



école polytechnique de thiès

GC.0466

PROJET DE FIN D'ETUDES

TITRE: PONT - RAIL
METALLIQUE

Auteur AMADOU - S - NAM

Génie CIVIL

Date JUIN 78

ECOLE POLYTECHNIQUE

THIÈS



ecole polytechnique
de thiès

PROJET DE FIN

D'ETUDES

TITRE PONT-RAIL

METALLIQUE

ANNEE SCOLAIRE 77-78

DIRECTEUR DE PROJET: Mr SAMI BOULOS

AUTEUR AMADOU SYLLA NAM

4^e ANNEE GENIE CIVIL

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier sincèrement tous ceux qui de près ou de loin ont œuvré pour la réussite de mon projet de fin d'études.

Parmi ceux-ci, je citerai :

- l'encadrement de l'école pour l'aide matérielle qu'il m'a fournie
- la Direction de la Régie des Chemins de fer pour leurs disponibilités et documents qu'elle m'a gracieusement offerts.

Enfin, je donnerai une mention spéciale au professeur : M^r Sami Boulos d'une part pour le sujet qu'il a proposé et d'autre part, en tant que directeur de projet qui, tout au long de l'année, m'a aidé sur tous les plans.

SOMMAIRE

A défaut du code canadien: ACNOR S1 -
"Railway Bridges" et du code français qui
régissent la construction des ouvrages d'art
sous voie ferrée, j'ai dû me contenter
du code canadien: C.S.A Standard S16.1 "Steel
Structures For Buildings - Limit States Design"
qui traite des bâtiments, et du "Règlement
Ministériel du 10 Mai 1927 pour le calcul des
ouvrages sous voie ferrée" qui est actuel-
lement en vigueur au Sénégal. Partant de
là, j'ai donc fait les calculs nécessaires
pour le tracé des lignes d'influence par
les méthodes de "Müller-Breslau", "du travail
virtuel", des "déformations consistantes"
pour lever l'hyperstaticité de la structure.
J'ai ensuite déterminé le tablier, les efforts
maximums qui peuvent se développer dans
la structure, ce qui m'a permis de faire le
dimensionnement des diverses parties du
pont métallique par dessus ^{lequel} doit passer le train.

TABLE DES MATIERES

Pages

chapitre I	INTRODUCTION	1
chapitre II	CHOIX DU SYSTEME	3
	1. Type de Treillis	3
	2. Nombre de Traveés	3
chapitre III	LIGNES D'INFLUENCE	5
	1. Ligne d'influence de R_a	5
	2. Ligne d'influence de R_o	32
	3. Lignes d'influence des membrures	48
chapitre IV	TABLIER	61
	1. Description	61
	2. Traverses en bois	62
	3. Longérons	64
	4. Traverses en fer	70
	5. trottoirs et garde-corps	72
chapitre V	FORCES HORIZONTALES	75

20
chapitre VI CONCLUSION ET DISCUSSIONS 76

Annexe 1 TREILLIS ET TRAIN DE CHARGES 78

Annexe 2 TRACES DES LIGNES D'INFLUENCE 78

Annexe 3 INSTRUCTION GENERALE I 40.402 78

BIBLIOGRAPHIE

79

I. INTRODUCTION

Ce projet pourrait répondre à l'une des nombreuses exigences qui se posent aux pays du Sahel qui sont en voie de développement: il s'agit d'un pont-rail métallique de 90 mètres de long qui doit passer par dessus une vallée en plein désert. Cette construction comportera deux passages pour piétons de chaque côté des rails et devra faciliter en plus le passage d'une voie routière en dessous. La voie ferrée permettra par exemple l'accession et le transport de certains minerais dans une région isolée.

Le choix de l'acier a été guidé par les avantages suivants:

- les facilités exceptionnelles pour réaliser des ensembles à la fois légers et résistants
- la fabrication de tôles de toutes dimensions et la possibilité de les réunir par soudures en un seul corps homogène

- l'acier est moins encombrant
- son comportement est conforme à la théorie
- le renforcement d'une structure existante en vue d'une nouvelle utilisation est également possible.

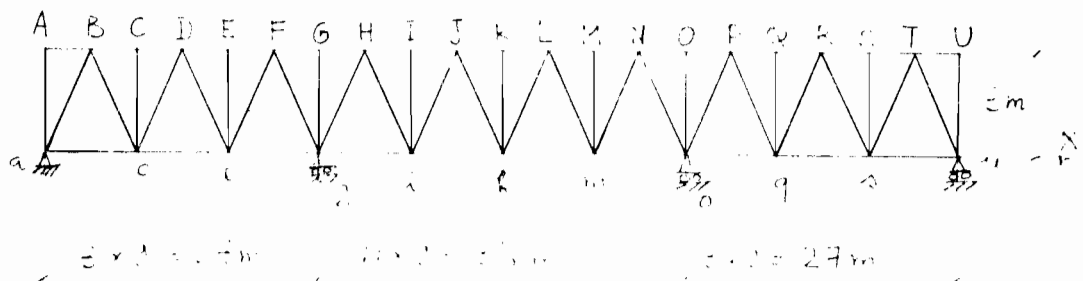
Ce projet me donnera une vue assez simplifiée de ce qu'aura à faire l'ingénieur, à savoir l'adaptation du cours théorique aux phénomènes pratiques que nous vivons. /.

N.B. dans les dernières étapes du calcul, je suis passé du système métrique au système anglais pour pouvoir choisir le type de profilé canadien.

II. CHOIX DU SYSTEME

1. TYPE de TREILLIS

Il s'agit d'un treillis du genre "Warren" avec les dimensions indiquées à la figure ci-dessous.



On a une symétrie par rapport à la droite Kk , ce qui permettra de réduire les calculs. Les membrures supérieures sont notées par des lettres majuscules. Les membrures qui sont soumises à des efforts de compression doivent être plus courtes, ceci pour éviter leurs flambements contrairement aux membrures tendues.

2. NOMBRE DE TRAVÉES

Le système ci-dessus est deux fois hyperstatique ; en effet on a cinq inconnues aux

réactions qui sont R_{ax} , R_{ay} , R_{gy} , R_{oy} et R_{uy} , alors qu'on ne dispose que de trois équations d'équilibre : $\Sigma F_x = 0$, $\Sigma F_y = 0$ et $\Sigma M_i = 0$

On a trois travées, ceci pour des considérations économiques et pour réduire la flèche maximale qui pourrait se produire au milieu du système si on avait une seule travée de quatre vingt dix mètres de long. La travée du milieu est la plus longue car elle devra permettre le passage d'une voie routière en dessous.

On aura ainsi deux treillis pareils de chaque côté des rails.

III. LIGNES D'INFLUENCE

1. LIGNE D'INFLUENCE DE LA REACTION a : R_a

C'est la valeur de la réaction en a quand une charge unitaire se déplace le long du treillis. On aura l'allure suivante:



Ceci revient à lâcher la réaction a et à lui faire subir un déplacement unitaire; on aura donc une indétermination à lever. On peut le faire par la méthode des "déformations consistantes" (page 237. Elementary Theory of Structures - Yuan Yu HSIEN). On lâche la réaction o et on a le système suivant:



Le système étant rendu isostatique: 3 équations d'équilibre $\Sigma F_x = 0$, $\Sigma F_y = 0$, $\Sigma M_i = 0$ et 3 inconnues R_{gx} , R_{gy} , R_{uy} ; en déplaçant la charge uni-

taire, au dessus du treillis, on peut calculer à chaque position de la charge les efforts qui se développent aux différentes membrures et réactions.

Quand la charge est au dessus du point I, on la notera par SI.

On calculera ensuite les déplacements correspondants aux différents nœuds du treillis:

δ_{ij} = déplacement du point i quand on fait subir à la réaction j un déplacement unitaire.

Par la méthode du "travail virtuel" (équation 8.19 Elementary Theory of Structures - Yuan Yu HSIEH p.161)

$$\delta_{ij} = \sum SI \cdot SJ \cdot L/AE$$

et en supposant $L/A = 1$ pour toutes les membrures $\delta_{ij} = \sum SI \cdot SJ / E$

si $\delta_{ij} > 0$, cela veut dire qu'on pousse sur la réaction

si $\delta_{ij} < 0$, cela signifie qu'on tire sur la réaction

MEMBRURES	SA	SA ² L/A	SB	SA·SB·L/A
AB	0	0	0	0
Aa	-1	1	0	0
aB	$\sqrt{29.25}/3$	29.25/9	0	0
ac	-1.5	2.25	0	0
BC	3	9	1.5	4.5
Bc	$-\sqrt{29.25}/3$	29.25/9	$-\sqrt{29.25}/3$	29.25/9
Cc	0	0	0	0
CD	3	9	1.5	4.5
Dc	$\sqrt{29.25}/3$	29.25/9	$\sqrt{29.25}/3$	29.25/9
ce	-4.5	20.25	-3	13.5
De	$-\sqrt{29.25}/3$	29.25/9	$-\sqrt{29.25}/3$	29.25/9
DE	6	36	4.5	27
EF	6	36	4.5	27
Ee	0	0	0	0
eg	-7.5	56.25	-6	45
eF	$\sqrt{29.25}/3$	29.25/9	$\sqrt{29.25}/3$	29.25/9
Fg	$-\sqrt{29.25}/3$	29.25/9	$-\sqrt{29.25}/3$	29.25/9
FG	9	81	7.5	67.5
GH	9	81	7.5	67.5
Gg	0	0	0	0
gH	$-\sqrt{29.25}/7$	29.25/49	$-2.5\sqrt{29.25}/21$	73.125/147
gi	-58.5/7	3422.25/49	-48.75/7	2851.875/49
Hi	$\sqrt{29.25}/7$	29.25/49	$2.5\sqrt{29.25}/21$	73.125/147
H I	54/7	2916/49	45/7	2430/49
I J	54/7	2916/49	45/7	2430/49
Ii	0	0	0	0
iJ	$-\sqrt{29.25}/7$	29.25/49	$-2.5\sqrt{29.25}/21$	73.125/147
iK	-49.5/7	2450.25/49	-41.25/7	2041.875/49
Jk	$\sqrt{29.25}/7$	29.25/49	$2.5\sqrt{29.25}/21$	73.125/147
JK	45/7	2025/49	37.5/7	1687.5/49

KL	$45/7$	$2025/49$	$37.5/7$	$1687.5/49$
K&	0	0	0	0
kL	$-\sqrt{29.25}/7$	$29.25/49$	$-2.5\sqrt{29.25}/21$	$73.125/147$
km	$-40.5/7$	$1640.25/49$	$-33.75/7$	$1366.875/49$
mL	$\sqrt{29.25}/7$	$29.25/49$	$2.5\sqrt{29.25}/21$	$73.125/147$
LM	$36/7$	$1296/49$	$30/7$	$1080/49$
MN	$36/7$	$1296/49$	$30/7$	$1080/49$
Mm	0	0	0	0
mN	$-\sqrt{29.25}/7$	$29.25/49$	$-2.5\sqrt{29.25}/21$	$73.125/147$
om	$-31.5/7$	$992.25/49$	$-26.5/7$	$834.75/49$
NO	$27/7$	$729/49$	$22.5/7$	$607.5/49$
OP	$27/7$	$729/49$	$22.5/7$	$607.5/49$
oO	0	0	0	0
oN	$\sqrt{29.25}/7$	$29.25/49$	$2.5\sqrt{29.25}/21$	$73.125/147$
oP	$-\sqrt{29.25}/7$	$29.25/49$	$-2.5\sqrt{29.25}/21$	$73.125/147$
oq	$-22.5/7$	$506.25/49$	$-18.75/7$	$421.875/49$
PQ	$18/7$	$324/49$	$15/7$	$270/49$
qP	$\sqrt{29.25}/7$	$29.25/49$	$2.5\sqrt{29.25}/21$	$73.125/147$
qQ	0	0	0	0
QR	$18/7$	$324/49$	$15/7$	$270/49$
qR	$-\sqrt{29.25}/7$	$29.25/49$	$-2.5\sqrt{29.25}/21$	$73.125/147$
qs	$-13.5/7$	$182.25/49$	$-11.25/7$	$151.875/49$
RS	$9/7$	$81/49$	$7.5/7$	$67.5/49$
Rs	$\sqrt{29.25}/7$	$29.25/49$	$2.5\sqrt{29.25}/21$	$73.125/147$
ST	$9/7$	$81/49$	$7.5/7$	$67.5/49$
Ss	0	0	0	0
sT	$-\sqrt{29.25}/7$	$29.25/49$	$-2.5\sqrt{29.25}/21$	$73.125/147$
su	$-4.5/7$	$20.25/49$	$-3.75/7$	$16.875/49$
TU	0	0	0	0
Tu	$\sqrt{29.25}/7$	$29.25/49$	$2.5\sqrt{29.25}/21$	$73.125/147$
Uu	0	0	0	0

MEMBRURES	SC	SA·SC·L/A	SD	SA·SD·L/A
AB	0	0	0	0
Aa	0	0	0	0
aB	0	0	0	0
ac	0	0	0	0
BC	0	0	0	0
Bc	0	0	0	0
Cc	-1	0	0	0
CD	0	0	0	0
Dc	$\sqrt{29.25}/3$	29.25/9	0	0
ce	-1.5	6.75	0	0
De	$-\sqrt{29.25}/3$	29.25/9	$-\sqrt{29.25}/3$	29.25/9
DE	3	18	1.5	9
E F	3	18	1.5	9
Ee	0	0	0	0
eg	-4.5	33.75	-3	22.5
eF	$\sqrt{29.25}/3$	29.25/9	$\sqrt{29.25}/3$	29.25/9
Fg	$-\sqrt{29.25}/3$	29.25/9	$-\sqrt{29.25}/3$	29.25/9
FG	6	54	4.5	40.5
GH	6	54	4.5	40.5
Gg	0	0	0	0
gH	$-2\sqrt{29.25}/21$	58.5/147	$-1.5\sqrt{29.25}/21$	43.875/147
gi	-39/7	2281.5/49	-29.25/7	1711.125/49
Hi	$2\sqrt{29.25}/21$	58.5/147	$1.5\sqrt{29.25}/21$	43.875/147
HI	36/7	1944/49	27/7	1458/49
IJ	36/7	1944/49	27/7	1458/49
Ii	0	0	0	0
iJ	$-2\sqrt{29.25}/21$	58.5/147	$-1.5\sqrt{29.25}/21$	43.875/147
iK	-33/7	1633.5/49	-24.75/7	1225.125/49
Jk	$2\sqrt{29.25}/21$	58.5/147	$1.5\sqrt{29.25}/21$	43.875/147
JK	30/7	1350/49	22.5/7	1012.5/49

