	:	n'	!
! N°	:	(KN)	:		:		!
! 3-4	:	44,6	:	4	:	4	!
!	:		:		:		!
! 5-6	:	26,4	:	3	:	4	!
!	:		:		:		!
! 7-8	:	11,6	:	2	:	2	!
!	:		:		:		!
! 9-10	:	0,9	:	"	:	"	!
!	:		:		:		!
! 10-12	:	10,77	:	"	:	"	!

Portée 18 m :

! 3-4	:	49,2	:	4	:	4	!!
!	:		:		:		!!
! 5-6	:	29,7	:	3	:	4	!
!	:		:		:		!
! 7-8	:	13,5	:	2	:	2	!
!	:		:		:		!!
! 9-10	:	0,3	:	"	:	"	!
!	:		:		:		!
! 11-12	:	11,1	:	"	:	"	!

Portée 20 m :

!! 3-4	:	53,7	:	5	:	6	!
! 5-6	:	32	:	3	:	4	!
! 7-8	:	14,3	:	2	:	2	!
! 9-10	:	0,9	:	"	:	"	!
! 11-12	:	12,1	:	"	:	"	!

IV.2.2 Assemblage membrure égousset

b) Calcul du nombre de boulons nécessaire à l'épissure d'âme

Nous appliquons toujours l'équation 4. 2

Nous obtenons le tableau suivant :

<u>Portée (m) :</u>	<u>Noeud</u>	<u>n</u>	<u>n'</u>
10	6	4	4
12	"	4	4
14	"	4	4
16	"	5	6
18	"	5	6
20	"	6	6

Tableau N° IV 2

Le noeud 6 est situé sur la membrure inférieure (cf. figure N° 4.4)

Ici $m = 2$ du fait que deux plans cisailés (cf. figures N° 4. 4 et 4. 5)

L'équation 4. 1 donne alors $V_r = 26$ KN

Pour l'épissure de la membrure supérieure localisé au niveau de noeud 7 (voir figures N° 4. 4 et 4. 5). Nous avons le tableau suivant (IV 3)

Portée	Noeud	n	n'
10	7	4	4
12	"	4	"
14	"	4	"
16	"	6	6
18	"	6	"
20	"	6	"

TABEAU IV.3

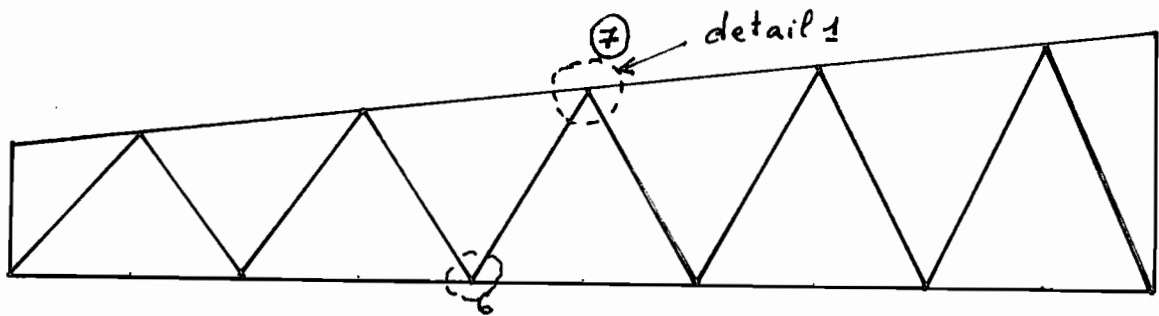


FIGURE N° 4.4

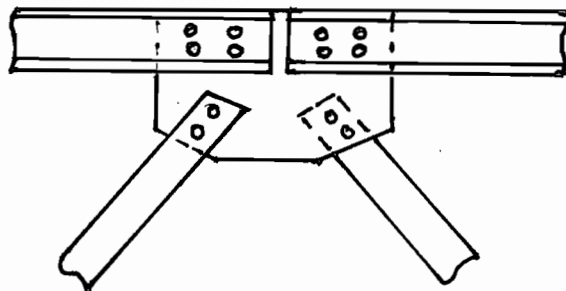


FIGURE N° 4.5 : Detail 1
EPISSURE D'ANE DE LA MEMBRURE

TABEAU IV.3 VALEURS DE n Selon LA PORTEE

! Noeud :	Portée (m)								!
	! N° :	10 :	12 :	14 :	16 :	18 :	20 :	!	
! 1 :	2 :	2 :	2 :	2 :	2 :	2 :	2 :	!	
!	:	:	:	:	:	:	:	!	
! 2 :	2 :	2 :	2 :	2 :	2 :	2 :	2 :	!	
!	:	:	:	:	:	:	:	!	
! 3 :	4 :	4 :	4 :	4 :	4 :	4 :	4 :	!	
!	:	:	:	:	:	:	:	!	
! 4 :	4 :	4 :	" :	" :	6 :	6 :	6 :	!	
!	:	:	:	:	:	:	:	!	
! 5 :	" :	" :	" :	" :	" :	" :	" :	!	
!	:	:	:	:	:	:	:	!	
! 6 :	" :	" :	6 :	" :	" :	" :	" :	!	
!	:	:	:	:	:	:	:	!	
! 7 :	" :	" :	" :	" :	" :	" :	" :	!	
!	:	:	:	:	:	:	:	!	
! 8 :	" :	" :	6 :	" :	" :	" :	" :	!	
!	:	:	:	:	:	:	:	!	
! 9 :	" :	" :	" :	" :	" :	" :	" :	!	
!	:	:	:	:	:	:	:	!	
! 10 :	" :	8 :	" :	" :	" :	" :	" :	!	
!	:	:	:	:	:	:	:	!	
! 11 :	" :	" :	4 :	" :	" :	" :	" :	!	
!	:	:	:	:	:	:	:	!	
! 12 :	" :	" :	" :	" :	" :	" :	" :	!	

TABEAU IV.4

c) Calcul du nombre de boulons de l'assemblage
Diagonale Gousset

Nous devons satisfaire à la relation suivante

$$V_r \geq \frac{P}{n}$$

$$V_r = 13 \text{ KN si } m = 1 \text{ (cf. figure 4.6)}$$

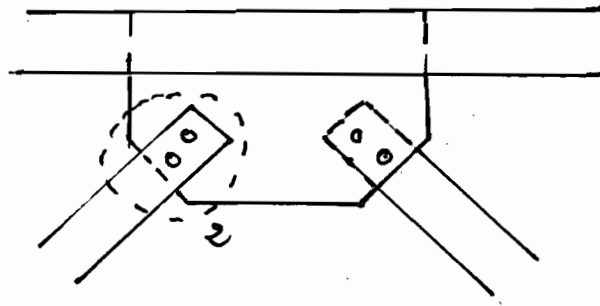


figure 4.6: Visualisation de Assemblage de
 type 2: Diagonale-gousset

On a ainsi les tableaux suivants :

Portée 10 m :

Tableau IV.5

! Élément	:	P	:	n	:	n'	:	P/n'	!
! N°	:		:		:		:		!
! 5	:	30,3	:	3	:	4	:	7,6	!
!	:		:		:		:		!
! 9	:	17,1	:	2	:	2	:	8,6	!
!	:		:		:		:		!
! 13	:	6,9	:	"	:	"	:	3,5	!
!	:		:		:		:		!
! 19	:	1,6	:	"	:	"	:	0,8	!
!	:		:		:		:		!
! 23	:	0,9	:	"	:	"	:	0,5	!

Portée 12 mTableau IV.6

! Élément :	P :	n :	n' :	P/n' :	!
! N° :	(KN) :	:	:	:	!
! 5 :	35,3 :	3 :	4 :	8,8 :	!!
! :	:	:	:	:	!!
! 9 :	21,4 :	2 :	2 :	10,77 :	!
! :	:	:	:	:	!
! 13 :	9,9 :	" :	" :	5 :	!!
! :	:	:	:	:	!!
! 17 :	14,1 :	" :	" :	7 :	!!
! :	:	:	:	:	!
! 23 :	7,9 :	" :	" :	4 :	!!

Portée 14 m

!! Élément :	P :	n :	n' :	:	!!
!! N° :	(KN) :	:	:	:	!!
!! 5 :	39,3 :	3 :	4 :	9,8 :	!!
!! :	:	:	:	:	!!
! 9 :	24,1 :	2 :	2 :	:	!!
! :	:	:	:	:	!
! 13 :	11,4 :	" :	" :	:	!
! :	:	:	:	:	!
! 17 :	0,28 :	" :	" :	:	!
! :	:	:	:	:	!
! 23 :	8,76 :	" :	" :	:	!

Tableau IV.7

Détermination Des Valeurs De n

$$n \geq \frac{P}{V_r}$$

Pour chaque noeud on calcule les valeurs de n suivant la formule ci-dessus.

Portée 10 m :

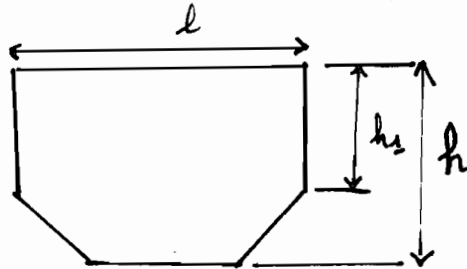
! Noeud !	:	P	:	n	!
! N° !	:	(KN)	:		!
! 1 !	:		:	2	!
! 2 !	:		:	2	!
! 3 !	:	46,12	:	4	!
! 4 !	:	61,9	:	4	!
! 5 !	:	71,8	:	4	!
! 6 !	:	79,8	:	4	!
! 7 !	:	83,68	:	4	!
! 8 !	:	86,4	:	"	!
! 10 !	:	86,1	:	"	!
! 11 !	:	84,9	:	"	!
! 12 !	:	81,5	:	"	!

TABLEAU IV.8

d) Calcul Des Goussets

Nous devons déterminer les dimensions des goussets :

FIGURE 4.7



Ces dimensions sont :

- l : largeur
- h₁ : profondeur réduite
- h : profondeur totale
- t : épaisseur

Détermination de la largeur l :

La largeur l dépend essentiellement du nombre de boulons utilisés dans l'assemblage et de la pince longitudinale e .

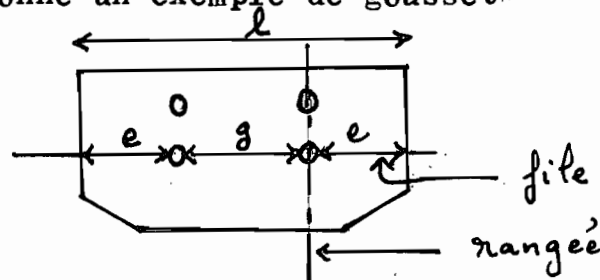
$$l = 2e + (n_1 - 1) g \quad (4.3)$$

où :

- e : pince longitudinale
- n_1 : nombre de boulons situés sur une file parallèle au sens de la largeur
- g : l'espacement entre les rangées de boulons.

La figure 4.8 donne un exemple de gousset :

FIGURE 4.8



Prenons $e = 3d = 3 \times 12 = 36$ mm

d : diamètre d'un boulon, $d = 12$ mm

d : diamètre d'un boulon, d = 12 mm

$$g = 3d = 36 \text{ mm}$$

Si nous décidons de mettre les boulons par rangée de deux, nous avons :

$$n1 = \frac{2n}{2}$$

Plus généralement : $n1 = \frac{2n}{2}$ (4 ; 4)

où :

n : est le nombre de boulons par demi- assemblage

a : est le nombre de boulons par rangée

n1 : nombre de boulons par file. On a ainsi les résultats suivants.

