

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

U.S.T.H.B

6/82

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

121

DEPARTEMENT GENI - CIVIL

PROJET DE FIN D'ETUDE

THEME

**Construction d'Une Agence
Bancaire à Ossature Metallique**

Proposé par : SONATIBA

Promoteur : S. TCHOUKANOV

Etudié par : A. CHEURFI

Promotion : (JUIN 1982)

A. BOUALI

DEDICACES

Je dédie ce travail,

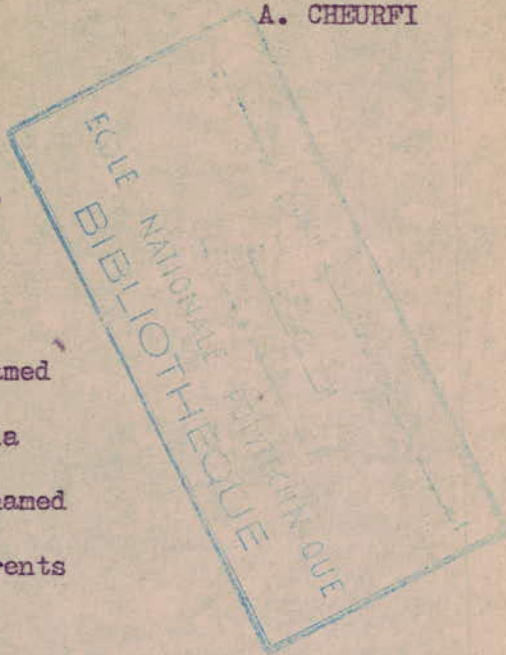
- . A mon Père
- . A ma Mère
- . A mes Soeurs Houria, Nora, Fatima
- . A mes Oncles Layachi, Quali, Ahmed
- . A tous mes amis (es)

A. CHEURFI

Je dédie ce travail

- . A mon Père
- . A ma Mère
- . A mon Frère Mohamed
- . A ma Soeur Saïdia
- . A mon Cousin Mohamed
- . A mes Grands-Parents
- . A mes Oncles
- . A la mémoire du regretté ami OUGRINE Sofiane
- . A mes chers amis (es)

A. BOUALI



REMERCIEMENTS

Nous prions tous ceux qui nous ont aide dans notre projet de fin d'études de trouver ici notre sincère gratitude -

Nous remercions plus particulièrement

- Mr. TCHOUKANOV : Notre Promoteur
- Mr. CHIKH : Architecte à la SO.NA.TI.BA.
- Mr. HAMICI
- Mr. SLIMANI
- Mr. LETLAT : Ingénieur à la D.N.C.
- Mr. BOUSSAA Tayeb
- Mr. FRICH Hamid
- Mr. RAMOUL Belkacem
- Mme. HACHANI Fatiha
- Mlles. Zohra et Hassiba
- Mr. KRITLI Boualem
- Mr. George OSTROVSKI

Toute l'équipe au Bureau d'Etudes de la SO.NA.TI.BA. pour leur aide précieuse.

SOMMAIRE

CH.0 : INTRODUCTION 1

- Présentation et description de l'ouvrage.
- Matériaux utilisés.
- Charges et surcharges.

CH.1 CALCUL DES ELEMENTS Page 6.

- Calcul des poutres supplémentaires.
- Calcul des planchers.
- Calcul de l'aérolière.
- Calcul du mur du sous-sol.
- Calcul des escaliers.

CH.2 ETUDE AU VENT Page 40

- Pression dynamique.
- Actions extérieures.
- Actions intérieures.
- Actions résultantes.
- Actions dynamiques.
- Forces sur les portiques.

CH.3 ETUDE DES PORTIQUES Page 49

- Description des portiques.
- Charges et surcharges.
- Description générale du programme.
- Numérotation des portiques.

CH.4 EFFORTS DANS LES PORTIQUES Page 60

- Portique transversale A-A.
- Portique transversale B-B.
- Portique transversale C-C.

CH.5 DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE Page 113

- Dimensionnement des poteaux.
- Dimensionnement des poutres.
- Vérification à l'effort tranchant.
- Vérification des flèches.
- Résumé des profils utilisés.

CH.6 CALCUL AU SEISME Page 131

- Effet causé par le séisme.
- Coefficients sismiques.
- Masses joumistes au séisme.
- Efforts sismiques.

CH7. ETUDE A LA TORSION

Page 138

- . Determination du centre geometrique.
- . Determination du centre de masse
- . Determination du centre de torsion
- . Determination de l'excentricite de Niveau
- . Forces dues a' la Torsion
- . Forces tangentielles a' chaque Niveau.
- . Determination des efforts distorsifs.

CH8 BASE DES POTEAUX

Page 149

- . Construction de la base
- . Dimensions de la platine.
- . Calcul des boulons.
- . Ancrage des boulons.
- . Calcul du profile et des raidisseurs
- . Cordons de soudure.

CH9 ASSEMBLAGES

Page 157

- . Assemblage. Loutres long. poteaux
- . Assemblage. poteau - poteau
- . Assemblage. Loutres transv. poteaux.
- . Assemblage. Loutres supp. Loutres transv.

CH10 FONDATIONS

Page 180

- . Etude du radier.
- . Determination des efforts.
- . Ferrailage.

CH:0 INTRODUCTION

PRESENTATION DE LOUVRAGE

1 INTRODUCTION : Notre Present memoire Porte sur l'etude des elements resistants. d'un Projet de Construction d'une agence bancaire sous l'office du C.P.A.

L'edifice sera implante dans La Wilaya de BATNA. zone de moyenne sismicite.

L'ouvrage sera compose de 2 Parties.

- Partie banque : comprenant.

- un 2^e sous-sol. complètement enterré
- un 1^{er} sous-sol. semi-enterré comprenant la chambre des coffres-forts.
- Une Salle de Spectacle et un restaurant
- un R.D.C, 1^{er} étage et un 2^e étage a usage de bureaux.

- Partie logement : Située a partir du 3^e étage et formant un décrochement en elevation

La terrasse de la Partie banque est accessible. mais l'entrée, celle de la Partie Logement est inaccessible.

La hauteur de plancher a plancher est de 3,52 m. Sauf pour les 2^{eme} et 1^{er} sous-sol où elle est respectivement de 3,00 et 3,40 m

2 OSSATURE : Notre structure est composée de Portiques a ossatures métallique.

3 PLANCHERS : Nos Planchers seront constitués de Poutrelles I.P.E espacés régulièrement de 1,20m et venant reposer sur un systeme de Poutraison orthogonale.

Le hourdissage sera fait avec des dalles Prefabriquées de dimensions 1,20 x 1,40 x 0,10.

4 MACONNERIE :

Partie banque : Les facades sont constituées de fines lames en beton disposées tous les 60 cm avec un vitrage demarrant a partir de la dalle des planchers. avec un bardage en Aluminium

Partie Logement : Les murs extérieurs sont en briques creuses a double cloison et portant des fenêtres. Les murs intérieurs sont en briques creuses pour l'ensemble du bâtiment.

REVETEMENTS

Partie banque : Le revêtement est en beton brut pour le parking et du granito pour les autres étages.

↳ Partie Logement : Le revêtement est du type traditionnel.
carrelage 20x20.

BETON ARMÉ : Le béton entrant dans la construction du présent ouvrage sera conforme aux règles C.C.B.A. 68. et à tous les règlements en vigueur applicables en Algérie.

En principe la composition du béton sera pour 1 m^3 de :

- 800 litres gravillons.
- 400 litres sable.
- 350 kg ciment CPA 325
- 175 litres d'eau.

ACIERS : Nous utiliserons de l'acier H.A., l'acier sera propre et débarrassé de toute trace de rouille.

Pour l'ossature on utilisera des profilés laminés, principalement des HEM. Pour les poteaux.

HE 8 Pour les poutres.

IPÉ Pour les poutrelles.

Eau de travail du sol : Notre bâtiment sera implanté sur un terrain de 700 m^2 et dont la contrainte admissible du sol est 1,5 bars à 4,50 m.

PLANCHERS

EVALUATION DES CHARGES ET SURCHARGES

1. CHARGES PERMANENTES :

| Niveaux | Designation | P.P non majeure | Coeff pond | P.P. majeure (kg/m ²) |
|---------|--|---|-------------------|-----------------------------------|
| 8 | Gravillons. | 4500 x 0,03 = 45 | 4/3 | |
| | et anchette | 10 | 4/3 | |
| | Forme de Penne Mortier ciment. Dalle en B.A. | 1200 x 0,05 = 60 1200 x 0,02 = 40 2500 x 0,10 = 250 | 4/3 4/3 4/3 | |
| | $\Sigma =$ | 405 | | |
| 7,6 | Carrelage 2cm | 2000 x 0,02 = 44 | 4/3 | |
| | Mortarde Pose | 40 | 4/3 | |
| | Sable (2cm) | 1700 x 0,02 = 34 | 4/3 | |
| | Mortier ciment | 2000 x 0,02 = 40 | 4/3 | |
| | Dalle en B.A. Cloisons. | 2500 x 0,10 = 250 75 | 4/3 4/3 | |
| | $\Sigma =$ | 493 | | |
| 5 | Carrelage (2cm) | 2000 x 0,02 = 44 | 4/3 | |
| | Mortier de Pose | 40 | 4/3 | |
| | Sable (2cm) | 1700 x 0,02 = 34 | 4/3 | |
| | Forme de Penne | 1200 x 0,05 = 60 | 4/3 | |
| | et anchette | 10 | 4/3 | |
| | Mortier ciment Dalle en B.A cloisons. | 2000 x 0,02 = 40 2500 x 0,10 = 250 75 | 4/3 4/3 4/3 | |
| | $\Sigma =$ | 553 | | |

| Niveaux | Designation | 2.2. Non mape | coefficient | 2.2. mape |
|---------|---|---|---|-----------|
| 4, 3, 1 | Carrelage 2cm Mortier de Pose Sable Mortier ciment Dalles en B.A. cloisons. | $2000 \times 0,02 = 44$ $1700 \times 0,02 = 34$ $2000 \times 0,02 = 40$ $2500 \times 0,10 = 250$ 75 | $4/3$ $4/3$ $4/3$ $4/3$ $4/3$ | |
| 2 | Carrelage 2cm Mortier de Pose Sable Mortier de ciment Double dalle He cloisons | $2000 \times 0,02 = 44$ $1700 \times 0,02 = 34$ $2000 \times 0,02 = 40$ $2500 \times 0,20 = 500$ 75 | $4/3$ $4/3$ $4/3$ $4/3$ $4/3$ | |
| 1 | Carrelage 2cm Mortier de Pose Sable Mortier ciment Dalles B.A. cloisons. | $2000 \times 0,02 = 44$ $1700 \times 0,02 = 34$ $2000 \times 0,02 = 40$ $2800 \times 0,10 = 280$ 75 | | |
| | | $\Sigma = 483$ $\Sigma = 733$ | | |
| | | $\Sigma = 473$ | | |

2 SURCHARGES

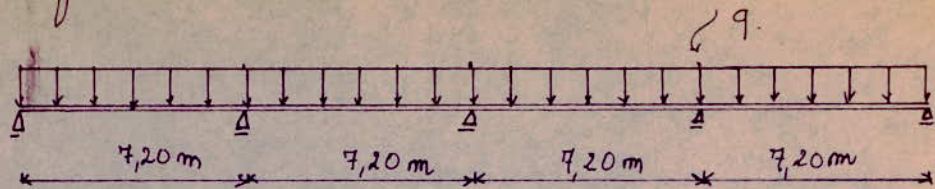
| Niveau | Surcharges exploitation kg/m^2 | Coeff Pond | Surcharges. No climatiques. | Coeff Pond |
|--------|---|------------|-----------------------------|------------|
| 8 | 100 kg/m^2 | $3/2$ | Neige: 45 kg/m^2 | $3/2$ |
| 7,6 | 175 " | $3/2$ | | $3/2$ |
| 5 | 400 " | $3/2$ | Neige: 45 kg/m^2 | $3/2$ |
| 4,3 | 1000 " | $3/2$ | | $3/2$ |
| 2 | 1000 " | $3/2$ | | $3/2$ |
| 1 | 1500 " | $3/2$ | | $3/2$ |

CH 1

CALCUL DESELEMENTS

CALCUL DES POUTRES SUPPLEMENTAIRES

SCHEMA STATIQUE : Les poutres longitudinales supplémentaires seront calculées comme une poutre continue sur plusieurs appuis. Elles seront dimensionnées sous l'effet des charges permanentes et des surcharges.



⊙ après RDM. on a:

Travée de rive: $M_{\max} = \frac{Pl^2}{12,9} + \frac{s.l^2}{10,2} \dots$ P: charges permanentes

Travée intermédiaire: $M_{\max} = \frac{Pl^2}{27} + \frac{s.l^2}{12,4}$ s: surcharges.

niveau 8 $P = \frac{4}{3} e_p = \frac{4}{3} (405 \cdot 4 + \frac{7 \cdot 15,8 \cdot 4}{7,2}) = 2242 \text{ kg/m.e}$

$s = \frac{17}{12} \cdot (C_e + N_n) = \frac{17}{12} \cdot (100 + 45) \cdot 4 = 822 \text{ kg/m.e}$

$M_{\max} = M_a = \frac{Pl^2}{14,3} + \frac{s.l^2}{10,5} = \frac{2242 \cdot 7,2^2}{14,3} + \frac{822 \cdot 7,2^2}{10,5} = 12115,97 \text{ kg.m}$

Predimensionnement: $W_{x\text{req}} \geq \frac{M_{\max}}{\sigma_c}$

$\frac{I_x}{S} = W_{x\text{req}} \geq \frac{12115,97}{2400} = 508 \text{ cm}^3 \rightarrow$ on prend un HE8.200 $\rightarrow W_x = 570 \text{ cm}^3$
 $I_x = 5696 \text{ cm}^4$

Resistance: $P = \frac{4}{3} e_p = 2242 + \frac{4}{3} \cdot 61,3 = 2323,73 \text{ kg/m.e}$

$M_{\max} = \frac{Pl^2}{12,9} + \frac{s.l^2}{10,2} = \frac{2323,73 \cdot 7,2^2}{12,9} + \frac{822 \cdot 7,2^2}{10,2} = 13515,85 \text{ kg.m.e}$

$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{13515,85}{570} = 2371,20 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$

Rigidité: Les charges et surcharges ne seront pas majorées

$q = e_p + C_e + N_n = 405 \cdot 4 + \frac{7 \cdot 15,8 \cdot 4}{7,2} + 61,3 + 145 = 1887,74 \text{ kg/m.e}$

Poutre continue $\rightarrow \bar{f}_i = \frac{q l^4}{384 E I_x} = \frac{1887,74 \cdot 7,2^4 \cdot 10^6}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 5696} = 1,23 \text{ cm} < \frac{l}{300} = 2,40 \text{ cm}$

niveaux 7,6

$P = \frac{4}{3} e_p = \frac{4}{3} (418 \cdot 4 + \frac{7,4 \cdot 15,8}{7,2}) = 2311,26 \text{ kg/m.e}$

$s = \frac{3}{2} C_e = \frac{3}{2} \cdot 175 \cdot 4 = 1050 \text{ kg/m.e}$

en travée: $M_{max} = \frac{2l^2}{14,3} + \frac{1l^2}{10,5} = \frac{2311,26 \cdot 7,2^2}{14,3} + \frac{1050 \cdot 7,2^2}{10,5} = 13562,72 \text{ kgm}$

$M_{max} = M_u = 14624,51 \text{ kgm}$

Prédimensionnement:

$W_{x \text{ nec}} \geq \frac{M_{max}}{\sigma_e} = \frac{13562,72 \cdot 10^2}{2400} = 565,11 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{HEB 220} \rightarrow W_x = 736 \text{ cm}^3$
 $I_x = 8091 \text{ cm}^4$

Resistance: $q_p' = \frac{4}{3}(e_p + p) = 2311,26 + \frac{4}{3} \cdot 71,5 = 2406,6 \text{ kg/m}$

$M_{max} = \frac{2l^2}{14,3} + \frac{1l^2}{10,5} = \frac{2406,6 \cdot 7,2^2}{14,3} + \frac{1050 \cdot 7,2^2}{10,5} = 113908 \text{ kgm}$

$\sigma_e = \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{113908 \cdot 10^2}{736} = 15476 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$

Rigidité: Les charges et surcharges ne seront pas majorées

$q' = e_p + e_s = 1733,45 + 75,1 + 175 \cdot 4 = 2508,55 \text{ kg/m}$

$f = \frac{q l^4}{384 E I_x} = \frac{2508,55 \cdot 7,2^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 8091} = 1,00 \text{ cm} < \frac{l}{300} = 2,4 \text{ cm}$

niveau 5 : $P = \frac{4}{3} e_p = \frac{4}{3} (478,4 + \frac{7 \cdot 4 \cdot 26,2}{7,2}) = 2685 \text{ kg/m}$

$s = \frac{17}{12} (e_s + N_s) = \frac{17}{12} (400 + 45) \cdot 4 = 2522 \text{ kg/m}$

Le moment maximal se trouve en travée de rive.

$M_{max} = \frac{2l^2}{12,9} + \frac{1l^2}{10,2} = \frac{2685 \cdot 7,2^2}{12,9} + \frac{2522 \cdot 7,2^2}{10,2} = 23607,65 \text{ kgm}$

Prédimensionnement: $W_{x \text{ nec}} \geq \frac{M_{max}}{\sigma_e}$

$W_{x \text{ nec}} \geq \frac{2360765}{2400} = 983,66 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{HEB 260} \rightarrow W_x = 1150 \text{ cm}^3$
 $I_x = 14919 \text{ cm}^4$

Resistance: $q' = \frac{4}{3} e_p + \frac{4}{3} q_p = 2685 + 93 = 2778 \text{ kg/m}$

$s = \frac{17}{12} (e_s + N_s) = 2522 \text{ kg/m}$

$M_{max} = \frac{q' l^2}{12,9} + \frac{1l^2}{10,2} = \frac{2778 \cdot 7,2^2}{12,9} + \frac{2522 \cdot 7,2^2}{10,2} = 23981,38 \text{ kgm}$

$\sigma_e = \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{2398138}{1150} = 2085,34 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$

Rigidité: Les charges et surcharges ne seront pas majorées

$q' = e_p + e_s + N_s = 2013,75 + 400 \cdot 4 + 45 \cdot 4 + 93 = 3187 \text{ kg}$

$f = \frac{q l^4}{384 E I_x} = \frac{3187 \cdot 7,2^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 14919} = 0,87 \text{ cm} < \frac{l}{300} = 2,4 \text{ cm}$

niveau 4,3 $l = \frac{4}{3} e_p = \frac{4}{3} (407,4 + \frac{28 \cdot 26,2}{7,2}) = 2312 \text{ kg/m.l}$

$s = \frac{3}{2} e_e = \frac{3}{2} \cdot 1000,4 = 6000 \text{ kg/m.l}$

Le moment maximal est donné par le moment en travée.

$M_{max} = \frac{pl^2}{12,9} + \frac{sl^2}{10,2} = \frac{2312 \cdot 7,2^2}{12,9} + \frac{6000 \cdot 7,2^2}{10,2} = 39785,13 \text{ kgm}$

Redimensionnement: $W_{x\text{recc}} \geq \frac{M_{max}}{\sigma_e}$

$W_{x\text{recc}} = \frac{3978513}{2400} = 1658 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{HEB. 300} \rightarrow W_x = 1680 \text{ cm}^3$
 $I_x = 25166 \text{ cm}^4$

Resistance: $q' = \frac{4}{3} e_p + \frac{4}{3} q_p = 2312 + \frac{4}{3} \cdot 117 = 2468 \text{ kg/m.l}$

$s' = \frac{3}{2} e_e = 6000 \text{ kg/m.l}$

$M'_{max} = \frac{p'l^2}{12,9} + \frac{s'l^2}{10,2} = \frac{2468 \cdot 7,2^2}{12,9} + \frac{6000 \cdot 7,2^2}{10,2} = 40412 \text{ kgm}$

$\sigma = \frac{M'_{max}}{W_x} = \frac{4041200}{1680} = 2405 \text{ kg/cm}^2 \approx \sigma_e$

Rigidité: Les charges et surcharges ne feront pas majorées

Donc: $q' = e_p + e_e = 1734 + 4000 + 117 = 5851 \text{ kg/m.l}$

$f = \frac{ql^4}{384EI_x} = \frac{5851 \cdot 7,2^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 25166} = 0,77 \text{ cm} < \frac{l}{300} = 2,4 \text{ cm}$

niveau 2 $l = \frac{4}{3} e_p = \frac{4}{3} (658 \cdot 4 + \frac{7 \cdot 4 \cdot 42,2}{7,2}) = 3728 \text{ kg/m.l}$

$s = \frac{3}{2} e_e = 1000 \cdot 4 = 6000 \text{ kg/m.l}$

Le moment maximal est obtenu en travée.

$M_{max} = \frac{pl^2}{12,9} + \frac{sl^2}{10,2} = \frac{3728 \cdot 7,2^2}{12,9} + \frac{6000 \cdot 7,2^2}{10,2} = 45475,5 \text{ kgm}$

Redimensionnement: $W_{x\text{recc}} \geq \frac{M_{max}}{\sigma_e}$

$W_{x\text{recc}} \geq \frac{4547550}{2400} = 1895 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{HEB. 320} \rightarrow W_x = 1930 \text{ cm}^3$
 $I_x = 30823 \text{ cm}^4$

Resistance: $q' = \frac{4}{3} e_p + \frac{4}{3} q_p = 3728 + \frac{4}{3} \cdot 127 = 3897,33 \text{ kg/m.l}$

$M_{max} = \frac{3897,33 \cdot 7,2^2}{12,9} + \frac{6000 \cdot 7,2^2}{10,2} = 46156 \text{ kgm}$

$\sigma = \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{4615600}{1930} = 2391,5 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$

Rigidité: Les charges et surcharges ne seront pas majorées

Donc:

$$q = e_p + e_s = 2796 + 127 + 4000 = 6923 \text{ kg/m.l}$$

$$f = \frac{q l^4}{384 E I_x} = \frac{6923 \cdot 7,2^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 30823} = 0,75 \text{ cm} < \bar{f}_a = 2,4 \text{ cm}$$

niveau 1 : $\frac{4}{3} e_p = \frac{4}{3} (408,4 + \frac{7 \cdot 4}{7,2} \cdot 30,7) = 2335 \text{ kg/m.l}$

$$s = \frac{3}{2} \cdot e_s = \frac{3}{2} \cdot 1500 \cdot 4 = 9000 \text{ kg/m.l}$$

Le moment maximal est obtenu en travée inte...

$$M_{\max} = \frac{p l^2}{12,9} + \frac{s \cdot l^2}{10,2} = \frac{2335 \cdot 7,2^2}{12,9} + \frac{9000 \cdot 7,2^2}{10,2} = 55124,62 \text{ kg.m}$$

Prédimensionnement: $W_{x \text{ nec}} \geq \frac{M_{\max}}{\sigma_e}$

$$W_{x \text{ nec}} \geq \frac{5512462}{2400} = 2297 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{HEB 360} \rightarrow W_x = 2400 \text{ cm}^3$$

$$I_x = 43193 \text{ cm}^4$$

Resistance: $l' = \frac{4}{3} e_p + \frac{4}{3} q_p = 2335 + \frac{4}{3} \cdot 142 = 2524,33 \text{ kg/m.l}$

$$s' = \frac{3}{2} \cdot e_s = 9000 \text{ kg/m.l}$$

$$M_{\max} = \frac{l' l^2}{12,9} + \frac{s' l^2}{10,2} = \frac{2524,33 \cdot 7,2^2}{12,9} + \frac{9000 \cdot 7,2^2}{10,2} = 55885,46 \text{ kg.m}$$

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{5588546}{2400} = 2328,56 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$$

Rigidité: Les charges et surcharges ne seront pas majorées

Donc:

$$q = e_p + e_s = 1893,25 + 6000 = 7893,25 \text{ kg/m.l}$$

$$f = \frac{q l^4}{384 E I_x} = \frac{7893,25 \cdot 7,2^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 43193} = 0,61 \text{ cm} < \bar{f}_a = 2,4 \text{ cm}$$

CONCLUSION: Les différents profils et leurs caractéristiques sont résumés dans le tableau suivant.

| Niveaux: | Profil | l (kg/m.l) | A (cm ²) | W _x (cm ³) | I _x (cm ⁴) |
|--------------------------|---------|------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 8 (5 ^e étage) | HEB 200 | 61,3 | 78,10 | 570 | 5696 |
| 7,6 (3,4 étage) | HEB 220 | 71,50 | 91,00 | 736 | 8091 |
| 5 (2 ^e étage) | HEB 260 | 93,00 | 118,40 | 1150 | 14919 |
| 4,3 (RDC+1) | HEB 300 | 117 | 149,10 | 1680 | 25166 |
| 2 (1 ^{er} -sol) | HEB 320 | 127 | 161,30 | 1930 | 30823 |
| 1 (2 ^e -sol) | HEB 360 | 142 | 180,6 | 2400 | 43193 |

CALCUL DES PLANCHERS

1 GENERALITES : La dalle est en béton armé et les poutrelles en acier les coefficients de pondération seront différents.
 La partie béton c'est la dalle sera calculée sous $G + 1,2 P$ et ceci pour la surcharge maximale.
 La partie acier (solives) sera calculée sous la plus défavorable des combinaisons mentionnées dans CM 66.

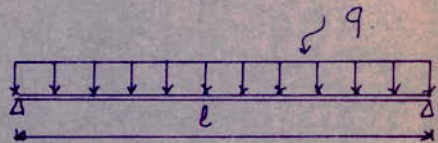
2 CALCUL DES POUTRELLES

A - Plancher niveau 8 : $CP = 405 \text{ kg/m}^2$
 $Ce = 100 \text{ kg/m}^2$
 $Nm = 45 \text{ kg/m}^2$

Une vérification a montré que la combinaison la plus défavorable est $S_2 = 4/3 CP + 17/12 (Ce + Nm)$
 Donc les poutrelles seront dimensionnées sous S_2

A.1. Schéma statique : Les poutrelles seront calculées

en flexion simple.
 La portée à prendre en compte dans les calculs est $l = 4,00 \text{ m}$



A.2. Predimensionnement : On doit vérifier : $W_{x\text{necc}} \geq \frac{M_{\text{max}}}{W_x}$

avec : $M_{\text{max}} = q \cdot \frac{l^2}{8}$

$q = 5,2$

l : entraxe des poutrelles = $1,20 \text{ m}$

Donc :

$S = 4/3 \cdot 405 + 17/12 (100 + 45) = 745,42 \text{ kg/m}^2 \rightarrow q = 745,42 \cdot 1,20 = 894,5 \text{ kg/m}$

et :

$M_{\text{max}} = 894,5 \cdot \frac{16}{8} = 1789 \text{ kgm}$

$W_{x\text{necc}} \geq \frac{178900}{2400} = 74,54 \text{ cm}^3 \rightarrow$ on adoptera un IPE 160.

