

UNIVERSITE D'ALGER

9/73

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE CIVIL

1050

THESE DE FIN D'ETUDES

PONT EN BETON ARME
A 3 TRAVEES CONTINUES



PROPOSE ET DIRIGE

PAR M. B. MOKDAD

ETUDIE PAR

R. HADJ MESSAOUD

PROMOTION 1973

= UNIVERSITE D'ALGER =

=====

= ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE =

= PROJET DE FIN D'ETUDES =

= PONT EN BETON- ARME =

Proposé par M^r B. MOKDAD

Etudié par M^r R. HADJ MESSAOUD

Promotion : Juin 1973 .

AVANT-PROPOS

L'occasion qui m'est offerte, me permet de présenter tous mes vifs remerciements à tous les professeurs qui ont contribué à ma formation d'ingénieur et plus particulièrement à Monsieur B.HOKDAD, professeur de Pont à l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, pour les explications que j'y ai trouvé à mes nombreux problèmes dans l'étude de ce projet.

R. HADJ MESSAOUD

- Table des Matières -

Introduction

- But et Description du projet 1
- Matériaux employés 3

I^e Partie

- Calcul de la dalle 5
- A. Dalle sous trottoir 9
- B. Dalle sous chaussée 13
- I. Etude d'une plaque sous charges permanentes 13
- II. " " " " surcharges..... 15
- Efforts définitifs dans la dalle 26
- C. Calcul des Armatures dans la dalle 28

II^e Partie

- Introduction au calcul des efforts dans les poutres
principales continues 33
Etude des lignes d'influence de M et T 37
- A. Lignes d'influence de M sur appuis 37
- B. Lignes d'influence de M dans une section quel
quelconque 42
- C. Lignes d'influence de l'effort tranchant T..... 45
. Calcul des lignes d'influence 47
. Calcul des Efforts 54
- A. Efforts dans les poutres principales sous les
charges permanentes 54
- B. Efforts dans les poutres principales sous les
surcharges 61
I. Efforts dans les poutres principales dûs à la
surcharge A(1)..... 61
II. Efforts dans les poutres principales dûs à la
surcharge des trottoirs 67
III. Efforts dans les poutres principales dûs aux
surcharges Bc..... 69
C. Récapitulation des efforts dans les poutres principales 77

III PARTIE :

A. Calcul de béton-Armé des Poutres Principales	78
I. Résistance à la flexion	78
II. Résistance à l'effort tranchant	91
III. Justification d'about	97
IV. Armatures de répartition	99

IV PARTIE :

Etude des Entretoises	103
Ligne d'influence de l'effort tranchant pour l'entretoise	105
Ligne d'influence du Moment fléchissant pour l'entretoise	107
Calcul des Armatures de l'entretoise.....	107/.

B I B L I O G R A P H I E

- Cours Pont de M^r B. MOKDAD
- Cours béton-Armé de M^r MEROUANI
- Cours Resistance des Matériaux de M^r J.P. BOURDES
- Règles C C B A 68
- Calcul et exécution des ouvrages en Béton-Armé de
V. FORESTIER tome IV .

- But du projet -

Il consiste à l'étude d'un tablier du pont-routier en béton-armé enjambant une rivière dont la distance entre rives est de 84 m.

- Description de l'ouvrage -

Le pont est du type à travées continues avec tablier horizontal. Il comporte 3 travées inégales de :

23m pour la travée 1 et 3 (rive),

38m pour la travée 2 (intermédiaire)

Le choix des portées étant établi d'après la règle $0,5 < \frac{l_1}{l_2} < 0,7$

- Tablier :

La largeur totale du tablier hors tout est de 12,78m, et la largeur utile de 12,20m comprenant une chaussée de 9 m et 2 trottoirs de 1,60 m.

Le pont comprend essentiellement :

-4 poutres avec entre-axe régulier de 3,20m. Ces poutres principales ont la forme de T avec talon.

- Séction droite d'une poutre principale:

Le tableau relatif au prédimensionnement d'un pont à poutres continues donne $\frac{l}{14} \leq \frac{h}{1} \leq \frac{l}{25}$; et h= hauteur de la

poutre= 1,40m avec bo (largeur d'âme= 0,25m).

Dimensions du talon de 0,30 de hauteur sur 0,670m de largeur.

- Longueur entre nus des poutres principales :

$l_x = 2,95 \text{ m}$

- Une dalle en béton armé d'épaisseur h_o :

$h_o \gg \frac{1}{16} l_x \text{ --- } h_o \gg \frac{2,95}{16} = 18,4 \text{ cm --- } h_o = 20 \text{ cm}$

Largeur(b) de la table de compression à prendre en compte dans les calculs : $b = 3,20 \text{ m}$

- Des entretoises :

Situées au droits des piles et culées, et à

intervalles (y) régulier en travée : travée 1 et 3 : $y = 7,67\text{m}$
: travée 2 : $y = 7,60\text{m}$.

Entre les poutres principales, ces entretoises sont constitués d'un âge pleine en béton armé de 20 cm de largeur et 0,95 m de hauteur. Elles reposent par leur face inférieure sur le talon.

- Corniches :

L'ouvrage est bordé par une corniche en béton armé coulé ou préfabriquée de 0,41m de hauteur et de 0,15m dans sa plus grande largeur .

- Trottoirs :

Ils sont limités, côté chaussée par des bordures en béton vibre , préfabriqué de 0,2 m de hauteur et de 0,15 de large. L'aire est constituée d'une chape d'asphalte de 1,5cm d'épais. avec une pente de 2%. Il est prévu un vide nécessaire au passage de la canalisation, recouvert par une dalette préfabriquée en BA. Dans ce vide, la tuyauterie est recouverte de sable.

-Etanchéité de la chaussée : La table de compression est recouverte de 2 couches d'asphalte de 8mm, coulé sur papier fort.

-Forme de pente :

Sur la table de comp. est prévue :
une couche de béton maigre qui assure la pente de 2% correspondant au profil transversal définitif de la chaussée.

- Appuis : Les poutres reposent sur leur support (piles et culées) par l'intermédiaire d'appareils d'appuis.

-Garde-corps ; L'ouvrage est prévu avec un garde-corps métallique d'une hauteur H=1,10m composé essentiellement d'une main courante (lisse) supérieure et de barres horizontales espacées au maximum de 15cm sur les 60cm au-dessus du trottoir et de 25cm sur la hauteur restante ; de montants principaux fixés au tablier et es espacés de 2m régulièrement. Toutes les barres horizontales ont une section tubulaire de 8cm de diamètre, et les montants en fer plat de 15cm de large.

- Eclairage : 8 candélabres disposés en quiconce équipés de ballons fluorescent assurent l'éclairage du pont qui est situé à l'entrée d'une ville. Ces lampadaires sont scellés dans la dalle sous trottoir tous les 20m.

- Ecoulement des eaux ; Il est assuré par les pentes transversales et longitudinales du tablier et les caniveaux aménagés au point bas de la chaussée dans le sens transversal. Les eaux collectées sont évacuées par des avaloirs encastrés dans les bordures de trottoirs et conduites par des canalisations métalliques, situées au droit des piles et culées.

I MATERIAUX EMPLOYES - CONTRAINTE ADMISSIBLES

1. Béton :

Dosage	Ciment	Contrôle	Granulat
400 kg/m ³	CPA250/325	stricte	roulés max 25

Calcul de $\bar{\sigma}'_b$, $\bar{\sigma}'_{bo}$ et $\bar{\sigma}_b$

$$\bar{\sigma}'_b = \sigma'_{28} \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \delta \cdot \epsilon$$

$$\gamma = 1 \text{ si } \frac{h_0}{4c_g} > 1 \rightarrow \frac{20}{4 \cdot 2,5} = \frac{20}{10} = 2 > 1 \rightarrow \boxed{\gamma = 1}$$

σ'_{28}	α	β	γ	δ	ϵ
300 b	25b	1	1	CS=0,3 FS=0,6	cs 1 0,5/1

. : dans ces cas autre que CS, se valeur dépend de .m
(contraint moyenne de béton)

$$\frac{\sigma'_m}{\bar{\sigma}'_b} < \frac{\bar{\sigma}'_{bo}}{\bar{\sigma}'_b}$$

donc $\bar{\sigma}'_b = \begin{cases} \text{CS : } 0,3 \cdot \sigma'_{28} = 0,3 \cdot 300 = 90 \text{ bars} \rightarrow \bar{\sigma}'_{bo} = 90 \text{ bars} \\ \text{FS : } 0,6 \cdot \sigma'_{28} = 0,6 \cdot 300 = 180 \text{ bars} \rightarrow \bar{\sigma}'_b = 180 \text{ bars} \end{cases}$

$$\bar{\sigma}_b = \bar{\sigma}'_b \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \delta \cdot \epsilon$$

$$\alpha = \text{ sous sollicitation du 1er genre} = 0,018 + \frac{2,1}{\sigma'_j} = 0,018 + \frac{2,1}{300} = 0,018 + 0,007 = 0,025$$

$$\bar{\sigma}_b = 0,025 \cdot 300 = 7,5 \text{ bars}$$

$\bar{\sigma}'_{bo}$	= 90 bars
$\bar{\sigma}'_b$	= 180 bars
$\bar{\sigma}_b$	= 7,5 Bars

2. Aciers :

1. Limite d'élasticité nominale en f (Ø)

Adx Acier Tor (T)

Acier créal (LC)

Ømm	en kg/cm ²	en kg/cm ²
< 20	4 200	2 800
> 25	4 000	2 670

$$\bar{\sigma}'_a = \bar{\sigma}'_a = \frac{2}{3} \text{ . en (solicitation totales du 1er genre) C. a. d } S_1 = G+1, 2P+1T$$

Pour que le béton employé soit utilisable avec les aciers HA il faut que la résistance nominale Art 18 BA68 p23 du béton doit être telle que sa $\bar{\sigma}'_{bo}$ (90 bars) satisfait à l'inégalité suivante. $\bar{\sigma}'_{bo} > 20(1+1,25 \psi d)$

avec $\psi d = \frac{1,5}{2} \psi d$ et $\psi d =$ (1 Rond lisse
 (1,6 Ha $\implies \psi d = 1,7$)
 $\implies \bar{\sigma}'_{bo} > 20(1+1,25 \cdot 1,7) = 62,4 \text{ bars}$
 $\frac{90 > 62,4}{\text{Vérifiée}}$

= Coef scellement
 = Coef d'adhérence

Les $\bar{\sigma}'_a$ ci-dessus ne peuvent être utilisés que si elles sont compatibles avec l'ouverture acceptable des fissures donc $\bar{\sigma}'_a$ minimum entre $\left(\bar{\sigma}'_a = \frac{2}{3} \text{ . en} \right.$

$\left. \begin{matrix} \bar{\sigma}'_a = \text{maxi des 2 valeurs suivantes} \\ \bar{\sigma}'_1 = k \cdot \frac{\psi}{\phi} \cdot \frac{\sigma_f}{1+10 \psi f} \\ \bar{\sigma}'_2 = 2,4 \sqrt{\frac{\psi}{\phi}} \cdot k \cdot \bar{\sigma}'_b \end{matrix} \right\}$

ψ	ϕ	σ_f	k	$\bar{\sigma}'_b$
1,6	?	?	10^6	$7,5b$

ϕ = Diamètre de la plus grosse barre, d'après Art? 29,14 du CCBA 68.

$\bar{\sigma}'_f = \frac{A}{B_f}$ avec : A = Section d'armatures

B_f = Section de béton du tirant.

$\bar{\sigma}'_f$ = % effectif d'acier du tirant.

NB. Dans tous les calculs, faire : $n=15$ et $\nu = 0,15$
 n = Coefficient d'équivalence et ν = Coef de Poisson.
 $\phi = 3 \text{ cm}$ d'enrobage de béton, en considérant que l'ouvrage est soumis aux intempéries.

Effet de la température et retrait.

Les poutres principales, continus et reposant sur un appareil d'appui fixe (fixé à l'une des 2 culées) et 3 appareils d'appui mobile (2 piles + l'autre culée). Donc nous pouvons admettre que notre ouvrage est librement dilatable et par conséquent, il n'ya pas d'effets de température, ni de retrait à calculer. Mais l'article 4.4 p5 CCBA 68 demande que nous prenons les dispositions nécessaires pour permettre les variations des dimensions des ouvrages conçus comme librement dilatables. Ces dispositions seront prises lors du calcul des appareils d'appui mobiles afin de déterminer précisément la côte x (indiquée sur la planche N°1 Vue d'ensemble, élévation).

// CALCUL DE LA DALLE //

1: coefficient de Majoration dynamique

$$\delta_{dalle} = 1 + \frac{0,4}{1+0,2L} + \frac{0,6}{1+4 \frac{L}{S}}$$

l = 9,6m (distance entre-axe des poutres principales de rive)

L = 84m (portée des poutres principales)

l < L ----- l = 9,6 m

P dans LxL = l² = 9,2² = 92,2 m²

S dans Lx largeur chaussée

$$= 9,6 \times 9 = 86,5 \text{ m}^2$$

1.1 Calcul de P

éléments	densité (t/m ³)	S(m ²)	épaisseur (m)	P (t/m ²)	P (t/ml)	
dalle	2,5	92,2	0,20	0,500	46,1	
chaussée (papier fort (2 couches d'asphalte contre chape de protection	Béton maigre	2,3	92,2	0,07	0,161	14,844
		0,020	92,2		0,020	1,844
		1,8	92,2	0,016	0,0288	2,655
		2,1	92,2	0,035	0,0735	6,776
TOTAL			chaussée	0,2833	72,219	
			total	0,7833		

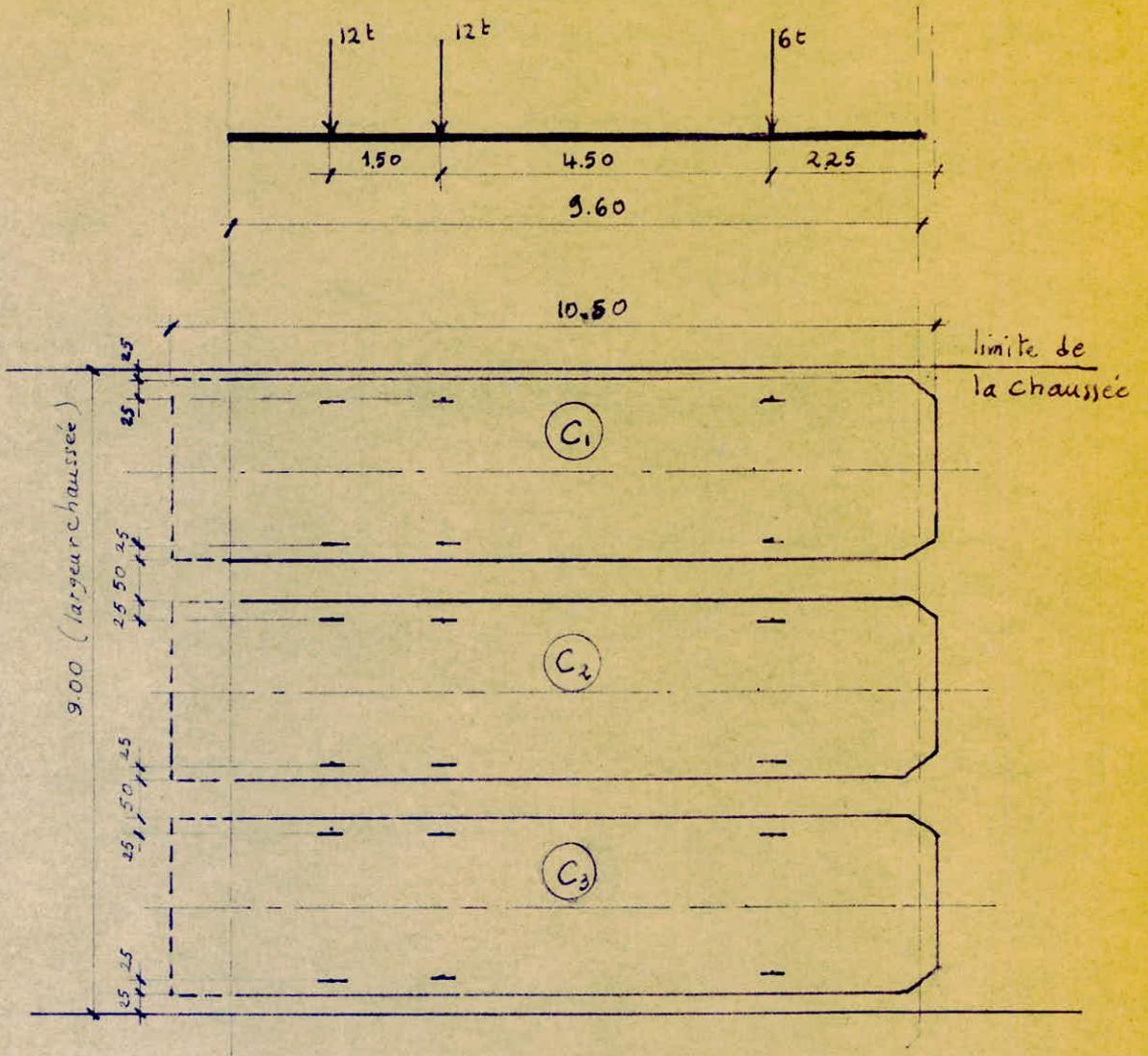


Fig 1

1. 2 Calcul de S :

1) nombre de voies de circulation : chaussé de 9m

$$n = \frac{9}{3} = \underline{3 \text{voies}} \text{ donc 3 convois de camions}$$

2) Nombre de camions dans la surface 86,5 m²:

1 camion par convoi d'où 3 camions de 30t

$$S_{BC} = 90 \text{ t}$$

1. 3 Calcul de .

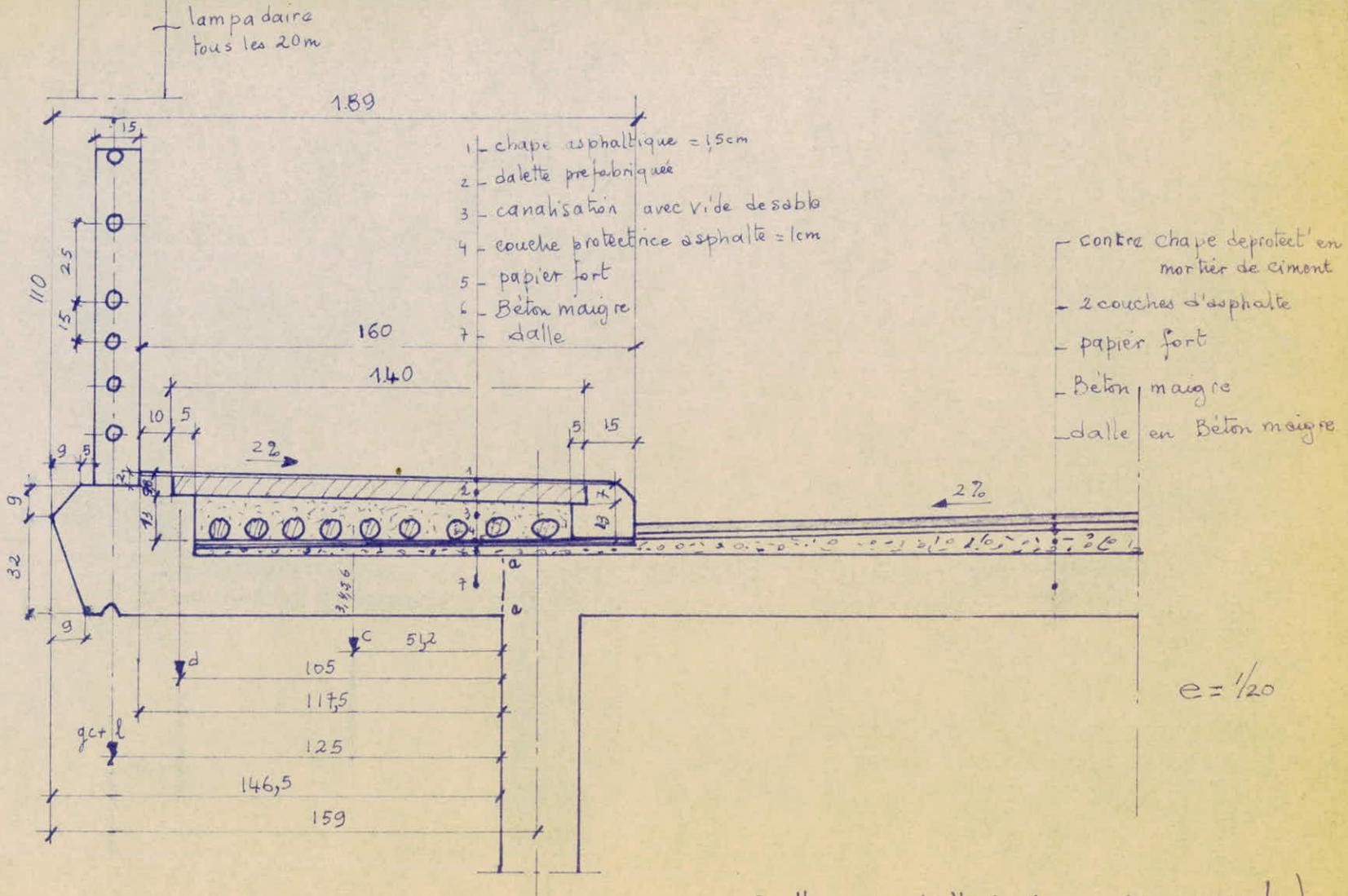
$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \cdot 9,6} + \frac{0,6}{1 + 4 \frac{72,2}{90}} = 1 + \frac{0,4}{1 + 1,92} + \frac{0,6}{1 + 4,0802}$$

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{2,92} + \frac{0,6}{4,208}$$

$$\delta = 1 + 0,137 + 0,146 = 1,283$$

P	=	.....	72,2t
S	=	.....	90 t
δ dalle	=	.....	1,283t

— Elements du trottoir en coupe Transversale —



Dalle sous trottoir (coupe transversale)

A. DALL' SOUS TROTTOIRS.

=====

1. Présentation.

La plaque supportant le trottoir fait suite à celle sous la chaussée. En porte à faux sur la poutre principale de rive, elle sera, par conséquent, à étudier en console. Le calcul sera conduit en considérant une poutre $b \times h_0$, de portée l , (b =largeur et h_0 = épaisseur).

2. Calcul des efforts.

2.1 Moment fléchissant dû aux charges permanentes.

La largeur b est prise égale à $1m$

Pour les éléments constitutifs : voir demi-coupe transversale.

$$M_{gmax} = \sum M_i / aa \quad \text{avec} \quad \sum M_i / aa = \text{Somme des Moments de chaque élément du trottoir} / aa.$$

Elément i	Charge en t/m ²	t/ml	$\sum M_i / aa$ en t/ml
Dalle d1	2,5 x 0,2 = 0,5	x 1,42 = 0,71	0,71 x 0,71 = 0,504
Dalle d2	2,5 x 0,21 = 0,525	x 0,395 = 0,2	0,207 x 1,227 = 0,253
Béton maigre	2,3 x 0,025 = 0,057	x 1,025 = 0,06	0,06 x 0,512 = 0,030
Daliette	2,5 x 0,085 = 0,212	x $\frac{1,4}{2} = 0,15$	0,15 x 1,050 = 0,157
Chape asphaltiq	1,8 x 0,015 = 0,027	x 1,175 = 0,03	0,032 x 0,587 = 0,019
Garde-corp	0,060	0,06	0,060 x 1,25 = 0,075
Lampadaire		$\frac{0,20}{20} = 0,01$	0,010 x 1,25 = 0,012
Canalisation		0,10	0,010 x 0,512 = 0,050
G trottoir t/m ²		1,491	
		Pi = 1,238 t/ml	Mi t/m/ml = 1,055

2.2 Effort tranchant dû aux charges permanentes.

$$T_{pmax} = \sum P_i \text{ à gauche de la section aa.}$$

avec $\sum P_i =$ somme des poids propres de chaque élément constitutif du trottoir à gauche de aa.

d'où $T_{pmax} = 1,238$ t/ml (calculé dans tableau ci-dessus).

2.3 Effets des surcharges.

Le calcul de M_{pmax} et de T_{pmax} se fera en considérant successivement :

- a) les surcharges cumulables de 450 Kg/m² et de q (garde-corps). L'effet maximal se produira en surchargeant le trottoir sur toute sa totalité. (voir fig : 2) D'après les Règles CCBA 68 Art.7 p7 l'effet des surcharges sera majoré de 20%.

Moment maxi /aa	M_{max} tm/ml	Effort tranchant maxi
$P=0,45xb$ avec $b=1m$		$T=\frac{1}{2}P.l$ avec $l=1,05m$
$M=0,45 \times \frac{1,05}{2} \times 1,2 =$	0,300	$T=0,45 \cdot \frac{1,05}{2} \cdot 1,2=0,285$
		en t/ml
$q=50(1+1) = 250$ Kg/ml		
$q=50(1+1,60)=130$ Kg/ml		
0,130 t/ml. 0,250 t/ml		$T_q = 0$ car q= force horizontale
$M_q = 0,130 \cdot 1,2 =$	0,156	
	$M_{pmax} = 0,456$	$T_{pmax} = 0,285$

b) Surcharge localisée.

Roue isolée de 3t. Le trottoir (haut de 15cm par rapport à la chaussée) peut être considéré comme franchissable par un véhicule. Donc la roue de 3t produira l'effet maxi lorsqu'elle se trouvera à une distance maximum de la section aa, soit contre le garde-corps.

1. Calcul de la largeur de poutre considérée b.

On considère que le trottoir est constitué d'une dalle en béton-armé ($e_{moyen} = 8,5cm$), avec un revêtement en asphalte ($e=1,5cm$) et que le vide intérieur réservé à la canalisation soit rempli de sable. ($e=13cm$) voir figure .

Charge $P=3t$

Impact: $u=v=20cm$

Surface de répartition

$$u' = u + h_0 + 1,5e_r = 81,74cm$$

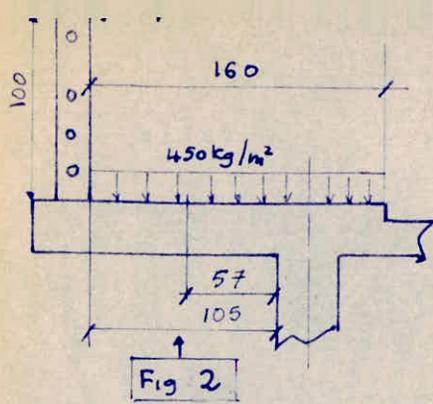
$$v' = v + h_0 + 1,5e_r = 73,87cm$$

(détail calcul sur schéma) Fig 2 et 4

$$b = u' + 2ctg45^\circ = u' + 2c/$$

$$\text{avec } c = l_1 - (v' + 10) = 17 - (40,87 + 10) = 66,13cm$$

$$\text{d'où } b = 81,74 + 2 \cdot 66,13 = 224cm$$



$a = 0,75 \cdot 15 = 112 \text{ cm}$
 $b = 1 \times 10 = 10 \text{ cm}$
 $c = 0,75 \times 13 = 9,75 \text{ cm}$
 $d = 1 \times \frac{h_0}{2} = 10 \text{ cm}$

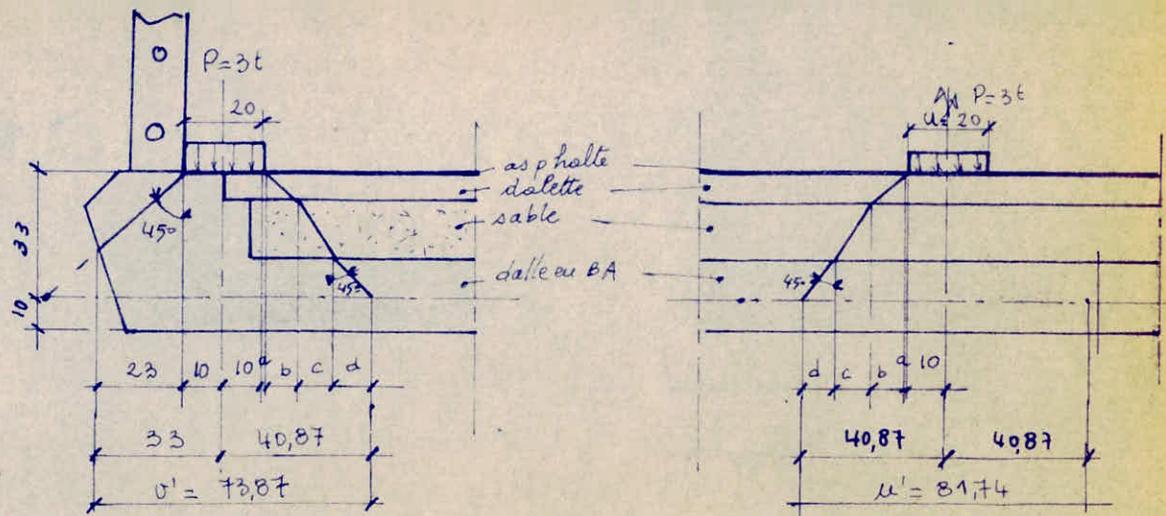
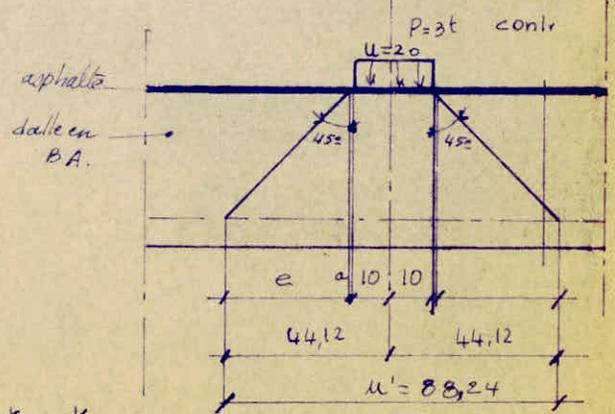


Fig 3

4a. Diffusion à 20cm du garde-corps.



4b. Diffusion contre le garde-corps.

Fig 4

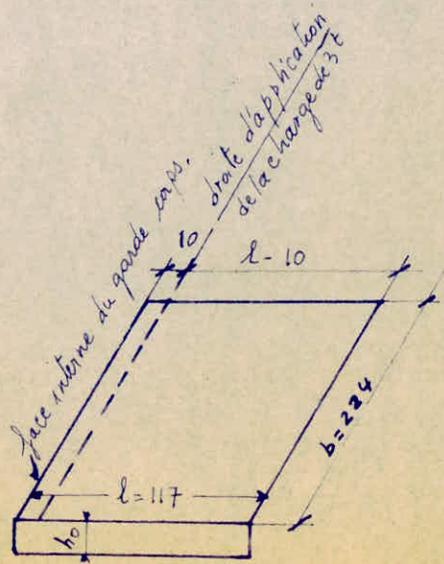


Fig 5

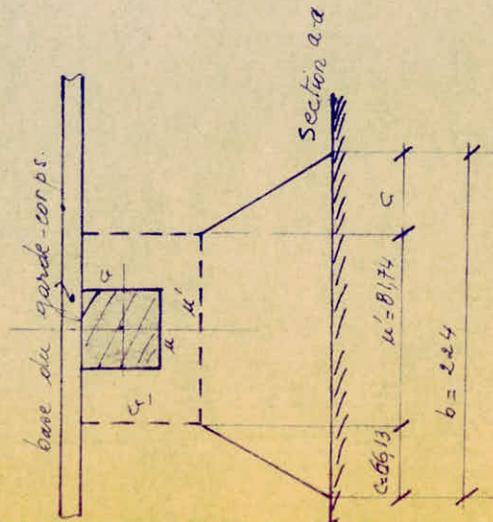


Fig 6

Moment fléchissant dû à P=3t	Effort tranchant dû à P=3t
$P_{ren} \text{ t/ml} = \frac{P}{b} = \frac{3}{2,24} = 1,34$	P=3t
$M/aa = P_{rx}(l_r - 0,10)$	d'où T= P _r x 1,2
$= 1,34(1,17 - 0,10) = 1,43 \text{ tm/ml}$	T= 1,34 x 1,2 = 1,61 t/ml
$M/aa_{réel} = 1,43 \cdot 1,2 = 1,72 \text{ tm/ml}$	réel

3; Tableau récapitulatif des efforts dans la dalle sous trottoir

Effort /aa	Surcharges P	Observations	Ch. Per. G.
	0,45t/m ² + q	Roue de 3t	
M _t /ml	0,456	1,72	M _{3t} > M _{0,450} : 1,055
T _t /ml	0,285	1,61	T _{3t} > T _{0,450} : 1,238

Conclusion : Les efforts maxi sont obtenus avec la surcharge locale (roue de 3t).

B. DALLE SOUS CHAUSSEE.

Le platelage est divisé en panneaux par la poutraison du pont. Ces panneaux, sous forme de plaque, sont continus. Fig : Les dimensions des plaques sont de /

- plaque dans travée de rive : $l_x = 2,95m$ et $l_y = 7,47m$

- plaque dans travée intermédiaire : $l_x = 2,95$ et $l_y = 7,40m$

L' étude des plaques va porter sur la plus grande.

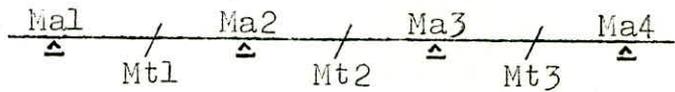
I ETUDE D'UNE PLAQUE SOUS LES CHARGES PERMANENTES.

1. Charge G au m².

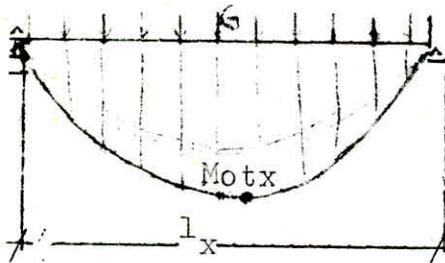
G a été calculée dans les pages précédentes. $G = 0,783t/m^2$

2. Recherche des moments au centre de la plaque centrale.

• $l_x = 2,95$
 $\frac{l_x}{l_y} = \frac{2,95}{7,47} = 0,396$



$\frac{l_x}{l_y} < 0,4$ et G = charge uniformément répartie, la plaque est considérée travailler seulement du côté l_x . Le calcul se fera en considérant une poutre de largeur 1m et d'épaisseur égale à celle de la plaque.



Supposons la plaque de portée l_x et articulée sur son pourtour.

$$M_{otx} = \frac{1}{8} G l_x^2 = \frac{1}{8} 0,783 \cdot 2,95^2$$

$$= 0,852tm/ml$$

$$M_{oty} = \frac{1}{4} M_{otx} = \frac{1}{4} 0,852 =$$

$$= 0,223tm/ml$$

Comme les plaques de la dalle sont semi-encastées, le moment en travée sera M_t . Pour résoudre ce problème, utilisons la méthode dite "Règles forfaitaires des BA68."

a) Moments aux appuis intermédiaires, et en travée centrale.

$$\frac{M_{a2} + M_{a3}}{2} + M_t \gg 1,15 M_{otx}$$

$$M_{a2} = M_{a3} \implies M_{a2} + M_{t2} \gg 1,15 M_{otx}$$

$$M_t \gg 1,15 M_{otx} - M_{a2}$$

M_{a2} doit être $> 0,5M_0$

(appui voisin de l'appui de rive d'une poutre à plus de 2 travées). donc prenons $M_{a2} = 0,6M_0$ ce qui entraîne

$$M_t \gg (1,15M_0 - 0,6) M_0 = 0,55M_0. \text{ d'où on prend } M_{t2} = 0,65M_{otx}$$

Moment à l'appui 2 et 3 : $M_{a2} = M_{a3} = 6.0,852 = 0,511 \text{ tm/ml}$
 Moment en travée centrale :

$$M_{t2} = 0,65.0,852 = 0,553 \text{ tm/ml}$$

b) Moments aux appuis extrêmes, et en travée de rive.

$$M_{a1} = M_{a4} = 1,055 \text{ tm/ml} \text{ (M}_t \text{ d'encastrement réel du trottoir par rapport à la section aa).}$$

Par raison de symétrie, $M_{t1} = M_{t3}$

$$\frac{M_{a1} + M_{a2}}{2} + M_{t1} \geq 1,15 M_{otx} \implies M_{t1} \geq 1,15 M_{otx} - \left(\frac{M_{a1}}{2} + \frac{0,6 M_{otx}}{2} \right)$$

$$M_{t1} \geq (1,15 - 0,3) M_{otx} - \frac{M_{a1}}{2} = 0,85 M_{otx} - \frac{M_{a1}}{2}$$

$$M_{t1} = 0,85.0,852 - \frac{1,055}{2} = 0,202 \text{ tm/ml}$$

3. Recherche des efforts tranchants sur le pourtour de la plaque.

a) sur appui des poutres principales intermédiaires 2 et 3.

$$T_{a2d} = \frac{G.l_x}{2} - \frac{M_{a2} - M_{a3}}{l_x} ; \text{ (voir détail page suivante)}$$

$$M_{a2} = M_{a3} \implies T_{a2d} = G \frac{l_x}{2} = 0,783 \cdot \frac{2,95}{2} = 1,153 \text{ t/ml}$$

$$T_{a2g} = \frac{G.l_x}{2} - \frac{M_{a2} - M_{a1}}{l_x} = 1,153 - \frac{-0,511 + 1,055}{2,95} = 0,959$$

b) sur appui de rive soit sur PPl et 4.

$$T_{ald} = \frac{G.l_x}{2} - \frac{M_{a1} - M_{a2}}{l_x} = 1,153 - \frac{-1,055 + 0,511}{2,95} = 1,337 \text{ t/ml}$$

Par symétrie :

$$|T_{a2d}| = |T_{a3g}| = 1,153 \text{ t/ml}$$

$$|T_{a2g}| = |T_{a3d}| = 0,959 \text{ t/ml} \quad // \quad \boxed{T_{max} = T_{ald}} //$$

$$|T_{ald}| = |T_{a4g}| = 1,337 \text{ t/ml}$$

4. Tableau récapitulatif des efforts dus aux charges permanentes.

Efforts dus aux charges permanents G

	$\hat{1}$	$\hat{2}$	
M	1,055	0,511	
		0,202	0,553
T	+1,337	-0,959	+1,153

ETUDE D'UNE PLAQUE SOUS L'EFFET DES SURCHARGES

1. Surcharges Bc.

Caractéristiques essentielles :

Poids de chaque essieu avant = 6t

" " " arrière = 12t

Distance des essieux arrière = 1,50m

Surface d'impact d'une roue arrière = 0,25m x 0,25m

1.1 Moment maxi dans la plaque.

Pour schéma, voir page 17 fig2.

Le moment fléchissant maximum a lieu quand il y a 4 roues (de 6t) de 2 camions voisins au milieu de la plaque.

D'après la fig.1, les 2 essieux arrière produisent une interférence sur le plan moyen de la plaque.

- Condition d'interférence : $\frac{u'}{2} \geq 25\text{cm}$

$u' = 63\text{cm}$ et $\frac{u'}{2} = \frac{63}{2} = 31,5\text{cm} > 25\text{cm}$ l'interférence est vérifiée.

- Largeur d'interférence.

$$= \sqrt{\frac{1}{2}} (25 + h_0 + 1,5e_r) - \frac{25}{\sqrt{2}} = 25 + h_0 + 1,5e_r - 50$$

$$= 20 + 18 - 50 = 13\text{cm}$$

--Pression de répartition sur le plan moyen de la plaque.

$$P_r = \frac{P}{u' \cdot v'} = \frac{6}{0,63^2} = 15,2\text{t/m}^2$$

--Calcul de M_x et M_y , au centre O de la plaque. (Fig:2)

Désignons par :

• M_{1x} et M_{1y} , Les Moments en O, dus à $S_1 = AA_1A_2A_3$.

• M_{2x} et M_{2y} , " " " $S_2 = BB_1B_2B_3$.

• M_{3x} et M_{3y} , " " " $S_3 = CC_1C_2C_3$.

• M_{4x} et M_{4y} , " " " $S_4 = DD_1D_2D_3$;

d'où :

$$\left. \begin{aligned} \cdot M_x &= M_{1x} + M_{2x} - M_{3x} - M_{4x} \\ \cdot M_y &= M_{1y} + M_{2y} - M_{3y} - M_{4y} \end{aligned} \right\} \text{avec } M_{ix} = (M_1 + M_2) P_{ri} \cdot 1,2 \cdot \delta$$

$$\left. \begin{aligned} \cdot M_x &= M_{1x} + M_{2x} - M_{3x} - M_{4x} \\ \cdot M_y &= M_{1y} + M_{2y} - M_{3y} - M_{4y} \end{aligned} \right\} M_{iy} = (M_2 + M_1) P_{ri} \cdot 1,2 \cdot \delta$$

avec M_1 et M_2 = Moments agissant au milieu de chaque bande : (l_{mx1x} et l_{mx1y}) sous une charge localisée unitaire ($P=1$) et centrée.

On pose :

- a) P_{ri} = Densité de charge revenant pour chaque surface S_i
- b) M_1 et M_2 données par abaques de Pigeaud en fonction de ρ , a/lx et b/ly .
- c) ρ = Coefficient de Boisson = 0,15
- d) M_x et M_y = moment fléchissant au centre 0 et au niveau $\frac{h_0}{2}$ de la plaque dûs aux effets de la surcharge considérée.

Calcul de P_{ri} :

S_1	$Pr_1 = Pr. S_1 = 15,2 \times (1,13.2,13) = 15,2.2,41 =$	$36,60$
S_2	$Pr_2 = Pr. S_2 = 15,2 \times (0,12.2,13) = 15,2.0,277 =$	$4,21$
S_3	$Pr_3 = Pr. S_3 = 15,2 \times (0,13.0,87) = 15,2.0,113 =$	$1,72$
S_4	$Pr_4 = Pr. S_4 = 15,2 \times (1,13.0,87) = 15,2.0,983 =$	$14,95$

Calcul de M_x et M_y :

$$\frac{l_x = 2,95m}{l_y = 7,47m} \quad \frac{l_x}{l_y} = 0,396 \quad \text{----} \rightarrow \rho = 0,4$$

(voir page suivante)

$M_x = 4,9tm/ml$
$M_y = 1,053 tm/ml$

1.2 Effort tranchant $\begin{pmatrix} T_x \\ T_y \end{pmatrix}$ sur le pourtour de la plaque:

T_{max} a lieu quand 2 roues de 6t de 2 camions voisins se trouvent au milieu de la plaque. Fig: 3 page 19.

Posons :

T_x et T_y = Efforts tranchants sur le pourtour de la plaque et respectivement au milieu de l_x et l_y dûs aux effets de la surcharge considérée

T_u' et T_v' = Efforts tranchants sur le pourtour du rectangle de répartition et respectivement au milieu de u' et v' dûs aux mêmes effets.

