

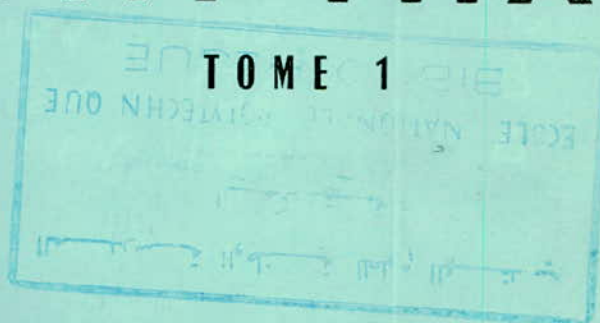
UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
HOUARI BOUMEDIENE

4/81

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE CIVIL

PONT MIXTE



THESE DE FIN D'ETUDES

PROPOSÉ PAR
LA SAPTA
DIRIGÉ PAR
GEORGES SALORT

ETUDIE PAR
M. BELKACEMI
M. KORDJANI

Promotion 1981

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
HOUARI BOUMEDIENE

—*—
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

—*—
DEPARTEMENT GENIE CIVIL

PONT MIXTE

TOME 1

THESE DE FIN D'ETUDES

PROPOSÉ PAR
LA SAPTA
DIRIGÉ PAR
GEORGES SALORT

ETUDIE PAR
M. BELKACEMI
M. KORDJANI

Arrivés au faite de notre formation, nous portons notre regard sur le chemin qui nous y a conduit.

Nos chers nous l'ont pavé d'affection et nos maîtres l'ont éclairé de savoir.

A nos tendres parents
qui se sont dévoués pour nous

A nos chers amis
à qui nous devons nos plus doux
souvenirs.

Il nous semble opportun de traduire
la gratitude qui nous anime, et la reconnaiss-
-sance que nous vouons à Messieurs AHRIZ,
SALORT, REZKALLAH et PREVOST, pour
l'assistance éclairée qu'ils nous ont prêtée
avec extrême complaisance..

Nous garderons toujours le souvenir
ému de leur bienveillance à notre égard, et
veillons sans cesse à nous en montrer dignes.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
situation	2
Preamble	2
Presentation	4
POUTRES PRINCIPALES	6
charges et surcharges	7
calcul de δ	11
approche de calcul	13
dimensionnement	66
ENTRETOISES	104
entretoises d'about	105
entretoises courantes	108
DALLE	122
calcul de δ	123
calcul des efforts	125
dalle en encorbellement	127
ferraillage	129
cisaillement	131

CONNECTEURS	142
JOINTS BOULONNES	148
APPAREILS D'APPUI	153
CULEE	170
sollicitation	174
stabilite	178
ferraillage	180
PILE	194
sollicitation	197
stabilite	202
ferraillage	207
seisme	220
MATERIAUX UTILISES	222
beton	223
acier	224
BIBLIOGRAPHIE	226

INTRODUCTION

1. Situation :

Cet ouvrage situé au nord de la commune d'Oum-drou (wilaya d'EL-ANASSER), enjambe l'Oued-Cheliff pour tisser la RN4 à la RN19.

Il vient doubler un pont qui par son unique voie de circulation ne répond plus aux besoins, d'autant plus que son état s'est dégradé lors des secousses telluriques (oct. 80).

2. Preambule :

Jusqu'en 1935, les constructions mixtes étaient le plus souvent constituées par des charpentes métalliques enrobées, dans lesquelles le béton dont la résistance était négligée dans les calculs, ne jouait en général qu'un rôle accessoire de remplissage et de protection du métal.

Les avantages de ce procédé de construction, notamment l'exécution rapide sans main-d'œuvre spécialisée, sans étançonnage et avec des encombrements réduits, explique le grand nombre d'applications qui en a été fait.

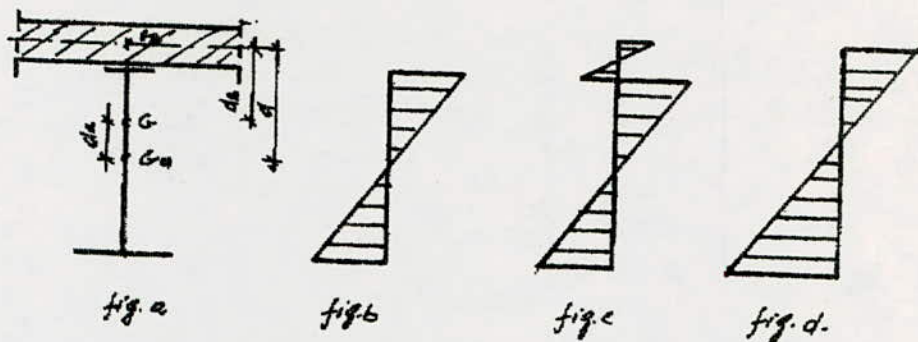
Le béton joue en fait un rôle actif dans la résistance de l'ouvrage et il est par conséquent logique et économique d'en tenir compte.

Toutefois, pour tirer tout le parti possible de l'association d'éléments en acier et en béton, il est indispensable de s'assurer qu'ils travaillent solidairement et qu'aucun

glissement n'est possible au droit de leur jonction. Dans ce cas il y a lieu de prévoir des ancrages capables de reprendre l'effort trassant au niveau de la jonction acier-béton.

Cette précaution étant prise, on admet que les parties en béton et en acier forment un seul et même élément et on calcule les tensions dans cet élément en supposant que la loi de Hooke est applicable, moyennant l'introduction d'un coefficient d'équivalence n .

Le type de construction mixte avec dalle de compression en béton est schématisée à la figure (a).



Les figures b, c, d, donnent les distributions des tensions de flexion dans le cas où :

- La fig. b : La poutre métallique est supposée reprendre seule les charges.
- La fig. c : La poutre métallique et la dalle en béton, sans liaison entre elles, reprennent chacune une partie des charges en proportion de leur rigidité respective.

- 6
- La fig. d.: La poutre métallique et la dalle en béton, convenablement solidarisées, travaillent comme une poutre unique.

3. Présentation :-

Ce pont couvre une distance de 105m moyennant 3 travées isostatiques de 35 m chacune.

La chaussée à double voies de circulation (7m) est bordée par 2 trottoirs de 1,50m.

Le revêtement est assuré pour la chaussée par une couche de bitume de 6cm d'épaisseur et pour le trottoir par des dalles préfabriquées posées sur des murets, aménageant ainsi des vides pour la canalisation.

Des corniches situées aux extrémités du tablier supportent des garde-corps de 1,10m.

Les surfaces, de la chaussée et du trottoir, sont inclinées suivant un angle de 2% pour permettre le ruissellement des eaux pluviales vers les gargouilles. Celles-ci, distantes de 5m, sont situées au bas des bordures du trottoir.

La poutrelle croisée est constituée d'une part de 3 poutres principales distantes de 3,60m et d'autre part de 8 entretoises triangulées affectant une bonne rigidité de l'ensemble du tablier.

Le tablier repose simplement sur les éléments porteurs au moyen d'appareils d'appui

en neoprène frotté.

Les piles ancrées dans le sol par des fondations superficielles sont constituées d'un tronc évidé et d'un chevette surmonté de diés.

Les culées plantées dans le talus par des semelles superficielles sont composées d'un mur frontal, soutenant le tablier et retenant la poussée des terres, d'un mur garde-grève, faisant écran entre le tablier et le remblai d'apport, et de murs en retour reprenant la poussée du remblai.

Par mesure de sécurité, on dispose des batardeaux de palplanches autour des fondations (piles et culées) pour les protéger contre les affouillements.

**POUTRES
PRINCIPALES**

1. Présentation des charges et surcharges :

En accord avec la circulaire N° 71. 155 du 29 décembre 1971 nous définissons les surcharges à considérer comme suit.

1.1. Surcharges A :

Ce sont des surcharges uniformément réparties. Elles s'appliquent pour les travées ≤ 200 m. Pour les travées > 200 m, les charges sont fixées par le C.P.S.

1.1.a. Expression de A :

$$A = K \cdot A_1 \cdot \frac{l_0}{l_v}$$

. K : est fonction de N (nombre de voies chargées) et de la classe du pont.

. A₁ : est exprimée en kg/m² et donnée en fonction de la longueur surchargée l (m) par la formule :

$$A_1 = 200 + \frac{36000}{l + 42}$$

. l₀ : est en fonction de la classe du pont.

. l_v : largeur de la voie.

1.1.b. Surface à surcharger :

A est appliquée sur une surface L x l

$$l = n \cdot l_v$$

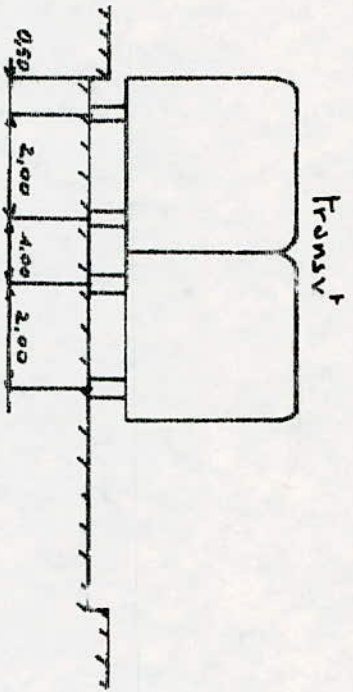
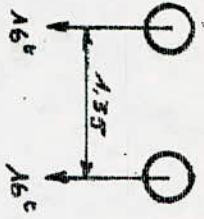
L = longueur surchargée dans le sens longitudinal.

1.2. Surcharges B :

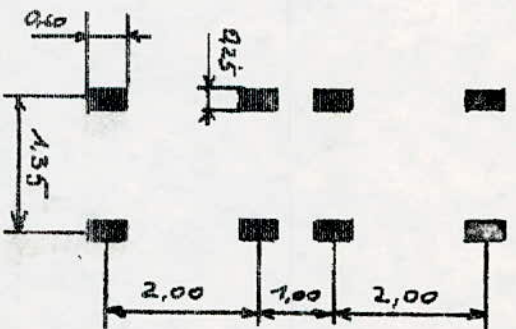
(voir schémas).

SYSTEME B₁

long^t



en plan



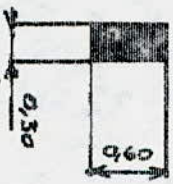
long^t



Transv^t

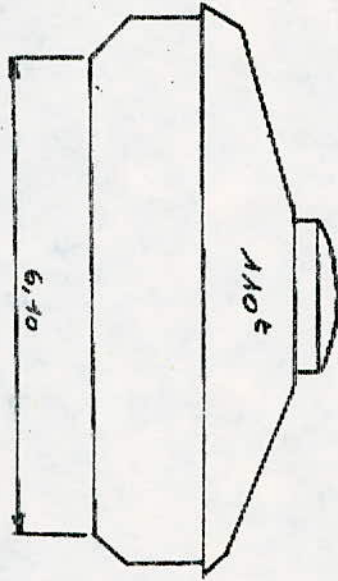


en plan.



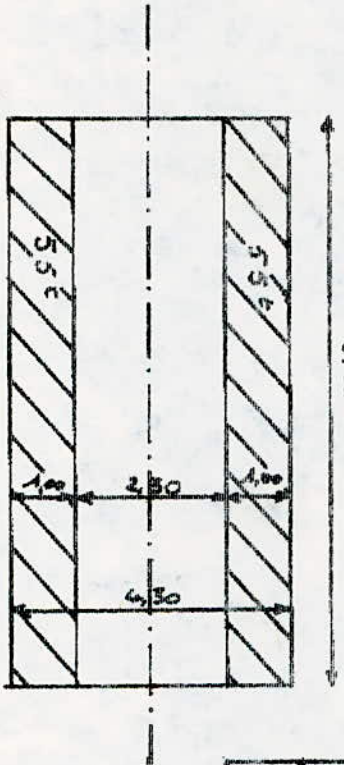
Sens du déplacement.

long^E

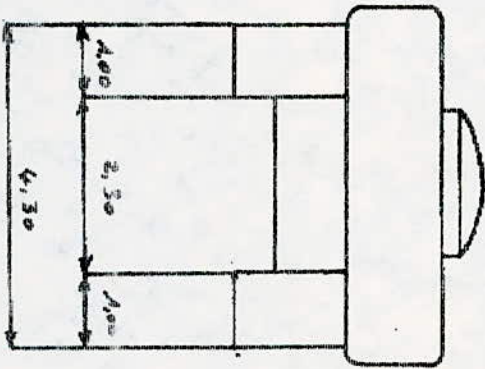


SYSTEME Mc120

en plan



Transv^E



1.4. Surcharges sur les trottoirs:

- 2 Surcharges : - Surcharges locales
- Surcharges générales

1.4.1: Surcharges locales:

Ce sont des surcharges uniformément réparties de 450 kg/m^2 et une roue isolée de 6 t .

Ces deux surcharges sont envisagées successivement et non simultanément.

- Car de la surcharge de 450 kg/m^2 : Elle ^{est} envisagée pour le calcul du tablier sauf les poutres principales. Elle est compatible avec les surcharges: B, militaires.
- Car de la surcharge 6 t : Impact, sur la chaussée, carré de 25 cm de côté. Adhérer seulement sur un trottoir non séparé de la chaussée par un obstacle infranchissable. Elle est incompatible avec les autres surcharges.

1.4.2: Surcharges générales:

Ce sont des surcharges uniformément réparties de 150 kg/m^2 . Elles sont appliquées sur les trottoirs seulement pour le calcul des poutres principales. Le règlement ne parle pas du cumul de cette surcharge avec les autres surcharges.

2. Calcul de S:

2.1 Classé du pont:

- Nbre de voies de circulation: 2 voies
- 2 trottoirs.
- $L = 7 \text{ m}$

$$\Rightarrow \text{Pont de 1}^{\text{er}} \text{ classé} \Rightarrow \begin{cases} b_c = 44 \\ b = 1. \end{cases}$$

2.2: charges permanentes:

2.2.1 Avant prise du béton : C.I

- Ossature métallique : $140 \text{ kg/m}^2 \times 10 \text{ m}$	1400 kg/ml.
- Dalle béton armé épais. 20cm : $7 \times 0,2 \times 1 \times 2500$	5000 -"
- Gousset épais. 5cm : $0,3 \times 0,05 \times 1 \times 3 \times 2500$	113 -"
- Coffrage (70 kg/m^2) : $70 \times 10 \times 1$	700 -"
	<hr/> 7613 kg/ml

2.2.2. Après prise du béton : C.C.I.

- Coffrage :	- 700 kg/ml
- Étanchéité chaussée : $7 \times 0,06 \times 2200 \times 1$	924 kg/ml.
- " trottoir : $3 \times 0,01 \times 2200 \times 1$	66 kg/ml
- Corniche :	300 kg/ml
- Bordures :	170 -"
- Murats ($0,45 \times 0,25 \times 6 \times 1 \times 2500$)	561 -"
- Dalles Hes ($0,45 \times 0,05 \times 1 \times 1 \times 2500$)	225 -"
- Garde - corps	100 -"
	<hr/> 1649 kg/ml.

Poids total du Pont : $P = 310170 \text{ kg}$

2.3 Coefficient de majoration dynamique δ :

$$\delta = 1 + \frac{0,1}{1+0,2L} + \frac{0,6}{1+1,2 \frac{L}{S}}$$

$$L = 35 \text{ m}$$

$$P = 310170 \text{ kg}$$

$$S = \text{Surcharge}$$

2.3.1 Surcharge S :

$$- B_c :$$

Sens longitudinal : on peut placer 2 camions.
Sens transversal : on peut placer 2 camions.

$$\Rightarrow S_{\max B_c} = 11 \cdot 4 \cdot 30 = 132 \text{ t.}$$

- B_t :

Sens longitudinal : on place 1 camion.
Sens transversal : on place 2 camions.

$$\Rightarrow S_{\max B_t} = 1 \cdot 2 \cdot 32 = 64 \text{ t.}$$

Conclusion : on prendra $S_{\max B_c} = 132 \text{ t.}$

- Me120 :

on peut placer 1 seul char sur tout le pont.

$$\Rightarrow S_{\max} = 110 \text{ t.}$$

- Surcharges civiles :
$$S = 1 + \frac{0,4}{1,92 \cdot 35} + \frac{0,6}{1 + \frac{310170}{132000}} = \underline{1,108}$$

- Surcharges militaires :
$$S = 1 + \frac{0,4}{1,92 \cdot 35} + \frac{0,6}{1 + \frac{310170}{110000}} = \underline{1,099}$$

3. Approche de calcul des sollicitations totales les plus défavorables agissant sur le pont.

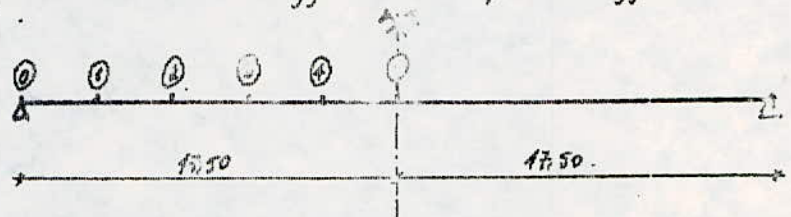
3.1 Hypothèses de calcul :

- La travée de longueur L est assimilée à une seule poutre simple, de même portée L, avec les mêmes charges totales appliquées.

- Les poutres principales considérées sont parallèles et placées dans un même plan.
- Les charges considérées sont verticales.
- Les entretoises sont perpendiculaires aux poutres principales.

On peut calculer, quelque soit la section (x), Le moment fléchissant total, l'effort tranchant total, ainsi que leur répartition par la méthode de Bourbon.

Pour le seul souci d'économie nous nous sommes imposés la tâche de rechercher les efforts en 11 points différents de la travée.



Bien entendu la section dangereuse pour chaque type de surcharges ne coïncide pas nécessairement avec les points sus-définis. Nous nous devons donc, de situer pour chaque type de surcharges la section dangereuse et les efforts correspondants.

3.2 Evaluation des efforts:

3.2.1 Calcul des efforts avec une voie du bâtiment (22)

Moments fléchissants à C.R.:

$$M = q \cdot \frac{l}{2} \cdot x - q \cdot \frac{x^2}{2} = \frac{7213 \cdot 35}{2} - \frac{7213}{2} \cdot x^2$$

$$\Rightarrow M_1 = \frac{7213 \cdot 35}{2} \cdot 3,5 - \frac{7213}{2} \cdot (3,5)^2 = 397617 \text{ kgm.}$$

$$M_2 = \frac{7213 \cdot 35}{2} \cdot 7 - \frac{7213}{2} \cdot 7^2 = 706274 \text{ --}$$

$$M_3 = \dots = 927772 \text{ --}$$

$$M_4 = \dots = 1060311 \text{ -H-}$$

$$M_5 = \dots = 1104490 \text{ -H-}$$

Efforts tranchants dus à c.c.

$$T = \frac{q \cdot l}{2} - q \cdot x$$

$$T_0 = 126228 \text{ kg.}$$

$$T_3 = 50491 \text{ kg}$$

$$T_1 = 100986 \text{ -H-}$$

$$T_4 = 25245 \text{ -H-}$$

$$T_2 = 75735 \text{ -H-}$$

$$T_5 = 0$$

3.2.2. Calcul des efforts après prise du béton: (c.c.2)

Moments fléchissants dus à c.c.2.

$$M = \frac{q \cdot l}{2} x - \frac{q \cdot x^2}{2} = \frac{1549.35}{2} \cdot x - \frac{1649}{2} \cdot x^2$$

$$M_1 = 90901 \text{ kgm}$$

$$M_2 = 161602 \text{ kgm}$$

$$M_3 = 213103 \text{ -H-}$$

$$M_4 = 242403 \text{ kgm.}$$

$$M_5 = 252503 \text{ -H-}$$

Efforts tranchants dus à c.c.2.

$$T = \frac{q \cdot l}{2} - q \cdot x = \frac{1649.35}{2} - 1649 \cdot x$$

$$T_0 = 23858 \text{ kg}$$

$$T_3 = 11543 \text{ kg}$$

$$T_1 = 23086 \text{ -H-}$$

$$T_4 = 5772 \text{ -H-}$$

$$T_2 = 17315 \text{ -H-}$$

$$T_5 = 0 \text{ -H-}$$

3.2.3. Rappel: Surcharges.

$A_L, B_c, B_t, B_r, M_{c10}.$

* On prendra B_r pour le calcul du poinçonnement de la dalle.

3.2.3.1 Calcul de A :

$$A = K \cdot A_L \cdot \frac{L_0}{L_U}$$

classe du pont = 1 $\Rightarrow K = 1.$

$$A_L = 230 + \frac{36000}{35+12} = 996 \text{ kg/m}^2.$$

$$\Rightarrow A = 1 \cdot 996 \cdot \frac{3,5}{3,5} = 996 \text{ kg/m}^2.$$

On charge les deux voies pour avoir le cas le plus défavorable.