Portée 10 m :

! Noeuds N°	:	1, 2, 3, 4, 5	:	6, 7... 12 !
! 1 (mm)	:	180	:	230 !
!	:		:	! !

TABLEAU IV.4: VALEURS DE 1

Portée (m)	Noeuds N°		
	1, 2, ..., 5	6, 7, ..., 12	
10	180	230	
12	"	"	
14	"	"	
16	260	260	n1 = 6
18	330	330	N1 = 8
20	"	"	n1 = 8

Exemple de Calcul :

Par exemple pour la portée 18 m. On choisit le n1 maximum pour cela on calcule n maximum

$$n \geq \frac{P_{\max}}{V_r} = \frac{141,4}{23} = 6,1$$

n = 8 (pour respecter la symétrie)

$$n1 = \frac{2n}{a}$$

a = 2 (2 boulons par rangée) n1 = n = 8

$$l = 2e + (n1 - 1) g$$

$$l = 2 \times 36 + (8 - 1) 36$$

$$l = 330 \text{ mm}$$

Détermination De L'épaisseur t Des Goussets

Les goussets doivent avoir une épaisseur suffisante pour résister à :

- l'écrasement du gousset autour des boulons
- la déchirure du gousset aux extrémité travaillant en traction
- aux efforts dans toute les sections .

La manière de procéder et de choisir une épaisseur t pour chaque gousset et de faire la vérification des trois critères. Pour la troisième critère, on fait la vérification sur les sections jugées les plus critiques.

Calcul de l'épaisseur t :

On doit satisfaire à une condition suivante :

$$Br \geq \frac{P}{n} \quad (4.5)$$

où Br : la résistance pondérée à la pression diamétrale (cf référence 2 p. 121). La relation 4.8 n'est valable que pour un assemblage concentrique ce qui est le cas de notre étude. Autrement, il faudrait vérifier la relation suivante :

$$Br \geq Vr \quad (4.6)$$

D'autre part on a :

$$Br = \phi \text{ et } Fu \quad (4.7)$$

En combinant (4. 5) et (4. 7) on obtient :

$$t \gg \frac{P}{n \phi e F_u} \quad (4. 8)$$

Le rapport P/n peut être calculer du fait que n est déjà déterminé et que p est connu.

Par souci de standardisation et de simplification des calculs on peut seulement considérer les cas les plus critiques où $\frac{P}{n}$ est maximum pour chaque portée.

Portée (m)	P/n max	t
10	21	2,1
12	23,7	2,3
14	25,3	2,6
16	21,4	2,1
18	23,6	2,4
20	25,8	2,6

tableau IV. 8

On constate que $t < 3$ mm

On peut prendre donc partout des goussets de 4 mm d'épaisseur.

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

Exemple de Calcul :

Pour la portée 18 m par exemple :

$$\frac{P}{n} \max = \frac{141,4}{6} = 23,6$$

$$t \geq \frac{P}{n \phi e F_u}$$

$$t \geq \frac{23,6}{0,67 \times 36 \times 0,410} = 2,4 \text{ mm}$$

Détermination de la profondeur h :

Il s'agit en fait de donner une hauteur minimale du gousset qui permettra une mise en oeuvre adéquate. Nous supposons que nous avons deux files de boulons au niveau des membrures et que les diagonales soient liées aux goussets par une file de deux boulons au minimum (voir fig 4.1) L'angle $\alpha = 30^\circ$. En tenant compte d'une pince transversale de $E_t = 1,75 d$ on a :

$$h \min = 2 \times 1,75 d + g + (2 \times e + g) \cos 30^\circ \text{ avec}$$

$$g = 3d, e = 3d, d = 12 \text{ mm}$$

$$\underline{h \min = 150 \text{ mm}}$$

IV. 3 Vérfications

IV. 3. 1 Vérfication de la Déchirure des Sections des Goussets.

N'importe quel section du gousset doit pouvoir résister à l'effort tranchant induit par la combinaison des différentes forces sollicitant le gousset. La figure 4.9 nous montre la situation pour un assemblage (voir figure 4.9)

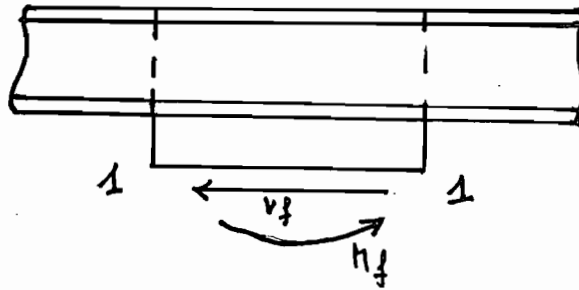


Figure 4.9

$$V_f = 2 T_f \sin \alpha \quad (4.10) \quad (\text{voir figure 4.1 et 4})$$

$$M_f = h T_f \cos \alpha$$

On doit satisfaire la condition :

$$V_r \geq V_f \quad (4.9)$$

D'après la référence 2 p. 89

$$V_r = 0,50 \phi A_g F_y \geq V_f \quad (4.10)$$

où :

A_g : aire brute de la section cisailée

Prenons $A_g = l \times t$

$$A_{g \min} = l_{\min} \times t$$

$$A_{g \min} = 180 \times 4$$

$$= 720 \text{ mm}^2$$

$$V_r \min = 0,5 \phi A_{g \min} F_y$$

$$= 0,5 \times 0,9 \times 720 \times 0,250$$

$$V_r \min = 81 \text{ KN}$$

A l'examen des tableaux de la page et suivantes, nous constatons que la diagonale 3 est la plus sollicitée. Pour la portée 20 m (p. 24) nous avons :

$$T_f = 77,75 \text{ KN}$$

$$(4. 10) \Rightarrow V_f = 2 \times 77,8 \times \sin 30^\circ$$

$$V_f = 77,8$$

on a donc :

$$V_f \max = 77,8 \text{ KN}$$

$$V_r \min = 81 \text{ KN}$$

Ce qui implique que :

$$V_r > V_f \text{ dans tous les cas.}$$

IV 3. 2. Vérification de la Déchirure du Gousset aux extrémités des pièces travaillant en traction :

On doit toujours vérifier la relation :

$$B_r \geq \frac{P}{n}$$

a) Vérification de la pression diamétrale du gousset près des diagonales en traction :

D'après le tableau p. 45 on constate que l'effort maximum de traction est situé au niveau de la diagonale N° 5 m

D'autre part :

$$B_r = \emptyset \text{ et } F_u \leq 3 \emptyset \text{ dt } F_u \quad (4. 11)$$

$$B_r = 0,67 \times 36 \times 4 \times 0,410$$

$$B_r = 39,6 \text{ KN}$$

On a :

$$V_r = 13 \text{ KN} \geq \frac{P}{n}$$

donc

$$B_r \geq V_r$$

b) Vérification de la résistance à la pression
diamétrale du métal de base des diagonales en
traction

D'après 4/11 :: $Br = 0,677 \times 36 \times 2 \times 0,410$

$$Br = 19,8 \text{ KN}$$

Pour l'élément N° 5, nous avons ::

Portée:	10	: 12	: 14	: 16	: 18	: 20	!
m	:	:	:	:	:	:	!
$\frac{P}{n}$: 10,09	: 17,6	: 19,77	: 14,86	: 16,4	: 17,9	!
	:	:	:	:	:	:	!

D'où $Br \geq \frac{P}{n}$ OK !

IV. 4. Assemblages Soudés

C'est la deuxième méthode d'assemblage. La relation qui gouverne dans le cas d'un assemblage concentrique est la suivante :

$$qrD \left(\sum_{i=1}^m li \right) \geq P \quad (4.12)$$

où :

li : longueur d'un cordon quelconque participant à l'assemblage.

D : la grosseur de la soudure

qr : la résistance pondérée d'un cordon ayant une longueur et une grosseur unitaire.

Il est suggéré de choisir une électrode compatible avec le métal de base (cf. référence 2p. 190). Ainsi pour $F_u \leq 410$ on a électrode d'apport E 410, $qr = 130 \text{ N/mm/mm}$

On peut transformer l'équation (4.12)

$$\text{ainsi : } \sum_{i=1}^m li = 1$$

$$\text{d'où : } q_r D l \geq P$$

La valeur de D est limitée par la pièce d'épaisseur minimale de l'assemblage :

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

$$\text{d'où } l \geq \frac{P}{q_r D}$$

$$l \geq \frac{P}{0,13 \times 2}$$

$$l \geq \frac{P}{0,260}$$

Nous pouvons alors donner les valeurs de l selon la portée et l'élément à assembler. Commençons par les diagonales (voir fig. 4.10) pour chaque portée la diagonale la ^{plus} sollicitée en l'occurrence la diagonale N° 3. On a ainsi :

! Portée :	Pmax :	lr :	l :	l/2 :
! (m) :	(KN) :	(mm) :	(mm) :	(mm) !
! 10 :	45,04 :	173,2 :	200 :	100 !
! :	:	:	:	!
! 12 :	50,4 :	194 :	200 :	100 !!!
! :	:	:	:	!
! 14 :	55,8 :	215 :	260 :	130 !!
! :	:	:	:	!
! 16 :	64,7 :	250 :	260 :	130 !
! :	:	:	:	!
! 18 :	70,8 :	273 :	300 :	150 !
! :	:	:	:	!!
! 20 :	77,8 :	300 :	300 :	150 !

Tableau IV.3: valeurs des longueurs des cordons de soudure.

de l'assemblage 2 (diagonale-gousset.)

Dans le tableau ci-dessus l_r , représente la longueur du cordon de soudure requise pour résister à l'effort transmis aux diagonales

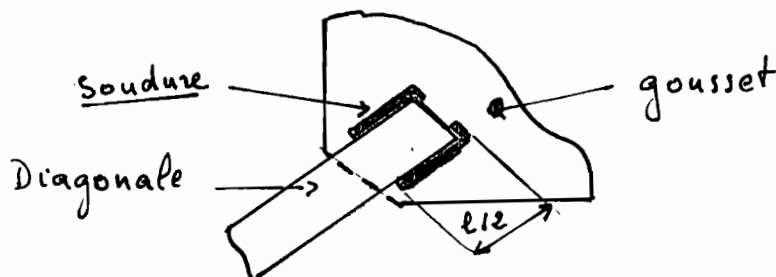


FIGURE 4.10 : ASSEMBLAGE TYPE 2

Calcul des longueurs des cordons de Soudure pour les assemblages de type 1_s (gousset - membrures)

(voir figure 4.11)

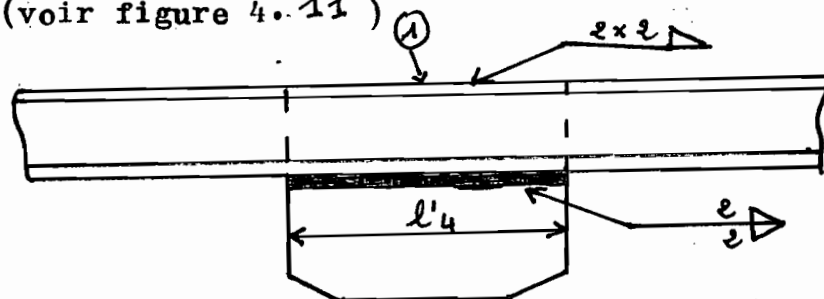


figure N° 4.11 Assemblage de type 1s

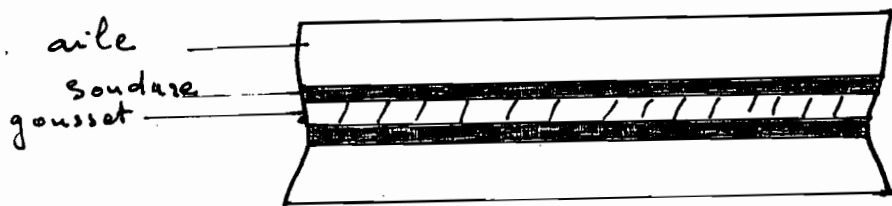


FIGURE 4.12 Détail(1)

Comme on a procédé précédemment, on peut choisir une longueur de cordon par portée. Nous avons ainsi :

! Portée	:	Pmax	:	l_r	:	l	:	1/4	!
! (m)	:	(KN)	:	(max)	:	(mm)	:	(mm)	!!
! 10	:	86,1	:	331,1	:	360	:	90	!!
!	:		:		:		:		!
! 12	:	99,2	:	381,5	:	400	:	100	!!
!	:		:		:		:		!
! 14	:	106,1	:	408	:	440	:	110	!!
!	:		:		:		:		!
! 16	:	128,1	:	493	:	500	:	125	!
!	:		:		:		:		!
! 18	:	141,4	:	544	:	560	:	140	!
!!	:		:		:		:		!
! 20	:	155,3	:	597	:	600	:	150	!!

