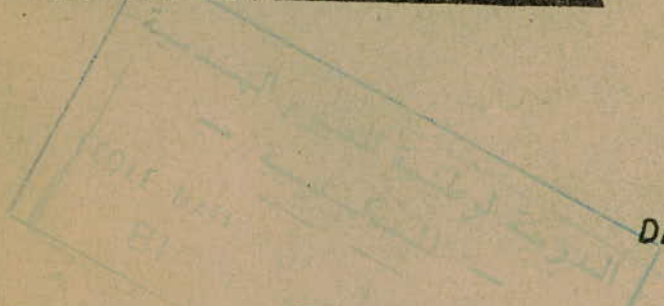


24/81

U.S.T.H.B.

ECOLE NATIONALE
POLYTECHNIQUE
DEPARTEMENT GENIE CIVIL



205

PROJET DE FIN D'ETUDES

RESTAURANT
UNIVERSITAIRE

PROPOSE PAR : ECOTEC
DIRIGE PAR : MOHAMED - CHERIF. M

ETUDIE PAR : KERAGHEL ABDELHAFID

PROMOTION FEVRIER 1981

En Cueillant les fruits de tant de sacrifices , ma pensée va vers mon père et tous ceux qui me sont chers .

Ma volonté est de servir uniquement mon pays , mon idéal , de toujours mieux faire .

A. K.

SOMMAIRE

| | | |
|-----|---|-----|
| I | GENERALITE | |
| | • Description du projet | 2 |
| | • Caractéristiques des matériaux | 4 |
| | • Charges et surcharges | 10 |
| II | CALCUL DES ELEMENTS | |
| | • Acrotère - chaînage | 12 |
| | • Lanterneau - dalle - plancher | 16 |
| | • Poutrelles - Plancher - terrasse | 20 |
| III | ETUDE DU VENT ET SEISME | |
| | • Calcul des forces dues au vent | 29 |
| | • Calcul des forces sismiques | 31 |
| IV | ETUDE DES PORTIQUES | |
| | • Sens transversal | 38 |
| | • Sens longitudinal | 57 |
| V | EVALUATION DES EFFORTS DANS LES POUTRES (M.T) | 83 |
| VI | FERRAILLAGE DES PORTIQUES | |
| | • Poutres | 135 |
| | • Poteaux | 182 |
| VII | CALCUL DES FONDATIONS | |
| | • Semelles | 207 |
| | • Longrines | 217 |

CHAPITRE 1

GENERALITES

Description :

Notre projet consiste à étudier les éléments résistants d'un restaurant universitaire composé de 5 blocs séparés entre eux par des joints de dilatation. Les blocs se composent de deux salles de restauration d'une hauteur de 4,50 m, d'un hall et deux blocs comprenant les locaux de services de 3,50 m de hauteur.

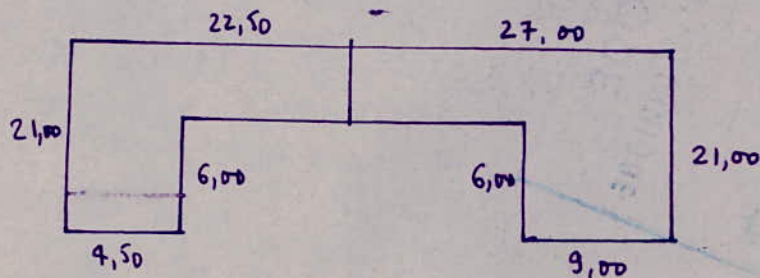
Dimension

Salle de restauration :

longueur = 24,20 m largeur : 13,50 m

Hall : longueur = 12,10 m largeur = 9,00 m

locaux de services : en forme de L



Tous ces blocs ont un seul niveau.

Structure : l'ossature est constituée d'un système poteaux-poutres dans le sens transversal du bt. Ces portiques seront joints par des chaînages noyés.

Taux de travail du sol :

Le taux de travail admissible est 2 bars à 1,50 m environ.

On envisage pour l'ensemble du projet un système de fondation superficielles composé essentiellement de semelles isolées.

Béton - Armé :

- a) le béton armé utilisé dans la construction de l'ouvrage sera conforme aux règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et construction en béton - armé (CCBA 68) et à tous les règlements en vigueur.
- b) la composition du béton sera en principe de 800 l de gravillon ($d_g = 25 \text{ mm}$), 400 l de sable ($d_s \leq 5 \text{ mm}$) de 350 kg / m^3 de ciment CPA classe 325 et de 175 l d'eau (1 m^3 de béton)
- c) les aciers utilisés pour constituer des armatures du béton - armé sont des aciers à haute adhérence pour les armatures longitudinales, des ronds lisses pour armatures transversales et des treillis soudés pour les planchers terrasses.

Planchers

Plancher - terrasse : c'est un plancher à corps creux (16+4) reposant sur des poutrelles préfabriquées.

Plancher bas : Constitué d'un dallage d'une épaisseur de 10 cm reposant sur hérisson sec.

Maçonnerie :

- Murs extérieurs 30 cm en double cloison
 - 1 cloison de 15 cm
 - 1 lame d'air de 7,5 cm
 - 1 cloison de 7,5 cm
 - 1,5 cm d'enduit sur chaque face
- Murs intérieurs : 10 cm en une seule cloison

Revêtement sol :

en carreaux de granito de 40 x 40 cm

1-2. Caractéristiques des matériaux :

a) le béton : Il est dosé à 350 kg/m^3 de ciment CPA 325, contrôle atténué.

Grosseur des granulats $C_g : 5/15 \text{ mm}$

Résistance nominale de compression : $\sigma'_{28} = 270 \text{ bars}$

Résistance nominale de traction : $\sigma_{28} = 23,2 \text{ bars}$

Contrainte de compression admissible art. 9.4 CCBA 68

$$\sigma'_b = \rho'_b \cdot \sigma'_n$$

avec $\rho'_b = \alpha \beta \delta \delta E$ et $\sigma'_n = \sigma'_{28}$

$\alpha = 1$ béton dont le ciment constitutif est de classe 325

β dépend de l'efficacité du contrôle $\beta = \frac{5}{6}$ contrôle atténué

δ dépend des épaisseurs relatives des éléments et des dimensions des granulats $C_g \frac{5}{15}$ $\delta = 1$

δ dépend de la nature de la sollicitation

$\delta = 0,30$ en compression simple

$= 0,60$ en flexion simple

En flexion composée

$\delta = 0,60$ quand l'effort nominal est une traction

$$\delta \begin{cases} 0,30 \left(1 + \frac{10}{3h}\right) & \text{si } \delta < 0,60 \\ 0,60 & \delta > 0,60 \end{cases}$$

est une compression.

quand l'effort normal

avec e_1 distance de la limite du noyau central au centre de gravité de la section du béton seul dans le plan radial passant par le centre de pression.

e_0 : excentricité de la résultante des forces extérieures par rapport au Cdg de la section du béton seul.

Les valeurs de δ sont multipliées par 1,5 quand il s'agit d'une sollicitation totale pondérée du second genre CCBA 68 Art. 9. 47.

E dépend de la forme de la section et de la position de l'axe neutre.

$E = 1$ en compression simple.

$0,5 < E \leq 1$ dans les autres cas.

Résumé :

Contrainte admissible de compression simple

$$\bar{\sigma}'_b = 1,5/6 \cdot 1,03 \cdot 1 \times 270 = 67,5 \text{ bars} \quad \text{sollicitations du 1er genre}$$

$$\bar{\sigma}_b = 1,5 \cdot 67,5 = 101,3 \text{ bars} \quad \text{sollicitations du 2e genre}$$

Contrainte admissible en flexion simple

$$\bar{\sigma}'_b = 135 \text{ bars} \quad \text{sous SP1}$$

$$\bar{\sigma}_b = 1,5 \times 135 = 202,5 \text{ bars} \quad \text{sous SP2}$$

Contrainte de traction de référence CCBA 68 Art. 9. 5

$$\bar{\sigma}_b = \alpha \beta \gamma \theta \sigma'_{28} \quad \text{avec} \quad \alpha \beta \gamma \theta = \beta_b$$

$\alpha \beta \gamma$ définis précédemment

θ dépend de la résistance nominale du béton pour une sollicitation

totale pondérée du 1^{er} genre

$$\theta = 0,018 + \frac{2,1}{\sigma'_h} \quad (\sigma'_h \text{ en bars}) \quad \theta \text{ est multiplié par } 1,5 \text{ (SP}_2\text{)}$$

$$\bar{\sigma}_b = 5,8 \text{ bars sous SP}_1$$

$$\bar{\sigma}_b = 1,5 \times 5,8 = 8,7 \text{ bars sous SP}_2$$

b) les aciers: On distingue deux catégories d'acier:

- Les ronds lisses ou aciers doux de nuance Fe E24

$$\sigma_{en} = 2350 \text{ bars limite d'élasticité nominale}$$

- Les barres de haute adhérence de nuance Fe E40

$$\sigma_{en} = 4120 \text{ bars} \quad \phi \leq 20 \text{ mm}$$

$$\sigma_{en} = 3920 \text{ bars} \quad \phi > 20 \text{ mm}$$

Contraintes admissibles

$$\bar{\sigma}_a = p_a \sigma_{en}$$

$p_a = \frac{2}{3}$ généralement pour les sollicitations totales pondérées du 1^{er} genre

$p_a = 1$ pour les sollicitations totales pondérées du 2^e genre.

$$\text{ronds lisses} \quad \bar{\sigma}_a = 2400 \text{ kg/cm}^2 \text{ (SP}_2\text{)}$$

$$\bar{\sigma}_a = 1600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (SP}_1\text{)}$$

$$\text{Haute adhérence} \quad \bar{\sigma}_a = 2800 \text{ kg/cm}^2 \text{ (SP}_1\text{)}$$

$$\bar{\sigma}_a = 4200 \text{ kg/cm}^2 \text{ (SP}_2\text{)}$$

c) Contrainte de traction: imposée par la condition de fissuration du béton.

La valeur de la contrainte admissible (acier) définie ci-dessus, est fonction des caractéristiques mécaniques de l'acier. On peut être amené à utiliser pour $\bar{\sigma}_a$ une valeur inférieure afin de limiter la fissuration du béton (CCBA 68 Art. 49). La valeur à considérer pour $\bar{\sigma}_a$ est limitée à la plus grande des valeurs suivantes en bars

$$\sigma_1 = k \frac{\eta}{\phi} \frac{\bar{w}_p}{1 + 10 \bar{w}_p} \quad \sigma_2 = 2,4 \sqrt{\eta \frac{k}{\phi} \bar{\sigma}_b}$$

σ_1 : contrainte de fissuration systématique

σ_2 : contrainte de fissuration non systématique (accidentelle) due aux efforts du retrait, variation de température.

η Coefficient de fissuration

$\eta = 1$ fonds lisses

$\eta = 1,6$ hautes adhérences

ϕ : diamètre en mm de la plus grosse barre.

\bar{w}_p : pourcentage de fissuration A/B_f

A : section totale des barres tendues

B_f : section d'enrobage des barres tendues

K : coefficient numérique dépendant des conséquences de la fissuration tant sur le comportement de l'ouvrage que sur son aspect.

$K = 1,5 \cdot 10^6$ fissuration peu nuisible

$= 10^6$ ———— préjudiciable

$= 0,5 \cdot 10^6$ ———— très préjudiciable

d) Coefficient d'équivalence :

On suppose que l'adhérence béton-acier est non rompue sous F d'où déformation acier-béton, identique, c'est-à-dire $E_a = E_b$

Loi de Hooke $\frac{\sigma'_a}{E_a} = \frac{\sigma'_b}{E_b}$

En posant :

$$n = \frac{E_a}{E_b} \Rightarrow \sigma'_a = n \sigma'_b$$

σ'_a et σ'_b contrainte dans l'acier et dans le béton.

n coefficient d'équivalence

$$E_a \approx 21000 \text{ kg/mm}^2 \text{ et } 1000 \text{ kg/mm}^2 \leq E_b \leq 5000 \text{ kg/mm}^2$$

d'où n varie :

$$\frac{21000}{5000} \leq n \leq \frac{21000}{1000} \Rightarrow 4,2 \leq n \leq 21$$

Le CCBA 68 fixe pour un béton moyen :

$$n = 15$$

1.3. Sollicitations :

les sollicitations à prendre en compte dans les justifications de l'équilibre statique, à la résistance et à la stabilité sont les sollicitations totales pondérées définies ci-dessous :

G charges permanentes

P surcharges d'exploitation

V surcharges climatiques

W surcharges climatiques extrêmes

T surcharges dues aux effets de température et du retrait

SI surcharges dues aux séismes.

Sollicitations totales pondérées du 1^{er} genre (SP₁)

$$S_1 = G + 1,2P + T$$

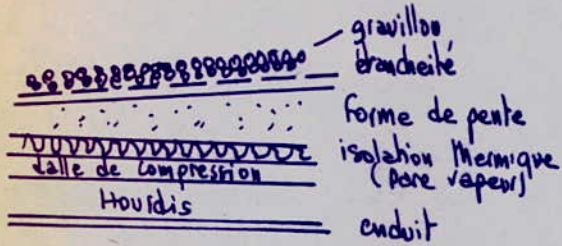
$$S'_1 = G + P + V + T$$

Sollicitations totales pondérées du second genre (SP₂)

$$S_2 = G + 1,5P + 1,5V + T$$

$$S'_2 = G + P + T + SI$$

charges et surcharges :



2) charges permanentes

Plancher terrasse:

| | |
|------------------------------------|-----------------------|
| gravillon 4cm | 80 kg/m ² |
| étanchéité multicouches | 20 kg/m ² |
| forme de pente | 220 kg/m ² |
| isolation thermique pare vapeur | 10 kg/m ² |
| Plancher (16+4) | 275 kg/m ² |
| enduit | 27 kg/m ² |
| | <hr/> |
| | 632 kg/m ² |

→ G = 640 kg/m²

10 cm valable, pour la salle de restauration

7,5cm pour les autres blocs

→ G = 580 kg/m²

Plancher bas :

| | |
|-----------------|-----------------------|
| • Carrelage 2cm | 80 kg/m ² |
| • Mortier 1,5cm | 33 kg/m ² |
| • Sable 1,5cm | 24 kg/m ² |
| • Dallage 10cm | 250 kg/m ² |

b) Surcharge :Plancher - terrasse :

terrasse non accessible sauf pour l'entretien 100 kg/m²

Acrotère 100 kg/m main courante (face horizontale)

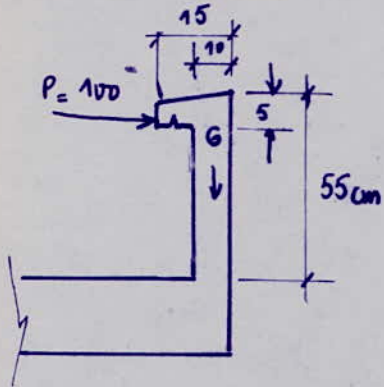
Plancher bas :

lieu public 400 kg/m²

———— CHAPITRE II

CALCUL DES ELEMENTS ————

Calcul de l'acrotère :



L'acrotère sera calculé comme une console encastrée au niveau du plancher. Elle est ferraillée en cette section qui est la plus dangereuse. Le poids propre qui donne un effort normal de compression et une surcharge $P = 100 \text{ kg/m}$ (main-courante) qui donne naissance à un moment de flexion.

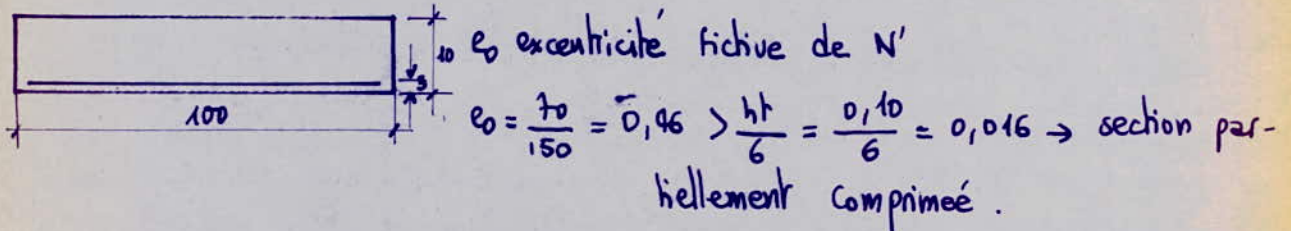
$$G = (0,55 \times 0,10 + 0,05 \times 0,05) \times 2500 \approx 149 \text{ kg/m} \quad \text{On prendra } G = 150 \text{ kg/m}$$

L'acrotère est calculée sous $G + 1,2P$

$$\Rightarrow \text{Moment dû à } P : \quad M = 1,2 \times 100 \times 0,55 = 66 \text{ kg/m}$$

On prend $M = 70 \text{ kgm}$

On considère 1m de large d'acrotère qu'on calculera en flexion composée sous N' et M .



L'armature de l'acrotère sera constituée par de l'acier doux $E_{22} \rightarrow \bar{\sigma}_2 = 1470$

$$\rightarrow \text{Moment fictif } M = 70 \text{ kgm} + 150 \left(\frac{ht}{2} - 3 \right)$$

$$M = 70 \text{ kgm} + 150 + 0,02 = 73 \text{ kg/m}$$

$$\rightarrow \mu = \frac{7300 \times 15}{1470 \times 100 \times 7^2} = 0,0152 \rightarrow \bar{w} = 0,107 \text{ et } k = 76,5 \Rightarrow \sigma'_b = \frac{1470}{76,5} = 19,2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\downarrow \text{ou } A_s = \frac{0,107 \times 100 \times 7}{100} = 0,749 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow A = 0,749 \cdot \frac{150}{1470} = 0,647 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Condition de non fragilité : art 19.1

$$\bar{\omega}l = 0,69 \frac{\bar{\sigma}_b}{\sigma_{en}}$$

$\bar{\sigma}_b$ = contrainte de référence du béton en traction : $5,9 \text{ kg/cm}^2$

σ_{en} = contrainte nominale des armatures $\sigma_{en} = 2200 \text{ kg/cm}^2$

$$\bar{\omega}l = 0,69 \frac{5,9}{2200} = 0,0018 \rightarrow A = 0,0018 \times 100 \times 7 = 1,30 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow 5\phi 6 = 1,70 \text{ cm}^2$$

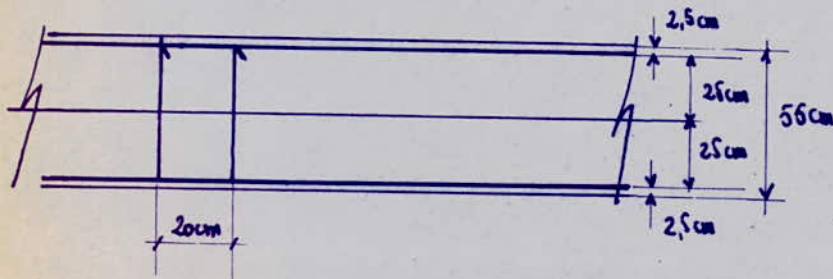
armature de répartition : C.C.B.A 68 art 57.33.

Dans un hourdi ne supportant que des charges ou surcharges uniformément réparties, l'écartement des armatures ne doit pas dépasser :

- trois fois l'épaisseur du hourdi, soit 33 cm, pour les armatures disposées suivant la petite portée.

- quatre fois l'épaisseur du hourdi, soit 45 cm, pour les armatures disposées suivant la grande portée.

\Rightarrow nous disposerons dans le sens longitudinal $3\phi 6$ espacés entre eux de 25 cm



L'acrotère est encastree aux chaînages qui lient les portiques entre eux dans le sens longitudinal.

Chaînage dans le sens longitudinal : On distingue deux types de chaînage par leur largeur 30 ou 50 cm. Ils portent leur poids propre et dans certains cas les acrotères.

Chainage de 50 x 20 :

Poids propre du chainage : $0,5 \times 0,20 \times 2500 = 250 \text{ kg/m}$

Acrotère : $150 \text{ kg/m} \Rightarrow G = 400 \text{ kg/m}$

On considère que les acrotères sont simplement appuyés, ce qui donne un

moment max : $M = \frac{q l^2}{8} = \frac{400 \times 4,5^2}{8} = 1012,5 \text{ kg m}$

$$\mu = \frac{101250 \times 15}{2800 \times 50 \times 18^2} = 0,0335 \Rightarrow \mu = 0,243$$

$$A = 0,243 \times \frac{50 \times 18}{100} = 2,19 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A \geq b_0 h \times \psi_n^2 \frac{\bar{\sigma}_b}{\bar{\sigma}_a} \left(\frac{h_e}{h} \right)^2 = 50 \times 18 \times 0,54 \cdot \frac{5,9}{2800} \left(\frac{80}{18} \right)^2 = 1,26 \text{ cm}^2$$

$\Rightarrow 3T12 = 3,39 \text{ cm}^2$ sur la partie inférieure.

On disposera la même section à la partie supérieure car elle peut être aussi tendue au voisinage des appuis.

Chainage de 30 x 20 :

Poids propre : $0,30 \times 0,2 \times 2500 = 150 \text{ kg/m}$

Acrotère : $150 \text{ kg/m} \Rightarrow G = 300 \text{ kg/m}$

$$M = \frac{q l^2}{8} = \frac{300 \times 4,5^2}{8} = 760 \text{ kg m}$$

$$\Rightarrow \mu = \frac{76000 \times 15}{2800 \times 30 \times 18^2} = 0,0419 \Rightarrow \mu = 0,306$$

$$A = 0,306 \times \frac{30 \times 18}{100} = 1,65 \text{ cm}^2 \Rightarrow 2T12 = 2,26 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

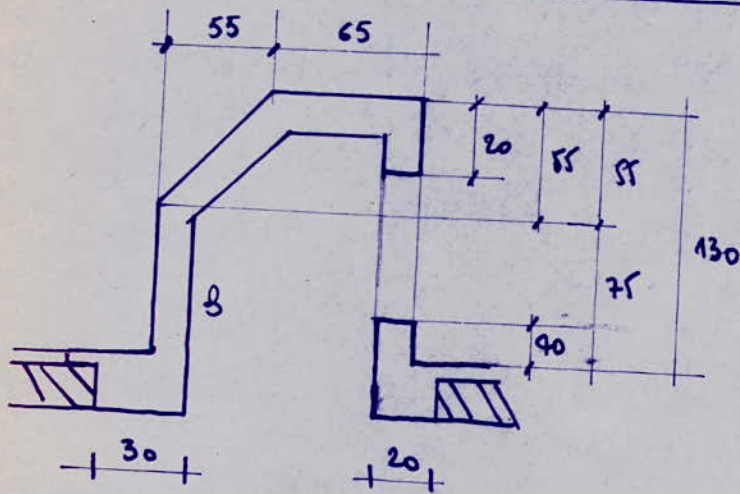
$$A \geq bh \times \psi_n^2 \frac{\bar{\sigma}_b}{\bar{\sigma}_a} \left(\frac{ht}{h}\right)^2 = 30 \times 18 \times 0,54 \times \frac{59}{2800} \left(\frac{20}{18}\right)^2 = 0,76 \text{ cm}^2$$

On disposera 4T 12

Armatures transversales :

Elles seront constituées en cadres de $\phi 6$ espacés par $t = 20 \text{ cm}$

$$t \leq ht.$$



Ce lanterna est composé de 2
consols (comme indiqué sur la
figure) qui sont soumises à
leur poids propre et une
surcharge de 100 kg/m

Console A :

$$G = 0,40 \times 0,1 \times 2500 = 100 \text{ kg} \Rightarrow P = 1,2 \times 100 = 120$$

On calcule la section dangereuse (section d'encastrement)

\Rightarrow cette section est soumise à un effort normal de compression $N' = 100 \text{ kg}$
et un moment $M = 120 \times 0,4 = 48 \text{ kg/m} \approx 50 \text{ kg/m}$

\Rightarrow Flexion composée :

$$\frac{M_c}{N'} = \frac{50}{100} = 0,5 > \frac{h}{6} \text{ section partiellement comprimée.}$$

$$\text{Moment fictif} = 50 + 120 \times 0,03 = 53,6 \text{ kg m} \approx 55$$

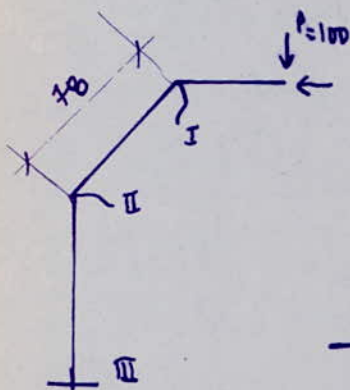
$$\mu = \frac{5500 \times 15}{1470 \times 100 \times 7^2} = 0,0114 \rightarrow \bar{w} = 0,0802 \rightarrow A_1 = 0,0802 \times 7 = 0,57 \text{ cm}^2$$

$$A = A_1 - \frac{N'}{\sigma_a} = 0,57 - \frac{100}{1470} = 0,43 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A \geq 0,69 \frac{\sigma_b}{\sigma_{en}} bh$$

$$A \geq 0,69 \frac{19}{2200} \times 100 \times 7 = 1,30 \rightarrow 5 \phi 6 / \text{ml} = 1,41 \text{ cm}^2$$



Console B :

Celle-ci a 3 sections dangereuses I, II, III

Section I Flexion simple

$$M = 120 \times 0,65 + \frac{0,1 \times 2500 \times 0,65^2}{2} = 130 \text{ kg m}$$

$$\rightarrow \mu = \frac{13000 \times 15}{1470 \times 100 \times 7^2} = 0,270$$

$$\Rightarrow \bar{\mu} = 0,195 \text{ d'où } t = 1,37 \text{ cm}^2 \rightarrow 5\phi 6 = 1,91$$

Section II : Flexion simple :

$$M = 120 \times 130 + (0,10 \times 0,65 + 0,10 \times 0,78) \times 2500 \times 0,65 = 388,38 \text{ kg m}$$

$$\mu = \frac{38838 \times 15}{1470 \times 100 \times 7^2} = 0,0808 \Rightarrow \bar{\mu} = 0,608 \Rightarrow A = 4,25 \text{ cm}^2$$

On utilisera des HA.

$$\Rightarrow \mu = \frac{388,38 \times 15}{2800 \times 100 \times 7^2} = 0,0425 \rightarrow \bar{\mu} = 0,311 \rightarrow A = 2,17 \text{ cm}^2$$

$$A = 5\text{TB par mètre} = 2,51 \text{ cm}^2$$

Section III :

$$M = 120 \times 1,30 + 0,1 \times 2500 \times 0,65 [0,65 + 0,78 + 0,75] = 510 \text{ kg m}$$

$$\mu = \frac{5100 \times 15}{2800 \times 100 \times 7^2} = 0,0558 \rightarrow \bar{\mu} = 0,412 \rightarrow A = 2,88 \text{ cm}^2 \rightarrow 5\text{TB}$$

Nous disposons 5TB par mètre espacés de 20 cm

Dalle plancher: Le plancher est constitué d'une dalle de 10 cm d'épaisseur reposant sur hérisson sec

Cette dalle sera constituée de plaques jointes entre elles dans les dimensions suivantes

$$1^{\circ}) l_x = 6m \quad l_y = 4,5m$$

$$2^{\circ}) l_x = 6,6m \quad l_y = 4,5m$$

$$3^{\circ}) l_x = 4,5m \quad l_y = 4,5m$$

Les plaques seront calculées en flexion simple dont les moments seront déterminés par l'abaque de Pigeau

Les dalles sont calculées sous leur poids propre et une surcharge de 400 kg/m^2

$$\Rightarrow G + 1,2P = 0,1 \times 2500 + 1,2 \times 400 = 730 \text{ kg/m}^2$$

$$\rightarrow \text{Moment: } M_x = (m_1 + \eta m_2) P \quad M_y = (\eta m_1 + m_2) P$$

$$m_1 \text{ donné par abaque en fonction } p_1 = \frac{l_x}{l_y}$$

$$m_2 \text{ donné par abaque en fonction } p_2 = \frac{l_y}{l_x}$$

$$\eta \text{ représente le coefficient de poisson } \eta = 0,15$$

M_x moment dans le sens de la plus petite dimension

M_y moment dans le sens de la plus grande dimension

P : charge totale agissant sur la plaque

$$1^{\circ}) l_x = 6m \quad l_y = 4,5 \quad p_1 = \frac{l_x}{l_y} = \frac{6}{4,5} = 1,33 \rightarrow m_1 = 0,023$$

$$p_2 = \frac{l_y}{l_x} = \frac{4,5}{6} = 0,75 \rightarrow m_2 = 0,045$$

$$P = (6 \times 4,5) \times 730 = 19710 \text{ kg}$$

$$M_x = (0,023 + 0,15 \times 0,045) \times 19710 = 586,4 \text{ kg m}$$

$$M_y = (0,023 \times 0,15 + 0,045) \times 19710 = 955 \text{ kg m}$$

$$M_x = \frac{58690 \times 15}{2800 \times 100 \times 72} = 0,0641 \Rightarrow \bar{w} = 0,479 \Rightarrow A = 3,35 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{ST10} = 3,93 \text{ cm}^2$$

$$M(y) = \frac{95500 \times 15}{2800 \times 100 \times 72} = 0,1044 \Rightarrow \bar{w} = 0,801 \Rightarrow A = 5,60 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{ST12} = 5,65 \text{ cm}^2$$

$$2^\circ) l_x = 6,6 \quad l_y = 4,5$$

$$p_1 = \frac{6,6}{4,5} = 1,47 \Rightarrow m_1 = 0,017$$

$$p_2 = \frac{4,5}{6,6} = 0,68 \Rightarrow m_2 = 0,047$$

$$P = (6,6 \times 4,5) \times 19710 = 21681 \text{ kg}$$

$$M(x) = (0,017 + 0,15 \times 0,047) \times 21681 = 521,4 \text{ kg}$$

$$M(y) = (0,017 \times 0,15 + 0,047) \times 21681 = 1074,3 \text{ kg}$$

$$M(x) \Rightarrow \mu = \frac{521,40 \times 15}{2800 \times 100 \times 72} = 0,0570 \Rightarrow \bar{w} = 0,424 \Rightarrow A = 2,97 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{ST10} = 3,93 \text{ cm}^2$$

$$M(y) \Rightarrow \mu = \frac{1074,30 \times 15}{2800 \times 100 \times 72} = 0,1175 \Rightarrow \bar{w} = 0,908 \Rightarrow A = 5,36 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{ST12} = 5,65 \text{ cm}^2$$

$$3^\circ) l_x = 4,5 \quad l_y = 4,5$$

$$p_1 = p_2 = 1$$

$$m_1 = m_2 = 0,035$$

$$P = 4,5^2 \times 730 = 14782,5 \text{ kg}$$

$$M(x) = (0,035 + 0,15 \times 0,035) \times 14782,5 = 895 \text{ kg}$$

$$\Rightarrow \mu = \frac{89500 \times 15}{2800 \times 100 \times 72} = 0,0650 \Rightarrow \bar{w} = 0,486 \Rightarrow A = 3,40 \Rightarrow \text{ST10} = 3,93 \text{ cm}^2$$

- Pour les blocs de restauration, on a 16 cm de béton de pente $\Rightarrow q_1$

- Pour les autres blocs, 10 cm de béton de pente $\Rightarrow q_2$

On calcule les poutres à 3 travées sous q_1 et les autres sous q_2

Les poutres sont considérées comme des poutres en T de

$$(1) \Rightarrow b_1 \leq \frac{l}{2} = 31,5 \text{ cm}$$

$$(2) \Rightarrow b_1 \leq \frac{L}{10} = 45 \text{ cm}$$

$$(3) b_1 \in (6h_0 \text{ et } 8h_0) \Rightarrow b_1 = 6h_0 = 6 \times 4 = 24 \text{ cm}$$

$$b = 2b_1 + b_0 = 2 \times 24 + 12 = 60 \text{ cm}$$

Charge q :

| | | |
|-------------------------------------|--------------------|------------------------|
| gravillon 4 cm | $0,04 \times 2000$ | = 80 kg/m^2 |
| Étanchéité | | = 20 kg/m^2 |
| Isolation thermique (+ pare vapeur) | | = 10 kg/m^2 |
| Plancher 16+4 | | = 275 kg/m^2 |
| Enduit $0,015 \times 1800$ | | = 27 kg/m^2 |
| 1,2 P \Rightarrow | | 120 kg/m^2 |
| | | <hr/> |
| | | = 532 kg/m^2 |

q_1 : forme de pente 16 cm $\rightarrow 0,16 \times 2200 = 352 \text{ kg/m}^2$

$$q_1 = (532 + 352) \times 0,63 = 556,9 \approx 560 \text{ kg/m}$$

q_2 : forme de pente 10 cm $\rightarrow 0,10 \times 2200 = 220$

$$q_2 = (532 + 220) \times 0,63 = 473,76 \approx 480 \text{ kg/m}$$

Détermination des moments fléchissants au moyen de formules forfaitaires:

$$M_t + M_0 \frac{l-x_0}{l} + M_e \frac{x_0}{l} \geq 1,15 M_0$$

M_0 = moment maximum dans la travée considérée comme libre.

M_{e1} et M_e = moments en valeur absolue sur appuis de gauche (M_{e1}), appuis de droite (M_e)

M_t = Moment maximal en travée, pris en compte dans les calculs.

l : portée de la travée.

x_0 = distance à l'appui gauche de la section où se produit le moment maximal en travée correspondante à la ligne de fermeture $M_w M_e$ du diagramme des moments en travée indépendante.

$$\text{On a } M_w = M_e = M_a \quad x_0 = \frac{l}{2}$$

$$\Rightarrow M_t + M_a \geq 1,15 M_0$$

Moment maximal en travée :

$$M_t \geq 0,50 M_0 \quad \text{travée intermédiaire}$$

$$M_t \geq 0,60 M_0 \quad \text{travée de rive}$$

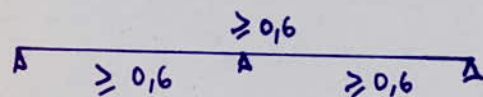
Moment M_a sur appui intermédiaire :

$$M_a \geq 0,60 M_0 \rightarrow \text{poutres à deux travées.}$$

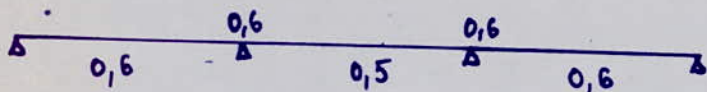
$$M_a \geq 0,50 M_0 \quad \text{pour les appuis voisins à l'appui de rive (plus de 2 travées)}$$

$$M_a \geq 0,40 M_0 \quad \text{pour les appuis intermédiaires (plus de 2 travées)}$$

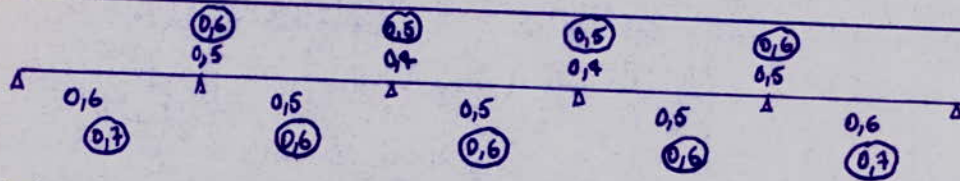
Ceci se schématise comme suit : on prendra $M_0 = 1$



$$M_a + M_t > 1,15 \quad 0,6 + 0,6 = 1,2$$



$\left\{ \begin{array}{l} \text{travée de rive } 0,6 + 0,6 = 1,2 \\ \text{travée intermédiaire } 0,6 + 0,5 = 1,1 \end{array} \right.$
 On prendra 0,6 au lieu de 0,5.



Travée de rive : $0,6 + 0,5 = 1,1 \Rightarrow 0,7$ pour la travée et $0,6$ pour l'appui

travée 2 : $\frac{0,6}{2} + \frac{0,5}{2} + 0,5 = 1 \Rightarrow 0,6$ pour la travée et $0,5$ pour l'appui droit.

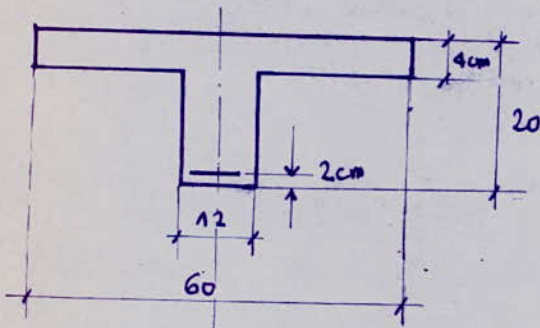
On calculera les poutrelles avec les moments maximums suivants:

$0,6 M_0$ sous q_1 que ce soit en travée ou sur appuis.

$0,7 M_0$ en travée
 $0,6 M_0$ sur appuis } sous q_2

$0,6 M_0$ sous q_1 : $M_0 = \frac{q l^2}{8} = 1,4175 \text{ km} \rightarrow 0,6 M_0 = 850,5 \text{ kgm}$

Section en T



Position de l'axe neutre :

$$\mu = \frac{M_n}{\bar{\sigma}_a \times b \times h^2} \Rightarrow \mu = \frac{85050 \times 15}{2800 \times 60 \times 18^2} = 0,0234$$

$$\Rightarrow \alpha = 0,2013 \quad \frac{h_0}{h} = \frac{4}{18} = 0,2222$$

$\alpha < \frac{h_0}{h} \rightarrow$ axe neutre dans la table

et la section sera considérée comme rectangulaire.

$$\xi = 0,9329 \rightarrow A = \frac{M}{\bar{\sigma}_a E h} = \frac{85050}{2800 \times 0,9329 \times 18} = 1,80 \text{ cm}^2$$

$$A = 2T12 = 2,26 \text{ cm}^2$$

sur appuis : A l'appui, la section est considérée comme rectangulaire :

$h_t = 20 \text{ cm}$ et $b_0 = 12$ largeur du talon.

$$\rightarrow \mu = \frac{M_n}{\bar{\sigma}_a b h^2} = \frac{15 \times 850,5}{2800 \times 12 \times 18^2} = 0,1171$$

$$\Rightarrow R = 22,3$$

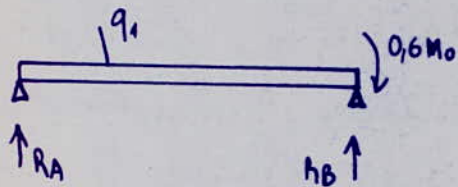
$$\sigma_b = \frac{2800}{22,3} = 125,66 \text{ kg/cm}^2 < 137 \text{ par d'armatures comprimées}$$

$$\bar{w} = 0,902$$

$$\bar{w} = \frac{100A}{bh} \Rightarrow A = \frac{\bar{w} \times bh}{100} = \frac{0,902 \times 12 \times 18}{100} = 1,94$$

$$\Rightarrow 2T12 = 2,26 \text{ cm}^2$$

Effort tranchant: pour son calcul, on considère la poutre suivante:



$$R_A + R_B = q_1 l$$

$$R_A l - \frac{q_1 l^2}{2} = -0,6 \frac{q_1 l^2}{8} \Rightarrow R_A = 0,425 q_1 l$$

$$R_B = 1 - 0,425 = 0,575 q_1 l = 1449 \text{ kg}$$

Armatures inférieures:

Appui de rive:

$$M = 0 \quad T = 1449 \text{ kg} = 1450 \text{ kg}$$

$$A \geq \frac{T}{\bar{\sigma}_a} = \frac{1450}{2800} = 0,52 \text{ cm}^2 \text{ car on prévoit } 2T12 = 2,26 \text{ cm}^2$$

Appuis intermédiaires:

$$M = 850,50 \text{ kg m} \quad T = 1450 \text{ kg}$$

$$A \bar{\sigma}_a \geq T + \frac{M}{3} = 1450 - \frac{85050}{7/8 \cdot 18} = -3950 < 0$$

Les armatures inférieures ne sont pas nécessaires.

Condition de non entraînement:

$$\tau_d = \frac{T}{p_3}$$

$$\bar{\tau}_d = 2\psi_d \bar{\sigma}_b = 2 \times 1,5 \times 5,9 = 17,7 \text{ kg/cm}^2 \quad \psi_d = 1,5$$

$$p = \text{périmètre de } 2T12 = 2 \times 2\pi \times 1,2 = 7,5 \text{ cm}$$

$$\tau_d = \frac{1450}{7,5 \times \frac{18 \times 7}{8}} = 12,28 \text{ kg/cm}^2 \quad \tau_d < \bar{\tau}_d \text{ pas d'entraînement}$$

Condition d'appui : $c = \frac{2T}{b \bar{\sigma}'_b} = \frac{2 \times 1450}{12 \times 67,5} = 3,58 \text{ cm} < 15 \text{ cm}$

Appui suffisant.

Armatures transversales :

$$\tau_b \leq 3,5 \bar{\sigma}_b \text{ si } \sigma'_b < \bar{\sigma}'_{b0}$$

$$\tau_b \leq \left(4,5 - \frac{\bar{\sigma}'_b}{\bar{\sigma}'_{b0}}\right) \bar{\sigma}_b \text{ si } \bar{\sigma}'_{b0} < \sigma'_b \leq 2 \bar{\sigma}'_{b0}$$

$$\tau_b \leq \left(4,5 - \frac{\sigma'_b}{\bar{\sigma}'_{b0}}\right) \bar{\sigma}_b \text{ si } \bar{\sigma}'_{b0} < \sigma'_b \leq 2 \bar{\sigma}'_{b0}$$

$$\tau_b' = \frac{2800}{22,3} = 125,56 \approx 126$$

$$\tau_b \leq \left(4,5 - \frac{126}{67,5}\right) 5,9 = 24,68 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_b = \frac{T_{\max}}{b_0 \times z} = \frac{1450}{12 \times 7 \times \frac{18}{8}} = 7,67 < 24,68 \text{ Pas de cisaillement du béton}$$

$$* \bar{\sigma}_{at} = \rho_{at} \sigma_{en}$$

$$\rho_{at} = 1 - \frac{\tau_b}{9 \bar{\sigma}_b} \text{ avec } \max \frac{2}{3}$$

$$1 - \frac{7,67}{9 \times 5,9} = 0,86 > \frac{2}{3} = 0,67 \Rightarrow \rho = \frac{2}{3}$$

Les armatures transversales seront en acier doux $\sigma_{en} = 2200$

$$\bar{\sigma}_{at} = \frac{2 \times 2200}{3} = 1467 \text{ kg/cm}^2$$

Les armatures transversales seront formées d'étrier en $\phi 6$

2 brins

$$A_t = 0,5 \times 2 = 1 \text{ cm}^2$$

Espacement des cadres :

$$t \leq t_1 = h \left(1 - 0,3 \frac{\tau_b}{\bar{\sigma}_b}\right) = 18 \left(1 - 0,3 \frac{7,67}{5,9}\right) = 10,98 = 11 \text{ cm}$$

$$t \leq \frac{A_t \bar{\sigma}_{at}}{T} = \frac{1 \times 18 \times \frac{7}{8} \times 1467}{1450} = 15,93 \text{ cm} \approx 16 \text{ cm}$$

$$t = 10 \text{ cm}$$

On reprend les calculs sous SP_2

avec $\begin{cases} 0,7 M_0 \text{ en travée} \\ 0,6 M_0 \text{ sur appui} \end{cases}$

$$0,7 M_0 = 0,7 \times q_2 \frac{l^2}{8} = 0,7 \times 480 \times \frac{4,5^2}{8} = 850,5 \text{ kg.m}$$

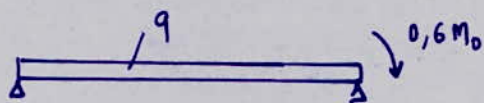
$$0,6 M_0 = 0,6 \times q_2 \times \frac{l^2}{8} = 0,6 \times 480 \times \frac{4,5^2}{8} = 729 \text{ kg.m}$$

Puisqu'on a les mêmes moments en travée et de moments intérieurs sur appuis.

Effort tranchant: $T = R_A = 0,5 + 5 \times 480 \times 4,5 = 1242 < 1450$

donc la poutrelle calculée est bien dimensionnée.

Arrêt de barres - chapeaux:



$$R_A = 0,425 ql$$

$$M_x = R_A x - \frac{q x^2}{2}$$

$$M = 0 \text{ pour } x = 0$$

$$x = \frac{2 R_A}{q} = \frac{2 \times 0,425 ql}{q}$$

$$x = 0,85 l = 0,85 \times 4,5 = 4,27$$

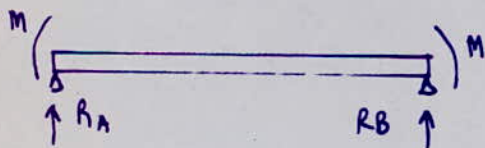
Longueur de scellement droit:

$$l_d = \frac{\phi}{4} \times \frac{\bar{\sigma}_s}{\bar{\sigma}_d} = \frac{1,2}{4} \times \frac{2880}{17,7} = 47,45 \text{ cm}$$

$$l_d + \frac{3}{2} = 47,45 + 9 \approx 60 \text{ cm}$$

La longueur de chapeau dans ce cas est égale à :

$$(4,50 - 4,27) + 48 + 9 = 80 \text{ cm}$$



$$R_A = R_B = \frac{ql}{2} = 0,5 ql$$

$$M(x) = 0,5 ql x - 0,5 q x^2 - 0,6 ql \frac{l^2}{8} = 0$$

$$\text{pour } x = \begin{cases} 0,37 \\ 4,13 \end{cases}$$

la longueur du chapeau sera de :

$37 + 48 + 9 = 94 \text{ cm}$ de part et d'autre de l'appui. On prendra
2T12 de 200 cm de longueur pour un chapeau.

Espacement des cadres : $t_{\min} = 10 \text{ cm}$

$$\frac{l_0}{2} = \frac{4,2}{2} = 2,10 \rightarrow \text{On prendra 3 espacements de } 10.$$

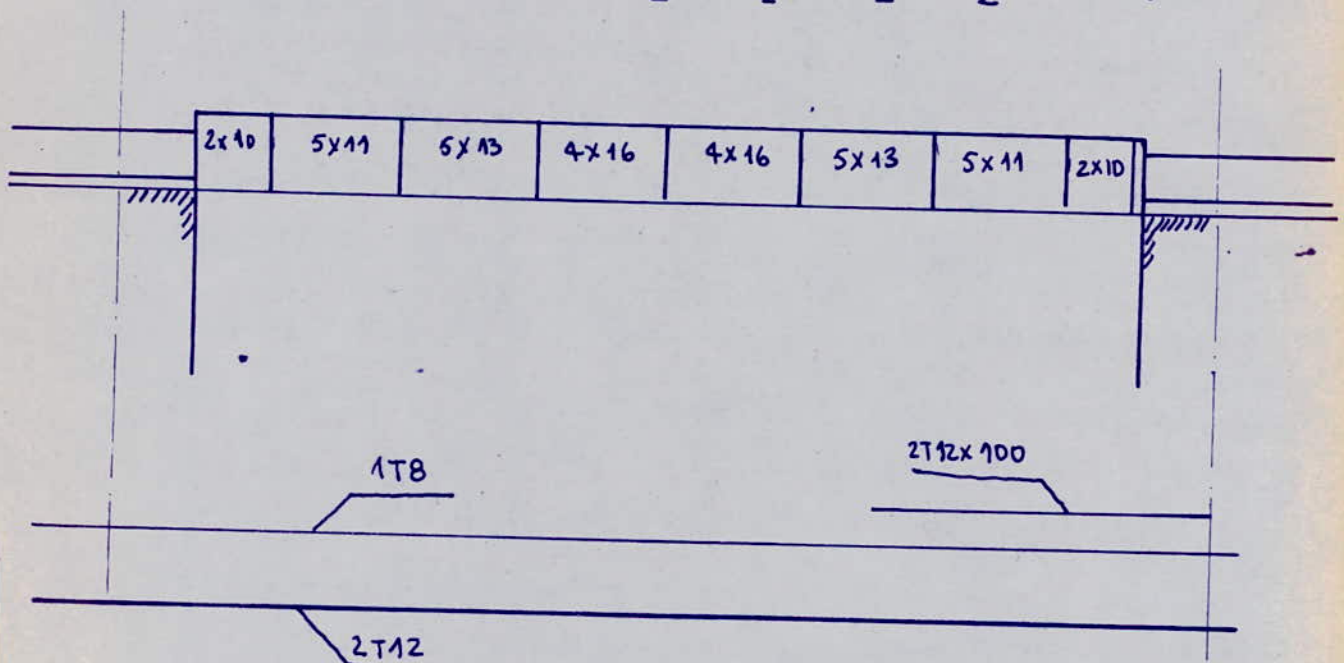
$$2 \times 10 = 20$$

$$5 \times 11 = 55$$

$$5 \times 13 = 65$$

$$4 \times 16 = 64$$

$$\frac{204}{204} \Rightarrow 205 = \frac{l_0}{2} - \frac{t_{\min}}{2} = \frac{420}{2} - \frac{10}{2} \quad t \leq h = 18$$



Ferraillage de la table de compression : CCBA 68 Art 58

Les hourdis doivent avoir une épaisseur minimale de 4cm. Ils sont armés d'un quadrillage de barres dont les dimensions de maille ne doivent pas dépasser : 20 cm (5 par mètre) pour les armatures perpendiculaires aux nervures.

33 cm (3 par mètre) pour les armatures parallèles aux nervures.

Les sections de armatures doivent normalement satisfaire aux conditions suivantes :
 quand l'écartement entre axe de nervures est au plus égal à 50 cm, la section de armatures perpendiculaires aux nervures, exprimée en cm^2 par mètre linéaire, doit être au moins égale à $\frac{2160}{\sigma_{en}}$; σ_{en} étant la limite d'élasticité nominale de l'acier utilisé, exprimée en bars.

Quand en écartement entre axe de nervures est compris entre 50 et 80 cm, la section de armatures perpendiculaires aux nervures A_{\perp} , exprimée en cm^2/m , doit être au moins égale à

$$A_{\perp} \geq 0,02 e_n \frac{2160}{\sigma_{en}} = \frac{43 e_n}{\sigma_{en}}$$

Quant aux armatures, parallèles aux nervures, autres que les armatures supérieures de poutrelles, elles doivent avoir une section par mètre linéaire au moins égale à $0,5 A_{\perp}$.
 On prévoit un ferrailage de treillis soudés en $\phi 6 \rightarrow \sigma_{en} = 5200$ bars

$$A_{\perp} \geq 0,02 \times e_n \frac{2160}{5200} = 0,02 \times 63 \times \frac{2160}{5200} = 0,52 \text{ cm}^2/\text{m} \quad e_n = 63 \text{ cm}$$

En plus, on doit avoir 5 par mètre $\rightarrow 5 \times 0,28 = 1,4 \text{ cm}^2/\text{m} > 0,52$

Les armatures parallèles aux nervures

$$A \geq \frac{A_{\perp}}{2} = \frac{1,4}{2} = 0,7$$

3 par mètre $\rightarrow 3 \times 0,28 = 0,84$

On prévoiera un ferrailage en treillis soudé de $\phi 6$ dont les mailles feront 20×30 .

———— CHAPITRE III

ETUDE DU VENT ET SEISME ————

Action intérieure : $c_i = 0,8$ (parois ouvertes au vent)
 $c_i = -0,5$ (parois ouvertes sans vent)

Action résultante des pressions intérieures et extérieures :

$$c = (c_e - c_i) = 0,8 - (-0,5) = 1,3$$

$$= -0,5 - (0,8) = -1,3 \Rightarrow c = \pm 1,3$$

$$\rightarrow q_z = q_{10} k_s \times S \times c = 60 \times 1,3 \times 0,875 \times (\pm 1,3) = 89 \text{ kg/m}^2$$

On substitue à l'action dynamique du vent, des forces statiques évaluées comme suit :

$$F = S q_z$$

avec S : surface revenant à chaque portique

$$S = \frac{h}{2} \times a \quad h : \text{hauteur d'étage}$$

a : espacement entre deux portiques

$$a = 4,5 \quad h = 5 \text{ (salle restauration)} \quad h = 4 \text{ m (services)}$$

Les forces ainsi déterminées s'appliquent au niveau des traverses des portiques horizontalement.

$$F_1 = 89 \times 4,5 \times \frac{5}{2} = 1001,25 \text{ kg} \approx 1 \text{ t}$$

$$F_2 = 89 \times 4,5 \times \frac{4}{2} = 801 \text{ kg} \approx 0,8 \text{ t}$$

Etude du seisme:

Introduction: le seisme se manifeste par des secousses qui imposent aux constructions des accélérations particulières de l'ordre de g (pesanteur).
 Pour le calcul, on substitue aux effets dynamiques réels, des sollicitations statiques, résultant de la considération de systèmes forces fictives dont les effets sont censés équivaloir ceux de l'action sismique. PS 69 art 3.111

Ces systèmes de forces se décomposent comme suit :

- Un système de forces élémentaires horizontales (SH)
- Un système de forces élémentaires verticales (SV)
- Un système de couples de torsion d'ensemble d'axe vertical (ST)

• Systèmes de forces horizontales: SH

Ces systèmes se décomposent en deux systèmes élémentaires suivant les 2 directions du bâtiment (longitudinale et transversale).

L'intensité de la force horizontale agissant sur un élément donné dans la direction Ox est égale à $G_x W$

W : poids des charges permanents et surcharges propres à l'élément.

• Systèmes verticaux: Ces systèmes en 2 systèmes élémentaires distincts par leur sens uniquement (vers le haut ou le bas).

L'intensité de la force verticale agissant sur un élément donné est égale à $\pm G_v W$

* G_x et G_v , coefficients sismiques qu'on définira par la suite

Torsion d'ensemble (ST) : Nous ne définirons pas ce système, car la stabilité d'ensemble est assurée, car l'élançement $\eta > 2,5$ $\frac{L_v}{L_h} < 2,5$.

| Bloc | A | B | C |
|--------------------------|-------|-------|------|
| H | 5,00 | 3,50 | 3,50 |
| L_u | 13,80 | 22,50 | 9 |
| L_v | 24,70 | 15 | 11,5 |
| T_u | 0,12 | 0,07 | 0,11 |
| T_v | 0,09 | 0,08 | 0,09 |
| B_u | 0,13 | 0,16 | 0,14 |
| B_v | 0,14 | 0,15 | 0,14 |
| $B_{\max \text{ admi.}}$ | 0,08 | 0,08 | 0,08 |

Evaluation des forces sismiques : Les coefficients sismiques étant déterminés, le calcul des forces sismiques revient à déterminer : $W = G + 0,2P$
 G et P étant respectivement charge permanente et surcharge revenant à l'élément considéré.

. Direction horizontale : On considère que les forces sismiques agissent dans les portiques. Au niveau des nœuds \Rightarrow force horizontale.

. Direction verticale : On considère que la force sismique uniformément répartie sur les traverses des portiques.

Ce cas n'est considéré que dans le sens porteur, c'est-à-dire transversal.

Calcul de W : Bloc A (restauration)

plancher $q = 640 \text{ kg/m}^2$
 poutres $30 \times 100 \rightarrow 0,3 \times 8 \times 24,2 \times 2500 = 18,15 \text{ t}$
 poteaux $30 \times 50 \rightarrow 0,5 \times 0,3 \times 5,70 \times 2500 = 6,41 \text{ t}$
 $P = 100 \text{ kg/m}^2 \rightarrow 0,2P = 0,2 \times 100 = 20 \text{ kg/m}^2$

a) sens transversal :

- Portique 1-1 (rive)

$$W = 0,66 \times \frac{4,5}{2} \times 24,2 + 18,15 + 6,4 = 65,7$$

$$\Rightarrow \vec{S}_I = 6 \times W = 6,57 \text{ t}$$

- Portique 2-2 (intermédiaire) :

$$W = 0,66 \times 4,5 \times 24,2 + 18,15 + 64 = 96,47$$

$$\vec{S}_I = 0,1 \times 96,4 = 9,64 \text{ t}$$

* Direction verticale :

- Portique R-R (Rive) $S_I \downarrow (\text{vertical}) = \frac{\vec{S}_I H}{24,2} = \frac{6,57}{24,2} = 0,27 \text{ t/m}$

- Portique I-I (intermédiaire) $S_I \downarrow (\text{vertical}) = \frac{\vec{S}_I H}{24,2} = \frac{9,64}{24,2} = 0,4 \text{ t/m}$

Dans cette direction la force sismique ne sera envisagée que vers le bas, car le haut de cette force soulagerait les portiques sans pour autant créer de force vers le haut.

b) sens longitudinal :

- plancher : $q = 640 \text{ kg/m}^2$
- poutres 30×100 : $0,3 \times 1 \times 1 \times 2500 = 0,75 \text{ t/m}$
- poutres 20×50 : $0,2 \times 0,5 \times 2500 = 0,25 \text{ t/m}$
- poteaux : $0,5 \times 0,3 \times 5,70 \times 4 \times 2500 = 8,55 \text{ t}$ (4 poteaux)

- Portique R-R (rive) :

$$W = 0,66 \times \frac{12,1}{2} \times 4,5 \times 3 + 0,75 \times \frac{12,1}{2} \times 3 + 0,25 \times 4,5 \times 3 + 8,55 = 83,98 \text{ t}$$

$$\vec{S}_I = 8,4 \text{ t}$$

- Portique I-I (intermédiaire)

$$W = 0,66 \times 12,1 \times 4,5 \times 3 + 0,75 \times 12,1 \times 4 + 0,25 \times 4,5 \times 3 + 8,55 = 156 \text{ t}$$

$$\vec{S}_I = 15,6 \text{ t}$$

Bloc B :

Sens transversal : dans ce sens, on considère 2 types de portiques
 l'un à 4 travées 6 - 4,5 - 6 - 4,5 qu'on notera IV
 l'autre à 3 travées 4,5 - 6 - 4,5 qu'on notera III
 Dans le 1^{er} type (IV), on distinguera le portique de rive noté IV'
 et le portique intermédiaire noté IV

Plancher :

$$q = 570 \text{ kg/m}^2 \quad \frac{p}{5} = 20 \text{ kg/m}^2 \Rightarrow q = 590 \text{ kg/m}^2$$

Poids d'un poteau : $0,30 \times 0,30$

$$2,5 \times 0,3 \times 0,3 \times 4,45 = 1 \text{ t}$$

Poids propres d'un mètre linéaire : $0,2 \times 0,5$

$$2,5 \times 0,30 \times 0,50 = 0,375 \text{ kg/m}$$

• Portique III :

$$W = (0,590 \times 4,5 + 0,375) \times 15 + 1 \times 4 = 49,5 \text{ t}$$

$$\rightarrow \vec{S_I} = \delta W = 0,1 \times 49,5 = 5 \text{ t}$$

$$S_I(\downarrow) = \frac{5}{15} = 0,3 \text{ t/m}$$

• Portique IV

$$W = (0,59 \times 4,5 + 0,375) \times 21 + 1 \times 5 = 68,8 \approx 69$$

$$\vec{S_I} = \delta W = 0,1 \times 69 = 6,9 \text{ t}$$

$$S_I(\downarrow) = \frac{6,9}{21} = 0,3 \text{ t/m}$$

Sens longitudinal: On distingue les portiques de rive et les portiques intermédiaires
 portique intermédiaire, noter J-J
 portique de rive, noter R-R

$$q = 590 \text{ kg/m}^2 \quad (\text{charge permanente} + \text{surcharge})$$

Poteau: 1t (1 poteau)

Poutre: (30 x 50) \Rightarrow 0,375t/m

Chainage: (30 x 20) \Rightarrow 2,5 x 0,3 x 0,2 = 0,15t/m

Portique type J-J

$$w = \left(0,59 \times \frac{9,5}{2} + 0,15\right) \times 22,5 + 0,375 \times \frac{9,5}{2} \times 6 + 6 = 44,30 \text{ t}$$

$$\vec{S_I} = 4,43 \approx 4,5 \text{ t}$$

Portique R-R:

$$w = \left(0,59 \times \frac{9,5+6}{2} + 0,15\right) \times 22,5 + 0,375 \times \frac{9,5+6}{2} \times 6 + 6 = 50,88 \approx 51 \text{ t}$$

$$\rightarrow \vec{S_I} = 9,1 \text{ t}$$

Bloc c:

Sens transversal: On distingue le portique intermédiaire du portique de rive

$$\text{Portique intermédiaire: } w = (0,66 \times 9,5 \times 12,1 + 0,335 \times 12,1 + (0,3 \times 0,5 \times 4,45 \times 2,5) \times 3) = 92 \text{ t}$$

$$S_I \vec{=} \Delta w = 4,2 \text{ t}$$

$$\text{Portique de rive: } (10,66 \times \frac{9,5}{2} + 0,375) \times 12,1 + 3(0,3 \times 0,5 \times 4,45 \times 2,5) = 28,129$$

$$S_I \vec{=} 0,1 \times 28 = 2,8 \text{ t}$$

$$\text{Intermédiaire: } S_I \downarrow = \frac{4,2}{12,1} = 0,3 \text{ t/m}$$

$$\text{rive: } S_I \downarrow = \frac{2,8}{12,1} = 0,19 \text{ t/m}$$

Sens longitudinal :

On distingue 2 portiques de rive du portique intermédiaire

rives notés : r

intermédiaires notés i

$$q = 590 \text{ kg/m}^2 \text{ (charge permanente + 0,2P)}$$

$$\text{Poteau : } 0,3 \times 0,5 \times 3,25 \times 2,5 = 1,22 \text{ t}$$

$$\text{Poutre} \rightarrow 0,375 \text{ t/m}$$

$$\text{Chainage } 50 \times 20 = 0,5 \times 0,1 \times 2,5 = 0,25 \text{ t/m}$$

Portique type r-r

$$w = (0,59 \times 3,3 + 0,25) \times 13,5 + 0,375 \times \frac{9,5}{2} \times 3 + 3 \times 1,22 = 35,85 \approx 36 \text{ t}$$

$$\vec{S}_r = 6 \times w = 3,6 \text{ t}$$

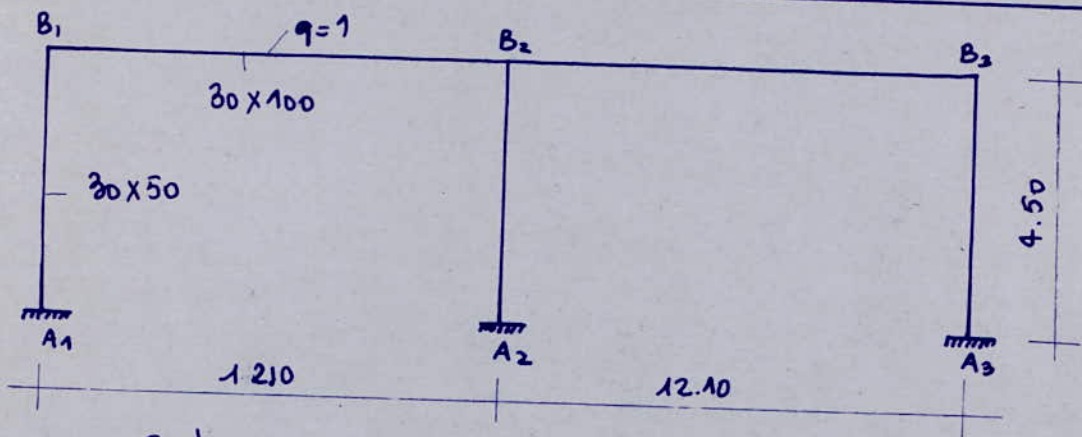
Portique type i-i :

$$w = (0,59 \times 6,6 + 0,25) \times 13,5 + 0,375 \times 4,5 \times 3 + 3 \times 1,22 \approx 65 \text{ t}$$

$$\vec{S}_i = 6 \times w = 6,5 \text{ t}$$

— CHAPITRE IV

ETUDE DES PORTIQUES —



Inertie :

$$\text{Poteau : } J_1 = \frac{30 \times 50^3}{12}$$

$$\text{Poutre : } J_2 = \frac{30 \times 100^3}{12} \rightarrow \frac{J_1}{J_2} = \frac{1}{8}$$

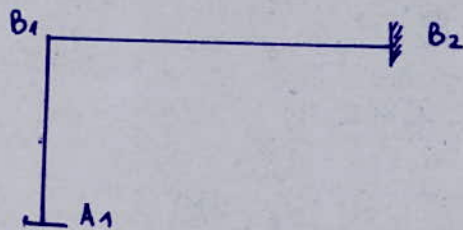
$$\text{Si on pose } J_1 = 1 \Rightarrow J_2 = 8$$

Raideur :

$$\text{Poteaux : } R_{AiBi} = \frac{J}{h} = \frac{1}{4,50} = 0,175$$

$$\text{Poutre : } R_{BiBj} = \frac{J}{L} = \frac{8}{12,1} = 0,661$$

Le portique étant symétrique et symétriquement chargé, on peut utiliser la demi-structure schématisée comme suit :



Coefficients de répartition :

$$C_{B_1B_2} = \frac{0,661}{0,661 + 0,175} = 0,791$$

$$C_{A_1B_1} = \frac{0,175}{0,661 + 0,175} = 0,209$$

Moment de départ : $M_{B_1B_2} = M_{B_2B_1} = \frac{qL^2}{12} = \frac{12,1^2}{12} = 12,01$

| | A ₁ | B ₁ | | B ₂ |
|---|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | A ₁ B ₁ | B ₁ A ₁ | B ₁ B ₂ | B ₂ B ₁ |
| | - | 0,209 | 0,791 | - |
| | | | 12,20 | -12,20 |
| | -1,275 | -2,550 | -9,650 | -4,825 |
| M | -1,275 | -2,550 | 2,550 | -17,025 |

$$M(x) = \mu - M_{AB} + \frac{M_{AB} + M_{BA}}{l} x \quad \mu = \text{moment isostatique}$$

$$\mu = \frac{q l x}{2} - \frac{q x^2}{2} \quad q = 1$$

Poutre 2-3: $l = 12,10$

$$M(x) = 6,05x - 0,5x^2 - 2,55 + \frac{2,55 - 17,025}{12,1} x$$

$$M(x) = -0,5x^2 + 4,85x - 2,55$$

$$M_{\max} = 9,21 \text{ pour } x = 4,85$$

$$M(x) = x^2 - 9,70x + 5,10$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,56 \\ 9,14 \end{cases}$$

Equation de moments :

$$M = \mu - M_{B_1 B_2} + \frac{M_{B_1 B_2} + M_{B_2 B_1}}{l} x \quad \mu = \frac{q l x}{2} - \frac{q x^2}{2}$$

$$M = \frac{12,1}{2} x - 0,5x^2 - 2,550 + \frac{2,550 - 17,025}{12,1} x = 6,05x - 0,5x^2 - 2,550 - 1,215x$$

$$M = -0,5x^2 + 4,835x - 2,55 \quad M_{\max} = 9,139 \text{ pour } x = 4,853$$

$$M = 0 \text{ pour } x = 0,560 \text{ et } x = 9,11$$

Pour les poteaux de rive : $M = 1,225 - \frac{1,225 + 2,550}{4,50} x = 1,225 - 0,66x \quad M = 0 \text{ pour } x = 1,856$

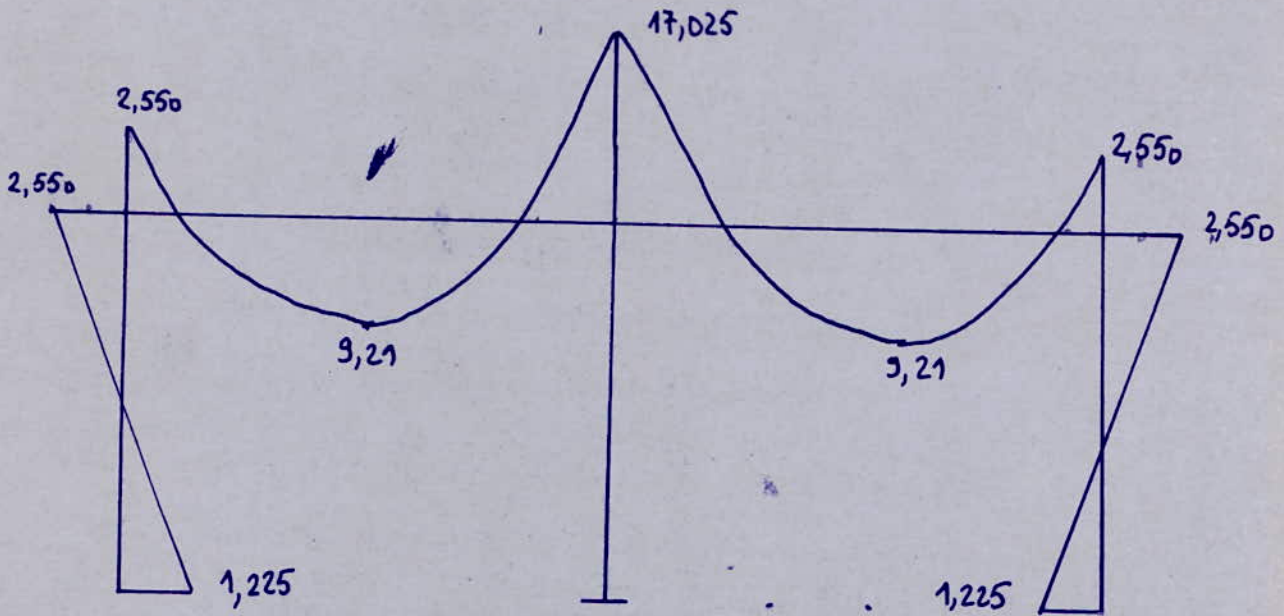


Diagramme des moments sous $q=1$

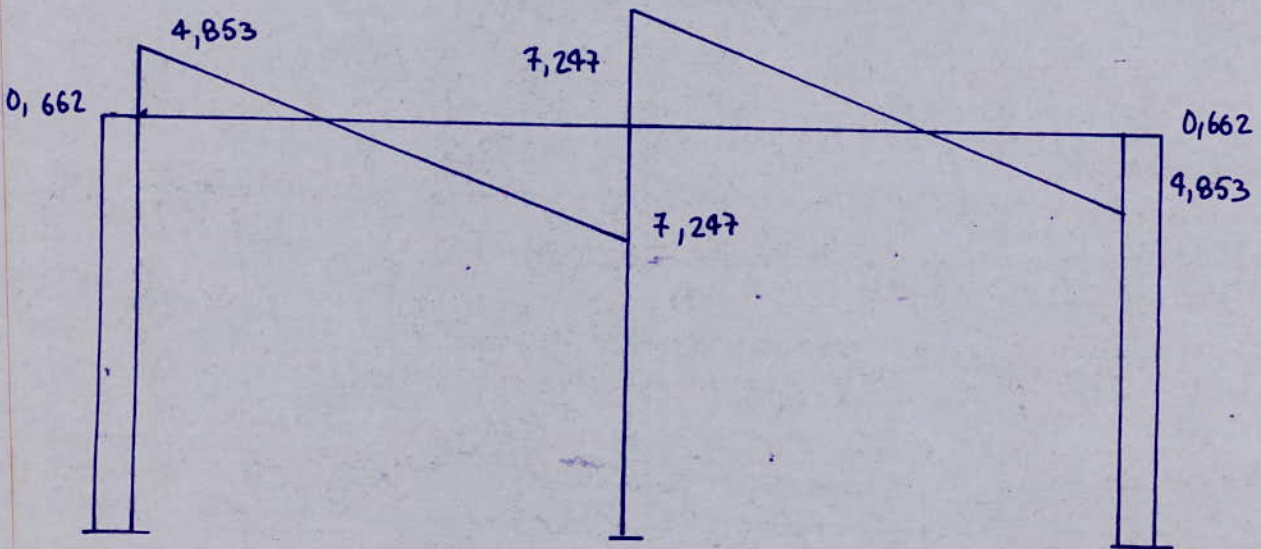


Diagramme de l'effort tranchant correspondant

Etude du portique sous force horizontale $H=1$:

Etudié par la méthode des déterminations directes des moments en une seule phase (Charon: simplification et amélioration de la méthode de cross).