Dont les caractéristiques sont : $W_x = 77,3 \text{ cm}^3$
 $I_x = 869 \text{ cm}^4$
 $P = 15,8 \text{ kg/m}$

A.3. Résistance : Pour la vérification de la résistance on introduira le poids propre du profilé.

Donc :

$q' = q + 4/3 \cdot g_p = 894,5 + 4/3 \cdot 15,8 = 915,57 \text{ kg/m}$

$M_{\text{max}} = q' \cdot \frac{l^2}{8} = 915,57 \cdot \frac{16}{8} = 1831 \text{ kgm}$

$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{W_x} = \frac{183100}{109} = 1680 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e = 2400 \text{ kg/cm}^2$

A.4. Rigidité : Dans le cas de 2 lanchers à usage d'habitation, la flèche ne doit pas dépasser $\frac{l}{300}$

Pour le calcul de la rigidité les charges et surcharges ne seront pas pondérées donc: $q_f = CP + Ce + N_n = (405 + 100 + 45) \cdot 1,5 + 15,8 = 675,8 \text{ kg/m.l}$

$$f = \frac{5q_f \cdot l^4}{384 \cdot EI_x} \leq \frac{l}{300}$$

$$f = \frac{5 \cdot 675,8 \cdot 4^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 869} = 1,23 \text{ cm} < \frac{l}{300} = 1,33 \text{ cm}$$

A.5. Effort tranchant: on doit vérifier que: $\tau_{\max} = \frac{T_{\max} \cdot S_{br}^{xx}}{I_{br}^{xx} \cdot e_a} \leq \frac{\sigma_c}{1,54}$

Dans notre cas:

$$T_{\max} = q \cdot l / 2 = 915,57 \cdot 4 / 2 = 1831,14 \text{ kg}$$

$$S^{xx} = 61,9 \text{ cm}^3$$

$$I^{xx} = 869 \text{ cm}^4$$

$$e_a = 0,5 \text{ cm}$$

$$\text{D'où: } \tau_{\max} = \frac{1831,14 \cdot 61,9}{869 \cdot 0,5} = 260,85 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\sigma_c}{1,54} = 1560 \text{ kg/cm}^2$$

B Plancher niveau 7,6 : $CP = 493 \text{ kg/m}^2$
 $Ce = 175 \text{ kg/m}^2$

La vérification a montré que la combinaison la plus défavorable est $S_2 = 4/3 \cdot CP + 3/2 \cdot Ce$

Donc, le dimensionnement se fera avec cette dernière, le schéma statique étant toujours le même.

B.1. Prédimensionnement: on satisfait l'inégalité $W_{x_{\text{necc}}} \geq \frac{M_{\max}}{\sigma_c}$

$$S_2 = 4/3 \cdot 493 + 3/2 \cdot 175 = 919,83 \text{ kg/m}^2$$

$$q = S_2 \cdot l = 919,83 \cdot 1,2 = 1103,8 \text{ kg/m.l}$$

$$M_{\max} = q \cdot \frac{l^2}{8} = 1103,8 \cdot \frac{4^2}{8} = 2207,6 \text{ kgm}$$

$$W_{x_{\text{necc}}} \geq \frac{220760}{2400} = 91,98 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{On prendra un IPE 180}$$

B.2. Résistance: Dans le calcul de résistance on introduit le poids propre du profilé choisi, i.e. $P = 18,8 \text{ kg/m.l}$

Donc:

$$q' = q + 4/3 \cdot g_p = 1103,8 + 4/3 \cdot 18,8 = 1128,87 \text{ kg/m.l}$$

$$M_{\max} = q' \cdot \frac{l^2}{8} = 1128,87 \cdot \frac{4^2}{8} = 2257,73 \text{ kgm}$$

et:

$$\tau = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{2257,73 \cdot 10^2}{109} = 2071,31 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

B.3. Rigidité: Dans cette vérification les charges et surcharges ne seront pas pondérées

$$\text{Donc: } q_f = CP + Ce = (493 + 175) \cdot 1,2 + 18,8 = 820,40 \text{ kg/m.l}$$

$$f = \frac{5q_f l^4}{384 EI_x} = \frac{5 \cdot 820,40 \cdot 4^4}{2,1 \cdot 384 \cdot 1317} = 0,99 \text{ cm} < \frac{l}{300} = 1,33 \text{ cm}$$

B.4. Effort tranchant: on doit vérifier: $\bar{E}_{max} = \frac{T_{max} \cdot S^{x-x}}{I^{x-x} \cdot e_a} \leq \frac{\sigma_c}{1,54}$

ona:

$$T_{max} = q \cdot \frac{l}{2} = 1128,87 \cdot \frac{4}{2} = 2257,74 \text{ kg}$$

$$S^{x-x} = 83,2 \text{ cm}^3$$

$$I^{x-x} = 1317 \text{ cm}^4$$

$$e_a = 0,53 \text{ cm}$$

$$\text{D'où } \bar{E}_{max} = \frac{2257,74 \cdot 83,2}{1317 \cdot 0,53} = 269,11 \text{ kg/cm}^2 < 1560 \text{ kg/cm}^2$$

C. Plancher niveau 5: $CP = 553 \text{ kg/m}^2$
 $Ce = 400 \text{ kg/m}^2$
 $Nm = 45 \text{ kg/m}^2$

La combinaison la plus défavorable étant: $S_3 = 4/3 CP + 17/12 (Ce + Nm)$
 on dimensionnera donc nos poutrelles avec S_3
 de schéma statique demeurant toujours le même.

C.1. Predimensionnement: on satisfait l'inégalité: $W_{x_{nec}} \geq \frac{M_{max}}{\sigma_c}$

avec: $M_{max} = q \cdot \frac{l^2}{8}$

et: $q = S_3 \cdot e$

$$S_3 = 4/3 \cdot 553 + 17/12 (400 + 45) = 1367,75 \text{ kg/m}^2 \rightarrow q = 1367,75 \cdot 1,2 = 1641,30 \text{ kg/m}$$

$$M_{max} = 1641,3 \cdot \frac{4^2}{8} = 3282,6 \text{ kgm}$$

Donc: $W_{x_{nec}} \geq \frac{328260}{2400} = 136,78 \text{ cm}^3 \rightarrow$ on choisit un IPE 200 ($W_x = 194 \text{ cm}^3$)

C.2 - Résistance: Pour cette vérification on introduit le poids propre du profilé choisi ie $g_p = 22,4 \text{ kg/m}$

$$q' = q + 4/3 \cdot g_p = 1641,3 + 4/3 \cdot 22,4 = 1671,17 \text{ kg/m}$$

$$M_{max} = q' \cdot \frac{l^2}{8} = 1671,17 \cdot \frac{4^2}{8} = 3342,34 \text{ kgm}$$

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{334234}{194} = 1722,86 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

C.3 - Rigidité: Les charges et surcharges ne seront pas pondérées
 Donc:

$$q_f = CP + Ce + Nm = (553 + 445) \cdot 1,2 + 22,4 = 1220 \text{ kg/m}$$

$$f_x = \frac{5q_f l^4}{384 \cdot EI_x} = \frac{5 \cdot 1220 \cdot 4^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 1943} = 1,00 \text{ cm} < \frac{l}{300} = 1,33 \text{ cm}$$

C.4. Effort tranchant: on vérifie: $\bar{E}_{max} = \frac{T_{max} \cdot S^{x-x}}{I^{x-x} \cdot e_a} \leq \frac{\sigma_c}{1,54}$

avec: $T_{max} = q \cdot \frac{l}{2} = 3342,34 \text{ kg}$

$$S^{x-x} = 116 \text{ cm}^3$$

$$I^{x-x} = 1943 \text{ cm}^4$$

$$e_a = 0,56 \text{ cm}$$

Donc: $\bar{E}_{max} = \frac{3343,34 \cdot 110}{1943 \cdot 0,56} = 338 \text{ kg/cm}^2$

D Plancher niveau 4,3

$CP = 483 \text{ kg/m}^2$

$CE = 1000 \text{ kg/m}^2$

Le dimensionnement se fera avec la combinaison $S_4 = 4/3 \cdot CP + 3/2 \cdot CE$ qui est la combinaison la plus défavorable.
Le schéma statique demeurant toujours le même.

D.1. Predimensionnement: On satisfait $W_x \text{ nec} \geq \frac{M_{\max}}{\sigma_c}$

$$S_4 = 4/3 \cdot 483 + 3/2 \cdot 1000 = 2144 \text{ kg/m}^2$$

Donc:

$$q = S_4 \cdot e = 2144 \cdot 1,2 = 2572,8 \text{ kg/m.e}$$

$$M_{\max} = q \cdot \frac{e^2}{8} = 2572,8 \cdot \frac{4^2}{8} = 5146,6 \text{ kgm}$$

$$W_x \text{ nec} \geq \frac{M}{\sigma_c} = \frac{514660}{2400} = 214,42 \text{ kgcm}^3 \rightarrow \text{On choisit un IPE 220. } W_x = 252$$

D.2. Resistance: On introduit le poids propre du profilé pour cette vérification. ie $g_p = 26,2 \text{ kg/m.e}$

Donc:

$$q' = q + 4/3 g_p = 2572,8 + 4/3 \cdot 26,2 = 2607,73 \text{ kg/m.e}$$

$$M_{\max} = q' \cdot \frac{e^2}{8} = 2607,73 \cdot \frac{4^2}{8} = 5215,46 \text{ kgm}$$

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{521546}{252} = 2070 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

D.3. Rigidité: Dans cette vérification les charges et surcharges ne seront pas pondérées

Donc: $q_f = CP + CE = (483 + 1000) \cdot 1,2 + 26,2 = 1805,8 \text{ kg/m.e}$

$$f = \frac{5q_e l^4}{384 \cdot EI_x} = \frac{5 \cdot 1805,8 \cdot 256}{384 \cdot 2,1 \cdot 2772} = 1,03 \text{ cm} < \frac{l}{300} = 1,33 \text{ cm}$$

D.4. Effort tranchant: on vérifie $E_{\max} = \frac{T_{\max} \cdot S^{x-x}}{I^{x-x} \cdot e_a} \leq \frac{\sigma_c}{1,54}$

avec: $T_{\max} = 5215,46 \text{ kg}$
 $S^{x-x} = 143 \text{ cm}^3$
 $I^{x-x} = 2772 \text{ cm}^4$
 $e_a = 0,59 \text{ cm}$

$$E_{\max} = \frac{5215,46 \cdot 143}{2772 \cdot 0,59} = 456 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\sigma_c}{1,54} = 1560 \text{ kg/cm}^2$$

E. Plancher niveau 2

$CP = 733 \text{ kg/m}^2$

$CE = 100 \text{ kg/m}^2$

Le dimensionnement se fera avec la combinaison $S_5 = 4/3 \cdot CP + 3/2 \cdot CE$ qui est la combinaison la plus défavorable.
Le schéma statique reste le même.

D.1. Predimensionnement: On satisfait $W_x \text{ nec} \geq \frac{M_{\max}}{\sigma_c}$

$$S_5 = 4/3 \cdot CP + 3/2 \cdot CE = 2477,3 \text{ kg/m}^2$$

Donc: $q = S_5 \cdot e = 2477,3 \cdot 1,2 = 2972,8 \text{ kg/m.e}$

$$M_{\max} = q \cdot \frac{e^2}{8} = 2972,8 \cdot \frac{4^2}{8} = 5945,6 \text{ kgm}$$

$$W_{x\text{necc}} \geq \frac{594560}{2400} = 247,73 \text{ cm}^3$$

Normalement un IPE 220 devrait suffire mais comme on a prévu 2 dalles au niveau de ce plancher. Donc pour des raisons d'exécution on prévoit un IPE 300.

E.2. Résistance: On introduit le poids propre du profilé choisi

$$g_p = 42,2 \text{ kg/m}$$

Donc:

$$q' = q + 4/3 g_p = 2972,8 + 4/3 \cdot 42,2 = 3029,07 \text{ kg/m}$$

$$M_{\text{max}} = q' \frac{l^2}{8} = 3029,07 \cdot \frac{4^2}{8} = 6058,14 \text{ kgm}$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{W_x} = \frac{605814}{557} = 1087,74 \text{ kg/cm}^2$$

E.3. Rigidité: Les charges et surcharges ne seront pas pondérées pour cette vérification

$$\text{Donc } q_f = c_p + c_e = (733 + 1000) \cdot 1,2 + 42,2 = 2121,8 \text{ kg/m}$$

$$f_x = \frac{5q_f l^4}{384 \cdot E I_x} = \frac{5 \cdot 2121,8 \cdot 256}{384 \cdot 2,1 \cdot 8356} = 0,40 \text{ cm} < \frac{l}{300} = 1,33 \text{ cm}$$

E.4. Effort tranchant: On vérifie $E_{\text{max}} = \frac{T_{\text{max}} \cdot 5^{x-x}}{I^{x-x} \cdot a} \leq \frac{\sigma_c}{1,54}$

avec: $T_{\text{max}} = q \cdot \frac{l}{2} = 6058,14 \text{ kg}$
 $5^{x-x} = 314 \text{ cm}^3$
 $I^{x-x} = 8356 \text{ cm}^4$
 $a = 0,71 \text{ m}$

$$E_{\text{max}} = \frac{6058,14 \cdot 314}{8356 \cdot 0,71} = 320,64 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\sigma_c}{1,54} = 1560 \text{ kg/cm}^2$$

F Plancher niveau 1

$$c_p = 483 \text{ kg/m}^2$$

$$c_e = 1500 \text{ kg/m}^2$$

Le dimensionnement se fera avec la combinaison $S_6 = 4/3 \cdot c_p + 3/2 \cdot c_e$ qui est la combinaison la plus défavorable. Le schéma statique reste le même.

F.1. Prédimensionnement: On doit satisfaire $W_{x\text{necc}} \geq \frac{M_{\text{max}}}{\sigma_c}$

$$S_6 = 4/3 \cdot 483 + 3/2 \cdot 1500 = 2894 \text{ kg/m}^2$$

$$q = S_6 \cdot l = 2894 \cdot 1,2 = 3472,8 \text{ kg/m} \rightarrow M_{\text{max}} = q \frac{l^2}{8} = 3472,8 \cdot \frac{4^2}{8} = 6945,6 \text{ kgm}$$

$$W_{x\text{necc}} \geq \frac{M}{\sigma_c} \rightarrow W_{x\text{necc}} \geq \frac{694560}{2400} = 289,4 \text{ cm}^3$$

On choisit un IPE 240. ($W_x = 324 \text{ cm}^3$)

F.2. Résistance: on introduit le poids propre de l'IPE choisi

$$g_p = 30,7 \text{ kg/m}$$

Donc:

$$q' = q + 4/3 g_p = 3472,8 + 4/3 \cdot 30,7 = 3513,73 \text{ kg/m}$$

$$M_{\text{max}} = \frac{q' l^2}{8} = \frac{3513,73 \cdot 4^2}{8} = 7027,46 \text{ kgm}$$

$$\sigma_c = \frac{M_{\text{max}}}{W_x} = \frac{702746}{324} = 2168,97 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

F.3. Rigidité: Les charges et surcharges ne seront pas pondérées
 Donc:

$$q = C_p + C_e = (483 + 1500) \cdot 1,2 + 30,7 = 2410,30 \text{ kg/m.l}$$

$$f = \frac{5q\ell^4}{384EI_x} = \frac{5 \cdot 2410,3 \cdot 256}{384 \cdot 2,1 \cdot 3892} = 0,98 \text{ cm} < \frac{\ell}{300} = 1,33 \text{ cm}$$

F4. Effort tranchant: On doit vérifier: $\tau_{\max} = \frac{T_{\max} \cdot S^{**}}{I^{**} \cdot a} \leq \frac{\sigma_e}{1,54}$

avec: $T_{\max} = q \cdot \frac{\ell}{2} = 7027,46 \text{ kg}$
 $I^{**} = 3892 \text{ cm}^4$
 $S^{**} = 183 \text{ cm}^3$
 $a = 0,62 \text{ cm}$

$$\tau_{\max} = \frac{7027,46 \times 183}{3892 \cdot 0,62} = 533 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$$

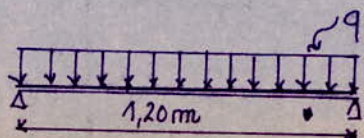
G. conclusion: Une étude comparative avec les autres profils tels les HEB et les HEA. Pour différents espacements a montre que les IPE choisis espacés de 1,20m sont les plus économiques.

Le tableau suivant résume les différents profils utilisés et leurs caractéristiques.

| Niveau | Profil | Section | hauteur | W_x | W_y | I_x |
|--------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|
| 8 | IPE 160 | 20,10 | 15,8 | 109 | 16,7 | 869 |
| 7 | IPE 180 | 23,9 | 18,8 | 146 | 22,2 | 1317 |
| 6 | IPE 180 | 23,9 | 18,8 | 146 | 22,2 | 1317 |
| 5 | IPE 200 | 28,50 | 20,40 | 194 | 28,50 | 1943 |
| 4 | IPE 220 | 33,40 | 26,20 | 252 | 37,30 | 2772 |
| 3 | IPE 220 | 33,40 | 26,20 | 252 | 37,30 | 2772 |
| 2 | IPE 300 | 53,8 | 42,2 | 557 | 80,50 | 8356 |
| 1 | IPE 240 | 39,10 | 30,70 | 324 | 47,30 | 3892 |

3. CALCUL DE LA DALLE: On calculera la dalle sur laquelle s'exercent les plus grands efforts i.e. la dalle du niveau 1.

3.1. Schema statique: La dalle sera calculée sous G + 1,2 P. Elle sera calculée comme une poutre reposant sur 2 appuis simples.



CHARGES ET SURCHARGES

- Poids Propre de la dalle
- Poids des éléments au dessus de la dalle

$$\begin{array}{r} 250 \text{ kg/m}^2 \\ 233 \end{array}$$

$$G = 483 \text{ kg/m}^2$$

$$P = 1500 \text{ kg/m}^2$$

• Surcharges:

$$\text{D'où } G + 1,2 P = 483 + 1,2 \cdot 1500 = 2283 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Donc: } q = 2283 \times 1,4 = 3196 \text{ kg/m.l}$$

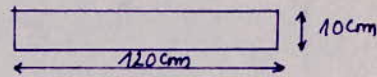
3.2. Détermination des efforts:

$$M_{\max} = q \cdot \frac{l^2}{8} = 3196 \cdot \frac{1,2^2}{8} = 575,28 \text{ kgm.}$$

$$T_{\max} = q \cdot \frac{l}{2} = 3196 \cdot \frac{1,2}{2} = 1918 \text{ kg.}$$

3.3. Ferrailage de la dalle.

travaille.
Principalement en flexion.
Pour le ferrailage, on utilisera
la méthode de L. CHARON.
on prend pour l'enrobage $d = 2 \text{ cm}$



$$h = h_t - d = 10 - 2 = 8 \text{ cm}$$

$$\mu = \frac{15M}{\bar{\sigma}_a \cdot b \cdot h^2} = \frac{15 \cdot 575,28}{2800 \cdot 120 \cdot 8^2} = 0,0401 \rightarrow \begin{cases} K = 43,7 \\ E = 0,9149 \end{cases}$$

$$\bar{K} = \frac{\bar{\sigma}_a}{\bar{\sigma}_b} = \frac{2800}{137} = 20,44 < K \rightarrow \text{Pas d'armatures comprimées}$$

$$A = \frac{M_{\max}}{E \cdot h \cdot \bar{\sigma}_a} = \frac{575,28}{0,9149 \cdot 8 \cdot 2800} = 2,81 \text{ cm}^2 \quad \text{Soit } 6 \phi 8 = 3,01 \text{ cm}^2$$

Condition de non-fragilité

$$A \geq A_2 = 0,69 \cdot b \cdot h \cdot \frac{\bar{\sigma}_b}{\bar{\sigma}_{en}} = 0,69 \cdot 120 \cdot 8 \cdot \frac{5,9}{4200} = 0,93 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{vérifié}$$

Vérification des contraintes:

$$\bar{\omega} = \frac{100A}{b \cdot h} = \frac{100 \cdot 3,01}{120 \cdot 8} = 0,314 \rightarrow \begin{cases} k = 42 \\ E = 0,9123 \end{cases}$$

$$\bar{\sigma}_a = \frac{M_{\max}}{A \cdot E \cdot h} = \frac{575,28}{3,01 \cdot 0,9123 \cdot 8} = 2618,70 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_b = \frac{\bar{\sigma}_a}{k} = \frac{2618,70}{42} = 62,35 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_b = 137 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{fissuration: } \bar{\sigma}_2 = 2,4 \cdot \sqrt{\frac{\mu}{\phi} \cdot k \cdot \bar{\sigma}_b} = 2,4 \cdot \sqrt{\frac{1,5 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 5,9}{8}} = 3193 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_2 > \bar{\sigma}_a = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

Entrainement des armatures:

$$\left. \begin{array}{l} \bar{E}_d = 1,25 \psi_a \bar{\sigma}_b \\ \psi_d = \end{array} \right\} \Rightarrow \bar{E}_d =$$

calcul de \bar{E}_d pour $T_{max} = 1918 \text{ kg}$.

$$\bar{E}_d = \frac{T}{m \cdot z} = \frac{1918}{7/8}$$

Effort tranchant aux appuis: des armatures doivent vérifier

$$A \sigma_a \geq T + \frac{M}{z}$$

Dans notre cas $M=0$

$$A \sigma_a = 3,01 \cdot 2800 = 8428 > T = 1918 \text{ kg. vérifié}$$

Vérification au poinçonnement: On doit vérifier $\bar{E}_{max} < \bar{\sigma}_b$

$$\text{avec: } \bar{E}_{max} = \frac{1,5 P}{1,2 \cdot p_c \cdot h_0} = \frac{1,25 P}{p_c \cdot h_0} \leq \bar{\sigma}_b$$

P : charge concentrée appliquée

C_n : aire sur laquelle la charge P agit sur la dalle.

h_0 : épaisseur de la dalle

p_c : périmètre d'un contour // à celui de C_n , situé à l'extérieur de C_n d'une distance $h_0/2$.

$$\bar{E}_{max} = \frac{1,25 \cdot 1500 \cdot 1,40 \cdot 1,20}{10 \cdot 2 \cdot [140 + 10 + 120 + 10]} = 0,56 < \bar{\sigma}_b^*$$

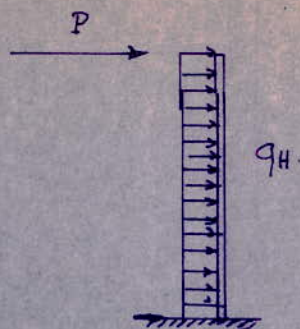
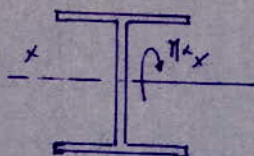
CONCLUSION : Les différents profils utilisés dans nos planchers sont résumés dans le tableau suivant.

| Niveau | Profilé | Section A (cm ²) | Poids p (kg/m ^e) | W _x (cm ³) | W _y (cm ³) | I _x (cm ⁴) |
|--------|---------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 8 | IPE 160 | 20,10 | 15,8 | 109 | 16,70 | 869 |
| 7 | IPE 180 | 23,90 | 18,8 | 146 | 22,2 | 1317 |
| 6 | IPE 180 | 23,90 | 18,8 | 146 | 22,2 | 1317 |
| 5 | IPE 200 | 28,50 | 22,40 | 194 | 28,5 | 1943 |
| 4 | IPE 220 | 33,40 | 26,20 | 252 | 37,3 | 2772 |
| (3) | IPE 220 | 33,40 | 26,20 | 252 | 37,30 | 2772 |
| 2 | IPE 300 | 53,8 | 42,2 | 557 | 80,50 | 8356 |
| 1 | IPE 240 | 39,10 | 30,70 | 324 | 47,3 | 3892 |

CALCUL DE L'ACROTÈRE

1. Description: L'acrotère sera constituée de profilés IPE espacés de 60 cm le remplissage entre 2 profilés consécutifs sera fait en brique creuses.

2. Schéma de calcul: L'acrotère sera calculée comme une console encastrée à la base. Elle sera soumise à la pression du vent et à la surcharge due à la main courante, P.



Pression dynamique de base:

$$q_H = 2,5 \cdot \frac{H+18}{H+60} \cdot q_{10} \rightarrow q_H = 2,5 \cdot \frac{23,8+18}{23,8+60} \cdot 70 = 17,29 \text{ kg/m}^2$$

La plus grande dimension offerte au vent étant, 80 cm
Les règles NV donnent:

$$\delta = 0,975$$

Donc, $q_z = 0,975 \cdot q_H = 15,11 \text{ kg/m}^2$

Par conséquent le profilé sera soumis à une force due au vent égale à

$$q = 15,11 \cdot 0,6 = 9,07 \text{ kg/ml}$$

Surcharge P $P = 100 \text{ kg/ml} \rightarrow D = 0,6 \cdot 100 = 60 \text{ kg}$

$$\frac{3}{2} P = \frac{3}{2} \cdot 60 = 90 \text{ kg}$$

La console sera calculée sous: $M = D \cdot h + q \cdot \frac{h^2}{2}$

$$M = 2 \left(D + q \cdot \frac{h}{2} \right) h$$

Moment pondéré: $M' = \frac{3}{2} \left(D + q \cdot \frac{h}{2} \right) \cdot h = \frac{3}{2} (60 + 9,07 \cdot 0,4) \cdot 0,8 = 96,48 \text{ kgm}$

Dimensionnement:

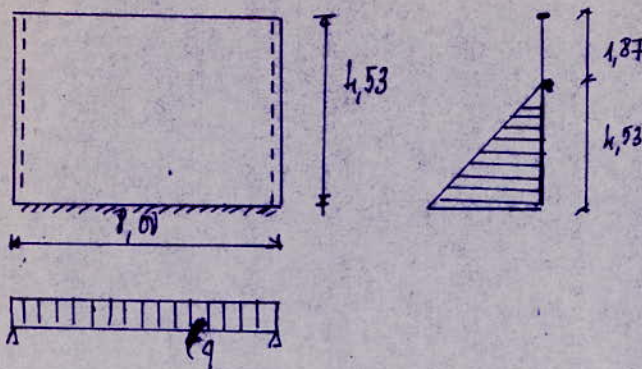
$$K_x n_{ec} \geq \frac{M}{\sigma_c} = \frac{9648}{2400} = 4,02 \text{ cm}^3$$

→ IPE 80.

CALCUL DU MUR DU SOUS SOL

Le calcul se fera comme celui d'une dalle encastrée d'un côté et appuyée sur les 2 autres cotés.
 Pour déterminer les efforts dans cette dalle, on utilise les tables de BARES.

