

UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE
POLYTECHNIQUE

1/66

جامعة الجزائر

المدرسة الوطنية للعلوم
alex

PROJET DE FIN D'ETUDES

Juin 1966

CALCUL D'UN PONT-ROUTE

A POUTRES CONTINUES

BOUGHANEM ALI

ALGER

CHAPITRE I

DESCRIPTION de L'OUVRAGE

CARACTERISTIQUES du PONT

un pont à poutres continues pour passage supérieur, enjambe une rivière de faible importance et une route nationale à 3 voies. Il est placé perpendiculairement au cours de la rivière et à l'axe de la route nationale.

Ses travées, au nombre de 2, ont respectivement pour portées 20 m et 15 m.

En outre, il comprend :

- 4 poutres principales de hauteur = 70 cm et de largeur = 30 cm.
- 3 entretoises dans la première travée, et 2 entretoises dans la deuxième travée, de hauteur = 70 cm et de largeur = 30 cm.
- la dalle a 19 cm d'épaisseur
- largeur de la chaussée = 7,90 m
- largeur du trottoir = 1,80 m
- hauteur du garde-corps = 1,20 m.

SURCHARGES CONSIDEREES

Nous utilisons les règlements en vigueur, et l'en considère en outre le cas des convois militaires.

1. Surcharge de type A répartie uniformément sur toute la chaussée

- Surcharges de type B.

Ces surcharges seront étudiées ultérieurement en détail.

MATERIAUX EMPLOYES

- BETON :

nous employons des betons prévus par les règlements BA 60, soit ceux à base de ciment 250-315

Le dosage du béton est pris dans tous les cas, égal à 350 kg/m^3
En outre c'est un béton contrôlé.

Les contraintes admissibles sont déterminées en fonction de sa résistance mécanique à l'âge de 28 jours, à savoir :

$$\text{Flexion Simple: } \sigma_b = 0,60 \sigma_{28}$$

$$\text{Compression Simple: } \sigma_{b0} = 0,30 \sigma_{28}$$

$$\text{Traction: } \sigma'_b = 0,30 \sigma'_{28}$$

- ACIERS

- pour les armatures longitudinales des poutres principales et des entretoises, et les armatures de la dalle, nous employerons l'acier à haute adhérence TENTOR dont la limite d'élasticité est $\sigma'_{ak} = 4200 \text{ kg/cm}^2$

- pour les armatures transversales des poutres principales et des entretoises, nous utilisons des aciers ronds lisses A 55 dont la limite d'élasticité est $\sigma'_{ak} = 3200 \text{ kg/cm}^2$.

Dans les calculs, et pour les deux types d'aciers nous prendrons en compte les $\frac{2}{3} \sigma'_{ak}$.

- Pour le garde-corps nous utilisons des tubes d'acier de 80 mm de diamètre

CHAPITRE II

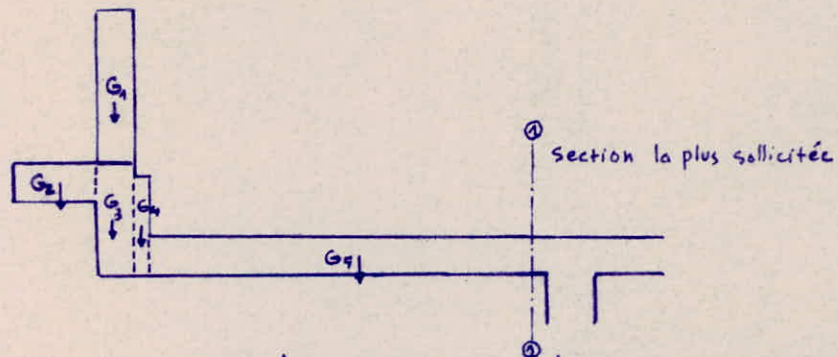
CALCUL du TABLIER

CALCUL de la CONSOLE

La console encastrée dans la poutre de rive, supporte le trottoir et le garde-corps.

On doit trouver la section de la console la plus sollicitée en plan. On choisit une largeur de 1m et on fait les calculs. La section où l'on calcule les efforts se trouve très près de la poutre principale de rive.

determination du poids de la console



on décompose la console en figures géométriques simples : G₁, G₂, G₃, G₄, G₅, et on calcule leur poids.

$G_1 = 1,00 \times 0,25 \times 0,27 \times 2,5 =$	$0,187 \text{ tf/m'}$
$G_2 = 0,14 \times 0,25 \times 1,00 \times 2,5 =$	$0,088 \text{ ''}$
$G_3 = 0,42 \times 0,23 \times 1,00 \times 2,5 =$	$0,242 \text{ ''}$
$G_4 = 0,02 \times 0,825 \times 1,00 \times 1,8 =$	$0,030 \text{ ''}$
$\text{---} = 0,08 \times 0,825 \times 1,00 \times 2,5 =$	$0,165 \text{ ''}$
$G_5 = 0,19 \times 0,995 \times 1,00 \times 2,5 =$	$0,489 \text{ ''}$
$\Sigma G = T_{1G}$	$= 1,201 \text{ tf/m'}$

determination des efforts

MOMENTS FLECHISSANTS :

formule générale : $M_{iG} = \sum G \times r_G$ où r_G est le bras de levier par rapport au centre de gravité de la section ①-①.

$$G_1 \times r_{G1} = 0,187 \times 1,10 = 0,206 \text{ tfm.}$$

$$G_2 \times r_{G2} = 0,088 \times 1,25 = 0,110 \text{ tfm.}$$

$$G_3 \times r_{G3} = 0,142 \times 1,16 = 0,164 \text{ ''}$$

$$G_4 \times r_{G4} = 0,030 \times 0,60 = 0,018 \text{ ''}$$

$$G'_4 \times r_{G'_4} = 0,165 \times 0,60 = 0,081 \text{ ''}$$

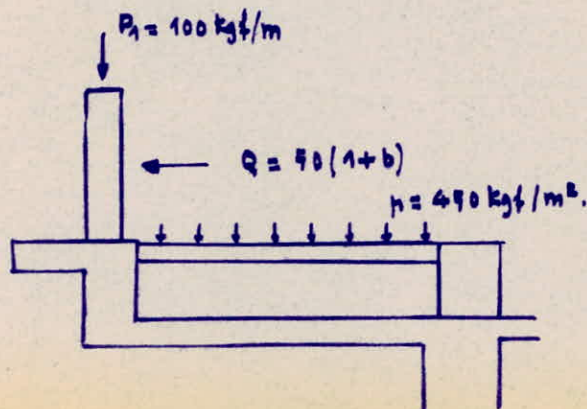
$$G_5 \times r_{G5} = 0,489 \times 0,92 = \underline{0,25 \text{ ''}}$$

$$M_{iG} = \sum G \times r_G = 0,829 \text{ tfm.}$$

EFFORTS TRANCHANTS :

Le garde corps doit supporter une surcharge horizontale $Q = 50(1+b) \text{ kgf/m}$ où b est la largeur du trottoir, et une force verticale de 100 kgf/m .

Le trottoir doit supporter une surcharge uniformément répartie égale à 450 kgf/m^2 .



La surcharge due au trottoir va provoquer une réaction R ,
et la valeur de l'effort tranchant sera

$$T_{1p} = -(P_1 + R)$$

le moment fléchissant :

$$M_{1p} = -[(P_1 \times r_{p1}) + (Q \times r_Q) + (R \times r_R)]$$

l'effort normal :

$$N_1 = Q.$$

En portant les valeurs numériques, on obtient :

$$T_{1p} = -(0,1 + 0,450) = -0,550 \text{ tf/m}$$

$$Q = 50(1 + 1,8) = 140 \text{ kgf/m} = 0,140 \text{ tf/m}$$

$$M_{1p} = -[(0,1 \times 1,20) + (0,129 \times 1,20) + (1,201 \times 0,88)] = -0,376 \text{ tfm}$$

$$N_{1p} = Q = 0,140 \text{ tf/m}$$

d'où les efforts totaux :

$$M_1 = M_{16} + M_{1p} = -0,829 - 0,376 = -1,205 \text{ tfm}$$

$$T_1 = T_{16} + T_{1p} = -1,201 - 0,550 = -1,751 \text{ tf/m}$$

$$N_1 = Q = 0,140 \text{ tf/m}$$

Sollicitation pondérée du 1^{er} genre : S_1

$$T_{\max I} = -(1,201 + 1,2 \times 0,550) = -1,873 \text{ tf/m}$$

$$M_{\max I} = -0,820 - 1,2 \times 0,376 = -1,28 \text{ tfm}$$

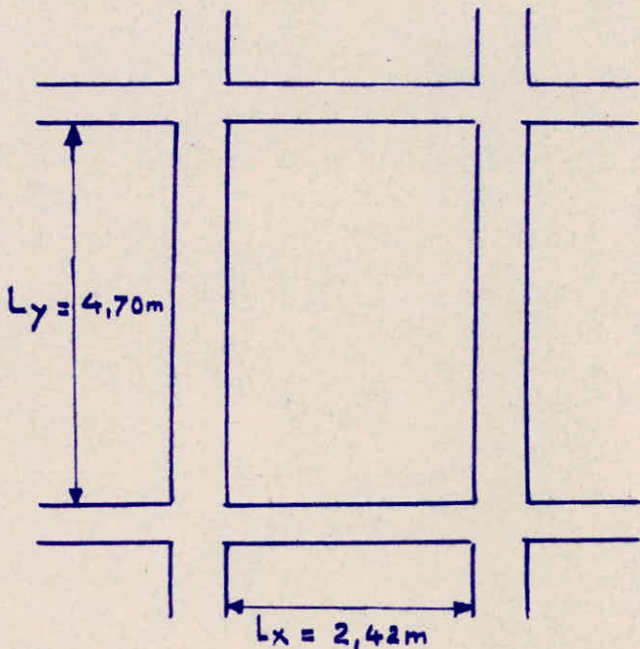
Sollicitation pondérée du 2^e genre : S_2

$$T_{\max II} = -(1,201 + 1,5 \times 0,550) = -2,026 \text{ tf/m}$$

$$M_{\max II} = -0,820 - 1,5 \times 0,376 = -1,46 \text{ tfm}$$

CALCUL de la DALLE

nous calculerons la dalle connue s'il s'agit d'une plaque rectangulaire comprise entre deux poutres principales et deux entretoises.



les efforts de la dalle doivent être supportés surtout dans la direction x étant donné que la dalle constitue une partie importante des poutres principales qui ont une section en T É.

charges agissantes :

- charge permanente .
- Surcharge de type A .
- Surcharge de type Bc .
- Surcharge de type Be .
- Surcharge de type Bc .

charge permanente

elle est constituée par :

$$4 \text{ cm d'asphalte, soit : } 0,04 \times 2,00 = 0,080 \text{ tf/m}^2$$

$$2 \text{ cm de mortier, " : } 0,02 \times 2,30 = 0,046 \text{ "}$$

$$1 \text{ cm d'isolation, " : } 0,01 \times 1,80 = 0,018 \text{ "}$$

$$12 \text{ cm de béton maigre " : } 0,12 \times 2,30 = 0,276 \text{ "}$$

$$19 \text{ cm de béton armé, : } 0,19 \times 2,5 = 0,475 \text{ "}$$

$$0,920 \text{ tf/m}^2$$

calcul des moments flechissants :

généralement, on calcule les moments positifs à partir d'une dalle librement appuyée, et les moments négatifs sur les appuis à partir d'une dalle entièrement encastree.

Dans le premier cas, on diminue les moments maximaux de 20%.

Dans le 2^e cas, on ne diminue pas les moments, parce que les dalles voisines sont aussi chargées; ainsi la dalle en question est entièrement encastree même si il s'agit d'une dalle de rive, car il y a toujours une console pour supporter le trottoir.

formules générales :

$$\textcircled{1} M_{\max} = 0,8 M_{\max}^*$$
 avec

$$M_x = \mu_x \times p_t \times L_x^2$$

et

$$M_y = \mu_y \times M_x$$

μ_x et μ_y sont donnés par le règlement BA60 en fonction du rapport $\frac{L_x}{L_y}$

on porte les valeurs numériques

$$L_x = 2,42 \text{ m}$$

$$L_y = 4,70 \text{ m}$$

$$\frac{L_x}{L_y} = \frac{2,42}{4,70} \approx 0,50$$

$$\text{d'où } \mu_x = 0,0973$$

$$\mu_y = 0,328.$$

$$M_x = 0,0973 \times 0,920 \times (2,42)^2 = 0,476 \text{ tfm}$$

$$M_y = 0,476 \times 0,373 = 0,182 \text{ tfm}$$

d'où

$$M_{x \text{ max}} = 0,8 \times 0,476 = 0,38 \text{ tfm}$$

$$M_{y \text{ max}} = 0,8 \times 0,182 = 0,1456 \text{ tfm.}$$

② Dans ce cas,

$$M_{x \text{ min}} = \mu_x^* \times p_r \times L_x^2.$$

$$M_{y \text{ min}} = \mu_y^* \times p_r \times L_x^2.$$

les tables de l'Hermite ($p_r, 528$) donnent les valeurs de μ_x^* et μ_y^*

en fonction de $\frac{L_y}{L_x}$

$$\text{à } \frac{L_y}{L_x} = \frac{4,70}{2,42} = 1,95 \approx 2$$

$$\text{donc } \mu_x^* = -0,0829$$

$$\mu_y^* = -0,0571$$

d'où :

$$M_{x \text{ min}} = -0,0829 \times 0,920 \times (2,42)^2 = -0,429 \text{ tfm}$$

$$M_{y \text{ min}} = -0,0571 \times 0,920 \times (2,42)^2 = -0,321 \text{ tfm}$$

surcharge de type A

La surcharge de type A n'est presque jamais decisive en ce qui concerne la plus grande sollicitation.

les prescriptions du 5 avril 1958 la fixent ainsi

$$p_A = 350 + \frac{320.000.000}{L^3 + 60L^2 + 225000} \text{ kgf/m}^2$$

où L est la portée.

$$\text{on trouve } p_A = 1150 \text{ kgf/m}^2 = 1,15 \text{ tf/m}^2$$

moments dus à p_A .

Ces moments seront calculés de la même manière que pour la charge permanente.

$$M_x = 0,097 \times 1,15 \times (2,42)^2 = 0,652 \text{ tfm.}$$

$$M_y = 0,652 \times 0,328 = 0,214 \text{ tfm.}$$

$$M_{x \text{ max}} = 0,8 \times 0,652 = 0,521 \text{ tfm.}$$

$$M_{y \text{ max}} = 0,8 \times 0,214 = 0,171 \text{ tfm.}$$

$$M_{x \text{ min}} = 0,0821 \times 1,15 \times (2,42)^2 = 0,57 \text{ tfm.}$$

$$M_{y \text{ min}} = 0,0571 \times 1,15 \times (2,42)^2 = 0,383 \text{ tfm.}$$

Sollicitation S_1 :

$$M_{x \text{ max}} = 0,920 + 1,2 \times 0,521 = 1,54 \text{ tfm}$$

$$M_{y \text{ max}} = 0,920 + 1,2 \times 0,171 = 1,12 \text{ tfm.}$$

$$M_{x \text{ min}} = 0,920 + 1,2 \times 0,57 = 1,60 \text{ tfm}$$

$$M_{y \text{ min}} = 0,920 + 1,2 \times 0,383 = 1,38 \text{ tfm}$$

SOLLICITATION S₂:

$$M_{x \max} = 0,920 + 1,5 \times 0,921 = 1,70 \text{ tfm}$$

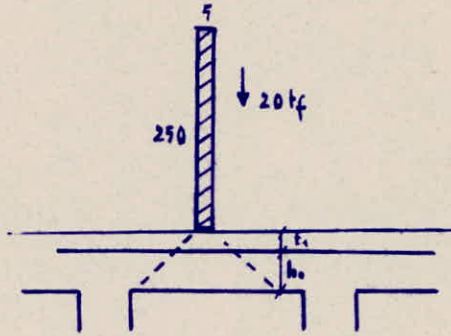
$$M_{y \max} = 0,920 + 1,5 \times 0,171 = 1,17 \text{ tfm}$$

$$M_{x \min} = 0,920 + 1,5 \times 0,57 = 1,77 \text{ tfm}$$

$$M_{y \min} = 0,920 + 1,5 \times 0,383 = 1,49 \text{ tfm.}$$

surcharge de type Br

C'est une surcharge uniformément répartie agissant sur la chaussée de 5m de largeur, 250cm de hauteur et d'intensité égale à 20 tf

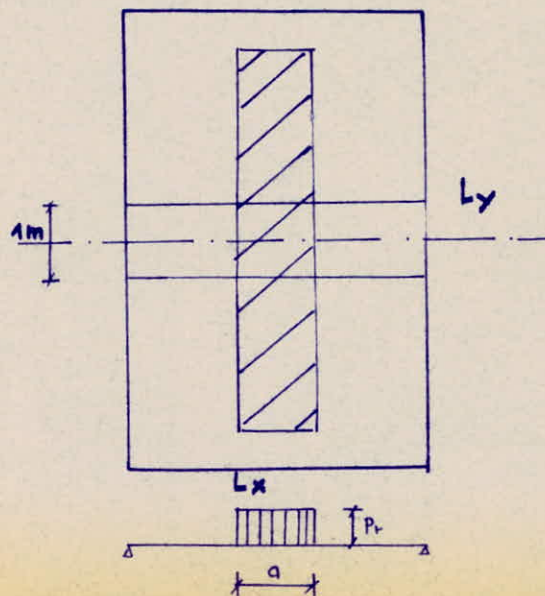


les règles disent que si l'épaisseur de la couche de chaussée de la dalle est t_1 , et h_0 d'épaisseur de la dalle, la surface chargée sera plus grande. Ses dimensions seront

$$a = 5\text{m} + 1,5t_1 + h_0$$

$$h = 250 + 1,5t_1 + h_0$$

la surcharge Br est placée parallèlement à l'axe du pont elle produit des moments négatifs et des moments positifs



Pour produire le moment maximum, $M_{x \max}$, on choisit une largeur unitaire constituée par une forte simple chargée par la surcharge uniformément répartie sur $a = 5 \text{ cm} + 1,5 \text{ t}_1 + h_0$

$$M_{x \max} = 0,8 P_2 \times a \times \frac{1}{4} (L_x - \frac{a}{2})$$

Pour produire $M_{x \min}$, on suppose que la bande de la dalle est entièrement encastrée ; on trouve la position la plus défavorable à partir de la ligne d'influence pour $M_{x \min}$; on évalue l'abscisse et l'ordonnée médiane. L'aire A sera donnée par

$$A = a \cdot \eta$$

et le moment sera $M_{x \min} = P_2 \times A$.

Le calcul du moment fléchissant maximum au milieu de la forte sera :

$$M_y \max \cong M_{x \max} \cdot \mu_y$$

et $M_y \min \cong M_{x \min} \cdot \mu_y$.

Introduisons les valeurs numériques :

largeur considérée de la bande = 1 m

$$a = 5 + 12 + 19 = 36 \text{ cm} = 0,36 \text{ m}$$

$$b = 250 + 12 + 19 = 281 = 2,81 \text{ m}$$

$$P_2 = \frac{20}{2,81 \times 0,36} = 19,8 \text{ tf/m}^2$$

$$R = \frac{1}{2} P_2 \times a = 9,9 \times 0,36 = 3,56 \text{ tf}$$

$$\text{d'où } M_{x \max} = 0,8 \times 19,8 \times 0,36 \times \frac{1}{4} \times 2,12 = 3,02 \text{ tfm}$$

$$\text{aire } A = a \times \eta = 0,36 \times 0,35 = 0,126 \text{ m}^2$$

$$\text{d'où } M_{x \min} = 19,8 \times 0,126 = 2,5 \text{ tfm}$$

$$M_y \max = 3,02 \times 0,328 = 0,992 \text{ tfm}$$

$$M_y \min = 2,5 \times 0,328 = 0,82 \text{ tfm}$$

coefficient de majoration dynamique γ_{Br}

$$S = 20 \text{ tf.}$$

P = poids de la construction entre 2 entretoises.

$$P = 2,5 (0,19 \times 4,70 \times 8,31) = 18,6 \text{ tf}$$

$$\gamma_{Br} = 1 + \frac{0,4}{1 + (0,2 \times 8,31)} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 18,6}{20}} = 1 + 0,15 + 0,13 = 1,28.$$

d'où les efforts dans les systèmes S_1 et S_2 .

système S_1 :

$$Pr = 19,8 \times 1,28 \times 1,2 = 30,4 \text{ tf/m'}$$

$$M_{x \max} = 0,8 \left[30,4 \times 0,36 \times \frac{1}{4} \times 2,12 \right] = 4,64 \text{ tfm.}$$

$$M_{x \min} = 2,5 \times 1,2 \times 1,28 = 3,84 \text{ tfm.}$$

$$M_{y \max} = 4,64 \times 0,328 = 1,543 \text{ tfm.}$$

$$M_{y \min} = 3,84 \times 0,328 = 1,26 \text{ tfm.}$$

Systeme S_2 :

$$Pr = 19,8 \times 1,28 \times 1,5 = 38,1 \text{ tf/m'}$$

$$M_{x \max} = 0,8 \left[38,1 \times 0,36 \times \frac{1}{4} \times 2,12 \right] = 5,79 \text{ tfm.}$$

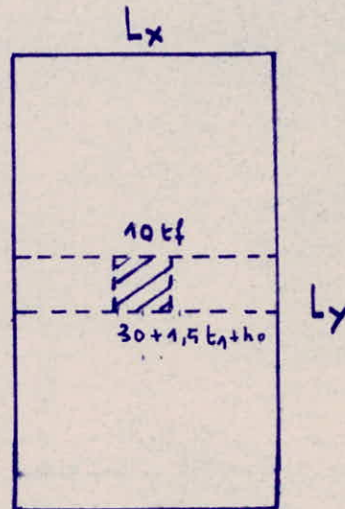
$$M_{x \min} = 2,5 \times 1,28 \times 1,5 = 4,79 \text{ tfm.}$$

$$M_{y \max} = 0,328 \times 5,79 = 1,90 \text{ tfm.}$$

$$M_{y \min} = 0,328 \times 4,79 = 1,642 \text{ tfm.}$$

surcharge de type B_e

La surcharge de type B_e est constituée par une surcharge d'intensité égale à 20 tf sur une section de (30 x 30) majorée de 1,5t + h₀.



les moments $M_x \text{ max}$ et $M_x \text{ min}$ seront calculés de la même manière que pour le système B_t. Cependant, on calculera $M_y \text{ min}$ ainsi:

$$M_y \text{ min} = 0,8 M_x \text{ min.}$$

largeur considérée de la bande

$$a = 0,30 + 1,5t_1 + h_0 = 0,30 + 0,12 + 0,19 = 0,61 \text{ m.}$$

$$P(\text{tf/m}) = \frac{10}{0,3 + 1,5t_1 + h_0} = \frac{10}{0,61} = 16,40 \text{ tf/m}$$

coefficient de majoration dynamique :

$$\gamma_{B_e} = 1 + \frac{0,4}{1 + (0,2 \times 8,31)} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 18,6}{10}} = 1,221$$

$$\text{d'où } M_x \text{ max} = 0,8 \times 16,40 \times 0,61 \times \frac{1}{4} (2,42 - 0,30) = 4,24 \text{ tfm}$$

$$A = a \cdot \eta = 0,61 \times 0,35 = 0,214 \text{ m}^2.$$

$$M_{x \min} = 16,40 \times 0,214 = 3,502 \text{ tfm.}$$

$$M_{y \max} = 0,328 \times 4,24 = 1,392 \text{ tfm}$$

$$M_{y \min} = 0,8 \times 3,502 = 2,801 \text{ tfm.}$$

Ses moments doivent être multipliés par $\frac{1}{0,61} = 1,64$, car nous n'avons jusqu'à présent considéré que les moments agissant sur 0,61 m. donc

Système S₁:

$$P = 16,40 \times 1,2 \times 1,221 = 24,1 \text{ t/m}^2$$

$$M_{x \max} = 0,8 \left[24,1 \times 0,61 \times \frac{1}{4} \times 2,12 \right] \times 1,64 = 10 \text{ tfm.}$$

$$M_{x \min} = 3,502 \times 1,2 \times 1,221 = 5,15 \text{ tfm.}$$

$$M_{y \max} = 0,328 \times 10 = 3,28 \text{ tfm.}$$

$$M_{y \min} = 0,8 \times 5,15 = 4,12 \text{ tfm.}$$

Système S₂:

$$P = 16,40 \times 1,5 \times 1,221 = 30 \text{ t/m}^2$$

$$M_{x \max} = 0,8 \left[30 \times 0,61 \times \frac{1}{4} \times 2,12 \right] \times 1,64 = 12,72 \text{ tfm.}$$

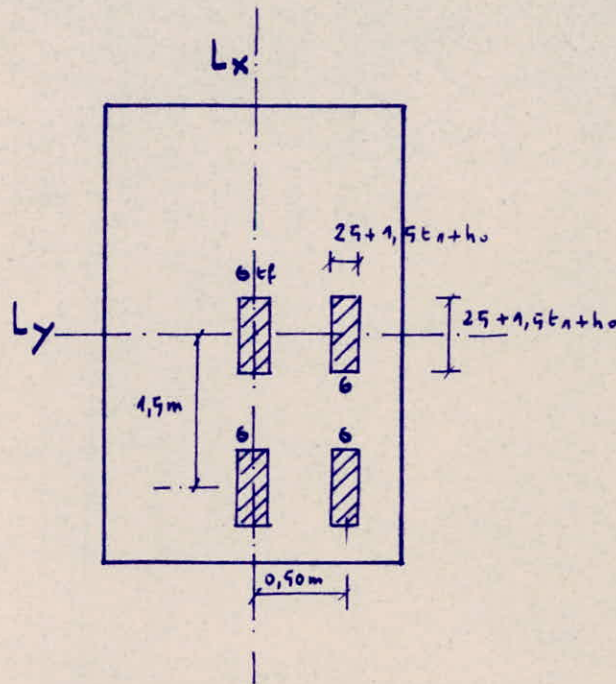
$$M_{x \min} = 3,502 \times 1,5 \times 1,221 = 6,37 \text{ tfm.}$$

$$M_{y \max} = 0,328 \times 12,72 = 4,17 \text{ tfm.}$$

$$M_{y \min} = 0,8 \times 6,37 = 5,096 \text{ tfm.}$$

surcharge de type Bc

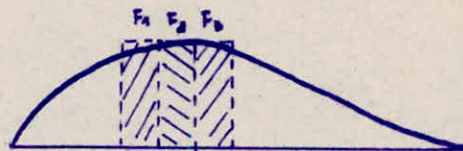
le système Bc produira les effets les plus défavorables quand il y aura deux roues de 2 voitures voisines placées sur la même dalle.