Les portiques, sous l'action des forces horizontales, subissent des déplacements latéraux. Cette méthode de calcul, comprend les étapes suivantes:

- Calcul des raideurs réelles, des traverses et des raideurs fictives des barres verticales
- Calcul des coefficients de répartition C^1
- Calcul des coefficients de transmission directe
- Calcul des coefficients de transmission latérale
- Calcul des moments de départ
- Répartition et transmission des moments sous forme de tableau.

a) Calcul des raideurs:

- raideur réelle des traverses: $R_{BiBj} = \frac{I_{ij}}{l_{ij}}$ (barres encastrees)

- raideurs fictives des barres verticales: $R_{BiAi}^f = \left[1 - \frac{D_i T S R_{AiBi}}{\sum R_{Am Bm}} \right] R_{AiBi}$

b) Calcul des coefficients de répartition:

Les coefficients de répartition sont calculés comme dans la méthode de cross habituelle, sauf, quand on prend les raideurs fictives des barres verticales au lieu des raideurs réelles.

c) Calcul des coefficients de transmission directe:

$$\gamma_{BiAi}^d = 1 - \frac{R_{BiAi}}{2R_{BiAi}^f} \text{ pour les barres verticales}$$

$$\gamma_{BiBj}^d = \frac{1}{2} \text{ pour les traverses.}$$

d) Coefficients de transmission latérale:

$$Y^2 = Y' Y''$$

avec $V'_{B_i A_i} = - \left(\frac{1 - 2Y'_{B_i A_i}}{R_{B_i A_i}} \right)$ $V''_{B_i A_i} = R_{B A}$

• Moment de transmission directe: $M_{A_i B_i} = M_{B_i A_i} = Y'_{B_i A_i}$

• Moment de transmission latérale d'une barre $A_n B_n$ à une barre $A_i B_i$:

$$M_{B_i A_i} = M_{A_i B_i} = V'_{A_n B_n} V''_{A_i B_i} \cdot M_{B_n A_n}$$

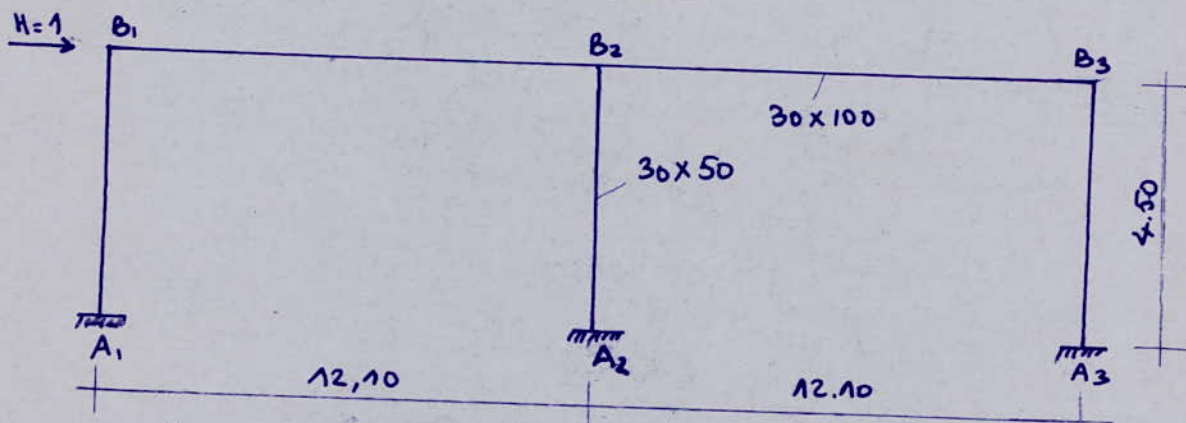
e) Moment de départ:

$$M_{A_i B_i} = M_{B_i A_i} = \frac{Hh}{2} \times \frac{R_{B_i A_i}}{\sum R_{B_i A_i}}$$

H = force horizontale appliquée au portique au niveau de la terrasse

N.B: Toutes ces formules ne sont valables que pour les portiques ne comportent pas d'articulation

les rotations $A-B-C...$ donne les niveaux, les indices numériques, les ranges...



les raideurs réelles ont été calculées dans la 1ère partie

• poutres: $R_{B_1 B_2} = R_{B_2 B_3} = 0,661$

• Poteaux: $R_{A_1 B_1} = R_{A_2 B_2} = 0,175$

raideurs fictives: $R^f_{B_1 A_1} = R^f_{B_2 A_2} = R^f_{B_3 A_3} = \left[1 - \frac{0,75 \times 0,175}{3 \times 0,175} \right] 0,175 = 0,131$

Coefficient de répartition:

$$C_{B_1 A_1}^1 = \frac{0,131}{0,131 + 0,661} = 0,165 = C_{B_3 A_3}^1$$

$$C_{B_1 B_2}^1 = \frac{0,661}{0,131 + 0,661} = 0,835 = C_{B_3 B_2}^1$$

$$C_{B_2 A_2}^1 = \frac{0,131}{0,131 + 0,661 + 0,661} = 0,090$$

$$C_{B_2 B_1}^1 = C_{B_2 B_3}^1 = \frac{0,661}{0,131 + 0,661 + 0,661} = 0,455$$

Coefficient de transmission directe:

$$V_{B_1 A_1}^1 = V_{B_2 A_2}^1 = V_{B_3 A_3}^1 = 1 - \frac{R_{B_1 A_1}}{2R_{B_1 A_1}^f} = 1 - \frac{0,175}{2 \times 0,131} = 0,332$$

Coefficient de transmission latérale:

$$V^2 = V' V''$$

$$V_{B_1 A_1}' = - \left(\frac{1 - 2V_{B_1 A_1}^1}{R_{B_1 A_1}} \right) = - \left(\frac{1 - 2 \times 0,332}{0,175} \right) = -1,920$$

$$V_{B_1 A_1}'' = R_{B_1 A_1} = 0,175 \Rightarrow V^2 = -0,175 \times 1,920 = -0,336 \text{ car les poteaux ont même raideur.}$$

Moment de départ:

$$M_{A_i B_i} = M_{B_i A_i} = \frac{H \times h}{2} \times \frac{1}{n} = \frac{4,50}{6} = 0,750$$

| | A ₁ | | | A ₂ | | | A ₃ | | | |
|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | B ₁ | | | B ₂ | | | B ₃ | | | |
| | A ₁ B ₁ | B ₁ A ₁ | B ₁ B ₂ | B ₂ B ₁ | B ₂ B ₃ | B ₂ A ₂ | A ₂ B ₂ | B ₃ B ₂ | B ₃ A ₃ | A ₃ B ₃ |
| C _{0iAi} | — | 0,165 | 0,835 | 0,455 | 0,455 | 0,090 | — | 0,835 | 0,165 | — |
| √ ¹ | — | 0,332 | 0,500 | 0,500 | 0,500 | 0,332 | — | 0,500 | 0,332 | — |
| √ ² | | -0,336 | | | | -0,336 | | | -0,336 | |
| | 0,950 | 0,950 | | | | 0,950 | 0,950 | | 0,950 | 0,950 |
| B ₁ | -0,052 | -0,157 | -0,193 | -0,395 | | +0,053 | +0,053 | | +0,053 | +0,053 |
| B ₃ | +0,056 | +0,056 | | -0,419 | +0,056 | +0,056 | -0,838 | -0,165 | -0,055 | |
| B ₂ | 0,007 | +0,007 | -0,006 | -0,111 | -0,111 | -0,022 | -0,007 | -0,056 | +0,007 | +0,007 |
| B ₃ | -0,003 | -0,003 | | 0,020 | -0,003 | -0,003 | +0,041 | +0,008 | +0,003 | +0,003 |
| | | | -0,004 | -0,008 | -0,008 | -0,002 | -0,001 | -0,004 | | |
| | | | | | | | | +0,003 | +0,001 | |
| | 0,958 | 0,853 | -0,853 | -0,514 | -0,518 | 1,032 | 1,048 | -0,854 | 0,854 | 0,958 |

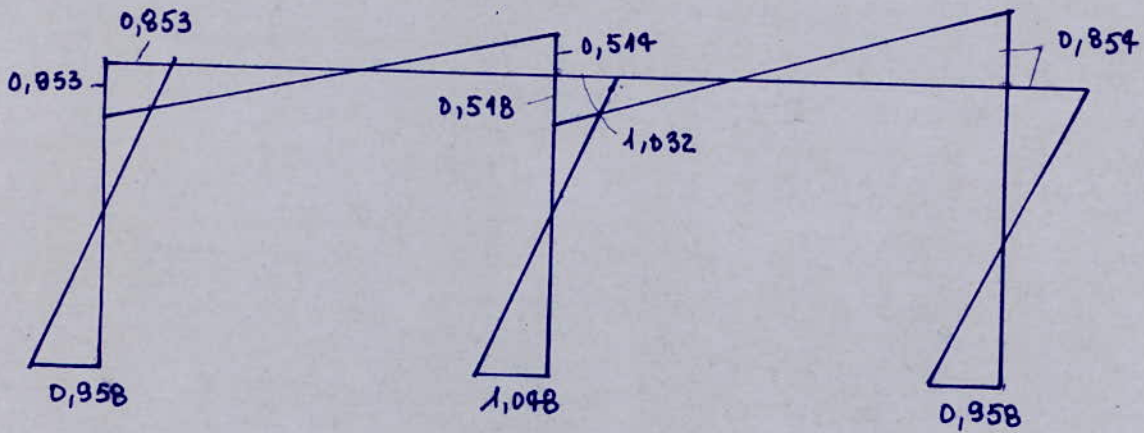
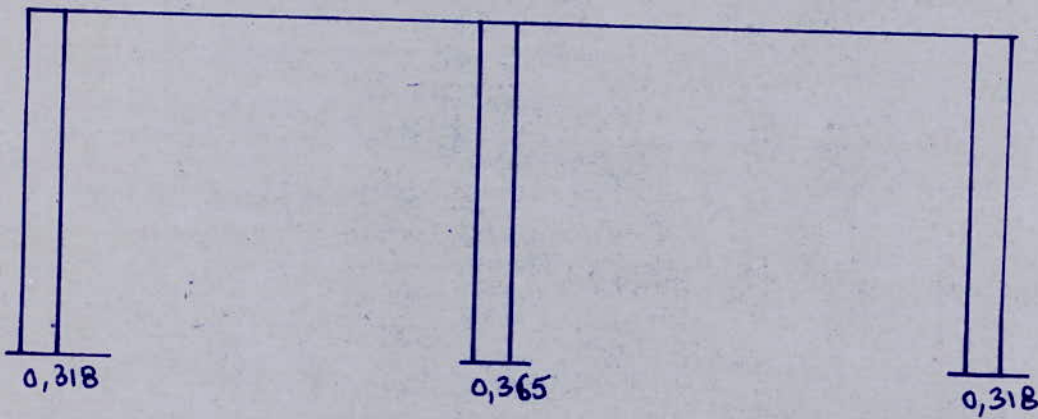
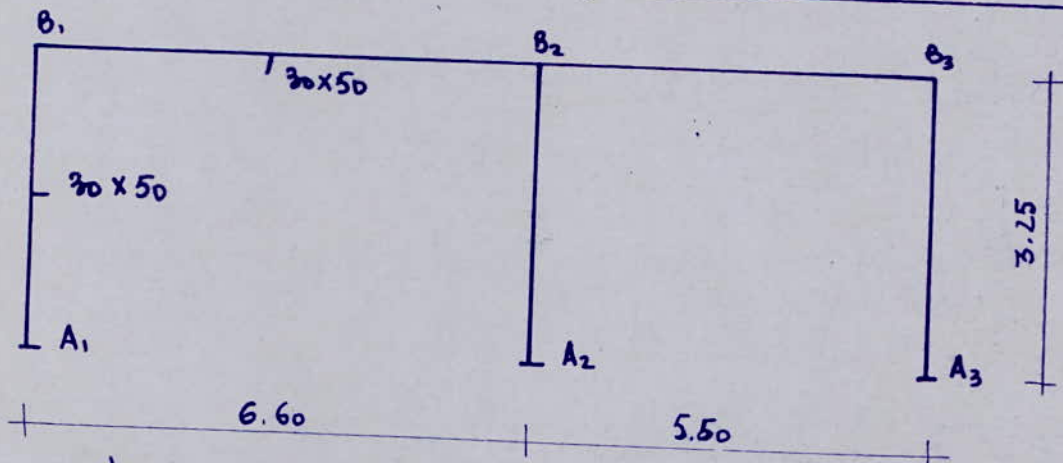


Diagramme moment sous charge horizontale $H=2$



Efforts tranchants correspondants



Inertie: $J_{\text{poteau}} = J_{\text{poutre}} = \frac{30 \times 50^3}{12} = J$. Prenons $J = 1$

Raideur:

Poteau: $R_{A_i B_i} = \frac{1}{3.25} = 0.225$

Poutres: $R_{B_1 B_2} = \frac{1}{6.60} = 0.152$

$R_{B_2 B_3} = \frac{1}{5.50} = 0.182$

Coefficient de répartition:

nœud B₁: $K = 0.225 + 0.152 = 0.377$

$C_{B_1 A_1} = \frac{0.225}{0.377} = 0.597$

$C_{B_1 B_2} = \frac{0.152}{0.377} = 0.403$

nœud B₂: $K = 0.225 + 0.152 + 0.182 = 0.559$

$C_{B_2 B_1} = \frac{0.152}{0.559} = 0.272$

$C_{B_2 B_3} = \frac{0.182}{0.559} = 0.326$

$C_{B_2 A_2} = \frac{0.225}{0.559} = 0.402$

nœud B₃: $K = 0.225 + 0.182 = 0.407$

$C_{B_3 B_2} = \frac{0.182}{0.407} = 0.447$

$C_{B_3 A_3} = \frac{0.225}{0.407} = 0.553$

| | A ₁ | B ₁ | | | B ₂ | | | A ₂ | B ₃ | | A ₃ |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------|
| | — | 0,597 | 0,403 | 0,272 | 0,326 | 0,402 | — | 0,447 | 0,553 | — | |
| | A ₁ B ₁ | B ₁ A ₁ | B ₁ B ₂ | B ₂ B ₁ | B ₂ B ₃ | B ₂ A ₂ | A ₂ B ₂ | B ₃ B ₂ | B ₃ A ₃ | A ₃ B ₃ | |
| B ₁ | -1,084 | -2,167 | -1,463 | -0,731 | | | | | | | |
| B ₃ | | | | | 0,563 | | | 1,127 | 1,394 | 0,697 | |
| B ₂ | | | 0,174 | 0,347 | 0,416 | 0,513 | 0,257 | 0,208 | | | |
| B ₃ | | | | | -0,046 | | | -0,093 | -0,115 | -0,058 | |
| B ₁ | -0,052 | -0,104 | -0,070 | -0,035 | | | | | | | |
| B ₂ | | | 0,011 | 0,022 | 0,026 | 0,033 | 0,016 | 0,013 | | | |
| B ₃ | | | | | -0,003 | | | -0,006 | -0,007 | -0,004 | |
| B ₁ | -0,003 | -0,007 | -0,004 | -0,002 | | | | | | | |
| B ₂ | | | | 0,001 | 0,002 | 0,002 | | | | | |
| B ₂ | -1,133 | -2,278 | 2,278 | -4,028 | 3,479 | 0,548 | 0,273 | -1,272 | 1,272 | 0,635 | |

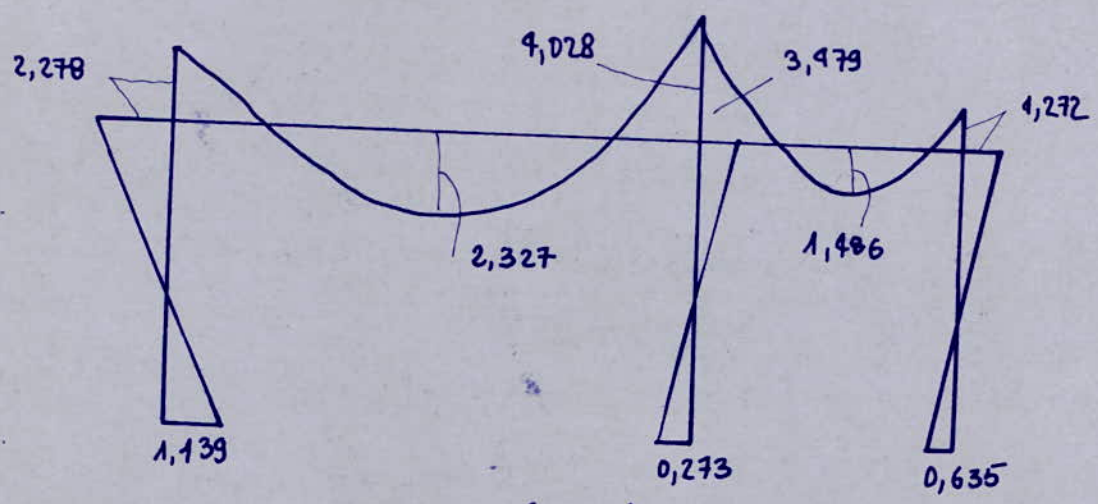
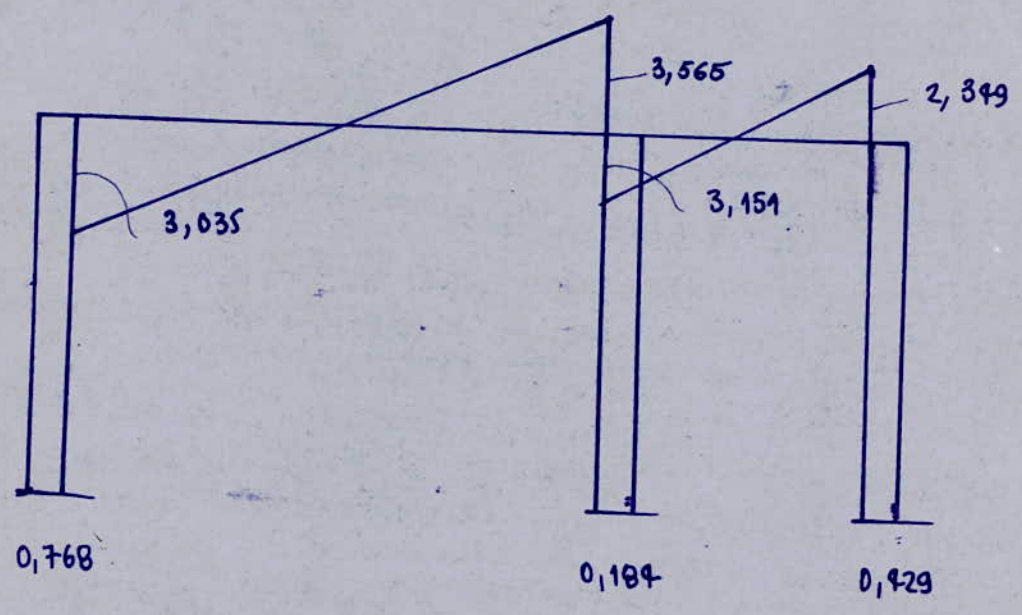


Diagramme : Moment sous charge
verticale $q = 1$



Sous charges horizontales :a) Raideurs :

réelles : calculées dans la première partie

$$\text{fiches de poteaux : } R_{BiAi}^f = \left[1 - \frac{0,75 R_{AiBi}}{E R_{AnBn}} \right] R_{BiAi} = \left[1 - \frac{0,75}{3} \right] 0,225$$

$$R_{BiAi}^f = 0,169$$

b) Coefficients de transmission :

$$V_{BiAi}^1 = 1 - \frac{R_{BiAi}}{2R_{BiAi}^f} = 0,333$$

$$V^2 = -(1 - 2V^1) = -0,333$$

c) Coefficient de répartition :

$$\text{noeud } B_1 : C_{B_1A_1}^1 = \frac{0,169}{0,169 + 0,152} = 0,526$$

$$C_{B_1B_2}^1 = \frac{0,152}{0,169 + 0,152} = 0,474$$

$$\text{noeud } B_2 : C_{B_2B_1}^1 = \frac{0,152}{0,169 + 0,152 + 0,182} = 0,302$$

$$C_{B_2A_2}^1 = \frac{0,169}{0,169 + 0,152 + 0,182} = 0,336$$

$$C_{B_2B_3}^1 = \frac{0,182}{0,169 + 0,152 + 0,182} = 0,362$$

noeud $B_3 :$

$$C_{B_3B_2}^1 = \frac{0,182}{0,182 + 0,169} = 0,519$$

$$C_{B_3A_3}^1 = \frac{0,169}{0,182 + 0,169} = 0,481$$

d) Moment de départ :

$$M_{AiBi} = M_{BiAi} = \frac{Hh}{2} \frac{R_{BiAi}}{E R_{AnBn}}$$

$$= \frac{4,45}{6} = 0,742$$

| | A ₁ | | | B ₁ | | | B ₂ | | | A ₂ | | | B ₃ | | | A ₃ |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|----------------|--------|--|----------------|
| | A ₁ B ₁ | B ₁ A ₁ | B ₁ B ₂ | B ₂ B ₁ | B ₂ B ₃ | B ₂ A ₂ | A ₂ B ₂ | B ₃ B ₂ | B ₃ A ₃ | A ₃ B ₃ | | | | | | |
| C ₁ | — | 0,526 | 0,444 | 0,302 | 0,362 | 0,336 | — | 0,549 | 0,481 | — | | | | | | |
| V ¹ | | 0,333 | | | | 0,333 | | | 0,333 | | | | | | | |
| V ² | | -0,333 | | | | -0,333 | | | -0,333 | | | | | | | |
| | 0,742 | 0,742 | | | | 0,742 | 0,742 | | 0,742 | 0,742 | | | 0,742 | 0,742 | | |
| B ₁ | -0,130 | -0,390 | -0,352 | -0,146 | | +0,130 | +0,130 | | +0,130 | +0,130 | | | +0,130 | +0,130 | | |
| B ₃ | +0,140 | +0,140 | | | -0,026 | +0,140 | +0,140 | | -0,449 | -0,140 | | | | | | |
| B ₂ | +0,068 | +0,068 | -0,092 | -0,184 | -0,221 | -0,205 | -0,068 | -0,110 | +0,068 | +0,068 | | | | | | |
| B ₁ | -0,020 | -0,061 | -0,055 | -0,027 | | +0,020 | +0,020 | | +0,020 | 0,20 | | | | | | |
| B ₃ | -0,004 | -0,004 | | | +0,006 | -0,004 | -0,004 | +0,011 | +0,011 | +0,004 | | | | | | |
| B ₂ | | | 0,001 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | | | | | | | | | |
| | | 0,002 | 0,001 | | | | | | | | | | | | | |
| | 0,196 | 0,497 | -0,497 | -0,385 | -0,439 | 0,823 | 0,961 | -0,552 | 0,552 | 0,824 | | | | | | |

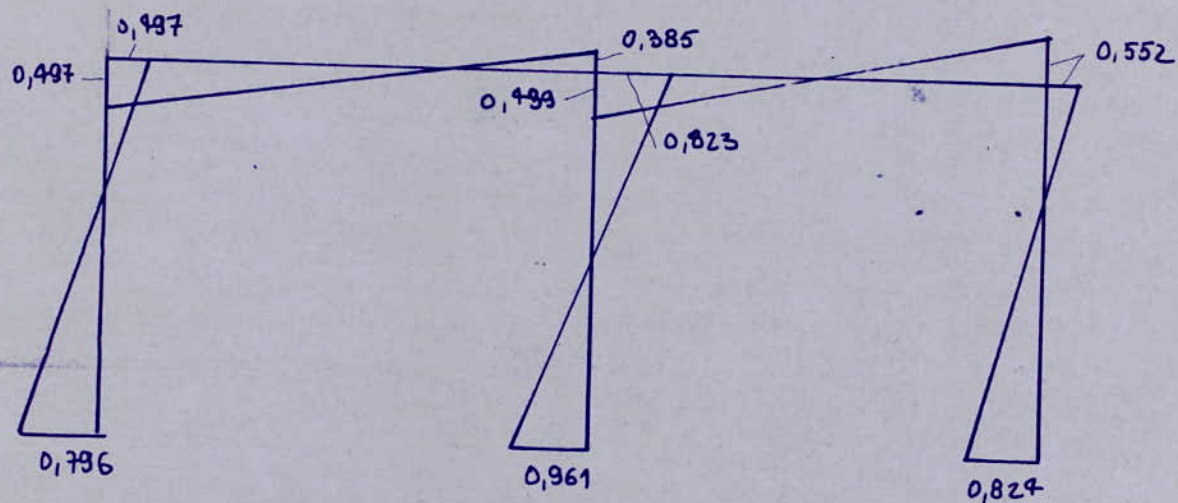
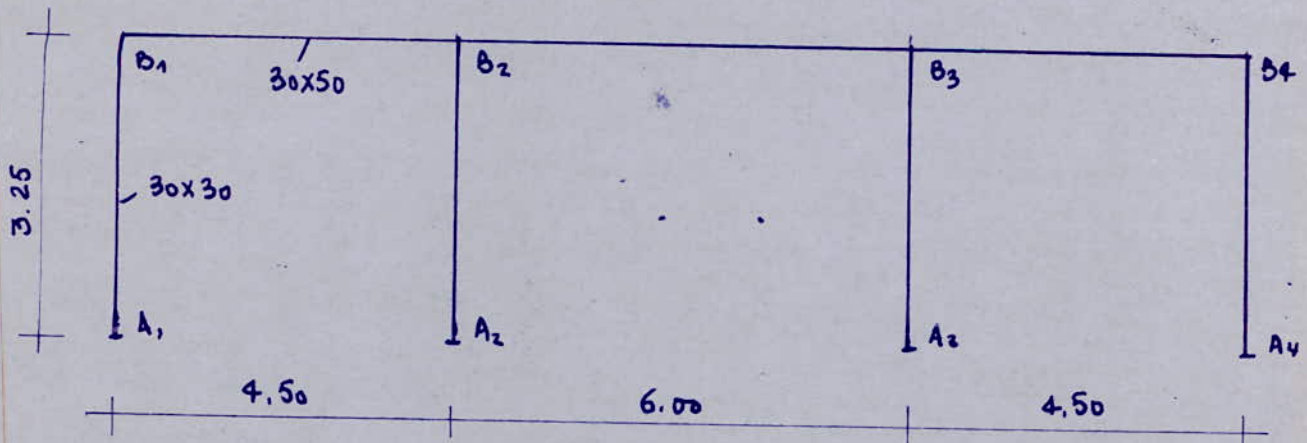


Diagramme des moments



Inertie:

Poutre: 30x50 $\rightarrow J_1 = \frac{30 \times 50^3}{12}$

Poteau: 30x30 $\rightarrow J_2 = \frac{30 \times 30^3}{12}$

$$\frac{J_1}{J_2} = \left(\frac{50}{30}\right)^3 \simeq 4,63$$

Prenons $J_2 = 1 \Rightarrow J_1 = 4,63$

Raideur:

Poteau: $R = \frac{1}{h} = \frac{1}{3,25} = 0,225$

Poutres B₁B₂ - B₃B₄: $R = \frac{4,63}{4,50} = 1,029$

Poutre B₂B₃: $R = \frac{4,63}{6,00} = 0,772$

Coefficient de répartition:

nœud B: $K = 0,225 + 1,029 = 1,254$

$$\tau_{BA} = \frac{0,225}{1,254} = 0,179$$

$$\tau_{BC} = \frac{1,029}{1,254} = 0,821$$

nœud C: $K = 0,225 + 1,029 + 0,772 = 2,026$

$$\tau_{CB} = \frac{1,029}{2,026} = 0,508$$

$$\tau_{CE} = \frac{0,772}{2,026} = 0,381$$

$$\tau_{CD} = \frac{0,225}{2,026} = 0,111$$

noeud E : $N = 0,225 + 0,772 + 1,029 = 2,026$

$$Z_{EC} = \frac{0,772}{2,026} = 0,381$$

$$Z_{EG} = \frac{1,029}{2,026} = 0,508$$

$$Z_{EF} = \frac{0,225}{2,026} = 0,111$$

noeud G : $N = 0,225 + 1,029 = 1,254$

$$Z_{GE} = \frac{1,029}{1,254} = 0,821$$

$$Z_{GH} = \frac{0,225}{1,254} = 0,179$$

Equation des moments :

BC : $M = 2,25x - 0,5x^2 - 0,263 + \frac{0,263 - 2,736}{4,5}x$

$$M = -0,5x^2 + 1,700x - 0,263$$

$$M_{\max} = 1,183 \text{ pour } x = 1,700$$

$$M = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,162 \\ 3,238 \end{cases}$$

CE : $M = 3x - 0,5x^2 - 2,833 + \frac{2,833 - 2,832}{6}x$

$$M = -0,5x^2 + 3x - 2,833$$

$$M_{\max} = 1,667 \text{ pour } x = 3$$

$$M = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,174 \\ 4,826 \end{cases}$$

EG : $M = 2,25x - 0,5x^2 - 2,735 + \frac{2,735 - 0,263}{4,5}x$

$$M = -0,5x^2 + 2,799x - 2,735$$

$$M_{\max} = 1,183 \text{ pour } x = 2,799$$

$$M = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,281 \\ 4,318 \end{cases}$$

Sous charge verticale uniforme $q = 1$

| | AB | BA | BC | CB | CE | CD | DC | EC | ED | EF | FE | GE | GH | HG |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|
| | - | 0,179 | 0,821 | 0,508 | 0,381 | 0,111 | - | 0,381 | 0,508 | 0,111 | - | 0,821 | 0,179 | - |
| B | -0,151 | -0,302 | -1,386 | -0,693 | 3 | | | -3 | 1,688 | | | -1,688 | | |
| G | | | | | | | | | 0,693 | | | 1,386 | 0,302 | 0,151 |
| C | | | -0,157 | -0,314 | -0,236 | -0,069 | -0,034 | -0,118 | | | | | | |
| E | | | | | 0,190 | | | 0,281 | 0,374 | 0,082 | 0,041 | 0,187 | | |
| G | | | | | | | | | -0,077 | | | -0,154 | -0,033 | -0,014 |
| B | 0,014 | 0,028 | 0,129 | 0,064 | | | | | | | | | | |
| C | | | -0,052 | -0,104 | -0,038 | -0,023 | -0,011 | -0,039 | | | | | | |
| E | | | | | 0,022 | | | 0,044 | 0,059 | 0,013 | 0,006 | 0,029 | | |
| B | 0,005 | 0,009 | 0,043 | 0,021 | | | | | | | | | | |
| C | | | -0,011 | -0,022 | -0,016 | -0,005 | -0,002 | -0,008 | | | | | | |
| G | | | | | | | | | -0,012 | | | -0,024 | -0,005 | -0,003 |
| E | | | | | 0,004 | | | 0,008 | 0,010 | 0,002 | 0,001 | 0,005 | | |
| B | 0,001 | 0,002 | 0,009 | 0,005 | | | | | | | | | | |
| C | | | -0,005 | -0,007 | | | | | | | | | | |
| G | | | | | | | | | | | | -0,004 | -0,001 | |
| | -0,131 | -0,263 | 0,263 | -2,736 | 2,833 | -0,098 | -0,047 | -2,832 | 2,735 | 0,097 | 0,048 | -0,263 | 0,263 | 0,131 |

Sous charge horizontale $H = 1$ 1) Raideurs :Matrises : raideur réelle

$$R_{B_1 B_2} = R_{B_3 B_4} = \frac{4,63}{4,50} = 1,029$$

$$R_{B_2 B_3} = \frac{4,63}{6,00} = 0,772$$

Poteaux :

$$\text{raideur réelle} : R_{B_i A_i} = \frac{1}{3,25} = 0,225$$

raideurs fictives :

$$R_{B_i A_i}^f = \left(1 - \frac{0,75 R_{B_i A_i}}{\sum R_{B_i A_i}}\right) R_{B_i A_i} = \left(1 - \frac{0,75}{4}\right) \times 0,225 = 0,183$$

2) Coefficient de répartition :nœuds B_1 et B_4 :

$$C_{B_1 A_1}^1 = \frac{0,183}{0,183 + 1,029} = 0,151 = C_{B_4 A_4}^1$$

$$C_{B_1 B_2}^1 = \frac{1,029}{0,183 + 1,029} = 0,849 = C_{B_4 B_3}^1$$

nœuds B_2 et B_3 :

$$C_{B_2 A_2}^1 = \frac{0,183}{0,183 + 1,029 + 0,772} = 0,092 = C_{B_3 A_3}^1$$

$$C_{B_2 B_1}^1 = \frac{1,029}{0,183 + 1,029 + 0,772} = 0,519 = C_{B_3 B_4}^1$$

$$C_{B_2 B_3}^1 = \frac{0,772}{0,183 + 1,029 + 0,772} = 0,389 = C_{B_3 B_2}^1$$

3) Coefficient de transmission :

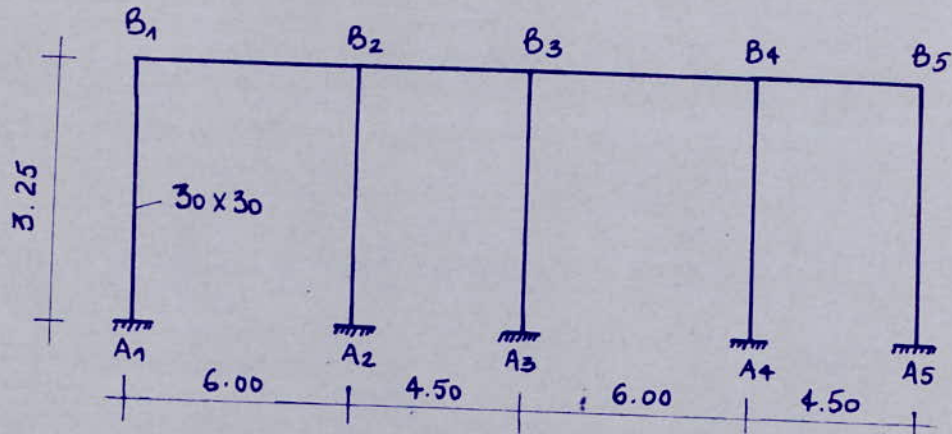
$$\text{- Direct} : Y_{B_i A_i}^1 = 1 - \frac{R_{B_i A_i}}{2 R_{B_i A_i}^f} = 1 - \frac{0,225}{2 \times 0,183} = 0,385$$

$$\text{- Latéral} : Y^2 = -(1 - 2Y^1) = -(1 - 2 \times 0,385) = -0,230$$

$$\text{Moment de départ} : M_{B_i A_i} = M_{A_i B_i} = \frac{H \times h}{2} \frac{R_{B_i A_i}}{\sum R_{B_i A_i}} = \frac{h}{8} = \frac{4,95}{8} = 0,556$$

| | A ₁ | | B ₁ | | B ₂ | | | A ₂ | | B ₃ | | | A ₃ | | B ₄ | | A ₄ | |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------|--|
| | A ₁ B ₁ | B ₁ A ₁ | B ₁ B ₁ | B ₁ B ₂ | B ₂ B ₁ | B ₂ B ₂ | B ₂ B ₃ | B ₂ A ₂ | A ₂ B ₂ | B ₃ B ₂ | B ₃ B ₃ | B ₃ B ₄ | A ₃ B ₃ | B ₄ B ₃ | B ₄ A ₄ | A ₄ B ₄ | | |
| C | - | 0,151 | 0,849 | 0,519 | 0,385 | 0,385 | 0,385 | - | 0,369 | 0,549 | 0,092 | - | 0,849 | 0,151 | - | - | | |
| Y' | | 0,385 | | | 0,385 | | | | | | 0,385 | | | 0,385 | | | | |
| Y ² | | -0,230 | | | -0,230 | | | | | | -0,230 | | | -0,230 | | | | |
| | 0,556 | 0,556 | | | 0,556 | 0,556 | 0,556 | 0,556 | 0,556 | 0,556 | 0,556 | 0,556 | 0,556 | 0,556 | 0,556 | 0,556 | | |
| B ₁ | -0,032 | -0,084 | -0,472 | -0,236 | +0,019 | +0,019 | | | | | | 0,019 | 0,019 | 0,019 | 0,019 | 0,019 | | |
| B ₃ | 0,012 | 0,012 | | | -0,412 | 0,012 | 0,012 | 0,012 | 0,012 | -0,224 | -0,258 | -0,053 | -0,020 | -0,149 | 0,012 | 0,012 | | |
| B ₄ | 0,015 | 0,015 | | | | 0,015 | 0,015 | 0,015 | | | -0,186 | 0,015 | 0,015 | -0,372 | -0,066 | -0,025 | | |
| B ₂ | 0,005 | 0,005 | -0,066 | -0,132 | -0,099 | -0,023 | -0,009 | -0,009 | -0,009 | | | 0,005 | 0,005 | | 0,005 | 0,005 | | |
| B ₃ | -0,005 | -0,005 | | | 0,042 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | 0,084 | 0,112 | 0,020 | 0,008 | 0,056 | -0,005 | -0,005 | | |
| B ₄ | 0,002 | 0,002 | | | | 0,002 | 0,002 | 0,002 | | | -0,024 | 0,002 | 0,002 | -0,048 | -0,008 | -0,003 | | |
| B ₂ | 0,001 | 0,001 | -0,010 | -0,020 | -0,015 | -0,003 | -0,001 | -0,001 | -0,001 | | | 0,001 | 0,001 | | 0,001 | 0,001 | | |
| B ₁ | 0,003 | 0,003 | 0,039 | 0,020 | | -0,002 | -0,002 | -0,002 | | | | -0,002 | -0,002 | | -0,002 | -0,002 | | |
| B ₃ | | | | | | | | | 0,012 | 0,016 | +0,008 | 0,001 | 0,008 | | | | | |
| B ₂ | | | | | -0,009 | -0,007 | -0,002 | -0,001 | | | | | | | | | | |
| B ₄ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0,557 | 0,509 | -0,509 | -0,377 | -0,377 | -0,377 | -0,141 | 0,509 | 0,586 | -0,185 | -0,380 | 0,585 | -0,513 | 0,644 | 0,558 | | | |

chapitre



Caractéristiques géométriques du portique :

- Inertie :

$$\text{Poteau : } J_1 = \frac{30 \times 30^3}{12}$$

$$\text{Poutre : } J_2 = \frac{30 \times 50^3}{12}$$

$$\frac{J_2}{J_1} = \left(\frac{50}{30}\right)^3 = 4,63$$

$$\text{Prenons } J_1 = 1 \Rightarrow J_n = 4,63$$

- Rigidité :

$$\text{Poteau : } R_{AB} = \frac{I}{n} = \frac{1}{3,25} = 0,225$$

$$\text{Poutres } B_1B_2 \text{ et } B_3B_4 : l = 6,00 \text{ m}$$

$$R_{B_1B_2} = R_{B_3B_4} = \frac{J_2}{6} = \frac{4,63}{6} = 0,772$$

$$\text{Poutres } B_2B_3 \text{ et } B_4B_5 : l = 4,50 \text{ m}$$

$$R_{B_2B_3} = R_{B_4B_5} = \frac{J_2}{4,50} = \frac{4,63}{4,50} = 1,029$$

- Coefficient de répartition :

nœud B₁ :

$$R_{AB} + R_{B_1B_2} = 0,225 + 0,772 = 0,997$$

$$C_{B_1 A_1} = \frac{0,225}{0,997} = 0,226$$

$$C_{B_1 B_2} = \frac{0,772}{0,997} = 0,774$$

nœud B₂ :

$$C_{B_2 B_1} = \frac{0,772}{0,772 + 1,029 + 0,225} = \frac{0,772}{2,026} = 0,381$$

$$C_{B_2 B_3} = \frac{1,029}{2,026} = 0,508$$

$$C_{B_2 A_2} = \frac{0,225}{2,026} = 0,111$$

nœud B₃ :

$$C_{B_3 B_2} = \frac{1,029}{2,026} = 0,508$$

$$C_{B_3 B_4} = \frac{0,772}{2,026} = 0,381$$

$$C_{B_3 A_3} = \frac{0,225}{2,026} = 0,111$$

nœud B₄ :

$$C_{B_4 B_3} = \frac{0,772}{2,026} = 0,381$$

$$C_{B_4 B_5} = \frac{1,029}{2,026} = 0,508$$

$$C_{B_4 A_4} = \frac{0,225}{2,026} = 0,111$$

noeud B₅:

$$C_{B_5 B_4} = \frac{1,029}{1,029 + 0,225} = \frac{1,029}{1,254} = 0,821$$

$$C_{B_5 A_5} = \frac{0,225}{1,254} = 0,179$$

Sous charge verticale uniforme $q = 1$

Moment d'encastrement des poutres $\pm \frac{q l^2}{12}$

$$M_{B_1 B_2} = \frac{36}{12} = 3$$

$$M_{B_2 B_1} = -3$$

$$M_{B_2 B_3} = \frac{4,5^2}{12} = \frac{20,25}{12} = 1,688$$

$$M_{B_3 B_2} = -1,688$$

$$M_{B_3 B_4} = \frac{36}{12} = 3$$

$$M_{B_4 B_3} = -3$$

$$M_{B_4 B_5} = 1,688$$

$$M_{B_5 B_4} = -1,688$$

| | A ₁ | | B ₁ | | B ₂ | | A ₂ | | B ₃ | | A ₃ | | B ₄ | | A ₄ | | B ₅ | | A ₅ | |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | A ₁ B ₁ | B ₁ A ₁ | B ₂ B ₁ | B ₂ A ₂ | B ₂ B ₁ | B ₂ B ₃ | B ₂ A ₂ | A ₂ B ₂ | B ₃ B ₂ | B ₃ B ₄ | B ₃ A ₃ | A ₃ B ₃ | B ₄ B ₃ | B ₄ B ₅ | A ₄ B ₄ | B ₄ A ₄ | B ₅ B ₄ | B ₅ A ₅ | A ₅ B ₅ | B ₅ A ₅ |
| B ₁ | -0,339 | -0,678 | -2,322 | -1,161 | 3,000 | 3,000 | 1,688 | - | -1,688 | 3,000 | - | -3,000 | 1,688 | - | -1,688 | - | - | - | - | - |
| B ₂ | | 0,471 | 0,942 | 1,756 | 0,235 | 0,235 | 0,628 | 0,937 | 0,628 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B ₃ | | | 0,143 | - | - | - | -0,986 | -0,739 | -0,215 | -0,908 | -0,370 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B ₅ | | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,693 | - | - | 1,586 | 0,302 | 0,151 | - | - |
| B ₄ | | | - | - | - | - | - | - | - | 0,988 | - | - | 0,502 | 0,410 | 0,055 | 0,259 | - | - | - | - |
| B ₂ | | 0,094 | 0,188 | 0,250 | 0,055 | 0,055 | 0,125 | 0,125 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B ₁ | -0,064 | -0,128 | -0,437 | -0,219 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B ₃ | | 0,057 | 0,114 | 0,152 | 0,033 | 0,033 | 0,076 | 0,076 | -0,159 | -0,119 | -0,035 | -0,017 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B ₅ | | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | -0,103 | - | - | -0,206 | -0,045 | - | - | - |
| B ₄ | | | - | - | - | - | - | - | 0,031 | - | - | - | 0,062 | 0,083 | 0,018 | 0,041 | - | - | - | - |
| B ₃ | | | - | - | - | - | - | - | -0,054 | -0,041 | -0,012 | -0,006 | -0,020 | - | - | - | - | - | - | - |
| B ₁ | -0,006 | -0,013 | -0,044 | -0,022 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B ₂ | | 0,009 | 0,019 | 0,025 | 0,005 | 0,005 | 0,012 | 0,012 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B ₅ | | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B ₄ | | | - | - | - | - | - | - | 0,007 | - | - | - | 0,019 | 0,004 | 0,002 | 0,009 | - | - | - | - |
| B ₃ | | | - | - | - | - | - | - | -0,010 | -0,007 | -0,002 | -0,001 | -0,004 | - | - | - | - | - | - | - |
| B ₁ | -0,001 | -0,002 | -0,007 | -0,003 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B ₅ | | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B ₄ | | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B ₂ | | | 0,003 | 0,004 | 0,001 | 0,001 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | -0,410 | -0,821 | 0,821 | -3,159 | 2,770 | 0,369 | 0,184 | -2,056 | 2,520 | -0,264 | -0,132 | -1,998 | 2,865 | 0,133 | 0,066 | -0,248 | 0,248 | 0,124 | - | - |

Equations des moments dans les différents éléments du portique :

$$M = \mu - M_{AB} + \frac{M_{AB} + M_{BA}}{l} x$$

Poteaux :

A₁B₁ :

$$M = 0,410 + \frac{-0,410 - 0,821}{3,25} x = 0,410 - 0,277 x$$

$$M = 0 \quad \text{pour } x = 1,48 \text{ m de } A_1.$$

A₂B₂ :

$$M = 0,184 - \frac{0,184 + 0,370}{3,25} x = 0,124 x - 0,184$$

$$M = 0 \quad \text{pour } x = 1,48$$

A₃B₃ :

$$M = 0,132 - \frac{0,132 + 0,264}{3,25} x = 0,132 - 0,089 x$$

$$M = 0 \quad \text{pour } x = 1,48$$

A₄B₄ :

$$M = -0,066 + \frac{0,066 + 0,133}{3,25} x = 0,045 x - 0,066$$

$$M = 0 \quad \text{pour } x = 1,48$$

A₅B₅ :

$$M = -0,124 + \frac{0,124 + 0,248}{3,25} x = 0,084 x - 0,124$$

$$M = 0 \quad \text{pour } x = 1,48$$

Poutres,
$$M = \frac{91}{2}x - \frac{9x^2}{2} = \frac{1x}{2} - \frac{x^2}{2}$$

B₁B₂:

$$M_b = 3x - 0,5x^2 - 0,821 + \frac{0,821 - 3,139}{6}x$$

$$= -0,5x^2 + 2,614x - 0,821$$

$$M_{b \max} = 2,595 \quad \text{pour } x = 2,614$$

$$M_b = 0 \quad \text{pour } x = \begin{cases} 0,34 \\ 4,89 \end{cases}$$

B₂B₃:

$$M_b = 2,250x - 0,5x^2 - 2,770 + \frac{2,770 - 2,056}{4,50}x$$

$$= -0,5x^2 + 2,409x - 2,770$$

$$M_{b \max} = 0,130 \quad \text{pour } x = 2,409$$

$$M_b = 0 \quad \text{pour } x = \begin{cases} 1,90 \\ 2,92 \end{cases}$$

B₂B₄:

$$M_b = 3x - 0,5x^2 - 2,320 + \frac{2,320 - 2,498}{6}x$$

$$M_b = 0,5x^2 + 2,887x - 2,320$$

$$M_{b \max} = 1,847 \quad \text{pour } x = 2,887$$

$$M_b = 0 \quad \text{pour } x = \begin{cases} 0,96 \\ 4,81 \end{cases}$$

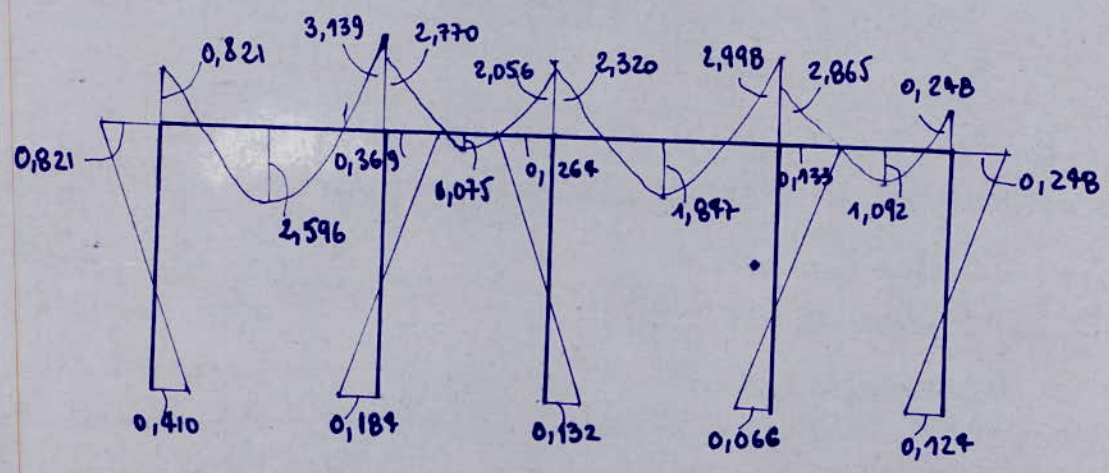
B₄B₅:

$$M_b = -0,5x^2 + 2,25x - 2,865 + \frac{2,865 - 0,248}{4,50}x$$

$$M = -0,5x^2 + 2,832x - 2,865$$

$$M_{max} = 1,142 \text{ pour } x = 2,832$$

$$M = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,32 \\ 4,34 \end{cases}$$



Effort tranchant:

$$T = \theta + \frac{M_{AB} + M_{BA}}{l}$$

Dans les poteaux $\theta = 0 \rightarrow T = \frac{M_{AB} + M_{BA}}{l}$

A₁B₁

$$T = \frac{-0,410 - 0,821}{3,25} = -0,277$$

A₂B₂

$$T = \frac{0,184 + 0,369}{3,25} = 0,124$$

A₃B₃

$$T = \frac{-0,132 - 0,264}{3,25} = -0,089$$

A₄B₄

$$T = \frac{0,066 + 0,133}{3,25} = 0,045$$

A₅B₅

$$T = \frac{0,124 + 0,248}{3,25} = 0,084$$

Dans les poutres: $\theta = \frac{q l^2}{2} - q x \quad q = 1$

$$\theta = \frac{l}{2} - x$$

B₁B₂

$$T = 3 - x + \frac{0,821 - 3,139}{6} = -x + 2,614$$

B₂B₃

$$T = 2,25 - x + \frac{2,770 - 2,056}{4,50} = -x + 2,409$$

B₃B₄ :

$$T = 3 - x + \frac{2,32 - 2,948}{6} = -x + 2,887$$

B₄B₅

$$T = 2,25 - x + \frac{2,865 - 0,248}{4,50} = 2,832 - x$$

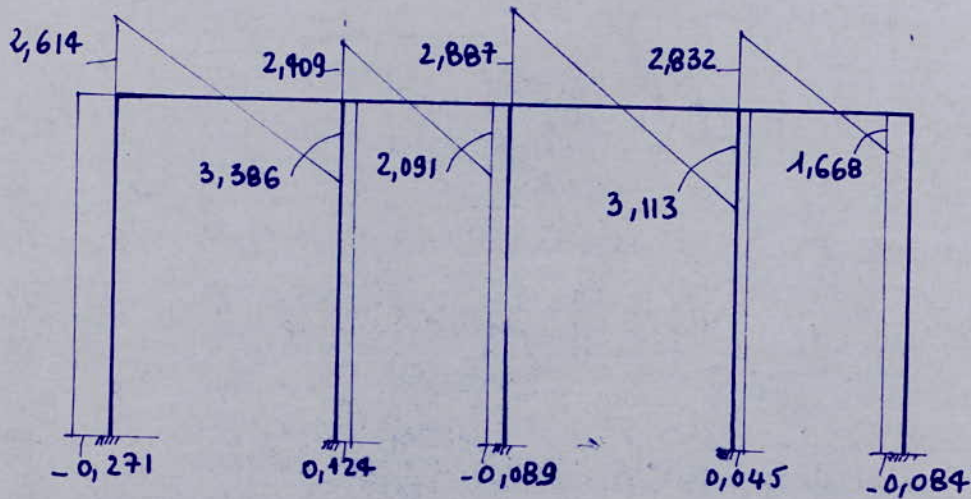


Diagramme de l'effort tranchant

1) Raideur :

traverses : poutres (raideurs réelles)

$$\bullet R_{B_1 B_2} = R_{B_3 B_4} = 0,772$$

$$\bullet R_{B_2 B_3} = R_{B_4 B_5} = 1,029$$

barres verticales : poteau

• raideurs réelles

$$R_{B_i A_i} = 0,225 \quad (i = 1-5)$$

• raideurs fictives :

$$R_{B_i A_i}^f = \left[1 - \frac{0,75 R_{B_i A_i}}{\sum R_{B_i A_i}} \right] R_{B_i A_i} \quad i = 1-5$$

$$R_{B_i A_i}^f = \left[1 - \frac{0,75}{5} \right] 0,225 = 0,191$$

2) Coefficients de répartition :

$$\underline{\text{nœud } B_1} : C_{B_1 A_1}^1 = \frac{0,191}{0,191 + 0,772} = 0,198$$

$$C_{B_1 B_2}^1 = \frac{0,772}{0,191 + 0,772} = 0,802$$

$$\underline{\text{nœud } B_2} : C_{B_2 A_2}^2 = \frac{0,191}{0,191 + 0,772 + 1,029} = 0,096$$

$$C_{B_2 B_1}^2 = \frac{0,772}{0,191 + 0,772 + 1,029} = 0,388$$

$$C_{B_2 B_3}^2 = \frac{1,029}{0,191 + 0,772 + 1,029} = 0,517$$

nœud } B_3 :

$$C_{B_3 A_3}^3 = \frac{0,191}{0,191 + 0,772 + 1,029} = 0,096 = C_{B_4 A_4}^4$$

nœud } B_4

$$C_{B_3 B_2}^1 = \frac{1,029}{0,191 + 0,772 + 1,029} = 0,517 = C_{B_4 B_5}^1$$

$$C_{B_3 B_4}^1 = \frac{0,773}{0,191 + 0,772 + 1,029} = 0,388 = C_{B_4 B_3}$$

noeud B₅ : $C_{B_5 A_5}^1 = \frac{0,191}{0,191 + 0,029} = 0,157$

$$C_{B_5 B_4}^1 = \frac{1,029}{0,191 + 1,029} = 0,843$$

3) Coefficients de transmission directe :

$$\gamma_{B_i A_i}^1 = 1 - \frac{R_{B_i A_i}}{2R_{B_i A_i}^F} = 1 - \frac{0,225}{2 \times 0,191} = 0,411 \text{ pour les poteaux}$$

Pour les poutres $\gamma_{B_i B_j}^1 = 0,5$

4) Coefficient de transmission latérale :

Les raideurs sont égales pour les poteaux

$$\Rightarrow \gamma^2 = -(1 - 2\gamma^1) = -(1 - 2 \times 0,411) = -0,178$$

5) Moment de départ :

$$M_{A_i B_i} = M_{B_i A_i} = \frac{H \times h}{2} \frac{R_{B_i A_i}}{\varepsilon R_{B_i A_i}} = \frac{H \times h}{2} \times \frac{1}{5} = \frac{4,45}{10} = 0,445$$

| | A1 | | B1 | | B2 | | A2 | | B3 | | | A3 | | B4 | | A4 | B5 | | A5 |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
| | A1B1 | B1A1 | B1B2 | B2B1 | B2B3 | B2A2 | A2B2 | B3B2 | B3B4 | B3A3 | A3B3 | B4B3 | B4B5 | B4A4 | A4B4 | B5B4 | B5A5 | A5B5 | |
| C1 | / | 0,198 | 0,802 | 0,388 | 0,517 | 0,096 | / | 0,517 | 0,388 | 0,096 | / | 0,388 | 0,517 | 0,096 | / | 0,843 | 0,157 | / | |
| γ1 | | 0,411 | | | | 0,411 | | | 0,411 | | | 0,411 | | 0,411 | | 0,411 | | | |
| γ2 | -0,178 | -0,178 | | | | -0,178 | -0,178 | | | -0,178 | -0,178 | | | -0,178 | -0,178 | | | -0,178 | |
| B1 | 0,445 | 0,445 | | | 0,445 | 0,445 | | | 0,445 | 0,445 | | | 0,445 | 0,445 | | | 0,445 | 0,445 | |
| B2 | -0,236 | -0,088 | -0,557 | -0,178 | | | | | | | | | | | | | | | |
| B3 | 0,008 | 0,008 | | | -0,119 | 0,008 | 0,008 | 0,008 | -0,238 | -0,178 | -0,044 | -0,018 | | 0,016 | 0,016 | | 0,016 | 0,016 | |
| B4 | 0,003 | 0,003 | | | | 0,003 | 0,003 | | | 0,013 | 0,013 | | -0,198 | 0,013 | 0,013 | | 0,013 | 0,013 | |
| B5 | 0,003 | 0,003 | | | | 0,003 | 0,003 | | | 0,013 | 0,013 | | | 0,013 | 0,013 | | 0,013 | 0,013 | |
| B2 | 0,003 | 0,003 | -0,036 | -0,073 | -0,097 | -0,018 | 0,007 | -0,019 | -0,038 | 0,003 | 0,003 | -0,076 | -0,101 | 0,003 | 0,003 | -0,008 | -0,050 | 0,003 | |
| B3 | -0,001 | -0,001 | | | 0,018 | -0,001 | 0,007 | 0,035 | 0,026 | 0,007 | 0,003 | 0,013 | | 0,003 | 0,003 | | 0,003 | -0,003 | |
| B5 | -0,001 | -0,001 | | | | -0,001 | 0,001 | 0,035 | 0,026 | 0,007 | 0,003 | 0,013 | | 0,003 | 0,003 | | 0,003 | 0,003 | |
| B2 | 0,000 | 0,000 | -0,003 | -0,006 | -0,009 | -0,002 | -0,001 | -0,005 | | 0,000 | 0,000 | | | 0,000 | 0,000 | | 0,000 | 0,000 | |
| B4 | | | | | | | | | -0,006 | | | | | | | | | | |
| B1 | 0,001 | 0,003 | 0,001 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B3 | | | | | | | | 0,006 | 0,005 | 0,001 | | | | | | | | | |
| B5 | | | | | | | | | | | | | | | | 0,008 | 0,001 | | |
| | 0,435 | 0,385 | -1,385 | -0,257 | -0,227 | 0,463 | 0,475 | -0,251 | -0,192 | 0,443 | 0,464 | -0,465 | -0,197 | 0,461 | 0,474 | -0,408 | 0,408 | 0,447 | |

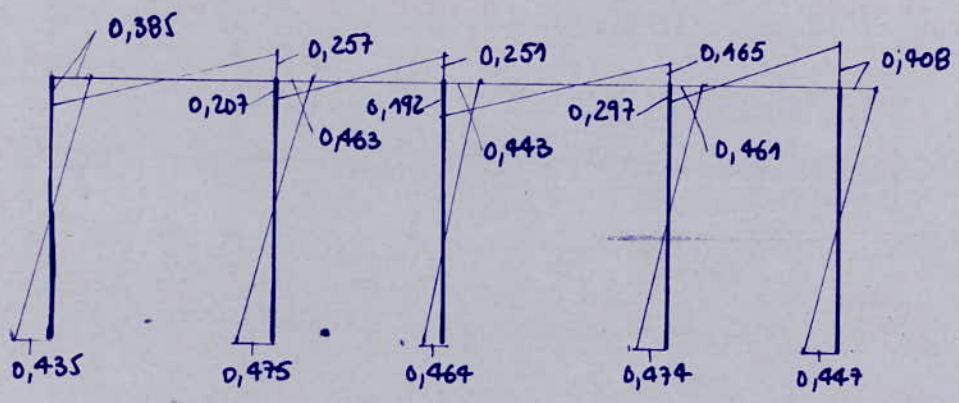
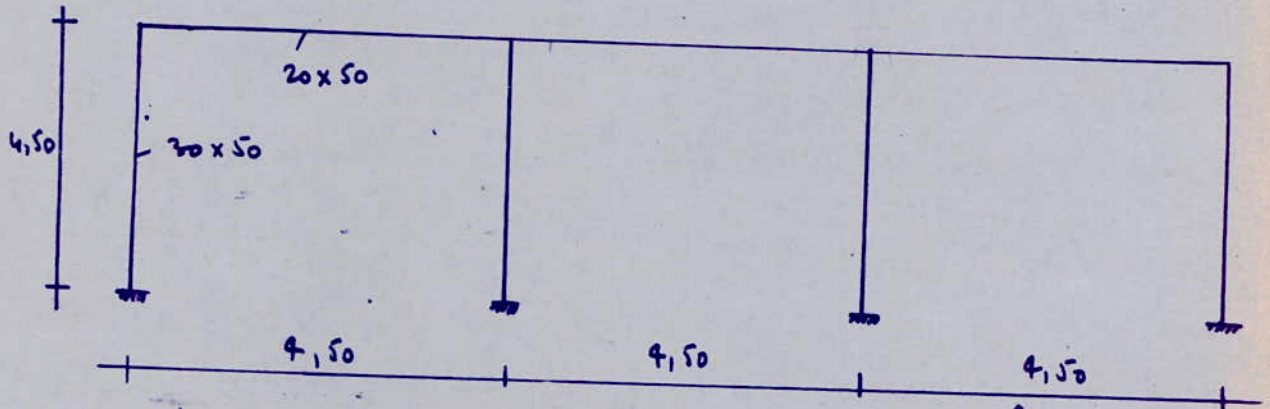


Diagramme du moment sous charge horizontale $H=1$.