Schema de calcul.



Caractéristiques du sol:

$$\begin{aligned} \gamma &= 1800 \text{ kg/m}^3 \\ \varphi &= 45^\circ \\ c &= 0 \end{aligned}$$

On détermine la poussée des terres.

σ_v : Contrainte verticale.

σ_h : " horizontale

L'équilibre de poussée donne:

$$q = K_a \cdot \sigma = \tan^2 \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \gamma \cdot h$$

$$q = \tan^2 \left(\frac{\pi}{2} - \frac{45}{2} \right) \cdot 1800 \cdot 4,53 = 1399 \text{ kg/m}^2$$

En considérant une bande de 1m du mur et à la profondeur du Niveau libre du sol jusqu'à la fondation on aura

$$q = 1399 \text{ kg/m.l}$$

Calcul des efforts:

$$l_x = 9,00 \text{ m}$$

$$l_y = 4,53 \text{ m} \quad \rightarrow \quad \rho = \frac{l_x}{l_y} = \frac{9}{4,53} = 1,77$$

Moments flexionnants

$$\begin{aligned}
 m_{xb} &= 0,003804 \rightarrow M_x^+ = m_{xb} \cdot q a^2 = 0,003804 \cdot 1399 \cdot 8^2 = 240,6 \text{ kgm} \\
 m_{yb} &= 0,009058 \rightarrow M_y^+ = m_{yb} \cdot q \cdot b^2 = 0,009058 \cdot 1399 \cdot 6,4^2 = 519,16 \text{ kgm} \\
 m_{xb} &= -0,004529 \rightarrow M_x^- = -m_{xb} \cdot q a^2 = -0,004529 \cdot 1399 \cdot 8^2 = -4055 \text{ kgm} \\
 m_{yb} &= -0,007608 \rightarrow M_y^- = -m_{yb} \cdot q b^2 = -0,007608 \cdot 1399 \cdot 6,4^2 = -43,6 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Efforts tranchants.

$$T_x = R_x \cdot q \cdot a = 0,0645 \cdot 1399 \cdot 8 = 721,88 \text{ kg} \quad T_y = R_y \cdot q \cdot b = 0,2346 \cdot 1399 \cdot 6,4 = 2095,87 \text{ kg}$$

Calcul des armatures: En négligeant le poids propre du mur on néglige l'effort normal qui est variable en fonction de la hauteur.
 Le calcul se fera en flexion simple.

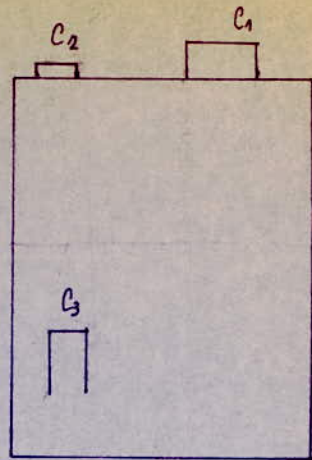
| Axe | M (kgm) | $\mu = \frac{15M}{\sigma_a \cdot h^2 \cdot b}$ | ϵ | K | A. (cm ²) |
|-----|---------|--|------------|-----|-----------------------|
| X | 240,6 | 0,000603 | 0,9885 | 420 | 0,22 |
| X | -4055 | 0,0071 | 0,9873 | 320 | 2,67 |
| Y | 519,16 | 0,000919 | 0,9859 | 340 | 0,34 |
| Y | -43,6 | 0,000077 | - | - | - |

Le fraissage calculé étant faible on adoptera pour la bonne construction 4T10 pour chaque direction de nappe.

CALCUL DES ESCALIERS

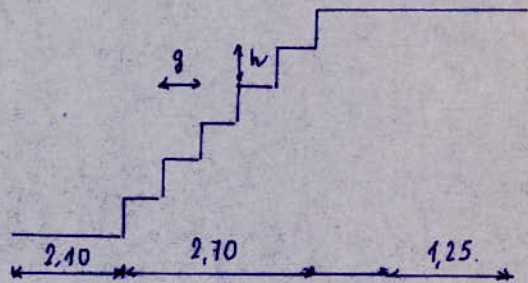
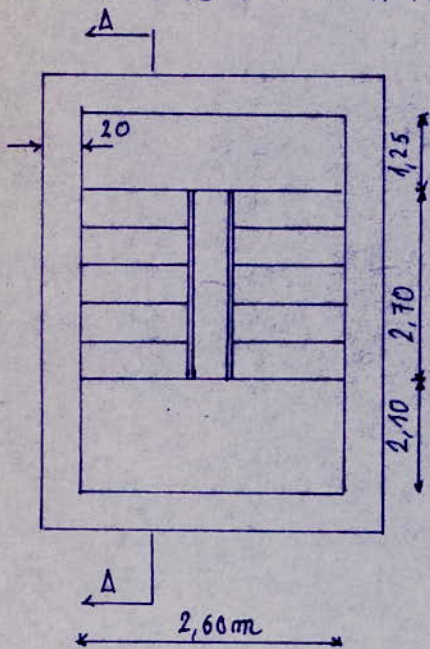
1 DESCRIPTION : on a 3 types. d'escaliers. à calculer.

- Un escalier extérieur. C_1
- un 2^e escalier extérieur C_2 . couvrant 2 Niveaux seulement
- un 3^e escalier intérieur dans la partie bureaux.



2 CALCUL DE L'ESCALIER. C.1

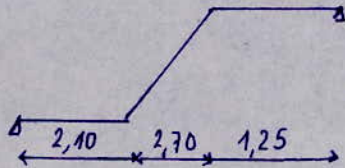
Cet escalier. se compose de 2 Parties.
 une Partie. à usage de bureaux. allant du Niveau. 2 au Niveau 5
 et une Partie à usage d'habitation isolée allant du Niveau 5 au Niveau 8.



a. niveau

a.1. Schema. statique.

l'escalier sera pris. comme appuyé sur 2 appuis simples.



a.2. Caracteristiques : on doit realiser la condition de BLONDEL
 $2h + g = 64$

— giron: $g = \frac{270}{10} = 27 \text{ cm}$:

$n+1 = 11$. contremarches

— hauteur de la marche: $h = \frac{H}{n} = \frac{187}{11} = 17 \text{ cm}$

— $\tan \alpha = \frac{17}{27} = 0,6296 \rightarrow \cos \alpha = 0,822$
 $\sin \alpha = 0,569$

$2h + g = 61$

q-3. Predimensionnement de la dalle : celui-ci sera fait comme dans le cas d'une poutre.

$$\frac{l}{30} \leq h_t \leq \frac{l}{20}$$

avec: l : portée de la poutre
 $l = 210 + 270 + 125 = 605 \text{ cm}$

Donc:

$$\frac{605}{30} \leq h_t \leq \frac{605}{20} \rightarrow 20,17 \leq h_t \leq 30,25 \rightarrow h_t = 21 \text{ cm}$$

q-4. Evaluation des charges et surcharges:

Au Niveau des Paliers:

| | | | | |
|--------------------------|-------|----------------------|-------|--------------------------|
| - Poids propre du Palier | ----- | $2500 \times 0,21 =$ | ----- | 525 kg/m^2 |
| - Mortier de Pose | | $2200 \times 0,03 =$ | ----- | 66 |
| - Pierre dure | | $2600 \times 0,03 =$ | ----- | 78 |
| | | | ----- | $G = 669 \text{ kg/m}^2$ |
| | | | | $P = 250 \text{ kg/m}^2$ |

- Surcharge:

D'où $G + 1,2P = 669 + 1,2 \cdot 250 = 969 \text{ kg/m}^2 = 969 \cdot 1 = 969 \text{ kg/m.e}$

Au Niveau des Poutres:

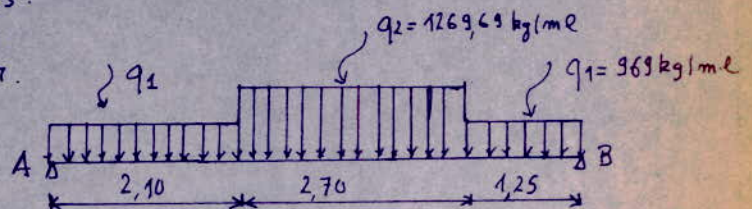
| | | | | |
|-----------------------------|----------------------------------|-------|---------------------------|-----------------------------|
| - Poids propre de la Poutre | $\frac{2500 \times 0,21}{0,822}$ | ----- | $= 638,69 \text{ kg/m}^2$ | |
| - Mortier de Pose: | $2200 \times 0,03$ | ----- | $= 66$ | |
| - Pierre dure | | | 78 | |
| - Poids propre des marches | $\frac{2200 \times 0,17}{2}$ | ----- | 187 | |
| | | | ----- | $G = 969,69 \text{ kg/m}^2$ |
| | | | | $P = 250 \text{ kg/m}^2$ |

- Surcharges:

D'où $G + 1,2P = 969,69 + 1,2 \cdot 250 = 1269,69 \text{ kg/m}^2 = 1269,69 \text{ kg/m.e}$

q-5. Détermination des efforts:

Le calcul des réactions et des efforts internes se fera par les méthodes classiques de la RPP. Pour une bande de 1m de largeur.



$$\sum M/B = 0$$

$$R_A + R_B = q_1(2,10 + 1,25) + 2,70q_2$$

$$\Rightarrow R_A = 3280,125 \text{ kg}$$

$$R_B = 3394,11 \text{ kg}$$

q-6. Moment fléchissant: le moment maximal entravée est certainement obtenu pour.

$$2,10 < x < 4,88 \text{ m}$$

et pour ce cas le moment entravée est donné par:

$$M_t(x) = R_A \cdot x - q_1 \cdot 2,10 \left(x - \frac{2,10}{2}\right) - q_2 \frac{(x - 2,10)^2}{2}$$

$$\frac{dM_t(x)}{dx} = 0 \Rightarrow x = \frac{R_A - q_1 \cdot 2,10 + 2,10 q_2}{q_2} = \frac{3280,125 + 2,10(1269,69 - 969)}{1269,69} = 3,08 \text{ m}$$

D'où $M_{t \max} = M_t(3,08) = 5362,23 \text{ kgm} = M_0$.

En tenant compte d'un semi-encastrement aux appuis. (C.C.B.A. 68. Article 57)

On obtient:

• En travée. $M_t = 0,85 M_0 = 4557,9 \text{ kgm}$

• aux appuis. $M_a = 0,50 M_0 = 2681,12 \text{ kgm}$

a-7. Ferrailage: L'article 29-14. de C.C.B.A. 68. Préconise de prendre $\phi \leq \frac{h}{10}$

$$\Rightarrow \phi \leq 21 \text{ cm}$$

L'enrobage doit satisfaire à $\left\{ \begin{array}{l} d \geq 1 \text{ cm (milieu clos)} \\ d \geq 1 \text{ cm} \end{array} \right\} \Rightarrow d = 2 \text{ cm}$

$$h = h_t - d = 19 \text{ cm}$$

a-7.1. en travée : on utilise la méthode de Pierre CHARON.

$$M_t = 4557,9 \text{ kgm}$$

$$\mu = \frac{15M}{\bar{\sigma}_a \cdot b h^2} = \frac{15 \cdot 4557,9}{2800 \cdot 100 \cdot 19^2} = 0,0676 \rightarrow \epsilon = 0,8932$$

$$k = 31,8$$

$$\bar{k} = \frac{\bar{\sigma}_a}{\bar{\sigma}_b} = \frac{2800}{137} = 20,44 < k \rightarrow \text{Pas d'armatures comprimées}$$

$$A_t = \frac{M}{\bar{\sigma}_a \cdot \epsilon \cdot h} = \frac{455790}{2800 \cdot 0,8932 \cdot 19} = 9,6 \text{ cm}^2/\text{m.l} \rightarrow 9T12/\text{m.l} = 10,18 \text{ cm}^2$$

armatures de répartition: $A_r = \frac{A}{2} = \frac{10,18}{2} = 5,09 \text{ cm}^2/\text{m.l} \rightarrow 7T10/\text{m.l} = 5,49 \text{ cm}^2$

a-7.2. aux appuis: $M_a = 2681,12 \text{ kgm}$

$$\mu = \frac{15M}{\bar{\sigma}_a \cdot b h^2} = \frac{15 \cdot 2681,12}{2800 \cdot 100 \cdot 19^2} = 0,0398 \rightarrow \epsilon = 0,9153$$

$$k = 44$$

$$\bar{\sigma}'_b = \frac{\bar{\sigma}_a}{k} = \frac{2800}{44} = 63,64 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_b = 135 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{Pas d'armatures comprimées}$$

$$A_a = \frac{M}{\bar{\sigma}_a \cdot \epsilon \cdot h} = \frac{268112}{2800 \cdot 0,9153 \cdot 19} = 5,5 \text{ cm}^2 \rightarrow 5T12 = 5,65 \text{ cm}^2$$

a-8. Vérification des contraintes.

a-8.1. en travée $A = 10,18 \text{ cm}^2$
 $M = 4557,9 \text{ kgm}$

$$\bar{\omega} = 100 \frac{A}{bh} = 100 \frac{10,18}{100 \cdot 19} = 0,536 \rightarrow k = 30,7$$

$$\epsilon = 0,8906$$

D'où $\bar{\sigma}_a = \frac{M}{A \cdot \epsilon \cdot h} = \frac{455790}{10,18 \cdot 0,8906 \cdot 19} = 2650 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a = 2800 \text{ kg/cm}^2$

$$\bar{\sigma}'_b = \frac{\bar{\sigma}_a}{k} = \frac{2650}{30,7} = 86 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_b = 137 \text{ kg/cm}^2$$

a-8-2. aux appuis: $A = 5,65 \text{ cm}^2$
 $M = 2681,12 \text{ kgm}$

$$\bar{\omega} = 100 \cdot \frac{A}{bh} = 100 \cdot \frac{5,65}{100 \cdot 19} = 0,297 \rightarrow k = 43,3$$

$$E = 0,9142.$$

D'où: $\sigma_a = \frac{M}{A \cdot E \cdot h} = \frac{268112}{5,65 \cdot 0,9142 \cdot 19} = 2740 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a = 2800 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma'_b = \frac{\sigma_a}{k} = \frac{2740}{43,3} = 63 \text{ kg/cm}^2$$

a-9. Condition de non-fragilité: C.C.B.A. 68. (Article 61.21a)

$$\frac{A}{b \cdot h} \leq \frac{k^3}{\sigma_{en}} \rightarrow \frac{10,18}{100 \cdot 19} = 0,00536 < \frac{43^3}{4200} = 0,0102.$$

a-10. vérification de l'effort tranchant: aux appuis.

$$T_{\max} = R_B = 3394,19 \text{ kg}$$

$$T + \frac{M}{\delta} = 3394,19 - \frac{268112}{7/8 \cdot 19} = -12732,15 < 0$$

a-11. vérification de la contrainte de cisaillement:

$$\tau_b = \frac{T_{\max}}{b \cdot \delta} = \frac{3394,19}{100 \cdot 7/8 \cdot 19} = 2,04 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\tau}_b = 1,15 \cdot \bar{\sigma}_b = 6,785 \text{ kg/cm}^2$$

Donc il n'est pas nécessaire de mettre des armatures transversales

a-12. Vérification de la fissuration: fissuration peu nuisible $\rightarrow k = 1,5 \cdot 10^6$
 $\eta = 1,6 \text{ HA}$
 $\phi = 12 \text{ mm}$

$$\tilde{\omega}_f = \frac{A}{B_f} = \frac{10,18}{22 \cdot 100} = 0,02545.$$

$$\sigma_1 = k \frac{\eta}{\phi} \cdot \frac{\tilde{\omega}_f}{1 + 10 \tilde{\omega}_f} = 1,5 \cdot 10^6 \cdot \frac{1,6}{12} \cdot \frac{0,02545}{1,2545} = 4057,4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_2 = 2,4 \cdot \sqrt{\frac{1,6}{12} \cdot 1,5 \cdot 10^6 \cdot 5,9} = 2607 \text{ kg/cm}^2$$

Max (σ_1, σ_2) = $\sigma_1 > \bar{\sigma}_a = 2800 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow$ pas de risque de fissuration

a-13. Vérification de l'adhérence:

$$T_{\max} = 3394,19 \text{ kg}$$

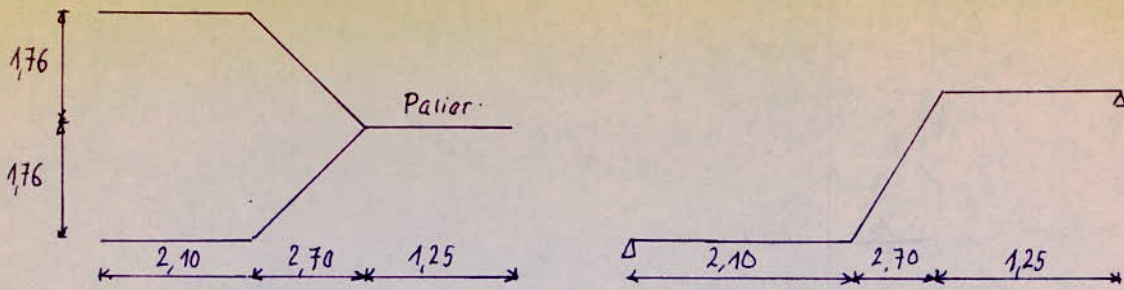
Contrainte d'adhérence admissible vis-à-vis de l'entraînement.

$$\bar{\tau}_a = 2 \psi_a \cdot \bar{\sigma}_b = 2 \cdot 1,5 \cdot 5,9 = 17,7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_a = \frac{T}{\text{MPZ}} = \frac{3394,19}{7/8 \cdot 19 \cdot 33,93} = 6,02 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\tau}_a$$

b niveau 2

b-1. Schema statique: L'escalier sera pris comme appuyé sur 2 appuis simples



b-2. Caracteristiques: $2g+h=64$.

- giron: $g = \frac{270}{10} = 27 \text{ cm}$ $n-1 = 10 \rightarrow n = 11$ Contremarches.
- hauteur de la marche: $h = \frac{H}{n} = \frac{176}{11} = 16 \text{ cm}$
- $\tan \alpha = \frac{176}{270} = 0,652 \rightarrow \cos \alpha = 0,838$ $2g+b = 59 \text{ cm}$.
 $\sin \alpha = 0,546$.

b-3. Predimensionnement de la dalle:

$$\frac{l}{30} \leq h_t \leq \frac{l}{20}$$

avec $l = 6,05 \text{ m} \rightarrow 20,17 \leq h_t \leq 30,25 \rightarrow h_t = 21 \text{ cm}$

b-4. Evaluation des charges et surcharges.

Au Niveau des Paliers:

| | | |
|--------------------------|-------------|-------------------------|
| - Poids Propre du Palier | 2500 x 0,21 | = 525 kg/m ² |
| - Mortier de Rose 3cm | 2200 x 0,03 | 66 |
| - Pierre dure | 2600 x 0,03 | 78 |

$$G = 669 \text{ kg/m}^2$$

$$P = 250 \text{ kg/m}^2$$

- Surcharges:

D'où $G + 1,2P = 669 + 1,2 \cdot 250 = 969 \text{ kg/m}^2 = 969 \text{ kg/m}^2$

Au Niveau des Rallases:

| | | |
|------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| - Poids Propre de la Ralasse | $\frac{2500 \times 0,21}{0,838}$ | 626,5 kg/m ² |
| - Poids Propre des marches | $\frac{2200 \times 0,16}{2}$ | 176 |
| - Mortier de Rose | 2200 x 0,03 | 66 |

$$G = 946,5 \text{ kg/m}^2$$

$$P = 250 \text{ kg/m}^2$$

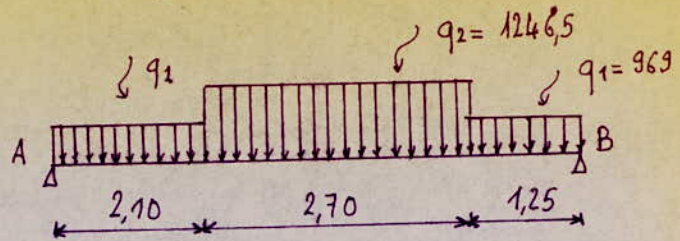
- Surcharges

D'où: $G + 1,2P = 946,5 + 1,2 \cdot 250 = 1246,5 \text{ kg/m}^2 = 1246,5 \text{ kg/m}^2$

b.5. Détermination des efforts: La détermination des efforts internes et des réactions se fera par la méthode classique de R.D.M.

$$R_A + R_B = q_1(2,10 + 1,25) + 2,70 q_2$$

$$0 = R_A \cdot 6,05 - q_1 \cdot 2,10 \left(6,05 - \frac{2,10}{2}\right) - q_2 \cdot 2,70 \left(1,25 + \frac{2,70}{2}\right) - q_1 \cdot 1,25 \cdot \frac{1,25}{2}$$



$$\rightarrow R_A = 3253,22 \text{ kg}$$

$$R_B = 3358,48 \text{ kg}$$

b.6. Moment fléchissant: Le moment maximal en travée est certainement obtenu pour $2,10 < x < 4,80 \text{ m}$

b.6.1. en travée: $M_e(x) = R_A x - q_1 \cdot 2,10 \left(x - \frac{2,10}{2}\right) - q_2 \frac{(x - 2,10)^2}{2}$

$$\frac{dM_e(x)}{dx} = 0 \rightarrow x = \frac{R_A - q_1 \cdot 2,10 + 2,10 q_2}{q_2} = 3,077 \text{ m}$$

$M_e(\text{max}) = M_e(3,077) = 5290,5 \text{ kgm} = M_0$
 En tenant compte d'un semi-encastrement aux appuis. on obtient:

- En travée $M_e = 0,85 M_0 = 4496,93 \text{ kgm}$
- aux appuis $M_a = 0,5 M_0 = 2645,25 \text{ kgm}$

b.7. Ferrailage: $h = h_c - d = 19 \text{ cm}$

b.7.1. en travée: $M_e = 4496,93 \text{ kgm}$

$$\mu = \frac{15M}{\bar{\sigma}_a \cdot b \cdot h^2} = \frac{15 \cdot 4496,93}{2800 \cdot 100 \cdot 19^2} = 0,0667 \rightarrow \epsilon = 0,8936$$

$k = 32$

$$\bar{k} = \frac{\bar{\sigma}_a}{\bar{\sigma}_b} = \frac{2800}{137} = 20,44 \rightarrow \bar{k} < k \rightarrow \text{pas d'armatures comprimées}$$

$$A = \frac{M}{\bar{\sigma}_a \cdot \epsilon \cdot h} = \frac{449693}{2800 \cdot 0,8936 \cdot 19} = 9,46 \text{ cm}^2 \rightarrow 9T12 = 10,18 \text{ cm}^2$$

b.7.2. aux appuis: $M_a = 2645,25 \text{ kgm}$

$$\mu = \frac{15M}{\bar{\sigma}_a \cdot b \cdot h^2} = \frac{15 \cdot 264525}{2800 \cdot 100 \cdot 19^2} = 0,03925 \rightarrow \epsilon = 0,9155$$

$k = 44,2$

$$\bar{k} = \frac{\bar{\sigma}_a}{\bar{\sigma}_b} = 20,44 < k \rightarrow \text{pas d'armatures comprimées}$$

$$A = \frac{M}{\bar{\sigma}_a \cdot \epsilon \cdot h} = \frac{264525}{2800 \cdot 0,9155 \cdot 19} = 5,43 \text{ cm}^2 \rightarrow 5T12 = 5,65 \text{ cm}^2$$

b.8. Vérification des contraintes:

b.8.1. en travée: $A = 10,18 \text{ cm}^2$
 $M = 4496,93 \text{ kgm}$

$$\bar{\omega} = 100 \frac{A}{b \cdot h} = 100 \cdot \frac{10,18}{100 \cdot 19} = 0,536 \rightarrow K = 30,7$$

$$E = 0,8906$$

$$\bar{\sigma}_a = \frac{M}{A \cdot E \cdot h} = \frac{449693}{10,18 \cdot 0,8906 \cdot 19} = 2610,55 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a$$

$$\bar{\sigma}'_b = \frac{\bar{\sigma}_a}{K} = \frac{2610,55}{30,7} = 85 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b = 137 \text{ kg/cm}^2$$

b. 8-2. aux appuis: $A = 5,65 \text{ cm}^2$
 $M = 2645,25 \text{ kgm}$

$$\bar{\omega} = 100 \frac{A}{b \cdot h} = 100 \cdot \frac{5,65}{100 \cdot 19} = 0,297 \rightarrow K = 43,3$$

$$E = 0,9142$$

$$\bar{\sigma}_a = \frac{M}{A \cdot E \cdot h} = \frac{264525}{5,65 \cdot 0,9142 \cdot 19} = 2700 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a$$

$$\bar{\sigma}'_b = \frac{\bar{\sigma}_a}{K} = \frac{2700}{43,3} = 62,00 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b$$

b. 9. Condition de non-fragilité $A \geq 0,69 \cdot b \cdot h \cdot \frac{\bar{\sigma}_b}{\bar{\sigma}_{\text{ten}}} = 0,69 \cdot 100 \cdot 19 \cdot \frac{5,9}{4200} = 1,84 \text{ cm}^2$

$$A_t = 10,18 \text{ cm}^2 > A$$

$$A_a = 5,65 \text{ cm}^2 > A$$

b. 10. vérification de la flèche $\frac{A}{b \cdot h} < \frac{43}{\bar{\sigma}_{\text{ten}}} \rightarrow \frac{10,18}{100 \cdot 19} < \frac{43}{\bar{\sigma}_{\text{ten}}}$

b. 11. vérification de la fissuration: $K = 1,5 \cdot 10^6$
 $\alpha = 1,6$

$$\bar{\omega}_f = \frac{A}{B_f} = \frac{10,18}{2 \cdot 2 \cdot 100} = 0,0254$$

$$\bar{\sigma}_1 = 4057,4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_2 = 2600 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Max}(\bar{\sigma}_1, \bar{\sigma}_2) = \bar{\sigma}_1 = 4060 \text{ kg/cm}^2 > \bar{\sigma}_a = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

b. 11. vérification à l'effort tranchant:

$$T_{\text{max}} = R_s = 3358,50 \text{ kg}$$

$$T + \frac{M}{f} = 3358,5 - \frac{264525}{7/8 \cdot 19} = -12552,78 \text{ kgK}$$

b. 12. vérification de la contrainte de cisaillement:

$$\bar{\tau}_b = \frac{T_{\text{max}}}{b \cdot z} = \frac{3358,50}{100 \cdot 7/8 \cdot 19} = 2,02 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\tau}_b = 6,785 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow$$

pas d'armatures transversales.

b.13. Verification de l'adhérence:

$$T_{max} = R_B = 3358,5 \text{ kg}$$

$$\bar{\sigma}_a = 2 \psi_a \bar{\sigma}_b = 2 \cdot 1,5 \cdot 5,9 = 17,7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_a = \frac{T}{m p s} = \frac{3358,5}{7/8 \cdot 19 \cdot 33,33} = 5,97 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a = 17,7 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{Pas d'entraînement}$$

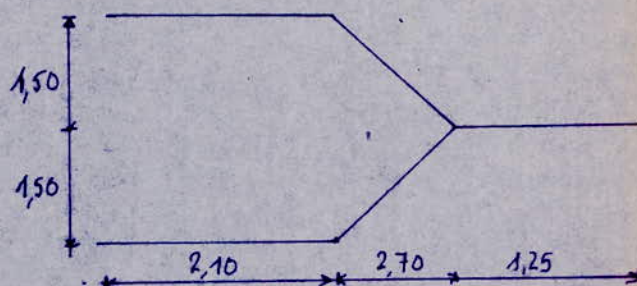
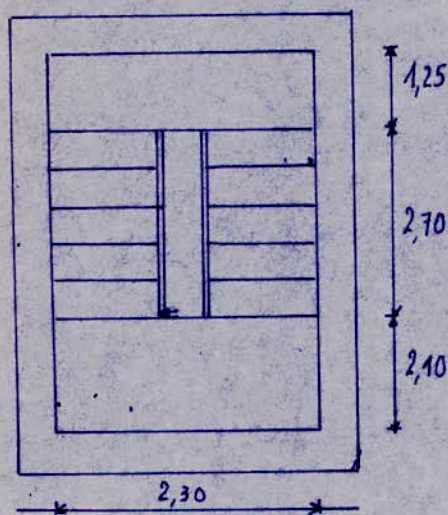
b.14. Armatures de repartition et espacement: on prévoit des armatures de repartition afin d'enter les fissures trop exagérées. Ces armatures sont prises égales au 1/2 des armatures principales.

$$A_r = \frac{10,18}{2} = 5,09 \text{ cm}^2 \rightarrow 7 T 10 = 5,49 \text{ cm}^2$$

Espacement des armatures principales.