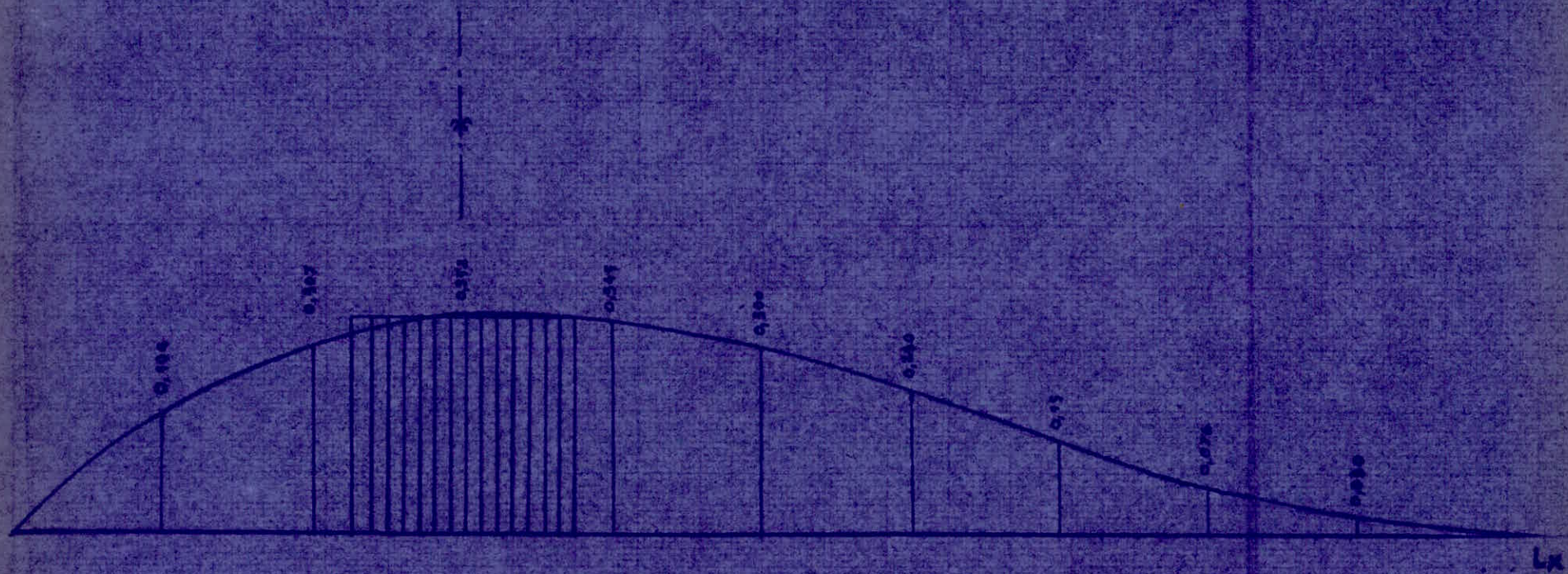
largeur considérée de la bande : $0,25 + 1,5t_n + h_0 = 0,56\text{m}$.

$$P = \frac{6}{0,25 + 1,5t_n + h_0} = \frac{6}{0,56} = 10,7 \text{ tf/m}$$

on place la surcharge dans la position la plus défavorable sur la ligne d'influence pour M_x min



LIGNE D'INFLUENCE POUR M_x min.



Echelle $\frac{1}{50}$

$$F_1 = 0,34 \times 0,20 = 0,068 \text{ m}^2 = F_3$$

$$F_2 = 0,10 \times 0,34 = 0,034 \text{ m}^2$$

$$M_{x \text{ max}} = (6 \times 1,21) - (11,6 \times 0,63 \times 0,37 - 2 \times 11,6 \times 0,055 \times \frac{0,055}{2}) = 4,22 \text{ tfm.}$$

$$M_{x \text{ min}} = P(F_1 + F_3) - 2P.F_2 = 11,6(0,068 + 0,034) + (23,2 \times 0,068) = 2,75 \text{ tfm.}$$

$$M_{y \text{ max}} = M_{x \text{ max}} \times \mu_y = 4,22 \times 0,328 = 1,37 \text{ tfm.}$$

$$M_{y \text{ min}} = 0,8 \times M_{x \text{ min}} = 0,8 \times 2,75 = 2,2 \text{ tfm.}$$

coefficient de majoration dynamique: γ_{Be} .

$$\gamma_{Be} = 1 + \frac{0,14}{1 + 0,2 \times 8,31} + \frac{0,16}{1 + 4 \times \frac{18,6}{72}} = 1 + 0,15 + 0,292 = 1,442$$

Système S₁:

tous les moments seront multipliés par $\frac{1}{0,56} = 1,784$

$$M_{x \text{ max}} = (4,22 \times 1,2 \times 1,442) \times 1,784 = 13,04 \text{ tfm.}$$

$$M_{x \text{ min}} = 2,75 \times 1,2 \times 1,442 \times 1,784 = 8,50 \text{ tfm.}$$

$$M_{y \text{ max}} = 13,04 \times 0,328 = 4,27 \text{ tfm.}$$

$$M_{y \text{ min}} = 0,8 \times 8,50 = 6,80 \text{ tfm.}$$

Système S₂:

$$M_{x \text{ max}} = (4,22 \times 1,5 \times 1,442) \times 1,784 = 16,32 \text{ tfm.}$$

$$M_{x \text{ min}} = (2,75 \times 1,5 \times 1,442) \times 1,784 = 10,63 \text{ tfm.}$$

$$M_{y \text{ max}} = 0,328 \times 16,32 = 5,46 \text{ tfm.}$$

$$M_{y \text{ min}} = 0,8 \times 10,63 = 8,504 \text{ tfm.}$$

MOMENTS FLECHISSANTS dans la DALLE

MOMENTS	SOLLICITATION S ₁						SOLLICITATION S ₂					
	moments dus au poids de la construction.	A	B _e	B _r	B _c	TOTAL	moments dus au poids de la construction.	A	B _e	B _r	B _c	TOTAL
M _x max	+ 0,30	+1,54	+10	+4,64	+13,04	+13,34	+ 0,30	+1,70	+12,72	+5,79	+13,62	+16,62
M _x min	- 0,32	-1,12	-5,15	-3,84	-8,50	-8,82	- 0,32	-1,77	-6,37	-4,79	-10,63	-10,95
M _y max	+ 0,096	+1,60	+3,28	+1,54	+4,27	+4,36	+ 0,096	+1,17	+4,17	+1,90	+5,46	+5,53
M _y min	- 0,26	-1,38	-4,12	-1,26	-6,80	-7,06	- 0,26	-1,44	-5,09	-1,64	-8,50	-8,76

CHAPITRE III

CALCUL des POUTRES PRINCIPALES

CALCUL DES POUTRES PRINCIPALES

Le calcul des poutres principales d'un pont à poutres continues est basé sur le théorème des 3 moments de CLAPEYRON.

M1L1 + 2M2(L1+L2) + M3.L2 + N2 = 0

M2.L2 + 2M3(L2+L3) + M4.L3 + N3 = 0

.....

Mn.Ln + 2Mn+1(Ln+Ln+1) + Mn+2.Ln+1 + Nn+1 = 0.

M1 et Mn sont les moments sur les appuis extrêmes, car ils sont nuls si ces appuis sont libres, ce qui est le cas.

Nous calculerons les moments dus :

- 1. aux charges permanentes
- 2. aux surcharges uniformément réparties.
- 3. aux charges concentrées mobiles.

Dans le 1er cas, comme nous avons 2 travées, MA = MC = 0

Moment sur l'appui intermédiaire :

Mg = - 1/8 * (q1.L1^3 + q2.L2^3) / (L1 + L2) où q1 et q2 sont les charges permanentes par mètre linéaire respectivement sur la 1ère et la 2ème travée.

charges permanentes par mètre linéaire respectivement sur la 1ère et la 2ème travée.

Moment dans la 1ère travée, à la distance x1 = 0,45L1 de l'appui extrême gauche :

Mx1 = (q2 * x1 * (L1 - x1) / 2) + (x1 / L1) * Mg.

Moment dans la 1ère travée à la distance x2 = 0,45L2 de l'appui extrême droit

Mx2 = (q2 * x2 * (L2 - x2) / 2) + (L2 - x2 / L2) * Mg

②. Dans ce 2^e cas, les surcharges sont susceptibles d'être appliquées sur l'une ou l'autre des 2 travées et produisent, suivant le cas, soit des moments positifs, soit des moments négatifs.

- Moment négatif maximum sur l'appui intermédiaire

$$M'_B = \frac{-P_1 \times L_1^3 + P_2 \times L_2^3}{8(L_1 + L_2)}$$

- Moments dans la première travée à $0,45 L_1$ de A :

. moment positif maximum : (1^{re} travée seule chargée)

$$M'_{x_1} = \frac{P_1 x_1 (L_1 - x_1)}{2} = 0,125 \gamma_1 P_1 L_1 x_1$$

. moment négatif maximum (2^e travée chargée)

$$M''_{x_1} = - \frac{0,125 \gamma_2 P_2 L_2^2 x_1}{L_1}$$

- Par Analogie, nous avons dans la 2^e travée à $0,45 L_2$ de C.

$$M > 0 \quad M'_{x_2} = \frac{P_2 x_2 (L_2 - x_2)}{2} = 0,125 \gamma_2 P_2 L_2 (L_2 - x_2)$$

$$M < 0 \quad M''_{x_2} = - 0,125 \gamma_1 P_1 L_1^2 \left(\frac{L_2 - x_2}{L_2} \right), \quad \text{avec } \gamma_1 = \frac{\alpha}{\alpha + 1} \quad \text{et } \alpha = \frac{L_1}{L_2} \\ \gamma_2 = \frac{1}{\alpha + 1}$$

Efforts Tranchants :

1^{er} cas :

- Effort tranchant sur l'appui extrême A :

$$T_1 = \frac{q_1 L_1}{2} - \frac{q_1 L_1^3 + q_2 L_2^3}{8(L_1 + L_2)L_1}$$

- effort tranchant sur l'appui extrême C

$$T_3 = - \frac{q_2 L_2}{2} + \frac{q_1 L_1^3 + q_2 L_2^3}{8(L_1 + L_2)L_2}$$

- efforts tranchants sur l'appui intermédiaire B

- à gauche de B : $T_{2g} = - \frac{q_1 L_1}{2} - \frac{q_1 L_1^3 + q_2 L_2^3}{8(L_1 + L_2)L_1}$

- à droite de B : $T_{2d} = \frac{q_2 L_2}{2} + \frac{q_1 L_1^3 + q_2 L_2^3}{8(L_1 + L_2)L_2}$

2^e cas :

. effort tranchant sur l'appui A :

$$T'_1 = \frac{P_1 L_1}{3} - \frac{P_1 L_1^3}{8(L_1 + L_2)L_1}$$

. effort tranchant sur l'appui C :

$$T'_3 = -\frac{P_2 L_2}{2} + \frac{P_2 L_2^3}{8(L_1 + L_2)L_2}$$

. effort tranchant à gauche de B :

$$T'_{2g} = -\left[\frac{P_3 L_1}{2} + \frac{P_3 L_1^3 + L_2^3}{8(L_1 + L_2)L_1} \right]$$

$$T'_{2d} = +\frac{P_3 L_2}{2} + \frac{P_3 L_1^3 + P_3 L_2^3}{8(L_1 + L_2)L_2}$$

③ charges concentrées mobiles.

lorsque les charges concentrées se déplacent sur toute la longueur du pont, on recherche la position des charges susceptible de provoquer les moments fléchissants et efforts tranchants les plus élevés dans la section considérée.

Pour cela, on trace la ligne d'influence, dont les ordonnées représentent les moments fléchissants et efforts tranchants produits dans cette section par une charge égale à l'unité parcourant toute la longueur de la partie principale. On détermine ainsi la position la plus défavorable.

On détermine ensuite les lignes d'influence de répartition des charges en utilisant la théorie du calcul avec Z. Ces lignes d'influence dépendent du rapport de rigidité de l'entreeuse et de la partie principale.

$$Z = \frac{l^3 I_c}{8a^3 I_p} \quad \text{avec,}$$

L = portée de la poutre principale

a = distance des entretoises

I_e et I_p = moments d'inertie de l'entretoise et de la poutre principale.

on détermine ainsi les charges P correspondant à chaque position du mobile.

on calcule l'aire délimitée par les lignes d'influence, par le théorème de Simpson:

$$\text{Aire} = \frac{\Delta}{3} (\eta_0 + 4\eta_1 + 2\eta_2 + 4\eta_3 + \dots + \eta_{10})$$

ensuite, on calcule les efforts dus aux charges mobiles, puisqu'on connaît P et les aires.

Introduisons les valeurs numériques:

I - charges permanentes

bordure des trottoirs : $2(0,25 \times 0,16 \times 2500) = 200 \text{ kgf/m'}$

poids des poutres principales : $4(0,70 \times 0,35 \times 2500) = 2050 \text{ ''}$

garde-corps $2 \times 30 = 60 \text{ ''}$

poids d'un mètre de chaussée : $7,50 \times 238 = 1786$

hourdis : $0,19(2 \times 1,40 + 3 \times 2,42) = 4779$

Total $\underline{\underline{8875 \text{ kgf/m'}}$

Pour une poutre principale : $\frac{8875}{4} = 2219 \text{ kg} = 2,219 \text{ tf/m'}$

A. moments flechissants.

a) moment flechissant sur l'appui intermédiaire :

$$M_B = -\frac{1}{8} \frac{2,219 \times 8000 + 2,219 \times 3375}{35} = -90,2 \text{ tfm.}$$

b) moment dans la première travée à $0,45 L_1$ de l'appui A :

$$M_{x_1=9m} = \frac{2,219 \times 9 \times 11}{2} - \frac{11 \times 90,2}{20} = +60,4 \text{ tfm}$$

Moment dans la 2^e travée à 0,45 L₂ de l'appui C.

$$M_{x_2} = \frac{2,219 \times 6,75 \times 8,25}{2} - \frac{8,25 \times 90,2}{15} = + 11,6 \text{ tfm.}$$

B. Efforts Tranchants:

Effort tranchant sur l'appui extrême A:

$$T_1 = \frac{2,219 \times 20}{2} - \frac{2,219 \times 8000 + 2,219 \times 3375}{8 \times 35 \times 20} = + 18,30 \text{ tf}$$

Effort tranchant sur l'appui extrême C:

$$T_3 = \frac{-2,219 \times 15}{2} + \frac{2,219 \times 8000 + 2,219 \times 3375}{8 \times 35 \times 15} = - 10,9 \text{ tf}$$

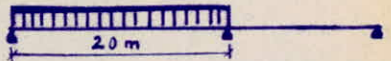
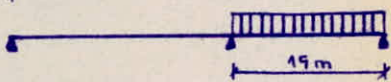
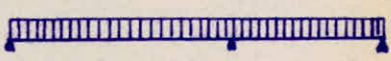
Efforts tranchants sur l'appui intermédiaire B:

à gauche de B: $T_{2g} = - \frac{2,219 \times 20}{2} - \frac{2,219 \times 8000 + 2,219 \times 3375}{8 \times 35 \times 20} = - 26,68 \text{ tf.}$

à droite de B: $T_{2d} = \frac{2,219 \times 15}{2} + \frac{2,219 \times 8000 + 2,219 \times 3375}{8 \times 35 \times 15} = + 22,5 \text{ tf.}$

II - surcharges uniformément réparties

Le règlement prescrit ces charges sur la chaussée:

- sur la 1^{ère} travée : $p_1 = 1595 \text{ Kgf/m}^2$ 
- sur la 2^e travée : $p_2 = 1672 \text{ Kgf/m}^2$ 
- sur l'appui intermédiaire : $p_3 = 1287 \text{ Kgf/m}^2$ 
- sur les trottoirs: $450 \times 3,60 = 1620 \text{ Kgf/m}^2$.

Surcharge pour 1 mètre de portée dans la travée 1:

$$P_1 = (1595 \times 7,5 + 1620) \frac{1}{4} = 3404 \text{ Kgf/m} = 3,404 \text{ tf/m}$$

Surcharge pour 1 mètre de portée dans la travée 2:

$$P_2 = (1672 \times 7,5 + 1620) \frac{1}{4} = 3950 \text{ Kgf/m} = 3,95 \text{ tf/m}$$

Surcharge pour 1 mètre de portée à l'appui intermédiaire:

$$P_3 = (1287 \times 7,5 + 1620) \frac{1}{4} = 2838 \text{ Kgf/m} = 2,838 \text{ tf/m}$$

A. Moments Fléchissants :

Moment sur l'appui intermédiaire B :

$$M'_B = -\frac{2,838 \times 8000 + 2,838 \times 3375}{8 \times 35} = -115,9 \text{ tfm.}$$

Moments dans la 1^{ère} travée à $x_1 = 0,45L_1$ de l'appui A.

- moment positif maximum :

$$M'_{x_1} = \frac{3,404 \times 9 \times 9}{2} - 0,125 \times 0,57 \times 3,404 \times 20 \times 9 = +125 \text{ tfm}$$

- moment négatif maximum :

$$M''_{x_2} = -0,125 \times 0,57 \times 3,404 \times 400 \times \frac{11}{20} = -53,4 \text{ tfm.}$$

B. Efforts Tranchants :

Effort tranchant maximum sur l'appui A (travée 1 chargée)

$$T'_A = \frac{3,404 \times 20}{2} - \frac{3,404 \times 8000}{8 \times 35 \times 20} = +29,16 \text{ tf}$$

Effort tranchant maximum sur l'appui C (travée 2 chargée)

$$T'_C = -\frac{3,55 \times 15}{2} + \frac{3,55 \times 3375}{8 \times 35 \times 15} = -23,76 \text{ tf.}$$

Effort tranchant maximum à gauche de B (les 2 travées chargées)

$$T'_{2g} = -\left[\frac{2,838 \times 20}{2} + \frac{2,838 \times 8000 + 2,838 \times 3375}{8 \times 35 \times 20} \right] = -34,20 \text{ tf}$$

Effort tranchant maximum à droite de B (les 2 travées chargées)

$$T'_{2d} = \frac{2,838 \times 15}{2} + \frac{2,838 \times 8000 + 2,838 \times 3375}{8 \times 35 \times 15} = +28,90 \text{ tf.}$$

III - charges concentrées mobiles

A. LIGNES D'INFLUENCE

1. ligne d'influence des moments sur l'appui intermédiaire B:

les équations de Clapeyron s'écrivent comme suit :

a. mobile sur la 1^{ère} travée :

$$M'_1 L_1 + 2 M'_2 (L_1 + L_2) + M'_3 L_2 + \frac{q_1 (L_1^2 - a_1^2)}{L_1} = 0 \quad \text{avec } M'_1 = M'_3 = 0$$

$$\text{d'où } \eta'_1 = - \frac{a_1 (L_1^2 - a_1^2)}{2 (L_1 + L_2) L_1}$$

donc :

pour $x = 0,1 L_1$	$\eta_1 = - \frac{0,1 (400 - 4)}{70}$	= - 0,567
$x = 0,2 L_2$	$\eta_2 = - \frac{0,2 (400 - 16)}{70}$	= - 1,09
$x = 0,3 L_2$	$\eta_3 = - \frac{0,3 (400 - 36)}{70}$	= - 1,56
$x = 0,4 L_2$	$\eta_4 = - \frac{0,4 (400 - 64)}{70}$	= - 1,92
$x = 0,5 L_2$	$\eta_5 = - \frac{0,5 (400 - 100)}{70}$	= - 2,14
$x = 0,6 L_2$	$\eta_6 = - \frac{0,6 (400 - 144)}{70}$	= - 2,19
$x = 0,7 L_2$	$\eta_7 = - \frac{0,7 (400 - 196)}{70}$	= - 2,04
$x = 0,8 L_2$	$\eta_8 = - \frac{0,8 (400 - 256)}{70}$	= - 1,65
$x = 0,9 L_2$	$\eta_9 = - \frac{0,9 (400 - 324)}{70}$	= - 0,97

b. mobile sur la 2^{ème} travée.

$$M'_1 L_1 + 2 M'_2 (L_1 + L_2) + M'_3 L_2 + \frac{q_2 (L_2 - a_2) (2 L_2 - a_2)}{L_2} = 0$$

$$\text{d'où } \eta'_2 = - \frac{q_2 (L_2 - a_2) (2 L_2 - a_2)}{2 L_2 (L_1 + L_2)}$$

Donc:

$$\eta_1 = - \frac{0,1 \times 13,5 \times 28,5}{70} = -0,55$$

$$\eta_2 = - \frac{0,2 \times 12 \times 27}{70} = -0,925$$

$$\eta_3 = - \frac{0,3 \times 11,5 \times 25,5}{70} = -1,25$$

$$\eta_4 = - \frac{0,4 \times 9 \times 24}{70} = -1,24$$

$$\eta_5 = - \frac{0,5 \times 7,5 \times 22,5}{70} = -1,19$$

$$\eta_6 = - \frac{0,6 \times 6 \times 21}{70} = -1,08$$

$$\eta_7 = - \frac{0,7 \times 4,5 \times 19,5}{70} = -0,87$$

$$\eta_8 = - \frac{0,8 \times 3 \times 18}{70} = -0,61$$

$$\eta_9 = - \frac{0,9 \times 1,5 \times 16,5}{70} = -0,32$$

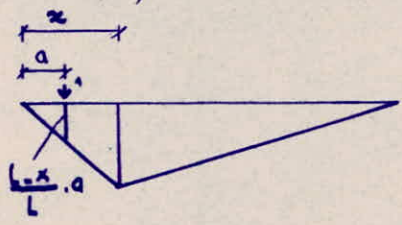
2. lignes d'influence des moments dans les sections des travées que parcourent le mobile:

on considère 2 cas, suivant que le mobile se trouve à droite ou à gauche de la section considérée. Sa méthode générale est la suivante: on trouve la ligne d'influence η_0 dans la section considérée pour le cas d'une poutre simple. Nous avons déjà calculé la ligne d'influence y' sur l'appui intermédiaire pour la même section.

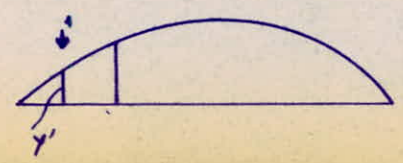
d'où $\eta = \eta_0 + y'$.

a. 1^{ère} travée chargée.

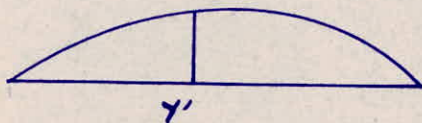
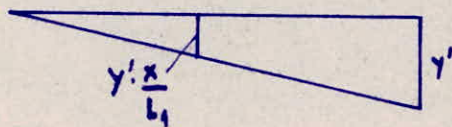
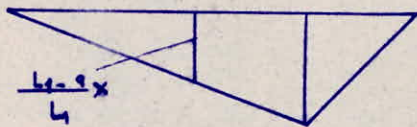
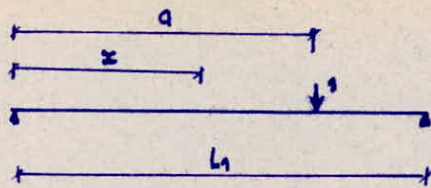
α) $x > a$:



d'où $\eta = \frac{L-x}{L} \times q + \frac{x}{L} \times y'$



β) $x < a$



$$\text{d'ni } \eta = \frac{L_1 - a}{L_1} \cdot x + y' \cdot \frac{x}{L_1}$$

Dans le cas :

$$\eta_1 = \frac{20-9}{20} \times 2 - \frac{9}{20} \times 0,567 = 0,82$$

$$\eta_2 = \frac{11}{20} \times 4 - \frac{9}{20} \times 1,09 = 1,71$$

$$\eta_3 = \frac{11}{20} \times 6 - \frac{9}{20} \times 1,56 = 2,60$$

$$\eta_4 = \frac{11}{20} \times 8 - \frac{9}{20} \times 1,92 = 3,55$$

$$\eta_5 = \frac{10}{20} \times 9 - \frac{9}{20} \times 2,14 = 3,55$$

$$\eta_6 = \frac{8}{20} \times 9 - \frac{9}{20} \times 2,19 = 2,61$$

$$\eta_7 = \frac{6}{20} \times 9 - \frac{9}{20} \times 2,04 = 1,78$$

$$\eta_8 = \frac{4}{20} \times 9 - \frac{9}{20} \times 1,65 = 1,06$$

$$\eta_9 = \frac{2}{20} \times 9 - \frac{9}{20} \times 0,97 = 0,52$$

b. mobile dans la 2^e travée. ($x_2 = 0,49L_2 = 6,75$ m de c)

Nous calculerons les lignes d'influence de la même manière que précédemment.