KL	30 / 7	1350 / 49	22.5 / 7	1012.5 / 49
Kk	0	0	0	0
kL	$-2\sqrt{29.25}/21$	58.5 / 147	$-1.5\sqrt{29.25}/21$	43.875 / 147
km	-27 / 7	1093.5 / 49	-20.25 / 7	820.125 / 49
mL	$2\sqrt{29.25}/21$	58.5 / 147	$1.5\sqrt{29.25}/21$	43.875 / 147
LM	24 / 7	864 / 49	18 / 7	648 / 49
MN	24 / 7	864 / 49	18 / 7	648 / 49
Mm	0	0	0	0
mN	$-2\sqrt{29.25}/21$	58.5 / 147	$-1.5\sqrt{29.25}/21$	43.875 / 147
om	-21 / 7	661.5 / 49	-15.75 / 7	496.125 / 49
NO	18 / 7	486 / 49	13.5 / 7	364.5 / 49
OP	18 / 7	486 / 49	13.5 / 7	364.5 / 49
oO	0	0	0	0
oN	$2\sqrt{29.25}/21$	58.5 / 147	$1.5\sqrt{29.25}/21$	43.875 / 147
oP	$-2\sqrt{29.25}/21$	58.5 / 147	$-1.5\sqrt{29.25}/21$	43.875 / 147
oq	-15 / 7	337.5 / 49	-11.25 / 7	253.125 / 49
PQ	12 / 7	216 / 49	9 / 7	162 / 49
qP	$2\sqrt{29.25}/21$	58.5 / 147	$1.5\sqrt{29.25}/21$	43.875 / 147
qQ	0	0	0	0
QR	12 / 7	216 / 49	9 / 7	162 / 49
qR	$-2\sqrt{29.25}/21$	58.5 / 147	$-1.5\sqrt{29.25}/21$	43.875 / 147
qs	-9 / 7	121.5 / 49	-6.75 / 7	91.125 / 49
RS	6 / 7	54 / 49	4.5 / 7	40.5 / 49
R _s	$2\sqrt{29.25}/21$	58.5 / 147	$1.5\sqrt{29.25}/21$	43.875 / 147
ST	6 / 7	54 / 49	4.5 / 7	40.5 / 49
S _s	0	0	0	0
sT	$-2\sqrt{29.25}/21$	58.5 / 147	$-1.5\sqrt{29.25}/21$	43.875 / 147
su	-2 / 7	9 / 49	-2.25 / 7	10.125 / 49
TU	0	0	0	0
Tu	$2\sqrt{29.25}/21$	58.5 / 147	$1.5\sqrt{29.25}/21$	43.875 / 147
Vu	0	0	0	0

MEMBRURES	SE	SA·SE·L/A	S F	SA·SF·L/A
AB	0	0	0	0
Aa	0	0	0	0
aB	0	0	0	0
ac	0	0	0	0
BC	0	0	0	0
Bc	0	0	0	0
Cc	0	0	0	0
CD	0	0	0	0
Dc	0	0	0	0
ce	0	0	0	0
De	0	0	0	0
DE	0	0	0	0
EF	0	0	0	0
Ee	-1	0	0	0
e g	-1.5	11.25	0	0
e F	$\sqrt{29.25}/3$	29.25/9	0	0
Fg	$-\sqrt{29.25}/3$	29.25/9	$-\sqrt{29.25}/3$	29.25/9
FG	3	27	1.5	13.5
GH	3	27	1.5	13.5
Gg	0	0	0	0
gH	$-\sqrt{29.25}/21$	29.25/147	$-0.5\sqrt{29.25}/21$	14.625/147
gi	-19.5/7	1140.75/49	-9.75/7	570.375/49
Hi	$\sqrt{29.25}/21$	29.25/147	$0.5\sqrt{29.25}/21$	14.625/147
HI	18/7	972/49	9/7	486/49
IJ	18/7	972/49	9/7	486/49
Ii	0	0	0	0
i J	$-\sqrt{29.25}/21$	29.25/147	$-0.5\sqrt{29.25}/21$	14.625/147
ik	-16.5/7	816.75/49	-8.25/7	408.375/49
Jk	$\sqrt{29.25}/21$	29.25/147	$0.5\sqrt{29.25}/21$	14.625/147
JK	15/7	675/49	7.5/7	337.5/49

KL	15 / 7	675 / 49	7.5 / 7	337.5 / 49
Kk	0	0	0	0
kL	$-\sqrt{29.25}/21$	29.25 / 147	$-0.5\sqrt{29.25}/21$	14.625 / 147
km	-13.5 / 7	546.75 / 49	-6.75 / 7	273.375 / 49
mL	$\sqrt{29.25}/21$	29.25 / 147	$0.5\sqrt{29.25}/21$	14.625 / 147
LM	12 / 7	432 / 49	6 / 7	216 / 49
MN	12 / 7	432 / 49	6 / 7	216 / 49
Mm	0	0	0	0
mN	$-\sqrt{29.25}/21$	29.25 / 147	$-0.5\sqrt{29.25}/21$	14.625 / 147
om	-10.5 / 7	330.75 / 49	-5.25 / 7	165.375 / 49
ON	9 / 7	243 / 49	4.5 / 7	121.5 / 49
OP	9 / 7	243 / 49	4.5 / 7	121.5 / 49
oO	0	0	0	0
oN	$\sqrt{29.25}/21$	29.25 / 147	$0.5\sqrt{29.25}/21$	14.625 / 147
oP	$-\sqrt{29.25}/21$	29.25 / 147	$-0.5\sqrt{29.25}/21$	14.625 / 147
oq	-7.5 / 7	168.75 / 49	-3.75 / 7	84.375 / 49
PQ	6 / 7	108 / 49	3 / 7	54 / 49
qP	$\sqrt{29.25}/21$	29.25 / 147	$0.5\sqrt{29.25}/21$	14.625 / 147
qQ	0	0	0	0
QR	6 / 7	108 / 49	3 / 7	54 / 49
qR	$-\sqrt{29.25}/21$	29.25 / 147	$-0.5\sqrt{29.25}/21$	14.625 / 147
qs	-4.5 / 7	60.75 / 49	-2.25 / 7	30.375 / 49
RS	3 / 7	27 / 49	1.5 / 7	13.5 / 49
R _s	$\sqrt{29.25}/21$	29.25 / 147	$0.5\sqrt{29.25}/21$	14.625 / 147
ST	3 / 7	27 / 49	1.5 / 7	13.5 / 49
S _s	0	0	0	0
sT	$-\sqrt{29.25}/21$	29.25 / 147	$-0.5\sqrt{29.25}/21$	14.625 / 147
su	-1.5 / 7	6.75 / 49	-0.75 / 7	3.375 / 49
TU	0	0	0	0
T _u	$\sqrt{29.25}/21$	29.25 / 147	$0.5\sqrt{29.25}/21$	14.625 / 147
Uu	0	0	0	0

MEMBRURES	SG	SA-SG-L/A	SH	SA-SH-L/A
AB	0	0	0	0
Aa	0	0	0	0
aB	0	0	0	0
ac	0	0	0	0
BC	0	0	0	0
Bc	0	0	0	0
Cc	0	0	0	0
CD	0	0	0	0
Dc	0	0	0	0
ce	0	0	0	0
De	0	0	0	0
DE	0	0	0	0
EF	0	0	0	0
Ee	0	0	0	0
eg	0	0	0	0
eF	0	0	0	0
Fg	0	0	0	0
FG	0	0	0	0
GH	0	0	0	0
Gg	-1	0	0	0
gH	0	0	$-6.5\sqrt{29.25}/21$	$190.125/147$
gi	0	0	$9.75/7$	$-570.375/49$
Hi	0	0	$-0.5\sqrt{29.25}/21$	$-14.625/147$
HI	0	0	$-9/7$	$-486/49$
IJ	0	0	$-9/7$	$-486/49$
Ii	0	0	0	0
iJ	0	0	$0.5\sqrt{29.25}/21$	$-14.625/147$
ik	0	0	$8.25/7$	$-408.375/49$
Jk	0	0	$-0.5\sqrt{29.25}/21$	$-14.625/147$
JK	0	0	$-7.5/7$	$-337.5/49$

KL	0	0	$-7.5/7$	$-337.5/49$
Kk	0	0	0	0
kL	0	0	$0.5\sqrt{29.25}/21$	$-14.625/147$
km	0	0	$6.75/7$	$-273.375/49$
mL	0	0	$-0.5\sqrt{29.25}/21$	$-14.625/147$
LM	0	0	$-6/7$	$-216/49$
MN	0	0	$-6/7$	$-216/49$
Mm	0	0	0	0
mN	0	0	$0.5\sqrt{29.25}/21$	$-14.625/147$
om	0	0	$5.25/7$	$-165.375/49$
ON	0	0	$-4.5/7$	$-121.5/49$
OP	0	0	$-4.5/7$	$-121.5/49$
oO	0	0	0	0
oN	0	0	$-0.5\sqrt{29.25}/21$	$-14.625/147$
oP	0	0	$0.5\sqrt{29.25}/21$	$-14.625/147$
oq	0	0	$3.75/7$	$-84.375/49$
PQ	0	0	$-3/7$	$-54/49$
qP	0	0	$-0.5\sqrt{29.25}/21$	$-14.625/147$
qQ	0	0	0	0
QR	0	0	$-3/7$	$-54/49$
qR	0	0	$0.5\sqrt{29.25}/21$	$-14.625/147$
qs	0	0	$2.25/7$	$-30.375/49$
RS	0	0	$-1.5/7$	$-13.5/49$
R _s	0	0	$-0.5\sqrt{29.25}/21$	$-14.625/147$
ST	0	0	$-1.5/7$	$-13.5/49$
S _s	0	0	0	0
sT	0	0	$0.5\sqrt{29.25}/21$	$-14.625/147$
su	0	0	$0.75/7$	$-3.375/49$
TU	0	0	0	0
Tu	0	0	$-0.5\sqrt{29.25}/21$	$-14.625/147$
Uu	0	0	0	0

MEMBRURES	SI	SA·SI·L/A	SJ	SA·SJ·L/A
AB	0	0	0	0
Aa	0	0	0	0
aB	0	0	0	0
ac	0	0	0	0
BC	0	0	0	0
Bc	0	0	0	0
Cc	0	0	0	0
CD	0	0	0	0
Dc	0	0	0	0
ce	0	0	0	0
De	0	0	0	0
DE	0	0	0	0
EF	0	0	0	0
Ee	0	0	0	0
eg	0	0	0	0
eF	0	0	0	0
Fg	0	0	0	0
FG	0	0	0	0
GH	0	0	0	0
Gg	0	0	0	0
gH	$-6\sqrt{29.25}/21$	175.5/147	$-5.5\sqrt{29.25}/21$	160.875/147
gi	9/7	-526.5/49	8.25/7	-482.625/49
Hi	$6\sqrt{29.25}/21$	175.5/147	$5.5\sqrt{29.25}/21$	160.875/147
HI	-18/7	-972/49	-16.5/7	-891/49
IJ	-18/7	-972/49	-16.5/7	-891/49
Ii	-1	0	0	0
iJ	$\sqrt{29.25}/21$	-29.25/147	$-5.5\sqrt{29.25}/21$	160.875/147
ik	16.5/7	-816.75/49	24.75/7	-1225.125/49
Jk	$-\sqrt{29.25}/21$	-29.25/147	$-1.5\sqrt{29.25}/21$	-43.875/147
JK	-15/7	-675/49	-22.5/7	-1012/49

KL	-15/7	-675/49	-22.5/7	-1012/49
Kk	0	0	0	0
kL	$\sqrt{29.25}/21$	-29.25/147	$1.5\sqrt{29.25}/21$	-43.875/147
km	13.5/7	-546.75/49	20.25/7	-820.125/49
mL	$-\sqrt{29.25}/21$	-29.25/147	$-1.5\sqrt{29.25}/21$	-43.875/147
LM	-12/7	-432/49	-18/7	-648/49
MN	-12/7	-432/49	-18/7	-648/49
Mm	0	0	0	0
mN	$\sqrt{29.25}/21$	-29.25/147	$1.5\sqrt{29.25}/21$	-43.875/147
om	10.5/7	-330.75/49	15.75/7	-496.125/49
ON	-9/7	-243/49	-13.5/7	-364.5/49
OP	-9/7	-243/49	-13.5/7	-364.5/49
oO	0	0	0	0
oN	$-\sqrt{29.25}/21$	-29.25/147	$-1.5\sqrt{29.25}/21$	-43.875/147
oP	$\sqrt{29.25}/21$	-29.25/147	$1.5\sqrt{29.25}/21$	-43.875/147
oq	7.5/7	-168.75/49	11.25/7	-253.125/49
PQ	-6/7	-108/49	-9/7	-162/49
qP	$-\sqrt{29.25}/21$	-29.25/147	$-1.5\sqrt{29.25}/21$	-43.875/147
qQ	0	0	0	0
QR	-6/7	-108/49	-9/7	-162/49
qR	$\sqrt{29.25}/21$	-29.25/147	$1.5\sqrt{29.25}/21$	-43.875/147
qs	4.5/7	-60.75/49	6.75/7	-91.125/49
RS	-3/7	-27/49	-4.5/7	-40.5/49
R _s	$-\sqrt{29.25}/21$	-29.25/147	$-1.5\sqrt{29.25}/21$	-43.875/147
ST	-3/7	-27/49	-4.5/7	-40.5/49
S _s	0	0	0	0
sT	$\sqrt{29.25}/21$	-29.25/147	$1.5\sqrt{29.25}/21$	-43.875/147
su	1.5/7	-6.75/49	2.25/7	-10.125/49
TU	0	0	0	0
T _u	$-\sqrt{29.25}/21$	-29.25/147	$-1.5\sqrt{29.25}/21$	-43.875/147
U _u	0	0	0	0