Pr au niveau $\frac{h_0}{2}$ de la dalle = $17,5t/m^2$

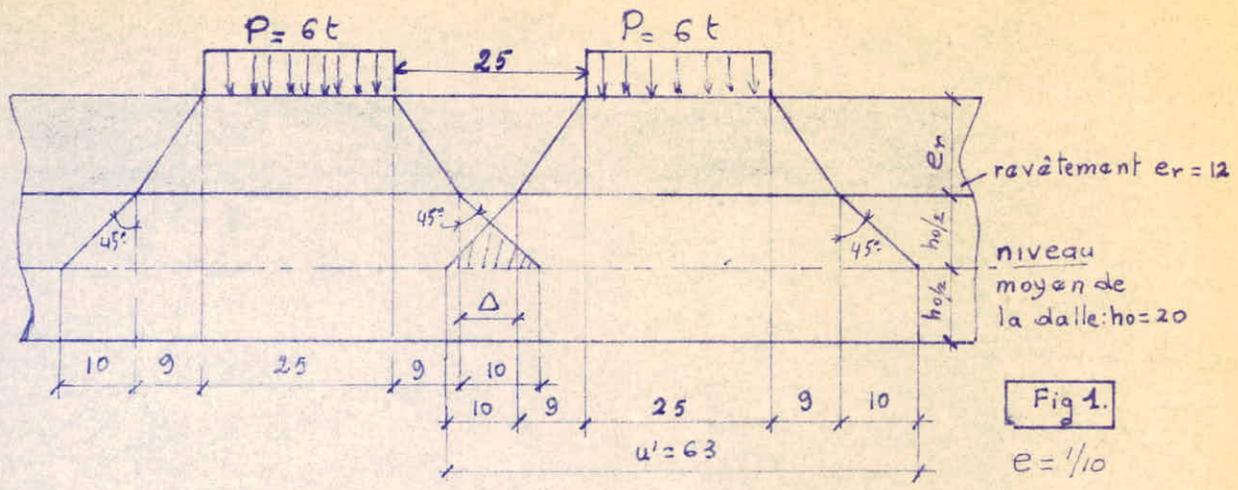


Fig 1.
e = 1/10

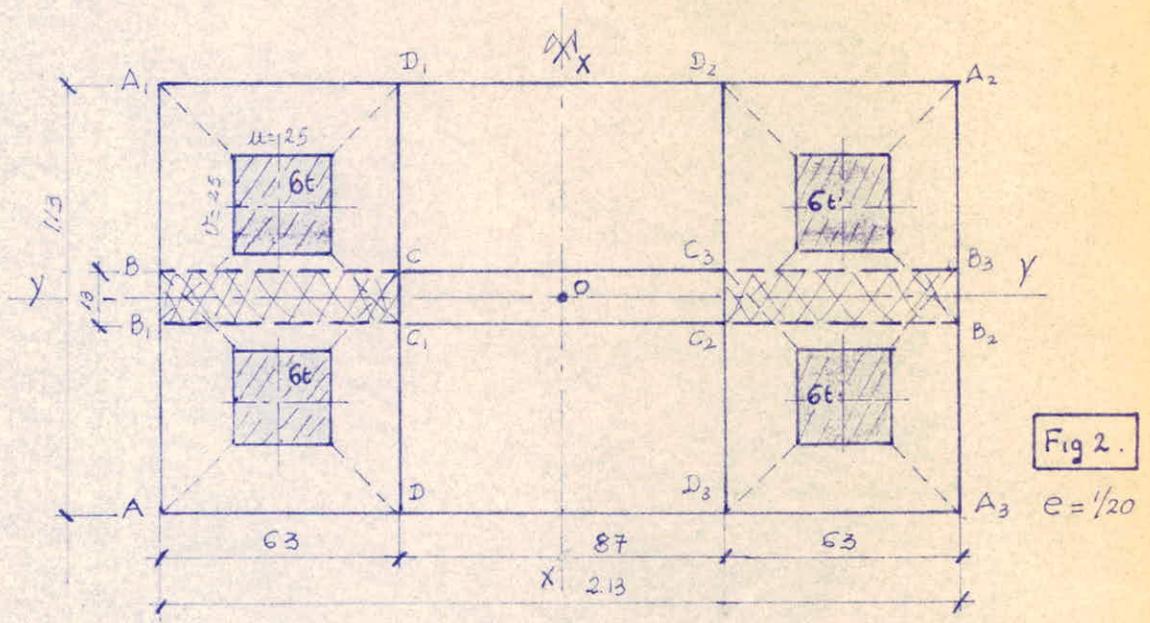


Fig 2.
e = 1/20

S_i	$a_{(m)}$	$b_{(m)}$	a/l_x	b/l_y	M_1	M_2	$P_{ri} (t)$	$M_1 + D M_2$	$M_2 + D M_1$	M_{ix}	M_{iy}
S1	1,13	2,13	0,384	0,286	$14,6 \cdot 10^{-2}$	$4,8 \cdot 10^{-2}$	36,6	$15,32 \cdot 10^{-2}$	$6,99 \cdot 10^{-2}$	+ 8,400	+ 3,300
S2	0,13	2,13	0,044	0,286	$19,2 \cdot 10^{-2}$	$5,4 \cdot 10^{-2}$	4,21	$20,01 \cdot 10^{-2}$	$8,28 \cdot 10^{-2}$	+ 1,310	+ 0,540
S3	0,13	0,87	0,044	0,116	$24,8 \cdot 10^{-2}$	$12 \cdot 10^{-2}$	1,72	$26,6 \cdot 10^{-2}$	$15,72 \cdot 10^{-2}$	+ 0,705	+ 0,417
S4	1,13	0,87	0,384	0,116	$16,4 \cdot 10^{-2}$	$10 \cdot 10^{-2}$	14,95	$17,9 \cdot 10^{-2}$	$12,46 \cdot 10^{-2}$	+ 4,120	+ 2,370

Tableau de Mix et M_{iy}

a) Hypothèses :

T_1^x et T_1^y	pour la plaque A	$A_1 A_2 A_3 = S_1$
T_2^x et T_2^y	" " "	B $B_1 B_2 B_3 = S_2$
T_3^x et T_3^y	" " "	C $C_1 C_2 C_3 = S_3$
T_4^x et T_4^y	" " "	D $D_1 D_2 D_3 = S_4$
T_5^x et T_5^y	" " "	E $E_1 E_2 E_3 = S_5$
T_6^x et T_6^y	" " "	F $F_1 F_2 F_3 = S_6$

b) Calcul de T_x et T_y :

$T_x = 1,25 T_{u',1,2} \cdot \delta$ et $T_y = 1,25 T_{v',1,2} \cdot \delta$

b 1. Calcul des densités de charges Pr_i relatif à chaque surface de plaque i

Il y a 1 zone d'interférence à laquelle il faut lui répartir 1 contrainte $2 Pr$.

Pr pour les 4 roues = $Pr \left(\frac{S_1 - S_4}{2} \right) + Pr \cdot S_5 + Pr \cdot S_6 + Pr \left(\frac{S_2 - S_3}{2} \right)$

$Pr(S_1 - S_4)$

S_i	v'_i	u'_i	$3v'_i$	$3u'_i$	$2v' \cdot u'$	$2u' + v'$
$S_1 =$	3,63	1,13	10,89		8,39	
$S_2 =$	3,63	0,13	10,89		7,39	
$S_3 =$	2,37	0,13	7,11		4,87	
$S_4 =$	2,37	1,13	7,11		5,87	
$S_5 =$	0,63	1,13		8,39		2,89
$S_6 =$	0,63	0,13	1,89		1,39	

b2. T_x et T_y : voir calcul page suivante.

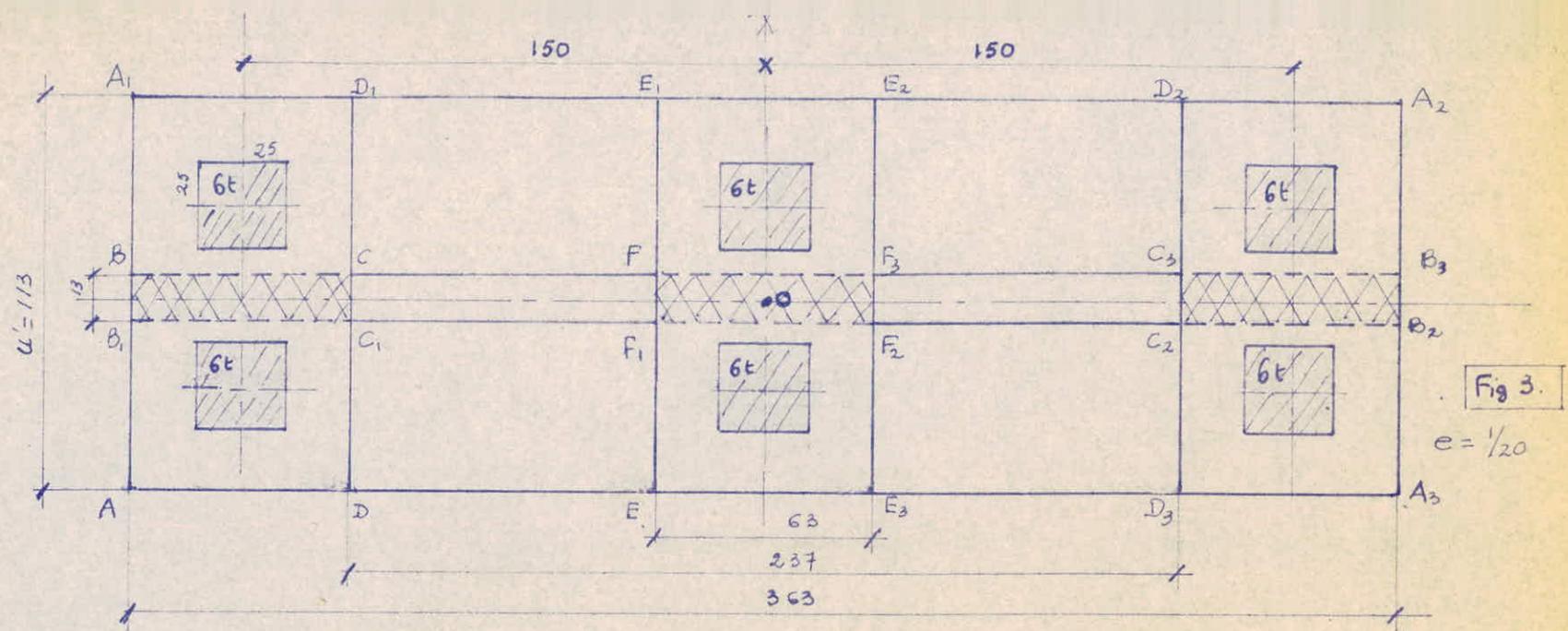
$\frac{1}{2}(Pr S_1 - Pr S_4) + Pr S_5 + Pr S_6 + \frac{1}{2}(Pr S_2 - Pr S_3)$

soit $T_x = \frac{1}{2}(T_{x1} - T_{x4}) + T_{x5} + T_{x6} + \frac{1}{2}(T_{x2} - T_{x3})$

$T_y = \frac{1}{2}(T_{y1} - T_{y4}) + T_{y5} + T_{y6} + \frac{1}{2}(T_{y2} - T_{y3})$

avec $T_{xi} = 1,25 T_{u',i} \cdot 1,2 \delta = 1,25 \cdot 1,2 \cdot 1,283 T_{u',i} = 1,93 T_{u',i}$

$T_{yi} = 1,25 T_{v',i} \cdot 1,2 \delta = " " " T_{v',i} = 1,93 T_{v',i}$



- Tableau donnant : T_x et T_y . -

S_i (Caract ^s)	S_i en m^2	P_{ri} t/m^2	$T_{u'i}$	$T_{v'i}$	$T_{xi} = 1,93 T_{u'i}$	$T_{yi} = 1,93 T_{v'i}$	T_x en t/ml	T_y en t/ml
$S_1 : u' < v'$	4,100	62,30	5,720	7,440	11,00	14,35	$\frac{1}{2} (11 - 10,7) + 7,22 + 1,275$ $+ \frac{1}{2} (1,26 - 1,27) =$ $= 8,645$	$\frac{1}{2} (14,35 - 12,8) + 6,15 + 1,74$ $+ \frac{1}{2} (186 - 185) =$ $= 9,44$
$S_2 : u' < v'$	0,470	7,15	0,656	0,963	1,26	1,86		
$S_3 : u' < v'$	0,308	4,68	0,658	0,962	1,27	1,85		
$S_4 : u' < v'$	2,580	39,20	5,500	6,680	10,70	12,80		
$S_5 : u' > v'$	0,710	10,80	3,740	3,190	7,22	6,15		
$S_6 : u' < v'$	0,082	1,25	0,562	0,900	1,275	1,74		

$$\left. \begin{aligned} Tu'_i &= \frac{Pi}{3v'_i} \\ Tv'_i &= \frac{P}{2v'_i + u'_i} \end{aligned} \right\} \text{ pour } u' < v' \text{ (pour } i=1,2,3,4,6)$$

$$\left. \begin{aligned} Tu'_i &= \frac{Pi}{2u'_i + v'_i} \\ Tv'_i &= \frac{Pi}{3u'_i} \end{aligned} \right\} \text{ pour } u' > v' \text{ pour } (i=5)$$

B3. Tableau donnant Tx et Ty

(voir page 19)

2. surcharge Be :

Essieu isolé de 20t --- (disposé transversalement par rapport à la chaussée) . voir figure 4 page 22.

Surface d'impact : 2,5m x 0,08 m perpendiculaire à l'axe de la chaussée .

P= 20t repartit sur $0,08 \times 2,5 = 0,20m^2$

Pr au niveau $\frac{h_0}{2}$ sur la surface de répartition ($u' = h_0 + 2,5 + 1,5er$
($v' = h_0 + 0,08 + 1,5er$)

$$u' = 0,20 + 2,5 + 1,5 \cdot 12 = 0,20 + 2,5 + 0,18 = 2,88m$$

$$v' = 0,20 + 0,08 + 1,5 \cdot 12 = 0,20 + 0,08 + 0,18 = 0,46$$

$$Pr = \frac{20 \cdot 10^3}{2,88 \cdot 0,46} = \frac{20}{1,37} = 14,6t/m^2 \quad \boxed{Pr = 14,6t/m^2}$$

2.1 Recherche des Moments fléchissants maximum aux M_x et M_y au centre O de la plaque (l_x, l_y) et au niveau du plan moyen de la dalle ($h_0/2$) provoqués par l'essieu isolé de 20t.

$$\frac{l_x}{l_y} = 0,396 < 0,4$$

$$\frac{u'}{l_x} = \frac{2,88}{2,95} = 0,977 \quad \text{et} \quad \frac{v'}{l_y} = \frac{0,46}{7,47} = 0,0616$$

Abaques de Pigeaud . = 0,4 donne :

$$M_1 = 9,6 \cdot 10^{-2} \quad \text{et} \quad M_x = (M_1 + \downarrow M_2) \cdot Pr \cdot 1,2 \delta$$

$$M_2 = 7 \cdot 10^{-2} \quad M_y = (M_2 + \downarrow M_1) \cdot Pr \cdot 1,2 \delta$$

$$d'où M_x = (9,6 + 0,15 \cdot 7) 10^{-2} \cdot 20 \cdot 1,2 \cdot 1,283 = 3,28$$

$$M_y = (7 + 0,15 \cdot 9,5) 10^{-2} \cdot 20 \cdot 1,2 \cdot 1,283 = 2,6$$

$$\boxed{\begin{aligned} M_x &= 3,28 \text{ tm/ml} \\ M_y &= 2,6 \text{ tm/ml} \end{aligned}}$$

2.2 Efforts tranchants dûs à Bc

- 21 -

Calcul de Tx et Ty

1. Calcul de Tu' et Tv' :

Notre cas (au milieu de u' → Tu' = $\frac{P}{2u'+v'} = \frac{20}{2 \cdot 2,88 + 0,46}$
 $u' \searrow v'$ {
 {
 {
 (au milieu de v' → Tv' = $\frac{P}{3u'} = \frac{20}{3 \cdot 2,88} = \frac{20}{8,64} = 2,32 \text{ t/ml}$

2. Calcul de Tx et Ty :

Tx = 1,25 . Tu' . 1,2 . δ = 1,25 . 3,22 . 1,2 . 1,283 = 3,22 . 1,93 = 6,26 t/ml
 Ty = 1,25 . Tv' . 1,2 . δ = 1,25 . 2,32 . 1,2 . 1,283 = 2,32 . 1,93 = 4,46 t/ml

Tx = 6,22 t/ml
Ty = 4,3 t/ml

3. Surcharges Br :

- (Roue isolée de 10t)
- Surface d'impact 30x30cm
- 0 = centre de la plaque (lx, ly)

l'effet maxi est obtenu quand cette roue est placée au milieu de la plaque - (figure 5 page 27)

$$Pr = \frac{P}{u' \cdot v'} = \frac{10}{0,68^2} = \frac{10}{0,46} = 21,8 \text{ t/m}^2$$

3.1 Moment fléchissant maxi M_x et M_y .

$\frac{l_x}{l_y} = \frac{295}{7,47} = 0,396$ Abaques de Pigeaud $\beta = 0,4$
 $\frac{u'}{l_x} = \frac{0,68}{2,95} = 0,23$ $M_1 = 20,2 \cdot 10^{-2}$
 $\frac{v'}{l_y} = \frac{0,68}{7,47} = 0,091$ $M_2 = 12,8 \cdot 10^{-2}$
 P = Pr sur u' x v' = 10t

$$M_x = (M_1 + \beta M_2) P \cdot 1,2 \cdot \delta = (20,2 + 0,15 \cdot 12,8) 10^{-2} \cdot 10 \cdot 1,2 \cdot 1,283 =$$

$$M_y = (M_2 + \beta M_1) P \cdot 1,2 \cdot \delta = (12,8 + 0,15 \cdot 20,2) 10^{-2} \cdot 10 \cdot 1,2 \cdot 1,283 =$$

$$M_x = (20,2 + 1,92) 0,154 = 3,4 \text{ tm/ml}$$

$$M_y = (12,8 + 3,03) 0,154 = 2,44 \text{ tm/ml}$$

Mx = 3,4 tm/ml
My = 2,44 tm/ml

- Tableau récapitulatif des Efforts dans la dalle. -

		Ch. Permanentes G			Divers types de surcharges									
Panneau	sens	M t/m/ml		T t/ml	Bc		Be		Br		450 kg + q		Roue de 3 t	
		Appui	Travée		M $\frac{t \cdot m}{m^2}$	T t/m	M $\frac{t \cdot m}{m^2}$	T t/m	M $\frac{t \cdot m}{m^2}$	T t/m	M $\frac{t \cdot m}{m^2}$	T t/m	M $\frac{t \cdot m}{m^2}$	T t/m
de Rive	transv.	1,055	0,202	1,337	4,90	8,64	3,28	6,22	3,40	9,45				
	long.		0,050		1,053	9,44	2,60	4,30	2,44	9,45				
Centrale	trans.	0,511	0,553	1,153	4,90	8,64	3,28	6,22	3,40	9,45				
	long.		0,138		1,053	9,44	2,60	4,30	2,44	9,45				
Trottoir	Transv	1,055		1,337							0,61	0,432	1,72	1,61

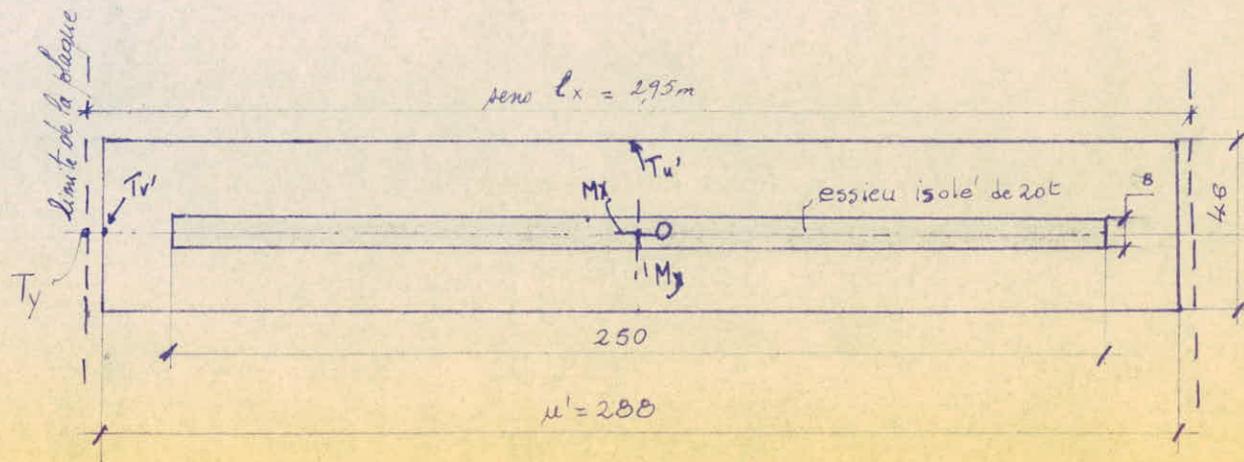


Fig 4.

$e = 1/20$

3.2 Efforts tranchants dûs à Br :

1. Calcul de Tu' et Tv' :

$$\frac{u'=v'}{1} \implies Tu'=Tv' \implies Tu' = \frac{P}{3u'} = \frac{P}{3v'}$$

$$Tu'=Tv' = \frac{10}{3 \cdot 0,68} = \frac{10}{2,04} = 4,9 \text{ t/ml}$$

2. Calcul de Tx et Ty :

$$\begin{aligned} Tx=Ty &= 1,25 \cdot Tu' \cdot 1,2 \cdot 1,283 = \\ &= 1,25 \cdot 4,9 \cdot 1,2 \cdot 1,283 = \\ &= 4,9 \cdot 1,93 = 9,45 \text{ t/ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Tx &= 9,45 \text{ t/ml} \\ &= Ty \end{aligned}$$

4. Poinçonnement :

Vérification de la dalle sur chaque charge localisée
Bc, Be, Br, 3t.

La dalle sera vérifiée au poinçonnement si $\sigma_p \leq \bar{\sigma}_b$ avec $\bar{\sigma}_b =$
contrainte de traction de référence du béton = $7,5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 75 \text{ t/m}^2$

1°) $\sigma_p = 1,5 \frac{P}{p_1 \cdot h_0}$ avec P = charge localisée en T.
 p_1 = périmètre de diffusion de la charge
 $= 2(u'+v')$ en m.
 h_0 = épaisseur de la dalle = 0,2m
 σ_p en t/m²

2°) P est appelée charge localisée si $(0,4 \leq \frac{\phi_1}{\phi_2} \leq 2,5)$
 (Art. 39,5 BA68 p71) $(p_1 \leq \frac{1}{5} p_2)$

ϕ_1 = . extrême du contour de l'aire de répartition de la force sur $\frac{h_0}{2}$ du cercle circonscrit.

ϕ_2 = . extrême du contour de l'aire de répartition de la force sur $\frac{h_0}{2}$ du cercle inscrit .

p_1 = périmètre du rectangle de répartition .

p_2 = périmètre de la plaque : $\frac{1}{5} p_2 = \frac{1}{5} \cdot 2(2,95+7,47) = 4,17$

essieu :	u' ² :	v' ² :	u' ² -v' ² :	ϕ_1 m ² :
Bc	0,4	0,4	0,8	0,895
Be	8,3	0,21	8,51	2,92
Br	0,46	0,46	0,92	0,96

3^e) Vérification :

$C_p = \frac{1,5}{h_0} \cdot \frac{P}{p_1} = 7,5 \frac{P}{p_1}$, mais comme $P =$ surcharge; il est majoré par $1,2 \cdot 8$

$$.p = 7,5 \cdot 1,2 \cdot 1,283 \frac{P}{p_1} = 11,55 \frac{P}{p_1} \quad (\text{voir tableau page 27})$$

Conclusion : l'essieu isolé n'est pas considéré comme charge localisée donc la vérification au poinçonnement de la dalle ne portera que sur Bc, Br .

Conclusion sur la vérification au poinçonnement :

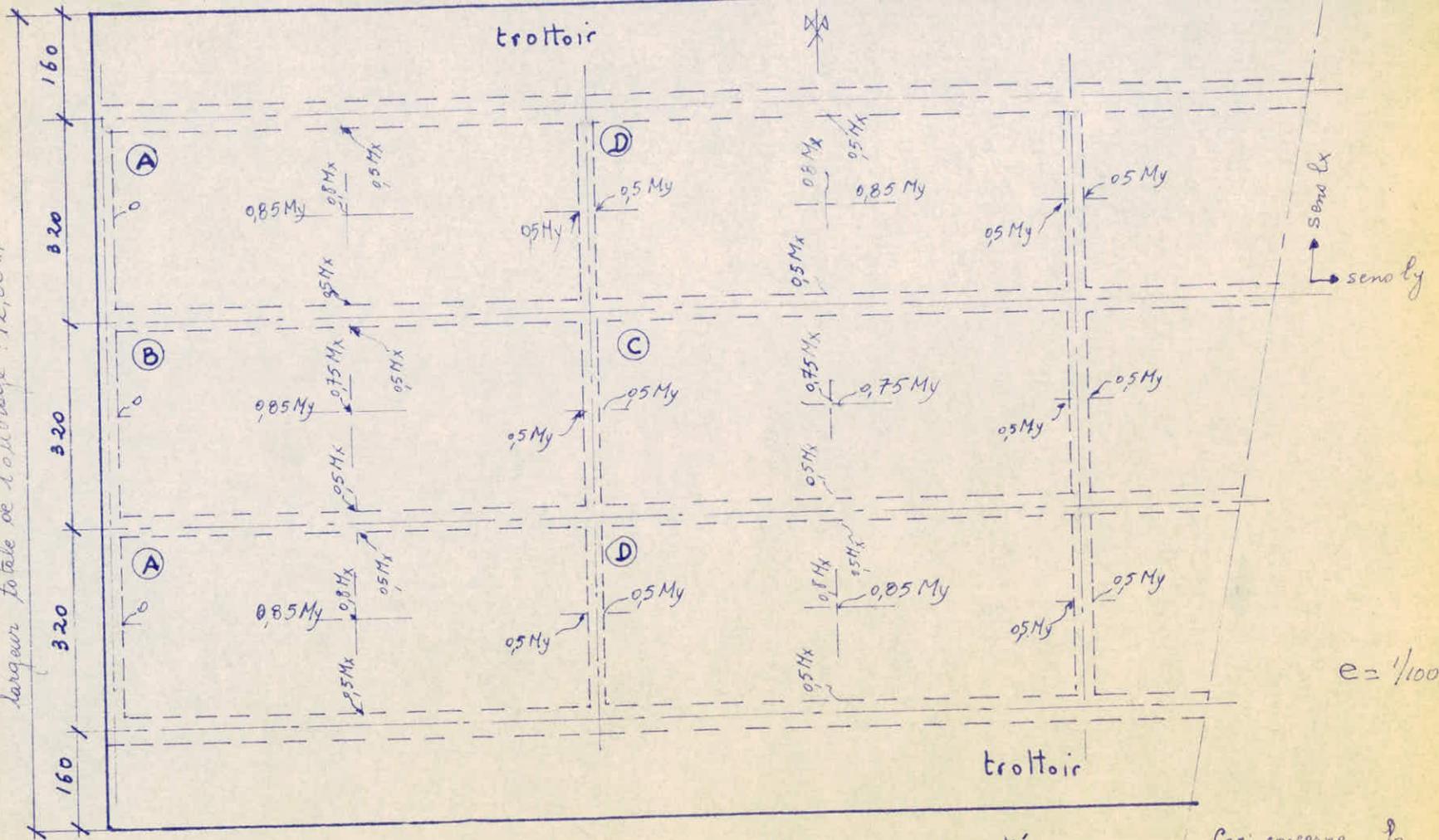
l'essieu $\begin{pmatrix} Bc \\ Br \end{pmatrix}$ donne pour C_p des valeurs = $\begin{pmatrix} 52,5\% \text{ de } \bar{C}_b \text{ pour Bc} \\ 56,8\% \text{ de } \bar{C}_b \text{ pour Br} \end{pmatrix}$

Ceci signifié que pour avoir des $.p$ plus rapprochés il faut réduire le produit $p_1 \cdot h_0$ dans C_p soit diminuer h_0 et e_r .

Rappelons que seules les roues $\begin{pmatrix} Bc \\ Br \end{pmatrix}$ ont répondu à la condition de charges localisées.

C'est pour cette raison que la vérification de la relation $C_p \leq \frac{1,5P}{p_c h_0}$ n'a porté que sur ces 2 derniers charges.

largeur totale de l'ouvrage : 12,80 m



$e = 1/100$

Réduction des Moments

	sens	Appui		mi-portée	
		lx	ly	lx	ly
A = Plaque de rive dans les 2 sens (lx et ly)		-0,5	0/-0,5	0,80	0,85
B = " " de le sens lx et continue sur ly		-0,5	0/-0,5	0,75	0,85
C = " continue dans les 2 sens		-0,5	-0,5	0,75	0,75
D = " " sur lx et de rive sur ly		-0,5	-0,5	0,80	0,85

Ceci concerne la travée de rive de portée 2,3 m.

Efforts définitifs dans la dalle (Après réduction)

Panneau		sens	Ch. Perman: G		Surch: P		M appui		M mi-portée		T ^{mi-portée} contour		M total		T total	
			M	T	M	T	G	P	G	P	G	P	Appui	mi-portée	pourtour de la plaque	
			tm/ml	Tt/ml	Mtm/ml	Tt/ml										
de Rive	A	t	1,055	0,202	1,337	4,90	9,45	1,055	2,45	0,202	3,92	1,337	9,45	3,505	4,122	10,787
		l	0	0,05		2,50	"	0	0 / 1,3	0,050	2,21		"	0 / 1,30	2,26	9,450
	D	t	1,055	0,202	1,337	4,90	"	1,055	2,45	0,202	3,92	1,337	"	3,505	4,122	10,787
		l	0	0,05		2,60	"	0	1,30	0,050	2,21		"	1,30	2,26	9,450
Centrale	B	t	0,511	0,553	1,153	4,90	"	0,511	2,45	0,553	3,68	1,153	"	2,961	4,23	10,603
		l	0	0,138		2,50	"	0	0 / 1,3	0,138	2,21		"	0 / 1,30	2,35	9,450
	C	t	0,511	0,553	1,553	4,90	"	0,511	2,45	0,553	3,68	1,153	"	2,961	4,23	10,603
		l	0	0,138		2,50	"	0	2,45	0,138	2,21		"	1,30	1,95	9,450
Trottoir		t	1,055		1,337	1,98	1,61	1,055	1,72			1,337	1,61	1,775		2,947

t = transversal
l = longitudinal

Tableau de vérification au poinçonnement.

surch	P(t)	$\mu_{11} = 2(\mu' + v')$ en m ²	h ₀ (m)	1/5 · h ₀	φ ₁ (m)	φ ₂ (m)	φ ₁ /φ ₂	μ ₁ ≤ 1/5 h ₀ (A)	0,4 ≤ φ ₁ /φ ₂ ≤ 2,5 (B)	Σ p en t/m ²
Bc	6	2(0,63 + 0,63) = 2,52	0,20	4,17	0,895	0,63	1,42	oui	oui	27,5 < 75
Be	20	2(2,88 + 0,46) = 6,68	0,20	4,17	2,920	0,46	6,35	non	non	Pas de vérificat. au Poinçonnement
Br	10	2(0,68 + 0,68) = 2,72	0,20	4,17	0,960	0,68	1,41	oui	oui	42,5 < 75

d'entree isolé Be de 20t n'est pas à considérer comme ek. localisée (ne répondant aux conditions ci-dessus A et B)

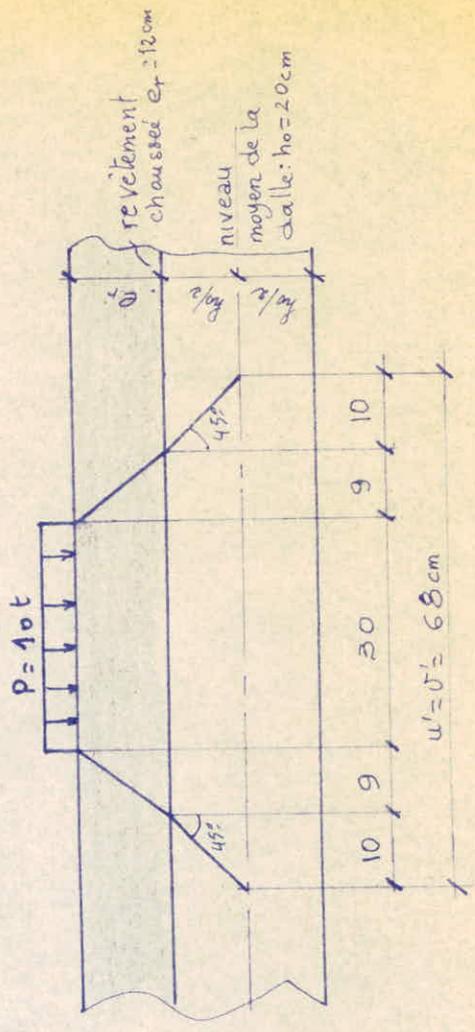
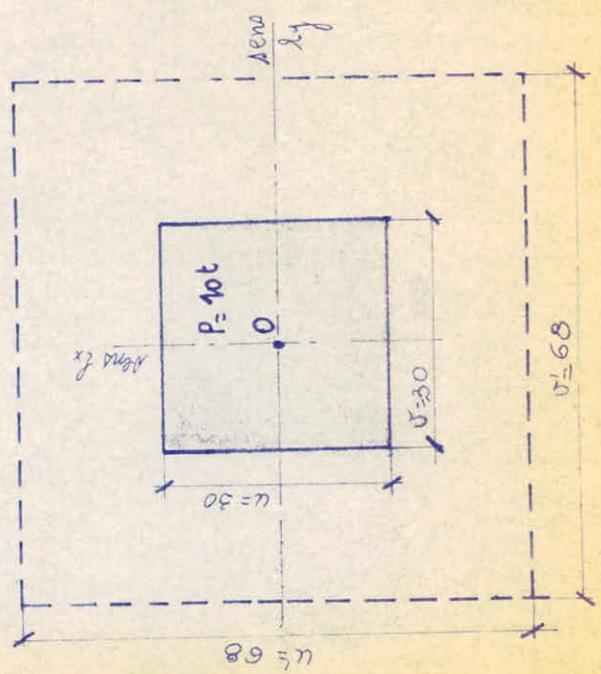


Fig 5.

C. CALCUL DES ARMATURES DANS LA DALLE.
=====

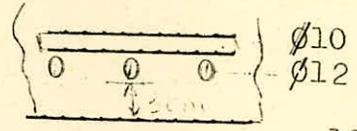
1. Contrainte admissible de l'acier.

- Choix des barres : Art. 49.22; $\sigma \leq \frac{h_t}{10}$ soit $\sigma = 12 \text{ mm}$

$\sigma_a = \text{mini entre } \begin{cases} (2800 \\ \sigma_1 \\ \text{maxi entre } \begin{cases} \sigma_1 \\ \sigma_2 \end{cases} \end{cases}$

1.1- Calcul de (a) $\sigma_1 = k \frac{n}{\sigma} \cdot \frac{w \cdot f}{1 + 10 w \cdot f}$ avec $w \cdot f = \frac{A}{Bf}$ ----> Art 49.21

(b) $\sigma_2 = 2,4 \sqrt{\frac{1,6}{\sigma} \cdot k \cdot \sigma_b}$



d'où $d = 3 + \frac{10 + 12}{2}$
 $d = 4,1 \text{ cm}$

1.2 Détermination de A :

Données $b = 100 \text{ cm}$; $h = 20 - 4,1 = 15,9 \text{ cm}$

$\sigma_a = 2800$ pour $\sigma \leq 20 \text{ max}$

$M_{\text{max}} = M$ transversale à mi-portée par panneau de rive
 $= 4,23 \text{ tm/ml}$

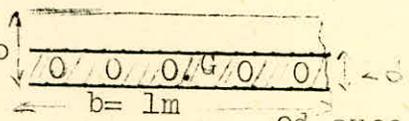
$w \cdot f = \frac{n \cdot M}{\sigma_a \cdot b \cdot bh^2} = \frac{15 \cdot 4,23 \cdot 10^5}{2800 \cdot 100 \cdot 15,9^2} = \frac{63,5 \cdot 10^5}{71 \cdot 10^6} = 0,88 \cdot 10^{-1} = 0,088$

k	α	ϵ	$w \cdot f$
26,9	0,358	0,8807	0,665

$A = \frac{w \cdot f \cdot bh}{100} = \frac{0,665 \cdot 100 \cdot 15,9}{100} = 10,58 \text{ cm}^2/\text{mk}$

Bf.: Section du tirant dans la dalle ho

$Bf = B \cdot 2d = 100 \times 8,2 = 820 \text{ cm}^2$



2d avec $d = 4,1 \text{ cm max}$

$w \cdot f = \frac{A}{Bf} = \frac{10,58}{820} = 1,29 \cdot 10^{-2}$ soit $\frac{1,29\%}{1,29 \cdot 20\%}$ vérifié
d'après p 189 C.51

d'où $\sigma_1 = 10^6 \cdot \frac{1,6}{12} \cdot \frac{1,29 \cdot 10^{-2}}{(1 + 10 \cdot 1,29 \cdot 10^{-2})} = 1450 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_2 = 2,4 \sqrt{\frac{1,6}{12} \cdot 10^6 \cdot 7,5} = 2400 \text{ kg/cm}^2$

(donc entre min. (2800

(max. (1450
(2400

$\sigma_a = 2400 \text{ kg/cm}^2$

2. Calcul Sections (Ax \rightarrow ϕ 12
 (Ay \rightarrow ϕ 10

Données (b= 100 cm
 (h= 20-4, l= 15,9 cm
 (n= 15
 ($\bar{\sigma}$ a= 2400 kg/cm²

Solution : 1^o) $\mu' = \frac{n M}{\bar{\sigma} a b h^2} = \frac{15 \cdot M}{2400 \cdot 100 \cdot 15,9^2} = 0,0247 M$

2^o) $A = \frac{\bar{\sigma}' b \cdot h}{100} = (\bar{\sigma}' \cdot h = 15,9 \cdot \bar{\sigma}) \cdot \mu' = \frac{A_x = 2,47 \cdot 10^2 M}{A = 15,9 \dots}$

3^o) nombre de barres \rightarrow Ax
 \rightarrow Ay

4^o) espacement en respectant les règles:

- (charge concentrée puisqu'il s'agit surtout de surcharges B
- (t \leq 2 h pour Ax avec t_{max} = 33 cm
- (t \leq 3 h pour Ay avec t_{max} = 45 cm

Armatures principales = Ax \rightarrow ϕ 12 \rightarrow Tableau des armatures
 Armatures de répartition = Ay \rightarrow ϕ 10 \rightarrow donné page 30.

3. Vérification des pièces soumises à la Flexion simple :

Contrainte du béton : $\bar{\sigma}' b$

A) Dans le sens de la petite portée lx

1. M_{max} en travée = 4,23 tm/ml

h = 15,9 cm

$\mu' = \frac{n M}{\bar{\sigma} a \cdot b h^2} = 0,0247 M = 0,1046$

k	α	ϵ	μ'	$\bar{\sigma}' b$
24	0,3846	0,3718	0,1676	0,8
:	:	:	:	:

$A_x = \frac{\bar{\sigma}' b h}{100} = 12,7 \text{ cm}^2$ - 12 ϕ 12 espaces tous les 9,2 cm

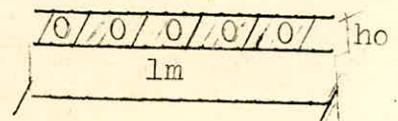
a) $\bar{\sigma}' b = \frac{\bar{\sigma} a}{k} = \frac{2400}{24} = 100$ bars $\bar{\sigma}' b$ doit être $\bar{\sigma}' b$ qui est égal à 180.

$\bar{\sigma}' b = 100$ bars / 2 $\bar{\sigma}' b$ o Vérifiée

b) en flexion simple $0,5 \leq \epsilon \leq 1$ Notre cas est l section rectangulaire hoxlm soumise à l moment de flexion

les regles recommande $\epsilon = 1$

donc \rightarrow $\bar{\sigma}' b = 180$ bars



		Armatures aux appuis d'une plaque.						Armatures à mi-portée d'une plaque						
Panneau	sens	M.t/m/ml	μ'	\tilde{w}'	A_{cm^2}	nbre de barres	t en cm	M.t/m/ml	μ'	\tilde{w}'	A_{cm^2}	nbre de barres	t en cm.	
de Rive	A	lx	3,505	0,0868	0,657	10,45	10	10	4,122	0,1015	0,775	12,3	12	9,2
		ly	1,30	0,0322	0,232	3,68	5	25	2,260	0,0558	0,412	6,55	8	14,3
	D	lx	3,505	0,0868			10	10	4,122				12	9,2
		ly	1,30	0,0322			5	25	2,260				8	14,3
Centrale	B	lx	2,961	0,0732	0,549	8,75	8	14,3	4,230	0,1046	0,809	12,7	12	9,2
		ly	1,30	0,0322			5	25	2,260	0,0582	0,439	6,85	9	12,5
	C	lx	2,961	0,0732			8	14,3	4,230			12,7	12	9,2
		ly	1,30	0,0322			5	25	1,950	0,048	0,353	5,6	7	16,6
Trottoir	lx	1,775	0,044	0,329	5,10	5	25							

c) $\sigma_m \leq \sigma_{bo} \implies F = \frac{b \cdot x \cdot \sigma'_b}{2}$
 d'où $\sigma'_m = \frac{F \cdot b \cdot x \cdot \sigma'_b \cdot \sigma'_b}{5 \cdot 2 \cdot b \cdot x \cdot \sigma'_b} = \frac{F \cdot \sigma'_b}{5}$

$\sigma'_m = 50 \text{ bars}$

$\sigma'_m \leq \sigma_{bo}$ Vérifiée

(F= Resultants des compressions
 (b= Largeur de la section
 (x= Distance de l'axe neutre à l'arête comprimée
 (σ'_b= contrainte maxi du béton à la fléction simple .

- : σ'_b = 100 bars :
- : σ'_b = 180 bars :
- : σ'_bo = 90 bars :
- : σ'_m = 50 bars :
- : σ'_b = 7,5 bars :

d) $\sigma_{bo} \gg \frac{90 \cdot \sigma_{en}}{2400 + \sigma_{en}} = \frac{90 \cdot 4200}{2400 + 4200} = 57,3$

$\sigma_{bo} \gg 57,3 \text{ bars}$

2. A l'appui, bien que le moment soit < à celui en travée ; il est prévu des armatures de même φ afin de ne pas avoir des contraintes d'adhérence trop élevées :

a) Cisaillement :

$\sigma_{bo} = \frac{T}{b \cdot z}$ avec (T= Tmax sur l'appui de rive = 10,787 t/ml
 (bo = 1m
 (z = $\frac{7}{8}h = \frac{7}{8} \cdot (20-4,1) = \frac{7}{8} \cdot 15,9 = 13,9 \text{ cm}$)

condition $\tau_b \leq 1,15 \bar{\sigma}_b$ (CCBA art 27.14 p 41)
 et charron p 330

$\tau_b = \frac{10,787 \cdot 10^3}{100 \cdot 13,9} = 7,75 \text{ bars}$

$1,15 \bar{\sigma}_b = 1,15 \cdot 7,5 = 8,6 \text{ bars}$

$\tau_b \leq 1,15 \bar{\sigma}_b$

b) Adhérence :

Art 29,11 CCBA68 p 44 $\tau_d = 2,5 \cdot \sigma'_b \cdot \sigma'_b$ et $\tau_d \leq \bar{\tau}_d$

$\tau_d = 2,5 \cdot 1,7 \cdot 7,5 = 32 \text{ bars}$

$\tau_d = \frac{T_{max}}{p \cdot z}$ avec p= périmètre des barres utilisés sur 1m de largeur 12φ12 espacés de 9,2 cm
 p = 45,24

$\tau_d = \frac{10787}{45,24 \cdot 13,9} = 17,1 \text{ bars}$ --- $\tau_d \leq \bar{\tau}_d$

B) Dans le sens de la grande portée (ly) :

∴ 1. My en travée = 2,35 tm/ml

My max < Mx max -----> les conditions seront remplies

2. Sur appui :

$T_y \text{ max} = 9,45t < T_x \text{ max} \text{ ----}$ les condition de

(cisaillement et
(d'adhérence) seront vérifiées
également

Conclusion :

1. $\sigma_b < \bar{\sigma}_b$
 $\sigma_m < \bar{\sigma}_{bo}$ (---- pas d'armature comprimées
2. $\sigma_b < 1,15 \bar{\sigma}_b$
3. $\sigma_d < 2,5 \psi_d \cdot \bar{\sigma}_b$ (----) Pas d'armatures transversales

pour cette condition : il faut
prévoir l coulée sans reprise
de bétonnage de la dalle .

INTRODUCTION AU CALCUL DES EFFORTS DANS LES POUTRES PRINCIPALES CONTINUES

A. Généralités . Relation des 3 moments

1. Définition et Notations :

Une poutre continue est une poutre droite horizontale reposant sur plus de 2 appuis simples incompressibles. La poutre est soumise à des charges verticales et les réactions exercées par les appuis sur la poutre sont verticales. Nous supposons les efforts dans les poutres nuls en l'absence de charges appliquées .

- Numérotions les appuis de 0 à 3 . A_0, A_1, A_2, A_3 et les travées de 1 à 3, la portée de la travée A_0-A_1 étant l_1 (fig 1.);

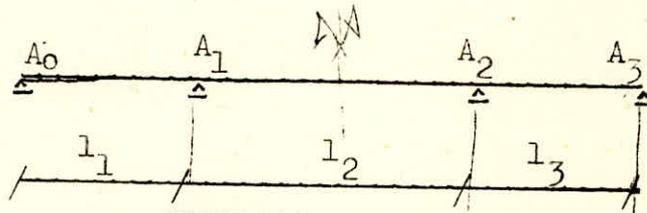


Fig. 1

Les réactions d'appui sont au nombre de $3+1 = 4$ et les équation de la statique sont au nombre de 2, les forces étant parallèle . Il en résulte que la poutre continue est $4-2= 2$ fois hyperstatiques.

La meilleure méthode de résolution consiste à prendre pour inconnues hyperstatiques les valeurs des Moments fléchissants dans la poutre au droit des appuis intermédiaires M_1, M_2 .

En effet si l'on connaît ces moments fléchissants, il est émmédiat de calculer le moment fléchissant m_i et l'effort tranchant t_i dans l section quelconque de la travée $A_0 A_1$:

$$\begin{cases} m_i = \mu_i + M_{i-1} \left(1 - \frac{x}{l_i}\right) + M_i \frac{x}{l_i} \\ t_i = \frac{Q \mu_i}{dx} + \frac{M_i - M_{i-1}}{l_i} \end{cases} \quad \boxed{1.4i.3}$$

avec x désignant l'abscisse de la section comptée à partir de l'appui de gauche A_{i-1}

μ_i = Moment fléchissant que produisent les charges appliquées à la travée $A_{i-1} A_i$ si elle était posée sur appuis simples.