Donc :

$$\eta_1 = \frac{15 - 6,75}{15} \times 1,5 - \frac{6,75}{15} \times 0,55 = 0,585$$

$$\eta_2 = \frac{8,25}{15} \times 3 - \frac{6,75}{15} \times 0,925 = 1,240$$

$$\eta_3 = \frac{8,25}{15} \times 4,5 - \frac{6,75}{15} \times 1,25 = 1,96$$

$$\eta_4 = \frac{8,25}{15} \times 6 - \frac{6,75}{15} \times 1,24 = 2,74$$

$$\eta_5 = \frac{7,5}{15} \times 6,75 - \frac{6,75}{15} \times 1,19 = 2,84$$

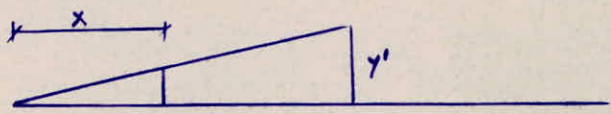
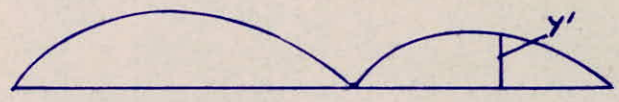
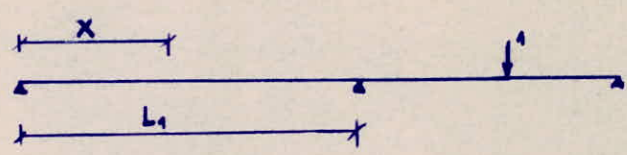
$$\eta_6 = \frac{6}{15} \times 6,75 - \frac{6,75}{15} \times 1,08 = 2,21$$

$$\eta_7 = \frac{4,5}{15} \times 6,75 - \frac{6,75}{15} \times 0,87 = 1,64$$

$$\eta_8 = \frac{3}{15} \times 6,75 - \frac{6,75}{15} \times 0,64 = 1,07$$

$$\eta_9 = \frac{1,5}{15} \times 6,75 - \frac{6,75}{15} \times 0,32 = 0,53.$$

3. lignes d'influence des moments dans les sections ^{de travées} autres que parcourt le mobile.



Dans ce cas $\eta = y' \cdot \frac{x}{L_1}$

a. ligne d'influence des moments dans la travée 1 quand le mobile parcourt la travée 2.

$$\eta_1 = 0,567 \times \frac{9}{20} = 0,278$$

$$\eta_2 = 1,09 \times \frac{9}{20} = 0,49$$

$$\eta_3 = 1,56 \times \frac{9}{20} = 0,783$$

$$\eta_4 = 1,92 \times \frac{9}{20} = 0,864$$

$$\eta_5 = 2,14 \times \frac{9}{20} = 0,964$$

$$\eta_6 = 2,19 \times \frac{9}{20} = 0,986$$

$$\eta_7 = 2,04 \times \frac{9}{20} = 0,92$$

$$\eta_8 = 1,65 \times \frac{9}{20} = 0,74$$

$$\eta_9 = 0,97 \times \frac{9}{20} = 0,436.$$

b. Ligne d'influence des moments, dans la travée 2 quand le mobile parcourt la travée 1.

$$\eta_1 = 0,95 \times \frac{6,75}{15} = 0,238$$

$$\eta_2 = 0,925 \times \frac{6,75}{15} = 0,42$$

$$\eta_3 = 1,25 \times \frac{6,75}{15} = 0,56$$

$$\eta_4 = 1,24 \times \frac{6,75}{15} = 0,55$$

$$\eta_5 = 1,19 \times \frac{6,75}{15} = 0,535$$

$$\eta_6 = 1,08 \times \frac{6,75}{15} = 0,486$$

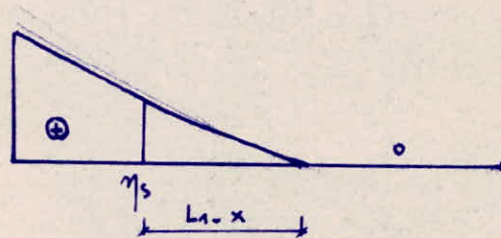
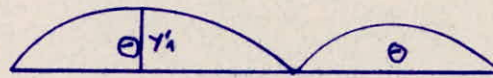
$$\eta_7 = 0,87 \times \frac{6,75}{15} = 0,391$$

$$\eta_8 = 0,61 \times \frac{6,75}{15} = 0,274$$

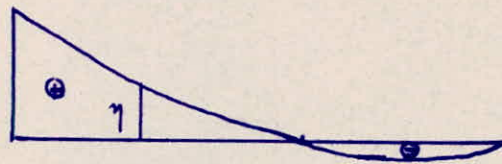
$$\eta_9 = 0,32 \times \frac{6,75}{15} = 0,144$$

LIGNES D'INFLUENCE DES EFFORTS TRANCHANTS

1. ligne d'influence sur l'appui extrême A :



$$\eta_s = \frac{L-x}{L}$$



$$\eta = \eta_s + \frac{y_1'}{L_1} = 1 - \frac{x_1}{L_1} + \frac{y_1'}{L_1} \text{ dans la 1}^{\text{e}} \text{ travée.}$$

$$\eta = -\frac{y_2'}{L_2} \text{ dans la 2}^{\text{e}} \text{ travée}$$

a) dans la 1^{ère} travée :

$$\eta_1 = 1 - 0,1 - \frac{0,567}{20} = 0,87$$

$$\eta_2 = 1 - 0,2 - \frac{1,09}{20} = 0,75$$

$$\eta_3 = 0,7 - \frac{1,56}{20} = 0,63$$

$$\eta_4 = 0,6 - \frac{1,92}{20} = 0,51$$

$$\eta_5 = 0,5 - \frac{2,14}{20} = 0,40$$

$$\eta_6 = 0,4 - \frac{2,19}{20} = 0,30$$

$$\eta_7 = 0,3 - \frac{2,07}{20} = 0,20$$

$$\eta_8 = 0,2 - \frac{1,69}{20} = 0,11$$

$$\eta_9 = 0,1 - \frac{0,97}{20} = 0,055$$

b) dans la 2^e travée.

$$\eta_1 = - \frac{0,55}{15} = - 0,037$$

$$\eta_2 = - \frac{0,925}{15} = - 0,061$$

$$\eta_3 = - \frac{1,25}{15} = - 0,083$$

$$\eta_4 = - \frac{1,24}{15} = - 0,082$$

$$\eta_5 = - \frac{1,19}{15} = - 0,079$$

$$\eta_6 = - \frac{1,08}{15} = - 0,072$$

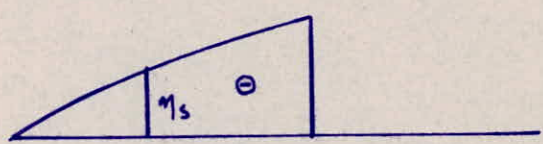
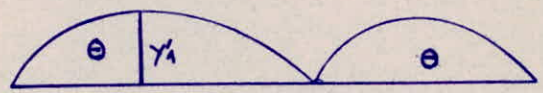
$$\eta_7 = - \frac{0,87}{15} = - 0,058$$

$$\eta_8 = - \frac{0,61}{15} = - 0,040$$

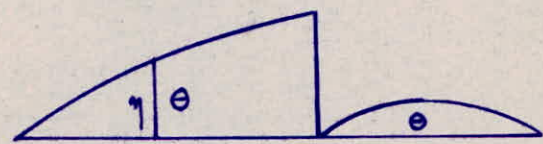
$$\eta_9 = - \frac{0,32}{15} = - 0,020.$$

2. Efforts tranchants sur l'appui intermédiaire :

a). quand le mobile est sur la première travée :



$$\eta_s = - \frac{x}{L_1}$$



$$\eta = \eta_s + \frac{\gamma_1}{L_1}$$

a) dans la 1^{ère} travée

$$\eta_1 = - 0,1 - \frac{0,567}{20} = - 0,13$$

$$\eta_2 = - 0,2 - \frac{1,09}{20} = - 0,254$$

$$\eta_3 = - 0,3 - \frac{1,56}{20} = - 0,375$$

$$\eta_4 = -0,4 - \frac{1,92}{20} = -0,50$$

$$\eta_5 = -0,5 - \frac{2,14}{20} = -0,60$$

$$\eta_6 = -0,6 - \frac{2,19}{20} = -0,70$$

$$\eta_7 = -0,7 - \frac{2,104}{20} = -0,81$$

$$\eta_8 = -0,8 - \frac{1,65}{20} = -0,88$$

$$\eta_9 = -0,9 - \frac{0,97}{20} = -0,95.$$

8). dans la 2^e travée:

$$\eta_1 = -\frac{0,55}{15} = -0,037.$$

$$\eta_2 = -\frac{0,925}{15} = -0,061.$$

$$\eta_3 = -\frac{1,25}{15} = -0,083.$$

$$\eta_4 = -\frac{1,24}{15} = -0,082.$$

$$\eta_5 = -\frac{1,19}{15} = -0,079.$$

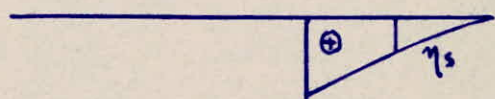
$$\eta_6 = -\frac{1,08}{15} = -0,072.$$

$$\eta_7 = -\frac{0,87}{15} = -0,058.$$

$$\eta_8 = -\frac{0,61}{15} = -0,040.$$

$$\eta_9 = -\frac{0,32}{15} = -0,020.$$

b) quand le mobile est sur la 2^e travée:



$$\eta_s = \frac{L_2 - x}{L_2}$$



$$\eta = \eta_s - \frac{Y_2}{L_2} = 1 - \frac{a_2}{L_2} - \frac{Y_2}{L_2}$$

2) dans la 1^{ère} travee :

$$\eta = \frac{-Y_1}{L_1}$$

$$\eta_1 = \frac{0,567}{20} = 0,028.$$

$$\eta_2 = \frac{1,09}{20} = 0,055.$$

$$\eta_3 = \frac{1,56}{20} = 0,078.$$

$$\eta_4 = \frac{1,92}{20} = 0,090.$$

$$\eta_5 = \frac{2,14}{20} = 0,107.$$

$$\eta_6 = \frac{2,19}{20} = 0,11.$$

$$\eta_7 = \frac{2,04}{20} = 0,10.$$

$$\eta_8 = \frac{1,65}{20} = 0,080.$$

$$\eta_9 = \frac{0,97}{20} = 0,049.$$

3) dans la 2^{ème} travee :

$$\eta_1 = 0,9 - \frac{0,55}{15} = 0,86$$

$$\eta_2 = 0,8 - \frac{0,925}{15} = 0,739$$

$$\eta_3 = 0,7 - \frac{1,25}{15} = 0,62$$

$$\eta_4 = 0,6 - \frac{1,24}{15} = 0,52$$

$$\eta_5 = 0,5 - \frac{1,19}{15} = 0,42$$

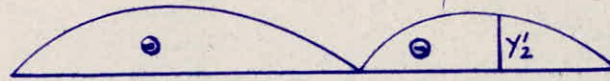
$$\eta_6 = 0,4 - \frac{1,08}{15} = 0,33$$

$$\eta_7 = 0,3 - \frac{0,87}{15} = 0,24$$

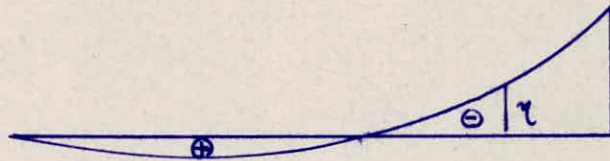
$$\eta_8 = 0,2 - \frac{0,64}{15} = 0,16$$

$$\eta_9 = 0,1 - \frac{0,32}{15} = 0,08.$$

3) efforts tranchants sur l'appui extérieur c



$$\eta_5 = -\frac{x}{L_2}$$



$$\eta = \eta_5 - \frac{\gamma_2}{L_2} = -a_2 - \frac{\gamma_2}{L_2}$$

a) 1^{er} travée: $\eta = -\frac{\gamma_1}{L_1}$

$$\eta_1 = +\frac{0,567}{20} = 0,028$$

$$\eta_2 = -\frac{1,09}{20} = 0,055$$

$$\eta_3 = \frac{1,56}{20} = 0,078$$

$$\eta_4 = \frac{1,92}{20} = 0,090$$

$$\eta_5 = \frac{2,14}{20} = 0,107$$

$$\eta_6 = \frac{2,19}{20} = 0,11$$

$$\eta_7 = \frac{2,04}{20} = 0,10$$

$$\eta_8 = \frac{1,65}{20} = 0,082$$

$$\eta_9 = \frac{0,97}{20} = 0,049$$

b) 2^e travée:

$$\eta_1 = -0,1 + \frac{0,55}{15} = -0,075$$

$$\eta_2 = -0,2 + \frac{0,925}{15} = -0,138$$

$$\eta_3 = -0,3 + \frac{1,25}{15} = -0,217$$

$$\eta_4 = -0,4 + \frac{1,26}{15} = -0,318$$

$$\eta_5 = -0,5 + \frac{1,19}{15} = -0,42$$

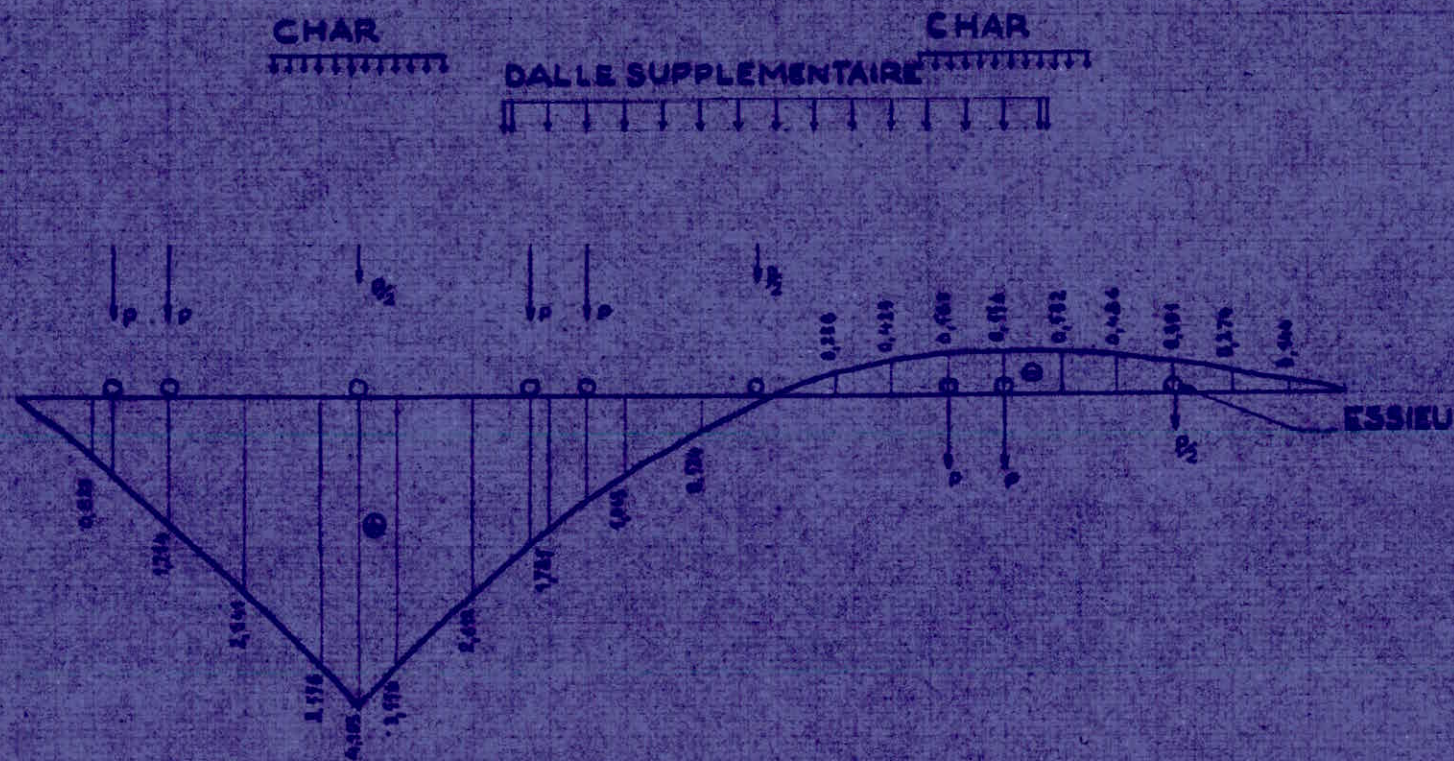
$$\eta_6 = -0,6 + \frac{1,08}{15} = -0,53$$

$$\eta_7 = -0,7 + \frac{0,87}{15} = -0,64$$

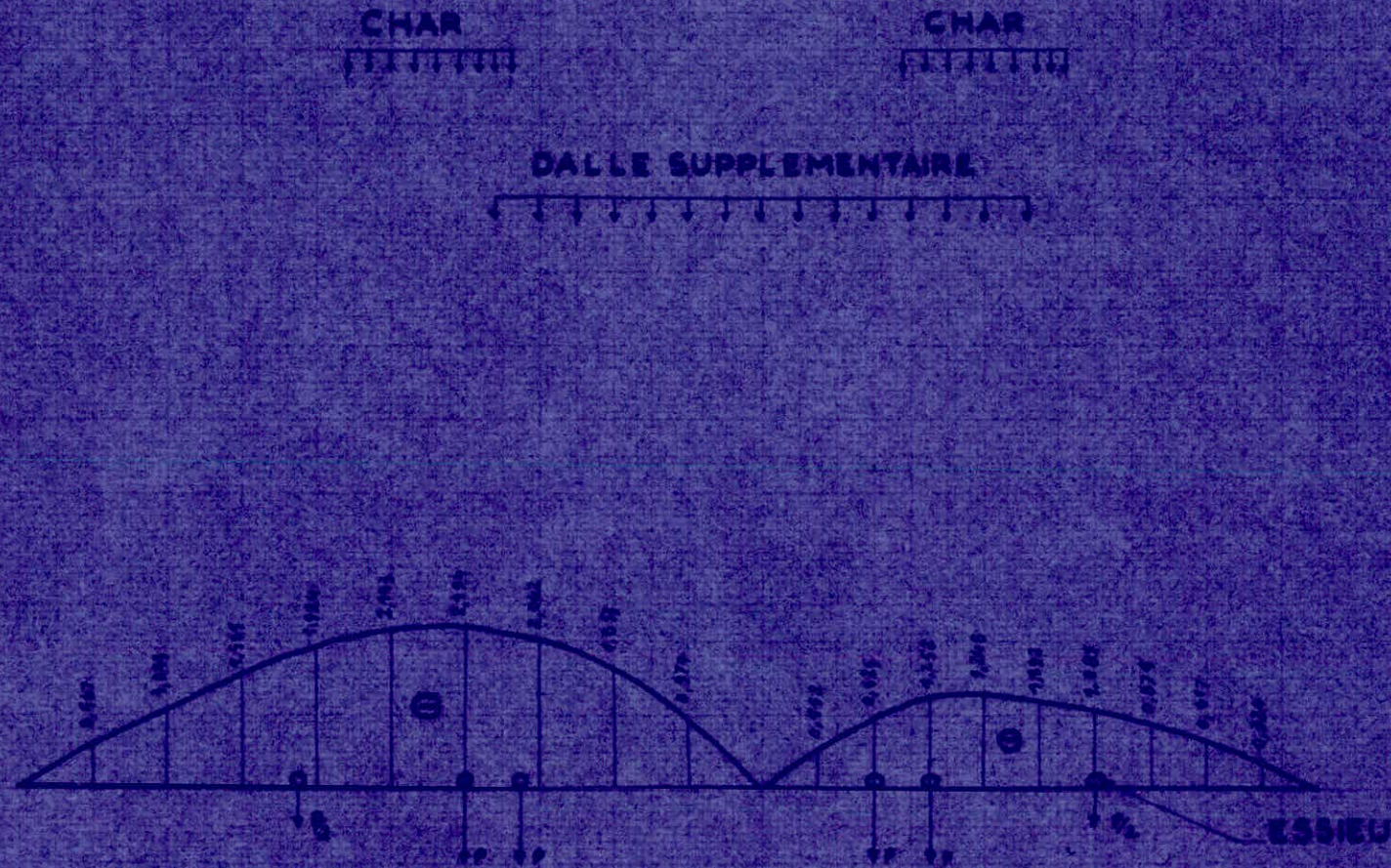
$$\eta_8 = -0,8 + \frac{0,61}{15} = -0,76$$

$$\eta_9 = -0,9 + \frac{0,32}{15} = -0,88$$

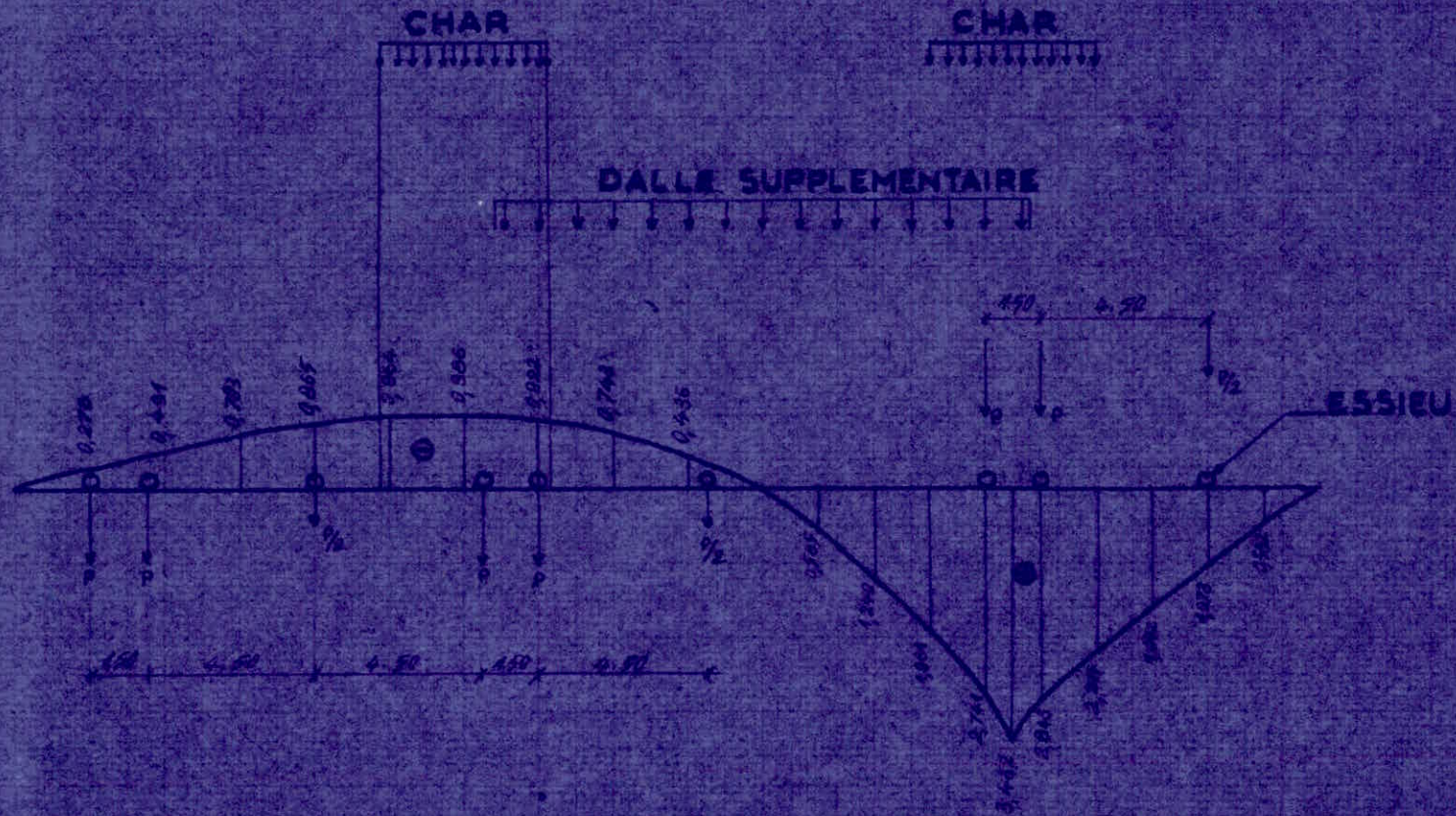
LIGNE d'INFLUENCE des MOMENTS FLECHISSANTS quand la 1^{re} TRAVEE est CHARGEE



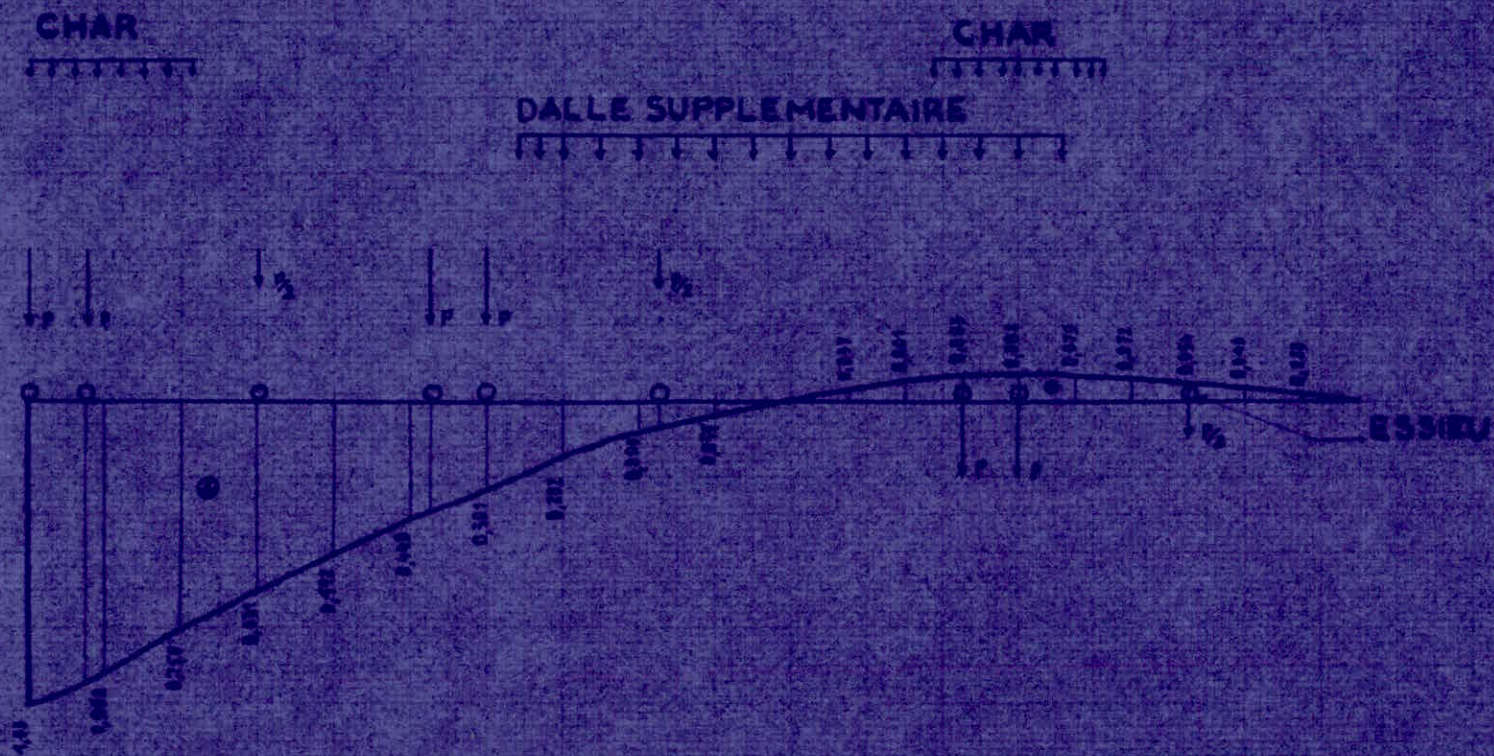
LIGNE D'INFLUENCE des MOMENTS FLECHISSANTS SUR L' APPUI B