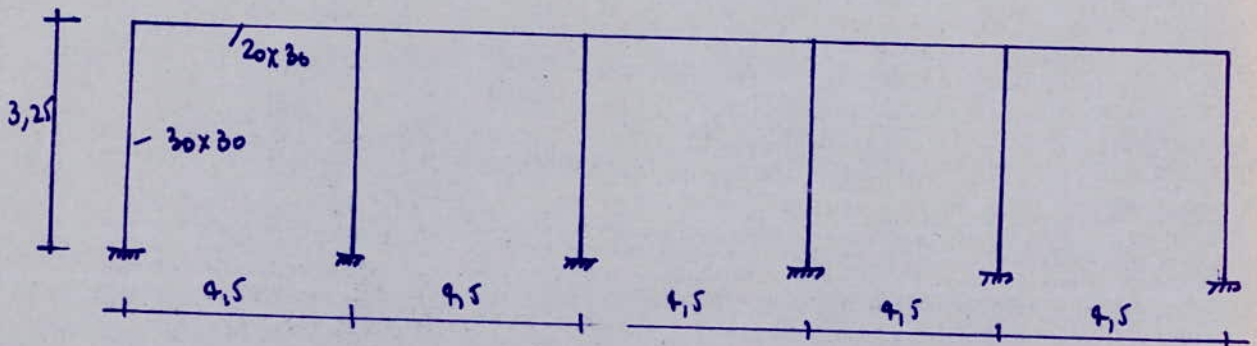
Portique dans le sens longitudinal :

On considère que 3 types de portique dans le sens longitudinal

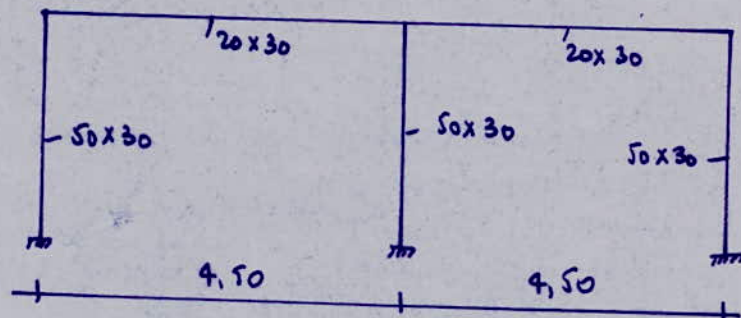
Le premier pour la salle de restauration qui sera schématisé comme suit



Le deuxième type pour les services :



Le troisième type (hall - sothie)

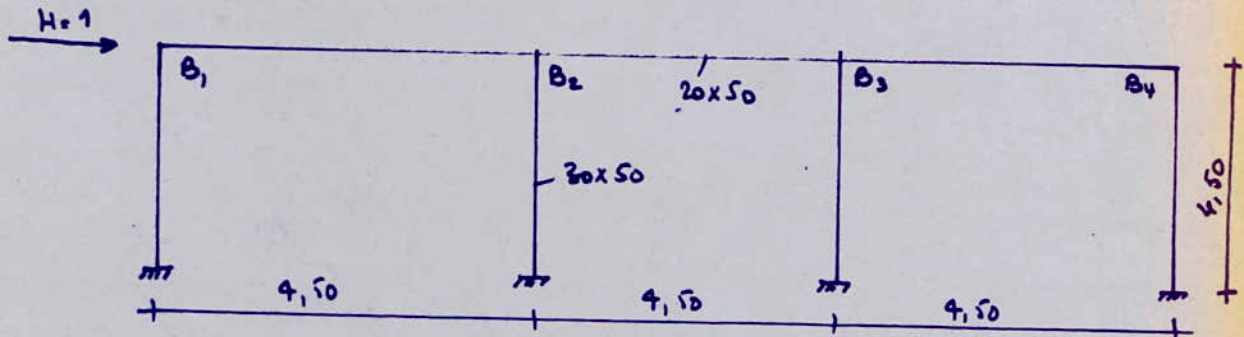


Ces trois portiques ne seront calculés que sous l'effort sismique horizontal. Pour cela, on utilisera la méthode de Cross, dite en 1 seule phase.

12

Sous transversal :

1^{er} type de poutre :



Le calcul se fera sous charge unitaire $H=1$ (horizontale)

• Inertie :

$$\text{Poteau : } J_p = \frac{50 \times 30^3}{12}$$

$$\text{Poutre : } J_{pt} = \frac{50 \times 20^3}{12} \Rightarrow \frac{J_p}{J_{pt}} = \frac{30^3}{20^3} = \frac{27}{8} = 3,375$$

$$\text{En posant } J_{pt} = 1 \rightarrow J_p = 3,375.$$

• Raideurs réelles :

$$\text{Poutre : } R_{Bi} B_i + 1 = \frac{J_{pt} i_i + 1}{l_i + 1} = \frac{1}{4,5} = 0,222$$

$$\text{Poteaux : } R_{Ai} B_i = \frac{J_{pA_i} B_i}{h_i} = \frac{3,375}{4,50} = 0,75$$

• Raideurs fictives des poteaux :

$$R^f_{Bi} A_i = \left[1 - \frac{0,75 R_{Ai} B_i}{\sum R_{An} B_n} \right] R_{Ai} B_i$$

$$\Rightarrow R^f_{Bi} A_i = \left[1 - \frac{0,75 \times 0,75}{4 \times 0,75} \right] 0,75 = 0,609$$

• Coefficients de transmission :

$$\text{- Birectes : } J^*_{Bi} A_i = 1 - \frac{R_{Bi} A_i}{2 R^f_{Bi} A_i} = 1 - \frac{0,75}{2 \times 0,609} = 0,385 \text{ pour les poteaux.}$$

$$V'_{B_i B_{i+1}} = \frac{1}{2} \quad \text{pour } \mathcal{P} \text{ poutres}$$

- latéraux : $V^2 = V' V''$

$$V'_{B_i A_i} = - \left(1 - \frac{2V'_{B_i A_i}}{R_{B_i A_i}} \right) = \left(1 - \frac{2 \times 0,385}{0,75} \right) = 0,027$$

$$V''_{B_i A_i} = R_{B_i A_i}$$

$$V'_{B_i A_i} = 0,027 \quad \text{pour tous } \mathcal{P} \text{ poteaux}$$

$$V''_{B_i A_i} = 0,75 \quad \text{pour tous } \mathcal{P} \text{ poteaux}$$

$$\Rightarrow V^2 = 0,020 \quad \text{pour tous } \mathcal{P} \text{ poteaux}$$

• Coefficient de répartition :

- nœuds B₁ - B₄ :

$$C^1_{B_1 A_1} = C^1_{B_4 A_4} = \frac{0,750}{0,75 + 0,222} = 0,771$$

$$C^1_{B_1 B_2} = C^1_{B_4 B_4} = \frac{0,222}{0,75 + 0,222} = 0,229$$

- nœuds B₂ - B₃ :

$$C^1_{B_2 A_2} = C^1_{B_3 A_3} = \frac{0,75}{0,75 + 0,222 + 0,222} = 0,628$$

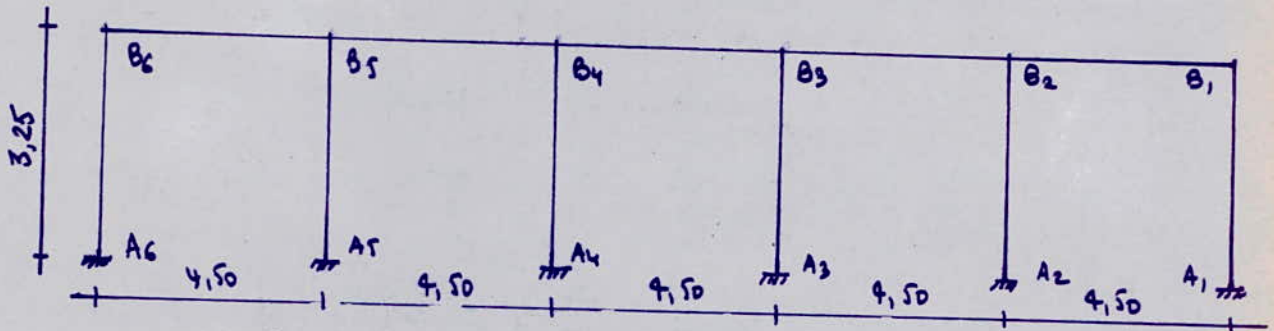
$$C^1_{B_2 B_1} = C^1_{B_2 B_3} = C^1_{B_3 B_2} = C^1_{B_3 B_4} = 0,186$$

• Moment de départ :

$$M_{A_i B_i} = M_{B_i A_i} = \frac{H \times h}{2} \times \frac{1}{n} = \frac{4,5}{8} = 0,563$$

| | A ₁ | | B ₁ | | B ₂ | | | | A ₂ | | B ₃ | | | A ₃ | | B ₄ | | A ₄ |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------|--|----------------|
| | A ₁ B ₁ | B ₁ A ₁ | B ₁ B ₂ | B ₂ B ₁ | B ₂ B ₃ | B ₂ A ₂ | A ₂ B ₂ | B ₃ B ₂ | B ₃ B ₃ | B ₃ A ₄ | B ₃ A ₃ | A ₃ B ₃ | B ₄ B ₃ | B ₄ A ₄ | A ₄ B ₄ | | | |
| C ⁿ | - | 0,771 | 0,229 | 0,186 | 0,186 | 0,628 | - | 0,186 | 0,186 | 0,628 | - | 0,229 | 0,771 | - | | | | |
| Y ⁿ | - | 0,385 | 0,500 | 0,500 | 0,500 | 0,385 | - | 0,500 | 0,500 | 0,385 | - | 0,500 | 0,385 | - | | | | |
| Y ² | - | 0,020 | - | - | - | 0,020 | - | - | 0,020 | - | - | - | 0,020 | - | | | | |
| m depth | 0,563 | 0,563 | | | | 0,563 | 0,563 | | 0,563 | 0,563 | 0,563 | | 0,563 | 0,563 | | | | |
| B ₁ | -0,167 | -0,1434° | -0,119° | -0,064 | | -0,009 | -0,009 | | -0,009 | -0,009 | | -0,127° | -0,009 | -0,167 | | | | |
| B ₂ | -0,006 | -0,006 | | | -0,045 | -0,006 | -0,006 | -0,063 | -0,009 | -0,117 | -0,095 | -0,127° | -0,006 | -0,006 | | | | |
| B ₃ | -0,005 | -0,005 | -0,040 | -0,080° | -0,080° | -0,270° | -0,104 | -0,090 | -0,303° | -0,117 | -0,005 | -0,095 | -0,005 | -0,005 | | | | |
| B ₄ | +0,018 | +0,046° | +0,044° | +0,007 | +0,001 | +0,001 | +0,001 | +0,006 | 0,001 | +0,001 | +0,001 | +0,013° | +0,001 | 0,001 | | | | |
| B ₅ | 0,004 | 0,009 | | | 0,001 | 0,001 | 0,001 | +0,006 | 0,001 | +0,001 | +0,001 | 0,003 | | 0,016 | | | | |
| B ₆ | | | -0,001 | -0,002° | -0,002° | -0,008° | -0,003° | 0,007° | +0,007° | +0,025° | +0,009 | 0,003 | | | | | | |
| B ₇ | | +0,001° | 0,000° | | | | | | | | | | | | | | | |
| B ₈ | 0,395 | 0,156 | -0,156 | -0,139 | -0,127 | 0,266 | 0,434 | -0,124 | -0,190 | 0,262 | 0,434 | -0,157 | 0,157 | 0,395 | | | | |

2^e type de Portique longitudinal :



• Inertie :

- Poteaux : $J_p = \frac{30 \times 30^3}{12}$

- Poutres : $J_{pt} = \frac{30 \times 20^3}{12} \Rightarrow \frac{J_p}{J_{pt}} = \left(\frac{30}{20}\right)^3 = \frac{27}{8} = 3,375$

Si on prend $J_{pt} = 1 \Rightarrow J_p = 3,375$

• Raideur :

- raideur réelle : Poutre
 $R_{B_i, B_{i+1}} = R_{B_{i+1}, B_i} = \frac{J_{pt}}{L_{i,i+1}} = \frac{1}{4,50} = 0,222$
 Poteau

$R_{A_i, B_i} = R_{B_i, A_i} = \frac{J_p}{h_i} = \frac{3,375}{3,25} = 1,038$

- raideur fictive des poteaux :

$R_{A_i, B_i}^f = \left[1 - \frac{0,75 R_{A_i, B_i}}{\sum R_{A_i, B_i}} \right] R_{A_i, B_i} = \left[1 - \frac{0,75}{6} \right] 1,038 = 0,909$

• Coefficient de répartition :

$C_{B_1, A_1}^1 = C_{B_6, A_6}^1 = \frac{0,909}{0,909 + 0,222} = 0,804$

$C_{B_1, B_2}^1 = C_{B_6, B_5}^1 = \frac{0,222}{0,909 + 0,222} = 0,196$

Pour les autres nœuds :

Pour les poutres $C_{B_i, B_j}^1 = \frac{0,222}{0,909 + 0,222 + 0,222} = 0,164$

Pour les poteaux $C_{B_i, A_i}^1 = \frac{0,909}{0,909 + 0,222 + 0,222} = 0,672$

• Coefficient de transmission :

- direct

* Poutres : $V' = 0,5$

* poteaux : $V' = 1 - \frac{R_{Bi} A_i}{2R'_{Bi} A_i} = 1 - \frac{1,038}{2 \times 0,909} = 0,429$

- latéral :

$$V^2 = V' V''$$

$$V' = - \left(1 - 2 \frac{V'_{Ai} B_i}{R_{Bi} A_i} \right) = - \left(1 - \frac{2 \times 0,429}{1,038} \right) = - 0,17$$

$$V''_{Bi} A_i = R_{Bi} A_i$$

$$V'' = - 0,17 \times 1,038 = - 0,18$$

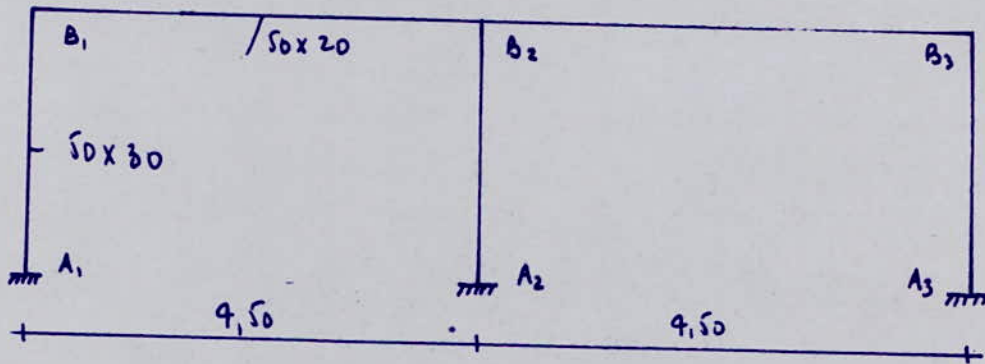
Moment de départ :

$$H = 1$$

$$M_{An} B_n = M_{Bn} A_n = \frac{H \times h}{2} \times \frac{1}{n} = \frac{3,25}{12} = 0,271$$

| | A ₁ | B ₁ | | B ₂ | | A ₂ | B ₃ | | | A ₃ | B ₄ | | A ₄ | B ₅ | | A ₅ | B ₆ | A ₆ | | |
|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------|
| | A ₁ B ₁ | B ₁ A ₁ | B ₂ B ₁ | B ₂ B ₂ | B ₂ B ₃ | B ₂ A ₂ | A ₂ B ₂ | B ₃ B ₂ | B ₃ B ₃ | B ₃ A ₃ | A ₃ B ₃ | B ₄ B ₃ | B ₄ B ₄ | A ₄ B ₄ | B ₅ B ₄ | B ₅ B ₅ | A ₅ B ₅ | B ₆ B ₅ | B ₆ A ₆ | A ₆ |
| √ ⁰ | / | 0,809 | 0,196 | 0,164 | 0,164 | 0,164 | 0,164 | 0,164 | 0,164 | 0,164 | 0,164 | 0,164 | 0,164 | 0,164 | 0,164 | 0,164 | 0,164 | 0,164 | 0,164 | / |
| √ ¹ | / | 0,929 | 0,500 | 0,500 | 0,500 | 0,929 | - | 0,500 | 0,500 | 0,929 | - | 0,500 | 0,500 | 0,929 | - | 0,500 | 0,500 | 0,929 | 0,929 | - |
| √ ² | / | 0,180 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| √ ³ | 0,221 | 0,221 | - | - | - | 0,221 | 0,221 | 0,221 | 0,221 | 0,221 | 0,221 | 0,221 | 0,221 | 0,221 | 0,221 | 0,221 | 0,221 | 0,221 | 0,221 | 0,221 |
| B ₁ | 0,093 | -0,118 | -0,053 | -0,427 | - | 0,139 | 0,039 | 0,029 | 0,029 | 0,039 | 0,039 | 0,039 | 0,039 | 0,039 | 0,039 | 0,039 | 0,039 | 0,039 | 0,039 | 0,039 |
| B ₂ | 0,093 | 0,093 | - | - | -0,029 | 0,043 | 0,043 | -0,058 | 0,058 | -0,029 | 0,043 | 0,043 | -0,058 | 0,058 | -0,029 | 0,043 | 0,043 | -0,058 | 0,058 | 0,043 |
| B ₃ | 0,045 | 0,045 | - | - | - | 0,045 | 0,045 | - | - | 0,045 | 0,045 | - | - | 0,045 | 0,045 | - | - | 0,045 | 0,045 | 0,045 |
| B ₄ | 0,045 | 0,045 | - | - | - | 0,045 | 0,045 | - | - | 0,045 | 0,045 | - | - | 0,045 | 0,045 | - | - | 0,045 | 0,045 | 0,045 |
| B ₅ | 0,046 | 0,046 | - | - | - | 0,046 | 0,046 | - | - | 0,046 | 0,046 | - | - | 0,046 | 0,046 | - | - | 0,046 | 0,046 | 0,046 |
| B ₆ | 0,052 | 0,052 | -0,035 | -0,071 | -0,071 | -0,281 | -0,125 | -0,086 | - | 0,052 | 0,052 | -0,081 | 0,052 | - | 0,052 | 0,052 | -0,081 | 0,052 | 0,052 | 0,052 |
| B ₁ | 0,067 | -0,157 | -0,058 | -0,109 | - | 0,028 | 0,028 | - | - | 0,028 | 0,028 | - | - | 0,028 | 0,028 | - | - | 0,028 | 0,028 | 0,028 |
| B ₂ | 0,026 | 0,026 | - | - | - | 0,026 | 0,026 | - | - | 0,026 | 0,026 | - | - | 0,026 | 0,026 | - | - | 0,026 | 0,026 | 0,026 |
| B ₃ | 0,016 | 0,016 | - | - | -0,011 | 0,016 | 0,016 | -0,021 | 0,021 | -0,011 | 0,016 | 0,016 | -0,021 | 0,021 | -0,011 | 0,016 | 0,016 | -0,021 | 0,021 | 0,016 |
| B ₄ | 0,015 | 0,015 | - | - | - | 0,015 | 0,015 | - | - | 0,015 | 0,015 | - | - | 0,015 | 0,015 | - | - | 0,015 | 0,015 | 0,015 |
| B ₅ | 0,013 | 0,013 | - | - | - | 0,013 | 0,013 | - | - | 0,013 | 0,013 | - | - | 0,013 | 0,013 | - | - | 0,013 | 0,013 | 0,013 |
| B ₂ | 0,008 | 0,008 | -0,006 | -0,011 | -0,011 | -0,016 | -0,006 | - | - | 0,008 | 0,008 | -0,009 | 0,008 | - | 0,008 | 0,008 | -0,009 | 0,008 | 0,008 | 0,008 |
| B ₁ | -0,025 | -0,058 | -0,014 | -0,007 | - | 0,010 | 0,010 | - | - | 0,010 | 0,010 | - | - | 0,010 | 0,010 | - | - | 0,010 | 0,010 | 0,010 |
| B ₆ | 0,008 | 0,008 | - | - | - | 0,008 | 0,008 | - | - | 0,008 | 0,008 | - | - | 0,008 | 0,008 | - | - | 0,008 | 0,008 | 0,008 |
| B ₃ | 0,005 | 0,005 | - | - | -0,003 | 0,005 | 0,005 | -0,006 | 0,006 | -0,003 | 0,005 | 0,005 | -0,006 | 0,006 | -0,003 | 0,005 | 0,005 | -0,006 | 0,006 | 0,005 |
| B ₄ | 0,004 | 0,004 | - | - | - | 0,004 | 0,004 | -0,003 | 0,003 | -0,004 | 0,004 | 0,004 | -0,003 | 0,003 | -0,004 | 0,004 | 0,004 | -0,003 | 0,003 | 0,004 |
| B ₅ | 0,003 | 0,003 | - | - | - | 0,003 | 0,003 | - | - | 0,003 | 0,003 | - | - | 0,003 | 0,003 | - | - | 0,003 | 0,003 | 0,003 |
| B ₂ | 0,002 | 0,002 | -0,002 | -0,003 | -0,003 | -0,013 | -0,006 | - | - | 0,002 | 0,002 | - | - | 0,002 | 0,002 | - | - | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| φ _{max} finale | 0,017 | -0,013 | -0,004 | - | - | - | -0,001 | -0,001 | -0,001 | -0,001 | -0,001 | -0,001 | -0,001 | -0,001 | -0,001 | -0,001 | -0,001 | -0,001 | -0,001 | 0,012 |
| φ _{max} finale | 0,147 | 0,152 | -0,153 | -0,138 | -0,128 | 0,267 | 0,466 | -0,430 | -0,429 | 0,759 | 0,944 | -0,430 | -0,429 | 0,759 | 0,944 | -0,430 | -0,429 | 0,759 | 0,944 | 0,912 |

Portique du hall (2 travées) sens longitudinal :



$$\begin{aligned} \text{Poteau: } J_p &= \frac{50 \times 30^3}{12} \\ \text{Poutre: } J_{pt} &= \frac{50 \times 20^3}{12} \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{Poteau: } J_p &= \frac{50 \times 30^3}{12} \\ \text{Poutre: } J_{pt} &= \frac{50 \times 20^3}{12} \end{aligned}} \right\} \Rightarrow \frac{J_p}{J_{pt}} = \frac{30^3}{20^3} = \frac{6}{8} = 3,375$$

Posons $J_{pt} = 1 \Rightarrow J_p = 3,375$

Raideur réelle :

$$\text{Poutre: } R_{BiBi+1} = R_{Bi+1, Bi} = \frac{1}{4,50} = 0,222$$

$$\text{Poteau: } R_{AiBi} = \frac{J_p}{h_i} = \frac{3,375}{3,25} = 1,038$$

Raideur fictif des poteaux :

$$R_{AiBi} = \left[1 - \frac{0,75 R_{AiBi}}{\sum R_{AiBi}} \right] R_{AiBi} = \left[1 - \frac{0,75 \times 1,038}{2 \times 1,038} \right] 1,038 = 0,779$$

Coefficient de répartition :

$$C_{B1, A1}^1 = C_{B3, A3}^1 = \frac{0,779}{0,779 + 0,222} = 0,778$$

$$C_{B1, B2}^1 = C_{B3, B1}^1 = \frac{0,222}{0,779 + 0,222} = 0,222$$

$$C_{B2, A2}^1 = \frac{0,779}{0,779 + 2 \times 0,222} = 0,636$$

$$C_{B2, B1}^1 = C_{B2, B3}^1 = \frac{0,222}{0,779 + 2 \times 0,222} = 0,182$$

Coefficient de transmission :

Direct :

$$\text{Poutre } \gamma^A = 1 - \frac{R_{Bi} A_i}{2 R^f B_i A_i} = 1 - \frac{1,038}{2 \times 0,779} = 0,334$$

latéral :

$$\gamma^2 = \gamma' \gamma''$$

$$\gamma' = - \left(1 - 2 \frac{\gamma' B_i A_i}{R_{Bi} A_i} \right) = - \left(1 - \frac{2 \times 0,334}{1,038} \right) = 0,35$$

$$\gamma'' B_i A_i = R_{Bi} A_i$$

$$\gamma^2 = -0,356 \times 1,038 = -0,37$$

Moment de départ :

$$M = 1$$

$$M_{A_i} B_i = \frac{H \times b}{2} \times \frac{1}{n} = \frac{3,25}{6} = 0,542$$

| | A ₁ | | B ₁ | | B ₂ | | | A ₂ | | B ₃ | | A ₃ |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------|----------------|
| | A ₁ B ₁ | B ₁ A ₁ | B ₁ B ₂ | B ₂ B ₁ | B ₂ B ₃ | B ₂ A ₂ | A ₂ B ₂ | B ₃ B ₂ | B ₃ A ₃ | A ₃ B ₃ | | |
| C ² | - | 0,778 | 0,222 | 0,182 | 0,182 | 0,636 | - | 0,222 | 0,778 | - | | |
| V ¹ | - | 0,334 | 0,500 | 0,500 | 0,500 | 0,334 | - | 0,500 | 0,334 | - | | |
| V ² | - | -0,370 | | | | -0,370 | - | | -0,370 | - | | |
| B ₁ | 0,542 | 0,542 | | | 0,542 | 0,542 | 0,542 | | 0,542 | 0,542 | 0,542 | |
| B ₂ | -0,144 | -0,1422 | -0,120 | -0,060 | | +0,156 | +0,156 | | +0,156 | +0,156 | +0,156 | |
| B ₃ | 0,201 | 0,202 | | | -0,077 | +0,201 | +0,201 | -0,155 | -0,543 | -0,181 | | |
| B ₂ | 0,179 | 0,179 | -0,069 | -0,139 | -0,139 | -0,1485 | -0,162 | -0,069 | 0,279 | 0,179 | | |
| B ₁ | -0,081 | -0,242 | -0,068 | -0,035 | | 0,090 | 0,090 | | 0,090 | 0,090 | | |
| B ₃ | 0,058 | 0,058 | | | -0,022 | 0,58 | 0,058 | -0,044 | -0,156 | -0,052 | | |
| B ₂ | 0,021 | 0,021 | -0,008 | -0,017 | -0,017 | -0,058 | -0,019 | -0,008 | 0,021 | 1,021 | | |
| B ₁ | -0,018 | -0,055 | -0,016 | -0,008 | | 0,020 | 0,020 | | 0,020 | 0,020 | | |
| B ₃ | 0,009 | 0,009 | | | -0,004 | +0,009 | 0,009 | -0,007 | -0,0026 | -0,009 | | |
| | | -0,007 | | | -0,003 | -0,011 | -0,004 | | | | | |
| | | -0,002 | | | | | | | | | | |
| | 0,770 | 0,284 | -0,284 | -0,262 | -0,262 | 0,524 | 0,891 | -0,283 | 0,283 | 0,766 | | |

Bloc B :

Effort normal dans les poteaux.

Dans le sens longitudinal, les portiques ne sont pas porteurs \Rightarrow l'effort normal dans les poteaux n'est dû qu'au poids propre du portique même.

$$\text{Poteaux} \Rightarrow R \Rightarrow M' = \frac{0,3 \times 0,2 \times 4,5}{2} \times 2,5 + 0,3 \times 0,3 \times 2,5 \times 3,25 = 1,07 \text{ t}$$

$$J \Rightarrow m' = 0,30 \times 0,2 \times 4,5 \times 2,5 + 0,30 \times 0,30 \times 2,5 \times 3,25 = 1,41 \text{ t}$$

3. Bloc C :

- Portique rive z-z : $S_I = 3,6 \text{ t}$
- Portique intermédiaire : i-i $\Rightarrow S_I = 6,5 \text{ t}$

| | A ₁ B ₁ | | A ₂ B ₂ | | A ₃ B ₃ | |
|-------------------|-------------------------------|------|-------------------------------|------|-------------------------------|------|
| | tête | base | Tête | base | Tête | base |
| Portique rive i-i | 1,02 | 2,77 | 1,89 | 3,21 | 1,02 | 2,77 |
| P. interm. i-i | 1,05 | 5,01 | 3,41 | 5,79 | 1,85 | 5,01 |

Effort normal :

$$\text{Poteaux type r-r} \Rightarrow m' = \frac{0,20 \times 0,15 \times 4,5}{2} \times 2,5 + 0,3 \times 0,15 \times 2,5 \times 3,25 = 1,78 \text{ t}$$

$$\text{Poteaux type l-i} \Rightarrow m' = 0,20 + 0,15 \times 4,5 \times 2,5 + 0,3 \times 0,15 \times 2,5 \times 3,25 = 2,93 \text{ t}$$

Moment dans les poteaux sous le séisme longitudinal :

1. Bloc A salle de restauration :

- Portiques de rive R-R = $8I = 8,4t$
- Portique Intermédiaire J-J = $8I = 15,6t$

| | Poteau A ₁ -B ₁ | | Poteau A ₂ -B ₂ | | Poteau A ₃ -B ₃ | | Poteau A ₄ -B ₄ | |
|--------------|---------------------------------------|------|---------------------------------------|------|---------------------------------------|------|---------------------------------------|------|
| | Tête | base | Tête | base | Tête | base | Tête | base |
| Portique J-J | 2,43 | 6,16 | 4,15 | 6,77 | 4,09 | 6,77 | 2,45 | 6,16 |
| Portique R-R | 1,31 | 3,23 | 2,23 | 3,65 | 2,20 | 3,65 | 1,32 | 3,32 |

2. Bloc B (services) :

- Portique de rive : R-R $\rightarrow S_5 = 4,5t$
- Portique intermédiaire J₄-J₃ $\Rightarrow S_5 = 9,1t$

| Poteaux | A ₁ -B ₁ | | A ₂ -B ₂ | | A ₃ -B ₃ | | A ₄ -B ₄ | | A ₅ -B ₅ | | A ₆ -B ₆ | |
|---|--------------------------------|------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|
| | Tête | base | Tête | base | Tête | base | Tête | base | Tête | base | Tête | base |
| Portique J ₄ -J ₃ | 1,38 | 3,79 | 2,43 | 4,24 | 2,36 | 4,22 | 2,35 | 4,22 | 2,43 | 4,26 | 1,38 | 3,75 |
| Portique R-R | 0,68 | 1,88 | 1,20 | 2,10 | 1,17 | 2,09 | 1,16 | 2,09 | 1,20 | 2,10 | 0,68 | 1,85 |

Ces portiques n'étant pas porteurs, l'effort normal revenant à chaque poteau est dû uniquement au poids propre du portique même auquel il faut ajouter le poids de l'acrotère pour les portiques de rive.

\rightarrow Bloc A : $J_1 \Rightarrow M' = \frac{0,5 \times 0,2 \times 4,5}{2} \times 2,5 + 0,5 \times 0,3 \times 4,5 \times 2,5 = 2,25t$
 $J_2 \Rightarrow M' = 2,81t$

— CHAPITRE V

EVALUATION DES EFFORTS DANS
LES POUTRES (M.T) —

Portiques de la salle de restauration:

$$\delta_u = 0,1$$

$$\delta_v = 0,1$$

Portique intermédiaire:

$$G = 640 \text{ kg/m}^2 \times 4,5 + 750 = 3630 \text{ kg/m} \\ = 3,63 \text{ t/m}$$

$$P = 100 \times 4,5 = 450 \text{ kg/m}$$

$$W = G + \frac{P}{5} = 3,63 + \frac{0,45}{5} = 3,72 \text{ t/m}$$

$$SI \downarrow \Rightarrow F = \delta_v W = 0,1 \times 3,72 \approx 0,4 \text{ t/m}$$

$$\vec{SI} \Rightarrow W = 3,72 \times 24,2 + 3 \times 0,50 \times 0,30$$

$$\times 5,70 \times 2,500 \Rightarrow W = 96,44 \text{ t}$$

$$F = \delta_u \times W = 0,1 \times 96,44 \approx 9,64 \text{ t}$$

Vent:

$$q = q_0 \text{ k.s.C}$$

$$= 60 \times 0,875 \times 1,3 \times 1,3 \approx 89 \text{ kg/m}^2$$

$$F = S \cdot q = 4,5 \times 2,5 \times 89 = 1001 \text{ kg}$$

$$\Rightarrow F = 1 \text{ t}$$

Portique de rive:

$$G = 640 \times \frac{4,5}{2} + 750 + \frac{206}{\text{acrotère}} = 2396 \text{ kg/m} \approx 2,4 \text{ t/m}$$

$$P = 100 \times 2,25 = 225 \text{ kg/m}$$

$$W = G + \frac{P}{5} = 2,4 \text{ t/m} + \frac{0,225}{5} = 2,45 \text{ t/m}$$

$$SI \downarrow \Rightarrow F = \delta_u W = 0,1 \times 2,45 \approx 0,25 \text{ t/m}$$

$$\vec{SI} \Rightarrow W = 2,45 \times 24,2 + 3 \times 0,50 \times 0,30$$

$$\times 5,70 \times 2,500 \Rightarrow W = 65,70 \text{ t}$$

$$F = W \times \delta_u = 65,70 \times 0,1 = 6,57 \text{ t}$$

$$F = S \times q = \frac{4,5}{2} \times 2,5 \times 89 = 500 \text{ kg}$$

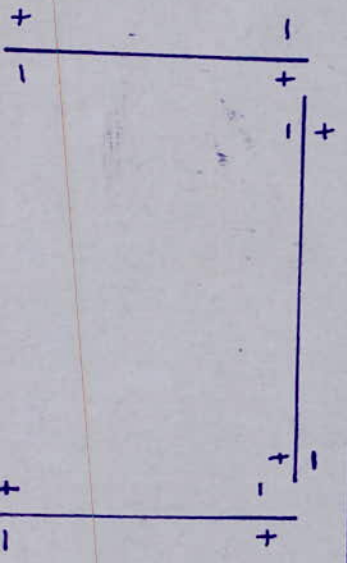
$$F \approx 0,5 \text{ t}$$

Moment dans les nœuds sous les différentes combinaisons

| | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | A ₁ B ₁ | B ₁ A ₁ | B ₁ B ₂ | B ₂ B ₁ | B ₂ B ₃ | B ₂ A ₂ | A ₂ B ₂ | B ₃ B ₂ | B ₃ A ₃ | A ₃ B ₃ |
| G | -4,59 | -9,18 | +9,18 | -64,29 | +64,29 | - | - | -9,18 | +9,18 | +4,59 |
| P | -0,57 | -1,15 | +1,15 | -7,66 | +7,66 | - | - | -1,15 | +1,15 | 0,57 |
| V | 0,96 | +0,85 | -0,85 | -0,51 | -0,52 | +1,03 | 1,05 | -0,85 | +0,85 | +0,96 |
| SI ↓ | -0,51 | -1,02 | +1,02 | -6,81 | +6,81 | - | - | -1,02 | +1,02 | 0,51 |
| SI ↑ | +9,20 | +8,82 | -8,82 | -4,96 | -4,96 | +9,91 | +10,06 | -8,82 | +8,82 | +9,20 |
| G + 1,2P | -5,27 | -10,50 | +10,50 | -70,48 | +70,48 | - | - | -10,50 | +10,50 | +5,27 |
| G + P + V | -4,20 | -9,48 | +9,48 | -69,46 | 68,43 | 1,03 | 1,05 | -11,18 | +11,18 | 6,12 |
| G + 1,5P + 1,5V | -4,01 | -9,63 | +9,63 | -73,55 | +72,00 | 1,55 | 1,58 | -12,18 | +12,18 | 6,89 |
| G + P + SI ↓ | -5,67 | -11,35 | +11,35 | -75,76 | +75,76 | - | - | -11,35 | +11,35 | +5,67 |
| G + P + SI ↑ | +4,04 | -1,51 | +1,51 | -73,91 | +63,89 | +9,91 | 10,06 | -19,15 | +19,15 | +14,36 |

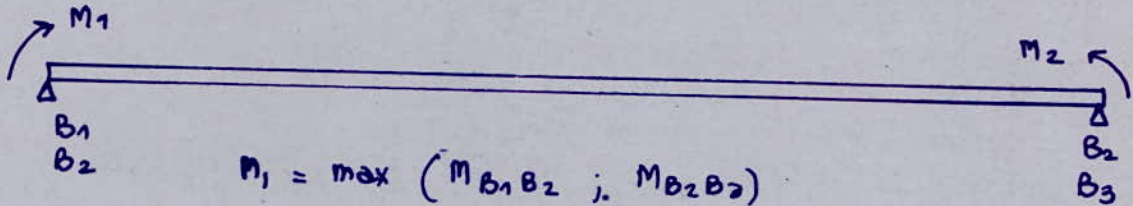
Nous conservons le signe

de Cross



Moments et efforts tranchants dans la poutre:

La poutre est symétrique. Nous prenons les moments maximums dans les nœuds



$$M_1 = \max (M_{B_1 B_2} ; M_{B_2 B_1})$$

$$M_2 = \max (M_{B_2 B_1} ; M_{B_3 B_2})$$

Sous G + 1,2P:

$$M_1 = 10,50 \text{ tm} \quad M_2 = 70,48 \text{ tm}$$

$$q_G = 640 \times 4,5 + 7,50 = 3630$$

$$q_r = 3630 + 540 = 4170 \text{ kg/m} \Rightarrow q_r = 4,17 \text{ t}$$

$$M(x) = \frac{q l}{2} x - \frac{q x^2}{2} - M_1 + \frac{M_1 + M_2}{l} x$$

$$M(x) = \frac{4,17 \times 12,1}{2} x - \frac{4,17}{2} x^2 - 10,50 + \frac{10,50 - 70,48}{12,1} x$$

$$M(x) = 20,27 x - \frac{4,17}{2} x^2 - 10,50$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,55 \\ 9,17 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 38,77 \text{ tm} \text{ pour } x = 4,86$$

$$T = 20,27 \text{ t} \text{ pour } x = 0$$

$$T = 30,19 \text{ t} \text{ pour } x = 12,1$$

Sous G + P + V $q = 4,08 \text{ t/m}$

Travée B₁B₂:

$$M_1 = 9,48 \text{ tm} \quad M_2 = -69,46 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{4,08 \times 12,1}{2} x - \frac{4,08}{2} x^2 - 9,48 + \frac{9,48 - 69,46}{12,1} x$$

$$M(x) = 19,73x - \frac{4,08}{2} x^2 - 9,48$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,51 \\ 9,16 \end{cases}$$

$$M_{\text{max}} = 38,21 \text{ tm} \text{ pour } x = 4,84$$

$$T = 19,73 \text{ t} \text{ pour } x = 0$$

$$T = 29,64 \text{ t} \text{ pour } x = 12,1$$

Sous G + 1,5P + 1,5V: $q = 4,30 \text{ t/m}$

Travée B₁B₂:

$$M_1 = 9,63 \text{ tm} \quad M_2 = -73,55 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{4,30 \times 12,1}{2} x - \frac{4,30}{2} x^2 - 9,63 + \frac{9,63 - 73,55}{12,1} x$$

$$M(x) = 20,73x - \frac{4,30}{2} x^2 - 9,63$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,49 \\ 9,15 \end{cases}$$

$$M_{\text{max}} = 40,35 \text{ tm} \text{ pour } x = 4,82$$

$$T = 20,73 \text{ t} \text{ pour } x = 0$$

$$T = 31,30 \text{ t} \text{ pour } x = 12,1$$

Travée B₃B₂ (x à partir de B₃)

$$M_1 = 11,18 \text{ tm} \quad M_2 = -68,43 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{4,08 \times 12,1}{2} x - \frac{4,08}{2} x^2 - 11,18 + \frac{11,18 - 68,43}{12,1} x$$

$$M(x) = 19,95x - \frac{4,08}{2} x^2 - 11,18$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,60 \\ 9,18 \end{cases}$$

$$M_{\text{max}} = 37,61 \text{ tm} \text{ pour } x = 4,89$$

$$T = 19,95 \text{ t} \text{ pour } x = 0$$

$$T = 29,42 \text{ t} \text{ pour } x = 12,1$$

Travée B₃B₁:

$$M_1 = 12,18 \text{ tm} \quad M_2 = 72,00 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{4,30 \times 12,1}{2} x - \frac{4,30}{2} x^2 - 12,18 + \frac{12,18 - 72,00}{12,1} x$$

$$M(x) = 21,07x - \frac{4,30}{2} x^2 - 12,18$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,61 \\ 9,18 \end{cases}$$

$$M_{\text{max}} = 39,45 \text{ t} \text{ pour } x = 4,90$$

$$T = 21,07 \text{ t} \text{ pour } x = 0$$

$$T = 30,96 \text{ t} \text{ pour } x = 12,1$$

Moment dans la poutre et effort tranchant sur appui
(normal dans les poteaux)

| | Moment dans la poutre | | | Effort tranchant | |
|-------------------------|-----------------------|--------|-------------|------------------|-------------|
| | Appui B_1/B_3 | Travée | Appui B_2 | Appui B_1/B_3 | Appui B_2 |
| $G + 1,2P$ | 10,50 | 38,77 | 70,48 | 20,27 | 30,18 |
| $G + P + V$ | 11,18 | 38,41 | 69,46 | 19,95 | 29,64 |
| $G + 1,5P + 1,5V$ | 12,18 | 40,35 | 73,55 | 20,73 | 31,30 |
| $G + P + SI \downarrow$ | 11,35 | 41,60 | 75,76 | 21,78 | 32,43 |
| $G + P + \vec{SI}$ | 13,15 | 41,35 | 73,91 | 20,98 | 31,30 |
| Max sous SP_1 | 11,18 | 38,77 | 70,48 | 20,27 | 30,18 |
| Max sous SP_2 | 13,15 | 41,60 | 75,76 | 21,78 | 32,43 |

Sous G + P + SI ↓ :

$$q = 4,48 \text{ t/m}$$

Travée B₃B₂ - 0, B₂ :

$$M_1 = 11,35 \text{ tm} \quad M_2 = -75,76 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{4,48 \times 12,1}{2} x - \frac{4,48}{2} x^2 - 11,35 + \frac{11,35 - 75,76}{12,1} x$$

$$M(x) = 21,78 x - \frac{4,48}{2} x^2 - 11,35$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,55 \\ 9,17 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 41,60 \text{ tm pour } x = 7,86$$

$$T = 21,78 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 32,43 \text{ t pour } x = 12,1$$

Sous G + P + SI ↑ :

$$q = 4,08 \text{ t/m}$$

Travée B₁B₂ :

$$M_1 = 1,51 \text{ tm} \quad M_2 = -73,91 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{4,08 \times 12,1}{2} x - \frac{4,08}{2} x^2 - 1,51 + \frac{1,51 - 73,91}{12,1} x$$

$$M(x) = 18,70 x - \frac{4,08}{2} x^2 - 1,51$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,08 \\ 9,09 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 41,35 \text{ tm pour } x = 4,58$$

$$T = 18,70 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 31,30 \text{ t pour } x = 12,1$$

Travée B₃B₂ :

$$M_1 = 19,15 \text{ tm} \quad M_2 = -63,99$$

$$M(x) = \frac{4,08 \times 12,1}{2} x - \frac{4,08}{2} x^2 - 19,15 + \frac{19,15 - 63,99}{12,1} x$$

$$M(x) = 20,98 x - \frac{4,08}{2} x^2 - 19,15$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,01 \\ 9,27 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 34,78 \text{ tm pour } x = 5,14$$

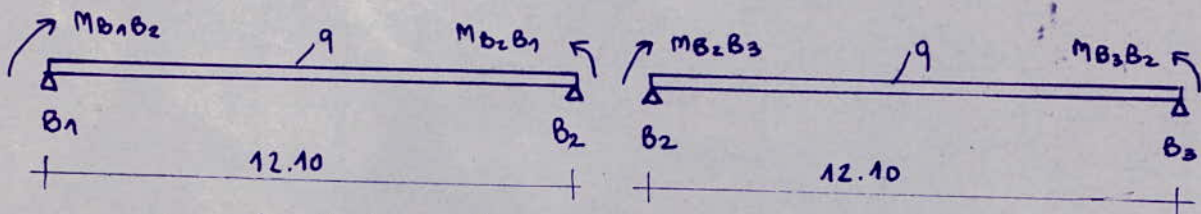
$$T = 20,98 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 28,39 \text{ t pour } x = 12,1$$

Porridge de vive.

| | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | $A_1 B_1$ | $B_1 A_1$ | $B_1 B_2$ | $B_2 B_1$ | $B_2 B_3$ | $B_2 A_2$ | $A_2 B_2$ | $B_3 B_2$ | $B_3 A_3$ | $A_3 B_3$ |
| G | -3,06 | -6,12 | +6,12 | -40,86 | +40,86 | - | - | -6,12 | +6,12 | 3,06 |
| P | -0,29 | -0,57 | +0,57 | -3,83 | +3,83 | - | - | -0,57 | +0,57 | +0,29 |
| V | +0,48 | +0,43 | -0,43 | -0,26 | -0,26 | +0,52 | +0,52 | -0,43 | +0,43 | +0,48 |
| $SI(\downarrow)$ | -0,32 | -0,64 | +0,64 | -4,26 | +4,26 | - | - | -0,64 | +0,64 | +0,32 |
| \vec{SI} | +6,29 | +5,60 | -5,60 | -3,38 | 3,40 | 6,78 | 6,89 | -5,60 | +5,60 | 6,29 |
| $G + 1,2P$ | -3,41 | -6,80 | +6,80 | -45,46 | +45,46 | - | - | -6,80 | +6,80 | 3,41 |
| $G + P + V$ | -2,87 | -6,26 | +6,26 | -44,95 | +44,43 | 0,52 | 0,52 | -7,12 | +7,12 | 3,83 |
| $G + 1,5P + 1,5V$ | -2,78 | -6,33 | +6,33 | -47,00 | 46,62 | +0,78 | 0,78 | -7,62 | +7,62 | 4,22 |
| $G + P + SI \downarrow$ | -3,67 | -7,33 | +7,33 | -48,95 | +48,95 | - | - | -7,33 | +7,33 | 3,67 |
| $G + P + \vec{SI}$ | +2,94 | -1,09 | +1,09 | -41,31 | 48,09 | 6,78 | 6,89 | -12,29 | +12,29 | +9,64 |

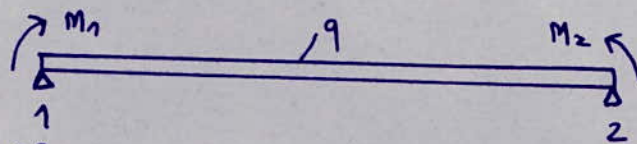
Moment en travée dans la poutre:



La poutre étant symétrique. On ne fait les calculs que pour une travée schématisée comme suit avec :

$$M_1 = \max(M_{B1B2}, M_{B3B2}) \text{ et}$$

$$M_2 = \max(M_{B2B1}, M_{B2B3})$$



Sous G+1,2P :

$$q = 2,67 \text{ t/m}$$

Travée B1B2, B3B2 :

$$M_1 = 6,80 \text{ tm} \quad M_2 = -45,46 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,67 \times 12,1}{2} x - \frac{2,67}{2} x^2 - 6,80 + \frac{6,80 - 45,46}{12,1} x$$

$$M(x) = 12,96x - \frac{2,67}{2} x^2 - 6,80$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,56 \\ 9,15 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 24,65 \text{ tm pour } x = 4,85$$

$$T = 12,96 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 19,35 \text{ t pour } x = 12,1$$

Sous G+P+V : $q = 2,63 \text{ t/m}$

Travée B₁B₂ :

$$M_1 = 6,26 \text{ tm} \quad M_2 = -44,95 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,63 \times 12,1}{2} x - \frac{2,63}{2} x^2 - 6,26 + \frac{6,26 - 44,95}{12,1} x$$

$$M(x) = 12,71 x - \frac{2,63}{2} x^2 - 6,26$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,52 \\ 9,15 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 24,47 \text{ tm pour } x = 4,83$$

$$T = 12,71 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 19,41 \text{ t pour } x = 12,1$$

Travée B₃B₂ :

$$M_1 = 7,12 \text{ tm} \quad M_2 = -44,43 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,63 \times 12,1}{2} x - \frac{2,63}{2} x^2 - 7,12 + \frac{7,12 - 44,43}{12,1} x$$

$$M(x) = 12,83 x - \frac{2,63}{2} x^2 - 7,12$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,59 \\ 9,16 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 24,16 \text{ tm pour } x = 4,88$$

$$T = 12,83 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 18,99 \text{ pour } x = 12,1$$

Sous G+1,5P+1,5V : $q = 2,74 \text{ t/m}$

Travée B₁B₂ :

$$M_1 = 6,33 \text{ tm} \quad M_2 = -47,00 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,74 \times 12,1}{2} x - \frac{2,74}{2} x^2 - 6,33 + \frac{6,33 - 47,00}{12,1} x$$

$$M(x) = 13,22 x - \frac{2,74}{2} x^2 - 6,33$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,51 \\ 9,14 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 25,54 \text{ tm pour } x = 4,82$$

$$T = 13,22 \text{ pour } x = 0$$

$$T = 19,93 \text{ pour } x = 12,1$$

Travée B₃B₂ :

$$M_1 = 7,62 \text{ tm} \quad M_2 = -46,62 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,74 \times 12,1}{2} x - \frac{2,74}{2} x^2 - 7,62 + \frac{7,62 - 46,62}{12,1} x$$

$$M(x) = 13,55 x - \frac{2,74}{2} x^2 - 7,62$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,61 \\ 9,14 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 24,92 \text{ pour } x = 4,94$$

$$T = 13,55 \text{ pour } x = 0$$

$$T = 19,60 \text{ pour } x = 12,1$$

Sous $G + P + \vec{S}$

$$q = 2,63 \text{ t/m}$$

Travée $B_1 B_2$:

$$M_1 = 1,09 \text{ tm} \quad M_2 = -41,31 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,63 \times 12,1}{2} x - \frac{2,63}{2} x^2 - 1,09 + \frac{1,09 - 41,31}{12,1} x$$

$$M(x) = 12,59x - \frac{2,63}{2} x^2 - 1,09$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,09 \\ 9,48 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 29,03 \text{ pour } x = 4,79$$

$$T = 12,59 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 19,23 \text{ pour } x = 12,1$$

Travée $B_3 B_2$:

$$M_1 = 12,29 \text{ tm} \quad M_2 = -48,09 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,63 \times 12,1}{2} x - \frac{2,63}{2} x^2 - 12,29 + \frac{12,29 - 48,09}{12,1} x$$

$$M(x) = 12,95x - \frac{2,63}{2} x^2 - 12,29$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,06 \\ 8,79 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 19,61 \text{ tm pour } x = 4,93$$

$$T = 12,95 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 18,8 \text{ pour } x = 12,1$$

Sous $G + P + \vec{S} \downarrow$

$$q = 2,88 \text{ t/m}$$

Travée $B_1 B_2, B_3 B_2$:

$$M_1 = 7,33 \text{ tm} \quad M_2 = -48,95 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,88 \times 12,1}{2} x - \frac{2,88}{2} x^2 - 7,33 + \frac{7,33 - 48,95}{12,1} x$$

$$M(x) = 13,98x - \frac{2,88}{2} x^2 - 7,33$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,56 \\ 9,16 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 26,62 \text{ tm pour } x = 4,86$$

$$T = 13,98 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 20,87 \text{ pour } x = 12,1$$

| | Moment | | | Effort tranchant | |
|--------------------------|--------------------------------------|---------|----------------------|--------------------------------------|----------------------|
| | Appui B ₁ /B ₃ | Traînée | Appui B ₂ | Appui B ₁ /B ₃ | Appui B ₂ |
| G + 4,2P | 6,80 | 24,65 | -45,46 | 12,96 | 19,35 |
| G + P + V | 7,12 | 24,47 | -44,95 | 12,83 | 19,11 |
| G + 4,5P + 4,5V | 7,62 | 25,54 | -47,00 | 13,55 | 19,93 |
| G + P + SI ↓ | 7,33 | 26,62 | -48,95 | 13,98 | 20,87 |
| G + P + \vec{S}_I | 12,29 | 29,03 | -48,09 | 12,95 | 19,23 |
| Max sous SP ₁ | 7,12 | 24,65 | -45,46 | 12,96 | 19,35 |
| Max sous SP ₂ | 12,29 | 29,03 | -48,95 | 13,98 | 20,87 |

Hall : Détermination des moments dans les nœuds du portique -
deux travées sous les différentes sollicitations.

$$V = 800 \text{ kg}$$

$$G = 2940 \text{ kg/m} \text{ portique intermédiaire}$$

$$= 1660 \text{ kg/m} + 206 = 1866 \text{ kg/m} \approx 1,87 \text{ t/m}$$

$$P = 450 \text{ kg/m} \text{ pour le portique intermédiaire}$$

$$P = 225 \text{ kg/m} \text{ pour les portiques de rive}$$

force sismique verticale $S_I(\downarrow)$

$$F = S_v W \quad S_v = 0,1 \quad W = G + \frac{P}{5}$$

⇒ portique intermédiaire :

$$W = 2940 + 90 = 3030 \text{ kg/m} = 3,03 \text{ t/m} \quad F = 0,3 \text{ t/m}$$

Portique de rive :

$$W = 1660 + 206 + 45 = 1911 \text{ kg} \approx 1,9 \text{ t} \quad F = 0,19 \text{ t/m}$$

force sismique horizontale \vec{S}_I

$$F = S_h W \quad S_h = 0,1 \quad W = G + \frac{P}{5}$$

Portique intermédiaire :

$$W = 3030 \times 12,1 + 3 \times 0,3 \times 0,5 \times 4,45 \times 2500 = 41,669 \text{ t}$$

$$F = 0,1 \times 41,669 \text{ t} \approx 4,2 \text{ t}$$

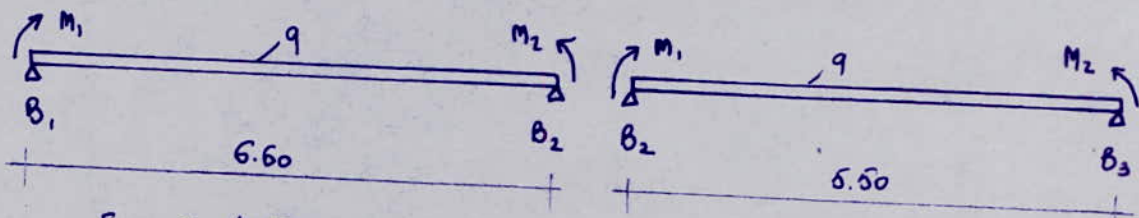
Portique de rive :

$$W = 1911 \times 12,1 + 3 \times 0,3 \times 0,5 \times 4,45 \times 2500 = 28,129 \text{ t}$$

$$F = 0,1 \times 28,129 \text{ t} \approx 2,8 \text{ t}$$

| | | | | | | | | | | |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | A ₁ B ₁ | B ₁ A ₁ | B ₁ B ₂ | B ₂ B ₁ | B ₁ B ₃ | B ₂ A ₂ | A ₂ B ₂ | B ₃ B ₂ | B ₃ A ₂ | A ₃ B ₃ |
| G | -3,35 | -6,70 | +6,70 | -11,84 | +10,23 | +1,64 | 0,80 | -3,74 | +3,74 | +1,87 |
| P | -0,51 | -1,03 | +1,03 | -1,84 | +1,57 | +0,25 | +0,12 | -0,57 | +0,57 | +0,29 |
| V | +0,64 | +0,40 | -0,40 | -0,31 | -0,35 | +0,66 | +0,77 | -0,44 | +0,44 | +0,66 |
| GI ↓ | -0,34 | -0,68 | +0,68 | -1,24 | +1,04 | +0,16 | +0,08 | -0,38 | +0,38 | +0,43 |
| $\vec{S_I}$ | +3,34 | +2,09 | -2,09 | -1,62 | -1,84 | +3,46 | +4,07 | -2,32 | +2,32 | -3,46 |
| G + 1,2P | -3,96 | -7,94 | +7,94 | -14,01 | +12,41 | +1,91 | +0,94 | -4,42 | +4,42 | +2,22 |
| G + P + V | -3,32 | -7,33 | +7,33 | -13,96 | +11,45 | +2,52 | -1,69 | -4,75 | +4,75 | +2,82 |
| G + P - V | -4,50 | -8,13 | +8,13 | -13,34 | +12,15 | -1,20 | 0,15 | -3,87 | +3,87 | 1,50 |
| G + 1,5P + 1,5V | -3,16 | -7,65 | +7,65 | -15,02 | +12,06 | +2,98 | +2,14 | -6,26 | +5,26 | +3,45 |
| G + 1,5P - 1,5V | -5,08 | -8,85 | +8,85 | -14,08 | +13,44 | +1,00 | -0,18 | -3,94 | +3,94 | +1,32 |
| G + P + SI ↓ | -4,20 | -8,41 | +8,41 | -14,86 | +12,84 | +2,06 | +1,00 | -4,69 | +4,69 | +2,35 |
| G + P + $\vec{S_I}$ | -0,62 | -5,64 | +5,64 | -15,27 | +9,96 | +5,32 | +4,99 | -6,63 | +0,63 | -1,30 |
| G + P - $\vec{S_I}$ | -7,20 | -9,82 | +9,82 | -12,03 | +13,64 | -1,60 | +3,15 | -1,99 | +1,99 | +5,62 |

Moment dans la poutre B₁B₃ - portique intermédiaire :



Sous G + 1,2P :

$$q = 3480 = 3,48 \text{ t/m}$$

Travée B₁B₂ :

$$M_1 = 7,94 \text{ tm} \quad M_2 = -14,01 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,48 \times 6,6}{2} x - \frac{3,48}{2} x^2 - 7,94 + \frac{7,94 - 14,01}{6,6} x$$

$$M(x) = 10,56x - \frac{3,48}{2} x^2 - 7,94$$

$$M(x) = 0 \quad \text{pour } x = \begin{cases} 0,88 \\ 5,19 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 8,10 \text{ tm} \quad \text{pour } x = 3,09$$

$$T = 10,56 \text{ t} \quad \text{pour } x = 0$$

$$T = 12,41 \text{ t} \quad \text{pour } x = 6,6$$

Sous G + P + V :

$$q = 3,39 \text{ t/m}$$

Travée B₁B₂ :

$$M_1 = 7,33 \text{ tm} \quad M_2 = -13,96 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 6,6}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 7,33 + \frac{7,33 - 13,96}{6,6} x$$

$$M(x) = 10,18x - \frac{3,39}{2} x^2 - 7,33$$

$$M(x) = 0 \quad \text{pour } x = \begin{cases} 0,84 \\ 5,17 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 7,96 \text{ tm} \quad \text{pour } x = 3,00$$

$$T = 10,18 \text{ t} \quad \text{pour } x = 0 \quad T = 12,19 \text{ t} \quad \text{pour } x = 6,6$$

Travée B₂B₃ :

$$M_1 = 12,11 \text{ tm} \quad M_2 = -4,42 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,48 \times 5,5}{2} x - \frac{3,48}{2} x^2 - 12,11 + \frac{12,11 - 4,42}{5,5} x$$

$$M(x) = 10,97x - \frac{3,48}{2} x^2 - 12,11$$

$$M(x) = 0 \quad \text{pour } x = \begin{cases} 1,43 \\ 4,88 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 5,17 \text{ tm} \quad \text{pour } x = 3,15$$

$$T = 10,97 \text{ t} \quad \text{pour } x = 0$$

$$T = 8,11 \text{ t} \quad \text{pour } x = 5,5$$

Travée B₂B₃ :

$$M_1 = 11,45 \text{ tm} \quad M_2 = -4,75 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 5,5}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 11,45 + \frac{11,45 - 4,75}{5,5} x$$

$$M(x) = 10,54x - \frac{3,39}{2} x^2 - 11,45$$

$$M(x) = 0 \quad \text{pour } x = \begin{cases} 1,40 \\ 4,82 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 4,94 \text{ tm} \quad \text{pour } x = 3,11$$

$$T = 10,54 \text{ t} \quad \text{pour } x = 0 \quad T = 8,11 \text{ t} \quad \text{pour } x = 5,5$$

Sous G+P-V :

$$q = 3,39 \text{ t/m}$$

Travée B₁B₂ :

$$M_1 = 8,13 \text{ tm} \quad M_2 = -13,34 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 6,6}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 8,13 + \frac{8,13 - 13,34}{6,6} x$$

$$M(x) = 10,40 x - \frac{3,39}{2} x^2 - 8,13$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,92 \\ 5,21 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 7,82 \text{ pour } x = 3,07$$

$$T = 10,40 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 11,97 \text{ t pour } x = 6,6$$

Sous G + 1,5P + 1,5V :

$$q = 3,62 \text{ t/m}$$

Travée B₁B₂ :

$$M_1 = 7,65 \text{ tm} \quad M_2 = -15,02 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,62 \times 6,6}{2} x - \frac{3,62}{2} x^2 - 7,65 + \frac{7,65 - 15,02}{6,6} x$$

$$M(x) = 10,83 x - \frac{3,62}{2} x^2 - 7,65$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,82 \\ 5,16 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 8,55 \text{ tm pour } x = 2,99$$

$$T = 10,83 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 13,06 \text{ t pour } x = 6,6$$

Travée B₂B₃ :

$$M_1 = 12,15 \text{ tm} \quad M_2 = -3,07 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 5,5}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 12,15 + \frac{12,15 - 3,87}{5,5} x$$

$$M(x) = 10,83 x - \frac{3,39}{2} x^2 - 12,15$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,45 \\ 4,94 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 5,14 \text{ tm pour } x = 3,19$$

$$T = 10,83 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 8,22 \text{ t pour } x = 5,5$$

Travée B₂B₃ :

$$M_1 = 12,06 \text{ tm} \quad M_2 = -5,26 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,62 \times 5,5}{2} x - \frac{3,62}{2} x^2 - 12,06 + \frac{12,06 - 5,26}{5,5} x$$

$$M(x) = 11,19 x - \frac{3,62}{2} x^2 - 12,06$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,39 \\ 4,79 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 5,24 \text{ tm pour } x = 3,09$$

$$T = 11,19 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 8,72 \text{ t pour } x = 5,5$$

Sous G + 1,5P - 1,5V

$$q = 3,62 \text{ t/m}$$

Travée B₁B₂ :

$$M_1 = 8,85 \text{ tm} \quad M_2 = -14,09 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,62 \times 6,6}{2} x - \frac{3,62}{2} x^2 - 8,85 + \frac{8,85 - 14,09}{6,6} x$$

$$M(x) = 11,15 x - \frac{3,39}{2} x^2 - 8,85$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,94 \\ 5,23 \end{cases}$$

$$M_{\text{max}} = 8,33 \text{ tm pour } x = 3,00$$

$$T = 11,15 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 12,74 \text{ t pour } x = 6,6$$