Soit la distribution linéaire:

$$A = 996 \cdot 7 = 6972 \text{ kg/ml.}$$

3.2.4. Efforts dus à la surcharge A :

Moments déformants.



$$R_1 = \frac{q \cdot l}{2} = R_2.$$

$$M_n = R_1 \cdot x - q \cdot \frac{x^2}{2}.$$

$$M_0 = 0$$

$$M_1 = \frac{6972 \cdot 35}{5} \cdot 3,5 - \frac{6972 \cdot 3,5^2}{2} = 384331,5 \text{ kgm.}$$

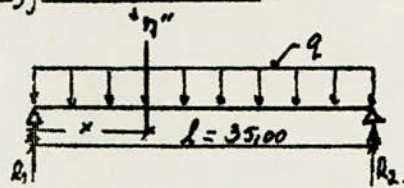
$$M_2 = (\dots) \cdot 7 - (\dots) \cdot 7^2 = 683256 \text{ -n.}$$

$$M_3 = \dots = 896773,5 \text{ -n.}$$

$$M_4 = \dots = 1024884 \text{ -n.}$$

$$M_5 = \dots = 1067587,5 \text{ -n.}$$

Efforts tranchants:



$$n = \{0, 1, 2, 3, 4, 5\}$$

$$R_1 = \frac{q \cdot l}{2} = R_2$$

Soit une section "n" $\Rightarrow T_n = R_1 - q \cdot x$ avec $x = n \cdot 7$

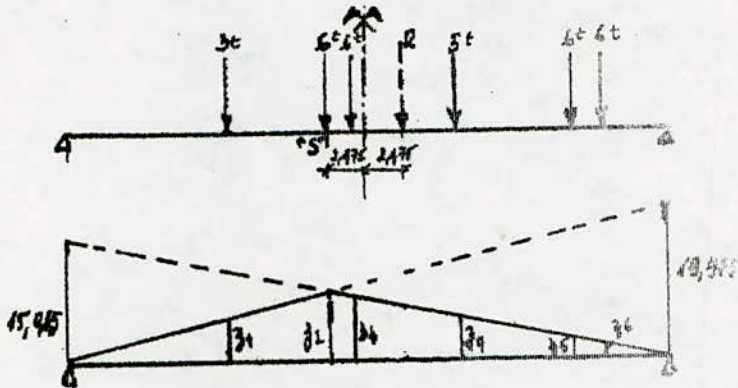
$R_1 = T_0 = \frac{1 \cdot l}{2} = \frac{6972 \cdot 35}{2} = 122010 \text{ kg}$	$T_3 = 48804 \text{ kg}$
$T_1 = 122010 - 6972 \cdot 3,5 = 97608 \text{ kg}$	$T_4 = 24402 \text{ -n.}$
$T_2 = 122010 - 6972 \cdot 7 = 73206 \text{ -n.}$	$T_5 = 0.$

3.2.5. Efforts dus à Bc:

On assimile notre ^{voit} à une poutre. La charge verticale sur la poutre est égale à la somme des charges ponctuelles se trouvant sur la même rangée transversalement.

- Longitudinalement: on peut placer au maximum 2 camions par convoi.

- Transversalement: on dispose 1 convoi par voie de circulation. Dans notre cas 2 convois de 2 camions car $L = \dots$



$$j_1 = \frac{18,975 \cdot 10,525}{35} = 6$$

$$j_4 = \dots = \dots$$

$$j_2 = \frac{19,975 \cdot 15,025}{35} = 7,5$$

$$j_5 = \dots = \dots$$

$$j_3 = \dots = 6,45$$

$$j_6 = \dots = \dots$$

Moment au droit de la section "S":

$$M = 3.6 + 6.7.5 + 6.6.45 + 3.6 + 6.4.0675 \dots$$

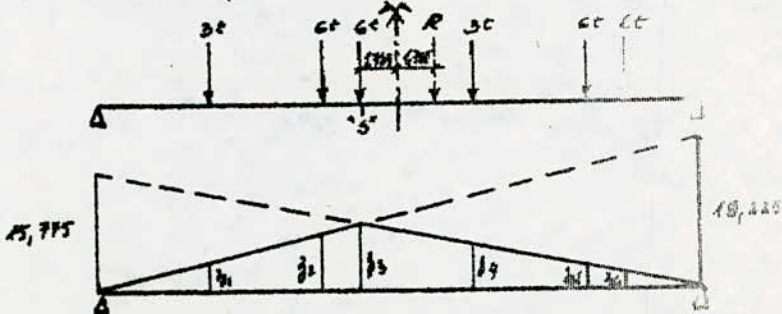
Soit pour 2 convois :

$$M_{max} = 4.164,502 = 558. \text{ t.m.}$$

2^e cas :

R = 30t

R : Située à 7,05m du 2^e axis du dernier camion.



$$j_1 = \frac{19,225 \cdot 9,775}{35} = 5,369$$

$$j_4 = \dots = 6,63$$

$$j_2 = \frac{19,225 \cdot 14,275}{35} = 7,83$$

$$j_5 = \dots = 4,6$$

$$j_3 = \dots = 8,66$$

$$j_6 = \dots = 3,93$$

Moment au droit de la section "5":

$$M_{max} = 3 \cdot 5,369 + 6 \cdot 7,83 + 6 \cdot 8,66 + 3 \cdot 6,63 + 4 \cdot 6 + 6 \cdot 3,93 =$$

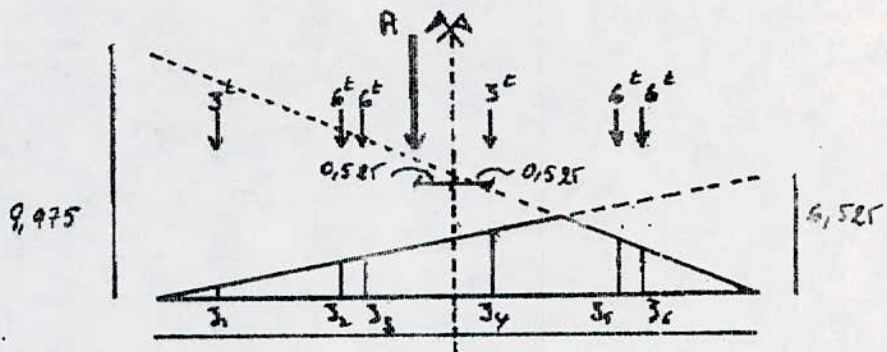
$$M_{max} = 186,117 \text{ t.m.}$$

$$\text{Pour 2 convois } M_{max} = 186,117 \cdot 2 = 372,234 \text{ t.m.}$$

$$\Rightarrow M_{max} = 1,372,234 = 1,372 \text{ t.m.}$$

3^e cas: 1^{er} roue du 2^e camion.

$R = 30t$ la résultante située à 7,05 m du 2^e essieu du 2^e camion.



$$j_1 = \frac{6,525 \cdot (17,5 - 9,975)}{35} = 1,40$$

$$j_4 = \dots = 2,05$$

$$j_2 = \frac{6,525 \cdot (17,5 - 9,975 + 4,15)}{35} = 2,24$$

$$j_5 = \dots = 3,5$$

$$j_3 = \dots = 2,52$$

$$j_6 = \dots = 3,13$$

- Moment au droit de la section "3":

$$M = 3 \cdot 4,40 + 6 \cdot 4,24 + 6 \cdot 4,52 + 3 \cdot 4,05 + 6 \cdot 3,5 + 6 \cdot 3,13 = 78,69 \text{ tm.}$$

Pour 2 convois $\Rightarrow M_{\max} = 1 \cdot 78,69 = 78,69 \text{ tm.}$

- Conclusion:

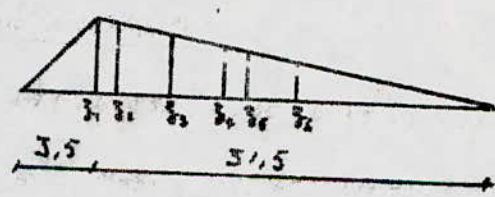
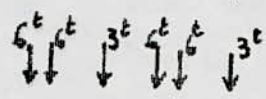
M_{\max} est obtenu avec le 2^e essieu du 1^{er} camion

\Rightarrow la section dangereuse est située à 4,725 m de l'axe de symétrie de la poutre.

3.2.5.2. Evaluation des moments pour chaque section:

- section n°1: à 3,5 m de l'appui

- on détermine le moment max. par la ligne d'influence.



$$j_1 = \frac{3,5 \cdot 3,45}{3,5} = 3,15$$

$$j_4 = \dots = 2,1$$

$$j_2 = \frac{3,5 \cdot 3,0}{3,5} = 3$$

$$j_5 = \dots = 1,95$$

$$j_3 = \dots = 4,55$$

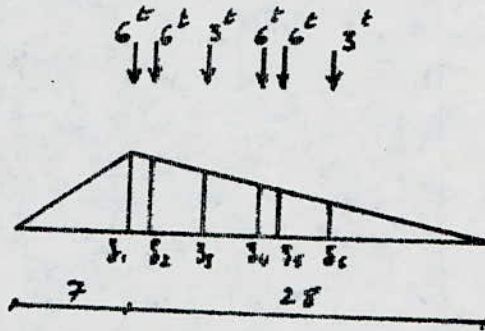
$$j_6 = \dots = 4,5$$

$$M = 6 \cdot 3,15 + 6 \cdot 3 + 3 \cdot 4,55 + 6 \cdot 2,1 + 6 \cdot 1,95 + 3 \cdot 4,5 = 73,35 \text{ t.}$$

2 convois, $b_c = 1,1 \Rightarrow M_y = 323 \text{ t.m.}$

- Section N° 2 : à 7,00m de l'appui.

- on trace la ligne d'influence.



$$j_1 = \frac{7 \cdot 28}{35} = 5,6$$

$$j_2 = \frac{7 \cdot 26,5}{35} = 5,3$$

$$j_3 = \dots = 4,4$$

$$j_4 = \dots = 3,5$$

$$j_5 = \dots = 3,2$$

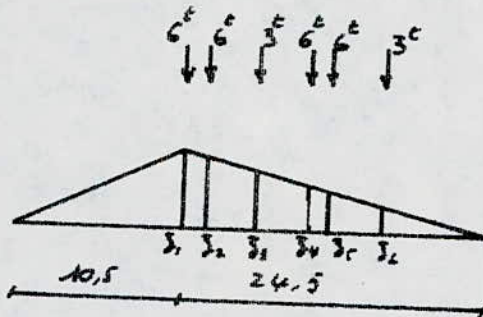
$$j_6 = \dots = 2,3$$

$$\Rightarrow M_2 = 6 \cdot 5,6 + 6 \cdot 5,3 + 3 \cdot 4,4 + 6 \cdot 3,5 + 6 \cdot 3,2 + 3 \cdot 2,3 = 125,7 \text{ tm}$$

2 convois, $bc = 7,1 \Rightarrow M_2 = 553,08 \text{ tm}$

- Section N° 3 : à 10,5m de l'appui.

- ligne d'influence :



$$j_1 = 24,5 \cdot \frac{19,5 - 7}{35} = 7,35$$

$$j_4 = \dots = 6$$

$$j_2 = 10,5 \cdot \frac{19,5 + 5,5}{35} = 6,9$$

$$j_5 = \dots = 4,2$$

$$j_3 = \dots = 5,55$$

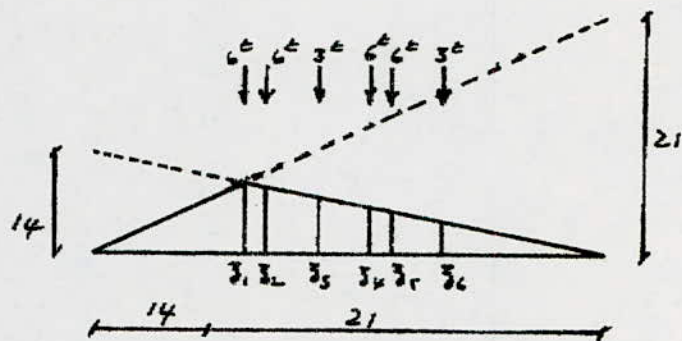
$$j_6 = \dots = 2,4$$

$$M = \sum P_i \cdot j_i = 157,05$$

$$2 \text{ convois, } b_c = 1,1$$

$$\Rightarrow M_3 = 691,02 \text{ t.m.}$$

Section N°4 : à 14,00m de l'appui.



$$j_1 = 21 \cdot \frac{14}{35} = 8,4$$

$$j_4 = \dots = 6$$

$$j_2 = 14 \cdot \frac{21 + 14}{35} = 7,8$$

$$j_5 = \dots = 4,2$$

$$j_3 = 14 \cdot \frac{21 - 19,5}{35} = 4,2$$

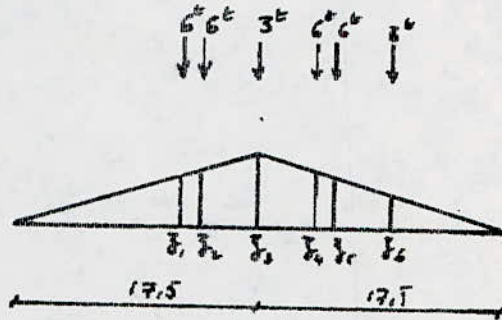
$$j_6 = \dots = 2,4$$

$$\Rightarrow M = \sum P_i \cdot j_i = 167,4 \text{ t.m.}$$

$$2 \text{ convois, } b_c = 1,1$$

$$\Rightarrow M = 737 \text{ t.m.}$$

- Section N°5 : à 17,50 m de l'appui.



$$z_1 = 17,5 \cdot \frac{(17,5 - 6)}{35} = 5,75$$

$$z_4 = \dots = 6,5$$

$$z_2 = 17,5 \cdot \frac{(17,5 - 4,5)}{35} = 6,5$$

$$z_5 = \dots = 5,75$$

$$z_3 = \dots = 8,75$$

$$z_6 = \dots = 3,5$$

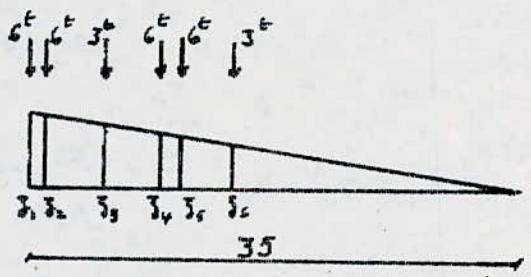
$$M = \sum z_i \cdot z_i = 183,75 \text{ tm.}$$

↳ Convois, bc = 1,1 \Rightarrow $M_5 = 808,5 \text{ tm.}$

3.2.5.3 Efforts tranchants dans les sections.

L'effort tranchant max. est dans la section 0.

- Section 0 :



$$j_1 = 1$$

$$j_4 = \dots = 0,7$$

$$j_2 = \frac{33,5}{35} = 0,957$$

$$j_5 = \dots = 0,657$$

$$j_3 = \frac{19}{35} = 0,543$$

$$j_6 = \dots = 0,528$$

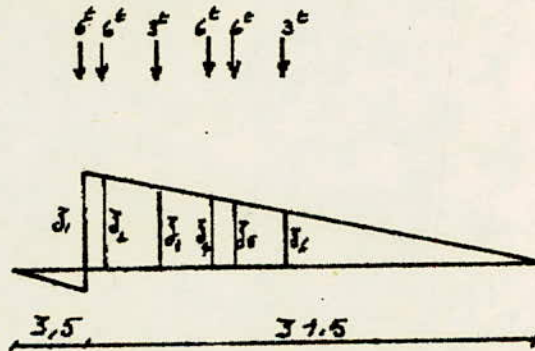
$$T = 6 \cdot 1 + 6 \cdot 0,957 + 3 \cdot 0,543 + 6 \cdot 0,7 + 6 \cdot 0,657 + 3 \cdot 0,528 = 23,95t$$

2 convois, $b_c = 1,1$

\Rightarrow

$$T_0 = 105,4t.$$

Section N°1:



$$j_1 = \frac{34,5}{35} = 0,986$$

$$j_4 = \dots = 0,6$$

$$j_2 = \frac{30}{35} = 0,857$$

$$j_5 = \dots = 0,557$$

$$j_3 = \dots = 0,728$$

$$j_6 = \dots = 0,428$$

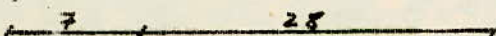
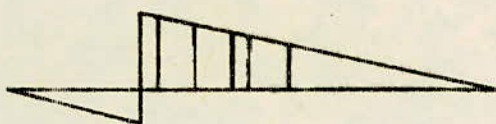
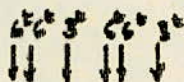
$$\Rightarrow T = 6 \cdot 0,986 + 6 \cdot 0,857 + 3 \cdot 0,728 + 6 \cdot 0,6 + 6 \cdot 0,557 + 3 \cdot 0,428 = 21t$$

2 convois, $b_c = 1,1$

\Rightarrow

$$T_1 = 98,4t.$$

Section n° 2 :



$$j_1 = \frac{28}{35} = 0,8$$

$$j_4 = \dots = 0,5$$

$$j_2 = \frac{26,5}{35} = 0,757$$

$$j_5 = \dots = 0,457$$

$$j_3 = \dots = 0,628$$

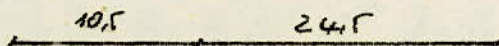
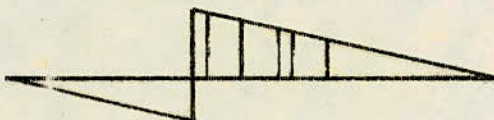
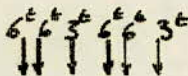
$$j_6 = \dots = 0,328$$

$$T = 6 \cdot 0,8 + 6 \cdot 0,757 + 3 \cdot 0,628 + 6 \cdot 0,5 + 6 \cdot 0,457 + 3 \cdot 0,328 = 17,952t$$

2 convertis, $b_c = 1,1 \Rightarrow$

$$T_2 = 79t$$

Section n° 3 :



$$j_1 = 0,7$$

$$j_4 = 0,4$$

$$j_2 = 0,66$$

$$j_5 = 0,34$$

$$j_3 = 0,53$$

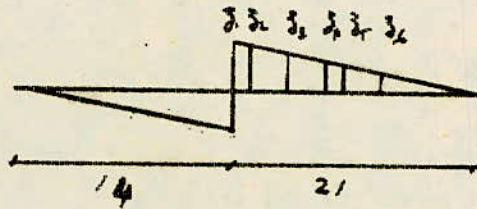
$$j_6 = 0,23$$

$$\Rightarrow T = \sum 2 z_i = 14,88 t$$

$$2 \text{ convois } , bc = 1,1 \Rightarrow$$

$$T_3 = 65,472 t$$

- Section N° 4 :



$$z_1 = 0,6$$

$$z_2 = 9,56$$

$$z_3 = 9,43$$

$$\Rightarrow T = 12 t$$

$$2 \text{ convois } , bc = 1,1 \Rightarrow$$

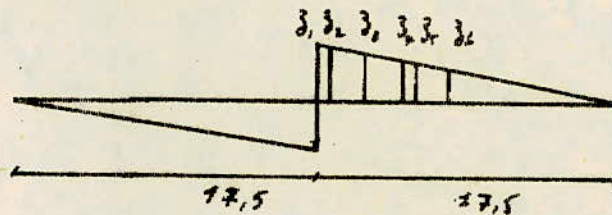
$$T_4 = 52,8 t$$

$$z_4 = 9,3$$

$$z_5 = 9,26$$

$$z_6 = 9,13$$

- Section N° 5 :



$$j_1 = 0,5$$

$$j_2 = 0,46$$

$$j_3 = 0,33$$

$$T = \sum 2i \cdot j_i = 9t$$

$$2 \text{ camions, } b_c = 6t \Rightarrow$$

$$T_5 = 39,6t.$$

$$j_4 = 0,2$$

$$j_5 = 0,16$$

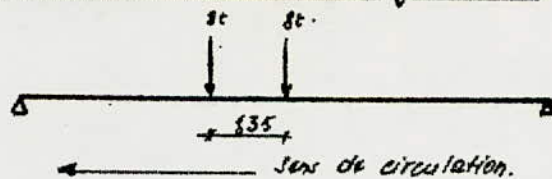
$$j_6 = 0,03$$

3.2.6. Efforts dus à Bc :

. Longitudinalement : on place 1 tandem par file.

. Transversalement : on place 2 tandems.

3.2.6.1. Recherche de la section dangereuse.



$$R = 16t \Rightarrow \frac{R}{2} = 8t.$$

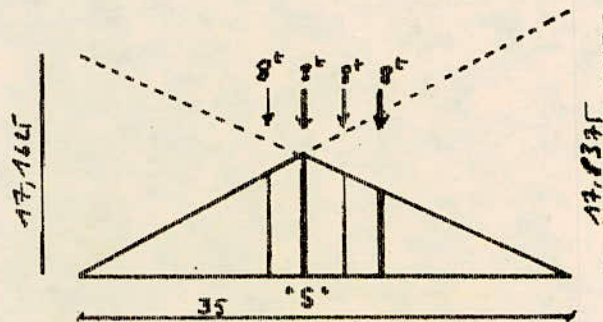
$$\sum_{\alpha=1}^{n-1} P_{\alpha} \leq \frac{R}{2} \leq \sum_{\alpha=1}^n P_{\alpha}$$

$$\Rightarrow 8 \leq 8 \leq 8.$$



$$\text{Point d'application de } R / \text{en } \alpha \text{ de droite} = \frac{8 \cdot 1,35}{16} = 0,675 \text{ m.}$$

on trace la ligne d'influence du moment fléchissant au droit de 'S'



- 1^{er} cas : La charge $8t$ est placée au droit de la section "S"

$$\bar{z}_1 = \frac{17,1625 \cdot 17,8375}{35} = 8,746$$

$$\Rightarrow M = (8,746 + 8,0847) \cdot 8 =$$

$$\bar{z}_2 = \frac{17,1625 \cdot 15,812}{35} = 8,0847$$

$$M = 134,65 \text{ tm.}$$

- 2^{er} cas : Les 2 charges sont placées de part et d'autre de "S"

$$\bar{z}_1 = \frac{17,837 \cdot 18,512}{35} = 9,43$$

$$\Rightarrow M = (8,415 + 9,43) \cdot 8 = 148,76 \text{ tm}$$

$$\bar{z}_2 = \frac{17,1625 \cdot 17,1625}{35} = 8,415$$

- Conclusion : on prendra le 2^{er} cas.