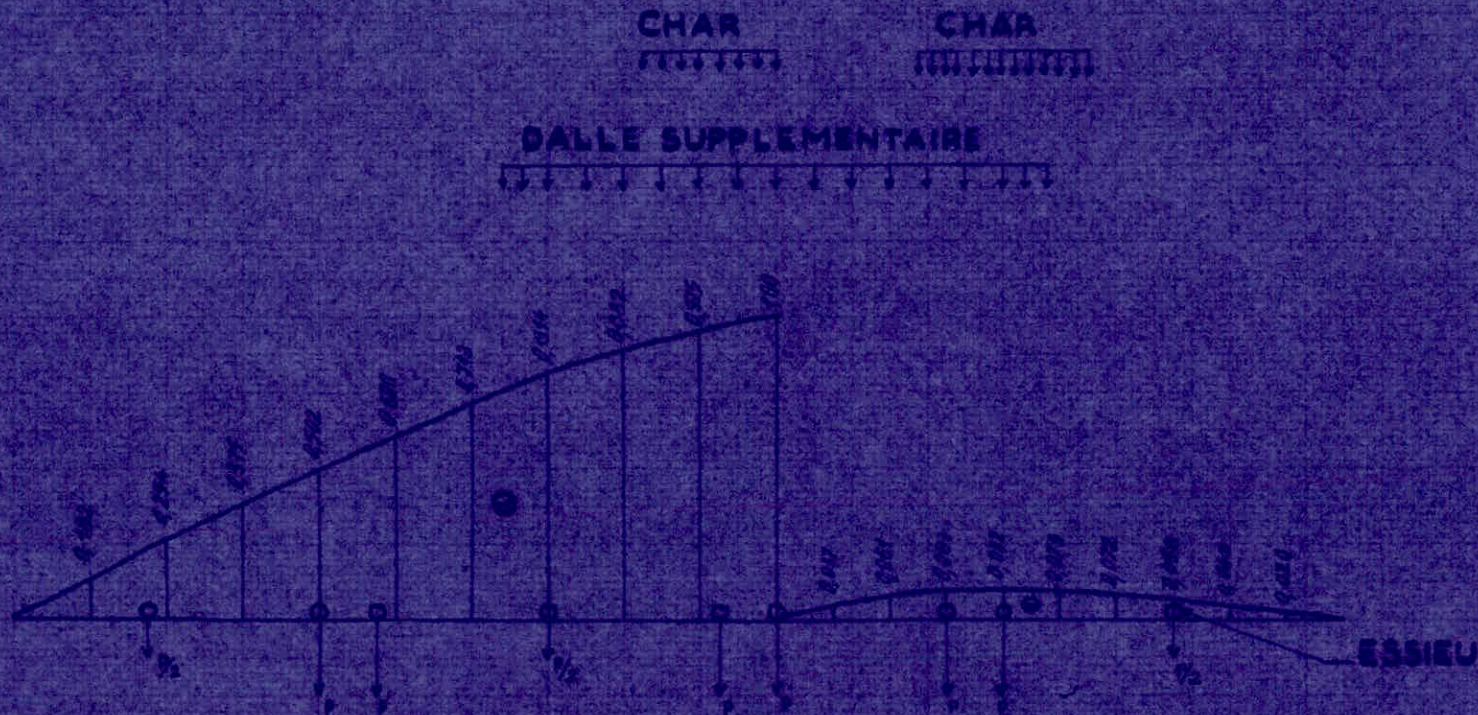
LIGNE D'INFLUENCE DES MOMENTS FLÉCHISSANTS QUAND LA DEUXIEME TRAVÉE EST CHARGÉE



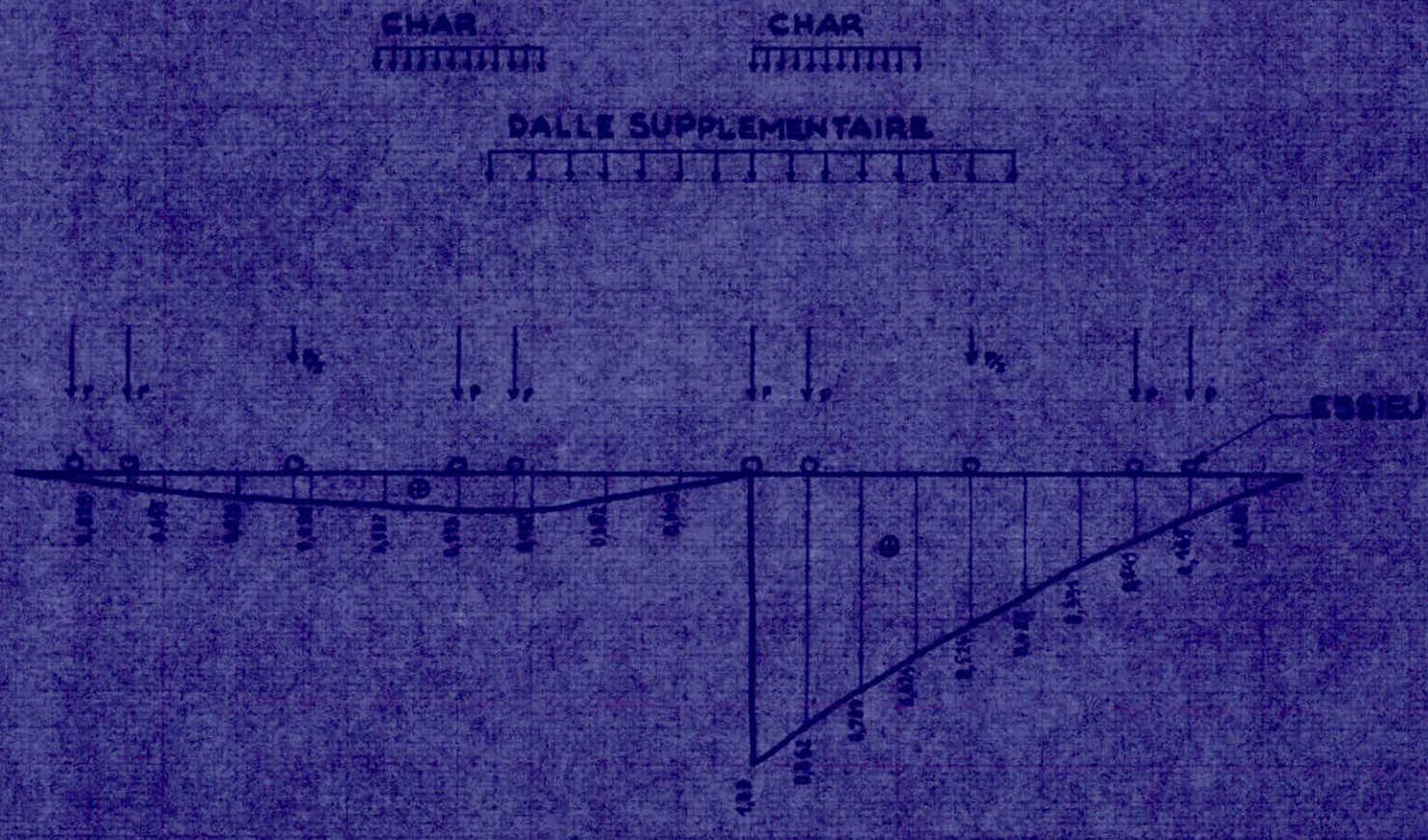
LIGNE D'INFLUENCE des EFFORTS TRANCHANTS SUR L'APPUI EXTREME A



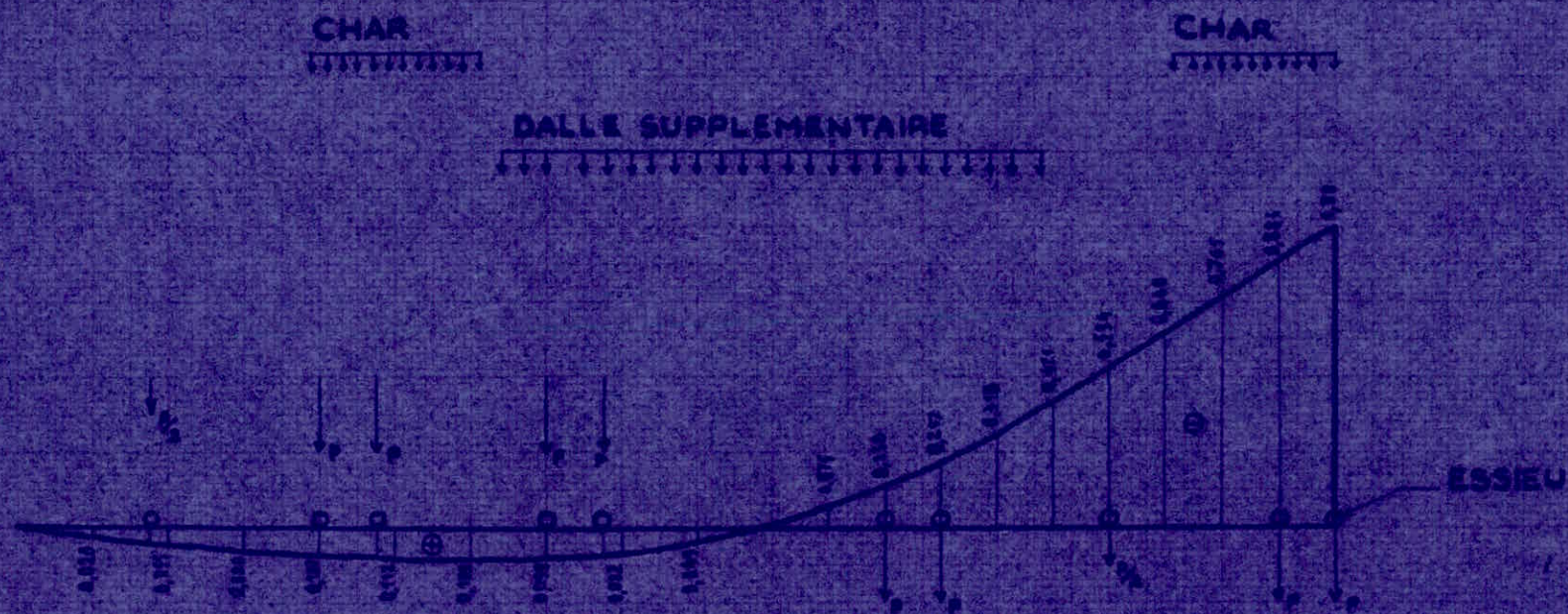
LIGNE D'INFLUENCE DE L'EFFORT TRANCHANT
 SUR L'APPUI INTERMÉDIAIRE
 QUAND LE MOBILE EST SUR LA DEUXIÈME TRAVÉE



LIGNE D'INFLUENCE des EFFORTS TRANCHANTS sur L'APPUI INTERMEDIAIRE quand la 2^{ème} TRAVÉE est CHARGÉE



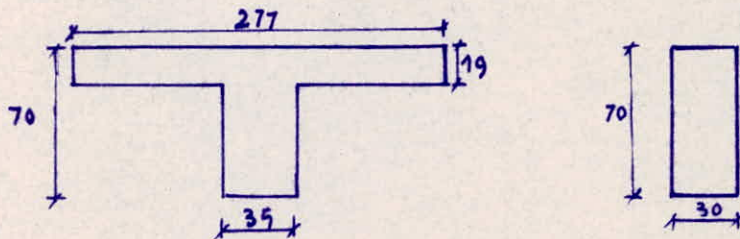
LIGNE D'INFLUENCE des EFFORTS TRANCHANTS sur l'APPUI EXTREME C



calcul des efforts dus aux charges mobiles.

- Lignes d'influence de répartition des charges:

- détermination des nombres Z dans la 1^{ère} et 2^e travée.
on calcule les moments d'inertie des parties principales et des
des entretoises.



moments d'inertie de la partie principale:

$$\frac{b}{b'} = \frac{35}{277} = 0,126$$

$$\frac{e}{h} = \frac{19}{70} = 0,271$$

$$I_p = 0,031 \times 2,77 \times 0,70^3 = 0,0378 \text{ m}^4$$

$$I_e = \frac{1}{12} \times 0,30 \times 0,70^3 = 0,0083 \text{ m}^4$$

$$\frac{I_e}{I_p} = \frac{0,0083}{0,0378} = 0,392$$

$$\text{d'où } Z \text{ dans la première travée} = \frac{8000}{8 \times 2,77^3} \times 0,392 \times 1,97 = 36,85 \approx 40$$

$$Z \text{ dans la deuxième travée} = \frac{3375}{8 \times 2,77^3} \times 0,392 \times 1,48 = 11,92 \approx 12$$

pour calculer les efforts dans une section autre que celle chargée
on prend $Z = \infty$.

NOTA: les lignes d'influence de répartition des charges ont
été tracées pour les différents cas (voir diagrammes ci-joints.)

Nous allons calculer les charges, ensuite les moments fléchissants
et efforts tranchants

POUTRE PRINCIPALE N°1

La première roue est placée à 0,25 m du bord du trottoir ou travée :

pour la travée 1:

$$Z = 40 \Rightarrow P = 6(0,637 + 0,391 + 0,339 + 0,128) = 8,97 \text{ tf.}$$

$$Z = \infty \Rightarrow P = 6(0,629 + 0,41 + 0,353 + 0,137) = 9,174 \text{ tf.}$$

pour la travée 2:

$$Z = 12 \Rightarrow P = 6(0,695 + 0,361 + 0,309 + 0,105) = 8,58 \text{ tf.}$$

$$Z = \infty \Rightarrow P = 6(0,629 + 0,41 + 0,353 + 0,137) = 9,174 \text{ tf.}$$

d'où les efforts:

A - Moments Flechissants:

1. moment flechissant au d'appui intermédiaire:

a) moment dû au mobile sur la première travée:

$$M'_{x_1} = - \left[8,97(2,19 + 2,10 + \frac{8,97}{2} \times 1,80) \right] = - 46,67 \text{ tfm}$$

b) moment dû au mobile sur la deuxième travée:

$$M'_{x_2} = - \left[8,58(0,925 + 1,27) + \frac{8,58}{2} \times 1,80 \right] = \underline{\underline{- 26,57 \text{ tfm}}}$$

$$\text{Total:} \quad \underline{\underline{- 73,24 \text{ tfm.}}}$$

2. moments flechissants dans la section $x_1 = 0,45 L_1$:

a) moment positif maximum (1^{ère} travée seule chargée)

$$M_{x_1} = 8,97(1,30 + 1,94 + 1,40) + \frac{8,97}{2}(4,10 + 0,22) = + 61 \text{ tfm.}$$

b) moment négatif maximum (2^{ème} travée seule chargée)

$$M_{x_2} = - \left[9,17(0,55 + 0,56) + \frac{9,17}{2} \times 0,39 \right] = - 11,80 \text{ tfm.}$$

3. moments flechissants dans la section $x_2 = 0,45 L_2$.

a) moment positif maximum (2^{ème} travée seule chargée)

$$8,58(2,74 + 2,84) + \frac{8,58}{2} \times 1,67 = + 52,54 \text{ tfm.}$$

b) moment négatif maximum (1^{ère} travée seule chargée)

$$- [9,17(0,278 + 0,42 + 0,986 + 0,92) + \frac{9,17}{2} (0,865 + 0,36)] = - 29,25 \text{ tf}$$

B. Efforts Tranchants:

1. effort tranchant sur l'appui extrême A:

a) effort tranchant maximum positif dans la travée 1.

$$T = (1,00 + 0,90 + 0,375 + 0,30) 8,97 + (0,63 + 0,090) \frac{9,17}{2} = + 29,97 \text{ tf}$$

b) effort tranchant négatif maximum dans travée 2:

$$T = - [(0,083 + 0,082) 9,17 + 0,058 \times \frac{9,17}{2}] = - 2,25 \text{ tf}$$

2. efforts tranchants à gauche et à droite de l'appui intermédiaire B.

a) quand le mobile est sur la travée 1:

- à gauche de B:

$$T_g = - [8,97(0,50 + 0,975 + 0,97 + 1,00) + 8,97(0,23 + 0,81)] = - 27,50 \text{ tf}$$

- à droite de B:

$$T_d = - [(0,083 + 0,082) 9,17 + (0,098 \times \frac{9,17}{2})] = - 2,25 \text{ tf}$$

b) quand le mobile se trouve sur la travée 2:

$$T_g = 9,17(0,11 + 0,10 + 0,050 + 0,012) + 9,17 \times 0,082 = + 3,33 \text{ tf}$$

$$T_d = 8,97(1,00 + 0,86 + 0,24 + 0,16) + \frac{8,97}{2} \times 0,52 = + 21,73 \text{ tf}$$

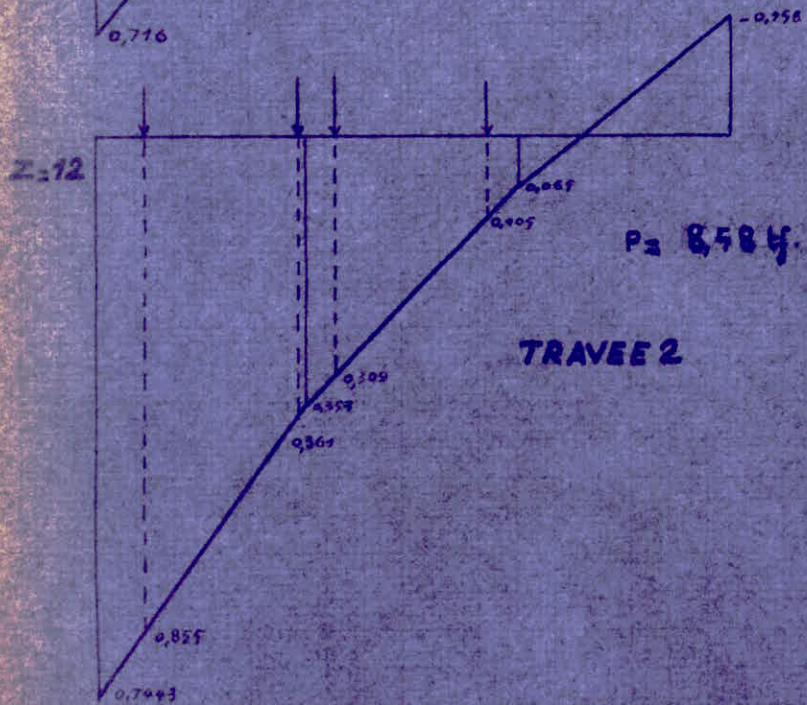
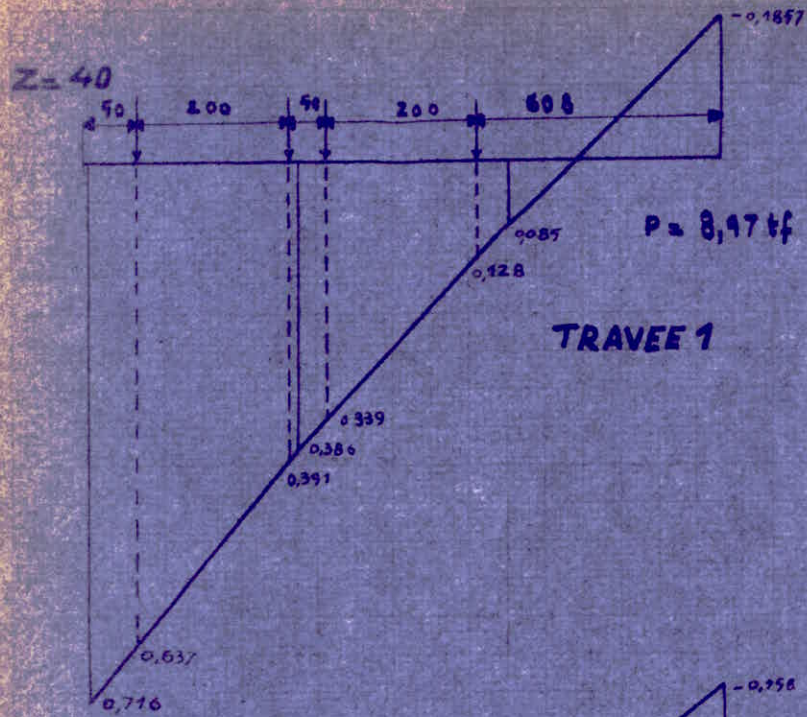
3. efforts tranchants sur l'appui C:

a) effort tranchant maximum positif dans la travée 1:

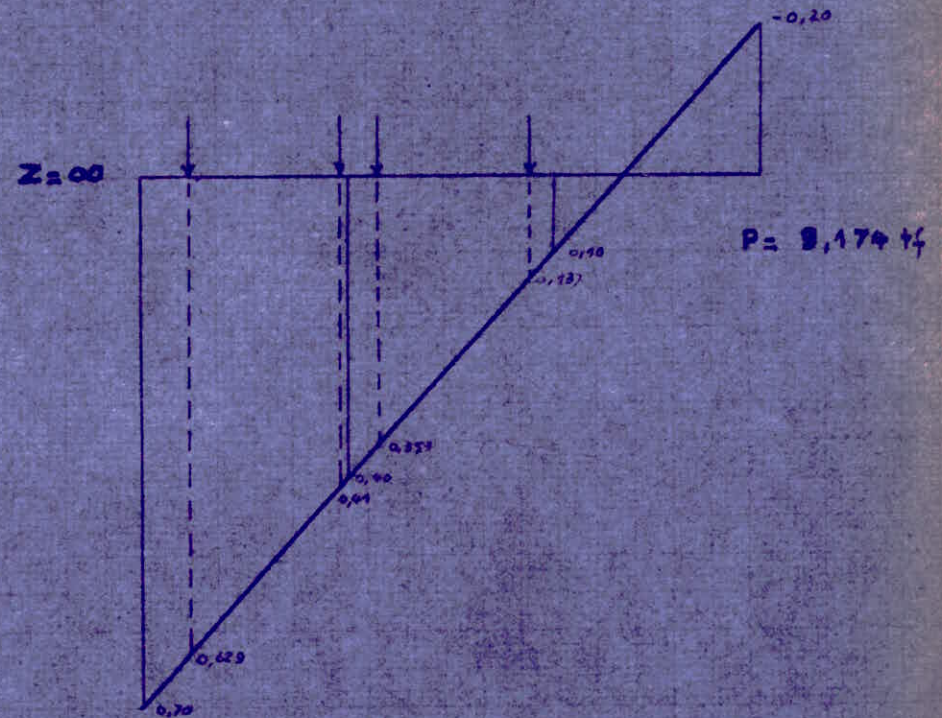
$$T = + [9,17(0,107 + 0,11) + \frac{9,17}{2} (0,075 + 0,078)] = + 2,67 \text{ tf}$$

b) effort tranchant négatif maximum dans la travée 2:

$$T = - [8,58(1,00 + 0,88 + 0,217 + 0,138) + \frac{8,58}{2} \times 0,53 - 8,58 \times 0,075] = - 20,84 \text{ tf}$$



POUTRE PRINCIPALE N° 1



Echelle :

CONVOI ROUTIER

A). Détermination des charges P:

1 - Trave 1:

$$Z = 40 \Rightarrow P = 6(0,368 + 0,316 + 0,302 + 0,321) = 7,842 \text{ tf.}$$

$$Z = \infty \Rightarrow P = 6(0,375 + 0,30 + 0,282 + 0,21) = 7,02 \text{ tf.}$$

2. Trave 2:

$$Z = 12 \Rightarrow P = 6(0,353 + 0,354 + 1,342 + 0,262) = 7,862 \text{ tf.}$$

$$Z = \infty \Rightarrow P = 6(0,375 + 0,30 + 0,282 + 0,21) = 7,02 \text{ tf.}$$

B) Calcul des moments fléchissants:

1 - Moment au droit intermédiaire 8:

a) mobile sur la travée 1:

$$M'_{x1} = - \left[7,842(2,19 + 2,10) + \frac{7,842}{2} \times 1,80 \right] = - 41,48 \text{ tfm.}$$

b) mobile sur la deuxième travée

$$- \left[7,862(0,925 + 1,25) + \frac{7,862}{2} \times 1,80 \right] = - 24,13 \text{ tfm.}$$

Total:

$$- 65,61 \text{ tfm.}$$

2. Moments dans la section X1 = 0,45 L1:

a) moment positif maximum (1^{er} travée seule chargée)

$$M = 7,842(1,30 + 1,94 + 1,40) + \frac{7,842}{2}(4,10 + 0,22) = + 53,4 \text{ tfm.}$$

b) moment négatif maximum (2^{ème} travée seule chargée)

$$M = - 7,02 \left[0,55 + 0,56 \right] + \frac{7,02}{2} \times 0,39 = - 9,16 \text{ tfm.}$$