Sous G + P + S_I ↓

$$q = 3,58 \text{ t/m}$$

Travée B₁B₂ :

$$M_1 = 8,41 \text{ tm} \quad M_2 = -14,86 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,58 \times 6,6}{2} x - \frac{3,58}{2} x^2 - 8,41 + \frac{8,41 - 14,86}{6,6} x$$

$$M(x) = 10,84 x - \frac{3,58}{2} x^2 - 8,41$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,94 \\ 5,14 \end{cases}$$

$$M_{\text{max}} = 7,99 \text{ tm pour } x = 3,03$$

$$T = 10,84 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 12,79 \text{ t pour } x = 6,6$$

Travée B₂B₃ :

$$M_1 = 13,11 \text{ tm} \quad M_2 = -3,94 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,62 \times 5,5}{2} x - \frac{3,62}{2} x^2 - 13,11 + \frac{13,11 - 3,94}{5,5} x$$

$$M(x) = 9,955 x - \frac{3,62}{2} x^2 - 13,11$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,46 \\ 4,96 \end{cases}$$

$$M_{\text{max}} = 1,93 \text{ tm pour } x = 3,21$$

$$T = 10,99 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 7,66 \text{ t pour } x = 5,5$$

Travée B₂B₃ :

$$M_1 = 12,84 \text{ tm} \quad M_2 = -4,69 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,58 \times 5,5}{2} x - \frac{3,58}{2} x^2 - 12,84 + \frac{12,84 - 4,69}{5,5} x$$

$$M(x) = 11,34 x - \frac{3,58}{2} x^2 - 12,84$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,48 \\ 4,86 \end{cases}$$

$$M_{\text{max}} = 5,11 \text{ tm pour } x = 3,17$$

$$T = 11,34 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 8,35 \text{ t pour } x = 5,5$$

Sous $G + P + \vec{S}_I$

$$q = 3,39 \text{ t/m}$$

Travée $B_1 B_2$:

$$M_1 = 5,64 \text{ tm} \quad M_2 = -15,27 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 6,6}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 5,64 + \frac{5,64 - 15,27}{6,6} x$$

$$M(x) = 9,73x - \frac{3,39}{2} x^2 - 5,64$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,6 \\ 5,08 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 8,32 \text{ tm pour } x = 2,87$$

$$T = 9,73 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 12,64 \text{ t pour } x = 6,6$$

Travée $B_2 B_3$:

$$M_1 = 9,96 \text{ tm} \quad M_2 = -6,63 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 5,5}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 9,96 + \frac{9,96 - 6,63}{5,5} x$$

$$M(x) = 9,93x - \frac{3,39}{2} x^2 - 9,96$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,29 \\ 4,57 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 4,58 \text{ tm pour } x = 2,93$$

$$T = 9,93 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 8,72 \text{ t pour } x = 5,5$$

Sous $G + P - \vec{S}_I$:

$$q = 3,39 \text{ t/m}$$

Travée $B_1 B_2$:

$$M_1 = 9,82 \text{ tm} \quad M_2 = -12,03 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 6,6}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 9,82 + \frac{9,82 - 12,03}{6,6} x$$

$$M(x) = 10,85x - \frac{3,39}{2} x^2 - 9,82$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,09 \\ 5,31 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 7,55 \text{ tm pour } x = 3,20$$

$$T = 10,85 \text{ t pour } x = 0 \quad T = 11,52 \text{ t pour } x = 6,6$$

Travée $B_2 B_3$:

$$M_1 = 13,64 \text{ tm} \quad M_2 = -1,99 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 5,5}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 13,64 + \frac{13,64 - 1,99}{5,5} x$$

$$M(x) = 11,44x - \frac{3,39}{2} x^2 - 13,64$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,55 \\ 5,20 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 5,67 \text{ tm pour } x = 3,37$$

$$T = 11,44 \text{ t pour } x = 0 \quad T = 7,21 \text{ t pour } x = 5,5$$

Moments dans la poutre et efforts tranchants aux appuis (normal dans les poteaux).

| | Moments dans la poutre | | | | Effort tranchant | | | | | |
|---------------------------------|--------------------------------------|--------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Travée B ₁ B ₂ | | Travée B ₂ B ₃ | | Travée B ₁ B ₂ | | Travée B ₂ B ₃ | | | |
| | Appui B ₁ | Travée | Appui B ₂ | Appui B ₂ | Travée | Appui B ₃ | Appui B ₁ | Appui B ₂ | Appui B ₂ | Appui B ₃ |
| G + 1,2P | 7,94 | 8,10 | -14,01 | 12,11 | 5,17 | -4,42 | 10,56 | 12,41 | 10,97 | 8,17 |
| G + P + V | 7,33 | 7,96 | -13,96 | 11,45 | 4,94 | -4,75 | 10,18 | 12,19 | 10,54 | 8,11 |
| G + P - V | 8,13 | 7,82 | -13,34 | 12,15 | 5,14 | -3,07 | 10,90 | 11,97 | 10,83 | 8,22 |
| G + 1,5P + 1,5V | 7,65 | 8,55 | -15,02 | 12,06 | 5,24 | -5,26 | 10,83 | 13,06 | 11,18 | 8,72 |
| G + 1,5P - 1,5V | 8,85 | 8,33 | -14,09 | 13,11 | 1,93 | -3,94 | 11,15 | 12,74 | 10,99 | 7,66 |
| G + P + SI ↓ | 8,41 | 7,99 | -14,86 | 12,84 | 5,11 | -4,69 | 10,84 | 12,79 | 11,34 | 8,35 |
| G + P + \overrightarrow{SI}^2 | 5,64 | 8,32 | -15,27 | 9,96 | 4,58 | -6,63 | 9,73 | 12,64 | 9,93 | 8,72 |
| G + P - \overrightarrow{SI}^2 | 9,82 | 7,55 | -12,03 | 13,64 | 5,67 | -1,99 | 10,85 | 11,52 | 11,44 | 7,21 |
| Max sous SP ₁ | 8,13 | 8,10 | -14,01 | 12,15 | 5,17 | -4,75 | 10,56 | 12,41 | 10,97 | 8,22 |
| Max sous SP ₂ | 9,82 | 8,55 | -15,27 | 13,64 | 5,67 | -6,63 | 11,15 | 13,06 | 11,44 | 8,72 |

| | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | A ₁ B ₁ | B ₁ A ₁ | B ₁ B ₂ | B ₂ B ₁ | B ₁ B ₃ | B ₂ A ₂ | A ₂ B ₂ | B ₃ B ₂ | B ₃ A ₃ | A ₃ B ₃ |
| G | -2,13 | -4,26 | +4,26 | -7,53 | +6,51 | +1,05 | +0,51 | -2,38 | +2,38 | +1,19 |
| P | -0,27 | -0,51 | +0,51 | -0,91 | +0,18 | +0,12 | +0,06 | +0,29 | +0,29 | +0,14 |
| V | +0,32 | +0,20 | -0,20 | -0,15 | -0,18 | +0,33 | +0,38 | -0,22 | +0,22 | +0,33 |
| SI ↓ | -0,22 | -0,43 | +0,43 | -0,77 | +0,66 | +0,10 | +0,05 | -0,24 | +0,24 | +0,12 |
| | +2,23 | +1,39 | -1,39 | -1,08 | -1,23 | +2,30 | +2,69 | -1,55 | +1,55 | 2,31 |
| G + 1,2P | -2,46 | -5,03 | +5,03 | -8,90 | +7,68 | +1,23 | +0,60 | -2,82 | +2,82 | +1,40 |
| G + P + V | -2,00 | -4,57 | +4,57 | -8,59 | +7,11 | +1,50 | +0,95 | -2,09 | +2,09 | +1,66 |
| G + P - V | -2,72 | -4,97 | +4,97 | -8,79 | +7,47 | +0,84 | +0,19 | -2,45 | +2,45 | +1,00 |
| G + 1,5P + 1,5V | -2,06 | -4,73 | +4,73 | -9,12 | +7,41 | 1,73 | +1,17 | -3,12 | +3,12 | +1,90 |
| G + 1,5P - 1,5V | -3,02 | -5,33 | +5,33 | -8,67 | +7,95 | +0,74 | +0,03 | -2,49 | +2,49 | +0,91 |
| G + P + SI ↓ | -262 | -520 | +520 | -921 | +795 | +124 | +062 | -291 | +291 | +145 |
| G + P + SI ↑ | -0,17 | -3,38 | +3,38 | -9,52 | +6,06 | +3,47 | +3,26 | -4,22 | +4,22 | +3,64 |
| G + P - SI ↑ | -4,63 | -6,16 | +6,16 | -7,36 | +8,52 | -1,13 | -2,12 | -1,12 | +1,12 | -0,98 |

Moment dans la poutre B₁B₃ (portique de rive):

Sous G+1,2P:

$$q = 2,14 \text{ t/m}$$

Travée B₁B₂:

$$M_1 = 5,03 \text{ tm} \quad M_2 = -8,90 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,14 \times 6,6}{2} x - \frac{2,14}{2} x^2 - 5,03 + \frac{5,03 - 8,90}{6,6} x$$

$$M(x) = 6,98x - \frac{2,14}{2} x^2 - 5,03$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,92 \\ 5,14 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 4,77 \text{ tm pour } x = 3,03$$

$$T = 6,45 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 7,64 \text{ t pour } x = 6,6$$

Sous G+P+V:

$$q = 2,10 \text{ t/m}$$

Travée B₁B₂:

$$M_1 = 4,57 \text{ tm} \quad M_2 = -8,59 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,10 \times 6,6}{2} x - \frac{2,10}{2} x^2 - 4,57 + \frac{4,57 - 8,59}{6,6} x$$

$$M(x) = 6,32x - \frac{2,10}{2} x^2 - 4,57$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,84 \\ 5,18 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 4,94 \text{ tm pour } x = 3,01$$

$$T = 6,32 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 7,54 \text{ t pour } x = 6,6$$

Travée B₂B₃:

$$M_1 = 7,68 \text{ tm} \quad M_2 = -2,82 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,14 \times 5,5}{2} x - \frac{2,14}{2} x^2 - 7,68 + \frac{7,68 - 2,82}{5,5} x$$

$$M(x) = 6,77x - \frac{2,14}{2} x^2 - 7,68$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,98 \\ 4,84 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 3,02 \text{ tm pour } x = 3,16$$

$$T = 6,77 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 5,00 \text{ t pour } x = 5,5$$

Travée B₂B₃:

$$M_1 = 7,11 \text{ tm} \quad M_2 = -2,89 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,10 \times 5,5}{2} x - \frac{2,10}{2} x^2 - 7,11 + \frac{7,11 - 2,89}{5,5} x$$

$$M(x) = 6,54x - \frac{2,10}{2} x^2 - 7,11$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,90 \\ 4,83 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 3,08 \text{ tm pour } x = 3,12$$

$$T = 6,54 \text{ tm pour } x = 0$$

$$T = 5,01 \text{ tm pour } x = 5,5$$

Sous G + P + V

$$q = 2,10 \text{ t/m}$$

Travée B₁B₂:

$$M_1 = 4,97 \text{ tm} \quad M_2 = -8,29 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,10 \times 6,6}{2} x - \frac{2,10}{2} x^2 - 4,97 + \frac{4,97 - 8,29}{6,6} x$$

$$M(x) = 6,93x - \frac{2,10}{2} x^2 - 4,97$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,91 \\ 5,21 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 4,86 \text{ tm pour } x = 3,06$$

$$T = 6,43 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 7,43 \text{ t pour } x = 6,6$$

Sous G + P + SI ↓ : $q = 2,29 \text{ t/m}$

Travée B₁B₂:

$$M_1 = 5,20 \text{ tm} \quad M_2 = -9,21 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,29 \times 6,6}{2} x - \frac{2,29}{2} x^2 - 5,20 + \frac{5,20 - 9,21}{6,6} x$$

$$M(x) = 6,95x - \frac{2,29}{2} x^2 - 5,20$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,85 \\ 5,38 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 5,34 \text{ tm pour } x = 3,03$$

$$T = 6,95 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 8,16 \text{ t pour } x = 6,6$$

Travée B₂B₃

$$M_1 = 7,47 \text{ tm} \quad M_2 = -2,45$$

$$M(x) = \frac{2,10 \times 5,5}{2} x - \frac{2,10}{2} x^2 - 7,47 + \frac{7,47 - 2,45}{5,5} x$$

$$M(x) = 6,69x - \frac{2,10}{2} x^2 - 7,47$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,94 \\ 4,92 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 3,18 \text{ tm pour } x = 3,18$$

$$T = 6,69 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 4,86 \text{ t pour } x = 5,5$$

Travée B₂B₃:

$$M_1 = 7,95 \text{ tm} \quad M_2 = -2,91 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,29 \times 5,5}{2} x - \frac{2,29}{2} x^2 - 7,95 + \frac{7,95 - 2,91}{5,5} x$$

$$M(x) = 7,21x - \frac{2,29}{2} x^2 - 7,95$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,91 \\ 4,88 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 3,41 \text{ tm pour } x = 3,15$$

$$T = 7,21 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 5,39 \text{ t pour } x = 5,5$$

Sous G + 1,5P + 1,5V :

$$q = 2,21 \text{ t/m}$$

Travée B₁B₂ :

$$M_1 = 4,73 \text{ tm} \quad M_2 = -9,12 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,21 \times 6,6}{2} x - \frac{2,21}{2} x^2 - 4,73 + \frac{4,73 - 9,12}{6,6} x$$

$$M(x) = 6,63x - \frac{2,21}{2} x^2 - 4,73$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,83 \\ 5,17 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 5,21 \text{ tm pour } x = 3,00$$

$$T = 6,63 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 7,96 \text{ t pour } x = 6,6$$

Sous G + 1,5P - 1,5V : $q = 2,21 \text{ t/m}$

Travée B₁B₂ :

$$M_1 = 5,33 \text{ tm} \quad M_2 = -8,67 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,21 \times 6,6}{2} x - \frac{2,21}{2} x^2 - 5,33 + \frac{5,33 - 8,67}{6,6} x$$

$$M(x) = 6,72x - \frac{2,21}{2} x^2 - 5,33$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,94 \\ 5,14 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 4,88 \text{ tm pour } x = 3,04$$

$$T = 6,72 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 7,87 \text{ t pour } x = 6,6$$

Travée B₂B₃ :

$$M_1 = 7,41 \text{ tm} \quad M_2 = -3,12 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,21}{2} \times 6,6x - \frac{2,21}{2} x^2 - 7,41 + \frac{7,41 - 3,12}{5,5} x$$

$$M(x) = 6,86x - \frac{2,21}{2} x^2 - 7,41$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,89 \\ 4,81 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 3,23 \text{ tm pour } x = 3,10$$

$$T = 6,86 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 5,30 \text{ t pour } x = 5,5$$

Travée B₂B₃ :

$$M_1 = 7,95 \text{ tm} \quad M_2 = -2,49 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,21 \times 5,5}{2} x - \frac{2,21}{2} x^2 - 7,95 + \frac{7,95 - 2,49}{5,5} x$$

$$M(x) = 7,07x - \frac{2,21}{2} x^2 - 7,95$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,45 \\ 4,95 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 3,37 \text{ tm pour } x = 3,20$$

$$T = 7,07 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 5,09 \text{ t pour } x = 5,5$$

Sous $G + P + \vec{S}_I$:

$$q = 2,10 \text{ t/m}$$

Travée $B_1 B_2$:

$$M_1 = 3,38 \text{ tm} \quad M_2 = -9,52 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,10 \times 6,6}{2} x - \frac{2,10}{2} x^2 - 3,38 + \frac{3,38 - 9,52}{6,6} x$$

$$M(x) = 6,00 x - \frac{2,10}{2} x^2 - 3,38$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,63 \\ 5,08 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 5,19 \text{ tm pour } x = 2,86$$

$$T = 6,00 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 7,06 \text{ t pour } x = 6,6$$

Sous $G + P + \vec{S}_I$: $q = 2,10 \text{ t/m}$

Travée $B_1 B_2$:

$$M_1 = 6,16 \text{ tm} \quad M_2 = -7,36 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,10 \times 6,6}{2} x - \frac{2,10}{2} x^2 - 6,16 + \frac{6,16 - 7,36}{6,6} x$$

$$M(x) = 6,75 x - \frac{2,10}{2} x^2 - 6,16$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,10 \\ 5,33 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 4,68 \text{ tm pour } x = 3,21$$

$$T = 6,75 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 7,11 \text{ t pour } x = 6,5$$

Travée $B_2 B_3$:

$$M_1 = 6,06 \text{ tm} \quad M_2 = -4,42 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,10 \times 5,5}{2} x - \frac{2,10}{2} x^2 - 6,06 + \frac{6,06 - 4,42}{5,5} x$$

$$M(x) = 6,11 x - \frac{2,10}{2} x^2 - 6,06$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,27 \\ 4,55 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 2,83 \text{ tm pour } x = 2,91$$

$$T = 6,11 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 5,44 \text{ t pour } x = 5,5$$

Travée $B_2 B_3$:

$$M_1 = 8,52 \text{ tm} \quad M_2 = -1,12 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,10}{2} 5,5 x - \frac{2,10}{2} x^2 - 8,52 + \frac{8,52 - 1,12}{5,5} x$$

$$M(x) = 7,12 x - \frac{2,10}{2} x^2 - 8,52$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,55 \\ 5,23 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 3,55 \text{ tm pour } x = 3,39$$

$$T = 7,12 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 4,43 \text{ t pour } x = 5,5$$

Moment dans la poutre - effort tranchant sur appui (normal dans les poteaux)
portique de rive

| | Moment dans la poutre | | | | Effort tranchant | | | |
|--------------------------|--------------------------------------|--------|--------------------------------------|--------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------|
| | travée B ₁ B ₂ | | travée B ₂ B ₃ | | travée B ₁ B ₂ | | travée B ₂ B ₃ | |
| | Appui B ₁ | travée | Appui B ₂ | travée | Appui B ₁ | Appui B ₂ | Appui B ₂ | Appui B ₃ |
| G + 1,2P | 5,03 | 4,77 | -8,90 | 3,02 | 6,98 | 7,64 | 6,77 | 5,00 |
| G + P + V | 4,57 | 4,94 | -8,59 | 3,08 | 6,32 | 7,54 | 6,54 | 5,01 |
| G + P - V | 4,97 | 4,86 | -8,29 | 3,18 | 6,43 | 7,43 | 6,69 | 4,86 |
| G + 1,5P + 1,5V | 4,73 | 5,21 | -9,12 | 3,23 | 6,63 | 7,96 | 6,86 | 5,30 |
| G + 1,5P - 1,5V | 5,33 | 4,88 | -8,67 | 3,37 | 6,72 | 7,87 | 7,07 | 5,09 |
| G + P + SI ↓ | 5,20 | 5,34 | -9,21 | 3,41 | 6,95 | 8,16 | 7,21 | 5,39 |
| G + P + SI ↑ | 3,38 | 5,19 | -9,51 | 2,83 | 6,00 | 7,86 | 6,11 | 5,44 |
| G + P - SI ↑ | 6,16 | 4,68 | 7,36 | 3,55 | 6,75 | 7,11 | 7,12 | 4,43 |
| Max sous SP ₁ | 5,03 | 4,94 | -8,90 | 3,18 | 6,48 | 7,64 | 6,77 | 5,01 |
| Max sous SP ₂ | 6,16 | 5,34 | -9,51 | 3,55 | 6,95 | 8,16 | 7,21 | 5,44 |

Portiques A, B₁ - A₄B₄ (trois travées).

$$\sigma_n = 0,1$$

$$\sigma_v = 0,1$$

G:

| | |
|-----------------------|--|
| - Gravieron 4cm | 80 kg/m ² |
| - Béton de pente | 165 kg/m ² |
| - Étanchéité | 20 kg |
| - Isolation thermique | |
| pate - vapeur | 10 kg |
| - Plancher (16+4) | 275 kg |
| - Enduit | 18 kg |
| | <hr/> |
| | 568 kg/m ² \approx 570 kg |

Poids propre des poutres / m

$$0,50 \times 0,30 \times 2500 = 375 \text{ kg/m}$$

$$\Rightarrow G = 570 \text{ kg/m}^2 \times 4,5 + 375 = 2940 \text{ kg/m}$$

$$P = 100 \text{ kg} \times 4,5 = 450 \text{ kg/m}$$

$$W = G + \frac{P}{5} = 2940 \text{ kg/m} + \frac{450}{5} = 3030 \text{ kg/m} \quad (\text{direction verticale})$$

direction horizontale:

Poids des poteaux:

$$4 \times 0,3 \times 0,3 \times 4,45 \times 2500 = 4t$$

$$\Rightarrow W = (2940 + 50) \times 15 + 4005 = 49455 t \approx 49,50 t$$

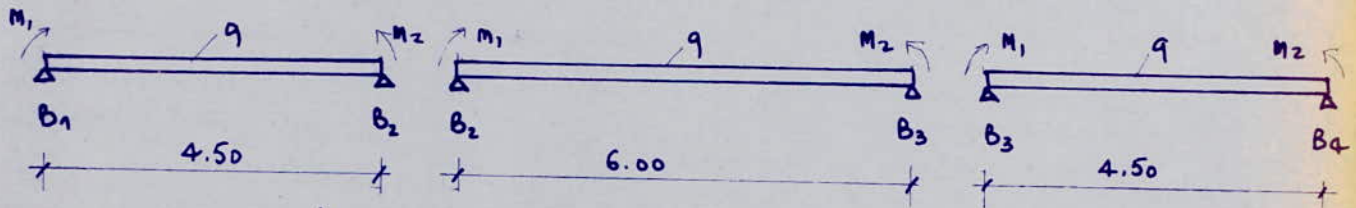
$$\Rightarrow F_m = \sigma_m W = 0,1 \times 49,5t = 4,95 t \approx 5t$$

$$F_v = 30,30 \times 0,1 \approx 0,3t/m$$

Moment dans les nœuds du poteau

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | $A_1 B_1$ | $b_1 A_1$ | $B_1 B_2$ | $b_2 B_1$ | $B_2 B_3$ | $B_2 A_2$ | $A_2 B_2$ | $B_3 B_2$ | $B_3 B_4$ | $B_3 A_3$ | $A_3 B_3$ | $B_4 B_3$ | $B_4 A_4$ | $A_4 B_4$ |
| G | -0,385 | -0,773 | +0,773 | -8,094 | +8,529 | 0,188 | -0,138 | -9,326 | 8,041 | 0,286 | 0,144 | -0,773 | 0,773 | 0,585 |
| P | -0,059 | -0,118 | +0,118 | -1,231 | +1,275 | -0,044 | -0,021 | -1,274 | 1,231 | 0,044 | 0,022 | -0,118 | 0,118 | 0,059 |
| V | 0,546 | 0,407 | -0,407 | -0,302 | -0,153 | 0,455 | 0,469 | -0,148 | -0,304 | 0,453 | 0,468 | 0,410 | 0,409 | 0,446 |
| SI ↓ | -0,039 | -0,079 | 0,079 | -0,821 | 0,850 | -0,029 | -0,014 | -0,850 | 0,821 | 0,029 | 0,014 | -0,079 | 0,079 | 0,039 |
| \vec{SI} | 2,785 | 2,545 | -2,545 | -1,085 | -0,955 | 2,845 | 2,930 | -0,925 | -1,900 | 2,830 | 2,925 | -2,565 | 2,565 | 2,79 |
| G+1,2P | -0,456 | -0,915 | 0,915 | -9,521 | 9,859 | -0,241 | -0,163 | -9,855 | 9,518 | 0,339 | 0,167 | -0,915 | 0,915 | 0,456 |
| G+P+V | 0,002 | -0,484 | 0,484 | -9,577 | 9,424 | 0,123 | 0,31 | -9,748 | 8,968 | 0,783 | 0,631 | -1,301 | 1,300 | 0,890 |
| G+1,5P+1,5V | 0,195 | -0,339 | +0,339 | -10,344 | 10,012 | 0,329 | 0,534 | -10,459 | 9,432 | 1,032 | 0,876 | -1,565 | 1,564 | 1,143 |
| G+P+SI ↓ | -0,483 | -0,970 | 0,970 | -10,076 | 10,454 | -0,351 | -0,173 | -10,316 | 10,093 | 0,359 | 0,177 | -0,970 | 0,970 | 0,483 |
| G+P+ \vec{SI} | 2,341 | +1,654 | 1,654 | -11,150 | 8,649 | -2,513 | 2,771 | -10,525 | 7,372 | 3,460 | 3,088 | -3,456 | 3,456 | 3,234 |

Moment en travée dans la poutre B₁B₄ (intermédiaire) : trois travées



$$M(x) = \frac{q|x}{2} - \frac{qx^2}{2} - M_1 + \frac{M_1 + M_2}{l} x$$

* N.B: pour la travée B₃B₄, l'origine est prise en B₄ (on considère la travée B₄B₃)

Sous G + 1,2P

$$q = 3,48 \text{ t/m}$$

Travées : B₁B₂ et B₃B₄ :

$$M_1 = 0,915 \text{ tm} \quad M_2 = -9,521 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,48 \times 4,5x}{2} - \frac{3,48}{2} x^2 - 0,915 + \frac{0,915 - 9,521}{4,5} x$$

$$M(x) = 5,918x - 1,740x^2 - 0,915$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,16 \\ 3,14 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 4,12 \text{ tm} \text{ pour } x = 1,70$$

$$T = 5,92 \text{ pour } x = 0 \quad T = 9,74 \text{ pour } x = 4,5$$

Sous G + P + V

$$q = 3,39 \text{ t/m}$$

Travée B₁B₂ :

$$M_1 = 0,484 \text{ tm} \quad M_2 = -9,577$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 4,5x}{2} - \frac{3,39}{2} x^2 - 0,484 + \frac{0,484 - 9,577}{4,5} x$$

$$M(x) = 5,61x - \frac{3,39}{2} x^2 - 0,484$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,09 \\ 3,22 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 4,15 \text{ tm} \text{ pour } x = 1,65$$

$$T = 5,61 \text{ pour } x = 0 \quad T = 9,65 \text{ pour } x = 4,5$$

Travée B₂B₃

$$M_1 = M_2 = 9,859$$

$$M(x) = \frac{3,48 \times 6x}{2} - \frac{3,48}{2} x^2 - 9,859 + \frac{9,859 - 9,859}{6} x$$

$$M(x) = 10,44x - \frac{3,48}{2} x^2 - 9,859$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,17 \\ 4,83 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 5,801 \text{ pour } x = 3$$

$$T = 10,44 \text{ pour } x = 0 \quad T = 10,44 \text{ pour } x = 6$$

Travée B₃B₄

$$M_1 = 1,301 \quad M_2 = -8,968$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 4,5x}{2} - \frac{3,39}{2} x^2 - 1,301 + \frac{1,301 - 8,968}{4,5} x$$

$$M(x) = 5,92x - \frac{3,39}{2} x^2 - 1,301$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,24 \\ 3,26 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 3,87 \text{ tm} \text{ pour } x = 1,74$$

$$T = 5,92 \text{ pour } x = 0 \quad T = 9,34 \text{ pour } x = 4,5$$

Sous G + P + V :

Travée B₂B₃ :

$$M_1 = 9,424 \quad M_2 = -9,748$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 6}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 9,424 + \frac{9,424 - 9,748}{6} x$$

$$M(x) = 10,12x - \frac{3,39}{2} x^2 - 9,424$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,16 \\ 4,81 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 5,67 \text{ km pour } x = 2,98$$

$$T = 10,12 \text{ pour } x = 0$$

$$T = 10,22 \text{ pour } x = 6$$

Sous G + 1,5P + 1,5V : $q = 3,62 \text{ t/m}$

Travée B₁B₂

$$M_1 = 0,339 \quad M_2 = 10,344$$

$$M(x) = \frac{3,62 \times 4,5}{2} x - \frac{3,62}{2} x^2 - 0,339 + \frac{0,339 - 10,344}{4,5} x$$

$$M(x) = 5,92x - \frac{3,62}{2} x^2 - 0,339$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,06 \\ -3,21 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 4,50 \text{ km pour } x = 1,64$$

$$T = 5,29 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 10,37 \text{ t pour } x = 4,5$$

Travée B₄B₃

$$M_1 = 1,565 \quad M_2 = -9,432$$

$$M(x) = \frac{3,62 \times 4,5}{2} x - \frac{3,62}{2} x^2 - 1,565 + \frac{1,565 - 9,432}{4,5} x$$

$$M(x) = 6,40 - \frac{3,62}{2} x^2 - 1,565$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,26 \\ 3,27 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 4,09 \text{ km pour } x = 1,77$$

$$T = 6,40 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 9,89 \text{ t pour } x = 4,5$$

Travée B₂B₃:

$$M_1 = 10,012 \text{ tm} \quad M_2 = -10,459 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,62 \times 6}{2} x - \frac{3,62}{2} x^2 - 10,012 + \frac{10,012 - 10,459}{6} x$$

$$= 10,79 x - \frac{3,62}{2} x^2 - 10,012$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,15 \\ 4,81 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 6,06 \text{ tm pour } x = 2,98$$

$$T = 10,79 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 10,93 \text{ t pour } x = 6$$

sous G + P + S.I.

$$q = 3,39 \text{ t/m}$$

Travée B₁B₂:

$$M_1 = 1,654 \text{ tm} \quad M_2 = -11,150$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 4,5}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 1,654 + \frac{1,654 - 11,150}{4,5} x$$

$$M(x) = 5,52 x - \frac{3,39}{2} x^2 - 1,654$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,33 \\ 0,292 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 2,83 \text{ tm pour } x = 1,62$$

$$T = 5,52 \text{ pour } x = 0 \quad T = 9,74 \text{ pour } x = 4,5$$

Travée B₄B₃:

$$M_1 = 3,456 \text{ tm} \quad M_2 = -7,372 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 4,5}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 3,456 + \frac{3,456 - 7,372}{4,5} x$$

$$M(x) = 6,76 x - \frac{3,39}{2} x^2 - 3,456$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,16 \\ 3,36 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 3,28 \text{ tm pour } x = 2,00$$

$$T = 6,76 \text{ pour } x = 0 \quad T = 8,50 \text{ pour } x = 4,5$$

Travée B₂B₃:

$$M_1 = 8,649 \text{ tm} \quad M_2 = -10,525$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 6}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 8,649 + \frac{8,649 - 10,525}{6} x = 9,86 x - \frac{3,39}{2} x^2 - 8,649$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,08 \\ 4,74 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 5,68 \text{ tm pour } x = 2,91$$

$$T = 9,86 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 10,48 \text{ t pour } x = 6$$

Sous G + P + SI ↓

$$q = 3,69 \text{ t/m}$$

Travées B₁B₂ et B₂B₃:

$$M_1 = 10,970 \text{ tm} \quad M_2 = -10,093$$

$$\begin{aligned} M(x) &= \frac{3,69 \times 4,5 x}{2} - \frac{3,69}{2} x^2 - 0,970 + \frac{0,970 + 10,093}{4,5} x \\ &= 6,28 x - \frac{3,69}{2} x^2 - 0,970 \end{aligned}$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,16 \\ 3,24 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 4,37 \text{ tm pour } x = 1,70$$

$$T = 6,28 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 10,33 \text{ t pour } x = 4,5$$

Travée B₂B₃:

$$M_1 = M_2 = 10,350$$

$$\begin{aligned} M(x) &= \frac{3,69 \times 6 x}{2} - \frac{3,69}{2} x^2 - 10,350 + \frac{10,350 - 10,350}{6} x \\ &= 11,07 x - \frac{3,69}{2} x^2 - 10,350 \end{aligned}$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,26 \\ 4,84 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 6,26 \text{ tm pour } x = 3$$

$$T = 11,07 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 11,07 \text{ t pour } x = 6$$

Moment sous différentes combinaisons

| | Appuis B ₁ et B ₂ | Travée B ₁ B ₂ et B ₃ B ₄ | Appuis B ₂ et B ₃ | Appuis B ₂ et B ₃ | Travée B ₂ B ₃ |
|---------------------------------|---|--|---|---|--------------------------------------|
| G + 1,2P | 0,92 | 4,12 | 9,52 | 9,86 | 5,80 |
| G + P + V | 1,30 | 4,12 | 9,58 | 9,75 | 5,67 |
| G + 1,5P + 1,5V | 1,57 | 4,50 | 10,34 | 10,50 | 6,06 |
| G + P + S _I ↓ | 0,97 | 4,37 | 10,09 | 10,45 | 6,26 |
| G + P + S _I → | 3,46 | 3,28 | 11,15 | 10,53 | 5,68 |
| Moment max sous SP ₁ | 1,30 | 4,12 | 9,58 | 9,86 | 5,80 |
| Moment max sous SP ₂ | 3,46 | 4,50 | 11,15 | 10,53 | 6,26 |

Effort tranchant dans les poutres (normal dans les poteaux)

| | Travées B ₁ B ₂ et B ₃ B ₄ | | Travée B ₂ B ₃ | |
|----------------------------|--|--------------------------------|--------------------------------------|----------------|
| | B ₁ /B ₂ | B ₂ /B ₃ | B ₂ | B ₃ |
| G + 1,2P | 5,92 | 9,74 | 10,44 | 10,44 |
| G + P + V | 5,92 | 9,65 | 10,02 | 10,02 |
| G + 1,5P + 1,5V | 6,40 | 10,37 | 10,93 | 10,93 |
| G + P + S _I ↓ | 6,28 | 10,33 | 11,07 | 11,07 |
| G + P + S _I → | 6,76 | 9,74 | 10,48 | 10,48 |
| T max sous SP ₁ | 5,92 | 9,74 | 10,44 | 10,44 |
| T max sous SP ₂ | 6,76 | 10,37 | 11,07 | 11,07 |

Portique A_1B_1 — A_5B_5 4 travées

$$\delta_u = 0,1$$

$$\delta_v = 0,1$$

Plancher $570 \text{ kg/m}^2 \times 4,50 = 2565 \text{ kg/m}$

Poids propre des poutres : 375 kg/m

$$\Rightarrow G = 2565 \text{ kg/m} + 375 \text{ kg/m} = 2940 \text{ kg/m}$$

$$P = 450 \text{ kg/m}$$

Sous force verticale :

$$W = G + \frac{P}{5} = 2940 + \frac{450}{5} = 3030 \text{ kg/m}$$

$$\Rightarrow SI \downarrow = 0,1 \times 3030 \text{ kg/m} = 303 \text{ kg/m} \approx 0,3 \text{ t/m}$$

Sous force horizontale :

Poids propre des poteaux :

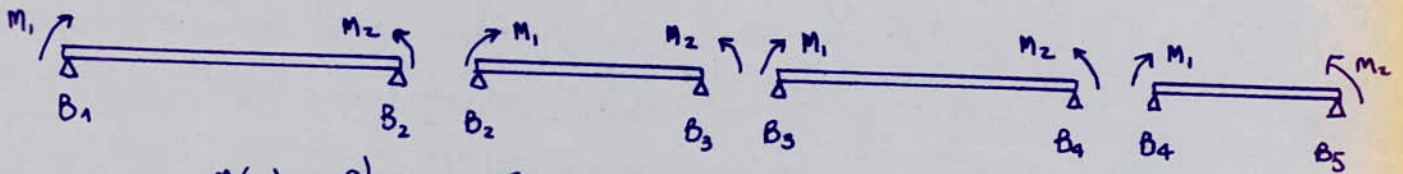
$$5 \times 0,3 \times 0,3 \times 4,45 \times 2500 = 5006 \text{ kg} \approx 5 \text{ t}$$

$$W = (3030 \times 21) + 5006 = 68,636 \text{ t} \approx 69 \text{ t}$$

$$\vec{SI} = 0,1 \times 69 = 6,9 \text{ t}$$

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | A ₁ B ₁ | B ₁ A ₁ | B ₁ B ₂ | B ₂ B ₁ | B ₂ B ₂ | B ₂ A ₂ | A ₂ B ₂ | B ₃ B ₂ | B ₃ B ₃ | B ₃ B ₄ | B ₃ A ₃ | A ₃ B ₃ | B ₄ B ₃ | B ₄ B ₄ | B ₄ A ₄ | A ₄ B ₄ | B ₅ B ₄ | B ₅ A ₅ | A ₅ B ₅ |
| G | -1,21 | -2,11 | +2,41 | -1,23 | +8,14 | +1,08 | +0,51 | -6,04 | +6,82 | -0,178 | -0,39 | -8,81 | +8,42 | +0,39 | +0,19 | -0,13 | +0,13 | +0,36 | |
| P | -0,18 | -0,31 | +0,31 | -1,11 | +1,25 | +0,17 | +0,08 | -0,92 | +1,04 | -0,92 | -0,06 | -1,35 | +1,29 | +0,06 | +0,03 | -0,11 | +0,11 | +0,06 | |
| V | +0,35 | +0,31 | -0,31 | -0,21 | -0,17 | +0,31 | +0,38 | -0,20 | -0,15 | +0,35 | +0,31 | -0,13 | -0,21 | +0,31 | +0,38 | -0,33 | +0,33 | +0,36 | |
| SI ↓ | -0,12 | -0,25 | +0,25 | -0,94 | +0,83 | +0,11 | +0,06 | -0,62 | +0,70 | -0,08 | -0,04 | -0,90 | +0,86 | +0,04 | +0,02 | -0,07 | +0,07 | +0,04 | |
| SI ↑ | +3,00 | +2,66 | -2,66 | -1,77 | -1,43 | +3,18 | +3,28 | -1,73 | -1,32 | +3,06 | +3,20 | -1,14 | -2,05 | +3,18 | +3,27 | -2,82 | +2,82 | +3,08 | |
| G + 1,2P | -1,43 | +2,85 | +2,85 | -10,92 | +9,64 | +1,28 | +0,64 | -7,14 | +8,07 | -0,92 | -0,46 | -10,43 | +9,97 | +0,46 | +0,23 | -0,86 | +0,86 | +0,43 | |
| G + P + V | -1,04 | -2,47 | +2,47 | -10,85 | +9,22 | +1,62 | +1,01 | -7,16 | +7,71 | -0,55 | -0,08 | -9,29 | +9,47 | +0,82 | +0,60 | -1,21 | +1,21 | +0,78 | |
| G + P - V | -1,74 | -3,09 | +3,09 | -10,43 | +9,56 | -0,88 | +0,25 | -6,76 | +8,01 | -1,25 | -0,82 | -9,03 | +9,95 | +0,08 | -0,16 | -0,51 | +0,51 | +0,06 | |
| G + 1,5P + 1,5V | -0,96 | -2,50 | +2,50 | -11,66 | +9,76 | +1,89 | +1,23 | -7,72 | +8,16 | -0,46 | +0,08 | -11,03 | +10,00 | +1,04 | +0,81 | -1,39 | +1,39 | +0,99 | |
| G + 1,5P - 1,5V | -2,01 | -3,43 | +3,43 | -11,03 | +10,27 | +0,78 | +0,09 | -7,12 | +8,61 | -1,49 | -1,04 | -10,64 | +10,72 | -0,08 | -0,34 | -0,40 | +0,40 | -0,09 | |
| G + P + SI ↓ | -1,51 | -3,03 | +3,03 | -11,58 | +10,22 | +1,36 | +0,69 | -7,61 | +8,56 | -0,98 | -0,49 | -10,06 | +10,57 | +0,49 | +0,24 | -0,91 | +0,91 | +0,46 | |
| G + P + SI ↑ | -1,61 | -0,12 | +0,12 | -12,11 | +7,96 | +4,44 | +3,91 | -8,64 | +6,54 | +2,16 | +2,35 | -10,30 | +7,66 | +3,53 | +3,44 | -3,66 | +3,66 | +3,50 | |
| G + P - SI ↓ | -4,39 | -5,44 | +5,44 | -9,87 | +10,82 | -4,94 | -2,65 | -5,25 | +9,18 | -3,96 | -3,65 | -8,02 | +11,76 | -2,73 | -3,05 | +1,98 | -1,98 | -2,66 | |

Moments dans les travées de la poutre B, B5



$$M(x) = \frac{q}{2}x - \frac{qx^2}{2} - M_1 + \frac{M_1 + M_2}{l}x$$

Sous G + 1,2P

$$q = 3,48 \text{ t/m}$$

Travée B1, B2

$$M_1 = 2,85 \text{ tm} \quad M_2 = -10,92 \text{ tm}$$

$$m(x) = \frac{3,48 \times 6}{2}x - \frac{3,48}{2}x^2 - 2,85 + \frac{2,85 - 10,92}{6}x$$

$$M(x) = 9,035x - \frac{3,48}{2}x^2 - 2,85$$

$$M(x) = 0 \quad \text{pour } x \begin{cases} = 0,33 \\ = 4,89 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 9,03 \text{ tm} \quad \text{pour } x = 2,61$$

$$T = 9,10 \text{ t} \quad \text{pour } x = 0$$

$$T = 11,79 \text{ t} \quad \text{pour } x = 6$$

Travée B2, B3

$$M_1 = 9,64 \quad M_2 = -7,14$$

$$M(x) = \frac{3,48 \times 4,5}{2}x - \frac{3,48}{2}x^2 - 9,64 + \frac{9,64 - 7,14}{4,5}x$$

$$M(x) = 8,39x - \frac{3,48}{2}x^2 - 9,64$$

$$M(x) = 0 \quad \text{pour } x \begin{cases} = 1,89 \text{ m} \\ = 2,93 \text{ m} \end{cases}$$

$$M_{\max} = 0,46 \text{ tm} \quad \text{pour } x = 2,41$$

$$T = 8,39 \text{ t} \quad \text{pour } x = 0$$

$$T = 7,27 \text{ t} \quad \text{pour } x = 4,5$$

Travée B3, B4

$$M_1 = 8,07 \quad M_2 = -10,43$$

$$M(x) = \frac{3,48 \times 6}{2}x - \frac{3,48}{2}x^2 - 8,07 + \frac{8,07 - 10,43}{6}x$$

$$M(x) = 10,05x - \frac{3,48}{2}x^2 - 8,07$$

$$M(x) = 0 \quad \text{pour } x \begin{cases} = 0,96 \\ = 4,81 \end{cases}$$

Travée B4, B5

$$M_1 = 9,97 \quad M_2 = -0,86$$

$$M(x) = \frac{3,48 \times 4,5}{2}x - \frac{3,48}{2}x^2 - 9,97 + \frac{9,97 - 0,86}{4,5}x$$

$$M(x) = 9,85x - \frac{3,48}{2}x^2 - 9,97$$

$$M(x) = 0 \quad \text{pour } x \begin{cases} = 1,32 \\ = 4,34 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 6,43 \text{ pour } x = 2,89$$

$$T = 10,05 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 10,83 \text{ t pour } x = 6$$

Sous G+P+V

$$q = 3,39 \text{ t/m}$$

$$M_{\max} = 3,98 \text{ tm pour } x = 2,83$$

$$T = 9,85 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 5,81 \text{ t pour } x = 4,5$$

Travée B₁B₂

$$M_1 = 2,47 \text{ tm} \quad M_2 = -10,85 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 6}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 2,47 + \frac{2,47 - 10,85}{6} x$$

$$M(x) = 8,77 x - \frac{3,39}{2} x^2 - 2,47$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x \begin{cases} = 0,30 \\ = 4,87 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 8,88 \text{ tm pour } x = 2,59$$

$$T = 8,77 \text{ t}$$

$$T = 11,57 \text{ t}$$

Travée B₃B₄

$$M_1 = 7,71 \text{ tm} \quad M_2 = -9,29$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 6}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 7,71 + \frac{7,71 - 9,29}{6} x$$

$$M(x) = 9,91 x - \frac{3,39}{2} x^2 - 7,71$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,92 \\ 4,92 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 6,77 \text{ tm pour } x = 2,92$$

$$T = 9,91 \text{ pour } x = 0 \quad T = 10,43 \text{ pour } x = 6$$

Travée B₂B₃

$$M_1 = 9,22 \quad M_2 = -7,16$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 4,5}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 9,22 + \frac{9,22 - 7,16}{4,5} x$$

$$M(x) = 8,09 x - \frac{3,39}{2} x^2 - 9,22$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x \begin{cases} = 1,89 \\ = 2,88 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 0,42 \text{ tm pour } x = 2,36$$

$$T = 8,09 \text{ pour } x = 0$$

$$T = 7,17 \text{ pour } x = 4,5$$

Travée B₄B₅

$$M_1 = 9,47 \text{ tm} \quad M_2 = -1,21$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 4,5}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 9,47 + \frac{9,47 - 1,21}{4,5} x$$

$$M(x) = 9,46 x - \frac{3,39}{2} x^2 - 9,47$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,31 \\ 4,27 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 3,74 \text{ pour } x = 2,79$$

$$T = 9,46 \text{ pour } x = 0 \quad T = 5,80 \text{ pour } x = 4,5$$

Sous G+P-V

$q = 3,39 \text{ t/m}$

Travée B₁B₂

$M_1 = 3,09 \quad M_2 = -10,43$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 6}{2} x - \frac{3,39 \times x^2}{2} - 3,09 + \frac{3,09 - 10,43}{6} x$$

$$M(x) = 8,95x - \frac{3,39x^2}{2} - 3,09$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,37 \\ 4,91 \end{cases}$$

$M_{\max} = 8,72 \text{ tm pour } x = -264$

$T = 8,95 \text{ t pour } x = 0$

$T = 11,39 \text{ t pour } x = 6$

Travée B₃B₄

$M_1 = 8,01 \quad M_2 = -9,03$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 6}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 8,01 + \frac{8,01 - 9,03}{6} x$$

$$M(x) = 10x - \frac{3,39}{2} x^2 - 8,01$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,96 \\ 4,94 \end{cases}$$

$M_{\max} = 6,74 \text{ tm pour } x = 2,94$

$T = 10 \text{ t pour } x = 0$

$T = 10,34 \text{ t pour } x = 6$

Travée B₂B₃

$M_1 = 9,56 \quad M_2 = -6,76$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 4,5}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 9,56 + \frac{9,56 - 6,76}{4,5} x$$

$$M(x) = 8,25x - \frac{3,39x^2}{2} - 9,56$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,90 \\ 2,96 \end{cases}$$

$M_{\max} = 0,48 \text{ tm pour } x = 2,43$

$T = 8,25 \text{ t pour } x = 0$

$T = 7,01 \text{ t pour } x = 4,5$

Travée B₄B₅

$M_1 = 9,95 \quad M_2 = -0,51$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 4,5}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 9,95 + \frac{9,95 - 0,51}{4,5} x$$

$$M(x) = 9,76x - \frac{3,39x^2}{2} - 9,95$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,33 \\ 4,41 \end{cases}$$

$M_{\max} = 4 \text{ tm pour } x = 2,87$

$T = 9,76 \text{ t pour } x = 0$

$T = 6,50 \text{ t pour } x = 4,5$

Sous G + 1,5P + 1,5V :

$$q = 2940 + 1,5 \times 4,50 = 3615 \text{ kg/m} \approx 3,62 \text{ t/m}$$

Travée B₁B₂

$$M_1 = 2,50$$

$$M_2 = -11,66$$

$$M(x) = \frac{3,62 \times 6}{2} x - \frac{3,62}{2} x^2 - 2,50 + \frac{2,50 - 11,66}{6} x$$

$$M(x) = 9,33x - \frac{3,62}{2} x^2 - 2,50$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,28 \\ 4,87 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 9,53 \text{ pour } x = 2,58$$

$$T = 9,33 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 12,39 \text{ t pour } x = 6$$

Travée B₃B₄

$$M_1 = 8,16$$

$$M_2 = -11,03$$

$$M(x) = \frac{3,62 \times 6}{2} x - \frac{3,62}{2} x^2 - 8,16 + \frac{8,16 - 11,03}{6} x$$

$$M(x) = 10,38x - \frac{3,62}{2} x^2 - 8,16$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,94 \\ 4,80 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 6,73 \text{ tm pour } x = 2,88$$

$$T = 10,38 \text{ pour } x = 0$$

$$T = 11,34 \text{ pour } x = 6$$

Travée B₂B₃

$$M_1 = 9,76$$

$$M_2 = -7,72$$

$$M(x) = \frac{3,62 \times 4,5}{2} x - \frac{3,62}{2} x^2 - 9,76 + \frac{9,76 - 7,72}{4,5} x$$

$$M(x) = 8,60x - \frac{3,62}{2} x^2 - 9,76$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,88 \\ 2,87 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 0,45 \text{ pour } x = 2,38$$

$$T = 8,60 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 7,69 \text{ t pour } x = 4,5$$

Travée B₄B₅

$$M_1 = 10,00 \text{ tm}$$

$$M_2 = -1,39 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,62 \times 4,5}{2} x - \frac{3,62}{2} x^2 - 10 + \frac{10 - 1,39}{4,5} x$$

$$M(x) = 10,06x - \frac{3,62}{2} x^2 - 10$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,30 \\ 4,26 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 3,97 \text{ tm pour } x = 2,78$$

$$T = 10,06 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 6,83 \text{ t pour } x = 4,5$$

Sous G + 1,5P - 1,5V

$$q = 3,62 \text{ t/m}$$

Travée B₁B₂

$$M_1 = 3,43 \text{ tm} \quad M_2 = -11,03 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,62 \times 6}{2} x - \frac{3,62 x^2}{2} - 3,43 + \frac{3,43 \cdot 11,03}{6} x$$

$$M(x) = 9,59 x - \frac{3,62}{2} x^2 - 3,43$$

$$M(x) = 0 \quad \text{pour } x = \begin{cases} 0,39 \\ 4,91 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 9,28 \text{ tm} \quad \text{pour } x = 2,65$$

$$T = 9,59 \text{ t} \quad \text{pour } x = 0$$

$$T = 12,13 \text{ t} \quad \text{pour } x = 6$$

Travée B₂B₃

$$M_1 = 10,27 \quad M_2 = -7,12$$

$$M(x) = \frac{3,62 \times 4,5}{2} x - \frac{3,62 x^2}{2} - 10,27 + \frac{10,27 - 7,12}{4,5} x$$

$$M(x) = 8,85 x - \frac{3,62}{2} x^2 - 10,27$$

$$M(x) = 0 \quad \text{pour } x = \begin{cases} 1,90 \\ 2,99 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 0,54 \quad \text{pour } x = 2,44$$

$$T = 8,85 \text{ t} \quad \text{pour } x = 0$$

$$T = 7,44 \text{ t} \quad \text{pour } x = 4,5$$

Travée B₃B₄

$$M_1 = 8,61 \text{ tm} \quad M_2 = -10,64$$

$$M(x) = \frac{3,62 \times 6}{2} x - \frac{3,62 x^2}{2} - 8,61 + \frac{8,61 + 10,64}{6} x$$

$$M(x) = 10,52 x - \frac{3,62}{2} x^2 - 8,61$$

$$M(x) = 0 \quad \text{pour } x = \begin{cases} 0,99 \\ 4,83 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 6,68 \text{ tm} \quad \text{pour } x = 2,91$$

$$T = 10,52 \text{ t} \quad \text{pour } x = 0$$

$$T = 11,20 \text{ t} \quad \text{pour } x = 6$$

Travée B₄B₅

$$M_1 = 10,72 \quad M_2 = -0,40$$

$$M(x) = \frac{3,62 \times 4,5}{2} x - \frac{3,62 x^2}{2} - 10,72 + \frac{10,72 - 0,40}{4,5} x$$

$$M(x) = 10,44 x - \frac{3,62}{2} x^2 - 10,72$$

$$M(x) = 0 \quad \text{pour } x = \begin{cases} 1,37 \\ 4,43 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 4,33 \text{ tm} \quad \text{pour } x = 2,88$$

$$T = 10,44 \text{ t} \quad \text{pour } x = 0$$

$$T = 5,85 \text{ t} \quad \text{pour } x = 4,5$$

Sous G + P + S_I ↓

$$q = 2940 + 450 + 300 = 3690 \text{ kg/m} \approx 3,69 \text{ t/m}$$

Travée B₁B₂ :

$$M_1 = 3,03 \quad M_2 = -11,58$$

$$M(x) = \frac{3,69 \times 6}{2} x - \frac{3,69}{2} x^2 - 3,03 + \frac{3,03 - 11,58}{6} x$$

$$M(x) = 9,65x - \frac{3,69}{2} x^2 - 3,03$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,34 \\ 4,89 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 9,58 \text{ t.m pour } x = 2,61$$

$$T = 9,65 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 12,99 \text{ t pour } x = 6$$

Travée B₂B₃

$$M_1 = 10,22 \text{ t.m} \quad M_2 = -7,61 \text{ t.m}$$

$$M(x) = \frac{3,69 \times 4,5}{2} x - \frac{3,69}{2} x^2 - 10,22 + \frac{10,22 - 7,61}{4,5} x$$

$$M(x) = 8,88x - \frac{3,69}{2} x^2 - 10,22$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,90 \\ 2,91 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 0,47 \text{ t.m pour } x = 2,41$$

$$T = 8,88 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 7,73 \text{ t pour } x = 4,5$$

Travée B₃B₄

$$M_1 = 8,56 \quad M_2 = -10,06$$

$$M(x) = \frac{3,69 \times 6}{2} x - \frac{3,69}{2} x^2 - 8,56 + \frac{8,56 - 10,06}{6} x$$

$$M(x) = 10,82x - \frac{3,69}{2} x^2 - 8,56$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,94 \\ 4,92 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 7,30 \text{ t.m pour } x = 2,93$$

$$T = 10,82 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 11,32$$

Travée B₄B₅

$$M_1 = 10,57 \text{ t.m} \quad M_2 = -0,41 \text{ t.m}$$

$$M(x) = \frac{3,69 \times 4,5}{2} x - \frac{3,69}{2} x^2 - 10,57 + \frac{10,57 - 0,91}{4,5} x$$

$$M(x) = 10,95x - \frac{3,69}{2} x^2 - 10,57$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,35 \\ 4,31 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 4,22 \text{ t.m pour } x = 2,83$$

$$T = 10,45 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 6,16 \text{ t pour } x = 4,5$$

Sous G + P + S

$$q = 3,39 \text{ tm.}$$

Travée B₁B₂

$$M_1 = 0,12 \text{ tm} \quad M_2 = -12,41 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 6}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 0,12 + \frac{0,12 - 12,41}{6} x$$

$$M(x) = 8,12x - \frac{3,39}{2} x^2 - 0,12$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,01 \\ 4,78 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 9,61 \text{ tm pour } x = 2,40$$

$$T = 8,12 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 12,22 \text{ t pour } x = 6$$

Travée B₂B₃

$$M_1 = 7,96 \text{ tm} \quad M_2 = -8,69 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 4,5}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 7,96 + \frac{7,96 - 8,69}{4,5} x$$

$$M(x) = 7,47x - \frac{3,39}{2} x^2 - 7,96$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,44 \\ 2,97 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 0,26 \text{ tm pour } x = 2,20$$

$$T = 7,47 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 7,79 \text{ t pour } x = 4,5$$

Travée B₃B₄

$$M_1 = 6,54 \text{ tm} \quad M_2 = -10,30 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 6}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 6,54 + \frac{6,54 - 10,30}{6} x$$

$$M(x) = 9,54x - \frac{3,39}{2} x^2 - 6,54$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,80 \\ 4,83 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 6,89 \text{ tm pour } x = 2,81$$

$$T = 9,54 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 10,8 \text{ t pour } x = 6$$

Travée B₄B₅

$$M_1 = 7,66 \text{ tm} \quad M_2 = -3,66 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 4,5}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 7,66 + \frac{7,66 - 3,66}{4,5} x$$

$$M(x) = 8,52x - \frac{3,39}{2} x^2 - 7,66$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,17 \\ 3,85 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 3,04 \text{ tm pour } x = 2,51$$

$$T = 8,52 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 6,74 \text{ t pour } x = 4,5$$

Sous G + P - $\vec{S}I$:

$$q = 3,39 \text{ t/m}$$

Travée B₁B₂ :

$$M_1 = 5,44 \text{ tm} \quad M_2 = -9,87 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 6}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 + 5,44 + \frac{5,44 - 9,87}{6} x$$

$$M(x) = 9,43x - \frac{3,39}{2} x^2 - 5,44$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,65 \\ 4,91 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 7,68 \text{ tm pour } x = 2,78$$

$$T = 9,43 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 11,91 \text{ t pour } x = 6$$

Travée B₂B₃ :

$$M_1 = 10,82 \text{ tm} \quad M_2 = -5,23 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 4,5}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 10,82 + \frac{10,82 - 5,23}{4,5} x$$

$$M(x) = 8,87x - \frac{3,39}{2} x^2 - 10,82$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,94 \\ 3,30 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 0,78 \text{ tm pour } x = 2,62$$

$$T = 8,87 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 6,39 \text{ t pour } x = 4,5$$

Travée B₃B₄ :

$$M_1 = 9,18 \text{ tm} \quad M_2 = -8,02 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 6}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 9,18 + \frac{9,18 - 8,02}{6} x$$

$$M(x) = 10,36x - \frac{3,39}{2} x^2 - 9,18$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,07 \\ 5,04 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 6,66 \text{ tm pour } x = 3,06$$

$$T = 10,36 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 9,98 \text{ t pour } x = 6$$

Travée B₄B₅ :

$$M_1 = 11,76 \text{ tm} \quad M_2 = 1,98 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{3,39 \times 4,5}{2} x - \frac{3,39}{2} x^2 - 11,76 + \frac{11,76 + 1,98}{4,5} x$$

$$M(x) = 10,68x - \frac{3,39}{2} x^2 - 11,76 + \frac{11,76 + 1,98}{4,5} x$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,42 \\ - \end{cases}$$

$$M_{\max} = 5,07 \text{ tm pour } x = 3,15$$

$$T = 10,68 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 4,58 \text{ t pour } x = 4,5$$

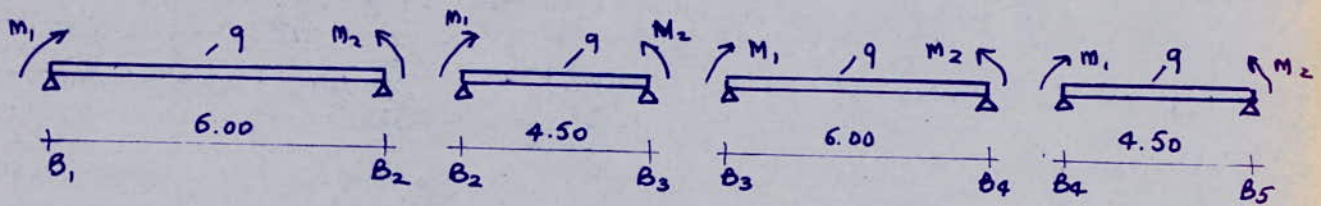
| | Travée B ₁ B ₂ | | | Travée B ₂ B ₃ | | | Travée B ₃ B ₄ | | | Travée B ₄ B ₅ | | |
|---------------------------------|--------------------------------------|--------|----------------------|--------------------------------------|--------|----------------------|--------------------------------------|--------|----------------------|--------------------------------------|----------------------|--------|
| | Appui B ₁ | Travée | Appui B ₂ | Appui B ₂ | Travée | Appui B ₃ | Appui B ₃ | Travée | Appui B ₄ | Travée | Appui B ₄ | Travée |
| G+1,2P | 2,85 | 9,03 | -10,92 | 9,64 | 0,46 | -7,19 | 8,07 | 6,43 | -10,43 | 9,97 | 3,98 | -0,86 |
| G+P+V | 2,47 | 8,88 | -10,85 | 9,22 | 0,42 | -7,16 | 7,71 | 6,77 | -9,29 | 9,47 | 3,74 | -1,21 |
| G+P-V | 3,09 | 8,72 | -10,43 | 9,56 | 0,48 | -6,76 | 8,01 | 6,74 | -9,03 | 9,95 | 4,00 | -0,51 |
| G+1,5P+1,5V | 2,50 | 9,53 | -11,66 | 9,76 | 0,45 | -7,72 | 8,16 | 6,73 | -11,03 | 10,00 | 3,97 | -1,39 |
| G+1,5P-1,5V | 3,43 | 9,28 | -11,03 | 10,27 | 0,54 | -7,12 | 8,61 | 6,68 | -20,64 | 10,72 | 4,33 | -0,40 |
| G+P+S _I ↓ | 3,03 | 9,58 | -11,58 | 10,22 | 0,47 | -7,61 | 8,56 | 7,30 | -10,06 | 10,57 | 4,22 | -0,91 |
| G+P+S _I ↑ | 0,12 | 9,61 | -12,41 | 7,96 | 0,26 | -8,65 | 6,54 | 6,89 | -10,30 | 7,66 | 3,04 | -3,66 |
| G+P-S _I ↑ | 5,44 | 7,68 | -9,87 | 10,82 | 0,78 | -5,23 | 9,18 | 6,66 | -8,02 | 11,76 | 5,07 | +1,96* |
| Moment max sous SP ₁ | 3,09 | 9,03 | -10,92 | 9,64 | 0,48 | -7,16 | 8,07 | 6,74 | -10,43 | 9,97 | 4,00 | -1,21 |
| Moment max sous SP ₂ | 5,44 | 9,61 | -12,41 | 10,82 | 0,78 | -8,65 | 9,18 | 7,30 | -11,03 | 11,76 | 5,07 | -3,66 |

* 1,96 positif ⇒ fibre inférieure tendue (à vérifier).

| | Travée B ₁ B ₂ | | Travée B ₂ B ₃ | | Travée B ₃ B ₄ | | Travée B ₄ B ₅ | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|----------------|--------------------------------------|----------------|--------------------------------------|----------------|--------------------------------------|----------------|
| | B ₁ | B ₂ | B ₂ | B ₃ | B ₃ | B ₄ | B ₄ | B ₅ |
| G + 1,2P | 9,10 | 11,79 | 8,39 | 7,27 | 10,05 | 10,83 | 9,85 | 5,81 |
| G + P + V | 8,77 | 11,57 | 8,09 | 7,15 | 9,91 | 10,43 | 9,46 | 5,80 |
| G + P - V | 8,95 | 11,39 | 8,25 | 7,01 | 10,00 | 10,34 | 9,76 | 5,50 |
| G + 1,5P + 1,5V | 9,33 | 12,39 | 8,60 | 7,69 | 10,38 | 11,34 | 10,06 | 6,23 |
| G + 1,5P - 1,5V | 9,59 | 12,13 | 8,85 | 7,44 | 10,52 | 11,20 | 10,44 | 5,85 |
| G + P + SI ↓ | 9,65 | 12,43 | 8,88 | 7,73 | 10,82 | 11,32 | 10,45 | 6,16 |
| G + P + \vec{SI} | 8,12 | 12,22 | 7,47 | 7,79 | 9,54 | 10,80 | 8,52 | 6,74 |
| G + P - \vec{SI} | 9,43 | 11,91 | 8,87 | 6,39 | 10,36 | 9,98 | 10,68 | 4,58 |
| T _{max} sous SP ₁ | 9,10 | 11,79 | 8,39 | 7,27 | 10,05 | 10,83 | 9,85 | 5,81 |
| T _{max} sous SP ₂ | 9,65 | 12,49 | 8,88 | 7,79 | 10,82 | 11,34 | 10,68 | 6,74 |

| | A ₁ B ₁ | B ₁ A ₁ | B ₁ B ₂ | B ₂ B ₃ | B ₂ A ₂ | A ₂ B ₂ | B ₃ B ₄ | B ₃ A ₃ | A ₃ B ₃ | B ₄ B ₃ | B ₄ B ₅ | A ₄ B ₄ | B ₄ A ₄ | B ₄ B ₅ | B ₅ A ₅ | A ₅ B ₅ | |
|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------|
| G | -0,681 | -1,363 | -5,211 | +7,598 | 0,613 | +0,305 | -3,413 | +3,851 | -0,158 | -0,219 | -9,977 | +4,756 | +0,221 | +0,140 | -0,912 | +0,912 | +0,206 |
| P | -0,092 | -0,185 | +0,185 | -0,106 | +0,623 | +0,044 | -0,463 | +0,522 | -0,059 | -0,030 | -0,675 | +0,645 | +0,030 | +0,015 | -0,056 | +0,056 | +0,028 |
| V | +0,474 | +0,154 | -0,154 | -0,103 | +0,185 | +0,190 | -0,100 | -0,077 | +0,177 | +0,186 | -0,066 | -0,119 | +0,184 | +0,190 | -0,163 | +0,163 | +0,179 |
| SI ↓ | -0,70 | +0,140 | +0,140 | -0,034 | +0,471 | +0,063 | -0,350 | +0,394 | -0,045 | -0,022 | -0,510 | +0,487 | +0,023 | +0,011 | -0,042 | +0,042 | +0,021 |
| \vec{S} | +1,435 | +1,579 | -1,579 | -1,054 | +1,898 | +1,948 | -1,028 | -0,787 | +1,816 | +1,902 | -0,677 | -1,218 | +1,890 | +1,943 | -1,673 | +1,673 | +1,833 |
| G + 1,2P | -0,791 | -1,585 | +1,585 | -6,058 | +5,346 | +0,713 | +0,354 | -3,968 | -3,968 | -0,509 | -0,977 | +4,977 | -0,509 | +0,128 | -0,479 | +0,479 | +0,250 |
| G + P + V | -0,599 | -1,394 | +1,394 | -6,020 | +5,128 | +0,884 | +0,536 | -3,976 | -3,976 | +4,296 | -0,320 | -0,674 | -0,435 | -0,665 | -0,345 | +0,345 | +0,055 |
| G + P - V | -0,947 | -1,702 | +1,702 | -5,814 | +5,304 | +0,504 | +0,156 | -3,736 | -3,736 | +4,460 | -0,674 | -0,435 | -0,261 | -0,065 | -0,065 | +0,065 | +0,055 |
| G + 1,5P + 1,5V | -0,558 | -1,440 | +1,440 | -6,425 | +5,408 | +1,015 | +0,367 | -4,258 | -4,258 | +4,519 | -0,261 | +0,015 | -0,261 | +0,572 | +0,918 | -0,744 | +0,517 |
| G + 1,5P - 1,5V | -1,080 | -1,872 | +1,872 | -6,116 | +5,657 | +0,460 | +0,082 | -3,958 | -3,958 | +4,634 | -0,792 | -0,543 | -0,101 | -0,153 | -0,252 | +0,252 | -0,021 |
| G + P + SI ↓ | -0,843 | -1,686 | +1,686 | -6,451 | +5,692 | +0,759 | +0,377 | -4,226 | -4,226 | +4,767 | -0,542 | -0,271 | +6,162 | +5,888 | -0,510 | +0,510 | +0,255 |
| G + P + \vec{S} | +0,662 | +0,031 | -0,031 | -6,971 | +4,572 | +2,594 | +2,294 | -4,905 | -4,905 | +3,586 | +1,819 | +1,653 | +9,183 | +2,144 | +2,441 | +2,141 | +2,067 |
| G + P - \vec{S} | -2,108 | -3,127 | +3,127 | -4,863 | +6,070 | +1,202 | -1,602 | -2,847 | -2,847 | +5,160 | -2,313 | -2,151 | -4,975 | +6,619 | -1,659 | -1,822 | -1,599 |