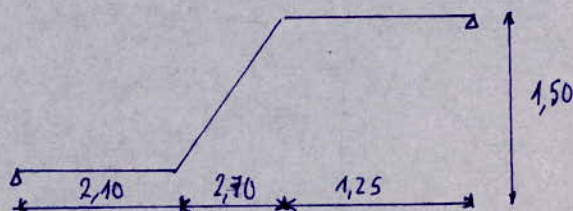
$$t < \max.(t_1, t_2) \rightarrow t < \max \left\{ \begin{array}{l} (1 - 0,3 \cdot \frac{\sigma_b}{\sigma_s}) \cdot h \\ 0,2h \end{array} \right\} \Rightarrow t = 10 \text{ cm}$$

3 CALCUL DE L'ESCALIER C3 : c'est un escalier à usage de bureaux.



0-niveau

a.1. schéma statique: l'escalier sera pris comme appuyé sur 2 appuis simples.



a.2. Caractéristiques.

- giron: $g = \frac{270}{9} = 30 \text{ cm} \rightarrow m-1 = 9 \text{ marches}$

- hauteur de la marche $h = \frac{H}{n} = \frac{150}{10} = 15 \text{ cm}$

- $\text{tg } \alpha = \frac{150}{270} = 0,555 \rightarrow \cos \alpha = 0,874$
 $\sin \alpha = 0,482$

a-3. Predimensionnement de la dalle:

$$\frac{l}{300} \leq h \leq \frac{l}{20} \rightarrow h = 21 \text{ cm}$$

a-4. Evaluation des charges et surcharges:

• Au Niveau des Ralliers:

| | | |
|---------------------------------|----------------------|---------------------------|
| - Poids Propre du Rallier | $2500 \times 0,21 =$ | 525 kg/m ² |
| - Mortier de Pose (3cm) | $2200 \times 0,03 =$ | 66 " |
| - Pierre dure | $2600 \times 0,03 =$ | 78 " |
| | | <hr/> |
| | | G = 669 kg/m ² |
| | | P = 400 kg/m ² |

- Surcharges: (bureaux).

D'où: $G + 1,2 P = 669 + 1,2 \cdot 400 = 1149 \text{ kg/m}^2 = 1149 \text{ kg/m-l}$

• Au Niveau de la Raillasse

| | | |
|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| - Poids Propre de la Raillasse | $\frac{2500 \times 0,21}{0,874} =$ | 600,69 kg/m ² |
| - Poids Propre des marches ... | $\frac{2200 \times 0,14}{2} =$ | 154 " |
| - Mortier de Pose | | 66. |
| - Pierre dure | | 78 |
| | | <hr/> |
| | | G = 898,69 kg/m ² |
| | | P = 400 kg/m ² |

- Surcharges.

D'où $G + 1,2 P = 898,69 + 1,2 \cdot 400 = 1378,69 \text{ kg/m}^2 = 1378,69 \text{ kg/m-l}$

a-5. Determination des efforts:

Les efforts seront déterminés par les méthodes classiques de RDM.

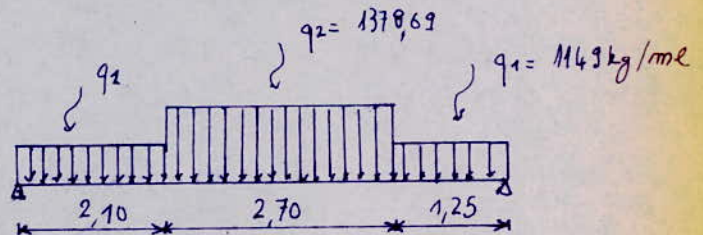
$$R_A + R_B = q_1 (2,10 + 1,25) + q_2 \cdot 2,70$$

$$\sum M_B / 0 = 0$$

On obtient finalement

$$R_A = 3742,24 \text{ kg}$$

$$R_B = 3829,37 \text{ kg}$$



a-5. Moment fléchissant: Le moment maximal en travée est certainement obtenu pour.

$$2,10 < x < 4,80 \text{ m}$$

$$M_c(x) = R_A \cdot x - q_1 \cdot (x - 2,10) \cdot (x - 2,10) - q_2 \cdot \frac{(x - 2,10)^2}{2}$$

$$\frac{dM_c(x)}{dx} = 0 \rightarrow x = \frac{R_A + 2,10(q_2 - q_1)}{q_2} = 3,064 \text{ m}$$

$$M_{cmax} = M_c(x = 3,064) = 5966 \text{ kgm} = M.$$

En tenant compte d'un semi-encastrement aux appuis, on obtient:

- Entravée $M_e = 0,85 M_0 = 5071 \text{ kgm}$
 - aux appuis $M_a = 0,50 M_0 = 2983 \text{ kgm}$

a-6. Ferrailage: $h = h_t - d = 21 - 2 = 19 \text{ cm}$

a-6.1. entravée: $\mu = \frac{15M}{\bar{\sigma}_a \cdot b h^2} = \frac{15 \cdot 5071 \cdot 10^2}{2800 \cdot 100 \cdot 19^2} = 0,07525 \rightarrow \epsilon = 0,8881$
 $k = 29,7$

$k = 29,7 > \bar{k} = \frac{\bar{\sigma}_a}{\bar{\sigma}_b} = 20,44 \rightarrow$ Pas d'armatures comprimées

$A = \frac{M}{\bar{\sigma}_a \cdot \epsilon \cdot h} = \frac{5071 \cdot 10^2}{2800 \cdot 0,8881 \cdot 19} = 10,73 \text{ cm}^2 \rightarrow A = 10T12 = 11,31 \text{ cm}^2$

a-6.2. aux appuis: $\mu = \frac{15M}{\bar{\sigma}_a \cdot b h^2} = \frac{15 \cdot 2983 \cdot 10^2}{2800 \cdot 100 \cdot 19^2} = 0,0443 \rightarrow \epsilon = 0,9111$
 $k = 41,2$

$k = 41,2 > \bar{k} = \frac{\bar{\sigma}_a}{\bar{\sigma}_b} \rightarrow$ Pas d'armatures comprimées

$A = \frac{M}{\bar{\sigma}_a \cdot \epsilon \cdot h} = \frac{2983 \cdot 10^2}{2800 \cdot 0,9111 \cdot 19} = 6,16 \text{ cm}^2 \rightarrow A = 6T12 = 6,78 \text{ cm}^2$

a-7. Verification des contraintes:

a-7.1. Entravée $A = 11,31 \text{ cm}^2$
 $M = 5071 \text{ kgm}$

$\tilde{\omega} = 100 \cdot \frac{A}{b h} = 100 \cdot \frac{11,31}{100 \cdot 19} = 0,595 \rightarrow k = 28,8$
 $\epsilon = 0,8858$

D'où: $\sigma_a = \frac{M}{A \cdot \epsilon \cdot h} = \frac{5071 \cdot 10^2}{11,31 \cdot 0,8858 \cdot 19} = 2670 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a = 2800 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_b' = \frac{\sigma_a}{k} = \frac{2670}{28,8} = 92,7 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_b' = 137 \text{ kg/cm}^2$

a-7.2. aux appuis: $A = 6,78 \text{ cm}^2$
 $M = 2983 \text{ kgm}$

$\bar{\omega} = \frac{100A}{b \cdot h} = \frac{100 \cdot 6,78}{100 \cdot 19} = 0,357 \rightarrow k = 39$
 $\epsilon = 0,9074$

D'où: $\sigma_a = \frac{M}{A \cdot \epsilon \cdot h} = \frac{2983 \cdot 10^2}{6,78 \cdot 0,9074 \cdot 19} = 2552 \text{ kg/cm}^2 < 2800 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_b' = \frac{\sigma_a}{k} = \frac{2552}{39} = 65,4 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_b' = 137 \text{ kg/cm}^2$

a-8. Condition de non fragilité

$\frac{A}{b h} < \frac{43}{\bar{\sigma}_a} \Rightarrow \frac{11,31}{100 \cdot 19} = 0,595 \cdot 10^{-2} < \frac{43}{\bar{\sigma}_a} = 0,01$

a-9. Condition de non-fragilité:

$$A \gg A_2 = 0,69 \cdot b \cdot h \frac{\bar{\sigma}_b}{\sigma_{eu}} = 1,84 \text{ cm}^2$$

$$A_t = 11,31 \text{ cm}^2 > A$$

$$A_a = 6,78 \text{ cm}^2 > A$$

a-10. Verification de la fissuration:

$$K = 1,5 \cdot 10^6 \text{ (fissuration peu nuisible)}$$

$$\gamma = 1,6 \text{ HA}$$

$$\phi = 12 \text{ mm}$$

$$\tilde{\omega}_f = \frac{A}{S_f} = \frac{11,31}{2 \cdot 2 \cdot 100} = 0,02827 \approx 0,0283$$

$$\sigma_1 = K \frac{\gamma}{\phi} \cdot \frac{\tilde{\omega}_f}{1 + 10 \tilde{\omega}_f} = 1,5 \cdot 10^6 \cdot \frac{1,6}{12} = \frac{0,02827}{1,2827} = 4410 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_2 = 2610 \text{ kg/cm}^2$$

\Rightarrow $f(\max(\sigma_1, \sigma_2)) = \sigma_1 = 4410 \text{ kg/cm}^2 > \bar{\sigma}_a = 2800 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow$ Pas de risque de fissuration.

a-11. Verification de l'adhérence:

$$T_{\max} = R_s = 3892,37 \text{ kg}$$

$$\bar{\sigma}_a = 24a \bar{\sigma}_b = 2 \cdot 1,5 \cdot 5,9 = 17,7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = \frac{T}{n p z} = \frac{3892,37}{7/8 \cdot 19 \cdot 37,7} = 6,109 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a \text{ vérifié}$$

a-12. Verification de l'effort tranchant: (au Niveau des appuis)

$$\sigma_b = \frac{T}{b z} = \frac{3892,37}{100 \cdot \frac{7}{8} \cdot 19} = 2,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_b = 1,15 \bar{\sigma}_b = 1,15 \cdot 5,9 = 6,785 \text{ kg/cm}^2$$

Donc: $\sigma_b < \bar{\sigma}_b$ vérifié

$$A \bar{\sigma}_a > T + \frac{M}{z} \Rightarrow 11,31 \cdot 2800 > 3892,37 - \frac{298300}{7/8 \cdot 19}$$

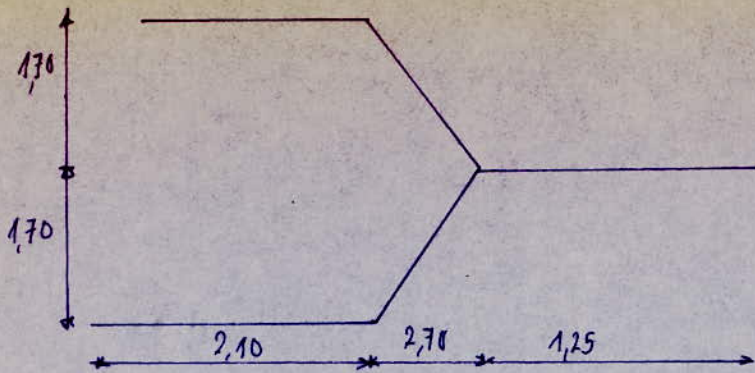
a-13. Armatures de repartition et ecartement: Les armatures de repartition seront égales à la moitié des armatures principales.

$$A_r = \frac{11,31}{2} = 5,66 \text{ cm}^2 \rightarrow 6 \text{ T8} =$$

Espacement des armatures principales. $t = 13 \text{ cm}$

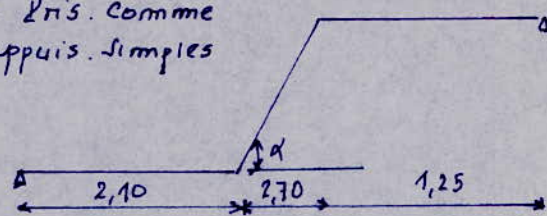
$$t < \max(t_1, t_2)$$

$$t < \max \left\{ \begin{array}{l} (1 - 0,3 \cdot \frac{\sigma_b}{\bar{\sigma}_b}) \cdot h \\ 0,2h \end{array} \right. \Rightarrow t = 14 \text{ cm} \text{ armatures de repartition}$$



a.1. Schema Statique:

L'escalier sera pris comme appuie sur 2 appuis simples



a.2. Caracteristiques:

- giron: $g = \frac{270}{9} = 30 \text{ cm}$ $n = 10$ Contremarches
- hauteur de la marche: $h = \frac{H}{n} = \frac{170}{10} = 17 \text{ cm}$
- $\text{tg } \alpha = \frac{170}{270} = 0,6296 \rightarrow \begin{matrix} \cos \alpha = 0,846 \\ \sin \alpha = 0,533 \end{matrix}$

a.3 Predimensionnement de la dalle: Celui-ci se fera comme dans le cas d'une route.

$$\frac{l}{30} \leq h_c \leq \frac{l}{20} \Rightarrow h_c = 21 \text{ cm}$$

a.4. Evaluation des charges et surcharges:

• au Niveau des Paliers:

| | | |
|---------------------------------|---------------|---------------------------|
| - Poids propre du palier: | 2500 x 0,21 = | 525 kg/m ² |
| - Mortier de pose | 2200 x 0,03 = | 66 |
| - Pierre dure | | 78 |
| | | G = 669 kg/m ² |
| - Surcharges | | P = 400 kg/m ² |

D'où $S = G + 1,2P = 669 + 1,2 \cdot 400 = 1149 \text{ kg/m}^2 = 1149 \text{ kg/ml}$

• au Niveau de la Baillasse:

| | | |
|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| - Poids propre de la Baillasse | $\frac{2500 \times 0,21}{0,846} =$ | 620,57 kg/m ² |
| - Poids propre des marches: | $\frac{2200 \times 0,15}{2} =$ | 165 |

- Mortier de rose: ----- $2200 \times 0,03 =$ ----- 66

- Pierre dure ----- 78

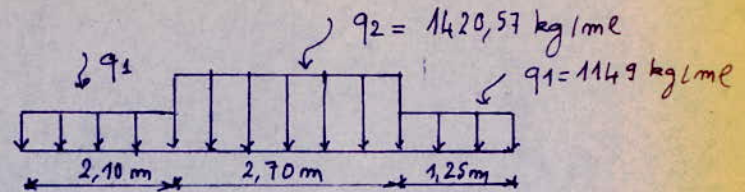
$$\begin{array}{r} G = 940,57 \text{ kg/m}^2 \\ S = 400 \text{ kg/m}^2 \end{array}$$

- Surcharges:

$$\text{D'où } G + 1,2P = 940,57 + 1,2 \cdot 400 = 1420,57 \text{ kg/m}^2 = 1420,57 \text{ kg/m}^2$$

a-5. Détermination des efforts:

La détermination des efforts se fera par le calcul classique de R.D.M.



$$R_A + R_B = q_1(2,10 + 1,25) + q_2 \cdot 2,70$$

$$\Sigma M/B = 0$$

$$\Rightarrow \begin{array}{l} R_A = 3790,84 \text{ kg} \\ R_B = 3893,85 \text{ kg} \end{array}$$

a-6. Moment flechissant: Le moment maximal en travée est certainement obtenu pour:

$$2,10 < x < 4,80 \text{ m}$$

et pour ce cas, le moment en travée est donné par:

$$M_t(x) = R_A \cdot x - q_1 \cdot \left(x - \frac{2,10}{2}\right) \cdot 2,10 - q_2 \cdot \frac{(x - 2,10)^2}{2}$$

$$\frac{dM_t(x)}{dx} = 0 \Rightarrow x = \frac{R_A + 2,10q_2 - 2,10q_1}{q_2}$$

$$\Rightarrow x = 3,07 \text{ m}$$

$$\text{D'où } M_t(x) = M_t(3,07) = 6095,5 \text{ kgm} = M_0$$

En tenant compte d'un semi-encastrement aux appuis, on obtient alors:

$$\begin{array}{l} \text{- En travée: } M_t = 0,85 M_0 = 5181 \text{ kgm} \\ \text{- aux appuis: } M_a = 0,5 M_0 = 3048 \text{ kgm} \end{array}$$

a-7. Ferrailage: $h = h_e - d = 21 - 2 = 19 \text{ cm}$

a-7-1. en travée: $M_t = 5181 \text{ kgm}$

$$\mu = \frac{15 \cdot M}{\sigma_a \cdot b \cdot h^2} = \frac{15 \cdot 5181 \cdot 10^2}{2800 \times 100 \cdot 19^2} = 0,0769 \rightarrow \begin{array}{l} E = 0,8871 \\ k = 29,3 \end{array}$$

$$\bar{k} = 29,3 > \bar{k} = \frac{\sqrt{\sigma_a}}{\sigma_b} = 20,44 \rightarrow \text{Pas d'armatures comprimées}$$

$$A = \frac{M}{\sigma_a \cdot E \cdot h} = \frac{5181 \cdot 10^2}{2800 \times 0,8871 \cdot 19} = 10,98 \text{ cm}^2 \rightarrow A_c = 10T12 = 11,31 \text{ cm}^2$$

a-7-2. aux appuis: $M_a = 3048 \text{ kgm}$

$$\mu = \frac{15M}{\sigma_a \cdot b \cdot h^2} = \frac{15 \cdot 3048 \cdot 10^2}{2800 \times 100 \times 19^2} = 0,04523 \rightarrow \begin{array}{l} E = 0,9103 \\ k = 40,7 \end{array}$$

$$k = 40,7 > \bar{k} \Rightarrow \text{Pas d'armatures comprimées}$$

$$A = \frac{M}{\bar{\sigma}_a \cdot E \cdot h} = \frac{3048 \cdot 10^2}{2800 \times 0,9103 \times 19} = 6,30 \text{ cm}^2 \rightarrow A = 6T12 = 6,78 \text{ cm}^2$$

a. 8. Verification des contraintes:

a. 8.1. En travée: $A_t = 11,31 \text{ cm}^2$
 $M_t = 5181 \text{ kgm}$

$$\bar{\omega} = 100 \cdot \frac{A}{b \cdot h} = 100 \cdot \frac{11,31}{100 \cdot 19} = 0,595 \rightarrow k = 28,8$$

$$E = 0,8858$$

D'où:

$$\sigma_a = \frac{M}{A \cdot E \cdot h} = \frac{5181 \cdot 10^2}{11,31 \cdot 0,8858 \cdot 19} = 2720 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a$$

$$\sigma'_b = \frac{\sigma_a}{k} = \frac{2720}{28,8} = 100 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b = 137 \text{ kg/cm}^2$$

a. 8.2. aux appuis: $A_a = 6,78 \text{ cm}^2$
 $M_a = 3048 \text{ kgm}$

$$\bar{\omega} = 100 \cdot \frac{A}{b \cdot h} = 100 \cdot \frac{6,78}{100 \cdot 19} = 0,357 \rightarrow k = 39,0$$

$$E = 0,9074$$

D'où:

$$\sigma_a = \frac{M}{A \cdot E \cdot h} = \frac{3048 \cdot 10^2}{6,78 \cdot 0,9074 \cdot 19} = 2610 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a$$

$$\sigma'_b = \frac{\sigma_a}{k} = \frac{2610}{39} = 70 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b = 137 \text{ kg/cm}^2$$

a. 9. Condition de non fragilité:

$$A \geq 0,69 \cdot b \cdot h \cdot \frac{\bar{\sigma}_s}{\bar{\sigma}_{ex}}$$

a. 10. Condition de fêlure $\frac{A}{b \cdot h} < \frac{43}{\bar{\sigma}_{ex}}$

a. 11. Fissuration:

$$M_{\max}(\sigma_1, \sigma_2) = \sigma_1 = > \bar{\sigma}_a = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

a. 12. Verification de l'adhérence:

$$\tau_a = \frac{3893,85}{7/8 \cdot 19 \cdot 37,7} < \bar{\tau}_a$$

a. 13. Verification a' l'effort tranchant:

$$\tau_b = \frac{T}{b \cdot z} = \frac{3893,85}{100 \cdot 7/8 \cdot 19} = 2,40 < \bar{\tau}_b = 6,80 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{Pas d'armatures transversales.}$$

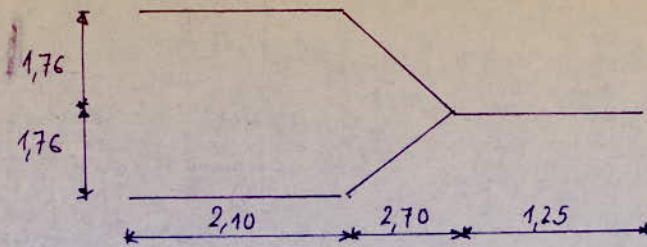
$$A \bar{\tau}_a > T + \frac{M}{z}$$

a. 14. armatures de repartition et ecartement:

$$A_r = \frac{11,31}{2} = 5,66 \text{ cm}^2 \rightarrow 6T8$$

$$t < \max \left\{ \begin{array}{l} (1 - 0,3 \cdot \frac{\tau_b}{\bar{\sigma}_b}) h \\ 0,2h \end{array} \right. \quad t = 14 \text{ cm}$$

Niveau (RDC+1+2)



Le schéma statique reste le même.

a-2. Caractéristiques.

- giron: $g = \frac{270}{9} = 30 \text{ cm}$ 9 marches.
- hauteur de la marche: $h = \frac{H}{n} = \frac{1,76}{10} = 17 \text{ cm}$
- $\tan \alpha = \frac{176}{270} = 0,652 \rightarrow \cos \alpha = 0,838$
 $\sin \alpha = 0,546$.

a-3. Redimensionnement de la dalle.

$$\frac{l}{300} \leq hc \leq \frac{l}{20} \rightarrow hc = 21 \text{ cm}$$

a-4. Evaluation des charges et surcharges.

• au Niveau des Paliers.

$$G = 669 \text{ kg/m}^2$$

$$P = 400 \text{ kg/m}^2$$

D'où $G + 1,2 P = 1149 \text{ kg/m}^2$

• au Niveau de la Pailasse.

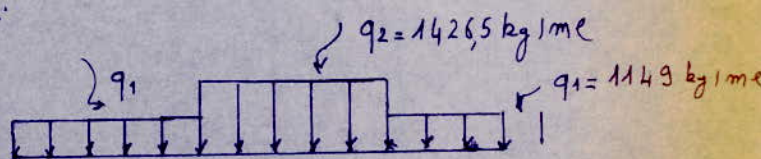
| | | |
|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| - Poids Propre de la Pailasse | $\frac{2500 \times 0,21}{0,838}$ | 626,5 kg/m ² |
| - Poids Propre des marches | $\frac{2200 \times 0,16}{2}$ | 176 |
| - Mortier de Pose | | 66 |
| - Pierre dure | | 78 |
| | | <hr/> |
| | | G = 946,5 kg/m ² |
| | | P = 400 kg/m ² |

- Surcharges:

D'où $G + 1,2 P = 1426,5 \text{ kg/m}^2$

a-5. Détermination des efforts.