3. Moments dans la section X2 = 0,45 L2:

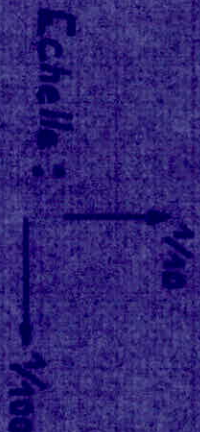
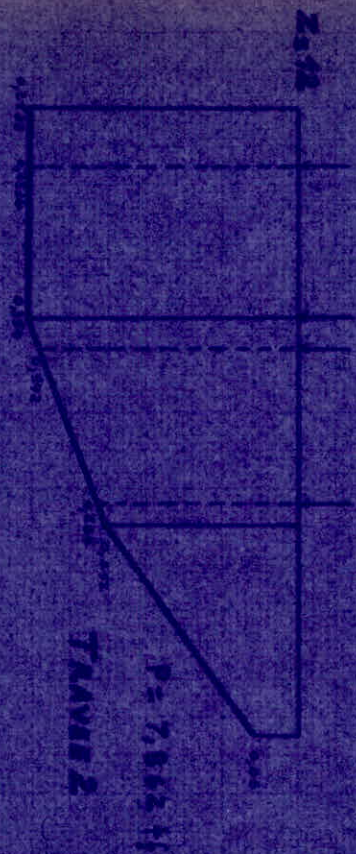
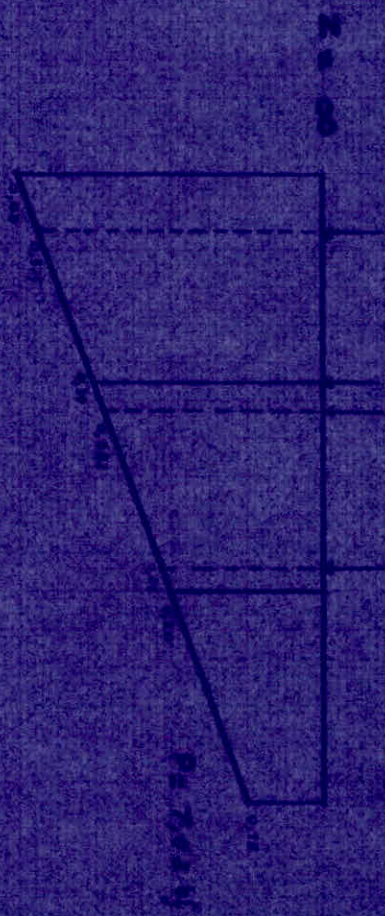
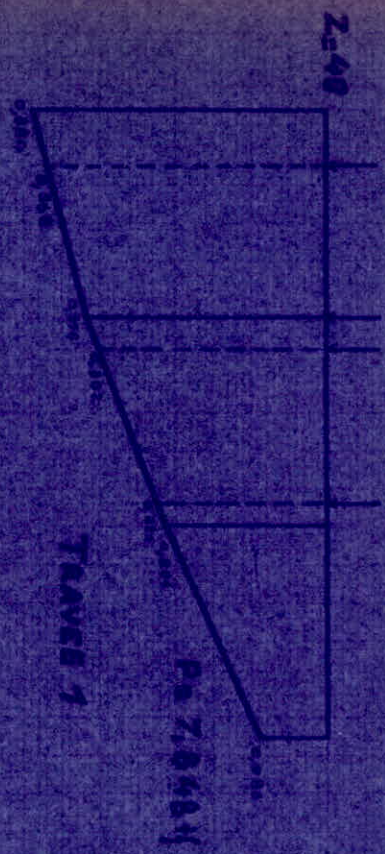
a) moment positif maximum (2^{ème} travée seule chargée)

$$M = 7,862(2,74 + 2,84) + \frac{7,862}{2} \times 1,07 = + 47,9 \text{ tfm.}$$

b) moment négatif maximum (1^{ère} travée seule chargée):

$$M = - \left[7,02(0,278 + 0,142 + 0,986 + 0,92) + \frac{7,02}{2}(0,865 + 0,30) \right] = - 22,40 \text{ tfm.}$$

POUTAS PRINCIPAIS N° 2



Conver Courima

C - calcul des Efforts Tranchants.

1. efforts tranchants sur l'appui extrême A.

a) moment maximum positif dans la travée 1:

$$T = (1,00 + 0,90 + 0,375 + 0,30)7,842 + (0,63 + 0,090) \frac{8,10}{2} = +25,64 \text{ tf.}$$

b) moment négatif maximum dans la travée 2:

$$T = - \left[(0,083 + 0,082)7,02 + 0,058 \times \frac{7,02}{2} \right] = -1,36 \text{ tf.}$$

2. efforts tranchants à gauche et à droite de l'appui B:

a) quand le mobile est sur la première travée:

$$T_g = - \left[7,842 (0,50 + 0,575 + 0,97 + 1,00) + \frac{7,842}{2} (0,23 + 0,81) \right] = -26,5 \text{ tf.}$$

$$T_d = - \left[(0,083 + 0,082) \times 7,02 + (0,058 \times \frac{7,02}{2}) \right] = -1,36 \text{ tf.}$$

b) quand le mobile est sur la deuxième travée

$$T_g = 7,02 [0,11 + 0,10 + 0,090 + 0,012] + \left[\frac{7,02}{2} \times 0,082 \right] = +2,19 \text{ tf.}$$

$$T_d = 7,842 (1,00 + 0,86 + 0,24 + 0,16) + \left(\frac{7,842}{2} \times 0,52 \right) = +18,99 \text{ tf.}$$

3. efforts tranchants sur l'appui extrême C:

a) moment positif maximum dans la travée 1:

$$T = + \left[7,02 (0,107 + 0,11) + \frac{7,02}{2} (0,075 + 0,078) \right] = +2,28 \text{ tf.}$$

b) moment négatif maximum dans la travée 2:

$$T = - \left[7,862 (1,00 + 0,88 + 0,217 + 0,138) + \left(\frac{7,862}{2} \times 0,53 \right) - (7,862 \times 0,075) \right] \\ = -19,06 \text{ tf.}$$

effets de la surcharge du type A

Nous avons vu que $P = 350 + \frac{320.000.000}{L^3 + 60L^2 + 225000}$

Surcharge sur le trottoir : $450 \times 2 \times 1,8 = 1620 \text{ kgf/ml.}$

Pour la première travée :

$$p_1 = 350 + \frac{320.000.000}{8000 + 24000 + 225000} = 1596,3 \text{ kgf/m}^2$$

et pour la largeur de la chaussée : $p'_1 = 1596,3 \times 7,5 = 12000 \text{ kgf/ml.}$

d'où surcharge sur une portée principale :

$$P_1 = \frac{1620 + 12000}{4} = 3405 \text{ kgf/ml.}$$

Pour la deuxième travée :

$$p_2 = 350 + \frac{320.000.000}{3375 + 13500 + 22500} = 1673 \text{ kgf/m}^2$$

et pour la largeur de la chaussée : $p'_2 = 1673 \times 7,5 = 12570 \text{ kgf/ml.}$

d'où surcharge sur une portée principale :

$$P_2 = \frac{1620 + 12570}{4} = 3548 \text{ kgf/ml.}$$

A. Calcul des moments fléchissants :

1 - moments sur l'appui intermédiaire :

a) mobile sur la première travée :

Nous calculons d'abord l'aire délimitée par la ligne d'influence, d'après le théorème de Simpson :

$$\text{Aire} = -\frac{2}{3} \left[(4 \times 0,567) + (2 \times 1,09) + (4 \times 1,56) + (2 \times 1,92) + (4 \times 2,14) + (2 \times 2,19) + (4 \times 2,07) + (2 \times 1,65) + (4 \times 0,97) \right] = -28,59 \text{ m}^2.$$

$$\text{d'où } M_1 = -[2,838 \times 28,59] = -81,138 \text{ kgfm.}$$

b) mobile sur la deuxième travée

$$\text{Aire} = -0,9 \left[(4 \times 0,55) + (2 \times 0,925) + (4 \times 1,25) + (2 \times 1,24) + (4 \times 1,19) + (2 \times 1,08) + (4 \times 0,87) + (2 \times 0,61) + (4 \times 0,32) \right] = -12,22 \text{ m}^2.$$

LIGNES D'INFLUENCE des MOMENTS FLECHISSANTS

SECTIONS	LIGNE D'INFLUENCE des MOMENTS SUR APPUI		LIGNE D'INFLUENCE des MOMENTS à $0,45L_1$		LIGNE D'INFLUENCE des MOMENTS à $0,45L_2$	
	MOBILE DANS LA 1 ^{ère} TRAVÉE	MOBILE DANS LA 2 ^{ème} TRAVÉE	MOBILE DANS LA 1 ^{ère} TRAVÉE	MOBILE DANS LA 2 ^{ème} TRAVÉE	MOBILE DANS LA 1 ^{ère} TRAVÉE	MOBILE DANS LA 2 ^{ème} TRAVÉE
0,1L	- 0,55	- 0,55	0,82	0,58	0,27	0,23
0,2L	- 1,09	- 0,925	1,71	1,24	0,49	0,42
0,3L	- 1,56	- 1,25	2,60	1,96	0,70	0,56
0,4L	- 1,92	- 1,24	3,55	2,74	0,86	0,55
0,5L	- 2,14	- 1,19	3,55	2,84	0,96	0,53
0,6L	- 2,19	- 1,08	2,61	2,21	0,98	0,48
0,7L	- 2,04	- 0,87	1,78	1,64	0,92	0,39
0,8L	- 1,65	- 0,61	1,06	1,07	0,74	0,27
0,9L	- 0,97	- 0,32	0,52	0,53	0,43	0,14

LIGNES D'INFLUENCE des EFFORTS TRANCHANTS

SECTIONS	LIGNE D'INFLUENCE SUR L'APPUI A		LIGNE D'INFLUENCE à GAUCHE de B		LIGNE D'INFLUENCE à DROITE de B		LIGNE D'INFLUENCE SUR L'APPUI C	
	MOBILE DANS LA 1 ^{ère} TRAVÉE	MOBILE DANS LA 2 ^{ème} TRAVÉE	MOBILE DANS LA 1 ^{ère} TRAVÉE	MOBILE DANS LA 2 ^{ème} TRAVÉE	MOBILE DANS LA 1 ^{ère} TRAVÉE	MOBILE DANS LA 2 ^{ème} TRAVÉE	MOBILE DANS LA 1 ^{ère} TRAVÉE	MOBILE DANS LA 2 ^{ème} TRAVÉE
0,1L	0,87	- 0,037	- 0,13	- 0,037	0,86	0,028	0,028	- 0,075
0,2L	0,75	- 0,061	- 0,254	- 0,061	0,739	0,055	0,055	- 0,138
0,3L	0,63	- 0,083	- 0,375	- 0,083	0,62	0,078	0,078	- 0,217
0,4L	0,51	- 0,082	- 0,50	- 0,082	0,52	0,090	0,090	- 0,318
0,5L	0,40	- 0,079	- 0,60	- 0,079	0,42	0,107	0,107	- 0,42
0,6L	0,30	- 0,072	- 0,71	- 0,072	0,33	0,11	0,11	- 0,53
0,7L	0,20	- 0,058	- 0,81	- 0,058	0,24	0,10	0,10	- 0,64
0,8L	0,11	- 0,040	- 0,88	- 0,040	0,16	0,082	0,082	- 0,76
0,9L	0,055	- 0,020	- 0,95	- 0,020	0,08	0,049	0,049	- 0,88

$$\text{d'où } M_2 = - (2838 \times 12,22) = -34.680 \text{ kgfm.}$$

$$\text{Total : } M = -115.818 \text{ kgfm} = -115,818 \text{ tfm.}$$

2. moments fléchissants dans les sections des travées 1 et 2.

a) quand le mobile est sur la première travée :

1. moment positif dans la 1^{ère} travée :

$$\text{Aire} = \frac{2}{3} [(4 \times 0,82) + (2 \times 1,71) + (4 \times 2,60) + (2 \times 3,55) + (4 \times 3,55) + (2 \times 2,61) + (4 \times 1,78) + (2 \times 0,86) + (4 \times 0,52)] = 36,62 \text{ m}^2$$

$$\text{d'où } M = + [36,62 \times 3405] = 124600 \text{ kgfm} = 124,6 \text{ tfm.}$$

2. moment négatif dans la 2^e travée :

$$\text{Aire} = -0,5 [(4 \times 0,238) + (2 \times 0,42) + (4 \times 0,56) + (2 \times 0,55) + (4 \times 0,532) + (2 \times 0,486) + (4 \times 0,391) + (2 \times 0,271) + (4 \times 0,144)] = -6,60 \text{ m}^2$$

$$\text{d'où } M = - [6 \times 3548] = -21288 \text{ kgfm} = -21,288 \text{ tfm.}$$

b) - quand le mobile est sur la deuxième travée

1. moment négatif dans la première travée :

$$\text{Aire} = \frac{2}{3} [(4 \times 0,278) + (2 \times 0,49) + (4 \times 0,703) + (2 \times 0,865) + (4 \times 0,964) + (2 \times 0,986) + (4 \times 0,92) + (2 \times 0,74) + (4 \times 0,436)] = 12,91 \text{ m}^2$$

$$\text{d'où } M = - [3405 \times 12,91] = -44100 \text{ kgfm} = -44,100 \text{ tfm.}$$

2. moment positif dans la deuxième travée :

$$\text{Aire} = 0,5 [(4 \times 0,585) + (2 \times 1,24) + (4 \times 1,96) + (2 \times 2,74) + (4 \times 2,84) + (2 \times 2,21) + (4 \times 1,64) + (2 \times 1,07) + (4 \times 0,53)] = 22,37 \text{ m}^2$$

$$\text{d'où } M = [3548 \times 22,37] = +79400 \text{ kgfm} = 79,4 \text{ tfm.}$$

8. CALCUL des EFFORTS TRANCHANTS:

1. Effort tranchant sur l'appui extrême A :

Dans déterminer les aires de la même manière que pour les moments fléchissants.

a) effort tranchant dans la première travée :

$$\text{aire } T = 3,405 \times 8,64 = +29,42 \text{ tf}$$

b) effort tranchant dans la deuxième travée :

$$T = -[3,550 \times 0,792] = -2,6 \text{ tf.}$$

2. efforts tranchants à gauche et à droite de B.

à gauche de B : $T_g = -[10,72 \times 2,838] = -30,42 \text{ tf.}$

à droite de B : $T_d = [7,18 \times 2,838] = +20,18 \text{ tf.}$

3. efforts tranchants sur l'appui extrême C.

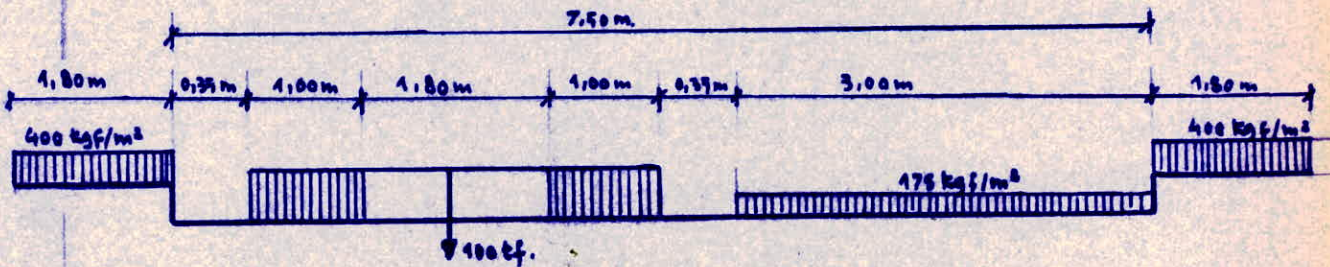
a) dans la travée 1 :

$$T = 1,41 \times 3,404 = +4,8 \text{ tf.}$$

b) dans la travée 2 :

$$T = -[6,68 \times 3,55] = -23,70 \text{ tf}$$

convoi militaire



charge exercé par les chenilles d'un char de 100 tf.

$$p_{\text{char/m}^2} = \frac{100}{2 \times 4,5 \times 1,00} = 11,1 \text{ tf/m}^2$$

on suppose que les charges de trottoirs se répartissent uniformément sur les 4 poutres principales

donc $p = \frac{1}{4} \times 0,4 \times (2 \times 1,8) = 0,36 \text{ tf/ml.}$ de la poutre principale

les lignes d'influence de répartition des charges p ci-joints

Nous permettront d'écrire :

$$\underline{Z = 40} \Rightarrow P_1 \text{ (due au char)} = 11,1(A_1 + A_2) = 11,1 \left(\frac{0,556 + 0,679}{2} + \frac{0,349 + 0,238}{2} \right) = 10,0 \text{ tf}$$

$$P_2 \text{ (due à la surcharge de } 175 \text{ kgf/m}^2) = A_3 \times 0,175$$

$$A_3 = \left(\frac{1,09 \times 0,205}{2} + \frac{0,9 \times 0,085}{2} \right) - \frac{1,85 \times 0,1857}{2} = 0,149 - 0,1719 = 0,02220$$

donc on néglige A_3 .

$$\underline{Z = 0} \Rightarrow P_1 = 11,1 \left(\frac{0,662 + 0,552}{2} \times 1 + \frac{0,358 + 0,254}{2} \times 1 \right) = 10,234 \text{ tf.}$$

$$P_2 = 0,175 \left(\frac{0,241 \times 2}{2} - \frac{0,2 \times 1,8}{2} \right) = 0,175 \times 0,21 = 0,00367 \text{ tf.}$$

$$\underline{Z = 12} \Rightarrow P_1 = \left(\frac{0,696 + 0,552 + 0,315 + 0,211}{2} \right) 11,1 = 9,89 \text{ tf.}$$

$$P_2 = 0,175 \left[\left(\frac{0,180 + 0,066}{2} \times 1,09 \right) + \left(\frac{0,82 \times 0,066}{2} \right) - \left(\frac{1,9 \times 0,158}{2} \right) \right] = 0,075 \text{ tf.}$$

A. CALCUL des MOMENTS FLECHISSANTS DANS LA POUTRE PRINCIPALE N°1.

1. Moment au d'appui intermédiaire :

Char sur la 1^{ère} travée :

$$\text{aire totale} = 28,59 \text{ m}^2 \quad ; \quad A_4 = 9,63 \text{ m}^2$$

$$\text{d'où } M = - \left[(9,63 \times 10,0) + (28,59 \times 0,360) \right] = -107,60 \text{ tfm.}$$

2. Moments dans la section $x_1 = 0,45L_1$:

a) moment positif maximum (1^{ère} travée chargée)

$$\text{aire totale} = 36,62 \text{ m}^2 \quad ; \quad A_4 = 15,70 \text{ m}^2$$

$$\text{d'où } M = \left[(10 \times 15,70) + (0,360 \times 36,62) \right] = +170,40 \text{ tfm.}$$

b) moment négatif maximum (2^{ème} travée chargée)

$$\text{aire totale} = 6,00 \text{ m}^2 \quad ; \quad A_4 = 2,35 \text{ m}^2$$

$$\text{d'où } M = - \left[(10,234 \times 2,35) + 6,00 (0,360 + 0,0367) \right] = -26,41 \text{ tfm.}$$

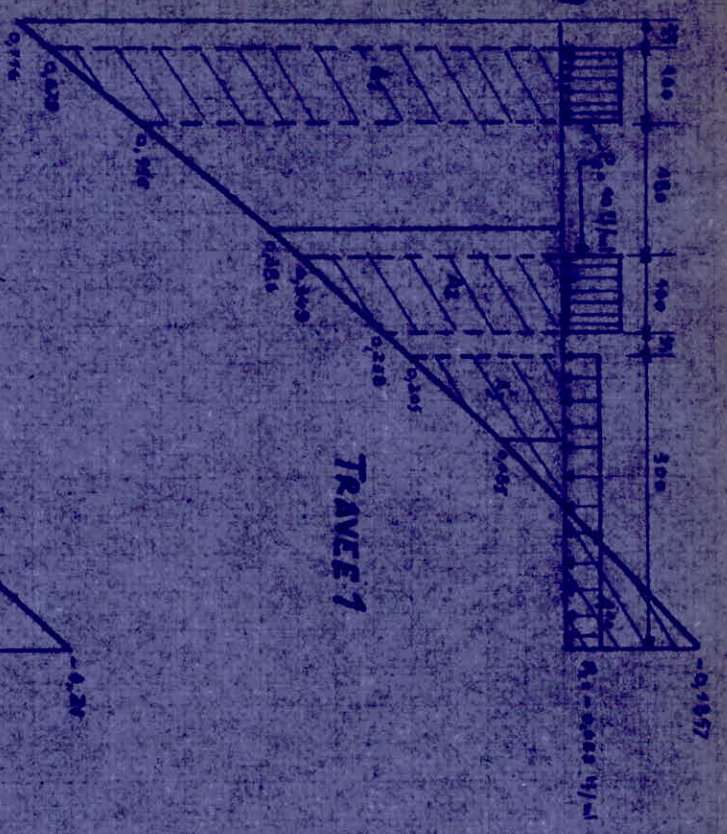
3. Moments dans la section $x_2 = 0,45L_2$:

a) moment positif maximum (2^{ème} travée chargée)

$$\text{aire totale} = 22,37 \text{ m}^2 \quad ; \quad A_4 = 12,54 \text{ m}^2.$$

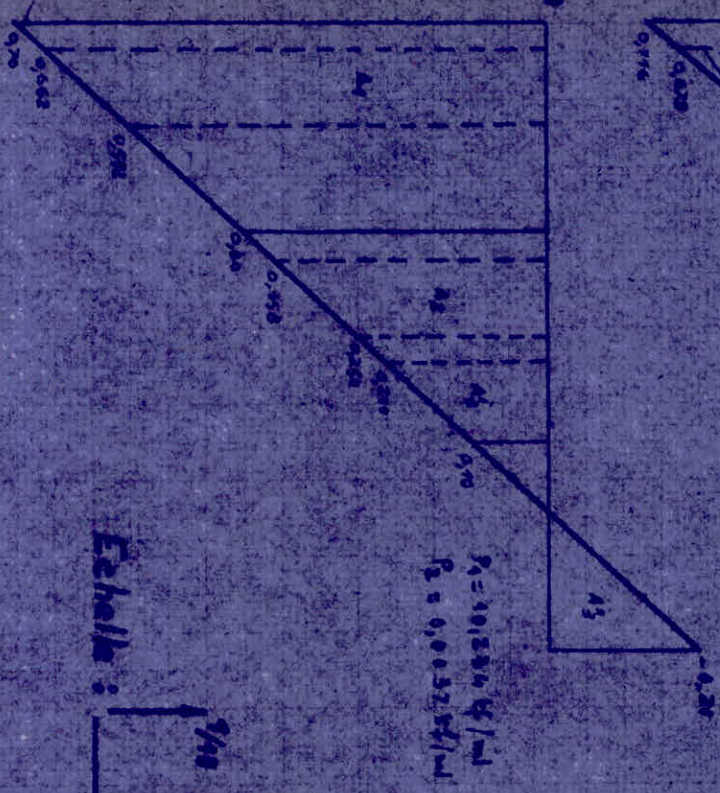
$$\text{d'où } M = \left[(9,89 \times 12,54) + 22,37 (0,360 + 0,075) \right] = 132,28 \text{ tfm.}$$

Z=0



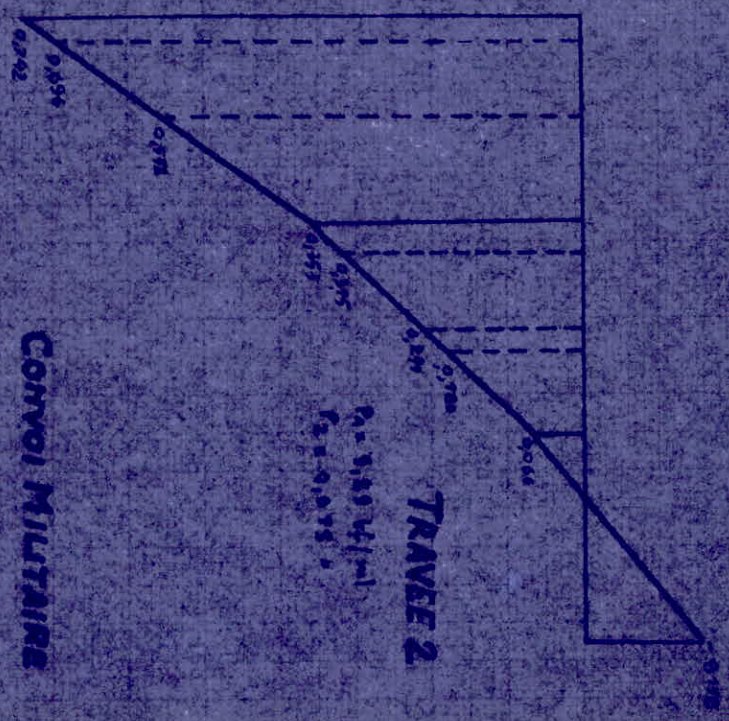
POURTE PRINCIPALE N°1

Z=0



Echelle :

Z=12



CONVOI MILITAIRE

b) moment négatif maximum (1^{er} travée chargée)

$$\text{aire totale} = 12,91 \text{ m}^2 ; A_4 = 4,28 \text{ m}^2$$

$$\text{d'où } M = -[(10,234 \times 4,28) + 12,91(0,360 + 0,0367)] = -47,93 \text{ tfm.}$$

B. CALCUL DES EFFORTS TRANCHANTS DANS LA POUTRE PRINCIPALE N° 1

1. effort tranchant sur l'appui extrême A:

a) dans la travée 1:

$$\text{Aire totale} = \frac{2}{3} (1 + 3,48 + 4,90 + 2,52 + 1,02 + 1,60 + 0,60 + 0,80 + 0,22 + 0,22) = 8,64 \text{ m}^2$$

$$A_4 = 3,90 \text{ m}^2.$$

$$\text{D'où } T = +[(3,90 \times 10,0) + (8,64 \times 0,36)] = +42,11 \text{ tf.}$$

b) dans la travée 2:

$$\text{aire totale} = 0,732 \text{ m}^2 ; A_4 = 0,326 \text{ m}^2$$

$$T = -[(10,234 \times 0,326) + 0,732(0,360 + 0,0367)] = -3,625 \text{ tf}$$

2. efforts tranchants à gauche et à droite de B:

a) quand le mobile est sur la travée 1:

$$\text{aire totale} = 10,72 \text{ m}^2 ; A_4 = 4,15 \text{ m}^2.$$

$$\text{d'où } T_g = -[(4,15 \times 10,00) + 10,72(0,360 + 0,0367)] = -45,74 \text{ tf}$$

$$T_d = -3,625 \text{ tf.}$$

b) quand le mobile est sur la travée 2:

$$\text{aire totale} = 1,41 \text{ m}^2 ; A_4 = 0,45 \text{ m}^2 : \text{ à gauche de B}$$

$$\text{d'où } T_g = [(10,834 \times 0,45) + (0,360 + 0,0367)1,41] = +5,17 \text{ tf}$$

$$\text{à droite de B: aire totale} = 7,18 \text{ m}^2 ; A_4 = 3,64 \text{ m}^2$$

$$\text{d'où } T_d = [(9,89 \times 3,64) + 7,18(0,360 + 0,0367)] = +39,09 \text{ tf.}$$

3. efforts tranchants sur l'appui extrême C:

a) dans la travée 1:

$$\text{aire totale} = 1,41 \text{ m}^2 ; A_4 = 0,45 \text{ m}^2$$

$$\text{d'où } T = [(10,0 \times 0,45) + 1,41(0,360 + 0,0367)] = +5,05 \text{ tf.}$$

b) dans la travée 2 :

aire totale = 6,68 m² ; A₄ = 3,69 m²

d'où T = - [(9,89 x 3,69) + (0,360 + 0,075) 6,68] = - 36,52 tf.