MEMBRURES	SK	SA·SK·L/A	SL	SA·SL·L/A
AB	0	0	0	0
Aa	0	0	0	0
aB	0	0	0	0
ac	0	0	0	0
BC	0	0	0	0
Bc	0	0	0	0
Cc	0	0	0	0
CD	0	0	0	0
Dc	0	0	0	0
ce	0	0	0	0
De	0	0	0	0
DE	0	0	0	0
EF	0	0	0	0
Ee	0	0	0	0
eg	0	0	0	0
eF	0	0	0	0
Fg	0	0	0	0
FG	0	0	0	0
GH	0	0	0	0
Gg	0	0	0	0
gH	$-5\sqrt{29.25}/21$	146.25/147	$-4.5\sqrt{29.25}/21$	131.625/147
gi	7.5/7	-438.75/49	6.75/7	-394.875/49
Hi	$5\sqrt{29.25}/21$	146.25/147	$4.5\sqrt{29.25}/21$	131.625/147
HI	-15/7	-810/49	-13.5/7	-729/49
IJ	-15/7	-810/49	-13.5/7	-729/49
Ii	0	0	0	0
iJ	$-5\sqrt{29.25}/21$	146.25/147	$-4.5\sqrt{29.25}/21$	131.625/147
iK	22.5/7	-1113.75/49	20.25/7	-1002.375/49
Jk	$5\sqrt{29.25}/21$	146.25/147	$4.5\sqrt{29.25}/21$	131.625/147
JK	-30/7	-1350/49	-27/7	-1215/49

KL	-30/7	-1350/49	-27/7	-1215/49
Kk	-1	0	0	0
kL	$2\sqrt{29.25}/21$	-58.5/147	$-4.5\sqrt{29.25}/21$	131.625/147
k _m	27/7	-1093.5/49	33.75/7	-1366.875/49
mL	$-2\sqrt{29.25}/21$	-58.5/147	$-2.5\sqrt{29.25}/21$	-73.125/147
LM	-24/7	-864/49	-30/7	-1080/49
MN	-24/7	-864/49	-30/7	-1080/49
M _m	0	0	0	0
mN	$2\sqrt{29.25}/21$	-58.5/147	$2.5\sqrt{29.25}/21$	-73.125/147
om	21/7	-661.5/49	26.25/7	-826.875/49
ON	-18/7	-486/49	-22.5/7	-607.5/49
OP	-18/7	-486/49	-22.5/7	-607.5/49
oO	0	0	0	0
oN	$-2\sqrt{29.25}/21$	-58.5/147	$-2.5\sqrt{29.25}/21$	-73.125/147
oP	$2\sqrt{29.25}/21$	-58.5/147	$2.5\sqrt{29.25}/21$	-73.125/147
oq	15/7	-337.5/49	18.75/7	-421.875/49
PQ	-12/7	-216/49	-15/7	-270/49
qP	$-2\sqrt{29.25}/21$	-58.5/147	$-2.5\sqrt{29.25}/21$	-73.125/147
qQ	0	0	0	0
QR	-12/7	-216/49	-15/7	-270/49
qR	$2\sqrt{29.25}/21$	-58.5/147	$2.5\sqrt{29.25}/21$	-73.125/147
qs	9/7	-121.5/49	11.25/7	-151.875/49
RS	-6/7	-54/49	-7.5/7	-67.5/49
R _s	$-2\sqrt{29.25}/21$	-58.5/147	$-2.5\sqrt{29.25}/21$	-73.125/147
ST	-6/7	-54/49	-7.5/7	-67.5/49
S _s	0	0	0	0
sT	$2\sqrt{29.25}/21$	-58.5/147	$2.5\sqrt{29.25}/21$	-73.125/147
su	2/7	-9/49	3.75/7	-16.875/49
TU	0	0	0	0
T _u	$-2\sqrt{29.25}/21$	-58.5/147	$-2.5\sqrt{29.25}/21$	-73.125/147
U _u	0	0	0	0

MEMBRURES	SM	SA·SM·L/A	SN	SA·SN·L/A
AB	0	0	0	0
Aa	0	0	0	0
aB	0	0	0	0
ac	0	0	0	0
BC	0	0	0	0
Bc	0	0	0	0
Cc	0	0	0	0
CD	0	0	0	0
Dc	0	0	0	0
ce	0	0	0	0
De	0	0	0	0
DE	0	0	0	0
EF	0	0	0	0
Ee	0	0	0	0
eg	0	0	0	0
eF	0	0	0	0
Fg	0	0	0	0
FG	0	0	0	0
GH	0	0	0	0
Gg	0	0	0	0
gH	$-4\sqrt{29.25}/21$	117/147	$-3.5\sqrt{29.25}/21$	102.375/147
gi	6/7	-351/49	5.25/7	-307.125/49
Hi	$4\sqrt{29.25}/21$	117/147	$3.5\sqrt{29.25}/21$	102.375/147
HI	-12/7	-648/49	-10.5/7	-567/49
IJ	-12/7	-648/49	-10.5/7	-567/49
Ii	0	0	0	0
iJ	$-4\sqrt{29.25}/21$	117/147	$-3.5\sqrt{29.25}/21$	102.375/147
ik	18/7	-891/49	15.75/7	-779.625/49
Jk	$4\sqrt{29.25}/21$	117/147	$3.5\sqrt{29.25}/21$	102.375/147
JK	-24/7	-1080/49	-21/7	-945/49

KL	-24/7	-1080/49	-21/7	-945/49
Kk	0	0	0	0
kL	$-4\sqrt{29.25}/21$	117/147	$-3.5\sqrt{29.25}/21$	102.375/147
km	30/7	-1215/49	26.25/7	-1063.125/49
mL	$4\sqrt{29.25}/21$	117/147	$3.5\sqrt{29.25}/21$	102.375/147
LM	-36/7	-1296/49	-31.5/7	-1134/49
MN	-36/7	-1296/49	-31.5/7	-1134/49
Mm	-1	0	0	0
mN	$\sqrt{29.25}/7$	-29.25/49	$-3.5\sqrt{29.25}/21$	102.375/147
om	31.5/7	-992.25/49	36.75/7	-1157.625/49
ON	-27/7	-729/49	-31.5/7	-850.5/49
OP	-27/7	-729/49	-31.5/7	-850.5/49
oO	0	0	0	0
oN	$-\sqrt{29.25}/7$	-29.25/49	$-3.5\sqrt{29.25}/21$	-102.375/147
oP	$\sqrt{29.25}/7$	-29.25/49	$3.5\sqrt{29.25}/21$	-102.375/147
oq	22.5/7	-506.25/49	26.25/7	-590.625/49
PQ	-18/7	-324/49	-21/7	-378/49
qP	$-\sqrt{29.25}/7$	-29.25/49	$-3.5\sqrt{29.25}/21$	-102.375/147
qQ	0	0	0	0
QR	-18/7	-324/49	-21/7	-378/49
qR	$\sqrt{29.25}/7$	-29.25/49	$3.5\sqrt{29.25}/21$	-102.375/147
qs	13.5/7	-182.25/49	15.75/7	-212.625/49
RS	-9/7	-81/49	-10.5/7	-94.5/49
Rs	$-\sqrt{29.25}/7$	-29.25/49	$-3.5\sqrt{29.25}/21$	-102.375/147
ST	-9/7	-81/49	-10.5/7	-94.5/49
Ss	0	0	0	0
sT	$\sqrt{29.25}/7$	-29.25/49	$3.5\sqrt{29.25}/21$	-102.375/147
su	4.5/7	-20.25/49	5.25/7	-23.625/49
TU	0	0	0	0
Tu	$-\sqrt{29.25}/7$	-29.25/49	$-3.5\sqrt{29.25}/21$	-102.375/147
Uu	0	0	0	0

MEMBRURES	SO	SA·SO·L/A	SP	SA·SP·L/A
AB	0	0	0	0
Aa	0	0	0	0
aB	0	0	0	0
ac	0	0	0	0
BC	0	0	0	0
Bc	0	0	0	0
Cc	0	0	0	0
CD	0	0	0	0
Dc	0	0	0	0
ce	0	0	0	0
De	0	0	0	0
DE	0	0	0	0
EF	0	0	0	0
Ee	0	0	0	0
eg	0	0	0	0
eF	0	0	0	0
Fg	0	0	0	0
FG	0	0	0	0
GH	0	0	0	0
Gg	0	0	0	0
gH	$-3\sqrt{29.25}/21$	87.75/147	$-2.5\sqrt{29.25}/21$	73.125/147
gi	4.5/7	-263.25/49	3.75/7	-219.375/49
Hi	$3\sqrt{29.25}/21$	87.75/147	$2.5\sqrt{29.25}/21$	73.125/147
HI	-9/7	-486/49	-7.5/7	-405/49
IJ	-9/7	-486/49	-7.5/7	-405/49
Ii	0	0	0	0
iJ	$-3\sqrt{29.25}/21$	87.75/147	$-2.5\sqrt{29.25}/21$	73.125/147
ik	13.5/7	-668.25/49	11.25/7	-556.875/49
Jk	$3\sqrt{29.25}/21$	87.75/147	$2.5\sqrt{29.25}/21$	73.125/147
JK	-18/7	-810/49	-15/7	-675/49

KL	-18/7	-810/49	-15/7	-675/49
Kk	0	0	0	0
kL	$-3\sqrt{29.25}/21$	87.75/147	$-2.5\sqrt{29.25}/21$	73.125/147
km	22.5/7	-911.25/49	18.75/7	-759.375/49
mL	$3\sqrt{29.25}/21$	87.75/147	$2.5\sqrt{29.25}/21$	73.125/147
LM	-27/7	-972/49	-22.5/7	-810/49
MN	-27/7	-972/49	-22.5/7	-810/49
Mm	0	0	0	0
mN	$-3\sqrt{29.25}/21$	87.75/49	$-2.5\sqrt{29.25}/21$	73.125/147
om	31.5/7	-992.25/49	26.25/7	-826.875/49
ON	-36/7	-972/49	-30/7	-810/49
OP	-36/7	-972/49	-30/7	-810/49
oO	-1	0	0	0
oN	$3\sqrt{29.25}/21$	87.75/147	$2.5\sqrt{29.25}/21$	73.125/147
oP	$4\sqrt{29.25}/21$	-117/147	$-2.5\sqrt{29.25}/21$	73.125/147
oq	30/7	-675/49	33.75/7	-759.375/49
PQ	-24/7	-432/49	-27/7	-486/49
qP	$-4\sqrt{29.25}/21$	-117/147	$-4.5\sqrt{29.25}/21$	-131.625/147
qQ	0	0	0	0
QR	-24/7	-432/49	-27/7	-486/49
qR	$4\sqrt{29.25}/21$	-117/147	$4.5\sqrt{29.25}/21$	-131.625/147
qs	18/7	-243/49	20.25/7	-273.375/49
RS	-12/7	-108/49	-13.5/7	-121.5/49
Rs	$-4\sqrt{29.25}/21$	-117/147	$-4.5\sqrt{29.25}/21$	-131.625/147
ST	-12/7	-108/49	-13.5/7	-121.5/49
Ss	0	0	0	0
sT	$4\sqrt{29.25}/21$	-117/147	$4.5\sqrt{29.25}/21$	-131.625/147
su	6/7	-27/49	6.75/7	-30.375/49
TU	0	0	0	0
Tu	$-4\sqrt{29.25}/21$	-117/147	$-4.5\sqrt{29.25}/21$	-131.625/147
Uu	0	0	0	0

MEMBRURES	SQ	SA·SQ·L/A	SR	SA·SR·L/A
AB	0	0	0	0
Aa	0	0	0	0
aB	0	0	0	0
ac	0	0	0	0
BC	0	0	0	0
Bc	0	0	0	0
Cc	0	0	0	0
CD	0	0	0	0
Dc	0	0	0	0
ce	0	0	0	0
De	0	0	0	0
DE	0	0	0	0
EF	0	0	0	0
Ee	0	0	0	0
eg	0	0	0	0
eF	0	0	0	0
Fg	0	0	0	0
FG	0	0	0	0
GH	0	0	0	0
Gg	0	0	0	0
gH	$-2\sqrt{29.25}/21$	58.5/147	$-1.5\sqrt{29.25}/21$	43.875/147
gi	3/7	-175.5/49	2.25/7	-131.625/49
Hi	$2\sqrt{29.25}/21$	58.5/147	$1.5\sqrt{29.25}/21$	43.875/147
HI	-6/7	-324/49	-4.5/7	-243/49
IJ	-6/7	-324/49	-4.5/7	-243/49
Ii	0	0	0	0
iJ	$-2\sqrt{29.25}/21$	58.5/147	$-1.5\sqrt{29.25}/21$	43.875/147
ik	3/7	-445.5/49	6.75/7	-334.125/49
Jk	$2\sqrt{29.25}/21$	58.5/147	$1.5\sqrt{29.25}/21$	43.875/147
JK	-12/7	-540/49	-9/7	-405/49

KL	-12/7	-540/49	-9/7	-405/49
Kk	0	0	0	0
kL	$-2\sqrt{29.25}/21$	58.5/147	$-1.5\sqrt{29.25}/21$	43.875/147
km	15/7	-607.5/49	11.25/7	-455.625/49
mL	$2\sqrt{29.25}/21$	58.5/147	$1.5\sqrt{29.25}/21$	43.875/147
LM	-18/7	-648/49	-13.5/7	-486/49
MN	-18/7	-648/49	-13.5/7	-486/49
Mm	0	0	0	0
mN	$-2\sqrt{29.25}/21$	58.5/147	$-1.5\sqrt{29.25}/21$	43.875/147
om	21/7	-661.5/49	15.75/7	-496.125/49
ON	-24/7	-648/49	-18/7	-486/49
OP	-24/7	-648/49	-18/7	-486/49
oO	0	0	0	0
oN	$2\sqrt{29.25}/21$	58.5/147	$1.5\sqrt{29.25}/21$	43.875/147
oP	$-2\sqrt{29.25}/21$	58.5/147	$-1.5\sqrt{29.25}/21$	43.875/147
oq	27/7	-605.5/49	20.25/7	-455.625/49
PQ	-30/7	-540/49	-22.5/7	-405/49
qP	$2\sqrt{29.25}/21$	58.5/147	$1.5\sqrt{29.25}/21$	43.875/147
qQ	-1	0	0	0
QR	-30/7	-540/49	-22.5/7	-405/49
qR	$5\sqrt{29.25}/21$	-146.25/147	$-1.5\sqrt{29.25}/21$	43.875/147
qs	22.5/7	-303.75/49	24.75/7	-334.125/49
RS	-15/7	-135/49	-16.5/7	-148.5/49
Rs	$-5\sqrt{29.25}/21$	-146.25/147	$-5.5\sqrt{29.25}/21$	-160.875/147
ST	-15/7	-135/49	-16.5/7	-148.5/49
Ss	0	0	0	0
sT	$5\sqrt{29.25}/21$	-146.25/147	$5.5\sqrt{29.25}/21$	-160.875/147
su	7.5/7	-33.75/49	8.25/7	-37.125/49
TU	0	0	0	0
Tu	$-5\sqrt{29.25}/21$	-146.25/147	$-5.5\sqrt{29.25}/21$	-160.875/147
Uu	0	0	0	0