La réaction R_i exercée par l'appui A_i a pour valeur

$$R_i = (t_{i+1})_{x=0} - (t_i)_{x=l_i}$$

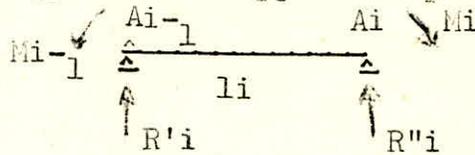
$$\text{soit } R_i = \left(\frac{d\mu_{i+1}}{dx} \right)_{x=0} + \frac{M_{i+1} - M_i}{l_{i+1}} - \left(\frac{d\mu_i}{dx} \right)_{x=l_i} \frac{M_i - M_{i-1}}{l_i}$$

$$\text{ou } R_i = R'_i + 1 + R''_i + \frac{M_{i+1} - M_i}{l_{i+1}} - \frac{M_i - M_{i-1}}{l_i}$$

R'_i réaction de l'appui de gauche de la travée i

R''_i réaction de l'appui droite de la travée i

Avec A_{i-1} , A_i supposée sur appuis simple



Pour notre ouvrage schématisé fig 1 il présente une symétrie à mi portée de la travée 2. $\rightarrow M_1 = M_2$

.il est alors une fois hyperstatique et comme inconnues : M_1

Expression de m_i et t_i .

dans la travée 1 et 2 ;

$$\begin{aligned} \underline{m_1} &= \mu_1 + M_1 \frac{x}{l_1} \\ m_2 &= \mu_2 + M_1 \left(1 - \frac{x}{l_2} \right) + M_2 \frac{x}{l_2} \\ &= \mu_2 + M_1 \left(1 - \frac{x}{l_2} + \frac{x}{l_2} \right) = \mu_2 + M_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{t_1} &= \frac{d\mu_1}{dx} + \frac{M_1 - M_0}{l_1} = \frac{d\mu_1}{dx} + \frac{M_1}{l_1} \\ t_2 &= \frac{d\mu_2}{dx} + \frac{M_2 - M_1}{l_2} = \frac{d\mu_2}{dx} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{R_1} &= R'_2 + R''_1 \frac{M_1}{l_1} \\ R_0 &= R'_1 + R''_0 + \frac{M_1}{l_1} \end{aligned}$$

2. Théorème de clapeyron .

Considérons les 2 travées successives en question de portée $l_i + l_{i+1}$ reposant sur les 3 appuis successif $A_0 A_1 A_2$

Désignons par $\cdot i$ la Rotation de la section située sur l'appui A_i et par a_i, b_i, C_i les constants mécaniques

relatives à la travée $A_i \neq A_i$

$$(a_i = \int_0^{l_i} (1 - \frac{x}{l_i})^2 \frac{dx}{EI_i} + (\frac{1}{l_i} \int_0^{l_i} \frac{dx}{GS_{l,i}})$$

$$(b_i = \int_0^{l_i} (1 - \frac{x}{l_i}) \frac{x}{l_i} \frac{dx}{EI_i} - (\text{" " " " "})$$

$$(c_i = \int_0^{l_i} (\frac{x}{l_i})^2 \frac{dx}{EI_i} + (\text{" " " " "})$$

Soient d'autre part θ_i' et θ_i'' les rotations des sections d'extrémités de la travée A_i + a_i supposés sur appuis simples

$$(\theta_i' = - \int_0^{l_i} \theta_i (1 - \frac{x}{l_i}) \frac{dx}{EI_i} + (\frac{1}{l_i} \int_0^{l_i} \frac{d\theta_i}{dx} \frac{dx}{GS_{l,i}})$$

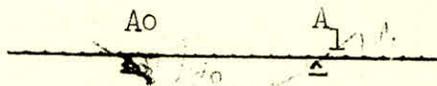
$$(\theta_i'' = + \int_0^{l_i} \theta_i (1 - \frac{x}{l_i}) \frac{dx}{EI_i} + (\text{" " " " "})$$

Lorsqu'on néglige les déformations dues à l'effort tranchant les termes entre parenthèses qui contiennent G doivent être supprimés dans les équations ci-dessus.

d'où $(a_i = + \int_0^{l_i} (1 - \frac{x}{l_i})^2 \frac{dx}{EI_i}$
 $(b_i = + \int_0^{l_i} (1 - \frac{x}{l_i}) \frac{x}{l_i} \frac{dx}{EI_i}$
 $(c_i = + \int_0^{l_i} (\frac{x}{l_i})^2 \frac{dx}{EI_i}$

et $(\theta_i' = - \int_0^{l_i} \theta_i (1 - \frac{x}{l_i}) \frac{dx}{EI_i}$
 $(\theta_i'' = + \int_0^{l_i} \theta_i \frac{x}{l_i} \frac{dx}{EI_i}$

Les formules fondamentales donnant la relation existant entre les rotations θ_0 et θ_1 des extrémités de la poutre et les moments fléchissants M_0 et M_1 aux extrémités :



$$\theta_0 = \theta_1 - aM_0 - bM_1 \quad (\text{avec } a, b, c = \text{constantes mécaniques caractéristique de la poutre dont la portée est } l.)$$

$$\theta_1 = \theta_0 + bM_0 + cM_1$$

($\theta_0, \theta_1, \theta_0', \theta_0''$ = rotation des extrémités de la poutre supposée sur appuis simples;

donc en considérant successivement les travées :

a) $A_0 - A_i \rightarrow \theta_i = \theta_i'' + b_i M_{i-1} + c_i M_i$

b) $A_1 - A_2 \dots w \cdot i = (w)'_{i+1} - M_{i+1}$ (d'où la relation fondamentale due à clapeyron qui relie 3 moments sur appuis successifs;

$$(w)'_{i+1} - a_{i+1} M_i - b_{i+1} M_{i+1} \quad (w)''_{i+1} + b_i M_{i-1} + c_i M_i = (w)'_{i+1} - a_{i+1} M_i - b_{i+1} M_{i+1}$$

$$\boxed{b_i M_{i-1} + (c_i + a_{i+1}) M_i + b_{i+1} M_{i+1} = (w)'_{i+1} - (w)''_{i+1}}$$

pour

soit les 2 travées $A_0 - A_1$ et $A_1 - A_2 \dots$ avec $i = 1$

$$\boxed{b_1 M_0 + (c_1 + a_2) M_1 + b_2 M_2 = (w)'_2 - (w)''_1}$$

avec $b_2 = + \int_0^{l_2} (1 - \frac{x}{l_2}) \frac{x}{l_2} \cdot \frac{dx}{EI_2}$ ($c_1 = \int_0^{l_1} (\frac{x}{l_1})^2 \frac{dx}{EI_1}$)
 $(w)'_2 = - \int_0^{l_2} \mu_2 (1 - \frac{x}{l_2}) \cdot \frac{dx}{EI_2}$ ($a_2 = + \int_0^{l_2} (1 - \frac{x}{l_2})^2 \frac{dx}{EI_2}$)
($\dots_1 = \int_0^{l_1} \mu_1 \cdot \frac{x}{l_1} \cdot \frac{dx}{EI_1}$)

$$\begin{aligned} (M_0 = 0 \\ (M_1 = M_2 \end{aligned} \quad \dots \quad \boxed{(c_1 + a_2 + b_2) M_1 = (w)'_2 - (w)''_1}$$

ETUDE DES LIGNES D'INFLUENCE DE M et T

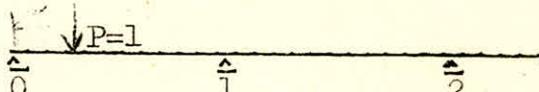
Cette étude nous permet de résoudre le problème des effets dans les poutres principales dues aux surcharges P.

A) Lignes d'Influence des moments sur appuis

Soit à étudier le moment fléchissant $M_1(x)$ sur l'appui A_1 , sous l'effet d'une charge unité P appliqué dans une section d'abscisse x d'une travée quelconque.

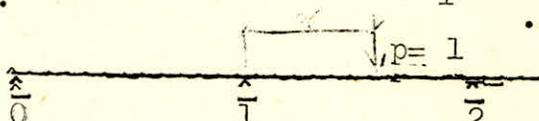
Lorsque la charge unité P se trouve dans une travée contigue à l'appui A_1 , nous avons :

P sur Travée 1 :



$$M_1(x) = -\frac{1}{b_1} \cdot \frac{a_1' \cdot x + \frac{1}{2} \cdot a_1'' \cdot x^2}{1 - 1}$$

P sur travée 2 :



$$M(x) = +\frac{1}{b_2} \cdot \frac{a_2' \cdot x + \frac{1}{2} \cdot a_2'' \cdot x^2}{1 - 1}$$

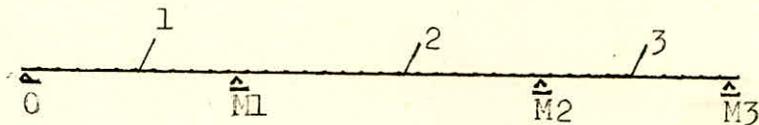
En désignant par ψ_i et ψ'_i la position des foyes de gauche et de droite d'une travée i :

$$\psi_i = -\frac{M_{i-1}}{M_i} \quad \text{et tel que} \quad \frac{b_{i+1}}{a_{i+1}} = a_i + 1 - b_i \cdot \psi_i$$

$$\psi'_i = -\frac{M_i}{M_{i+1}} \quad \text{"} \quad \frac{b_i}{a_i} = c_i + a_{i+1} - b_{i+1} \cdot \psi'_{i+1}$$

2) Calcul de ψ_i et ψ'_i : ($M_0 = M_3 = 0$)

a) ψ_i :



$\psi_1 = -\frac{M_0}{M_1} = 0$

$\psi_2 = -\frac{M_1}{M_2} = ?$

$\psi_3 = -\frac{M_2}{M_3} = ?$

ψ_i tel que $\frac{b_i}{a_i} = a_i + c_{i-1} - b_{i-1} \cdot \psi_{i-1}$

$$\psi_2 = \frac{b_2}{a_2 + c_1 - b_1 \psi_1} = \frac{b_2}{a_2 + c_1}$$

$$\psi_3 = \frac{b_3}{a_3 + c_2 - b_2 \psi_2} = \frac{b_1}{a_1 + c_2 - b_2 \psi_2}$$

b: ψ'_i

$$\psi'_3 = \frac{-M_3}{I_3} = 0$$

$$\psi'_2 = \frac{-M_2}{I_2} = ?$$

$$\psi'_1 = \frac{-M_1}{I_1} = ?$$

ψ'_i tel que $\psi'_i = c_i + a_{i+1} - b_{i+1} \psi'_{i+1}$

$$\psi'_2 = \frac{b_2}{a_3 + c_2 - b_2 \psi'_2} = \frac{b_2}{c_2 + a_3} = \frac{b_2}{c_2 + a_1}$$

$$\psi'_1 = \frac{b_1}{a_2 + c_1 - b_2 \psi'_2} = \frac{b_1}{c_1 + a_2 - b_2 \psi'_2}$$

3. Calcul des inconnues.

3.1. Constantes mécaniques pour la travée 1 (de rive).

$$a_1 = + \int_0^{l_1} \left(1 - \frac{x}{l_1}\right)^2 \frac{dx}{EI_1} = + \frac{l_1}{3EI_1}$$

$$b_1 = + \int_0^{l_1} \left(1 - \frac{x}{l_1}\right) \frac{x}{l_1} \frac{dx}{EI_1} = \frac{l_1}{6EI_1}$$

$$c_1 = + \int_0^{l_1} \left(\frac{x}{l_1}\right)^2 \frac{dx}{EI_1} = \frac{l_1}{3EI_1}$$

3.2. Constantes mécaniques pour la travée 2 (intermédiaire).

$$a_2 = + \frac{l_2}{3EI_2} ; \quad b_2 = + \frac{l_2}{6EI_2} ; \quad c_2 = + \frac{l_2}{3EI_2}$$

$$a_1 = c_1 = \frac{l_1}{3EI} ; \quad b_1 = b_3 = \frac{l_1}{6EI}$$

REMARQUES: $I_1 = I_2 = I \implies$

$$a_2 = c_2 = \frac{l_2}{3EI} ; \quad b_2 = \frac{l_2}{6EI}$$

3.3. Comparaison de φ_2 et φ'_2 , et Calcul.

D'après les remarques précédentes sur les constantes mécaniques, on peut écrire que:

$$\varphi_2 = \varphi'_2 = \frac{b_2}{a_2 + c_1} = \frac{l_2}{2(l_2 + l_1)} = \frac{38}{2(38 + 23)} = 0,31$$

De même, on peut comparer φ'_1 et φ_3 .

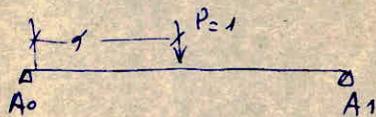
$$\varphi'_1 = \varphi_3 = \frac{l_1}{2(l_1 + l_2) - l_2 \varphi_2} = \frac{23}{2(23 + 38) - 38 \cdot 0,31} = 0,208$$

I. Charge unitaire P dans travée A₀A₁

$$1. M_1(x) = -\frac{1}{b_1} \frac{w'_1(x) + \frac{1}{\varphi_1} \cdot w''_1(x)}{\frac{1}{\varphi_1 \cdot \varphi'_1} - 1} = -\frac{1}{b_1} \left[\frac{w'_1(x) \varphi_1 \cdot \varphi'_1 + w''_1(x) \cdot \varphi_1}{1 - \varphi_1 \cdot \varphi'_1} \right]$$

$$= -\frac{1}{b_1} \cdot w''_1(x) \cdot \varphi_1 \text{ car } \varphi_1 = 0$$

3. Calcul de $w''_1(x)$



$$- 0 < x < \alpha \rightarrow \mu_1(x) = \frac{l_1 - x}{l_1} \cdot \tau$$

$$- \alpha < x < l \rightarrow \mu_1(x) = \frac{l_1 - x}{l_1} x - (x - \alpha)$$

car l'appui 1 est à droite de P lorsque P se trouve dans la travée A₀A₁

$$\text{d'où } w''_1(x) = \int_0^x \frac{(l_1 - x)}{l_1} \cdot x \cdot \frac{x}{l_1} \frac{dx}{EI_1} - \int_x^{l_1} (x - \alpha) \frac{x}{l_1} \frac{dx}{EI_1}$$

$$'' = \alpha (l_1 - \alpha) (l_1 + \alpha)$$

$$2. M_1(x) = -\frac{1}{b_1} \cdot \varphi_1 \cdot w''_1(x) = -\frac{1}{6E_s l_1 I_1} \alpha (l_1 - \alpha) (l_1 + \alpha) \cdot \frac{\varphi_1}{b_1}$$

①

$$M_1(x) = -0,208 \cdot \frac{\alpha}{l_1} \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{l_1}\right) \left(1 + \frac{\alpha}{l_1}\right) \cdot l_1$$

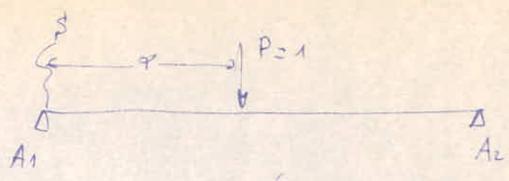
①

d'où finalement

$$M_1(x) = -4,8 \cdot \frac{\alpha}{l_1} \left(1 - \frac{\alpha}{l_1}\right) \left(1 + \frac{\alpha}{l_1}\right)$$

①

II. Charge P=1 dans travée A1-A2:



$$u_2 = R_{A1} \cdot x = \begin{cases} \frac{P(l-r)}{l} \cdot x & \text{pour } 0 < x < r \\ P \left(\frac{l-r}{l} \cdot x - (x-r) \right) & \text{pour } r < x < l \end{cases}$$

$$1) \quad M_1(r) = \frac{1}{b_2} \left[\frac{w'_2(x) + w''_2(x)}{\frac{1}{\varphi'_2} - 1} \right] = \frac{1}{b_2} \left[\frac{w'_2(r) \cdot \varphi'_2 + w''_2(r) \cdot \varphi'_2}{1 - \varphi'_2} \right]$$

$$= \frac{1}{b_2} \left[\frac{w'_2(r)}{\varphi'_2} + \frac{w''_2(r)}{1 - \varphi'^2_2} \right] \varphi'^2_2$$

2) Calcul de $w'_2(x)$ et $w''_2(x)$

$$w'_2(x) = - \left[\int_0^r \frac{l_2 - r}{l_2} \cdot x - \int_r^{l_2} (x-r) \right] \left(1 - \frac{x}{l_2} \right) \frac{dx}{EI_2}$$

$$= - \frac{1}{6EI_2 l_2} (2\alpha l^2 - 3\alpha^2 l + \alpha^3)$$

$$w''_2(x) = \left[\int_0^r \left(\frac{l_2 - r}{l_2} \cdot x \right) - (x-r) \right] \frac{x}{l_2} \cdot \frac{dx}{EI_2} = \frac{1}{6EI_2 l_2} \alpha (l_2 - \alpha) (l_2 + \alpha)$$

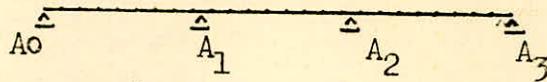
$$3) \quad M_1(r) = \frac{1}{l_2^2} \cdot \alpha (l_2 - \alpha) \left[\frac{\alpha - 2l_2}{\varphi'_2} + (l_2 + \alpha) \right] \frac{\varphi'^2_2}{1 - \varphi'^2_2}$$

$$= \frac{\alpha}{l_2} \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{l_2} \right) \left[\frac{\frac{\alpha}{l_2} - 2}{\varphi'_2} + \left(1 + \frac{\alpha}{l_2} \right) \right] \frac{\varphi'_2 \varphi'^2_2}{1 - \varphi'^2_2} \cdot l_2$$

$$M_1(r) = 3,72 \cdot \frac{\alpha}{l_2} \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{l_2} \right) \left[3,34 \left(\frac{\alpha}{l_2} - 2 \right) + \left(1 + \frac{\alpha}{l_2} \right) \right]$$

III CHARGE P=1 DANS A₂A₃

P=1



$$M_i(\alpha) = (-1)^{s-i-1} \cdot \psi_{i+1} \cdot \psi_{i+2} \dots \cdot s_{-1} M_{s-1}(\alpha) \text{ pour } P \text{ dans } A_{s-1} A_s$$

$$s \begin{matrix} > i+1 \\ \dots \\ > 2 \end{matrix}$$

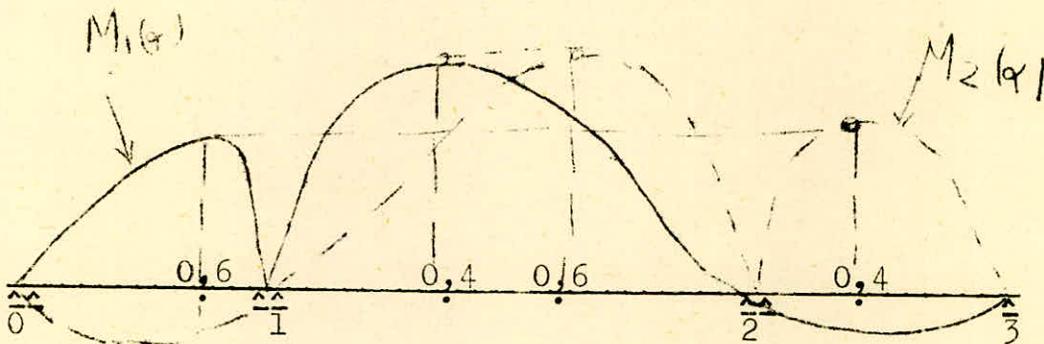
$$\text{ici } s=3 \rightarrow M_1(\alpha) = (-1)^{3-1-1} \cdot \psi_2 \cdot \psi_3 \dots \psi_{3-1} M_{3-1}(\alpha)$$

$$M_1(\alpha) = (-1)^1 \cdot \psi_2 M_2(\alpha)$$

$$M_1(\alpha) = -\psi_2 \cdot M_2(\alpha)$$

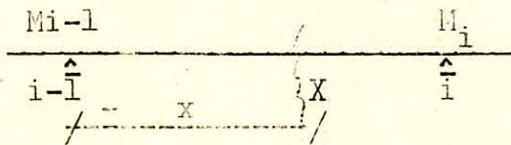
-Ligne d'influence de M₂

Par raison de symétrie nous aurons M₂(α) = .M₁(α) en prenant comme origine l'appui extrême de droite 3, d'après définition de ψ_i :



B. Ligne d'influence du moment fléchissant dans une section quelconque d

soit X la section d'abscisse x dans la travée $A_{i-1}A_i$, la ligne d'influence du moment fléchissant dans cette section est donnée par l'expression :



$$M(\alpha, x) = \mu_i(\alpha, x) + M_{i-1}(\alpha) \left(1 - \frac{x}{l_1}\right) + M_i(\alpha) \frac{x}{l_1}$$

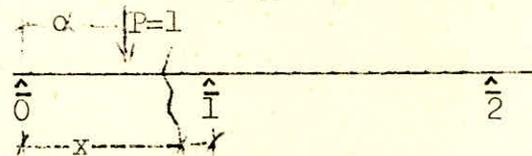
$\mu_i(\alpha, x) = 0$ lorsque la charge unité ($P=1$) se trouve sur une travée autre que l'appui $A_{i-1}A_0$.

α désignant l'abscisse de la section dans laquelle agit la charge unité.

CALCUL DE $M(\alpha, x)$.

A) Section dans travée 1 ----- $0 < x < l_1$

1. P dans travée 1.



a) $\alpha > x$

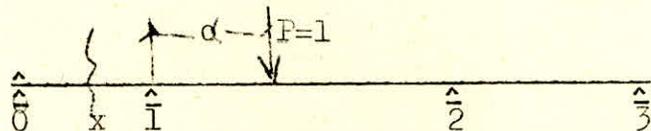
$$\mu_1(\alpha, x) = 0 \left(1 - \frac{x}{l_1}\right)$$

b) $0 < x < \alpha$

$$\mu_1(\alpha, x) = x \left(1 - \frac{\alpha}{l_1}\right)$$

d'où $M(\alpha, x) = M_1(\alpha) \frac{x}{l_1} + \begin{cases} \left(1 - \frac{x}{l_1}\right) \alpha & \text{pour } \alpha > x \\ x \left(1 - \frac{\alpha}{l_1}\right) & \text{pour } 0 < x < \alpha \end{cases}$

2. P dans travée 2.

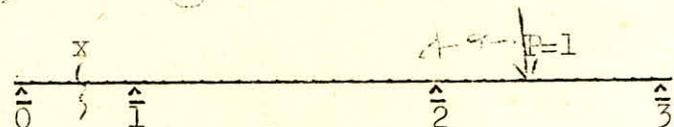


$$\mu_1(\alpha, x) = 0$$

d'où $M(\alpha, x) = M_1(\alpha) \frac{x}{l_1}$

$$M_0(\alpha) = 0$$

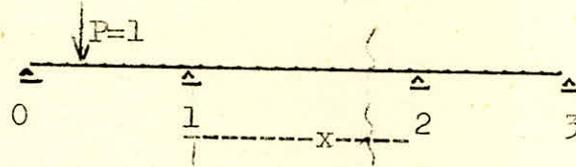
3. P dans travée 3.



$\mu_1(\alpha, x) = 0$ d'où $M(\alpha, x) = M_1(\alpha) \frac{x}{l_1}$

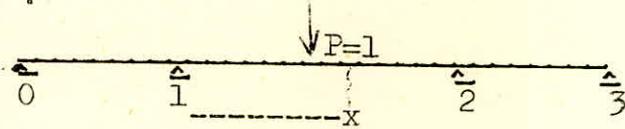
B) Section dans travée 2 $\rightarrow 0 < x < l_2$

1. P dans travée 1.



$\mu_2(\alpha, x) = 0$ d'où $M(\alpha, x) = M_1(\alpha) \left(1 - \frac{x}{l_2}\right) + M_2(\alpha) \frac{x}{l_2}$

2. P dans travée 2 :



a) $\alpha < x$

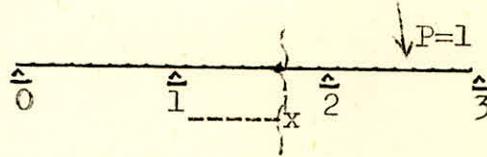
$\mu_2(\alpha, x) = \alpha \left(1 - \frac{x}{l_2}\right)$

b) $\alpha > x$

$\mu_2(\alpha, x) = x \left(1 - \frac{\alpha}{l_2}\right)$

d'où $M(\alpha, x) = M_1(\alpha) \left(1 - \frac{x}{l_2}\right) + M_2(\alpha) \frac{x}{l_2} + \begin{cases} \alpha \left(1 - \frac{x}{l_2}\right) & \text{pour } \alpha < x \\ x \left(1 - \frac{\alpha}{l_2}\right) & \text{pour } \alpha > x \end{cases}$

3. P dans travée 3:

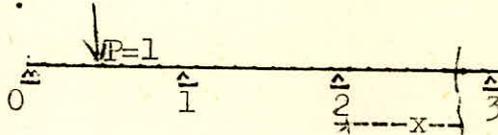


$\mu_2(\alpha, x) = 0$

d'où $M(\alpha, x) = M_1(\alpha) \left(1 - \frac{x}{l_2}\right) + M_2(\alpha) \frac{x}{l_2}$

C) Section dans A₂₋₃ $\rightarrow 0 < x < l_3$

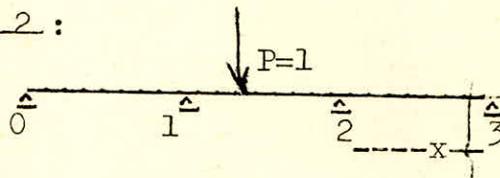
1. P dans travée 1 :



$\mu_3(\alpha, x) = 0$

d'où $M(\alpha, x) = M_2(\alpha) \left(1 - \frac{x}{l_3}\right)$

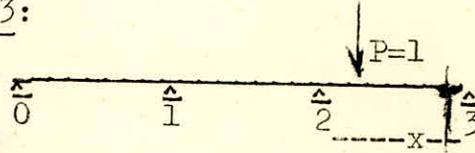
2. P dans travée 2 :



$\mu_3(\alpha, x) = 0$

d'où $M(\alpha, x) = M_2(\alpha) \left(1 - \frac{x}{l_3}\right)$

3. P dans travée 3:



$$\mu_3(\alpha, x) = \begin{cases} \alpha(1 - \frac{x}{l_3}) & \text{si } 0 < x \\ x(1 - \frac{\alpha}{l_3}) & \text{si } \alpha > x \end{cases}$$

$$\text{d'où } M(\alpha, x) = M_2(\alpha)(1 - \frac{x}{l_3}) + \begin{cases} \alpha(1 - \frac{x}{l_3}) & \text{si } \alpha < x \\ x(1 - \frac{\alpha}{l_3}) & \text{si } \alpha > x \end{cases}$$

C) Ligne d'influence de l'effort tranchant

La ligne d'influence de l'effort tranchant de la section X d'abscisse x de la travée $A_{i-1}A_i$ est donnée par l'expression

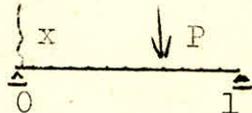
$$T(\alpha, x) = \zeta_i(\alpha, x) + \frac{M_i(\alpha) - M_{i-1}(\alpha)}{l_i}$$

$$\text{avec } \zeta_i(\alpha, x) = \frac{\partial}{\partial x} \mu_i(\alpha, x)$$

$\zeta_i(\alpha, x) = 0$ si (P=1) se trouve sur une autre travée autre que $A_{i-1}A_i$

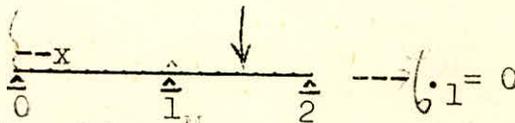
A. Section X sur l'appui 0 ou A_3

1. dans travée 1 :



$$\mu = \frac{1-\alpha}{l_1} x \rightarrow \zeta = \frac{\partial \mu}{\partial x} = 1 - \frac{\alpha}{l_1} \quad T(\alpha, 0) = \zeta_1(\alpha, 0) + \frac{M_1(\alpha)}{l_1} = 1 - \frac{\alpha}{l_1} + \frac{M_1(\alpha)}{l_1}$$

2. P dans travée 2 :

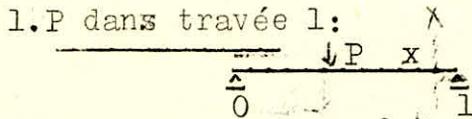


$$T(\alpha, 0) = \zeta_1(\alpha, 0) + \frac{M_1(\alpha) - M_0(\alpha)}{l_1} = \frac{M_1(\alpha)}{l_1}$$

3. P dans travée 3 :

$$T(\alpha, 0) = \zeta_1(\alpha, 0) + \frac{M_1(\alpha) - M_0(\alpha)}{l_1} = \frac{M_1(\alpha)}{l_1}$$

B. Section X à gauche de A_1 ou à droite A_2



$$\mu = \frac{-\alpha}{l_1} x \quad \rightarrow \quad \frac{\partial \mu}{\partial x} = -\frac{\alpha}{l_1}$$

$$T(\alpha, l_1) = \zeta_1(\alpha, l_1) + \frac{M_1(\alpha) - M_0(\alpha)}{l_1} = -\frac{\alpha}{l_1} + \frac{M_1(\alpha)}{l_1} \rightarrow M_1(\alpha) \text{ travée (1)}$$

2. P. Dans travée 2:

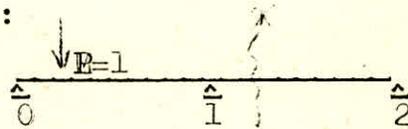
$$T(\alpha, l_1) = \zeta_1(\alpha, l_1) + \frac{M_1(\alpha) - M_0(\alpha)}{l_1} = \frac{M_1(\alpha)}{l_1} \rightarrow M_1(\alpha) \text{ travée (2)}$$

3. P dans travée 3 :

$$T(\alpha, l_1) = \zeta_1(0, l_1) + \frac{M_1(\alpha) - M_0(\alpha)}{l_1} = \frac{M_{th}(\alpha)}{l_1} \rightarrow M_{th}(\alpha) \text{ travée (3)}$$

C. Section X à droite de A_1 ou à gauche de A_2

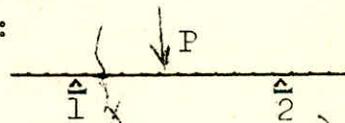
1. P dans travée 1 :



$\zeta_2(\alpha, x) = 0$ pour P dans $A_0 A_1$

$$T(\alpha, 0) = \zeta_2(\alpha, 0) + \frac{M_2(\alpha) - M_1(\alpha)}{l_2} = \frac{M_2(\alpha) - M_1(\alpha)}{l_2}$$

2. P dans travée 2 :



$$\zeta_2(\alpha, x) \neq 0 \quad \mu_2 = \frac{l_2 - x}{l_2} \quad \text{d'où} \quad \frac{\partial \mu_2}{\partial x} = \frac{l_2 - \alpha}{l_2} = 1 - \frac{\alpha}{l_2}$$

$$T(\alpha, 0) = \zeta_2(\alpha, 0) + \frac{M_2(\alpha) - M_1(\alpha)}{l_2} = 1 - \frac{\alpha}{l_2} + \frac{M_2(\alpha) - M_1(\alpha)}{l_2}$$

3. P dans travée 3 :

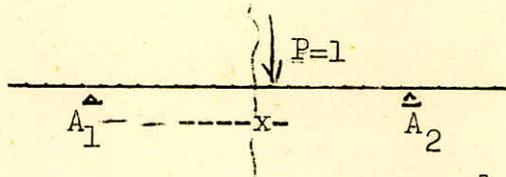
$$T(\alpha, 0) = \zeta_2(0, 0) + \frac{M_2(\alpha) - M_1(\alpha)}{l_2} \equiv \frac{M_2(\alpha) - M_2(\alpha)}{l_2}$$

D. Section X à mi-portée de $A_1 A_2$

1. P dans travée 1 :

$$T(\alpha, 0, 5l_2) = \frac{M_2(\alpha) - M_1(\alpha)}{l_2}$$

2. P dans travée 2 :



$$\alpha \leftarrow x \rightarrow \frac{1}{l_2} = \frac{-\alpha}{l_2}$$

$$\alpha \rightarrow x \rightarrow \frac{1}{l_2} = \frac{l_2 - \alpha}{l_2} = 1 - \frac{\alpha}{l_2}$$

$$T(\alpha, 0,5 l_2) = -\frac{\alpha}{l_2} + \frac{M_2(\alpha) - M_1(\alpha)}{l_2} \text{ pour } \alpha \leftarrow x$$

$$T(\alpha, 0,5 l_2) = 1 - \frac{\alpha}{l_2} + \frac{M_2(\alpha) - M_1(\alpha)}{l_2} \text{ pour } \alpha \rightarrow x$$

3. P dans travée 3 :

$$T = \frac{M_2(\alpha) - M_1(\alpha)}{l_2}$$

NOTA : Tout le calcul des lignes d'influence, relatif au moment fléchissant et effort tranchant, est fait complètement en page suivante : 47, 48, 49, 50, 51, 52, pour les moments et en page 53 pour les ef. tranchants.

Les sections étudiées sont 0,3 ; 0,4 ; 0,5 ; 0,6 ; et 0,7 de l_1 et l_2 . Les opérations ont été menées à la règle à calcul avec laquelle la précision donnée dans les tableaux suivants est de l'ordre de 10^{-4} .

Le tracé de ces lignes d'influence est fait sur papier centimétré et reproduit sur calque.

A. EFFORTS DANS LES POUTRES PRINCIPALES SOUS

Les CHARGES PERMANENTES

Recherche des efforts dus à G :

I Charge permanente, uniformément répartie :

1. Tablier sauf charpente: c'est-à-dire des charges permanentes

G de la (dalle + Chaussée + Trottoir)

on prend 1 m linéaire du pont entier

$l = 12,78m$ --- $S = 1m \times 12,70$

Calcul de Q (charge permanente uniformément répartie):

: éléments :	Dalle :	Chaussée :	Trottoir :
: G t/m ² :	0,500 :	0,283 :	0,437 :
:	:	:	:
:	Pour P P 2 et 3 :		Pour P P 1 et 4 :
:	:	:	4 :

$Q = G \times l = 0,783 \times 12,78 = 10 \text{ t/ml}$

Répartition sur les poutres principales :

Nombre de poutres principales: $n = 4$

Part q_2 revenant à 1 P.P (2ou 3) $q_2 = \frac{Q}{n} = \frac{10}{4} = 2,5 \text{ t/ml}$

Part q_1 revenant à 1 P.P(1 ou 4) $q_1 = q_2 + \text{charge du trottoir}$
 $= 2,93 \text{ t/ml}$

2. Charpente :

P.P--- hypothèses--- Section de P.P= Constante

- Hauteur d'âme = $140 - (0,30 + 0,20) = 0,90$

- Talon : $0,3 \times 0,67$

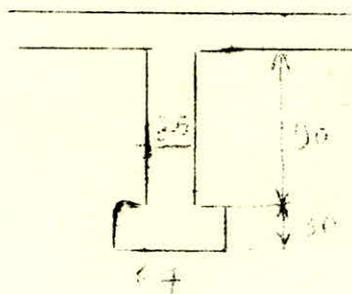
$q =$ Poids d'une section de P.P

a) âme : $2,5 \text{ t/m}^3 \times 0,25 \times 0,90$

b) talon : $2,5 \text{ t/m}^3 \times 0,67 \times 0,3$

d'où $q = 2,5 (0,25 \times 0,90 + 0,30 \times 0,67) =$

$q = 1,065 \text{ t/ml}$



II Charges concentrées :

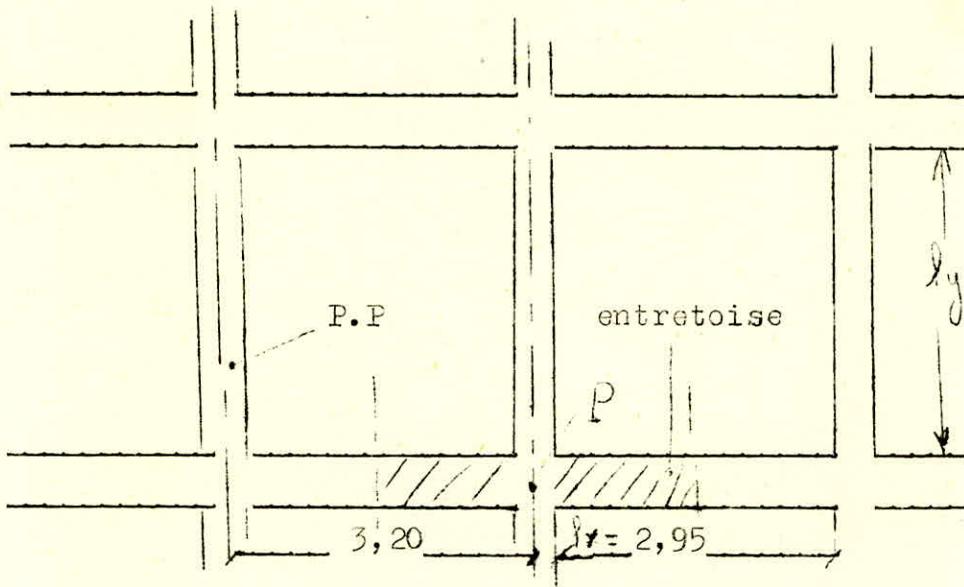
Entretoises :

$e = 0,20 \text{ m}$

hauteur = $0,90 \text{ m}$

P dans d'une section = $2,5 \text{ t/m}^3 \times 0,20 \times 0,90 = 0,575 \text{ t/ml}$

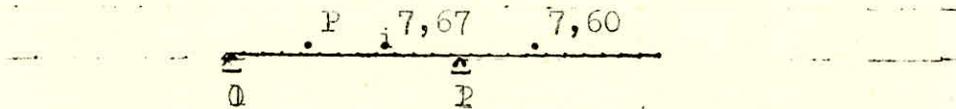
L'entretoise produit sur la P.P l'effet d'une charge concentrée:



Charge p , produit par chaque entretoise et revenant à:

-à 1 p.p 2 ou 3 $p_2 = P \cdot l_x = 0,575 \times 2,95 = 1,7 \text{ t}$

-à 1 p.p 1 ou 4 $p_1 = P \cdot \frac{l_x}{2} = \frac{1,7}{2} = 0,85 \text{ t}$



3. Charges permanentes G d'une P.P :

Différents cas de charges perman.	Poutres principales	
	1 ou 4	2 ou 3
a) charge uniformément répartie qt/ml	$2,93 + 1,065 = 4$	$2,5 + 1,06 = 3,56$
b) charge concentrée = $p(t)$	0,85	1,7

Ces charges sont les mêmes quelque soit la travée, (de rive ou centrale).

EFFORTS SUR LES PP DUS A G :

A. Moment fléchissant sur appuis :

Par application du théorème des 3 moments :

$$2M_1(l_1+l_2)+M_2 \cdot l_2 = N_2$$

$$M_1 = M_2 = \frac{N_2}{2l_1+3l_2} \quad (1)$$

On a aussi M_1 en fonction des rotations des appuis :

$$M_1 = \frac{\omega'_2 - \omega''_1}{2l_1+3l_2} \cdot \frac{6EI}{6EI} \quad (2)$$

En faisant (1)=(2) on tire $N_2 = (\omega'_2 - \omega''_1) \frac{6EI}{2l_1+3l_2}$

$N_2 = f(\text{nature de la charge et de portée de la poutre})$

1. Calcul de N_2 pour charges q . (uniformément répartie)

$$N_2 = 6EI \left(- \int_0^{l_2} q_2 \left(1 - \frac{x}{l_2}\right) \frac{dx}{EI} - \int_0^{l_1} q_1 \frac{x}{l_1} \frac{dx}{EI} \right) = \frac{-q}{4} \cdot (l_2^3 + l_1^3)$$

2. Calcul de N_2 pour charges p (concentrés)

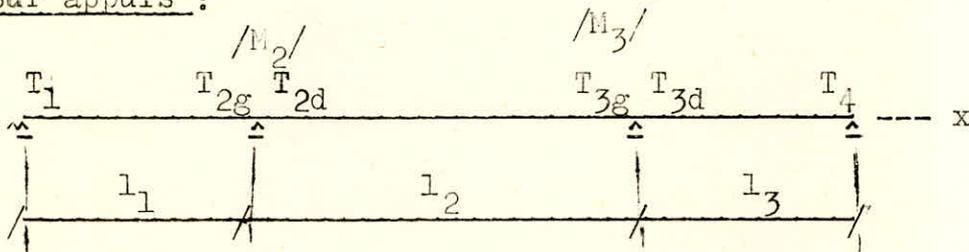
$$N_2 = 6EI (\omega'_2 - \omega''_1) = -D-G = -6p(5d_2^2 + d_1^2)$$

d'où $M_{1q} = \frac{-q(l_2^3 + l_1^3)}{4(2l_1+3l_2)}$ $\left(\begin{matrix} M_1^i \\ G = M_1^i q + M_1^i p \end{matrix} \right)$

$$M_{1p} = \frac{-6p(5d_2^2 + d_1^2)}{4(2l_1+3l_2)}$$

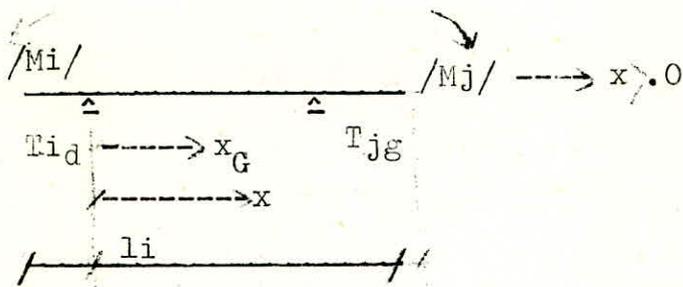
B. EFFORTS TRANCHANTS DUS A G :

1. Sur appuis :



$$T_{id} = \frac{(li-x_G) \sum P}{li} + \frac{M_i - M_j}{li}$$

$$T_{jg} = \frac{x_G \cdot P}{li} + \frac{M_j - M_i}{li}$$



2. En travée :

$$\begin{aligned} T_x &= T_{i_d} - \sum P_{xg} = T_{j_g} - \sum P_{xd} \\ \text{Dans la travée } i & \\ &= T_{(i+1)g} - q(li-x). \\ \text{ou bien } T_x &= T_{ij}^0 + \frac{M_i - M_j}{l_i} \end{aligned}$$

avec $\sum P =$. des charges appliqués de centre de gravité.

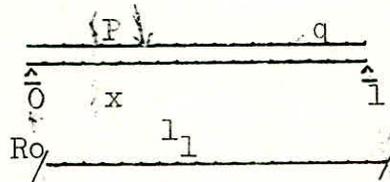
$\sum P_{xg} =$. des charges se trouvant à gauche de la section x

$\sum P_{xd} =$. des charges se trouvant à droite de la section x.