La détermination des efforts se fera par la méthode classique de RDT.



$$R_A + R_B = q_1(2,10 + 1,25) + q_2 \cdot 2,70$$

$$\sum M/B = 0$$

D'où : $R_A = 3797,72 \text{ kg}$
 $R_B = 3902,98 \text{ kg}$

a. 6: Moment flechissant: $2,10 < x < 4,80 \text{ m}$

$$M_t(x) = R_A \cdot x - q_1 \cdot (x - \frac{2,10}{2}) \cdot 2,10 - q_2 \cdot \frac{(x - 2,10)^2}{2}$$

$$\frac{dM_t(x)}{dx} = 0 \Rightarrow x = \frac{R_A + 2,10(q_2 - q_1)}{q_2} = 3,07 \text{ m}$$

$$M_{t \max} = M_t(3,07) = 6115 \text{ kgm} = M_0$$

En tenant compte d'un semi-encastrement aux appuis on obtient:

- en travée: $M_t = 0,85 M_0 = 0,85 \cdot 6115 = 5198 \text{ kgm}$
 - aux appuis: $M_a = 0,5 M_0 = 0,5 \cdot 6115 = 3058 \text{ kgm}$

a. 7. Ferraillage: $h = h_c - d_f = 21 - 2 = 19 \text{ cm}$

a. 7.1. en travée: $M_t = 5198 \text{ kgm}$

$$\mu = \frac{15M}{\bar{\sigma}_a \cdot b \cdot h^2} = \frac{15 \cdot 519800}{2800 \cdot 100 \cdot 19^2} = 0,0771 \rightarrow \begin{matrix} \epsilon = 0,8869 \\ k = 29,2 \end{matrix}$$

$$k = 29,2 > \bar{k} = \frac{\bar{\sigma}_a}{\bar{\sigma}_s} = 20,44 \rightarrow \text{Pas d'armatures comprimées}$$

$$A = \frac{M}{\bar{\sigma}_a \cdot \epsilon \cdot h} = \frac{519800}{2800 \cdot 0,8869 \cdot 19} = 11,02 \text{ cm}^2 \rightarrow A = 10T12 = 11,31 \text{ cm}^2$$

a. 7.2. aux appuis: $M_a = 3058 \text{ kgm}$

$$\mu = \frac{15M}{\bar{\sigma}_a \cdot b \cdot h^2} = \frac{15 \cdot 305800}{2800 \cdot 100 \cdot 19^2} = 0,04537 \rightarrow \begin{matrix} k = 40,6 \\ \epsilon = 0,9101 \end{matrix}$$

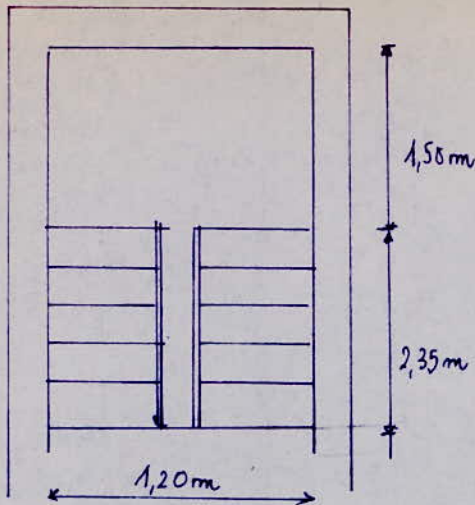
$$k = 40,6 > \bar{k} = \frac{\bar{\sigma}_a}{\bar{\sigma}_s} = 20,44 \rightarrow \text{Pas d'armatures comprimées}$$

$$A = \frac{M}{\bar{\sigma}_a \cdot \epsilon \cdot h} = \frac{305800}{2800 \cdot 0,9101 \cdot 19} = 6,32 \text{ cm}^2 \rightarrow A = 5T12 = 6,78 \text{ cm}^2$$

Toutes les vérifications faites pour les autres niveaux sont satisfaites dans ce cas.

CALCUL DE L'ESCALIER C2

C'est un escalier à palissades adjacentes qui va du 1^{er} sous-sol au Niveau 2.



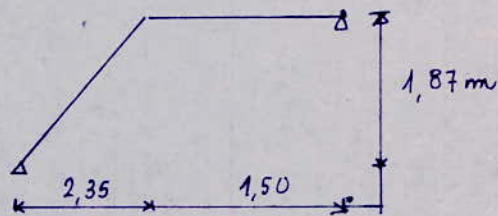
a. Schéma statique:

b. Caractéristiques:

- giron: $g = \frac{2,35}{9} = 26 \text{ cm}$

- hauteur de marche:
 $h = \frac{H}{n} = \frac{1,87}{10} = 19 \text{ cm}$

$2h + g = 64$



c. Prédimensionnement de la dalle:

$\frac{l}{30} \leq h_e \leq \frac{l}{20}$ avec: $l = 2,35 + 1,50 = 3,85 \text{ m}$

→ $h_e = 14 \text{ cm}$

d. Evaluation des charges et surcharges:

| | | |
|---------------------------|---------------|-----------------------|
| - Poids propre du palier: | 2500 x 0,14 = | 350 kg/m ² |
| - Mortier de pose: (3cm) | 2200 x 0,03 = | 66 |
| - Pierre dure (3cm) | 2600 x 0,03 = | 78 |

- Surcharges:

$G = 494 \text{ kg/m}^2$
 $P = 400 \text{ kg/m}^2$

D'où $S = G + 1,2P = 494 + 1,2 \cdot 400 = 974 \text{ kg/m}^2$
 $q_1 = 974 \text{ kg/m}^2$

au Niveau de la palissade

| | | |
|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| - Poids propre de la palissade: | $\frac{2500 \times 0,14}{0,7825} =$ | 447,30 kg/m ² |
| - Poids propre des marches: | $\frac{2200 \times 0,19}{2} =$ | 209 kg/m ² |

- Mortier de Pose $2200 \times 0,03 = \dots \dots \dots 66 \text{ kg/m}^2$

- Pierre dure 78

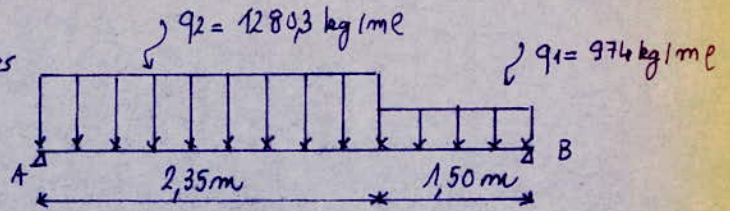
$G = 800,3 \text{ kg/m}^2$
 $P = 400 \text{ kg/m}^2$

- Surcharges:

D'où $G + 1,2P = 1280,3 \text{ kg/m}^2 \rightarrow q_2 = 1280,3 \text{ kg/m}^2$

c. Détermination des efforts:

La détermination des efforts. Je fera toujours avec les mêmes méthodes.



$R_A + R_B = q_1 \cdot 1,50 + q_2 \cdot 2,35$
 $\Sigma M / B = 0$

D'où: $R_A = 2375,074 \text{ kg}$
 $R_B = 2094,63 \text{ kg}$

Moment flechissant.

$M_e(x) = R_A x - q_2 \frac{x^2}{2} \Rightarrow \frac{dM_e(x)}{dx} = R_A - q_2 x = 0 \Rightarrow x = \frac{R_A}{q_2} = 1,86 \text{ m}$

$M_0 = M_e(1,86) = R_A x - q_2 \frac{x^2}{2} = 2375,074 \cdot 1,86 - 1280,3 \frac{1,86^2}{2} = 2202,97 \text{ kgm}$

En tenant compte d'un demi-encastrement au appuis on obtient.

En travée: $M_e = 0,85 M_0 = 0,85 \cdot 2203 = 1872,55 \text{ kgm}$

aux appuis: $M_q = 0,5 M_0 = 0,50 \cdot 2203 = 1101,5 \text{ kgm}$

Ferraillage: $h = h_e - d = 14 \cdot 2 = 12 \text{ cm}$

En travée: $M_e = 1872,55 \text{ kgm} \Rightarrow \frac{15 \cdot 1872,55 \cdot 10^2}{2800 \cdot 100 \cdot 12^2} = 0,0697 \Rightarrow E = 0,9552$
 $k = 96,5$

pas d'armatures comprimées

$A_d = \frac{M}{\sigma_a E h} = \frac{187255}{2100 \cdot 0,9552 \cdot 12} = 5,83 \text{ cm}^2$

$A = 5 T12 / \text{ml} = 6,78 \text{ cm}^2 / \text{ml}$

aux appuis, on adoptera

$\frac{15 \cdot 110150}{2800 \cdot 100 \cdot 12^2} = 0,0597 \rightarrow E = 0,9591 \rightarrow k = 104,5$

$A_a = \frac{M}{\sigma_a E h} = \frac{110150}{2100 \cdot 0,9591 \cdot 12} = 3,42 \text{ cm}^2 \rightarrow k T12 = 4,52 \text{ cm}^2 / \text{ml}$

CH 2
ETUDE AU VENT

ETUDE AU VENT

Les règles NV. 65. Supposent que la direction du vent est horizontale. L'action exercée par le vent sur une des faces d'un élément de Paroi est considérée comme normale à cet élément. Elle est fonction:

- De la vitesse du vent.
- De la catégorie de la construction et de ses proportions d'ensemble.
- De l'emplacement de l'élément considéré dans la construction et de son orientation par rapport au vent.
- Des dimensions de l'élément considéré
- De la forme de la Paroi (Plane ou courbe) à laquelle appartient l'élément considéré

Pour la vérification des conditions de résistance et de stabilité d'une construction on envisagera l'action des surcharges normales et extrêmes

1. PRESSION DYNAMIQUE : La Pression dynamique "q" est donnée par:

$$q = \frac{V^2}{163}$$

L'action élémentaire unitaire exercée par le vent sur une des faces d'un élément de Paroi est donnée par un produit "eq".

e: Coefficient de Pression

q: Pression dynamique de base f(V).

Dans les calculs on envisagera la Pression dynamique normale et la Pression dynamique extrême.

$$\frac{q_e}{q_n} = 1,75$$

avec: $q_n = 70 \text{ kg/m}^2$ region II
 $q_e = 122,5 \text{ kg/m}^2$

2 EFFET DE LA HAUTEUR : Soit q_H la Pression dynamique agissant à la hauteur H au dessus du sol.

Soit q_{10} la Pression dynamique à 10m de hauteur.

si $0 < H < 500 \text{ m}$

alors:

$$\frac{q_H}{q_{10}} = 2,5 \cdot \frac{H + 10}{H + 60}$$

Dans notre cas:

$$H = 0$$

$$q_{10} = 70 \text{ kg/m}^2$$

| | | | | | | | | |
|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| H (m) | 0 | 1,87 | 5,39 | 8,91 | 12,43 | 15,95 | 19,47 | 22,99 |
| q_H | 52,5 | 56,20 | 62,60 | 68,34 | 73,52 | 78,26 | 82,55 | 86,47 |

| | | | | | | | |
|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| H | 0 | 3,63 | 7,15 | 10,67 | 14,19 | 17,71 | 21,23 |
| q_H | 52,5 | 59,49 | 65,54 | 71 | 75,93 | 80,42 | 84,52 |

| Coefficient. | P interieure | P. exterieure |
|--------------|--------------|---------------|
| Face au vent | $\pm 0,3$ | $\pm 0,8$ |
| Sous vent. | $\pm 0,3$ | $\pm 0,5$ |

1 RAPPORTS DE DIMENSIONS : Les dimensions "a" et "b" sont definies en R III. 2,33 bis. de N.V.65.

L'une des dimensions "a", etant la dimension normale au vent et l'autre le quotient par cette valeur de la surface en plan du batiment.

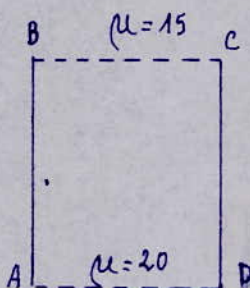
Notre batiment a 2 Parois fermees AB et DC et 2 Parois opposees partiellement ouvertes: permeabilites $\mu = 15$, $\mu' = 20$.

Les rapports de dimensions sont:

a. Vent soufflant dans le sens Long.

$$a = 24,6 \text{ m} \rightarrow b = \frac{S}{a} = 30 \text{ m}$$

$$S = 739,6 \text{ m}^2$$



Les valeurs de λ sont definies en R. 2,03 NV.65.

$$\lambda_a = \frac{h}{a} = \frac{23,00}{24,6} = 0,935$$

$$\lambda_b = \frac{h}{b} = \frac{23,00}{30} = 0,767$$

$$\frac{b}{a} = \frac{24,6}{30} = 0,82$$

La figure R III.5 nous donne $f_0 = f(\lambda_a, \lambda_b, \frac{b}{a}) \Rightarrow f_0 = 1$

b. vent soufflant dans le sens transversal:

$$a = 29,40 \text{ m}$$

$$b = \frac{739,36}{29,40} = 25,15 \text{ m} \rightarrow \frac{b}{a} = \frac{25,15}{29,40} = 0,86$$

$$\lambda_a = \frac{h}{a} = \frac{23,00}{29,4} = 0,782$$

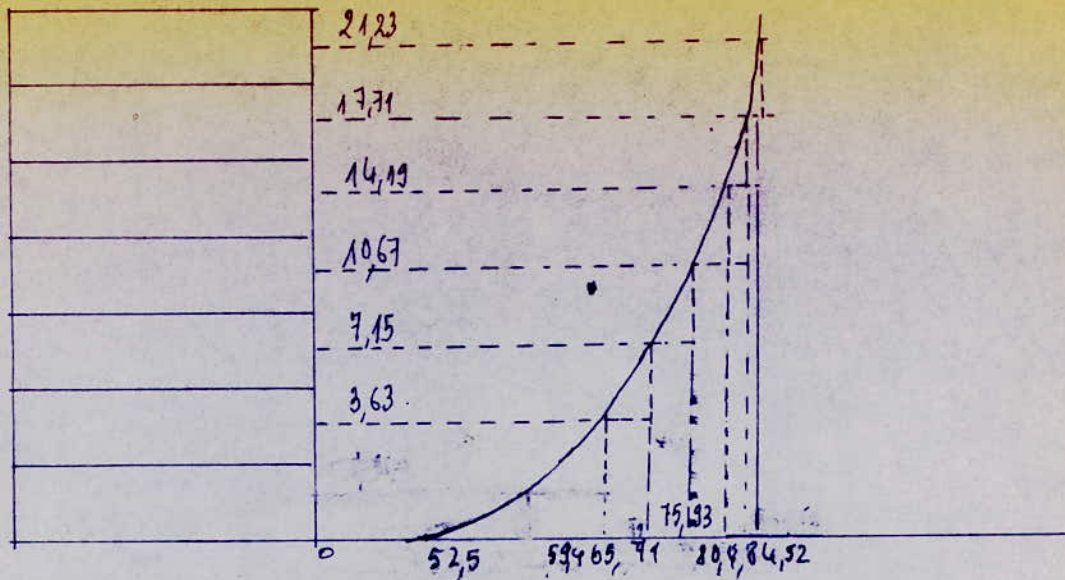
$$\lambda_b = \frac{h}{b} = \frac{23,00}{25,15} = 0,915$$

$$\rightarrow f_0 = 1$$

2. ACTIONS EXTERIEURES.

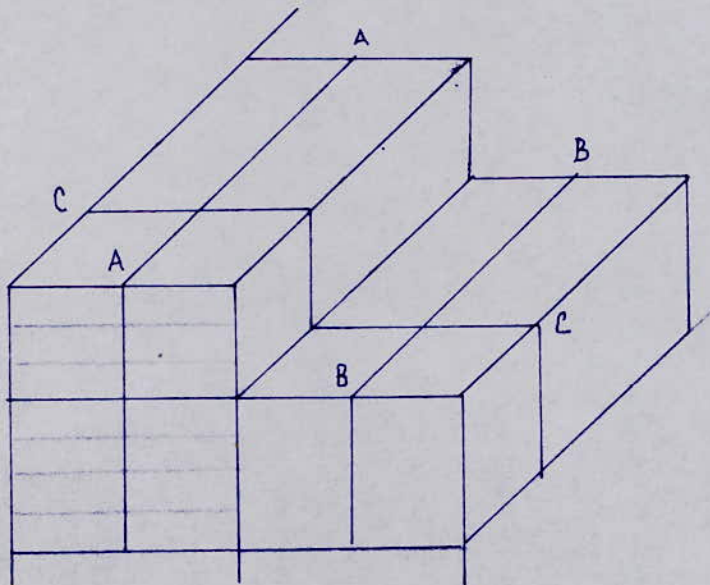
| Direction du vent | Paroi BC $\mu = 15$ | Paroi AD $\mu = 20$ | Parois fermees AB et DC |
|---------------------------|------------------------|------------------------|---|
| Paroi $\mu = 15$ au vent. | $C_e = +0,8$ | $C_e = -0,5$ | $C_e = -0,5$ |
| Paroi $\mu = 20$ au vent. | $C_e = -0,5$ | $C_e = -0,8$ | $C_e = -0,5$ |
| Parois ouvertes au vent. | $C_e = -0,5$ | $C_e = -0,5$ | au vent $C_e = 0,8$ sous vent $C_e = -0,5$ |

après fig. C.III.7 le diagramme simplifié est:



3 EFFET DE SITE (2-1.142). On est en site normal dans une région II $\rightarrow k_s = 1$
 Les valeurs de Pressions dynamiques de base doivent être multipliées par k_s .

4 EFFET DES DIMENSIONS : Les Pressions dynamiques de base s'exerçant sur un élément de construction doivent être affectées d'un coefficient de réduction fonction de la plus grande dimension (horizontale ou verticale) de la surface offerte au vent intéressant l'élément considéré.
 Dans notre cas on a 3 Portiques à étudier.



| | | | |
|----------------|------------------|-----------------|-------------------------------|
| Portique "A-A" | hauteur: 23,00 m | Largeur: 7,20 m | $\rightarrow \delta = 0,776$ |
| Portique "B-B" | " 12,43 m | " 7,20 m | $\rightarrow \delta = 0,8175$ |
| Portique "C-C" | 23,00 m | 8,00 m | $\rightarrow \delta = 0,776$ |

ACTIONS STATIQUES Les actions extérieures sont caractérisées par le coefficient "Ce".

Les actions intérieures sont caractérisées par le coeff. "Ci".
 L'action résultante sur une paroi est:

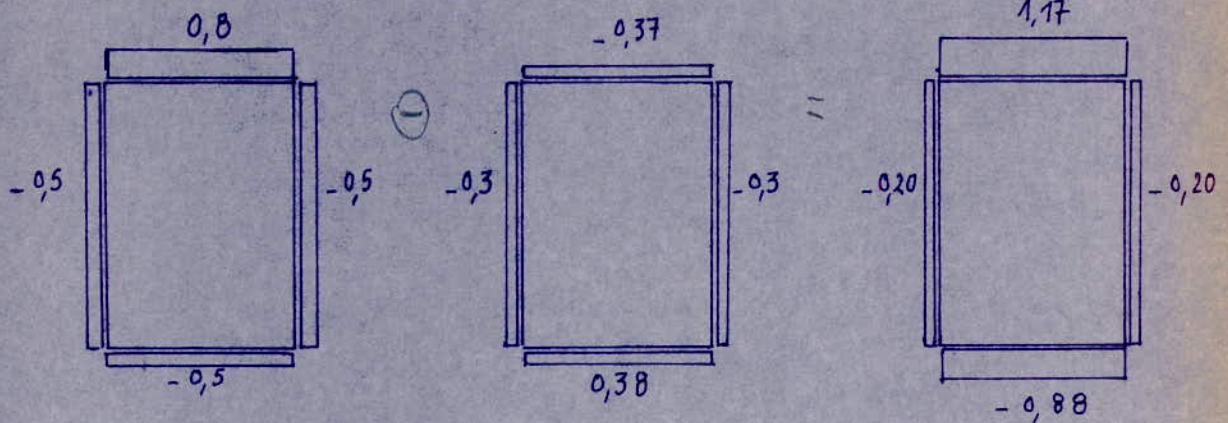
$$P_r = (C_e - C_i) \cdot q_r$$

3 ACTIONS INTERIEURES

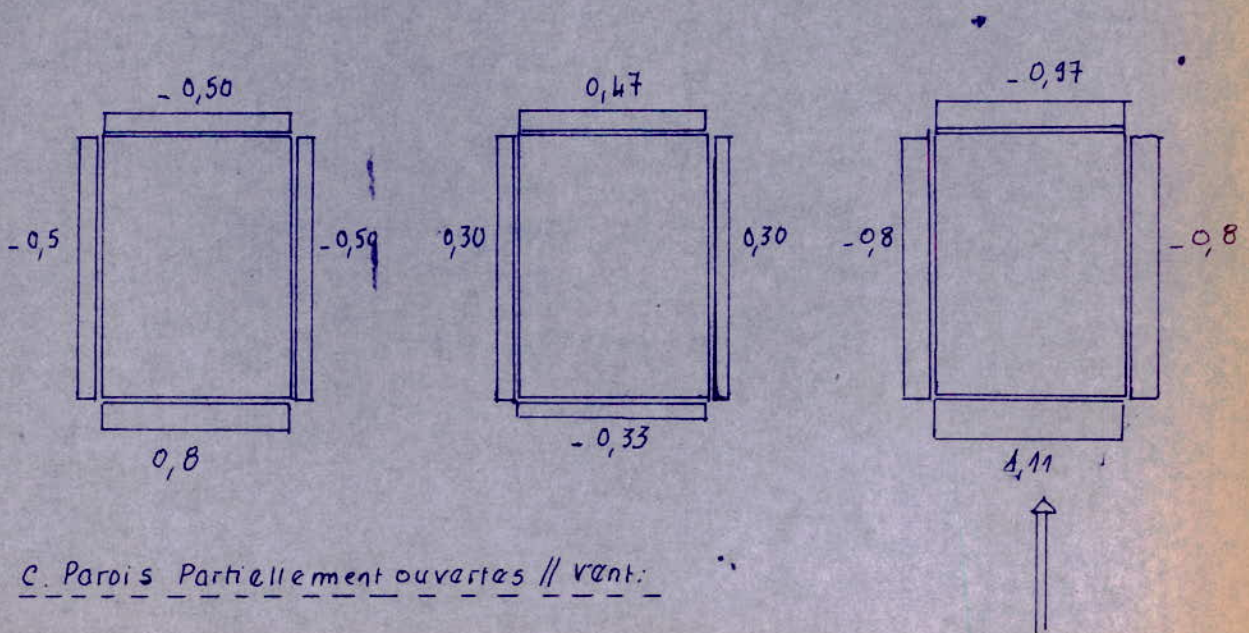
| Vent. | Paroi BC; $\mu = 15$. | Paroi AD; $\mu = 20$ | Parois fermées AB, CD. |
|---|--|--|--|
| Paroi BC au vent. | $C_i = \frac{-0,30 - 0,20 \cdot \frac{35-15}{20-5}}{35-5} = -0,37$ | $C_i = \frac{0,30 + 0,50 \cdot \frac{15-5}{35-20}}{35-5} = 0,38$ | $C_i = -0,30$ |
| Paroi AD au vent. | $C_i = \frac{0,30 + 0,50 \cdot \frac{35-15}{20-5}}{35-5} = 0,47$ | $C_i = \frac{-0,30 - 0,20 \cdot \frac{15-5}{35-20}}{35-5} = -0,33$ | $C_i = +0,30$ |
| Parois partiellement ouvertes // au vent. | $C_i = -0,30$ | $C_i = +0,30$ | $C_i = \frac{0,30 - 0,20 \cdot \frac{15-5}{20-5}}{35-5} = -0,43$ |

4 ACTIONS RESULTANTES

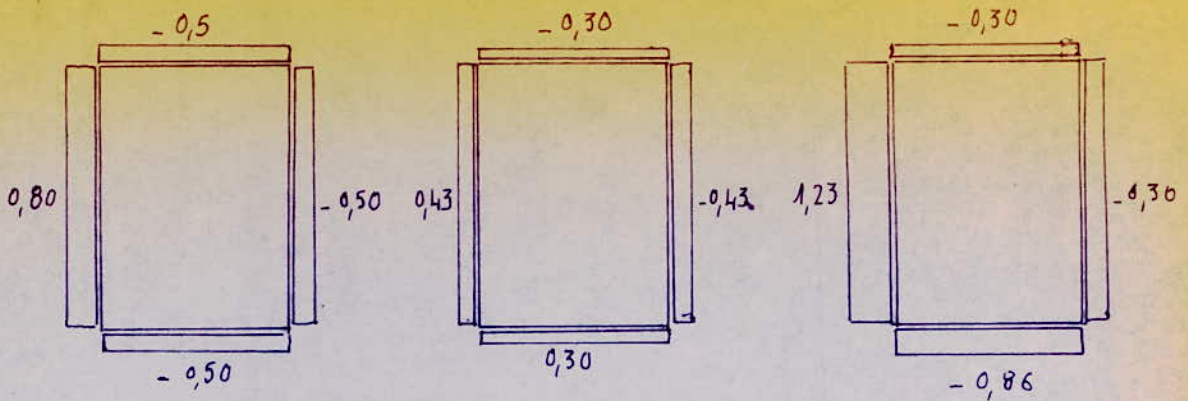
a. Paroi "BC" au vent:



b. Paroi "AD" au vent:



c. Parois Partiellement ouvertes // vent.



Donc les actions à retenir sont :

| Action | Paroi BC ($u=15$) | Paroi AD ($u=20$) | Parois fermées AB et CD. |
|------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|
| Pression | $C = 1,17$ | $C = 1,11$ | $C = 1,23$ |
| Dépression | $C = -0,88$ | $C = -0,97$ | $C = -0,30$ |

ACTIONS DYNAMIQUES : Pour tenir compte de l'effet des actions parallèles à la direction du vent, les pressions dynamiques normales retenues pour le calcul de l'action d'ensemble doivent être multipliées à chaque niveau par un coefficient de majoration dynamique. $\beta \geq 1$

$$\beta = 0(1 + \zeta \epsilon)$$

ζ : fonction de réponse donnée en fonction de la période T du mode fondamental d'oscillation.

$$T = 0,10 \frac{H}{\sqrt{L}} \quad L : \text{Dimension dans le sens considéré}$$

a. Sens longitudinal :

$$T_L = 0,10 \frac{23,00}{\sqrt{29,40}} = 0,424 \text{ s}$$

La figure (R III.3.NV.65) donne $\rightarrow \zeta = F(T) = 0,47$

θ : Coefficient dépendant du type de la construction. $H < 30 \text{ m} \rightarrow \theta = 0,70$
 ϵ : Coeff de pulsation déterminé en fonction de H à chaque niveau.
 $H = 23,00 \text{ m} \rightarrow \epsilon = 0,34$

$$\text{D'où } (\beta_L = \theta(1 + \zeta \epsilon) = 0,70(1 + 0,47 \cdot 0,34) = 0,81 < 1 \rightarrow \beta_L = 1$$

b. Sens transversal :

- Portique "A-A" : $T_c = 0,10 \frac{23,00}{\sqrt{24,6}} = 0,478 \text{ s} \rightarrow \zeta = \rightarrow \beta_c =$

$$\rightarrow \beta_c = 1$$

- Portique "B-B" : $T_c = 0,10 \frac{12,43}{\sqrt{24,6}} = 0,251 \text{ s} \rightarrow \zeta = 0,255 \rightarrow \epsilon = 0,357$

$$\rightarrow \beta_c = 0,82 \rightarrow \beta_c = 1$$

DETERMINATION DES FORCES

1. face au vent

a. Paroi "BC" au vent: $\longrightarrow q_x = q_H \cdot (C_e - C_i) \cdot k_s \cdot s = 1,17 \cdot 0,776 \cdot q_H = 0,9079 \cdot q_H$

b. Paroi "AD" au vent $\longrightarrow q_x = q_H \cdot (C_e - C_i) \cdot k_s \cdot s = 1,11 \cdot 0,776 \cdot q_H = 0,8614 \cdot q_H$

c. Parois "AB" et "DC" au vent $\longrightarrow q_x = q_H (C_e - C_i) \cdot k_s \cdot s = \begin{cases} 0,9545 \text{ Portique A-A} \\ 1,006 \text{ Portique B-B} \end{cases}$

2 face sous vent

a. Paroi "BC" sous vent $\longrightarrow q_x = -0,97 \cdot 0,776 \cdot 1 \cdot q_H = -0,7527 \cdot q_H$

b. Paroi "AD" sous vent $\longrightarrow q_x = -0,88 \cdot 0,776 \cdot 1 \cdot q_H = -0,6829 \cdot q_H$

c. Parois "AB" et "DC" sous vent $\longrightarrow q_x = q_H (C_e - C_i) \cdot k_s \cdot s = \begin{cases} 0,2328 \cdot q_H & \text{"A-A"} \\ 0,2453 \cdot q_H & \text{"B-B"} \end{cases}$

Les résultats sont résumés dans les tableaux suivants.