MEMBRURES	SS	SA·SS·L/A	ST	SA·ST·L/A
AB	0	0	0	0
Aa	0	0	0	0
aB	0	0	0	0
ac	0	0	0	0
BC	0	0	0	0
Bc	0	0	0	0
Cc	0	0	0	0
CD	0	0	0	0
Dc	0	0	0	0
ce	0	0	0	0
De	0	0	0	0
DE	0	0	0	0
EF	0	0	0	0
Ee	0	0	0	0
eg	0	0	0	0
eF	0	0	0	0
Fg	0	0	0	0
FG	0	0	0	0
GH	0	0	0	0
Gg	0	0	0	0
gH	$-\sqrt{29.25}/21$	$29.25/147$	$-0.5\sqrt{29.25}/21$	$14.625/147$
gi	$1.5/7$	$-87.75/49$	$0.75/7$	$-43.875/49$
Hi	$\sqrt{29.25}/21$	$29.25/147$	$0.5\sqrt{29.25}/21$	$14.625/147$
HI	$-3/7$	$-162/49$	$-1.5/7$	$-81/49$
IJ	$-3/7$	$-162/49$	$-1.5/7$	$-81/49$
Ii	0	0	0	0
iJ	$-\sqrt{29.25}/21$	$29.25/147$	$-0.5\sqrt{29.25}/21$	$14.625/147$
ik	$4.5/7$	$-222.75/49$	$2.25/7$	$-111.375/49$
Jk	$\sqrt{29.25}/21$	$29.25/147$	$0.5\sqrt{29.25}/21$	$14.625/147$
JK	$-6/7$	$-270/49$	$-3/7$	$-135/49$

KL	-6/7	-270/49	-3/7	-135/49
Kk	0	0	0	0
kL	$-\sqrt{29.25}/21$	29.25/147	$-0.5\sqrt{29.25}/21$	14.625/147
km	7.5/7	-303.75/49	3.75/7	-151.875/49
mL	$\sqrt{29.25}/21$	29.25/147	$0.5\sqrt{29.25}/21$	14.625/147
LM	-9/7	-324/49	-4.5/7	-162/49
MN	-9/7	-324/49	-4.5/7	-162/49
Mm	0	0	0	0
mN	$-\sqrt{29.25}/21$	29.25/147	$-0.5\sqrt{29.25}/21$	14.625/147
om	10.5/7	-330.75/49	5.25/7	-165.375/49
ON	-12/7	-324/49	-6/7	-162/49
OP	-12/7	-324/49	-6/7	-162/49
oO	0	0	0	0
oN	$\sqrt{29.25}/21$	29.25/147	$0.5\sqrt{29.25}/21$	14.625/147
oP	$-\sqrt{29.25}/21$	29.25/147	$-0.5\sqrt{29.25}/21$	14.625/147
oq	13.5/7	-303.75/49	6.75/7	-151.875/49
PQ	-15/7	-270/49	-7.5/7	-135/49
qP	$\sqrt{29.25}/21$	29.25/147	$0.5\sqrt{29.25}/21$	14.625/147
qQ	0	0	0	0
QR	-15/7	-270/49	-7.5/7	-135/49
qR	$-\sqrt{29.25}/21$	29.25/147	$-0.5\sqrt{29.25}/21$	14.625/147
qo	16.5/7	-222.75/49	8.25/7	-111.375/49
RS	-18/7	-162/49	-9/7	-81/49
Ro	$\sqrt{29.25}/21$	29.25/147	$0.5\sqrt{29.25}/21$	14.625/147
ST	-18/7	-162/49	-9/7	-81/49
So	-1	0	0	0
sT	$6\sqrt{29.25}/21$	-175.5/147	$-0.5\sqrt{29.25}/21$	14.625/147
su	9/7	-40.5/49	9.75/7	-43.875/49
TU	0	0	0	0
Tu	$-6\sqrt{29.25}/21$	-175.5/147	$-6.5\sqrt{29.25}/21$	-190.125/147
Uu	0	0	0	0

MEMBRURES	SU	SA·SU·L/A
AB	0	0
Aa	0	0
aB	0	0
ac	0	0
BC	0	0
Bc	0	0
Cc	0	0
CD	0	0
Dc	0	0
ce	0	0
De	0	0
DE	0	0
EF	0	0
Ee	0	0
eg	0	0
eF	0	0
Fg	0	0
FG	0	0
GH	0	0
Gg	0	0
gH	0	0
gi	0	0
Hi	0	0
HI	0	0
IJ	0	0
Ii	0	0
iJ	0	0
ik	0	0
Jk	0	0
JK	0	0

KL	0	0
Kk	0	0
kL	0	0
km	0	0
mL	0	0
LM	0	0
MN	0	0
Mm	0	0
mN	0	0
om	0	0
NO	0	0
OP	0	0
oO	0	0
oN	0	0
oP	0	0
oq	0	0
PQ	0	0
qP	0	0
qQ	0	0
QR	0	0
qR	0	0
qS	0	0
RS	0	0
R _s	0	0
ST	0	0
S _s	0	0
sT	0	0
su	0	0
TU	0	0
T _u	0	0
Uu	-1	0

On a ainsi

$$\delta_{AA} = 848.49999 / E$$

$$\delta_{BA} = 687.2857 / E$$

$$\delta_{CA} = 528.90815 / E$$

$$\delta_{DA} = 379.87499 / E$$

$$\delta_{EA} = 237.49999 / E$$

$$\delta_{FA} = 113.12499 / E$$

$$\delta_{GA} = 0.00000$$

$$\delta_{HA} = -81.482142 / E$$

$$\delta_{IA} = -150.42857 / E$$

$$\delta_{JA} = -196.21173 / E$$

$$\delta_{KA} = -231.33673 / E$$

$$\delta_{LA} = -247.33928 / E$$

$$\delta_{MA} = -254.57142 / E$$

$$\delta_{NA} = -246.375 / E$$

$$\delta_{OA} = -231.42857 / E$$

$$\delta_{PA} = -204.91075 / E$$

$$\delta_{QA} = -173.57142 / E$$

$$\delta_{RA} = -134.51785 / E$$

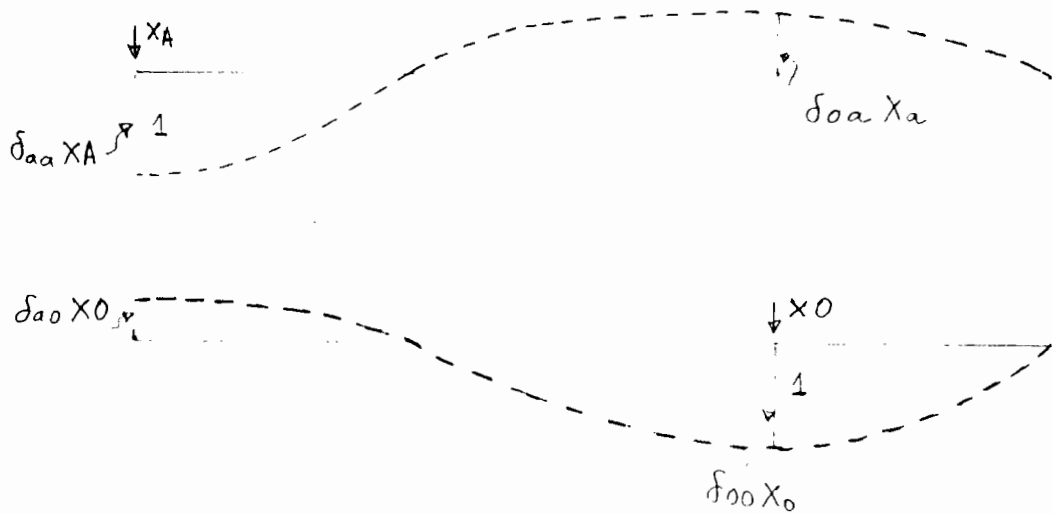
$$\delta_{SA} = -92.57142 / E$$

$$\delta_{TA} = -46.767857 / E$$

$$\delta_{UA} = 0.0000$$

$$\delta_{OO} = 201.14285 / E$$

On a ainsi les deux systèmes suivants :



Pour en revenir à notre système hyperstatique on doit avoir les deux équations à deux inconnues suivantes :

$$\Delta A = 1 = \delta_{aa} X_A + \delta_{ao} X_O$$

$$\Delta O = 0 = \delta_{oo} X_O + \delta_{oa} X_A$$

Mais $\delta_{ao} = \delta_{oa}$ (Théorème de Betti, Elementary Theory of Structures - Yuan Yu HSIEN p. 226)

$$\text{On a } \frac{1}{E} (848.50 X_A - 231.42857 X_O) = 1$$

$$\frac{1}{E} (-231.42857 X_A + 201.14285 X_O) = 0$$

$$\Rightarrow X_O = \frac{231.42857}{201.14285} X_A$$

$$\text{et } X_A (848.5 - 231.42857 \times 231.42857 / 201.14285) = E$$

$$\Rightarrow X_A = 0.0017175 E \text{ et } X_O = 0.0019761 E$$

On a ainsi $\Delta A = X_A \delta_{AA} + X_O \delta_{AO} = 1.000$ (page 238, Elementary Theory of Structures - Yuan Yu HSIEN)

$$\Delta B = X_A \delta_{BA} + X_O \delta_{BO} = 0.800 \text{ et ainsi de}$$

suite

$$\Delta C = 0.604$$

$$\Delta D = 0.424$$

$$\Delta E = 0.255$$

$$\Delta F = 0.118$$

$$\Delta G = 0.000$$

$$\Delta H = -0.061$$

$$\Delta I = -0.102$$

$$\Delta J = -0.111$$

$$\Delta K = -0.108$$

$$\Delta L = -0.087$$

$$\Delta M = -0.061$$

$$\Delta N = -0.030$$

$$\Delta O = 0.000$$

$$\Delta P = 0.009$$

$$\Delta Q = 0.016$$

$$\Delta R = 0.016$$

$$\Delta S = 0.013$$

$$\Delta T = 0.007$$

$$\Delta U = 0.000$$

Par raison de symétrie, on en déduit la ligne d'influence de la réaction R_u .

Voir en annexe les tracés de ces lignes d'influence.

2. LIGNE D'INFLUENCE DE LA RÉACTION R_o

On reprend le même processus et on obtient:

MEMBRURES	$SO^2 L/A$	$SO \cdot SA \cdot L/A$	$SO \cdot SB \cdot L/A$	$SO \cdot SC \cdot L/A$
AB	0	0	0	0
Aa	0	0	0	0
aB	0	0	0	0
ac	0	0	0	0
BC	0	0	0	0
Bc	0	0	0	0
Cc	0	0	0	0
CD	0	0	0	0
Dc	0	0	0	0
ce	0	0	0	0
De	0	0	0	0
DE	0	0	0	0
EF	0	0	0	0
Ee	0	0	0	0
eg	0	0	0	0
eF	0	0	0	0
Fg	0	0	0	0
FG	0	0	0	0
GH	0	0	0	0
Gg	0	0	0	0
gH	29.25/49	87.75/147	219.375/441	175.5/441
gi	20.25/49	-263.25/49	-219.375/49	-175.5/49
Hi	29.25/49	87.75/147	219.375/441	175.5/441
HI	81/49	-486/49	-405/49	-324/49
IJ	81/49	-486/49	-405/49	-324/49
Ii	0	0	0	0
iJ	29.25/49	87.75/147	219.375/441	175.5/441
ik	182.25/49	-668.25/49	-556.875/49	-445.5/49
Jk	29.25/49	87.75/147	219.375/441	175.5/441
JK	324/49	-810/49	-675/49	-540/49

KL	324 / 49	-810 / 49	-675 / 49	-540 / 49
Kk	0	0	0	0
kL	29.25 / 49	87.75 / 147	219.375 / 441	175.5 / 441
km	506.25 / 49	-911.25 / 49	-759.375 / 49	-607.5 / 49
mL	29.25 / 49	87.75 / 147	219.375 / 441	175.5 / 441
LM	729 / 49	-972 / 49	-810 / 49	-648 / 49
MN	729 / 49	-972 / 49	-810 / 49	-648 / 49
Mm	0	0	0	0
mN	29.25 / 49	87.75 / 147	219.375 / 441	175.5 / 441
om	992.25 / 49	-992.25 / 49	-834.75 / 49	-661.5 / 49
NO	1296 / 49	-972 / 49	-810 / 49	-648 / 49
OP	1296 / 49	-972 / 49	-810 / 49	-648 / 49
oO	1	0	0	0
oN	29.25 / 49	87.75 / 147	219.375 / 441	175.5 / 441
oP	468 / 441	-117 / 147	-292.5 / 441	-234 / 441
oq	900 / 49	-675 / 49	-562.5 / 49	-450 / 49
PQ	576 / 49	-432 / 49	-360 / 49	-288 / 49
qP	468 / 441	-117 / 147	-292.5 / 441	-234 / 441
qQ	0	0	0	0
QR	576 / 49	-432 / 49	-360 / 49	-288 / 49
qR	468 / 441	-117 / 147	-292.5 / 441	-234 / 441
qs	324 / 49	-243 / 49	-202.5 / 49	-162 / 49
RS	144 / 49	-108 / 49	-90 / 49	-72 / 49
Rs	468 / 441	-117 / 147	-292.5 / 441	-234 / 441
ST	144 / 49	-108 / 49	-90 / 49	-72 / 49
Ss	0	0	0	0
sT	468 / 441	-117 / 147	-292.5 / 441	-234 / 441
su	36 / 49	-27 / 49	-22.5 / 49	-12 / 49
TU	0	0	0	0
Tu	468 / 441	-117 / 147	-292.5 / 441	-234 / 441
Uu	0	0	0	0