Moment en travée dans la poutre B₁B₅ :



$$G + 1,2P : q = 1,93 \text{ t/m}$$

Travée B₁B₂ :

$$M_1 = 1,585 \quad M_2 = -6,058$$

$$M(x) = \frac{1,93 \times 6}{2} x - \frac{1,93}{2} x^2 - 1,585 + \frac{1,585 - 6,058}{6} x$$

$$M(x) = 5,04x - \frac{1,93}{2} x^2 - 1,585$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,34 \\ 4,89 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 5,04 \text{ tm pour } x = 2,61$$

$$T = 5,04 \text{ t pour } x = 0 \quad T = 6,54 \text{ t pour } x = 6$$

Travée B₃B₄ :

$$M_1 = 4,477 \quad M_2 = -5,787$$

$$M(x) = \frac{1,93 \times 6}{2} x - \frac{1,93}{2} x^2 - 4,477 + \frac{4,477 - 5,787}{6} x$$

$$M(x) = 5,11x - \frac{1,93}{2} x^2 - 4,477$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,11 \\ 4,19 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 2,29 \text{ tm pour } x = 2,65$$

$$T = 5,11 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 6,47 \text{ t pour } x = 6$$

Travée B₂B₃

$$M_1 = 5,346 \quad M_2 = -3,969$$

$$M(x) = \frac{1,93 \times 4,5}{2} x - \frac{1,93}{2} x^2 - 5,346 + \frac{5,346 - 3,969}{4,5} x$$

$$M(x) = 4,65x - \frac{1,93}{2} x^2 - 5,346$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,90 \\ -2,92 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 0,25 \text{ tm pour } x = 2,41$$

$$T = 4,65 \text{ t pour } x = 0 \quad T = 4,04 \text{ t pour } x = 4,5$$

Travée B₄B₅

$$M_1 = 5,530 \quad M_2 = -0,479$$

$$M(x) = \frac{1,93 \times 4,5}{2} x - \frac{1,93}{2} x^2 - 5,530 + \frac{5,530 - 0,479}{4,5} x$$

$$M(x) = 5,46x - \frac{1,93}{2} x^2 - 5,530$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,32 \\ 4,34 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 2,21 \text{ tm pour } x = 2,83$$

$$T = 5,46 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 3,23 \text{ t pour } x = 4,5$$

Sous G+P+V

$$q = 1,89 \text{ t/m}$$

Travée B₁B₂:

$$M_1 = 1,394 \quad M_2 = -6,020$$

$$M(x) = \frac{1,89 \times 6}{2} x - \frac{1,89}{2} x^2 - 1,394 + \frac{1,394 - 6,020}{6} x$$

$$M(x) = 4,90x - \frac{1,89}{2} x^2 - 1,394$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,30 \\ 4,88 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 4,96 \text{ tm pour } x = 2,59$$

$$T = 4,90 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 6,44 \text{ t pour } x = 6$$

Travée B₃B₄:

$$M_1 = 4,296 \text{ t} \quad M_2 = -5,718$$

$$M(x) = \frac{1,89 \times 6}{2} x - \frac{1,89}{2} x^2 - 4,296 + \frac{4,296 - 5,718}{6} x$$

$$M(x) = 5,43x - \frac{1,89}{2} x^2 - 4,296$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,95 \\ 4,80 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 3,51 \text{ tm pour } x = 2,87$$

$$T = 5,43 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 5,91 \text{ t pour } x = 6$$

Travée B₂B₃:

$$M_1 = 5,128 \text{ tm} \quad M_2 = 3,976$$

$$M(x) = \frac{1,89 \times 4,5}{2} x - \frac{1,89}{2} x^2 - 5,128 + \frac{5,128 - 3,976}{4,5} x$$

$$M(x) = 4,51x - \frac{1,89}{2} x^2 - 5,128$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,87 \\ 2,90 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 0,25 \text{ tm pour } x = 2,39$$

$$T = 4,81 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 4,00 \text{ t pour } x = 4,5$$

Travée B₄B₅:

$$M_1 = 5,082 \quad M_2 = -0,631$$

$$M(x) = \frac{1,89 \times 4,5}{2} x - \frac{1,89}{2} x^2 - 5,082 + \frac{5,082 - 0,631}{4,5} x$$

$$M(x) = 5,24x - \frac{1,89}{2} x^2 - 5,082$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,25 \\ 4,29 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 2,19 \text{ tm pour } x = 2,77$$

$$T = 5,24 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 3,27 \text{ t pour } x = 4,5$$

G+P-V :

$$q = 1,89 \text{ t/m}$$

Travée B₁B₂ :

$$M_1 = 1,702 \text{ tm} \quad M_2 = -5,814 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{1,89 \times 6}{2} x - \frac{1,89 x^2}{2} - 1,702 + \frac{1,702 - 5,814}{6} x$$

$$M(x) = 4,98x - \frac{1,89}{2} x^2 - 1,702$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,37 \\ 4,91 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 4,87 \text{ tm pour } x = 2,64$$

$$T = 4,98 \text{ pour } x = 0$$

$$T = 6,36 \text{ pour } x = 6$$

Travée B₂B₃ :

$$M_1 = 5,304 \quad M_2 = -3,776$$

$$M(x) = \frac{1,89 \times 4,5}{2} x - \frac{1,89}{2} x^2 - 5,304 + \frac{5,304 - 3,776}{4,5} x$$

$$M(x) = 4,59x - \frac{1,89}{2} x^2 - 5,303$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,89 \\ 2,97 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 0,27 \text{ tm pour } x = 2,43$$

$$T = 4,59 \text{ pour } x = 0$$

$$T = 3,92 \text{ pour } x = 4,5$$

Travée B₃B₄ :

$$M_1 = 4,519 \quad M_2 = -5,586$$

$$M(x) = \frac{1,89 \times 6}{2} x - \frac{1,89}{2} x^2 - 4,519 + \frac{4,519 - 5,586}{6} x$$

$$M(x) = 5,49x - \frac{1,89}{2} x^2 - 4,519$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,99 \\ 4,82 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 3,46 \text{ tm pour } x = 2,91$$

$$T = 5,49 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 5,85 \text{ t pour } x = 6$$

Travée B₄B₅ :

$$M_1 = 5,520 \quad M_2 = -0,305$$

$$M(x) = \frac{1,89 \times 4,5}{2} x - \frac{1,89}{2} x^2 - 5,520 + \frac{5,520 - 0,305}{4,5} x$$

$$M(x) = 5,41x - \frac{1,89}{2} x^2 - 5,520$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,33 \\ 4,40 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 2,23 \text{ tm pour } x = 2,86$$

$$T = 5,41 \text{ pour } x = 0$$

$$T = 3,10 \text{ pour } x = 4,5$$

Sous $G + 1,5P + 1,5V$:

$$q = 2,00 \text{ t/m}$$

Travée $B_1 B_2$:

$$M_1 = 1,410 \quad M_2 = -6,425$$

$$M(x) = \frac{2,00 \times 6}{2} x - \frac{2x^2}{2} - 1,41 + \frac{1,410 - 6,425}{6} x$$

$$M(x) = 5,16x - x^2 - 1,41$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,29 \\ 4,87 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 5,26 \text{ tm pour } x = 2,58$$

$$T = 5,16 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 6,84 \text{ t pour } x = 6$$

Travée $B_3 B_4$:

$$M_1 = 4,450 \quad M_2 = -6,089$$

$$M(x) = \frac{2,00 \times 6}{2} x - \frac{2,00}{2} x^2 - 4,450 + \frac{4,450 - 6,089}{6} x$$

$$M(x) = 5,73x - x^2 - 4,450$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,93 \\ 4,80 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 3,75 \text{ tm pour } x = 2,86$$

$$T = 5,73 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 6,27 \text{ t pour } x = 6$$

Travée $B_2 B_3$:

$$M_1 = 5,408 \quad M_2 = -4,258$$

$$M(x) = \frac{2 \times 4,5}{2} x - \frac{2x^2}{2} - 5,408 + \frac{5,408 - 4,258}{4,5} x$$

$$M(x) = 4,76 - \frac{2x^2}{2} - 5,408$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,88 \\ 2,87 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 0,25 \text{ tm pour } x = 2,38$$

$$T = 4,76 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 4,24 \text{ t pour } x = 4,5$$

Travée $B_4 B_5$:

$$M_1 = 5,545 \text{ tm} \quad M_2 = -0,741 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,00 \times 4,5}{2} x - \frac{2,00}{2} x^2 - 5,545 + \frac{5,545 - 0,741}{4,5} x$$

$$M(x) = 5,57x - x^2 - 5,545$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,30 \\ 4,27 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 2,20 \text{ tm pour } x = 2,78$$

$$T = 5,57 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 3,43 \text{ t pour } x = 4,5$$

$$\underline{G + 1,5P = 1,5V :}$$

$$q = 2,00 \text{ t/m}$$

Travée B₁B₂ :

$$M_1 = 1,872 \text{ tm} \quad M_2 = -6,116$$

$$M(x) = \frac{2,00 \times 6}{2} x - \frac{2,00}{2} x^2 - 1,872 + \frac{1,872 - 6,116}{6} x$$

$$M(x) = 5,29x - x^2 - 1,872$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,30 \\ 4,91 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 5,13 \text{ tm} \text{ pour } x = 2,65$$

$$T = 5,29 \text{ t} \text{ pour } x = 0$$

$$T = 6,71 \text{ t} \text{ pour } x = 6$$

Travée B₂B₃ :

$$M_1 = 5,65 \text{ t} \quad M_2 = -3,958$$

$$M(x) = \frac{2,00 \times 4,5}{2} x - \frac{2,00}{2} x^2 - 5,657 + \frac{5,657 - 3,958}{4,5} x$$

$$M(x) = 4,88x$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,80 \\ 2,98 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 0,29 \text{ tm} \text{ pour } x = 2,44$$

$$T = 4,88 \text{ t} \text{ pour } x = 0$$

$$T = 4,12 \text{ t} \text{ pour } x = 4,5$$

Travée B₃B₄ :

$$M_1 = 4,634 \quad M_2 = -5,891$$

$$M(x) = \frac{2,00 \times 6}{2} x - \frac{2,00}{2} x^2 - 4,634 + \frac{4,634 - 5,891}{6} x$$

$$M(x) = 5,79x - x^2 - 4,634$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,96 \\ 4,83 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 3,75 \text{ tm} \text{ pour } x = 2,90$$

$$T = 5,79 \text{ t} \text{ pour } x = 0$$

$$T = 6,21 \text{ t} \text{ pour } x = 6$$

Travée B₄B₅ :

$$M_1 = 5,902 \quad M_2 = -0,252$$

$$M(x) = \frac{2,00 \times 4,5}{2} x - \frac{2,00}{2} x^2 - 5,902 + \frac{5,902 - 0,252}{4,5} x$$

$$M(x) = 5,76x - \frac{2,00}{2} x^2 - 5,902$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,34 \\ 4,42 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 2,38 \text{ tm} \text{ pour } x = 2,88$$

$$T = 5,76 \text{ t} \text{ pour } x = 0$$

$$T = 3,24 \text{ t} \text{ pour } x = 4,5$$

Sous G + P + SIV

$$q = 2,06 \text{ t/m}$$

Travée B₁B₂ :

$$M_1 = 1,688 \text{ tm} \quad M_2 = -6,451$$

$$M(x) = \frac{2,06 \times 6}{2} x - \frac{2,06}{2} x^2 - 1,688 + \frac{1,688 - 6,451}{6} x$$

$$M(x) = 5,39x - \frac{2,06}{2} x^2 - 1,688$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,33 \\ 4,82 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 5,35 \text{ tm} \text{ pour } x = 2,61$$

$$T = 5,39 \text{ pour } x = 0$$

$$T = 6,97 \text{ pour } x = 6$$

Travée B₃B₄ :

$$M_1 = 4,767 \text{ tm} \quad M_2 = -6,329 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,06 \times 6}{2} x - \frac{2,06}{2} x^2 - 4,767 + \frac{4,767 - 6,329}{6} x$$

$$M(x) = 5,92x - \frac{2,06}{2} x^2 - 4,767$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,97 \\ 4,78 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 3,74 \text{ tm} \text{ pour } x = 2,87$$

$$T = 5,92 \text{ pour } x = 0$$

$$T = 6,44 \text{ pour } x = 6$$

Travée B₂B₃ :

$$M_1 = 5,692 \text{ tm} \quad M_2 = -4,226$$

$$M(x) = \frac{2,06 \times 4,5}{2} x - \frac{2,06}{2} x^2 - 5,692 + \frac{5,692 - 4,226}{4,5} x$$

$$M(x) = 4,96x - \frac{2,06}{2} x^2 - 5,692$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,89 \\ 2,93 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 0,28 \text{ tm} \text{ pour } x = 2,41$$

$$T = 4,96 \text{ pour } x = 0$$

$$T = 4,31 \text{ pour } x = 4,5$$

Travée B₄B₅ :

$$M_1 = 5,888 \text{ tm} \quad M_2 = -0,510 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{2,06 \times 4,5}{2} x - \frac{2,06}{2} x^2 - 5,888 + \frac{5,888 - 0,510}{4,5} x$$

$$M(x) = 5,83x - \frac{2,06}{2} x^2 - 5,888$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,32 \\ 4,34 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 2,36 \text{ tm} \text{ pour } x = 2,83$$

$$T = 5,83 \text{ pour } x = 0$$

$$T = 3,44 \text{ pour } x = 4,5$$

Sous $G + P + \vec{S}_I$

$$q = 1,89 \text{ t/m}$$

Travée $B_1 B_2$:

$$M_1 = -0,031 \text{ tm} \quad M_2 = -6,971 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{1,89 \times 6}{2} x - \frac{1,89}{2} x^2 + 0,031 - \frac{0,031 + 6,971}{6} x$$

$$M(x) = 4,50x - \frac{1,89}{2} x^2 + 0,031$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 4,77 \\ - \end{cases}$$

$$M_{\max} = 5,40 \text{ tm pour } x = 2,38$$

$$T = 4,50 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 6,84 \text{ t pour } x = 6$$

Travée $B_3 B_4$:

$$M_1 = 3,586 \text{ tm} \quad M_2 = -6,329 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{1,89 \times 6}{2} x - \frac{1,89}{2} x^2 - 3,586 + \frac{3,586 - 6,329}{6} x$$

$$M(x) = 5,21x - \frac{1,89}{2} x^2 - 3,586$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,81 \\ 4,71 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 3,60 \text{ tm pour } x = 2,76$$

$$T = 5,21 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 6,13 \text{ t pour } x = 6$$

Travée $B_2 B_3$:

$$M_1 = 4,372 \text{ tm} \quad M_2 = -4,905 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{1,89 \times 4,5}{2} x - \frac{1,89}{2} x^2 - 4,372 + \frac{4,372 - 4,905}{4,5} x$$

$$M(x) = 4,13x - \frac{1,89}{2} x^2 - 4,372$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,59 \\ 2,58 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 0,15 \text{ tm pour } x = 2,19$$

$$T = 4,13 \text{ pour } x = 0$$

$$T = 4,38 \text{ pour } x = 4,5$$

Travée $B_4 B_5$:

$$M_1 = 4,183 \text{ tm} \quad M_2 = -2,141 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{1,89 \times 4,5}{2} x - \frac{1,89}{2} x^2 - 4,183 + \frac{4,183 - 2,141}{4,5} x$$

$$M(x) = 4,71x - \frac{1,89}{2} x^2 - 4,183$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,16 \\ 3,82 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 1,68 \text{ tm pour } x = 2,49$$

$$T = 4,71 \text{ pour } x = 0$$

$$T = 3,80 \text{ pour } x = 4,5$$

$$G + P - \vec{S} \uparrow :$$

$$q = 1,89 \text{ t/m}$$

Travée B₁B₂ :

$$M_1 = 3,127 \text{ tm} \quad M_2 = -4,863 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{1,89 \times 6}{2} x - \frac{1,89}{2} x^2 - 3,127 + \frac{3,127 - 4,863}{6} x$$

$$M(x) = 5,38 x - \frac{1,89}{2} x^2 - 3,127$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 0,66 \\ 5,04 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 4,53 \text{ tm pour } x = 2,85$$

$$T = 5,38 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 5,96 \text{ t pour } x = 6$$

Travée B₃B₄ :

$$M_1 = 5,160 \text{ tm} \quad M_2 = -4,975 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{1,89 \times 6}{2} x - \frac{1,89}{2} x^2 - 5,160 + \frac{5,160 - 4,975}{6} x$$

$$M(x) = 5,70 x - \frac{1,89}{2} x^2 - 5,160$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,11 \\ 4,92 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 3,44 \text{ tm pour } x = 3,02$$

$$T = 5,70 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 5,64 \text{ t pour } x = 6$$

Travée B₂B₃ :

$$M_1 = 6,070 \text{ tm} \quad M_2 = -2,847 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{1,89 \times 4,5}{2} x - \frac{1,89}{2} x^2 - 6,070 + \frac{6,070 - 2,847}{4,5} x$$

$$M(x) = 4,97 x - \frac{1,89}{2} x^2 - 6,070$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,93 \\ 3,33 \end{cases}$$

$$M_{\max} = 0,46 \text{ tm pour } x = 2,63$$

$$T = 4,97 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 3,54 \text{ t pour } x = 4,5$$

Travée B₄B₅ :

$$M_1 = 6,619 \text{ tm} \quad M_2 = +1,205 \text{ tm}$$

$$M(x) = \frac{1,89 \times 4,5}{2} x - \frac{1,89}{2} x^2 - 6,619 + \frac{6,619 + 1,205}{4,5} x$$

$$M(x) = 5,99 x - \frac{1,89}{2} x^2 - 6,619$$

$$M(x) = 0 \text{ pour } x = \begin{cases} 1,43 \\ - \end{cases}$$

$$M_{\max} = 2,88 \text{ tm pour } x = 3,17$$

$$T = 5,99 \text{ t pour } x = 0$$

$$T = 2,52 \text{ t pour } x = 4,5$$

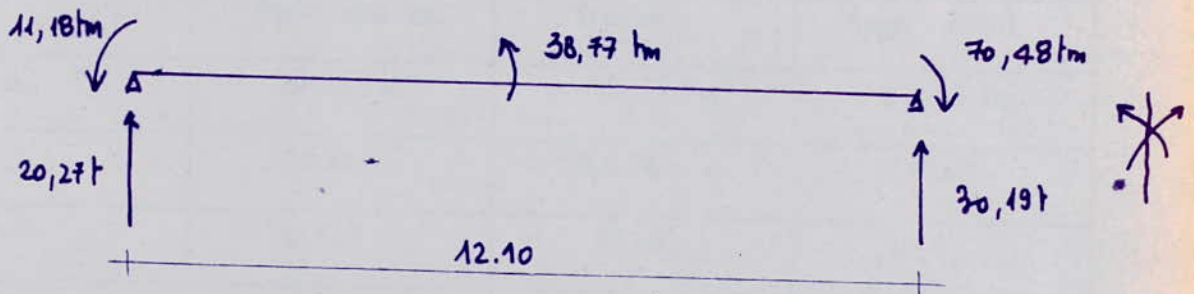
Effort tranchant dans la poutre (normal dans les poteaux)

| | Travée B ₁ B ₂ | | Travée B ₂ B ₃ | | Travée B ₂ B ₄ | | Travée B ₄ B ₅ | | Travée B ₁ B ₅ | | Travée B ₂ B ₄ | | Travée B ₄ B ₅ | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|-----------------------|----------------------|------|------|------|------|------|
| | Appui B ₁ | Travée B ₂ | Appui B ₂ | Appui B ₂ | Travée B ₃ | Appui B ₃ | Appui B ₃ | Travée B ₄ | Appui B ₄ | Appui B ₄ | Travée B ₅ | Appui B ₅ | Appui B ₅ | Travée B ₄ | Appui B ₅ | | | | | |
| G+1,2P | 4,59 | 5,01 | 6,06 | 5,35 | 0,25 | -3,97 | 4,48 | 2,29 | 5,39 | 5,53 | 2,21 | 0,48 | 5,04 | 6,54 | 4,65 | 4,04 | 5,11 | 6,41 | 5,96 | 3,23 |
| G+P+V | 4,39 | 4,96 | 6,02 | 5,13 | 0,25 | 3,98 | 4,30 | 3,51 | 5,32 | 5,08 | 2,49 | 0,63 | 4,90 | 6,44 | 4,51 | 4,00 | 5,95 | 5,91 | 5,24 | 3,27 |
| G+P-V | 4,70 | 4,87 | 5,81 | 5,30 | 0,27 | 3,78 | 4,52 | 3,46 | 5,59 | 5,52 | 2,23 | 0,31 | 4,98 | 6,36 | 4,59 | 3,92 | 5,99 | 5,85 | 5,41 | 3,10 |
| G+1,5P+1,5V | 4,41 | 5,26 | 6,43 | 5,41 | 0,25 | 4,26 | 4,95 | 3,75 | 6,09 | 5,55 | 2,20 | 0,34 | 5,16 | 6,84 | 4,76 | 4,24 | 5,73 | 6,27 | 5,57 | 3,43 |
| G+1,5P-1,5V | 4,87 | 5,13 | 6,12 | 5,65 | 0,29 | 3,96 | 4,63 | 3,75 | 5,89 | 5,90 | 2,38 | 0,25 | 5,29 | 6,74 | 4,88 | 4,12 | 5,75 | 6,21 | 5,76 | 3,24 |
| G+P+S ₁ ↓ | 4,69 | 5,35 | 6,45 | 5,69 | 0,28 | 4,23 | 4,77 | 3,74 | 6,33 | 5,86 | 2,36 | 0,51 | 5,39 | 6,97 | 4,96 | 4,31 | 5,92 | 6,44 | 5,83 | 3,44 |
| G+P+S ₁ → | 0,03 | 5,40 | 6,97 | 4,37 | 0,15 | 4,91 | 3,59 | 3,60 | 6,33 | 4,18 | 1,68 | 2,41 | 4,50 | 6,84 | 4,13 | 4,38 | 5,21 | 6,13 | 4,71 | 3,80 |
| G+P-S ₁ → | 3,13 | 4,53 | 4,86 | 6,07 | 0,46 | 2,85 | 5,16 | 3,44 | 4,98 | 6,62 | 2,88 | 1,21* | 5,38 | 5,96 | 4,97 | 3,54 | 5,70 | 5,64 | 5,99 | 2,52 |
| Max sous SP ₁ | 4,70 | 5,01 | 6,06 | 5,35 | 0,27 | 3,98 | 4,52 | 3,51 | 5,79 | 5,52 | 2,23 | 0,63 | 5,04 | 6,54 | 4,65 | 4,04 | 5,99 | 6,97 | 5,46 | 3,27 |
| Max sous SP ₂ | 3,13 | 5,40 | 6,97 | 6,07 | 0,46 | 4,91 | 5,16 | 3,75 | 6,33 | 6,62 | 2,88 | 2,41 | 5,38 | 6,97 | 4,97 | 4,38 | 5,92 | 6,44 | 5,99 | 3,80 |

* Valeur de poutre - visser l'armature de poutre de poutre de poutre

— CHAPITRE VI

FERRAILLAGE DES PORTIQUES —

Poutres intermédiaires :

- $M = 70,48 \text{ tm}$ est calculé sur l'axe de l'appui.

Pour calculer les armatures de cet appui, on détermine le moment au nu de l'appui car le premier est trop grand.

Equation moment: $\frac{4,17}{2}x^2 + 20,33x - 11,18$

Au nu de l'appui: $x = 1210 - 25 = 1185 \text{ cm} = 11,85 \text{ m} \Rightarrow M = 63,05 \text{ tm}$

Section de la poutre: 100×30 $ht = 100 \text{ cm}$

On est en milieu visible. L'enfouage doit être plus grand que 2 cm et on prévoit pour les armatures longitudinales des paquets de 2 barres de T25

$$h = 100 - 2,5 - 2,5 = 95 \text{ cm}$$

2,5 enfouage 2,5 \varnothing de barres

Détermination des armatures longitudinales:

Méthode des μ : $R = \frac{15}{n} \frac{\sigma_a}{\sigma'_b}$ $n = 15$ (haute adhérence) $\Rightarrow k = \frac{\sigma_a}{\sigma'_b}$

$\alpha = \frac{15}{15+k}$ $\cdot y_1 = \alpha h$ $E = 1 - \frac{\alpha}{3}$ $\epsilon = \epsilon h$

$\mu' = \frac{M}{\sigma'_b b h^2}$ $\mu = \frac{15M}{\sigma_a b h^2}$ $A = \frac{\bar{w} b h}{100}$

$\sigma_a = 2800 \text{ kg/cm}^2$ barres à haute adhérence dont le diamètre est ≤ 20
 $\sigma_a = 2667 \text{ kg/cm}^2$ " " " " " " > 25

| | Appui gauche | Travée | Appui droit |
|----------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Moment M | 11,18 tm | 38,77 tm | 63,05 tm |
| μ | 0,0221 | 0,0767 | 0,1309 |
| R | 61,5 | 29,3 | 20,7 |
| σ'_b | 95,53 | 95,56 | 128,84 |
| $\bar{\omega}$ | 0,160 | 0,578 | 1,015 |
| A (calculée) | 4,56 | 16,47 | 28,92 |
| A (choisie) | 3T16 \Rightarrow 6,03 | 6T20 \Rightarrow 18,84 | 6T25 \Rightarrow 29,45 |

Condition de non fragilité :

$$\frac{A}{b_0 h} \geq \psi_4 \frac{\bar{\sigma}_b}{\bar{\sigma}_a} \left(\frac{h}{h} \right)^2$$

$\psi_4 = 0,54$ pour les aciers écroués

Vérifions cette condition pour l'appui gauche où on a une faible section d'armature :

$$A \geq \psi_4 \frac{\bar{\sigma}_b}{\bar{\sigma}_a} \frac{h^2 b_0}{h}$$

$$A \geq 0,54 \times \frac{5,9}{2800} \times \frac{100^2 \times 30}{95} = 3,59 \text{ cm}^2$$

$$A \geq 3,59 \text{ cm}^2$$

$$A = 6,03 \text{ cm}^2 > 3,59 \text{ cm}^2$$

Fissuration

Vérification de la contrainte admissible de traction de l'acier :

$$\bar{\sigma}_a = \text{minimum} \begin{cases} \max \{ \sigma_1, \sigma_2 \} \\ \frac{2}{3} \sigma_{en} \end{cases}$$

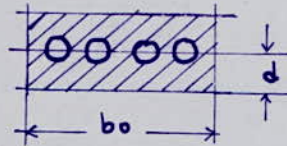
$$\sigma_1 = k \frac{\eta}{\phi} \frac{\bar{\omega} f}{1 + 10 \bar{\omega} f}$$

$$\sigma_2 = 2,4 \sqrt{\frac{\eta R \bar{\sigma}_b}{\phi}}$$

On est en atmosphère préjudiciable $R = 10^6$

$\eta = 1,6$ (acier à haute adhérence)

$$\bar{\omega} f = \frac{A}{B_f}$$



$$B_f = b_0 \times 2d$$

| | Appui gauche | Travée | Appui droit |
|------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| A | 6,03 | 18,84 | 29,45 |
| B_f | $5 \times 30 = 150$ | $10 \times 30 = 30$ | $10 \times 30 = 300$ |
| $\bar{\omega} f$ | 0,040 | 0,070 | 0,098 |
| σ_1 | 2857 | 3085 | 3167 |
| σ_2 | 1843 | 1648 | 1474 |
| $\bar{\sigma}_a$ | 2800 | 2800 | 2667 |

Cisaillement :

Contrainte de cisaillement maximum qu'on ne devrait pas dépasser
(article 25.12 C.C.B.A 6B)

$$\tau_d \leq 3,5 \bar{\sigma}_b \quad \text{si} \quad \sigma'_b < \bar{\sigma}'_{b_0}$$

$$\tau_d \leq \left(4,5 - \frac{\sigma'_b}{\bar{\sigma}'_{b_0}}\right) \bar{\sigma}_b \quad \text{si} \quad \bar{\sigma}'_{b_0} \leq \sigma'_b \leq 2 \bar{\sigma}'_{b_0}$$

| | Appui gauche | Tréessée | Appui droit |
|---------------------------|--------------|----------|-------------|
| σ'_{b} | 45,53 | 95,56 | 128,22 |
| $\tau_b \text{ max}$ | 20,65 | 18,20 | 15,34 |
| $z = \epsilon h$ | 90 | 84 | 82 |
| $\tau_b \text{ effectif}$ | 7,50 | - | 12,27 |

$$\tau \text{ effectif} = \frac{T}{bz}$$

Contrainte admissible dans les armatures transversales :

$$\bar{\sigma}_{at} = \rho_{at} \sigma_{en} \quad \rho_{at} = 1 - \frac{\tau_d}{9\bar{\sigma}_b} \quad \text{avec un maximum de } \frac{2}{3}$$

on tièra la reprise du bétoumage .

$$\rho_{at} = 1 - \frac{12,27}{9 \times 5,9} = 0,769 > \frac{2}{3}$$

$$\Rightarrow \bar{\sigma}_{at} = \frac{2}{3} \sigma_{en} = \frac{2 \times 2200}{3} = 1467 \text{ kg/cm}^2$$

Les armatures transversales seront constituées d'un cadre et d'un étrier de $\phi 10 \Rightarrow 4$ brins de $\phi 10 \Rightarrow A_t = 3,14 \text{ cm}^2$

Espacement des armatures transversales (CCBA 68 Art 25.12)

$$\bar{E} = \max(t_1 - t_2)$$

espacement des armatures transversales .

$$t_1 = h \left(1 - \frac{0,3 \tau_d}{\bar{\sigma}_b} \right)$$

$$t_2 = 0,2h$$

$$\text{et } t = \frac{A_t \bar{\sigma}_{at}}{T}$$

- 6x20 = 120
- 5x35 = 175
- 7x25 = 175
- 6x16 = 96
- 7x25 = 175
- 4x35 = 140
- 6x20 = 120
- 6x13 = 78
- 6x11 = 66

11,45

$$1145 = 1210 - 50 - \frac{20}{2} - \frac{11}{2} = 1145,5 \text{ cm}$$

| | Appui droit | Appui gauche |
|--|-------------|--------------|
| $t_1 = h \left(1 - \frac{0,3 \bar{\sigma}_d}{\bar{\sigma}_b}\right)$ | 59 | 36 cm |
| $t_2 = 0,2h$ | 19 cm | 19 cm |
| $\frac{A t_2 \bar{\sigma}_d}{5}$ | 20,50 cm | 12,5 |
| t | 20 cm | 11 cm |

Entraînement des ancrages: Les règles CCBA 68 fixent une contrainte d'adhérence admissible pour l'entraînement et une autre pour l'encrage. On opère dans ce qui suit avec la même contrainte d'adhérence admissible, c'est-à-dire, la plus petite fixée par les règlements (art 29.1 et art 30.21)

$$\bar{\sigma}_d = 24 \bar{\sigma}_b \quad \text{art 29.1} \quad \text{entraînement}$$

$$\bar{\sigma}_d = 12,5 \psi_1^2 \bar{\sigma}_b \quad \text{art 30.21} \quad \text{encrage}$$

donc, pour nous: $\bar{\sigma}_d = 1,25 \psi_1^2 \bar{\sigma}_b = 1,25 \times 1,5^2 \times 5,9 = 16,60 \text{ kg/cm}^2$

- Condition de non entraînement: $\bar{\sigma}_d = \frac{T}{3 p_{u,i}} \times \frac{A_i}{A}$

A = section totale des armatures tendues

A_i = section d'une barre i , ou d'un paquet de barres

$p_{u,i}$ = périmètre utile d'une barre i , ou d'un paquet de barres

On vérifiera la condition aux appuis:

Appuis B_1/B_3 : $A = 6,03 \Rightarrow 3T16 \quad T = 20,27 \text{ t} \quad p_{u,i} = 5,03 \text{ cm}$

$$\Rightarrow \bar{\sigma}_d = \frac{20270 \text{ kg}}{\frac{7}{8} 95 \times 5,03} \times \frac{1}{3} = 16,18 \text{ kg/cm}^2 \leq \bar{\sigma}_d = 16,60 \text{ kg/cm}^2$$

pas d'entraînement.

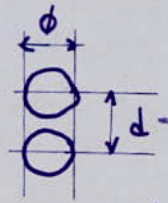
Appui B₂ :

$$A = 29,45 \Rightarrow 6T 25 \quad T = 30,19t$$

$$p_u = \pi\phi + 2d$$

dans notre cas $d = \phi$

$$\Rightarrow p_u = \pi\phi + 2\phi = 7,85 + 2 \times 2,5 = 12,85$$



$$\tau_d = \frac{30190}{\frac{7}{8} \times 95 \times 12,85} \times \frac{1}{3} = 9,43 \text{ kg/cm}^2 < 16,60 \quad \text{pas d'entraînement}$$

Enclage et recouvrement (art 30.51) :

• Enclage droit : longueur de scellement

$$l_d = \frac{\phi}{4} \frac{\bar{\sigma}_s}{\bar{\tau}_d} \quad \text{armatures tendues}$$

$$l'_d = \frac{\phi}{4} \frac{\bar{\sigma}_c}{\bar{\tau}_d} \quad \text{Comprimées}$$

• Longueur de recouvrement (art 30.52) :

longueur de recouvrement de armatures tendues : la jonction de 2 barres rectilignes identiques et de diamètre nominal ϕ est assuré lorsque leurs extrémités se chevauchent sur une longueur au moins égale \bar{a} :

* la longueur de scellement droit (l_d) si la distance entre axes de ces barres $c < 5\phi$

* la longueur $l_d + c$, si la distance est supérieure à 5ϕ

Armature comprimée, recouvrement sans crochets (interdite)

$0,6 l'_d$ si la pièce est toujours comprimée

l'_d si la pièce peut parfois être tendue.

Longueur de scellement droit

$$\phi = 16 \Rightarrow l_d = 70 \text{ cm} \quad \phi = 20 \Rightarrow l_d = 85 \quad \phi = 25 \Rightarrow l_d = 100 \text{ cm}$$

Epure des barres : CCBA 68 Art 35.32.

- En travée, nous n'arrêtons qu'une seule nappe de 3T20 donc, on doit calculer le moment résistant de la nappe restante.

$$\rightarrow \bar{w} = \frac{100A}{5h} = \frac{19,42}{30 \times 95} = 0,330 \rightarrow \mu = 0,0450$$

$$\mu' = 0,1224$$

$$\text{d'où } M = \mu \bar{\sigma}_a \frac{bh^2}{15} = 0,0450 \times 2800 \frac{30 \times 95^2}{15} = 22,74 \text{ tm}$$

$$M' = \mu' \bar{\sigma}'_b \frac{bh^2}{15} = 0,1224 \times 135 \times 30 \times 95^2 = 44,74 \text{ tm}$$

$$\Rightarrow M \text{ résistant / 3T20} = 22,74 \text{ tm}$$

Sur les appuis, on arrêtera toutes les barres pour les remplacer par des barres de montage en T10

Appuis B₁/B₂ : (extrémité) :

Les 3T16 seront prolongés de $z = \frac{7}{8}h = 83 \text{ cm}$ du point de moment nul

$M=0$ pour $x = 0,55$ de l'axe du poteau B.

$55 + 83 \approx 140 \text{ cm}$ ce qui donne avec le crochet T16 = $140 + 20 + 80 = 240$

• Appui B₂ (Central) :

On arrêtera les deux nappes.

la première à une distance $ld + \frac{z}{2}$ du point où une seule nappe devient suffisante

la deuxième à une distance z du point de moment nul (voir graphique).

Moment résistant des 3T25 :

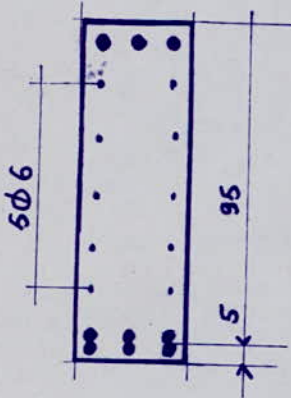
$$\bar{w} = \frac{14,73 \times 100}{30 \times 95} = 0,516 \Rightarrow \mu = 0,069 \rightarrow M = 33,17 \text{ tm}$$

$$\mu' = 0,1442 \Rightarrow M' = 52,70 \text{ tm} \left. \vphantom{\begin{matrix} \mu = 0,069 \\ \mu' = 0,1442 \end{matrix}} \right\} \Rightarrow M_{r/25} = 33,17 \text{ tm}$$

Armature supplémentaire: Chapon page 367

$$2 \left(80 - \frac{4120}{100} \right) = 77,6 < 100$$

donc les armatures de répartition sont nécessaires.



$A_h = 0,5\%$ de la section d'âme en dehors de la section d'enrobage

$$A_h = (95 - 5) \times 20 \times \frac{0,5}{1000} = 1,35$$

$A_h = 1,35 \text{ cm}^2$ sur chaque face et l'espacement doit être inférieur à 20 cm. On prendra 15 cm

$$5 \phi 6 \Rightarrow A_h = 1,41 \text{ cm}^2$$

Influence de l'effort tranchant au voisinage des appuis:

$T + \frac{M}{z} < 0$ Aucun effort de traction ne sera soumis à l'armature inférieure.

si $T + \frac{M}{z} > 0$ Il faudrait avoir une section A tel que :

$$A \bar{\sigma}_a \geq T + \frac{M}{z}$$

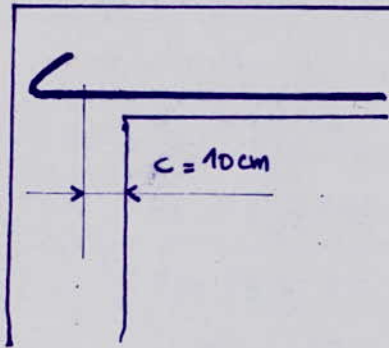
Appuis gauches:

$$20270 - \frac{11180}{0,83} = 6800 > 0$$

$$\text{donc } A > \frac{6800}{2800} = 2,43 \text{ cm}^2$$

Puisqu'on a : $3T20 \Rightarrow A = 9,42 \text{ cm}^2$ donc cet effort sera supporté.

- Ancrage au-delà de l'appui qui devra être prévu pour assurer l'équilibre de l'effort de traction T .



$$c \geq \frac{2T}{b_0 \bar{\sigma}'_b}$$

$$c \geq \frac{2 \times 20270}{30 \times 67,5} \neq 20 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow c = 25 \text{ cm}$$

Appui droit : $30190 - \frac{70480}{0,82} = -55,76$

\Rightarrow l'armature intérieure ne sera pas soumise à la traction

Condition de non écrasement (appuis gauches) :

Rayon de courbure : $r \geq 0,10 \phi \frac{\sigma_a}{\bar{\sigma}'_b} \left(1 + \frac{\phi}{d_1}\right)^2$

Considérons que la courbe est faite d'un mandrin de 10ϕ (rayon de courbure des aciers HA $\geq 5 \phi$) $\Rightarrow d_1 = 5 \phi + d = 10 + 3 = 13$

d enrobage = 3 cm

$$\sigma_a = \frac{T}{A} = \frac{20270}{9,42} = 2151,8 \quad \bar{\sigma}'_b = 67,5 \quad \phi = 20 = 2 \text{ cm}$$

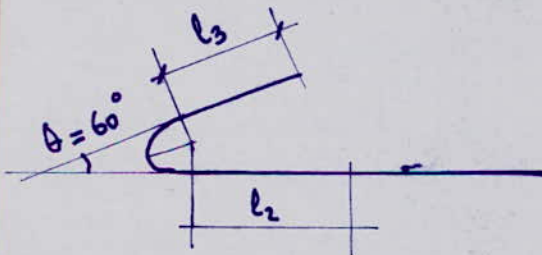
$$r \geq 0,10 \times 2 \cdot \frac{2151,8}{67,5} \left(1 + \frac{2}{13}\right)^2 \quad r \geq 7,36 \text{ cm} \quad \underline{r = 10 \text{ cm}}$$

encrage : On prévoit un encrage courbe qui commence à l'axe du poteau. En plus, l'encrage sera total en ce point

$$F = \pi \phi^2 \bar{\sigma}'_d \leq \frac{x_i \sigma_i}{x_1 x_2 \dots x_i}$$

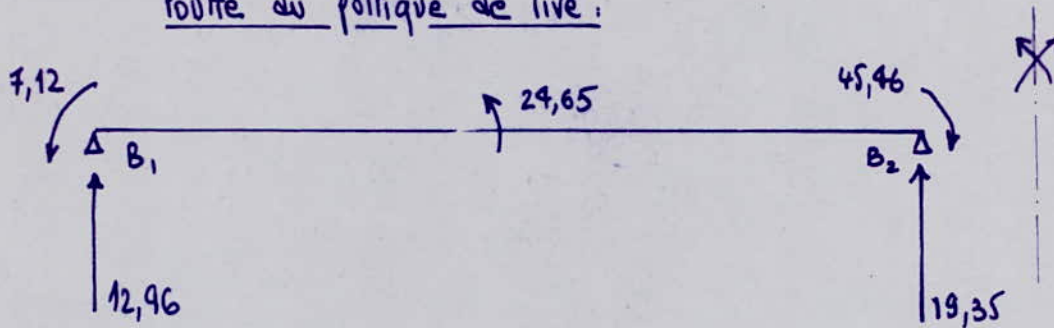
donc, on aura à partir de cet encrage :

- l_1 = partie horizontale
- l_2 = partie courbe (arc de cercle qui mesure 120°)
- l_3 = partie oblique.



Salle de restauration :

Poutre du portique de rive :



Section de la poutre : 100 x 30

La condition de non fragilité $\Rightarrow A > 3,59$ (calculé pour la poutre intermédiaire)

Détermination des armatures longitudinales par la méthode de Chapon.

| | Appuis B ₁ /B ₃ | Travée | Appui B ₂ |
|--------------|---------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Moment M | 7,12 | 24,65 | 45,65 |
| μ | 0,0141 | 0,0488 | 0,0903 |
| k | 89 | 39 | 26,5 |
| σ/b | 35 | 71,80 | 105,66 |
| $\bar{\mu}$ | 0,0987 | 0,356 | 0,682 |
| A (calculée) | 2,81 < 3,59 | 10,15 cm ² | 19,44 cm ² |
| A choisie | 3T14 = 4,62 | 6T16 = 12,06 | 6T20 = 18,84 cm ² * |

* le moment au nu de l'appui est égal à 41 t/m $\Rightarrow A = 17,33$ cm²

Vérification de la contrainte admissible de traction de l'acier.

$$\bar{\sigma}_a = \min \left\{ \begin{array}{l} \sigma_{\max} \left\{ \begin{array}{l} \sigma_1 \\ \sigma_2 \end{array} \right. \\ \frac{2}{3} \sigma_{cn} \end{array} \right.$$

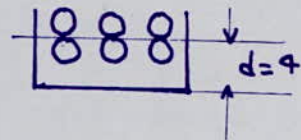
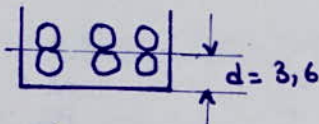
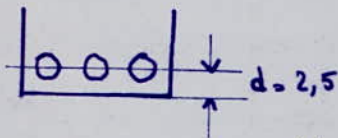
$$\sigma_1 = k \frac{\eta}{\phi} \frac{\bar{\omega} f}{1 + 10 \bar{\omega} f}$$

$$k = 1,5 \cdot 10^6$$

$$\sigma_2 = 2,4 \sqrt{\frac{\eta R \bar{\sigma} b}{\phi}}$$

$$\eta = 1,6$$

$$\bar{\omega} f = \frac{A}{B f}$$



$$b_f = b_0 \times 2d$$

$$\Rightarrow 3T 14 \Rightarrow b_f = 30 \times 5 = 150 \Rightarrow \bar{\omega} f = \frac{4,62}{150} = 0,031$$

$$6T 16 \Rightarrow b_f = 30 \times 7,2 = 216 \Rightarrow \bar{\omega} f = \frac{12,06}{216} = 0,056$$

$$6T 20 \Rightarrow b_f = 30 \times 8 = 240 \Rightarrow \bar{\omega} f = \frac{18,84}{240} = 0,079$$

$$\Rightarrow T 14 \Rightarrow \sigma_1 = 1,5 \cdot 10^6 \frac{1,5}{14} \frac{0,031}{1 + 10 \times 0,031} = 2704 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_2 = 2,4 \sqrt{\frac{1,6 \times 10^6 \times 5,9}{14}} = 1970 \text{ kg/cm}^2$$

$\Rightarrow \bar{\sigma}_2 = 2704 \text{ kg/cm}^2$. On doit vérifier si la section est suffisante

$$\mu = \frac{4,62 \times 100}{30 \times 95} = 0,1621 \Rightarrow \mu = 0,0227$$

$$M = 11,07 \text{ tm}$$

$$\mu' = 0,0922$$

$$M' = 33,70 \text{ tm}$$

M résistant = 11,07 tm plus grand que le moment appliqué 7,12 tm \Rightarrow que la section est suffisante.

$$T 16 \Rightarrow \sigma_1 = 10^6 \times \frac{1,6}{16} \frac{0,056}{1 + 10 \times 0,056} = 3589 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_2 = 2,4 \sqrt{\frac{1,5 \times 10^6 \times 5,9}{16}} =$$

$$1843 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Rightarrow \bar{\sigma}_2 = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

$$T 20 \Rightarrow \sigma_1 = 1,5 \cdot 10^6 \frac{1,6 \cdot 0,079}{20 \cdot 1 + 10 \cdot 0,079} = 3530 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{1,6 \cdot 10^6 \cdot 5,9}{20}} = 1648 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_2 = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

Contrainte de cisaillement :

$$\tau_b \leq 3,5 \bar{\sigma}_b \text{ si } \sigma_b < \bar{\sigma}_b$$

$$\tau_b = \frac{T}{b_3} \Rightarrow \text{appui } B_1/B_3 \Rightarrow \tau_d = \frac{12960}{30 \times \frac{7}{8} \times 95} = 5,20 < \bar{\sigma}_2$$

$$\text{appui } B_2 \Rightarrow \tau_d = \frac{19350}{30 \times \frac{7}{8} \times 95} = 7,76 \text{ kg/cm}^2 < 2,5 \bar{\sigma}_2 = 2,5 \times 5,9 = 14,75 \text{ kg/cm}^2$$

Contrainte admissible des armatures transversales :

$$\bar{\sigma}_{at} = \rho_{at} \sigma_{en} \quad \rho_{at} = 1 - \frac{\tau_d}{9 \bar{\sigma}_b} \text{ avec un maximum de } \frac{2}{3} \Rightarrow \text{reprise du béton.}$$

$$\rho_{at} = 1 - \frac{7,76}{9 \times 5,9} = 0,854 > \frac{2}{3}$$

$$\Rightarrow \bar{\sigma}_{at} = \frac{2}{3} \times 2200 = 1467 \text{ kg/cm}^2$$

les armatures transversales seront constituées d'un cadre et d'un étrier de

$$\phi 10 \Rightarrow A_t = 3,14 \text{ cm}^2$$

Espacement: $t \leq \max(t_1, t_2)$

$$t_1 = h \left(1 - 0,3 \frac{\tau_d}{\bar{\sigma}_b} \right) \quad t_2 = 0,2h = 19 \text{ cm}$$

$$t \leq \frac{A_t \times 7 \bar{\sigma}_{at}}{T}$$

Appui B_1/B_3 :

$$\left. \begin{aligned} t_1 &= 95 \left(1 - \frac{0,3 \times 5,20}{5,9} \right) = 70 \text{ cm} \\ t &= \frac{3,14 \times 95 \times 7 \times 1467}{12960 \times 8} = 29,5 \end{aligned} \right\} \Rightarrow t = 25 \text{ cm}$$

Appui B_2 :

$$\left. \begin{aligned} t_1 &= 95 \left(1 - \frac{0,3 \times 7,76}{5,9} \right) = 57,5 \text{ cm} \\ t &= \frac{3,14 \times 95 \times 7 \times 1467}{19350 \times 8} = 19,78 \text{ cm} \end{aligned} \right\} \Rightarrow t = 16 \text{ cm}$$

les armatures transversales seront placées de la manière suivante :

à partir de l'appui B_1/B_3

| n | x | t | |
|---|---|----|-------|
| 6 | x | 25 | = 150 |
| 3 | x | 30 | = 90 |
| 6 | x | 35 | = 210 |
| 6 | x | 35 | = 210 |
| 3 | x | 30 | = 90 |
| 7 | x | 25 | = 175 |
| 6 | x | 20 | = 120 |
| 6 | x | 16 | = 96 |
| | | | 1141 |

Contrainte d'adhérence admissible pour l'ancrage :

$$\bar{\tau}_d = 1,25 \psi_a^2 \bar{\sigma}_b = 16,60 \text{ kg/cm}^2$$

Longueur de scellement droit

$$6T20 \rightarrow l_d = \frac{\phi}{4} \frac{\bar{\sigma}_a}{\bar{\tau}_d} = \frac{20}{4} \times \frac{2800}{16,6} = 843 \text{ mm} \approx 85 \text{ cm}$$

$$6T16 \rightarrow l_d = \frac{\phi}{4} \frac{\bar{\sigma}_a}{\bar{\tau}_d} = \frac{16}{4} \times \frac{2800}{16,6} = 675 \text{ mm} \approx 70 \text{ cm}$$

$$3T14 \rightarrow l_d = \frac{14}{4} \frac{2800}{16,6} = 590 \text{ mm} \approx 60 \text{ cm}$$

Condition de non entraînement : $\bar{\tau}_d = 16,60 \text{ kg/cm}^2$

Appui B_1/B_3 : $A = 4,62$ ou $3T14$ $T = 12,96t$ $p_{v,i} = 4,40$

$$\rightarrow \bar{\tau}_d = \frac{T}{p_v} \frac{A_i}{A} = \frac{12960}{83 \times 4,40} \times \frac{1}{3} = 11,83 \text{ kg/cm}^2 < 16,60 \text{ vérifiée}$$

Appui B_2 :

$$A = 18,80 \text{ ou } 6T20 \quad T = 19,35t \quad p_{v,i} = \pi\phi + 2\phi = 6,28 + 4 = 10,28$$

$$\bar{\tau}_d = \frac{19350}{83 \times 10,28} \times \frac{1}{3} = 7,56 \text{ kg/cm}^2 < 16,60 \text{ vérifiée.}$$

Épure des barres :

Appuis extrêmes B₁/B₃ : les 3T14 doivent être prolongés d'une distance $z = \frac{7}{8}h = \frac{7 \times 95}{8} \approx 83 \text{ cm}$ au-delà du point de moment nul (CCBA 68 art 35.22).

$$\Rightarrow 0,55 + 0,83 = 1,38 \approx 140 \text{ cm de l'axe du poteau.}$$

En travée : On arrêtera une seule nappe de 3T16. L'autre longera toute la poutre

Voir graphique

Moment résistant d'une nappe de 3T16

$$\bar{w} = \frac{6,03 \times 100}{95 \times 30} = 0,212 \Rightarrow \mu = 0,0294 \text{ d'où } M_r = 14,85 \text{ tm.}$$

Appui B₂ : On arrêtera les deux nappes de 3T20. La première ds que la deuxième devient suffisante et la dernière au point de moment nul $n \geq l + z$ (voir graphique)

Moment résistant des 3T20

$$\bar{w} = \frac{9,42 \times 100}{30 \times 95} = 0,330 \Rightarrow \mu = 0,0450.$$

Armature d'âme : On prendra les mêmes armatures que pour la poutre du portique intermédiaire. d'où $5\phi 6$ espacé de 15 cm

Influence de l'effort tranchant au voisinage des appuis : $T + \frac{M}{z} > 0$

Appuis B₁/B₃ : $12960 - \frac{712000}{95 \times \frac{7}{8}} = 4,395 \text{ kg} \rightarrow A > \frac{4395}{2800} = 1,57 \text{ cm}^2 < 6,03 \text{ (3T16)}$

Ancrage : $C > \frac{2T}{b\delta' b_0} = \frac{2 \times 12960}{30 \times 67,5} = 12,8 \text{ cm} < 50$

Appui B₂ :

$$19350 - \frac{45460}{95 \times \frac{7}{8}} = -35338 \text{ kg} < 0 \text{ Armatures inférieures non nécessaires}$$

Ancrage courbe:

- Condition de non écrasement $r \geq 0,10 \phi \frac{\sigma_a}{\sigma_{b0}} \left(1 + \frac{\phi}{d_1}\right) \sqrt{\text{courbe faite d'un mandrin } 10 \phi}$.

$$d_1 = 5\phi + d = 5 \times 1,6 + 3 = 11 \quad d = 3 \text{ cm}$$

$$\sqrt{v} = 1 \text{ (barre courbée isolée)}$$

$$\sigma_a = \frac{T}{A} = \frac{12960}{6,03} = 2149 \text{ kg/cm}^2$$

$$r \geq 0,10 \times 1,6 \frac{2149}{67,5} \left(1 + \frac{1,6}{11}\right) \times 1 = 5,83 \text{ cm}$$

On prendra $r = 9 \text{ cm}$

$$F = \pi \phi^2 \bar{\sigma}_d \sum \frac{x_i d_i}{x_1 x_2 \dots x_i}$$

On a trois parties:

$$P_1: \text{partie horizontale } l_1 = 25 - 13 = 12 \text{ cm} \Rightarrow d_1 = \frac{P_1}{\phi} = 7,5$$

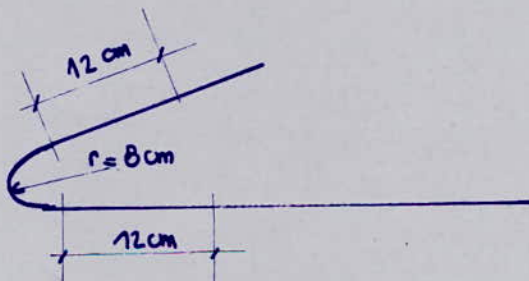
$$P_2: \text{partie courbe} \Rightarrow d_2 = \frac{r + \phi/2}{\phi} = 5,5$$

$$F = T + \frac{M}{r} = 4395 \text{ kg} \Rightarrow 4395 = 3,14 \times 1,6^2 \times 16,60 \left(7,5 + \frac{5,5 \times 1,42}{0,43} + \frac{d_3}{0,43}\right)$$

$$d_3 = \left(\frac{4395}{3,14 \times 1,6^2 \times 16,60} - 7,5 - \frac{1,42 \times 5,5}{0,43} \right) 0,43$$

$$d_3 = 3,12 \approx 4$$

$$l_3 = 6,4 \text{ On prendra } l_3 = 12 \text{ cm}$$



Vérification sous le 2^e genre SP₂ :

$$M_{B_1/B_2} = 12,99 \text{ t/m} \quad T = 20,87 \text{ t}$$

$$M_t = 29,03 \text{ t/m}$$

$$T = 13,98 \text{ t}$$

$$M_{B_2} = 48,95 \text{ t/m}$$

Vérification des armatures transversales :

| | Appuis B ₁ /B ₃ | Travée | Appui B ₂ |
|------------------------|---------------------------------------|--------------|----------------------|
| A | 3T14 = 4,62 | 6T16 = 12,06 | 6T20 = 18,84 |
| \bar{w} | 0,162 | 0,423 | 0,661 |
| μ | 0,022t | 0,0568 | 0,0874 |
| μ' | 0,0922 | 0,1340 | 0,1573 |
| M _a | 17,21 tm | 43,06 tm | 66,25 tm |
| M _b | 50,55 tm | 73,46 tm | 119,24 tm |
| M sous SP ₁ | 12,29 tm | 29,03 tm | 48,95 tm |
| Conclusion | Passé | Passé | Passé |

$$\sigma_a = \sigma'_a = 4200 \text{ kg}$$

$$\sigma'_b = 202,5 \text{ kg}$$

$$M_a = \mu \times \bar{\sigma}_a \frac{bh^2}{n}$$

$$M_b = \mu' \bar{\sigma}'_b bh^2$$

Vérification de la flèche: CCBA 68 Art 61.21

La justification de la flèche est inutile pour les poutres associées à un hourdis et qui vérifient les conditions suivantes :

$$\frac{ht}{l} \geq \frac{1}{16} \quad \frac{ht}{l} > \frac{1}{10} \frac{M_t}{M_0} \quad \text{et} \quad \frac{A}{bh} \leq \frac{43}{6\sigma_n}$$

$$ht = 100 \text{ cm} \quad l = 1160 \text{ cm} \quad M_t = 38,77 \text{ tm} \quad M_0 = \frac{ql^2}{8} = 4,17 \times \frac{11,6^2}{8} = 70,14 \text{ tm}$$

$$\frac{M_t}{M_0} = \frac{38,77}{70,14} = \frac{1}{1,81}$$

$$\frac{ht}{l} = \frac{100}{1160} = \frac{1}{11,6} > \frac{1}{16} \quad \text{vérifiée}$$

$$\frac{ht}{l} = \frac{1}{11,6} > \frac{1}{10} \frac{1}{1,81} = \frac{1}{18,1} \quad \text{vérifiée}$$

A : section maximale d'armature tendue $A = 6720 = 18,84 \text{ cm}^2$

$$\frac{A}{bh} = \frac{18,84}{30 \times 95} = \frac{1}{151,27} \quad \frac{43}{6\sigma_n} = \frac{43}{4120} = \frac{1}{95,8}$$

$$\Rightarrow \frac{A}{bh} < \frac{43}{6\sigma_n}$$

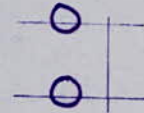
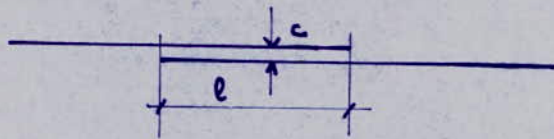
Les trois conditions étant vérifiées, la justification de la flèche est inutile.

Ceci est valable, que ce soit pour la poutre intermédiaire ou de rive (car pour les deux, on n'a pas les mêmes dimensions sauf, A dans la poutre de rive $A < 18,84$, ce qui, vérifie encore plus la 3^e condition.

Recouvrement des barres:

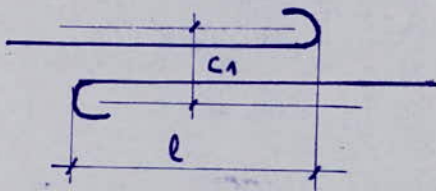
les aciers livrés dans le commerce ont une longueur de 12m \Rightarrow il est donc nécessaire de procéder à un assemblage bout à bout par soudure ou par recouvrement en faisant chevaucher les barres sur une longueur suffisante.

• Armatures tendues: Art 30.52



$$l = l_d \text{ si } c < 5\phi \quad l = l_d + c \text{ si } c > 5\phi$$

- si les barres tendues sont munies de crochet art 30.63 :



$$\text{si } c_1 \leq 5\phi$$

$$\Rightarrow l = 0,60 l_d \text{ pour les } F_e E22 \text{ et } E24$$

$$l = 0,40 l_d \text{ pour les } F_e HA$$

$$\text{si } c_1 > 5\phi \Rightarrow l = 0,60 l_d + c_1 \text{ pour les } E22 \text{ et } E24$$

$$l = 0,40 l_d + c_1 \text{ pour les } HA$$

• Armatures comprimées: les crochets ne sont pas admis dans les pièces comprimées

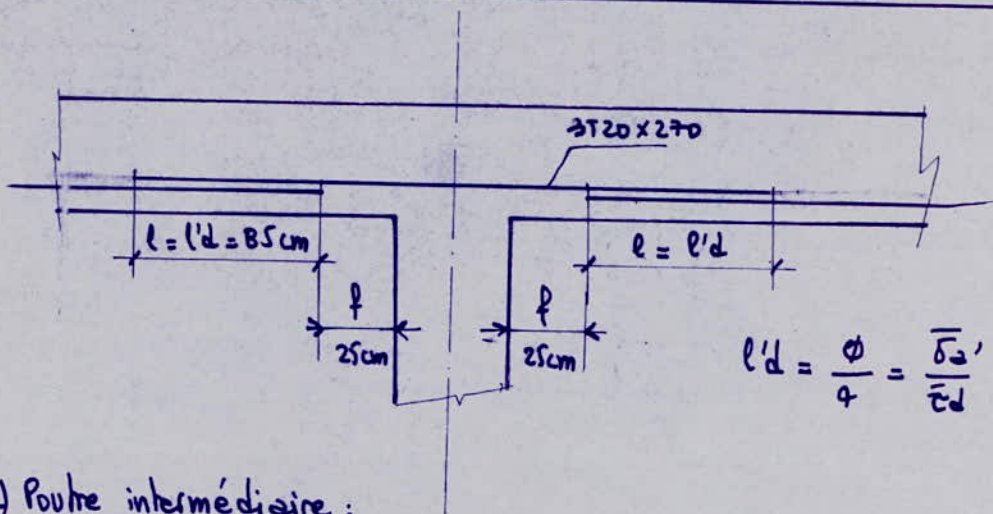
$$l = 0,6 l'd \text{ si la pièce est toujours comprimée et non soumise à des chocs}$$

$$l = l'd \text{ si la pièce peut être tendue.}$$

l_d = longueur de scellement droit de armatures tendues

$l'd$ = longueur de scellement droit de armatures comprimées.

Dans notre cas, on a une poutre de $12,1 \text{ m} \times 2$ de portée (2 travées). On doit procéder à un recouvrement. Les armatures auxquelles on doit opérer les recouvrements sont les barres inférieures et ces recouvrements se situent près de l'appui central (poteau). Ces barres sont généralement comprimées \Rightarrow recouvrement sans crochet; en plus, on considère qu'elles peuvent être tendues $\Rightarrow l = l'd$



a) Poutre intermédiaire :

• Armatures inférieures au voisinage de l'appui central

$$3T20 \Rightarrow l'd = \frac{20}{4} \times \frac{2800}{16,6} = 843 \text{ mm} \approx 85 \text{ cm}$$

$$f = 11,60 \text{ m} - (12 \text{ m} - 0,85 \text{ m}) = 0,25 \text{ m} = 25 \text{ cm}$$

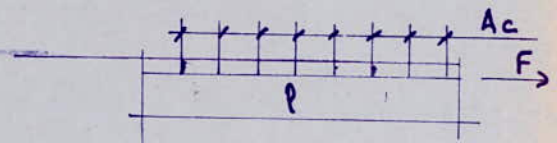
11,60 portée libre de la poutre

12 m longueur totale d'une barre

0,85 m longueur d'armature nécessaire à la confection du crochet et l'appui sur poteau.