FORCES SUR LES PORTIQUES

1 Portique AA

a. Face au vent

| Niveaux | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 |
|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
| q_H | 82,5 | 82,55 | 78,26 | 73,52 | 68,34 | 62,6 | 56,20 |
| q_x | 594,26 | 567,32 | 537,84 | 505,26 | 469,66 | 430,22 | 386,23 |
| F_x | 1022,19 | 1998,97 | 1893,2 | 1778,52 | 1653,20 | 1514,37 | 1359,53 |

b. face sous vent:

| Niveaux | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| q_H | 86,47 | 82,55 | 78,26 | 73,52 | 68,34 | 62,6 | 56,20 |
| q_x | 144,94 | 138,37 | 131,18 | 123,23 | 114,5 | 104,93 | 94,20 |
| F_x | 249,31 | 487 | 461,75 | 433,77 | 403,22 | 369,35 | 331,6 |

2 Portique BB

a. Face au vent:

| Niveaux | 5 | 4 | 3 | 2 |
|----------------|--------|---------|--------|---------|
| q _H | 73,52 | 68,34 | 62,6 | 56,20 |
| q _x | 549 | 466,8 | 455,26 | 408,67 |
| F _x | 908,71 | 1748,74 | 1602,5 | 1438,53 |

- b. Face sous-vent:

| Niveaux | 5 | 4 | 3 | 2 |
|----------------|--------|--------|--------|-------|
| q _H | 73,52 | 68,34 | 62,6 | 56,20 |
| q _x | 129,69 | 120,55 | 110,45 | 99,15 |
| F _x | 220,21 | 220,21 | 388,71 | 349 |

3. Portique-CC : Pour le Portique, étant donné que les coefficients C_e et C_s sont différents pour les 2 directions possibles du vent, on calculera donc les forces pour le vent soufflant de gauche à droite et le vent soufflant de droite à gauche.

3.1. Vent soufflant de gauche à droite:

- a. Face au vent:

| Niveaux | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 |
|----------------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| q _H | 86,47 | 82,55 | 78,26 | 73,52 | 68,34 | 62,6 | 56,20 |
| q _x | 628,05 | 599,58 | 568,42 | 534 | 496,37 | 454,68 | 408,19 |
| F _x | 1080,31 | 2108,5 | 2000,84 | 1879,68 | 1747,22 | 1600,47 | 1436,73 |

- b. Face sous-vent:

| Niveaux | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 |
|----------------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|---------|
| q _H | 86,47 | 82,55 | 78,26 | 73,52 | 68,34 | 62,6 | 56,20 |
| q _x | 472,47 | 451,05 | 427,61 | 401,71 | 373,41 | 342,05 | 307,01 |
| F _x | 812,7 | 1587,7 | 1505,19 | 682,10 | 1314,4 | 1204 | 1080,92 |

3-2 vent soufflant de droite à gauche

- a - Face au vent:

| Niveaux | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 |
|----------------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|
| q _H | 86,47 | 82,55 | 78,26 | 73,52 | 68,34 | 62,6 | 56,20 |
| q _x | 595,85 | 568,84 | 539,28 | 506,62 | 470,92 | 431,37 | 387,26 |
| F _x | 1025 | 2002,30 | 1898,26 | 860,24 | 1657,65 | 1518,42 | 1363,18 |

- b - Face sous-vent:

| Niveaux | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 |
|----------------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|
| q _H | 86,47 | 82,55 | 78,26 | 73,52 | 68,34 | 62,6 | 56,20 |
| q _x | 520,7 | 497,10 | 471,26 | 442,72 | 411,53 | 376,96 | 338,42 |
| F _x | 895,66 | 1749,71 | 1658,84 | 1558,4 | 1448,6 | 1326,9 | 1191,24 |

CH 3

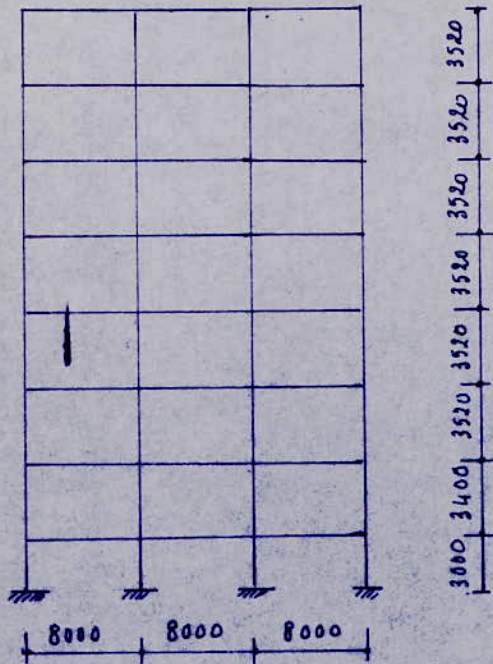
ETUDE DE S PORTIQUES

ÉTUDE DES PORTIQUES

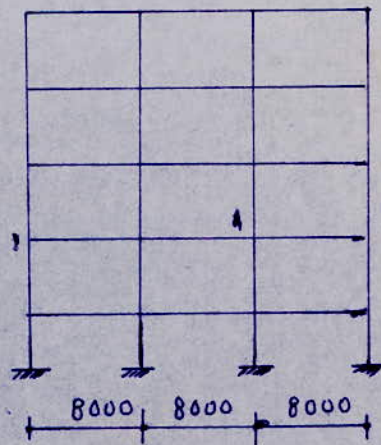
GENERALITES : Notre étude va porter sur 3 Portiques: un Portique longitudinal "C-C" et 2 Portiques transversaux "A-A" et "B-B".

• schemas

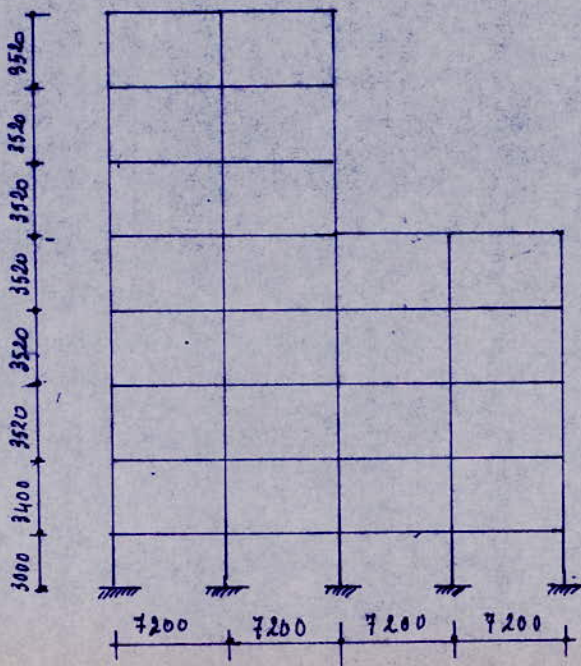
Portique transversal A-A



Portique transversal B-B



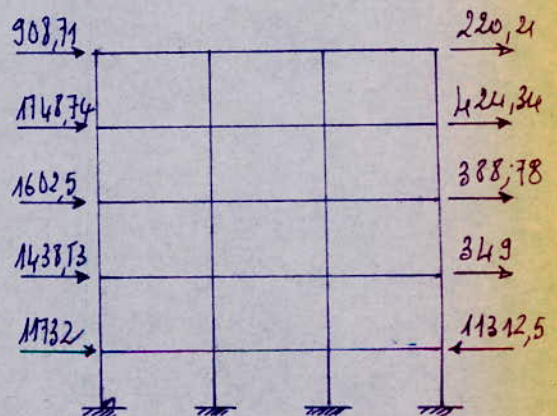
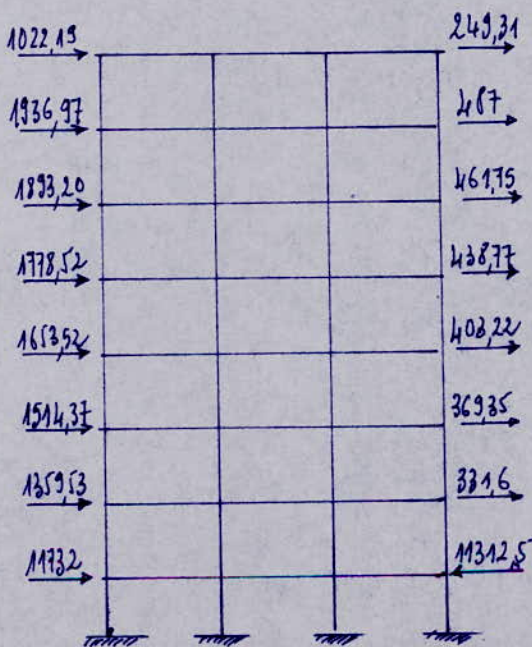
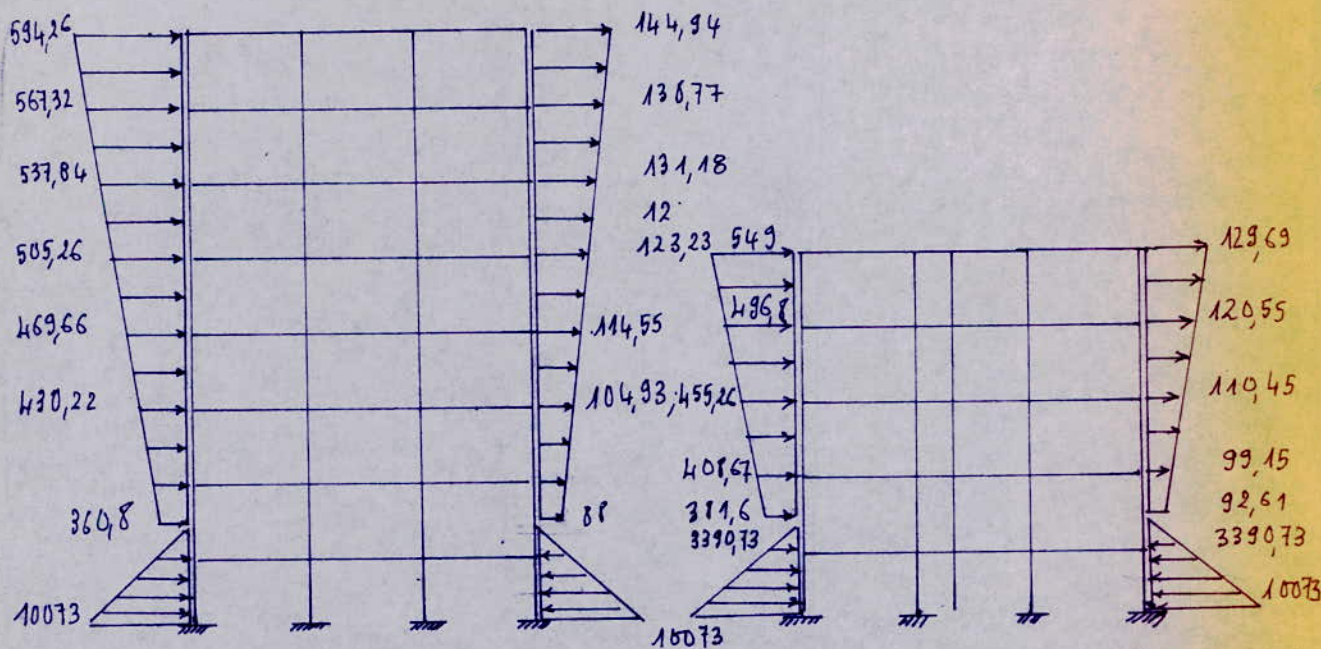
Portique longitudinal C-C



charges horizontales Les charges horizontales se divisent en charges dues au vent et agissant sur la partie de poteaux située au dessus du sol et en charges dues à la poussée des terres agissant sur la partie située au dessous des terres.

Pour le calcul de la poussée des terres voir " Chapitre. voiles sous-sol " Pour les portiques transversaux, vu que les coefficients de pression sont les mêmes dans les 2 sens. on étudiera donc l'effet du vent dans une seule direction.

Par contre pour le portique longitudinal on étudiera l'effet du vent dans les 2 sens.



CARACTERISTIQUES

Toutes les barres formant les portiques, sont encastrees les une aux autres.
Pour les poutres, on adoptera une section constante pour chaque niveau.
Par contre pour les poteaux, vu la hauteur du bâtiment on adoptera des poteaux a section variable. Le changement de section s'operera juste au Niveau superieur des planchers. On choisira des poteaux de sections differentes pour les 2 sous-sols et les 2 "3 etages suivants".

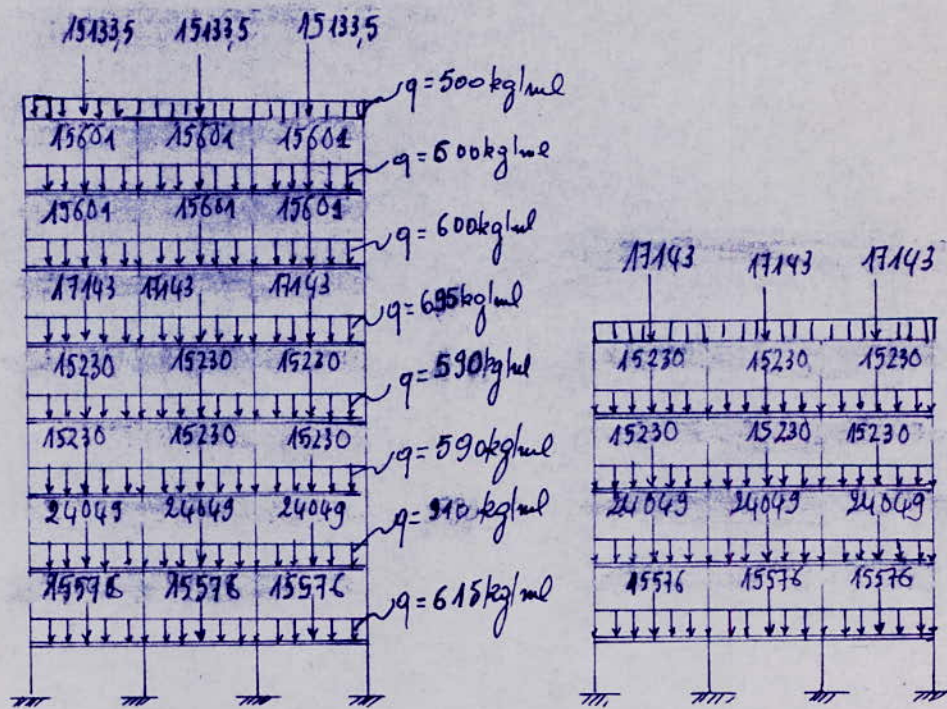
EVALUATION DES CHARGES ET SURCHARGES

on etudiera les portiques sous les differents cas de charges suivants.

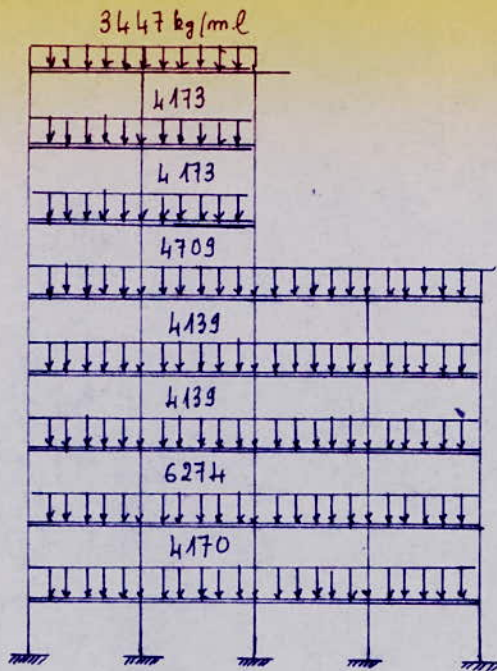
- charges Permanentes. C_p
 - surcharges d'exploitation. C_e
 - Neige normale N_n
 - vent \rightarrow
 - vent \leftarrow
- 2:

Nos portiques seront dimensionnés sous l'effet des combinaisons faisant intervenir le vent. Ils seront ensuite verifiés au vent.

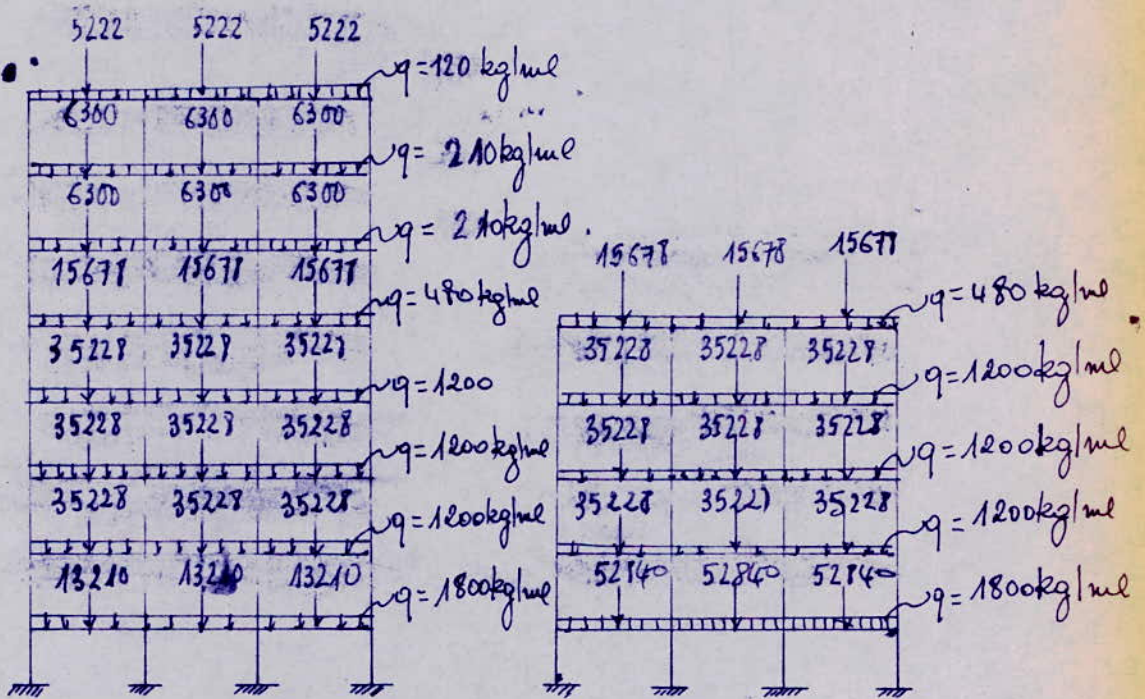
charges permanentes

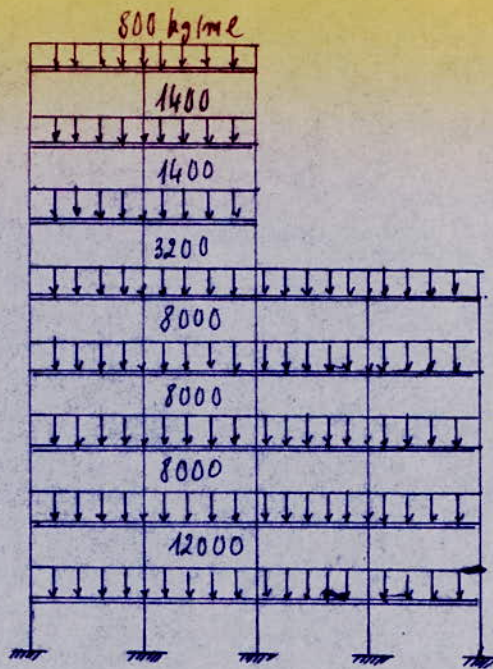


Les forces concentrees sont dues aux reactions d'appuis des poutres supplementaires longitudinales.

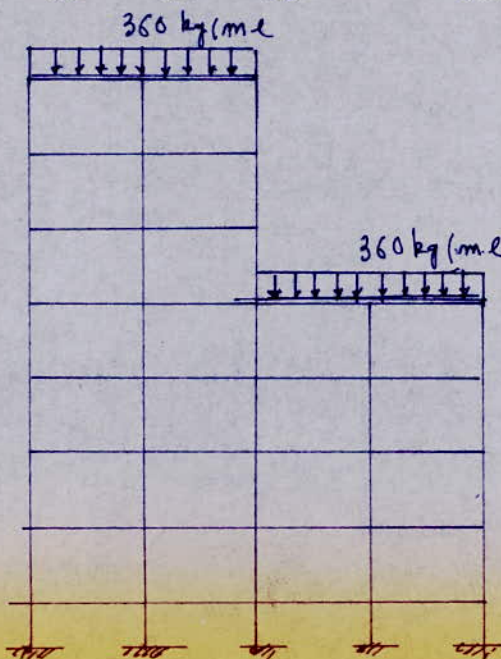
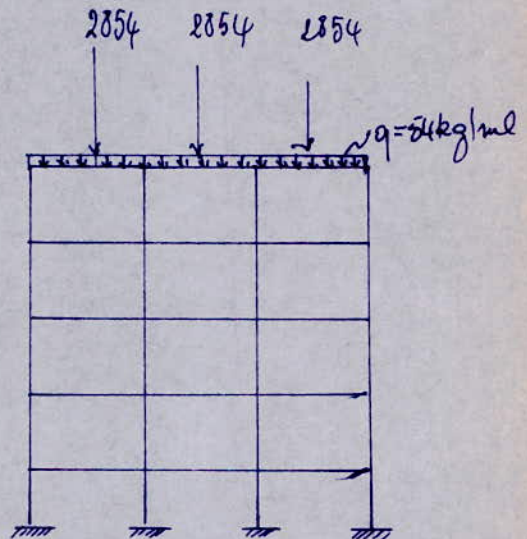
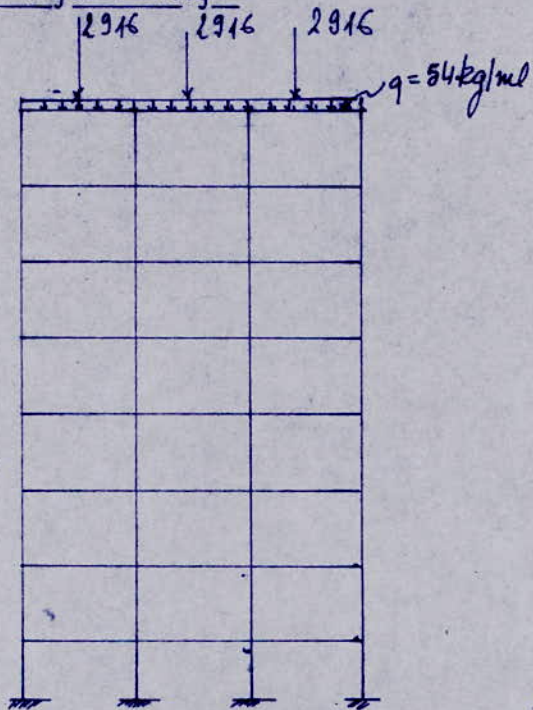


surcharges d exploitation



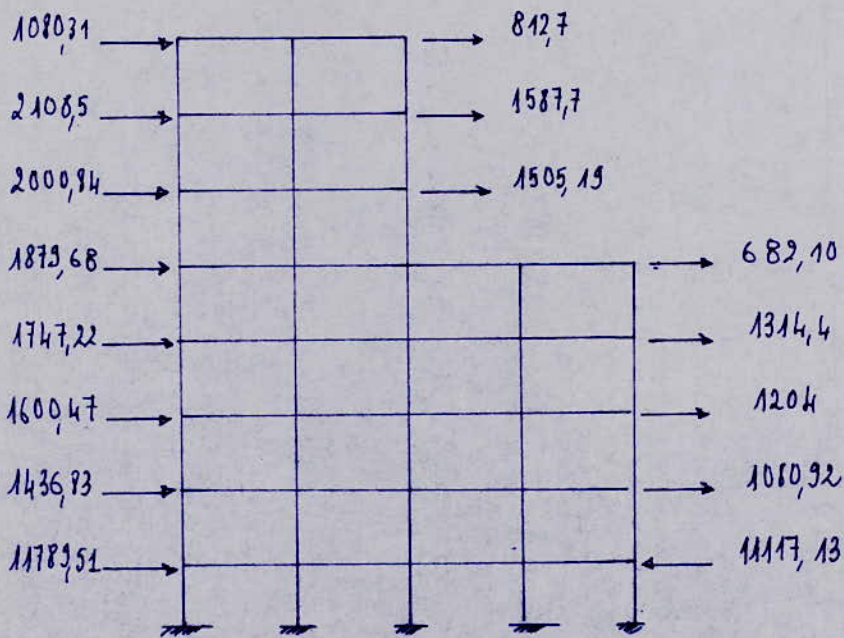
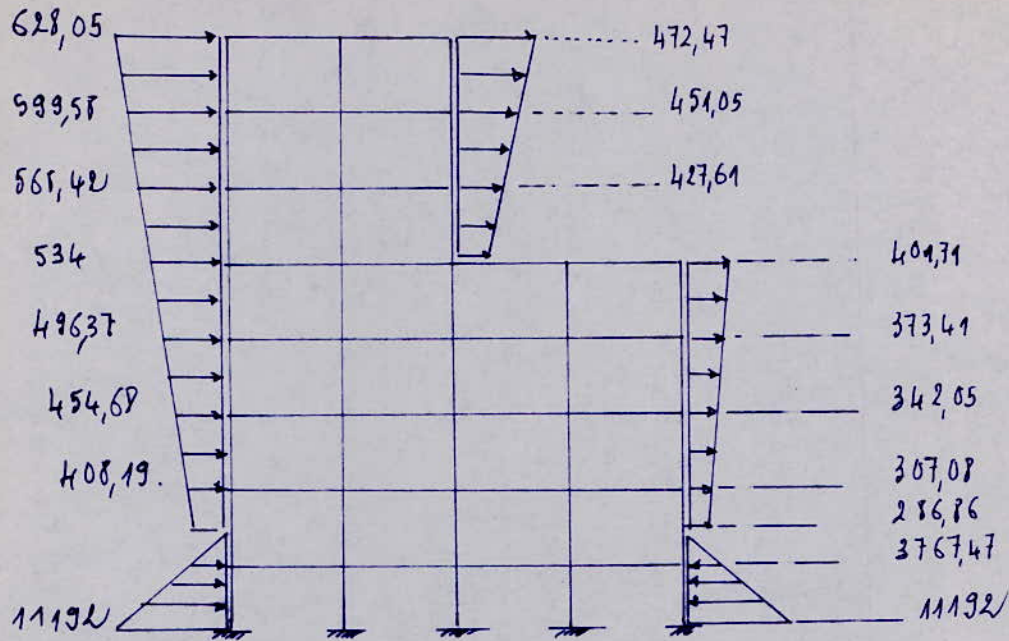


surcharges de neige



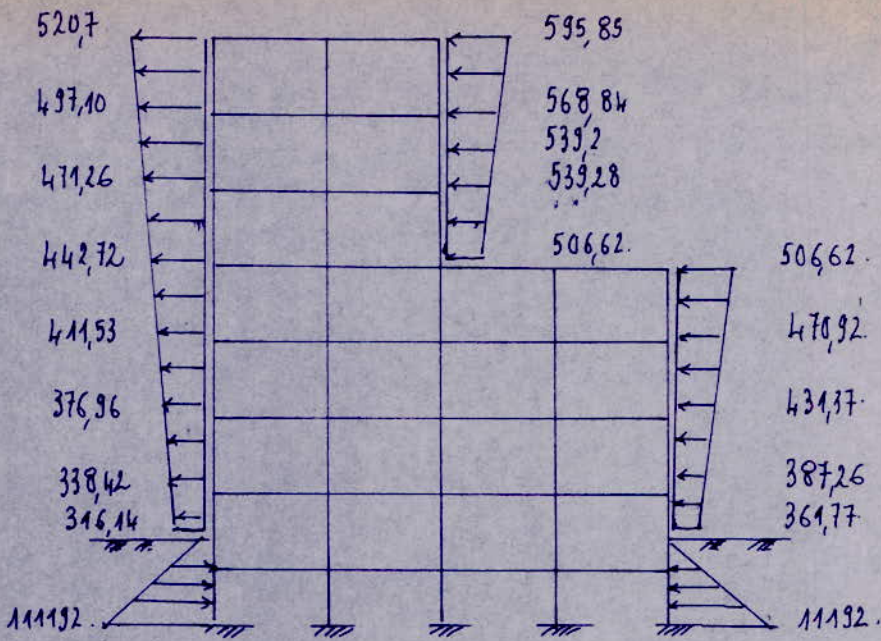
Portique longitudinal

- Vent soufflant de gauche à droite.