2 Convois, $bc = 1$

\Rightarrow

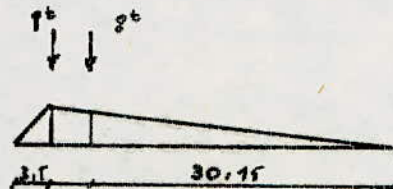
$$M_{\max} = 571,04 \text{ tm.}$$

La section dangereuse est située à 9,3375 de l'axe de symétrie de la poutre.

3.2.6.2. Evaluation des moments dans chaque section :

- Section N° 1 :

on tracera la ligne d'influence de M au droit de "S".



$$j_1 = \frac{3,5 \cdot 30,15}{35} = 3,15$$

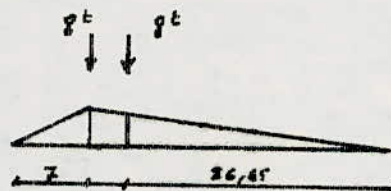
$$j_2 = \frac{3,5 \cdot 30,15}{35} = 3,015$$

$$\Rightarrow M = (3,15 + 3,015) \cdot 8 = 49,32$$

$$\text{2 Convois, } b_t = 1 \Rightarrow M_1 = 197,8 \text{ tm.}$$

Section N° 2 :

Ligne d'influence de M.



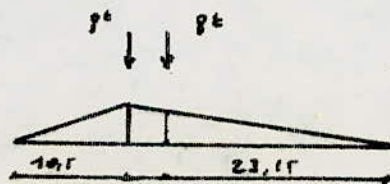
$$j_1 = \frac{7 \cdot 28}{35} = 5,6$$

$$\Rightarrow M = (5,6 + 5,33) \cdot 8 = 87,44 \text{ tm.}$$

$$j_2 = \frac{7 \cdot 26,65}{35} = 5,33$$

$$\text{2 files, } b_t = 1 \Rightarrow M_2 = 349,76 \text{ tm}$$

Section N° 3 :



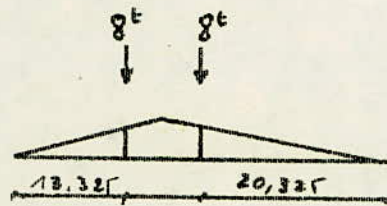
$$\delta_1 = \frac{10,5 \cdot 24,5}{35} = 7,35$$

$$\delta_2 = \frac{10,5 \cdot 23,15}{35} = 6,945$$

$$\Rightarrow M = (7,35 + 6,945) \cdot 8 = 114,86 \text{ tm}$$

$$2 \text{ files, } b_e = 1 \Rightarrow M_3 = 457,44 \text{ tm}$$

- Section N° 4 :



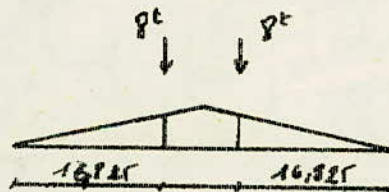
$$\delta_1 = \frac{11 \cdot 13,325}{35} = 7,995$$

$$\Rightarrow M = (7,995 + 8,13) \cdot 8 = 129 \text{ tm}$$

$$\delta_2 = \frac{11 \cdot 20,325}{35} = 8,13$$

$$2 \text{ files, } b_e = 1 \Rightarrow M_4 = 516 \text{ tm}$$

- Section N° 5 :



$$\delta_1 = \frac{16,825 \cdot 17,5}{35} = 8,4125$$

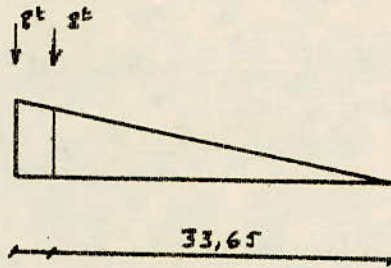
$$\Rightarrow M = (8,4125 \cdot 2) \cdot 8 = 134,6 \text{ tm}$$

$$\delta_2 = \frac{16,825 \cdot 17,5}{35} = 8,4125$$

$$2 \text{ files, } b_e = 1 \Rightarrow M_5 = 538,4 \text{ tm}$$

3.2.6.3 Evaluation de l'effort tranchant :

- on tracera la ligne d'influence de l'effort tranchant dans chaque section.

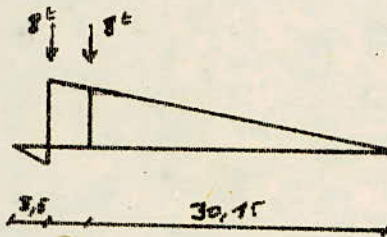
- Section N° 0 :

$$\bar{z}_1 = 1$$

$$\Rightarrow T = 15,68 t$$

$$\bar{z}_2 = \frac{33,65}{35} = 0,96$$

$$2 \text{ files, } b_t = 1 \Rightarrow T_0 = 62,72 t$$

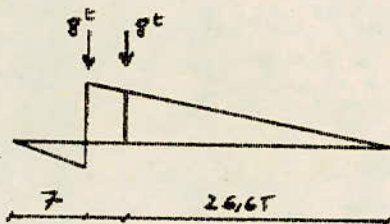
- Section N° 1 :

$$\bar{z}_1 = \frac{34,5}{35} = 0,99$$

$$\Rightarrow T = (0,99 + 0,98) \cdot 8 = 14,08 t$$

$$\bar{z}_2 = \frac{39,15}{35} = 0,86$$

$$2 \text{ files, } b_t = 1 \Rightarrow T_1 = 56,32 t$$

- Section N° 2 :

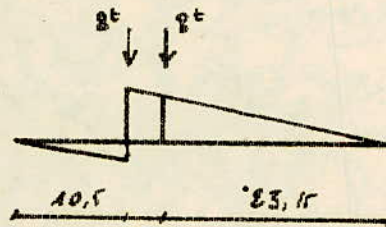
$$\bar{z}_1 = \frac{28}{35} = 0,8$$

$$\Rightarrow T = (0,8 + 0,76) \cdot 8 = 12,48 t$$

$$\bar{z}_2 = \frac{26,65}{35} = 0,76$$

$$2 \text{ files, } b_t = 1 \Rightarrow T_2 = 49,92 t$$

Section N° 3:



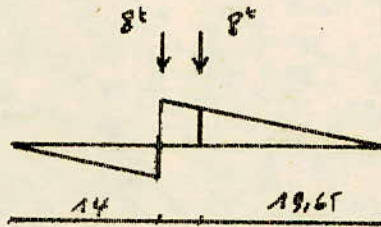
$$z_1 = \frac{10,5}{35} = 0,3$$

$$\Rightarrow T = (0,3 + 0,66) \cdot 8 = 7,68t$$

$$z_2 = \frac{23,15}{35} = 0,66$$

$$2 \text{ files, } b_t = 1 \Rightarrow \boxed{T_0 = 13,52t}$$

Section N° 4:



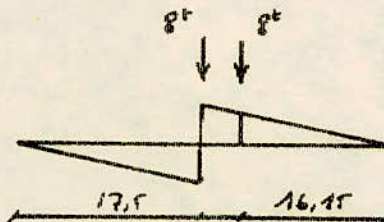
$$z_1 = \frac{14}{35} = 0,4$$

$$\Rightarrow T = (0,4 + 0,6) \cdot 8 = 8,8t$$

$$z_2 = \frac{19,65}{35} = 0,56$$

$$2 \text{ files, } b_t = 1 \Rightarrow \boxed{T_4 = 37,28t}$$

Section N° 5:



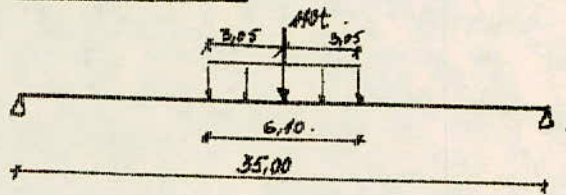
$$z_1 = \frac{17,5}{35} = 0,5$$

$$\Rightarrow T = (0,4 + 0,5) \cdot 8 = 7,68t$$

$$z_2 = \frac{16,15}{35} = 0,46$$

$$2 \text{ files, } b_t = 1 \Rightarrow \boxed{T_5 = 30,72t}$$

3.2.7. Efforts dus à M_{120} :



on place un seul char sur une travée.

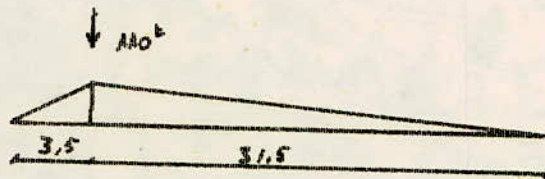
3.2.7.1. Recherche de la section dangereuse :

La section dangereuse se trouve au milieu de la travée.

3.2.7.2. Evaluation des moments dans chaque section.

- Section N°1 :

on trace la ligne d'influence de M au droit de s^o .

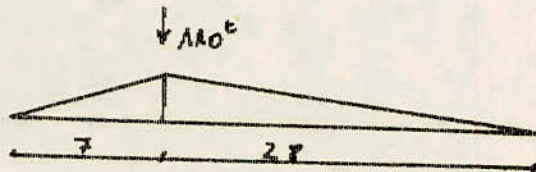


$$j = \frac{3,5 \cdot 31,5}{35} = 3,15$$

\Rightarrow

$$M_1 = 3,15 \cdot 110 = 346,5 \text{ tm.}$$

- Section N°2 :

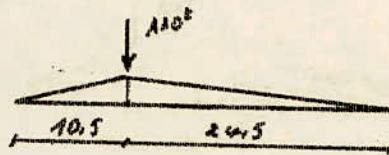


$$j = \frac{7 \cdot 28}{35} = 5,6$$

\Rightarrow

$$M_2 = 110 \cdot 5,6 = 616 \text{ tm.}$$

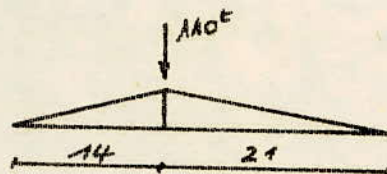
Section N°3 :



$$\bar{z} = \frac{10,5 \cdot 24,5}{35} = 7,35$$

$$\Rightarrow M_3 = 110 \cdot 7,35 = 808,5 \text{ tm.}$$

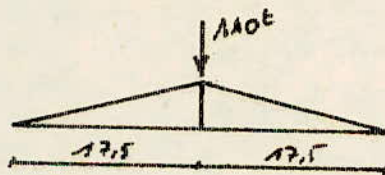
Section N°4 :



$$\bar{z} = \frac{14 \cdot 21}{35} = 8,4$$

$$\Rightarrow M_4 = 110 \cdot 8,4 = 924 \text{ tm.}$$

Section N°5 :

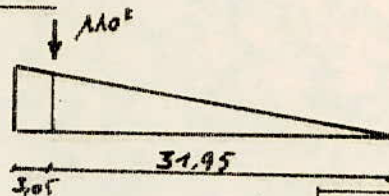


$$\bar{z} = \frac{17,5 \cdot 17,5}{35} = 8,75$$

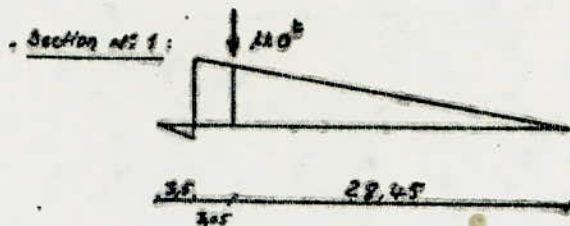
$$\Rightarrow M_5 = 110 \cdot 8,75 = 962,5 \text{ tm.}$$

3.2.7.3. Evaluation de l'effort tranchant :

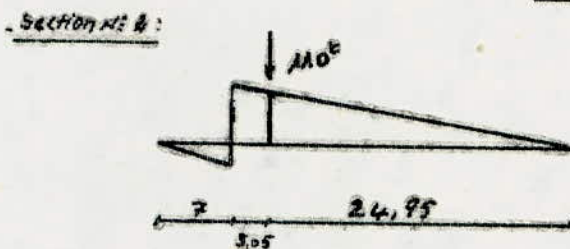
Section N°0 :



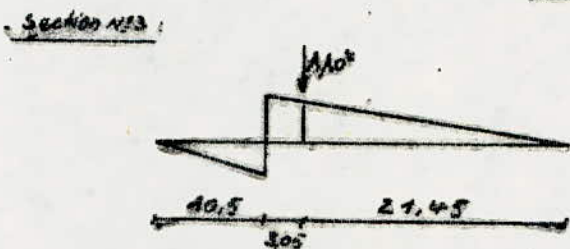
$$T_0 = \frac{110 \cdot 31,95}{35} = 100,41 \text{ t.}$$



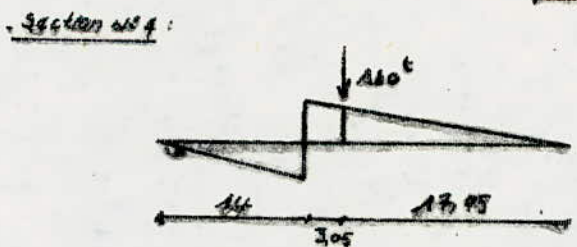
$$T_1 = \frac{110 \cdot 28.45}{35} = 89,416$$



$$T_2 = \frac{24.95 \cdot 110}{35} = 78,416$$



$$T_3 = \frac{110 \cdot 21.45}{35} = 67,416$$



$$T_4 = \frac{110 \cdot 17.95}{35} = 56,416$$

Section #5:

$$T_5 = \frac{110 \cdot 14.45}{35} = 45,416$$

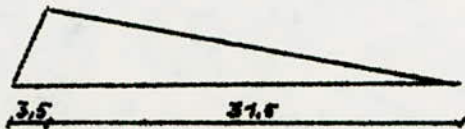
3.2.8. Efforts dus aux surcharges trottoirs:

Pour le calcul des poutres principales la surcharge trottoirs est de: 150 kg/m^2 .

$$\Rightarrow q = 150 \cdot L = 150 \cdot 45 = 225 \text{ kg/m} \quad \text{avec } L = \text{largeur du trottoir.}$$

3.2.8.1. Moment flechissant dans chaque section:

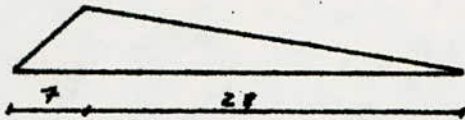
- Section N°1:



$$j = \frac{3.5 \cdot 34.5}{35} = 3.15 \quad \Rightarrow \quad M_1 = (j_1 + j_2) \cdot q = \left[\frac{(3.5 + 34.5) \cdot 3.15}{2} \right] \cdot 225 =$$

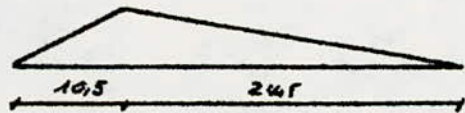
$$\Rightarrow M_1 = 14,405 \text{ tm.}$$

- Section N°2:



$$j = \frac{7 \cdot 28}{35} = 5.6 \quad \Rightarrow \quad M_2 = \frac{5.6 \cdot (35)}{2} \cdot 225 = 22,050 \text{ tm.}$$

- Section N°3:



$$j = \frac{10.5 \cdot 24.5}{35} = 7.35 \quad \Rightarrow \quad M_3 = \frac{7.35 \cdot 35}{2} \cdot 225 = 28,94 \text{ tm.}$$

- Section N° 4

$$\bar{y} = \frac{44 \cdot 41}{35} = 8,4$$

→

$$M_4 = \frac{8,4 \cdot 35}{2} \cdot 225 = 33,075 \text{ tm}$$

- Section N° 5

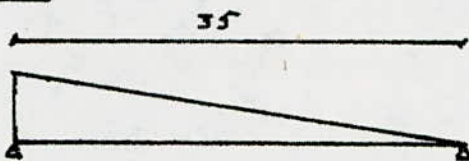
$$\bar{y} = \frac{(17,5)^2}{35} = 8,75$$

→

$$M_5 = \frac{8,75 \cdot 35}{2} \cdot 225 = 34,453 \text{ tm}$$

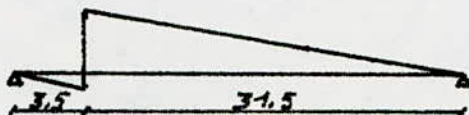
3.2.2.2. Effort tranchant dans chaque section:

- Section N° 0:



$$T_0 = \frac{35}{2} \cdot 225 = 3,94 \text{ t}$$

- Section N° 1:



$$\bar{y} = \frac{36,5}{35} = 9,9$$

→

$$T_1 = \frac{31,5 \cdot 9,9}{2} \cdot 225 = 3,19 \text{ t}$$

- Section N° 2:

$$\bar{y} = \frac{28}{35} = 0,8$$

→

$$T_2 = \frac{28 \cdot 0,8}{2} \cdot 225 = 2,52 \text{ t}$$

- Section N° 3:

$$\bar{y} = \frac{24,5}{35} = 0,7$$

→

$$T_3 = \frac{24,5 \cdot 0,7}{35} \cdot 225 = 1,03 \text{ t}$$

- Section n°4:

$$\gamma = \frac{21}{35} = 0,6$$

⇒

$$T_4 = \frac{21 \cdot 0,6 \cdot 225}{2} = 1,42 \text{ t}$$

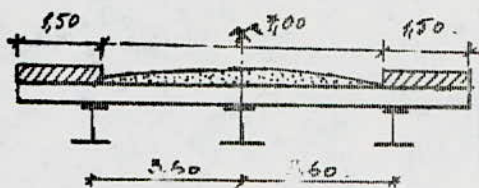
- Section n°5:

$$\gamma = 0,5$$

⇒

$$T_5 = \frac{17,5 \cdot 0,5 \cdot 225}{2} = 0,936$$

3.3. Répartition des efforts dans les poutres principales:



3.3.1. Moments fléchissants dus à Bc:

$$M_i = \frac{M}{n} \left(1 + 6 \frac{-n+2i-1}{n^2-1} \cdot \frac{e}{L} \right)$$

n : nombre de poutres principales
 i : N° de la poutre considérée
 e : distance entre l'axe de symétrie et la résultante des forces.
 L : distance entre axe des z

- Section adoucieuse:

- Poutre principale n°1:

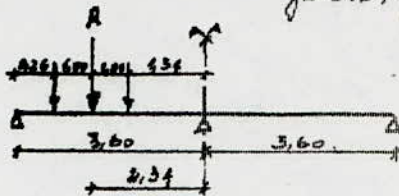
$$M_1 = \frac{M}{3} \left(1 + 6 \frac{-3+2-1}{9-1} \cdot \frac{e}{3,6} \right) = \frac{M}{3} \left(1 + 6 \frac{-2}{8} \cdot \frac{e}{3,6} \right)$$

$$\Rightarrow M_1 = \frac{M}{3} \left(1 - \frac{1,5}{3,6} \cdot e \right)$$

- Pour avoir M_{\max} , il faut que: $\left(1 - \frac{1,5}{3,6} \cdot e \right)$ soit grand $\Leftrightarrow \begin{cases} e < 0 \\ |e| \text{ très grand.} \end{cases}$

Calcul de e :

* Cas d'un convoi: On placera le convoi, le plus possible à gauche, dans la zone transversal.

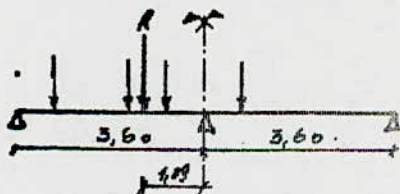


$$\Rightarrow e = -2,34 \Rightarrow \left(1 - \frac{1,5}{3,6} \cdot e\right) = \left(1 + \frac{1,5}{3,6} \cdot 2,34\right) = 1,975$$

$$\Rightarrow \text{Coefficient de répartition } f_y = \frac{1,975}{3} = 0,658$$

$$\Rightarrow M_1 = f_y \cdot M = f_y \cdot 109,2tm \Rightarrow \boxed{M_1 = 169,25 \text{ tm}}$$

* Cas de 2 files:



$$e = 1,09 \Rightarrow \left(1 - \frac{1,5}{3,6} \cdot e\right) = \left(1 + \frac{1,5}{3,6} \cdot 1,09\right) = 1,45$$

$$\Rightarrow \text{coeff. de répartition: } f_y = \frac{1,45}{3} = 0,483$$

$$M_1 = f_y \cdot M = f_y \cdot 109,2tm \Rightarrow \boxed{M_1 = 395,56 \text{ tm}}$$

Autres principales N° 6:

$$M_2 = \frac{M}{3} \left(1 - 6 \frac{-3+4-1}{8} \frac{e}{l}\right) = \frac{M}{3} \left(1 - 6 \frac{-1}{8} \frac{e}{l}\right) = \frac{M}{3}$$

* Cas d'une file :

$$f_{ef} = \frac{1}{3}, N = 409,269 \Rightarrow$$

$$M_2 = \frac{N}{3} = 136,4 \text{ tm}$$

* Cas de 2 files :

$$f_{ef} = \frac{1}{3}, N = 818,469 \Rightarrow$$

$$M_2 = \frac{N}{3} = 272,8 \text{ tm}$$

- Route principale N°1 :

* Cas d'une file : $f_{ef} = 0,658$

Section N°	1	2	3	4	5
$M_{1 \text{ max}} \text{ (tm)}$	106,27	180	227,34	242,17	266

* Cas de 2 files : $f_{ef} = 0,483$.