MEMBRURES	SO.SD.L/A	SO.SE.L/A	SO.SF.L/A	SO.SG.L/A
AB	0	0	0	0
Aa	0	0	0	0
aB	0	0	0	0
ac	0	0	0	0
BC	0	0	0	0
Bc	0	0	0	0
Cc	0	0	0	0
CD	0	0	0	0
Dc	0	0	0	0
cc	0	0	0	0
De	0	0	0	0
DE	0	0	0	0
EF	0	0	0	0
Ee	0	0	0	0
eg	0	0	0	0
eF	0	0	0	0
Fg	0	0	0	0
FG	0	0	0	0
GH	0	0	0	0
Gg	0	0	0	0
gH	131.625/441	87.75/441	43.875/441	0
gi	-131.625/49	-87.75/49	-43.875/49	0
Hi	131.625/441	87.75/441	43.875/441	0
HI	-243/49	-162/49	-81/49	0
IJ	-243/49	-162/49	-81/49	0
Ii	0	0	0	0
iJ	131.625/441	87.75/441	43.875/441	0
ik	-334.125/49	-222.75/49	-111.375/49	0
Jk	131.625/441	87.75/441	43.875/441	0
JK	-405/49	-270/49	-135/49	0

KL	-405/49	-270/49	-135/49	0
Kk	0	0	0	0
kL	131.625/441	87.75/441	43.875/441	0
km	-455.625/49	-303.75/49	-151.875/49	0
mL	131.625/441	87.75/441	43.875/441	0
LM	-486/49	-324/49	-162/49	0
MN	-486/49	-324/49	-162/49	0
Mm	0	0	0	0
mN	131.625/441	87.75/441	43.875/441	0
om	-496.125/49	-330.75/49	-165.375/49	0
NO	-486/49	-324/49	-162/49	0
OP	-486/49	-324/49	-162/49	0
oO	0	0	0	0
oN	131.625/441	87.75/441	43.875/441	0
oP	-175.5/441	-117/441	-58.5/441	0
og	-337.5/49	-225/49	-112.5/49	0
PQ	-216/49	-144/49	-72/49	0
qP	-175.5/441	-117/441	-58.5/441	0
qQ	0	0	0	0
QR	-216/49	-144/49	-72/49	0
qR	-175.5/441	-117/441	-58.5/441	0
qs	-121.5/49	-81/49	-40.5/49	0
RS	-54/49	-36/49	-18/49	0
Rs	-175.5/441	-117/441	-58.5/441	0
ST	-54/49	-36/49	-18/49	0
Ss	0	0	0	0
sT	-175.5/441	-117/441	-58.5/441	0
su	-13.5/49	-9/49	-4.5/49	0
TU	0	0	0	0
Tu	-175.5/441	-117/441	-58.5/441	0
Uu	0	0	0	0

6000 p.w.

MEMBRURES	SO-SH-L/A	SO-SI-L/A	SO-SJ-L/A	SO-SK-L/A
AB	0	0	0	0
Aa	0	0	0	0
aB	0	0	0	0
ac	0	0	0	0
BC	0	0	0	0
Bc	0	0	0	0
Cc	0	0	0	0
CD	0	0	0	0
Dc	0	0	0	0
ce	0	0	0	0
De	0	0	0	0
DE	0	0	0	0
EF	0	0	0	0
Ee	0	0	0	0
eg	0	0	0	0
eF	0	0	0	0
Fa	0	0	0	0
FG	0	0	0	0
GH	0	0	0	0
Gg	0	0	0	0
gH	570.375/441	526.5/441	482.625/441	438.75/441
gi	43.875/49	40.5/49	37.125/49	33.75/49
Hi	-43.875/441	526.5/441	482.625/441	438.75/441
HI	81/49	162/49	148.5/49	135/49
IJ	81/49	162/49	148.5/49	135/49
Ii	0	0	0	0
iJ	-43.875/441	-87.75/441	482.625/441	438.75/441
ik	111.375/49	222.75/49	334.125/49	303.75/49
Jk	-43.875/441	-87.75/441	-131.625/441	438.75/441
JK	135/49	270/49	405/49	540/49

KL	135 / 49	270 / 49	405 / 49	540 / 49
K _l	0	0	0	0
kL	-43.875 / 441	-87.75 / 441	-131.625 / 441	-175.5 / 441
k _m	151.875 / 49	303.75 / 49	455.625 / 49	607.5 / 49
mL	-43.875 / 441	-87.75 / 441	-131.625 / 441	-175.5 / 441
LM	162 / 49	324 / 49	486 / 49	648 / 49
MN	162 / 49	324 / 49	486 / 49	648 / 49
M _m	0	0	0	0
mN	-43.875 / 441	-87.75 / 441	-131.625 / 441	-175.5 / 441
om	165.375 / 49	330.75 / 49	496.125 / 49	661.5 / 49
ON	162 / 49	324 / 49	486 / 49	648 / 49
OP	162 / 49	324 / 49	486 / 49	648 / 49
oO	0	0	0	0
oN	-43.875 / 441	-87.75 / 441	-131.625 / 441	-175.5 / 441
oP	58.5 / 441	117 / 441	175.5 / 441	234 / 441
oq	112.5 / 49	225 / 49	337.5 / 49	450 / 49
PQ	72 / 49	144 / 49	216 / 49	288 / 49
qP	58.5 / 441	117 / 441	175.5 / 441	234 / 441
qQ	0	0	0	0
QR	72 / 49	144 / 49	216 / 49	288 / 49
qR	58.5 / 441	117 / 441	175.5 / 441	234 / 441
qo	40.5 / 49	81 / 49	121.5 / 49	162 / 49
RS	18 / 49	36 / 49	54 / 49	72 / 49
Ro	58.5 / 441	117 / 441	175.5 / 441	234 / 441
ST	18 / 49	36 / 49	54 / 49	72 / 49
So	0	0	0	0
oT	58.5 / 441	117 / 441	175.5 / 441	234 / 441
su	4.5 / 49	9 / 49	13.5 / 49	12 / 49
TU	0	0	0	0
Tu	58.5 / 441	117 / 441	175.5 / 441	234 / 441
Uu	0	0	0	0

MEMBRURES	SO.SL.L/A	SO.SM.L/A	SO.SN.L/A	SO.SP.L/A
AB	0	0	0	
Aa	0	0	0	0
aB	0	0	0	0
ac	0	0	0	0
BC	0	0	0	0
Bc	0	0	0	0
Cc	0	0	0	0
CD	0	0	0	0
Dc	0	0	0	0
ce	0	0	0	0
De	0	0	0	0
DE	0	0	0	0
EF	0	0	0	0
Ee	0	0	0	0
eg	0	0	0	0
eF	0	0	0	0
Fg	0	0	0	0
FG	0	0	0	0
GH	0	0	0	0
Gg	0	0	0	0
gH	394.875/441	351/441	307.125/441	219.375/441
gi	30.375/49	27/49	23.625/49	16.875/49
Hi	394.875/441	351/441	307.125/441	219.375/441
HI	121.5/49	108/49	94.5/49	67.5/49
IJ	121.5/49	108/49	94.5/49	67.5/49
Ii	0	0	0	0
iJ	394.875/441	351/441	307.125/441	219.375/441
ik	273.375/49	243/49	212.625/49	151.875/49
Jk	394.875/441	351/441	307.125/441	219.375/441
JK	486/49	432/49	378/49	270/49

KL	486 / 49	432 / 49	378 / 49	270 / 49
Kk	0	0	0	0
kL	394.875 / 441	351 / 441	307.125 / 441	219.375 / 441
km	759.375 / 49	675 / 49	590.625 / 49	421.875 / 49
mL	-219.375 / 441	351 / 441	307.125 / 441	219.375 / 441
LM	810 / 49	972 / 49	850.5 / 49	607.5 / 49
MN	810 / 49	972 / 49	850.5 / 49	607.5 / 49
Mm	0	0	0	0
mN	-219.375 / 441	-87.75 / 147	307.125 / 441	219.375 / 441
om	826.875 / 49	992.25 / 49	1157.625 / 49	826.875 / 49
ON	810 / 49	972 / 49	1134 / 49	1080 / 49
OP	810 / 49	972 / 49	1134 / 49	1080 / 49
oO	0	0	0	0
oN	-219.375 / 441	-87.75 / 147	-307.125 / 441	219.375 / 441
oP	292.5 / 441	117 / 147	409.5 / 441	-292.5 / 441
oq	562.5 / 49	675 / 49	787.5 / 49	1012.5 / 49
PQ	360 / 49	432 / 49	504 / 49	648 / 49
qP	292.5 / 441	117 / 147	409.5 / 441	526.5 / 441
qQ	0	0	0	0
QR	360 / 49	432 / 49	504 / 49	648 / 49
qR	292.5 / 441	117 / 147	409.5 / 441	526.5 / 441
qs	202.5 / 49	243 / 49	283.5 / 49	364.5 / 49
RS	90 / 49	108 / 49	126 / 49	162 / 49
Ro	292.5 / 441	117 / 147	409.5 / 441	526.5 / 441
ST	90 / 49	108 / 49	126 / 49	162 / 49
Ss	0	0	0	0
sT	292.5 / 441	117 / 147	409.5 / 441	526.5 / 441
su	22.5 / 49	27 / 49	31.5 / 49	40.5 / 49
TU	0	0	0	0
Tu	292.5 / 441	117 / 147	409.5 / 441	526.5 / 441
Uu	0	0	0	0

MEMBRURES	SO·SQ·L/A	SO·JR·L/A	SO·SS·L/A	SO·ST·L/A
AB	0	0	0	0
Aa	0	0	0	0
aB	0	0	0	0
ac	0	0	0	0
BC	0	0	0	0
Bc	0	0	0	0
Cc	0	0	0	0
CD	0	0	0	0
Dc	0	0	0	0
ce	0	0	0	0
De	0	0	0	0
DE	0	0	0	0
EF	0	0	0	0
Ee	0	0	0	0
eg	0	0	0	0
eF	0	0	0	0
Fg	0	0	0	0
FG	0	0	0	0
GH	0	0	0	0
Gg	0	0	0	0
gH	175.5 / 441	131.625 / 441	87.75 / 441	43.875 / 441
gi	13.5 / 49	10.125 / 49	6.75 / 49	3.375 / 49
Hi	175.5 / 441	131.625 / 441	87.75 / 441	43.875 / 441
HI	54 / 49	40.5 / 49	27 / 49	13.5 / 49
IJ	54 / 49	40.5 / 49	27 / 49	13.5 / 49
Ii	0	0	0	0
iJ	175.5 / 441	131.625 / 441	87.75 / 441	43.875 / 441
ik	121.5 / 49	91.125 / 49	60.75 / 49	30.375 / 49
Jk	175.5 / 441	131.625 / 441	87.75 / 441	43.875 / 441
JK	216 / 49	162 / 49	108 / 49	54 / 49

KL	216 /49	162 /49	108 /49	54 /49
Kb	0	0	0	0
kL	175.5/441	131.625/441	87.75 /441	43.875/441
km	337.5 /49	253.125 /49	168.75 /49	84.375 /49
mL	175.5/441	131.625/441	87.75 /441	43.875/441
LM	486 /49	364.5 /49	243 /49	121.5 /49
MN	486 /49	364.5 /49	243 /49	121.5 /49
Mm	0	0	0	0
mN	175.5/441	131.625/441	87.75/441	43.875/441
om	661.5 /49	496.125/49	330.75/49	165.375 /49
NO	864 /49	648 /49	432 /49	216 /49
OP	864 /49	648 /49	432 /49	216 /49
oO	0	0	0	0
oN	175.5/441	131.625/441	87.75/441	43.875/441
oP	-234 /441	-175.5 /441	-117 /441	-58.5 /441
oq	810 /49	607.5 /49	405 /49	202.5 /49
PQ	720 /49	540 /49	360 /49	180 /49
qP	-234 /441	-175.5 /441	-117 /441	-58.5 /441
qQ	0	0	0	0
QR	720 /49	540 /49	360 /49	180 /49
qR	585 /441	-175.5 /441	-117 /441	-58.5 /441
qs	405 /49	445.5 /49	297 /49	148.5 /49
RS	180 /49	198 /49	216 /49	108 /49
Rs	585 /441	643.5 /441	-117 /441	-58.5 /441
ST	180 /49	198 /49	216 /49	108 /49
Ss	0	0	0	0
sT	585 /441	643.5 /441	702 /441	-58.5 /441
su	45 /49	49.5 /49	54 /49	58.5 /49
TU	0	0	0	0
Tu	585 /441	643.5 /441	702 /441	760.5 /441
Uu	0	0	0	0

MEMBRURES	SO-SU-L/A
AB	0
Aa	0
aB	0
ac	0
BC	0
Bc	0
Cc	0
CD	0
Dc	0
ce	0
De	0
DE	0
EF	0
Ee	0
eg	0
eF	0
Fg	0
FG	0
GH	0
Gg	0
gH	0
gi	0
Hi	0
HI	0
IJ	0
Ii	0
iJ	0
ik	0
Jk	0
JK	0