TABLEAU IV. 10

IV.4.1 Vérifications

a) Cisaillement dans le métal de base

Assemblages type 2s

Nous Devons vérifier la relation :

$$D_{qr} \leq 0,66 \phi F_y w \quad (4. 13)$$

ici : D = 2 mm et $q_r = 0,130$ KN/mm/m

$$D_{qr} = 2 \times 0,13 = 0,26 \text{ KN/mm}$$

$$0,66 \times \phi \times F_y \times w = 0,66 \times 0,9 \times 0,250 \times 2$$

$$= 0,2977 \text{ KN/mm}$$

La relation 4.13 est donc vérifiée

- Assemblages de types 1s :

((Soudure entre goussets et ailes)

Nous avons une surface cisailée par deux cordons de soudure.

La relation suivante doit être satisfaite :

$$2 D_{qr} \leq 0,66 \sigma_{Fu} t \quad (4.14)$$

d'où :

$$2 \times 0,26 \leq 0,66 \times 0,9 \times 0,25 \times 4$$

$$0,52 \leq 0,59 \quad \text{OK !}$$

C H A P I T R E V
CALCUL DES COÛTS

IV.1 Introduction

Les équipements mécaniques nécessaires pour former les sections à partir de l'acier en rouleau sont principalement, un dérouleur, une plieuse et une cisaille. On peut faire le calcul des coûts en tenant compte du fait que l'équipement de production est disponible. Dans ce cas seulement le coût de l'acier est à considérer plus éventuellement le coût de l'usure des équipements autrement dit l'amortissement. Le deuxième cas est celui pour lequel il faut acheter les équipements avant de commencer la production. Dans ce cas aussi l'amortissement sera étalé sur un certain nombre d'années. Prenons 10 ans par exemple.

PRIX DES EQUIPEMENTS

! Article :	Poids :	Gabarit (volume):	Prix :	Prix !
! :	(kg) :	(m ²) :	FOB ::	FOB !
! :	:	:	Montreal :	Dakar !
! DEROULEUR :	5000	: 9 (2x1,5 x 3)	: 20 000 \$ C:	!
! :	:	:	:7000 000 CFA	!
! CISAILLE :	21800	: 38 (2,3x6,5x2,5)	:77 000 \$ C:	!
! :	:	:	:26950 000 FCFA	!
! PLEUSE :	26300 kg	38(1,8x6,3x3,3)	: 82 000 \$ C:	!
! :	:	:	:28700, 000 FCFA	!
! :	:	:	:	!

TABLEAU V.1

1 \$ C : 1 dollar Canadien = 350 FC FA

Selon les bateaux utilisés on peut taxer les marchandises au poids ou au volume. On a ainsi d'après les services de transit du port de Dakar.

!! Article	: TAXES	: TAXES	: Prix TTC	: Prix TTC	!
!	: au	: au	:	:	!
!	: Cubage	: Poids	: (FCFA)	:	!!
!	: (FCFA)	: (FCFA)	:	:	!
! 1 Derouleur	: 174 746	: 204 345	: 910 000	:	!
!	:	:	:	:	!
!! 1 Cisaille	: 581 714	: 689 350	: 35035 000	:	!
!	:	:	:	:	!
! 1 Plieuse	: 648 887	: 807 113	: 37310 000	:	!
!	:	:	:	:	!

TABLEAU V.2

On constate que le pourcentage par rapport au prix d'achat est de l'ordre de 3 %. On peut donc calculer le prix à Dakar avec ce taux, d'où les valeurs de la dernière colonne du tableau précédent.

Ces prix n'incluent pas toutefois les frais de douanes qui sont variables selon la position de l'entreprise.

V. 2. Prix D'achat de l'acier en rouleau

Prenons comme prix d'achat actuel de l'acier 425 F CFA le kilogramme.

V. 2. 1. Masse de l'acier utilisé dans les différents

cas :

On détermine la masse de l'acier des éléments composant la ferme en appliquant la relation suivante :

$$P = \rho \frac{M}{V} \quad (5.1)$$

ce qui implique que :

$$M = \rho V \quad (5.2)$$

On peut lire la valeur de ρ dans la référence 1 p. 7- 28 :

$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$. Il reste donc pour chaque élément à déterminer V .

$$\text{On a} \quad V = Al \quad (5.3)$$

où A : Aire de la section

l = longueur de l'élément

Nous avons ainsi pour chaque portée les valeurs de M dans le tableau V. 1

!! Portée :	10	:	12	:	14	:	16	:	18	:	20	!
! m :		:		:		:		:		:		!
! M :	138	:	148	:	194	:	252	:	3077	:	402	!
! :		:		:		:		:		:		!

Tableau V.3

Lorsqu'on y ajoute la masse des assemblages qu'on estime en général à 10 % de la masse des éléments structuraux, d'où les résultats suivants :

! Portée:	10	:	12	:	14	:	16	:	18	:	20	!
! m :		:		:		:		:		:		!
! M :	152	:	163	:	214	:	278	:	338	:	443	!
! (kg) :		:		:		:		:		:		!

Tableau V.4 Masse de la ferme en fonction de la portée

V 3. . . Coût de la ferme :

En prenant 425 FCFA comme prix de référence (Janvier 1985) du kilogramme d'acier en rouleau, nous pouvons calculer les valeurs du tableau suivant en appliquant les hypothèses généralement admises :

- l'acier galvanisé coûte 40 % plus cher que l'acier noir
- l'acier fabriqué coûte 50 % plus cher que l'acier brut

! Portée	:	10	:	12	:	14	:	16	:	18	:	20	!
! (m)	:		:		:		:		:		:		!
! Coût	:	65	:	70	:	91	:	113	:	144	:	189	!
! Acier noir:	:		:		:		:		:		:		!
!	:		:		:		:		:		:		!
! Coût	:	91	:	97	:	128	:	166	:	202	:	264	!
! Acier	:		:		:		:		:		:		!
! galvanisé	:		:		:		:		:		:		!
! Coût ferme	:		:		:		:		:		:		!
! en acier	:	98	:	105	:	137	:	179	:	216	:	284	!
! noir	:		:		:		:		:		:		!
! Coût ferme	:		:		:		:		:		:		!
! en acier	:	137	:	146	:	192	:	249	:	303	:	396	!
! galvanisé	:		:		:		:		:		:		!
!	:		:		:		:		:		:		!

Tableau V.6: Coûts en milliers de francs CFA

Exemple de calcul :Portée 10 m :

$$\begin{aligned} \text{Coût Acier noir} &= 152 \text{ kg} \times 425 \text{ F/kg} \\ &= 64600 \quad 65000 \text{ FCFA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Coût acier galvanisé} &= 65\ 000 \times 1,4 \\ &= 91\ 000 \text{ FCFA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Coût ferme en acier} &= 65\ 000 \times 1,5 \\ \text{noir} &= 975\ 00 \\ &= 98\ 000 \text{ FCFA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Coût ferme en acier} &= 91\ 000 \times 1,5 \\ \text{galvanisé} &= 137\ 000 \text{ FCFA} \end{aligned}$$

V. 4. Comparaison avec une ferme usuelle

Les coûts calculés n'ont de sens que comparés avec ce qui se fait effectivement ou ce qu'on peut envisager. A cet effet on trouve dans la référence 3 p. 5 une ferme avec une pente de 50 cm par m soit 50 %.

La charge considérée étant de 200 kg/m². En considérant la même surface tributaire que pour le cas de notre étude

$$S = 4,5 \times 1 \text{ m}^2/\text{m}, \text{ on obtient :}$$

$$W = 200 \times S = 900 \text{ kg/m}$$

$$W = 9000 \text{ N/m} = 9 \text{ KN/m}$$

Considérons la portée de 10 m :

Le calcul de la masse de la ferme se fait de la même manière que pour les fermes construites avec des profilés à froid :

$$M = pV$$

où

p : masse volumique l'acier

$$p = 7850 \text{ kg/m}^3$$

V : volume de l'acier

$$V = A \times l$$

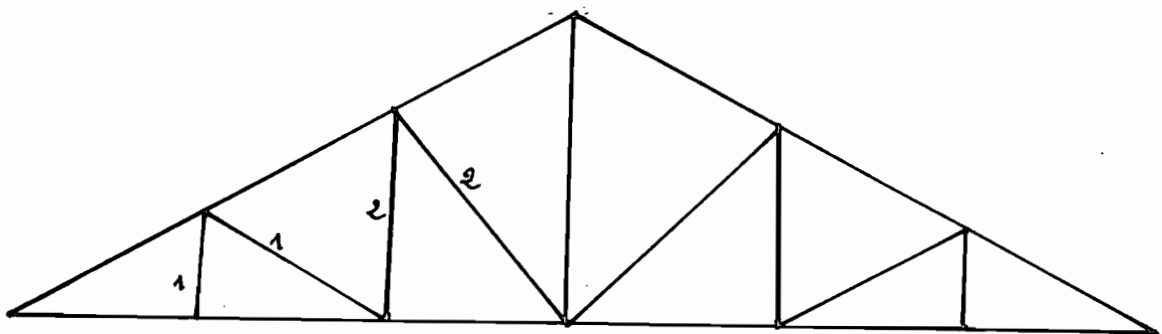


figure V : ferme de type "PRATT" fabriquée avec des profilés laminés

Nous avons ainsi :

! Pièce	: Profil	: Section	: Aire	: 2 l	: Masse	!
! _____	: _____	: _____	: Section	: (mm)	: (kg)	!
! Arbalétrier:	7r	: 70x70x7	: 1862	: 11 180	: 163	!
! _____	: _____	: _____	: _____	: _____	: _____	!
! Tirant	: JL	: 40x 40 x4	: 608	: 10 000	: 48	!
! _____	: _____	: _____	: _____	: _____	: _____	!
! poinçon	: L	: 35x 35x3,5	: 233	: 2500	: 4,6	!
! _____	: _____	: _____	: _____	: _____	: _____	!
! Diagonale 1:	L	: 50x 50 x5	: 475	: 3800	: 14	!
! _____	: _____	: _____	: _____	: _____	: _____	!
! Diagonale 2:	L	: 50x 50x5,6	: 564	: 4800	: 21,2	!
! _____	: _____	: _____	: _____	: _____	: _____	!
! Montants	:	: 30x 30 x3	: 171	: 5000	: 6,77	!
! _____	: _____	: _____	: _____	: _____	: _____	!