$T_{ij}^0 = T$ en x sur la travée (ij) isostatique

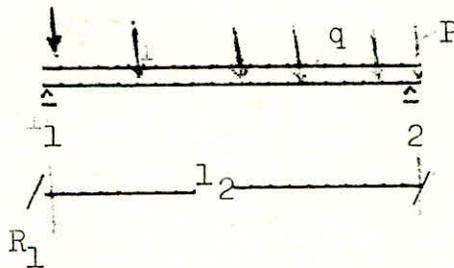
C. Moment fléchissant en travée :

Travée 1 :



$$M_1 = R_o \cdot x - \sum P \cdot x \quad \longrightarrow \quad M_{t_1 \max} = R_o \cdot l_1 + M_1 \cdot \frac{x}{l_1}$$

Travée 2 :



$$M_2 = R_1 \cdot \frac{l_2}{2} - \sum P \cdot \frac{l_2}{2}$$

EFFORTS DANS P.P.1

A) Moment fléchissant sur appui

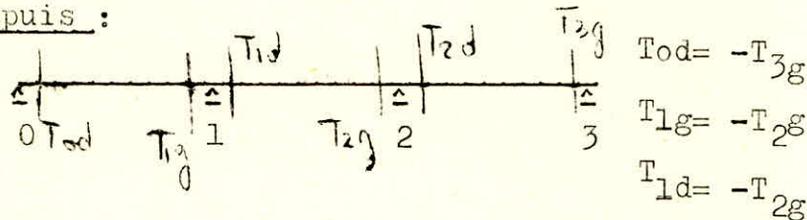
$$M_{1q}^1 = -\frac{4}{4}(67,2 \cdot 10^3) = -420 \text{ tm}$$

$$M_{1p}^1 = \frac{-6 \cdot 0,85(5 \cdot (7,6)^2 + (7,67)^2)}{160} = -11,10$$

$$M_{1G}^1 = -420 - 11,1 = -431,1 \text{ tm/ml}$$

B) Efforts tranchants :

1. Sur appuis :



$$- T_{0d} = \frac{1}{2} (4 \cdot 23 + 2 \cdot 0,85) - \frac{431,1}{23} = 46,85 - 18,7 = 26,15 \text{ t}$$

$$- T_{1g} = -(46,85 + 18,7) = -65,55 \text{ t}$$

$$- T_{1d} = \frac{1}{2} (4 \cdot 38 + 4 \cdot 0,85) = \frac{1}{2} (152 + 3,4) = 77,7 \text{ t}$$

2. En travée :

$$(1. T_x = 0 \text{ en } x = \frac{1}{2} \frac{T_{0d} - 2p}{q} = \frac{26,15 - 17}{4} = 6,11 \text{ m}$$

$$(2. T_x = 0 \text{ à } x = \frac{1}{2} \text{ --- par raison de symétrie des charges.}$$

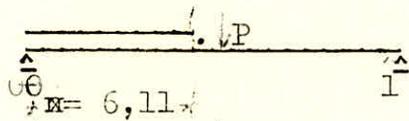
C. Moment fléchissant en travée :

C.a) Travée 1:

$$M_{t1max} = R_0 + M_{1G}^1 \frac{x}{l_1}$$

$$R_0 = 46,85 \text{ t}$$

$$M_{t1} = 46,85 \cdot 6,11 - \frac{4}{2} (6,11)^2 = 221$$

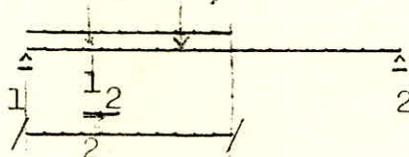


$$M_{t1max} = 221 - 431 \cdot \frac{6,11}{23} = 107 \text{ tm/ml}$$

C.b) Travée 2:

$$M_{t2max} = R_1 + M_{1G}^1$$

$$R_1 = \frac{1}{1} \left(q \frac{l_2^2}{2} - p(4l_2 - 10d_2) \right)$$



$$R_2 = q \frac{l_2^2}{8} - p(3l_2 - 8d_2) = 675$$

$$M_{t2max} = 675 - 431 = 244 \text{ tm/ml}$$

EFFORTS DANS P.P. 2 :

A. Moments fléchissants sur appui :

$$M_{1q}^2 = \frac{\frac{q}{4} (l_1^3 + l_2^3)}{(2l_1 + 3l_2)} = \frac{3,56 (67,2 \cdot 10^3)}{160} = -370 \text{ tm/ml}$$

$$M_{1p}^2 = \frac{-6,7 \cdot 7,349}{160} = \frac{3560}{160} = -22,3 \text{ tm/ml}$$

$$M_1^2 G = M_{2q} + M_{2p} = -(370 + 22,3) = -392,3 \text{ tm/ml}$$

B. Efforts tranchants :

1) sur appuis :



$$T_{od} = \frac{1}{2} (3,53 \cdot 23 + 2 \cdot 1,7) - \frac{392,3}{23} = 42,3 - 17,1 = 25,2 \text{ t/ml}$$

$$T_{1g} = -(42,3 + \frac{392,3}{23}) = -59,4 \text{ t/ml}$$

$$T_{1g} = \frac{1}{2} (3,53 \cdot 38 + 4 \cdot 1,7) = 70,4 \text{ t/ml}$$

2) En travée :

(1. Tx = 0 à x =

$$(T_{od} - q \cdot x - 2p = 0 \rightarrow x = \frac{T_{od} - 2p}{q} = \frac{25,2 - 3,4}{3,23} = 6,18 \text{ m}$$

(2. Tx = 0 à $\frac{l_2}{2}$ à raison de la symétrie .

C. Moments fléchissants en travée :

$$M_{t1 \text{ max}} = R_1 + M_1^2 \frac{x}{l_1} = \text{avec } R_1 = R_0 \cdot x - \frac{q}{2} x^2$$

$$(R_0 = 42,2 \text{ t} \\ R_1 = 42,2 \cdot 6,18 - \frac{3,53}{2} \cdot 6,18^2 = 194 \text{ t.m}$$

$$M_{t2 \text{ max}} = R_2 + M_1^2 = \text{avec } R_2 = \frac{1}{8} q l_2^2 - p(3l_2 - 8d_2)$$

$$(R_2 = 635 - 90,5 = 544,5 \text{ t.m}$$

$$M_{t1 \text{ max}} = 194 - 392,3 \cdot \frac{6,18}{23} = 194 - 105,5 = 88,5 \text{ tm/ml}$$

$$M_{t2 \text{ max}} = 544,5 - 392,3 = 152,2 \text{ tm/ml}$$

Tableau récapitulatif des efforts dûs à G :

	M_1	$M_{t1_{max}}$	$M_{t2_{max}}$	To	T _{1G}	T _{1D}
PP 1	-431,1	107	244	26,15	-65,55	77,7
PP 2	-392,3	88,5	152,2	25,20	-59,40	70,4

B. EFFORTS DANS LES POUTRES PRINCIPALES
SOUS LES SURCHARGES P

I Efforts dans les poutres principales dûs à la surcharge
uniforme A (l) :

1. Surcharge A :

$$A(l) = 350 + \frac{320 \cdot 10^6}{L^3 + 60L^2 + 225 \cdot 000}$$

(A(l) s'applique sur l surface Lx l

avec
L= longueur du pont surchargée en m
qui donnera l'effet maxi.

l= Largeur surchargée en m

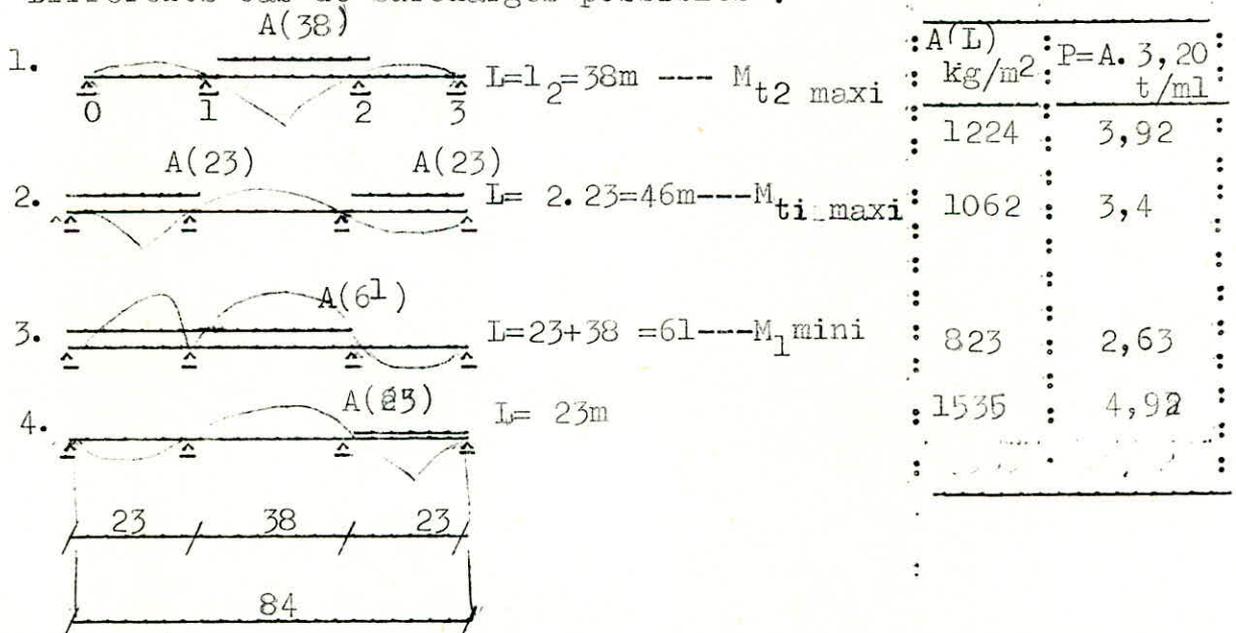
A(l) doit produire l'effet maxi
dans la poutre principale étudiée

Recherche de la longueur surchargée (L)
Donnant l'effet maxi ---- :

Cela s'obtient en traçant les lignes d'influence pour différents sections de chaque travée (let2) et pour l'appui 2, car notre ouvrage présente l symétrie à mi-portée totale (de 84 m)

Pour l'appui 1 ---- $M_1 = 0$ ---- $M_4 = 0$

- Différents cas de surcharges possibles :

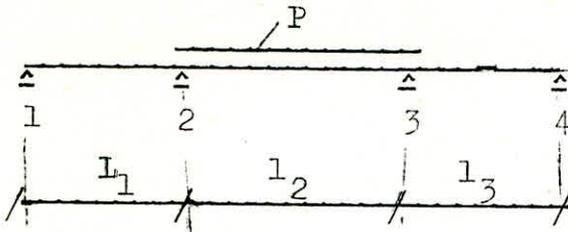


Remarque : P= A. 3,2 intéresse une poutre intermédiaire (2m3)
pour 1 poutre de rive les effets seront divisés par 2

Calcul / Etude des cas 1, 2, 3 --- Trace les lignes d'influence

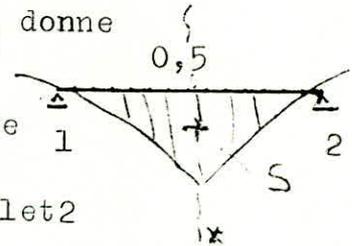
A. MOMENTS FLECHISSANTS.

Cas 1 : $A(l_2) p = 3,92 \text{ t/ml}$:



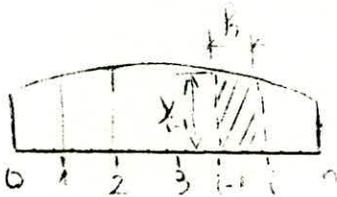
Le tracé de la ligne d'influence pour $x=0,5l_2$ donne

d'où M_{t2max} dû à $A(l_2)=P.S$ avec $S=Aire$ limitée par l'axe 1.2 et ligne d'influence ente let2



S sera calculé par la formule de simpson .

Principe de la méthode :



(l= courbe continue
(n= nombre pair
(i-(i-i)= h

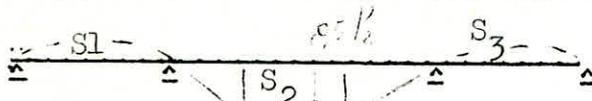
$$S = \frac{h}{3} (y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + 2y_4 + \dots + 2y_{n-2} + 4y_{n-1} + y_n) = \frac{h}{3} \cdot A$$

D'une manière générale :

Pour une travée $A_{i-1}A_i$ étant divisée en 10 parties égales donc :

$$S = \frac{li}{3} (y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + 2y_4 + 4y_5 + 2y_6 + 4y_7 + 2y_8 + 4y_9 + y_{10})$$

Cas 1 $A(l_2) \rightarrow P = 3,92 \text{ t/ml}$ et $A-(l_1+l_3) \rightarrow P = 3,4 \text{ t/ml}$



$$- S_2 = \frac{3,8}{3} A_2 = 1,26 A_2$$

$$- S_1 = S_3 = \frac{2,3}{3} A_1 = 0,765 A_1$$

$$- S^+ = S_2 \quad (M^+_{0,5h} = 3,92 S^+)$$

$$- S^- = S_1 + S_3 \quad (M^-_{0,5l_2} = 3,4 S^-)$$

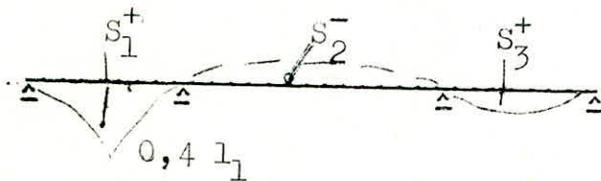
: Expression du moment : $M = M_{max} \frac{I_i}{.I_i} \Delta_i$, $\Delta_i = \text{Coef d'excent.}$

$\Delta_i = 1$ pour le cas de charge $A(l)$, car la résultante étant confondu avec l'axe de symétrie transversal de l'ouvrage, soit $e=0$

Travée	2	1	3
Ai	+80,204	-12,054	-12,054
Si	+101	-9,2	-9,2
$M_{t0,5l_2}$ (tm)	$3,92 \cdot 101 =$ +396	max	$3,4 \cdot (-18,4) =$ -62,5
Mtx20 % (tm)	+425		-75

Cas 2. $A^+(l_1 - l_3) \rightarrow P = 3,4 \text{ t/ml}$

$A^-(l_2) \rightarrow p = 3,92 \text{ t/ml}$

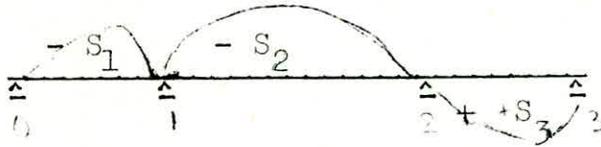


$$\begin{aligned}
 S_1 &= 0,765 A_1 \\
 S_2 &= 1,26 A_2 \\
 S_3 &= 0,765 A_3 \\
 S^{\#} &= S_1 + S_3 \\
 S^- &= S_2
 \end{aligned}
 \quad \left(\begin{array}{l}
 M_{t0,4l_1}^+ = 3,4 S^+ \\
 M_{t0,4l_1}^- = 3,92 S^-
 \end{array} \right)$$

Travée	1	3	2
Ai	+64,926	+4,458	-26,068
Si	+49,75	+3,42	-32,9
$M_{t0,4l_1}$ (tm)	max	$53,17$	min
	+181		-129
Mtx20 %	+216		-155

Cas 3. $A^-(l_1+l_2)$ ---- $P= 2,63 \text{ t/ml}$

$A^+(l_3)$ ---- $P= 4,92 \text{ t/ml}$



$$S^- = S_1 + S_2$$

$$S^- = \frac{2,3}{3} (A_1) + \frac{3,8}{3} \cdot A_2 = -103,6$$

$$S^+ = S_3 = \frac{2,3}{3} \cdot 11,138 = 8,55$$

$$M_1^+ \text{ max} = 4,92 \cdot S^+$$

$$M_1^- \text{ min} = 2,63 \cdot S^-$$

Travée :	1	2	3
Ai	- 26,09	-60,34	+ 11,138
Si	- 27,6	-76	+8,55
	-103,6		
M_1 (tm)	-272		+42
$M_1 \times 20$ % M_{1tm}	-326		+50,5

Récapitulation des moments dus à A(1):

M A(1) pour P P1		: A(1) pour P P2		
M^+ (tm)	M^- (tm)	section	M^+ (tm)	M^- (tm)
212,5	-37,5	0,5 l_2	425	-75
108	-77,5	0,4 l_1	216	-155
25,25	-168	appui 1	50,5	-326

B. EFFORTS TRANCHANTS DUS A A(1)

a). Le principe de calcul est identique à celui des Moments
c. a; d : Formule de simpson d'après les lignes d'influence
de T (α, x).

b). $T_0 \begin{cases} \text{maximum pour } A(l_1+l_3) \\ \text{minimum pour } A(l_2) \end{cases}$ cas (1)

$T_1 G \begin{cases} \text{mini pour } A(l_1+l_2) \\ \text{maxi pour } A(l_3) \end{cases}$ cas (2)

$T_1 D \begin{cases} \text{maxi pour } A(l_1+l_2) \\ \text{mini pour } A(l_3) \end{cases}$ cas (3)

Cas 1. : To

a).

Travée	1	2	3
Ai	+13,328	- 2,780	+ 0,438

b) $S^+ = S_1 + S_3 = \frac{2,3}{3}(A_1 + A_3) = 0,765 (13,328 + 0,438)$

$= 0,765 \cdot 13,766 \rightarrow \boxed{S^+ = 10,5 \text{ m}}$

$S^- = S_2 = \frac{3,8}{3} \cdot A_2 = 1,26(-2,78) \rightarrow \boxed{S^- = -3,5 \text{ m}}$

$To^+ = p \sqrt{A(l_1+l_3)} \cdot S^+ \cdot 20\% = 3,4 \cdot 10,5 = 35,8 \times 1,2 = 43t$

$To^- = p \sqrt{A(l_2)} \cdot S^- \cdot 20\% = -3,92 \cdot 3,5 = -13,7 \times 1,2 = -16,5t$

To ⁺	To ⁻
43t	- 16,5t

Cas 2 : T₁G

a).

Travée	1	2	3
Ai	-16,560	- 2,820	+ 0,438

b) $S^+ = S_3 = \frac{2,3}{3} A_3 = 0,765 \cdot 0,438 \rightarrow \boxed{S^+ = 0,335 \text{ m}}$

$S^- = S_1 + S_2 = \frac{2,3}{3} A_1 + \frac{3,8}{3} \cdot A_2 = 0,765 (-16,56) = -12,65$
 $+ 1,26 (- 2,82) = - 3,55 \rightarrow \boxed{S^- = 16,20}$

$$\rightarrow T_{1G}^+ = P \sqrt{A(1,3)} \cdot S^+ 20\% = 4,92 \cdot 0,335 = 1,65 \times 1,2 = 1,98t$$

$$\rightarrow T_{1G}^- = P \sqrt{A(1,1+1,2)} \cdot S^- \cdot 20\% = -2,63 \cdot 16,2 = -42,7 \times 1,2 = -51,2 t$$

T_{1G}^+	T_{1G}^-
1,98t	- 51,2t

Cas 3 : T_{1D}

a)

Travée	1	2	3
Ai	+1,242	+14,908	- 1,236

b) $S^+ = S_1 + S_2 = \frac{2,3}{3} A_1 + \frac{3,8}{3} A_2 = 0,765 \cdot 1,242 = 0,95$
 $+ 1,26 \cdot 14,908 = 18,8$

$S^+ = 19,75$

$S^- = S_2 = \frac{2,3}{3} A_3 = 0,765 \cdot (1,236) \rightarrow S^- = 0,945$

$$T_{1D}^+ = P \sqrt{A(1,1+1,2)} \cdot S^+ \cdot 20\% = 2,63 \cdot 19,75 = 52 \times 1,2 = 62,5t$$

$$T_{1D}^- = P \sqrt{A(1,3)} \cdot S^- \cdot 20\% = -4,92 \cdot 0,945 = -4,65 \times 1,2 = -5,6t$$

T_{1D}^+	T_{1D}^-
62,5t	-5,6t

c) Récapitulation des $T(A(1))$

TA(1) PP1		T A(1) PP2	
$T^+(t)$	$T^-(t)$	$T^+(t)$	$T^-(t)$
+ 21,5	- 8,25	0	43
+0,99	- 25,6	1G	1,98
31,25	- 2,8	1D	62,5
			-5,6

II. Efforts dûs à la surcharges des trottoirs :

A) Moments fléchissants :

a) Estimation de la surcharge q en t/ml (correspondant aux 2 trottoirs).

B) Part revenant à chaque poutre = $\frac{q}{n} = \frac{q}{4}$ à majorer par 20%

: type de surcharge	: q en t/ml	:
: 150 kg/m ²	: q = 150 kg/m ² x 2 largeur	:
: sur toute la largeur du trottoir	: d'un trottoir	:
:	: = 150 x 2.1,60 = 480 kg/ml	:

$$q_{t/ml} \text{ pour 1 p.p} = \frac{0,48}{4} = 0,12 \text{ t/ml}$$

$$q \text{ réel} = q \times 20\% = 0,12 \times 1,2 = 0,144 \text{ t/ml}$$

c) Le procédé de calcul pour obtenir l'effet défavorable reste identique à A(1).

Cas 1 :

a) $M_{0,5 l_2}^+$ pour A(1₂):

$$M_{0,5 l_2}^+ = S^+ \cdot q = 101 \times 0,144 = 14,5 \text{ tm}$$

b) $M_{0,4 l_2}^-$ pour (1₁+1₃)

$$M_{0,5 l_2}^- = -18,4 \cdot 0,144 = -2,67 \text{ tm}$$

Cas 2 :

a) $M_{0,4 l_1}^+$ pour A(1₁+1₃):

$$M_{0,4 l_1}^+ = 53,17 \cdot 0,144 = +7,7 \text{ tm}$$

b) $M_{0,4 l_1}^-$ pour A(1₂):

$$M_{0,4 l_1}^- = -32,9 \cdot 0,144 = -4,77 \text{ tm}$$

Cas 3:

a) M_1^+ pour A(1₃):

$$M_1^+ = 42 \cdot 0,144 = 6,1 \text{ tm}$$

b) M_1^- pour A(1₁+1₂):

$$M_1^- = -103,6 \cdot 0,144 = -15 \text{ tm}$$

B. Effort tranchant :

a) Calcul

Cas 1: T₀

$$T_0^+ = q \cdot S^+ = 0,144 \cdot 10,5 = 1,52 \text{ t}$$

$$T_0^- = q \cdot S^- = -0,144 \cdot 3,5 = -0,51 \text{ t}$$

Cas 2: T₁G :

$$T_1^+G = q \cdot S^+ = 0,144 \cdot 0,335 = 0,0485 \text{ t}$$

$$T_1^-G = q \cdot S^- = -0,144 \cdot 16,2 = -2,35 \text{ t}$$

Cas 3: T₁D

$$T_1^+D = q \cdot S^+ = 0,144 \cdot 19,75 = 2,86 \text{ t}$$

$$T_1^-D = q \cdot S^- = 0,144 \cdot 0,945 = -0,137 \text{ t}$$

b) Récapitulation de T :

T Tronçon	
Appui	T _t ⁺ T _t ⁻
T ₀	1,52 - 0,51
T ₁ G	0,0485 - 2,35
T ₁ D	2,86 - 0,137

III. EFFORTS DANS LES POUTRES PRINCIPALES DUS

AUX SURCHARGES Bc.

Calcul du coefficient de répartition transversal

1. Coefficient de majoration dynamique :

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1+0,2 \cdot L} + \frac{0,6}{1+4 \frac{P}{S}}$$

L = portée de la travée

P = poids total de l'ouvrage correspondant à cette travée

S = surcharge maximum qu'on peut appliquer sur le tablier de cette travée d'après le nombre de voies de circulation.

a) Travée extrême 1 ou 3 :

L = 23 m	(	(tablier = 10 = 10
P = G ₁ t/ml x 23	(	(trottoir = 2x0,437 = 0,874
S = 2x3.30 t	(	(charpente = 1,03x4 = 4,12
= 180t	(	entretoise = 0,575x4 = 2,3
	(	P = G ₁ . 23 = 400t
	(	G ₁ = 17,274 d'où P = 400t

$$\delta_1 = 1 + \frac{0,4}{1+0,2 \cdot 23} + \frac{0,6}{1+4 \frac{400}{180}} = \frac{0,4}{5,6} + \frac{0,6}{9,88} = 1+0,0715 + 0,0607$$

$$\delta_1 = 1,1322$$

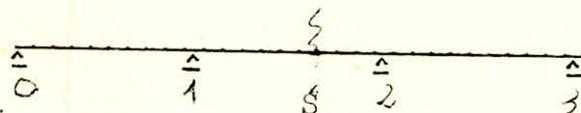
b) Travée centrale 2 :

L = 38m	(	(Tablier = 10
P = G ₂ . 38	(	(Trottoir = 0,874
S = 180t	(	(charpente = 4,120 --- P = 18,444x38 = 700t
	(	entretoise x 0,575 = 3,450

$$\delta_2 = 1 + \frac{0,4}{1+0,2 \cdot 38} + \frac{0,6}{1+4 \frac{700}{180}} = 1 + \frac{0,4}{8,6} + \frac{0,6}{16,6} = 1+0,0465 + 0,0362$$

$$\delta_2 = 1,0827$$

2. Calcul des Moments :



Le Moment dans la section "S" de la poutre i est donné

par $M_i = M \cdot \frac{i}{\sum I_i} \cdot \Delta_i$ en désignant par :

- M = Moment fléchissant sur l'ensemble du pont dans la section "S", obtenue avec la disposition défavorable des essieux d'un seul convoi dans le sens longitudinal.

I_i = Moment d'inertie de la poutre i.

$\Delta_i =$ Coefficient d'excentricité = $1 + \frac{\sum I_i}{\sum I_i \cdot x_i^2} \cdot x_i \cdot e$

section: $\frac{x}{l_i} = \frac{x}{l_i} - 0,5$		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨		
Position de la charge P=1			$1 - \frac{x}{l_i}$	$1 - \frac{x}{l_i}$	$x(1 - \frac{x}{l_i})$	$x(1 - \frac{x}{l_i})$	$M_1(x)$	$M_2(x)$	$M(x; 0,5l_i)$	$M(x; 0,5l_i)$		
x en m.	travée	$\frac{x}{l_i}$	$1 - \textcircled{1}$		$x \cdot \textcircled{3}$	$x \cdot \textcircled{2}$						
2,3	1				+1,61	+6,21	-0,475	+0,146	+1,4675	-0,2887	3	
3,8	2	0,1	0,9	0,7	2,66	10,26	-1,760	-0,592	-0,528	+1,1504	2	0,9
2,3	3				1,61	6,21	+0,255	-0,822	+0,0765	-0,0681	1	
4,6	1				3,32	5,52	-0,922	+0,286	+3,043	-0,5696	3	
7,6	2	0,2	0,8	0,7	5,12	9,12	-2,86	-1,315	-0,858	+2,7235	2	0,8
4,6	3				3,22	5,52	+0,433	-1,43	+0,1259	-0,1259	1	
6,9	1				4,83	4,83	-1,310	+0,406	+4,437	-0,7952	3	
11,4	2	0,3	0,7	0,7	7,98	7,98	-3,41	-2,062	-1,023	+4,9764	2	0,7
6,9	3				4,83	4,83	+0,532	-1,715	+0,1596	-0,1421	1	
9,2	1				6,44	4,13	-1,61	+0,500	+3,647	-0,9770	3	
15,2	2	0,4	0,6	0,7	10,64	6,84	-3,51	-2,74	-1,053	+3,5610	2	0,6
9,2	3				6,44	4,13	+0,572	-1,84	+0,1716	-0,1516	1	
11,5	1				8,05	3,45	-1,80	+0,558	+2,91	-1,0920	3	
19,0	2	0,5	0,5	0,7	13,30	5,70	-3,26	-3,26	-0,978	+2,4400	2	0,5
11,5	3				8,05	3,45	+0,558	-1,80	+0,1674	-0,1494	1	
13,8	1				9,66	2,76	-1,84	+0,572	+2,208	-1,1164	3	
22,8	2	0,6	0,4	0,7	15,96	4,56	-2,74	-3,51	-0,822	+1,5840	2	0,4
13,8	3				9,66	2,76	+0,50	-1,61	+0,150	-0,1330	1	
16,1	1				11,27	2,07	-1,715	+0,532	+1,555	-1,0409	3	
26,6	2	0,7	0,3	0,7	18,62	3,42	-2,062	-3,41	-0,6186	+0,9536	2	0,3
16,1	3				11,27	2,07	+0,406	-1,31	+0,1218	-0,1080	1	
18,4	1				12,88	1,38	-1,430	+0,433	+0,9510	-0,8717	3	
30,4	2	0,8	0,2	0,7	21,28	2,28	-1,315	-2,86	-0,3945	+0,5015	2	0,2
18,4	3				12,88	1,38	+0,286	-0,922	+0,0858	-0,0764	1	
20,7	1				14,49	0,69	-0,822	+0,255	+0,4434	-0,4989	3	
34,2	2	0,9	0,1	0,7	23,94	1,14	-0,592	-1,76	-0,1776	+0,1976	2	0,1
20,7	3				14,49	0,69	+0,145	-0,475	+0,0438	-0,0403	1	
23,0	1				16,1	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	3	
38,0	2	1	0	0,7	26,6	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	2	0,0
23,0	3				16,1	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	1	
									$M(x; 0,7l_i)$	$M(x; 0,7l_i)$	travée	$\frac{x}{l_i}$
									⑩	⑪	Sect: $\frac{x}{l_i} = \frac{x}{l_i} - 0,5$	
											Position de la charge P=1	

section: $\frac{x}{l_1} = 0,6$		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧			
Position de la charge $P=1$		$\frac{q}{l_1}$	$1 - \frac{q}{l_1}$	$1 - \frac{x}{l_1}$	$q(1 - \frac{x}{l_1})$	$x(1 - \frac{q}{l_1})$	$M_1(x)$	$M_2(x)$	$M(q; 0,6l_1)$			
x en m.	travée		$1 - ①$		$q \cdot ③$	$x \cdot ②$						
2,3	1				+0,92	+12,42	-0,475	+0,146	+0,6350	3	20,7	0,9
3,8	2	0,1	0,9	0,4	1,52	20,52	-1,76	-0,592	-1,056	2	34,2	
2,3	3				0,92	12,42	+0,255	-0,822	+0,153	1	20,7	
4,6	1				1,84	11,04	-0,922	+0,286	+1,3768	3	18,4	0,8
7,6	2	0,2	0,8	0,4	3,04	18,24	-2,86	-1,315	-1,7150	2	30,4	
4,6	3				1,84	11,04	+0,433	-1,430	+0,2598	1	18,4	
6,9	1				2,76	9,66	-1,31	+0,406	+1,974	3	16,1	0,7
11,4	2	0,3	0,7	0,4	4,56	15,96	-3,41	-2,062	-2,046	2	26,6	
6,9	3				2,76	9,66	+0,532	-1,715	+0,3192	1	16,1	
9,2	1				3,68	8,28	-1,61	+0,500	+2,7140	3	13,8	0,6
15,2	2	0,4	0,6	0,4	5,08	13,68	-3,51	-2,740	-2,106	2	22,8	
9,2	3				3,68	8,28	+0,572	-1,840	+0,3432	1	13,8	
11,5	1				4,60	6,90	-1,800	+0,558	+3,520	3	11,5	0,5
19,0	2	0,5	0,5	0,4	7,60	11,40	-3,260	-3,260	-1,956	2	19,0	
11,5	3				4,60	6,90	+0,558	-1,800	+0,3348	1	11,5	
13,8	1				5,52	5,52	-1,840	+0,572	+4,416	3	9,2	0,4
22,8	2	0,6	0,4	0,4	9,12	9,12	-2,740	-3,510	-1,644	2	15,2	
13,8	3				5,52	5,52	+0,500	-1,610	+0,300	1	9,2	
16,1	1				6,44	4,14	-1,715	+0,532	+3,111	3	6,9	0,3
26,6	2	0,7	0,3	0,4	10,64	6,84	-2,062	-3,410	-1,2372	2	11,4	
16,1	3				6,44	4,14	+0,406	-1,310	+0,2436	1	6,9	
18,4	1				7,36	2,76	-1,430	+0,433	+1,902	3	4,6	0,2
30,4	2	0,8	0,2	0,4	12,16	4,56	-1,315	-2,860	-0,7890	2	7,6	
18,4	3				7,36	2,76	+0,286	-0,922	+0,1710	1	4,6	
20,7	1				8,28	1,38	-0,822	+0,255	+0,8868	3	2,3	0,1
34,2	2	0,9	0,1	0,4	13,68	2,28	-0,592	-1,760	-0,3462	2	3,8	
20,7	3				8,28	1,38	+0,146	-0,475	+0,0876	1	2,3	
23,0	1				9,20	0	0	0	0	3	0	0
38,0	2	1	0	0,4	15,20	0	0	0	0	2	0	
23,0	3				9,20	0	0	0	0	1	0	

⑨ section: $\frac{x}{l_3} = 0,4$
 Position de $P=1$.
 travée x en m $\frac{q}{l_3}$

section: $\frac{x}{l_1} = 0,7$		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧			
Position de P=1		$\frac{x}{l_1}$	$1 - \frac{x}{l_1}$	$1 - \frac{x}{l_1}$	$x(1 - \frac{x}{l_1})$	$x(1 - \frac{x}{l_1})$	$M_1(x)$	$M_2(x)$	$M(x; 0,7l_1)$			
α en m.	travée		1 - ①		$\alpha \cdot ③$	$x \cdot ②$						
2,3	1	0,1	0,9	0,3	+0,69	+14,50	-0,475	+0,146	+0,3575	3	20,7	0,9
3,8	2				+1,14	23,95	-1,760	-0,592	-1,2320	2	34,2	
2,3	3				0,69	14,50	+0,255	-0,822	+0,1785	1	20,7	
4,6	1	0,2	0,8	0,3	1,38	12,88	-0,922	+0,286	+0,7346	3	18,4	0,8
7,6	2				2,28	21,28	-2,860	-1,315	-2,0020	2	30,4	
4,6	3				1,38	12,88	+0,433	-1,430	+0,3031	1	18,4	
6,9	1	0,3	0,7	0,3	2,07	11,28	-1,310	+0,406	+1,1530	3	16,1	0,7
11,4	2				3,42	18,62	-3,410	-2,062	-2,3870	2	26,6	
6,9	3				2,07	11,28	+0,532	-1,715	+0,3724	1	16,1	
9,2	1	0,4	0,6	0,3	2,76	9,67	-1,610	+0,500	+1,6330	3	13,8	0,6
15,2	2				4,56	14,64	-3,510	-2,740	-2,4570	2	22,8	
9,2	3				2,76	9,67	+0,572	-1,840	+0,4004	1	13,8	
11,5	1	0,5	0,5	0,3	3,45	8,06	-1,800	+0,558	+2,1900	3	11,5	0,5
19,0	2				5,70	13,30	-3,260	-3,260	-2,282	2	19,0	
11,5	3				3,45	8,60	+0,558	-1,800	+0,3906	1	11,5	
13,8	1	0,6	0,4	0,3	4,14	6,44	-1,840	+0,572	+2,8520	3	9,2	0,4
22,8	2				6,84	10,64	-2,740	-3,510	-1,9180	2	15,2	
13,8	3				4,14	6,44	+0,500	-1,510	+0,3500	1	9,2	
16,1	1	0,7	0,3	0,3	4,83	4,83	-1,715	+0,532	+3,6290	3	6,9	0,3
26,6	2				7,98	7,98	-2,062	-3,410	-1,4434	2	11,4	
16,1	3				4,83	4,83	+0,406	-1,310	+0,2842	1	6,9	
18,4	1	0,8	0,2	0,3	5,52	3,22	-1,430	+0,433	+2,2190	3	4,6	0,2
30,4	2				9,12	5,32	-1,315	-2,860	-0,9205	2	7,6	
18,4	3				5,52	3,22	+0,286	-0,922	+0,2002	1	4,6	
20,7	1	0,9	0,1	0,3	6,21	1,61	-0,822	+0,255	+1,0346	3	2,3	0,1
34,2	2				10,26	2,66	-0,592	-1,760	-0,4144	2	3,8	
20,7	3				6,21	1,61	+0,146	-0,475	+0,1022	1	2,3	
23,0	1	1	0	0,3	6,90	0	0	0	0	3	0	0
38,0	2				11,40	0	0	0	0	2	0	
23,0	3				6,90	0	0	0	0	1	0	
									$M(x; 0,3l_1)$	travée	α en m.	$\frac{x}{l_3}$
									⑨	section: $\frac{x}{l_3} = 0,3$ Position de P=1		

SECTION: $\frac{x_1 - x_2}{l_1 - l_2}$		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨		
position de la charge $P=1$		$\frac{x}{l_1}$	$1 - \frac{x}{l_1}$	$1 - \frac{x}{l_2}$	$x(1 - \frac{x}{l_1})$	$x(1 - \frac{x}{l_2})$	$M_1(x)$	$M_2(x)$	$M(x; 0,6l_1)$	$M(x; 0,6l_2)$		
x en m	travée		$1 - ①$		$x \cdot ③$	$x \cdot ②$						
2,3	1	0,1	0,9	0,6	+ 1,38	+ 8,28	- 0,475	+ 0,146	+ 1,210	- 0,2266	3	0,9
3,8	2				2,28	13,68	- 1,76	- 0,592	- 0,704	+ 0,9872	2	
3,3	3				1,38	8,28	+ 0,255	- 0,822	+ 0,1020	- 0,1758	1	
4,6	1	0,2	0,8	0,6	2,76	7,36	- 0,922	+ 0,286	+ 2,391	- 0,4388	3	0,8
7,6	2				4,56	12,16	- 2,86	- 1,315	- 1,144	+ 2,318	2	
4,6	3				2,76	7,36	+ 0,433	- 1,430	+ 0,1732	- 0,3128	1	
6,9	1	0,3	0,7	0,6	4,14	6,44	- 1,31	+ 0,406	+ 3,616	- 0,6636	3	0,7
11,4	2				6,84	10,64	- 3,41	- 2,062	- 1,364	+ 3,9692	2	
6,9	3				4,14	6,44	+ 0,532	- 1,715	+ 0,2128	- 0,3668	1	
9,2	1	0,4	0,6	0,6	5,52	5,52	- 1,61	+ 0,500	+ 4,876	- 0,766	3	0,6
15,2	2				9,12	9,12	- 3,51	- 2,74	- 1,404	+ 5,918	2	
9,2	3				5,52	5,52	+ 0,572	- 1,84	+ 0,2288	- 0,3928	1	
11,5	1	0,5	0,5	0,6	6,90	4,60	- 1,80	+ 0,558	+ 3,880	- 0,8568	3	0,5
19,0	2				11,40	7,60	- 3,26	- 3,26	- 1,304	+ 4,348	2	
11,5	3				6,90	4,60	+ 0,558	- 1,80	+ 0,2232	- 0,3852	1	
13,8	1	0,6	0,4	0,6	8,28	3,68	- 1,84	+ 0,572	+ 2,944	- 0,8752	3	0,4
22,8	2				13,68	6,08	- 2,74	- 3,51	- 1,096	+ 3,032	2	
13,8	3				8,28	3,68	- 0,50	- 1,61	+ 0,200	- 0,344	1	
16,1	1	0,7	0,3	0,6	9,66	2,76	+ 1,715	+ 0,532	+ 2,074	- 0,8162	3	0,3
26,6	2				15,96	4,56	- 2,062	- 3,41	- 0,8248	+ 1,9582	2	
16,1	3				9,66	2,76	+ 0,406	- 1,31	+ 0,1624	- 0,2804	1	
18,4	1	0,8	0,2	0,6	11,04	1,84	- 1,430	+ 0,433	+ 1,268	- 0,6848	3	0,2
30,4	2				18,24	3,04	- 1,315	- 2,86	- 0,5250	+ 1,107	2	
18,4	3				11,04	1,84	+ 0,280	- 0,922	+ 0,1144	- 0,1972	1	
20,7	1	0,9	0,1	0,6	12,42	0,92	- 0,822	+ 0,255	+ 0,5912	- 0,3912	3	0,1
34,2	2				20,52	1,52	- 0,592	- 1,76	- 0,2368	+ 0,4698	2	
20,7	3				12,42	0,92	+ 0,146	- 0,475	+ 0,0584	- 0,1024	1	
23,0	1	1	0	0,6	13,80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3	0
37,0	2				22,80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2	
23,0	3				13,80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1	
									$M(x; 0,6l_1)$	$M(x; 0,6l_2)$	travée	$\frac{x}{l_1}$
									⑩	⑪	Sect: $\frac{x_1 - x_2}{l_1 - l_2} = 0,6$	

section: $\frac{x}{l_i} = 0,5$		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨		
Position de la charge P=1			$1 - \frac{x}{l_i}$	$1 - \frac{x}{l_i}$	$x(1 - \frac{x}{l_i})$	$x(1 - \frac{x}{l_i})$	$M_1(x)$	$M_2(x)$	$M(x; 0,5l_1)$	$M(x; 0,5l_2)$		
α en m.	travée	$\frac{x}{l_i}$	$1 - \text{①}$		$x \cdot \text{③}$	$x \cdot \text{②}$						
2,3	1				+ 1,15	+ 10,35	- 0,475	+ 0,146	+ 0,9125	- 0,1645	3	
3,8	2	0,1	0,9	0,5	1,90	17,10	- 1,760	- 0,592	- 0,8800	+ 0,7238	2	0,9
2,3	3				1,15	10,35	+ 0,255	- 0,822	+ 0,1275	- 0,1835	1	
4,6	1				2,30	9,20	- 0,922	+ 0,286	+ 1,8390	- 0,3180	3	
7,6	2	0,2	0,8	0,5	3,80	15,20	- 2,860	- 1,315	- 1,4300	+ 1,7120	2	0,8
4,6	3				2,30	9,20	+ 0,433	- 1,430	+ 0,2165	- 0,4985	1	
6,9	1				3,45	8,05	- 1,310	+ 0,406	+ 2,7950	- 0,4520	3	
11,4	2	0,3	0,7	0,5	5,70	13,30	- 3,410	- 2,062	- 1,7050	+ 2,9640	2	0,7
6,9	3				3,45	8,05	+ 0,532	- 1,715	- 0,2660	- 0,5915	1	
9,2	1				4,60	6,90	- 1,610	+ 0,500	+ 3,7950	- 0,5550	3	
15,2	2	0,4	0,6	0,5	7,60	11,40	- 3,510	- 2,740	- 1,7550	+ 4,475	2	0,6
9,2	3				4,60	6,90	+ 0,572	- 1,840	+ 0,2860	- 0,6340	1	
11,5	1				5,75	5,75	- 1,80	+ 0,558	+ 4,8450	- 0,5210	3	
19,0	2	0,5	0,5	0,5	9,50	9,50	- 3,260	- 3,260	- 1,6300	+ 6,240	2	0,5
11,5	3				5,75	5,75	+ 0,558	- 1,800	+ 0,2790	- 0,6210	1	
13,8	1				6,90	4,60	- 1,840	+ 0,572	+ 3,680	- 0,6340	3	
22,8	2	0,6	0,4	0,5	11,40	7,60	- 2,740	- 3,510	- 1,3700	+ 4,4750	2	0,4
13,8	3				6,90	4,60	+ 0,500	- 1,610	+ 0,2500	- 0,5550	1	
16,1	1				8,05	3,45	- 1,715	+ 0,532	+ 2,5925	- 0,5915	3	
26,6	2	0,7	0,3	0,5	13,30	5,70	- 2,062	- 3,460	- 1,0310	+ 2,9640	2	0,3
16,1	3				8,05	3,45	+ 0,406	- 1,310	+ 0,2030	- 0,4520	1	
18,4	1				9,20	2,30	- 1,430	+ 0,433	+ 1,585	- 0,4985	3	
30,4	2	0,8	0,2	0,5	15,20	3,80	- 1,315	- 2,860	- 0,6565	+ 1,7125	2	0,2
18,4	3				9,20	2,30	+ 0,286	- 0,922	+ 0,1430	- 0,3180	1	
20,7	1				10,35	1,15	- 0,822	+ 0,255	+ 0,7390	- 0,1835	3	
34,2	2	0,9	0,1	0,5	17,10	1,90	- 0,592	- 1,760	- 0,2960	+ 0,7240	2	0,1
20,7	3				10,35	1,15	+ 0,146	+ 0,475	+ 0,0730	- 0,1645	1	
23,0	1				11,50	0	0	0	0	0	3	
38,0	2	1	0	0,5	19,00	0	0	0	0	0	2	0
23,0	3				11,50	0	0	0	0	0	1	

$M(x; 0,5l_2)$: travée $\frac{x}{l_2}$
 ⑩ : $\frac{x}{l_2} = 0,5$
 Position de P=1

APPUI 1		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	M _{1(x)}		
Position de la ch. P=1		$\frac{x}{l_i}$	$1 - \frac{x}{l_i}$	$1 + \frac{x}{l_i}$	$\frac{x}{l_i} (1 - \frac{x}{l_i})$	$\frac{x}{l_i} (1 - \frac{x}{l_i}) (\frac{x}{l_i} + 1)$	$\frac{x}{l_i} - 2$	$3,34 (\frac{x}{l_i} - 2)$	$3,34 (\frac{x}{l_i} - 2) + 1 + \frac{x}{l_i}$	$3,34 (\frac{x}{l_i} - 2) + 1 + \frac{x}{l_i}] \times 4$	M _{1(x)}	M _{1(x)} travée 1 = -4,8. ⑤	M _{1(x)} — 2 = +3,12 ⑨	M _{1(x)} — 3 = -0,31 M _{2(x)} avec M _{2(x)} travée 3
α en m	travée i		1-①	1+①	①.②	③.④	①-2	3,34.⑥	③+⑦	④.⑧				
2,3	1					0,099						-0,475	3	
3,8	2	0,1	0,9	1,1	0,09	0,099	-1,9	-6,35	-5,25	-0,4725		-1,760	2	0,9
2,3	3					0,099						+0,255	1	
4,6	1					0,192						-0,922	3	
7,6	2	0,2	0,8	1,2	0,16	0,192	-1,8	-6,01	-4,81	-0,770		-2,860	2	0,8
4,6	3					0,192						+0,433	1	
6,9	1					0,273						-1,310	3	
11,4	2	0,3	0,7	1,3	0,21	0,273	-1,7	-5,67	-4,37	-0,917		-3,410	2	0,7
6,9	3					0,273						+0,532	3	
9,2	1					0,336						-1,610	3	
15,2	2	0,4	0,6	1,4	0,24	0,336	-1,6	-5,34	-3,94	-0,945		-3,510	2	0,6
9,2	3					0,336						+0,572	1	
11,5	1					0,375						-1,800	3	
19,0	2	0,5	0,5	1,5	0,25	0,375	-1,5	-5,01	-3,51	-0,878		-3,260	2	0,5
11,5	3					0,375						+0,558	1	
13,8	1					0,384						-1,840	3	
22,8	2	0,6	0,4	1,6	0,24	0,384	-1,4	-4,67	-3,07	-0,737		-2,740	2	0,4
13,8	3					0,384						+0,500	1	
16,1	3					0,357						-1,715	3	
26,6	2	0,7	0,3	1,7	0,21	0,357	-1,3	-4,34	-2,64	-0,555		-2,062	2	0,3
16,1	3					0,357						+0,406	1	
18,4	1					0,298						-1,430	3	
30,4	2	0,8	0,2	1,8	0,16	0,298	-1,2	-4,01	-2,21	-0,354		-1,375	2	0,2
18,4	3					0,298						+0,286	1	
20,7	1					0,171						-0,822	3	
34,2	2	0,9	0,1	1,9	0,09	0,171	-1,1	-3,67	-1,77	-0,159		-0,592	2	0,1
20,7	3					0,171						+0,146	1	
23,0	1					0						0	3	
38,0	2	1	0	2	0	0	-1	-3,34	-1,34	0		0	2	0
23,0	3					0						0	1	
											M _{2(x)}	travée i	$\frac{x}{l_i}$	
											⑪	APPUI 2 Position de P=1		

$T(\alpha, x)$		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧			
Position de la charge B1		$\frac{x}{l_i}$	$1 - \frac{x}{l_i}$	$M_1(\alpha)$	$M_2(\alpha)$	T_0	T_{1G}	T_{1D}	$T_{0,5h}$			
Gen m	haie											
0	1	0,0	1	0	0	1,000	0	0	0	3	23,0	1
0	2			0	0	0	0	1,000	0	2	38,0	
0	3			0	0	0	0	0	0	1	23,0	
2,3	1	0,1	0,9	-0,475	+0,146	+0,8790	-0,1206	+0,0160	+0,0160	3	20,7	0,9
3,8	2			-1,760	-0,592	-0,0765	-0,0765	+0,9308	-0,0692	2	34,2	
2,3	3			+0,255	-0,822	+0,0110	+0,0110	-0,0280	-0,0280	1	20,7	
4,6	1	0,2	0,8	-0,922	+0,286	+0,7600	-0,2400	+0,034	+0,034	3	18,4	0,8
7,6	2			-2,860	-1,315	-0,1240	-0,1240	+0,8406	-0,1600	2	30,4	
4,6	3			+0,433	-1,430	+0,0188	+0,0188	-0,0490	-0,0490	1	18,4	
6,9	1	0,3	0,7	-1,310	+0,406	+0,6430	-0,3570	+0,0450	+0,0450	3	16,1	0,7
11,4	2			-3,410	-2,062	-0,1480	-0,1480	+0,7350	-0,2650	2	26,6	
6,9	3			+0,532	-1,715	+0,0230	+0,0231	-0,0590	-0,0590	1	16,1	
9,2	1	0,4	0,6	-1,610	+0,500	+0,9300	-0,4700	+0,0550	-0,0550	3	13,8	0,6
15,2	2			-3,510	-2,740	-0,1530	-0,1530	+0,6202	-0,3798	2	22,8	
9,2	3			+0,572	-1,840	+0,0248	+0,0248	-0,0630	-0,0630	1	13,8	
11,5	1	0,5	0,5	-1,800	+0,558	+0,4210	-0,5784	+0,0620	+0,0620	3	11,5	0,5
19,0	2			-3,260	-3,260	-0,1420	-0,1420	+0,5000	-0,5000	2	19,0	
11,5	3			+0,558	-1,800	+0,2024	+0,2024	-0,0620	-0,0620	1	11,5	
13,8	1	0,6	0,4	-1,840	+0,572	+0,3200	-0,6800	+0,0630	+0,0630	3	9,2	0,4
22,8	2			-2,740	-3,510	-0,1190	-0,1190	+0,3798	+0,3798	2	15,2	
13,8	3			+0,500	-1,610	+0,0217	+0,0210	-0,0550	-0,0550	1	9,2	
16,1	1	0,7	0,3	-1,715	+0,532	+0,2255	-0,7745	+0,0590	+0,0590	3	6,9	0,3
26,6	2			-2,062	-3,410	-0,0890	-0,0890	+0,2445	+0,2445	2	11,4	
16,1	3			+0,406	-1,310	+0,0160	+0,0160	-0,0450	-0,0450	1	6,9	
18,4	1	0,8	0,2	-1,430	+0,433	+0,1380	-0,8620	+0,0490	+0,0490	3	4,6	0,2
30,4	2			-1,315	-2,860	-0,056	-0,056	+0,1594	+0,1594	2	7,6	
18,4	3			+0,286	-0,922	+0,0124	+0,0124	-0,0310	-0,0310	1	4,6	
20,7	1	0,9	0,1	-0,822	+0,255	+0,065	-0,9350	+0,0280	+0,0280	3	2,3	0,1
34,2	2			-0,592	-1,760	-0,0247	-0,0247	+0,0693	+0,0693	2	3,8	
20,7	3			+0,146	-0,475	+0,0063	+0,0063	-0,0160	-0,0160	1	2,3	
23,0	1	1	0	0	0	0	-1	0	0	3	0	0
38,0	2			0	0	0	0	0	0	2	0	
23	3			0	0	0	0	0	0	1	0	
						T_{2D}	T_{2G}			haie	Gen m.	$\frac{x}{l_i}$
						⑨	⑩	○		$T(\alpha, x)$		
										Position de P=1		

Toutes les poutres ont même section donc $I = \text{Constante}$, et équidistante de $l = 3,20 \text{ m}$.