Section N°	1	2	3	4	5
$M_{1 \text{ max}} \text{ (tm)}$	156	267,14	333,76	356	390,5

- Route principale N°2 :

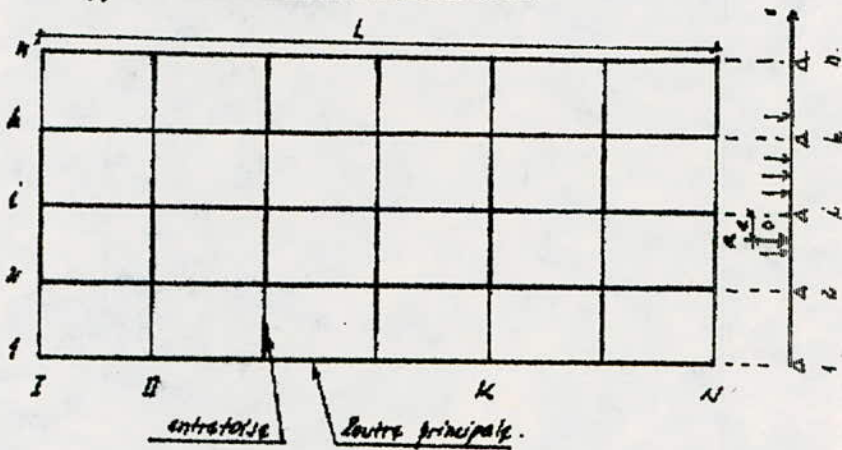
* Cas d'une file : $f_{ef} = \frac{1}{3}$

Section N°	1	2	3	4	5
$M_{1 \text{ max}} \text{ (tm)}$	53,83	92,2	115,16	124,83	134,75

• Cas de 2 files: $f_s f = \frac{1}{3}$

Section n°	1	2	3	4	5
$M_{2 \max} (tm)$	107,66	184,56	239,34	245,66	269,5

3.3.3 Efforts tranchants dus à B_c :



• On suppose que les charges sont appliquées entre les appuis II et N; d'où 1^{er} cas de la méthode de Courbon. Le calcul des efforts est similaire à celui des moments.

• Poutre principale n°1:

• Cas d'1 file: $f_s f = 0,653$.

Section n°	0	1	2	3	4	5
$T_{1 \max} (t)$	34,67	30,4	26	24,54	17,37	13,03

* Cas de 2 files : $f_{2f} = 9483$

Section N°	0	1	2	3	4	5
$T_{1\max} (t)$	50,9	44,63	38,16	31,62	25,5	19,126

- Poutre principale N° 2* Cas d'1 file : $f_{1f} = 1/3$

Section N°	0	1	2	3	4	5
$T_{2\max} (t)$	17,56	15,4	13,16	10,91	8,8	6,6

* Cas de 2 files : $f_{2f} = 1/3$

Section N°	0	1	2	3	4	5
$T_{2\max} (t)$	53,13	30,8	26,33	41,80	17,6	13,2

3.3.4. Moments fléchissants dus à B_c

* Section dangereuse :

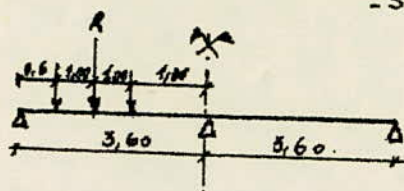
- 1 file : $M = 285,52 \text{ t.m.}$
- 2 files : $M = 571,04 \text{ t.m.}$

- Poutre principale N° 1 :

$$M_1 = \frac{M}{3} \left(1 + 6 \cdot \frac{-2+2-1}{9-1} \cdot \frac{e}{3,6} \right) = \frac{M}{3} \left(1 - \frac{1,5}{3,6} \cdot e \right)$$

- Calcul de e :

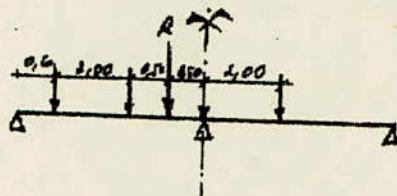
* Cas d'1 tandem : on placera le tandem le plus possible à gauche.



$$e = -2 \Rightarrow \left(1 - \frac{1.5}{3.6} \cdot e\right) = \left(1 + \frac{1.5}{3.6} \cdot 2\right) = 1.83$$

$$\Rightarrow \beta_{1f} = \frac{1.83}{3} = 0.611 \quad \Rightarrow \quad M_1 = 0.611 \cdot 285.52 = 174.45 \text{ tm}$$

* Cas de 2 files :



$$e = -0.5 \Rightarrow \left(1 - \frac{1.5}{3.6} \cdot e\right) = \left(1 + \frac{1.5}{3.6} \cdot 0.5\right) = 1.2083$$

$$\Rightarrow \beta_{2f} = 0.4027 \quad \Rightarrow \quad M_1 = \beta_{2f} \cdot M = 230 \text{ tm}$$

- Autre principale $N=2$:

$$M_2 = \frac{M}{3} \left(1 - 6 \cdot \frac{-3+4-1}{8} \cdot \frac{e}{l}\right) = \frac{M}{3} \left(1 - 6 \cdot \frac{0}{8} \cdot \frac{e}{l}\right) = \frac{M}{3}$$

$$* \text{ cas d'1 file : } \Rightarrow \quad M_2 = \frac{285.52}{3} = 95.2 \text{ tm}$$

$$* \text{ cas de 2 files : } \Rightarrow \quad M_2 = \frac{571.04}{3} = 190.35 \text{ tm}$$

Poutre principale N°1:

* Cas d'1 file: $P_f = 96H$

Section N°	1	2	3	4	5
$M_1 \text{ max. (tm)}$	60,27	120,60	139,74	157,64	164,50

* Cas de 2 files: $P_f = 94027$

Section N°	1	2	3	4	5
$M_1 \text{ max. (tm)}$	79,44	160	184,21	207,8	216,81

Poutre principale N°2:

* Cas d'1 file: $P_f = 1/3$

Section N°	1	2	3	4	5
$M_2 \text{ max. (tm)}$	33	65,8	76,24	86	89,3

* Cas de 2 files: $P_f = 1/3$

Section N°	1	2	3	4	5
$M_2 \text{ max. (tm)}$	65,80	131,6	150,48	170	179,16

3.3.4. Efforts tranchants dus à Bc:

- Route principale N° 1

* Cas d'1 file: $\beta_{1f} = 0,644$.

Section N°	0	1	2	3	4	5
$T_{1 \max} (t)$	19,16	17,20	15,25	13,29	11,34	9,38

* Cas de 2 files: $\beta_{2f} = 0,4027$.

Section N°	0	1	2	3	4	5
$T_{1 \max} (t)$	25,26	22,68	20,1	17,52	14,95	12,37

- Route principale N° 2:

* Cas d'1 file: $\beta_{1f} = 1/2$.

Section N°	0	1	2	3	4	5
$T_{2 \max} (t)$	10,45	9,39	8,32	7,25	6,186	5,12

* Cas de 2 files: $\beta_{2f} = 1/3$.

Section N°	0	1	2	3	4	5
$T_{2 \max} (t)$	20,91	18,77	16,64	14,50	12,37	10,24

- 3.3.5. Moments flechissants dus à Mc120:

$$M_i = \frac{M}{\eta} \left(1 + 6 \cdot \frac{-\eta + 2e - 1}{\eta^2 - 1} \cdot \frac{e}{l} \right)$$

Soit la poutre principale N°1.

$$i = 1, \quad \eta = 3, \quad e = ?$$

$$M_i = \frac{M}{3} \left(1 + 6 \cdot \frac{-3 + 2e - 1}{9 - 1} \cdot \frac{e}{3,6} \right) = \frac{M}{3} \left(1 - \frac{1,5 \cdot e}{3,6} \right)$$

$M_{i, \max}$ quand $\left(1 - \frac{1,5 \cdot e}{3,6} \right)$ est max $\rightarrow \begin{cases} e = 0 \\ |e| / \max \end{cases}$



$$e = (-3,60 + 9,10 + 0,50 + \frac{3,30}{2}) = -1,35 \text{ m.}$$

$$M_{i, \max} = \frac{M}{3} \left(1 + \frac{1,5 \cdot 1,35}{3,6} \right) = \underline{0,521 M.}$$

$$f = 0,521.$$

Section N°	1	2	3	4	5
$M_i \text{ max (tm)}$	180,53	320,94	181,23	481,40	

- Poutre principale N°2

$$f = \frac{1}{3}$$

Section N°	1	2	3	4
$M_i \text{ max (tm)}$	115,5	205,53	269,5	308

3.3.6. Efforts tranchants dus à Mono:

- Nous supposons que les charges sont appliquées entre les appuis II et N, (1^{er} cas de la méthode de Courbon). ce qui entraîne un calcul similaire à celui des moments.

- Poutre principale N° 1:
* $f = 0,521$.

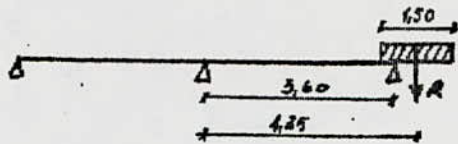
Section N°	0	1	2	3	4	5
$T_1 \text{ max (t)}$	46,58	40,85	34,18	29,29	23,66	52,31

- Poutre principale N° 16
* $f = 1/3$.

Section N°	0	1	2	3	4	5
$T_2 \text{ max (t)}$	33,47	29,30	26,14	22,47	18,80	15,14

3.3.7. Moments flechissants dus aux surch. trottoir.

* 1 seul trottoir:



- Poutre N° 1 : $i=1$

$$M_1 = \frac{M}{3} \left(1 - 1,5 \frac{e}{3,6} \right) = \frac{M}{3} \left(1 + 1,5 \cdot \frac{4,25}{3,6} \right) = 0,923 \cdot M.$$

SECTION N°	1	2	3	4	5
$M_1 \text{ max (tm)}$	11,45	20,35	26,71	30,53	34,80

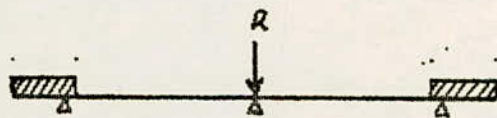
- Poutre principale N°2.

$$M_2 = \frac{M}{3}, \quad f = \frac{1}{3}.$$

SECTION N°	1	2	3	4	5
$M_2 \text{ max (tm)}$	4,13	7,35	9,65	11,025	11,48

* 2 trottoirs:

$$M_1 = M_2 = \frac{M}{3}$$



$$e = 0$$

SECTION N°	1	2	3	4	5
$M_1 \text{ max} = M_2 \text{ max (tm)}$	8,27	14,69	19,29	22,04	22,96.

3.3.8. Efforts tranchants dus aux surcharges trottoirs:

* 1 seul trottoir:

- Poutre principale N°1:

$$T_1 = 0,923 \cdot T \quad f = 0,923.$$

Section N°	0	1	2	3	4	5
$T_1 \text{ max (t)}$	3,63	3,94	4,32	4,78	4,30	3,87

* Poutre principale N° 2 :

$$f = \frac{1}{3}$$

Section N°	0	1	2	3	4	5
$T_2 \text{ max (t)}$	1,31	1,06	0,84	0,64	0,472	0,316

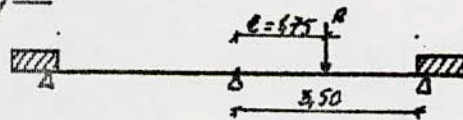
* 2 trottoirs :

$$T_1 = T_2 = \frac{1}{3} T, \quad f = \frac{1}{3}$$

Section N°	0	1	2	3	4	5
$T_1 \text{ max} = T_2 \text{ max (t)}$	2,62	2,12	1,68	1,28	0,94	0,62

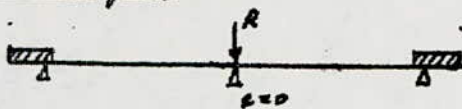
• 3.3-9. Moments fléchissants due à la surcharge A :

* 1 voie chargée :



$$M_i = \frac{M}{3} \left(1 + 6 \cdot \frac{-3 + 2 \cdot 1 - 1}{9 \cdot 1} \cdot \frac{0,75}{3,6} \right) = \frac{M}{3} \left(1 + 45 \cdot \frac{0,75}{3,6} \right) = \frac{M}{3} \left(1 + 45 \cdot \frac{0,75}{3,6} \right) = 9,576 \cdot M$$

* 2 Voies chargées :



$$M_i = \frac{M}{3}$$

- Poutre principale N° 1 :

	Section N°	1	2	3	4	5
1 voie	M_1 max. (tm)	110,7	393,55	516,54	590,35	614,93
2 voies	M_1 max. (tm)	128,11	227,75	298,92	341,63	355,8.

- Poutre principale N° 2 :

	Section N°	1	2	3	4	5
1 voie	M_2 max. (tm)	64,05	113,87	194,16	170,81	177,93
2 voies	M_2 max. (tm)	128,11	227,75	298,92	341,628	355,86

3.3-10. Efforts tranchants dus à la surcharge A :

* 1 voie : $T = 0,576 T$

* 2 voies : $T = \frac{1}{3} T$.

- Poutre principale N° 1 :

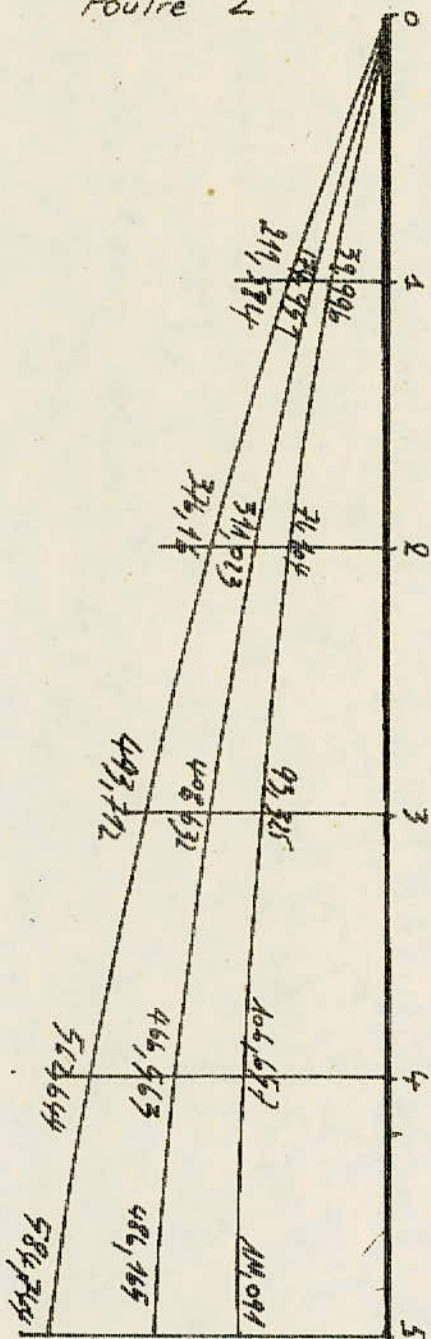
	Section NE	0	1	2	3	4	5
1 voie	T _{s max} (+)	70,27	56,22	42,16	28,11	14,05	0
2 voies	T _{s max} (+)	40,67	32,536	24,40	16,268	8,134	0

- Route principale NE 2 :

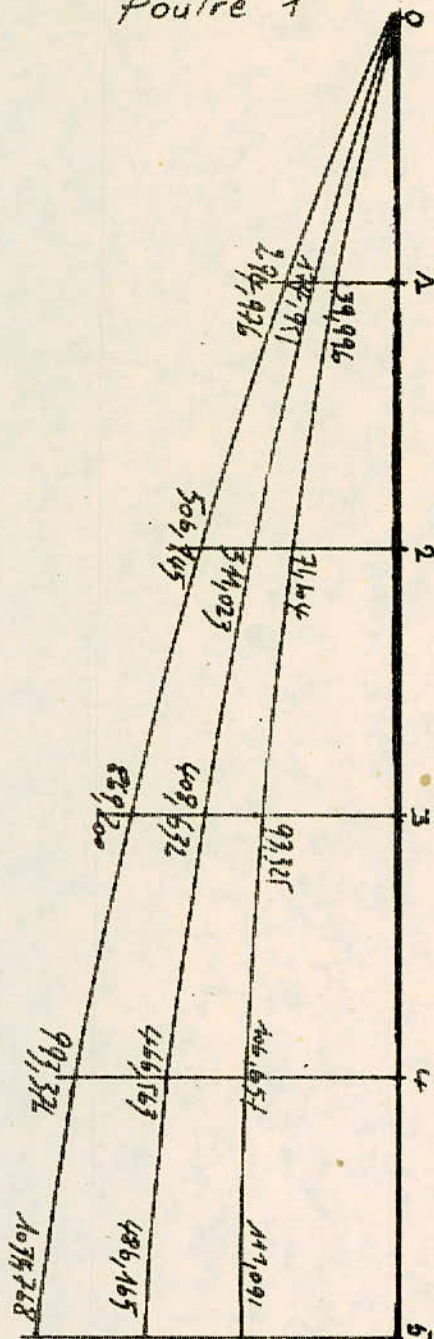
	Section NE	0	1	2	3	4	5
1 voie	T _{s max} (+)	24,33	16,27	12,20	8,134	4,067	0
2 voies	T _{s max} (+)	40,67	32,536	24,40	16,268	8,134	0

Diagramme des moments (Kg.m)

Poutre 2



Poutre 1



section n°0 - poutre n°1

	coeff. de réduct.	T	M	S	T _{max}	M _{max}	S _{total}	T _{max pond.}	M _{max pond.}
C.L	1/3	48,076		1	48,076		4,32	55,54	
C.C.P	1/3	9,610		-	9,610		-	18,68	
A 1 ^{ère} trav.	0,576	70,27		-	70,27		46	112,43	
A 2 ^{ème} trav.	1/3	40,67		-	40,67		-	65,07	
B _c	1 ^{ère} file	0,658	34,67	4108	38,41		-	64,45	
	2 ^{ème} file	0,483	50,9	-	56,39		-	90,22	
B _e	1 ^{ère} file	0,611	19,46	-	21,23		-	33,97	
	2 ^{ème} file	0,403	25,26	-	27,98		-	44,768	
Meiso	0,521	52,31		1099	57,48		1,32	75,87	
trott.	①	0,923	3,63	1	3,63		46	5,80	
	②	1/3	2,62	-	2,62		-	4,182	

section n°0 - poutre n°2

	coeff. de rèp.		T	M	S	T moy.	M moy.	Sond.	T moy. Sond.	M moy. Sond.
	①	②								
C.P.	1/3		42,076		1	42,076		1/32	55,54	
C.C.P.	-		9,61		-	9,610		1/32	12,68	
A 1/1012	-		20,33		-	20,33		1/6	32,528	
A 2/1012	-		40,67		-	40,66		-	65,056	
Bc	1 file	-	17,56		418	19,46		-	34,14	
	2 files	-	53,43		-	58,36		-	94,48	
Bc	1 file	-	10,15		-	11,58		-	18,52	
	2 files	-	20,91		-	23,17		-	37,07	
Me.120	-		33,47		4099	36,78		1/32	48,55	
trou.	①	-	1,31		1	1,31		1/6	2,096	
	②	-	1,62		-	1,62		1/6	4,19	

section n°1 - poutre n°1

	coeff. de rapport	T	M	S	T moy.	M moy.	S moy.	T moy. pond.	M moy. pond.
C-2	1/3	33,66	132,539	1	33,66	132,539	1/32	44,431	174,951
	1/3	7,695	30,3	-	7,695	30,3	-	10,16	39,996
A 1 VOIE	0,576	56,22	110,7	-	56,22	110,7	1/6	89,952	177,12
	1/3	32,536	128,11	-	32,536	128,11	-	52,057	204,976
Bc 2 files	0,658	30,4	106,27	4,08	33,683	117,747	-	52,893	188,395
	0,488	41,63	156,00	-	49,45	172,848	-	70,12	276,576
Bc 1 file	0,611	17,2	60,27	-	19,057	66,772	-	30,492	106,846
	0,403	22,58	79,1	-	25,129	87,975	-	40,207	140,76
Mc120	0,521	46,53	180,53	4,099	51,191	208,402	1/32	67,572	261,891
	① 0,923	2,94	11,45	1	2,94	11,45	1/6	4,704	18,32
AvoH.	② 1/3	2,12	8,27	1	2,12	8,27	-	3,392	13,222

section n°1 - poutre n°2

	coeff. de red.	T	M	S	Trag.	M trag.	long.	Trag. pond.	M trag. pond.
C. 2	1/3	83,66	132,539	1	33,66	132,539	4,32	44,431	174,951
C. C. 2	1/3	7,695	30,3	-	7,695	30,3	-	40,157	39,996
A AVOIE	1/3	46,27	64,05	-	46,27	64,05	46	26,032	100,48
A 2 VOIES	1/3	32,536	128,44	-	32,536	128,44	-	54,057	204,976
Bc	1/6	45,4	53,83	4,08	47,063	59,643	-	27,301	95,419
	2/15	30,8	107,66	-	34,226	149,287	-	54,602	190,859
Bx	1/6	9,39	33	-	10,404	36,564	-	16,646	58,502
	2/15	18,77	65,8	-	20,797	72,906	-	33,275	116,65
Mc 120	-	29,30	145,5	4099	32,75	126,934	432	43,23	167,553
LROH.	①	406	4,13	1	406	4,13	46	4,696	6,608
	②	2,12	8,27	-	2,12	8,27	46	3,392	13,232

section n°2 - poutre n°1

	coeff. de rap.	T	M	S	Traj.	Moyj.	Bond.	Traj. Bond.	Moyj. pond.
C. P.	1/3	85,245	235,624	1	25,245	235,624	1,30	33,323	341,023
C.C.P.	1/3	5,771	53,867	1	5,771	53,867	-	7,647	71,104
A 4voit	0,536	42,16	393,55	-	42,16	393,55	1,6	67,456	629,68
A 2voit	1/3	24,4	227,75	-	24,4	227,75	-	39,04	364,4
B ₂	1/10	26	182	108	23,808	201,656	-	46,090	312,649
	2/10	38,16	267,14	-	42,281	295,99	-	67,65	473,785
B ₂	1/10	45,25	120,6	-	16,897	133,624	-	27,035	213,799
	2/10	20,1	160	-	22,27	177,28	-	35,633	183,648
M.C. 420	0,521	40,85	310,94	1099	44,894	352,713	4,30	59,26	465,581
trah.	① 0,985	2,30	20,35	1	2,32	20,35	1,2	3,712	32,56
	② 1/3	4,68	14,69	-	4,68	14,69	-	4,688	23,504.