Tableau V.1: Masse de différents éléments pour une portée de 10 m

Nous pouvons alors calculer la masse totale de la ferme

$$M_t = M_i$$

$$M_t = 258 \text{ kg sans les goussets}$$

Si nous faisons la même hypothèse que précédemment la masse totale avec goussets est :

$$M_{tot} = M_t \times 1,1$$

$$M_{tot} = 258 \times 1,1$$

$$= 284 \text{ kg}$$

Ce qui est supérieure à la masse de la ferme de type Warren avec des éléments formés à froid : $M_{tot} = 152$

Mais on peut nous rétorquer que les charges ne sont pas les mêmes, mais pour avoir une idée de cette différence

comparons le rapport des charges et celui des masses pour les deux cas.

$$\frac{M1}{M2} = \frac{152}{284} = 53 \%$$

$$\frac{W1}{W2} = \frac{7,14}{10} = 0,71$$

avec :

M1 : masse de la ferme type Warren formée à froid

M2 : masse de la ferme type PRATT avec acier laminé

W1 : charges pondérées agissant sur ferme type WARREN

W2 : charges pondérée agissant sur ferme type PRATT

Nous avons donc pour une différence de charges appliquées de 29 % une différence de masse donc de prix de 47 %.

(l'acier se vendant au kg).

V.5. Calcul de la rentabilité du projet :

On peut envisager deux situations : une entreprise qui doit acheter les équipements pour démarrer la fabrication des fermes. Une autre qui dispose déjà de équipements nécessaires. Raisonnons par rapport au premier cas qui est le plus délicat et supposons les hypothèses suivantes .

--L'entreprise a acheté les équipements grâce à un emprunt bancaire de 70 000 000 FCFA.

- Le remboursement se fera par annuité d'un d'intérêt 12 %

--Le taux d'inflation annuel sur les équipements est de 10 %

Calculs :

La table A - 4 de la référence 4 donne pour une annuité unitaire de 10 % sur une période de 10 ans, Capitalisée une fois

par année. Il faut payer, la première année :

$$\frac{C}{n} (1 + k^*)$$

avec :

C : capital emprunté

k* : taux d'intérêt appliqué par la banque

n : durée de l'emprunt

$$\begin{aligned} \frac{C}{n} (1 + k^*) &= \frac{70\,000\,000}{10} (1 + 12\%) \\ &= 7840\,000 \text{ FCFA} \end{aligned}$$

On peut appliquer l'équation suivante :

(référence 5 p. 229) :

$$\frac{R_1}{(1+r)} + \frac{R_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{R_N}{(1+r)^N} - C = 0$$

où :

R₁ = flux monétaire net de l'année 1

r = taux de rentabilité interne du projet

Pour obtenir les 7840 000 il faut faire un bénéfice au moins égal à cette somme. Pour cela il faut vendre un certain nombre de fermes. Supposons que le bénéfice obtenu soit égal à 50 % du coût de la ferme

$$\text{soit } F = \frac{7840\,000}{98000 \times 0,5} = 160 \text{ fermes}$$

Si on suppose qu'on a 10 fermes par bâtiment, 160 fermes équivalent à 16 toitures dans l'année ce qui est très plausible en période de crise comme c'est le cas maintenant. Supposons que l'entreprise produise 2 toitures par mois soit 240 fermes par année on a :

$$R_1 = 240 \times \frac{98000}{2} = 11760\,000$$

Si P_0 est la somme qui doit être payée annuelle sous forme d'annuité on a :

$$R = \frac{P_n \times i}{(1+i)^n - 1} = \frac{P_0 (1+i)^n \times i}{(1+i)^n - 1}$$

avec P_n la valeur en n années de l'argent P_0 au taux d'intérêt i .

Soit P'_0 la somme que quelqu'un désire investir sur le projet pour en tirer profit au taux d'inflation j et soit R'_0 son annuité.

$$P'_0 = \frac{R'_0 (1+ie)^n - 1}{ie(1+ie)^n}$$

$$\text{où : } ie = \frac{1+i}{1+j} - 1$$

Si on prend

$$i = 12 \%, j = 10 \%, n = 10$$

$$\begin{aligned} P_{10} &= P_0 (1+i)^{10} \\ &= 7000\ 000 (1+0,12)^{10} \\ &= 21740938 \text{ FCFA} \end{aligned}$$

$$R = \frac{7000\ 000 (1,12)^{10} \times 0,12}{(1,12)^{10} - 1}$$

$$R = 1238890 \text{ FCFA}$$

$$ie = \frac{1,12}{1,1} - 1 = 0,01818$$

$$R'_0 = 7000\ 000 \times \frac{(1,01818)^{10} \times 0,01818}{(1,01818)^{10} - 1}$$

$$R'_0 = 771883$$

Pour que le projet soit rentable il faut que

$$R > R'_0 \text{ ce qui est le cas}$$

$$R - R'_0 = 1238890 - 771883$$

$$= 467007$$

Donc le projet s'avère intrinsèquement rentable compte tenu des hypothèses de départ.

C H A P I T R E VI
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Ce qu'il faut retenir c'est que cette étude peut être la base de la mise en oeuvre de ce procédé de fabrication de charpentes de toitures avec des profilés formés à froid. L'aspect théorique de l'étude nous a poussé à faire un dimensionnement très précis. On pourrait pousser encore plus la standardisation des éléments sans pour autant nuire à l'aspect économique car nous avons vu que la structure conçue est plus légère de près de 50 %. On pourrait se permettre de généraliser toutes les épaisseurs des membrures à 3 mm par exemple.

En outre, il faut noter que des problèmes de réalisation pratique pourraient se poser toujours face à la diversité des éléments. A cet effet nous recommandons une identification physique précise de chaque élément de la ferme surtout lorsqu'il s'agit d'éléments assemblés par boulonnage.

On pourrait aussi amalgamer les deux genres d'assemblage (soudage et boulonnage) pour profiter des avantages complémentaires de ces deux types d'assemblages. En effet on pourrait entièrement souder les assemblages situés sur des noeuds présentant une continuité de section.

La plus grande longueur continue d'éléments ne dépassant pas 5 m le problème de transport ne se pose pas. De même le problème de levage est mineur quand on sait que la ferme la plus lourde pèse 450 kg, un appareillage rudimentaire peut convenir pour le levage (système poulie-cable).

Concernant l'aspect économique, la ferme conçue avec les profilés formés à froid revient à peu près 50 % moins cher que les types de fermes proposés par Mr Gazel (référence N° 3).

APPENDICES

A N N E X E I

Photographie d'une réalisation similaire
au Canada.

La charpente de ce séchoir à maïs a été entièrement réalisée avec des profilés formés à froid. Mr Aquin a participé à sa réalisation.

Notons que même les poteaux sont des profilés formés à froid. Les assemblages sont boulonnés.

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



PHOTO N° 4

Début de l'opération "PLIAGE"
des toles de 3 mm d'épaisseur
Noter : la réglette gabarit
retenue par la pince-
étai



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°).



A N N E X E II
PROGRAMMES D'ORDINATEUR

L'ordinateur est pour nous un outil de travail.
L'analyse structurale a été faite en grande partie à l'aide de programmes d'ordinateur que j'ai conçus.

Ces programmes en langage BASIC sont faits en mode conversationnel et sont donc faciles d'utilisation.

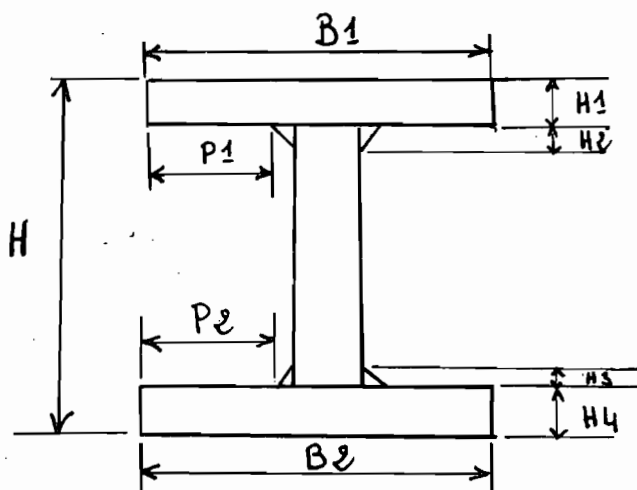
On dispose donc dans les annexes de :

- PROGRAMME N° 1

titre "calcul des propriétés géométriques" :

Section I

Données à fournir au programme



Section en I

- H : profondeur de la section
- H1 : épaisseur de l'aile supérieure
- H2 : épaisseur du raccordement supérieur
- H3 : épaisseur du raccordement inférieur
- H4 : épaisseur de l'aile inférieure
- B1 : longueur de l'aile supérieure
- B2 : longueur de l'aile inférieure

k : coefficient de contrôle

$k = 1$ s'il y a un raccordement d'une épaisseur non négligeable pour le calcul de l'aire de la section. Sinon on fait $k = 0$.

On remarque: si on néglige les raccordements on peut donner n'importe quelle valeur à H_2 et H_3 et en faisant $k = 0$ on les annule dans les calculs du programme dans ce cas il est inutile de mesurer donc les valeurs de H_2 et H_3 . Quand on fait l'opération inverse ($H_2 = 0$, $H_3 = 0$ et k quelconque) on obtient le même résultat.

Z : autre coefficient de contrôle.

En général l'axe $y - y$ est l'axe faible pour les sections en I parce que ayant d'habitude une inertie beaucoup plus petite (la masse étant proche de l'axe de rotation à, mais ce qui détermine en fait l'axe faible c'est la valeur du rapport d'élanement k_1/R)

k étant le facteur d'élanement qui est ici égal à 1.