$I_i = I = \text{Constant}$ ($n = \text{nombre de poutre principal} = 4$)

$\cdot I_i = nI$ ($e = \text{excentricité du système de charge } P$ suivant la disposition dans le sens transversal.)

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

$$M_i = \frac{M}{4} \left(1 + 6 \frac{-4-2i}{16-1} \cdot \frac{e}{3,20}\right) = \frac{M}{4} \left(1 + 6 \cdot \frac{-5+2i}{15} \cdot \frac{e}{3,20}\right)$$

2.1 Disposition défavorable des essieu x sur l'ensemble du pont

Voir répartition longitudinale suivant ligne d'influence: on se limite à 2 camions Bc par travée .

2.2 Coefficient d'excentricité :

a) poutre 1 :

$$i = 1 \implies \Delta_1 = 1 + 6 \frac{-5+2}{15} \cdot \frac{e}{3,2} = 1 + \frac{-18}{15 \cdot 3,2} \cdot e = 1 - 0,375e$$

d'où $M_1 = \alpha \frac{M}{4} (1 - 0,375e)$ avec $\alpha = \text{nombre de convois}$ (sens transversal)

soit $M_1 \text{ max} = \frac{M}{4} (\alpha (1 - 0,375e)) \text{ max} \implies \text{il faut que}$

$$\boxed{\alpha (1 - 0,375e) \text{ max} = \beta}$$

1) $\alpha = 1$

$$e = 4,5 - 1,25 = 3,25 \text{ m}$$

$$\beta = 1 \cdot (1 - 0,375 \cdot 3,25) = -0,21$$

NB. Pour la disposition des convois suivant le nombre α , se reporter à la figure 1 page 75.

2) $\alpha = 2$

$$e = 4,5 - 2,50 = 2,00$$

$$\beta = 2(1 - 0,375 \cdot 2) = 0,50$$

3) $\alpha = 3$

$$e = 4,50 - 3,75 = 0,75$$

$$\beta = 3(1 - 0,375 \cdot 0,75) = 2,154$$

$$\boxed{M_1 \text{ max} = \frac{M}{4} \cdot 2,154}$$

b. Poutre 2 :

$$(i = 2) \Delta_2 = 1 + 6 \frac{-5+2 \cdot 2}{16-1} \cdot \frac{e}{3,2} = 1 - 0,125e$$

$$M_2 = \frac{M}{4} \cdot \alpha \Delta_2 \implies M_2 \text{ max} = \frac{M}{4} \cdot \beta \text{ max} = \alpha \cdot \Delta_2 = \beta \text{ max}$$

1. $\alpha = 1 \rightarrow e = 3,25m \rightarrow \beta_{max} = 1(1 - 0,125 \cdot 3,25) = 1 - 0,403 = 0,597$
 2. $\alpha = 2 \rightarrow e = 2,00m \rightarrow \beta_{max} = 2(1 - 0,125 \cdot 2,00) = 2(1 - 0,25) = 1,5$
 3. $\alpha = 3 \rightarrow e = 0,75m \rightarrow \beta_{max} = 3(1 - 0,125 \cdot 0,75) = 3(1 - 0,094) = 2,178$
- $$M_{2max} = \frac{M}{4} \cdot 2,178$$

2.3 Calcul de M max :

$$M_{max} = \sum_{\substack{\text{mini} \\ \text{travée } j}} Vi \cdot Yi$$

- Vi = Poids d'un essieu (avant ou arrière suivant le cas)
- Yi = Ordonnée de la ligne d'influence de la section à étudier et pour la travée occupée par le convoi, au droit de Vi.

M_{max}^{mini} sera majoré ensuite par 20% et par le coefficient de majoration dynamique δ_j relatif à chaque travée j.

$$M_{réel} = M_{max}^{\text{mini}} \times 20\% \times \delta_j$$

POUTRE 1 :

$$M_1 \text{ réel} = M_1 \text{ max. 1, 2. } \cdot \frac{M}{4} \cdot 2,154 \cdot 1,2 \cdot 1,132 = 0,733 M \text{ pour les charges dans travée 1 et 3.}$$

$$M_1 \text{ réel} = \frac{M}{4} \cdot 2,154 \cdot 1,2 \cdot 1,0827 = 0,7 M \text{ pour les charges dans travée 2.}$$

Tableau donnant M_1 max et mini (sur feuille suivante).

Valeur du moment fléchissant réel M_1 .

: M réel maxi	: Appui 1	: 0,41 ₁	: 0,5 1 ₂	:
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
:	: M ⁻ (tm)	: - 191,5	: -52	: -42
:	:	:	:	:
:	: M ⁺ (tm)	: +182	: +115	: +163
:	:	:	:	:

Camion Bc	Essieu	Appui : 1				Section : 0,4 l ₁				Section : 0,5 l ₂							
		y _i dans travée			Σy _i	M	y _i dans travée			Σy _i	M	y _i dans travée			Σy _i	M	
		1	2	3	V _i · Σy _i		1	2	3	V _i · Σy _i		1	2	3	V _i · Σy _i		
C1	1	-1,25	-2,30		-3,55	-21,30											
	2																
	3																
C2	1	-1,60	-3,51		-5,11	-31,00											
	2																
	3																
M⁻ mini						-261,7											
C1	1			+0,20	0,20	1,20	0,60	0,10	0,70	4,20		2,10		2,10	12,60		
	2			+0,40	0,40	4,80	2,05	0,20	2,25	27,00		3,60		3,60	43,20		
	3			+0,45	0,45	5,40	2,60	0,20	2,80	33,60		4,20		4,20	50,40		
C2	1			+0,55	0,55	3,30	4,40	0,25	4,65	27,90		6,24		6,24	37,40		
	2			+0,45	0,45	5,40	2,90	0,20	3,10	37,20		4,10		4,10	49,20		
	3			+0,40	0,40	4,80	2,15	0,15	2,30	27,60		3,50		3,50	42,00		
M⁺ maxi						+24,9				+157,5					+234,8		

Nota sur les essieu-

$$V_1 = 6 \text{ t}$$

$$V_2 = V_3 = 12 \text{ t}$$

- 72 -

Tableau donnant le Moment fléchissant maxi et mini dû à Bc (1 seul camion)

POUTRE 2 :

$$M_2 \text{ réel} = \frac{M}{4} \cdot 2,178.1,2.1,0827 = 0,708 M$$

pour les charges dans travée 2

$$M_2 \text{ réel} = \frac{M}{4} \cdot 2,178.1,2.1,132 = 0,74 M$$

pour les charges dans travée 1 et 3

Tableau donnant M_2 max et mini : (Tableau précédent)

Valeur du moment fléchissant réel M_2 .

M réel maxi	Appui 1	0,4 l ₁	0,5 l ₂
M ⁻ (tm)	-186,5	-52,8	-425
M ⁺ (tm)	+18,4	+116,5	+166

3. Efforts tranchants dûs à Bc :

A. Poutre de Rive 1 :

a) La position défavorable des essieux dans le sens transversal est celle donnée par la figure sur la page suivante et qui donne pour chaque file d'essieux de 12t, une résultante sur la poutre en question .voir figure 2 page 75.

$$P = 6 \cdot \frac{(2,65+0,65+0,15)}{3,20} = 6,5t \text{ --- soit compte tenu des majoration de 20\% et de } \delta_1$$

$$P = 6,5.1,2.1,1322 = 88,4t \text{ pour charge(Bc dans travée 1)}$$

$$P = 6,5.1,2.1,0827 = 8,45t \text{ pour charge(Bc dans travée 2)}$$

b) Efforts tranchants sur les appuis extrêmes 0 ou 3:

La répartition dans le sens longitudinale est donnée par la planche ci-jointe (suivant la ligne d'influence T₀).

Camion	C1			C2		
	I	II	III	I	II	III
y _i	0,22	0,40	0,47	0,68	0,93	1

$$T_o = +(0,4 + 0,47 + 0,93 + 1) P = 2,8 P$$

$$+(0,22 + 0,68) \frac{P}{2} = \frac{P}{2}$$

$$= P(2,8 + 0,5) = 3,3P$$

$$T_o = (3,3 \times 8,84 = 29,2 t$$

Par raison de symetrie, on a sur l'appui 3 :

$$T_3 = -T_o = -29,2t$$

c) Effort tranchant sur les appuis intermediaires:

(voir planche ligne d'influence T_1G et T_1D)

- à gauche de l'appui 1: T_1G

Camion	C1			C2		
Roue	I	II	III	I	II	III
yi	0,34	0,54	0,60	0,79	0,95	1

$$T_1G = (0,54 + 0,6 + 0,95 + 1) P = 3,09 P$$

$$+(0,34 + 0,79) \frac{P}{2} = 1,13 \frac{P}{2}$$

$$P(3,09 + 0,565) = 3,655 P$$

$$T_1G = 3,655 \cdot 8,84 = 32,25 t$$

- à droite de l'appui 1: T_1D

Camion	C1			C2		
Roue	I	II	III	I	II	III
yi	0,57	0,71	0,75	0,87	0,97	1

$$T_1D = (0,71 + 0,75 + 0,97 + 1) P = 3,43 P$$

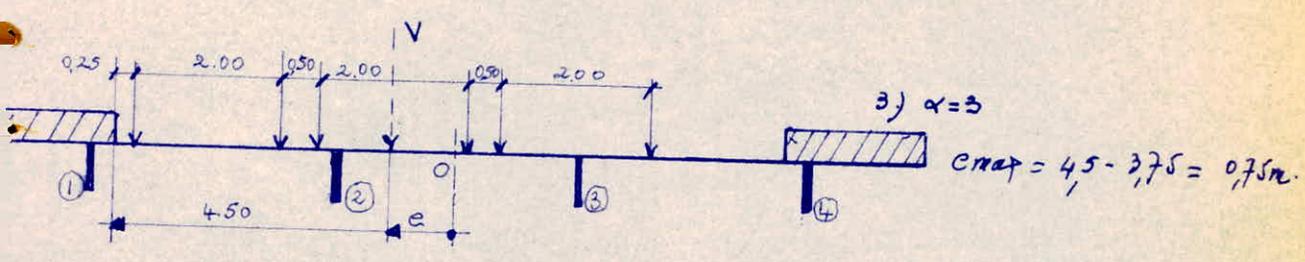
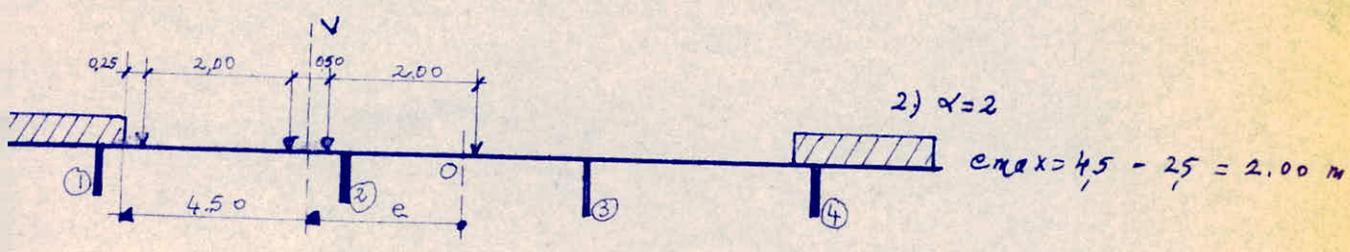
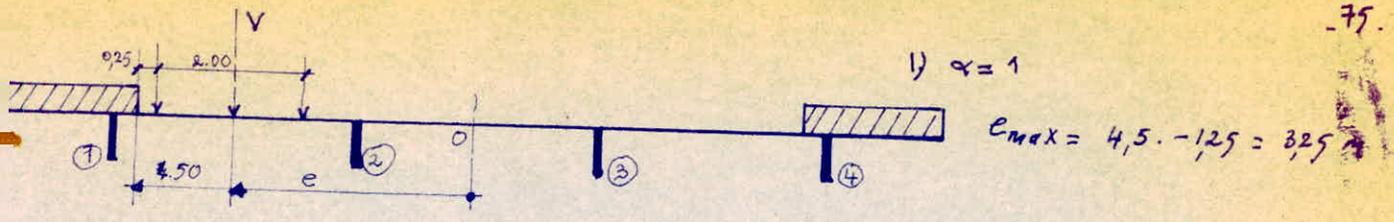
$$+(0,57 + 0,87) \frac{P}{2} = 1,44 \frac{P}{2}$$

$$P(3,43 + 0,72) = 4,15 P$$

$$T_1D = 4,15 \cdot 8,45 = 35t$$

Par raison de symetrie, on a sur l'appui 2:

$$T_{2g} = -T_{1d} = 35,7 \text{ et } T_{2d} = -T_{1g} = -32,25t$$



1) Recherche de la position la plus favorable des convois dans le sens transversal.

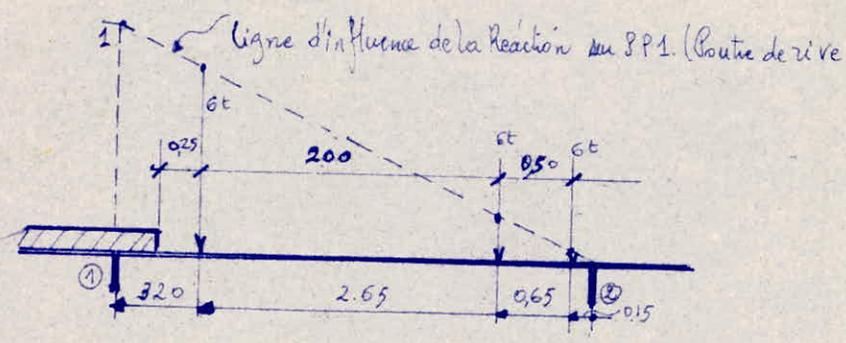


Fig 2: Disposition la plus favorable des convois pour BP1

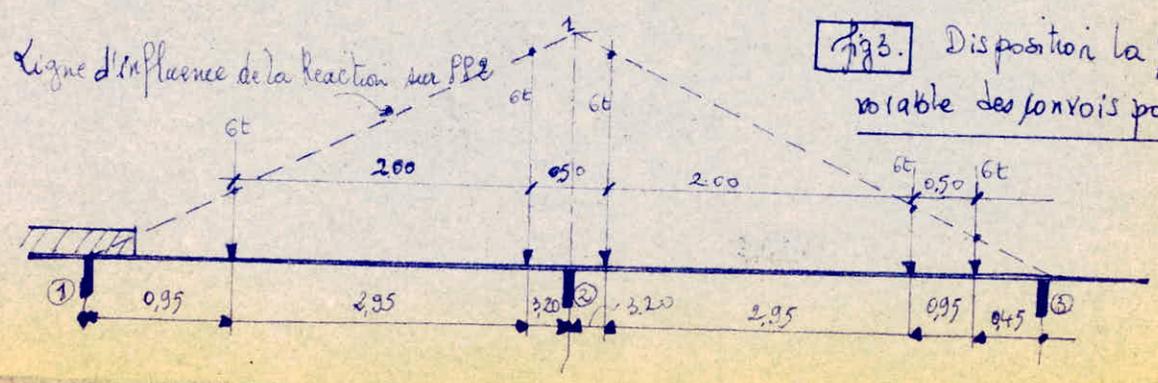


Fig 3: Disposition la plus favorable des convois pour BP2

B. POUTRE INTERMEDIAIRE 2 :

a) de même que P P 1, on recherche la position défavorable des essieux dans le sens transversal, voir fig3 p.75

$$P = 6 \frac{(0,95+2,95+0,45+ 0,95+ 2,95)}{3,20} = 15,48 \text{ t}$$

P avec majoration : de 20% et ϕ_2

$$P = 15,48 \cdot 1,2 \cdot 1,0827 = 20,1 \text{ t pour charges Bc dans travée 2}$$

$$P = 15,48 \cdot 1,2 \cdot 1,132 = 21,05 \text{ t pour charges Bc dans travée 1.}$$

b) Efforts tranchants sur appui 0 et 3 :

La répartition dans le sens longitudinal est la même que pour la poutre principale 1

$$T_0 = 3,3 \cdot 20,1 = 66,4 \text{ t et par raison de symétrie } T_3 = -T_0 = -66,4 \text{ t}$$

c) Effort tranchant en 1 :

$$\text{- à gauche } T_{1G} = 3,655 \cdot 20,1 = 78,5 \text{ t}$$

$$\text{- à droite } T_{1D} = 4,15 \cdot 21,05 = 87,5 \text{ t}$$

$$\text{et } T_{2G} = -T_{1D} = -87,5 \text{ t}$$

$$T_{2D} = -T_{1G} = -78,5 \text{ t}$$

Remarque sur le tableau suivant (efforts dans les PF) : page 77

$$(2) = \overline{M}^- \text{ dûs à } \underline{G} \rightarrow \overline{M}^+ \text{ dûs aux différents cas de surcharges}$$

$$(3) = \overline{M}^+ \text{ dûs à } \underline{G} \rightarrow \overline{M}^- \text{ dûs aux différents cas de surcharges}$$

Sections	Poutre 1		Poutre 2		
	A(l)	B _c	A(l)	B _c	
Appui 1	M ⁺	25,26	18,2	50,5	18,6
	M ⁻	-163	-191,5	-326	-186,5
0,4 l.	M ⁺	108	115	216	116,5
	M ⁻	-77,5	-52,6	-155	-52,8
0,5 l.	M ⁺	212,5	163	425	166
	M ⁻	-37,5	-42	-75	-49,5

Sections	Poutre 1		Poutre 2		
	T(A(l))	T _{B_c}	T _{A(l)}	T _{B_c}	
T ₀	T ⁺	21,5	29,2	43	66,4
	T ⁻	-82,5		-16,5	
T _{IG}	T ⁺	0,99	32,25	1,98	78,5
	T ⁻	-25,6		-51,2	
T _{ID}	T ⁺	31,25	35,00	62,5	87,5
	T ⁻	-2,8		-5,6	

Comparaison des Moments fléchissants
due aux surcharges: A(l) et B_c.

Comparaison des Efforts tranchants dus
aux surcharges: A(l) et B_c.

Poutre	Section	Ch. per. G	Surch. P		Surch. trottoir		M _{max} total		Section	Ch. Perm G	Surch. P		Surch. trottoir		T _{max} total	
			+	-	+	-	+	-			+	-	+	-		
			1	0,4 l.	107	115	-77,5	7,7			-4,77	230	-82,27	T ₀	26,15	29,2	8,25	1,52	-0,51	56,87	-8,76
	Appui 1	-431,1	25,26	-191,5	6,1	-15	31,36	-637,6	T _{IG}	-65,55	32,25	-25,6	0,048	-2,35	32,98	-93,50
	0,5 l.	244	212,5	-42	14,5	-2,67	471	-44,67	T _{ID}	77,7	35,7	-2,8	2,86	-0,137	116,26	-2,937
2	0,4 l.	88,5	216	-155	7,7	-4,77	312,2	-159,77	T ₀	25,20	66,4	-16,5	1,52	-0,51	93,12	-17,01
	Appui 1	-392,3	50,5	-326	6,1	-15	56,6	-724,4	T _{IG}	-59,40	78,5	-51,2	0,048	-2,35	78,54	-112,95
	0,5 l.	152,2	425	-75	14,5	-2,67	591,7	-77,67	T _{ID}	70,40	83,5	-5,6	2,86	-0,137	156,76	-5737

Récapitulation des Moments fléchissants
exprimés en tm/ml.

Récapitulation des Efforts tranchants
exprimés en t/ml.

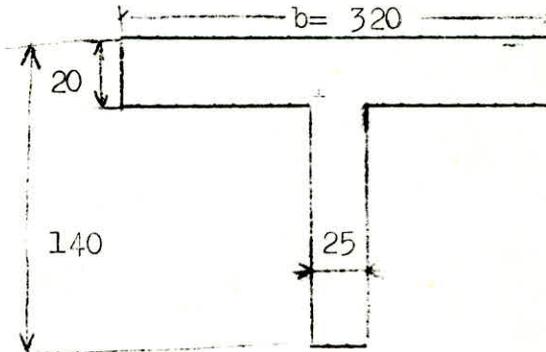
= III PARTIE =

=====

A. CALCUL DE BETON-ARME DES POUTRES PRINCIPALES :

I Resistance à la flexion :

- Largeur à attribuer à la nervure :
- Pour le calcul des ponts à poutres sous chaussée, on considère le hourdis comme lié dans son ensemble aux poutres. soit $b = \frac{12,80}{4} = 3,20$ m.



Nous allons donner un exemple de calcul de détermination de la section d'armatures pouvant absorber le moment fléchissant de la section considérée d'une travée et le calcul des contraintes avec la vérification.

Pour toutes les autres sections de l'ouvrage, la même méthode sera utilisée et il n'y aura, par conséquent que les résultats recherchés, donnés sous forme de tableau. Nous rappelons que les 4 poutres ont même inertie.

1^o) Détermination rapide du ferailage pour la section la plus sollicitée de l'ouvrage soit à mi-portée de la travée intermédiaire de la poutre 2 /

$M = 591,7$ tm

$ht = 140$ cm --- $h = 140 - 15 = 125$ cm.

$A = \frac{M}{z \cdot \bar{\sigma}_s \cdot a}$ avec ($z = 0,94h$ pour section en T élancée
($h = 140 - 15 = 125$ cm

$\bar{\sigma}_s \cdot a = \frac{2}{3} \cdot 4000 = 2670$ kg/cm²

soit $A = \frac{591.7 \cdot 10^5}{0,94 \cdot 125 \cdot 2670} = 188$ cm² on adopte 15HA40 ($A = 188,48$ cm²)
et 3 barres de recouvrement soit 18HA40

2^o) Fissuration :

Pour limiter la fissuration, il faut prendre la valeur maximale de la contrainte de traction des armatures soit maxi de σ_1 et σ_2 dont les expressions sont données en page

3 et 4 du présent projet .

a) $\sigma_1 = 10^6 \cdot \frac{1,6}{40} \cdot \frac{f}{1+10 \cdot f}$ avec $\sigma_1 f = \frac{A}{Bf} = \frac{188,48}{30 \times 67} = 0,0938 \cdot 0,2$ (Vérifié

$\sigma_1 = 10^6 \cdot \frac{1,60}{40} \cdot \frac{0,094}{1,94} = 1940$ kg/cm²

$$b) \sigma_2 = 2,4 \cdot \sqrt{\frac{1,6}{40} \cdot 10^6 \cdot 7,5} = 1310 \text{ kg/cm}^2$$

or .a est le minimum de $\begin{pmatrix} 2670 \\ \text{(maxi entre } \sigma_1 = 1940 \\ \sigma_2 = 1310 \end{pmatrix}$ $\sigma_a = 1940 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_a = 1940 \text{ kg/cm}^2$ or nous avons calculé A avec une contrainte supérieure à σ_a ; don il nous faut refaire le calcul de A avec une méthode ~~de~~ plus précise .

3e) Détermination précise des armatures :

1. $\mu' = \frac{n \cdot M}{\sigma_a \cdot b \cdot h^2} = \frac{15 \cdot 591,7 \cdot 10^5}{1940 \cdot 320 \cdot 125^2} = 0,0915$

2. Les tableaux donnant α en fonction de μ' donnent $\mu' = 0,3641$

3. $\xi = \frac{h_0}{h} = \frac{20}{125} = 0,16 \rightarrow \alpha > \xi$ donc l'axe neutre noté (AN) se trouve dans la nervure d'où étude de la section en té.

si $\alpha < \xi \rightarrow$ l'axe neutre (AN) se trouverait dans la table de compression et l'étude serait faite en section rectangulaire.

4. $\beta = \frac{b_0}{b} = \frac{25}{320} = 0,078$

5. k: tiré des abaques des poutres en Té donnant k en fonction de (μ', β, k) , $k = 20,3$

6. α_1 : tiré des tableaux: $\alpha = f(k, \mu')$, $\alpha_1 = 0,4249$

7. Position de l'axe neutre dans la nervure: $y = \alpha_1 \cdot h = 0,4249 \cdot 125 = 53 \text{ cm}$

8. Calcul du taux de travail du béton σ'_b et de sa contrainte admissible $\bar{\sigma}'_b$.

a) $\sigma'_b = \frac{\sigma_a}{k} = \frac{1940}{20,3} = 96 \text{ kg/cm}^2$

b) σ'_b (page 2 et 3) = 180. ξ kg/cm² avec $0,5 \leq \xi \leq 1$

$$d'où \xi = \frac{b_0 \cdot y + (b - b_0) h_0}{2y - h_0} \cdot \frac{h_0 (b - b_0) + b_0 \cdot y}{y} = \frac{25y + 5900}{2y - 20} \cdot \frac{25 \cdot 53 + 5900}{53} = \frac{25 \cdot 53 + 5900}{106 - 20} \cdot \frac{25 \cdot 53 + 5900}{53}$$

$$\xi = 0,665 \rightarrow \sigma'_b = 180 \cdot 0,665 = 119 \text{ kg/cm}^2$$

σ'_b est inférieur à $\bar{\sigma}'_b$ ce qui est alors Vérifié.

si $\sigma'_b > \bar{\sigma}'_b$, nous devrions prévoir des Armatures comprimées. Voir nota ci-dessous .

9. Calcul de A :

$$A = \frac{M}{z \cdot \sigma_a} \cdot \text{avec } (z = h \cdot \frac{h_0}{h} + c \cdot \alpha_1 \cdot h = 125 - 10 + 53$$

$$(c = \frac{.3 \cdot (1 - .)^2 (2 + .)}{6 \sqrt{1 - (1 - .)(1 - .)}})$$

$$(\frac{c}{h} = \frac{.0}{.01} = \frac{0,16}{0,4249} = 0,377$$

a) $C = +0,034 \rightarrow z = 115 + 0,034 \cdot 53 = 116,8 \text{ cm}$

b) $A = \frac{591,7 \cdot 10^5}{116,8 \cdot 1940} = 260 \text{ cm}^2$ soit A adoptée = 21HA40 = 263,86 cm² + 3 pour recouvrements.

10. Vérification de la contrainte de compression moyenne dans le béton $\bar{\sigma}'_m$:

$\bar{\sigma}'_m = \frac{F}{S}$ avec (F= Force de compression = M/z
(S= Aire de béton comprimée= b.ho+bo.y

$$\bar{\sigma}'_m = \frac{M}{z/bho+(b-bo)y} = \frac{591,7 \cdot 10^5}{116,8(6400+25 \cdot 53)} = 72,2 \text{ kg/cm}^2$$

$\bar{\sigma}'_m$ est bien inférieur à la contrainte admissible de compression simple dans le béton $\bar{\sigma}'_{bo} = 90 \text{ kg/cm}^2$ Cette condition soit toujours être vérifiée.

11. Vérification de la contrainte de traction dans les armatures A :

$\bar{\sigma}'_a = \frac{nM(h-y)}{I}$ avec I= Moment d'inertie de la section

homogène réduite par rapport à l'axe neutre.

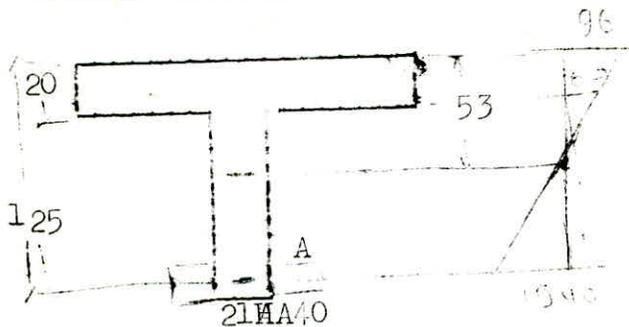
$$I = \frac{1}{3} \cdot b \cdot y^3 - \frac{1}{3} \cdot (b-bo)(y-ho)^3 + nA'(y-d)^2 + nA(h-y)^2$$

dans notre cas $A' = 0 \rightarrow I = \frac{1}{3} \cdot 320 \cdot 53^3 - \frac{1}{3} \cdot 295 \cdot 33^2 + 15 \cdot 263,86(125-53)^2$

$$I = 329 \cdot 10^5 \text{ cm}^4$$

soit $\bar{\sigma}'_a = \frac{15 \cdot 591,7 \cdot 10^5 (125-53)}{329 \cdot 10^5} = 1940 \text{ kg/cm}^2 = \bar{\sigma}'_a$

12. Calcul de $\bar{\sigma}'_b$ au niveau inférieur de la table :



$$\frac{96 \cdot b}{53 \cdot 53 - 20} \rightarrow \bar{\sigma}'_b = 60 \text{ kg/cm}^2$$

Nota : Si $k < k_0$ avec $k_0 = \frac{\bar{\sigma}'_a}{\bar{\sigma}'_b}$ cela signifie que $\bar{\sigma}'_b > \bar{\sigma}'_m$ ou $\bar{\sigma}'_m > \bar{\sigma}'_{bo}$; et par conséquent le Moment résistant du béton est inférieur au moment agissant M on peut assurer la résistance au moment M en renforçant la partie comprimée de la pièce au moyen d'armatures de section A'.

II Calcul de la section d'Armatures comprimées A'

1. Moment résistant du béton : Mo

$$M_o = \frac{b}{2} [bo \cdot y + (b-bo)ho(2 - \frac{ho}{y})] z \text{ avec } \bar{\sigma}'_{bm} = \frac{\bar{\sigma}'_b + \bar{\sigma}'_m}{2} (2 - \frac{ho}{y})$$

$$M_o = \frac{\bar{\sigma}'_b}{2} [bo \cdot y + (b-bo)ho(2 - \frac{ho}{y})] z$$

2. Moment pris par les aciers comprimés $M = M - M_0$

3. σ'_a : contrainte de compression des aciers A' :

$$\sigma'_a = \frac{15(y-d)\sigma_b}{y}$$

$$4. A' = \frac{A \cdot M}{(h-d) \sigma'_a}$$

$$5. A = \frac{M_0}{z \cdot \sigma_a} + \frac{M}{(h-d) \sigma_a}$$

III Section à l'appui 1 et à 0,4 l₁ de la poutre 2 (cas de M^-)

Le Moment agissant est négatif, c'est-à-dire nécessité d'armer à la traction dans la partie supérieure de la nervure et par conséquent les ailes de la table ne sont plus considérées. Et nous considérons que le talon travaille lui à la compression ce qui donnera pour dimensions de :

$$b = 67 \text{ cm} \quad \text{---} \rightarrow \lambda = \frac{25}{67} = 0,373$$

$$b_0 = 25 \text{ cm} \quad \text{---} \rightarrow \lambda = \frac{30}{130} = 0,232 \quad \text{pour la section } 0,4 l_1$$

$$h = 130 \text{ cm} \quad \text{---} \rightarrow \lambda = \frac{30}{159} = 0,189 \quad \text{" " " d'appui.}$$

Poutre 1 $S = 0,4 l_1$ $M^+ = 230 \text{ tm}$

1. Calcul rapide de A :

$A = 73,5 \text{ cm}^2 \rightarrow 6\text{HA}40 = 75,39 \text{ cm}^2$

$\hat{w}f = 0,075 < 0,20$

2. Fissuration :

$\sigma_1 = 1090 \text{ bars}$ $\sigma_2 = 1310 \text{ bars}$ d'où $\sigma_a = 1310 \text{ bars}$

3. Determination précise de A :

1. $\mu' = 0,0525$

2. $\alpha = 0,2874$ || $\alpha > \theta \rightarrow$ Axe neutre dans nervure

3. $\theta = 0,16$

4. $\beta = 0,078$ || $\rho_1 = 0,3158$

5. $k = 32,3$ || $y = 39,4 \text{ cm}$

6. $\sigma'_b = 126 \text{ bars}$

7. $\sigma'_b = 41 \text{ bars}$

8. $\rho = 0,507$

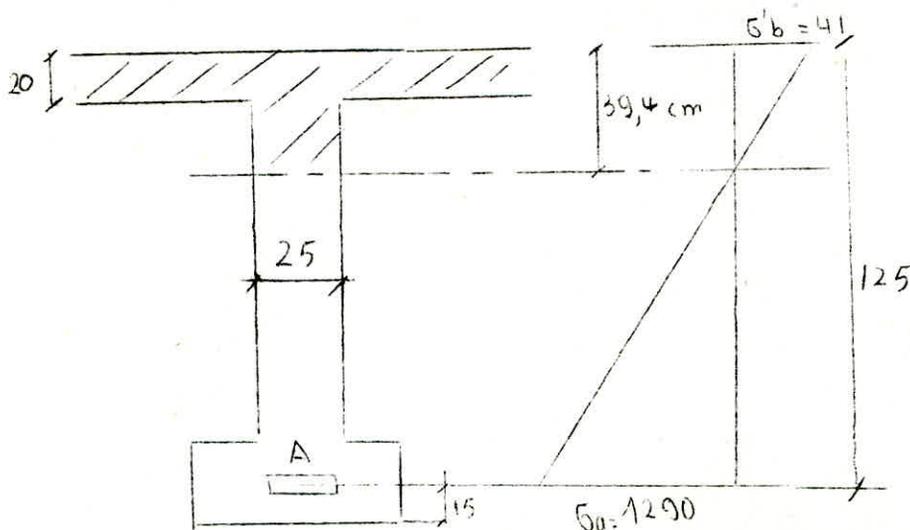
9. $z = 115 + C \cdot \rho$ avec $C =$

10. $C = 115,7$

11. $A = 152 \text{ cm}^2 \rightarrow 12\text{HA}40 = 150,78 \text{ cm}^2 + 2 \text{ de recouvrement}$

12. $\sigma_m = 30 \text{ bars}$

13. $\sigma_a = 1290 \text{ bars} < 1310 \text{ bars}$



Poutre 1 Section à l'appui 1

$$M = -637,6 \text{ tm}$$

1. Calcul rapide de A :

$$A = 123 \text{ cm}^2 \rightarrow 10\text{HA}40 = 125,65 \text{ cm}^2$$

$$B_f = 732 \text{ cm}^2$$

$$u_f = 0,17 < 0,2$$

2. Fissuration :

$$\sigma_1 = 2520 \text{ kg/cm}^2 \quad \sigma_2 = 1310 \text{ kg/cm}^2 \quad \sigma_a = 2520 \text{ kg/cm}^2$$

3. Détermination précise de A :

$$1. \mu' = 0,23 \rightarrow \alpha = 0,519$$

$$2. \theta = 0,191 \rightarrow \alpha > \theta \rightarrow \text{Axe neutre dans la nervure.}$$

$$3. \beta = 0,373$$

$$4. k = 11,2 \rightarrow \alpha_1 = 0,5725 \rightarrow y = 0,5725 \cdot 157 = 90 \text{ cm}$$

$$5. \rho = 0,334$$

$$6. z = 157 - 15 + 0,334 \cdot y = 147 \text{ cm}$$

$$7. \bar{\sigma}'_b = 135 \text{ bars}$$

$$8. \bar{\sigma}'_b = 225 \text{ bars}$$

$$9. k_0 = 187 > k$$

d'où il ya nécessité d'armer en compression comme pour la poutre 2 .

10. Calcul du Moment M_0 :

$$M_0 = 67,5(25 \cdot 90 + 42 \cdot 30(2 - \frac{30}{90})) \cdot 147 = 432 \text{ tm}$$

$$M = 637,6 - 432 = 205,6 \text{ tm}$$

11. Calcul de la contrainte $\bar{\sigma}'_a$:

$$\bar{\sigma}'_a = \frac{15(90-10)}{90} \cdot 135 = 1800 \text{ bars}$$

12. Calcul des sections d'acier :

$$a) A' = \frac{205,6 \cdot 10^5}{1800 \cdot (157-15)} = 80,3 \text{ cm}^2 \rightarrow \begin{array}{l} 6\text{HA}40 = 75,39 \\ 2\text{HA}20 = 6,28 \\ \hline 81,67 \text{ cm} \end{array}$$

$$b) A = \frac{205,6 \cdot 10^5}{2520 \cdot 147} + \frac{432}{2520 \cdot 147} = 57,2 + 116,2 = 173,4 \text{ cm}^2 \text{ soit } 14\text{HA}40 = 175,91 \text{ cm}^2$$

13. Calcul de la contrainte moyenne dans le béton

$$\bar{\sigma}''_m = \frac{432 \cdot 10^5}{147 \cdot (67 \cdot 30 + 25)(90-30)} = 83,8 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_{b0}$$

Poutre 2 S= 0,4 l₁ : M⁺ = 312,2 tm

1. Calcul rapide de A :

A = 100 cm² 8HA40 = 100,53 cm² + 2HA40 de Recouvrement

$\bar{\omega}_f = 0,05 < 0,2$ vérifié

2. Fissuration :

$\bar{\sigma}_1 = 1330$ bars $\rightarrow \bar{\sigma}_a = 1330$ bars

$\bar{\sigma}_2 = 1310$ bars

3. Détermination précise de A :

1. $\mu' = 0,0882$

2. $\alpha = 0,3588$ ($\alpha > \theta \rightarrow$ A xe neutre dans nervure

3. $\theta = 0,16$

4. $\beta = 0,078$

5. $k = 21 \rightarrow \left(\begin{array}{l} \alpha'_1 = 0,4186 \\ y = 52,3 \text{ cm} \end{array} \right.$

6. $\bar{\sigma}'_b = 0,572 \cdot 180 = 112$ bars

7. $\bar{\sigma}'_b = 63$ bars

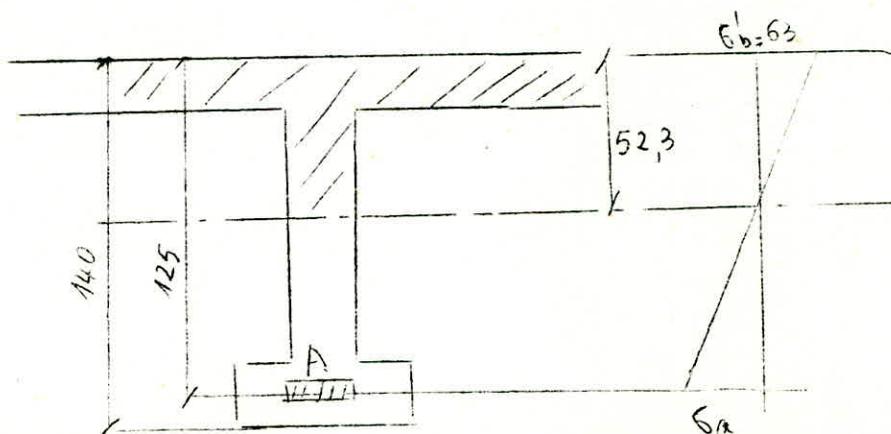
8. $\rho = 0,382$

9. $z = 115 + C \cdot \rho$

10. $C = 0,0423$ d'où $z = 115 + 0,0423 \cdot 31,8 = 116,35$ cm

11. $A = 202 \text{ cm}^2 = 16\text{HA40} + 2 = 18$

12. $\bar{\sigma}'_m = 40$ bars $< 90 \text{ Kg/cm}^2$



Poutre 2: S= 0,4 l₁

$M^- = -71,27 \text{ tm/ml.}$

Le béton de la table se trouve dans la zone tendue.