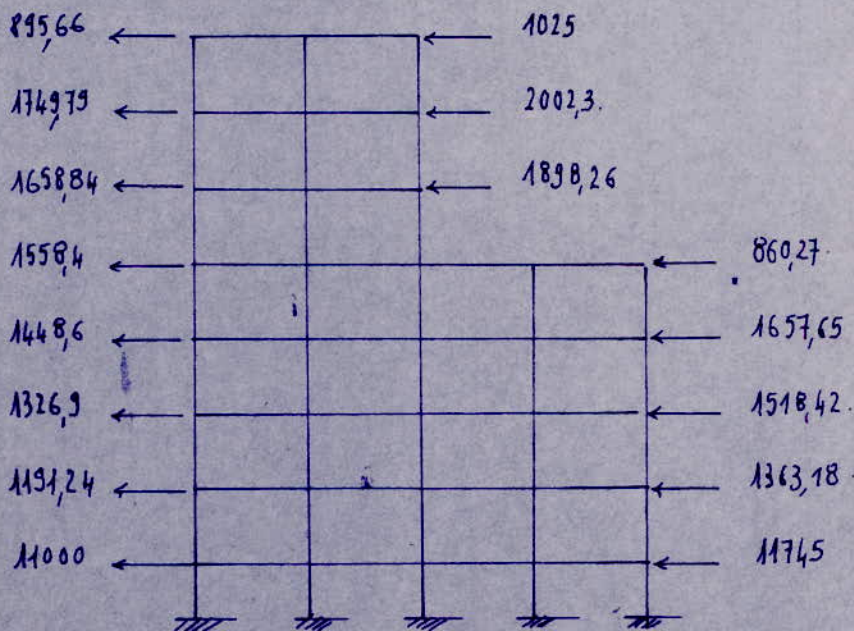


C.2. Vent soufflant de droite à gauche.

Forces réparties



Forces concentrées aux Nœuds.



DETERMINATION DES EFFORTS : Le calcul réel pour la détermination des efforts dans les portiques est un

calcul itératif.

Au début des calculs, les rapports d'inertie des différentes poutres aux poteaux ne sont pas connus. C'est pour cela, qu'on le redimensionne d'abord. Les éléments constituant le portique, et le redimensionnement nous donne les inerties des poutres et des poteaux.

On détermine les efforts avec ces inerties, et on dimensionne les portiques ensuite on vérifie les rapports d'inertie trouvés sont proches de ceux ayant servi pour le redimensionnement. (erreur $< 30\%$). Si ils sont trop différents ($> 30\%$), on refait les calculs avec les nouveaux rapports trouvés, et ainsi de suite.

Dans notre cas, un premier redimensionnement, nous a donné les rapports d'inertie à adopter:

Ensuite un premier calcul fait à la main en utilisant les méthodes de Cross et de Grinter-Zhytzeff, nous a permis de corriger les inerties. Le calcul réel, lui, a été traité à l'ordinateur CII-HB 1130

Description générale du programme : Les structures calculables par Stress sont constituées de barres joignant des nœuds, dont certains sont en liaison avec un milieu extérieur

de tout est repéré dans un trièdre orthoforme choisi par l'utilisateur en général parallèlement à certaines directions privilégiées de la structure

Pour les structures planes, leur plan doit contenir les axes X et Y. Toute grandeur géométrique ou physique liée au nœud sera repérée par rapport à ce système que nous appellerons système global

Différents types de structures : Stress fait une mise en équation complète du système à étudier en prenant comme inconnues les déplacements et rotations des nœuds. Le nombre d'inconnues varie de 2 à 6 suivant le type de structure étudiée.

Dans notre cas, on a des portiques plans. (Plan frame)

Les unités choisies sont le kg. et le cm

ordre de description géométrique et physique

Reperage des nœuds : une première carte:

JOINT COORDINATES.

repère le nœuds par ses coordonnées par rapport global

Reperage des barres : une carte: "MEMBER INCIDENCE" suivie de cartes: m j₁ j₂

Les cartes définissent les barres. Ici m est le numéro de la barre joignant les nœuds j₁ et j₂. L'ordre j₁ j₂ détermine la direction positive de la ligne moyenne de la barre. Le programme appelle j₁ START et j₂ END.

Propriétés des barres : Elles doivent être précédées de l'ordre

MEMBER PROPERTIES

Puis pour chaque barre.

m PRISMATIC $AX\alpha_1$ $AX\alpha_2$ $AZ\alpha_3$ $IX\alpha_4$ $IY\alpha_5$ $IZ\alpha_6$ (BETA β).

AX: section normale

AY: section reduite suivant y.

AZ: section reduite suivant z

IY: pour l'inertie de flexion / x

IX: " " " " / z

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$: des valeurs numeriques correspondantes.

Dans notre cas. (Plan frame) AX est seule necessaire ($\beta=0$).

Ordre de description des charges: Chaque systeme de charges doit etre precede d'une carte.

Commencant par LOADING. suivi d'un titre quelconque.

Derriere cette carte viennent les ordres decrivant les charges elementaires.

Charges sur les noeuds: Elles sont precedees d'une carte JOINT LOADS suivie des cartes

J. FORCE $X\alpha_1$ $Y\alpha_2$ $Z\alpha_3$ MOMENT $X\alpha_4$ $Y\alpha_5$ $Z\alpha_6$

Les forces sont reperees en direction et signe / aux axes du systeme global

J. est le Numero du Noeud charge, α_1 la valeur d'une composante de la charge

Charges sur les barres. Elles sont precedees de la carte MEMBER LOADS. Les cartes qui suivent comprennent successivement:

• Un Numero de barres.

• Une indication de composante reperee par rapport au systeme local (Force X, Y, ou Z ou Moment X, Y, Z).

• Un type de charge parmi les 3 suivants.

CONCENTRATED $L\alpha_1$ $L\alpha_3$

UNIFORM $W\alpha_1$ $LA\alpha_2$ $LB\alpha_3$

LINEAR $WA\alpha_1$ $WB\alpha_2$ $LA\alpha_3$ $LB\alpha_4$

L: Intensite de la charge

L: Distance de l'extremite START au pt d'application de la charge

W: Intensite / unite de longueur uniforme entre LA et LB

LA: Distance de l'extremite START au debut de la charge

LB: " " " " " a la fin " "

WA: Intensite / unite de longueur au debut de la charge

WB: " " " " " a la fin " "

Combinaison des cas de charges: Une combinaison de cas de charges precedemment calcules

est un cas de charge particulier, faisant partie des n cas donnes dans l'ordre MEMBER OF LOADINGS.

A chaque cas de charge est attribue un numero interne qui correspond a l'ordre dans lequel apparaissent les ordres LOADINGS.

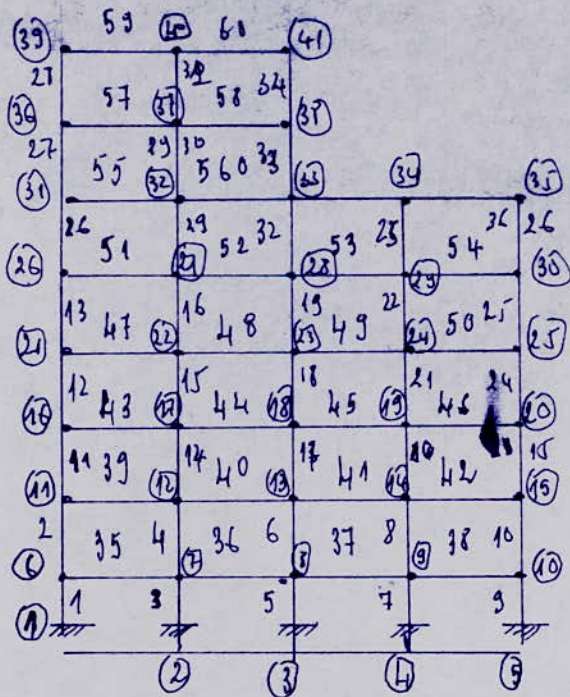
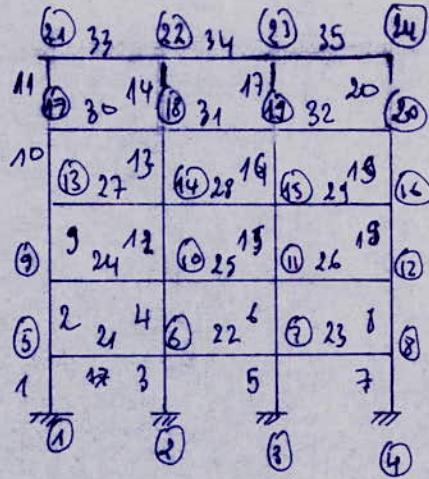
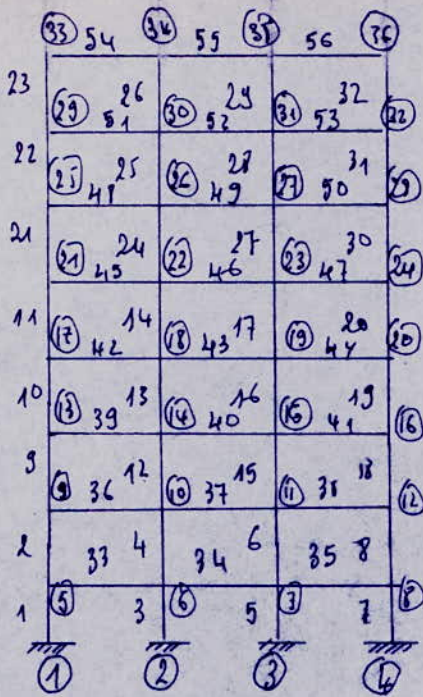
L'ordre COMBINE se refere a ces numeros et combine lineairement les cas de charges correspondants.

LOADING titre

COMBINE $m_1\alpha_1$ $m_2\alpha_2$... $m_m\alpha_m$

Combinaison de α_1 fois le cas de charge n_1
Plus α_2 fois le cas de charge n_2 ...

Numerotation des Portiques



CH4

EFFORTS DANS LES PORTIQUES

EFFORTS DANS
LE PORTIOUE TRANSVERSAL "AA"

$4/3 CP + 3/2 CE$

| barre | Nœud | Effort normale | Effort tranchant | Moment |
|-------|------|----------------|------------------|-------------|
| 1 | 1 | 285021,223 | 8891,956 | 894745,23 |
| 1 | 5 | 285021,223 | 8891,956 | 1772841,61 |
| 2 | 5 | 211760,357 | 13589,529 | 2308619,13 |
| 2 | 9 | 211760,357 | 13589,529 | 2311820,66 |
| 3 | 2 | 681236,781 | 1828,966 | 181251,60 |
| 3 | 6 | 681236,781 | 1828,966 | 367438,11 |
| 4 | 6 | 501157,309 | 2569,731 | 457246,91 |
| 4 | 10 | 501157,309 | 2569,731 | 416461,60 |
| 5 | 3 | 681236,820 | 1828,982 | 181254,22 |
| 5 | 7 | 681236,820 | 1828,982 | 367440,33 |
| 6 | 7 | 501157,332 | 2569,746 | 457249,55 |
| 6 | 11 | 501157,332 | 2569,746 | 416464,20 |
| 7 | 4 | 285021,137 | 8891,942 | 894742,86 |
| 7 | 8 | 285021,137 | 8891,942 | 1772839,72 |
| 8 | 8 | 211760,350 | 13589,517 | 23086117,16 |
| 8 | 12 | 211760,350 | 13589,517 | 2311818,59 |
| 9 | 9 | 147289,355 | 11335,636 | 1976060,27 |
| 9 | 13 | 147289,355 | 11335,636 | 2014075,63 |
| 10 | 13 | 91124,839 | 11725,904 | 2057523,75 |
| 10 | 17 | 91124,839 | 11725,804 | 2069959,11 |
| 11 | 17 | 34778,111 | 11916,276 | 2069966,13 |
| 11 | 21 | 34778,111 | 11916,276 | 2089363,02 |
| 12 | 10 | 347083,133 | 1621,310 | 2919355,7 |
| 12 | 14 | 347083,133 | 1621,310 | 2787656,2 |
| 13 | 14 | 215218,148 | 1432,503 | 257300,60 |
| 13 | 18 | 215218,148 | 1432,503 | 246940,56 |
| 14 | 18 | 83535,284 | 1490,579 | 256913,04 |
| 14 | 22 | 83535,284 | 1490,579 | 267770,69 |
| 15 | 11 | 347083,176 | 1621,331 | 291939,22 |
| 15 | 15 | 347083,176 | 1621,331 | 278769,39 |
| 16 | 15 | 215218,169 | 1432,527 | 257304,99 |
| 16 | 19 | 215218,168 | 1432,527 | 246944,77 |
| 17 | 19 | 83535,286 | 1490,599 | 256916,47 |
| 17 | 23 | 83535,286 | 1490,599 | 267774,35 |
| 18 | 12 | 147289,418 | 11335,620 | 1976065,45 |
| 18 | 16 | 147289,418 | 11335,620 | 2014072,86 |
| 19 | 16 | 91124,813 | 11725,786 | 2057520,72 |
| 19 | 20 | 91124,813 | 11725,786 | 2069955,91 |
| 20 | 20 | 34778,101 | 11916,260 | 2069963,59 |
| 20 | 24 | 34778,101 | 11916,260 | 2089360,06 |
| 21 | 5 | 4697,573 | 73260,797 | 4081460,72 |
| 21 | 6 | 4697,573 | 95632,723 | 13030231,38 |
| 22 | 6 | 3956,807 | 84446,763 | 12205547,13 |
| 22 | 7 | 3956,807 | 84446,763 | 12205544,50 |
| 23 | 7 | 4697,572 | 95632,731 | 13030234,50 |
| 23 | 8 | 4697,572 | 73260,787 | 4081456,94 |
| 24 | 9 | 2253,893 | 64470,942 | 4297881,91 |
| 24 | 10 | 2253,893 | 81225,776 | 10989822,75 |

| | | | | |
|----|--|------------|-----------|-------------|
| 26 | | 43414,83 | 110,928 | 2952,72 |
| 26 | | 43414,8 | 110,928 | 36093,96 |
| 27 | | 156254,270 | 124,910 | 38725,50 |
| 27 | | 156254,270 | 124,910 | 5242,94 |
| 28 | | 99820,014 | 193,728 | 32031,23 |
| 28 | | 99820,014 | 193,728 | 36160,89 |
| 29 | | 43414,850 | 110,945 | 2955,75 |
| 29 | | 43414,850 | 110,945 | 36097,05 |
| 30 | | 71880,083 | 8201,227 | 1511156,61 |
| 30 | | 71880,083 | 8201,227 | 1375675,33 |
| 31 | | 45544,947 | 7116,176 | 1248151,50 |
| 31 | | 45544,947 | 7116,176 | 1256742,39 |
| 32 | | 19180,742 | 8195,033 | 1372590,39 |
| 32 | | 19180,742 | 8195,033 | 1512061,13 |
| 33 | | 5034,213 | 73954,354 | 4306370,38 |
| 33 | | 5034,213 | 95822,286 | 13053543,63 |
| 34 | | 4278,638 | 84888,321 | 12215727,38 |
| 34 | | 4278,638 | 84888,347 | 12215726,38 |
| 35 | | 5034,206 | 95822,289 | 13053544,63 |
| 35 | | 5034,206 | 73954,351 | 4306369,19 |
| 36 | | 2912,819 | 65200,256 | 4450389,56 |
| 36 | | 2912,819 | 81613,663 | 11015752,50 |
| 37 | | 1798,972 | 73406,963 | 10322256,88 |
| 37 | | 1798,972 | 73406,956 | 10322254,13 |
| 38 | | 2912,809 | 81613,668 | 11015754,25 |
| 38 | | 2912,809 | 65200,251 | 4450387,81 |
| 39 | | 663,263 | 56769,712 | 4174299,53 |
| 39 | | 663,263 | 69477,087 | 9257249,38 |
| 40 | | 870,286 | 63123,402 | 8769062,25 |
| 40 | | 870,286 | 63123,396 | 8769060,00 |
| 41 | | 663,263 | 69477,094 | 9257251,63 |
| 41 | | 663,263 | 56769,705 | 4174295,81 |
| 42 | | 537,558 | 57032,777 | 4240901,31 |
| 42 | | 537,558 | 69214,022 | 9113399,50 |
| 43 | | 104,822 | 63123,404 | 8720772,63 |
| 43 | | 104,822 | 63123,395 | 8720768,75 |
| 44 | | 537,559 | 69214,030 | 9113402,38 |
| 44 | | 537,559 | 57032,769 | 4240897,63 |
| 45 | | 3412,331 | 37330,383 | 3511231,75 |
| 45 | | 3412,331 | 42438,977 | 5554669,25 |
| 46 | | 2680,613 | 39884,683 | 5385660,13 |
| 46 | | 2680,613 | 39884,676 | 5385657,56 |
| 47 | | 3412,332 | 42438,983 | 5554671,63 |
| 47 | | 3412,332 | 37330,375 | 3511228,53 |
| 48 | | 1085,051 | 26335,120 | 2623830,41 |
| 48 | | 1085,051 | 28844,479 | 3627574,16 |
| 49 | | 766,413 | 27589,803 | 3654367,97 |
| 49 | | 766,413 | 27589,796 | 3654365,06 |
| 50 | | 1085,051 | 28844,482 | 3627576,88 |
| 50 | | 1085,051 | 26335,112 | 2623826,78 |

| | | | | |
|----|--|-----------|-----------|------------|
| 51 | | 1078,859 | 26364,204 | 2629336,59 |
| 51 | | 1078,859 | 28815,395 | 3609813,09 |
| 52 | | 774,187 | 27589,803 | 3643024,06 |
| 52 | | 774,187 | 27589,976 | 3643021,03 |
| 53 | | 1078,865 | 28815,404 | 3609816,03 |
| 53 | | 1078,865 | 26364,195 | 2629332,69 |
| 54 | | 8195,018 | 19180,751 | 1512063,19 |
| 54 | | 8195,018 | 22549,649 | 2859622,44 |
| 55 | | 8084,089 | 20865,202 | 2823528,34 |
| 55 | | 8084,089 | 20865,198 | 2823526,81 |
| 56 | | 8195,034 | 22549,653 | 2859623,78 |
| 56 | | 81095,034 | 19180,747 | 1512061,19 |

$$\frac{1}{3} C_1 + \frac{3}{2} Y_m$$

| | | | | |
|----|--|------------|-----------|------------|
| 1 | | 125132,059 | 27065,990 | 2386320,75 |
| 1 | | 125132,059 | 3228,010 | 437651,09 |
| 2 | | 113173,087 | 7857,719 | 968063,46 |
| 2 | | 113173,087 | 2918,870 | 482148,04 |
| 3 | | 362462,410 | 11912,884 | 1828324,50 |
| 3 | | 362462,410 | 11912,884 | 1745540,75 |
| 4 | | 317944,633 | 12313,109 | 2087937,84 |
| 4 | | 317944,633 | 12313,109 | 2098519,09 |
| 5 | | 343066,023 | 10968,025 | 1707928,77 |
| 5 | | 343066,023 | 10968,025 | 1582478,80 |
| 6 | | 303701,430 | 11257,347 | 1948996,69 |
| 6 | | 303701,430 | 11257,347 | 1878501,41 |
| 7 | | 185448,926 | 7398,439 | 828162,18 |
| 7 | | 185448,926 | 22913,561 | 2249931,16 |
| 8 | | 160760,334 | 10509,041 | 2193674,47 |
| 8 | | 160760,334 | 14144,678 | 2480326,69 |
| 9 | | 92822,849 | 4755,031 | 701804,17 |
| 9 | | 92822,849 | 2600,791 | 599635,22 |
| 10 | | 80247,474 | 3868,888 | 528450,48 |
| 10 | | 80247,474 | 1492,888 | 421417,43 |
| 11 | | 66500,177 | 1291,691 | 176869,28 |
| 11 | | 66500,177 | 1282,309 | 169797,32 |
| 12 | | 251723,504 | 10898,441 | 1940322,52 |
| 12 | | 251723,504 | 10898,441 | 1895928,73 |
| 13 | | 208194,012 | 9087,422 | 1597214,02 |
| 13 | | 208194,012 | 9087,422 | 1601558,42 |
| 14 | | 165388,150 | 7608,631 | 1350387,75 |
| 14 | | 165388,150 | 7608,631 | 1327850,50 |
| 15 | | 242245,234 | 9866,018 | 1727827,47 |
| 15 | | 242245,234 | 9866,018 | 1745011,03 |

| | | | | |
|----|--|------------|-----------|------------|
| 16 | | 202562,807 | 8752,911 | 1528387,70 |
| 16 | | 202562,807 | 8752,911 | 1552637,03 |
| 17 | | 162644,535 | 7042,936 | 1272856,20 |
| 17 | | 162644,535 | 7042,936 | 1206257,11 |
| 18 | | 127546,034 | 12577,863 | 2221522,94 |
| 18 | | 127546,034 | 12577,863 | 2115001,34 |
| 19 | | 103795,955 | 10882,623 | 1859959,73 |
| 19 | | 103795,955 | 10303,143 | 1870206,41 |
| 20 | | 80723,910 | 10608,626 | 1789970,63 |
| 20 | | 80723,910 | 9981,098 | 1835168,25 |
| 21 | | 48900,887 | 61,677 | 216863,79 |
| 21 | | 48900,887 | 2815,197 | 284354,92 |
| 22 | | 32480,433 | 1176,714 | 416679,01 |
| 22 | | 32480,433 | 4093,914 | 506459,96 |
| 23 | | 14777,688 | 3600,127 | 777068,64 |
| 23 | | 14777,688 | 6665,167 | 1025441,31 |
| 24 | | 117697,125 | 5715,164 | 994982,62 |
| 24 | | 117697,125 | 5715,164 | 1016755,15 |
| 25 | | 75840,983 | 3484,646 | 597947,52 |
| 25 | | 75840,983 | 3484,646 | 628647,76 |
| 26 | | 34479,641 | 1580,847 | 248386,37 |
| 26 | | 34479,641 | 1580,847 | 308071,61 |
| 27 | | 116667,497 | 5142,061 | 881234,84 |
| 27 | | 116667,497 | 5142,061 | 928770,57 |
| 28 | | 75877,295 | 3268,657 | 552416,55 |
| 28 | | 75877,295 | 3268,657 | 598150,86 |
| 29 | | 34804,946 | 840,205 | 152516,40 |
| 29 | | 34804,946 | 840,205 | 143236,82 |
| 30 | | 56363,207 | 9236,470 | 1569263,00 |
| 30 | | 56363,207 | 8564,863 | 1565012,06 |
| 31 | | 35251,212 | 7497,894 | 1243570,58 |
| 31 | | 35251,212 | 6786,414 | 1271567,31 |
| 32 | | 15208,870 | 6899,025 | 1076196,70 |
| 32 | | 15208,87 | 6151,113 | 1221665,28 |
| 33 | | 28683,716 | 11958,971 | 1405714,56 |
| 33 | | 28683,716 | 28217,668 | 5097764,44 |
| 34 | | 29083,937 | 16300,100 | 1264286,00 |
| 34 | | 29083,937 | 23876,539 | 4294861,69 |
| 35 | | 29373,264 | 15488,046 | 763386,39 |
| 35 | | 29373,264 | 24688,594 | 4443605,63 |
| 36 | | 3875,453 | 20350,171 | 1183952,06 |
| 36 | | 3875,453 | 40063,748 | 8701478,81 |
| 37 | | 2460,784 | 26157,368 | 2662637 |
| 37 | | 2460,784 | 34256,551 | 5902311,13 |
| 38 | | 1069,417 | 27199,625 | 2295982,41 |
| 38 | | 1069,417 | 33214,293 | 4701849,69 |
| 39 | | 3539,635 | 12575,396 | 1128085,52 |
| 39 | | 3539,635 | 27271,403 | 4750317,19 |
| 40 | | 1728,623 | 16261,090 | 1257174,42 |
| 40 | | 1728,623 | 23585,709 | 4187022,38 |