Ce rapport devient donc L/R

où L : longueur de l'élément

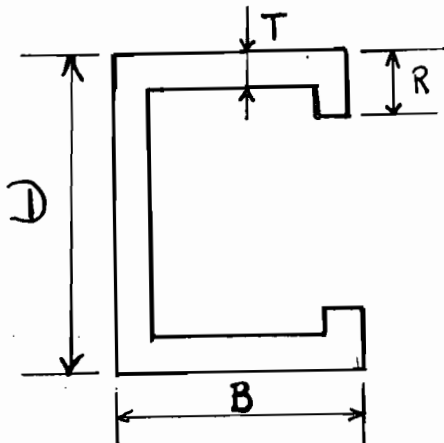
R : rayon de giration

Pour savoir quel est l'axe faible, il faut calculer le rapport d'élanement selon les deux axes X et Y et faire la comparaison. Il est donc préférable de le faire comme indiqué c'est à dire faire $Z \neq 0$ à moins que l'on soit sûr que c'est l'axe $y - y$ qui est l'axe faible

Programme N° 2 :

titre : "Calcul de section en C"

Données à fournir :



Section en C :

D : profondeur de la section

B : largeur de l'aile

T : épaisseur de la section

Résultats N° 3

Titre "Effort dans les membrures"

Ces résultats sont obtenus à partir d'un programme de calcul des cadres rigides. Ils sont faits pour un chargement unitaire et uniformément réparti ,

Il suffit donc de multiplier ces valeurs par les valeurs des charges considérées pour trouver les efforts dans les éléments (voir figure N° 2.2 et tableau N° III. 1)

P R O G R A M M E N°1

```

0010 PRINT FLP,TAB(10): 'CALCUL DES PROPRIETES GEOMETRIQUES'
0020 PRINT FLP,TAB(10): 'SECTOINS I'
0030 PRINT FLP,TAB(10): 'AUTEUR: FODE SYLLA'
0040 PRINT FLP,TAB(10): 'H,H1,H2,H3,H4,B1,W,B2,P1,P2,K,Z'
0050 PRINT FLP,TAB(10): 'H = PROFONDEUR'
0060 PRINT FLP,TAB(10): 'H1 = EPAISSEUR AILE SUPERIEURE'
0070 PRINT FLP,TAB(10): 'H2 = EPAISSEUR RACCORDEMENT'
0080 PRINT FLP,TAB(10): 'H3 = EPAISSEUR RACCORDEMENT INFERIEURE'
0090 PRINT FLP,TAB(10): 'H4=EPAISSEUR AILE INFERIEURE'
0100 PRINT FLP,TAB(10): 'B1 = LARGEUR AILE SUP'
0110 PRINT FLP,TAB(10): 'B2 =LARGEUR AILE INF'
0120 PRINT FLP,TAB(10): 'K=1 SI SOUDURE SINON K=0'
0130 PRINT FLP,TAB(10): 'Z#0 SI ON VEUT CALCULER L' AUTRE AXE'
0140 PRINT 'H = PROFONDEUR'
0150 PRINT 'H1 = EPAISSEUR AILE SUPERIEURE'
0160 PRINT 'H2 = EPAISSEUR RACCORDEMENT'
0170 PRINT 'H3 = EPAISSEUR RACCORDEMENT INFERIEURE'
0180 PRINT 'H4=EPAISSEUR AILE INFERIEURE'
0190 PRINT 'B1 = LARGEUR AILE SUP'
0200 PRINT 'B2 =LARGEUR AILE INF'
0210 PRINT FLP,
0220 PRINT 'K=1 SI SOUDURE SINON K=0'
0230 PRINT 'Z#0 SI ON VEUT CALCULER L' AUTRE AXE'
0240 PRINT FLP,
0250 PRINT FLP,TAB(10): 'PORTEE = '
0260 PRINT 'PORTEE = '
0270 INPUT P
0280 PRINT FLP,P
0290 PRINT 'ELEMENT # '
0300 PRINT FLP,TAB(10): 'ELEMENT # '
0310 INPUT E
0320 PRINT E
0330 PRINT FLP,E
0340 PRINT 'POUR FINIR ECRIRE 0'
0350 INPUT N
0360 IF N#0 GOTO 0900
0370 PRINT 'H,H1,H2,H3,H4,B1,W,B2,P1,P2,K,Z'
0380 INPUT H,H1,H2,H3,H4,B1,W,B2,P1,P2,K,Z
0390 PRINT FLP,
0400 PRINT FLP,TAB(10): 'H='H:TAB(30): 'B='B1:TAB(50): 'W='W
0410 PRINT FLP,TAB(10): 'T='H1
0420 A1=H*W
0430 A2=K*H2*(B1-W-2*P1)/2
0440 A3=H1*(B1-W)
0450 A4=K*H3*(B2-W-2*P2)/2
0460 A5=H4*(B2-W)
0470 A=A1+A2+A3+A4+A5
0480 Y1=H/2
0490 Y2=H-H1-H2/3
0500 Y3=H-H1/2
0510 Y4=H4+H3/3
0520 Y5=H4/2
0530 S=Y1*A1+Y2*A2+Y3*A3+Y4*A4+Y5*A5
0540 Y0=S/A

```

```

0550 C=H-Y0
0560 D1=(Y1-Y0)*2*A1
0570 D2=(Y2-Y0)*2*A2
0580 D3=(Y3-Y0)*2*A3
0590 D4=(Y4-Y0)*2*A4
0600 D5=(Y5-Y0)*2*A5
0610 I1=W*H*3/12
0620 I2=K*(B1-W-2*P1)*H*3/36
0630 I3=(B1-W)*H*3/12
0640 I4=K*(B2-W-2*P2)*H*3/36
0650 I5=(B2-W)*H*3/12
0660 I=D1+D2+D3+D4+D5+I1+I2+I3+I4+I5
0670 S1=I/Y0
0680 S2=I/C
0690 R1=(I/A)*.5
0700 PRINT 'A=' A
0710 PRINT FLP,TAB(10); 'A=' A
0720 PRINT 'IX=' I, 'Y0=' Y0, 'SX1=' S1, 'SX2=' S2, 'RX=' R1
0730 PRINT FLP,TAB(10); 'IX=' I;TAB(30); 'SX1=' S1
0740 PRINT FLP,TAB(10); 'RX=' R1;TAB(30); 'SX2=' S2
0750 IF Z=0 GOTO 0890
0760 J1=B1*3*H/12
0770 J2=((B1-W)/2)*3*(H-H1-H4)/6
0780 X3=(B1/2)-((B1-W)/4)
0790 A6=2*((B1/2-W/2)*(H-H1-H4))
0800 J3=X3*2*A6
0810 J=J1-J2-J3
0820 R2=(J/A)*.5
0830 X0=0
0840 T=B1/2
0850 S3,S4=J/T
0860 PRINT 'J=' J, 'X0=' X0, 'SY1=' S3, 'SY2=' S4, 'R2=' R2
0870 PRINT FLP,
0880 GOSUB 0910
0890 GOTO 0250
0900 END
0910 PRINT 'L=?'
0920 PRINT 'POUR FINIR ECRIRE 0'
0930 INPUT L
0940 IF L=0 GOTO 1280
0950 IF R1<R2 GOTO 1010
0960 M=L/R2*.01125
0970 PRINT 'AXE FAIBLE =Y-Y'
0980 PRINT FLP,TAB(10); 'AXE FAIBLE =Y-Y'
0990 PRINT FLP,
1000 GOTO 1050
1010 M=L/R1*.01125
1020 PRINT 'AXE FAIBLE =X-X'
1030 PRINT FLP,TAB(10); 'AXE FAIBLE =X-X'
1040 PRINT FLP,
1050 IF M<2.8 GOTO 1090
1060 C1=.9*A*250/M*2
1070 C4='E'
1080 GOTO 1230
1090 IF M<1.8 GOTO 1130
1100 C1=.9*A*250*(.008+.942/M*2)
1110 C4='D'
1120 GOTO 1230
1130 IF M<1.2 GOTO 1170
1140 C1=.9*A*250*(.051+.801/M*2)
1150 C4='C'
1160 GOTO 1230
1170 IF M<.15 GOTO 1210
1180 C1=.9*A*250*(.99+.122*M-.367*M*2)
1190 C4='B'
1200 GOTO 1230
1210 C1=.9*A*250

```

1220 C ϕ = '0'
1230 K1 = M / .01125
1240 PRINT 'L=' L, 'KL/R=' K1, 'CR=' C1 ' N', C ϕ
1250 PRINT FLP, TAB(10); 'L=' L; TAB(30); 'KL/R=' K1; TAB(50); 'CR=' C1
1260 PRINT FLP,
1270 GOTO 0910
1280 RETURN
LOAD 9