1. Calcul rapide de A :

$A = 21,9 \text{ cm}^2$

$\tilde{\omega}f = 0,0455 < 0,2 \text{ vérifié}$

2. Fissuration :

$\sigma_1 = 1960 \text{ bars}$

$\sigma_2 = 1650 \text{ bars}$

$\sigma_a = 1960 \text{ bars}$

3. Détermination précise de A :

1. $\omega = 0,0452$

2. $\alpha = 0,2698$ ($\alpha > \theta$ ----> Axe neutre dans nervure

3. $\theta = 0,232$

4. $\beta = 0,373$

5. $k = 40,2$ ---- ($\alpha_1 = 0,2717$
($y = 35,3 \text{ cm}$

6. $\sigma'_b = 0,922 \cdot 180 = 166 \text{ bars}$

7. $\sigma'_b = 52 \text{ bars} < 166 \text{ bars}$

8. $\rho = 0,857$

9. $z = 130 - 15 + C \cdot 35,2.$

10. $C = 0,087$ ----> $z = 115 - 35,2 \cdot 0,087 = 112 \text{ cm}$

11. $A = 30,5 \text{ cm}^2 = 4HA32 = 32,17 \text{ cm}^2$

12. $\sigma'_m = 30 \text{ kg/cm}^2$

13. $\sigma_a = 1960 \text{ kg/cm}^2$

Poutre 2 : Section à l'appui 1 :

$$M = -724 \text{ tm}$$

$$\begin{aligned} ht &= 167 \text{ cm} \\ b &= 67 \text{ cm} \\ ho &= 30 \text{ cm} \end{aligned}$$

1. Calcul rapide de A :

$$A = 140 \text{ cm}^2 \text{ ---- } 12\text{HA}40 = 150,78 \text{ cm}^2 \text{ en 2 nappes}$$

$$b = 1180 \text{ cm}^2$$

$$f = 0,128 \quad 0,2$$

2. Fissuration :

$$\sigma_1 = 2660 \text{ bars} \quad \sigma_2 = 1310 \text{ bars} \text{ ---- } \sigma_a = 2660 \text{ bars}$$

3. Détermination rapide de A :

1. $\alpha = 0,247$ ---- $\alpha = 0,53$
2. $\theta = 0,189$ ---- θ Axe neutre dans la nervure.
3. $\beta = 0,373$ ($\sigma_1 = 0,5814$)
4. $k = 10,8$ ($\gamma_1 = 0,5814 \cdot 159 = 92,6 \text{ cm}$)
5. $\gamma = 0,325$
6. $z = 159 - 15 + C \cdot y$ avec $C = 0,034$ ---- $z = 147,2 \text{ cm}$
7. $\sigma_b = 135 \text{ bars}$
8. $\sigma'_b = 246 \text{ bars}$
9. $k_0 = 19,7$
 k_0 , k et σ'_b donc nécessité d'armer en compression comme nous l'avons expliqué dans l'exemple traité ci-dessus.

10. Calcul du Moment Mo

$$M_o = 67,5 \left[25 \cdot 92,6 + (67 - 25) 30 \left(2 - \frac{30}{92,6} \right) \right] \cdot 147,2 = 440 \text{ tm}$$

$$M = 724,4 - 440 = 284,4 \text{ tm}$$

11. Calcul de la contrainte à la compression des aciers comprimées

$$\sigma'_a = \frac{15(92,6 - 10)}{92,6} \cdot 135 = 1810 \text{ bars}$$

12. Calcul des Aciers :

$$a) A' = \frac{284,4 \cdot 10^5}{(157 - 15) 1810} = 110 \text{ cm}^2 \text{ ---- } \begin{aligned} 8\text{HA}40 &= 100,53 \\ 2\text{HA}25 &= \frac{9,82}{110,35} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$b) A = \frac{440 \cdot 10^5}{(157 - 15) 2660} + \frac{284,4 \cdot 10^5}{147,2 \cdot 2660} = 116 + 73 = 189 \text{ cm}^2 \text{ soit } 16\text{HA}40 = 201,04 \text{ cm}^2 \text{ répartis en 2 nappes.}$$

13. Contrainte moyenne de béton :

$$\sigma'_m = \frac{440 \cdot 10^5}{147,2(67 \cdot 30 + (92,6 - 30) 25)} = 84 \text{ kg/cm}^2 \quad \sigma'_b \text{ a.}$$

Épure d'arrêt des barres :

1. Courbe enveloppe des Moments fléchissants :

La courbe aura une forme parabolique compte tenu de la prépondérance de la surcharge Λ .

2. Longueur de scellement droit :

Pour déterminer l'épure d'arrêt des barres, il faut calculer la longueur de scellement droit

$$l_d = \frac{\sigma}{4} \cdot \frac{\sigma_a}{\sigma_d} \quad (\sigma = 40 \text{ mm})$$

$$(\sigma_a = 2670 \text{ kg/cm}^2)$$

$$(\sigma_d = 1,25 \cdot \sigma_b \text{ (zone d'ancrage normale en travée)}) = 1,25 \cdot (1,7)^2 \cdot 7,5 = 27,2 \text{ bars}$$

$$l_d = \frac{4,0}{4} \cdot \frac{2670}{27,2} = 98 \text{ cm} \rightarrow \boxed{l_d = 110 \text{ cm}}$$

Cette sécurité est nécessaire car l'épure d'arrêt des barres tient compte dans la résistance des barres partiellement ancrées : on a pris $l_d = 110 \text{ cm}$ cet excès donne une sécurité contre les défauts de mise en place sur chantier.

Sur appuis $\sigma_d = 2 \cdot \sigma_b = 2 \cdot 1,7^2 \cdot 7,5 = 43,2 \text{ kg/cm}^2$

$$l_d = \frac{4,0 \cdot 2670}{4 \cdot 43,2} = 62 \text{ cm} \rightarrow l_d = 70 \text{ cm}$$

Moment résistant des aciers :

Cette étude n'intéressera que la poutre la plus sollicitée soit la poutre 2. Nous attribuerons les mêmes résultats aux autres.

a) Disposition des Armatures :

Section	1er lit: A ₁	2° lit: A ₂	3° lit: A ₃
0,4 L ₁ (M ⁺)	6HA40	6HA40	6HA40
(M ⁻)	2HA32	2HA32	
Appui (M ⁻)	2HA32	2HA32	2HA40
(A')	8HA40	8HA40	1HA25
	8HA40	4HA40	4HA40
0,5 L ₂	8HA40	8HA40	8HA40

b) Moment résistant des aciers :

M_{2ra}^1 = Moment résistant pour nappes A_1
 M_{2ra}^2 = " " " " $A_1 + A_2$
 M_{2ra}^3 = " " " " $A_1 + A_2 + A_3$
 $M_{ra}^i = \frac{\mu'}{n} \cdot bh^2 \cdot \bar{\sigma} \cdot a$ avec $\mu' = f(A)$ (1)

Soit par exemple : pour la nappe 1 de section A_1

A_1 donne $\bar{\omega}_1 = \frac{100A_1}{b \cdot h}$; dans les tableaux $\bar{\omega}_1 = f(\mu')$

$\bar{\omega}_1$ donnera μ'_1 qui introduit dans l'expression du moment résistant, le fournit .

Section 0,4 l_1 $\bar{\omega}_1$ a = 2570 pour $M^+ = 312,2$ tm
 a = 1960 pour $M^- = -71,27$ tm

nappe	A_i cm ²	h cm	z cm	$\bar{\omega}_1$	μ'_1	M_{ir} tm
(1	75,39	134	117,5	0,175	0,0244	125
M^+ (1+2	151,78	129,5	113,5	0,365	0,0502	240
(1+2+3	227,17	125	109,5	0,568	0,0757	334
(b= 320)						
(1	16,08	134,4	117,8	0,179	0,0251	-39,5
M^- {1+2	32,17	129,8	113,5	0,372	0,0506	-75,2
(b=67)						

Section 0,5 l_2 $\bar{\omega}_1$ a = 1940 b = 320 M = 591,7 tm

nappe	A_i cm ²	h cm	z cm	$\bar{\omega}_1$	μ'_1	M_{ir} tm
1	100,53	134	117,5	0,234	0,0324	242
1+ 2	201,06	129,5	113,5	0,485	0,0652	453
1+2+3	301,59	125	109,5	0,753	0,0991	645

Section à l'appui 1 : $M^- = -724,4 \text{ tm}$
 $\bar{\sigma} = 2660 \text{ Kg/cm}^2$
 $b = 67 \text{ cm}$

nappe	Ai: cm ²	h: cm	z: cm			M ^l r: tm
(1	100,53	163,6	143,2	0,962	0,1246	390
M ⁻ (
(1+2	8HA40					
	201,16	159,6	139	1,89	0,2363	725

Le tracé de la ligne enveloppe des moments fléchissants subira un déplacement de $\frac{z}{2} = \frac{1}{2}(\frac{7}{8} h)$ parallèlement à l'axe des abscisses ceci pour tenir compte de l'influence de l'effort tranchant.

Jonction des barres :

Longueur des barres utilisées pour notre ouvrage = 14m. 14m est très inférieure à celle de la poutre. On réalise alors une jonction par chaînage grâce aux barres de recouvrement. 3 pour la poutre dans la travée 2 et 2 dans la travée de rive. Ces 5 barres font fonction de couvre-joints continus.

II. Resistance à l'effort tranchant

II. 1 Poutre 2 :

a) About :

$$T_0 = 93,12t, \quad \bar{\sigma}'_b = 0, \quad \bar{\tau}_b = 26,3 \text{ kg/cm}^2 \quad (3,56 \bar{\sigma}_b)$$

$$\tau_b = \frac{93,12 \cdot 10^3}{25 \cdot 117} = 31,8 \text{ kg/cm}^2 > \bar{\tau}_b$$

Relevons quelques barres de la 2^e nappe de la section 0,4 l₁

$$2HA40 = 37,69 \text{ cm}^2$$

$$T_{\alpha} = \frac{37,69 \cdot \bar{\sigma}''_{at}}{\sqrt{2}} \quad \text{avec} \quad \bar{\sigma}''_{at} = \int a \cdot \bar{\sigma}_{ak} = 2340 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{d'où } T_{\alpha} = 41,6 \text{ t}$$

$$T_r = 93,12 - 41,6 = 51,52t > \frac{T}{2} = 46,56t \quad (T_r = \text{Effort tranchant repris par les étriers Verticaux})$$

$$\tau_b = \frac{51,52}{25 \cdot 117} = 17,6 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\tau}_b \quad (\text{étriers verticaux})$$

$$\text{Ecartement } t = \frac{1,57 \cdot 117 \cdot 2340}{51,2 \cdot 10^3} = 8,4 \text{ cm} \rightarrow \text{soit } \underline{t = 8 \text{ cm}}$$

b) Appui 1 :

$$\tau_b = \frac{156,76}{25 \cdot 133} = 47,2 \text{ kg/cm}^2 > \bar{\tau}_b = 22,5 \text{ kg/cm}^2 \quad \left(4,5 \frac{\bar{\sigma}'_b}{\bar{\sigma}'_{b0}}\right) \bar{\sigma}'_b$$

Solution des système mixte :

Barres relevées de la 2^e nappe : 5HA40. = 62,83 cm²

T_α (absorbé par chaque plan rencontrant la fissure) =

$$= 62,83 \times \bar{\sigma}''_{at} / \sqrt{2}$$

$$\bar{\sigma}''_{at} = a \cdot \bar{\sigma}_{en} = \frac{0,2 \cdot (47,2)^2 + (7,5)^2}{0,4(47,2)^2 + (7,5)^2} \cdot 4200 = 2220 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_{\alpha} = \frac{62,83 \cdot 2220}{2} = 98,8 \text{ t}$$

$$T_r (\text{absorbé par les étriers verticaux}) = T - T_{\alpha} = 156,76 - 98,3 = 58,46t$$

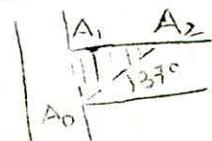
La règle impose un $T_r \gg T/2$; notre cas donne $T_r < T/2$, nous prenons alors $T_r = T/2 = 78,35 \text{ t}$.

$$\tau_b = \frac{78,35 \cdot 10^3}{25 \cdot 133} = 23,55 \text{ kg/cm}^2 > \bar{\tau}_b$$

Les règles BA60 (charron) indiquent qu'on peut ne pas tenir compte des charges appliquées dans la zone A₁A₀ soit sur

$$1,40 \text{ m} \times 0,75 = 1,05 \text{ m.}$$

pois propre de la poutre principale = 4t/ml



$$\text{surchage } A(1) = \frac{2,63 \text{ t/ml}}{6,63 \text{ t/ml}}$$

$$\text{d'où } T = 6,63 \times 1,05 = 6,95 \text{ t}$$

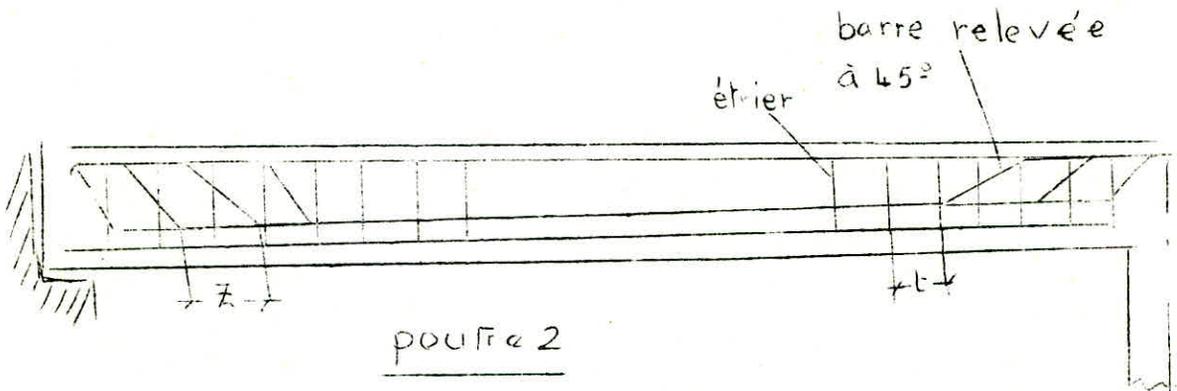
$$Tr = \frac{156,76 - 6,95}{2} = 74,90 \text{ t}$$

$$b = \frac{74,90 \cdot 10^3}{25 \cdot 133} = 22,5 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Etriers verticaux)}$$

Calcul de l'écartement des étriers :

$$t = \frac{1,57 \cdot 133 \cdot \bar{\sigma}^{\text{at}}}{74,9 \cdot 10^3} \text{ avec } \bar{\sigma}^{\text{at}} = \frac{0,2(22,5)^2 + (7,5)^2}{0,4(22,5)^2 + (7,5)^2} \cdot 4200 = 2550 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{d'où } t = 7,1 \text{ cm} \text{ --- } \underline{\underline{t = 7 \text{ cm}}}$$



II.2 Résistance à l'effort tranchant de la poutre 1

a) About :

$$M=0 \rightarrow \sigma'_{b0} = 0 \rightarrow \tau_b < 3,5 \bar{\tau}_b = 26,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_b = \frac{56,87}{25.117} = 19,4 \text{ bars} < \bar{\tau}_b \rightarrow \text{Armatures droites (perpendiculaire à la ligne moyenne)}$$

choix des armatures transversales \rightarrow 1 étrier HALO \rightarrow 1,57 cm²

$$\text{Ecartement } t = \frac{At \cdot z \cdot \sigma'_{at}}{T} \text{ avec } \sigma'_{at} = f_a \cdot \sigma_{en} = 1 - \frac{19,4}{9.7,5} \cdot 4200 = 3000 \text{ kg/cm}^2$$

$$t = \frac{1,57 \cdot 117 \cdot 3000}{56,87 \cdot 10^3} = 9,4 \text{ cm soit } t = 9 \text{ cm}$$

Ecartement admissible :

$$\bar{t}_1 = h(1 - 0,3 \frac{\tau_b}{\sigma'_{b0}}) = 134 (1 - 0,3 \frac{19,4}{7,5}) = 30,3 \text{ cm}$$

$$\bar{t}_2 = 0,2 h = 0,2 \cdot 134 = 26,8 \text{ cm}$$

b) Appui 1 :

$$\sigma'_{b0} < \sigma'_b = 135 < 26'_{b0} \rightarrow \bar{\tau}_b = (4,5 - \frac{\sigma'_{b0}}{\sigma'_{b0}}) \sigma'_b = (4,5 - \frac{135}{90}) 7,5 = 22,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_b = \frac{116,26 \cdot 10^3}{25 \cdot 133} = 35 \text{ kg/cm}^2 \quad b$$

Solution = système mixte : barres relevées à 45° + Etriers verticaux

$$\sigma'_{at} = f_a \cdot \sigma_{ak} = \frac{0,2 \cdot (35)^2 + (7,5)^2}{0,4(35)^2 + (7,5)^2} \cdot 4200 = 23,10 \text{ kg/cm}^2$$

Soit 3 barres de la 2^e et 3^e nappe relevées à 45° \rightarrow Ati = 37,69 cm² \rightarrow T α (absorbé par Ati) = $\frac{37,69 \cdot 2310}{\sqrt{2}} = 64,7 \text{ t}$

Soit alors l'effort tranchant résiduel repris par les étriers Verticaux : 116,26 - 64,7 = 51,56 t.

$$Tr < \frac{T}{2} = 58,13 \text{ t ; on prend pour } Tr = \frac{T}{2}$$

$$\text{d'où } \tau_b = \frac{58,13 \cdot 10^3}{25 \cdot 133} = 17,5 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\tau}_b \rightarrow \text{Etriers Verticaux}$$

Calcul de l'écartement t :

$$At = 1 \text{ étrier HALO} = 1,57 \text{ cm}^2$$

$$\sigma'_{at} = f_a \cdot \sigma_{en} = 1 - \frac{17,5}{9.7,5} \cdot 4200 = 3110 \text{ kg/cm}^2$$

$$t = \frac{1,57 \cdot 133 \cdot 3110}{58,13 \cdot 10^3} = 11 \text{ cm}$$

{ ... (...) }

2°) Cadres du talon. Couture d'attache

a) Cadres du talon :

Les armatures d'âme n'embrassent pas tous les aciers contenue dans la membrure tendue. donc les armatures extérieures doivent être reliées par des cadres du talon.

Section 0,4 l₁

Toutes les barres tendues sont identiques d'où

Ac= At $\frac{n}{N}$ avec (At= Section des armatures d'âme :

(1 étrier HA10= 1,57 cm²

(n= 2

(N= 10

(~~5~~ac= ~~6~~at

d'où Ac= 1,57. $\frac{2}{10}$ = 0,314 cm²

à l'appui l :

A' (n= 6 ---> Ac= 1,57. $\frac{6}{20}$ = 0,472 cm²
(N= 20

A (As= 8HA40+1HA25

(A= 16HA40 201,04

4HA32= 32,17

1HA25= $\frac{4,91}{238,12}$ cm²

Ac= At . $\frac{As}{A}$ = 1,57 $\frac{105,44}{238,12}$ = 0,695 cm²

Section 0,5 l₂

n= 9
N= 24 (Ac= 1,57 $\frac{9}{24}$ = 0,59 cm²

Nous prenons Ac= 0,695 cm² . ---> 1 cadre HA8= 1,00cm²

pour Adx ---> Ac= 0,695 $\frac{2800}{1600}$ = 1,22 cm² soit 1 cadre Ø8= 1,00
+ l'épingle Ø8= 0,50

1,5cm²

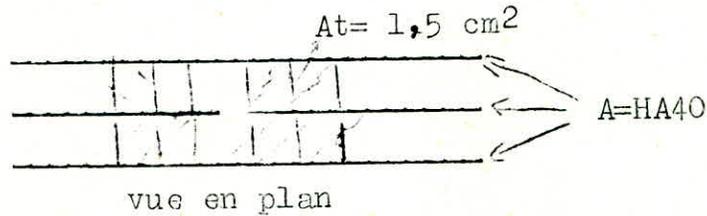
On disposera partout 1 cadre + 1 épingle Ø8 au même écartement que les armatures d'âme.

b) Coutures d'attache :

Couture d'un recouvrement :

Nous rappelons que la jonction est assuré par chaînage donc les barres d'une même file sont bout à bout, Mais l'ancrage d'une barre par scellement à son arrêt dans l'armature de la poutre peut être considéré comme une jonction par

recouvrement avec l'ensemble des autres barres le problème devient donc le même. Nous venons de calculer les cadres du talon. leur section Ac peut jouer le rôle de couture des armatures principales dans les zones d'ancrage. Il reste alors leur vérification



l'écartement doit être $\leq \frac{At}{A} \cdot \frac{b_{at}}{a} \cdot kd$

$$t \leq \frac{1,5}{12,56} \cdot \frac{2800}{2670} \cdot 110 = 12,5 \text{ cm}$$

3^e) Jonction hourdis-nervure :

A la jonction, l'effort tangent par unité de longueur est

$$s = \frac{T}{z} \cdot \frac{b_l}{b} \text{ avec } \begin{cases} T \text{ max} = 156,76 \text{ t} \\ z = \frac{7}{8} \cdot 125 = 110 \text{ cm} \\ b = \frac{320-25}{2} = \frac{295}{2} = 147,5 \text{ cm} \end{cases}$$

$$s = \frac{156,76 \cdot 10^3}{115} \cdot \frac{147,5}{320} = 0,625 \cdot 10^3 \text{ Kg/cm}$$

$$\bar{\sigma}_{1b} = \frac{s}{h_0} = \frac{0,625 \cdot 10^3}{20} = 31 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \bar{\sigma}_{1b} \neq \frac{\sigma_{1b0}}{3} = 30 \text{ kg/cm}^2$$

A = \rightarrow On se sert des Armatures transversales Ax de la dalle
 2nappes de (10 \emptyset 12 = 11,31
 (12 \emptyset 12 = $\frac{13,57}{24,88} \text{ cm}^2$

$$\sigma_a = \frac{s}{A} = \frac{625 \cdot 100}{24,88} = 2515 \text{ kg/cm}^2; \text{ .a doit être inférieur à } \frac{2}{3} \sigma_{en} \\ = \frac{2}{3} \cdot 4200 \text{ soit } \sigma_a < 2800 \text{ kg/cm}^2 = \text{Vérifiée .}$$

4^e) Adhérence d'entraînement des armatures de traction :

$$\bar{\sigma}_d = \frac{T}{p \cdot z} \text{ avec } \begin{cases} T = 156,76 \text{ t} \\ p = \text{périmètre total adhérent} = 8HA40 = 8 \cdot \pi \cdot 4,0 \\ z = \frac{7}{8} h = \frac{7}{8} \cdot 125 = 110 \text{ cm} \end{cases}$$

$$\text{Soit } \bar{\sigma}_d = \frac{156,76 \cdot 10^3}{8 \cdot 3,14 \cdot 4 \cdot 110} = 14,1 \text{ kg/cm}^2 < 3 \bar{\sigma}_b = 22,5 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{Vérifiée}$$

5^e) Etriers-suspentes :

Les entretoises exercent sur le talon des poutres

principales un effort concentre de : T max= 39,33t cet effort doit être repporté par les armatures d'âme de la poutre dans sa zone comprimée. Ces armatures d'âme, situées au voisinage immédiat de l'entretroise jouent le rôle d'étriers-suspentes.

Section à adopter : $A = \frac{T}{\sigma_a} = \frac{39,33 \cdot 10^3}{2800} = 14 \text{ cm}^2 \text{ ----> 5 cours}$
d'étrier HA14 : $5 \times 3,08 = 15,4 \text{ cm}^2$

6a) Contraintes spéciales de cisaillement dans les poutres en T :

En dehors des contraintes de cisaillement normales .b cette forme de section est soumise à des contraintes spéciales agissant dans la table de compression parallèlement et perpendiculairement aux faces verticales des nervures.

$$\tau_{1b} \leq \frac{b-b_0}{2b h_0} \cdot \frac{T}{z}$$

La condition pour que ces contraintes spéciales ne se produisent pas est que $\tau_{1b} \leq \tau^b$ soit $\frac{b-b_0}{2} \leq \frac{h_0 \cdot b}{b_0} \text{ ---->}$

$$\frac{b-b_0}{2} = 147,5 \text{ cm}$$

----> La condition est vérifiée, la table est donc

$$\frac{h_0 \cdot b}{b_0} = 256 \text{ cm} \text{ suffisante.}$$

III Justification d'about :

1°) Equilibre à l'about :

a) Traction des Armatures inférieures :

6HA40. filante de bout en bout, et ancrées aux abouts
Elles doivent résister à l'effort égal à $T = 93,12t$, $A \bar{\sigma}_a \gg T$

$$\sigma_a = \frac{T}{A} = \frac{93,12 \cdot 10^3}{6 \times 12,56} = 1240 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a = 1330 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{donc le}$$

premier lit filant à l'about assure, lui seul la résistance à T

b) Compression de la bielle d'about :

Transmission des charges à l'appui se fait au moyen de la bielle (450). Elle transmet T et l'effort de compression sera $F' = T \sqrt{2}$. La contrainte de compression sera :

$$\sigma'_b = \frac{F'}{bo \cdot c} = \frac{T \sqrt{2}}{boc} = \frac{2T}{boc} \text{ on prendra pour } C = 17 \text{ cm plaques de néoprène } 25 \times 60.$$

$$\sigma'_b = \frac{2 \cdot 93,12 \cdot 10^3}{25 \times 17} = 0,438 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2 \gg \bar{\sigma}'_{bo} = 90 \text{ kg/cm}^2$$

d'où nécessité d'un montant d'appui spécialement armé, de même épaisseur que le talon de la poutre.

$$\text{d'où } \sigma'_b = \frac{438 \times 25}{67} = 163 \text{ kg/cm}^2 > \bar{\sigma}'_{bo}.$$

En considérant que le lit inférieur des armatures longitudinales 6HA40 ainsi que les cadres du talon constituent un frettage efficace d'où au niveau de l'arase supérieure du talon (BA68p67).

$$\sigma'_b = \frac{2 \cdot 93,12 \cdot 10^3}{42 \times 60 + 33 \times 25} = 55,8 < \bar{\sigma}'_{bo}.$$

2°) Ancrage par courbure des armatures de traction :

Le problème n'intéresse que le lit inférieur des armatures longitudinales, ancrées par crochets aux abouts.

a) Condition de non écrasement du béton :

On fixe le diamètre du mandrin de cintrage des HA40 à 50 cm.

$$\text{d'où } r \gg 0,10 \phi \cdot \frac{\bar{\sigma}_a}{\bar{\sigma}'_{bo}} \left(1 + \frac{\phi}{d}\right)$$

avec (r = rayon de courbure des barres = 25 + 2 = 27 cm)

$$(\bar{\sigma}_a = \bar{\sigma}_a \text{ (ou de but du crochet)} = 1330 \text{ kg/cm}^2)$$

$$(\bar{\sigma}'_{bo} = 90 \text{ kg/cm}^2)$$

(d = distance du centre de courbure du crochet à la paroi

la plus proche = 25 cm

(n = 1 (un seul lit ancré)

$$(\text{d'où } 0,1 \cdot 4 \cdot \frac{13 \cdot 30}{9,0} \left(1 + \frac{4}{25}\right) l = 6,85 \text{ cm}$$

$$r = 27 \text{ cm} > 6,85 \text{ cm Vérifiée}$$

b) Ancrage par retour d'équerre.

Calcul de la longueur l qui procure un ancrage total en A

$$\bar{F}_a = \frac{\pi \phi^2}{4} \cdot \bar{\sigma}_a \quad (1)$$

$$\bar{F}_B = X \bar{F}_A - X' \cdot \phi r \cdot \bar{\sigma}_d \quad (2)$$

$$\bar{F}_B = \pi \phi l \cdot \bar{\sigma}_d \quad (3)$$

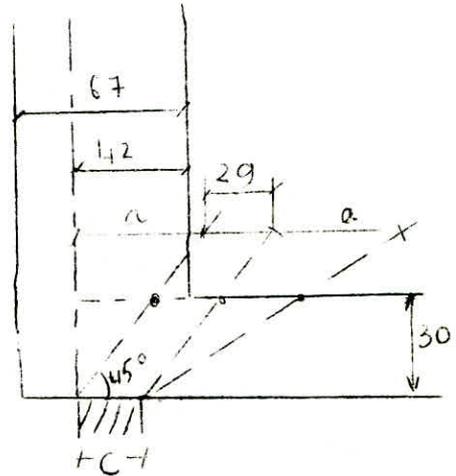
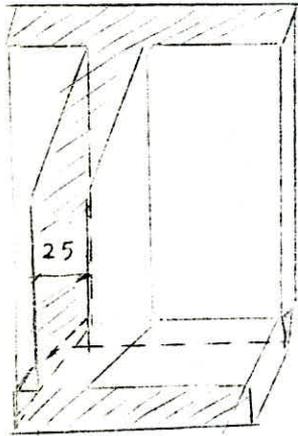
d'où $l = X l_d - X' r$

θ°	X	X'	l_d cm	r cm
90°	0,53	1,17	110	27

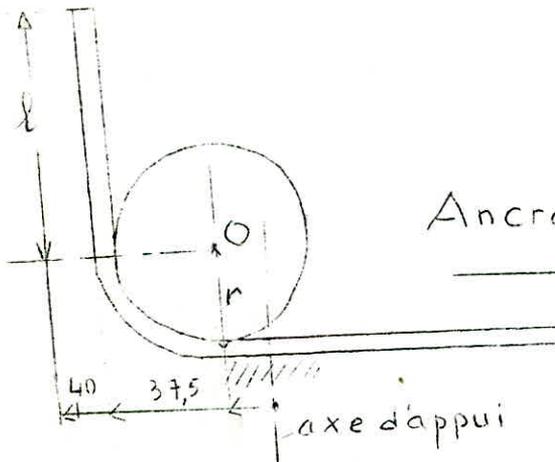
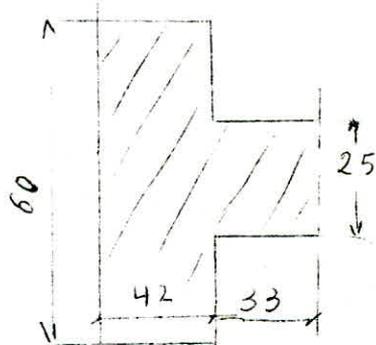
$$l = 0,53 \cdot 110 - 1,17 \cdot 27 = 16,7$$

on prend $l = 20$ cm.

Longueur développée à partir de l'axe d'appui:
 $8,5 + \frac{\pi}{2} \cdot 27 + 20 = 71$ cm.



Montant d'appui



Ancrage par Retour d'Equerre

Armatures de répartition :

La poutre a une hauteur de 140 cm : Il y a risque de fissures exagérées dans la hauteur de l'âme : Pour éviter ce phénomène il paraît nécessaire de disposer des armatures intermédiaires. Ces fissures proviennent de la membrure de traction qui se présente en un tirant de 3 lits de barres . Ce type de fissuration existe si $\frac{n^2 m ht}{bo} > 40$.

avec n = coefficient de fissuration = 1,6
 m = nombre de barres tendues :
 bo = largeur d'âme = 25 cm

a) Appui intermédiaire 1 :

$$\frac{n^2 m \cdot ht}{bo} = \frac{(1,6)^2 \cdot 20 \cdot 140}{25} = 287 > 40.$$

On disposera 4 files de 12HA12 tous les 20 cm sur les 2 faces de l'âme jusqu'à l'axe neutre . On considère le tirant supérieur représenté sur la figure ci-après (page suivante)

$$A = 6 \times 1,13 = 6,78 \text{ cm}^2$$

$$B_f = 25 \times 58,8 = 1400$$

$$\hat{w}_f = \frac{6,78}{1400} = 0,00485$$

Valeur maximale de la contrainte des armatures du tirant

$$\sigma_1. \bar{\sigma}_1 = 10^6 \frac{1,6}{12} \cdot \frac{0,005}{1,05} = 635 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_2. \bar{\sigma}_2 = 2,4 \sqrt{\frac{1,6}{12} \cdot 10^6 \cdot 7,5} = 2400 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \bar{\sigma}_a = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

Or la contrainte au niveau de la nappe supérieure du tirant est:

$$\bar{\sigma}_a = 2660 \cdot \frac{70,8-20}{70,8} = 1920 \text{ kg/cm}^2 < 2400 \text{ kg/cm}^2$$

b) Section 0.4-11

$$\frac{n^2 m ht}{bo} = \frac{(1,6)^2 \cdot 16 \cdot 140}{25} = 230 > 40$$

On disposera 3 files de 2HA12 sur les 2 faces de l'âme, espacées de 20 cm . Dans le tirant -

$$\hat{w}_f = \frac{A}{B_f} = \frac{6,78}{25 \times 57,7} = 0,0047$$

Valeur maxi de la contrainte des armatures du tirant.

$$1. \bar{\sigma}_1 = 635 \text{ kg/cm}^2$$

$$2. \bar{\sigma}_2 = 2400 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \bar{\sigma}_a = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

Contrainte au niveau de la nappe inférieure du tirant

$$1330 \cdot \frac{72,7-30}{72,7} = 782 \text{ kg/cm}^2 < 2400 \text{ kg/cm}^2$$

Pour y satisfaire, On prolongera les 3 files inférieures disposées dans l'âme de la section d'appui intermédiaire .

c) Section 0,5 l₂

$$\frac{n^2 m ht}{bo} = \frac{(1,6)^2 \cdot 21 \cdot 140}{25} = 300 \gg 40$$

Pour faciliter les travaux de chantier, on prolongera les files HAL2 disposés à 0,4l et à l'appui intermédiaire.

L'axe neutre dans la section à 0,4 l₁ tombe dans la nervure à 52,3 cm. dans la section à 0,5 l₂ il est à 53 cm

Donc nous avons la même disposition des files HAL2 avec une contrainte admissible $\bar{\sigma}_a = 2400 \text{ kg/cm}^2$.

Et la contrainte au niveau de la nappe inférieure du tirant $1940 \frac{72 - 30}{72} = 1130 \text{ kg/cm}^2 < 2400 \text{ kg/cm}^2$

Conclusion : dans toute la portée des poutres intermédiaires on disposera 4 files de 2HAL2 tous les 20 cm Comme indiqués sur schéma.

Poutre 1 :

Section 0,4 l₁ (m= 12
 $\bar{\sigma}_a = 1310 \text{ kg/cm}^2$

$$\frac{n^2 m ht}{bo} = \frac{(1,6)^2 \cdot 12 \cdot 140}{25} = 173 \gg 40$$

d'où comme pour la poutre 2, on dispose 4 files de 2HAL2 sur les 90 cm de hauteur d'âme.

$$A = 6,78 \text{ cm}^2$$

$$B_f = 25 \times (85,6 - 15) = 1760 \text{ cm}^2$$

$$\bar{w}_f = \frac{6,78}{1760} = 3,85 \cdot 10^{-3} = 0,00385$$

valeur maxi de la contrainte des armatures du tirant

$$\bar{\sigma}_1 = 10^6 \cdot \frac{1,6}{12} \cdot \frac{0,00385}{10,385} = 495 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_2 = 2400 \text{ kg/cm}^2 \text{ ----} \rightarrow \bar{\sigma}_a = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

Valeur de $\bar{\sigma}_a$ au niveau de la nappe inférieure du tirant.

$$1310 \cdot \frac{85,6 - 30}{85,6} = 850 \text{ kg/cm}^2 < 2400$$

Section Appui

m= 20

 $\bar{\sigma}_a = 2520 \text{ kg/cm}^2$

$$\frac{n^2 m ht}{bo} = \frac{(1,6)^2 \cdot 20 \cdot 140}{25} = 386 \gg 40$$

Dans le tirant hachuré il y a 3files 2HAL2 $\rightarrow A = 6,78 \text{ cm}^2$

$$B_f = 25 \times (62 - 10,2) = 1295 \text{ cm}^2$$

$$\bar{w}_f = \frac{6,78}{1295} = 0,00525$$

$$d'où \bar{\sigma}_1 = 10^6 \cdot \frac{1,6}{12} \cdot \frac{0,00525}{1,0525} = 665 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_2 = 2400 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \bar{\sigma}_a = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$\bar{\sigma}_a$ au niveau de la nappe supérieure du tirant :

$$2520 \cdot \frac{62-15}{62} = 1910 \text{ kg/cm}^2 < 2400 \text{ kg/cm}^2$$

Section $0,5 I_2$ $m = 19$
 $\bar{\sigma}_a = 1715 \text{ kg/cm}^2$

$$\frac{n^2 m h t}{b_o} = \frac{(1,6)^2 \cdot 19 \cdot 140}{25} = 272 \gg 40.$$

Dans le tirant il y a 4 HA12 = $4,52 \text{ cm}^2$ dans :

$$B_f = 25 \times (74,5 - 15) = 1490 \text{ cm}^2$$

$$\bar{w}_f = \frac{4,52}{1490} = 0,00303$$

$$\bar{\sigma}_1 = 10^6 \cdot \frac{1,6}{12} \cdot \frac{0,003}{1,03} = 392 \text{ kg/cm}^2$$

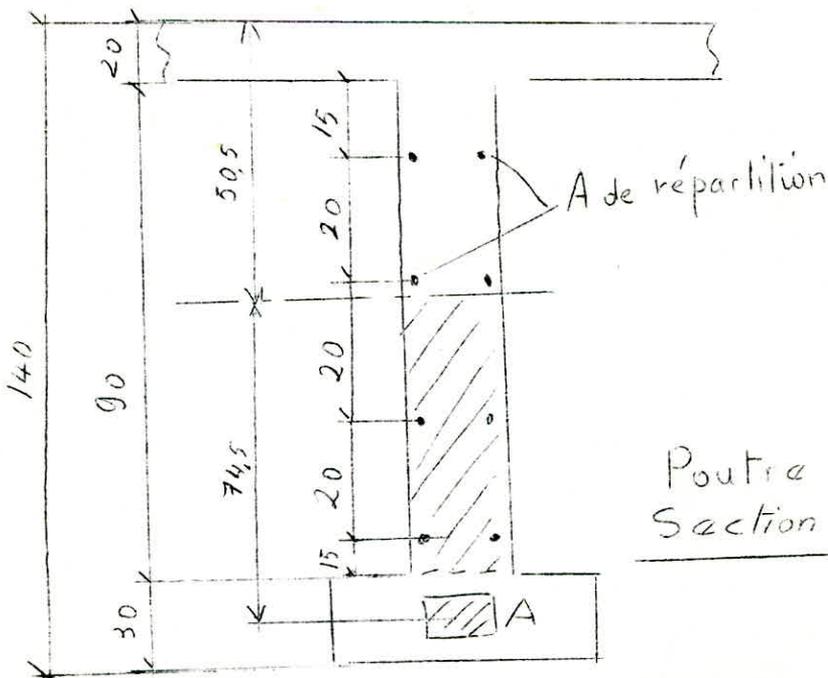
$$\bar{\sigma}_2 = 2400 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \bar{\sigma}_a = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$\bar{\sigma}_a$ au niveau de la nappe inférieure du tirant considéré

$$1715 \cdot \frac{74,5-30}{74,5} = 1020 \text{ kg/cm}^2 < 2400 \text{ kg/cm}^2$$

Conclusion :

Comme la poutre 2, la poutrel comportera dans toute sa portée, 4 fils de 2HA12 tous les 20 cm dans la hauteur d'âme.



Note sur le calcul des poutres principales relatif à la section d'appui intermédiaire.

$\bar{\sigma}'_{bo} < \bar{\sigma}'_b < 2\bar{\sigma}'_{bo} \rightarrow$ ce qui impose une contrainte de cisaillement de $b = 22,5$ bars d'après calcul fait au paragraphe "Effort tranchant" or pour satisfaire à $\bar{\sigma}'_b < \bar{\sigma}'_b$ avec le T_{max} il a fallu recouvrir à la solution dite "mixte" barres relevées + étriers verticaux. Cela n'a pas suffi: nous nous sommes trouvés devant le problème "modifier la section:

- Soit augmenter la largeur d'âme $b_0 = 25$ cm en laissant constante la hauteur de la poutre $ht = 140$ cm ce qui revient à dire $z =$ bras de levier du couple élastique constant:
- Soit opérer d'une façon inverse: $b_0 =$ Constante et varier ht nous avons préféré la dernière pour tomber dans la solution dite les gaussets.

Donc $\bar{\sigma}'_b = \bar{\sigma}'_b$ pour $z = 133$ cm soit $h = \frac{8}{7} z = 152$ cm
 d'où $ht = (1 + 0,1)h = (1 + 0,1)152 = 167$ cm.

2. Moment fléchissant :

Le moment fléchissant sur appui est plus grand que celui à mi-portée de la travée intermédiaire: or en section $0,5 l_2$, $ht = 140$ cm nous donne un taux de travail du béton de 109 kg/cm^2 pour une contrainte admissible à la flexion de 119 kg/cm^2 ce qui signifie que nous pourrions toujours diminuer notre section pour faire travailler le béton à son maximum. Mais sur l'appui, le choix de la section constante n'est pas économique car :

a) pour absorber le moment fléchissant minimum de -724 tm , nous avons eu recours aux armatures comprimées. C'est une solution. Par contre, il existe une remarque (charron P.166) Réduction ou suppression des armatures comprimées par diminution du taux de travail des Armatures, (dans notre cas, pour cette section il est de 2660 kg/cm^2) : "quoi qu'il en soit on ne devra jamais établir une pièce en béton-armé, soumise à la flexion simple, dans laquelle le pourcentage des armatures comprimées serait supérieur à celui des armatures tendues. Le calcul mené avec la modification de la hauteur a assuré cette remarque que nous pouvons prendre comme règle et donné une section A' convenable.

3. Effet du gausset.

Le gausset que nous avons prévu entraîne une variation d'inertie de la poutre dans la région de l'appui et par conséquent va changer le moment sur appui calculé au paravant en considérant la poutre de hauteur constante sur toute sa portée.

Variation d'inertie :

a) $b_0 = 25$ cm ($I_{travée} = 182,1 \cdot 10^5 \text{ cm}^4$
 $ht = 140$ cm (
 talon de 30×67 cm (

$$\begin{array}{l}
 \text{b) } b_0 = 25 \text{ cm} \\
 \text{ht} = 167 \text{ cm} \\
 \text{talon de } 30 \times 67 \text{ cm}
 \end{array}
 \quad
 \left(
 \begin{array}{l}
 I_{\text{appui}} = 285,95 \text{ cm}^4 \\
 \text{---} \\
 I_{\text{travée}} = 285,95 \text{ cm}^4
 \end{array}
 \right)
 \quad
 \frac{I_{\text{appui}}}{I_{\text{travée}}} =$$

$$\frac{I_{\text{appui}}}{I_{\text{travée}}} = \frac{285,95 \cdot 10^5}{182,1 \cdot 10^5} = 1,56 = 0,64$$

Pour éviter une augmentation inacceptable du moment sur appui, nous prenons un gausset de faible importance, c'est à dire que nous pouvons amorcer le gausset à la section $0,9 l_1$ ce qui donnerait une pente de :

$$\text{tg } \alpha = \frac{167-140}{l_1 - 0,9 l_1} = \frac{27}{230} = 0,1172 \text{ soit un angle de } 5^\circ 15' \text{ environ}$$

Le gausset réalisé (en place) va nous augmenter sensiblement le moment sur appui et par le même nous diminuer le moment en travée. Si nous prenons en compte seulement les calculs déjà fait avec section constante de $ht = 140 \text{ cm}$, nous nous trouvons dans la sécurité pour les sections en travée. Et en ce qui concerne l'appui, nous pouvons dire que :

- L'augmentation sera faible vu le rapport d'inertie I_a/I_t et la pente $\text{tg } \alpha$.
- Le béton armé est doué de la propriété de pouvoir s'adapter c'est à-dire que si dans une pièce certaines sections sont surabondantes en point de vue résistance, tandis que d'autres sont insuffisantes, les efforts, grâce à la déformation du béton-armé se trouvent automatiquement reportés vers les sections surabondantes qui viennent soulager les sections trop faibles.

- ETUDE DES ENTRETOISES -

1. Présentation :

-L'entretoise est infiniment rigide.
 - Les efforts dans l'entretoise dûs en poids propre sont négligés.

Les efforts défavorables s'obtiendront avec les surcharges Bc .

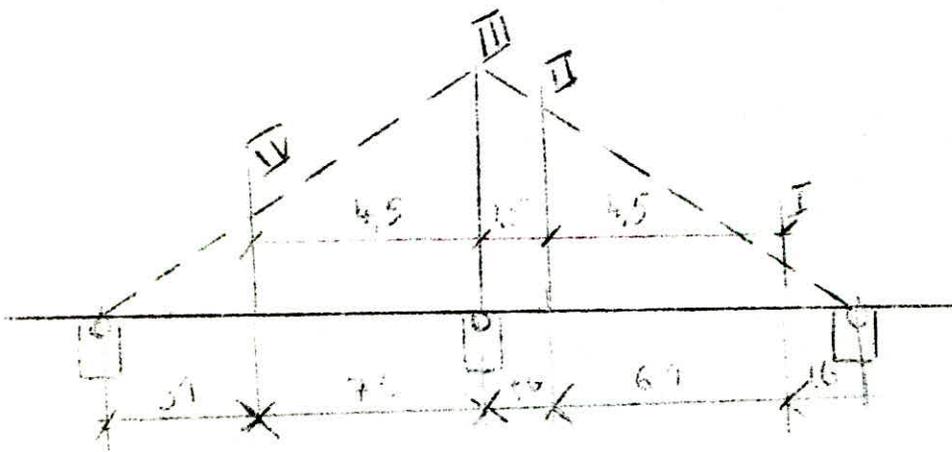
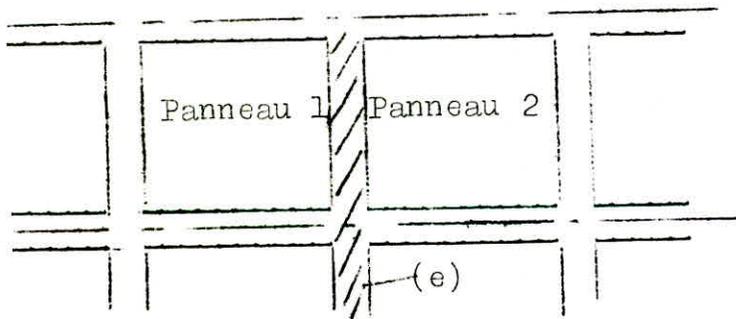
- Les Moments >0 et <0 maximum de même que les efforts tranchants seront calculés au droit des poutres principales pour entretoise la plus sollicitée soit la seconde entretoise intermédiaire dans la travée 2 .