Vérification des armatures de couture

$$A_c = \frac{F}{\bar{\sigma}_{ac}}$$



$$\bar{\sigma}_a = \frac{2}{3} \sigma_{en} \quad \text{car, on ancre les 3 barres}$$

$$\sigma_{en} = 2200 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \bar{\sigma}_a = \frac{2}{3} 2200 = 1467 \text{ kg/cm}^2$$

$$F = T = 30190$$

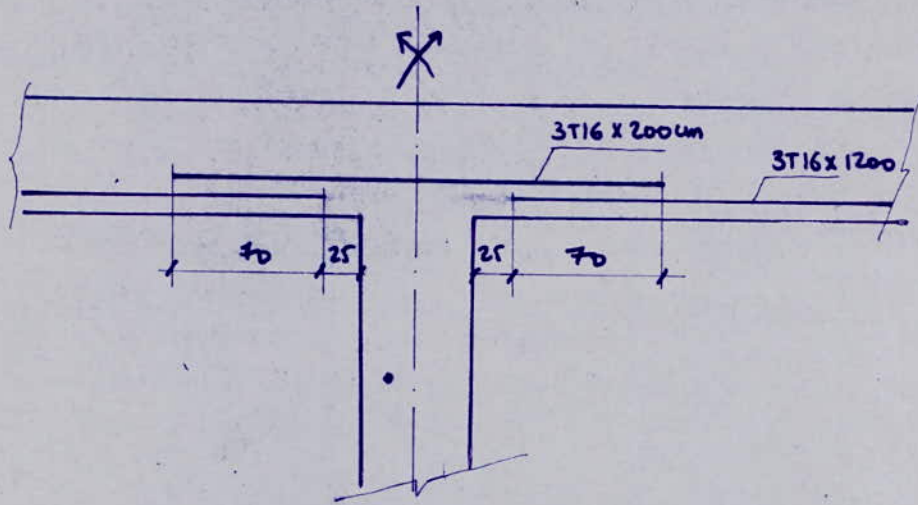
$$A_c = 7 \text{ cadres} + 7 \text{ étriers} = 3,14 \times 7 = 21,98 \text{ cm}^2$$

$$\Rightarrow 21,98 = \frac{30190}{1467} = 20,60 \text{ cm}^2 \Rightarrow 7 \text{ cours suffisent.}$$

b) Poutre de rive :

Les armatures à recouvrir dans ce cas sont 3T16

$$\Rightarrow l_d' = \frac{\phi}{4} \times \frac{\bar{\sigma}_s}{\bar{\sigma}_d} = \frac{16}{4} \times \frac{2800}{16,60} = 67,4 \text{ mm} \approx 70 \text{ cm}$$



Vérification de armatures de couture :

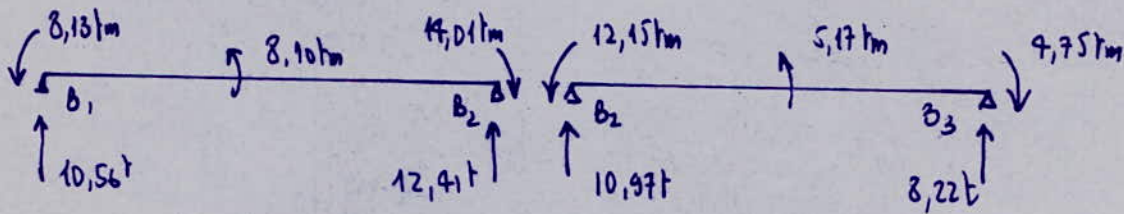
$$A_c \geq \frac{F}{\bar{\sigma}_{ac}}$$

$$A_c = 5 \text{ cours d'armature} : 3,14 \times 5 = 15,7$$

$$F = T = 19850 \text{ Kg}$$

$$\Rightarrow \frac{19850}{1467} = 13,20 < 15,7 \Rightarrow \text{Les armatures transversals suffisent.}$$

Poutre hall (B_1, B_2) sous S_{P1} :



Armature longitudinale:

$$\bar{\sigma}_a = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_b = 135 \text{ kg/cm}^2$$

| | Travée $B_1 B_2$ | | | Travée $B_2 B_3$ | | |
|-------------|------------------|--------|---------|------------------|--------|--------|
| M | 8130 kgm | 8100 | 19010 | 12150 | 5178 | 4750 |
| μ | 0,0657 | 0,0655 | 0,1132 | 0,0982 | 0,0418 | 0,0384 |
| R | 32,4 | 32,4 | 22,8 | 25 | 42,6 | 44,8 |
| σ_b' | 86,42 | 86,42 | 122,80 | 112 | 65,73 | 62,5 |
| \bar{w} | 0,490 | 0,488 | 0,864 | 0,748 | 0,306 | 0,280 |
| A | 6,91 | 6,88 | 12,18 | 10,54 | 4,31 | 3,95 |
| A (choisie) | 3T 20 * | 6T 14 | 6T 16 ° | 6T 16 | 3T 14 | 3T 14 |

* la contrainte admissible des T 20 est égale à $\bar{\sigma}_a = 2735 \text{ kg}$, donc on doit vérifier si la section des aciers est suffisante

$$\rightarrow \bar{w} = \frac{9,42}{14,1} = 0,668 \rightarrow \mu = 0,0882 \quad \mu' = 0,1578$$

$M = 12,09 \text{ tm}$ $M' = 13,58 \text{ tm} \rightarrow M_r = 12,09 \text{ tm}$ plus grand que le moment appliqué.

o les 6T 16 = 12,09 cm² est inférieure à la section calculée \rightarrow on vérifie le

moment existant $\bar{w} = \frac{12,06}{14,1} = 0,855 \rightarrow \mu = 0,114 \quad \mu' = 0,1712$

$M = 12,37 \text{ tm}$ $M' = 16,32 \text{ tm} \rightarrow M_r = 12,37 \text{ tm}$

Moment au nu de l'appui : B_2 (travée $B_1 B_2$) :

$$M(x) = 10,56x - \frac{3,98x^2}{2} - 7,94 \quad x = (6,6 - 0,5) = 6,45$$

$$M(6,45) = 12,21 \text{ tm}$$

On voit que le moment au nu de l'appui est inférieur au moment résistant
 → la section est suffisante. Les contraintes admissibles de traction ont été vérifiées dans les calculs précédents.

Contrainte de cisaillement et armatures transversales :

- Contrainte de cisaillement maximal :

$$\tau_b \leq 3,5 \bar{\sigma}_b \quad \text{si} \quad \sigma_b' \leq \bar{\sigma}_{b0}$$

$$\tau_b \leq \left(4,5 - \frac{\sigma_b'}{\bar{\sigma}_{b0}}\right) \bar{\sigma}_b \quad \text{si} \quad \bar{\sigma}_{b0} < \sigma_b' \leq 2\bar{\sigma}_{b0} \quad \left. \vphantom{\tau_b} \right\} \text{ avec } \tau_b = \frac{T}{b_3}$$

- Ecart initial des armatures transversales au voisinage des appuis :

Les armatures transversales seront constituées d'un cadre et un étrier de

$$\phi 6 \rightarrow A_t = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow t \leq \max(t_1, t_2) \quad t_1 = h \left(1 - \frac{0,3 \tau_b}{\bar{\sigma}_b}\right) \quad t_2 = 0,2 = 19 \text{ cm}$$

$$\text{et } t \leq \frac{A_{at} \bar{\sigma}_{at}}{T} \quad \bar{\sigma}_{at} = 1467 \text{ kg/cm}$$

| | Travée $B_1 B_2$ | | Travée $B_2 B_3$ | |
|--|------------------|-------------|------------------|-------------|
| | Appui B_1 | Appui B_2 | Appui B_2 | Appui B_3 |
| T | 10560 | 12410 | 10970 | 8220 |
| τ_b | 8,58 | 10,09 | 8,92 | 6,68 |
| $t_1 = h \left(1 - \frac{0,3 \tau_b}{\bar{\sigma}_b}\right)$ | 26,5 | 22,9 | 25,6 | 31 |
| $\frac{A_{at} \bar{\sigma}_{at}}{T}$ | 11,45 | 9,74 | 11,02 | 14,71 |
| t | 11 | 9 | 11 | 13 |

$$\sigma_{td} \leq 2,5 \bar{\sigma}_a = 14,75 \text{ kg/cm}^2$$

Contrainte d'adhérence admissible :

- Pour l'entraînement: $\bar{\tau}_d = 24 \bar{\sigma}_b$

- Pour l'ancrage $\bar{\tau}_d = 1,25 \psi d^2 \bar{\sigma}_b$

On considère la plus petite, soit pour vérifier la condition de non entraînement, soit pour déterminer la longueur de scellement droit.

$$\Rightarrow \bar{\tau}_d = 1,25 \times 1,5^2 \times 5,9 = 16,6 \text{ kg/cm}^2$$

Condition de non entraînement: $\tau_d = \frac{T}{\sum p_{u,i}} \frac{A_i}{A}$

Appui B₁ : 3T20 : $\tau_d = \frac{10560}{41 \times 6,28} \times \frac{1}{3} = 13,67 \text{ kg/cm}^2$ vérifiée.

Appui B₂ : 6T16 : en 3 paquets de 2 barres.

$$\tau_d = \frac{12410}{41 \times 8,23} \times \frac{1}{3} = 12,26 \text{ kg/cm}^2$$
 vérifiée

Appui B₃ : 3T14 : $\tau_d = \frac{8220}{41 \times 4,90} \times \frac{1}{3} = 15,79 \text{ kg/cm}^2$ vérifiée

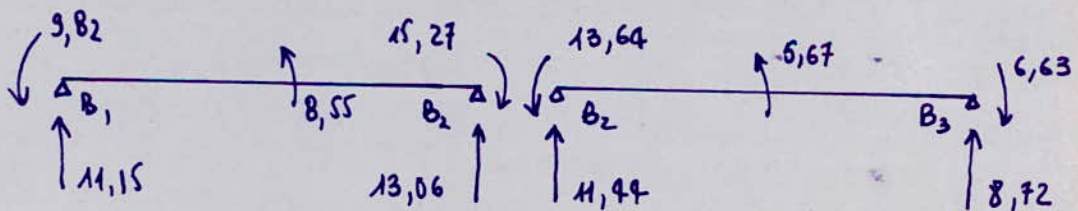
Longueur de scellement droit :

$$\phi 20 \rightarrow l_d = \frac{\phi}{4} \times \frac{\bar{\sigma}_a}{\bar{\sigma}_d} = \frac{2}{4} \times \frac{28000}{16,6} = 85 \text{ cm}$$

$$\phi 16 \rightarrow l_d = \frac{\phi}{4} \times \frac{\bar{\sigma}_a}{\bar{\sigma}_d} = \frac{1,6}{4} \times \frac{28000}{16,6} = 70 \text{ cm}$$

$$\phi 14 \rightarrow l_d = \frac{\phi}{4} \times \frac{\bar{\sigma}_a}{\bar{\sigma}_d} = \frac{1,4}{4} \times \frac{28000}{16,6} = 60 \text{ cm}$$

Poutre B₁B₃ Hall : intermédiaire sous le second genre SP₂ :



Vérification des armatures longitudinales :

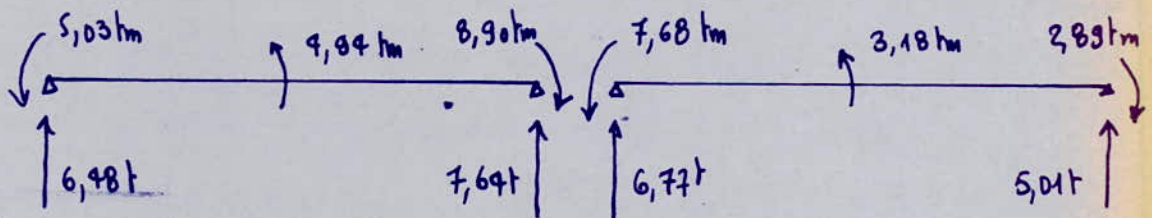
$$\bar{\sigma}_a = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b' = 202,5 \text{ kg/cm}^2$$

| | Travée B ₁ B ₂ | | | Travée B ₂ B ₃ | | |
|-------------------|--------------------------------------|--------|----------------------|--------------------------------------|--------|----------------------|
| | Appui B ₁ | Travée | Appui B ₂ | Appui B ₂ | Travée | Appui B ₃ |
| \bar{w} | 0,668 | 0,668 | 0,855 | 0,855 | 0,327 | 0,327 |
| μ | 0,0883 | 0,883 | 0,1114 | 0,1114 | 0,0446 | 0,0446 |
| μ' | 0,1578 | 0,1578 | 0,1712 | 0,1712 | 0,1220 | 0,1220 |
| M | 16,38 | 16,38 | 20,67 | 20,67 | 8,27 | 8,27 |
| M' | 21,17 | 21,17 | 22,97 | 22,97 | 16,37 | 16,37 |
| M SP ₂ | 9,82 | 8,55 | 15,27 | 13,64 | 5,67 | 6,63 |

Tous les moments résistants sont supérieurs aux moments susceptibles d'apparaître sous les sollicitations du second genre.

Poutre de rive (hall) B₁B₃ :



Détermination des armatures longitudinales :

$$\bar{\sigma}_a = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b' = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$h = 47 \text{ cm} \quad b = 30$$

| | Travée B ₁ B ₂ | | | Travée B ₂ B ₃ | | |
|----------------|--------------------------------------|--------|----------------------|--------------------------------------|--------|----------------------|
| | Appui B ₁ | Travée | Appui B ₂ | Appui B ₂ | Travée | Appui B ₃ |
| M | 5030 | 4940 | 8900 | 7680 | 3180 | 2890 |
| μ | 0,0907 | 0,0399 | 0,0719 | 0,0621 | 0,0257 | 0,0234 |
| h | 43,2 | 43,8 | 30,5 | 33,5 | 56,5 | 59,5 |
| $\sigma_{b'}$ | 64,8 | 63,9 | 91,8 | 83,6 | 49,6 | 47 |
| $\bar{\omega}$ | 0,298 | 0,291 | 0,590 | 0,462 | 0,186 | 0,169 |
| A (calculée) | 4,20 | 4,10 | 7,60 | 6,51 | 2,62 | 2,38 |
| A (choisie) | 3T 14 | 3T 14 | 6T 14 | 6T 14 | 3T 14 | 3T 12 |

Contrainte de cisaillement et armatures transversales :

$$\tau_b = \frac{T}{b_3} \quad \tau_b \leq 3,5 \bar{\sigma}_b \quad \text{si } \sigma'_b < \sigma'_b_0$$

$$\tau_b \leq \left(4,5 - \frac{\sigma'_b}{\sigma'_b_0}\right) \bar{\sigma}_b \quad \text{si } \sigma'_b_0 < \sigma'_b \leq 2 \bar{\sigma}'_b_0$$

Dans notre cas, on vérifiera si $\tau_b < 2,5 \bar{\sigma}_a = 5,9 \times 2,5 = 14,75 \text{ kg/cm}^2$

Ecart initial des armatures transversales au voisinage des appuis :

Les armatures transversales seront constituées d'un cadre et d'un étrier $\phi 6$

→ 4 brins de $\phi 6$ → $A_{at} = 2,09 \text{ cm}^2$

$$t \leq \min \begin{cases} \max(t_1, t_2) \\ \frac{A_{at}}{\tau} \leq \bar{\sigma}_{at} \end{cases}$$

$$t_1 = h \left(1 - \frac{0,3 \tau_d}{\bar{\sigma}_a}\right)$$

$$t_2 = 0,2h = 19 \text{ cm}$$

$$\bar{\sigma}_{at} = 9467 \text{ kg/cm}^2$$

| | Travée B ₁ B ₂ | | Travée B ₂ B ₃ | |
|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------|
| | Appui B ₁ | Appui B ₂ | Appui B ₂ | Appui B ₃ |
| T | 6480 | 7640 | 6770 | 5010 |
| τ_b | 5,27 | 6,21 | 5,50 | 4,07 |
| t_1 | 34,4 | 32,2 | 33,8 | 37,3 |
| $\frac{A_t \pm \bar{\sigma}_t}{T}$ | 18,7 | 15,8 | 17,9 | 24 |
| t | 16 cm | 13 cm | 16 cm | 20 cm |

Condition de non entraînement

$$\bar{\tau}_d = 1,25 \psi_d \bar{\sigma}_b = 16,60$$

$$\tau_d = \frac{T}{\sum p_{u,i}} \frac{A_i}{A}$$

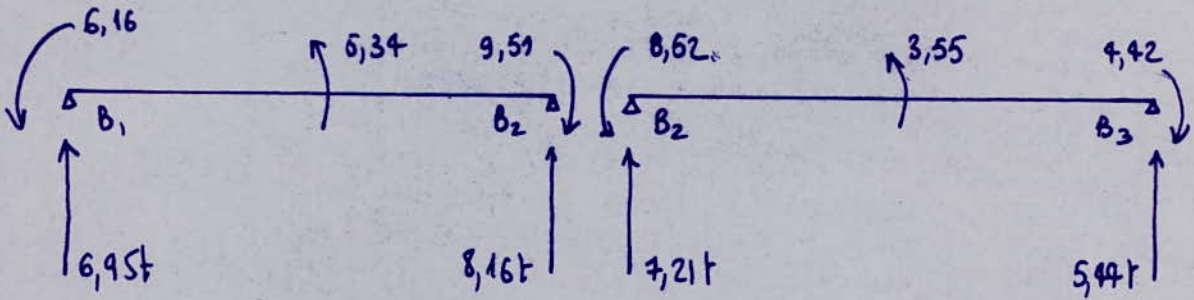
Appui B₁ : 3T14

$$\tau_d = \frac{6480}{41 \times 4,40} \times \frac{1}{3} = 11,97 \text{ kg/cm}^2 < 16,60 \text{ vérifiée}$$

Appui B₂ : 6T14 :

$$\tau_d = \frac{8900}{41 \times 7,20} \times \frac{1}{3} = 10,05 \text{ kg/cm}^2 < 16,60 \text{ vérifiée}$$

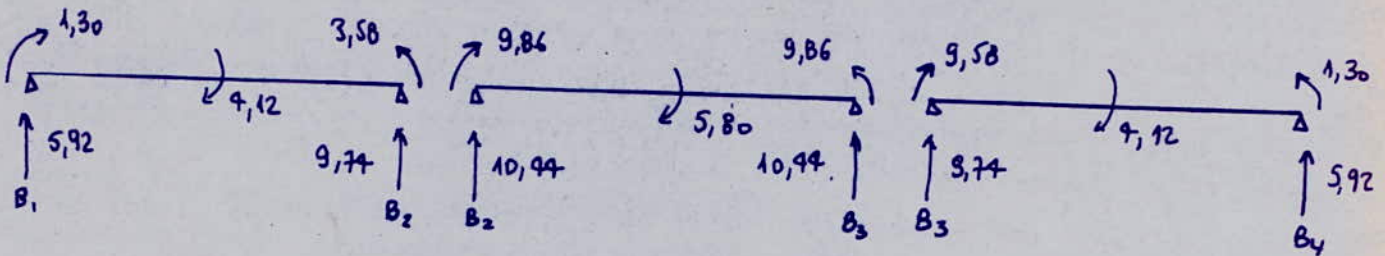
$$T12 \Rightarrow l_d = \frac{1,2}{4} \times \frac{2800}{16,6} = 50 \text{ cm}$$



| | Travée B ₁ B ₂ | | | Travée B ₂ B ₃ | | |
|-------------------|--------------------------------------|----------|----------------------|--------------------------------------|----------|----------------------|
| | Appui B ₁ | Travée | Appui B ₂ | Appui B ₂ | Travée | Appui B ₃ |
| A | 3T 14 | 3T 14 | 6T 14 | 6T 14 | 3T 14 | 3T 12 |
| \bar{w} | 0,327 | 0,327 | 0,655 | 0,655 | 0,327 | 0,240 |
| μ | 0,0946 | 0,0946 | 0,0869 | 0,0869 | 0,0946 | 0,0331 |
| μ' | 0,1220 | 0,1220 | 0,1567 | 0,1567 | 0,1220 | 0,1080 |
| M | 8,27 tm | 8,27 tm | 16,12 tm | 16,12 tm | 8,27 tm | 6,14 tm |
| M' | 16,37 tm | 16,37 tm | 29,07 tm | 29,07 tm | 22,63 tm | 20,04 tm |
| M SP ₂ | 6,16 | 5,34 | 9,51 | 8,52 | 3,55 | 4,42 |

Tous les moments existants sont supérieurs aux moments susceptibles sous SP₂.

Partie type 1, locaux de service:



Détermination des armatures transversales:

- Condition de non fragilité: $\frac{A}{b_0 h} \geq \psi_4 \frac{\bar{\sigma}_b}{\bar{\sigma}_a} \left(\frac{h}{h'}\right)^2$ $A \geq \psi_4 \frac{\bar{\sigma}_b}{\bar{\sigma}_a^2} \frac{h^2 b_0}{h}$

On considère un enrobage de 3cm $\Rightarrow h = h' - 3 = 50 - 3 = 47$

$A \geq 0,54 \times \frac{5,9}{2800} \times \frac{50^2 \times 30}{47} = 1,82 \text{ cm}^2 \downarrow \text{où } A \geq 1,82 \text{ cm}^2$

Armatures longitudinales (méthode charon):

| | Appuis B ₁ /B ₂ | Travées B ₁ B ₂ / B ₂ B ₃ | Appuis B ₂ /B ₃ | Appuis B ₃ /B ₄ | Travées B ₂ B ₃ |
|--------------|---------------------------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| M | 1,30 tm | 4,12 tm | 9,58 tm | 9,86 tm | 5,80 tm |
| μ | 0,0105 | 0,0333 | 0,0774 | 0,0797 | 0,0469 |
| k | 94 | 48,8 | 29,2 | 28,6 | 39,6 |
| σ_b' | 29,48 | 57,90 | 95,90 | 97,90 | 70,70 |
| \bar{w} | 0,0732 | 0,241 | 0,581 | 0,601 | 0,343 |
| A (calculée) | 1,03 < 1,82 | 3,90 | 8,19 | 8,47 | 4,84 |
| A (choisie) | 3T 10 = 3,35 | 3T 14 = 4,52 | 3T 20 = 9,42 | 3T 20 = 9,42 | 3T 16 = 6,03 |

Vérification de la contrainte admissible des armatures (de traction):

$\beta_f = 30 \times 6 = 180 \text{ cm}^2$

$$\bar{\sigma}_v = \min \left\{ \begin{array}{l} \max \left\{ \begin{array}{l} \sigma_1 = k \frac{\eta}{\varphi} \frac{\bar{w}f}{1+10\bar{w}f} \\ \sigma_2 = 2,4 \sqrt{\eta \frac{R \times \bar{\sigma}_b}{\varphi}} \end{array} \right. \\ \frac{2}{3} \bar{\sigma}_{en} \end{array} \right.$$

avec $k=10^6$ atmosphère peu visible

$\eta = 1,6$ (acier à haute adhérence)

| | | | | |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| A | 3T10 = 2,35 | 3T14 = 4,62 | 3T16 = 6,03 | 3T20 = 9,42 |
| $\bar{w}f$ | 0,261 | 0,0385 | 0,040 | 0,052 |
| σ_1 | 3312 | 3312 | 2857 | 2736 |
| σ_2 | 2339 | 1970 | 1843 | 1648 |
| $\bar{\sigma}_a$ | 2800 | 2800 | 2800 | 2736 |

Contrainte de cisaillement maximum :

$$\sigma'_b < \sigma'_b \Rightarrow \tau_b \leq 3,5 \bar{\sigma}_b = 5,9 \times 3,5 = 20,65$$

$$\bar{\sigma}'_b \leq \sigma'_b \leq 2 \bar{\sigma}'_b \Rightarrow \tau_b \leq \left(4,5 - \frac{\sigma'_b}{\bar{\sigma}'_b}\right) \bar{\sigma}_b, \quad \sigma'_b \leq 2 \bar{\sigma}'_b$$

donc il suffit de vérifier $\tau_b \leq 2,5 \bar{\sigma}_a = 2,5 \times 5,9 = 14,75$

$$\tau_b = \frac{T}{b z} \quad z = \frac{7}{8} h = \frac{7 \times 47}{8} = 41 \text{ cm}$$

| | Travées B ₁ B ₂ et B ₃ B ₄ | | Travée B ₂ B ₃ | |
|----------|--|---------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| | Appuis B ₁ /B ₄ | Appuis B ₂ /B ₃ | Appui B ₂ | Appui B ₃ |
| T | 5,92 | 9,74 | 10,44 | 10,44 |
| τ_b | 4,81 | 7,92 | 8,49 | 8,49 |

\Rightarrow Les armatures transversales obliques ne sont pas nécessaires.

les armatures transversales seront constituées d'un cadre et d'un étrier $\phi 6 \Rightarrow$
4 brins $A_t = 2,01 \text{ cm}^2$

Contrainte admissible de A: $\bar{\sigma}_{at} = p.t. \bar{\sigma}_{en}$

$p_{at} = 1 - \frac{\sigma_b}{9\bar{\sigma}_b}$ avec un maximum de $\frac{2}{3}$, reprise du béton, tolérée.

$$p_{at} \begin{cases} 1 - \frac{4,81}{9 \times 5,9} = 0,909 > \frac{2}{3} \Rightarrow p_{at} = \frac{2}{3} \\ 1 - \frac{8,49}{9 \times 5,9} = 0,840 > \frac{2}{3} \Rightarrow p_{at} = \frac{2}{3} \end{cases}$$

$$\bar{\sigma}_{at} = 2200 \times \frac{2}{3} = 1464 \text{ kg/cm}^2$$

Espacement de armatures transversales:

$$t \leq \max(t_1 - t_2) \quad t_1 = h \left(1 - 0,3 \frac{\sigma_d}{\bar{\sigma}_b} \right) \quad t_2 = 0,2h = 9,4 \text{ cm}$$

$$\text{et } t \leq \frac{A_t + \bar{\sigma}_{at}}{\tau}$$

| | Travées B ₁ B ₂ / B ₃ B ₄ | | Travée B ₂ B ₃ |
|---|---|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | Appuis B ₁ /B ₄ | Appuis B ₁ /B ₃ | Appuis B ₂ /B ₃ |
| t_1 | 35 cm | 28 | 26,7 |
| $\frac{A_t + 2\bar{\sigma}_{at}}{\tau}$ | 20,4 cm | 12,41 | 11,58 |
| t | 20 cm | 11 | 11 |

Espacement de armatures transversales:

Travées B₁B₂, B₃B₄: A partir de B₁/B₃

$$3 \times 20 - 2 \times 25 - 2 \times 35 - 1 \times 25 - 4 \times 20 - 3 \times 16 - 3 \times 13 - 3 \times 11$$

Travée B₂B₃: à partir de B₃

$$3 \times 11 - 3 \times 13 - 3 \times 16 - 3 \times 20 - 4 \times 25 - 4 \times 25 - 3 \times 20 - 3 \times 16 - 3 \times 13 - 3 \times 11$$

Influence de l'effort tranchant au voisinage de appuis :

$T + \frac{M}{z} < 0$ les armatures inférieures ne sont soumises à aucun effort

$T + \frac{M}{z} > 0$ il faut avoir une section d'acier A telle que :

$$A \bar{\sigma}_a \geq T + \frac{M}{z}$$

Travées B₁B₂ et B₃B₄ :

Appuis B₁/B₄ :

$$5920 - \frac{1300}{0,41} = 2745 \text{ kg} \Rightarrow A \geq \frac{2745}{2800} = 0,98 \text{ cm}^2 < 3T14 = 4,62 \text{ cm}^2$$

Appui B₁ :

$$9740 - \frac{9580}{0,41} < 0$$

Contrainte d'adhérence admissible pour l'enclafage

$$\bar{\tau}_d = 1,25 \psi d^2 \bar{\sigma}_b = 16,60 \text{ kg/cm}^2 \quad \tau_d = \frac{T}{z_{\text{pui}}} \frac{A_i}{A}$$

$$\text{Appuis B}_1/\text{B}_4 \Rightarrow \tau_d = \frac{5920}{41 \times 3,14} \cdot \frac{1}{3} = 15,33 \text{ kg/cm}^2 < 16,60$$

$$\text{Appuis B}_2/\text{B}_3 : 3T20 \Rightarrow \tau_d = \frac{10440}{41 \times 6,28} \cdot \frac{1}{3} = 13,52 \text{ kg/cm}^2 < 16,60$$

Longueur de recouvrement : vérification de non entrainement :

$$l_d = \frac{\phi}{4} \times \frac{\bar{\sigma}_2}{\bar{\sigma}_d} \quad T=10 \Rightarrow l_d \approx 45 \text{ cm}$$

$$T_{14} \Rightarrow l_d \approx 60 \text{ cm}$$

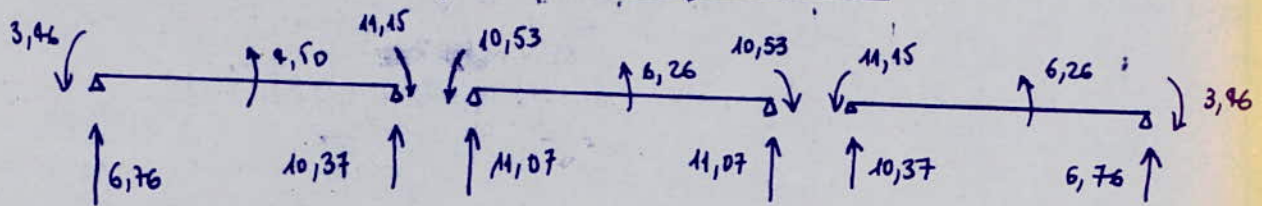
$$T_{16} \Rightarrow l_d \approx 70 \text{ cm}$$

$$T_{20} \Rightarrow l_d \approx 85 \text{ cm}$$

Condition d'appui B₁B₄ :

$$c \geq \frac{2T}{b_0 \bar{\sigma}_{b_0}} = \frac{5320 \times 2}{30 \times 67,5} = 5,6 \text{ cm} < 30 \text{ longueur du poteau.}$$

Vérification aux sollicitations du second genre : $8P_2$



Vérification des armatures longitudinales :

$$\bar{\sigma}_b = 202,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_b = 8,85$$

| | Travées B ₁ B ₂ / B ₃ B ₄ | | | Travée B ₂ B ₃ | |
|----------------|---|---------|--|--|----------|
| | Appuis B ₁ / B ₄ | Travée | Appuis B ₂ / B ₃ | Appuis B ₁ / B ₃ | Travée |
| A ($8P_1$) | 3,35 | 4,62 | 9,42 | 9,42 | 6,03 |
| \bar{w} | 0,237 | 0,327 | 0,669 | 0,669 | 0,427 |
| μ | 0,0328 | 0,0446 | 0,0884 | 0,0884 | 0,0573 |
| μ' | 0,1077 | 0,1220 | 0,1579 | 0,1579 | 0,1345 |
| M _a | 5,90 tm | 8,27 tm | 16,90 tm | 16,90 tm | 10,63 tm |
| M _b | 14,45 tm | 16,3 tm | 21,19 tm | 21,19 tm | 18,05 tm |
| M ($8P_2$) | 3,46 tm | 4,50 tm | 11,15 tm | 10,53 tm | 6,26 tm |

Vérification de la contrainte de cisaillement :

$$\tau_b = \frac{T}{b_3} \Rightarrow \text{Appuis B}_1 \text{ et B}_4 \Rightarrow \tau_b = \frac{6760}{30 \times 41} = 5,49 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Appuis B}_2 \text{ et B}_3 \Rightarrow \tau_b = \frac{11150}{30 \times 41} = 9,06 \text{ kg/cm}^2$$

τ_b est inférieur à la contrainte de cisaillement maximum au 1^{er} genre.

Arrêt des barres :

Dans ce cas, un cour d'armatures longitudinale à chaque partie.
 Dans la partie inférieure, les armatures longitudinales ne seront pas arrêtées et seront sur l'appui d'une distance $l = l_d$.

Les armatures supérieures seront arrêtées à une distance $z = \frac{7}{8} h$ au-delà du point de moment nul, pour être remplacé par des barres de montage.

- Les portées de travée sont petites, on aura pas recours à des recouvrements bars utilisées :

T 10 constitueront les barres de montage

T 14 armature inférieure des travées $B_1 B_2$ et $B_3 B_4$

T 16 armature inférieure de la travée $B_2 B_3$

T 20 Chapeau sur B_2 et B_3 .

$$T 10 \Rightarrow l_d = \frac{10}{4} \times \frac{2800}{16,60} = 42 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm}$$

$$T 14 \Rightarrow l_d = \frac{14}{4} \times \frac{2800}{16,60} \approx 60 \text{ cm}$$

$$T 16 \Rightarrow l_d = \frac{16}{4} \times \frac{2800}{16,60} \approx 70 \text{ cm}$$

$$T 20 \Rightarrow l_d = \frac{20}{4} \times \frac{2800}{16,6} \approx 85 \text{ cm}$$

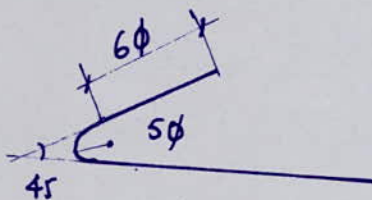
$$z = \frac{7}{8} h = \frac{7 \times 47}{8} = 41 \text{ cm} \quad \text{On prendra 45 cm pour l'arrêt des barres}$$

Crochet d'ancrage

$$r = 5\phi$$

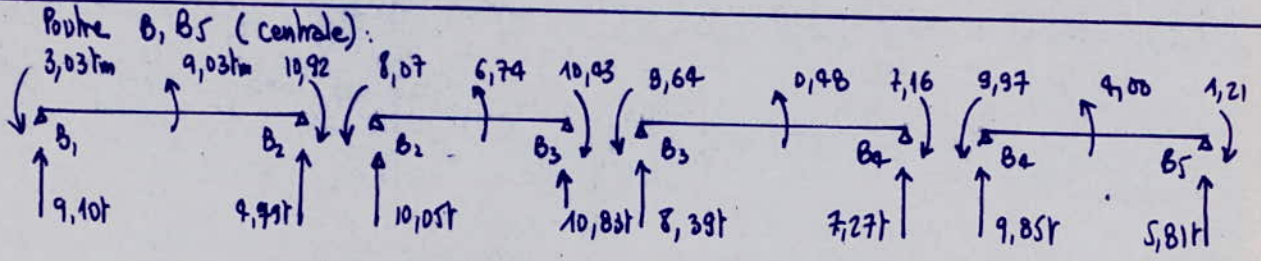
$$l_s = 6\phi$$

} \Rightarrow



$$\phi = 14 \text{ mm}$$

$$l_s \approx 90$$



On a une poutre de section 30×50 $b = 30\text{ cm}$ et $h_f = 50\text{ cm}$. On prévoit un enrobage de $3\text{ cm} \rightarrow h = 50 - 3 = 47\text{ cm}$

Détermination des armatures longitudinales : (méthode de Charon) en flexion simple
 $\bar{\sigma}_a = \bar{\sigma}'_a = 2800\text{ kg/cm}^2$ $\bar{\sigma}_{b'} = 135\text{ kg/cm}^2$

| | Travée B ₁ B ₂ | | | Travée B ₂ B ₃ | | | Travée B ₃ B ₄ | | | Travée B ₄ B ₅ | | |
|---------------------|--------------------------------------|---------------|----------------------|--------------------------------------|--------|----------------------|--------------------------------------|--------|----------------------|--------------------------------------|--------|----------------------|
| | Appui B ₁ | Travée | Appui B ₂ | Appui B ₂ | Travée | Appui B ₃ | Appui B ₃ | Travée | Appui B ₄ | Appui B ₄ | Travée | Appui B ₅ |
| M | 3,09 | 9,03 | 10,92 | 9,64 | 0,48 | 7,16 | 8,07 | 6,74 | 10,43 | 9,91 | 4,00 | 1,21 |
| μ | 0,0250 | 0,0730 | 0,0883 | 0,0779 | 0,0039 | 0,0579 | 0,0652 | 0,0545 | 0,0843 | 0,0801 | 0,0323 | 0,0098 |
| R | 57,5 | 30,3 | 26,8 | 29,1 | 160* | 35,0 | 32,5 | 36,4 | 27,6 | 28,6 | 49,8 | 97,5 |
| $\bar{\sigma}_{b'}$ | 48,70 | 92,41 | 104,48 | 96,22 | 17,50 | 80 | 86,15 | 76,92 | 101,45 | 97,90 | 56,22 | 28,72 |
| \bar{w} | 0,180 | 0,546 | 0,669 | 0,584 | 0,0268 | 0,429 | 0,486 | 0,401 | 0,638 | 0,601 | 0,232 | 0,0684 |
| A (calculée) | 2,54 | 7,70 | 9,43 | 8,23 | 0,38* | 6,05 | 6,85 | 5,65 | 9,00 | 8,47 | 3,27 | 0,96* |
| A (choisie) | 3T12 | 5T16 +3T10 | 6T14 ^o | 6T14 ^o | 3T14 | 6T14 | 6T14 | 3T16 | 6T14 | 6T14 | 3T16 | 3T12 |

* $M_1 = 10,68 = 10,92\text{ tm}$ mais le moment au nu de l'appui est égale à $9,19\text{ tm}$
 → les 6T14 suffisent
 Condition de non fragilité : CCBA 68 Art 52

$$\frac{A}{B_0 h} \geq \psi_4 \frac{\bar{\sigma}_b}{\bar{\sigma}_a} \left(\frac{h_f}{h}\right)^2 \quad \psi_4 = 0,54 \text{ acier HA}$$

$$A \geq 0,54 \frac{\bar{\sigma}_b}{\bar{\sigma}_a} \frac{b h_f^2}{h} = 0,54 \times \frac{135}{2800} \times \frac{30 \times 50^2}{47} = 1,82\text{ cm}^2$$

* section inférieure au pourcentage minimum, donné par la condition de non fragilité.

Contrainte de cisaillement:

Contrainte de cisaillement maximum qu'on ne devrait pas avoir. (CBA 68 - art. 25.12)

$$\tau_b \leq 3,5 \bar{\sigma}_b \text{ si } \bar{\sigma}_b < \bar{\sigma}_{b_0}$$

$$\tau_b \leq (4,5 - \frac{\bar{\sigma}_b'}{\bar{\sigma}_{b_0}}) \bar{\sigma}_b \text{ si } \bar{\sigma}_{b_0} \leq \bar{\sigma}_b' \leq 2 \bar{\sigma}_{b_0}$$

Il nous suffit de vérifier que $\tau_d \leq 2,5 \bar{\sigma}_b$

puisque $\bar{\sigma}_b' \leq 2 \bar{\sigma}_{b_0} \rightarrow \tau_d \leq 2,5 \times 5,9 = 14,75 \text{ kg/cm}^2$

$$\tau_d = \frac{T}{b z} \quad z = \frac{7}{8} h = \frac{47 \times 7}{8} = 41 \text{ cm}$$

| | Travée B ₁ B ₂ | | Travée B ₂ B ₃ | | Travée B ₃ B ₄ | | Travée B ₄ B ₅ | |
|----------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------|
| | Appui B ₁ | Appui B ₂ | Appui B ₂ | Appui B ₃ | Appui B ₃ | Appui B ₄ | Appui B ₄ | Appui B ₅ |
| T | 9,10t | 11,79 | 10,65 | 10,83 | 8,39 | 7,27 | 9,85 | 5,81 |
| τ_d | 7,40 kg/cm ² | 9,59 | 8,17 | 8,80 | 6,82 | 5,97 | 8,01 | 4,72 |

Vérification de la contrainte admissible de traction des armatures longitudinales
CCBA 68 art 49

$$\bar{\sigma}_e = \min \left\{ \begin{array}{l} \max \left\{ \begin{array}{l} \sigma_1 \\ \sigma_2 \end{array} \right. \\ \frac{2}{3} \sigma_{en} \end{array} \right.$$

$$\sigma_1 = k \frac{\eta}{\phi} \frac{\omega f}{1 + 10 \omega f}$$

$$\sigma_2 = 2,4 \sqrt{\eta \frac{k \bar{\sigma}_b}{\phi}}$$

$$\omega f = \frac{A}{B f}$$

$$k = 10^6 \quad \eta = 1,6$$

Contrainte admissible dans les armatures transversales:

$$\bar{\sigma}_{at} = \rho_{at} \sigma_{en} \quad \rho_{at} = 1 - \frac{\tau_b}{9 \bar{\sigma}_e} \text{ avec un maximum de } \frac{2}{3} - \text{ on tolère la}$$

$$\text{reprise du béton. } \tau_b < 2,5 \bar{\sigma}_b \Rightarrow \frac{\tau_b}{9 \bar{\sigma}_b} < \frac{2,5}{9} \rightarrow 1 - \frac{\tau_b}{9 \bar{\sigma}_b} > 1 - \frac{2,5}{9} > \frac{2}{3}$$

$$\text{donc on prend } \bar{\sigma}_{at} = \frac{2}{3} \sigma_{en} = \frac{2200 \times 2}{3} = 1467 \text{ kg/cm}^2.$$

| | Travée B ₁ B ₂ | | | Travée B ₂ B ₃ | | | Travée B ₃ B ₄ | | | Travée B ₄ B ₅ | | |
|----------------|--------------------------------------|---------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------|----------------------|--------------------------------------|----------------|----------------------|--------------------------------------|--------------|----------------------|
| | Appui B ₁ | Travée | Appui B ₂ | Appui B ₂ | Travée | Appui B ₃ | Appui B ₃ | Travée | Appui B ₄ | Appui B ₄ | Travée | Appui B ₅ |
| A | 3712 = 3,39 | 3716+3710 = 8,39 | 6714 = 9,23 | 6714 = 9,23 | 3716 = 6,03 | 6714 9,23 | 6714 = 9,23 | 3716 = 6,03 | 6714 = 9,23 | 6714 9,23 | 3716 6,03 | 3712 3,39 |
| B _f | 120 | 180 | 180 | 180 | 150 | 180 | 150 | 150 | 180 | 180 | 150 | 120 |
| \bar{w}_f | 0,028 | 0,047 | 0,051 | 0,051 | 0,040 | 0,040 | 0,051 | 0,040 | 0,051 | 0,040 | 0,040 | 0,028 |
| G ₁ | 2916 | 3197 | 3860 | 3860 | 2857 | 3860 | 3860 | 2857 | 3860 | 3860 | 2857 | 2916 |
| G ₂ | 2128 | 1843 | 1970 | 1970 | 1843 | 1970 | 1970 | 1843 | 1970 | 1970 | 1843 | 2128 |
| \bar{G}_2 | 2800 | 2800 | 2800 | 2800 | 2800 | 2800 | 2800 | 2800 | 2800 | 2800 | 2800 | 2800 |

Armatures transversales: Elles seront constituées d'un cadre et d'un étrier en $\phi 6$

\Rightarrow 4 brins $\Rightarrow A_t = 2,01 \text{ cm}^2$

Espacement: on calculera l'écartement initial après les appuis et on prend les écartements suivants dans la suite de nombres: 7, 8, 9, 10, 11, 13, 16, 20, 25, 30, 60 cm tout en répétant autant de fois d'intervalle qu'il y a de mètres dans la demi-partie.

Ecart initial après les appuis (et final):

$$t \leq \max(t_1, t_2) \quad t_1 = h \left(1 - \frac{0,3 \sigma_d}{\bar{\sigma}_b}\right) \quad t_2 = 0,2h = 0,2 \times 47 = 9,4 \text{ cm}$$

$$\text{et } t \leq \frac{A_t \geq \bar{\sigma}_d}{T}$$

| | Travée B ₁ B ₂ | | Travée B ₂ B ₃ | | Travée B ₃ B ₄ | | Travée B ₄ B ₅ | |
|--|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------|
| | Appui B ₁ | Appui B ₂ | Appui B ₂ | Appui B ₃ | Appui B ₃ | Appui B ₄ | Appui B ₄ | Appui B ₅ |
| T | 9100 | 11790 | 10050 | 10830 | 8390 | 7270 | 9850 | 5810 |
| τ_d | 7,70 | 9,59 | 8,17 | 8,80 | 6,82 | 5,91 | 8,01 | 4,72 |
| $t_4 = 47 \left(1 - \frac{0,37d}{5,9} \right)$ | 29,3 | 29,1 | 27,5 | 26 | 30,7 | 38,9 | 27,9 | 35,7 |
| $\frac{1+2\delta_a}{T} = \frac{2,01 \times 91 \times 1167}{T}$ | 13,3 | 10,3 | 12 | 11,2 | 14,4 | 16,6 | 12,3 | 29,8 |
| t | 13 cm | 10 cm | 10 cm | 10 cm | 13 cm | 13 cm | 11 cm | 16 cm |

Condition d'appui :

- Aux voisinages des appuis, les armatures longitudinales inférieures doivent avoir une section minimale pouvant supporter un effort de traction égal à

$$T + \frac{M}{z} \quad M \text{ avec son signe (RSM)}$$

$$T + \frac{M}{z} < 0 \quad \text{Aucun effort dans les armatures inférieures.}$$

$$T + \frac{M}{z} > 0 \quad \text{Il faut que } A_{inf} \geq \frac{T + \frac{M}{z}}{\sigma_s}$$

* les 3T16 constitueront les armatures inférieures σ_s (filantes).

| | Travée B ₁ B ₂ | | Travée B ₂ B ₃ | | Travée B ₃ B ₄ | | Travée B ₄ B ₅ | |
|-------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| | Appui B ₁ | Appui B ₂ | Appui B ₂ | Appui B ₃ | Appui B ₃ | Appui B ₄ | Appui B ₄ | Appui B ₅ |
| M | -3,09 | -10,92 | -9,64 | -7,16 | -0,07 | -10,43 | -9,97 | -1,21 |
| T | 9,10 | 11,79 | 8,39 | 7,27 | 10,05 | 10,83 | 9,85 | 5,81 |
| $T + \frac{M}{z}$ | +1,56 | -14,84 | -15,12 | -10,19 | -9,63 | -14,61 | -14,47 | +2,86 |
| A inf calculée | 0,56 | - | - | - | - | - | - | 1,02 |
| Conclusion | passé ^{6,03} | Aucune | traction | dans | les armatures | inférieures | | passé ^{6,03} |

- Contrainte d'adhérence admissible pour l'ancrage (entraînement):

$$\bar{\tau}_{Ed} = 1,25 \psi_d^2 \bar{\sigma}_b = 16,60 \text{ kg/cm}^2$$

Condition de non entraînement: $\bar{\tau}_{Ed} = 24d \times \bar{\sigma}_a = 17,7$

$$\tau_{Ed} = \frac{T}{\sum p_{u,i}} \frac{A_i}{A}$$

Appui B₁: $\tau_{Ed} = \frac{9100}{41 \times 3,77} \times \frac{1}{3} = 19,62$ non vérifié donc on prend 3T14 à la place

$$\tau_{Ed} = \frac{9100}{41 \times 4,40} \times \frac{1}{3} = 16,81 \text{ kg/cm}^2$$

Appui B₂: $\tau_{Ed} = \frac{11920}{41 \times 7,2} \times \frac{1}{3} = 12,66 < 17,7 \text{ kg/cm}^2$

Appui B₃: $\tau_{Ed} = \frac{8070}{41 \times 7,2} \times \frac{1}{3} = 9,11 \text{ kg/cm}^2$

Appui B₄: $\tau_{Ed} = \frac{10430}{41 \times 7,2} \times \frac{1}{3} = 11,77 \text{ kg/cm}^2$

Appui B₅: $\tau_{Ed} = \frac{8860}{41 \times 5,03} \times \frac{1}{3} = 14,32 \text{ kg/cm}^2$

Longueur de recouvrement:

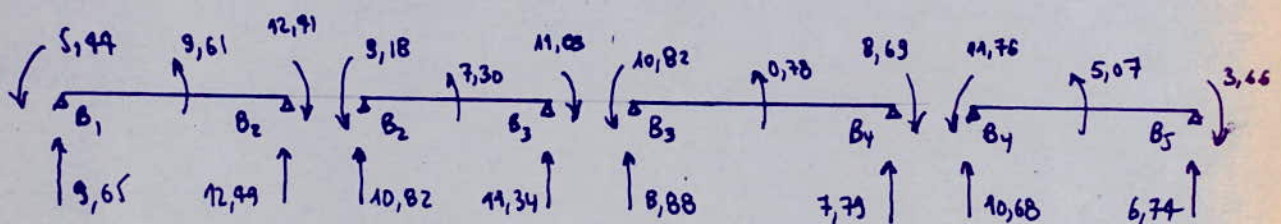
$$\tau_{Ed} = \frac{\phi}{4} \times \frac{\bar{\sigma}_a}{\bar{\tau}_{Ed}}$$

$$T12 \rightarrow l_d = 50 \text{ cm}$$

$$T16 \rightarrow l_d = 70 \text{ cm}$$

$$T20 \rightarrow l_d = 85 \text{ cm}$$

Vérification des sollicitations du second genre:



Vérification de la section des armatures longitudinales :

$\bar{\sigma}_a = 4200 \text{ kg/cm}^2$

$\bar{\sigma}'_b = 202,5 \text{ kg/cm}^2$

| | Travée B ₁ B ₂ | | | Travée B ₂ B ₃ | | | Travée B ₃ B ₄ | | | Travée B ₄ B ₅ | | |
|------------------|--------------------------------------|--------|----------------------|--------------------------------------|--------|----------------------|--------------------------------------|--------|----------------------|--------------------------------------|--------|----------------------|
| | Appui B ₁ | Travée | Appui B ₂ | Appui B ₂ | Travée | Appui B ₃ | Appui B ₃ | Travée | Appui B ₄ | Appui B ₄ | Travée | Appui B ₅ |
| \bar{w} | 0,327 | 0,594 | 0,654 | 0,654 | 0,327 | 0,428 | 0,654 | 0,428 | 0,654 | 0,428 | 0,327 | 0,240 |
| μ | 0,0446 | 0,0789 | 0,0864 | 0,0864 | 0,0446 | 0,0573 | 0,0864 | 0,0573 | 0,0864 | 0,0573 | 0,0446 | 0,0332 |
| μ' | 0,1220 | 0,1516 | 0,1567 | 0,1567 | 0,1220 | 0,1344 | 0,1567 | 0,1220 | 0,1567 | 0,1344 | 0,1220 | 0,1083 |
| M | 8,27 | 14,64 | 16,37 | 16,37 | 8,27 | 10,63 | 16,37 | 10,63 | 16,37 | 10,63 | 8,27 | 6,16 |
| M' | 16,37 | 20,34 | 21,16 | 21,16 | 16,37 | 18,04 | 21,16 | 18,04 | 21,16 | 18,04 | 16,37 | 14,53 |
| MSP ₂ | 5,44 | 9,61 | 12,41 | 10,82 | 0,78 | 8,69 | 9,18 | 7,30 | 11,03 | 11,76 | 5,07 | 3,66 |
| M _r | 8,27 | 14,64 | 16,37 | 16,37 | 8,27 | 10,63 | 16,37 | 10,63 | 16,37 | 10,63 | 8,27 | 6,16 ° |

* Moment au vu de l'appui

$M(x) = 10,66x - \frac{3,39x^2}{2} - 11,76$ pour $x = 0,15$

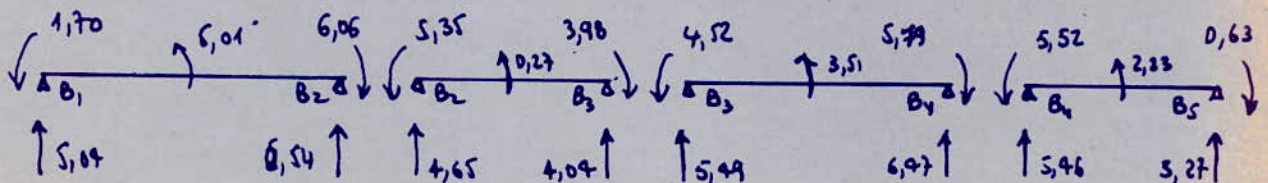
$M(0,15) = 10,20 \text{ tm} < 10,63$ moment résistant

(0) à cet appui, un moment positif est susceptible d'apparaître sous SP₂ tel

$M = 1,96 \text{ t/m} \rightarrow$ Les armatures inférieures sont soumises à un effort de traction

$F = T + \frac{M}{z}$ $F = 6,74 + \frac{1,96}{0,49} = 11,52 \Rightarrow A \geq \frac{11,520}{4200} = 2,74 \text{ cm}^2 < 6,03 = 3T16.$

Poutre B₁B₅ (rive) :



Détermination des armatures longitudinales :

On prévoit un enrobage de 3cm $\rightarrow h = 47$ cm $b = 30$ cm

$$\bar{\sigma}_a = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_b' = 135 \text{ kg/cm}^2$$

| | Travée B ₁ B ₂ | | | Travée B ₂ B ₃ | | | Travée B ₃ B ₄ | | | Travée B ₄ B ₅ | | |
|-------------|--------------------------------------|--------|----------------------|--------------------------------------|--------|----------------------|--------------------------------------|--------|----------------------|--------------------------------------|--------|----------------------|
| | Appui B ₁ | Travée | Appui B ₂ | Appui B ₂ | Travée | Appui B ₃ | Appui B ₃ | Travée | Appui B ₄ | Appui B ₄ | Travée | Appui B ₅ |
| η | 1700 | 5010 | 6060 | 5350 | 270 | 8980 | 4520 | 3510 | 5790 | 5520 | 2230 | 630 |
| μ | 0,0137 | 0,0405 | 0,0490 | 0,0432 | 0,0022 | 0,0322 | 0,0365 | 0,0284 | 0,0461 | 0,0446 | 0,0180 | 0,0051 |
| k | 81 | 43,4 | 38,8 | 41,8 | 215 | 49,8 | 46,2 | 53,5 | 40,2 | 41 | 69,5 | 138 |
| σ_b' | | | 72,16 | | | | | | 69 | | | |
| \bar{w} | 0,0965 | 0,296 | 0,359 | 0,316 | 0,0152 | 0,232 | 0,265 | 0,205 | 0,338 | 0,327 | 0,128 | 0,0335 |
| A calculée | 1,36 * | 9,17 | 5,06 | 4,46 | 0,21 * | 3,27 | 3,74 | 2,89 | 4,77 | 4,61 | 1,80 * | 0,47 * |
| A disposée | 3T10 | 3T14 | 3T16 | 3T16 | 3T14 | 3T14 | 3T14 | 3T14 | 3T16 | 3T16 | 3T14 | 3T10 |

- Condition de non fragilité CCBA 68 art 52 :

$$\frac{A}{b_0 h} \geq 44 \frac{\bar{\sigma}_b'}{\bar{\sigma}_a} \left(\frac{h_f}{h} \right)^2 \Rightarrow A \geq 1,82 \text{ cm}^2 \text{ on a } \sigma_b' < \bar{\sigma}_b'$$

* section d'armature inférieure à la section minimale nécessaire.

Les armatures intérieures seront constituées par 3T14 filantes.

Les armatures de montage seront en T10 \Rightarrow 3T10. Ces mêmes barres joueront le rôle de chapeau aux appuis extrêmes.

Vérification de la contrainte admissible de traction des armatures longitudinales :

$$\bar{\sigma}_a = \min \left\{ \begin{array}{l} \max \left\{ \begin{array}{l} \sigma_1 \\ \sigma_2 \end{array} \right. \\ \frac{2}{3} \sigma_{en} \end{array} \right.$$

$$\sigma_1 = k \frac{\eta}{\phi} \frac{\bar{w}_f}{1 + 10 \bar{w}_f}$$

$$\sigma_2 = 2,4 \sqrt{\frac{\eta k \bar{\sigma}_b}{\rho}}$$

$$w_f = \frac{A}{\phi f}$$

$$k = 10^6 \text{ atmosphère nuisible } \eta = 1,6 \text{ (HA)}$$

pour B T16. La contrainte admissible est égale à 2800 kg/cm^2 vérifiée précédemment.

$$T14: \quad \sigma_2 = 2,4 \sqrt{\frac{1,6 \cdot 10^6 \cdot 5,9}{14}} = 1970$$

$$B_f = [30 \times 2] \cdot 2 = 120 \Rightarrow \bar{w}_f = \frac{4,62}{120} = 0,0385$$

$$\Rightarrow \sigma_1 = 10^6 \frac{1,6}{14} \times \frac{0,0385}{1 + 10 \times 0,0385} = 3176 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \bar{\sigma}_a = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

$$T10: \quad \sigma_2 = 2,4 \sqrt{\frac{1,6 \cdot 10^6 \times 5,9}{10}} = 2331 \text{ kg/cm}^2$$

$$B_f = 30 \times 3 = 90$$

$$\bar{w}_f = \frac{2,35}{90} = 0,0261$$

$$\sigma_1 = 10^6 \times \frac{1,6}{10} \times \frac{0,0261}{1 + 10 \times 0,0261} = 3312 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \bar{\sigma}_a = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

Contrainte de cisaillement:

On vérifie la contrainte due à l'effort tranchant maximum 6540 kg

$$\tau_d = \frac{T}{b_0 z} = \frac{6540}{30 \times 41} = 5,31 < \bar{\sigma}_a \Rightarrow \text{le béton ne sera pas cisailé}$$

donc B armatures obliques ne sont pas nécessaires.

| | Travée B ₁ B ₂ | | Travée B ₂ B ₃ | | Travée B ₃ B ₄ | | Travée B ₄ B ₅ | |
|----------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------|
| | Appui B ₁ | Appui B ₂ | Appui B ₂ | Appui B ₃ | Appui B ₃ | Appui B ₄ | Appui B ₄ | Appui B ₅ |
| T | 5040 | 6540 | 9650 | 4040 | 6490 | 6470 | 5460 | 3270 |
| τ_d | 4,10 | 5,31 | 3,78 | 3,28 | 4,46 | 5,26 | 4,94 | 2,66 |

Contrainte admissible des armatures transversales :

$$\bar{\sigma}_{at} = \rho_{at} \sigma_{en} = \frac{2}{3} 2200 = 1467 \text{ kg/cm}^2$$

Les armatures transversales seront constituées d'un cadre et d'un étrier en $\phi 6$

$$4 \text{ brins} \Rightarrow A_t = 2,01 \text{ cm}^2$$

Espacement des armatures transversales :

- écart initial auprès des appuis (et final)

$$\bar{t} \leq \max(t_1, t_2) \quad t_2 = b \left(1 - \frac{0,3 \tau_b}{\bar{\sigma}_b}\right)$$

$$t_2 = 0,2h = 9,4 \text{ cm} \quad \text{et} \quad t \leq \frac{A_t \bar{\sigma}_{at}}{T}$$

| | Travée B ₁ B ₂ | | Travée B ₂ B ₃ | | Travée B ₃ B ₄ | | Travée B ₄ B ₅ | |
|--|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------|
| | Appui B ₁ | Appui B ₂ | Appui B ₂ | Appui B ₃ | Appui B ₃ | Appui B ₄ | Appui B ₄ | Appui B ₅ |
| T | 5040 | 6540 | 4650 | 4040 | 5490 | 6470 | 5460 | 3270 |
| τ_b | 4,10 | 5,31 | 3,78 | 3,28 | 4,46 | 5,26 | 4,44 | 2,66 |
| $t_2 = b \left(1 - \frac{0,3 \tau_b}{\bar{\sigma}_b}\right)$ | 37,2 | 34,3 | 38,0 | 39,2 | 36,3 | 34,4 | 36,4 | 40,6 |
| $\frac{A_t \bar{\sigma}_{at}}{T}$ | 24,0 | 18,5 | 26,0 | 24,9 | 22,0 | 18,7 | 22,1 | 37 |
| t | 16 | 16 | 20 | 20 | 16 | 16 | 20 | 20 |

Condition de non entraînement :

$$\bar{\tau}_d = 125 \psi d^2 \bar{\sigma}_b = 16,60$$

$$\bar{\tau}_d = \frac{T}{\rho_{p,u,i}} \frac{A_i}{A}$$

Appui B₁ :

$$\bar{\tau}_d = \frac{5040}{41 \times 3,14} \times \frac{1}{3} = 13,05 < 16,6$$

Appui B₂ :

$$\bar{\tau}_d = \frac{6540}{41 \times 5,03} \times \frac{1}{3} = 10,57 < 16,60$$

Appui B₃ :

$$\bar{\tau}_d = \frac{5490}{41 \times 4,90} \times \frac{1}{3} = 10,14 < 16,6$$

Appui B₄ :

$$\bar{\tau}_d = \frac{6470}{41 \times 5,03} \times \frac{1}{3} = 10,46 < 16,60$$

Condition d'appuis :

$T + \frac{M}{z} > 0$ il faut une section d'armature à la partie inférieure tel que

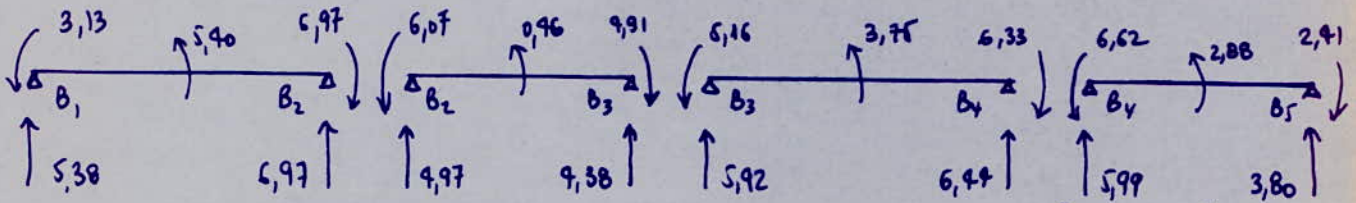
$A \bar{\sigma}_a > T + \frac{M}{z}$ $T + \frac{M}{z} < 0$ Aucun effort de traction.

Cette condition, on la vérifie, que pour les appuis extrêmes, car pour les appuis intermédiaires : M en valeur absolue est de même ordre que T.

Appui B₁ : $5090 - \frac{1700}{0,41} = 893 \text{ kg} \rightarrow A_{inf} = \frac{893}{2800} = 0,32 \text{ cm}^2 < 3T14 = 4,62 \text{ cm}^2$

Appui B₅ : $3270 - \frac{630}{0,41} = 1733 \text{ kg} \rightarrow A_{inf} = \frac{1733}{2800} = 0,62 \text{ cm}^2 < 3T14 = 4,62 \text{ cm}^2$

Vérification aux sollicitations du second genre SP₁ :



$\bar{\sigma}_a = 4200 \text{ kg/cm}^2$ $\bar{\sigma}_{b'} = 202,5 \text{ kg/cm}^2$

| | Travée B ₁ B ₂ | | | Travée B ₂ B ₃ | | | Travée B ₃ B ₄ | | | Travée B ₄ B ₅ | | |
|-------------------|--------------------------------------|--------|----------------------|--------------------------------------|--------|----------------------|--------------------------------------|--------|----------------------|--------------------------------------|--------|----------------------|
| | Appui B ₁ | Travée | Appui B ₂ | Appui B ₂ | Travée | Appui B ₃ | Appui B ₃ | Travée | Appui B ₄ | Appui B ₄ | Travée | Appui B ₅ |
| \bar{w} | 0,167 | 0,328 | 0,428 | 0,428 | 0,328 | 0,328 | 0,328 | 0,328 | 0,428 | 0,428 | 0,328 | 0,167 |
| μ | 0,0233 | 0,0446 | 0,0579 | 0,0579 | 0,0446 | 0,0446 | 0,0446 | 0,0446 | 0,0579 | 0,0579 | 0,0446 | 0,0233 |
| μ' | 0,0933 | 0,1220 | 0,1350 | 0,1350 | 0,1220 | 0,1220 | 0,1220 | 0,1220 | 0,1350 | 0,1350 | 0,1220 | 0,0933 |
| M | 4,32m | 8,27 | 10,74 | 10,74 | 8,27 | 8,27 | 8,27 | 8,27 | 10,74 | 10,74 | 8,27 | 4,32 |
| m' | 12,52 | 16,37 | 18,11 | 18,11 | 16,37 | 16,37 | 16,37 | 16,37 | 18,11 | 18,11 | 16,37 | 12,52 |
| M SP ₂ | 3,13 | 5,40 | 6,97 | 6,07 | 0,96 | 4,91 | 5,16 | 3,75 | 6,33 | 6,62 | 2,88 | 2,41 |
| M ₁ | 4,32 | 8,27 | 10,74 | 10,74 | 8,27 | 8,27 | 8,27 | 8,27 | 10,74 | 10,74 | 8,27 | 4,32 |

Vérification de la contrainte de cisaillement

On vérifie la contrainte donnée par l'effort tranchant maximum

$$T_{\max} = 6,97t$$

$$\tau_b = \frac{T}{b_3}$$

$$\tau_b = \frac{6970}{30 \times 41} = 5,66 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{Elle n'atteint même pas la contrainte de traction du 1er genre.}$$

Vérification de la flèche: CCBA 68 Art 61.21

La justification de la flèche est inutile pour les poutres associées à un hourdi - et si en plus, les conditions suivantes sont vérifiées

$$\frac{ht}{l} \geq \frac{1}{16} \quad ; \quad \frac{ht}{l} \geq \frac{1}{10} \frac{M_t}{M_0} \quad \frac{A}{b_0 h} \leq \frac{43}{\sigma_{en}}$$

Pour la poutre B, B₅, on vérifie ces conditions pour le cas le plus défavorable.

l = portée libre de la plus grande portée 5,70m

ht = hauteur totale 50cm

M_t = Moment maximum en travée

M_0 = Moment en travée, considérée comme indépendante

M_t et M_0 pour la même travée.