C. POUTRE PRINCIPALE N°2.

les lignes d'influence de répartition des charges nous permettent d'écrire :

Z = 40 ⇒ P₁ (char) = 11,1 [(0,37 + 0,35 / 2) x 1] + (0,30 + 0,265 / 2) x 1 = 7,126 tf

P₂ (surcharge) = 0,175 (0,25 + 0,211 / 2) x 1 + (0,211 + 0,086 / 2) x 2,77 = 0,112 tf.

Z = 12 ⇒ P₁ = 11,1 [(0,358 + 0,358 / 2) x 1] + (0,341 + 0,363 / 2) x 1 = 7,492 tf.

P₂ = 0,175 (0,303 + 0,252 / 2) x 1 + (0,252 + 0,06 / 2) x 2,77 = 0,151 tf

Z = ∞ ⇒ P₁ = 11,1 [(0,389 + 0,351 / 2) x 1] + (0,289 + 0,252 / 2) x 1 = 7,104 tf.

P₂ = 0,175 (0,239 + 0,1 / 2) x 3,80 = 0,102 tf

CALCUL des MOMENTS FLECHISSANTS :

1. moment flechissant sur l'affut intermédiaire :

char sur 1^{re} travée :

Aire totale = 28,59 m² ; A₄ = 9,63 m².

d'où M = - [(9,63 x 7,126) + 28,59 (0,360 + 0,112)] = - 82,1 tfm.

2. moment, dans la section x₀ = 0,45 L₁ :

a) moment positif maximum (1^{re} travée seule chargée)

aire totale = 36,62 m² ; A₄ = 15,70 m²

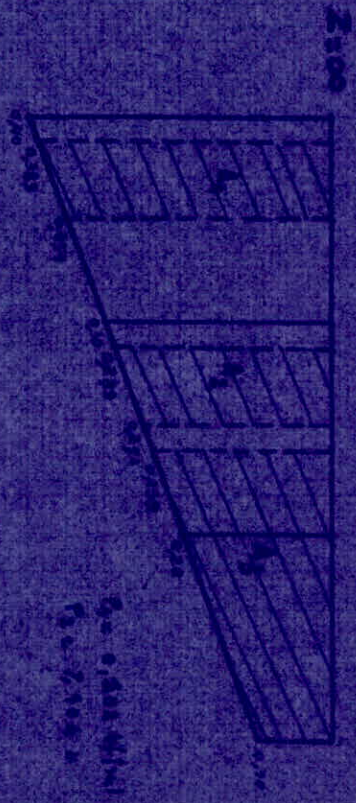
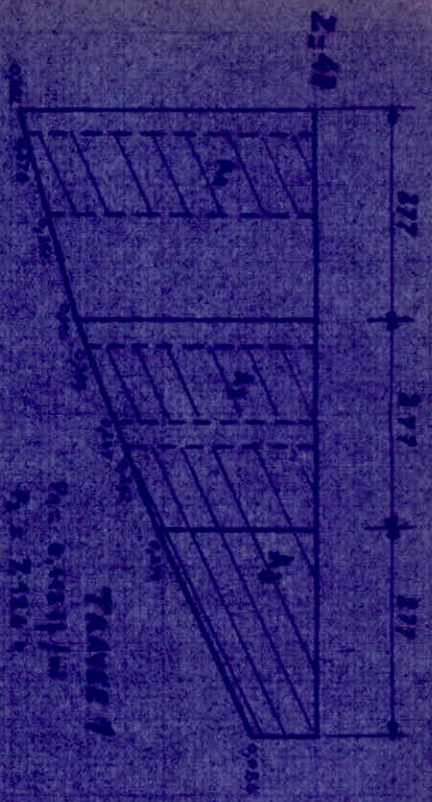
M = [(7,126 x 15,70) + 36,62 (0,360 + 0,112)] = + 135,99 tfm.

b) moment négatif maximum (2^e travée seule chargée)

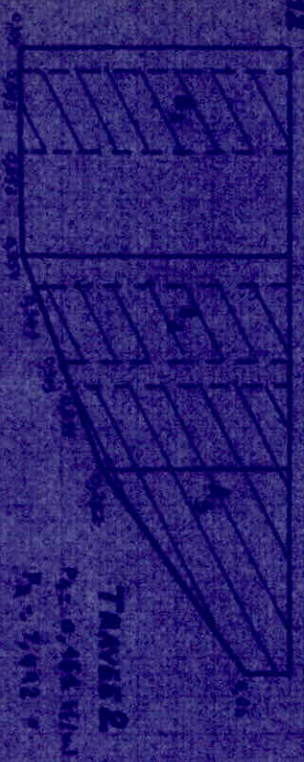
aire totale = 6,00 m² ; A₄ = 2,35 m².

M = - [(7,104 x 2,35) + 6,00 (0,360 + 0,102)] = - 29,59 tfm.

POURTE PRINCIPALES N° 2



Z-12



Convoi Mitras



3. Moments dans la section $x_2 = 0,45l_2$

a) moment positif maximum (2^e travée seule chargée)

$$\text{aire totale} = 22,37 \text{ m}^2 ; A_4 = 12,54 \text{ m}^2$$

$$\text{d'où } M = [(12,54 \times 7,492) + 22,37(0,360 + 0,151)] = 104,08 \text{ tfm.}$$

b) moment négatif maximum (1^{re} travée seule chargée)

$$\text{aire totale} = 12,91 \text{ m}^2 ; A_4 = 4,28 \text{ m}^2$$

$$\text{d'où } M = -[(4,28 \times 7,104) + 12,91(0,360 + 0,102)] = -38,05 \text{ tfm.}$$

CALCUL des EFFORTS TRANCHANTS.

1. Effort tranchant sur l'appui extrême A:

$$\text{aire totale} = 8,64 \text{ m}^2 ; A_4 = 3,90 \text{ m}^2. \quad (\text{dans la 1^{re} travée})$$

$$T = [(3,90 \times 7,126) + 8,64(0,360 + 0,112)] = +31,87 \text{ tf}$$

dans la 2^e travée:

$$\text{aire totale} = 0,732 \text{ m}^2 ; A_4 = 0,326 \text{ m}^2$$

$$\text{d'où } T = -[(0,326 \times 7,492) + 0,732(0,360 + 0,151)] = -2,44 \text{ tf}$$

2. Efforts tranchants à droite et à gauche de l'appui intermédiaire B.

a) quand le mobile est sur la travée 1:

$$\text{- à gauche de B: aire totale} = 10,72 \text{ m}^2 ; A_4 = 4,15 \text{ m}^2$$

$$\text{d'où } T_g = -[4,15 \times 7,126 + 10,72(0,360 + 0,112)] = -34,61 \text{ tf.}$$

à droite de B:

$$T_d = -2,44 \text{ tf}$$

b) quand le mobile est sur la travée 2:

$$\text{- à gauche de B: aire totale} = 1,41 \text{ m}^2 ; A_4 = 0,45 \text{ m}^2$$

$$T_g = [(0,45 \times 7,104) + 1,41(0,360 + 0,102)] = +3,85 \text{ tf.}$$

$$\text{- à droite de B: aire totale} = 7,18 \text{ m}^2 ; A_4 = 3,64 \text{ m}^2$$

$$T_d = [(7,492 \times 3,64) + 7,18(0,360 + 0,151)] = +30,64 \text{ tf.}$$

3. Efforts tranchants sur l'appui extrême C :

a) dans la travée 1:

$$\text{aire totale} = 1,41 \text{ m}^2 ; A_u = 0,45 \text{ m}^2$$

$$\text{d'où } T = [(0,45 \times 7,926) + 1,41(0,360 + 0,112)] = + 3,27 \text{ tf}$$

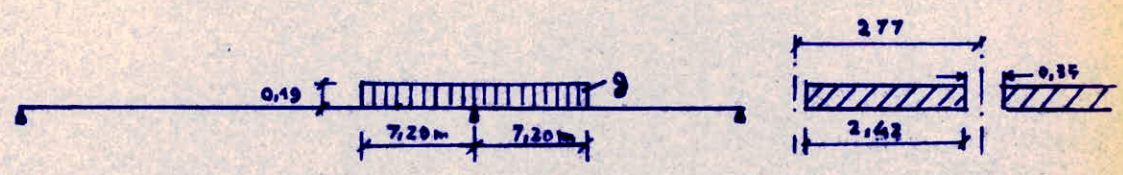
b) dans la travée 2:

$$\text{aire totale} = 6,68 \text{ m}^2 ; A_u = 3,69 \text{ m}^2$$

$$\text{d'où } T = -[(7,492 \times 3,69) + 6,68(0,360 + 0,151)] = - 31,06 \text{ tf.}$$

effets de la dalle supplémentaire.

La section d'une poutre principale étant insuffisante pour absorber les efforts. Aussi, ajoute-t-on une dalle au droit de l'appui intermédiaire, entre les entretoises et ayant pour épaisseur 19cm et pour longueur 14,40m. On calcule les efforts dus à cette dalle et on les ajoute à ceux de la poutre principale trouvés précédemment.



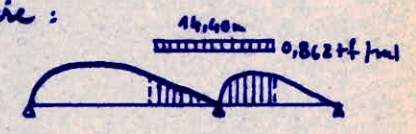
$$g = \frac{1}{4} \times 3 \times 2,42 \times 0,19 \times 2,5 = 0,862 \text{ tf/m}$$

A. Moments flechissants dus à g:

1. Moment sur l'appui intermédiaire :

$$\text{aire} = 10,21 + 9,54 = 19,75 \text{ m}^2.$$

$$\text{d'où } M = -[19,75 \text{ m}^2 \times 0,862] = - 17,03 \text{ tfm}$$



2. Moment flechissant quand la 1^{ère} travée est seule chargée

$$\text{aire} = 6,29 \text{ m}^2 - 2,70 \text{ m}^2 = 3,59 \text{ m}^2$$

$$\text{d'où } M = + [3,59 \times 0,862] = + 3,09 \text{ tfm.}$$

3. moment fléchissant quand la 2^e travée est seule chargée

$$\text{aire} = -4,36 + 12,54 = 8,18 \text{ m}^2$$

$$\text{d'où } M = 8,18 \times 0,862 = 7,04 \text{ tfm.}$$

B. Efforts Tranchants:

1. effort tranchant sur l'appui extrême A.

$$\text{aire} = 0,50 - 0,24 = 0,26 \text{ m}^2$$

$$T = 0,26 \times 0,862 = 0,31 \text{ tf.}$$

2. effort tranchant sur l'appui intermédiaire quand la travée 1 chargée

$$\text{aire} = -6,27 - 0,24 = -6,03 \text{ m}^2$$

$$T = -6,03 \times 0,862 = -5,20 \text{ tf.}$$

3. effort tranchant sur l'appui intermédiaire quand la travée 2 est chargée.

$$\text{aire} = 0,36 + 5,04 = 5,40 \text{ m}^2$$

$$T = 5,40 \times 0,862 = +4,66 \text{ tf.}$$

4. effort tranchant sur l'appui extrême C.

$$\text{aire} = 0,85 - 1,91 = -1,06 \text{ m}^2$$

$$T = -1,06 \times 0,862 = -0,914 \text{ tf.}$$

on établit ensuite les tableaux des efforts ci-joints ; les efforts seront majorés par les sollicitations du 1^{er} genre et du 2^e genre.

EFFORTS DEFINITIFS dans les POUTRES p_{ales}

SECTIONS	CHARGES PERMANENTES	SURCHARGES							
		TYPE A		TYPE B		CHAR/1,2			
		MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.		
appui intermediaire	$- 90,2 - 13,6 = - 103,8$	0	- 115,80	0	- 73,24	0	- 88	MOMENTS FLECHISSANTS	POUTRE PRINCIPALE N° 1
SECTION 0,45 L ₁	$60,4 + 3,09 = + 63,49$	+ 124,60	- 21,28	+ 61,0	- 11,80	+ 142,0	- 22		
SECTION 0,45 L ₂	$11,6 + 7,04 = + 18,64$	+ 79,40	- 44,10	+ 52,54	- 29,25	+ 110,3	- 39,9		
appui extreme A	$18,80 + 0,31 = + 18,61$	+ 29,42	- 2,6	+ 29,97	- 2,25	+ 35,10	- 3,02	EFFORTS TRANCANTS	
a gauche de B	$- 26,68 - 9,20 = - 31,88$	0	- 30,42	0	- 27,5	0	- 38,12		
a droite de B	$22,5 + 4,66 = + 27,16$	+ 20,18	0	+ 21,73	0	+ 32,58	0		
appui extreme C	$- 10,5 - 0,914 = - 11,41$	+ 4,8	- 23,7	+ 2,67	- 20,84	+ 4,20	- 30,43		
appui intermediaire	- 103,8	0	- 115,80	0	- 65,61	0	- 68,40	MOMENTS FLECHISSANTS	POUTRE PRINCIPALE N° 2
SECTION 0,45 L ₁	+ 63,49	+ 124,60	- 21,28	+ 53,40	- 9,16	+ 113,33	- 24,66		
SECTION 0,45 L ₂	+ 18,64	+ 79,40	- 44,10	+ 47,9	- 22,40	+ 86,73	- 31,70		
appui extreme A	+ 18,61	+ 29,42	- 2,6	+ 25,64	- 1,36	+ 26,56	- 2,03	EFFORTS TRANCANTS	
a gauche de B	- 31,88	0	- 30,42	0	- 26,50	0	- 29,70		
a droite de B	+ 27,16	+ 20,18	0	+ 18,99	0	+ 25,53	0		
appui extreme C	- 11,41	+ 4,8	- 23,70	+ 19,06	- 2,28	+ 2,73	- 25,88		

EFFORTS dans les POUTRES PRINCIPALES

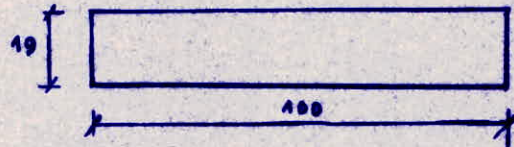
SECTIONS	VALEURS EXTREMES		SOLLICITATION S ₁		SOLLICITATION S ₂				
	Charges Permanentes G	SURCHARGES		MAX. (G+1,2A)	MIN. (G+1,2B)	MAX. (G+1,5A)		MIN. (G+1,5B)	
		MAX. (A)	MIN. (B)						
appui intermédiaire	- 103,8	0	- 115,8	- 103,8	- 242,86	- 103,8	- 277,4	MOMENTS FLECHISSANTS	POUTRE PRINCIPALE N°1
SECTION 0,45L ₁	+ 63,49	+ 142,0	- 22,0	+ 233,89	+ 37,1	+ 276,49	+ 30,5		
SECTION 0,45L ₂	+ 18,64	+ 110,3	- 44,1	+ 151,0	- 34,3	+ 183,1	- 47,91		
appui extrême A	+ 18,61	35,10	3,02	+ 50,64	+ 15,01	+ 71,41	+ 12,10	EFFORTS TRANCANTS	
a gauche de B	- 31,88	0	38,12	- 31,88	- 78,68	- 31,88	- 95,52		
a droite de B	+ 27,16	32,58	0	+ 66,28	+ 27,16	+ 76,16	+ 27,16		
appui extrême C	- 11,41	4,80	30,43	- 5,75	- 47,91	- 3,60	- 57,61		
appui intermédiaire	- 103,8	0	- 115,8	- 103,8	- 242,86	- 103,8	- 277,4	MOMENTS FLECHISSANTS	POUTRE PRINCIPALE N°2
SECTION 0,45L ₁	+ 63,49	124,6	- 24,7	+ 213,02	+ 33,9	+ 250,4	+ 37,05		
SECTION 0,45L ₂	+ 18,64	86,7	- 44,1	+ 222,64	- 30,32	+ 248,65	- 27,55		
appui extrême A	+ 18,61	29,42	2,6	+ 53,93	+ 15,48	+ 62,81	+ 14,71	EFFORTS TRANCANTS	
a gauche de B	- 31,88	0	30,42	- 31,88	- 68,98	- 31,88	- 77,48		
a droite de B	+ 27,16	25,53	0	+ 57,76	+ 27,16	+ 65,28	+ 27,16		
appui extrême C	- 11,41	4,80	25,88	- 5,75	- 42,51	- 3,60	- 50,31		

CHAPITRE IV

CALCUL DES ARMATURES

ARMATURES DE LA DALLE

Nous calculerons les armatures de la dalle pour une section rectangulaire de 19 cm de hauteur et 100 cm de largeur.



Les calculs seront conduits d'après la méthode de M^r KHRAMOFF.

qualités des matériaux ; contraintes admissibles :

. Béton : classe 250-315 ; dosage = 350 kg/m³ ; $\sigma_{28} = 270 \text{ kg/cm}^2$

d'où les contraintes admissibles : $\sigma'_{28} = 22 \text{ kg/cm}^2$

en Flexion simple : $\sigma_b = 0,60 \times 270 = 162 \text{ kg/cm}^2$.

en Compression simple : $\sigma_{b0} = 0,30 \times 270 = 81 \text{ kg/cm}^2$.

en traction simple $\sigma'_b = 0,30 \times 22 = 6,6 \text{ kg/cm}^2$.

. Acier : acier à haute adhérence Tenitor dont la limite d'élasticité est $\sigma'_{at} = 4200 \text{ kg/cm}^2$

d'où $\sigma'_a = \frac{2}{3} \times 4200 = 2800 \text{ kg/cm}^2$.

- le tableau N° 9 nous donne, pour $\sigma'_a = 2800 \text{ kg/cm}^2$ et $\sigma'_b = 160 \text{ kg/cm}^2$

les valeurs suivantes

$$\alpha = 0,464 \quad , \quad \text{avec} \quad \alpha = \frac{m \sigma_b}{\sigma'_a + m \sigma_b}$$

$$\beta = 0,846 \quad " \quad \beta = 1 - \frac{\alpha}{3}$$

$$\gamma = 76,0 \quad " \quad \gamma = \frac{2 \sigma'_a}{\alpha \cdot \sigma_b}$$

$$\mu = 31,20 \quad " \quad \mu = \frac{1}{2} \sigma_b \cdot \alpha \cdot \beta$$

et $m = 15$

$$1. M_x \max = 13,34 \text{ tfm.}$$

la section peut absorber un moment

$$M_0 = \rho \times b_0 \times h^2 = 31,20 \times 100 \times (19)^2 = 596000 \text{ kgcm} = 5,96 \text{ tfm}$$

$$\Delta M = 13,34 - 5,96 = 7,38 \text{ tfm.}$$

hors axes des armatures en compression

$$w_a = \frac{\Delta M}{\sigma_a (h_0 - d)} \quad \text{avec } d = 2 \text{ cm} ; h_0 - d = 17 - 2 = 15 \text{ cm}$$

$$\frac{d}{h_0} = \frac{2}{19} \approx 0,14$$

$$\sigma_a = m \sigma_b \left(1 - \frac{d}{h_0}\right) - \frac{d}{h_0} \times \sigma'_a = (12,9 \times 160) - 392 = 2062 - 392 = 1670 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{d'où } w_a = \frac{7,38}{1,67 \times 0,15} = 29,49 \text{ cm}^2 \Rightarrow 15 T_{16} = 31,02 \text{ cm}^2.$$

armatures en tension correspondant à M_0

$$w''_a = \frac{b \times h}{\gamma} = \frac{100 \times 17}{76} = 21,8 \text{ cm}^2$$

armatures supplémentaires en tension:

$$w'''_a = \frac{\Delta M}{\sigma'_a (h_0 - d)} = \frac{7,38}{2,8 \times 0,15} = 17,45 \text{ cm}^2$$

d'où armature totale en tension: $w'_a = w''_a + w'''_a$

$$w'_a = 21,8 + 17,45 = 39,25 \text{ cm}^2 \Rightarrow 19 T_{16} = 39,29 \text{ cm}^2.$$

Vérification des fatigues:

on vérifie les fatigues d'après la circulaire du 19 juillet 1934.

de l'équation des moments statiques

$$\frac{1}{2} b \cdot y^2 + m w_a (y - d) - m w'_a (h - y) = 0, \text{ on détermine la fibre neutre } y$$

que l'on porte dans l'équation du moment d'inertie

$$I = \frac{M}{k} = \frac{1}{6} b y^3 + m w_a (y - d) d - m w'_a (h - y) h$$

d'où le coefficient angulaire k

le taux de travail serait : Béton : $\sigma_b = k y$

Acier tendus : $\sigma'_a = m k (h - y)$

Acier comprimés : $\sigma_a = m k (y - d)$

$$\text{donc } 50y^2 + (15 \times 39,02)(y-2) - 15 \times 39,29(17-y) = 0$$

$$50y^2 + 466y - 932 + 590y - 10000 = 0$$

$$50y^2 + 1056y - 10932 = 0 \Rightarrow \sqrt{\Delta} = 1543$$

$$\text{d'où } y = \frac{1543 - 1056}{100} = 4,87 \text{ cm}$$

$$I = \frac{1}{6} \times 100 \times 196 + (15 \times 39,02 \times 2,87 \times 2) - (15 \times 39,29 \times 12,13 \times 17) = 117200 \text{ cm}^4$$

$$\text{d'où } k = \frac{1334000}{117200} = 11,4$$

$$\sigma_b = 11,4 \times 4,87 = 56 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_a = 15 \times 11,4 \times 12,13 = 2070 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 15 \times 11,4 \times 2,87 = 490 \text{ kg/cm}^2$$

$$2. \quad \underline{M_x \text{ min} = 8,82 \text{ tfm} :}$$

$$M_0 = 5,96 \text{ tfm}$$

$$\Delta M = 8,82 - 5,96 = 2,86 \text{ tfm}$$

$$\text{armature en compression : } w_a = \frac{2,86}{1,67 \times 0,15} = 11,58 \text{ cm}^2 \Rightarrow 6T_{16} = 12,41 \text{ cm}^2$$

$$\text{armature en tension correspondant à } M_0 : w'_a = \frac{100 \times 17}{76} = 21,8 \text{ cm}^2$$

$$\text{armature supplémentaires en tension : } w''_a = \frac{2,86}{2,8 \times 0,15} = 6,82 \text{ cm}^2$$

$$\text{armature totale en tension } w'_a = 28,62 \text{ cm}^2 \Rightarrow 14T_{16} = 28,95 \text{ cm}^2$$

Vérification de fatigues:

$$50y^2 + 186y - 372 + 435y - 7400 = 0$$

$$50y^2 + 621y - 7772 = 0 \Rightarrow \sqrt{\Delta} = 1384 \Rightarrow y = \frac{1384 - 621}{100} = 7,43 \text{ cm}$$

$$I = \frac{100 \times 440}{6} + (186 \times 7,43 \times 2) - (435 \times 9,57 \times 17) = 6830 + 2010 - 70078 = 6128 \text{ cm}^4$$

$$\text{d'où } k = \frac{882000}{6128} = 14,42$$

$$\sigma_b = 14,42 \times 7,43 = 108 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_a = 15 \times 14,42 \times 9,57 = 2080 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 15 \times 14,42 \times 5,43 = 1172 \text{ kg/cm}^2$$

3. $M_y \max = 4,366 \text{ tfm}$:

$M_0 = 5,96 \text{ tfm} > 4,366 \text{ tfm}$; il n'y aura que des armatures tendues
armatures correspondant à M_0 : $w'a = \frac{100 \times 17}{76} = 21,8 \text{ cm}^2$

or, il n'y a que $4,366 \text{ tfm}$ à absorber

donc $w'a = \frac{21,8 \times 4,366}{5,96} = 15,7 \text{ cm}^2 \Rightarrow 8 T_{16} = 16,54 \text{ cm}^2$

verification des fatigues :

bras de levier : $z = \beta \cdot h = 0,846 \times 17 = 14,78 \text{ cm}$

fibres neutres : $y = \alpha \cdot h = 0,469 \times 17 = 7,92 \text{ cm}$.

effort de compression : $F_b = \frac{M}{z} = \frac{436600}{14,78} = 29530 \text{ kg}$.

$$\sigma_b = \frac{2 F_b}{y \times b} = \frac{2 \times 29530}{7,92 \times 100} = 747 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_a = \frac{F_b}{w'a} = \frac{29530}{16,54} = 1785 \text{ kg/cm}^2$$

4. $M_y \min = 7,06 \text{ tfm}$:

$\Delta M = 7,06 - 5,96 = 1,10 \text{ tfm}$.