KL	0		
Kk	0		
kL	0		
km	0		
mL	0		
LM	0		
MN	0		
Mm	0		
mN	0		
om	0		
NO	0		
OP	0		
oO	0		
oN	0		
oP	0		
og	0		
PQ	0		
qP	0		
qQ	0		
QR	0		
qR	0		
qs	0		
RS	0		
R _s	0		
ST	0		
S _s	0		
sT	0		
su	0		
TU	0		
Tu	0		
Uu	0		

$$\delta A_0 = -231.42857 / E$$

$$\delta B_0 = -192.28316 / E$$

$$\delta C_0 = -154.16326 / E$$

$$\delta D_0 = -115.71428 / E$$

$$\delta E_0 = -77.142857 / E$$

$$\delta F_0 = -38.571428 / E$$

$$\delta G_0 = 0.0000$$

$$\delta H_0 = 40.063774 / E$$

$$\delta I_0 = 78.964285 / E$$

$$\delta J_0 = 114.10714 / E$$

$$\delta K_0 = 146.23468 / E$$

$$\delta L_0 = 170.89285 / E$$

$$\delta M_0 = 190.60714 / E$$

$$\delta N_0 = 198.74999 / E$$

$$\delta O_0 = 201.14285 / E$$

$$\delta P_0 = 182.85713 / E$$

$$\delta Q_0 = 159.14285 / E$$

$$\delta R_0 = 125.14284 / E$$

$$\delta S_0 = 87.285713 / E$$

$$\delta T_0 = 44.285713 / E$$

$$\delta U_0 = 0.0000$$

$$X_A = 0.0019761 E$$

$$X_D = 0.007245 E$$

$$\Delta A = 0.000$$

$$\Delta B = -0.035$$

$$\Delta C = -0.072$$

$$\Delta D = -0.088$$

$$\Delta E = -0.090$$

$$\Delta F = -0.056$$

$$\Delta G = 0.000$$

$$\Delta H = 0.129$$

$$\Delta I = 0.275$$

$$\Delta J = 0.439$$

$$\Delta K = 0.602$$

$$\Delta L = 0.749$$

$$\Delta M = 0.878$$

$$\Delta N = 0.953$$

$$\Delta O = 1.000$$

$$\Delta P = 0.920$$

$$\Delta Q = 0.810$$

$$\Delta R = 0.641$$

$$\Delta S = 0.449$$

$$\Delta T = 0.228$$

$$\Delta U = 0.000$$

On en déduit celle de la réaction eng: R_g

	REACTION α	REACTION β	REACTION σ	REACTION μ
A	1.000	0.000	0.000	0.000
B	0.800	0.228	-0.035	0.007
C	0.604	0.449	-0.072	0.013
D	0.424	0.641	-0.088	0.016
E	0.255	0.810	-0.090	0.016
F	0.118	0.920	-0.056	0.009
G	0.000	1.000	0.000	0.000
H	-0.061	0.953	0.129	-0.030
I	-0.102	0.878	0.275	-0.061
J	-0.111	0.749	0.439	-0.087
K	-0.108	0.602	0.602	-0.108
L	-0.087	0.439	0.749	-0.111
M	-0.061	0.275	0.878	-0.102
N	-0.030	0.129	0.953	-0.061
O	0.000	0.000	1.000	0.000
P	0.009	-0.056	0.920	0.118
Q	0.016	-0.090	0.810	0.255
R	0.016	-0.088	0.641	0.424
S	0.013	-0.072	0.449	0.604
T	0.007	-0.035	0.228	0.800
U	0.000	0.000	0.000	1.000

3. LIGNES D'INFLUENCE DES MEMBRURES

Convention: pour une membrure donnée, si l'effort est positif, il s'agit d'une traction et s'il s'agit par contre d'une compression, l'effort sera négatif.

Aa: quand la charge unitaire est au dessus du point A $S_{Aa} = -1$

$S_{Aa} = 0$ partout ailleurs

AB: $S_{AB} = 0$ partout

aB: au dessus de A $S_{aB} = 0$ et partout ailleurs $S_{aB} = -\sqrt{29.25}/3 R_a$

ac: au dessus de A $S_{ac} = 0$ et partout ailleurs $S_{ac} = \frac{\sqrt{29.25}}{3} \times \frac{4.5}{\sqrt{29.25}} R_a = 1.5 R_a$

BC et CD: au dessus de A $S_{BC} = 0$
au dessus et à droite de C: $\sum M_C = 0$



$$S_{BC} = 3 R_a$$

au dessus de B : $\Sigma M_c = 0 \rightarrow S_{Bc} = \frac{9R_a - 4.5}{3}$

Bc à gauche et à droite de C

$$S_{Bc} = -S_{aB}$$

au dessus de B $S_{Bc} = \frac{\sqrt{29.25}}{3} \left(1 - \frac{\sqrt{29.25}}{3} S_{aB} \right)$

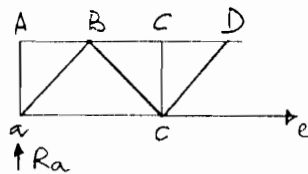
Cc : au dessus de C $S_{Cc} = -1$ et partout ailleurs $S_{Cc} = 0$

cD à gauche et à droite de C

$$S_{cD} = -S_{Bc}$$

au dessus de C $S_{cD} = \frac{\sqrt{29.25}}{3} (1 - R_a)$

ce au dessus et à droite de E



$$\Sigma M_D = 0 \rightarrow S_{ce} = \frac{13.5R_a - 4.5}{3}$$

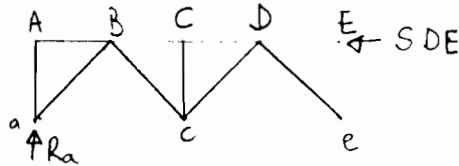
quand la charge est en B

$$S_{ce} = \frac{13.5R_a - 9}{3}$$

au dessus de A $S_{ce} = 0$

De à droite et à gauche de D $S_{De} = -S_{cD}$
 au dessus de D, $S_{De} = \frac{\sqrt{29.25}}{3} (1 - Ra)$

DE et EF Au dessus et à droite de E



$$\sum M_e = 0 \rightarrow S_{DE} = 6 Ra$$

au dessus de D et à gauche de D, on fait
 toujours $\sum M_e = 0$

Ee: au dessus de E $S_{Ee} = -1$ et partout
 ailleurs $S_{Ee} = 0$

eF à gauche et à droite de E $S_{eF} = -S_{De}$
 au dessus de E $S_{eF} = \frac{\sqrt{29.25}}{3} (1 - Ra)$

eg au dessus et à droite de G $S_{eg} = 7.5 Ra$
 à gauche et au dessus de E, on fait
 $\sum M_F = 0$

FG et GH au dessus de G $SFG = 0$

à droite de G $\Sigma M_g = 0 \Rightarrow SFG = 9Ra$

au dessus et à gauche de F, on fait $\Sigma M_g = 0$

Fg au dessus de F $SFg = \frac{\sqrt{29.25}}{3} (1 - Ra)$

partout ailleurs $SFg = -SeF$

Gg au dessus de G $SGg = -1$

et partout ailleurs $SGg = 0$

gH à gauche et à droite de G

$SgH = \frac{\sqrt{29.25}}{3} (1 - Ra)$

partout ailleurs $SgH = \frac{\sqrt{29.25}}{3} \left(Rg + \frac{3SFg}{\sqrt{29.25}} \right)$

gi au dessus et à droite de I

$Sgi = 10.5 Ra + 1.5 Rg$

au dessus et à gauche de G on fait $\Sigma M_H = 0$

Hi au dessus et à droite de I

$SHi = -SgH$, de même qu'à gauche

de H.

au dessus de H $SHi = \frac{\sqrt{29.25}}{3} \left(1 - \frac{3}{\sqrt{29.25}} SgH \right)$

HI et IJ au dessus et à droite de I

$$S_{HI} = 12R_a + 3R_g$$

au dessus et à gauche de I on fait $\sum M_i = 0$

Ii au dessus de I $S_{Ii} = -1$ et partout ailleurs $S_{Ii} = 0$

iJ à gauche et à droite de I $S_{iJ} = -S_{iH}$
 au dessus de I $S_{iJ} = \frac{\sqrt{29.25}}{3} \left(1 - \frac{3}{\sqrt{29.25}} S_{HI} \right)$

ik au dessus et à droite de K

$$S_{ik} = 13.5R_a + 4.5R_g$$

au dessus et à gauche de i, on a $\sum M_j = 0$

Jk au dessus de J $S_{Jk} = \frac{\sqrt{29.25}}{3} \left(1 - \frac{3}{\sqrt{29.25}} S_{iJ} \right)$
 à gauche et à droite de J $S_{Jk} = -S_{iJ}$

JK au dessus et à droite de K, $S_{JK} = 15R_a + 6R_g$
 au dessus et à gauche de J $\rightarrow \sum M_k = 0$

Kk au dessus de K $S_{Kk} = -1$
 partout ailleurs $S_{Kk} = 0$

On a fait l'hypothèse qu'entre 2 nœuds,
la ligne d'influence est une droite (para-
graphe 6.7 - Elementary Theory of Structures -
Yuan Yu HSIEN p. 124).

Les tableaux qui suivent donnent les
efforts dans les membrures quand la
charge unitaire passe par dessus les
nœuds du treillis.

On en déduit, comme pour les réactions,
les lignes d'influences des autres mem-
brures. Voir en annexe les tracés.

	MEMBRURE A _a	MEMBRURE aB	MEMBRURE ac	MEMBRURES BC-Q
A	-1.000	0.000	0.000	0.000
B	0.000	-1.442		-0.900
C	0.000	-1.089	0.906	-1.812
D	0.000	-0.764	0.636	-1.272
E	0.000	-0.459	0.382	-0.765
F	0.000	-0.213	0.177	-0.354
G	0.000	0.000	0.000	0.000
H	0.000	0.110	-0.091	0.183
I	0.000	0.184	-0.153	0.306
J	0.000	0.200	-0.166	0.333
K	0.000	0.195	-0.162	0.324
L	0.000	0.157	-0.130	0.261
M	0.000	0.110	-0.091	0.183
N	0.000	0.054	-0.045	0.090
O	0.000	0.000	0.000	0.000
P	0.000	-0.016	0.013	-0.027
Q	0.000	-0.029	0.024	-0.048
R	0.000	-0.029	0.024	-0.048
S	0.000	-0.023	0.019	-0.039
T	0.000	-0.013	0.01	-0.021
U	0.000	0.000	0.000	0.000

	MEMBRURE B _c	MEMBRURE C _c	MEMBRURE cD	MEMBRURE c _e
A	0	0.000	0.000	0.000
B	-0.361	0.000	0.361	0.600
C	1.083	-1.000	0.714	1.117
D	0.764	0.000	-0.764	
E	0.459	0.000	-0.459	1.147
F	0.213	0.000	-0.213	0.531
G	0.000	0.000	0.000	0.000
H	-0.110	0.000	0.110	-0.275
I	-0.184	0.000	0.184	-0.459
J	-0.200	0.000	0.200	-0.499
K	-0.195	0.000	0.195	-0.486
L	-0.157	0.000	0.157	-0.392
M	-0.110	0.000	0.110	-0.275
N	-0.054	0.000	0.054	-0.135
O	0.000	0.000	0.000	0.000
P	0.016	0.000	-0.016	0.040
Q	0.029	0.000	-0.029	0.072
R	0.029	0.000	-0.029	0.072
S	0.023	0.000	-0.023	0.058
T	0.013	0.000	-0.013	0.032
U	0.000	0.000	0.000	0.000

MEMBRURE De	MEMBRURES DE.EF	MEMBRURE Ee	MEMBRURE eF
A 0.000	0.000	0.000	0.000
B -0.361	-0.300	0.000	0.361
C -0.714	-0.624	0.000	0.714
D -1.038	-1.044	0.000	1.038
E 0.459	-1.530	-1.000	1.343
F 0.213	-0.708	0.000	-0.213
G 0.000	0.000	0.000	0.000
H -0.110	0.366	0.000	0.110
I -0.184	0.612	0.000	0.184
J -0.200	0.666	0.000	0.200
K -0.195	0.648	0.000	0.195
L -0.157	0.522	0.000	0.157
M -0.110	0.366	0.000	0.110
N -0.054	0.180	0.000	0.054
O 0.000	0.000	0.000	0.000
P 0.016	-0.054	0.000	-0.016
Q 0.029	-0.096	0.000	-0.029
R 0.029	-0.096	0.000	-0.029
S 0.023	-0.078	0.000	-0.023
T 0.013	-0.042	0.000	-0.013
U 0.000	0.000	0.000	0.000

MEMBRURE e_g	MEMBRURES FG·GH	MEMBRURE F_g	MEMBRURE G_g
A 0.000	0.000	0.000	0.000
B 0.000	0.300	-0.361	0.000
C 0.030	0.564	-0.714	0.000
D 0.180	0.684	-1.038	0.000
E 0.412	0.705	-1.343	0.000
F	0.438	-1.590	0.000
G 0.000	0.000	0.000	-1.000
H -0.457	0.549	-0.110	0.000
I -0.765	0.918	-0.184	0.000
J -0.832	0.999	-0.200	0.000
K -0.810	0.972	-0.195	0.000
L -0.652	0.783	-0.157	0.000
M -0.457	0.549	-0.110	0.000
N -0.225	0.270	-0.054	0.000
O 0.000	0.000	0.000	0.000
P 0.067	-0.081	0.016	0.000
Q 0.120	-0.144	0.029	0.000
R 0.120	-0.144	0.029	0.000
S 0.097	-0.117	0.023	0.000
T 0.052	-0.063	0.013	0.000
U 0.000	0.000	0.000	0.000