A : section d'armature maximum en travée

$b = 30$

$h = 47$

$\sigma_{en} = 4120 \text{ bars}$

$$M_t = 9,03tm$$

$$M_0 = \frac{q l^2}{8} = \frac{3,48 \times 36}{8} = 15,66$$

$$\frac{ht}{l} = \frac{50}{570} = \frac{1}{11,4} > \frac{1}{16}$$

$$\frac{ht}{l} = \frac{1}{11,4} \geq \frac{1}{10} \times \frac{9,03}{15,66} = \frac{9,03}{156,6} \approx \frac{1}{17}$$

$$A = 3T10 + 3T16 = 6,03 + 2,35$$

$$\frac{A}{b_0 h} = \frac{8,38}{30 \times 47} = \frac{8,38}{1410} = 0,0059$$

$$\frac{43}{\sigma_{en}} = \frac{43}{4120} = 0,0104 \Rightarrow \frac{A}{b_0 h} < \frac{43}{\sigma_{en}}$$

Les 3 conditions sont vérifiées, donc il n'y a pas lieu de vérifier la flèche.

Ceci est valable pour la poutre de rive car les caractéristiques géométriques ne changent pas et en plus, on aura une section d'armatures tendus inférieure à 8,38 cm²

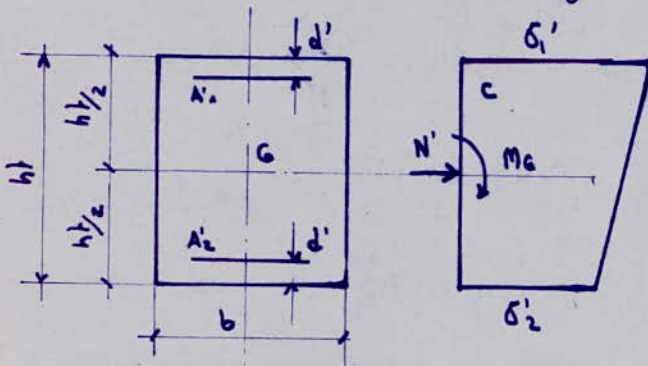
Calcul en Flexion Composée :

En flexion composée, 2 cas peuvent se présenter

- La section est partiellement comprimée si on a $\frac{M}{N'} > \frac{ht}{6}$ (l'excentricité de N' est à l'extérieur du noyau central)
- La section est entièrement comprimée si on a $\frac{M}{N'} < \frac{ht}{6}$ (excentricité de N' à l'intérieur du noyau central)

Dans notre cas, la section ne sera jamais entièrement tendue, l'effort normal étant toujours un effort de compression.

• Section partiellement comprimée : Considérons une section rectangulaire soumise à un effort normal N' et un moment M_G par rapport à G centre de gravité de la section du béton seul - On disposera des armatures symétriques $\rightarrow G$ sera aussi le centre de gravité de la section entière.



Dans ce cas, toute la section intervient dans les calculs et les contraintes extrêmes sont

données par :

$$\sigma'_1 = \frac{N'}{B'_0} + \frac{M_G v_1}{I} \quad \sigma'_2 = \frac{N'}{B'_0} - \frac{M_G v_2}{I}$$

$v_1 = v_2 = \frac{ht}{2}$ car, on dispose des armatures symétriquement

B_0 = aire de la section homogène = $B' + n(A'_1 + A'_2) = bht + 2nA'_2$

I = moment d'inertie de la section homogène par rapport à l'axe perpendiculaire à l'axe de symétrie et passant par le centre de gravité de cette section.

$$I = \frac{bh^3t}{12} + 2nA' \left(\frac{ht}{2} - d' \right)^2 \quad \text{posons } A' = \bar{w} bht \quad d' = \delta ht$$

$$\Rightarrow I = \frac{bh^3t}{12} + 2n\bar{w}' bht \left(\frac{ht}{2} - \delta ht \right)^2 = bh^3t \left[\frac{1}{12} + 2n\bar{w}' \left(\frac{1}{2} - \delta \right)^2 \right]$$

$$B'_0 = bht + 2n\bar{w}' bht = Fbht \quad \text{posons } I = Lbh^3t$$

$$\delta'_1 = \frac{N'}{Fbht} + \frac{Mcgt}{2bh^3tL} \quad M_c = e_0 N'$$

$$\rightarrow \delta'_1 = \frac{N'}{bht} \left[\frac{1}{F} + \frac{e_0 ht}{2h^3tL} \right] = \frac{N'}{bht} \left[\kappa + \frac{Re_0}{ht} \right]$$

$$d' \text{ ou } \delta'_2 = \frac{N'}{bht} \left[\kappa - \frac{Re_0}{ht} \right]$$

Cette méthode consiste à prendre un certain pourcentage d'armature et vérifier les contraintes extrêmes. On utilisera le tableau du Charon p. 239

• Section partiellement comprimée :

Pour calculer en flexion composée une section partiellement comprimée, soumise à un effort normal N' et un moment M_c , on calculera la section en flexion simple sous l'effort d'un moment fictif égal à la somme du moment appliqué et du moment de l'effort normal par rapport au centre de gravité des aciers tendus.

La section de armatures comprimées dans la section réelle sera égale à la section de armatures comprimées ainsi calculées et la section de armatures tendus dans la section réelle sera égale à la section de armatures tendus fictives (A_1) diminuées de $\frac{N'}{\sigma_a}$.

$$A' = A'_1 \quad A = A_1 - \frac{N'}{\sigma_a}$$

Ferraillage des poteaux :

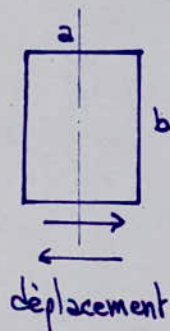
généralité : Pour chaque poteau, on a 4 moments dans le sens transversal (2 sous SP_1 et 2 sous SP_2) et 2 dans le sens longitudinal sous SP_2

On déterminera dans le sens transversal les sections d'armatures nécessaires pour chacun des cas SP_1 et SP_2 (en flexion composée) et on adoptera le maximum, puis dans le sens longitudinal. On calculera l'armature nécessaire sous les sollicitations SP_2 dans ce sens, et on disposera à la fin, les aciers, de telle sorte qu'on ait dans chaque sens, la section d'acier nécessaire.

Les armatures ainsi déterminées sont :

longueur de flambement : CCBA 6B art 53.2

. $l_e = l_0$ Les poteaux sont encastres à leurs extrémités et ils peuvent se déplacer l'un par rapport à l'autre suivant une direction perpendiculaire à l'axe longitudinal de la pièce située dans le plan principal pour lequel on étudie le flambement



$$l_e = l_0$$

élancement

$$d = \frac{l_e}{i} \quad i = \sqrt{\frac{I}{B'}}$$

$$\rightarrow I = \frac{ba^3}{12}$$

$$B' = ab$$

$$\frac{I}{B'} = \frac{a^2}{12} \rightarrow i = \frac{a}{2} \sqrt{\frac{1}{3}}$$

• poteau de hauteur $h = 3,25$ $a = 30$, $b = 30$

$$\rightarrow l_c = 325 \quad i = \frac{a}{2\sqrt{3}} = \frac{30}{2\sqrt{3}} = 8,66$$

$$\rightarrow \lambda = \frac{l_c}{i} = \frac{325}{8,66} = 37,52 < 50 \quad \text{pas de risque de flambement}$$

$$\rightarrow l_c = 450 \quad a = 30 \quad b = 50$$

$$\rightarrow \lambda = \frac{l_c}{i} = \frac{450}{17,32} = 25,98 \approx 26 > 50 \quad \text{risque de flambement}$$

Pour ces derniers, on calcule l'excentricité de flambement CBA 68 art 33.12

$$f_c = 8 \frac{i^2}{v} (1 + \xi) 10^{-3} (\lambda - 50)^{3/2}$$

ξ = rapport du plus grand effort normal de service susceptible d'une longue durée à l'effort normal maximal.

v = ordonnée maximale du centre de la section du côté le plus comprimé dans le calcul de flexion composée par rapport à l'axe central d'inertie de la section droite du béton seul de la pièce. Dans notre cas, la section étant rectangulaire,

$$v = \frac{a}{2} = \frac{30}{2} = 15 \text{ cm}$$

ξ = rapport de l'effort normal dû à G et l'effort normal maximal sous $8P_2$

$$\xi = \frac{17,65}{21,78} = 0,81 \quad \text{poteau de rive}$$

$$\xi = \frac{52,54}{64,80} = 0,81 \quad \text{poteau central}$$

$$\rightarrow f_c = 8 \frac{i^2}{v} (1 + \xi) 10^{-3} (\lambda - 50)^{3/2}$$

$$f_c = 8 \times \frac{15^2}{12} \times \frac{1}{15} (1 + 0,81) 10^{-3} (52 - 50)^{3/2} \Rightarrow f_c = 51 \cdot 10^3 \text{ cm} \approx 0,5 \text{ cm}$$

→ l'excentricité de flambement donne un moment $M = N' f_c$ dans le sens longitudinal

On ajoutera ce moment au moment calculé dans le sens longitudinal.

Bloc A :

Moment et effort normal dans chaque poteau et dans chaque sens.

Dans ce bloc, on distingue 4 poteaux notés I_1, I_2, R_1, R_2

| | | I_1 | | I_2 | | R_1 | | R_2 | | |
|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| | | M | N' | M | N' | M | N' | M | N' | |
| Sens transversal | SP ₁ | 10,18 | 20,27 | 1,05 | 60,36 | 7,12 | 12,96 | 0,56 | 38,70 | |
| | SP ₂ | 19,15 | 21,78 | 10,06 | 64,86 | 12,29 | 13,98 | 6,89 | 41,74 | |
| Sens longitudinal | d _i à S _i | d _i à S _i | 6,16 | 2,25 | 6,77 | 2,84 | 3,25 | 2,56 | 3,65 | 2,43 |
| | d _i à f _c | d _i à f _c | 0,10 | — | 0,32 | — | 0,07 | — | 0,20 | — |
| | Total | Total | 6,26 | 2,25 | 7,09 | 2,84 | 3,32 | 2,56 | 3,85 | 2,43 |

ferraillage du poteau I_1

sens transversal SP₁ ⇒ M = 10,18 tm N' = 20,27 t

⇒ e = $\frac{10,18}{20,27} = 0,5$ m la section est partiellement comprimée

$$\text{car } e > e_0 = \frac{ht}{6} = \frac{50}{6}$$

Sous SP₁ : M = M₀ + N'a

$$a = \left(\frac{ht}{2} - d' \right) = \left(\frac{50}{2} - 4 \right) = 21 \Rightarrow M = 10,18 + 20,27 \times 0,21 = 14,44 \text{ tm}$$

$$\rightarrow \mu = \frac{15 \times 12}{2800 \times 30 \times 46^2} = 0,1219 \rightarrow k = 21,7 \quad \bar{w} = 0,942$$

$$\rightarrow A_1 = \bar{w} \frac{bh}{100} = 12,99$$

$$\rightarrow A = A_1 - \frac{N'}{\sigma_a} = 12,99 - \frac{20,270}{2800} = 5,76 \text{ cm} \rightarrow A = 3T16 = 6,03$$

Sous SP₂ : M = 19,15 + 21,78 × 0,21 = 23,72 tm

$$\rightarrow \mu = \frac{23,720 \times 15}{2800 \times 30 \times 46^2} = 0,1335 \rightarrow k = 20,4 \rightarrow \delta'_h = \frac{4200}{20,4} = 205,9 > \delta'_b$$

→ nécessité d'armatures comprimées.

$$R = 20,4 \rightarrow \mu' = 0,1819 \rightarrow M' = 0,1819 \times b h^2 \bar{\sigma}'_b = 23,38 \text{ tm}$$

$$A_M = 23,72 - 23,38 = 0,34 \text{ tm}$$

$$A' = \frac{340000}{(46-4)4200} = 0,19 \text{ cm}^2 = A_2$$

$$A_1 = \frac{1,038 \times 30 \times 46}{100} = 0,19 = 14,51$$

$$A = A_1 - \frac{N'}{\sigma_a} = 14,51 - \frac{21780}{4200} = 9,32 \text{ cm}^2 \rightarrow 3T20$$

Dans ce sens, on disposera 3T20 sur chaque face (moment susceptible de changer de sens et pour éviter les erreurs sur chantiers).

Sous longitudinal, $M = 6,26 \text{ tm}$ $N' = 2,25 \text{ t}$

$$e = \frac{6,26}{1,25} = 2,78 > \frac{h}{6} = \frac{0,27}{6} \rightarrow \text{section partiellement comprimée}$$

$$M = M_0 + N' a = 6,26 + 2,25 \left(\frac{30}{2} - 3 \right) = 6,26 + 2,25 \times 0,12 = 6,53 \text{ tm}$$

$$\mu = \frac{15 \times 653000}{4200 \times 50 \times 27^2} = 0,640 \rightarrow R = 32,8 \quad \bar{w} = 0,479$$

$$\rightarrow A_1 = 0,419 \times \frac{27 \times 50}{100} = 6,47 \quad A = A_1 - \frac{N}{\sigma_a} = 6,47 - \frac{2250}{4200} = 5,93 \text{ cm}^2$$

$A = 5,93 \text{ cm}^2$ nous avons déjà 2T20 = 6,28 cm². Il n'y a pas d'en rajouter, mais nous disposerons 1T16 sur chaque face pour la répartition.

Vérification du moment minimum CCBA 68 art 32.2

J₁ : poteau de rive :

$$w'l = \frac{A'}{B'} \geq \frac{1,25}{1000} \theta_1 \theta_2 \theta_3 \frac{\sigma'_m}{\bar{\sigma}'_b}$$

A' : section totale des armatures longitudinales

B' : section du béton, armatures non déduites

θ_1 : Coefficient destiné à tenir compte de possibilités d'excentricité de la charge et ayant pour valeur

1,8 pour un poteau d'angle

1,4 pour un poteau de rive

1 pour les poteaux intérieurs

$$\theta_2 = 1 + \frac{lc}{4a - 2c} \quad c \text{ enrobage} \quad c = 3 \text{ cm}$$

θ_3 = coefficient numérique ayant pour valeur $\theta_3 = 1 + \frac{2160}{6'_{en}}$

σ'_m = contrainte moyenne de compression des pièces sous sollicitations du 1^{er} genre

$$\sigma'_m = \frac{N'}{B'}$$

$$\Rightarrow \sigma'_m = \frac{20270}{30 \times 50} = 13,51 \text{ kg/cm}^2$$

$$w'l = \frac{1,25}{1000} \cdot 1,4 \left(1 + \frac{945}{4 \times 30 - 2 \times 3} \right) \left(1 + \frac{2160}{4120} \right) \frac{13,51}{67,5} = 0,0026$$

$$A = 3,97 \text{ cm}^2 < 6T20 + 2T16 = 18,85 + 4,02 = 22,87 \text{ cm}^2$$

Poteau type I₂ (intérieur) :

Sens transversal : sous SP₁ . $M = 1,05 \text{ tm}$ $N' = 60,36 \text{ t}$

$$\rightarrow e_0 = \frac{1,05}{60,36} = 0,017 < \frac{ht}{6} = \frac{0,50}{6} = 0,083 \text{ section entièrement comprimée}$$

$$ht = 50 \quad d' = d = 5 \text{ cm} \rightarrow \delta = \frac{d'}{ht} = \frac{5}{50} = 0,10$$

$$\frac{e_0}{ht} = \frac{1,7}{50} = 0,034 < 0,183 \rightarrow A = 4,878 \quad K = 0,893 \quad \bar{w} = \bar{w}' = 0,044$$

$$\rightarrow \sigma'_1 = \frac{N'}{bht} \left(\kappa + \frac{e_0 R}{ht} \right) = \frac{60360}{50 \times 30} \left(0,893 + \frac{1,7 \times 4,878}{50} \right) = 42 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_{b'0}$$

$$\sigma'_2 = \frac{N'}{bht} \left(\kappa - \frac{e_0 R}{ht} \right) = \frac{60360}{50 \times 30} \left(0,893 - \frac{1,7 \times 4,878}{50} \right) = 26,26 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rightarrow \bar{w} = w' = 0,004 \rightarrow A = A' = \bar{w} \times bht = 0,004 \times 30 \times 50 = 6 \text{ cm}^2$$

$$A = A' = 3T16 = 6,03 \text{ cm}^2$$

Sous σ_{p2} : $M = 10,06 \text{ tm}$ $N' = 64,860 \text{ t}$

$$e_0 = \frac{10,06}{64,86} = 0,155 > \frac{ht}{6} = \frac{0,50}{6} = 0,083 \rightarrow \text{section partiellement comprimée}$$

$$\rightarrow M = M_0 + N'a = 10,60 + 64,86 \times 0,21 = 23,68 \text{ tm}$$

$$\rightarrow \mu = \frac{15 \times 2368000}{4200 \times 30 \times 46^2} = 0,1332$$

$$\rightarrow R = 20,4 \rightarrow \sigma'_{b'} = \frac{4200}{20,4} = 205,9 < \bar{\sigma}'_{b'}$$
 nécessité d'armature comprimée

$$k = 20,4 \rightarrow \mu' = 0,1879 \rightarrow m' = 23,38 \text{ tm}$$

$$\rightarrow A_m = 23,68 - 23,38 = 0,3 \text{ tm} \quad A' = A_1 = \frac{30000}{(46-4)4200} = 0,17 \text{ cm}^2$$

$$A_1 = \frac{1,038 \times 30 \times 46}{100} + 0,17 = 14,49 \text{ cm}^2$$

$$A = A_1 - \frac{N'}{\sigma_a} = 14,49 - \frac{64860}{4200} = -0,95 \text{ kg armature calculées sous } \sigma_{p2} \text{ sont suffisantes.}$$

sens longitudinal: $M = 7,09 \text{ tm}$ $N = 2,84$

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{7,09}{2,84} = 2,50 > \frac{ht}{6} \rightarrow \text{section partiellement comprimée}$$

$$M = M + N'a \quad a = \frac{ht}{2} - d \quad ht = 30 \rightarrow a = \frac{30}{2} - 3 = 12 \text{ cm}$$

$$M = 7,09 + 2,84 \times 0,12 = 7,43 \text{ tm}$$

$$\rightarrow \mu = \frac{743000}{4200 \times 50 \times 27^2} = 0,0728 \rightarrow R = 30,3 \quad \bar{w} = 0,546$$

$$\rightarrow A = \bar{w} \frac{bht}{100} = 0,546 \times \frac{50 \times 30}{100} = 8,19 \rightarrow 3T20 = 9,42 \text{ cm}^2$$

• Pourcentage minimal:

$$\delta'_m = \frac{N'}{bht} = \frac{60360}{30 \times 50} = 40,24 \text{ kg/cm}^2$$

$$w'e = \frac{1,25}{1000} \times 1 \times \left(1 - \frac{445}{4 \times 30 - 2 \times 3}\right) \left(1 + \frac{2160}{4000}\right) \frac{40,24}{67,5} = 0,0056$$

$$A = 8,44 \text{ cm}^2 < 8 \text{ T20}$$

→ On disposera 1 T20 sur chaque angle + 1 T20 au milieu de chaque face de poteau.

Poteaux : R_1 sens transversal

Sous SP₁ : $M = 7,12 \text{ tm}$ $N' = 12,96 \text{ t}$

$$e_0 = \frac{7,12}{12,96} = \frac{M}{N'} = 0,55 > \frac{ht'}{6} \text{ section partiellement comprimée}$$

$$M = M + N'a = 7,12 + 12,96 \times 0,21 = 8,68 \text{ tm}$$

$$\mu = \frac{15 \times 868000}{2800 \times 30 \times 46^2} = 0,0732 \rightarrow k = 30,2 \quad \bar{\omega} = 0,549$$

$$\Rightarrow A_1 = 0,549 \times \frac{46 \times 30}{100} = 7,58 \text{ cm}^2$$

$$A = A_1 - \frac{N'}{\sigma_a} = 7,58 - \frac{12960}{2800} = 2,95 \text{ cm}^2$$

Sous SP₂ : $M = 12,29 \text{ tm}$ $N' = 13,98 \text{ t}$

$$e_0 = \frac{12,29}{13,98} = 0,88 > \frac{ht'}{6} \text{ partiellement comprimée}$$

$$M = M + N'a = 12,29 + 13,98 \times 0,21 = 15,22$$

$$\mu = \frac{15 \times 1522000}{4200 \times 30 \times 46^2} = 0,0856 \rightarrow k = 22,3 \quad \bar{\omega} = 0,649$$

$$A_1 = 0,649 \times \frac{30 \times 46}{100} = 8,95 \quad A = A_1 - \frac{N'}{\sigma_a} = 5,62 \text{ cm}^2 \rightarrow 3T16 = 6,03 \text{ cm}^2$$

Dans ce sens, on prendra $A = 5,62 \text{ cm}^2$ d'où $3T16 = 6,03 \text{ cm}^2$

sens longitudinal : $M = 3,32 \text{ tm}$ $N' = 2,56 \text{ t}$

$$e_0 = \frac{M}{N'} = \frac{3,32}{2,56} = 1,4 \rightarrow \text{section partiellement comprimée}$$

$$M = M + N'a = 3,32 + 2,56 \times 0,12 = 3,63$$

$$\mu = \frac{15 \times 363000}{4200 \times 50 \times 27^2} = 0,0356 \rightarrow k = 46,8 \quad \bar{\omega} = 0,259$$

$$A_1 = 0,259 \times \frac{50 \times 27}{100} = 3,50 \text{ cm}^2 \quad A = A_1 - \frac{N'}{\sigma_a} = 3,50 - \frac{2560}{4200} = 2,89 \text{ cm}^2$$

→ 1 T16 au milieu de chaque face

→ 3 T16 (2 d'angle, calculés dans l'autre sens).

Poteau R₂:

Sens transversal:

Sous SP₁: $M = 0,52 \text{ tm}$ $N' = 38,70 \text{ t}$

$$e_0 = \frac{0,52}{38,70} = 0,013 < \frac{ht}{6} \quad \text{section entièrement comprimée.}$$

$$\bar{w}' = \bar{w} = 0,004 \rightarrow A = A' = 6 \text{ cm}^2$$

$$\text{avec } \bar{\sigma}'_1 = \frac{38,70}{30 \times 46} \left(0,893 + \frac{1,3 \times 4,878}{50} \right) = 28,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}'_2 = \frac{38,70}{30 \times 46} \left(0,893 - \frac{1,3 \times 4,878}{50} \right) = 21,97 \text{ kg/cm}^2$$

Sous SP₂: $M = 6,89 \text{ tm}$ $N' = 41,74 \text{ t}$

$$\rightarrow e_0 = \frac{6,89}{41,74} = 0,16 > \frac{ht}{6} \quad \text{section partiellement comprimée}$$

$$M = 6,89 + 41,74 \times 0,12 = 11,90 \text{ tm}$$

$$\rightarrow \mu = \frac{119000 \times 15}{4200 \times 50 \times 21^2} = 0,1166 \rightarrow k = 22,4 \quad \bar{w} = 0,895$$

$$A_1 = 0,895 \times \frac{50 \times 27}{100} = 12,08 \text{ cm}^2 \quad A = A_1 - \frac{N'}{\bar{\sigma}_2} = 12,08 - \frac{41740}{4200} = 2,19 \text{ cm}^2$$

On prendra $A = 6,03 = 3 \text{ T16}$ calculée sous SP₁

Sens longitudinal: $M = 3,85 \text{ tm}$ $N' = 2,43 \text{ t}$

$$e_0 = \frac{3,85}{2,43} = 1,58 > \frac{ht}{6} \quad \text{section partiellement comprimée}$$

$$M = M + N'e_0 = 3,85 + 2,43 \times 0,12 = 4,14 \text{ tm}$$

$$\mu = \frac{15 \times 414000}{4200 \times 50 \times 27^2} = 0,0906 \rightarrow k = 43,4 \quad \bar{w} = 0,296$$

$$\rightarrow A_1 = 0,295 \times \frac{50 \times 27}{100} = 4 \text{ cm}^2$$

$$A = A_1 - \frac{N'}{G_a} = 4 - \frac{2430}{42000} = 3,41 \text{ cm}^2$$

Pourcentage minimal d'armature :

Pour R₁: $w'l \geq \frac{1,25}{1000} \theta_1 \theta_2 \theta_3 \frac{\sigma_m'}{\bar{\sigma}'_{b_0}}$

$$\sigma_m' = \frac{12960}{30 \times 50} = 8,64 \text{ kg/cm}^2 \quad w'l \geq \frac{1,25}{1000} 1,8 \left(1 + \frac{445}{4 \times 30 - 2 \times 3}\right) \left(1 + \frac{2160}{4000}\right) \frac{8,64}{67,5} = 0,0022$$

$$A > \bar{w}'l \times b \times a = 0,0022 \times 50 \times 30 = 3,26 \text{ cm}^2 \Rightarrow A = 8T16$$

Pour R₂: $w'l \geq \frac{1,25}{1000} \times 1,4 \times \left(1 + \frac{445}{4 \times 30 - 2 \times 3}\right) \left(1 + \frac{2160}{4000}\right) \frac{\sigma_m'}{67,5} \quad \sigma_m' = 27,82 \text{ kg/cm}^2$

$$w'l > \frac{1,25}{1000} \times 1,4 \times \left(1 + \frac{445}{4 \times 30 - 2 \times 3}\right) \left(1 - \frac{2160}{4000}\right) \frac{27,82}{67,5} = 0,0054$$

$$A \geq 0,0054 \times 30 \times 50 = 8,17 \text{ cm}^2 < 8T16$$

Espacement de armature transversale :

$$\phi_t \geq 0,3 \phi l_{\max} = 0,3 \times 20 = 6 \rightarrow 6 \text{ } \phi \text{ armatures transversales seront constituées}$$

en $\phi 8 \rightarrow E22$

L'espacement t entre 2 cours successifs CCBA 68 art 32.32

$$t = \min(t_1, t_2) \text{ zone ne présentant de jonction par recouvrement.}$$

$$t_1 = (100 \phi t - 15 \phi l_{\max}) \left(2 - \frac{\sigma_b'}{\bar{\sigma}'_{b_0}}\right)$$

$$t_2 = \left(15 \left(2 - \frac{\sigma_b'}{\bar{\sigma}'_{b_0}}\right) \phi l_{\min}\right)$$

σ_b' contrainte moyenne sous sollicitation du 1^{er} genre

$\bar{\sigma}'_{b_0}$ contrainte admissible en compression simple

La contrainte moyenne pour le poteau le plus chargé est égale à $40 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_{b_0}$

\rightarrow si on prend $t_1 = (100 \phi t - 15 \phi l_{\max})$ et $t_2 = 15 \phi l_{\min}$ on est dans la sécurité.

$$t_1 = 100 \times 6 = 15 \times 20 = 300 \text{ mm}$$

$$t_2 = 15 \times 16 = 240 \text{ mm}$$

$$t_{\min}(t_1, t_2) \text{ On prend } t = 20 \text{ cm}$$

Zone de jonction par recouvrement: CCBA 68 art 32.33

γ = nombre de cours d'armature transversale sur la longueur de recouvrement

$$\gamma \geq 3 \quad \gamma > \frac{0,4 \phi^2 l \sigma_{enl}}{\phi^2 t \sigma_{ent}} = \frac{0,4 \times 16^2 \times 4120}{62 \times 2160} = 5,4 \rightarrow \gamma = 5$$

$$l'd = \frac{\phi}{4} \times \frac{\bar{\sigma}'_d}{\bar{\tau}_d} \quad \phi l = 20 \Rightarrow \gamma = 8$$

$$\bar{\tau}_d = 1,25 \times \psi^2 d \bar{\sigma}_b = 1,25 \times 1,6^2 \times 5,9 = 18,88 \quad (\text{art. 30.21})$$

$$\Rightarrow l'd_{16} = \frac{16}{4} \times \frac{4200}{18,88} = 90 \text{ cm}$$

$$l'd_{20} = \frac{20}{4} \times \frac{4200}{18,88} = 110 \text{ cm}$$

$$\text{art 32.34} \quad l_r \geq 0,6 l'd \rightarrow l_{r16} \geq 54 \quad l_{r20} \geq 66$$

Dans une zone de recouvrement, on prend un espacement de 15 cm

avec $l_{t16} = 60 \text{ cm}$ et $l_{t20} = 105 \text{ cm}$

N.B.: à la base du poteau (la jonction se fait à la base du poteau).

Bloc B: (locaux de service)

On distingue 6 types de poteaux notés J_{IV}' , J_{IV} , J_{III} , R_{IV}' , R_{IV} , R_{III}

| | | R_{IV}' | | R_{IV} | | R_{III} | | J_{IV}' | | J_{IV} | | J_{III} | |
|------------------|-----------------|-----------|------|----------|------|-----------|------|-----------|-------|----------|-------|-----------|-------|
| | | M | N' | M | N' | M | N' | M | N' | M | N' | M | N' |
| sens Transversal | SP ₁ | 1,70 | 5,04 | 3,09 | 9,10 | 1,30 | 5,92 | 0,88 | 11,93 | 1,62 | 20,68 | 0,78 | 20,18 |
| | SP ₂ | 3,13 | 5,38 | 5,44 | 9,65 | 3,96 | 6,76 | 2,60 | 12,83 | 4,44 | 23,83 | 3,16 | 21,44 |
| sens longit. | SP ₂ | 1,88 | 1,87 | 2,10 | 1,07 | 2,10 | 1,07 | 3,74 | 1,91 | 4,26 | 1,91 | 3,26 | 1,41 |

ferrailage des poteaux du bloc B :

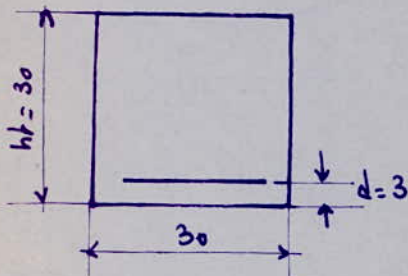
type R IV'

sens transversal :

sous SP₁ : $M = 1,70 \text{ tm}$ $N' = 5,04 \text{ t}$

$$e_0 = \frac{M}{N'} = \frac{1,70}{5,04} = 0,34 > \frac{ht}{6} = \frac{0,3}{6} = 0,05 \rightarrow \text{section partiellement comprimée}$$

\rightarrow section calculée en flexion avec moment fictif



$$M = M + a N'$$

$$a = \frac{ht}{2} - d = \frac{30}{2} - 3 = 12 \text{ cm}$$

$$\rightarrow M = 1,70 + 5,04 \times 0,12 = 2,30 \text{ tm}$$

$$\mu = \frac{hM}{\sigma_a \times b h^2} = \frac{15 \times 230000}{2800 \times 30 \times 27^2} = 0,0563$$

$$\rightarrow k = 35,6 \text{ et } \bar{w} = 0,416 \rightarrow A_1 = 3,37 \text{ cm}^2$$

$$A = A_1 - \frac{N'}{\sigma_a} = A_1 - \frac{5040}{2800} = 1,57 \text{ cm}^2$$

sous SP₂ : $e_0 = \frac{3,13}{5,38} = 0,58 > \frac{ht}{6} \rightarrow$ section partiellement comprimée.

moment fictif :

$$M = M + N' a = 3,13 + 5,38 \times 0,12 = 3,76$$

$$\mu = \frac{n \times m}{\sigma_a \times b h^2} = \frac{15 \times 376000}{4200 \times 30 \times 27^2} = 0,0619 \rightarrow k = 33,7 \quad w = 0,457$$

$$\rightarrow A_1 = \bar{w} \frac{b h}{100} = 0,457 \times \frac{30 \times 27}{100} = 3,70 \text{ cm}^2$$

$$A = A_1 - \frac{N'}{\sigma_a} = 3,70 - \frac{5,380}{4200} = 2,42 \text{ cm} \Rightarrow 2T 14 = 3,08$$

sens longitudinal : $M = 1,88 \text{ tm}$ $N' = 1,07 \rightarrow e_0 = \frac{1,88}{1,07} > \frac{ht}{6}$
section partiellement comprimée.

Moment fictif : $M = 1,88 + 1,07 \times 0,12 = 2,00 \text{ tm}$

$$\mu = \frac{15 \times 200000}{4200 \times 30 \times 27^2} = 0,0326 \rightarrow \bar{w} = 0,236$$

$$A_1 = 0,236 \times 3 \times 2,7 = 1,91 \text{ cm}^2 \quad A = 1,91 - \frac{1,070}{4200} = 1,67 \text{ cm}^2$$

Section d'armature adoptée :

1T14 à chaque angle . On aura 2T14 = 3,08 cm² > A calculée

Pourcentage minimal d'armatures longitudinales CCBA 68 art 32.2

$$w'l \geq \frac{1,25}{1000} \theta_1 \theta_2 \theta_3 \frac{\sigma_m'}{\sigma_b'}$$

Les différents coefficients sont définis précédemment

$$\sigma_m' = \frac{5040}{30 \times 30} = 56$$

$$\theta_1 = 1,8 \text{ poteau d'angle} \quad \theta_2 = 1 + \frac{l_c}{4a - 2c} = 1 + \frac{325}{4 \times 30 - 2 \times 3} = 3,85$$

$$\theta_3 = 1 + \frac{2160}{\sigma_{en}} = 1 + \frac{2160}{9120} = 1,54$$

$$w'l = 0,0011 \Rightarrow A = 0,991 = 1 \text{ cm}^2 < 4T14 = 6,15 \text{ cm}^2$$

Poteau type RIV :

Sens transversal :

Sous σ_{P2} : $M = 3,09 \text{ tm} \quad N' = 9,10 \text{ t}$

$$\rightarrow e_0 = \frac{M}{N'} = \frac{3,09}{9,10} = 0,34 > \frac{h}{6} \text{ section partiellement comprimée.}$$

Moment fictif : $M = 3,09 + 9,10 \times 0,12 = 4,18 \text{ tm}$

$$\mu = \frac{15 \times 418000}{2800 \times 30 \times 27^2} = 0,1023 \rightarrow k = 29,4 \quad \bar{w} = 0,780$$

$$A_1 = 0,78 \times 2,7 \times 3 = 6,32 \text{ cm}^2 \quad A = A_1 - \frac{N'}{\sigma_a} = 3,07 \text{ cm}^2$$

Sous σ_{P2} : $M = 5,44 \text{ tm} \quad N' = 9,65 \text{ t}$

$$\frac{M}{N'} = \frac{5,44}{9,65} = 0,56 \text{ section partiellement comprimée.}$$

→ Moment fictif : $M = 5,44 + 9,65 \times 0,12 = 6,60 \text{ tm}$

$$\mu = \frac{15660000}{4200 \times 30 \times 27^2} = 0,1077 \rightarrow \bar{w} = 0,823$$

→ $A_1 = 0,823 \times 2,7 \times 3 = 6,67$ et $A = 6,67 - \frac{9650}{4200} = 4,37 \text{ cm}^2 \rightarrow 3T14$

Sens longitudinal :

$M = 2,10 \text{ tm}$ $N' = 1,07 \text{ t}$ $e_0 = 0,15 > \frac{ht}{6}$ section partiellement comprimée

moment fictif : $M = 2,10 + 1,07 \times 0,12 = 2,23$

$$\mu = \frac{223000 \times 15}{4200 \times 30 \times 27^2} = 0,0364 \rightarrow \bar{w} = 0,263 \rightarrow A_1 = 0,263 \times 2,7 \times 3 = 2,13 \text{ cm}^2$$

d'où $A = 2,13 - \frac{1070}{4200} = 1,86 \text{ cm}^2 < 2T14 = 3,08 \text{ cm}^2$

→ 3T14 dans chaque face dans le sens transversal

$$w'l = \frac{1,25}{1000} \times 1,4 \times 3,85 \times 1,54 \times \frac{9100}{900 \times 67,5} = 0,0015$$

⇒ $A_{\min} = 1,40 \text{ cm} < 5T14 = 9,23 \text{ cm}^2$

Poteau R III

Sous SP₁ : $M = 1,30 \text{ tm}$ $N' = 5,92 \text{ t}$

$e_0 = \frac{1,30}{5,92} = 0,22 > \frac{ht}{6}$ section partiellement comprimée

Moment fictif : $M = 1,30 + 5,92 \times 0,12 = 2,01 \text{ tm}$

$$\mu = \frac{15 \times 201000}{2800 \times 30 \times 27^2} = 0,0492 \rightarrow k = 38,6 \quad \bar{w} = 0,363$$

$A_1 = 0,363 \times 3 \times 2,7 = 2,94 \text{ cm}^2$ $A = 2,94 - \frac{5,920}{2800} = 0,82 \text{ cm}^2$

Sous SP₂ : $M = 3,46 \text{ tm}$ $N' = 6,76 \text{ t}$

$e_0 = \frac{3,46}{6,76} = 0,51 > \frac{ht}{6}$ section partiellement comprimée

Moment fictif : $M = 3,96 + 6,76 \times 0,12 = 4,27$

$\rightarrow \mu = \frac{427000 \times 15}{4200 \times 30 \times 27^2} = 0,0697 \rightarrow \bar{w} = 0,520$

$\rightarrow A_1 = 0,520 \times 2,7 \times 3 = 4,21$ d'où $A = 4,21 - \frac{6760}{4200} = 260 \text{ cm}^2 \Rightarrow 2T14 = 3,08 \text{ cm}^2$

Sens longitudinal :

sous SP₂ : $M = 2,10 \text{ tm}$ $N' = 1,07 \text{ t}$

$\rightarrow A = 1,86 \text{ cm}^2$ (calculé pour R_{IV})

\rightarrow On disposera 4T14 un dans chaque angle

• Pourcentage minimal d'armature longitudinale

$w'l = \frac{1,25}{1000} \times 1,4 \times 3,85 \times 1,54 \times \frac{5920}{900 \times 67,5} = 0,001$

$A = 0,9 \text{ cm}^2 < 4T14 = 675 \text{ cm}^2$

Poteau I_{IV}

Sens transversal :

sous SP₂ : $M = 0,88 \text{ tm}$ $N' = 11,93 \text{ t}$

$e_0 = \frac{0,88}{11,93} = 0,07 > \frac{ht}{6} = \frac{0,3}{6} = 0,05$ section partiellement comprimée

moment fictif :

$M = 0,88 + 11,93 \times 0,12 = 2,31 \text{ tm}$

$\rightarrow \mu = \frac{231000 \times 15}{2800 \times 30 \times 27^2} = 0,0566 \rightarrow \bar{w} = 0,420 \rightarrow A_1 = 0,42 \times 3 \times 2,7 = 3,40 \text{ cm}^2$

d'où $A = A_1 - \frac{N'}{\sigma_a} = 3,40 - \frac{11930}{2800} < 0$ la section sera calculée par la

condition de pourcentage minimal

sous SP₂ : $M = 2,60 \text{ tm}$ $N' = 12,93 \text{ t}$

$e_0 = \frac{2,60}{12,43} = 0,21 > \frac{h}{6}$ section partiellement comprimée
moment fictif

$$M = 2,60 + 12,43 \times 0,12 = 4,09 \text{ tm}$$

$$\rightarrow \mu = \frac{409000 \times 15}{4200 \times 30 \times 27^2} = 0,0668 \rightarrow \bar{\omega} = 0,499 \rightarrow A_1 = 0,499 \times 3 \times 2,7 = 4,04$$

$$\text{d'où } A = A_1 - \frac{N'}{\sigma_a} = 4,04 - \frac{12430}{4200} = 1,08 \text{ cm}^2$$

Sens longitudinal :

Sous SP2 : $M = 3,79 \text{ tm}$ $N' = 1,41 \text{ t}$ section partiellement comprimée

$$\Rightarrow \text{moment fictif} = 3,79 + 1,41 \times 0,12 = 3,960$$

$$\rightarrow \mu = \frac{396000 \times 15}{4200 \times 30 \times 27^2} = 0,0647 \rightarrow \bar{\omega} = 0,481$$

$$\rightarrow A_1 = 0,481 \times 3 \times 2,7 = 3,90 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = A_1 - \frac{N'}{\sigma_a'} = 3,90 - \frac{1,41}{16} = 3,56 \text{ cm}^2 \rightarrow A = 2T16 = 4,02 \text{ cm}^2$$

→ la section sera ferrillée avec 4T16 un dans chaque angle

Vérification du pourcentage minimal :

$$w'l = \frac{1,25}{1000} \times 1,4 \times 3,85 \times 1,54 \frac{11930}{900 \times 67,5} = 0,0020$$

$$A_{\min} = 1,83 < 4T16 = 8,04 \text{ cm}^2$$

Poteau YII

Sous transversal :

Sous SP2 : $M = 1,62 \text{ tm}$ $N' = 20,68 \text{ t}$

$$e_0 = \frac{1,62}{20,68} = 0,078 > 0,06 = \frac{h}{6} \text{ section partiellement comprimée}$$

$$\text{moment fictif } M = 1,62 + 20,68 \times 0,12 = 4,10 \text{ tm}$$

$$\mu = \frac{410000 \times 15}{2800 \times 30 \times 27^2} = 0,1004 \rightarrow k = 24,7 \text{ et } \bar{w} = 0,765$$

$$A_1 = 0,767 \times 3 \times 2,7 = 6,21 \text{ cm}^2 \quad A = 6,21 - \frac{20680}{2800} < 0 \rightarrow \text{pourcentage minimal d'armature.}$$

Sous SP2: $M = 4,44 \text{ tm} \quad N' = 23,83 \text{ t}$

$$e_0 = \frac{4,44}{23,83} = 0,18 > \frac{ht}{6} \text{ section partiellement comprimée}$$

Moment fictif: $M = 4,44 + 23,83 \times 0,12 = 7,30 \text{ tm}$

$$\mu = \frac{730000 \times 15}{4200 \times 30 \times 27^2} = 0,1192 \rightarrow \bar{w} = 0,921$$

$$\rightarrow A_1 = 0,921 \times 3 \times 2,7 = 7,46 \text{ cm}^2 \quad A = 7,46 - \frac{23830}{4200} = 1,77 \text{ cm}^2$$

Sens longitudinal: $M = 4,26 \text{ tm} \quad N' = 1,41 \text{ t}$ section partiellement comprimée

Moment fictif $\rightarrow M = 4,26 \text{ tm} + 1,41 \times 0,12 = 4,43 \text{ tm}$

$$\mu = \frac{443000 \times 15}{4200 \times 30 \times 27^2} = 0,0723 \rightarrow \bar{w} = 0,540$$

$$A_2 = 0,540 \times 3 \times 2,7 = 4,37 \text{ cm}^2 \rightarrow A = 4,40 - \frac{1410}{4200} = 4,03 = 2T16 = 4,02 \text{ cm}^2$$

• pourcentage minimal d'armature:

$$w'l = \frac{1,25}{1000} \times 1 \times 3,85 \times 1,54 \times \frac{20680}{900 \times 67,5} = 0,0025$$

$$\Rightarrow A = 2,27 \text{ cm}^2 < 4T16$$

Poteau JIII:

Sens transversal:

Sous SP1: $M = 0,78 \text{ tm} \quad N' = 20,18 \text{ t}$

$$e_0 = \frac{0,78}{20,18} = 0,038 \text{ section entièrement comprimée}$$

$$\frac{e_0}{ht} = \frac{3,8}{30} = 0,126 < 0,183 \rightarrow R = 4,878 \quad k = 0,893 \quad w' = w = 0,0040$$

$$\sigma'_1 = \frac{N'}{bht} \left(K + \frac{e_0 R}{ht} \right) = \frac{20180}{900} \left(0,893 + \frac{3,8 \times 4,878}{30} \right) = 34 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_2 = \frac{N'}{bht} \left(K - \frac{e_0 R}{ht} \right) = \frac{20180}{900} \left(0,893 - \frac{3,8 \times 4,878}{30} \right) = 6,16 \text{ kg/cm}^2$$

$$A = 0,004 \times 900 = 3,6 \text{ cm}^2$$

Sous σ_{p2} : $M = 3,16 \text{ tm}$ $N' = 21,44 \text{ t}$

$$e_0 = \frac{3,16}{21,44} = 0,15 > \frac{ht}{6}$$

Moment fictif: $M = 3,16 + 21,44 \times 0,12 = 5,73 \text{ tm}$

$$\rightarrow \mu = \frac{573000 \times 15}{4200 \times 30 \times 27^2} = 0,0936 \rightarrow \bar{w} = 0,709$$

$$A_1 = 0,709 \times 3 \times 27 = 5,74 \quad A = 0,64$$

Sous longitudinal:

$$M = 4,26 \text{ tm} \quad N' = 1,41 \text{ t} \rightarrow A = 4,02 \text{ cm}^2 \text{ d'où } 2T16 \text{ calculé précédé}$$

Pourcentage minimal:

$$w'p = \frac{1,25}{1000} \times 1 \times 3,85 \times 1,54 \times \frac{20180}{900 \times 67,5} = 0,0025 \quad A = 2,21 < 4T16$$

Espacement des armatures transversales

Les armatures transversales sont constituées d'un cadre $\phi 6$ en acier E22
seul pour le poteau RIV auquel on ajoutera un étrier

Espacement t entre 2 cadres successifs CCBA G8 art 32.32

$$t \leq \min(t_1, t_2) \quad t_2 = (100\phi_t - 15\phi_{\max}) \left(2 - \frac{\sigma'_b}{\bar{\sigma}_b} \right)$$

$$t_2 = 15 \left(2 - \frac{\sigma'_b}{\bar{\sigma}_b} \right) \phi \text{ l min}$$

σ'_b = contrainte moyenne sous sollicitation du 1^{er} genre

$\sigma'_b = \frac{N'}{B'}$ On prend N' max pour tous les poteaux du bloc $N' = 20,68$

$$\Rightarrow \sigma'_b = \frac{20680}{900} = 23 \text{ kg/cm}^2$$

donc il nous suffit de vérifier

$$t = \min [(100\phi_t - 15\phi_{\max}), 15\phi_{\min}]$$

Pour les T16 $\Rightarrow t = \min [36 \text{ cm}, 240]$ on prend $t = 20 \text{ cm}$

Pour les T14 $\Rightarrow t = \min [33 \text{ cm}, 21]$ on prend $t = 20 \text{ cm}$

zone en jonction (recouvrement) CCBA 68 et 32.33

$$\Rightarrow T16 \Rightarrow \gamma = \frac{0,4\phi l^2 \sigma_{enl}}{\phi t \sigma_{enl} t} = \frac{0,4 \times 1,6^2 \cdot 4120}{6^2 \cdot 2160} = 5,4 \rightarrow \gamma = 5$$

$$T14 \Rightarrow \gamma = \frac{0,4\phi l^2 \sigma_{enl}}{\phi^2 t \sigma_{enl} t} = \frac{0,4 \times 14^2 \cdot 4120}{6^2 \cdot 2160} = 4,15 \rightarrow \gamma = 4$$

$$T16 \Rightarrow l'd = 90 \text{ cm} \quad d'où \quad l'_{r16} = 0,6 l'd = 60 \rightarrow t = 15 \text{ cm}$$

$$T14 \Rightarrow l'd = 80 \text{ cm} \quad d'où \quad l'_{r14} = 0,6 l'd = 50 \rightarrow t = 15 \text{ cm}$$

Bloc C : HALL

Dans ce bloc, on distingue 4 types de poteaux r_1, r_2, l_1, l_2

| | | r_1 | | r_2 | | l_1 | | l_2 | |
|------------------|-----|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | M | N' | M | N' | M | N' | M | N' |
| sens transversal | SP1 | 5,03 | 6,98 | 1,50 | 17,41 | 8,13 | 10,56 | 2,52 | 23,38 |
| | SP2 | 6,16 | 6,95 | 3,47 | 15,37 | 9,82 | 11,15 | 5,32 | 29,5 |
| sens longitud. | | SP2 | 2,77 | 1,78 | 3,21 | 1,78 | 5,01 | 2,93 | 5,79 |

Ferraillage des poteaux :

Poteau 1 : SP1 : $M = 5,03 \text{ tm}$ $N' = 6,48 \text{ t}$

$$e_0 = \frac{5,03}{6,48} = 0,78 > \frac{ht}{6} = \frac{0,5}{6} = 0,083 \quad \text{section partiellement comprimée}$$

moment fictif $M = M + N'a$ $a = \frac{ht}{2} - d = \frac{50}{2} - 4 = 21 \text{ cm} = 0,21 \text{ m}$

$$M = 5,03 + 6,48 \times 0,21 = 6,39 \text{ tm}$$

$$\Rightarrow \mu = \frac{639000 \times 15}{2800 \times 30 \times 46^2} = 0,0549 \rightarrow \bar{w} = 0,397$$

$$A_1 = 5,48 \text{ cm}^2 \quad \text{d'où } A = A_1 - \frac{N'}{\sigma_a} = 5,48 - \frac{6480}{-2800} = 3,16 \text{ cm}^2$$

SP2 : $M = 6,16 \text{ tm}$ $N' = 6,95 \text{ t}$

$$e_0 = \frac{6,16}{6,95} = 0,89 > \frac{ht}{6} \quad \text{section partiellement comprimée}$$

$$\rightarrow M = 6,16 + 6,95 \times 0,21 = 7,62 \text{ tm}$$

$$\mu = \frac{762000 \times 15}{4200 \times 30 \times 46^2} = 0,0429 \rightarrow \bar{w} = 0,313 \rightarrow A_1 = 4,32 \text{ cm}^2$$

$$A = A_1 - \frac{N'}{\sigma_a} = 4,32 - \frac{6950}{4200} = 2,66 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow \text{dans ce sens nous adoptons } A = 3,16 \text{ cm}^2 \quad \text{d'où } 2T16 = 4,02 \text{ cm}^2$$

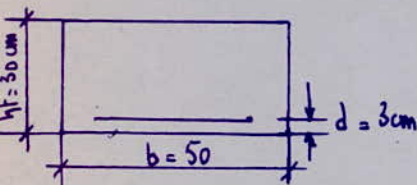
Sens longitudinal :

$$M = 2,77 \text{ tm} \quad N' = 1,78 \text{ t}$$

$$e_0 = \frac{2,77}{1,78} > 1 > \frac{ht}{6} = \frac{0,3}{6} = 0,05$$

$$a = \frac{ht}{2} - d = \frac{0,30}{2} - 0,03 = 0,12$$

$$\text{Moment fictif } M = 2,77 + 1,78 \times 0,12 = 2,98$$



$$\text{d'où } \mu = \frac{298000 \times 15}{4200 \times 50 \times 27^2} = 0,0292 \rightarrow \bar{w} = 0,212$$

$$\rightarrow A_1 = 0,212 \times 50 \times 27 = 2,86 \text{ cm}^2$$

$$A = 2,86 \text{ cm}^2 - \frac{1,78}{4200} = 2,44 \text{ cm}^2$$

On prendra 1T16 à chaque angle du poteau

Pourcentage minimal

$$w'l = \frac{1,25}{1000} \times 1,8 \times \left(1 + \frac{325}{4 \times 30 - 2 \times 3}\right) \left(1 + \frac{2160}{4120}\right) \times \frac{6480}{1500 \times 67,5} = 0,00085$$

$$A_{\min} = w'l \times B = 1,28 \text{ cm}^2 < A = 4T16$$

Poteaux type 12 :

Sens transversal :

$$SP_1 \quad M = 1,50 \text{ tm} \quad N' = 14,41 \text{ t} \Rightarrow e_0 = \frac{1,50}{14,41} > \frac{ht}{6} = 0,083$$

$$\text{moment fictif} \quad M = 1,50 + 14,41 \times 0,21 = 4,53 \text{ tm}$$

$$\mu = \frac{453000 \times 15}{2800 \times 30 \times 462} = 0,0382 \rightarrow \bar{w}' = 0,278 \downarrow \text{où } A_1 = 0,278 \times 3 \times 4,6 = 3,84$$

$$A = 3,84 - \frac{14410}{2800} < 0 \rightarrow \text{pourcentage minimal}$$

$$SP_2 : M = 3,47 \text{ tm} \rightarrow N' = 15,37 \quad e_0 = \frac{3,47}{15,3} = 0,226 > \frac{ht}{6} \text{ section partiellement comprimée.}$$

$$\text{Moment fictif : } M = 3,47 + 15,3 \times 0,21 = 6,68 \text{ tm}$$

$$\mu = \frac{668000 \times 15}{4200 \times 30 \times 462} = 0,0376 \rightarrow \bar{w} = 0,274 \rightarrow A_1 = 0,274 \times 3 \times 4,6 = 3,78 \text{ cm}^2$$

$$A = 3,78 - \frac{15300}{4200} = 0,14 \text{ cm}^2$$

Sens longitudinal :

$$M = 3,21 \text{ tm} \quad N' = 1,78 \text{ t} \Rightarrow \text{section partiellement comprimée}$$

$$\text{moment fictif} \quad M = 3,21 + 1,78 \times 0,12 = 3,42 \text{ tm} \rightarrow \mu = \frac{342000 \times 15}{4200 \times 50 \times 472} = 0,0335$$

$$\rightarrow \bar{w} = 0,243 \rightarrow A_1 = 0,243 \times 5 \times 2,5 = 3,28 \text{ cm}^2 \rightarrow A = A_1 - \frac{1780}{4200} = 4,85 \text{ cm}^2$$

$$\Rightarrow 2T14 = 3,08 \text{ cm}^2 \rightarrow 1T14 \text{ à chaque angle de poteau}$$

Pourcentage minimum :

$$w'l = \frac{1,25}{1000} \times 1,4 \times 3,85 \times 1,54 \times \frac{14410}{1500 \times 67,5} = 0,00098 \rightarrow A_{\min} < 4T14$$

Poteaux $l_1 =$

Sens transversal :

Sous SP₁ : $M = 8,13 \text{ tm}$ $N' = 10,56 \text{ t}$ $e_0 = \frac{8,13}{10,56} = 0,77 > \frac{ht}{6}$ section partiellement comprimée.

→ Moment fictif $= M = 8,13 + 10,56 \times 0,21 = 10,35$

$\mu = \frac{1035000 \times 15}{2800 \times 30 \times 46^2} = 0,0873 \rightarrow d'ou \bar{w} = 0,601$ d'ou $A_1 = 0,674 \times 9,6 \times 3 = 9,12$

$A = 9,30 - \frac{10560}{2800} = 5,35 \text{ cm}^2$

Sous SP₂ : $M = 9,82 \text{ tm}$ $N' = 11,15$ $e_0 > \frac{ht}{6}$ section partiellement comprimée

Moment fictif $M = 9,82 + 11,15 \times 0,21 = 12,16 \text{ tm}$

$\mu = \frac{1216000 \times 15}{4200 \times 30 \times 46^2} = 0,0684 \rightarrow \bar{w} = 0,509$ d'ou $A_1 = 0,509 \times 3 \times 4,6 = 7,02$

$A = 7,02 - \frac{11150}{4200} = 4,37 \text{ cm}^2$

Sens longitudinal :

Sous SP₂ : $M = 5,01 \text{ tm}$ $N' = 2,43 \text{ t}$ section partiellement comprimée

Moment fictif $M = 5,01 + 2,43 \times 0,12 = 5,30 \text{ tm}$

$\mu = \frac{530000 \times 15}{4200 \times 60 \times 23^2} = 0,0519 \rightarrow \bar{w} = 0,383$ $A_1 = 0,383 \times 5 \times 2,7 = 5,17 \text{ cm}^2$

→ $A = 5,17 - \frac{2,43}{4200} = 4,59 \text{ cm}^2 \rightarrow A = 4T16 + 4T14$ les T16 seront déposés dans les angles et les T14 au milieu de faces

Pourcentage minimal

$w'l = \frac{1,25}{1000} \times 1,4 \times 3,85 \times 1,54 \times \frac{10560}{1500 \times 67,5} = 0,0010$

$A_{\min} = w'l \times 1500 = 1,62 \text{ cm}^2 \leq A = 4T16 + 4T14$

Poteaux i_1 :

Sens transversal :

Sous SP₁ : $M = 8,13 \text{ tm}$ $N' = 10,56 \text{ t}$ $e_0 = \frac{8,13}{10,56} = 0,77 > \frac{ht}{6}$ section partiellement comprimée.

$$\rightarrow \text{Moment fictif} = M = 8,13 + 10,56 \times 0,21 = 10,35$$

$$\mu = \frac{1035000 \times 15}{2800 \times 30 \times 46^2} = 0,0873 \rightarrow \bar{w} = 0,601 \text{ d'où } A_1 = 0,674 \times 9,6 \times 3 = 9,12$$

$$A = 9,30 - \frac{10560}{2800} = 5,35 \text{ cm}^2$$

Sous SP₂ : $M = 9,82 \text{ tm}$ $N' = 11,15$ $e_0 > \frac{ht}{6}$ section partiellement comprimée

$$\text{Moment fictif} \quad M = 9,82 + 11,15 \times 0,21 = 12,16 \text{ tm}$$

$$\mu = \frac{1216000 \times 15}{4200 \times 30 \times 46^2} = 0,0684 \rightarrow \bar{w} = 0,509 \text{ d'où } A_1 = 0,509 \times 3 \times 4,6 = 7,02$$

$$A = 7,02 - \frac{11150}{4200} = 4,37 \text{ cm}^2$$

Sens longitudinal :

Sous SP₂ \Rightarrow $M = 5,01 \text{ tm}$ $N' = 2,43 \text{ t}$ section partiellement comprimée

$$\text{Moment fictif} \quad M = 5,01 + 2,43 \times 0,12 = 5,30 \text{ tm}$$

$$\mu = \frac{530000 \times 15}{4200 \times 60 \times 27^2} = 0,0519 \rightarrow \bar{w} = 0,383 \quad A_1 = 0,383 \times 5 \times 2,7 = 5,17 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow A = 5,17 - \frac{2,43}{4200} = 4,59 \text{ cm}^2 \rightarrow A = 4T16 + 4T14 \text{ les T16 seront déposés dans les angles et les T14 au milieu de faces}$$

Pourcentage minimal

$$w'l = \frac{1,25}{1000} \times 1,4 \times 3,85 \times 1,54 \times \frac{10560}{1500 \times 67,5} = 0,0010$$

$$A_{\min} = w'l \times 1500 = 1,62 \text{ cm}^2 \leq A = 4T16 + 4T14$$

Poteau i₂ :

Sous SP₁ $M = 2,52 \text{ tm}$ $N' = 23,38 \text{ t}$

$$e_0 = \frac{2,52}{23,38} = 0,10 > \frac{ht}{6} = \frac{0,15}{6} = 0,083 \rightarrow \text{section entièrement comprimée}$$

Moment fictif : $M = 2,52 + 23,38 \times 0,21 = 7,43 \text{ tm}$

$$\mu = \frac{743000 \times 15}{2800 \times 30 \times 46^2} = 0,0627 \rightarrow \bar{w} = 0,466 \quad A_1 = 0,466 \times 3 \times 4,6 = 6,43 \text{ cm}^2$$

$$A = 6,43 - \frac{23380}{2800} < 0 \rightarrow \text{section donnée par le \% minimal.}$$

Sous SP₂ :

$M = 5,32 \text{ tm}$ $N' = 24,5 \text{ t}$ section partiellement comprimée

Moment fictif $M = 5,32 + 24,5 \times 0,21 = 10,47 \text{ tm}$

$$\mu = \frac{1047000 \times 15}{4200 \times 30 \times 46^2} = 0,0589 \rightarrow \bar{w} = 0,437 \text{ d'où } A_1 = 6,03 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow A = 9,23 \text{ cm}^2 - \frac{24500}{4200} = -0,197 \text{ cm}^2$$

Sens longitudinal :

$M = 5,79 \text{ tm}$ $N' = 2,43 \text{ t}$ section partiellement comprimée

Moment fictif $M = 5,79 + 2,43 \times 0,12 = 6,08$

$$\rightarrow \mu = \frac{6080 \times 15}{4200 \times 50 \times 27^2} = 0,095 \rightarrow \bar{w} = 0,441 \rightarrow A_1 = 5,95 \text{ cm}^2$$

6 T16 \rightarrow 3 sur chaque face longitudinale

Pourcentage minimal : $w'l = \frac{1,25}{1000} \times 1 \times 3,85 \times 1,54 \times \frac{23380}{1500 \times 67,5} = 0,0017$

$$A_{\text{min}} = w'l \times 1500 = 2,57 \text{ cm}^2 < A = 6T16$$

Espacement des armatures transversales :

On espacera les cadres de $t = 20 \text{ cm}$ dans une zone qui ne présente pas de recouvrement et de 15 cm dans une zone de recouvrement.

— CHAPITRE VII

CALCUL DES FONDATIONS —

Calcul des fondations :

1) Calcul des semelles : Les semelles sont calculées uniquement en compression simple car les moments à la base de poteaux seront repris par les longrines. Le calcul ne se fera que sur les sollicitations du 1er genre, car la différence entre les efforts engendrés par les deux genres est inférieure à 50% de ceux du premier genre.

On calculera 9 types de semelles qui se distinguent par le type de poteaux qu'elles supportent.

S₁ : poteau intermédiaire de la salle de restauration

S₂ : poteau de rive de la salle de restauration

S₃ : Poteau de rive de la salle de restauration + poteau hall

S₄ : Poteau des locaux de service.

S₅ : 2 poteaux des locaux de service au niveau du joint

S₆ : Poteau salle de restauration + 1 poteau salle de service

S₇ : 1 poteau salle de restauration + 1 poteau locaux de service + 1 poteau du hall

S₈ : 1 poteau du hall + 1 poteau locaux de service

S₉ : Poteau du hall

Description - dimensions - dispositions constructives :

Toutes les semelles sont constituées d'un tronc de pyramide

Q = N' charge en kg à transmettre au sol (On prendra l'effort normal maximal des poteaux

$\bar{\sigma}_s$ = contrainte admissible du sol en kgf/cm². dans notre cas $\bar{\sigma}_s = 2 \text{ kg/cm}^2$

B_x le grand côté de la semelle (b_x pour le pilier ou E_b pour plusieurs piliers)

B_y petit côté de la semelle (b_y pour le pilier min E_b pour plusieurs)

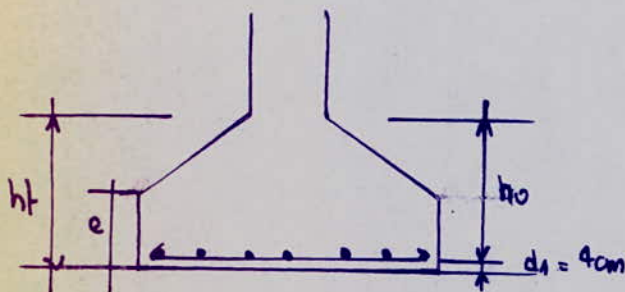
Pour que la contrainte sur le sol ne dépasse pas la contrainte admissible, nous devons avoir

$$B_x B_y \geq \frac{Q}{\sigma_s}$$

On prendra :

$$\frac{B_x}{B_y} = \frac{b_x}{b_y} \text{ de manière à avoir la semelle et le pilier sensiblement homothétiques.}$$

$$h_t \geq d_1 + \frac{B_x - b_x}{4} \quad e \geq 6\phi + 6 \quad (e \text{ et } \phi \text{ en cm})$$



$$h_t \geq 4 \text{ cm} - \frac{230 - 50}{4} = 49$$

$$h_t = 50 \quad e \geq 6 \times 2 + 6 = 18 \text{ cm}$$

$$e = 20 \text{ cm}$$

Dimension :

$$S_1 : N' = 60,36 \text{ t} \rightarrow B_x B_y \geq \frac{60360}{2} = 30180$$

$$\frac{B_x}{B_y} = \frac{50}{30} = \frac{5}{3} \Rightarrow b_y = \frac{3}{5} B_x \quad B_x B_y = \frac{3}{5} B_x^2 \geq 30180$$

$$B_x \geq \sqrt{\frac{5 \times 30180}{3}} = 224 \text{ cm} \rightarrow B_x = 230 \text{ cm}$$

$$B_y \geq \frac{30180}{230} = 141 \text{ cm} \Rightarrow B_y = 140 \text{ cm}$$

$$S_2 : N' = 38,70 \quad B_x B_y \geq \frac{38700}{2} = 19350$$

$$B_x \geq \sqrt{\frac{5 \times 19350}{3}} = 179 \Rightarrow B_x = 200$$

$$B_y \geq \frac{19350}{200} = 96,75 \Rightarrow B_y = 120$$

S3: On a deux poteaux

$$Q = N'_1 + N_1 = 20,27t + 6,48t = 26,750 \text{ Kg}$$

$$\frac{b_x}{b_y} = \frac{62}{50} \quad b_y = \frac{50}{62} b_x \quad b_x b_y = \frac{50}{62} b_x^2 \geq \frac{26,750}{2} = 13375 \text{ cm}^2$$

$$\text{d'où } b_x \geq \sqrt{\frac{62}{50} \times 13375} = 128 \rightarrow b_x = 140 \text{ cm}$$

$$b_y \geq \frac{13375}{140} = 95 \text{ cm} \rightarrow b_y = 120 \text{ cm}$$

S4: $N' = 20,68 \text{ t}$ $b_x = b_y = 30 \text{ cm}$

$$b_x b_y \geq \frac{20,680}{2} = 10340$$

$$b_x b_y = b_x^2 \geq 10340 \quad b_x = b_y \geq \sqrt{10340} = 101 \rightarrow b_x = b_y = 120 \times 120$$

S5: 2 poteaux

$$N' = N'_1 + N'_2 = 20,18 \times 2 = 40360 \text{ kg}$$

$$b_x = 2 \times 30 + 2 = 62 \text{ cm} \quad b_y = 30$$

$$b_x b_y \geq \frac{40360}{2} = 20180 \text{ cm}^2$$

$$\frac{b_x}{b_y} = \frac{62}{30} \rightarrow b_x = \frac{62}{30} b_y$$

$$b_x b_y = b_x^2 \frac{30}{62}$$

$$b_x \geq \sqrt{\frac{62 \times 20180}{30}} = 200 \rightarrow b_x = 220 \text{ cm}$$

$$b_y \geq \frac{20180}{220} = 91 \rightarrow b_y = 140$$

S6: 2 poteaux $N' = N'_1 + N'_2 = 38,70 + 5,92t = 44,62t = 44620 \text{ kg}$

$$b_x = 50 + 30 + 2 = 82 \quad b_y = 30$$

$$\frac{b_x}{b_y} = \frac{82}{30} \rightarrow b_y = \frac{30}{82} b_x$$

$$b_x b_y = \frac{30}{82} b_x^2 \geq \frac{44620}{2} = 22310 \text{ cm}^2$$

$$B_x \geq \sqrt{\frac{82 \times 22310}{30}} = 246 \text{ cm} \rightarrow B_x = 250$$

$$B_y = \frac{22310}{250} = 89,24 \rightarrow B_y = 100 \text{ cm}$$

S7: 3 poteaux $N' = N'_1 + N'_2 + N'_3 = 12,96 + 5,92 + 6,48 = 25,36 \text{ t} = 25360 \text{ kg}$

$$b_x = 50 + 30 + 2 = 82 \text{ cm} \quad b_y = 30 + 30 + 2 = 62$$

$$\frac{B_x}{B_y} = \frac{82}{62} \rightarrow B_y = \frac{62}{82} B_x \quad B_x B_y = \frac{62}{82} B_x^2 \geq \frac{25360}{2} = 12680 \text{ cm}^2$$

$$B_x \geq \sqrt{\frac{82 \times 12680}{62}} = 129,5 \rightarrow B_x = 140$$

$$B_y \geq \frac{12680}{140} = 90 \rightarrow B_y = 120$$

S8: 3 poteaux: $N' = N'_1 + N'_2 + N'_3 = 5,92 + 5,92 + 14,11 = 26250 \text{ kg}$

$$b_x = 50 + 30 + 2 = 82 \text{ cm} \quad b_y = 30 + 30 + 2 = 62 \text{ cm}$$

$$\frac{B_x}{B_y} = \frac{82}{62} \rightarrow B_x = \frac{62}{82} B_y \rightarrow B_x B_y = \frac{62}{82} B_y^2 \geq \frac{26250}{2} = 13125 \text{ cm}^2$$

$$B_y \geq \sqrt{\frac{82 \times 13125}{62}} = 131 \rightarrow 140 \text{ cm}$$

$$B_x \geq \frac{13125}{140} = 93,75 \rightarrow 120 \text{ cm}$$

S9: $N' = 23,38 \text{ t}$

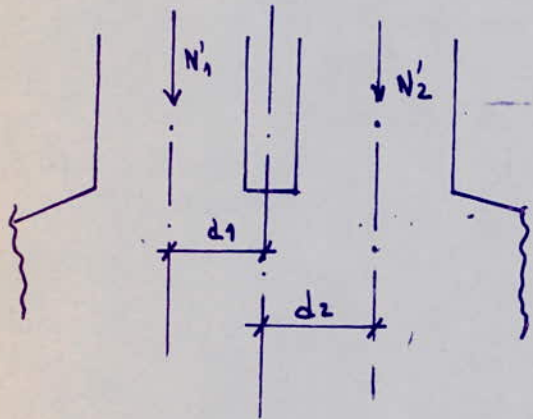
$$b_x = 50 \quad b_y = 30 \quad \frac{B_x}{B_y} = \frac{50}{30} \rightarrow B_y = \frac{3}{5} B_x$$

$$B_x B_y = \frac{3}{5} B_x^2 = \frac{23380}{2} = 11690 \text{ cm}^2$$

$$B_x \geq \sqrt{\frac{5 \times 11690}{3}} = 139,50 \text{ cm} \rightarrow B_x = 140 \text{ cm}$$

$$B_y = \frac{11690}{140} = 83 \rightarrow B_y = 120 \text{ cm}$$

Remarque: Dans le cas où on a plusieurs poteaux sur une même semelle, on tient compte de l'excentricité de la résultante.



$$N'_1, N'_2 \rightarrow \begin{cases} N' = N'_1 + N'_2 \\ M = N'_1 d_1 - N'_2 d_2 \end{cases} \rightarrow N' \text{ excentré de } a$$

$$\Rightarrow a = \frac{N'_1 d_1 - N'_2 d_2}{N'_1 + N'_2}$$

a excentricité de la résultante par rapport à l'axe de la semelle.