-On supposera la dalle articulée sur ses appuis, et qu'elle porte uniquement sur les entretoises.

2. Réactions maximale sur l'entretoise:

a) dûe aux charges Bc.

- Cherchons la disposition la plus défavorable pour l'entretoise à étudier(notée: e) d'une file de roue dans le sens longitudinal du pont . On ne chargera que les 2 panneaux encadrent l'entretoise.



Ligne d'influence de R_{Bc} sur e

Réaction sur e due à chaque roue i

$R_i = P_i \cdot z_i$ avec $P_i =$ poids de la roue i .

$z_i =$ ordonnée de la ligne d'influence

R_{Bc} sur e .

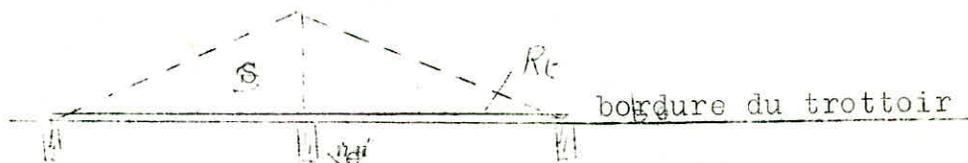
R_i avec majoration de 20% et ζ : $R_i = 1,2 \cdot 1,0827 \cdot P_i \cdot z_i$

$\frac{z_i}{l_i} = \frac{1}{7,6}$ ----> avec $l_i =$ distance de la roue i à l'entretoise 1 .

Roue	l_i	z_i	$P_i(t)$	$R_i(t)$
I	1,6	0,342	3	1,34
II	6,1	0,935	6	7,3
III	7,6	1	6	7,8
IV	3,1	0,407	3	1,2
R =				17,64

b) dûe au trottoir :

La surcharge sur le trottoir prise en compte est de 450 kg/m²



Ligne d'influence de R_t sur e

Réaction sur la bordure du trottoir = $R_t = 0,45 \cdot 1,6 = 0,36t/ml$
 R sur e = $R_t \cdot 2S$ avec $S =$ Aire de la ligne d'influence de R_t sur e.

$S = \frac{7,6 \cdot 1}{2}$ d'où R_t sur e = $0,36 \cdot 7,6 = 2,74 t$

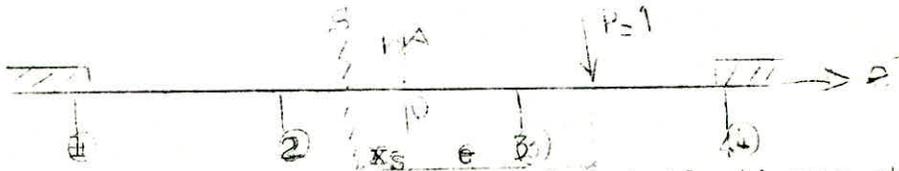
Après majoration de 20% seulement ----> $\underline{R_t = 3,28t}$

3. Efforts défavorable dans l'entretoise e :

Recherchons la position du convoi dans le sens transversal de façon à obtenir les efforts défavorable dans les sections choisies en 1, de l'entretoise e. Pour résoudre ce problème, nous traçons les lignes d'influence des efforts dans e pour les sections au droit des axes des poutres principales 1 et 2.

3.1 Ligne d'influence de l'effort tranchant pour e :

Soit une charge P=1 se déplaçant sur e, O= centre de gravité des appuis de l'entretoise .



Les poutres sont toutes les 4 identiques et équidistantes de l= 3,20m.

La ligne d'influence de T dans une section x_s sera :

$$T_{x_s} = \left(- \sum d. \frac{1}{n} \sqrt{1+6} \frac{-n+2i-1}{n^2-1} \cdot \frac{e}{l} \right) \text{ pour } e < x_s \quad (1)$$

$$\left(+ \sum g \frac{1}{n} \sqrt{1+6} \frac{-n+2i-1}{n^2-1} \cdot \frac{e}{l} \right) \text{ pour } e > x_s \quad (2)$$

A. Section au droit de P.P2 : $x_s = -1/2$

$$a) e < -1/2 \rightarrow T-1/2 = -\frac{1}{4} \sqrt{1+6} \frac{-4+2 \cdot 3-1}{15} \cdot \frac{e}{l} - \frac{1}{4} \sqrt{1+6} \frac{-4+2 \cdot 4-1}{15} \cdot \frac{e}{l} = -0,5-0,4 e/l \quad (1A).$$

$$b) e > -1/2 \rightarrow T-1/2 = \frac{1}{4} \sqrt{1+6} \frac{-4+2 \cdot 1-1}{15} \cdot \frac{e}{l} - \frac{1}{4} \sqrt{1+6} \frac{-4+2 \cdot 2-1}{15} \cdot \frac{e}{l} = +0,5-0,4 e/l \quad (2A).$$

e :	0	1/2	3 l/2	-l/2	-3l/2	-1,25l (P à gauche de P.P2)
:	:	:	:	:	:	-1,25l (P à droite de P.P2)
T-1/2 :	+0,5	0,3	-0,1	+0,7	0,1	0

B. Section au droit de P.P1 : $x_s = -3 l/2$

Le Calcul se fait comme en A: il suffit seulement de faire i= 4 dans(1) et sommer i= 1,2,3 dans(2)

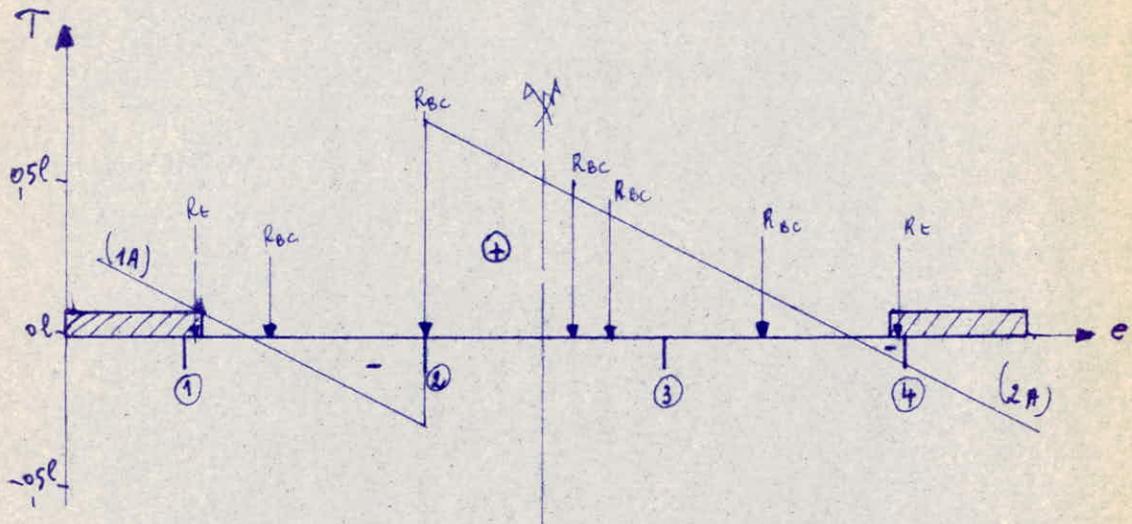
$$a) e < -3 l/2 \rightarrow T-3 l/2 = -0,75-0,3 e/l \quad (1B)$$

$$b) e > -3 l/2 \rightarrow T-3 l/2 = 0,25 - 0,3 e/l \quad (2B)$$

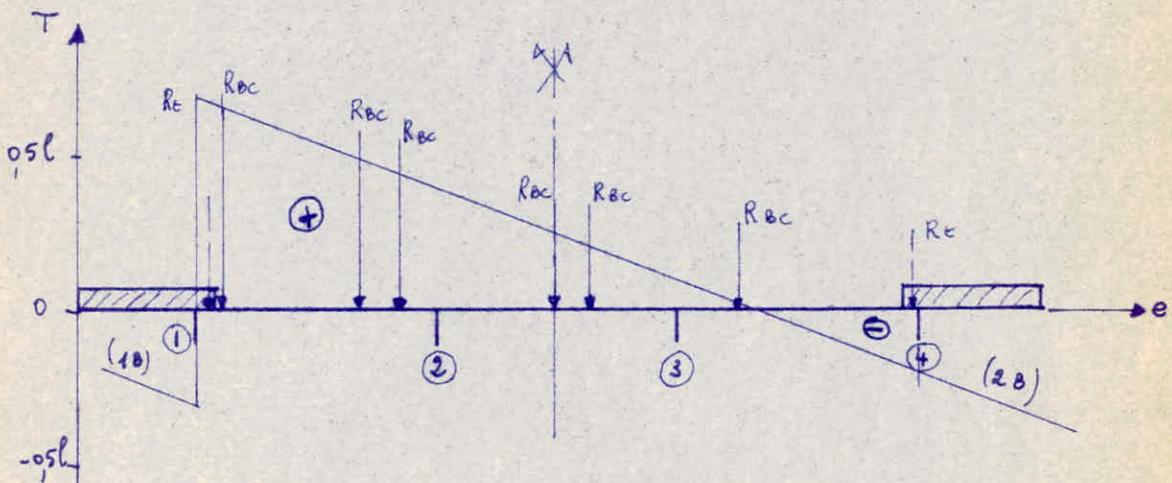
e :	0	1/2	3 l/2	-l/2	-3 l/2	+0,835 l (P à droite de P.P1)
T-3l/2 :	0,25	0,1	-0,2	0,40	-0,3	0
:	:	:	:	:	0,7	:

Ligne d'influence de T pour e
avec disposition transversale des convois.

A) Saction : $x_s = -l/2$ (au droit de PP2)



B) Saction : $x_s = -3l/2$ (au droit de PP1)



3.2 Calcul de l'effort tranchant maximum :

A. Dans la section P.P 2

$$T \text{ max} = 17,64(0,70 + 0,45 + 0,40 + 0,15) + 3,28 \cdot 0,1 = \underline{30,328 \text{ t}}$$

B. Dans la section P.P 1 :

$$T \text{ max} = 17,64 (0,675 + 0,5 + 0,45 + 0,25 + 0,20 + 0,025) + 3,28 \cdot 0,68 = \underline{39,33 \text{ t}}$$

3.3 Ligne d'influence du Moment fléchissant pour e :

Avec les mêmes notations que pour T, le moment fléchissant dans la section "S" s'exprime par :

$$M_{xs} = \begin{cases} - \sum d \cdot \frac{1}{n} \int_{1+6}^{\frac{-n+2i-1}{n^2-1}} \cdot \frac{e}{1} \int_{x_s}^{\frac{n-2i+1}{2}} \cdot \frac{1}{7} (3) \text{ pour } e < x_s \\ + \sum g \cdot \frac{1}{n} \int_{1+6}^{\frac{-n+2i-1}{n^2-1}} \cdot \frac{e}{1} \int_{x_s}^{\frac{n-2i+1}{2}} \cdot \frac{1}{7} (4) \text{ " } e > x_s \end{cases}$$

A. Section au droit de P.P 2 $x_s = -1/2$

$$\begin{aligned} \text{a) } e < -1/2 \longrightarrow M_{-1/2} &= -\frac{1}{4} \int_{1+6}^{\frac{-5+2 \cdot 3}{15}} \cdot \frac{e}{1} \int_{-1/2}^{\frac{5-2 \cdot 3}{2}} \cdot \frac{1}{7} \\ &\quad - \frac{1}{4} \int_{1+6}^{\frac{-5+2 \cdot 4}{15}} \cdot \frac{e}{1} \int_{-1/2}^{\frac{5-2 \cdot 4}{2}} \cdot \frac{1}{7} \\ &= 0,75 \text{ l} + 0,7e \quad (3A) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } e > -1/2 \longrightarrow M_{-1/2} &= \frac{1}{4} \int_{1+6}^{\frac{-5+2 \cdot 1}{15}} \cdot \frac{e}{1} \int_{-1/2}^{\frac{5-2}{2}} \cdot \frac{1}{7} \\ &= 0,25 \text{ l} - 0,3e \quad (3B) \end{aligned}$$

Vérification $\text{tg } \theta_1 - \text{tg } \theta_2 = +0,7 + 0,3 = 1$

c)

-3l/2	-1/2	e	0	+3l/2	-1,07 l
					+0,835 l
-0,30	+0,40 l	M_{-1/2}	0,25 l	-0,20 l	0

B. Section du droit de P.P 1 : $x_s = -3l/2$ l'extrémité est libre donc $M=0$.

3.4 Calcul de Mmaxi et M mini

Dans la section P.P 2

$$M^+ \text{max} = 17,64 (0,4 + 0,375 + 0,175 + 0,125) \cdot 1 = 61 \text{ tm}$$

$$M^- \text{mini} = -17,64 (0,05 + 0,05) - 3,28(0,3 + 0,15) = 10,4 \text{ tm.}$$

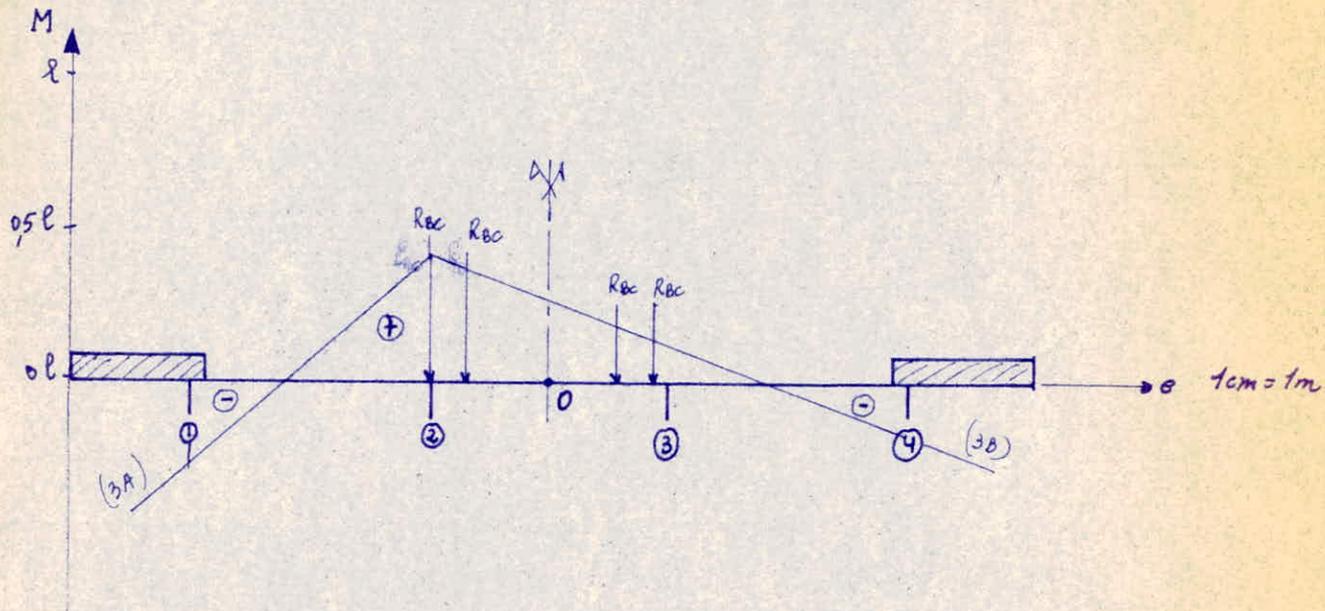
4. Calcul des Armatures de e

4.1 Armatures longitudinales inférieure $M^+ \text{max} = 61 \text{ tm}$

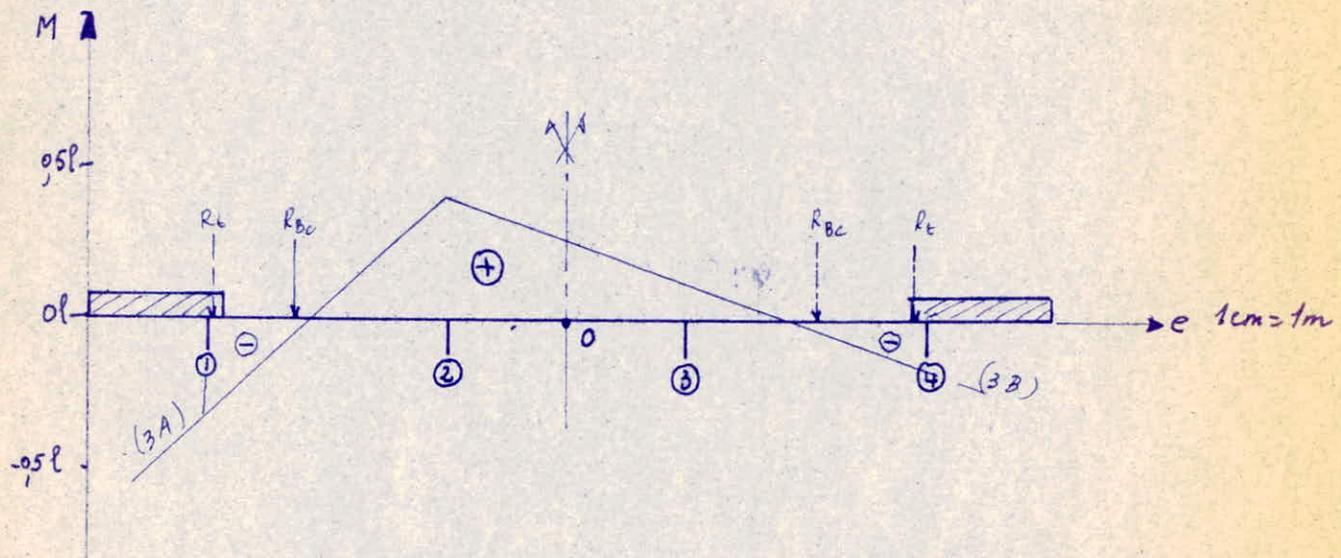
La section est rectangulaire de largeur $b = 20 \text{ cm}$
 et hauteur $ht = 160 - (20 - 25) = 115 \text{ cm}$
 d'où $h = 115 - (3 + 5) = 107 \text{ cm.}$

Ligne d'influence de M pour e
 et disposition des convois dans le sens transversal.

a) M⁺



b) M⁻

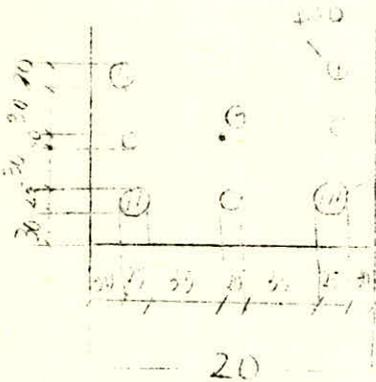


Contraintes dans le béton : $\bar{\sigma}'_b = 180$ bars = 180.1 = 180 bars
 $\bar{\sigma}'_{bo} = 90$ bars

d'où $\bar{\sigma}'_b < \bar{\sigma}'_b$
 $\bar{\sigma}'_m < \bar{\sigma}'_{bo}$

a) Calcul rapide de A pour déterminer h exact :

$$A = \frac{M}{z \cdot \bar{\sigma}'_a} = \frac{61 \cdot 10^5}{0,94 \cdot 107,2670} = 22,7 \text{ cm} \quad \left(\begin{array}{l} 2HA25 = 9,82 \\ 4HA20 = 12,56 \\ = 22,38 \text{ cm}^2 \end{array} \right)$$



h exact = 115 - 7,5 = 107,5 cm

$$\bar{\sigma}'_f = \frac{22,38}{150 \times 20} = 0,74 \cdot 10^{-2}$$

b) Fissuration :

$$\bar{\sigma}'_1 = 10^6 \cdot \frac{1,6}{25} \cdot \frac{0,74 \cdot 10^{-2}}{1,07} = 4420 \text{ bars}$$

$$\bar{\sigma}'_2 = 1660 \text{ bars}$$

Or $\bar{\sigma}'_a$ est mini de $\begin{cases} 2670 \text{ bars} \\ \text{maxi } (4420 \text{ bars} \\ 1660 \text{ bars} \end{cases}$

$\bar{\sigma}'_a = 2670 \text{ kg/cm}^2$

c) Détermination précise de A :

$$1. \mu' = \frac{15 \cdot 61 \cdot 10^5}{2670 \cdot 20 \cdot 107,5^2} = 0,148$$

μ'	k	α	ϵ	ω'	y (cm)	z (cm)
0,148	19,1	0,4399	0,8534	1,162	47,2	91,6

$$3. A = \omega' \frac{bh}{100} = 1,162 \frac{20 \cdot 107,5}{100} = 25 \text{ cm}^2 \text{ soit } \begin{array}{l} 2HA 25 \text{ 1er lit} \\ 5HA 20 \text{ 2è lit} \end{array}$$

$$4. \bar{\sigma}'_b = \frac{2670}{19,1} = 140 \text{ bars} < \bar{\sigma}'_b \text{ Vérifiée}$$

$$\bar{\sigma}'_m = \frac{F}{S} = \frac{M}{z \cdot S} \text{ avec } S = \text{Aire de la zone comprimée} = b \cdot y = 20 \cdot 47,2 = 944 \text{ cm}^2$$

$$\text{d'où } \bar{\sigma}'_m = \frac{61 \cdot 10^5}{91,6 \cdot 944} = 70,5 \text{ bars} < \bar{\sigma}'_{bo} \text{ Vérifiée}$$

4.2 Armatures longitudinales superieures : $M_{min} = -10,4 \text{ tm}$

$$1. \mu' = \frac{15 \cdot 10,4 \cdot 10^5}{2670 \cdot 20 \cdot 107,5^2} = 0,0252$$

μ'	k	α	ϵ	ω'	y cm	z cm
0,0252	57,5	0,2069	0,9310	0,180	22,2	100

3. $A = 0,18 \frac{20.107,5}{100} = 3,87 \text{ cm}^2 \rightarrow$ soit 5 HA10 = 3,92 cm² en 2 nappes -110-
4. $\sigma'_b = \frac{2670}{57,5} = 46 \text{ bars}$
 $\sigma'_m = \frac{10,4 \cdot 10^5}{100 \cdot 22 \cdot 2 \cdot 20} = 23,6 \text{ bars}$

Nota : Ces armatures ainsi calculées concernent toutes les sections de l'entretoise e et par conséquent le ferailage de toutes les entretoises.

5. Etude des armatures transversales (At)

5.1 At entre les 2 poutres principales intermédiaires :

$$T_{\max} = 30,33 \text{ t}$$

a) Calcul de la contrainte de cisaillement τ_b

$$\tau_b = \frac{T_{\max}}{b \cdot z} = \frac{30,33 \cdot 10^3}{20 \cdot \frac{7}{8} \cdot 107,5} = 16,1 \text{ kg/cm}^2$$

- b) $\tau_b = 16,1 \text{ b}$ nous avons : $\sigma'_b < \sigma'_b < 2 \sigma'_b$ donc τ_b doit être comparée avec $(4,5 \frac{\sigma'_b}{\sigma'_b}) \sigma'_b$ qui est égale ici à 22 bars.
 soit $\tau_b < 22 \text{ bars}$ donc emploi d'armatures transversales droites (perpendiculaire à la ligne neutre).

c) Section At.

1 cadre T8 pour les HA25
 1 étrier T8 pour les HA20 soit $4 \cdot 0,5 = 2,01 \text{ cm}^2$

d) Calcul de σ_{at}

$$\sigma_{at} = \rho_a \cdot \sigma_a \text{ en } \left\{ \begin{array}{l} \rho_a = 1 - \frac{b}{9 \cdot b} = 1 - \frac{16,1}{9 \cdot 7,5} = 0,761 > \frac{2}{3} \\ \sigma_a \text{ pour T } \leq 20 = 4200 \text{ bars} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{at} = 0,761 \cdot 4200 = 3200 \text{ bars.}$$

e) Calcul de l'écartement des At :

$$t_{\max} = \frac{At \cdot \sigma_{at} \cdot z}{T} = \frac{2,01 \cdot 3200 \cdot 94}{30,33 \cdot 10^3} = 20 \text{ cm}$$

$$t_{\max} \text{ doit être } \leq \bar{t}_1 \text{ et } \bar{t}_2 \quad \left\{ \begin{array}{l} \bar{t}_1 = h(1 - 0,3 \frac{b}{b}) = 38,2 \text{ cm} \\ \bar{t}_2 = 0,2 h = 21,5 \text{ cm} \end{array} \right.$$

Conclusion : 1 cadre + 1 étrier T8 espacés tous les 20 cm entre les 2 poutres principales intermédiaires.
 Pas de reprise de bétonnage dans les entretoises.

5.2 Armatures transversales entre P.P 1 et P.P 2 ou P.P3 et P.P4 (Soit entre 1 poutre de rive et une poutre intermédiaire.)

- $T_{max} = 39,33 \text{ t}$
- a) $\bar{\sigma}_b = \frac{39,33 \cdot 10^3}{20,94} = 20,9 \text{ bars}$
- b) $\bar{\sigma}_b < 22 \text{ bars} \rightarrow$ Armatures transversales droites
- c) $A_t = 2,01 \text{ cm}^2 = 1 \text{ cadre T8} + 1 \text{ étrier T8}$
- d) $\bar{\sigma}_{at} = f_a \cdot \xi \text{ en } \left\{ \begin{array}{l} \xi = 1 - \frac{20,9}{9,7,5} = 0,69 > \frac{2}{3} \\ \xi = 4200 \text{ bars} \end{array} \right.$
- $\bar{\sigma}_{at} = 0,69 \cdot 4200 = 2900 \text{ bars}$
- e) $t_{max} = \frac{2,01 \cdot 2900 \cdot 94}{39,33 \cdot 10^3} = 14 \text{ cm}$ et $\bar{t}_1 = 17,5 \text{ cm}$
 $\bar{t}_2 = 21,5 \text{ cm}$

Conclusion :

1 cadre + 1 étrier T8 espacés tous les 14 cm sur toute la longueur d'entre-axe de la poutre de rive et la poutre intermédiaire. Pas de reprise de bétonnage .

= Membres du Jury =
=====

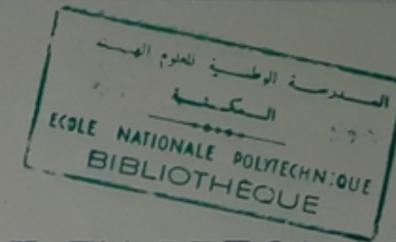
M^r MOKDAD

M^r LEVELLY

M^r ZOLATAREV

M^r DAUGREILLE

Soutenu le 21 Juin 1973



PONT EN BETON ARME

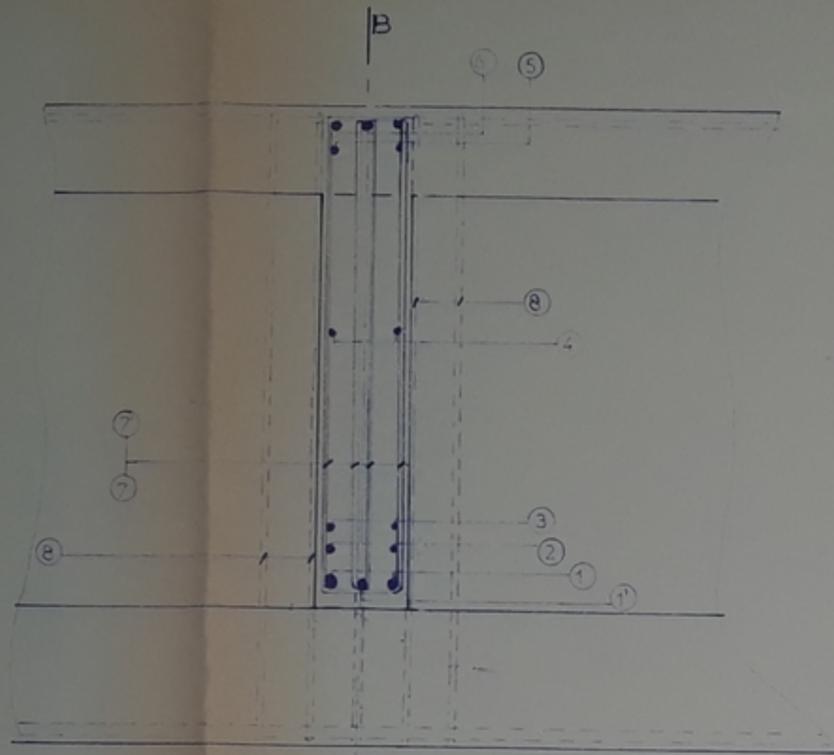
6. FERRAILAGE ENTRETROISES

ECHELLE 1/10



PROPOSE ET DIRIGE PAR M. IB MOKDAD

ETUDIE PAR R. HADJMESSAOUD



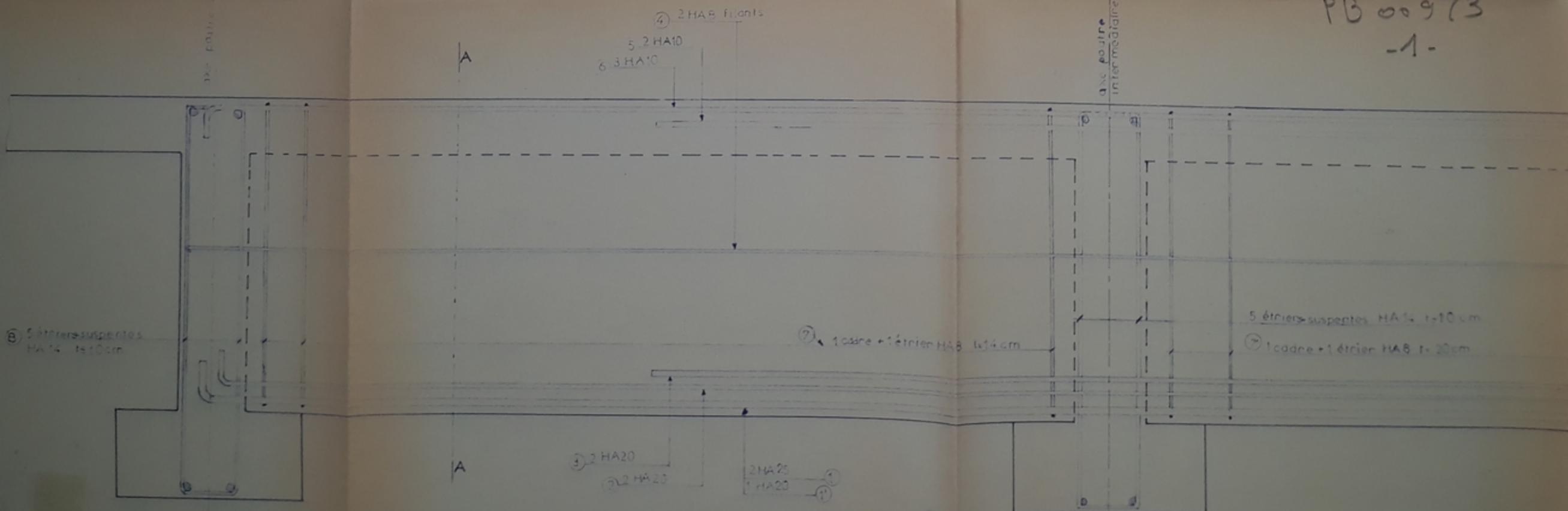
COUPE COURANTE A-A

B

COUPE B-B

axe poutre intermédiaire

PB 00973
-1-



axe poutre

A

A

B

B

5 étriers-suspentes HA14 1x10 cm

3 2 HA20
2 2 HA25

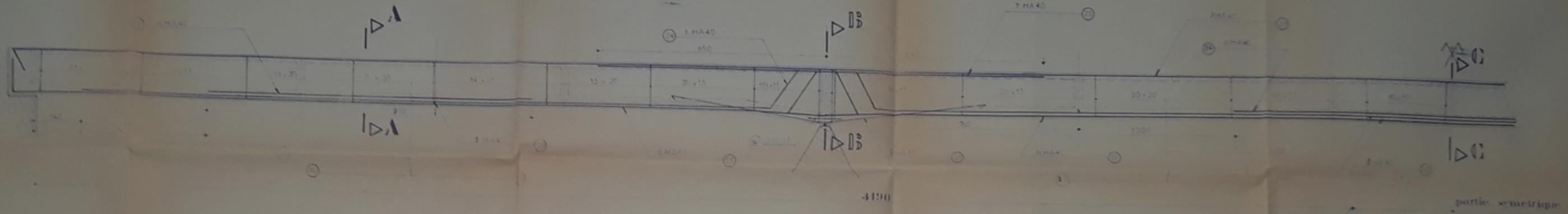
2 HA25
1 HA20

1 cadre + étrier HA8 1x14 cm

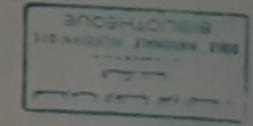
5 étriers-suspentes HA14 1x10 cm

1 cadre + étrier HA8 1x20 cm

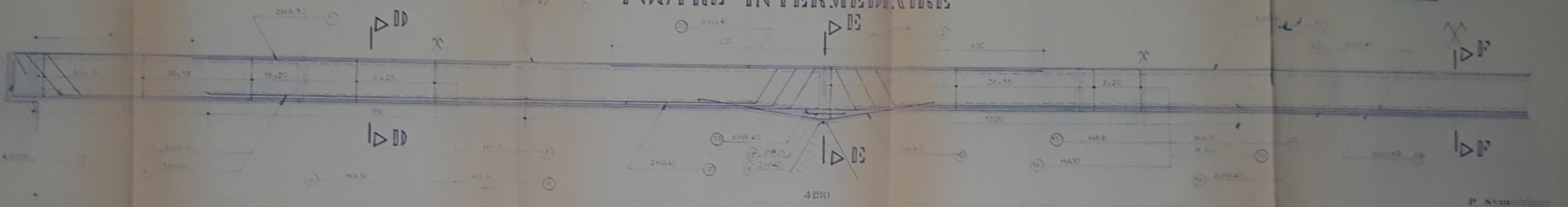
POUTRE DE RIVE



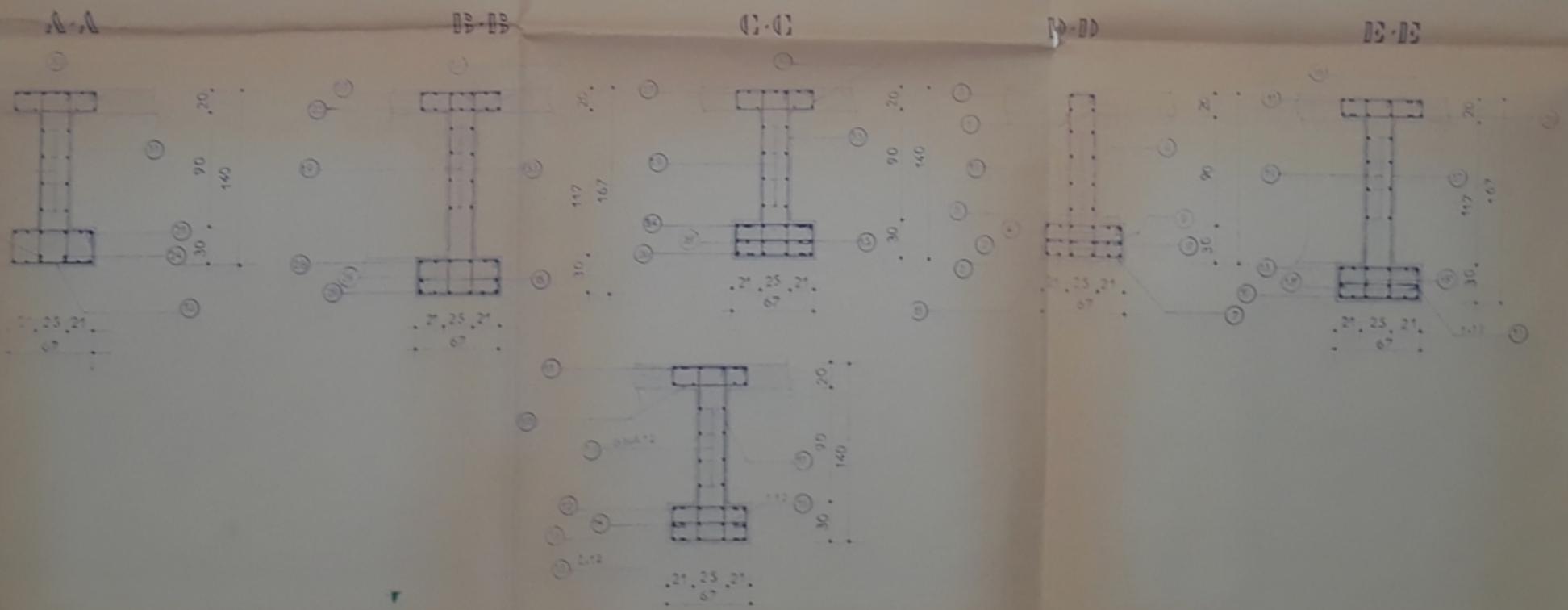
partie symétrique



POUTRE INTERMÉDIAIRE

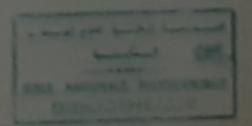


P Symétrique



F.F

UNIVERSITÉ D'ALGER
ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
PONT EN BETON ARMÉ
5 FERRAILLAGE DES POUTRES

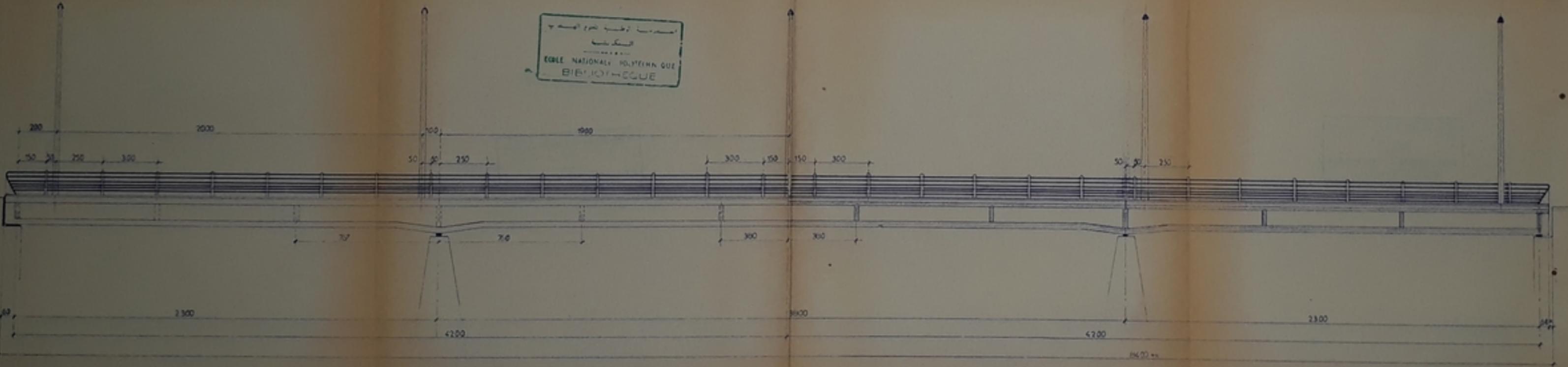


PB000373

12 VUE LONGITUDINALE

13 COUPE LONGITUDINALE

جامعة الجزائر
 المكتبة
 ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 BIBLIOTHEQUE



UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

PONT EN BETON ARME

1 VUE D'ENSEMBLE - ELEVATION

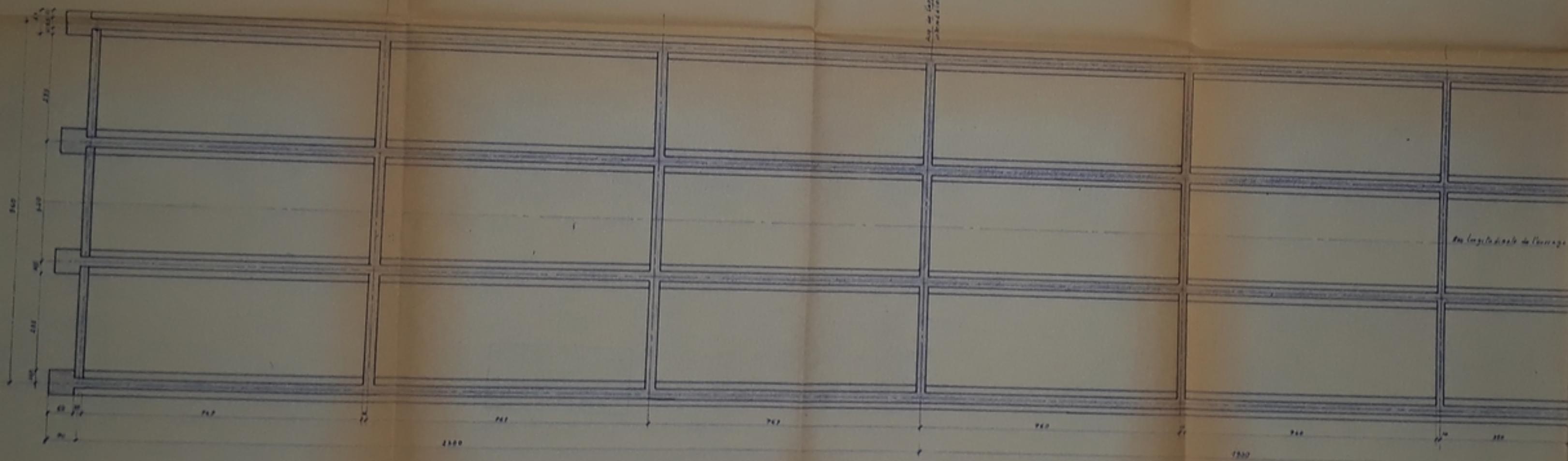
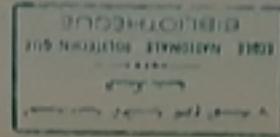
ECHELLE 1/100

جامعة الجزائر
 المكتبة
 ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 BIBLIOTHEQUE

PROPOSEE ET DIRIGE PAR M. BOUKADJ
 ETUDE PAR M. R. HALLI, MESSAOUD

PB00973
 - 4 -

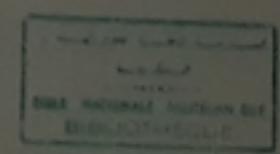
1/2 VUE EN PLAN



PB 00973
-5-

UNIVERSITE D'ALGER
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

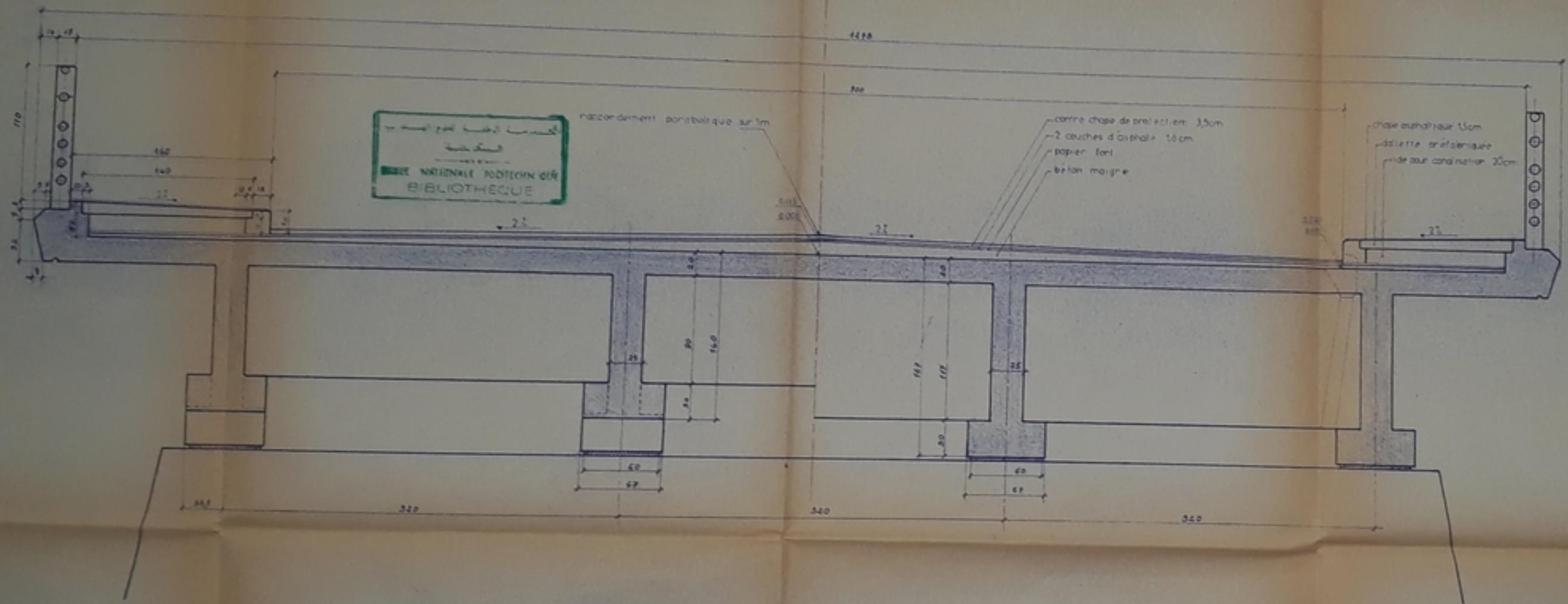
PONT EN BETON ARME
N°2. POUTRAISON



PROPOSE ET DIRECTION PAR M. R. HOUARI
REVUE PAR M. HADJ. HISSAÏEM

en travée

sur appui intermédiaire.