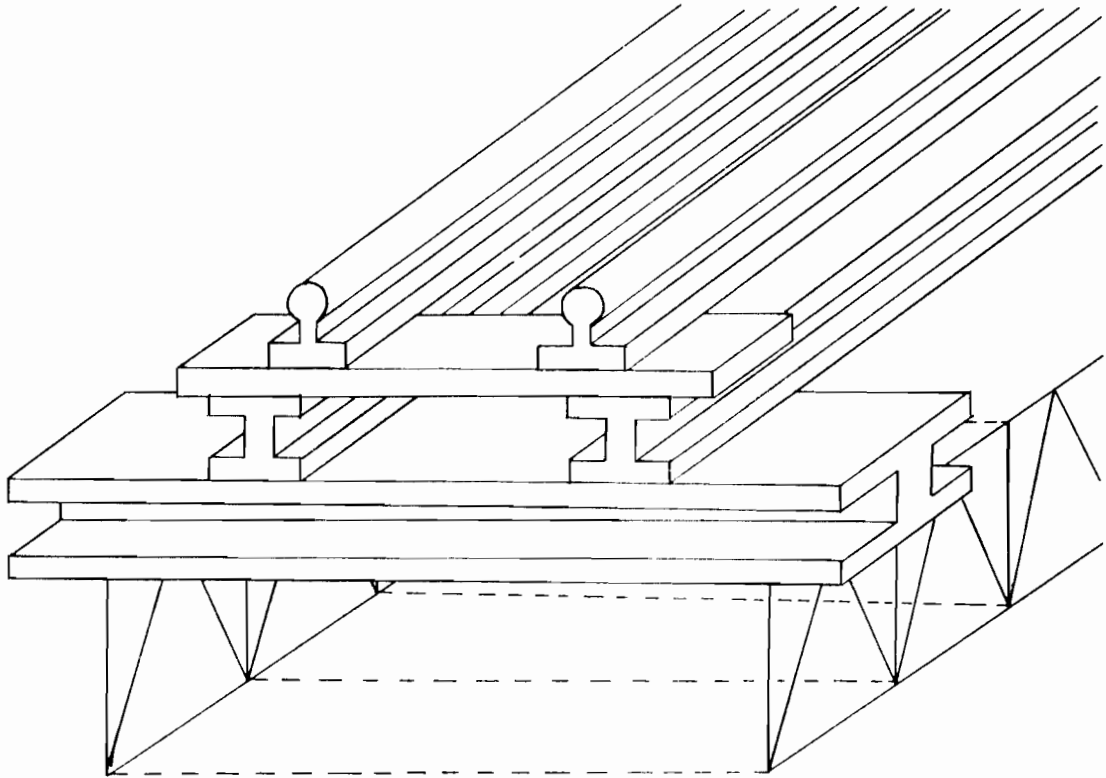
MEMBRURE g_H	MEMBRURE g_i	MEMBRURE H_i	MEMBRAURES $H_i \cdot I_j$
A 0.000	0.000	0.000	0.000
B -0.050	-0.258	0.050	0.216
C -0.095	-0.484	0.095	0.405
D -0.118	-0.586	0.118	0.489
E -0.117	-0.607	0.117	0.510
F -0.068	-0.381	0.068	0.324
G 0.000	0.000	0.000	0.000
H -1.610		-0.193	-0.627
I -1.399	0.246	1.399	-1.410
J -1.150	-0.042	1.150	-0.915
K -0.890	-0.231	0.890	-0.510
L -0.634	-0.255	0.634	-0.273
M -0.386	-0.228	0.386	-0.093
N -0.178	-0.122	0.178	-0.027
D 0.000	0.000	0.000	0.000
P 0.085	0.010	-0.085	0.060
Q 0.133	0.033	-0.133	0.078
R 0.130	0.036	-0.130	0.072
S 0.107	0.028	-0.107	0.060
T 0.050	0.021	-0.050	0.021
U 0.000	0.000	0.000	0.000

Membrane I:	MEMBRURE iJ	MEMBRURE ik	MEMBRURE Jk
A	0.000	0.000	0.000
B	0.000	-0.050	0.050
C	0.000	-0.095	0.095
D	0.000	-0.118	0.118
E	0.000	-0.117	0.117
F	0.000	-0.068	0.068
G	0.000	0.000	0.000
H	0.000	0.193	-0.193
I	-1.000	0.404	-0.404
J	0.000	-1.150	-0.653
K	0.000	-0.890	0.890
L	0.000	-0.634	0.634
M	0.000	-0.386	0.386
N	0.000	-0.178	0.178
O	0.000	0.000	0.000
P	0.000	0.085	-0.085
Q	0.000	0.133	-0.133
R	0.000	0.130	-0.130
S	0.000	0.107	-0.107
T	0.000	0.050	-0.050
U	0.000	0.000	0.000

MEMBRURE JK	MEMBRURE K&	MEMBRURE AB	
A 0.000	0.000	0.000	
B 0.132	0.000	0.000	
C 0.246	0.000	0.000	
D 0.294	0.000	0.000	
E 0.315	0.000	0.000	
F 0.210	0.000	0.000	
G 0.000	0.000	0.000	
H -0.303	0.000	0.000	
I -0.738	0.000	0.000	
J -1.329	0.000	0.000	
K -1.992	-1.000	0.000	
L -1.329	0.000	0.000	
M -0.735	0.000	0.000	
N -0.324	0.000	0.000	
O 0.000	0.000	0.000	
P 0.201	0.000	0.000	
Q 0.300	0.000	0.000	
R 0.288	0.000	0.000	
S 0.237	0.000	0.000	
T 0.105	0.000	0.000	
U 0.000	0.000	0.000	

IV TABLIER

1. DESCRIPTION



Le système comprend :

- les rails par dessus lesquels doit passer le train standard (voir annexe)
- les planches de bois qui soutiennent les rails
- ensuite viennent les longerons, parallèlement aux rails
- puis le tout repose sur des pièces de pont

au niveau des nœuds.

en dessous nous avons les treillis

2. TRAVERSES EN BOIS

En prenant des coefficients de pondération α_D pour les charges mortes, α_L pour les charges vives :

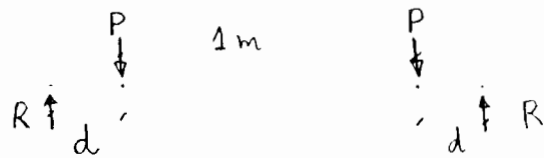
$$\alpha_D = 1.25 \dots S16.1 \text{ \& } 7.2.3$$

$$\alpha_L = 1.50 \dots S16.1 \text{ \& } 7.2.3$$

des planches de bois de 300 mm de large, 150 mm d'épaisseur (Régie des Chemins de Fer), 1500 mm de long, vérifions que ces planches de bois résisteront au passage du train standard.

Entre 2 nœuds du treillis distants de 4.5 m on peut mettre 8 planches de bois avec des écartements de 0.642 m, ce qui serait à peu près l'équivalent de 1500 traverses par km (Régie des Chemins de Fer).

Pour le pire des cas on mettra une charge ponctuelle de 20T sur chaque rail



Si le poids par mètre linéaire des rails = 36 kg

e = écartement entre 2 planches de bois = 0.642m

charge d'un essieu = 20T et $\alpha_L = 1.5$

$$P = 36 \times 0.642 + 20000 \times 1.5 = 30028.89 \text{ kg}$$

Le moment de flexion maximum $M = Pd$

Soit σ : la contrainte, I : moment d'inertie,

c : ordonnée $\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{I} \times c$ (se référer

au cours de Résistance des matériaux)

En prenant le chêne de catégorie I: sa charge pratique à 15% d'humidité est de 120 daN/cm²

(Éléments de construction - F. BERNARD. p 323)

$$\sigma_{\max} = \frac{Pd \times 7.5}{I} \leq 120 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} \text{ avec } I = \frac{1}{12} 30 \times 15^3 = 8437.5 \text{ cm}^4$$

$$\text{donc } d \leq \frac{120 \times 8437.5}{7.5 \times 30028.89} = 4.495 \text{ cm}$$

On prendra $d = 3 \text{ cm}$ pour tenir compte de la variation de l'humidité

$$\text{et } \sigma = 30028.89 \times 3 \times 7.5 / 8437.5 = 80.08 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} < 120 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$$

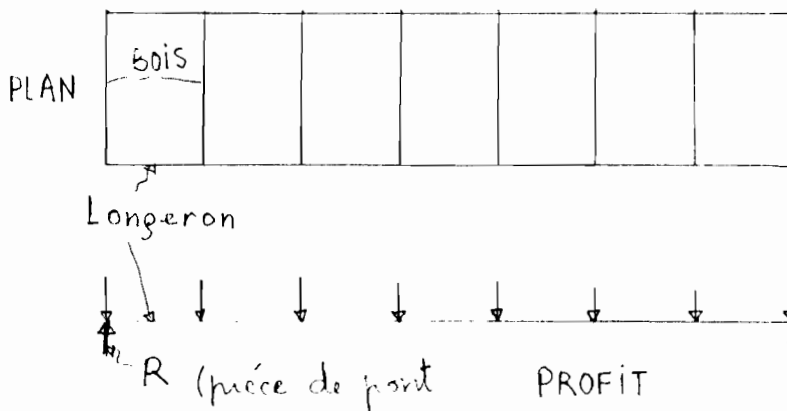
On prendra ainsi du bois abattu, desséché

ou desséché pendant un an de telle sorte que son taux d'humidité sera de l'ordre de 15 à 18% (page 321 - Elements de construction - BERNARD). Même à 20% d'humidité la contrainte admissible dans le chêne sera de $0.8 \times 120 = 96 \text{ daN/cm}^2 > 88.08 \text{ daN/cm}^2$

3. LONGERONS

i/ calcul des efforts

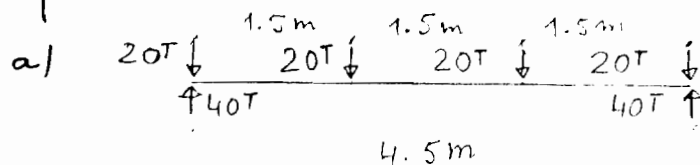
Les planches de bois reposent toutes sur ces longerons et ces derniers seront soutenus par des traverses ou pièces de pont au niveau des nœuds. Donc si nous voulons analyser le système en tant que tel nous aurons une grande hyperstaticité: 20 réactions inconnues aux 20 nœuds du treillis. On va simplifier le problème en considérant qu'entre 2 nœuds, le longeron est simplement appuyé. On sera donc du côté sécuritaire car le moment trouvé dans le second cas est plus grand que dans le premier cas.



Pois d'une planche de bois :

densité relative du chêne : 0.60 à 15% d'humidité ("Bois et Charpente en bois" - F.X. BROCHARD page 20) . Poids = $1.5 \times 0.3 \times 0.15 \times 0.6 / 0^3 = 40.5 \text{ kg}$, ce qui est donc négligeable par rapport à la charge d'un essieu : 20000 kg

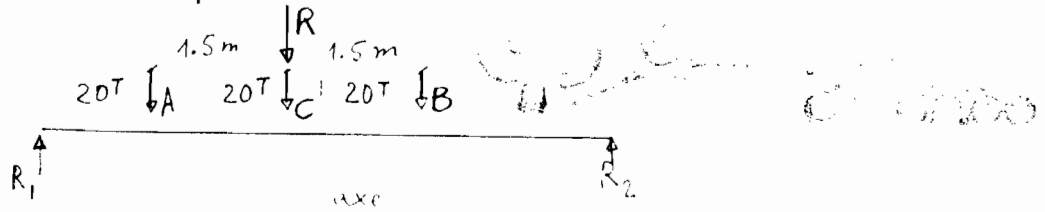
En superposant le train de charges sur la travée à une même échelle, on peut déterminer le moment et la réaction maximums. Ceux-ci vont arriver quand la tête du train sera entre les deux nœuds car il y'aura en ce moment plus de charges concentrées. Il peut arriver deux cas



$$M_{\max} = 20000 \times 1.5 = 30000 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$R_{\max} = 40T \text{ et } V_{\max} = 20T$$

b/ On a la présence de 3 charges concentrées qui se déplacent



La résultante R est à 1.5m des essieux A et B, et au dessus de l'essieu C

quand l'essieu A est à 0.75m de l'axe

$$R_1 = \frac{60 \times 1.5}{4.5} = 20T \text{ et } R_2 = 40T$$

$$M_A = 10 \times 1.5 = 15T \cdot \text{m}$$

quand l'essieu B est à 0.75m de l'axe, nous retrouvons le cas de A

quand l'essieu C est au dessus de l'axe

$$R_1 = R_2 = 30T$$

$$M_C = 30 \times 2.25 - 20 \times 1.5 = 37.5 T \cdot \text{m}$$

$$\text{donc } M_{\max} = 37.5 T \cdot \text{m} = 37500 \times 7.2330 \text{ lb} \cdot \text{pi}$$

$$= 37500 \times 7.2330 \cdot 10^{-3} = 271.24 \text{ Kip} \cdot \text{pi}$$

$$R_{\max} = 40T = 88.185 \text{ Kips}$$

ii dimensionnement

En supposant que la poutre n'est latéralement supportée qu'aux deux appuis, qu'on a un acier G40.1 44W, un profilé de classe 1 ou 2 $\Rightarrow F_y = 44 \text{ kips/in}^2$ et $F_u = 65 \text{ kips/in}^2$

- Ruptures par voilement impossibles

- Contraintes normales longitudinales:

$$M_x = 0.9 \times 44 \times Z_{xx} \gg 271.240 \times 12$$

$$Z_{xx} \gg 88.2 \text{ in}^3 \dots 516.1 \text{ \& } 13.5.1$$

On peut prendre une W 10x72 avec $Z_{xx} = 90.6 \text{ in}^3$

$$\frac{b}{t} = \frac{10.17}{2 \times 0.808} = 6.29 < \frac{54}{\sqrt{44}} = 8.14$$

$$\frac{h}{W} = \frac{10.5 - 2 \times 0.808}{0.51} = 17.42 < \frac{420}{\sqrt{44}} = 63$$

Le profilé est de classe 1

- Ruptures par déversement

$$r_T? \quad I_{yy} = 0.808 \times \frac{10.17^3}{12} = 70.82 \text{ in}^4$$

$$A_T = 0.808 \times 10.17 + \frac{1}{6} (10.5 - 2 \times 0.808) 0.51 = 8.97 \text{ in}^2$$

$$r_T = \sqrt{\frac{70.82}{8.97}} = 2.81 \text{ in}$$

$$L = 4.5 \times 3.280833 = 14.76 \text{ pi}$$

$$\sigma_1 = \frac{20000}{L d / A_f} = \frac{20000}{14.76 \times 12 \times 1.28} = 88.22 \text{ kip/in}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{250000}{(L / r_T)^2} = \frac{250000}{(14.76 \times 12 / 2.81)^2} = 62.92 \text{ kip/in}^2$$

... S16.1 § 13.6.1 b/

w = 1 ... S16.1 § 13.8.4 b/

$$M_u = \frac{S}{w} \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} = \frac{80.2}{1} \sqrt{88.22^2 + 62.92^2}$$

$$= 8690.4 \text{ kip ft} \quad \dots \text{ S16.1 § 13.6.1 b/}$$

$$\frac{2}{3} M_p = \frac{2}{3} \times 44 \times 90.6 = 2657.6 \text{ kip ft} = 221.47 \text{ kip ft}$$

$$221.47 \text{ kip ft} < 724 \text{ (} M_u \text{)}$$

$$M_n = 1.15 \times 0.9 \times 44 \times 90.6 \left(1 - \frac{0.28 \times 44 \times 90.6}{8690.4} \right)$$

$$= 299.66 \text{ kip ft} \quad \dots \text{ S16.1 § 13.6.1 a/}$$

$$\phi M_p = 0.9 \times 44 \times \frac{90.6}{12} = 298.98 \text{ kip ft} < 299.66 \text{ kip ft}$$

donc $M_n = 298.98 \text{ kip ft} > 271.240 \text{ kip ft}$ d'où O.K.