Section n°3 - poutre n°1

	coeff. de corr.	T	M	S	T moy.	M moy.	Rond.	T moy. rond.	M moy. rond.
C. 1	1/3	46,83	505,257	1	46,83	509,257	4,32	22,915	408,432
	1/3	3,847	70,701	1	3,847	70,701	4,32	5,078	93,325
C. C. 2	1/3	28,11	516,54	-	28,11	516,54	4,5	44,976	826,464
	1/3	16,168	298,92	-	16,168	298,92	-	16,028	478,272
A 2 voies	1/3	24,54	227,34	4108	23,866	251,892	-	38,186	403,023
	1/3	34,62	333,76	-	35,034	369,806	-	56,055	591,689
Bc	1/12	13,29	139,74	-	14,725	154,831	-	23,56	247,731
	2/12	17,52	184,21	-	19,442	204,404	-	34,06	326,567
Mc120	0,521	34,12	411,23	4099	49,254	202,446	4,32	25,415	267,229
	0,923	4,78	26,71	1	4,78	26,71	4,6	2,848	42,736
trah.	1/5	4,28	19,29	-	4,28	19,29	-	4,048	30,864

section n°3 - poutre n°2

	Coeff. de		T	M	S	T moy.	M moy.	Pond.	T moy. pond.	M moy. pond.
	red.	red.								
C.D	1/3		16,83	309,257	1	16,83	309,257	1,32	24,245	406,216
C.C.2	-		3,847	70,701	-	3,847	70,701	-	5,078	93,325
A : 100%	-		8,134	194,46	-	8,134	194,46	1,6	13,014	314,136
A : 200%	-		16,268	388,92	-	16,268	388,92	-	26,028	478,272
Bc	-		10,91	115,46	1/103	12,088	127,597	-	19,341	204,155
Bc	-		24,82	230,34	-	24,176	155,216	-	38,682	408,346
Bc	-		7,35	76,24	-	8,053	84,473	-	12,852	135,158
Bc	-		14,5	152,48	-	16,056	168,947	-	25,705	270,316
Mc400	-		22,47	269,5	4,098	24,694	286,18	4,32	32,596	390,958
trah.	①	-	0,64	0,65	1	0,64	0,65	1,6	1,024	15,44
	②	-	4,18	19,29	-	1,28	19,89	-	4,048	27,864

Section n°4 - poutre n°1

	Coeff. de rep.	T	M	S	Traj.	Alim.	Bond.	Traj. pond.	Alim. pond.
C.E	1/3	8,415	353,437	1	8,415	353,457	1,32	41,003	426,562
C.C.I	1/3	4,024	80,801	-11	4,024	80,801	-11	4,539	106,657
A : 100%	0,576	14,05	590,33	-11	14,05	590,33	4,6	22,48	944,528
A : 200%	4/3	8,134	344,63	-11	8,134	344,63	-11	13,014	546,608
Bc	1/3	0,658	17,37	4,108	19,245	268,656	-11	30,794	429,85
	2/165	0,483	25,5	-11	28,254	394,448	-11	45,106	634,116
Bc	1/3	0,611	14,34	-11	14,564	174,665	-11	20,103	279,464
	2/165	0,403	14,95	-11	16,564	230,24	-11	25,503	368,387
Mc120	0,521	29,39	481,4	4,099	32,199	529,058	4,32	42,635	698,571
	0,923	4,30	39,53	1	4,3	39,53	4,6	2,08	48,343
trou.	0	0,94	22,04	-11	0,94	22,04	-11	4,504	35,264
	1/3	0,94	22,04	-11	0,94	22,04	-11	4,504	35,264

section n°4 - poutre n°1

	100/100 1/100	T	N	S	Tring.	Mring.	Dond.	Tring.pond.	Mring.pond
C.C.3.	1/3	8,445	333,437	1	8,445	333,437	4,32	11,107	466,565
	-	1,924	80,801	-	1,924	80,801	-	1,539	106,657
A : 100/16	0,572	14,05	590,33	-	14,05	590,33	1,6	22,48	944,528
A : 100/16	1/3	8,134	341,63	-	8,134	341,63	-	13,014	546,608
Bc	1/16	0,658	17,37	1,108	10,245	268,656	-	30,703	426,85
	2/16	0,483	25,5	-	28,254	394,448	-	45,206	634,416
Bt	1/16	0,644	11,34	-	12,564	174,665	-	20,103	279,464
	2/16	0,403	14,94	-	16,564	230,24	-	26,503	368,387
Me 120	0,521	29,39	481,4	1,099	32,299	529,058	4,32	42,635	698,397
toit.	①	0,983	1,30	1	4,3	30,53	4,4	408	48,848
	②	1/3	0,94	-	0,94	22,04	-	1,504	35,264

A. Dimensionnement:

La dalle est bétonnée après montage des poutres métalliques. L'action combinée ne peut s'exercer qu'après durcissement du béton, de sorte que le poids propre (acier + béton) est repris par la poutre métallique seule. Théoriquement la dalle n'est pas sous tension après bétonnage. Les surcharges ultérieures sont reprises par la poutre mixte. Par suite du retrait et du fluage la poutre métallique subit dans le temps des sollicitations secondaires.

Nous avons prévu des ancrages capables de reprendre l'effort trasant au niveau de la jonction acier-béton, ce qui nous permet d'admettre que les parties en béton et en acier forment un seul et même élément. Nous calculerons les tensions dans cet élément en supposant que la loi de Hooke est applicable, moyennant l'introduction d'un coefficient d'équivalence "n", comme dans le calcul du béton armé.

Les déformations élastiques longitudinales de deux fibres voisines, l'une en acier l'autre en béton, étant égales, on a par application de la loi de Hooke:

$$\frac{\sigma_a}{E_a} = \frac{\sigma_b}{E_b} \quad \text{ou encore} \quad \sigma_a = n \cdot \sigma_b$$

$$\text{avec : } n = \frac{E_a}{E_b}$$

La section mixte reprend les efforts dus à c.p, avec un coefficient d'équivalence $n = \sigma$ (c'est dire que l'acier travaille seul).

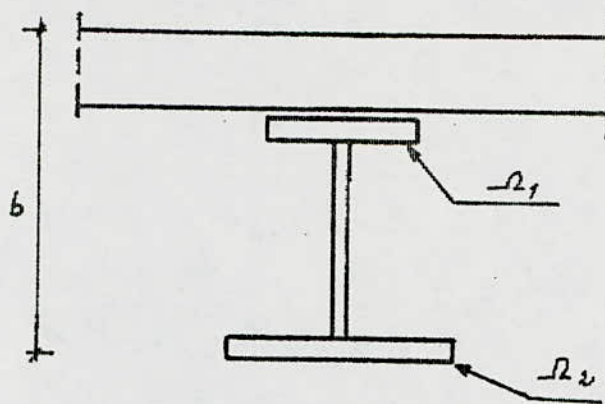
La même section mixte reprend les efforts dus à c.c.p avec $n = 18$

- Elle reprendra les efforts dus au retrait et à la différence de température avec $n=15$.

- Et enfin, elle reprendra les efforts dus aux surcharges avec $n=6$ (on conviendra que le taux de travail du béton est appréciable).

4-1. Approximation de la section de base par les formules de prédimensionnement:

* Prédimensionnement de la section d'acier (à la mi-travée):



Ω_1 = Section de la semelle Supérieure.

Ω_2 = -"- -"- -"- -"- inférieure.

$$\Omega_1 = 1,13 \cdot \frac{M}{b \cdot \sigma_e}$$

M: moment dû à $cl + ccP + loff$.

$$\Omega_2 = \frac{5}{6} \cdot \frac{M}{b \cdot \sigma_e}$$

M: moment dû à $CP + surch$.

$$M_{\text{eff}} = q \cdot \frac{l^2}{8} = 97 \cdot \frac{55^2}{8} = 107,187 \text{ tm.}$$

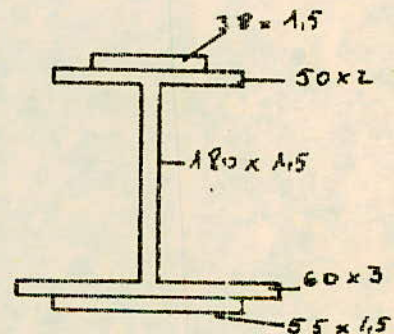
* Poutre 1:

$$\Omega_1 = \frac{113 (486,165 + 111,091 + 107,187) \cdot 10^5}{206 \cdot 2400} = 161,00 \text{ cm}^2$$

$$\Omega_2 = \frac{5}{6} \cdot \frac{(486,165 + 1034,768) \cdot 10^5}{206 \cdot 2400} = 256,36 \text{ cm}^2$$

Soit: $\Omega_1 = 161 \text{ cm}^2$

$$\Omega_2 = 256,5 \text{ cm}^2$$

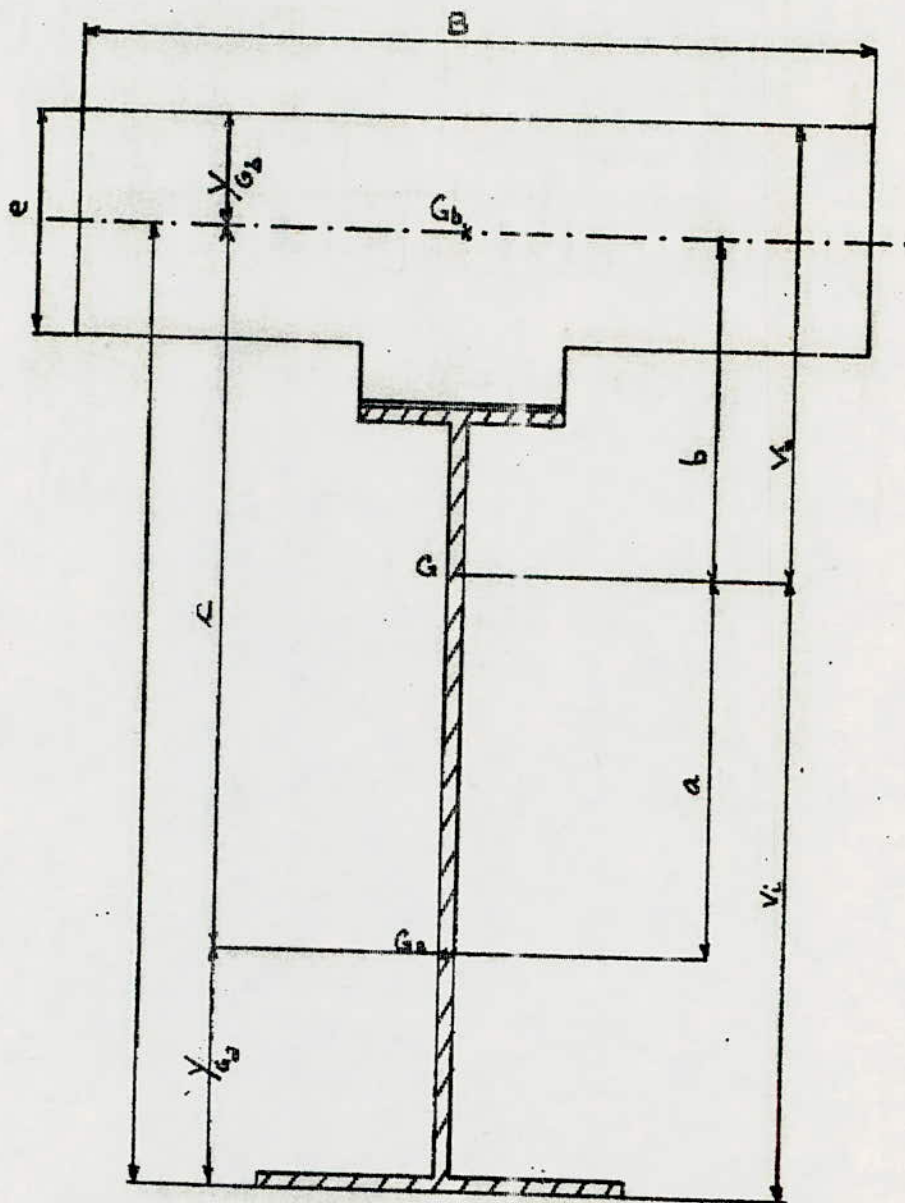


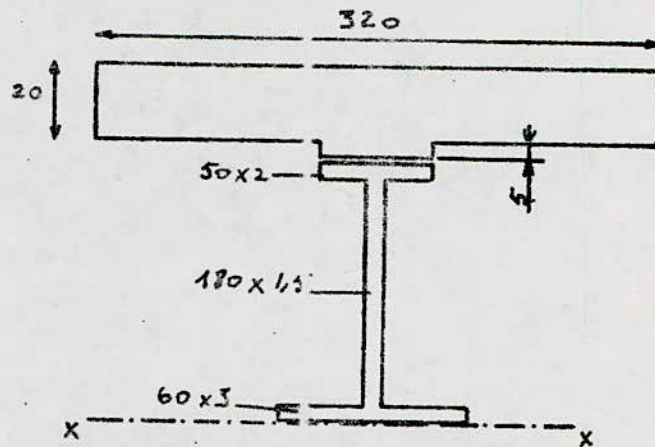
4.2. Vérification à la résistance de la section

prédimensionnée:

- Nous enlevons les semelles additionnelles et nous vérifions la section d'acier ainsi obtenue aux efforts, aux points (0,1,2,...) de la travée.

- Recherche du centre de gravité:





$$y_{GA} = \frac{60 \cdot 3 \cdot 4,5 + 180 \cdot 15 \cdot 93 + 2 \cdot 50 \cdot 184}{60 \cdot 3 + 180 \cdot 15 + 2 \cdot 50} = 79,6$$

$$\Rightarrow y_{GA} = 79,6 \text{ cm.}$$

- Section equivalente :

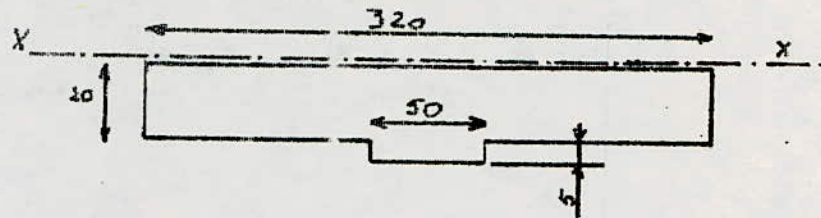
$$\Sigma i = A_a + \frac{A_b}{n_i}$$

$$n = 18 \quad \Rightarrow \quad \Sigma_1 = 550 + \frac{6650}{18} = 919,44 \text{ cm}^2.$$

$$n = 15 \quad \Rightarrow \quad \Sigma_2 = 550 + \frac{6650}{15} = 993,33 \text{ cm}^2.$$

$$n = 6 \quad \Rightarrow \quad \Sigma_3 = 550 + \frac{6650}{6} = 1658,3 \text{ cm}^2.$$

- Calcul de y_{Gb} :



$$y'_{G_B} = \frac{320 \cdot 20 \cdot 10 + 50 \cdot 5 \cdot 23,5}{6400 + 250} = 10,47 \text{ cm.}$$

$$y_{G_B/xx} = 210 - 10,47 = \underline{199,53 \text{ cm.}}$$

Soit la distance entre y_{G_A} et y_{G_B} :

$$c = y_{G_B} - y_{G_A} = 199,53 - 79,6 = \underline{119,93 \text{ cm.}}$$

- Détermination du centre de gravité de la section mixte/GA

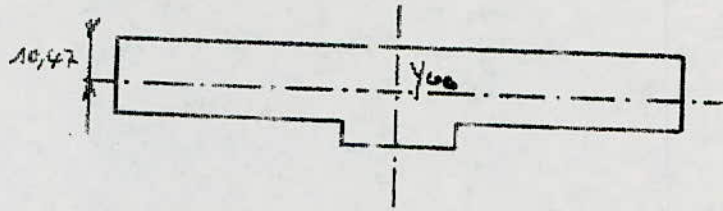
$$a_i = \frac{A_i \cdot c}{\sum A_i}$$

$$- a_1 = \frac{6650 \cdot 119,93}{18 \cdot 919,44} = 48,19 \text{ cm.}$$

$$- a_2 = \frac{6650 \cdot 119,93}{15 \cdot 993,33} = 53,53 \text{ cm.}$$

$$- a_3 = \frac{6650 \cdot 119,93}{6 \cdot 1658,33} = 89,15 \text{ cm.}$$

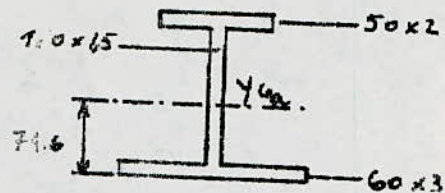
- Inertie du béton / y_{G_B} :



$$I_B = \frac{(20)^3 \cdot 320}{12} + (0,47)^2 \cdot 320 \cdot 10 + \frac{50 \cdot (5)^3}{12} + (12,03)^2 \cdot 50 \cdot 5$$

$$\Rightarrow I_B = 451448,14 \text{ cm}^4$$

- Inertie de l'acier / y_{CG} :



$$I_A = \frac{50 \cdot 2^3}{12} + (40,4)^2 \cdot 2 \cdot 50 + \frac{15 \cdot (180)^3}{12} + (13,4)^2 \cdot 180 \cdot 1,5 + \frac{60 \cdot 3^3}{12} + (7,8)^2 \cdot 60 \cdot 3 = 2965515,3 \text{ cm}^4$$

$$I_A = 2965515,3 \text{ cm}^4$$

- Inertie de la section mixte

$$I_{mixte} = I_A + \frac{I_B}{n} + \frac{c^2 \cdot A_a \cdot A_s}{m \cdot I_c}$$

$$n=6 \Rightarrow I_6 = 2965515,3 + \frac{251448,14}{6} + \frac{(119,93)^2 \cdot 6650,550}{6 \cdot 1658,3}$$

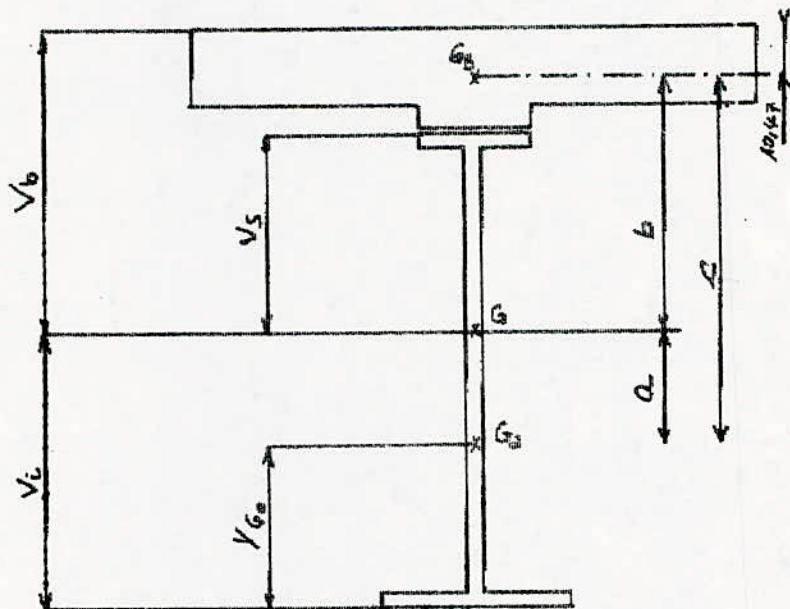
$$\underline{I_6 = 82,94621,5 \text{ cm}^4}$$

$$n=15 \Rightarrow I_{15} = 2965515,3 + \frac{251448,14}{15} + \frac{(119,93)^2 \cdot 6650,550}{15 \cdot 993,33}$$

$$\underline{I_{15} = 6512932,6 \text{ cm}^4}$$

$$n=18 \Rightarrow I_{18} = 2965515,3 + \frac{251448,14}{18} + \frac{(119,93)^2 \cdot 6650,550}{18 \cdot 919,44}$$

$$\underline{I_{18} = 6119039,3 \text{ cm}^4}$$



$$\underline{n=12}$$

$$\Sigma_1 = 550 + \frac{6650}{12} = 919,44 \text{ cm}^2.$$

$$c = 119,93 \text{ cm}$$

$$b = \frac{A \cdot c}{\Sigma_1} = \frac{550 \cdot 119,93}{919,44} = 71,74 \text{ cm}.$$

$$a = \frac{B \cdot c}{n \cdot \Sigma_1} = \frac{6650 \cdot 119,93}{12 \cdot 919,44} = 48,19 \text{ cm}.$$

$$\underline{n=15}$$

$$\Sigma_2 = 550 + \frac{6650}{15} = 993,33 \text{ cm}.$$

$$b = \frac{A \cdot c}{\Sigma_2} = \frac{550 \cdot 119,93}{993,33} = 66,4 \text{ cm}.$$

$$a = \frac{B \cdot c}{n \cdot \Sigma_2} = \frac{6650 \cdot 119,93}{15 \cdot 993,33} = 53,56 \text{ cm}.$$

$$\underline{n=6}$$

$$\Sigma_3 = 550 + \frac{6650}{6} = 1658,3 \text{ cm}.$$

$$b = \frac{A \cdot c}{\Sigma_3} = \frac{550 \cdot 119,93}{1658,3} = 39,78 \text{ cm}.$$

$$a = \frac{B \cdot c}{n \cdot \Sigma_3} = \frac{6650 \cdot 119,93}{6 \cdot 1658,3} = 80,16 \text{ cm}.$$

$$- v_b = b + 10,4$$

$$v_s = b - 14,53$$

$$v_i = a + 79,6$$

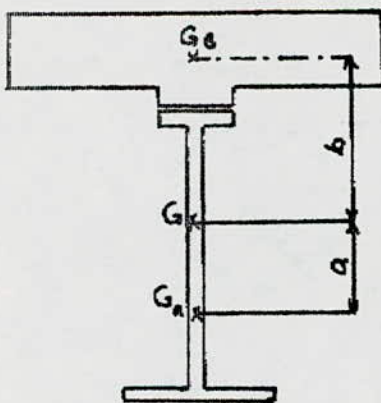
	∞	18	15	6
I	2965515,3	6119039,3	6512932,3	8294621,5
v_b	/	82,21	76,8	50,8
v_s	105,4	57,21	51,87	25,25
v_i	79,6	133,16	133,16	159,76
I/v_b	/	74431,81	84803,805	163279,95
I/v_s	28135,82	106957,51	125562,6	328499,9
I/v_i	37255,22	45952,53	48910,58	51919,27
A			550	
B			443,33	
W			29437,11	

4-2-1. Effet du retrait et de la température :

Le retrait est un raccourcissement, non élastique du béton, qui s'étend sur plusieurs années. Le phénomène dépend d'un grand nbre de facteurs et en premier lieu des conditions atmosphériques et de l'importance des armatures. Les autres facteurs qui ont une influence sur la valeur du retrait sont :

- La sollicitation.
- quantité et qualité du ciment mis en oeuvre.
- La quantité d'eau de gâchage.
- Le procédé de compactage etc...