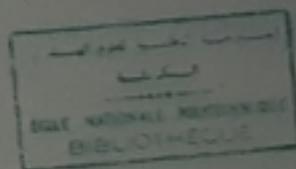
UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

PONT EN BETON ARME

N° 3 1/2 COUPES TRANSVERSALES

ECHELLE 1/20

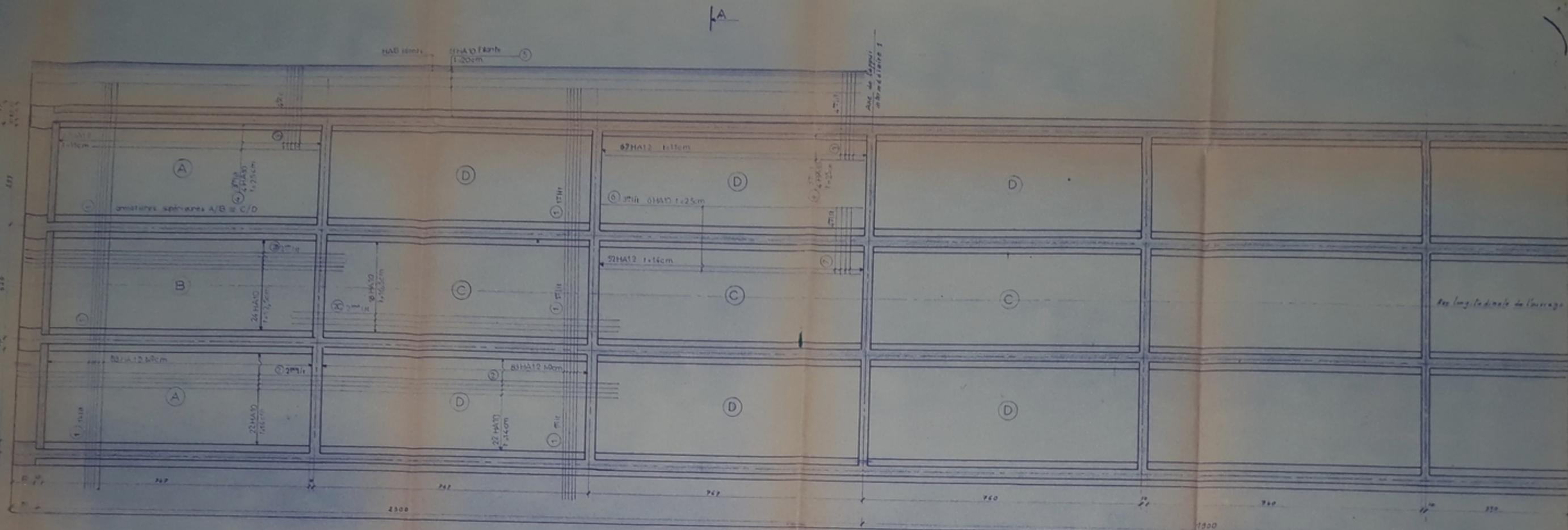


PROP. ET DIRIG. PAR M. B. NOUËD

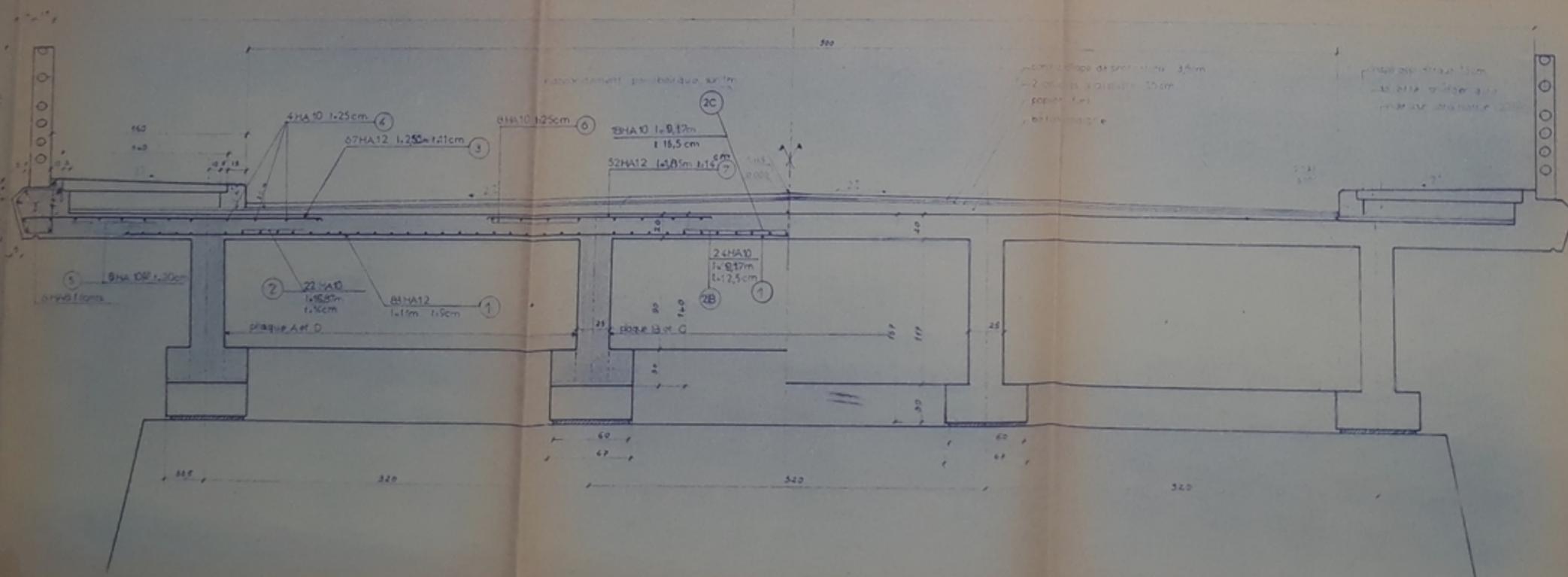
ETUDE PAR R. HADJ MESSAOUD

PB00973

-06-



1/2 COUPE AA'



UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

PONT EN BETON ARME

4 FERRAILLAGE DE LA DALLE

ECHELLE 1/50
1/2

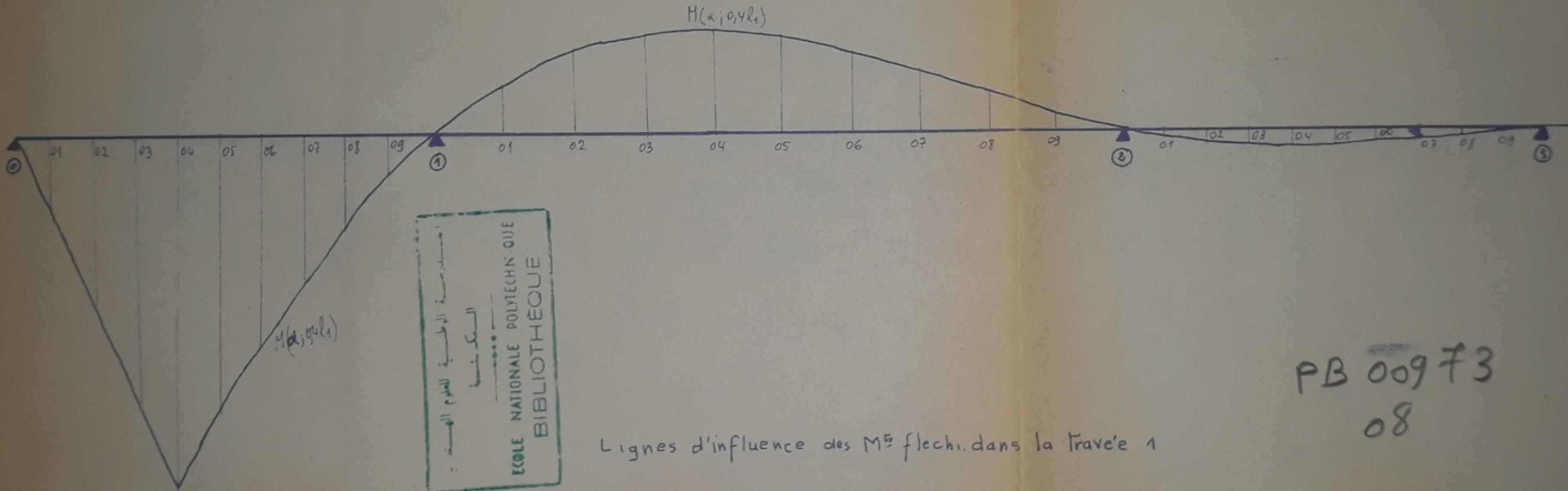


PREPARE ET DIRIGE PAR M. H. NOUJAL
ETUDE PAR R. HEDJ. MESSAOUD

PB00373

-07-

13
-2
-1
0
+1
+2
+3
+4



مكتبة
الوطنية للعلوم الهندسية

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHÈQUE

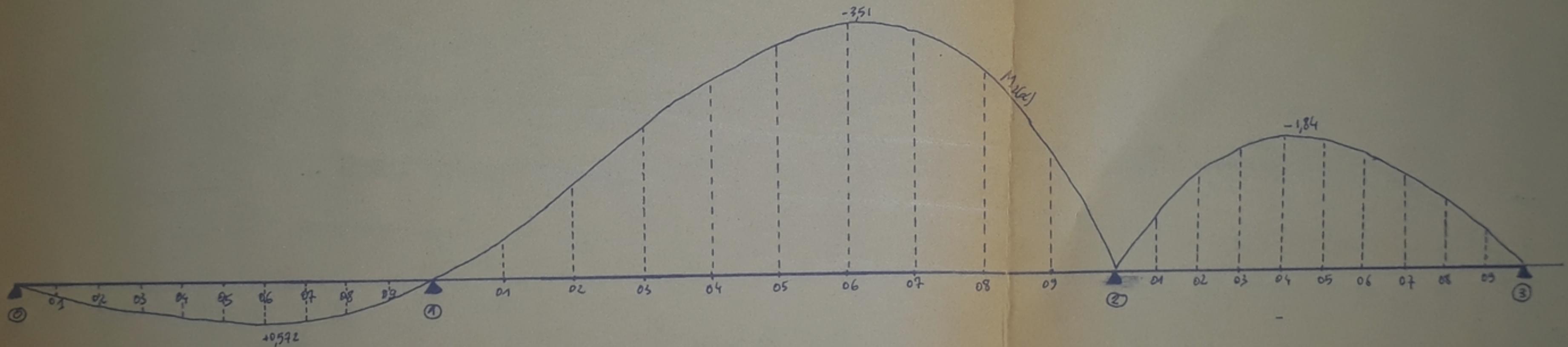
Lignes d'influence des M^E flechi. dans la travée 1

PB 00973
08

$1\text{cm} = 2\text{m}$

$1\text{cm} = 1\text{m}$

-4
-3
-2
-1
0
+1

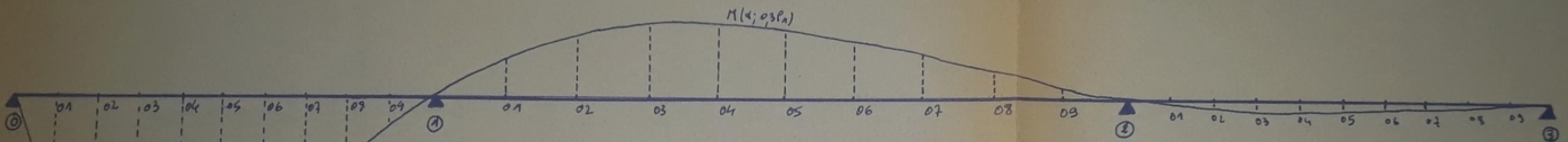


Ligne d'influence des M^{tr} flechis. aux appuis

PB00973

. 09.

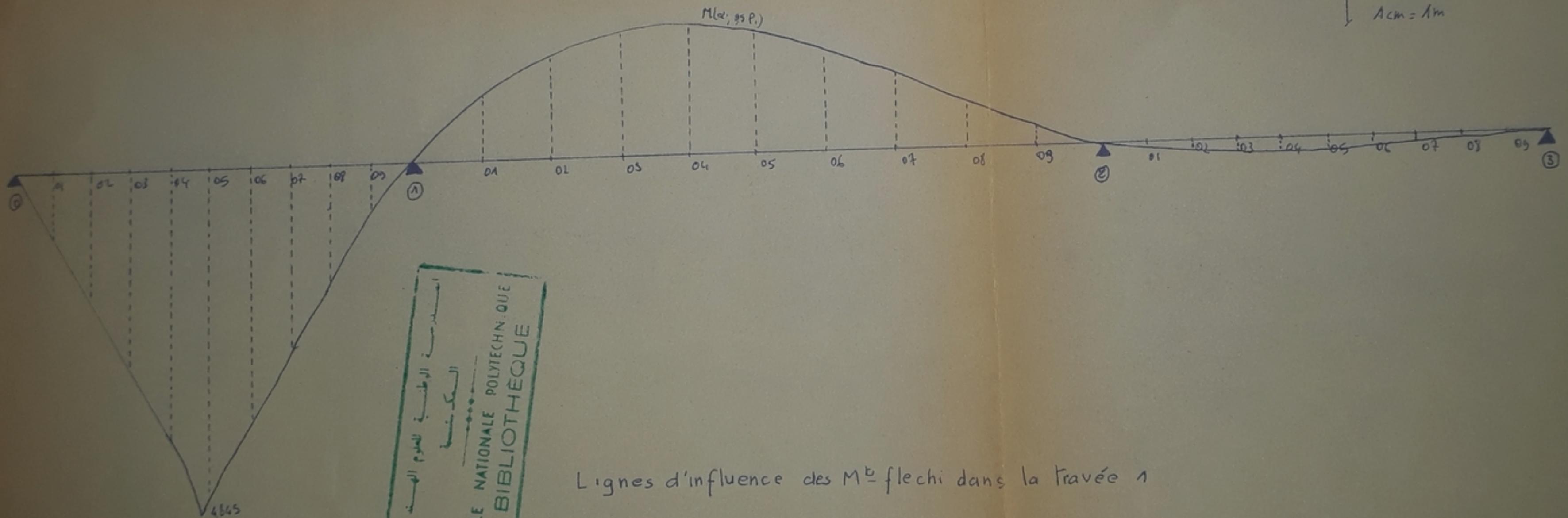
-2
-1
0
+1
+2
+3
+4
+5
+6



المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
المكتبة
ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHÈQUE

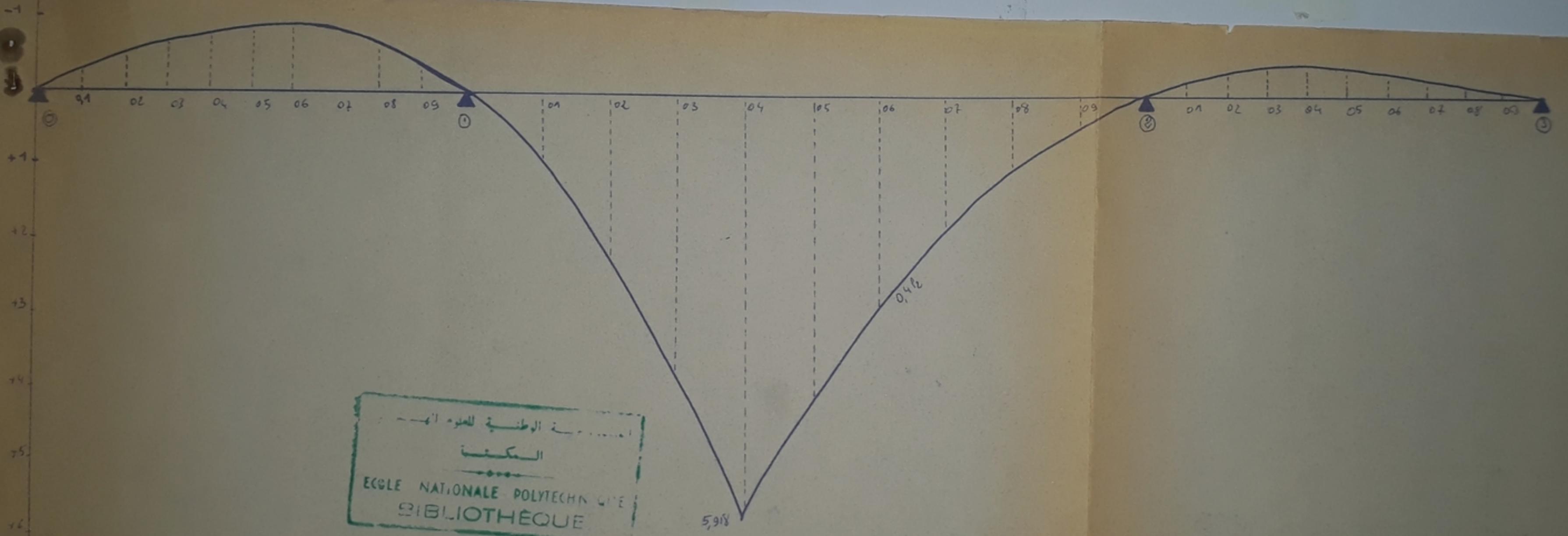
Lignes d'influence des M^B flechi. dans la travée 1

PB 00273
- 10 -



المكتبة
 المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
 BIBLIOTHÈQUE
 ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

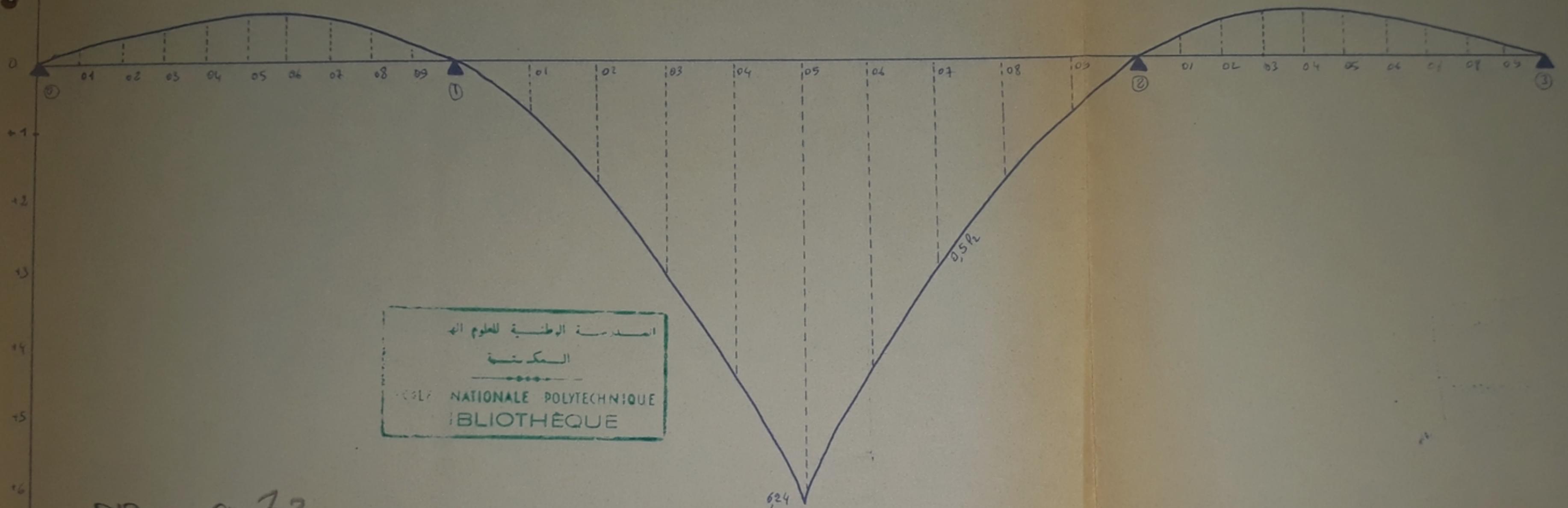
Lignes d'influence des M^b flechi dans la travée 1



المكتبة
 ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 BIBLIOTHEQUE

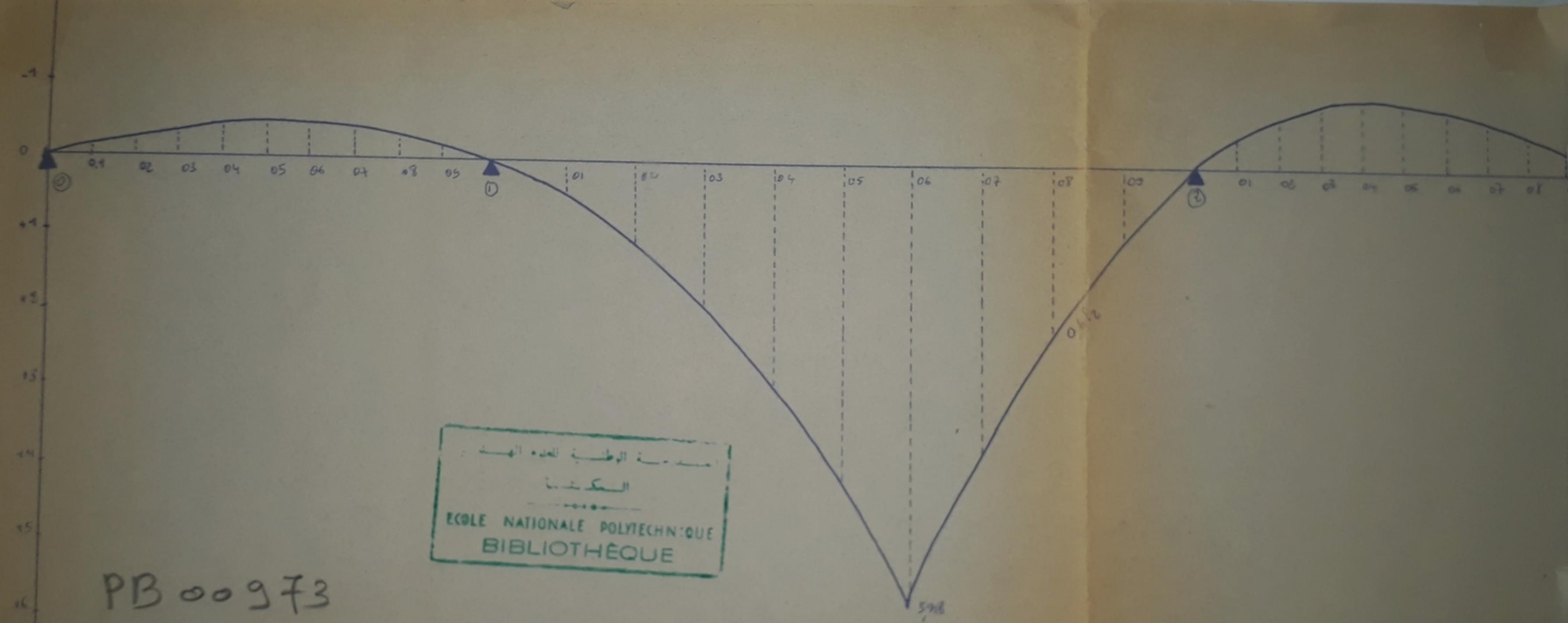
Ligne d'influence des M^{\pm} flechissants dans la travée 2 pour la section 0,4P₂

PB00973
 -12-



PB00973
 13

Lignes d'influence des M^{bs} flechi dans travée 2 pour la section 0,5P₂



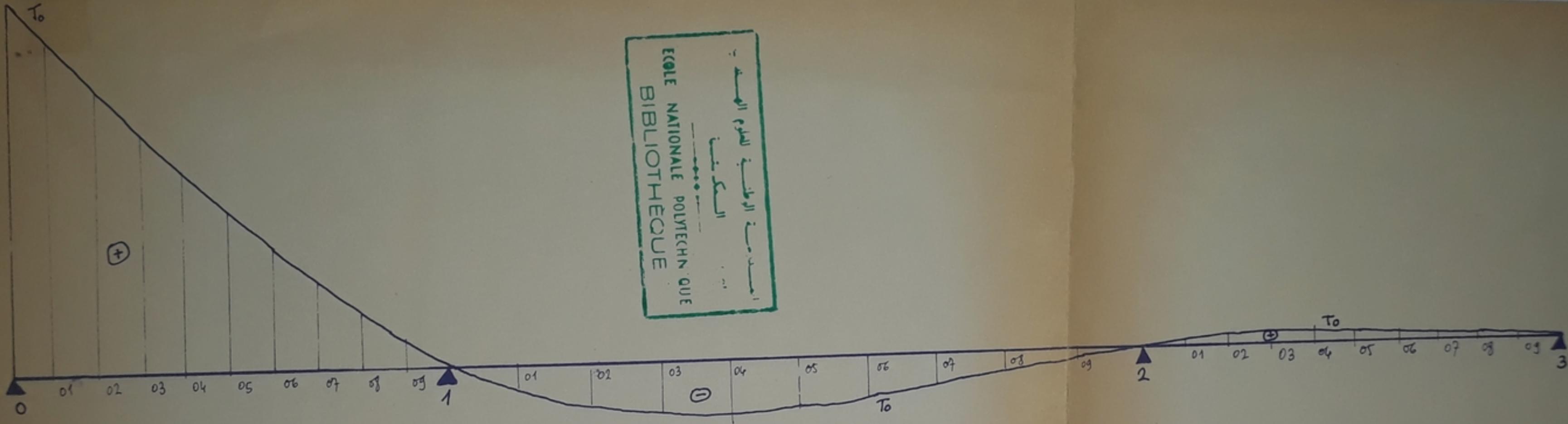
المكتبة الوطنية للهندسة
 القاهرة

 ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 BIBLIOTHÈQUE

PB 00973
 14

Ligne d'influence des M^m flechissants dans la travée 2 pour la section 0,6 l_0

المكتبة الوطنية للعلوم الهندسية
 المكتبة
 ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 BIBLIOTHÈQUE



PB 009 73
 15

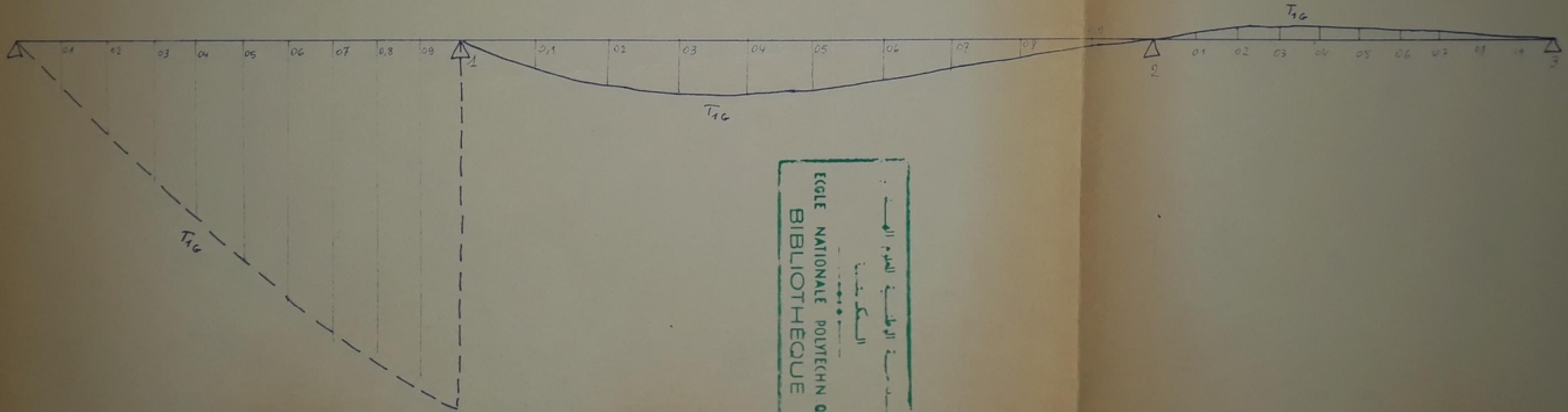
Lignes d'influence des efforts tranchants

To

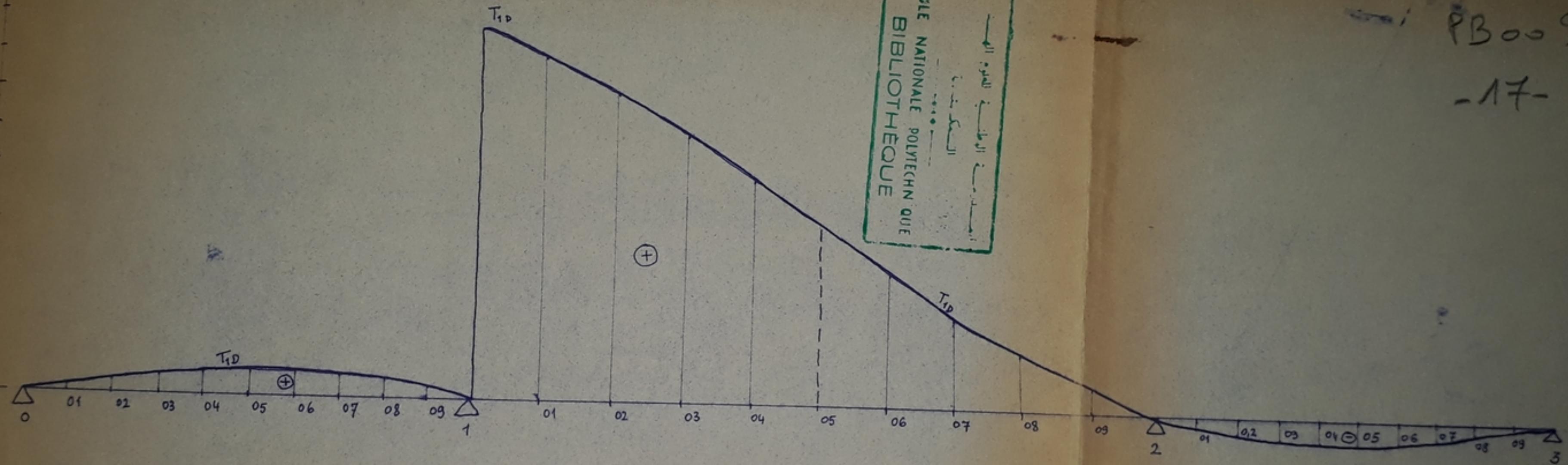
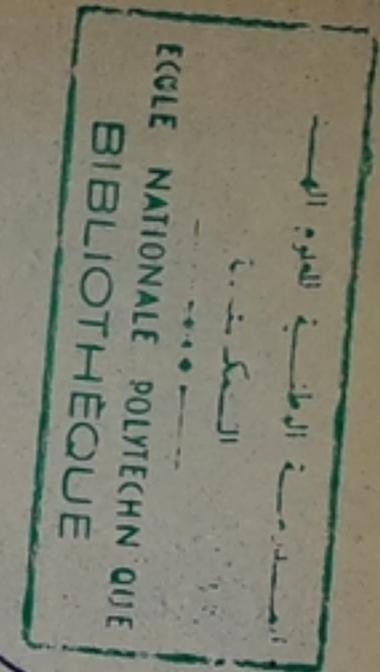
Ligne d'influence des efforts tranchants T_{10}

PB00973

- 16 -

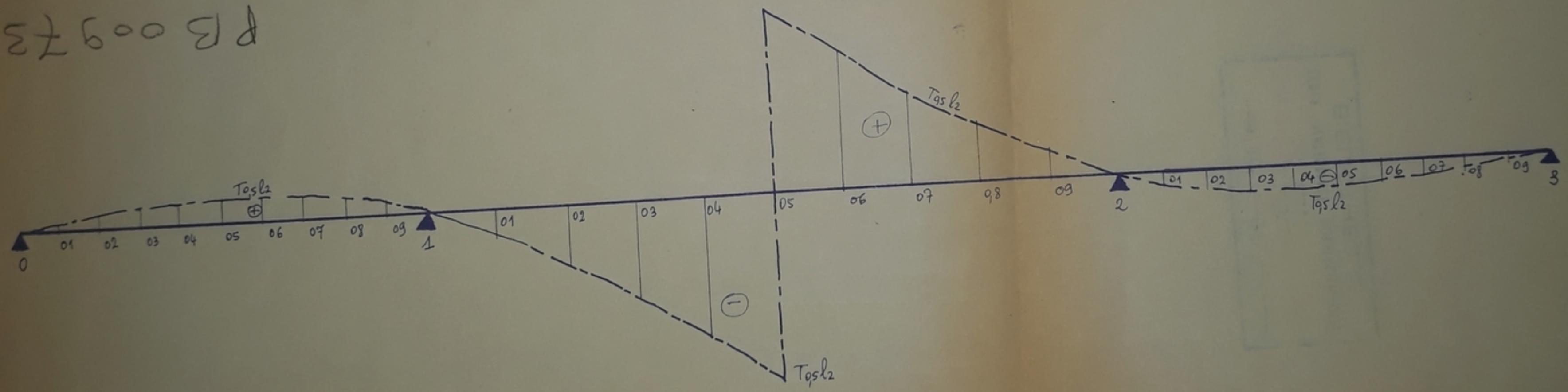


الجمهورية الوطنية للعلوم والتكنولوجيا
الكتبة
EGLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHÈQUE



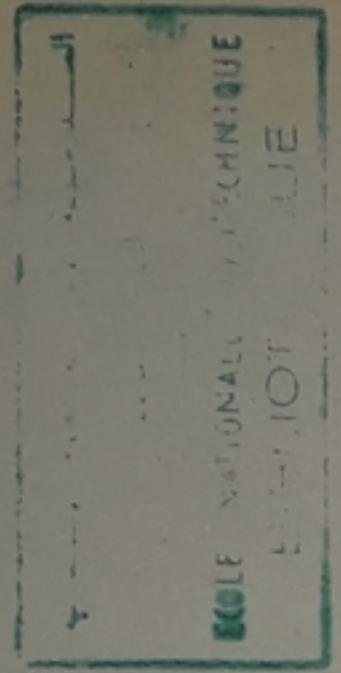
Ligne d'influence des efforts tranchants T_{1D}

-18-
PB 00973



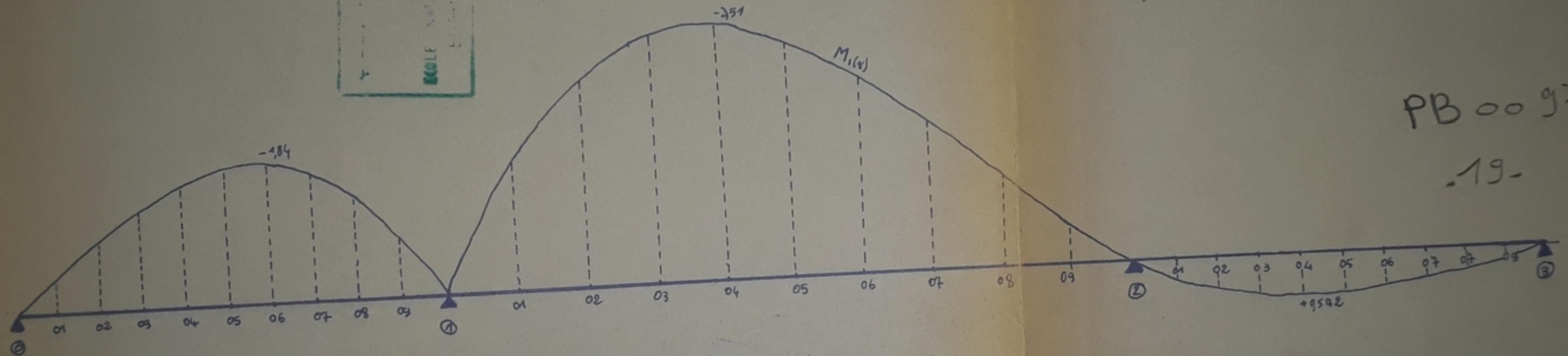
Lignes d'influence des Efforts tranchants

$T_{0,5} l_2$



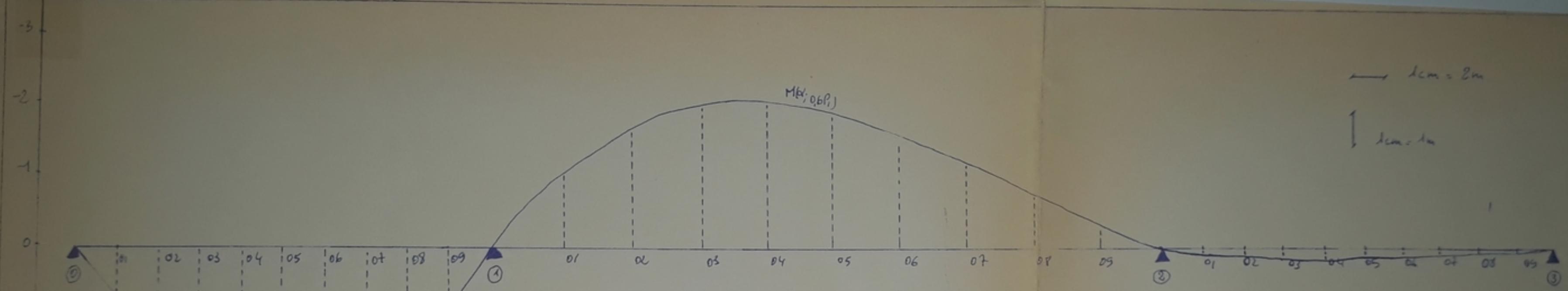
$l_{cm} = 2m$ \longleftarrow \updownarrow $l_{cm} = 1m$

4
-3
-2
-1
0
+1



PB 00 973
-19-

Ligne d'influence des M^x flechis, aux appuis



المكتبة
 المكتبة الوطنية للعلوم الهندسية
 ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 BIBLIOTHÈQUE

Lignes d'influence des M^B flech. dans la travée 1

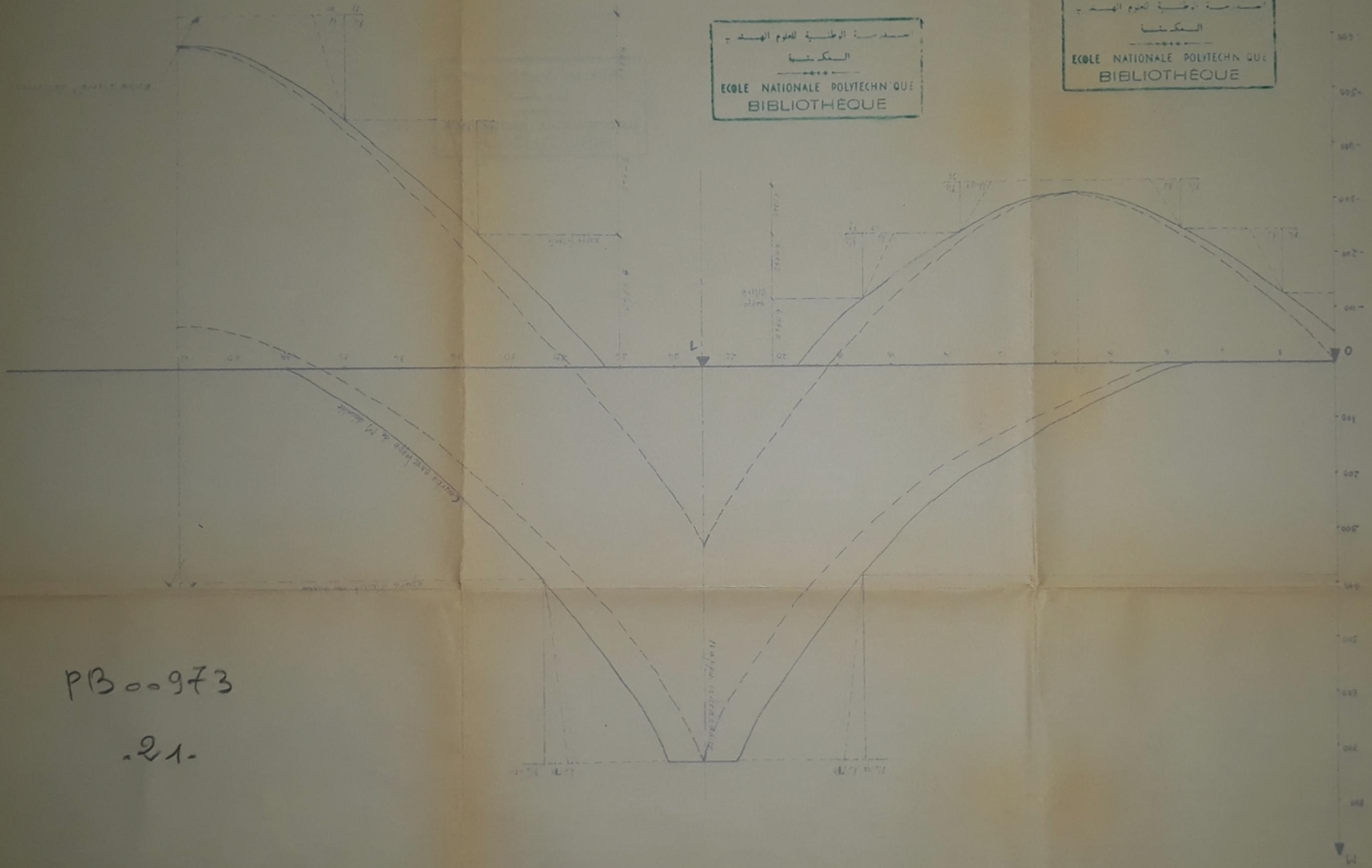
PB00973

-20-

Epure d'arrêt des barres
de la poutre 2.

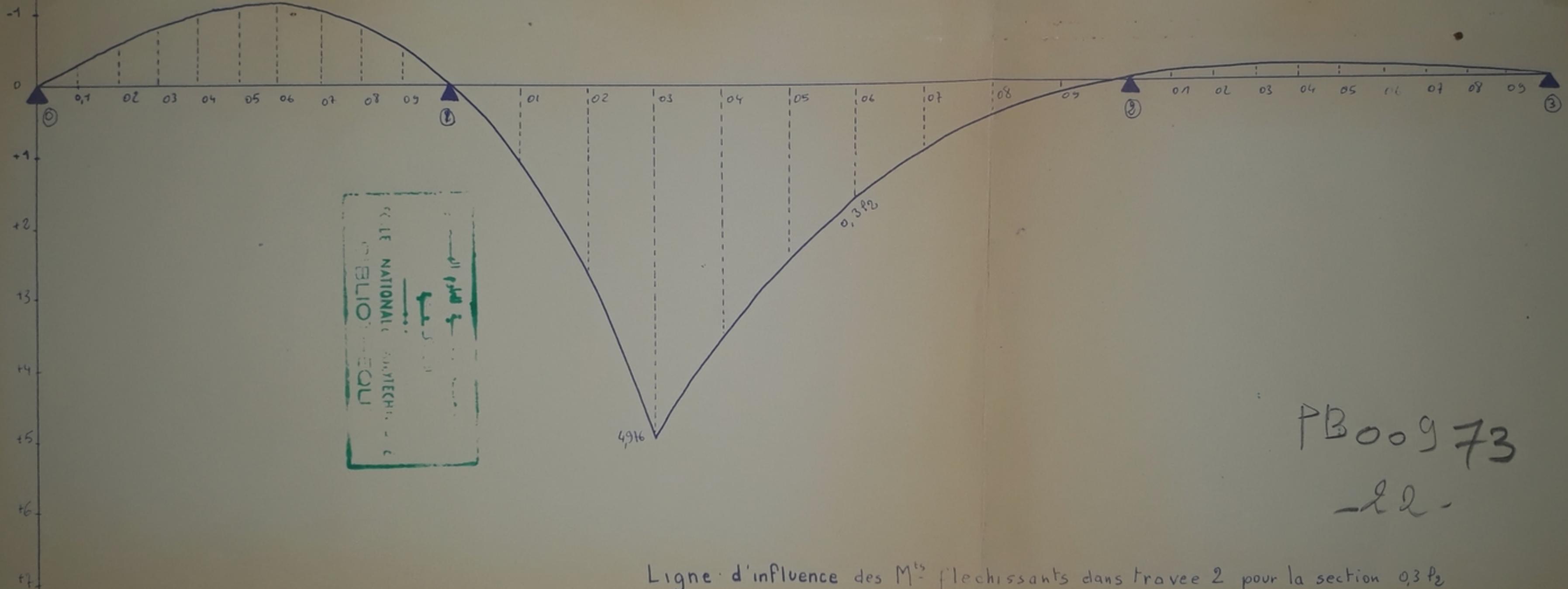
مدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
المكننة
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE

مدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
المكننة
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE



PB00973

.21.



BIBLIOTHÈQUE
 NATIONALE SUPÉRIEURE
 DE TECHNIQUE
 DE BORDO

PB00973
 -22-

Ligne d'influence des M^{ts} flechissants dans travee 2 pour la section 0,382