$a > 0$ excentricité du côté de N'_1

$a < 0$ excentricité du côté de N'_2

Pour le ferrailage des semelles, on utilisera la méthode des bielles.

$$\rightarrow Q \Rightarrow 2 \text{ composantes} \quad f_x = \frac{Q(b_x - b_{xc})}{8(ht - d_1)} \rightarrow A_x = \frac{f_x}{\sigma_a}$$

$$\text{et } f_y = \frac{Q(b_y - b_{yc})}{8(ht - d_1)} \rightarrow A_y = \frac{f_y}{\sigma_a}$$

Ceci n'est valable que si l'on a 1 seul pas (pas d'excentricité)
si Q est excentrée \rightarrow on calculera les contraintes du sol sous la semelle qui présente un diagramme trapézoïdal.

$$\sigma_1 = \frac{Q}{S} + \frac{M b_x}{2I}$$

$$\sigma_2 = \frac{Q}{S} - \frac{M b_x}{2I}$$

S = Section de la semelle $M = N'a$ comme indiqué précédemment.

I Moment d'inertie de la semelle par rapport à yy'

si $\sigma_1 < 1,7 \sigma_2$ on calculera la semelle comme dans le 1^{er} cas avec:
une charge fictive $Q' = \frac{S(\sigma_1 + \sigma_2)}{4}$

Si $G_1 > 1,7 G_2$, on calcule la semelle comme une console encastree au niveau de la jonction du poteau à la semelle sous les moments auxquels elle est soumise et sous l'effet de la réaction du sol.

Nous rappelons que $Q = N' + \text{poids propre de la semelle}$.

On reprend sur tableau les dimensions des semelles.

Poids de la semelle: On suppose que la semelle est composée d'un parallépipède rectangle et d'un prisme droit.

$$P = \left[S_x e + \frac{S(ht-e)}{3} \right] \times 2500 \quad e = 20 \quad ht = 50 \rightarrow \frac{ht-e}{3} = 10 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow P_p = [0,25 + 0,105] \times 2500 = 0,35 \times 2500 \quad S = \text{surface en m}^2$$

| Semelle N° | Bx | by | by | by | N' | Poids propre | excentricité |
|----------------|-----|----|-----|----|-------|--------------|--------------|
| S ₁ | 230 | 50 | 140 | 30 | 60360 | 2415 | 0 |
| S ₂ | 200 | 50 | 120 | 30 | 38700 | 1800 | 0 |
| S ₃ | 140 | 62 | 120 | 50 | 26750 | 1260 | 8 cm |
| S ₄ | 120 | 30 | 120 | 30 | 20680 | 1080 | 0 |
| S ₅ | 220 | 62 | 120 | 30 | 40360 | 1980 | 0 |
| S ₆ | 250 | 82 | 120 | 30 | 44620 | 2250 | 20 cm |
| S ₇ | 140 | 82 | 120 | 62 | 25360 | 1260 | 16 cm |
| S ₈ | 140 | 82 | 120 | 62 | 26250 | 1260 | 7 cm |
| S ₉ | 140 | 50 | 120 | 30 | 23380 | 1260 | 0 |

On constate qu'on a 4 types de semelles de même dimension, donc on doit adopter le même ferrailage pour celles-ci afin d'éviter les erreurs sur chantier

On calculera d'abord les semelles sous Q sans excentricité

$$S_1: F_x = \frac{Q(b_x - b_x)}{8(h_f - d_1)} = \frac{(60360 + 2415)(230 - 50)}{8(50 - 4)} = 30700$$

$$\rightarrow A_x = \frac{30700}{2800} = 10,97 \text{ cm}^2$$

$$F_y = \frac{Q(b_y - b_y)}{8(h_f - d_2)} = \frac{(60360 + 2415)(140 - 30)}{8(50 - 5)} = 19180$$

$$A_y = \frac{19180}{2800} = 6,85 \text{ cm}^2$$

$$S_2: F_x = \frac{(38700 + 1800)(200 - 50)}{8(50 - 4)} = 16508 \text{ kg} \quad A_x = \frac{16508}{2(80 - 0)} = 5,89 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow F_y = \frac{(38700 + 1800)(120 - 30)}{8(50 - 5)} = 10125 \text{ kg} \quad A_y = 3,61 \text{ cm}^2$$

$$S_4: F_x = \frac{(20680 + 1080)(120 - 30)}{8 \times 46} = 5321,74 \rightarrow A_x = 1,90 \text{ cm}^2$$

$$F_y = \frac{(20680 + 1080)(120 - 30)}{8 \times 45} = 5490 \rightarrow A_y = 1,94 \text{ cm}^2$$

$$S_5: F_x = \frac{42340(200 - 62)}{8 \times 46} = 15877,5 \rightarrow A_x = 5,67 \text{ cm}^2$$

$$F_y = \frac{42340 \times 120}{8 \times 45} = 12937,2 \rightarrow A_y = 4,62 \text{ cm}^2$$

$$S_9: F_x = \frac{24640 \times 70}{8 \times 46} = 4687 \rightarrow A_x = 1,67$$

$$F_y = \frac{24640 \times 90}{8 \times 45} = 6160 \rightarrow A_y = 2,2 \text{ cm}^2$$

$$S_3: N' = 26750 + 1260 = 28010 \text{ kg} \quad a = 8 \text{ cm}$$

$$S = B_x \times B_y = 190 \times 120 = 16800$$

$$J_{yy} = \frac{120 \times 140^3}{12} = 2744 \cdot 10^4 \quad \sigma_1 = \frac{Q}{S} + \frac{M B_x}{J_y}$$

$$M = 28010 \times 8 = 224080$$

$$\rightarrow \sigma_1 = \frac{28010}{16800} + \frac{28010 \times 8 \times 190}{2 \times 2744 \cdot 10^4} = 2,23 \rightarrow \text{il y a un risque de rupture au sol}$$

$$\text{On prendra } B_x = 200 \quad B_y = 140 \rightarrow S = 140 \times 200 = 28000 \text{ cm}^2$$

$$J_{yy} = \frac{140 \times 200^3}{12} \rightarrow \sigma_2 = \frac{28220}{28000} + \frac{28220 \times 8 \times 200 \times 6}{2 \times \frac{140 \times 200^2}{12}} = 1,25 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{28220}{28000} - \frac{28220 \times 8 \times 6}{140 \times 200^2} = 0,77 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q' = \frac{200 \times 140 (3 \times 1,25 + 0,77)}{4} = 31640 \text{ kg}$$

$$F(x) = \frac{31640 \times (200 - 62)}{8(50 - 4)} = 11865 \text{ kg}$$

$$A_x = \frac{11865}{2800} = 4,24 \text{ cm}^2$$

$$F(y) = \frac{31640 (140 - 50)}{8(45)} = 9667,8 \text{ kg}$$

$$A_y = \frac{9667,8}{2800} = 3,45 \text{ cm}^2$$

$$S_6: M = 44620 \times 20 = 892400 \text{ kg}$$

$$\sigma_1 = \frac{46870}{250 \times 120} + \frac{892400 \times 250}{2 \times \frac{120 \times 250^3}{12}} = 2,16 \quad \text{il y a un risque de rupture au sol}$$

$$\text{On prendra } B_x = 250 \quad B_y = 140$$

$$\sigma_1 = \frac{46870}{250 \times 140} + \frac{892400 \times 250}{2 \times \frac{140 \times 250^3}{12}} = 1,95 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{46870}{250 \times 140} - \frac{892400 \times 250}{2 \times \frac{140 \times 250^3}{12}} = 0,73 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q' = 140 \times 250 \left(\frac{3 \times 1,95 + 0,73}{4} \right) = 57575 \text{ kg}$$

$$F(x) = \frac{57575(250-82)}{8(50-4)} = 26284 \text{ kg} \rightarrow A_x = \frac{26284}{2800} = 9,38 \text{ cm}^2$$

$$F(y) = \frac{57575(140-30)}{8(50-5)} = 19191,7 \text{ kg} \rightarrow A_y = \frac{19191,7}{2800} = 6,85 \text{ cm}^2$$

$$S_f: M = 25360 \times 16 = 405760 \text{ kg cm}$$

$$G_1 = \frac{26620}{140 \times 120} + \frac{405760 \times 140}{2 \times \frac{120 \times 140^3}{12}} = 2,6 \quad \text{rupture au sol}$$

$$\text{On prendra } b_x = 200 \quad b_y = 140$$

$$G_1 = \frac{27460}{200 \times 140} + \frac{405760 \times 200}{2 \times \frac{140 \times 200^3}{12}} = 1,42 \text{ kg/cm}^2 \quad G_2 = 0,55$$

$$G' = \frac{200 \times 140 (3 \times 1,42 + 0,55)}{4} = 33670 \text{ kg/cm}^2$$

$$F(x) = \frac{33670(200-82)}{8 \times 46} = 10796,4 \text{ kg} \rightarrow A(x) = 3,85 \text{ cm}^2$$

$$F(y) = \frac{33670(140-62)}{8 \times 46} = 7136,6 \text{ kg} \rightarrow A_y = 2,55 \text{ cm}^2$$

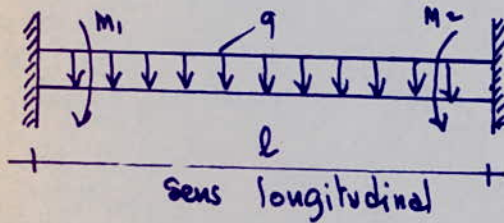
Les sections d'armature étant faibles, on ferraillera fortitairement les semelles. On disposera suivant le sens longitudinal (de la semelle), des T16 espacés de 20 cm environ et suivant le sens transversal, des T12 espacés de 25 cm environ.

| Semelle | Dimension de la semelle | | Armature calculée | | Armature disposée | |
|------------------------|-------------------------|-----|-------------------|------|-------------------|---------------|
| | Bx | By | Ax | Ay | Ax | Ay |
| Semelle S ₁ | 230 | 140 | 10,97 | 6,85 | 16T 10 12,98 | 9T 10 7,06 |
| S ₂ | 200 | 140 | 5,89 | 3,61 | 11T 10 8,50 | 8T 10 6,24 |
| S ₃ | 200 | 140 | 4,24 | 3,45 | 11T 10 8,50 | 8T 10 6,24 |
| S ₄ | 120 | 120 | 1,90 | 1,94 | 7T 10 5,46 | 7T 10 5,46 |
| S ₅ | 220 | 140 | 6,49 | 3,70 | 7T 10 5,46 | 7T 10 5,46 |
| S ₆ | 200 | 140 | 9,38 | 6,85 | 7T 10 5,46 | 7T 10 5,46 |
| S ₇ | 200 | 140 | 3,85 | 2,55 | 7T 10 5,46 | 7T 10 5,46 |
| S ₈ | 200 | 140 | 4,24 | 3,45 | 7T 10 5,46 | 7T 10 5,46 |
| S ₉ | 120 | 120 | 2,15 | 1,20 | 7T 10 | 7T 10 |

Longrines :

Les longrines reçoivent les moments à la base des poteaux. Elles sont aussi soumises à leur poids propre et la réaction du sol - Elles sont calculées comme des poutres encastrees à leur extrémité dans leur sens longitudinal.

schéma statique :



$$M_A = M_1 + \frac{q l^2}{12}$$

$$M_B = M_2 + \frac{q l^2}{12}$$

$$M_t = \frac{q l^2}{24} - \frac{M_1 + M_2}{l}$$

la section des longrines $30 \times 50 \rightarrow$ poids propre par mètre linéaire

$$0,5 \times 0,3 \times 2500 = 375 \text{ kg/m}$$

Réaction du sol : $0,5 \times 2500 = 1250 \text{ kg/m} \Rightarrow q = 1250 - 375 = 875 \text{ kg/m}$

On calcule 3 longrines $\Rightarrow l = 12,1 \quad l = 4,5 \quad l = 6,00$

Type 1 : $l = 12,1$

$$M_1 = 6,12 \text{ tm} \quad M_2 = 1,05 \text{ tm} \Rightarrow M_A = 6,12 + \frac{0,875 \times 12,1^2}{12} = 16,80 \text{ tm}$$

$$\rightarrow M_B = 1,05 + \frac{0,875 \times 12,1^2}{12} = 11,72 \text{ tm} \quad M_t = \frac{0,875 \times 12,1^2}{24} - \frac{6,12 + 1,05}{12,1} = 4,75 \text{ tm}$$

Section d'armature en (A) :

$$\rightarrow \mu = \frac{1680000 \times 15}{2800 \times 30 \times 47^2} = 0,1358 \rightarrow \bar{\mu} = 1,055 \rightarrow A = 1,055 \times \frac{30 \times 47}{100} = 14,87 \text{ cm}^2$$

Section (B) :

$$\mu = \frac{1170000 \times 15}{2800 \times 30 \times 47^2} = 0,0947 \rightarrow \bar{\mu} = 0,722 \rightarrow A = 10,18 \rightarrow 6716 = 12,06$$

Travée : $\mu = \frac{4750 \times 15}{2800 \times 30 \times 47^2} = 0,0384 \rightarrow \bar{w} = 0,280 \rightarrow A = 3,95 \text{ cm}^2$

On prend 12 T16 \rightarrow 6 à chaque partie

Type 2 : $l = 6$ $M_1 = 1,74 \text{ tm}$ $M_2 = 1,01 \text{ tm}$

$\Rightarrow M_A = 1,74 + \frac{0,875 \times 36}{12} = 4,37 \text{ tm} \rightarrow \mu = \frac{937000 \times 15}{2800 \times 30 \times 47^2} = 0,0353 \Rightarrow \bar{w} = 0,255 \rightarrow A = 3,60 \text{ cm}^2$

$\rightarrow M_B = 1,01 + \frac{0,875 \times 36}{12} = 3,64 \text{ tm} \rightarrow \mu = \frac{364000 \times 15}{2800 \times 30 \times 47^2} = 0,0294 \rightarrow \bar{w} = 0,212 \rightarrow A = 2,99 \text{ cm}^2$

$\rightarrow M_t = \frac{0,875 \times 36}{24} = \frac{1,74 + 1,01}{6} = 0,85$ $\mu = \frac{85000 \times 15}{2800 \times 30 \times 47^2} = 0,0069 \rightarrow \bar{w} = 0,0478 \rightarrow A = 0,67 \text{ cm}^2$

\rightarrow on prendra 3 T16 pour chaque partie.

Type 3 : $l = 4,5 \text{ m}$

$M_1 = 1,01$ $M_2 = 0,82$

$M_A = 1,01 + \frac{0,875 \times 4,5^2}{12} = 2,49$

$\mu = \frac{249000 \times 15}{2800 \times 30 \times 47^2} = 0,0201 \rightarrow \bar{w} = 0,142 \rightarrow A = 3,00 \text{ cm}^2$

$M_B = 0,82 + \frac{0,875 \times 4,5^2}{12} = 2,29$

$\mu = \frac{229000 \times 15}{2800 \times 30 \times 47^2} = 0,0185 \rightarrow \bar{w} = 0,131 \rightarrow A = 1,85 \text{ cm}^2$

$M_t = 0,33 \text{ tm}$

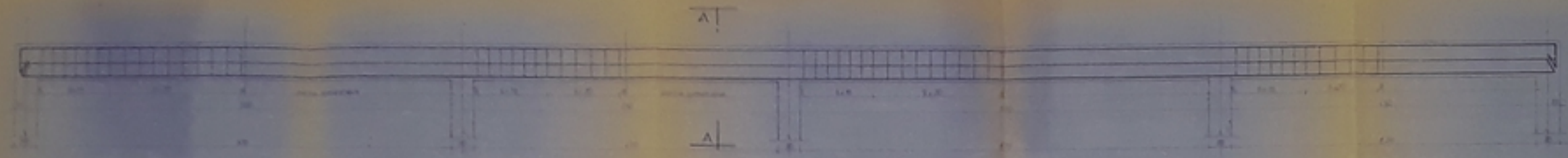
$\mu = \frac{33000 \times 15}{2800 \times 30 \times 47^2} = 0,0027$ $\bar{w} = 0,0181 \rightarrow A = 0,26 \text{ cm}^2$

On prendra 3 T16 pour chaque partie.

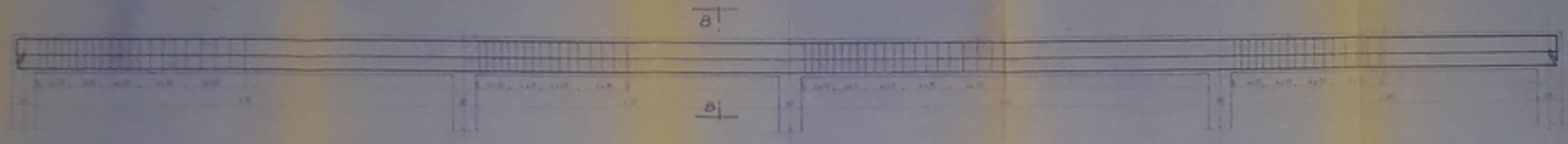
Armatures transversales :

On prendra des cadres de $\phi 6$ espacés de 20 cm.

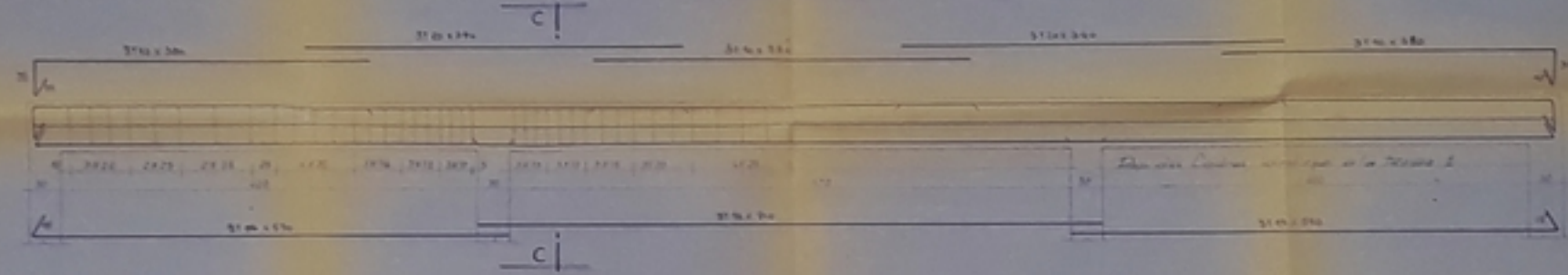
P1 30X50



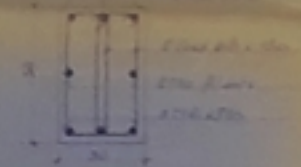
P2 30X50



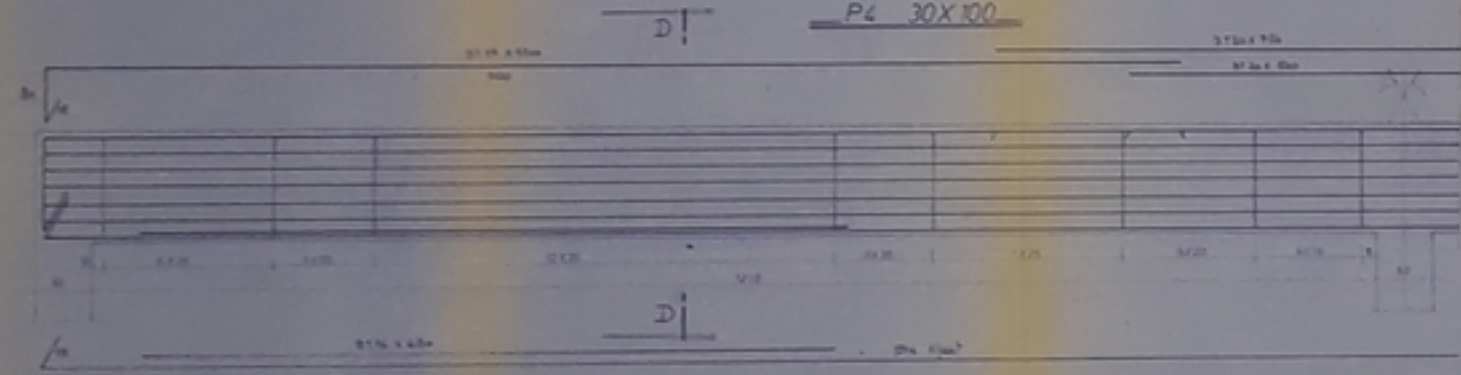
P3 30X50



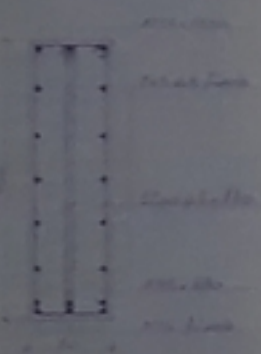
COUPE C C



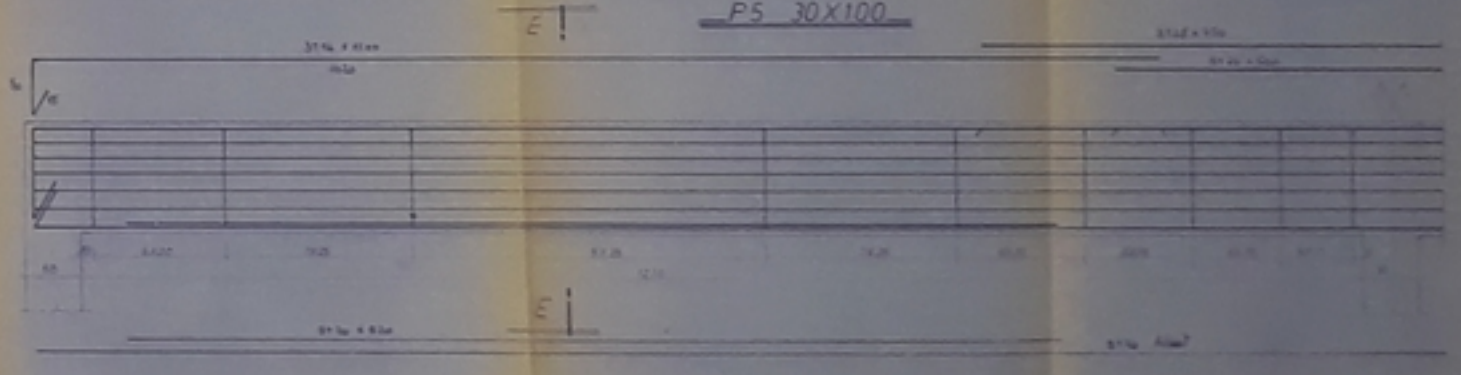
P4 30X100



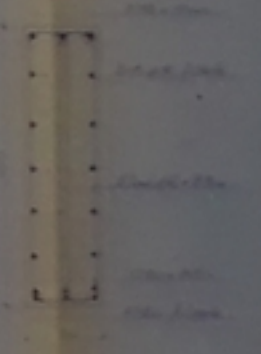
COUPE D D



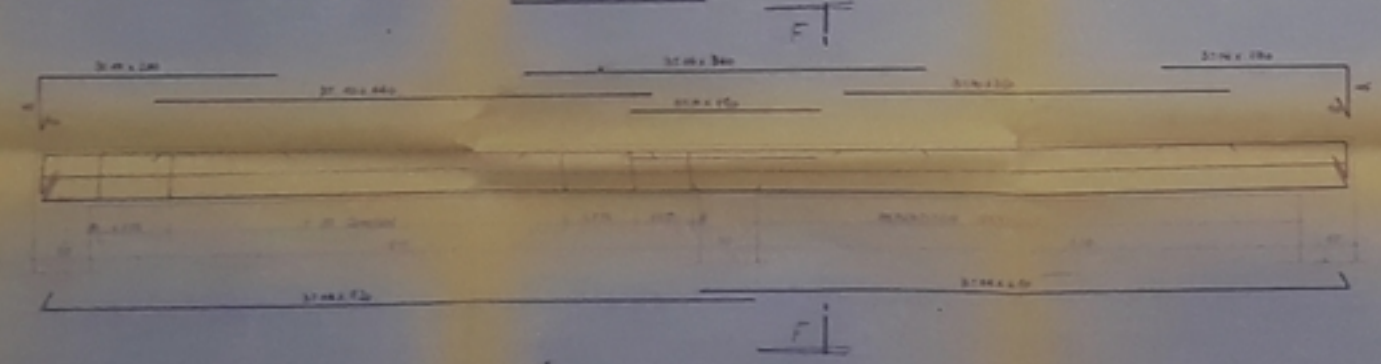
P5 30X100



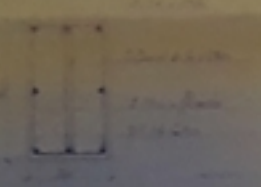
COUPE E E



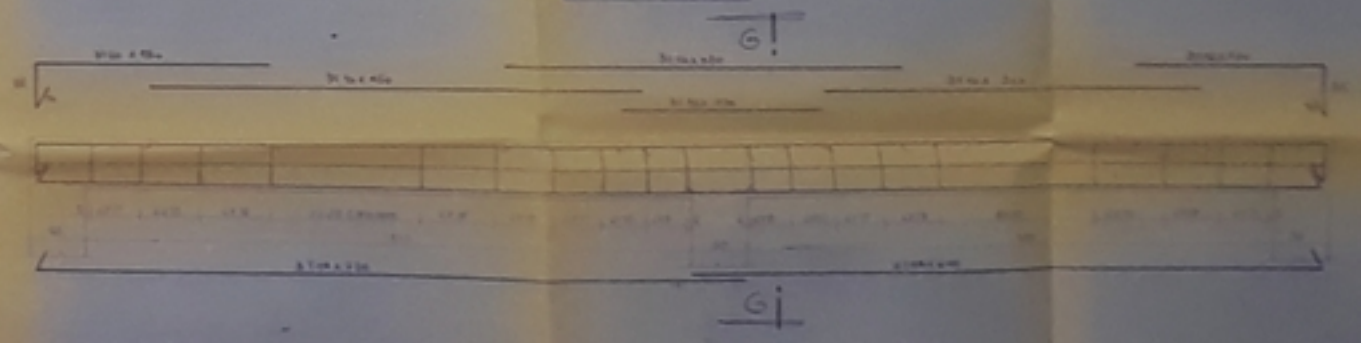
P6 30X50



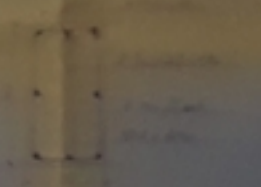
COUPE F F



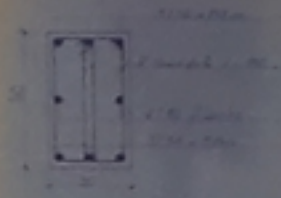
P7 30X50



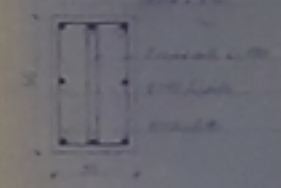
COUPE G G



COUPE A A

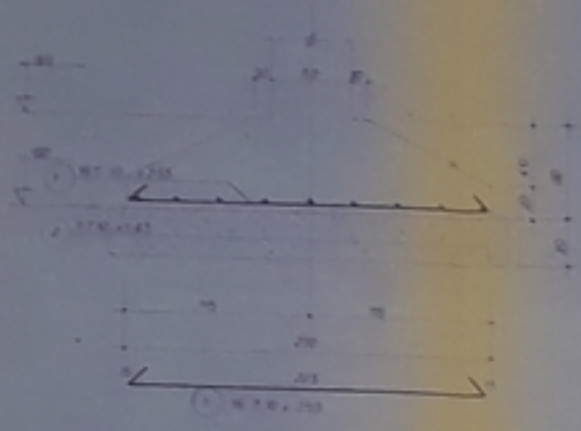


COUPE B B

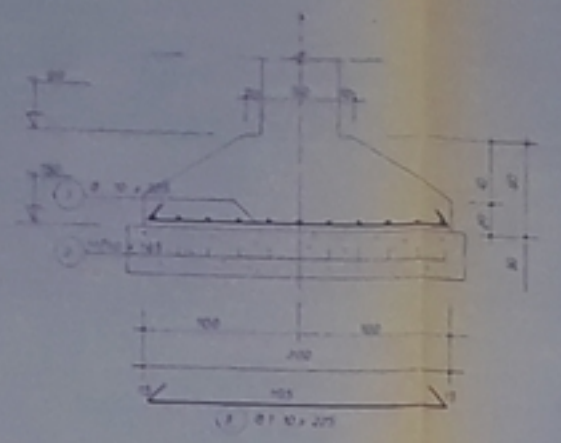


PROJET DE FONDATION
 PLAN DE FONDATION
 SEMELLES (GRILLAGE)
 1/20 - 1/40
 DIMENSION EN METRE

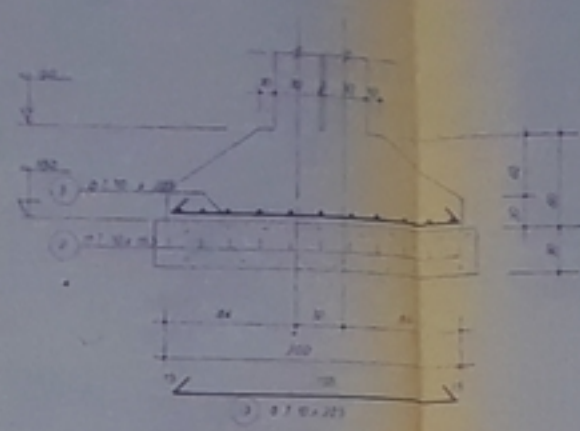
— COUPE-A-A-ech=1/20 —



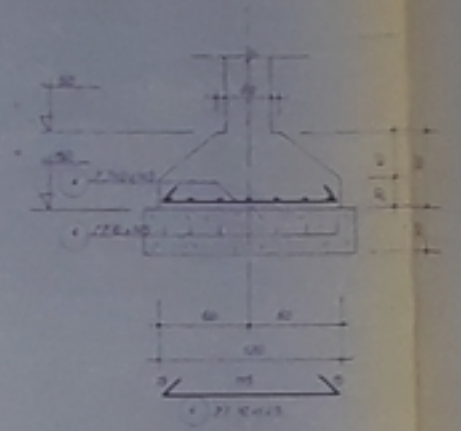
— COUPE-B-B-ech=1/20 —



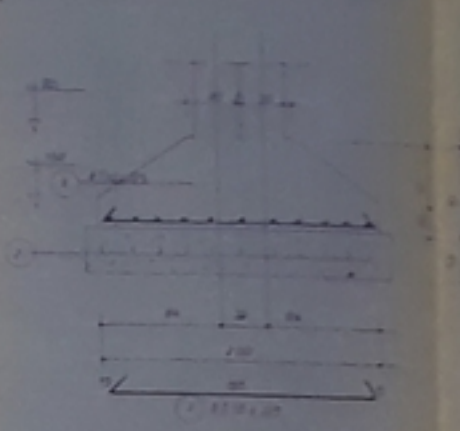
— COUPE-C-C-ech=1/20 —



— COUPE-D-D-ech=1/20 —

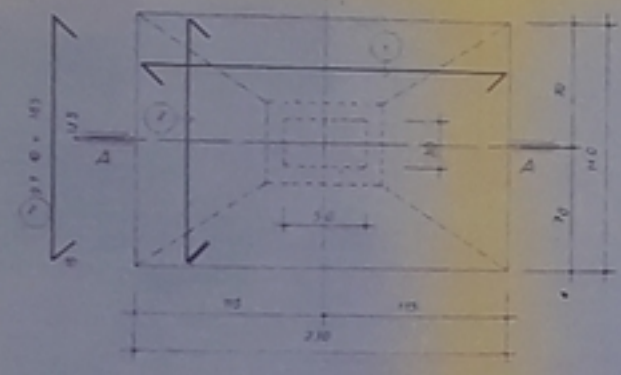


— COUPE-E-E-ech=1/20 —

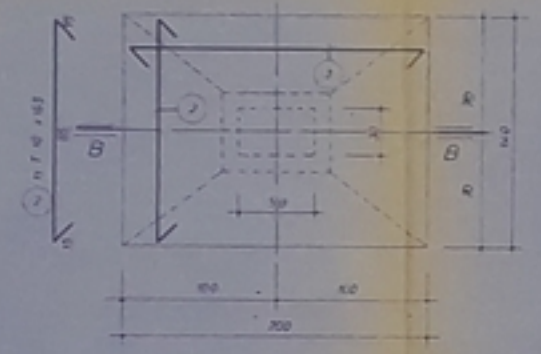


P802434
 3

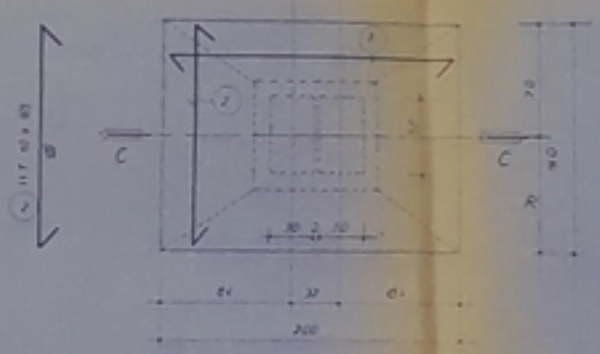
— SEMELLE-S1-ech=1/20 —



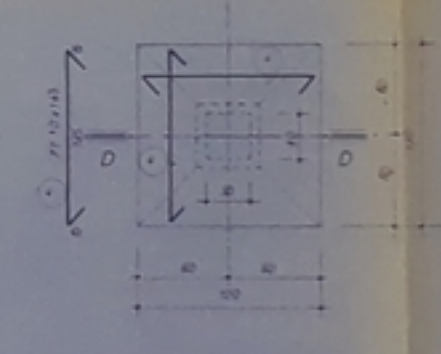
— SEMELLE-S2-ech=1/20 —



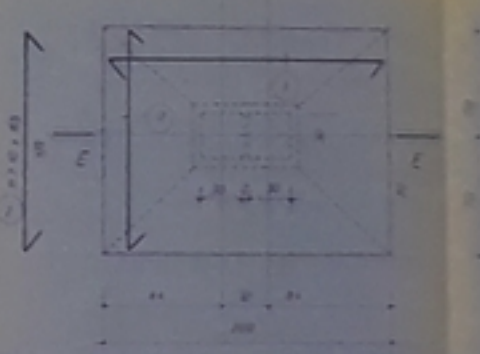
— SEMELLE-S3-ech=1/20 —



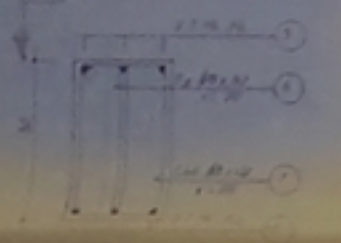
— SEMELLES-S4-S9-ech=1/20 —



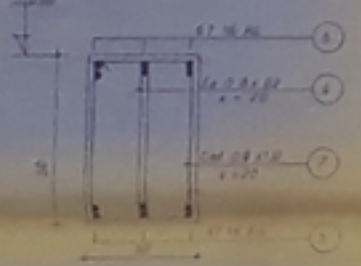
— SEMELLE-S5-ech=1/20 —



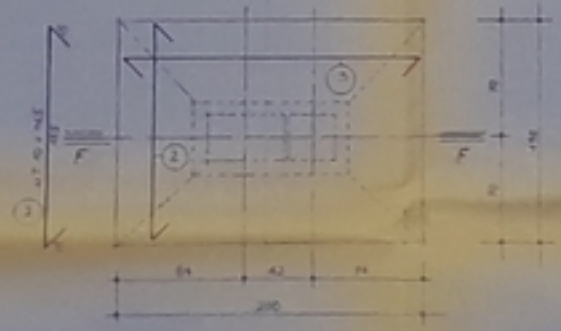
— LONGRINE-L1-ech=1/10 —



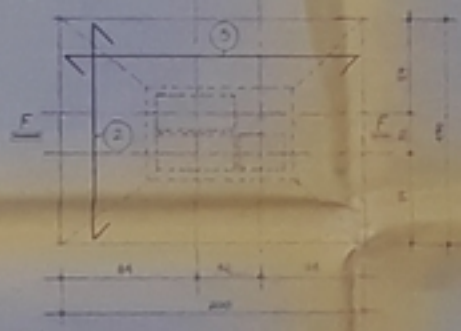
— LONGRINES-L2-L3-ech=1/10 —



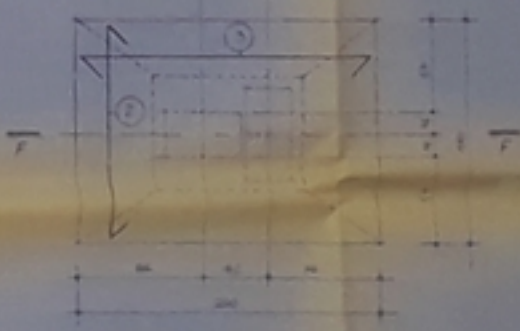
— SEMELLE-S6 —



— SEMELLE-S7 —

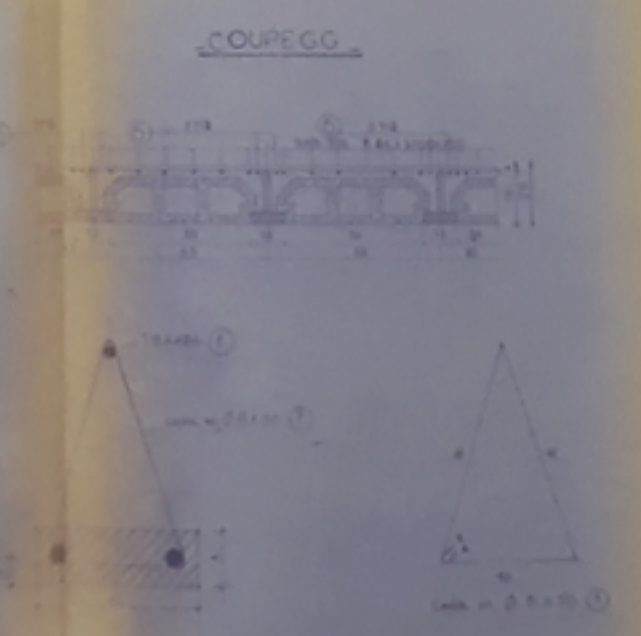
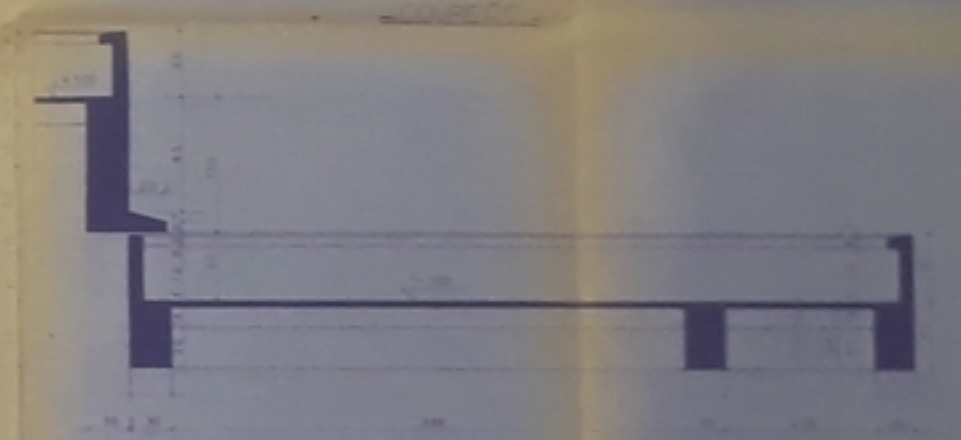
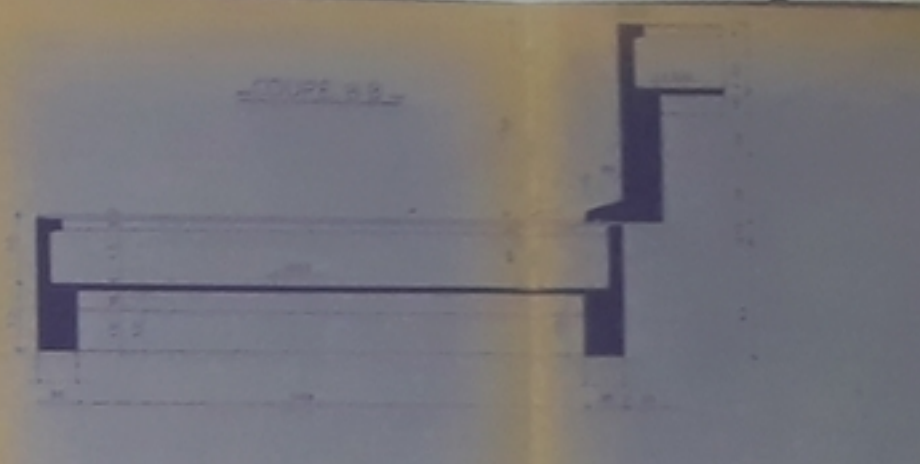
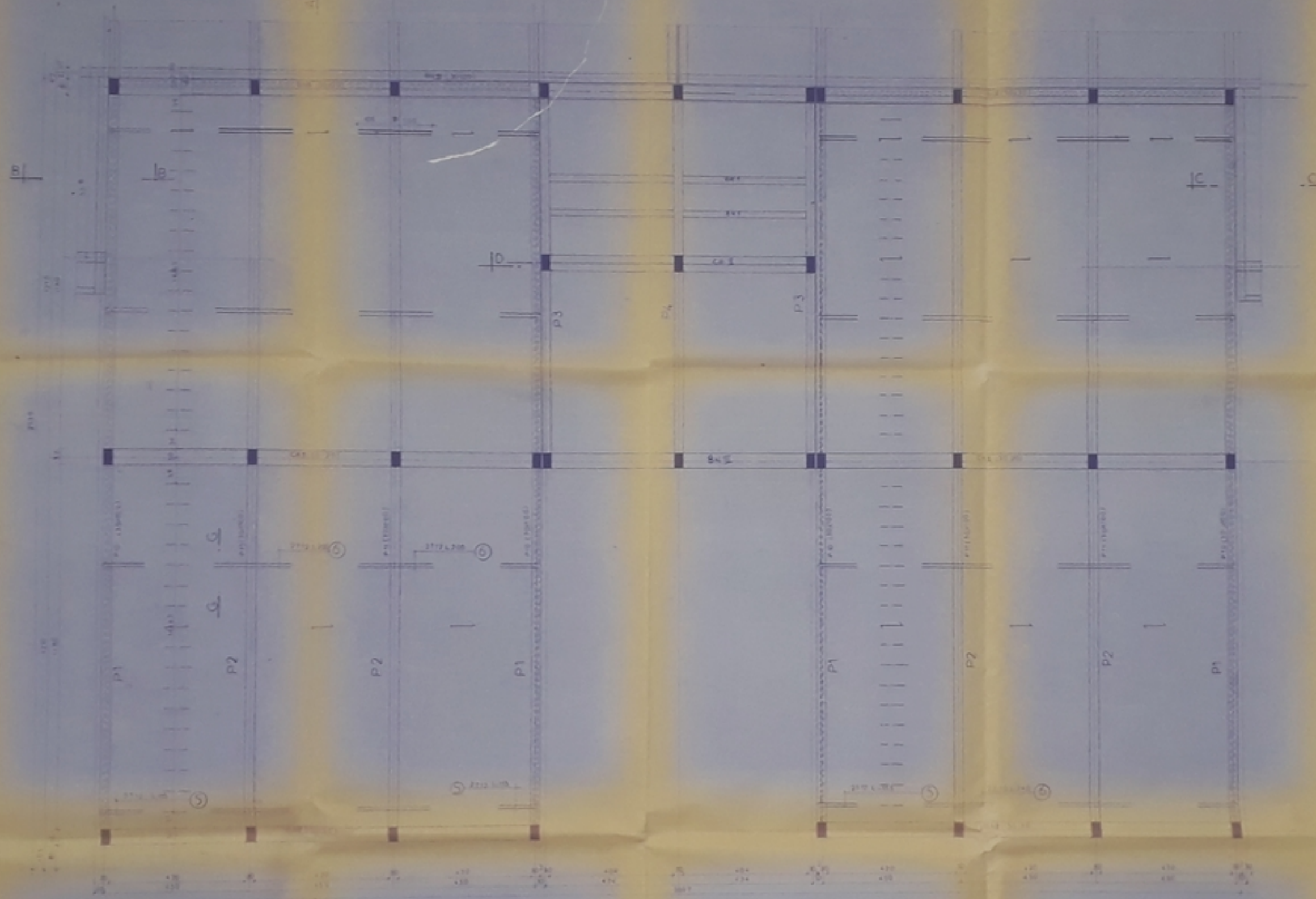


— SEMELLE-S8 —

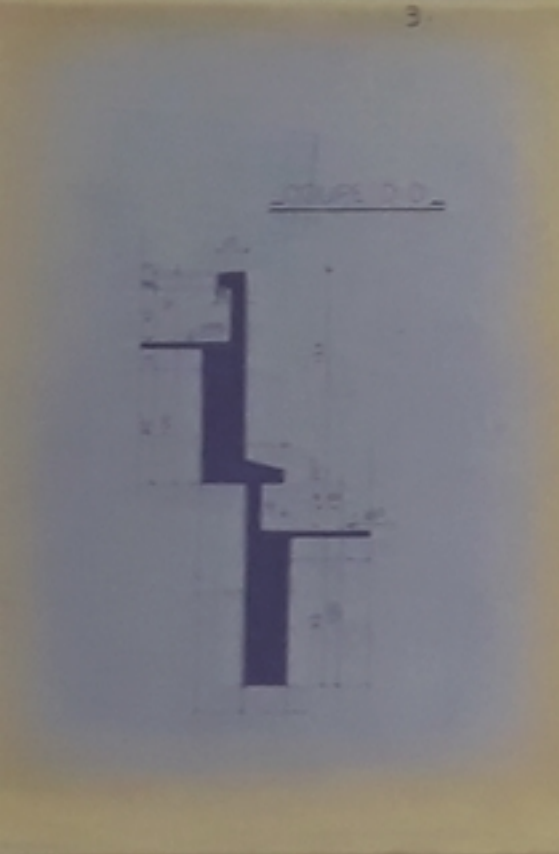


— COUPE-F-F —





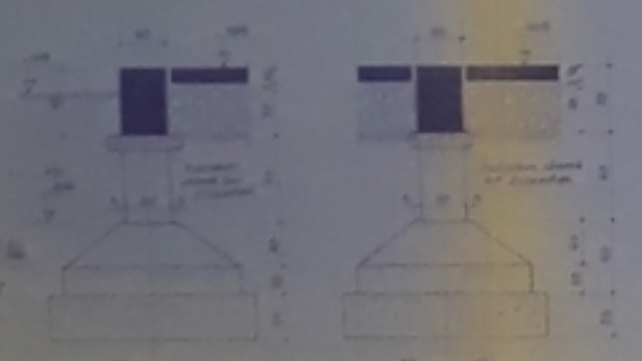
CONTENU ANNEXE MESSAGE 2
 1/20/2004
 3



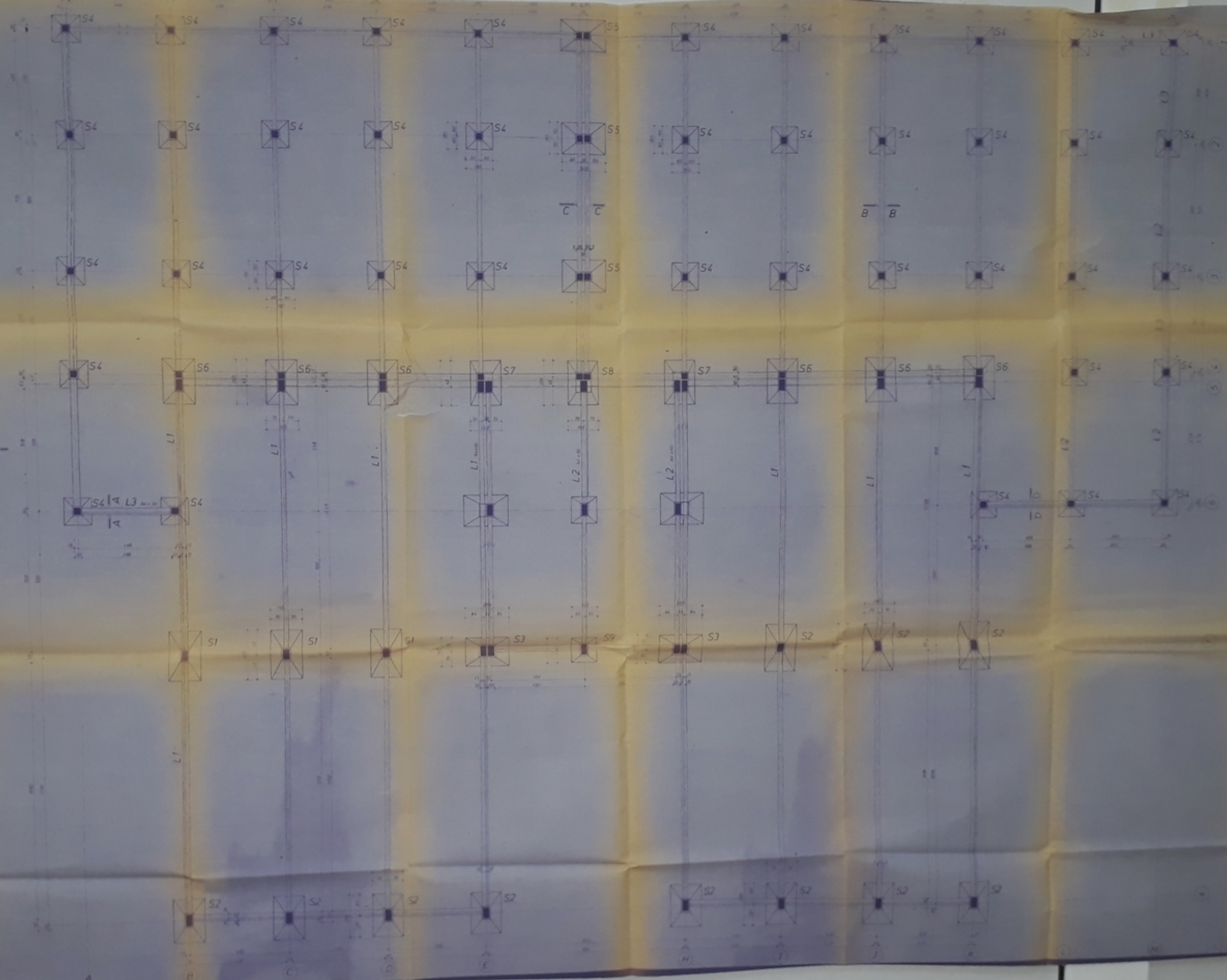
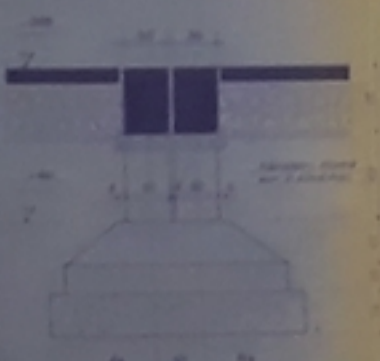
COUPE SÉRIELLES

PB 2454

COUPE - A.A. ech. 1/20 - COUPE - B.B. ech. 1/20

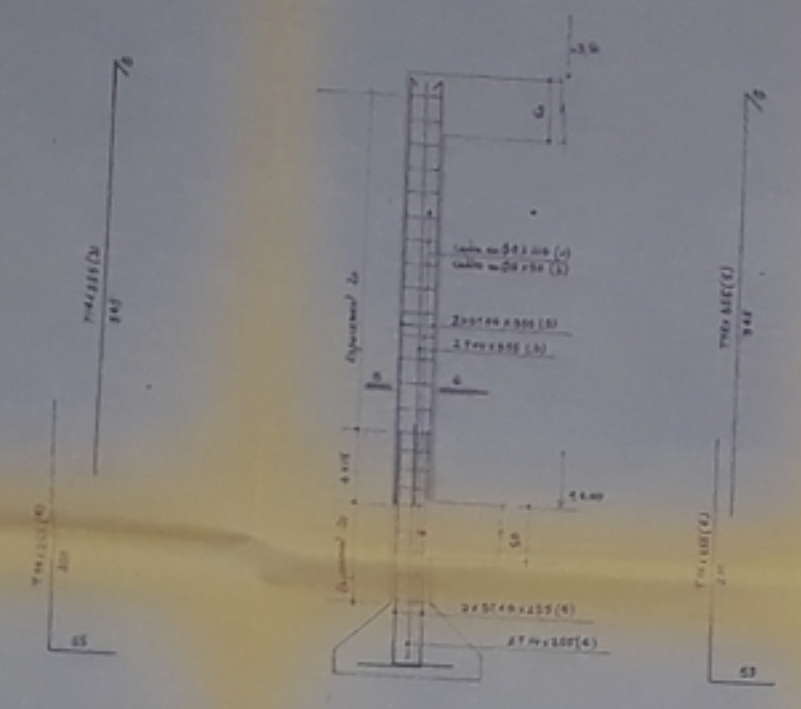


COUPE - C.C. ech. 1/20

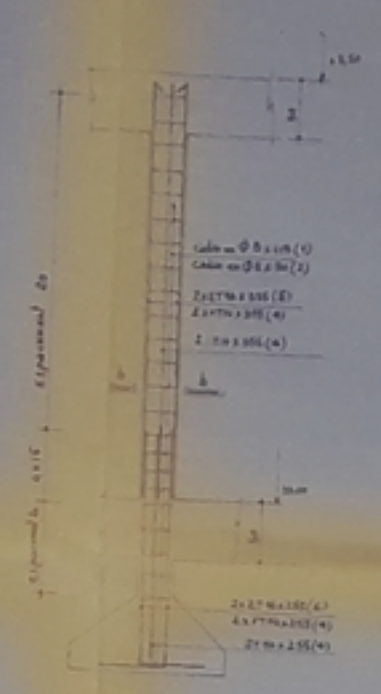


PROJET DE FIN D'ETUDES
 2018-2019
 100.000 POTEAUX
 1/25 - 1/10
 P.B. 2018

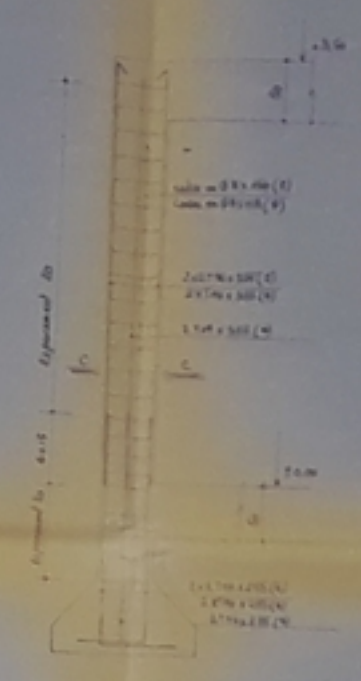
- POTEAU DE RIVE 1 - (PR1)



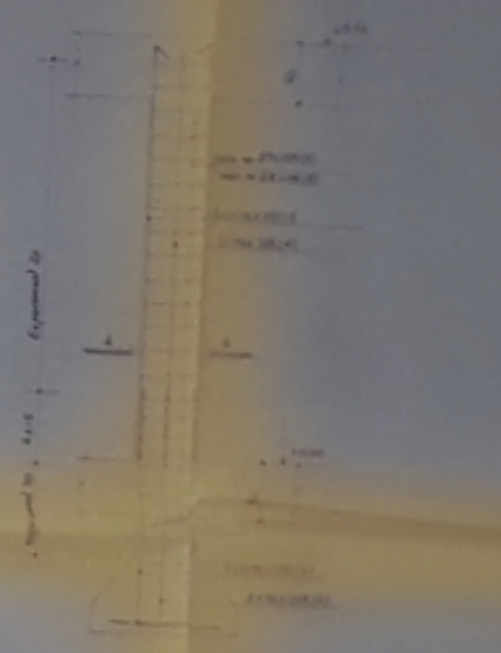
- POTEAU INTERMEDIAIRE 1 (PI1)



- POTEAU DE RIVE 3 (PR3)



- POTEAU INTERMEDIAIRE 2 (PI2)



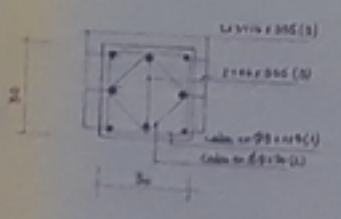
Carpe a-a



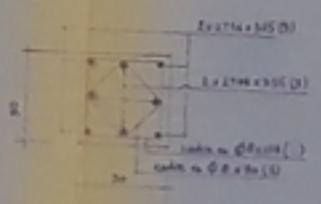
Carpe b-b



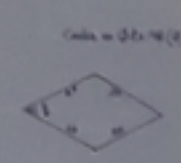
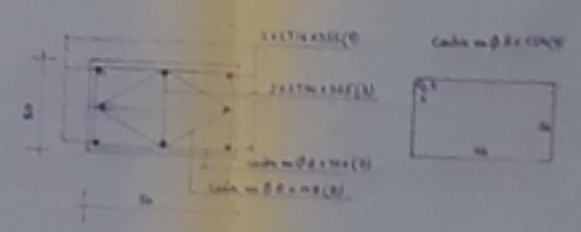
Carpe c-c



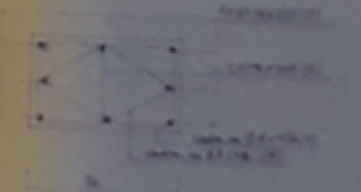
Carpe d-d



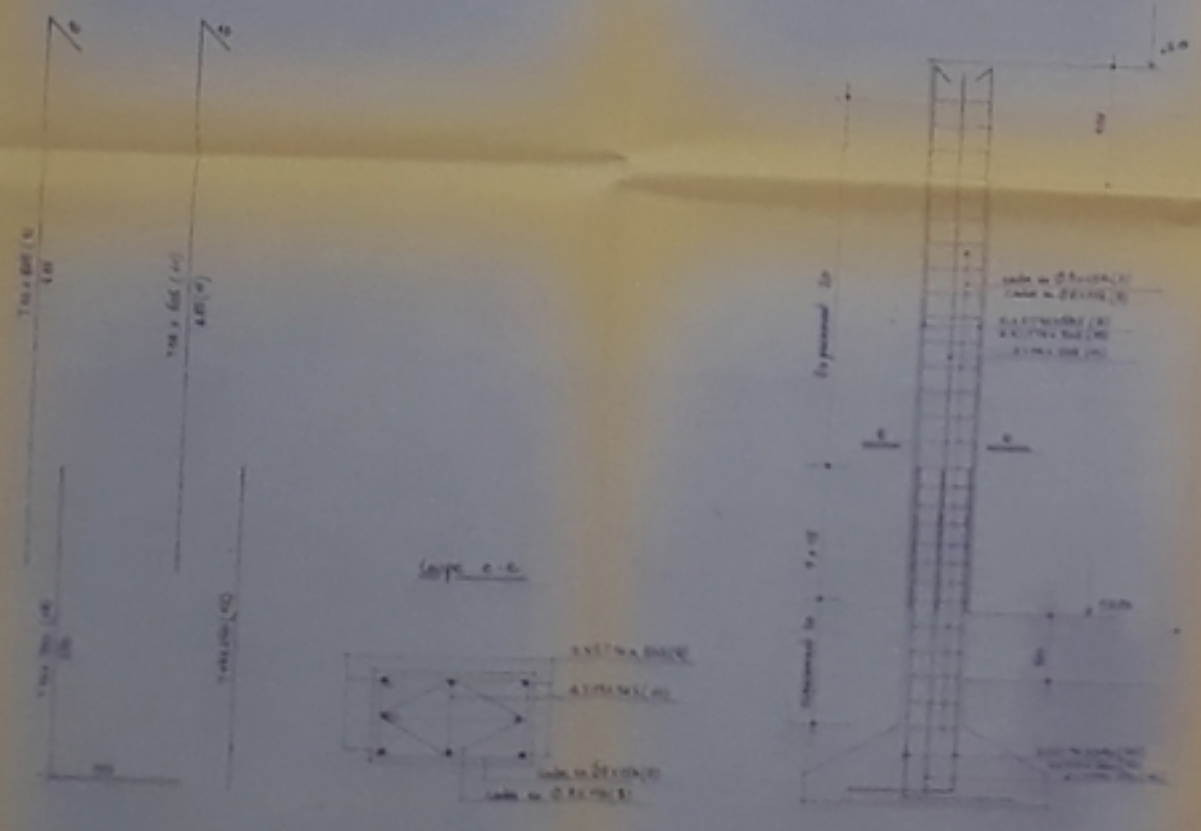
Carpe e-e



Carpe f-f



- POTEAU DE RIVE 2 (PR2)



- POTEAU INTERMEDIAIRE 2 (PI2)