La dalle en béton armé est solidaire des poutres métalliques par l'intermédiaire des connecteurs. Le retrait ne peut donc s'effectuer librement. Il se crée des contraintes dans la poutre mixte. L'ouvrage étant une poutre sur deux appuis il se développe des effets isostatiques uniquement.



B = section, rendue homogène, du béton avec $n = 18$.

A = section de l'acier.

W = Moment statique du béton par rapport au centre de gravité de la section mixte.

$$\beta = \frac{B}{B+A}$$

4.2.1.1. Retrait sur la poutre isostatique:

Le retrait se décompose en :

a) Une fraction uniforme dans le béton

$$\sigma_{1b} = E_b \cdot \epsilon_r \quad \epsilon_r = \text{coefficient de retrait.}$$

$$\sigma_{1b} = \frac{E_a}{\eta} \cdot \epsilon_r.$$

b) Une compression centrée dans la section totale.

$$F = n \cdot B \cdot \sigma_{1b} \quad , \quad \text{Celle force } F \text{ crée:}$$

$$- \text{ une compression dans l'acier: } \sigma_{2a} = -n \cdot \beta \cdot \sigma_{1b}.$$

$$- \text{ une compression dans le béton: } \sigma_{2b} = -\beta \cdot \sigma_{1b}.$$

Le béton est finalement soumis à une contrainte :

$$\sigma_b = \sigma_{1b} - \sigma_{2b} = \sigma_{1b} - \beta \cdot \sigma_{1b}$$

$$\Rightarrow \boxed{\sigma_b = \sigma_{1b} (1 - \beta)}$$

c) une flexion due à l'excentrement de la force de compression.

$$\boxed{M = n \cdot w \cdot \sigma_{1b}}$$

4.2.1.2. Calcul des contraintes dues au retrait:

.Elles sont données par le tableau suivant:

	DALLE	SECTION MIXTE	
	Traction uniforme dans le béton	F	M
σ_b	$\sigma_{1b} = E_b \cdot \epsilon_r$	$-\beta \cdot \sigma_{1b}$	$-W \cdot \sigma_{1b} \cdot \frac{V_b}{I_{15}}$
σ_s	/	$-n\beta \cdot \sigma_{1b}$	$-n \cdot W \cdot \sigma_{1b} \cdot \frac{V_s}{I_{15}}$
σ_i	/	$-n\beta \cdot \sigma_{1b}$	$-n \cdot W \cdot \sigma_{1b} \cdot \frac{V_i}{I_{15}}$

$$\sigma_b = \sigma_{1b} \left(1 - \beta - n \cdot W \cdot \frac{V_b}{I_{15}} \right) = E_b \cdot \epsilon_r \left(1 - \beta - W \cdot \frac{V_b}{I_{15}} \right)$$

$$\sigma_s = E_b \cdot \epsilon_r \cdot \left(-n\beta - n \cdot W \cdot \frac{V_s}{I_{15}} \right)$$

$$\sigma_i = E_b \cdot \epsilon_r \cdot \left(-n\beta + n \cdot W \cdot \frac{V_i}{I_{15}} \right)$$

A.N:

B = section de béton rendu homogène avec $n=15$

$$\beta = \frac{B}{B+A} = \frac{443,33}{443,33+550} = 0,446$$

$$E_b \cdot \epsilon_r = \frac{21 \cdot 10^5}{15} \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 56 \text{ bars.}$$

$$\sigma_b = 56 \left(1 - 0,446 - \frac{29437,11 \cdot 76,8}{6512932,3} \right) = + 11,58 \text{ bars.}$$

$$\sigma_s = 56 \left(-0,446 \cdot 15 - 15 \cdot \frac{29437,11 \cdot 183,16}{6512932,3} \right) = - 571,57 \text{ bars}$$

$$\sigma_i = 56 \left(-15.0,446 + 15. \frac{29437,41.133,16}{6512932,3} \right) = 1152,59 \text{ bars}$$

$$\sigma_b = 11,58.132 = \underline{15,28 \text{ bars}}$$

$$\sigma_s = -571,571.132 = \underline{-754,47 \text{ bars}}$$

$$\sigma_i = 132,59.1,32 = \underline{175 \text{ bars}}$$

4.2.1.2 - Temperature :

La différence de température cause des contraintes équivalentes au tiers des contraintes causées par le retrait.

$$\sigma_b = \frac{11,58}{3}.45 = \underline{5,79 \text{ bars}}$$

$$\sigma_s = -\frac{571,571}{3}.45 = \underline{-285,78 \text{ bars}}$$

$$\sigma_i = \frac{132,58}{3}.45 = \underline{66,29 \text{ bars}}$$

Verification des contraintes dans la section.

N° 1 :

	n	M tm	σ_b	σ_s kg/cm ²	σ_c
c.l.	∞	174,951	—	-621,80	469,60
c.c.l.	18	39,996	-2,98	-37,39	87,03
Rat.	15		15,28	-754,17	175,00
diff. 0:	15		5,79	-285,78	66,29
Surch. + froth	6	294,672	-30,08	-89,70	567
total			-11,99	-1789,14	1364,92
Compress.			-137	-2400	+2400.

Verification des contraintes dans la section

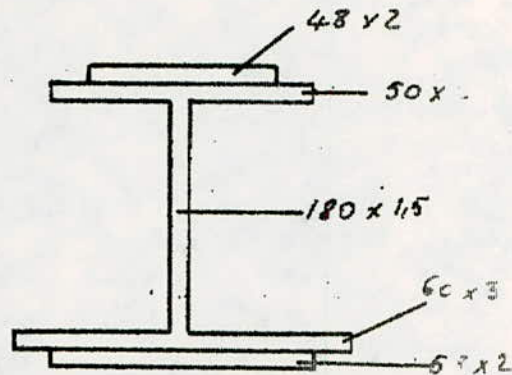
N° 2

	n	M (cm)	σ_b	σ_s	σ_c
C.P	0	311,023	—	- 1105,43	834,84
C.C.P	12	71,104	- 5,30	- 66,42	154,73
ret.	15		15,28	- 754,47	175
diff. 0°	15		5,79	- 285,78	66,29
Surch. + trah.	6	506,145	- 51,66	- 154,07	974,87
total			- 35,89	- 1366,23	2205,73
Comp.			- 137	- 2400	2400.

4.2.4. Vérification au point ⑤:

4.2.4.1. Détermination des caractéristiques géométriques

- tiges:



$$y_{GA} = \frac{(48 \cdot 2 \cdot 188) + (50 \cdot 2 \cdot 186) + (180 \cdot 15 \cdot 95)}{48 \cdot 2 + 50 \cdot 2 + 180 \cdot 15 + 60 \cdot 3 + 58 \cdot 2} + \frac{(60 \cdot 3 \cdot 5) \cdot (58 \cdot 2 \cdot 1)}{48 \cdot 2 + 50 \cdot 2 + 180 \cdot 15 + 60 \cdot 3 + 58 \cdot 2}$$

$$\Rightarrow y_{GA} = \underline{83,44 \text{ cm.}}$$

$$y_{GB} = 214 - 10,4 = \underline{203,6 \text{ cm.}}$$

$$c = y_{GB} - y_{GA} = 203,6 - 83,44 \Rightarrow c = \underline{120,16 \text{ cm.}}$$

* Sections équivalentes:

$$\Sigma I_c = I_a + \frac{I_b}{n}$$

$$\underline{n=18} \quad \Sigma_1 = 762 + \frac{6650}{18} = 1131,4 \text{ cm}^2$$

$$\underline{n=15} \quad \Sigma_2 = 762 + \frac{6650}{15} = 1205,3 \text{ cm}^2$$

$$\underline{n=6} \quad \Sigma_3 = 762 + \frac{6650}{6} = 1870,3 \text{ cm}^2$$

* Determination de la section mixte / GA :

$$a_i = \frac{A_b \cdot c}{n \cdot \Sigma_i} \quad , \quad b_i = \frac{A_a \cdot c}{n \cdot \Sigma_i}$$

$$\underline{n=18} \quad \Sigma_1 = 1131,4 \text{ cm}^2 \quad , \quad c = 120,16 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow a_1 = \frac{6650 \cdot 120,16}{18 \cdot 1131,4} = 39,24 \text{ cm.}$$

$$b_1 = \frac{762 \cdot 120,16}{1131,4} = 80,93 \text{ cm.}$$

$$\underline{n=15} \quad \Sigma_2 = 1205,3 \text{ cm}^2 \quad , \quad c = 120,16 \text{ cm.}$$

$$\Rightarrow a_2 = \frac{6650 \cdot 120,16}{15 \cdot 1205,3} = 44,19 \text{ cm.}$$

$$b_2 = \frac{762 \cdot 120,16}{1205,3} = 75,96 \text{ cm.}$$

$$\underline{n=6} \quad , \quad \Sigma_3 = 1870,3 \text{ cm}^2.$$

$$a_3 = \frac{6650 \cdot 120,16}{6 \cdot 1870,3} = 71,20 \text{ cm.}$$

$$b_3 = \frac{762 \cdot 120,16}{1870,3} = 48,96 \text{ cm.}$$

* Calcul des différentes Inertias :

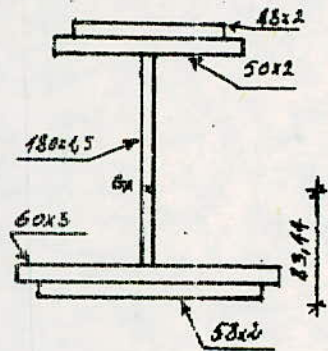
$$I_a = \frac{48 \cdot 2^3}{12} + (104,56)^2 \cdot 48 \cdot 2 + \frac{50 \cdot 2^3}{12} + 50 \cdot 2 \cdot (102,56)^2 +$$

$$+ \frac{15 \cdot 180^3}{12} + 180 \cdot 15 \cdot (11,56)^2 + \frac{60 \cdot 3^3}{12} + 60 \cdot 3 \cdot (79,94)^2 +$$

$$+ \frac{58 \cdot 2^3}{12} + 58 \cdot 2 \cdot (82,44)^2.$$

$$\Rightarrow \boxed{I_a/G_a = 4805374 \text{ cm}^4}$$

$$\boxed{I_b/G_b = 251448 \text{ cm}^4}$$



* Inertia de la section mixte :

$$I_{mixte} = I_A + \frac{I_b}{\eta} + c^2 \cdot \frac{A_b \cdot A_a}{\eta \cdot \sum i}$$

$$I_{12} = 4805374 + \frac{254448}{12} + \frac{(120,16)^2 \cdot 762.6650}{12 \cdot 1131,4} = 8411934$$

$$I_{15} = 4805374 + \frac{254448}{15} + \frac{(120,16)^2 \cdot 762.6650}{15 \cdot 1205,3} = 8368921 \text{ cm}^4$$

$$I_6 = 4805374 + \frac{254448}{6} + \frac{(120,16)^2 \cdot 762.6650}{6 \cdot 1270,3} = 11367076 \text{ cm}^4$$

	∞	18	15	6
I	4805374	8411934	8868921	11367076
V_6	/	91,33	86,36	59,36
V_6	105,56	122,68	61,53	34,43
V_i	83,44	122,68	127,63	154,64
I/V_6	/	92104,83	102697,1	191493,16
I/V_6	45522,68	126685,75	144139,78	330150,33
I/V_i	57590,77	68568,1	69489,3	73506,70
A			762	
B			443,33	
W			33673,07	

* Estimation du retrait :

$$\sigma_b = \left(1 - \beta - w \cdot \frac{V_b}{I_{15}} \right) \cdot E_b \cdot \varepsilon_r$$

$$\sigma_s = E_b \cdot \varepsilon_r \cdot \left(-n \cdot \beta - n \cdot w \cdot \frac{V_s}{I_{15}} \right)$$

$$\sigma_c = E_b \cdot \varepsilon_r \cdot \left(-n \cdot \beta + n \cdot w \cdot \frac{V_i}{I_{15}} \right)$$

$$\beta = \frac{B}{B+A} = \frac{443,3}{443,3+762} = 0,368$$

$$\sigma_b = 56 \cdot \left(1 - 0,368 - \frac{35673 \cdot 86,36}{8868921} \right) = 17,03 \text{ bars}$$

$$\sigma_s = 56 \cdot \left(-15 \cdot 0,368 - \frac{15 \cdot 35673 \cdot 64,53}{8868921} \right) = -505,35 \text{ bars}$$

$$\sigma_c = 56 \cdot \left(-15 \cdot 0,368 + \frac{15 \cdot 35673 \cdot 127,63}{8868921} \right) = 97,9 \text{ bars}$$

$$\sigma_b = 17,03 \cdot 1,32 = \underline{22,48 \text{ bars}}$$

$$\sigma_s = -505,35 \cdot 1,32 = \underline{667,06 \text{ --}}$$

$$\sigma_c = 97,9 \cdot 1,32 = \underline{129,23 \text{ --}}$$

$$\text{diff. } \sigma_b = 17,03 \cdot \frac{1,5}{3} = \underline{8,515 \text{ bars}}$$

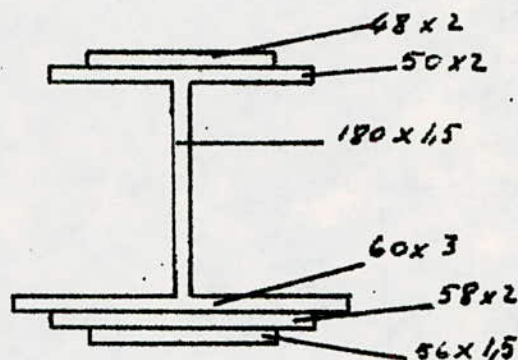
$$\text{diff. } \sigma_s = -505,35 \cdot \frac{1,5}{3} = \underline{-252,6 \text{ bars}}$$

$$\text{diff. } \theta_i = 97,9 \cdot \frac{15}{3} = 48,95 \text{ bars.}$$

Vérification des contraintes dans la section

N° 3.

	n	M	σ_b	σ_s	σ_i
C.P	∞	408,652		-897,64	709,54
C.C.2	18	93,325	-5,63	-73,66	136,10
Rat.	15		22,48	-667,06	129,23
diff. θ	15		8,52	-252,6	48,95
Surch + trah.	6	844,784	-73,52	-255,88	1149,26
total			-43,15	-2446,84	2173,08
Comp.			-137 bars	-2400	-2400

4-2-5. Verification au point ⑤ : .4-2-5-1. Determination des caractéristiques géomé-triques :

$$y_{GA} = \frac{48 \cdot 2 \cdot 189,5 + 50 \cdot 2 \cdot 187,5 + 180 \cdot 15 \cdot 96,5 + 60 \cdot 3 \cdot 5}{48 \cdot 2 + 50 \cdot 2 + 180 \cdot 15 + 60 \cdot 3 + 58 \cdot 2 + 56 \cdot 15} + \frac{58 \cdot 2 \cdot 2,5 + 56 \cdot 15 \cdot 0,75}{48 \cdot 2 + 50 \cdot 2 + 180 \cdot 15 + 60 \cdot 3 + 58 \cdot 2 + 56 \cdot 15}$$

$$y_{GA} = \underline{75,94 \text{ cm}}$$

$$y_{GB} = 215,5 - 10,4 = \underline{205,1 \text{ cm}}$$

$$c = y_{GB} - y_{GA} = 205,1 - 75,94 = \underline{129,16 \text{ cm}}$$

* Section équivalente :

$$\Sigma I_i = A_a + \frac{A_b}{n}$$

$$n = 18 \rightarrow \Sigma I_1 = 846 + \frac{6650}{18} = 1215,4 \text{ cm}^4$$

$$n = 15 \rightarrow \Sigma I_2 = 846 + \frac{6650}{15} = 1289,3 \text{ cm}^4$$

$$n=6 \rightarrow \Sigma_3 = 846 + \frac{6650}{6} = 1954,3 \text{ cm}^2.$$

* Determination du centre de gravité de la section mixte / G_A :

$$a_i = \frac{A_i \cdot c}{n_i \Sigma_i} \Rightarrow a_1 = \frac{6650}{18} \cdot \frac{129,16}{1215,4} = 39,26 \text{ cm}$$

$$a_2 = \frac{6650}{15} \cdot \frac{129,16}{1289,3} = 44,41 \text{ cm}$$

$$a_3 = \frac{6650}{6} \cdot \frac{129,16}{1954,3} = 73,25 \text{ cm}$$

* Calcul des différentes inerties :

$$\begin{aligned} I_{a/G_A} &= \frac{48 \cdot 2^3}{12} + 48 \cdot 2 \cdot (113,56)^2 + \frac{50 \cdot 2^3}{12} + 50 \cdot 2 \cdot (111,56)^2 + \\ &+ \frac{45 \cdot 180^3}{12} + 180 \cdot 45 \cdot (20,56)^2 + \frac{60 \cdot 3^3}{12} + 60 \cdot 3 \cdot (72,94)^2 + \\ &+ \frac{58 \cdot 2^3}{12} + 58 \cdot 2 \cdot (73,44)^2 + \frac{56 \cdot 115^3}{12} + 56 \cdot 45 \cdot (76,69)^2. \end{aligned}$$

$$I_{a/G_A} = \underline{5351473 \text{ cm}^4}$$

$$I_{b/G_b} = \underline{251448 \text{ cm}^4}$$

* Inertie de la section mixte :

$$I_{\text{mixte}} = I_A + \frac{I_b}{n} + c^2 \cdot \frac{A_b \cdot A_a}{n \cdot \Sigma_i}$$

$$v_b = b + 10,4 \text{ km} \quad , \quad v_s = b - 14,53 \text{ km} \quad , \quad v_i = a + 75,74 \text{ km} .$$

	∞	18	15	6
I	5351473	9635140	10491884	13357508
v_b	/	99,88	91,75	66,75
v_s	114,56	74,95	69,88	44,11
v_i	75,94	115,20	120,35	149,19
I/v_b	/	964467,25	110732,3	20263,5
I/v_s	46713,3	128554,3	150270,5	324890,7
I/v_i	70469,7	83638,45	87178,1	89517
A			810	
B			443,3	
W			37390,3	

* Retrait :

$$\beta = \frac{B}{B+A} = 0,345$$

$$\sigma_b = 56 \cdot \left(1 - 0,345 - \frac{37392,3 \cdot 94,75}{10491884} \right) = 17,77 \text{ bars.}$$

$$\sigma_s = 56 \cdot \left(-15 \cdot 0,345 - \frac{15 \cdot 37392,3 \cdot 69,82}{10491884} \right) = -198,82 \text{ bars}$$

$$\sigma_i = 56 \cdot \left(-15 \cdot 0,345 + \frac{15 \cdot 37392,3 \cdot 120,35}{10491884} \right) = 70,52 \text{ bars}$$

$$\sigma_b = 17,77 \cdot 1,32 = 23,56 \text{ bars} \Rightarrow \text{diff. } \sigma_b = 17,77 \cdot \frac{1,5}{3} = 8,85 \text{ bars}$$

$$\sigma_s = -198,82 \cdot 1,32 = -262,44 \text{ bars} \Rightarrow \text{diff. } \sigma_s = -198,82 \cdot \frac{1,5}{3} = -99,41$$

$$\sigma_i = 70,52 \cdot 1,32 = 93,1 \text{ bars} \Rightarrow \text{diff. } \sigma_i = 70,52 \cdot \frac{1,5}{3} = 35,26$$

- Verification des contraintes au pt. N=5 :

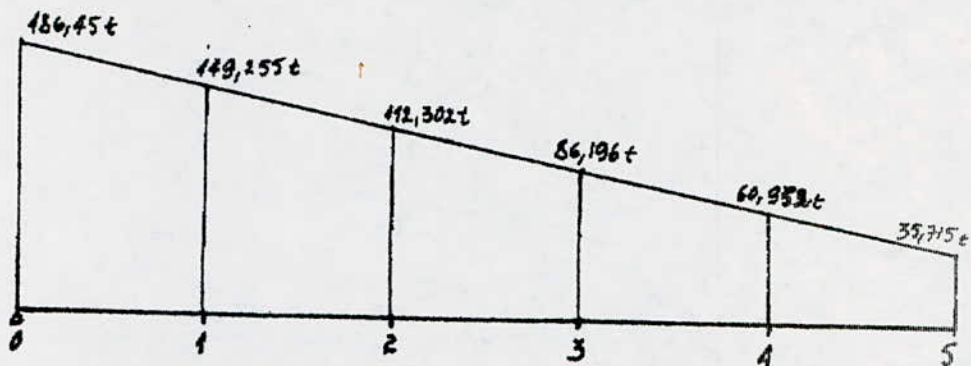
	n	M (cm)	σ_b	σ_s	σ_i
C.P	∞	486,165	/	-1040,74	689,89
C.C2	18	111,091	-6,39	-86,41	132,83
Ret.	15		23,36	-658,5	93,1
Alf. D:	15		8,85	-249,4	35,26
Surch. + trah.	6	1034,768	-85,26	-318,49	1155,5
Aotel			-59,44	-2353,54	2106,5°
Compara.			-137	-2400	2400.