$w_a = \frac{1,10}{1,67 \times 0,15} = 4,37 \text{ cm}^2 \Rightarrow 3 T_{16} = 6,20 \text{ cm}^2$

$w''_a = 21,8 \text{ cm}^2$; $w'''_a = \frac{1,10}{2,8 \times 0,15} = 2,6 \text{ cm}^2$ a

d'où $w'a = 24,4 \text{ cm}^2 \Rightarrow 12 T_{16} = 24,82 \text{ cm}^2$.

verification des fatigues :

$50y^2 + 93y - 186 + 363y - 6070 = 0$

$50y^2 + 456y - 6256 = 0 \Rightarrow \sqrt{\Delta} = 1230$ et $y = \frac{1230 - 456}{100} = 7,84 \text{ cm}$

$I = \left(\frac{1}{6} \times 100 \times 484\right) + (93 \times 5,84 \times 2) - (363 \times 9,16 \times 17) = 8070 + 1090 - 56500 = |46450 \text{ cm}^4|$

$k = \frac{706000}{46450} = 15,2$

d'où $\sigma_b = 15,2 \times 7,84 = 119,4 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma'_a = 15 \times 15,2 \times 9,16 = 2090 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_a = 15 \times 15,2 \times 5,84 = 1332 \text{ kg/cm}^2$

SYSTEME S₂

1. $M_x \max = 16,62 \text{ tfm}$

$M_0 = 5,96 \text{ tfm}$

$\Delta M = 16,62 - 5,96 = 10,66 \text{ tfm}$

$$w_a = \frac{\Delta M}{\sigma_a(h_0 - d)} = \frac{10,66}{1,67 \times 0,15} = 42,6 \text{ cm}^2 \Rightarrow 21 T_{16} = 43,42 \text{ cm}^2$$

$$w''_a = 21,8 \text{ cm}^2 \quad ; \quad w'''_a = \frac{10,66}{2,8 \times 0,15} = 25,3 \text{ cm}^2$$

$$\text{d'où } w'_a = 25,3 + 21,8 = 47,1 \text{ cm}^2 \Rightarrow 23 T_{16} = 47,56 \text{ cm}^2$$

2. $M_x \min = 10,95 \text{ tfm}$:

$\Delta M = 10,95 - 5,96 = 5 \text{ tfm}$

$$w_a = \frac{5}{1,67 \times 0,15} = 19,9 \text{ cm}^2 \Rightarrow 10 T_{16} = 20,68 \text{ cm}^2$$

$$w''_a = 21,8 \text{ cm}^2 \quad ; \quad w'''_a = \frac{5}{2,8 \times 0,15} = 11,92 \text{ cm}^2$$

$$w'_a = 11,92 + 21,8 = 33,72 \text{ cm}^2 \Rightarrow 16 T_{16} = 33,8 \text{ cm}^2$$

3. $M_y \max = 5,536 \text{ tfm}$

$M_0 = 5,96 \text{ tfm} > 5,536 \text{ tfm}$. Il n'y aura pas d'armatures en compression.

$$\text{d'où } w = \frac{21,8 \times 5,536}{5,96} = 20,3 \text{ cm}^2 \Rightarrow 10 T_{16} = 20,68 \text{ cm}^2$$

4. $M_y \min = 8,764$

$\Delta M = 8,764 - 5,96 = 2,80 \text{ tfm}$

$$w_a = \frac{2,80}{1,67 \times 0,15} = 11,2 \text{ cm}^2 \Rightarrow 6 T_{16} = 12,41 \text{ cm}^2$$

$$w''_a = 21,8 \text{ cm}^2 \quad ; \quad w'''_a = \frac{2,80}{2,8 \times 0,15} = 6,67 \text{ cm}^2$$

$$\text{d'où } w'_a = 21,8 + 6,67 = 28,47 \text{ cm}^2 \Rightarrow 14 T_{16} = 28,95 \text{ cm}^2$$

Nous dressons ensuite le tableau ci-joint des armatures de la dalle pour les systèmes S₁ et S₂.

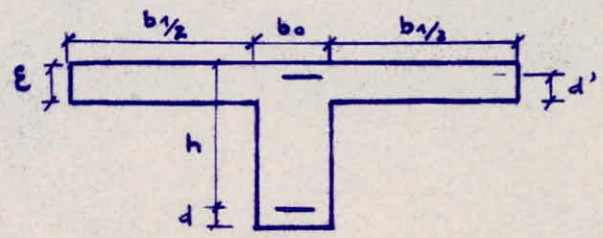
ARMATURES de la DALLE (par metre lineaire)

SOLLICITATION S ₁			SOLLICITATION S ₂		
MOMENTS	ACIERS TENDUS	ACIERS COMPRIMES	MOMENTS	ACIERS TENDUS	ACIERS COMPRIMES
M _x max	19 T ₁₆	15 T ₁₆	M _x max	23 T ₁₆	21 T ₁₆
M _x min	14 T ₁₆	6 T ₁₆	M _x min	16 T ₁₆	10 T ₁₆
M _y max	8 T ₁₆	0	M _y max	10 T ₁₆	0
M _y min	12 T ₁₆	3 T ₁₆	M _y min	14 T ₁₆	6 T ₁₆

ARMATURES DES POUTRES PRINCIPALES

I - système S₁: ARMATURES LONGITUDINALES

A - POUTRE PRINCIPALE N°1

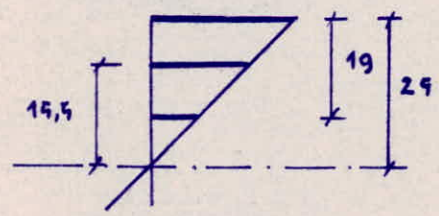


1. Section à 0,45L₁ : M = 239,4 tfm

- b = 296 cm, d = 8 cm, h = 296 - 35 = 261 cm, d' = 6 cm, phi = E/h = 0,30, b0 = 35 cm, e = 19 cm.

dosage du beton = 350 kg/m³ => sigma_b = 160 kg/cm²; sigma_b0 = 80 kg/cm²

les contraintes admissibles dans la fibre moyenne seront :



sigma_b = 80 * (25/15,5) = 129 kg/cm²
ou prend sigma_b = 120 kg/cm²
sigma'a = 2800 kg/cm².

les tableaux 5 et 7 nous donnent, pour sigma_b = 120 et sigma'a = 2800

mu = 20,40, lambda = 121,3; S = 2324; gamma = 118,7 avec

i = (sigma'a * d) / (sigma_b * (alpha - phi/2))
S = sigma'a * (1 - phi/2)

Moment que peut supporter la hauteur h.

M0 = (gamma * b0 + (S/i) * b1) * h^2 = (20,4 * 35 + (2324/121,3) * 261) * 62^2 = (715 + 5020) * 3844 = 220 tfm

Delta M = 239,4 - 220 = 19,4 tfm.

le moment nécessite une armature en compression w_g,

$$w_a = \frac{\Delta M}{\sigma_a (h_0 - d)} \quad \text{avec } \sigma_a \text{ donné par le tableau 6.}$$

$$\sigma_a = m \sigma_b \left(1 - \frac{d}{h_0}\right) - \frac{d}{h_0} \sigma_a = 13,5 \times 120 - 280 = 1620 - 280 = 1340 \text{ kg/cm}^2$$

$$w_a = \frac{1940000}{1340(62-6)} = \frac{194}{7,62} = 25,4 \text{ cm}^2 \Rightarrow 2T40 = 25,4 \text{ cm}^2$$

armature en tension: $w'a = h \left(\frac{b_0}{\gamma} + \frac{b_1}{\lambda} \right) + \frac{\Delta M}{\sigma'a (h_0 - d)}$

$$w'a = 62 \left(\frac{35}{118,7} + \frac{261}{121,3} \right) + \frac{1940000}{2800 \times 56} = 151,3 + 12,3 = 164,6 \text{ cm}^2 \Rightarrow 13T40 = 165,1 \text{ cm}^2$$

verification des fatigues:

on utilise les equations des moments statiques et du moment d'inertie données par la Circulaire Ministerielle.

Position de la fibre neutre γ :

$$\frac{b_0 \gamma^2}{2} + b_1 \epsilon \left(\gamma - \frac{\epsilon}{2} \right) + m w_a (\gamma - d) - m w'a (h - \gamma) = 0 \quad \text{ou}$$

$$\frac{35 \gamma^2}{2} + [261 \times 19 (\gamma - 9,5)] + [15 \times 25,4 (\gamma - 6)] - [15 \times 165,10 (62 - \gamma)] = 0 \quad \text{ou}$$

$$17,5 \gamma^2 + 4960 \gamma - 47100 + 380 \gamma - 2280 - 2480 \gamma - 153800 = 0 \quad \text{ou}$$

$$17,5 \gamma^2 + 7820 \gamma - 203180 = 0 \Rightarrow \sqrt{\Delta} = 8680$$

$$\text{d'où } \gamma = \frac{-7820 + 8680}{35} = 24,6 \text{ cm.}$$

equation du moment d'inertie I:

$$I = \frac{M}{k} = \frac{b_0 \gamma^3}{6} + b_1 \epsilon^2 \left(\frac{\gamma}{2} - \frac{\epsilon}{3} \right) + m w_a (\gamma - d) d - m w'a (h - \gamma) h$$

$$= \frac{35 \times 14900}{6} + (261 \times 361 \times 5,7) + (15 \times 25,4 \times 18,6 \times 6) - (15 \times 165,10 \times 37,4 \times 62)$$

$$= 86900 + 631000 + 42500 - 5740000 = |5036000| \text{ cm}^4$$

$$k = \frac{23940000}{5036000} = 4,66$$

$$\text{d'où } \left\{ \begin{array}{l} \sigma_b = k \times \gamma = 4,66 \times 24,6 = 114,9 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma'a = m \times k (h - \gamma) = 15 \times 4,66 \times 37,4 = 2610 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_a = m \times k (\gamma - d) = 15 \times 4,66 \times 18,6 = 1282 \text{ kg/cm}^2 \end{array} \right.$$

les contraintes trouvées sont inférieures aux contraintes admissibles.

2. Section à l'appui intermédiaire $M = 242,86 \text{ tfm}$

$b = 176 \text{ cm}$

$b_1 = 141 \text{ cm}$ nous utilisons les mêmes notations que précédemment

$b_0 = 35 \text{ cm}$

$M_0 = (20,40 \times 35 + \frac{2324}{121,3} \times 141) 62^2 = 194 \text{ tfm}$

$\Delta M = 242,86 - 194 = 88,80 \text{ tfm}$

$w_a = \frac{8880000}{1340 \times 56} = 112,8 \text{ cm}^2 \Rightarrow 9 T_{40} = 114,30 \text{ cm}^2$

$w'a = 62 \left(\frac{35}{118,7} + \frac{141}{121,3} \right) + \frac{8880000}{2800 \times 56} = 147,6 \text{ cm}^2 \Rightarrow 12 T_{40} = 152,5 \text{ cm}^2$

Vérification des fatigues:

$17,5 y^2 + 141 \times 19 (y - 9,5) + (15 \times 114,30 (y - 6) - [15 \times 152,5 (62 - y)]) = 0$

$17,5 y^2 + 2679 y - 25210 + 1715 y - 10290 + 2285 y - 141800 = 0$

$17,5 y^2 + 6679 y - 177300 = 0 \Rightarrow \sqrt{\Delta} = 7450$

et $y = \frac{-6679 + 7450}{35} = 22,3 \text{ cm}$

$I = \frac{35 \times 11200}{6} + (141 \times 361 \times 4,5) + (15 \times 114,30 \times 18,9 \times 6) - (15 \times 152,5 \times 39,7 \times 62)$

$= 65400 + 229000 + 194000 - 5620.000 = |5.131.600| \text{ cm}^4$

et $k = \frac{24286000}{5131600} = 4,70$

d'où $\sigma_b = 4,70 \times 22,3 = 110 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma'a = 15 \times 4,70 \times 39,7 = 2780 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_a = 15 \times 4,70 \times 16,3 = 1150 \text{ kg/cm}^2$

inférieurs aux
contraintes admissibles

3. Section à 0,45 L₂ $M = 151 \text{ tfm}$

Moment absorbé par les ailes: $M_0 = \mu \cdot b_0 \cdot h^2 = 20,4 \times 35 \times 62^2 = 27,4 \text{ tfm}$

$\Delta M = 151 - 27,4 = 123,6 \text{ tfm}$

armature correspondant à M_0 : $w'a_0 = \frac{b_0 \times h}{\gamma} = \frac{35 \times 62}{118} = 17,92 \text{ cm}^2$

armature en tension due à M : $w'a_1 = \frac{b_1 \times h}{\gamma} = \frac{261 \times 62}{121,3} = 133,2 \text{ cm}^2$

or les ailes n'absorbent que $123,6 \text{ tfm} \Rightarrow w'a_1 = 133,2 \times \frac{123,6}{151} = 108 \text{ cm}^2$

Donc, la section totale d'acier est

56

$$w'a = 108 + 17,92 = 125,92 \text{ cm}^2 \Rightarrow 10 T40 = 127 \text{ cm}^2$$

Verification des fatigues:

position de la fibre neutre y :

$$17,5 y^2 + 261 \times 19 (y - 9,5) - 15 \times 127 (62 - y) = 0$$

$$17,5 y^2 + 4960 y - 47100 + 1905 y - 118100 = 0$$

$$17,5 y^2 + 6865 y - 165200 = 0 \Rightarrow \sqrt{\Delta} = 7690$$

$$\text{d'où } y = \frac{-6865 + 7690}{35} = 22,7 \text{ cm}$$

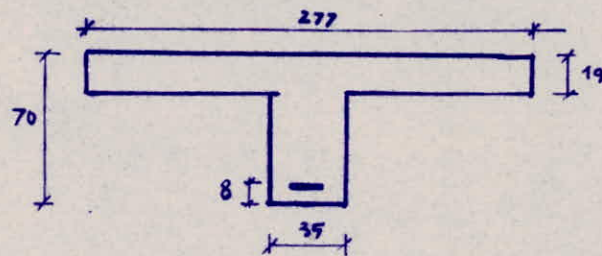
$$I = \frac{35 \times 18400}{6} + 261 \times 361 \times 4,7 - 15 \times 127 \times 39,3 \times 62$$

$$= 102500 + 443000 - 4640000 = 14094500 \text{ cm}^4$$

$$\text{d'où } k = \frac{15100000}{4094500} = 3,69$$

$$\left| \begin{array}{l} \sigma_b = 3,69 \times 22,7 = 83,2 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma'a = 3,69 \times 15 \times 39,3 = 2175 \text{ kg/cm}^2 \end{array} \right. \begin{array}{l} \text{inférieures aux} \\ \text{contraintes admissibles.} \end{array}$$

B - POUTRE PRINCIPALE N°2



1. Section à 0,45L₁ M = 213,02 tfm

$$M_0 = (\mu \times b_0 + \frac{s}{2} \times b_1) h^2 = (20,4 \times 35 + \frac{2324}{121,3} \times 241) (62)^2 = 207 \text{ tfm}$$

$$\Delta M = 213,02 - 207 = 6,02 \text{ tfm}$$

$$w_a = \frac{602000}{1340 \times 56} = \frac{602}{7,52} = 8,04 \text{ cm}^2 \Rightarrow 1 T40 = 12,7 \text{ cm}^2$$

$$w'a = 62 \left(\frac{35}{118,7} + \frac{241}{121,3} \right) + \frac{602000}{2800 \times 56} = 141,2 + 3,83 = 145,03 \text{ cm}^2$$

$$\text{ou prend } w'a = 12 T40 = 152 \text{ cm}^2$$

Verification des fatigues :

position de la fibre neutre :

$$17,5y^2 + 242 \times 19 (y - 9,5) + 15 \times 12,7 (y - 6) - (15 \times 152)(62 - y) = 0$$

$$17,5y^2 + 4600y - 43600 + 190y - 1140 + 2280y - 139000 = 0$$

$$17,5y^2 + 7070y - 182740 = 0 \Rightarrow \sqrt{\Delta} = 7940$$

$$\text{d'où } y = \frac{-7070 + 7940}{35} = \frac{870}{35} = 24,9 \text{ cm.}$$

$$I = \frac{(17,5 \times 15400)}{6} + (242 \times 361 \times 5,9) + (15 \times 12,7 \times 18,9 \times 6) - (15 \times 152 \times 37,1 \times 62)$$

$$= 44900 + 517000 + 21500 - 5250000 = 4666600 \text{ cm}^4$$

$$k = \frac{21302000}{4666600} = 4,6$$

$$\text{d'où } \left\{ \begin{array}{l} \sigma_b = 4,6 \times 24,9 = 104 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma'_a = 15 \times 4,6 \times 37,1 = 2560 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_a = 15 \times 4,6 \times 18,9 = 1305 \text{ kg/cm}^2 \end{array} \right.$$

Les contraintes sont inférieures aux contraintes admissibles.

2. Section à l'appui intermédiaire M = 242,86 tfm.

$$M_0 = 207 \text{ tfm}$$

$$\Delta M = 242,86 - 207 = 35,86 \text{ tfm.}$$

$$w_a = \frac{3586000}{1340 \times 56} = 48,6 \text{ cm}^2 \Rightarrow 4T40 = 50,80 \text{ cm}^2$$

$$w'_a = 62 \left(\frac{35}{118,7} + \frac{241}{121,3} \right) + \frac{3586000}{2800 \times 56} = 127 + 22,9 = 149,9 \text{ cm}^2 \Rightarrow 12T40 = 152,40 \text{ cm}^2$$

Verification des fatigues :

position de la fibre neutre :

$$17,5y^2 + 4600y - 43600 + 764y - 4570 + 2284y - 141900 = 0 \text{ ou}$$

$$17,5y^2 + 7648y - 189070 = 0 \Rightarrow \sqrt{\Delta} = 8490$$

$$\text{d'où } y = \frac{-7648 + 8490}{35} = 20 \text{ cm}$$

$$I = \frac{35 \times 8000}{6} + (241 \times 361 \times 3,4) + (15 \times 50,80 \times 14 \times 6) - (15 \times 152,40 \times 42 \times 62)$$

$$I = 46.600 + 296000 + 63800 = 5940.000 = |5333600| \text{ cm}^4$$

$$k = \frac{24286000}{5333600} = 4,38$$

$$\sigma_b = 4,38 \times 20 = 87,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_a = 4,38 \times 15 \times 42 = 2780 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 4,38 \times 15 \times 14 = 940 \text{ kg/cm}^2$$

inferieures aux
contraintes admissibles.

3 - Section à 0,45 L₂ : M = 222,64 tfm.

$$\Delta M = 222,64 - 207 = 15,64 \text{ tfm.}$$

$$W_a = \frac{1564000}{1340 \times 96} = 20,82 \text{ cm}^2 \Rightarrow 2 T40 = 29,40 \text{ cm}^2$$

$$W'_a = 62 \left(\frac{35}{118,7} + \frac{241}{121,3} \right) + \frac{1564000}{2800 \times 56} = 127 + 9,98 = 136,98 \text{ cm}^2$$

$$\Rightarrow 11 T40 = 139,7 \text{ cm}^2.$$

Vérification des fatigues:

$$17,5y^2 + 4600y - 43600 + 381y - 2290 + 2100y - 130100 = 0$$

$$17,5y^2 + 7081y - 175990 = 0 \Rightarrow \sqrt{\Delta} = 7890$$

$$y = \frac{-7081 + 7890}{35} = 23,1 \text{ cm.}$$

$$I = \frac{35 \times (23,1)^3}{6} + (241 \times 361 \times 4,9) + (15 \times 50,80 \times 17,1 \times 6) - (15 \times 139,7 \times 62 \times 38,9)$$

$$= 96200 + 425000 + 7840 - 5240000 = |4710000| \text{ cm}^4$$

$$k = \frac{22264000}{4710000} = 4,65$$

$$\sigma_b = 4,65 \times 23,1 = 107,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_a = 4,65 \times 15 \times 38,9 = 2720 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 4,65 \times 15 \times 17,1 = 1192 \text{ kg/cm}^2$$

inferieures aux
contraintes admissibles.

ARMATURES TRANSVERSALES

A - POUTRE PRINCIPALE N°1

1. à l'appui extrême A: $T = 50,64 \text{ tf.}$

la contrainte maximum de cisaillement du béton τ_0 due à l'effort tranchant a pour valeur $\tau_0 = \frac{T}{b_0 \times z}$ où b_0 est la largeur de la nervure et z le bras de levier. ($z = \frac{7}{8} h$)

$$z = \frac{7 \times 62}{8} = 54,2 \text{ cm.}$$

$$\text{d'où } \tau_0 = \frac{50640}{35 \times 54,2} = 26,7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{b0} = 81 \text{ kg/cm}^2 ; \sigma'_b = 6,6 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\text{nous devons avoir } \tau_0 \leq 0,4 \sigma_{b0} \Rightarrow 26,7 \leq 0,4 \times 81 = 32,4.$$

la contrainte admissible des armatures transversales est :

$$\sigma'_l = \rho'_a \times \sigma'_{ak}$$

Soit $\sigma'_{ak} = 3200 \text{ kg/cm}^2$ (limite d'élasticité de l'acier ADX).

$$\text{d'après la règle 4,234 du B.A.60, } \frac{\tau_0}{\sigma'_b} = \frac{26,7}{6,6} = 4,04 \Rightarrow \rho'_a = 0,57$$

$$\text{d'où } \sigma'_l = 0,57 \times 3200 = 1825 \text{ kg/cm}^2.$$

détermination de l'écartement initial. e :

$$\text{on prend un cadre } \phi_{10} + 2 \text{ étriers } \phi_{10} = 4,71 \text{ cm}^2$$

$$\text{donc } e = \frac{4,71 \times 54,2 \times 1825}{50640} = 9,2 \text{ cm ; on prend } 9 \text{ cm.}$$

la répartition des écartements suivants se fera conformément à la méthode de M³ CHARON. (voir dessus).

2. à gauche de l'appui intermédiaire: $T = 78,68 \text{ tf.}$

$$\tau_0 = \frac{78680}{35 \times 54,2} = 41,4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\rho_0}{\sigma'_b} = \frac{41,4}{6,6} = 6,27 \Rightarrow \rho'_a = 0,53.$$

$$\sigma'_l = 0,53 \times 3200 = 1700 \text{ kg/cm}^2$$

on prend 1 cadre ϕ_{12} + 2 étriers $\phi_{12} = 6,79 \text{ cm}^2$

$$\text{d'où } e = \frac{6,79 \times 54,2 \times 1700}{78680} = 7,94 \text{ cm} \Rightarrow \text{on prend } 8 \text{ cm.}$$

3. A droite de l'appui intermédiaire T = 66,28 tf

$$\rho_0 = \frac{66280}{35 \times 54,2} = 34,98 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\rho_0}{\sigma'_b} = \frac{34,98}{6,6} = 5,3 \Rightarrow \rho'_a = 0,54.$$

$$\sigma'_l = 0,54 \times 3200 = 1760 \text{ kg/cm}^2.$$

on prend 1 cadre ϕ_{12} + 2 étriers $\phi_{12} = 6,79 \text{ cm}^2$

$$\text{d'où } e = \frac{6,79 \times 54,2 \times 1700}{66280} = 9,45 \Rightarrow \text{on prend } 10 \text{ cm.}$$

4. Appui extrême C T = 47,91 tf.

$$\rho_0 = \frac{47910}{35 \times 54,2} = 25,22 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\rho_0}{\sigma'_b} = \frac{25,22}{6,6} = 3,82 \Rightarrow \rho'_a = 0,57$$

$$\sigma'_l = 0,57 \times 3200 = 1850 \text{ kg/cm}^2$$

on prend 1 cadre ϕ_{10} + 2 étriers $\phi_{10} = 4,71 \text{ cm}^2$

$$\text{d'où } e = \frac{4,71 \times 54,20 \times 1850}{47910} = 9,90 \Rightarrow \text{on prend } 10 \text{ cm}$$

POUTRE PRINCIPALE N°2

1. Appui extrême A: T = 53,93 tf.

$$\rho_0 = \frac{53930}{35 \times 54,2} = 28,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\rho_0}{\sigma'_b} = \frac{28,5}{6,6} = 4,32 \Rightarrow \rho'_a = 0,56$$

$$\sigma'_l = 0,56 \times 3200 = 1790 \text{ kg/cm}^2$$

on prend 1 cadre ϕ_{10} + 2 étriers $\phi_{10} = 4,71 \text{ cm}^2$

$$\text{d'où } e = \frac{4,71 \times 54,20 \times 1790}{53930} = 8,45 \text{ cm} \Rightarrow \text{on prend } 9 \text{ cm.}$$

2- à gauche de l'appui B: $T = 68,98 \text{ tf}$

$$\sigma_0 = \frac{68980}{35 \times 54,2} = 36,28 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_0}{\sigma'_b} = \frac{36,28}{6,6} = 5,54 \Rightarrow \rho'_a = 0,94$$

$$\sigma'_l = 0,94 \times 3200 = 1760 \text{ kg/cm}^2$$

on prend 1 cadre ϕ_{12} + 2 étriers $\phi_{12} = 6,78 \text{ cm}^2$

$$\text{d'où } e = \frac{6,78 \times 54,2 \times 1760}{68980} = 9,40 \text{ cm} \Rightarrow \text{on prend } 10 \text{ cm.}$$

3- A droite de l'appui B: $T = 57,76 \text{ tf}$

$$\sigma_0 = \frac{57760}{35 \times 54,2} = 30,4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_0}{\sigma'_b} = \frac{30,4}{6,6} = 4,6 \Rightarrow \rho'_a = 0,55$$

$$\sigma'_l = 0,55 \times 3200 = 1815 \text{ kg/cm}^2$$

on prend 1 cadre ϕ_{10} + 2 étriers $\phi_{10} = 4,71 \text{ cm}^2$

$$\text{d'où } e = \frac{4,71 \times 54,2 \times 1815}{57760} = 7,90 \text{ cm} \Rightarrow 8 \text{ cm.}$$

4- à l'appui extrême C: $T = 42,51 \text{ tf}$

$$\sigma_0 = \frac{42510}{35 \times 54,2} = 22,4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_0}{\sigma'_b} = \frac{22,4}{6,6} = 3,39 \Rightarrow \rho'_a = 0,59$$

$$\sigma'_l = 0,59 \times 3200 = 1890 \text{ kg/cm}^2$$

on prend 1 cadre ϕ_{12} + 1 étrier $\phi_{12} = 3,14 \text{ cm}^2$

$$\text{d'où } e = 3,14 \times \frac{54,2 \times 1890}{42510} = 7,61 \text{ cm} \Rightarrow \text{on prend } 8 \text{ cm.}$$

Comme dans tous les cas $\sigma_0 > 2,5 \sigma'_b$, on emploie de préférence un système mixte de bars longitudinaux relevés à 45° et les armatures transversales normales à la fibre moyenne.