Résultats Du Programme N° 1

CALCUL DES PROPRIETES GEOMETRIQUES SECTOINS I

AUTEUR: FODE SYLLA

H, H1, H2, H3, H4, B1, W, B2, P1, P2, K, Z

H = PROFONDEUR

H1 = EPAISSEUR AILE SUPERIEURE

H2 = EPAISSEUR RACCORDEMENT

H3 = EPAISSEUR RACCORDEMENT INFERIEURE

H4 = EPAISSEUR AILE INFERIEURE

B1 = LARGEUR AILE SUP

B2 = LARGEUR AILE INF

K=1 SI SOUDURE SINON K=0

Z≠0 SI ON VEUT CALCULER L'AUTRE AXE

PORTEE = 10000

ELEMENT # 6

H= 60

B= 54

W= 4

T= 2

A= 440

IX= 240266.67

SX1= 8008.89

RX= 23.37

SX2= 8008.89

AXE FAIBLE =Y-Y

L= 1004

KL/R= 91.66

CR= 71828.16

PORTEE = 10000

ELEMENT # 6

H= 80

B= 60

W= 4

T= 2

A= 544

IX= 511445.33

SX1= 12786.13

RX= 30.66

SX2= 12786.13

PORTEE = 12000

ELEMENT # 10

H= 70

B= 64

W= 4

T= 2

A= 520

IX= 391853.33

SX1= 11195.81

RX= 27.45

SX2= 11195.81

AXE FAIBLE =Y-Y

L= 1205

KL/R= 92.77

CR= 83956.94

PORTEE = 12000

ELEMENT # 18

H= 80

B= 70

W= 4

T= 2

A= 584
IX= 572298.67
RX= 31.30

SX1= 14307.47
SX2= 14307.47

AXE FAIBLE =Y-Y

L= 1205

KL/R= 85.97

CR= 100457.17

AXE FAIBLE =Y-Y

L= 603

KL/R= 43.02

CR= 12651.17

PORTEE = 14000
ELEMENT # 10

H= 80

B= 70

W= 4

T= 2

A= 584

IX= 572298.67

SX1= 14307.47

RX= 31.30

SX2= 14307.47

AXE FAIBLE =Y-Y

L= 1406

KL/R= 100.31

CR= 86766.10

PORTEE = 14000
ELEMENT # 18

H= 80

B= 80

W= 4

T= 2

A= 624

IX= 633152.00

SX1= 15828.80

RX= 31.85

SX2= 15828.80

AXE FAIBLE =Y-Y

L= 1406

KL/R= 84.92

CR= 106335.72

AXE FAIBLE =Y-Y

L= 703

KL/R= 42.46

CR= 135421.72

PORTEE = 16000
ELEMENT # 10

H= 80

B= 70

W= 6

T= 3

A= 864

IX= 825472

SX1= 20636.8

RX= 30.91

SX2= 20636.8

AXE FAIBLE =Y-Y

L= 1607

KL/R= 113.62

CR= 105216.48

PORTEE = 16000
ELEMENT # 18

H= 80

B= 80

W= 6

T= 3

A= 924

IX= 914452

SX1= 22861.3

RX= 31.46

SX2= 22861.3

AXE FAIBLE =Y-Y

84

L= 1007

KL/R= 70.30

CR= 143754.36

84

PORTEE = 16000
ELEMENT # 18

H= 80

B= 76

W= 6

T= 3

A= 900

IX= 878860

SX1= 21971.5

RX= 31.25

SX2= 21971.5

AXE FAIBLE =Y-Y

L= 1607

KL/R= 102.59

CR= 129989.54

PORTEE = 18000
ELEMENT # 10

H= 80

B= 80

W= 6

T= 3

A= 924

IX= 914452

SX1= 22861.3

RX= 31.46

SX2= 22861.3

AXE FAIBLE =Y-Y

L= 1807

KL/R= 108.28

CR= 122827.35

PORTEE = 18000
ELEMENT # 18

H= 100

B= 86

W= 6

T= 3

A= 1080

IX= 1629440

SX1= 32588.8

RX= 38.84

SX2= 32588.8

AXE FAIBLE =Y-Y

L= 1807

KL/R= 105.02

CR= 151103.29

PORTEE = 18000
ELEMENT # 18

H= 100

B= 90

W= 6

T= 3

A= 1104

IX= 1685912

SX1= 33718.24

RX= 39.08

SX2= 33718.24

AXE FAIBLE =Y-Y

L= 1807

KL/R= 99.22

CR= 166162.81

PORTEE = 20000
ELEMENT # 6

H= 80

B= 76

W= 6

T= 3

A= 900

IX= 878860

SX1= 21971.5

RX= 31.25

SX2= 21971.5

AXE FAIBLE =Y-Y

L= 2008

KL/R= 128.19

CR= 88314.28

PORTEE = 20000
ELEMENT # 10

85

H= 90

B= 90

W= 6

T= 3

A= 1044

IX= 1318572

SX1= 29301.6

RX= 55.54

SX2= 29301.6

AXE FAIBLE =Y-Y

L= 2008

KL/R= 107.24

CR= 141243.99

AXE FAIBLE =Y-Y

L= 1004

KL/R= 53.62

CR= 218467.60

PROGRAMME N° 2

```

0010 REM : CALCUL DE SECTIONS EN C
0020 REM : PROJET DE FIN D'ETUDES
0030 REM : AUTEUR : FODE SYLLA
0040 PRINT FLP,TAB(25): 'RESULTATS'
0050 PRINT FLP,TAB(25): '-----'
0060 PRINT FLP,
0070 PRINT 'CALCUL DE SECTIONS EN C'
0080 PRINT FLP,TAB(10): 'CALCUL DE SECTIONS EN C'
0090 PRINT FLP,TAB(10): 'D = PROFONDEUR DE LA SECTION'
0100 PRINT FLP,TAB(10): 'B = LARGEUR DE L' AILE'
0110 PRINT FLP,TAB(10): 'T = EPAISSEUR'
0120 PRINT FLP,TAB(10): 'K=1 S' IL Y A RETOURNEMENT'
0130 PRINT FLP,TAB(10): 'R= RETOURNEMENT'
0140 PRINT FLP,
0150 PRINT 'INSCRIRE LE CHIFFRE 0 POUR TERMINER'
0160 INPUT N
0170 IF N=0 GOTO 0760.
0180 PRINT 'PORTEE = '
0190 PRINT FLP,TAB(10): 'PORTEE = '
0200 INPUT L
0210 PRINT L
0220 PRINT FLP,L
0230 PRINT 'ELEMENT #':
0240 PRINT FLP,TAB(10): 'ELEMENT #':
0250 INPUT E
0260 PRINT E
0270 PRINT FLP,E
0280 PRINT 'INSCRIRE LES VALEURS DE D,B,T,K,R'
0290 PRINT 'D = PROFONDEUR DE LA SECTION'
0300 PRINT 'B = LARGEUR DE L' AILE'
0310 PRINT 'T = EPAISSEUR'
0320 PRINT 'K=1 S' IL Y A RETOURNEMENT'
0330 PRINT 'R= RETOURNEMENT'
0340 INPUT D,B,T,K,R
0350 REM :CALCUL DU CENTRE DE GRAVITE
0360 Y0=D/2
0370 X1=T/2
0380 X2,X3=(B-T)/2+T
0390 X4,X5=K*(B-T/2)
0400 A1=D*T
0410 A2,A3=(B-T)*T
0420 A4,A5=K*(R-T)*T
0430 A=A1+A2+A3+A4+A5
0440 X0=(X1*A1+X2*A2+X3*A3+X4*A4+X5*A5)/A
0450 REM : CALCUL DE 'IX' ET DE 'IY'
0460 I1=D*T*3/12
0470 I2,I3=T*(B-T)*3/12
0480 I4,I5=K*(R-T)*T*3/12
0490 D1=(X1-X0)*2*A1
0500 D2,D3=(X2-X0)*2*A2
0510 D4,D5=(X4-X0)*2*A4
0520 I=I1+I2+I3+I4+I5+D1+D2+D3+D4+D5
0530 Y2,Y3=D/2-T
0540 Y4,Y5=Y2-T
-----

```

```

0550 J1=I*DT3/12
0560 J2,J3=(B-T)*T3/12
0570 J4,J5=K*T*(R-T)3/12
0580 E2=Y2+2*A2
0590 E4=Y4+2*A4
0600 J=J1+2*(J2+J4+E2+E4)
0610 S1=I/(B-X0)
0620 S2=J/Y0
0630 R1=(I/A)+.5
0640 R2=(J/A)+.5
0650 PRINT 'D='D,'B='B,'T='T,'R='R
0660 PRINT FLP,TAB(10)'B=';TAB(30):'D='D;TAB(50):'T='T
0670 PRINT 'A='A
0680 PRINT FLP,TAB(10):'A='A
0690 PRINT 'IX='J,'X0='X0,'SX1='S2,'RX='R2
0700 PRINT FLP,TAB(10):'IX='J;TAB(30):'SX1='S2;TAB(50):'RX='R2
0710 PRINT 'IY='I,'Y0='Y0,'SY1='S1,'RY='R1
0720 PRINT FLP,TAB(10):'IY='I;TAB(30):'SY1='S1;TAB(50):'RY='R1
0730 PRINT FLP,
0740 GOSUB 0770
0750 GOTO 0150
0760 END
0770 PRINT 'L=?'
0780 PRINT 'POUR FINIR ECRIRE 0'
0790 INPUT L
0800 IF L=0 GOTO 1120
0810 IF R1<R2 GOTO 0860
0820 M=L/R2*.01125
0830 PRINT 'AXE FAIBLE=X-X'
0840 PRINT FLP,TAB(10):'AXE FAIBLE = X-X'
0850 GOTO 0890
0860 M=L/R1*.01125
0870 PRINT 'AXE FAIBLE = Y-Y'
0880 PRINT FLP,TAB(10):'AXE FAIBLE = Y-Y'
0890 IF M<2.8 GOTO 0930
0900 C1=.9*A*250/M+2
0910 C$='E'
0920 GOTO 1070
0930 IF M<1.8 GOTO 0970
0940 C1=.9*A*250*(.008+.942/M+2)
0950 C$='D'
0960 GOTO 1070
0970 IF M<1.2 GOTO 1010
0980 C1=.9*A*250*(.051+.801/M+2)
0990 C$='C'
1000 GOTO 1070
1010 IF M<.15 GOTO 1050
1020 C1=.9*A*250*(.99+.122*M-.367*M+2)
1030 C$='B'
1040 GOTO 1070
1050 C1=.9*A*250
1060 C$='@'
1070 K1=M/.01125
1080 PRINT 'L='L,'KL/R='K1,'CR='C1'N',C$
1090 PRINT FLP,TAB(10):'L='L;TAB(30):'KL/R='K1;TAB(50):'CR='C1
1100 PRINT FLP,
1110 GOTO 0770
1120 RETURN

```

550 J1 = T * DT3 / 12

87

RESULTATS

CALCUL DE SECTIONS EN C
 D = PROFONDEUR DE LA SECTION
 B = LARGEUR DE L'AILE
 T = EPAISSEUR
 K=1 S'IL Y A RETOURNEMENT
 R= RETOURNEMENT

PORTÉE = 10000

ELEMENT # 3

B=

D= 60

T= 2

A= 252

IX= 147056

SX1= 4901.67

RX= 24.16

IY= 31269.00

SY1= 1259.15

RY= 11.14

AXE FAIBLE = Y-Y

L= 820

KL/R= 73.61

CR= 47590.19

PORTÉE = 10000

ELEMENT # 7

B=

D= 35

T= 2

A= 182

IX= 37675.17

SX1= 2152.67

RX= 14.39

IY= 17032.97

SY1= 861.59

RY= 9.67

AXE FAIBLE = Y-Y

L= 902

KL/R= 93.24

CR= 29245.32

PORTÉE = 10000

ELEMENT # 11

B=

D= 45

T= 2

A= 182

IX= 57745.17

SX1= 2566.45

RX= 17.81

IY= 11194.18

SY1= 633.11

RY= 7.84

AXE FAIBLE = Y-Y

L= 987

KL/R= 125.85

CR= 18451.64

AXE FAIBLE = Y-Y

L= 1074

KL/R= 136.94

CR= 15908.00

AXE FAIBLE = Y-Y

L= 1163

KL/R= 148.29

CR= 13873.81

Problem Name: FSYLLA2

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	5.00000E+02	6.50000E+02	0.00000E+00
4	1.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
5	1.50000E+03	7.50000E+02	0.00000E+00
6	2.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
7	2.50000E+03	8.50000E+02	0.00000E+00
8	3.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
9	3.50000E+03	9.50000E+02	0.00000E+00
10	4.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
11	4.50000E+03	1.05000E+03	0.00000E+00
12	5.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
13	5.00000E+03	1.10000E+03	0.00000E+00

MATERIAL PROPERTIES:

MAT #	AREA	E	G	J	IY	IZ
1	1.00000E+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	2	3	0	0	0.00000E+00
3	1	1	3	0	0	0.00000E+00
4	1	1	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	11	13	0	0	0.00000E+00
23	1	12	13	0	0	0.00000E+00

NODE LOADS:

NODE #	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
3	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
5	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
7	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
9	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
11	0.00000E+00	-1.00000E+00	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
12	1	0	0	0	0	0	0.00000E+00
13	1	0	0	0	0	0	0.00000E+00

ELEMENT FORCES:

ELEM #	NODE #	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	1	2.48666E-06	-1.96339E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.05569E-04
	2	-2.48666E-06	1.96339E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.72463E-04
2	2	-4.70912E-06	2.70831E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.72463E-04
	3	4.70912E-06	-2.70831E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.58741E-04
3	1	6.30793E+00	1.66893E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.62940E-05
	3	-6.30793E+00	-1.66893E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-7.42222E-05
4	1	-3.84603E+00	1.00879E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.49275E-04
	4	3.84603E+00	-1.00879E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.59513E-04
5	3	-4.23531E+00	3.33786E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.89363E-04
	4	4.23531E+00	-3.33786E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.24420E-04
6	3	6.46040E+00	2.38419E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.51588E-05
	5	-6.46040E+00	-2.38419E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.76639E-04
7	4	4.03461E+00	-8.46386E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.53212E-04
	5	-4.03461E+00	8.46386E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.17716E-05
8	4	-8.66632E+00	3.29044E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-8.18807E-05
	6	8.66632E+00	-3.29044E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.10924E-04
9	5	-2.40358E+00	4.88758E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.63044E-04
	6	2.40358E+00	-4.88758E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.30944E-06
10	5	1.00495E+01	2.98023E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.45368E-04
	7	-1.00495E+01	-2.98023E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.80777E-04
11	6	2.32029E+00	4.76837E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.11397E-04
	7	-2.32029E+00	-4.76837E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.55590E-05
12	6	-1.11760E+01	1.57356E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.98219E-04
	8	1.11760E+01	-1.57356E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.55575E-04
13	7	-9.66759E-01	-2.65241E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.01286E-04
	8	9.66759E-01	2.65241E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.33271E-05
14	7	1.17244E+01	-2.38419E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.65051E-04
	9	-1.17244E+01	2.38419E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.82079E-04
15	8	9.41686E-01	-6.43730E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.55119E-04
	9	-9.41686E-01	6.43730E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.13999E-04
16	8	-1.21048E+01	2.39891E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.63782E-04
	10	1.21048E+01	-2.39891E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.87771E-04
17	9	2.25986E-01	-6.49691E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.18718E-04
	10	-2.25986E-01	6.49691E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.25932E-04
18	9	1.20594E+01	-1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.77357E-04
	11	-1.20594E+01	1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.96990E-04
19	10	-2.21382E-01	4.96209E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.80068E-05
	11	2.21382E-01	-4.96209E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.52479E-04
20	10	-1.19043E+01	-4.03410E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.95698E-04
	12	1.19043E+01	4.03410E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-7.71121E-06
21	11	1.25855E+00	7.42078E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.43077E-05
	12	-1.25855E+00	-7.42078E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.88241E-05
22	11	1.14199E+01	-7.15256E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.25155E-04
	13	-1.14199E+01	7.15256E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.75005E-05
23	12	-1.13632E+00	6.03503E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.11135E-05
	13	1.13632E+00	-6.03503E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	9.74989E-05