- Verification des contraintes au pt 5 :

		M	σ_b	σ_s	σ_r
C.P	∞	466,563	/	-998,78	662,07
C.L.P	18	106,657	-6,44	-82,96	127,52
Rat.	15		23,36	-658,5	93,1
diff. B:	15		8,85	-249,4	35,26
Surch. + trou.	6	993,376	-81,85	-305,75	1109,33
total			-55,78	-2025,39	2027,28
Compar.			-137	-2400	2400.

A.2.6. Vérification des contraintes de cisaillement dans la poutre:

* Diagramme des efforts tranchants dans la poutre ①: (C.R. + C.C.R. + Surch. + trottoirs).



La section d'âme est constante et est égale à :

$$1800 \cdot 15 = 27000 \text{ mm}^2 = 270 \text{ cm}^2.$$

$$\tau_0 = \frac{186,450}{270} = 690,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_4 = \frac{60,953}{270} = 225,6$$

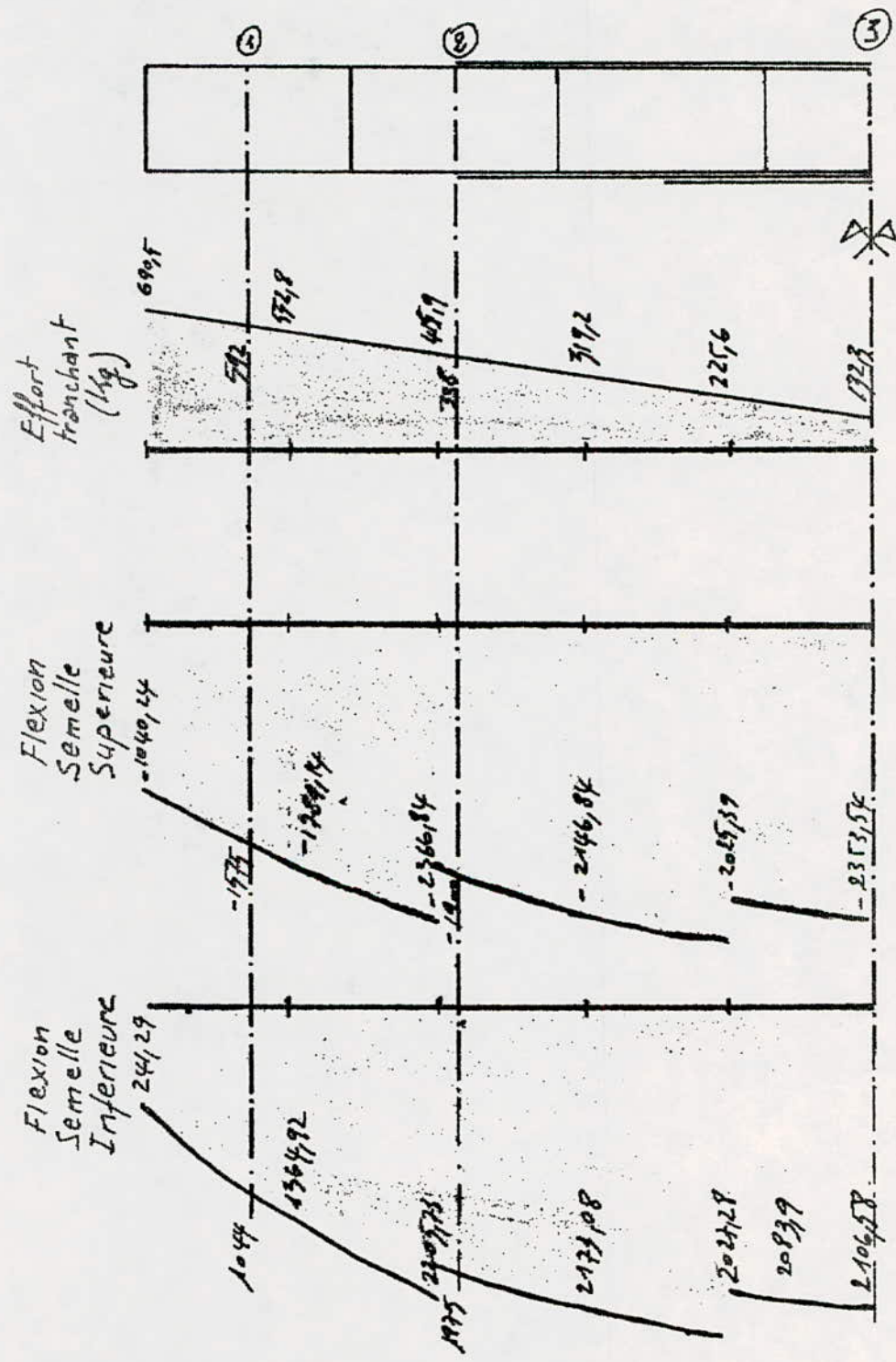
$$\tau_1 = \frac{149,255}{270} = 552,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_5 = \frac{35,715}{270} = 132,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_3 = \frac{86,196}{270} = 319,2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau < 0,6 \cdot \sigma_a = 0,6 \cdot 2400.$$

$$\Rightarrow \underline{\tau < 1440 \text{ kg/cm}^2.}$$

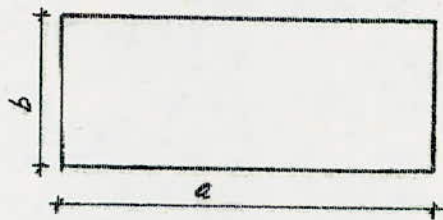


4-3. Voilement des âmes de poutres:

L'âme de la poutre est une plaque de dimensions $a \times b$ ($a = a \cdot b$) et d'épaisseur e .

Elle est délimitée par les semelles et les raidisseurs verticaux. La flexion pure introduit dans la tôle des contraintes normales de compression, la partie supérieure par exemple, et de traction en partie inférieure. L'étude de la stabilité, par les méthodes de l'énergie par exemple, conduit à définir une contrainte σ^* , dite critique de voilement. Théoriquement si $\sigma > \sigma^*$, l'équilibre de la tôle devient instable.

Dans le cas de cisaillement pur, le panneau de dimensions ($a \times b$) résiste jusqu'à ce que les contraintes de membranes obliques atteignent la limite élastique σ_e .



e : épais. en cm.

b : en m.

a : variable, $a = a \cdot b$.

4-3-1. Méthode des raidisseurs rigides :-

Dans la vérification de la stabilité des panneaux élémentaires non raidis, on doit vérifier :

$$\left(S_r \cdot \frac{\sigma}{\sigma^*} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau^*} \right)^2 \leq 1,8.$$

48: cette borne est fixée compte tenu du fait que σ et τ ne sont pas des contraintes admissibles mais résultent de combinaisons d'actions.

σ^*
 τ^* | Contraintes critiques du panneau élémentaire

$$\sigma^* = \sigma_c \cdot K_\sigma = \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \cdot \left(\frac{a}{b}\right)^2 \cdot K_\sigma$$

$$\tau^* = \tau_c \cdot K_\tau = \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \cdot \left(\frac{a}{b}\right)^0 \cdot K_\tau$$

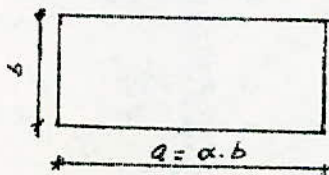
E : module d'élasticité de l'acier, $E = 21 \cdot 10^5$

ν : coeff. de Poisson, pour l'acier: $\nu = 0,3$

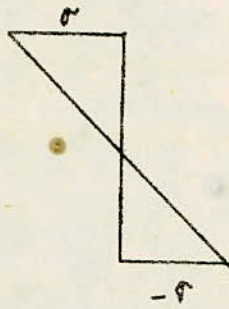
$$S_\sigma = \begin{cases} 1,8 & \text{si } \psi = 1 \\ 1,4 + 0,4\psi & \text{si } 1 \geq \psi \geq -1 \\ 1 & \text{si } -1 \geq \psi \end{cases}$$

avec: $\psi = \frac{\sigma_{\text{traction}}}{\sigma_{\text{compression}}}$

Les valeurs de K_σ et K_τ pour un panneau non raidi et articulé sur les bords (Page 41 ci-jointe).



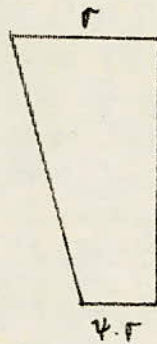
$$\underline{\psi \leq -1}$$



$$\alpha \geq 0,667.$$

$$K_{\sigma} = 13,9.$$

$$\underline{0 \leq \psi \leq 1}$$



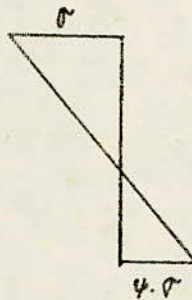
$$\alpha \geq 1$$

$$K_{\sigma} = \frac{8,4}{\psi + 1,1}.$$

$$\alpha \leq 1$$

$$K_{\sigma} = (\alpha + 1/\alpha)^2 \cdot \frac{2,1}{\psi + 1,1}$$

$$\underline{-1 \leq \psi \leq 0}$$



$$K_{\sigma} = (1 + \psi) \cdot \underset{(\psi=0)}{K_{\sigma}} - \psi \cdot \underset{(\psi=-1)}{K_{\sigma}} + 10\psi(1 + \psi)$$

Cisaillement :

$$\underline{\alpha \geq 1}$$

$$K_{\tau} = 5,34 + \frac{\psi}{\alpha^2}$$

$$\underline{\alpha \leq 1}$$

$$K_{\tau} = \psi + \frac{5,34}{\alpha^2}$$

	1	2	3
a	5	5	5
b	1,80	1,8	1,80
c	1,5	1,5	1,5
$\alpha = a/b \quad a > b$	2,77	2,77	2,77
K_C	5,86	5,86	5,86
$\frac{\pi^2 E}{16(1-\nu^2)} \cdot \left(\frac{a}{b}\right)^2$	131,58	131,58	131,58
τ^*	771,06	771,06	771,06
τ	592	338	132,3
$(\tau/\tau^*)^2$	0,529	0,192	0,029
σ_3	-1575	-1900	-2353,54
σ_2	1044	1875	2106,58
ψ	-0,66	-0,98	-0,89
S_F	1,136	1,008	1,024
K_D	2402	24,629	24,69
$\frac{\pi^2 E}{16(1-\nu^2)} \cdot \left(\frac{a}{b}\right)^2$	131,58	131,58	131,58
σ^*	2634,23	3240,3	3248,7
$(S_F \cdot \sigma/\sigma^*)^2$	0,46	0,319	0,37
$(S_F \cdot \sigma/\sigma^*)^2 + (\tau/\tau^*)^2$	1,049	0,541	0,599

4.4. Déformation:

4.4.1. flèches:

Par simplification le calcul se fera sur la poutre de rive uniquement. Il se fait avec les efforts non pondérés et non majorés.

* Charges permanentes:

$$f = \frac{M_{\max} \cdot l^2}{9,6 \cdot E \cdot I} = \frac{368163 \cdot 35^2}{9,6 \cdot 0,21 \cdot 5351473} = \underline{41,8 \text{ mm}}$$

* C.C.P.:

$$f = \frac{M_{\max} \cdot l^2}{9,6 \cdot E \cdot I} = \frac{84160 \cdot 35^2}{9,6 \cdot 0,21 \cdot 9635149} = \underline{5,3 \text{ mm}}$$

* Contre-flèche:

$$41,8 + 5,3 = 47,1 \text{ mm.}$$

Lors de la confection des poutres principales, nous recommandons une contre-flèche de 47,1 mm.

* Surcharge A:

$$f = \frac{M_{\max} \cdot l^2}{9,6 \cdot E \cdot I} = \frac{614930 \cdot 35^2}{9,6 \cdot 0,21 \cdot 13359508} = \underline{27,96 \text{ mm}}$$

* Surcharge Bc. (2 files):

Elle sera considérée comme une surcharge uniformément répartie; soit: $30 \times 9,1 \times 4 = 132 \text{ t}$.

$$\Rightarrow \frac{132000}{16,5} \cdot 0,483 = 3864 \text{ kg/ml.}$$

$$f = \frac{2,6 (8 \cdot l^3 - 4 \cdot b^2 + b^3)}{384 \cdot 0,21 \cdot 8294621}$$

b : distance sur laquelle se répartit la surcharge.

$$f = \frac{3864 \cdot 16,5 \cdot (2 \cdot 35^3 - 4 \cdot 16,5^2 + 16,5^3)}{389 \cdot 0,21 \cdot 8294621} = \underline{33 \text{ mm.}}$$

* Surcharge Bc : 2 files.

$$P = 32000 \cdot 0,403 = 12896 \text{ kg.}$$

$$f = \frac{4 \cdot P \cdot a \cdot (3 \cdot l^2 - 4a^2)}{48 \cdot E \cdot I} = \frac{4 \cdot 12896 \cdot 16,975 \cdot (3 \cdot 35^2 - 4 \cdot 16,975^2)}{48 \cdot 0,21 \cdot 8294621}$$

a : distance de l'appui à la position du moment le plus défavorable.

$$f = \underline{13,2 \text{ mm.}}$$

* Surcharge Me 120 :

Elle est considérée comme charge ponctuelle au milieu du pont.

$$f = \frac{M_{\text{max}} \cdot l^2}{12 \cdot E \cdot I} = \frac{962500 \cdot 0,521 \cdot 35^2}{12 \cdot 0,21 \cdot 8294621} = \underline{29,38 \text{ mm.}}$$

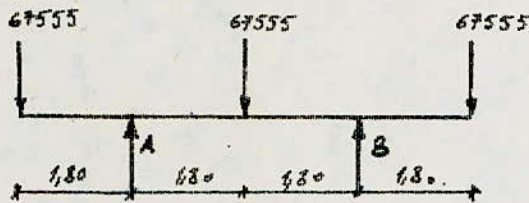
* Surcharge trottoir :

$$f = \frac{M_{\text{max}} \cdot l^2}{9,6 \cdot E \cdot I} = \frac{34453 \cdot 0,923 \cdot 35^2}{9,6 \cdot 0,21 \cdot 8294621} = \underline{2,33 \text{ mm.}}$$

* Fleche maxi :

$$f_{\text{max}} = C \cdot l + C \cdot C \cdot l + \text{Surch} + \text{Surch. trottoir} = \underline{82,43 \text{ mm.}}$$

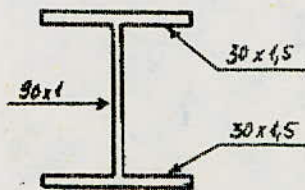
ENTRETOISES



$$R_A = R_B = 101332,5 \text{ kg}$$

$$M_A = M_B = 67555 \cdot 1,8 = 121599 \text{ kgm}$$

On choisit un profilé et on vérifie les contraintes, soit :



$$A_{\text{âme}} = 90 \cdot 1 = 90 \text{ cm}^2$$

$$v = 46,5 \text{ cm}$$

$$I = 2 \left(\frac{45^3 \cdot 30}{12} + 45 \cdot 30 \cdot 45,75^2 \right) + \frac{90^3 \cdot 1}{12} = 249144,5 \text{ cm}^4$$

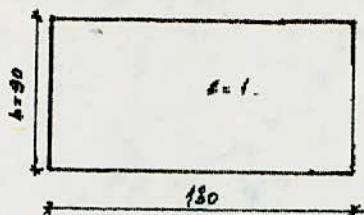
$$\frac{I}{v} = 5375,9 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = \frac{121599}{5375,9} = 2269,5 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_a = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau = \frac{67555}{90 \cdot 1} = 7591 \text{ kg/cm}^2 < 0,6 \cdot \sigma_a = 1440 \text{ kg/cm}^2$$

1.3. Vérification à la stabilité :

* Vialement : (Principe idem. poutre principale).



$$\alpha = \frac{a}{b} = \frac{180}{90} = 2$$

$$T = 67555 \text{ kg}, \quad \tau = 750,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_{\text{moy}} = 67555 \cdot 3,6 - 101330,5 \cdot 48 = 60799,5 \text{ kg.m.}$$

$$\sigma_y = \frac{M_{\text{moy}}}{I/v} = \frac{60799,5}{5357,9} = 1134,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\psi = -1 \Rightarrow S_F = 1 \text{ et } K_F = 23,9$$

$$\alpha = 2 \Rightarrow K_\tau = 6,34$$

$$\text{Soit: } \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{a}{b}\right)^2 = 233,97$$

$$\Rightarrow \sigma^* = 233,97 \cdot 23,9 = 5591,88 \text{ kg/cm}^2$$

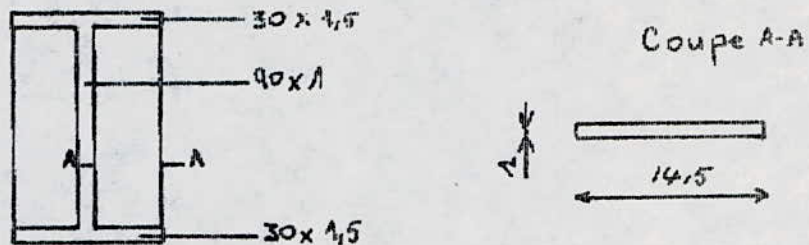
$$\tau^* = 233,97 \cdot 6,34 = 1483,37 \text{ kg/cm}^2$$

$$\left(S_F \cdot \frac{\sigma}{\sigma^*}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau^*}\right)^2 \leq 1,8$$

$$\left(1 \cdot \frac{1134,8}{5591,88}\right)^2 + \left(\frac{750,1}{1483,37}\right)^2 \leq 1,8$$

$$0,29 < 1,8 \Rightarrow \text{Pas de voilement.}$$

* On prévoit des raidisseurs au niveau des pts d'application lors du verinage. Ces raidisseurs contreont la réaction.



$$\delta_{\min} = 0,54 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{b}{e} = 0,54 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{90}{1} = 0,0486.$$

$$b = \frac{141,5 \cdot 1}{90 \cdot 1} = 0,16 \quad \Rightarrow \quad b > \delta_{\min}.$$

$$I = 2 \left(\frac{141,5^3 \cdot 1}{3} \right) = 2032 \text{ cm}^4 \quad \Rightarrow \quad \gamma = \frac{I}{0,092 \cdot b \cdot e^3} = \frac{2032}{0,092 \cdot 90 \cdot 1^3}$$

$$\Rightarrow \quad \gamma = 245,40.$$

$$\delta_{\min} = 0,2 \cdot \left(\frac{b}{50 \cdot e} \right)^3 = 0,2 \cdot \left(\frac{90}{50 \cdot 1} \right)^3 = 1,166.$$

$$\Rightarrow \quad \gamma > \delta_{\min}.$$

2. Entretoises courantes :

Les efforts les plus défavorables dans une entretoise seront obtenus à partir des charges agissant directement sur cette entretoise et des forces de répartition qui en résultent en ses nœuds.

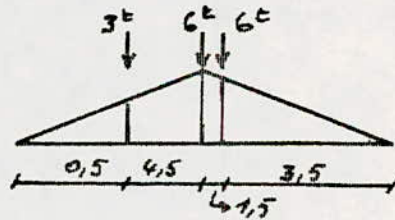
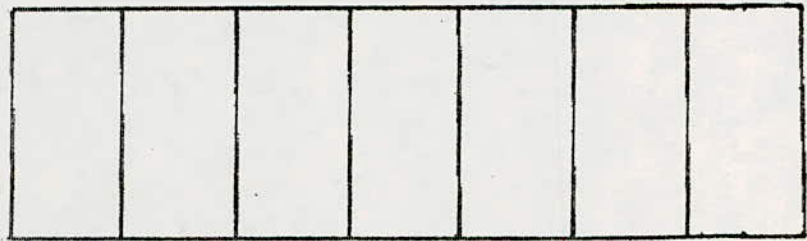
2.1. Sollicitations :

On situe les charges dans le sens longitudinal du pont de façon que la partie à attribuer à l'entretoise considérée soit aussi grande que possible, en vue d'obtention des efforts les plus défavorables.