- Contraintes normales transversales

ruptures par déformations plastiques

sous la charge de $20T = 44.089 \text{ kips}$

$$B_r = 1.25 \times 0.9 \times 0.51 \times 2 \times 1 \frac{3}{8} \times 44 = 69.42 \text{ kips} > 44 \text{ kips}$$

... S16.1 § 15.8 a/

$$R_f = 40T = 88.18 \text{ kips}$$

$$P_r = 1.25 \times 0.9 \times 0.51 \left(N + 1 \frac{3}{8} \right) \times 44 \gg 88.18 \dots S16.1 \text{ \& } 15.8 \text{ \&}$$

$N \gg 2.125 p_0$. On prendra $N = 3 p_0$

Rupture par flambage de l'âme

$$\text{Sous } P_f = 20T = 44.089 \text{ kips}$$

$$P_r = 0.9 \times \frac{16700}{(17.42)^2} \times 2 \times 0.51 (10.5 - 2 \times 0.808) \dots S16.1 \text{ \& } 15.9 \text{ \&}$$

$$= 448 \text{ kips} \gg 44 \text{ kips} \quad \text{d'où O.K.}$$

$$> 88.18 \text{ kips}$$

- Contraintes tangentielles

$$T = 1 \quad k_v = 5.34 \quad M = 0$$

$$\frac{h}{w} = 17.42 < 167 \sqrt{\frac{5.34}{44}} = 58.2$$

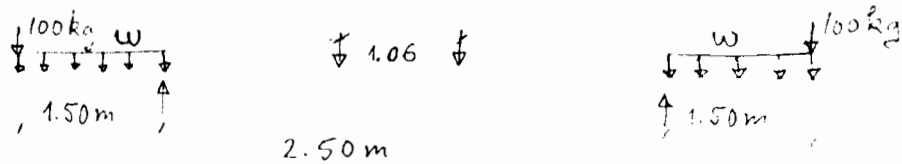
$$F_s = 0.66 \times 44 = 29.04 \text{ kips / po}^2$$

$$V_r = 0.9 \times 4.53 \times 29.04 = 118.4 \text{ kips} > 44.089 \text{ kips.}$$

- d'où O.K. ... S16.1 \& 13.4.1 a/

Le profilé W10x72 convient

4. TRAVERSES OU PIÈCES DE PONT



Poids mort sur les traverses

Poids des longerons $72 \text{ lb/pi} = 32.66 \text{ kg/m}$ et
sur une distance de $4.5 \text{ m} = 146.96 \text{ kg}$

Poids du rail : $36 \text{ kg} \times 4.5 = 162 \text{ kg}$

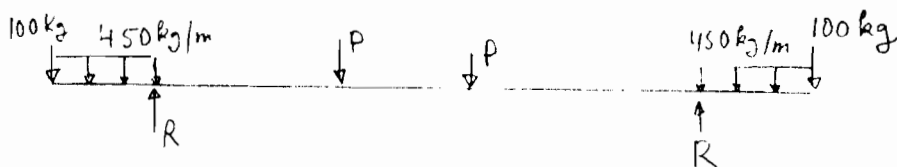
Poids du bois : $7 \times 40.5 = 283.5 \text{ kg}$

On supposera qu'une surcharge verticale uniforme de 100 kg par mètre linéaire est susceptible d'être appliquée à la main courante (cours de ponts. Réunion d'ingénieurs page 30), qu'une surcharge de 100 kg est appliquée à la lisse du parapet

Charges vives dues aux essieux du

train : $R_{\max} = 40 \text{ T}$.

On a le schéma suivant :



$$P = 40000 + 146.96 + 283.5 + 162 = 40632.46 \text{ kg}$$

Réaction maximale due au treillis

$$= 40632.46 + 450 \times 1.5 + 100 = 41407.46 \text{ kg} = 91.29 \text{ kips}$$

Le moment maximum se produira au cas où la surcharge de 450 kg/ml n'existe pas.

$$\begin{aligned} \text{Alors } M_{\max} &= 100 (1.5 + 0.72) - 40732.46 \times 0.72 = 29105.4 \text{ kgm} \\ &= 210.519 \text{ kip} \cdot \text{pi} \end{aligned}$$

DIMENSIONNEMENT

En prenant toujours un G40.21 4HW, profilé de classe 1 ou 2 et en supposant que la poutre est supportée latéralement aux deux appuis

$$F_y = 44 \text{ kip}/\text{po}^2 \text{ et } F_u = 65 \text{ kips}/\text{po}^2$$

Ruptures par voilement impossibles

Avec une W12x99

Contraintes normales longitudinales

$$M_r = 462 \text{ kip pi} > 210 \text{ kip pi}$$

$$\frac{b}{t} = 6.6 < \frac{54}{\sqrt{44}} = 8.1$$

$$\frac{h}{w} = 18.74 < \frac{420}{\sqrt{44}} = 63$$

d'où le profilé est de classe 1 et le voilement n'est pas à craindre

Ruptures par déversement

$$M_r = 501.6 \text{ kip pi} > 210.519 \text{ kip pi}$$

Contraintes normales transversales

ruptures par déformations plastiques

$$B_r = 93.63 \text{ kips} > 89.4 \text{ kips}$$

$$\text{Sous } R_f = 91.29 \text{ kips}$$

$$B_r \geq 91.29 \quad \text{d'où } N \geq 1.54 \text{ po}$$

$$\text{On prendra } N = 2 \text{ po}$$

ruptures par flambage de l'âme

$$A_r = 635.84 \text{ kips} > 91.29 \text{ kips}$$

Contraintes tangentielles

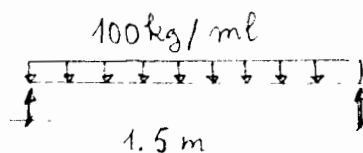
$$V_r = 231.1 \text{ kips} > 89 \text{ kips}$$

donc le profilé W12x99 convient

5. TROTTOIRS ET GARDE-CORPS

Cet ensemble sera en porte-à-faux

Pour les planches de bois



$$M_{\max} = \frac{w l^2}{8} = \frac{100 \times 1.5^2}{8} = 28.125 \text{ kg.m}$$

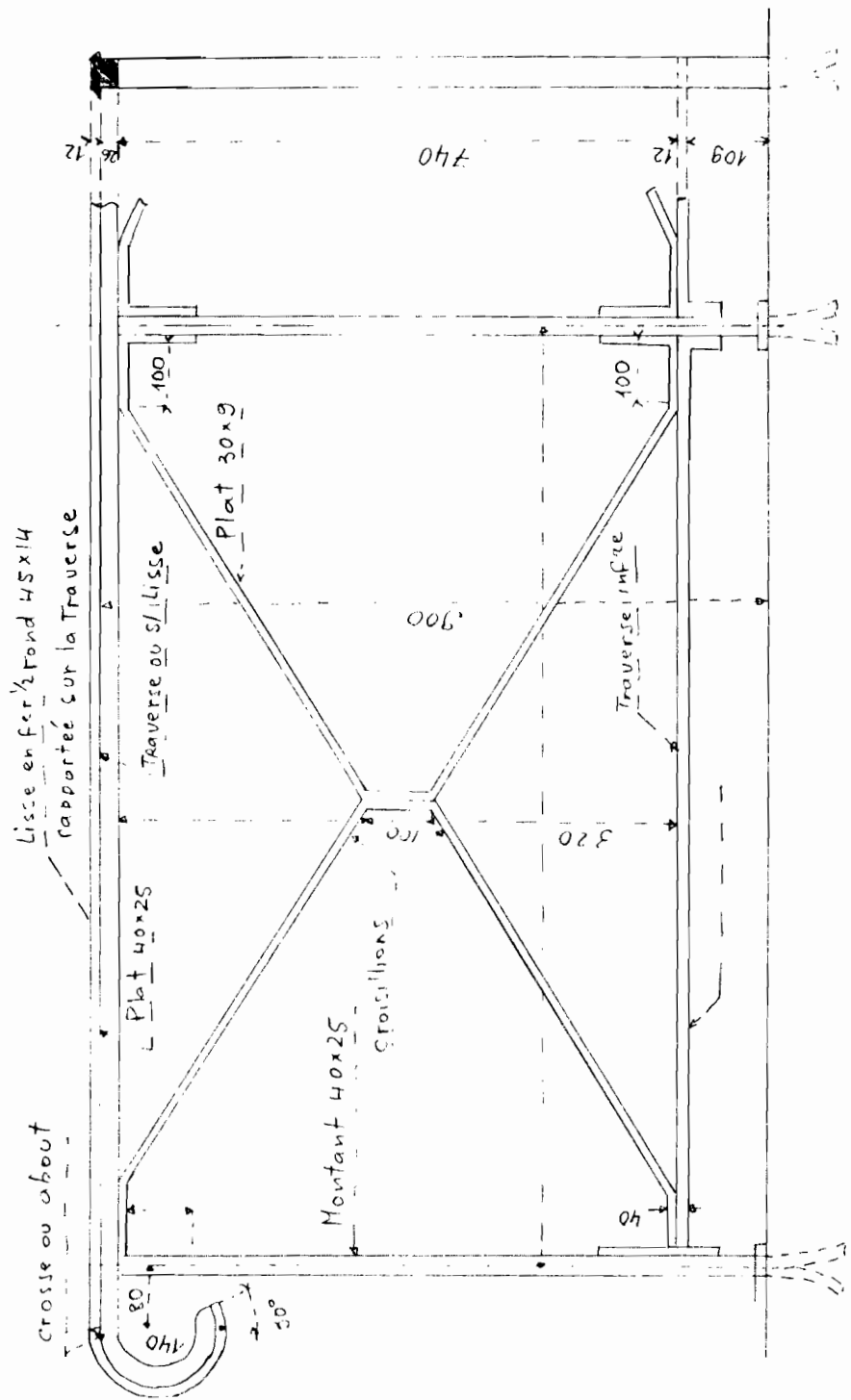
$$\sigma = \frac{M c}{I}$$

On prenant un chêne, catégorie III
 $\sigma = 75 \text{ daN/cm}^2$ (page 323, Elements de Construction. F. Bernard)

$$I/c = \frac{M}{\sigma} = \frac{28.125 \times 100}{75} = 37.5 \text{ cm}^3$$

On se référant à la table page 320, Elements de Construction. F. Bernard, on prendra des madriers de dimensions conventionnelles de 80×75 et de 1500 mm de long

Gasde - corps : voir figure ci-après.



V FORCES HORIZONTALES

Elles n'entrent en ligne de compte que lors des calculs de la réaction horizontale en a . Elles sont de deux natures : internes ou externes.

Les sollicitations internes sont dues aux variations thermiques ; elles seront négligées dans ma structure étant données que les réactions ne sont pas fixes, elles peuvent glisser longitudinalement.

Les sollicitations externes peuvent être dues au vent ou au freinage.

"L'effort de freinage correspondant à la surcharge A est égal au $1/20$ de cette dernière"
(Cours de pont - Réunion d'ingénieurs p.27)

"Les efforts de freinage seront égaux au $1/7$ du poids des charges mobiles maximum portées par le tablier et les efforts dus au démarrage au $1/7$ des poids des essieux des locomotives engagées" (Instruction générale I. 49.402)
voir annexe

VI CONCLUSION

En faisant un commentaire assez bref sur les résultats obtenus :

- les lignes d'influence : elles ont toutes une allure normale
- le tablier : si l'on se rend compte que les spécifications et codes pour le calcul des bâtiments est moins sévères que ceux des ponts, on peut dire que les longerons et pièces de pont ne seraient pas assez adéquats pour ce type de train de charge. Il faudrait prendre alors d'autres types de profilés répondant aux normes de constructions de ponts sous voie ferrée.

Je me suis servi à la fois du code S16.1 "Steel Structures For Buildings - Limit States Design" et de l'Instruction Générale I-40.402"

Vue les impératifs de temps dûs surtout au retard sur l'arrivée du code ACNOR S1 "Railway Bridges", l'on a pas eu le temps de faire le

dimensionnement des différentes membrures et de vérifier l'assemblage par soudures.

Cependant il demeure que les étapes du calcul ont été suivies de près et on peut dire que le but visé a été atteint. Un problème s'est posé, on a essayé de le résoudre avec les moyens dont on dispose : ceci serait le rôle de l'ingénieur. /.

ANNEXES

- 1 TREILLIS ET TRAIN DE CHARGES
2. TRACÉS DES LIGNES D'INFLUENCE
3. INSTRUCTION GÉNÉRALE I40.402

BIBLIOGRAPHIE

1. Elementary Theory of Structures - Yuan Yu Hsieh
2. Design of Steel Structures - Edwin H. Gaylord
. Charles N. Gaylord
3. Elementary Structural Analysis and Design, Steel, Timber and reinforced Concrete" Linton. E. Grinter
4. Structural Analysis and Design Series
William Mc Guire
5. Applied Plastic Design in Steel. Robert O. Disque, P.E.
6. Structural Engineering, vol 1. Richard N. White,
Peter Gergely, Robert G. Sexsmith
7. Elementary Steel Structures - Yuan Yu Hsieh
8. Elements de Construction. 7. F. Bernard,
A. L. Tourancheau, A. Pou
9. Construction métallique. 1. P. Lorin
10. Encyclopédie Pratique de la Construction et du
Bâtiment - Quillet
11. Instruction Générale I 40.402. Adaptation
aux Réseaux de l'A.O.F du Règlement Ministériel
du 10 Mai 1927 pour le Calcul des Ouvrages
sous Voie Ferrée. 1950.
12. Bois et Charpente en bois - F. X. Brochard

13. Cours de Ponts, Réunion d'Ingénieurs
14. Notions Élémentaires de Métré de Travaux
Publics . C. BLANCHARD