NODE DISPLACEMENTS:

NODE #	X	Y	Z	RX	RY	RZ
1	-2.38488E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.38736E-04
2	7.45938E-02	-7.45998E-09	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.63770E-04
3	1.04219E-01	-2.96252E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.65494E-04
4	-2.19257E-01	-5.66990E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.11177E-04
5	1.23718E-01	-8.17494E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.46956E-04
6	-1.75926E-01	-1.03028E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.87975E-04
7	1.12543E-01	-1.21324E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.14764E-04
8	-1.20046E-01	-1.35558E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.49527E-04
9	7.85951E-02	-1.46584E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.77299E-04
10	-5.95217E-02	-1.53717E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.11638E-04
11	2.88930E-02	-1.57784E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.29966E-05
12	0.00000E+00	-1.58350E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.46415E-05
13	0.00000E+00	-1.57725E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.07269E-05

NODE REACTIONS:

NODE #	X	Y	Z	MX	MY	MZ
--------	---	---	---	----	----	----

32

	X	Y	Z	MX	MY	MZ
1	0.00000E+00	4.99984E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
12	1.13632E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
13	-1.13633E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

FERME WARREN, 12M

Problem Name: FSYLLA7

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	6.00000E+02	8.50000E+02	0.00000E+00
4	1.20000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
5	1.80000E+03	9.50000E+02	0.00000E+00
6	2.40000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
7	3.00000E+03	1.05000E+03	0.00000E+00
8	3.60000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
9	4.20000E+03	1.15000E+03	0.00000E+00
10	4.80000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
11	5.40000E+03	1.25000E+03	0.00000E+00
12	6.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
13	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	2	3	0	0	0.00000E+00
3	1	1	3	0	0	0.00000E+00
4	1	1	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	11	13	0	0	0.00000E+00
23	1	12	13	0	0	0.00000E+00

NODE LOADS:

NODE #	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
3	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
5	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
7	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
9	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
11	0.00000E+00	-1.00000E+00	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
12	1	0	0	0	0	0	0.00000E+00
13	1	0	0	0	0	0	0.00000E+00

ELEMENT NUMBER:

ELEM #	NODE #	X	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	1	3.96942E-07	-5.58322E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.89588E-04
	2	-3.96942E-07	5.58322E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.57070E-04
2	2	-2.03936E-06	1.05749E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.57070E-04
	3	2.03936E-06	-1.05749E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.57633E-04
3	1	6.12031E+00	-1.19209E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.52773E-06
	3	-6.12031E+00	1.19209E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.90334E-05
4	1	-3.52949E+00	3.40433E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.87061E-04
	4	3.52949E+00	-3.40433E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.21460E-04
5	3	-4.28424E+00	-2.86102E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.90404E-04
	4	4.28424E+00	2.86102E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.91682E-05
6	3	6.02093E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.81967E-05
	5	-6.02093E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.55358E-04
7	4	4.13971E+00	4.88758E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.05507E-04
	5	-4.13971E+00	-4.88758E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.99246E-06
8	4	-8.21072E+00	1.26531E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.67849E-05
	6	8.21072E+00	-1.26531E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.68623E-04
9	5	-2.60210E+00	-4.05312E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.08822E-04
	6	2.60210E+00	4.05312E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.23238E-05
10	5	9.63349E+00	1.78814E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.25450E-05
	7	-9.63349E+00	-1.78814E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.60122E-04
11	6	2.53385E+00	-7.74860E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-8.88202E-05
	7	-2.53385E+00	7.74860E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.33215E-05
12	6	-1.08574E+01	6.91003E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.74803E-05
	8	1.08574E+01	-6.91003E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.50401E-04
13	7	-1.20410E+00	4.70877E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-8.71451E-05
	8	1.20410E+00	-4.70877E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.69118E-05
14	7	1.14945E+01	5.96046E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.62972E-05
	9	-1.14945E+01	-5.96046E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.23874E-04
15	8	1.17918E+00	-1.46031E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.75915E-05
	9	-1.17918E+00	1.46031E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.97867E-05
16	8	-1.20002E+01	2.16086E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.97217E-05
	10	1.20002E+01	-2.16086E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.25651E-04
17	9	1.70573E-05	-7.01874E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.55533E-05
	10	-1.70573E-05	7.01874E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.55660E-05
18	9	1.20418E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.08107E-04
	11	-1.20418E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.28604E-04
19	10	-1.70576E-05	1.58361E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.41516E-05
	11	1.70576E-05	-1.58361E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	9.68239E-05
20	10	-1.20002E+01	-1.23699E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.57066E-04
	12	1.20002E+01	1.23699E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.62582E-06
21	11	1.06661E+00	-1.96695E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.01101E-05
	12	-1.06661E+00	1.96695E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.23143E-05
22	11	1.15787E+01	-2.98023E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.05317E-04
	13	-1.15787E+01	2.98023E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.70422E-05
23	12	-9.61548E-01	4.69259E-09	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.09412E-05
	13	9.61548E-01	-4.69259E-09	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.70415E-05

NODE DISPLACEMENTS:

NODE #	X	Y	Z	RX	RY	RZ
1	-1.39794E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.56092E-04
2	5.85676E-02	-7.93885E-10	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.69589E-04
3	7.26905E-02	-1.69475E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.69504E-04
4	-1.29205E-01	-3.25630E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.45773E-04
5	7.96539E-02	-4.71295E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.17257E-04
6	-1.04573E-01	-5.96294E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.90150E-04
7	7.00185E-02	-7.04884E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.56246E-04
8	-7.20012E-02	-7.90231E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.24786E-04
9	4.79840E-02	-8.57145E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-8.99657E-05
10	-3.60006E-02	-9.00963E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.71743E-05
11	1.73950E-02	-9.26593E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.87062E-05
12	0.00000E+00	-9.30841E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-7.46675E-06
13	0.00000E+00	-9.27716E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.12763E-06

NUMC RECL: 10000

NODE #	X	Y	Z	MX	MY	MZ
1	0.00000E+00	5.00010E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
12	1.15386E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
13	-1.15387E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

96

Problem Name: FSYLLAJ

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	7.00000E+02	1.06000E+03	0.00000E+00
4	1.40000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
5	2.10000E+03	1.18000E+03	0.00000E+00
6	2.80000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
7	3.50000E+03	1.30000E+03	0.00000E+00
8	4.20000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
9	4.90000E+03	1.42000E+03	0.00000E+00
10	5.60000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
11	6.30000E+03	1.54000E+03	0.00000E+00
12	7.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
13	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	2	3	0	0	0.00000E+00
3	1	1	3	0	0	0.00000E+00
4	1	1	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	11	13	0	0	0.00000E+00
23	1	12	13	0	0	0.00000E+00

NODE LOADS:

NODE #	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
3	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
5	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
7	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
9	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
11	0.00000E+00	-1.00000E+00	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
12	1	0	0	0	0	0	0.00000E+00
13	1	0	0	0	0	0	0.00000E+00

ELEMENT FORCES:

ELEM #	NODE #	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
--------	--------	----	----	----	----	----	----

Problem Name: FSYLLA4

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	8.00000E+02	1.07000E+03	0.00000E+00
4	1.60000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
5	2.40000E+03	1.21000E+03	0.00000E+00
6	3.20000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
7	4.00000E+03	1.35000E+03	0.00000E+00
8	4.80000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
9	5.60000E+03	1.49000E+03	0.00000E+00
10	6.40000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
11	7.20000E+03	1.63000E+03	0.00000E+00
12	8.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
13	8.00000E+03	1.70000E+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	2	3	0	0	0.00000E+00
3	1	1	3	0	0	0.00000E+00
4	1	1	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	11	13	0	0	0.00000E+00
23	1	12	13	0	0	0.00000E+00

NODE LOADS:

NODE #	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
3	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
5	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
7	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
9	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
11	0.00000E+00	-1.00000E+00	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
12	1	0	0	0	0	0	0.00000E+00
13	1	0	0	0	0	0	0.00000E+00

ELEMENT FORCES:

ELEM #	NODE #	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	1	3.41224E-07	-3.53454E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.51116E-04
	2	-3.41224E-07	3.53454E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.02340E-04
2	2	4.31973E-06	2.53509E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.02340E-04
	3	-4.31973E-06	-2.53509E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.00094E-04
3	1	6.24283E+00	-3.57628E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.08097E-05
	3	-6.24283E+00	3.57628E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.88821E-05
4	1	-3.73822E+00	1.95308E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.40306E-04
	4	3.73822E+00	-1.95308E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.72186E-04
5	3	-4.30423E+00	2.38419E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.48771E-04
	4	4.30423E+00	-2.38419E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-7.09003E-05
6	3	6.33974E+00	1.78814E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.24407E-05
	5	-6.33974E+00	-1.78814E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.19837E-04
7	4	4.13259E+00	1.06096E-05	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-8.04395E-05
	5	-4.13259E+00	-1.06096E-05	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.37536E-06
8	4	-8.59478E+00	6.86516E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.08452E-05
	6	8.59478E+00	-6.86516E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.30687E-04
9	5	-2.54742E+00	5.96046E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-8.42048E-05
	6	2.54742E+00	-5.96046E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.87488E-06
10	5	1.00379E+01	5.96046E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.10082E-05
	7	-1.00379E+01	-5.96046E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.23414E-04
11	6	2.47006E+00	9.53674E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.86224E-05
	7	-2.47006E+00	-9.53674E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.44848E-05
12	6	-1.12589E+01	3.55133E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.91906E-05
	8	1.12589E+01	-3.55133E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.16012E-04
13	7	-1.12142E+00	2.83122E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.72605E-05
	8	1.12142E+00	-2.83122E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.82697E-05
14	7	1.18759E+01	1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-8.06394E-05
	9	-1.18759E+01	-1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	9.49495E-05
15	8	1.09501E+00	4.26173E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.23051E-05
	9	-1.09501E+00	-4.26173E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.50882E-05
16	8	-1.23486E+01	9.00027E-09	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-8.19774E-05
	10	1.23486E+01	-9.00027E-09	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	9.63773E-05
17	9	8.73560E-02	-2.77907E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.26593E-05
	10	-8.73560E-02	2.77907E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.86857E-05
18	9	1.23543E+01	1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-8.73777E-05
	11	-1.23543E+01	-1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	9.85365E-05
19	10	-8.57008E-02	-1.46031E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.07107E-05
	11	8.57008E-02	1.46031E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	7.79756E-05
20	10	-1.22695E+01	-7.43284E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.24352E-04
	12	1.22695E+01	7.43284E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.42743E-06
21	11	1.14675E+00	-2.08616E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.52577E-05
	12	-1.14675E+00	2.08616E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.04164E-05
22	11	1.18093E+01	1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.61252E-04
	13	-1.18093E+01	-1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.23519E-05
23	12	-1.02939E+00	3.82633E-09	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.58441E-05
	13	1.02939E+00	-3.82633E-09	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.23489E-05