On notera que les entretoises non chargées ne reçoivent aucune répartition de charge dans leurs nœuds. Pour simplifier les calculs on supposera que la dalle est articulée sur ses appuis et que les charges sont transmises intégralement sur les entretoises.

Pour savoir qu'elle est la plus grande charge revenant à l'entretoise considérée il y a lieu de tracer la ligne d'influence des réactions d'appuis pour l'entretoise.

2.2. Détermination des efforts:



* Cas de Bc :

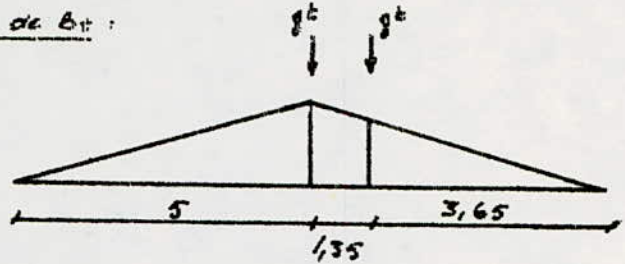
$$\xi_1 = \frac{0,5}{5} = 0,1$$

$$\Rightarrow R_{\max} = 0,1 \cdot 3 + 6 + 6 \cdot 0,7 = 10,5 \text{ t.}$$

$$\xi_2 = \frac{3,5}{5} = 0,7$$

$$R_{\max} = 1,1 \cdot 10,5 = \underline{\underline{11,55 \text{ t.}}}$$

* Cas de B1 :



$$\bar{z}_1 = 1$$

$$\bar{z}_2 = \frac{3,65}{5} = 0,73$$

$$\rightarrow R_{max} = 8 \cdot 1,73 = \underline{13,84 t}$$

* Cas de M₆₁₂₀ :

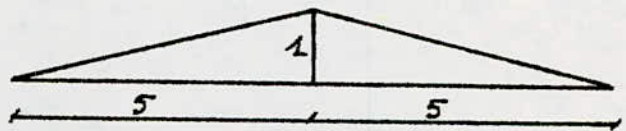
$$q = \frac{55}{6,10} = 9,016 \text{ t/ml.}$$

$$\rightarrow R_{max} = \frac{1,39 \cdot 3,05 \cdot 9,016 \cdot 2}{2} =$$

$$\bar{z} = \frac{1,95}{5} = 0,39$$

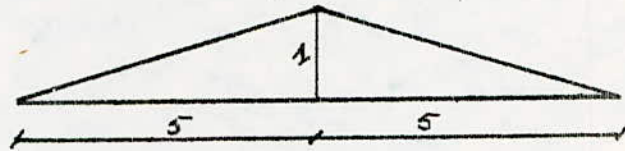
$$R_{max} = \underline{38,22 t.}$$

* Cas de C.2 :

C_p par ml. transversal : C_p = 721,3 kg/ml.

$$R_{max} = \left(\frac{5 \cdot 1}{8} + \frac{5 \cdot 1}{2} \right) \cdot 721,3 = \underline{3606,5 \text{ kg.}}$$

* Cas de C.C.P.:



C.C.P par ml transversal: C.C.p = 164,9 kg/ml

$$R_{max.} = 5 \cdot 164,9 = \underline{824,5 \text{ kg.}}$$

* Cas de la surcharge A:

A par ml transversal: $\Rightarrow A = 996 \text{ kg/ml.}$

$$\Rightarrow R_{max.} = 996 \cdot 5 = \underline{4980 \text{ kg.}}$$

* Cas de la surch. trottoir:

S = 150 kg/ml par ml transversal.

$$\Rightarrow R_{max.} = 150 \cdot 5 = \underline{750 \text{ kg.}}$$

2.2.1. Efforts dans l'entretoise intermediaire: (voir p. 115, 116)

* Moment flechissant dû à Bc.

$$M_2 = R(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4) = 11,55(99 + 115 + 115 + 99) = \underline{47,15 \dots}$$

$$M_1' = R(\delta_1 + \delta_2 + \delta_2 + \delta_4) = 11,55(99 + 115) = \underline{25,67 \text{ i.m.}}$$

* Effort tranchant dû à Bc:

$$T_{1-2} = R(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4) = 11,55(9187 + 0,295 + 0,295 + 9187)$$

$$\Rightarrow T_{1-2} = \underline{915 \text{ C.}}$$

* Moment dû à Bt : (2,4165)

$$M_2 = 13,84 (1,8 + 1,3) = \underline{56,74 \text{ tm.}}$$

$$M_{1'} = 13,84 (0,9 + 1,15) = \underline{28,57 \text{ tm.}}$$

* Effort tranchant dû à Bt :

$$T_{1-2} = R (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3) = 15,82 (0,048 + 0,33 + 0,189)$$

$$\Rightarrow \underline{T_{1-2} = 8,675 \text{ t.}}$$

* Moment dû à Mc120 :

$$M_2 = 38,22 \cdot 0,375 \cdot 2 = \underline{28,665 \text{ tm.}}$$

$$M_{1'} = 38,22 \cdot 0,375 = \underline{14,358 \text{ tm.}}$$

* Effort tranchant à Mc120 :

$$T_{1-2} = R (\beta_1 + \beta_2) = 38,22 (0,097 + 0,097) = \underline{7,41 \text{ t.}}$$

* Moment dû à C.2 :

$$M_2 = 3606,5 \left(\frac{4,2 \cdot 4,2}{2} - 3,38 \right) = \underline{-1803,25 \text{ kgm.}}$$

$$M_{1'} = 3606,5 \cdot S$$

$$S = \frac{4,2 \cdot 0,6}{2} - \frac{0,3 \cdot 1,2}{2} - \frac{(0,3 + 1,4) \cdot 1,1}{2} - \frac{0,65 \cdot 2,2}{2} = -0,775$$

$$\Rightarrow M_{1'} = -3606,5 \cdot 0,775 = \underline{-2795,04 \text{ kgm.}}$$

* Effort tranchant dû à C.2.

$$T_{1-2} = 3606,5 \cdot (-0,124) = \underline{-447,2 \text{ kg}}$$

* Moment dû à c.c.?

$$M_2 = 824,5 \left(\frac{4,8 \cdot 1,2}{2} - 3,58 \right) = -412,25 \text{ kgm.}$$

$$M_1 = 824,5 (-0,775) = -639 \text{ kgm.}$$

* Effort tranchant dû à c.c.?

$$T_{1-2} = 824,5 \cdot (-0,124) = -102,24 \text{ kg.}$$

* Moment dû à la surcharge A:

$$M_2 = 4980 \left(\frac{4,8 \cdot 1,2}{2} \right) = 14342,4 \text{ kgm.}$$

$$M_1 = 4980 \left(\frac{4,8 \cdot 0,6}{2} \right) = 7171,2 \text{ kgm.}$$

* Effort tranchant dû à A:

$$T_{1-2} = 4980 \cdot \left(\frac{0,35 \cdot 2,34}{2} \right) = 3,845 \text{ t.}$$

* Moment dû à la surch. trottoir:

$$M_2 = -750 \left[2 \cdot \frac{(1,33 + 0,55) \cdot 1,5}{2} \right] = -2081,25 \text{ kgm.}$$

$$M_1 = -750 \cdot 6,1$$

$$S_1 = \frac{(1,4 + 0,3) \cdot 1,4}{2} + \frac{(0,3 + 0,275) \cdot 0,1}{2} + \frac{(0,275 + 0,05) \cdot 0,5}{2}$$

$$\Rightarrow S_1 = 1,9125 \Rightarrow M_1 = -750 \cdot 1,9125 = -1434,375 \text{ kgm.}$$

* Effort tranchant dû à la surch. trottoir:

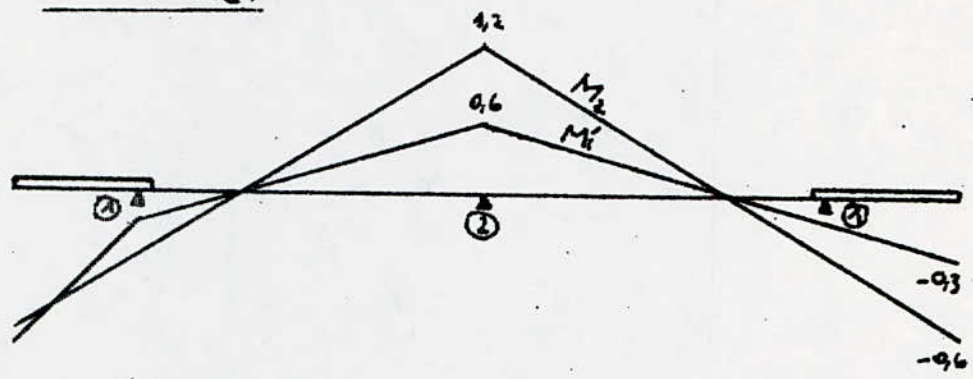
$$T_2 = 2 \left[-\frac{1,5 \cdot 0,166}{2} + 0,24 \cdot 0,33 \cdot \frac{2,4}{2,34} \right] = -0,23 \Rightarrow T_{2-2} = 750(-0,23) = -172,5 \text{ t}$$

Efforts repartis, majorés et pondérés.

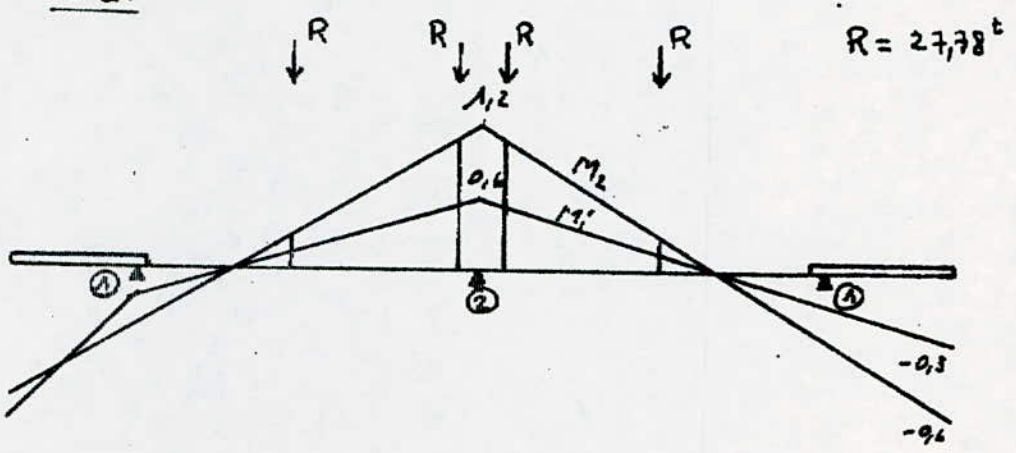
	M_1 (kgm)	M_2 (kgm)	T_{1-2} (kg).
C.2	- 2795. 1,32 = = - 3686,4	- 1803. 1,32 = = - 2379,96	- 447,2. 1,32 = = - 590,3
C.-c.2	- 639. 0,9 = = - 575,1	- 412,25. 0,9 = = - 371,025	- 102,46. 1,32 = = - 135,17
A	7171,2. 1,6 = = 11473,92	14342,4. 1,6 = = 22947,84	3845,5. 1,6 = 6152,8
B _c	33670. 1,108. 1,6 = = 41962,18	47150. 1,108. 1,6 = = 83587,52	9750. 1,108. 1,6 = 17284,8
B _t	15750. 1,108. 1,6 = = 27924,6	56740. 1,108. 1,6 = = 100588,67	8675. 1,108. 1,6 = = 15379,04
M ₁₂₀	14332. 1,099. 1,32 = = 20791,14	28665. 1,099. 1,32 = = 41583,74	7410. 1,099. 1,32 = = 10749,54
Surch. trah.	- 1434,375. 1,6 = = - 2295	- 2089,25. 1,6 = = - 3350	- 174,75. 1,6 = = - 279,6
C.2. c.c.2 + + Surch. + Surch. trah.	35402,7	94507,68	16279,73

Repartition transversale

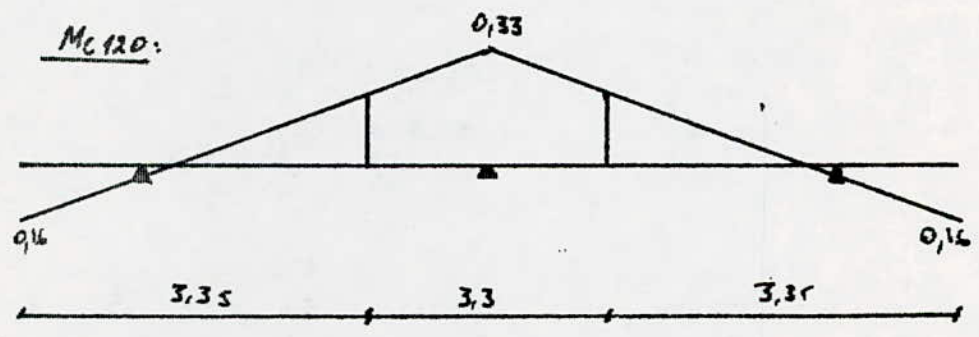
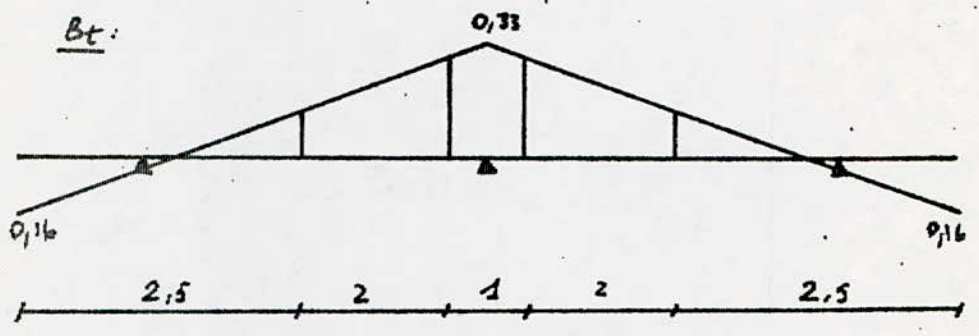
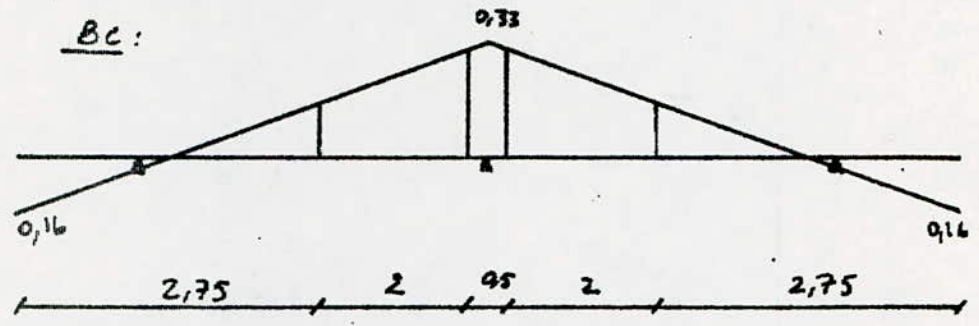
CP et C.C.P



B.C.



Repartition transversale de l'effort tranchant:



3. Vérification des sections au flambement :

Fascicule N° 61 (TITRE V)

Dans le cas le plus courant les pièces, d'inertie et de section constante, possédant un centre de symétrie.

- l : Longueur de la pièce.
- I : Moment d'inertie de la pièce relatif au flambement considéré.
- Ω : L'aire de la section.
- i : Le rayon de giration de cette section dans le plan de flambement considéré.
- λ : L'élanement de la pièce: $\lambda = \frac{l}{i}$
- E : Le module d'élasticité longitudinal du métal.

La charge critique d'Euler est donnée par :

$$F^* = \frac{m \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2} = \frac{m \cdot \pi^2 \cdot E \cdot \Omega}{\lambda^2}$$

m : Coeff. numérique dépendant du mode de fixation de la pièce à ses 2 extrémités.

$m=1$: le cas d'une pièce articulée à ses 2 extrémités

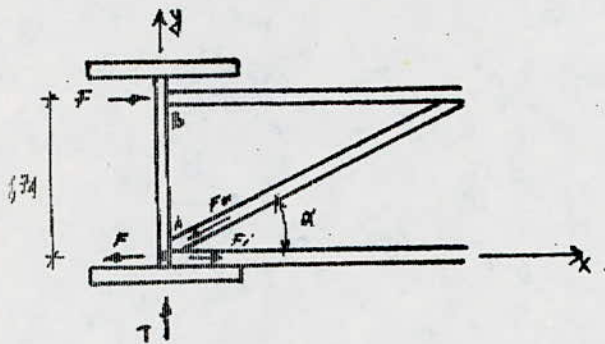
$$\sigma^* = \frac{F^*}{\Omega}$$

Si σ_m désigne la contrainte de compression de la pièce considérée, on vérifie que :

$$\sigma_m \leq \bar{\sigma}_m$$

$$\text{avec } \bar{\sigma}_m = \sigma_e \left(1 - 0,375 \cdot \frac{\sigma_e}{\sigma^*} \right) \quad \text{si } \sigma^* \geq 0,75 \cdot \sigma_e$$

$$\bar{\sigma}_m = 0,66 \cdot \sigma^* \quad \text{si } \sigma^* \leq 0,75 \cdot \sigma_e$$



$$F = \frac{M_{\max}}{d} = \frac{9450,68}{1,75} = \pm 54314,76 \text{ kg}$$

Noeud A:

projection suivant les axes ox et oy .

$$\sum_{ox} \Rightarrow F - Fi + Fa \cdot \cos \alpha = 0 \quad \alpha = 44,02^\circ$$

$$\sum_{oy} \Rightarrow -T + Fa \cdot \sin \alpha = 0$$

$$Fa = \frac{T}{\sin \alpha}$$

$$Fi = F + Fa \cdot \cos \alpha$$

$$\Rightarrow Fa = \frac{16279,73}{\sin \alpha} = \underline{23427,17} \text{ (compression)}$$

$$Fi = 54314,76 + 23427,17 \cdot \cos 44^\circ$$

$$\Rightarrow Fi = \underline{71161,17} \text{ kg (traction)}$$

Noeud B:

Suivant oy : $T = - \underline{16279,73 \text{ kg}}$ (comp.)

Suivant ox : $F = - \underline{54344,76 \text{ kg}}$ (comp.)

Membrure supérieure :

Longueur de flambement dans le plan : $l = \frac{3,6}{2} = 1,8 \text{ m}$.

— — — — — hors du plan : $l = 3,6 \text{ m}$.

$m=1$ Les 2 extrémités sont articulées.

$$F^* = \frac{m \cdot \pi^2 \cdot E \cdot \Omega}{l^2}$$

Soit à prendre $\frac{1}{2}$ HEB 220.

$l_x = 2,52$, $l_y = 5,59$, $\Omega = 45,52 \text{ cm}^2$

* Flambement dans le plan :

$$d = \frac{180}{2,52} = 71,43$$

$$F^* = \frac{\pi^2 \cdot 21 \cdot 10^5 \cdot 45,52}{(71,43)^2} = 184917 \text{ kg}$$

$$\sigma^* = \frac{184917}{45,52} = 4062 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma^*}{\sigma_e} = \frac{4062}{2400} = 1,69 \Rightarrow \bar{\sigma}_m = 24(1 - 0,375 \cdot \frac{1}{1,69})$$

$$\Rightarrow \bar{\sigma}_m = 1868 \text{ kg/cm}^2$$

soit $\sigma_m = \frac{54344,76}{45,52} = 1193,2 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_m = 1868 \text{ kg/cm}^2$

\Rightarrow Pas de flambement.

* Flambement hors du plan :-

$$r = \frac{360}{5,59} = 64,4.$$

⇒ Donc le flambement dans le plan est plus défavorable

Membre inférieure :

cette membre est en traction : $F_{\max} = 54314,76 \text{ kg}$.

$$\sigma = \frac{54314,76}{45,52} = 1193,2 \text{ kg/cm}^2.$$

Diagonale :

$$F_d = -23427,17 \text{ kg}.$$

$$\alpha = 44,02.$$

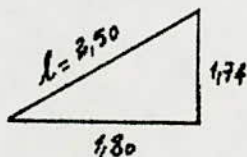
Soit à prendre : JC URN 140.

$$i_x = 5,45 \text{ cm}, \quad \Omega = 49,80 \text{ cm}^2.$$

$$I_y = (62,7 + 20,4 + 1,75 + 0,5) \cdot b = 334,95 \text{ cm}^4.$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 2,85 \text{ cm}.$$

- Cas le plus défavorable : flambement hors du plan (carigie)



$$i = \frac{250}{2,85} = 87,72 \quad m=1.$$

$$F^* = \frac{\pi^2 \cdot 21 \cdot 10^5 \cdot 49,8}{(87,72)^2} = 109896 \text{ kg.}$$

$$V^* = \frac{109896}{49,8} = 2693,53 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\frac{\sigma^*}{\sigma_e} = \frac{2693,53}{2400} = 1,12$$

$$\Rightarrow \bar{\sigma}_m = 24 \left(1 - 0,375 \cdot \frac{2400}{2693,53} \right) = 1598,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_m = \frac{F_a}{\Omega} = \frac{23427,17}{40,8} = 574,19 \text{ kg/cm}^2 < 1598,6 \text{ kg/cm}^2$$