II - système S₂

- ARMATURES LONGITUDINALES -

A - POUTRE PRINCIPALE N°1

1. Section à 0,45L₁ : M = 279,49 tfm

Ses armatures seront calculées avec les notations précédentes, et les dimensions de la section pour la poutre principale N°1.

donc $M_0 = 154 \text{ tfm}$

$$\Delta M = 276,49 - 154 = 122,49 \text{ tfm.}$$

$$\text{d'où } w_a = \frac{12249000}{1340 \times 96} = 176 \text{ cm}^2 \Rightarrow 14T40 = 177,80 \text{ cm}^2$$

$$w'_a = 62 \left(\frac{35}{118,7} + \frac{141}{121,3} \right) + \frac{12249000}{2800 \times 96} = 127 + 74,3 = 201,3 \text{ cm}^2$$

$$\Rightarrow 17T40 = 203,20 \text{ cm}^2$$

verification des fatigues:

$$17,5y^2 + [141 \times 19 (y - 9,5)] + [15 \times 177,80 (y - 6)] - [15 \times 203,20 (62 - y)] = 0$$

$$17,5y^2 + 2680y - 25210 + 2670y - 16000 + 3040y - 189000 = 0$$

$$17,5y^2 + 8390y - 226210 = 0 \Rightarrow \sqrt{\Delta} = 9240$$

$$\text{d'où } y = \frac{9240 - 8390}{35} = 24 \text{ cm}$$

$$I = \frac{35 \times 13900}{6} + (241 \times 361 \times 5,6) + (15 \times 177,80 \times 18 \times 6) - (15 \times 205,3 \times 38 \times 62)$$

$$= 81200 + 487000 + 288000 - 7250000 = 16393000 \text{ cm}^4$$

$$k = \frac{27949000}{16393000} = 4,32.$$

$$\sigma_b = 4,32 \times 24 = 100 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma'_a = 4,32 \times 15 \times 38 = 2480 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 4,32 \times 15 \times 18 = 1140 \text{ Kg/cm}^2$$

2. Section à l'appui intermédiaire M = 277,4 tfm

$$M_0 = 220 \text{ tfm} ; \quad \Delta M = 277,4 - 220 = 57,4 \text{ tfm.}$$

$$W_a = \frac{5740000}{1340 \times 56} = 76 \text{ cm}^2 \Rightarrow 6T40 = 76,20 \text{ cm}^2$$

$$W'_a = 62 \left(\frac{35}{118,7} + \frac{261}{121,3} \right) + \frac{5740000}{2800 \times 56} = 151,3 + 36,7 = 188,0 \text{ cm}^2$$

$$\hookrightarrow 15T40 = 190,5 \text{ cm}^2$$

Verification des fatigues:

$$17,5 y^2 + [(261 \times 19(y - 9,5))] + [15 \times 76,20(y - 6)] - [(15 \times 190,5(62 - y))] = 0$$

$$17,5 y^2 + 4960 y - 46100 + 1140 y - 6840 + 2920 y - 181200 = 0$$

$$17,5 y^2 + 9020 y - 234140 = 0 \Rightarrow \sqrt{\Delta} = \frac{-9020 + 9880}{35} = 24,6 \text{ cm}$$

$$I = \frac{35 \times 14900}{6} + (261 \times 361 \times 5,7) + (15 \times 76,20 \times 18,6 \times 6) - (15 \times 190,5 \times 37,4 \times 62)$$

$$= 86900 + 631000 + 127300 - 6620000 = 5775000$$

$$\text{d'où } k = \frac{27740000}{5775000} = 4,8$$

$$\sigma_b = 24,6 \times 4,8 = 118 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_a = 4,8 \times 15 \times 37,4 = 2680 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 4,8 \times 15 \times 18,6 = 1340 \text{ kg/cm}^2$$

3. Section à 0,45 L₂ M = 183,1 tfm.

$M_0 = 220 \text{ tfm} > 183,1 \text{ tfm}$; il n'y aura pas d'armatures comprimées

donc: moment absorbé par les ailes = $p \cdot b \cdot h_0^2 = 27,4 \text{ tfm} = M_0$

$$\Delta M = 183,1 - 27,4 = 155,7 \text{ tfm}$$

armatures correspondant à M_0 : $W'_{a0} = \frac{35 \times 62}{118} = 17,92 \text{ cm}^2$

armatures tendues dues à M : $W'_{a1} = \frac{261 \times 62}{121,3} = 133,2 \text{ cm}^2$

or les ailes n'absorbent que 155,7 tfm $\Rightarrow W''_{a1} = 155,7 \times \frac{133,2}{183,1} = 113,2 \text{ cm}^2$

donc la section totale d'acier est:

$$W'_a = 113,2 + 17,92 = 131,12 \text{ cm}^2 \Rightarrow 11T40 = 139,7 \text{ cm}^2$$

Verification des fatigues:

$$17,5 y^2 + 261 \times 19 (y - 9,5) - 15 \times 139,7 (62 - y) = 0$$

$$17,5 y^2 + 4960 y - 47100 + 2100 y - 130.000 = 0$$

$$17,5 y^2 + 7060 y - 177100 = 0 \Rightarrow \sqrt{\Delta} = 7880$$

$$y = \frac{-7060 + 7880}{35} = 23,7 \text{ cm}$$

$$I = \frac{35 \times 13200}{6} + (261 \times 361 \times 5,7) - (15 \times 139,7 \times 38,3 \times 62)$$

$$77000 + 442000 - 4960000 = |4441000| \text{ cm}^4$$

$$\text{d'où } k = \frac{18310000}{4441000} = 4,12$$

$$\sigma_b = 4,12 \times 23,7 = 98 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma'_a = 4,12 \times 15 \times 38,3 = 2380 \text{ Kg/cm}^2$$

B_ POUTRE PRINCIPALE N°2

1. Section à 0,45 L₁ : M = 250,4 tfm.

$$M_0 = 207 \text{ tfm}$$

$$\Delta M = 250,4 - 207 = 43,4 \text{ tfm.}$$

$$W_a = \frac{4340000}{1340 \times 56} = 58,2 \text{ cm}^2 \Rightarrow 5T_{40} = 63,50 \text{ cm}^2$$

$$W'_a = 62 \left(\frac{35}{118,7} + \frac{241}{121,3} \right) + \frac{4340000}{2800 \times 56} = 127 + 27,9 = 154,9 \text{ cm}^2 \Rightarrow 13T_{40} = 165,10 \text{ cm}^2$$

Vérification des fatigues:

$$17,5 y^2 + 241 \times 19 (y - 9,5) + (15 \times 63,50)(y - 6) - (15 \times 165,10)(62 - y) = 0$$

$$17,5 y^2 + 4600 y - 43600 + 950 y - 5700 + 2480 y - 153800 = 0$$

$$17,5 y^2 + 8030 y - 203100 = 0 \Rightarrow \sqrt{\Delta} = 8860$$

$$\text{d'où } y = \frac{-8030 + 8860}{35} = 23,7 \text{ cm}$$

$$I = \frac{35 \times 13200}{6} + (241 \times 361 \times 5,2) + (15 \times 63,5 \times 17,7 \times 6) - (15 \times 165,10 \times 38,3 \times 62)$$

$$= 77000 + 452000 + 100000 - 5950000 = |5391000| \text{ cm}^4$$

$$\text{d'où } k = \frac{25040000}{5391000} = 4,70$$

$$\sigma_b = 4,70 \times 23,7 = 116 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma'_a = 4,70 \times 15 \times 38,3 = 2700 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 4,70 \times 15 \times 16,3 = 1150 \text{ Kg/cm}^2$$

2. Section à l'appui intermédiaire $M = 277,4 \text{ tfm}$.

$$M_0 = 207 \text{ tfm}$$

$$\Delta M = 70,4 \text{ tfm}$$

$$W_a = \frac{7040000}{1340 \times 56} = 92 \text{ cm}^2 \Rightarrow 7 T_{40} = 88,90 \text{ cm}^2$$

$$W'_a = 62 \left(\frac{35}{118,7} + \frac{241}{121,3} \right) + \frac{7040000}{2800 \times 56} = 127 + 44,9 = 171,9 \text{ cm}^2 \Rightarrow 14 T_{40} = 177,80 \text{ cm}^2$$

Verification des fatigues :

$$17,5 y^2 + (241 \times 19)(y - 9,5) + (15 \times 88,90)(y - 6) - (15 \times 177,80)(62 - y) = 0$$

$$17,5 y^2 + 4600 y - 43600 + 1330 y - 7980 + 2660 y - 165000 = 0$$

$$17,5 y^2 + 8690 y - 216580 = 0 \Rightarrow \sqrt{\Delta} = 9500$$

$$y = \frac{-8690 + 9500}{35} = 23 \text{ cm}$$

$$I = \frac{35 \times 12000}{6} + (241 \times 361 \times 4,9) + (15 \times 88,90 \times 6) - (15 \times 177,80 \times 39 \times 62) = |5935000| \text{ cm}^4$$

$$k = \frac{27740000}{5935000} = 4,58$$

$$\sigma_b = 4,58 \times 23 = 104 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_a = 4,58 \times 15 \times 39 = 2680 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 4,58 \times 15 \times 17 = 1140 \text{ kg/cm}^2$$

3. Section à 0,45 L₂ $M = 248,65 \text{ tfm}$

$$\Delta M = 248,65 - 207 = 41,65 \text{ tfm}$$

$$W_a = \frac{4165000}{1340 \times 56} = 55,5 \text{ cm}^2 \Rightarrow 5 T_{40} = 63,5 \text{ cm}^2$$

$$W'_a = 62 \left(\frac{35}{118,7} + \frac{241}{121,3} \right) + \frac{4165000}{2800 \times 56} = 127 + 26,3 = 153,3 \text{ cm}^2 \Rightarrow 12 T_{40}$$

on trouve $y = 23 \text{ cm}$; $I = |4948000| \text{ cm}^4$; $k = 4,9$

$$\text{d'où } \sigma_b = 104 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_a = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 1250 \text{ kg/cm}^2$$

armatures des entretoises

Pour les entretoises nous prendrons 40% des efforts maximum (moment fléchissant, effort tranchant) de la poutre principale la plus sollicitée.

$$\text{Soit } M = 97,14 \text{ tfm}$$

$$T = 31,47 \text{ tf.}$$

ARMATURES LONGITUDINALES

$$\sigma'_a = 1800 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = 160 \text{ "}$$

$$\sigma_{b0} = 80 \text{ "}$$

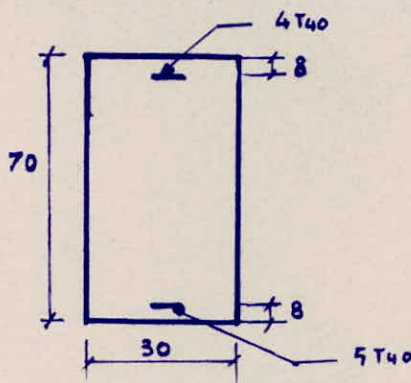
$$\sigma'_b = 6,6$$

$$\alpha = 0,461$$

$$\beta = 0,846$$

$$\gamma = 76$$

$$\mu = 20,40$$



d'après le tableau 9 de M³ KHRAMOFF.

$$M_0 = \mu_0 \cdot b \cdot h^2 = 20,40 \times 30 \times 62^2 = 23,52 \text{ tfm.}$$

$$\Delta M = 97,14 - 23,52 = 53,62 \text{ tfm.}$$

$$\text{d'où } w'_a = \frac{30 \times 62}{76} = 24,5 \text{ cm}^2$$

$$\frac{d}{h_0} \approx 0,10$$

$$\text{d'où } \sigma_a = 13,5 \times \sigma_b - 280 = 1880 \text{ kg/cm}^2$$

$$w_a = \frac{\Delta M}{\sigma_a (h_0 - d)} = \frac{5362000}{1880 \times 52} \approx 54 \text{ cm}^2 \Rightarrow \underline{4T40}$$

$$w'_a = \frac{\Delta M}{\sigma'_a (h_0 - d)} = \frac{5362000}{2800 \times 52} = 33,2 \text{ cm}^2$$

$$\text{d'où } w'_a = 33,2 + 24,5 = 55,7 \text{ cm}^2 \Rightarrow \underline{5T40}$$

$$z = \beta \times h = 0,846 \times 62 = 52,5 \text{ cm}$$

ARMATURES TRANSVERSALES

67

$$\rho_0 = \frac{T}{b_0 z} = \frac{31470}{30 \times 52,5} = 20 \text{ kg/cm}^2 \text{ avec } z = \frac{7}{8} h = 52,5 \text{ cm.}$$

$$\tau_0 < 0,4 \sigma_{b0} = 0,4 \times 80 = 32 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\rho_0}{\sigma'_{b'}} = \frac{20}{6,6} = 3,15 \Rightarrow \rho'_{a'} = 0,60$$

$$\text{d'où } \sigma'_{a'} = 0,60 \times 3200 = 1920 \text{ kg/cm}^2$$

on prend 1 cadre ϕ_{10} + 1 étrier $\phi_{10} = 3,14 \text{ cm}^2$

$$t = \frac{3,14 \times 52,5 \times 1920}{31470} \approx 10 \text{ cm}$$

Nous utiliserons de préférence le système mixte de bars relevés à 45° sur les nappes supérieure et inférieure et des armatures transversales normales à la fibre moyenne.

— ARMATURES DE LA CONSOLE —

Pour les armatures de la console, on utilise le prolongement des bars de la dalle ($\frac{1}{2} w'_a$) ce qui est largement suffisant.

Pour le placement des armatures de la dalle, des poutres principales, des entretoises et de la console, se reporter aux dessins ci-joints

ARMATURES LONGITUDINALES des POUTRES pales

SECTIONS	SOLLICITATION S ₁				SOLLICITATION S ₂			
	POUTRE PRINCIPALE N°1		POUTRE PRINCIPALE N°2		POUTRE PRINCIPALE N°1		POUTRE PRINCIPALE N°2	
	ACIERS TENDUS	ACIERS COMPRIMÉS	ACIERS TENDUS	ACIERS COMPRIMÉS	ACIERS TENDUS	ACIERS COMPRIMÉS	ACIERS TENDUS	ACIERS COMPRIMÉS
0,45 L ₁	13 T40	2 T40	12 T40	1 T40	17 T40	14 T40	13 T40	5 T40
APPUI INTERMEDIAIRE	12 T40	9 T40	12 T40	4 T40	19 T40	6 T40	14 T40	7 T40
0,45 L ₂	10 T40	0	11 T40	2 T40	11 T40	0	12 T40	5 T40

ARMATURES TRANSVERSALES des POUTRES Pales

SECTIONS	POUTRE PRINCIPALE N°1		POUTRE PRINCIPALE N°2	
	EFFORTS TRANCHANTS	ARMATURES	EFFORTS TRANCHANTS	ARMATURES
APPUI EXTREME A	50,64 Tf	1 cadre ϕ_{10} + 2 étriers ϕ_{10}	53,93 Tf	1 cadre ϕ_{10} + 2 étriers ϕ_{10}
A GAUCHE DE B	78,68 "	1 cadre ϕ_{12} + 2 étriers ϕ_{12}	68,98 "	1 cadre ϕ_{12} + 2 étriers ϕ_{12}
A DROITE DE B	66,28 "	1 cadre ϕ_{12} + 2 étriers ϕ_{12}	57,76 "	1 cadre ϕ_{10} + 2 étriers ϕ_{10}
APPUI EXTREME C	47,91 "	1 cadre ϕ_{10} + 2 étriers ϕ_{10}	42,51 "	1 cadre ϕ_{12} + 1 étrier ϕ_{12}

CUBATURE DU PONT

1. POIDS DU PONT

console :	1,330
asphalte sur le trottoir : $0,02 \times 1,33 \times \frac{1}{2} \times 1,8 =$	0,024
piéris de bordure : $0,25 \times 0,19 \times 2,7 =$	0,128
total $\times 2$	<u>3,200</u>
beton maigre sous la chaussée $\frac{1}{2} (0,02 \times 0,45) \times 7,5 \times 2,3 =$	0,990
isolation de la chaussée : $0,01 \times 7,5 \times 1,8 =$	0,135
couche de protection de l'isolation : $0,02 \times 7,5 \times 2,3 =$	0,345
asphalte : $0,04 \times 7,5 \times 1,8 =$	0,480
poutres principales : $4 \times 0,35 \times 0,51 \times 2,5 =$	1,75
dalle du pont : $0,19 \times 7,5 \times 2,5 =$	3,532
	<u>9,537 tf/m.</u>
entretoises : $8 \times 0,30 \times 0,51 \times 2,5 \times 7,5 =$	23 tf.
dalle supplémentaire : $0,19 \times 14,40 \times 2,5 =$	6,9 "
pois du tablier : $9,537 \times 35 =$	<u>334 "</u>
Poids total du pont :	363,9 tf \approx 364 tf.

2. CUBATURE DU BETON ARME : $\frac{364}{2,5} = 139 \text{ m}^3$

3. POIDS D'ACIER

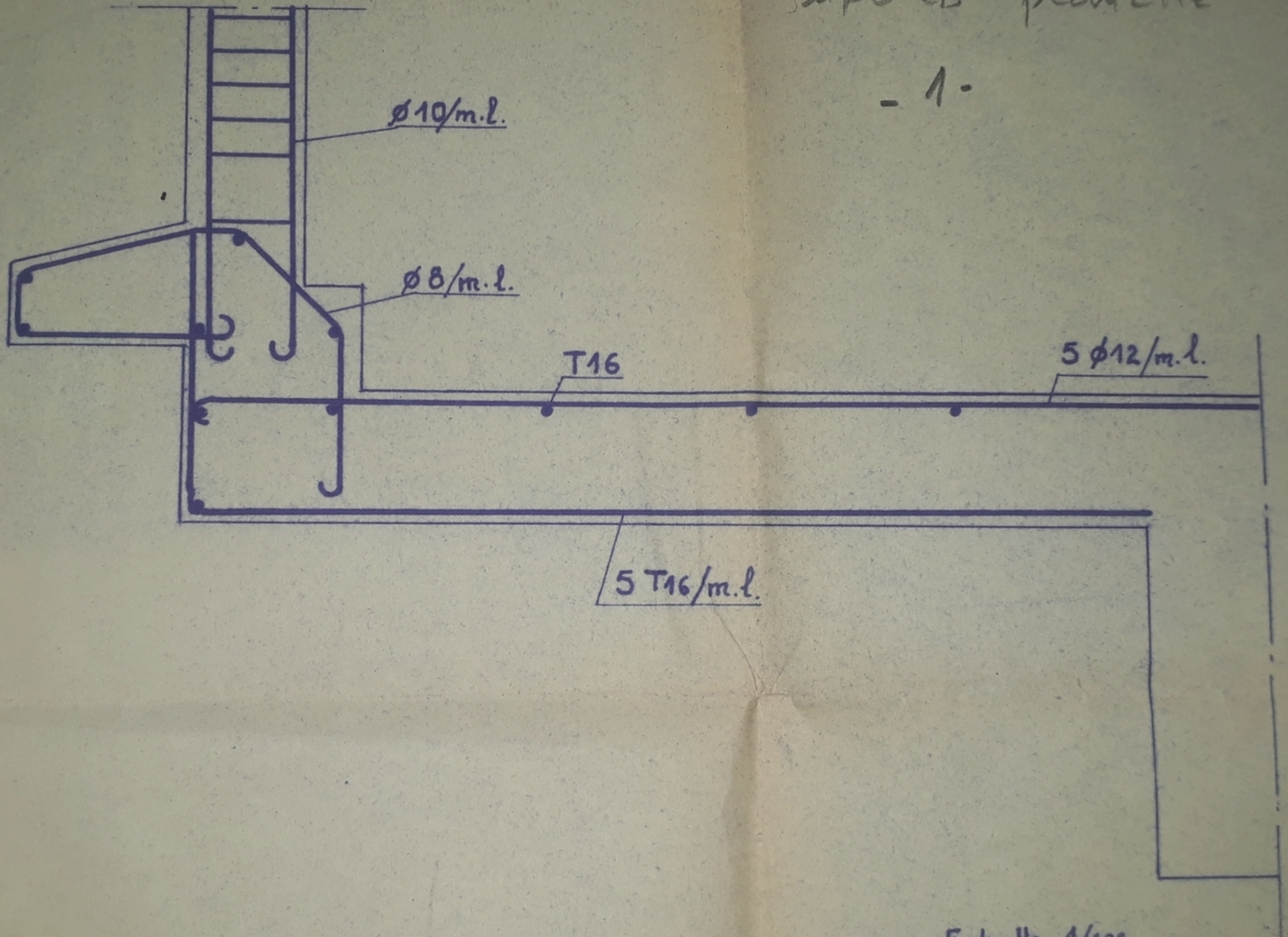
T ₄₀ :	L = 2572 m ;	P = $2572 \times 10,297 =$	26450 Kg
T ₁₆ :	L = 7011m ;	P = $7011 \times 1,706 =$	12000 "
Ø ₁₂ :	L = 2900 m ;	P = $2900 \times 0,617 =$	<u>1800 "</u>

POIDS TOTAL D'ACIER : 45250 kg = 45,250 tf

PB 00166

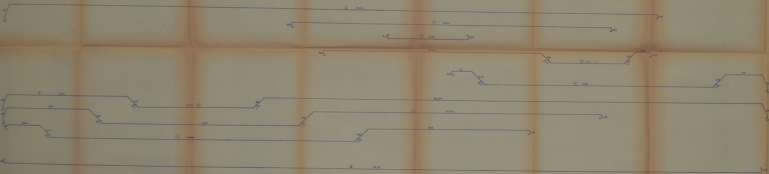
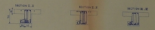
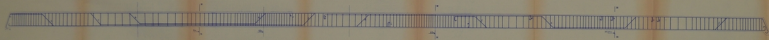
appui planche

- 1 -



Echelle 1/10^e

ARMATURES LONGITUDINALES ET TRANSVERSALES DE LA POUTRE PRINCIPALE N°1

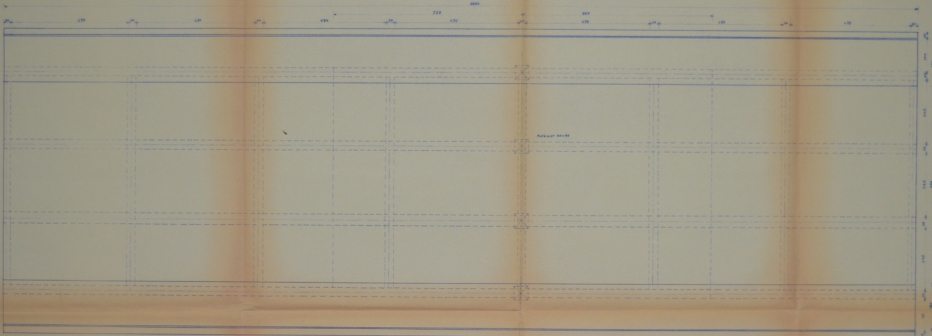


Bar No.	Length (m)	Development Length (m)
1	12.00	1.20
2	12.00	1.20
3	12.00	1.20
4	12.00	1.20
5	12.00	1.20
6	12.00	1.20
7	12.00	1.20
8	12.00	1.20
9	12.00	1.20
10	12.00	1.20

Calculé par

VUE DE DESSUS DU PONT

Echelle 1/50

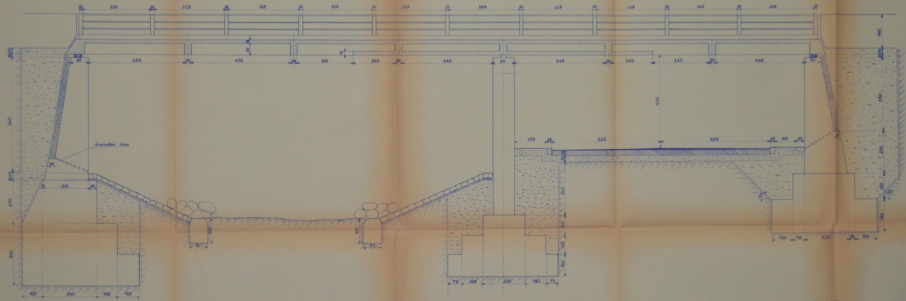


PB00166

PB00166

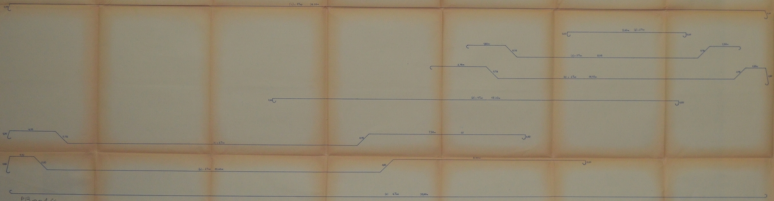
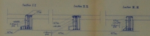
-5-

COUPE LONGITUDINALE DE L'OUVRAGE



Echelle 1/50

ARMATURES LONGITUDINALES ET TRANSVERSALES DE LA POUTRE PRINCIPALE N°2



Bar No.	Length (cm)	Weight (kg)
1	1000	1.57
2	1000	1.57
3	1000	1.57
4	1000	1.57
5	1000	1.57
6	1000	1.57
7	1000	1.57
8	1000	1.57
9	1000	1.57
Total		14.13

Scale 1/20