NODE DISPLACEMENTS:

NODE #	X	Y	Z	RX	RY	RZ
1	-1.92841E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.74355E-04
2	7.31900E-02	-8.53061E-10	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.87161E-04
3	9.42496E-02	-2.40682E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.87612E-04
4	-1.77888E-01	-4.62099E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.61603E-04
5	1.06070E-01	-6.67805E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.30483E-04
6	-1.43509E-01	-8.43890E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.00990E-04
7	9.43365E-02	-9.96099E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.64463E-04
8	-9.84727E-02	-1.11547E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.30909E-04
9	6.50568E-02	-1.20853E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.39596E-05
10	-4.90782E-02	-1.26939E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.95672E-05
11	2.36729E-02	-1.30466E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.93096E-05
12	0.00000E+00	-1.31048E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-7.65526E-06
13	0.00000E+00	-1.30611E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.57677E-06

NODE REACTIONS:

100

Problem Name: FSYLLA5

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	9.00000E+02	1.22500E+03	0.00000E+00
4	1.80000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
5	2.70000E+03	1.37500E+03	0.00000E+00
6	3.60000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
7	4.50000E+03	1.52500E+03	0.00000E+00
8	5.40000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
9	6.30000E+03	1.67500E+03	0.00000E+00
10	7.20000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
11	8.10000E+03	1.82500E+03	0.00000E+00
12	9.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
13	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	2	3	0	0	0.00000E+00
3	1	1	3	0	0	0.00000E+00
4	1	1	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	11	13	0	0	0.00000E+00
23	1	12	13	0	0	0.00000E+00

NODE LOADS:

NODE #	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
3	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
5	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
7	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
9	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
11	0.00000E+00	-1.00000E+00	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
12	1	0	0	0	0	0	0.00000E+00
13	1	0	0	0	0	0	0.00000E+00

ELEMENT FORCES:

ELEM #	NODE #	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
--------	--------	----	----	----	----	----	----

1	1	1.57081E-07	-2.67762E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.31356E-04
	2	-1.57081E-07	2.67762E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.76569E-04
2	2	4.17276E-06	-6.85316E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.76570E-04
	3	-4.17276E-06	6.85316E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.75447E-04
3	1	6.20426E+00	-4.76837E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.65302E-06
	3	-6.20426E+00	4.76837E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.82192E-05
4	1	-3.67340E+00	1.53444E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.24703E-04
	4	3.67340E+00	-1.53444E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.51497E-04
5	3	-4.31912E+00	-2.38419E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.30353E-04
	4	4.31912E+00	2.38419E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.37517E-05
6	3	6.25223E+00	5.96046E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.68763E-05
	5	-6.25223E+00	-5.96046E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.06494E-04
7	4	4.16003E+00	4.41074E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-7.16287E-05
	5	-4.16003E+00	-4.41074E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.36486E-06
8	4	-8.50892E+00	5.55176E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.61172E-05
	6	8.50892E+00	-5.55176E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.16050E-04
9	5	-2.59635E+00	-8.70228E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-7.48994E-05
	6	2.59635E+00	8.70228E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.12774E-06
10	5	9.96525E+00	-5.96046E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.39598E-05
	7	-9.96525E+00	5.96046E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.10259E-04
11	6	2.52245E+00	-8.34465E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.13150E-05
	7	-2.52245E+00	8.34465E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.01137E-05
12	6	-1.12129E+01	2.95711E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.06078E-05
	8	1.12129E+01	-2.95711E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.03836E-04
13	7	-1.17928E+00	2.74181E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.05447E-05
	8	1.17928E+00	-2.74181E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.50196E-05
14	7	1.18532E+01	5.96046E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.98292E-05
	9	-1.18532E+01	-5.96046E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.57892E-05
15	8	1.15295E+00	7.74860E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.72053E-05
	9	-1.15295E+00	-7.74860E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.02485E-05
16	8	-1.23579E+01	8.51823E-09	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-7.16507E-05
	10	1.23579E+01	-8.51823E-09	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.69841E-05
17	9	3.24619E-02	7.96281E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.91559E-05
	10	-3.24619E-02	-7.96281E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.35587E-05
18	9	1.23854E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-7.68820E-05
	11	-1.23854E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.87557E-05
19	10	-3.18682E-02	4.43403E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.08073E-05
	11	3.18682E-02	-4.43403E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.82728E-05
20	10	-1.23285E+01	-5.70755E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.09734E-04
	12	1.23285E+01	5.70755E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.99803E-06
21	11	1.10029E+00	-8.34465E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.55052E-05
	12	-1.10029E+00	8.34465E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.67470E-06
22	11	1.18829E+01	-4.17233E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.41525E-04
	13	-1.18829E+01	4.17233E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.74221E-05
23	12	-9.86786E-01	9.20499E-10	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.56722E-05
	13	9.86786E-01	-9.20499E-10	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.74211E-05

NODE DISPLACEMENTS:

NODE #	X	Y	Z	RX	RY	RZ
1	-2.16367E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.72669E-04
2	8.77082E-02	-4.51609E-10	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.85668E-04
3	1.10136E-01	-2.69137E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.85921E-04
4	-1.99837E-01	-5.17240E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.60612E-04
5	1.21723E-01	-7.48142E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.30212E-04
6	-1.61547E-01	-9.46304E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.01136E-04
7	1.07388E-01	-1.11799E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.65088E-04
8	-1.11089E-01	-1.25299E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.31637E-04
9	7.37216E-02	-1.35851E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.48172E-05
10	-5.54782E-02	-1.42775E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.02510E-05
11	2.67343E-02	-1.46812E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.00219E-05
12	0.00000E+00	-1.47506E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-7.72119E-06
13	0.00000E+00	-1.47037E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	7.99811E-06

NODE REACTIONS:

NODE #	X	Y	Z	MX	MY	MZ
1	0.00000E+00	4.99990E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

Problem Name: FSYLLA6

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	1.00000E+03	1.33500E+03	0.00000E+00
4	2.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
5	3.00000E+03	1.50500E+03	0.00000E+00
6	4.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
7	5.00000E+03	1.67500E+03	0.00000E+00
8	6.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
9	7.00000E+03	1.84500E+03	0.00000E+00
10	8.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
11	9.00000E+03	2.01500E+03	0.00000E+00
12	1.00000E+04	0.00000E+00	0.00000E+00
13	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	2	3	0	0	0.00000E+00
3	1	1	3	0	0	0.00000E+00
4	1	1	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	11	13	0	0	0.00000E+00
23	1	12	13	0	0	0.00000E+00

NODE LOADS:

NODE #	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
3	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
5	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
7	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
9	0.00000E+00	-1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
11	0.00000E+00	-1.00000E+00	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
12	1	0	0	0	0	0	0.00000E+00
13	1	0	0	0	0	0	0.00000E+00

ELEMENT FORCES:

ELEM #	NODE #	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	1	6.01896E-07	-2.25946E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.20786E-04
	2	-6.01896E-07	2.25946E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.61646E-04
2	2	4.16951E-06	5.35230E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.61647E-04
	3	-4.16951E-06	-5.35230E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.59895E-04
3	1	6.24687E+00	-2.86102E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.50880E-06
	3	-6.24687E+00	2.86102E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.31662E-05
4	1	-3.74513E+00	1.25177E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.12277E-04
	4	3.74513E+00	-1.25177E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.38077E-04
5	3	-4.32437E+00	1.90735E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.19043E-04
	4	4.32437E+00	-1.90735E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.64321E-05
6	3	6.36053E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.76868E-05
	5	-6.36053E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	9.67235E-05
7	4	4.15543E+00	-5.60284E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.48320E-05
	5	-4.15543E+00	5.60284E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.46255E-06
8	4	-8.63738E+00	4.43705E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.68127E-05
	6	8.63738E+00	-4.43705E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.05554E-04
9	5	-2.57472E+00	-4.17233E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.81047E-05
	6	2.57472E+00	4.17233E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.95811E-06
10	5	1.00986E+01	2.38419E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.30819E-05
	7	-1.00986E+01	-2.38419E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00058E-04
11	6	2.49759E+00	-6.07967E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.57030E-05
	7	-2.49759E+00	6.07967E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.00183E-05
12	6	-1.13426E+01	2.31657E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.78936E-05
	8	1.13426E+01	-2.31657E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	9.42249E-05
13	7	-1.14799E+00	-8.34465E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.49441E-05
	8	1.14799E+00	8.34465E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.50376E-05
14	7	1.19741E+01	-1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.51308E-05
	9	-1.19741E+01	1.19209E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	7.76287E-05
15	8	1.12122E+00	-5.69224E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.28591E-05
	9	-1.12122E+00	5.69224E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.86312E-05
16	8	-1.24653E+01	6.16210E-09	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.64033E-05
	10	1.24653E+01	-6.16210E-09	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	7.87271E-05
17	9	6.48083E-02	1.87010E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.54126E-05
	10	-6.48083E-02	-1.87010E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.14102E-05
18	9	1.24793E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-7.08479E-05
	11	-1.24793E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.03143E-05
19	10	-6.35550E-02	-1.59442E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.66319E-06
	11	6.35550E-02	1.59442E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.28780E-05
20	10	-1.24062E+01	-4.73035E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.00473E-04
	12	1.24062E+01	4.73035E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.86521E-06
21	11	1.12958E+00	4.26173E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.38542E-05
	12	-1.12958E+00	-4.26173E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.14888E-06
22	11	1.19470E+01	-8.34465E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.29335E-04
	13	-1.19470E+01	8.34465E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.63907E-05
23	12	-1.01181E+00	1.13272E-09	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.40141E-05
	13	1.01181E+00	-1.13272E-09	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.63929E-05

NODE DISPLACEMENTS:

NODE #	X	Y	Z	RX	RY	RZ
1	-2.42983E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.78651E-04
2	9.49235E-02	-1.88092E-09	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.91420E-04
3	1.20856E-01	-3.05086E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.91860E-04
4	-2.24258E-01	-5.86128E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.65751E-04
5	1.34913E-01	-8.47318E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.34448E-04
6	-1.81071E-01	-1.07124E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.04568E-04
7	1.19550E-01	-1.26490E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.67638E-04
8	-1.24358E-01	-1.41704E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.33508E-04
9	8.22663E-02	-1.53572E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.60012E-05
10	-6.20309E-02	-1.61354E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.09430E-05
11	2.98772E-02	-1.65875E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.01477E-05
12	0.00000E+00	-1.66649E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-7.77371E-06
13	0.00000E+00	-1.66118E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.18998E-06

NODE REACTIONS:

NODE #	X	Y	Z	MX	MY	MZ
--------	---	---	---	----	----	----