| | | | | |
|----|--|----------|-----------|------------|
| 41 | | 615,345 | 16096,728 | 913624,14 |
| 41 | | 615,345 | 23750,071 | 3974961,03 |
| 42 | | 2278,601 | 13747,258 | 598286,43 |
| 42 | | 2278,601 | 26099,541 | 4342686,63 |
| 43 | | 799,905 | 16703,308 | 1390681,41 |
| 43 | | 799,905 | 23143,490 | 3966754,31 |
| 44 | | 910,363 | 16774,755 | 1141261,47 |
| 44 | | 910,363 | 23072,043 | 3660176,81 |
| 45 | | 3888,451 | 17599,291 | 386661,77 |
| 45 | | 3888,451 | 27610,068 | 4390972,50 |
| 46 | | 1994,865 | 20080,981 | 2068139,77 |
| 46 | | 1994,865 | 25128,378 | 4087098,81 |
| 47 | | 93,936 | 20848,650 | 1999607,20 |
| 47 | | 93,936 | 24360,709 | 3404430,94 |
| 48 | | 4478,268 | 16420,460 | 701034,30 |
| 48 | | 4478,268 | 23639,139 | 3588506,13 |
| 49 | | 2247,830 | 18217,017 | 1973803,78 |
| 49 | | 2247,830 | 21842,583 | 3424030,09 |
| 50 | | 374,348 | 18947,625 | 1942843,11 |
| 50 | | 374,348 | 21111,974 | 2808582,59 |
| 51 | | 3489,219 | 17702,741 | 1883529,03 |
| 51 | | 3489,219 | 22356,858 | 3145175,94 |
| 52 | | 1585,386 | 19004,485 | 2268142,13 |
| 52 | | 1585,386 | 21055,114 | 3088393,78 |
| 53 | | 843,055 | 20017,225 | 2337727,75 |
| 53 | | 843,055 | 20042,344 | 2347763,63 |
| 54 | | 8198,386 | 14777,698 | 1025441,20 |
| 54 | | 8198,386 | 18312,701 | 2439442,38 |
| 55 | | 6617,408 | 16166,954 | 2131570,63 |
| 55 | | 6617,408 | 16923,446 | 2433967,56 |
| 56 | | 5777,07 | 17881,532 | 2290730,75 |
| 56 | | 5777,077 | 15208,868 | 1221665,36 |

$$\frac{4}{3} e_p + \frac{3}{2} N_w$$

| | | | | |
|---|--|------------|----------|-----------|
| 1 | | 156406,732 | 2200,341 | 223348,26 |
| 1 | | 156406,732 | 2200,341 | 436754,10 |
| 2 | | 138627,781 | 4838,074 | 733599,35 |
| 2 | | 138627,781 | 4838,074 | 911345,92 |
| 3 | | 357479,992 | 311,915 | 30227,26 |
| 3 | | 357479,992 | 311,915 | 63347,37 |
| 4 | | 314993,969 | 785,290 | 119049,74 |
| 4 | | 314993,969 | 785,290 | 147948,70 |
| 5 | | 375480,035 | 311,923 | 30228,40 |
| 5 | | 375480,035 | 311,923 | 63348,40 |
| 6 | | 314994,016 | 785,296 | 119050,85 |
| 6 | | 314994,016 | 785,296 | 147949,64 |

| | | | | |
|----|--|------------|----------|------------|
| 7 | | 156406,662 | 2200,335 | 223347,23 |
| 7 | | 156406,662 | 2200,335 | 436753,27 |
| 8 | | 138627,717 | 4838,070 | 733598,55 |
| 8 | | 138627,717 | 4838,070 | 911345,21 |
| 9 | | 111951,496 | 4351,123 | 793336,20 |
| 9 | | 111951,496 | 4351,123 | 738259,08 |
| 10 | | 93771,134 | 3957,451 | 693249,99 |
| 10 | | 93771,134 | 3957,451 | 699772,73 |
| 11 | | 75343,896 | 5155,495 | 838083,91 |
| 11 | | 75343,896 | 5155,495 | 976650,45 |
| 12 | | 251049,320 | 505,450 | 104153,93 |
| 12 | | 251049,320 | 505,450 | 73764,30 |
| 13 | | 209459,490 | 156,207 | 32499,49 |
| 13 | | 209459,490 | 156,207 | 22485,30 |
| 14 | | 168116,494 | 268,461 | 36299,69 |
| 14 | | 168116,494 | 268,461 | 58198,67 |
| 15 | | 251049,357 | 505,460 | 104155,67 |
| 15 | | 251049,357 | 505,460 | 73766,12 |
| 16 | | 209459,539 | 156,218 | 32501,57 |
| 16 | | 209459,539 | 156,218 | 22487,32 |
| 17 | | 168116,529 | 268,471 | 36301,53 |
| 17 | | 168116,529 | 268,471 | 58200,43 |
| 18 | | 111951,476 | 4351,115 | 793334,77 |
| 18 | | 111951,476 | 4351,115 | 738257,70 |
| 19 | | 93771,104 | 3957,442 | 693248,50 |
| 19 | | 93771,104 | 3957,442 | 699771,17 |
| 20 | | 75343,889 | 5155,489 | 838082,66 |
| 20 | | 75343,889 | 5155,489 | 976649,34 |
| 21 | | 54347,539 | 5180,058 | 925847,45 |
| 21 | | 54347,539 | 5180,058 | 897532,98 |
| 22 | | 35566,868 | 4859,740 | 861549,14 |
| 22 | | 35566,868 | 4859,740 | 849079,27 |
| 23 | | 16637,141 | 6231,032 | 1001476,27 |
| 23 | | 16637,141 | 6231,032 | 1191847,08 |
| 24 | | 121298,835 | 277,216 | 55099,38 |
| 24 | | 121298,835 | 277,216 | 42480,52 |
| 25 | | 79990,126 | 71,935 | 18022,33 |
| 25 | | 79990,126 | 71,935 | 7298,64 |
| 26 | | 38830,448 | 456,003 | 54900,30 |
| 26 | | 38830,448 | 456,003 | 105612,80 |
| 27 | | 121298,835 | 277,227 | 55101,42 |
| 27 | | 121298,835 | 277,227 | 42482,58 |
| 28 | | 79990,116 | 71,946 | 18024,41 |
| 28 | | 79990,116 | 71,946 | 7300,72 |
| 29 | | 38830,458 | 456,016 | 54902,57 |
| 29 | | 38830,458 | 456,016 | 105615,07 |
| 30 | | 54347,543 | 5180,050 | 925846,16 |
| 30 | | 54347,543 | 5180,050 | 897531,59 |
| 31 | | 35566,852 | 4859,732 | 861547,86 |
| 31 | | 35566,852 | 4859,732 | 849077,95 |

| | | | |
|----|-----------|-----------|------------|
| 32 | 16637,141 | 6231,023 | 1001474,76 |
| 32 | 16637,141 | 6231,023 | 1191845,42 |
| 33 | 2637,733 | 17778,951 | 1170353,45 |
| 33 | 2637,733 | 22397,689 | 3017848,69 |
| 34 | 2164,359 | 20088,321 | 2835451,56 |
| 34 | 2164,359 | 20088,318 | 2835450,56 |
| 35 | 2637,732 | 22397,692 | 3017849,88 |
| 35 | 2637,732 | 17778,947 | 1170351,84 |
| 36 | 486,951 | 26676,241 | 1704682,11 |
| 36 | 486,951 | 33737,677 | 4529256,63 |
| 37 | 207,111 | 30206,962 | 4277154,88 |
| 37 | 207,111 | 30206,957 | 4277153,00 |
| 38 | 486,947 | 33737,683 | 4529258,25 |
| 38 | 486,947 | 26676,237 | 1704680,14 |
| 39 | 393,672 | 18180,372 | 1431508,98 |
| 39 | 393,672 | 21666,427 | 2825931,25 |
| 40 | 44,430 | 19923,402 | 2719667,09 |
| 40 | 44,430 | 19923,402 | 2719665,38 |
| 41 | 393,672 | 21666,433 | 2825933,16 |
| 41 | 393,672 | 18180,366 | 1431506,19 |
| 42 | 1198,044 | 18427,218 | 1537856,66 |
| 42 | 1198,044 | 21419,581 | 2734802,00 |
| 43 | 1085,791 | 19923,403 | 2676017,97 |
| 43 | 1085,791 | 19923,396 | 2676015,38 |
| 44 | 1198,045 | 21419,587 | 2734804,16 |
| 44 | 1198,045 | 18427,211 | 1537853,89 |
| 45 | 24,563 | 20996,358 | 1902497,97 |
| 45 | 24,563 | 24213,001 | 3189154,97 |
| 46 | 15,806 | 22604,682 | 3075856,91 |
| 46 | 15,806 | 22604,677 | 3075854,97 |
| 47 | 24,562 | 24213,006 | 3189156,88 |
| 47 | 24,562 | 20996,353 | 1902495,47 |
| 48 | 320,318 | 18780,678 | 1759082,22 |
| 48 | 320,318 | 21278,921 | 2758379,25 |
| 49 | 115,037 | 20029,802 | 2697876,44 |
| 49 | 115,037 | 20029,797 | 2697874,51 |
| 50 | 320,318 | 21278,927 | 2758381,38 |
| 50 | 320,318 | 18780,672 | 1759079,42 |
| 51 | 1371,292 | 18929,722 | 1850555,63 |
| 51 | 1371,292 | 21129,877 | 2730617,81 |
| 52 | 987,244 | 20029,802 | 2668418,91 |
| 52 | 987,244 | 20029,797 | 2668416,72 |
| 53 | 1371,295 | 21129,884 | 2730620,09 |
| 53 | 1371,295 | 18929,715 | 1850552,64 |
| 54 | 6231,013 | 16637,142 | 1191846,98 |
| 54 | 6231,013 | 20341,257 | 2673493,16 |
| 55 | 5775,009 | 18489,201 | 2567880,28 |
| 55 | 5775,009 | 18489,198 | 2567879,19 |
| 56 | 6231,025 | 20341,261 | 2673494,22 |
| 56 | 6231,025 | 16637,139 | 1191845,48 |

$$\frac{1}{3} C_7 + A_{1/2} (C_2 + V_m)$$

| | | | |
|----|------------|-----------|------------|
| 1 | 323185,156 | 18719,148 | 1565624,25 |
| 1 | 323185,156 | 9959,172 | 963260,78 |
| 2 | 257733,270 | 1876,694 | 738284,19 |
| 2 | 257733,270 | 6552,129 | 1056062,73 |
| 3 | 821881,391 | 12753,238 | 1877439,52 |
| 3 | 821881,391 | 12753,238 | 1948531,92 |
| 4 | 646622,477 | 13422,649 | 2309926,25 |
| 4 | 646622,477 | 13422,649 | 2253774,38 |
| 5 | 803519,500 | 8907,353 | 1470212,94 |
| 5 | 803519,500 | 8907,353 | 1201992,81 |
| 6 | 633138,930 | 8890,717 | 1511705,36 |
| 6 | 633138,930 | 8890,717 | 1511705,36 |
| 7 | 380285,051 | 100,537 | 1477419,00 |
| 7 | 385285,051 | 28594,823 | 3507504,88 |
| 8 | 302782,465 | 19263,895 | 3731396,34 |
| 8 | 302782,465 | 22705,631 | 3860538,97 |
| 9 | 200570,756 | 2493,186 | 515248,75 |
| 9 | 200570,756 | 4532,533 | 714826,62 |
| 10 | 151157,307 | 4315,169 | 892976,64 |
| 10 | 151157,307 | 6564,449 | 1015971,35 |
| 11 | 100602,801 | 5177,044 | 1062447,38 |
| 11 | 100602,801 | 7613,764 | 1183603,23 |
| 12 | 494309,582 | 11277,709 | 1999619,63 |
| 12 | 494309,582 | 11277,709 | 1970133,97 |
| 13 | 364731,863 | 9676,911 | 1701921,25 |
| 13 | 364731,863 | 9676,911 | 1704351,34 |
| 14 | 235876,438 | 7764,899 | 1406513,14 |
| 14 | 235876,438 | 7764,899 | 1326731,44 |
| 15 | 485336,863 | 8379,309 | 1472895,06 |
| 15 | 485336,863 | 8379,309 | 1476621,59 |
| 16 | 359403,852 | 7211,932 | 1256980,63 |
| 16 | 359403,852 | 7211,932 | 1281619,31 |
| 17 | 233279,164 | 6105,247 | 1076823,80 |
| 17 | 233279,164 | 6105,247 | 1072223,08 |
| 18 | 233442,021 | 18901,656 | 3282664,53 |
| 18 | 233442,021 | 18403,816 | 3284681,97 |
| 19 | 173449,830 | 18279,928 | 3154004,22 |
| 19 | 173449,830 | 17731,354 | 3185374,34 |
| 20 | 114067,935 | 16442,675 | 2924388,75 |
| 20 | 114067,935 | 15848,615 | 2760153,97 |
| 21 | 67348,746 | 3210,247 | 811089,47 |
| 21 | 67348,746 | 5816,913 | 772852,14 |
| 22 | 43640,522 | 3491,146 | 805934,55 |
| 22 | 43640,522 | 6252,762 | 904741,39 |
| 23 | 18787,573 | 5930,792 | 1174508,88 |
| 23 | 18787,573 | 8832,363 | 1419847,83 |
| 24 | 154630,369 | 5274,183 | 928062,56 |
| 24 | 154630,369 | 5274,183 | 928449,72 |
| 25 | 98494,929 | 3023,076 | 515957,75 |
| 25 | 98494,929 | 3023,076 | 548164,87 |

| | | | | |
|----|--|------------|-----------|-------------|
| 26 | | 42758,720 | 1257,515 | 193659,81 |
| 26 | | 42758,720 | 1257,515 | 248985,33 |
| 27 | | 153655,654 | 5003985 | 848089,02 |
| 27 | | 153655,654 | 5003,985 | 913313,70 |
| 28 | | 98529,313 | 3370,046 | 573052,65 |
| 28 | | 98529,313 | 3370,046 | 613203,56 |
| 29 | | 43066,686 | 1034,408 | 185859,50 |
| 29 | | 43066,686 | 1034,408 | 178252,25 |
| 30 | | 74413,087 | 11895,723 | 2091360,19 |
| 30 | | 74413,087 | 11259,926 | 1985206,98 |
| 31 | | 46263,531 | 9475,194 | 1588724,67 |
| 31 | | 46263,531 | 8801,659 | 1629042,44 |
| 32 | | 19195,754 | 9053,745 | 1457682,80 |
| 32 | | 19195,754 | 8345,722 | 1605605,75 |
| 33 | | 24741,905 | 65451,877 | 1701544,91 |
| 33 | | 24741,905 | 97412,761 | 14485898,63 |
| 34 | | 25411,312 | 77846,139 | 10227440,88 |
| 34 | | 25411,312 | 85018,500 | 13096385,50 |
| 35 | | 25394,681 | 85362,052 | 10382687,50 |
| 35 | | 25394,681 | 77502,586 | 7238901,31 |
| 36 | | 5989,482 | 57162,400 | 1571311,58 |
| 36 | | 5989,482 | 85043,519 | 12723759,00 |
| 37 | | 3844,540 | 67269,348 | 8470366,75 |
| 37 | | 3844,540 | 74936,571 | 11537256,25 |
| 38 | | 3333,095 | 72865,483 | 8553222,88 |
| 38 | | 3333,095 | 69340,436 | 7143203,75 |
| 39 | | 2367,754 | 49413,487 | 1607803,39 |
| 39 | | 2367,754 | 72225,311 | 10732532,50 |
| 40 | | 766,963 | 57352,414 | 7060476,88 |
| 40 | | 766,963 | 64286,384 | 9834065,38 |
| 41 | | 400,575 | 61646,624 | 7100463,75 |
| 41 | | 400,575 | 59992,177 | 6438686,13 |
| 42 | | 3734,948 | 50554,433 | 2078419,08 |
| 42 | | 3734,948 | 71084,366 | 10290392,38 |
| 43 | | 1823,024 | 57771,048 | 7179529,75 |
| 43 | | 1823,024 | 63867,750 | 9618210,50 |
| 44 | | 716,063 | 62256,905 | 7259767,75 |
| 44 | | 716,063 | 59381,893 | 6109763,00 |
| 45 | | 6929,052 | 33254,050 | 1994693,44 |
| 45 | | 6929,052 | 44672,108 | 6561916,44 |
| 46 | | 4438,225 | 36573,979 | 4307122,69 |
| 46 | | 4438,225 | 41352,179 | 6218403,06 |
| 47 | | 3336,912 | 38271,301 | 4298091,31 |
| 47 | | 3336,912 | 39654,857 | 4251513,81 |
| 48 | | 5014,096 | 23708233 | 1578787,06 |
| 48 | | 5014,096 | 30664,966 | 4361479,94 |
| 49 | | 2763,065 | 25470,500 | 2917072,81 |
| 49 | | 2763,065 | 28902,699 | 4289952,69 |
| 50 | | 1129,051 | 26223,668 | 2803586,53 |
| 50 | | 1129,051 | 28149,531 | 3573931,56 |

| | | | | |
|----|--|-----------|-----------|------------|
| 51 | | 3157,646 | 24852,944 | 2079250,72 |
| 51 | | 3157,646 | 29520,254 | 3946174,59 |
| 52 | | 1392,052 | 26215,969 | 3204350,22 |
| 52 | | 1392,052 | 28157,229 | 3980854,03 |
| 53 | | 943,577 | 27305,432 | 3181791,22 |
| 53 | | 943,577 | 27067,766 | 3086724,84 |
| 54 | | 10283,802 | 18787,585 | 1419847,64 |
| 54 | | 10283,802 | 22482,015 | 2897619,69 |
| 55 | | 9026,162 | 20276,728 | 2648634,16 |
| 55 | | 9026,162 | 20992,872 | 2935092,03 |
| 56 | | 7991,635 | 22073,842 | 2756839,75 |
| 56 | | 7991,635 | 19195,757 | 1605605,86 |

$$\frac{4}{3} C_p + \frac{A}{12} (C_e + N_m)$$

| | | | | |
|----|--|------------|-----------|------------|
| | | | | |
| 1 | | 352791,884 | 8986,311 | 904862,40 |
| 1 | | 352791,844 | 8986,311 | 1791031,02 |
| 2 | | 281830,379 | 13895,378 | 2349191,63 |
| 2 | | 281830,379 | 13895,378 | 3375237,00 |
| 3 | | 817164,695 | 1770,988 | 175240,81 |
| 3 | | 817164,695 | 1770,988 | 356055,55 |
| 4 | | 643829,180 | 2509,647 | 446045,52 |
| 4 | | 643829,180 | 2509,647 | 407234,47 |
| 5 | | 817164,766 | 1770,998 | 175242,50 |
| 5 | | 817164,766 | 1770,998 | 356056,92 |
| 6 | | 643829,250 | 2509,651 | 446046,30 |
| 6 | | 643829,250 | 2509,651 | 407235,06 |
| 7 | | 352791,707 | 8986,302 | 904860,85 |
| 7 | | 352791,707 | 8986,302 | 1791029,83 |
| 8 | | 281830,254 | 13895,375 | 2349191,16 |
| 8 | | 281830,254 | 13895,375 | 2375236,50 |
| 9 | | 218679,209 | 11113,678 | 1930648,28 |
| 9 | | 218679,209 | 11113,678 | 1981366,55 |
| 10 | | 163959,705 | 11724,104 | 2049519,75 |
| 10 | | 163959,705 | 11724,104 | 2077364,70 |
| 11 | | 108974,855 | 11280,380 | 2023269,72 |
| 11 | | 108974,855 | 11280,380 | 1947424,19 |
| 12 | | 493671,352 | 1439,010 | 261380,04 |
| 12 | | 493671,352 | 1439,010 | 245151,65 |
| 13 | | 365932,619 | 1222,027 | 220658,18 |
| 13 | | 365932,691 | 1222,027 | 20949548 |
| 14 | | 238459,270 | 816,205 | 162509,80 |
| 14 | | 238459,270 | 816,205 | 124794,38 |
| 15 | | 493671,430 | 1439,024 | 261382,30 |
| 15 | | 493671,430 | 1439,024 | 245154,09 |
| 16 | | 365932,758 | 1222,044 | 220661,21 |
| 16 | | 365932,758 | 1222,044 | 209498,41 |

| | | | | |
|----|--|-------------|-----------|-------------|
| 17 | | 238459,318 | 816,219 | 162512,20 |
| 17 | | 238459,318 | 816,219 | 124796,72 |
| 18 | | 218,679,172 | 1113,668 | 1930646,42 |
| 18 | | 218,679,172 | 1113,668 | 1981364,64 |
| 19 | | 163959,637 | 11724,091 | 2049517,59 |
| 19 | | 163959,637 | 11724,091 | 2077362,33 |
| 20 | | 108974,849 | 11280,372 | 2023268,14 |
| 20 | | 108974,849 | 11280,372 | 1947422,73 |
| 21 | | 72504,910 | 8055,648 | 1482260,66 |
| 21 | | 72504,910 | 8055,648 | 1353327,36 |
| 22 | | 46562,347 | 6977,744 | 1227078,27 |
| 22 | | 46562,347 | 6977,744 | 1229087,67 |
| 23 | | 20547,855 | 8421,383 | 1386948,09 |
| 23 | | 20547,855 | 8421,383 | 1577378,61 |
| 24 | | 158039,986 | 126,258 | 38306,44 |
| 24 | | 158039,986 | 126,258 | 6136,41 |
| 25 | | 102422,784 | 207,624 | 33038,10 |
| 25 | | 102422,784 | 207,624 | 40045,63 |
| 26 | | 46877,483 | 192,663 | 10493,00 |
| 26 | | 46877,483 | 192,663 | 57324,32 |
| 27 | | 158039,988 | 126,274 | 38309,29 |
| 27 | | 158039,988 | 126,274 | 6139,27 |
| 28 | | 102422,784 | 207,608 | 33035,20 |
| 28 | | 102422,784 | 207,608 | 40042,74 |
| 29 | | 46877,503 | 192,681 | 10496,17 |
| 29 | | 46877,503 | 192,681 | 57327,55 |
| 30 | | 72504,925 | 8055,637 | 1482258,92 |
| 30 | | 72504,925 | 8055,637 | 1353325,47 |
| 31 | | 46562,336 | 6977,734 | 1227076,50 |
| 31 | | 46562,336 | 6977,734 | 1229085,84 |
| 32 | | 20547,850 | 8421,370 | 1386946,02 |
| 32 | | 20547,850 | 8421,370 | 1577376,30 |
| 33 | | 4909,067 | 70961,458 | 4140222,59 |
| 33 | | 4909,067 | 91903,180 | 12516911,75 |
| 34 | | 4170,408 | 81432,321 | 11714811,60 |
| 34 | | 4170,408 | 81432,317 | 11714809,75 |
| 35 | | 4909,061 | 91903,184 | 12516913,10 |
| 35 | | 4909,061 | 70961,454 | 4140221,13 |
| 36 | | 2781,700 | 63151,080 | 4305885,25 |
| 36 | | 2781,700 | 79054,839 | 10667388,75 |
| 37 | | 1711,063 | 71102,963 | 9998776,13 |
| 37 | | 1711,063 | 71102,956 | 9998773,25 |
| 38 | | 2781,690 | 79054,844 | 10667390,63 |
| 38 | | 2781,690 | 63151,075 | 4305883,25 |
| 39 | | 610,425 | 54719,531 | 4030886,16 |
| 39 | | 610,425 | 66919,268 | 8910780,50 |
| 40 | | 827,406 | 60819,402 | 8444969,88 |
| 40 | | 827,406 | 60819,396 | 8444967,50 |
| 41 | | 610,426 | 66919,274 | 8910782,88 |
| 41 | | 610,426 | 54719,523 | 4030882,25 |

| | | | | |
|----|--|----------|-----------|------------|
| 42 | | 443,723 | 54984,794 | 4100634,53 |
| 42 | | 443,723 | 66654,004 | 8768318,38 |
| 43 | | 37,898 | 60819,404 | 8396315,00 |
| 43 | | 37,898 | 60819,394 | 8768321,50 |
| 44 | | 443,724 | 66654,013 | 8768321,50 |
| 44 | | 443,724 | 54984,786 | 4100630,66 |
| 45 | | 3224,733 | 36469,941 | 3429685,00 |
| 45 | | 3224,733 | 41456,218 | 5424195,81 |
| 46 | | 2534,790 | 38963,083 | 5261094,88 |
| 46 | | 2534,790 | 38963,076 | 5261092,25 |
| 47 | | 3224,734 | 41456,225 | 5424198,31 |
| 47 | | 3224,734 | 36469,934 | 3429681,59 |
| 48 | | 1077,904 | 25942,573 | 2580405,75 |
| 48 | | 1077,904 | 28430,625 | 3575626,53 |
| 49 | | 744,021 | 27186,603 | 3602528,25 |
| 49 | | 744,021 | 27186,596 | 3602525,25 |
| 50 | | 1077,903 | 28430,634 | 3575629,41 |
| 50 | | 1077,903 | 25942,565 | 2580401,94 |
| 51 | | 1443,638 | 26014,486 | 2616035,88 |
| 51 | | 1443,638 | 28358,712 | 3553726,25 |
| 52 | | 1043,351 | 27186,603 | 3583278,91 |
| 52 | | 1043,351 | 27186,595 | 3583275,75 |
| 53 | | 1443,644 | 28358,721 | 3553729,31 |
| 53 | | 1443,644 | 26014,477 | 2616031,78 |
| 54 | | 8421,355 | 20547,858 | 1577378,45 |
| 54 | | 8421,355 | 24402,381 | 3119187,75 |
| 55 | | 8228,691 | 22475,122 | 3061863,31 |
| 55 | | 8228,691 | 22475,118 | 3061861,72 |
| 56 | | 8421,372 | 24402,386 | 3119189,16 |
| 56 | | 8421,372 | 20547,854 | 1577376,36 |

$$\frac{1}{3} \text{Cpt} \frac{17}{12} (Vm + Nm)$$

| | | | | |
|---|--|------------|-----------|------------|
| 1 | | 127551,378 | 25504,161 | 2247040,59 |
| 1 | | 127551,378 | 3174,158 | 390826,80 |
| 2 | | 115280,538 | 7178,399 | 876977,21 |
| 2 | | 115280,538 | 2502,964 | 407407,52 |
| 3 | | 363894,785 | 11293,517 | 1732360,11 |
| 3 | | 363894,785 | 11293,517 | 1655694,91 |
| 4 | | 319486,836 | 11696,766 | 1982702,19 |
| 4 | | 319486,836 | 11696,766 | 1994198,20 |
| 5 | | 345532,875 | 10367,077 | 1615292,84 |
| 5 | | 345532,875 | 10367,077 | 1494830,11 |
| 6 | | 306003,277 | 10616,598 | 1838929,02 |
| 6 | | 306003,277 | 10616,598 | 1770714,38 |

| | | | | |
|----|--|------------|-----------|------------|
| 7 | | 184651,340 | 6885,547 | 796003,10 |
| 7 | | 184651,340 | 21809,812 | 2153417,63 |
| 8 | | 160329,791 | 10208,799 | 2116134,53 |
| 8 | | 160329,791 | 13650,536 | 2397068,44 |
| 9 | | 94590,354 | 4266,341 | 621575,15 |
| 9 | | 84590,354 | 2226,993 | 527702,93 |
| 10 | | 81712,324 | 3446,794 | 462522,26 |
| 10 | | 81712,324 | 1197,514 | 360740,80 |
| 11 | | 67710,267 | 942,555 | 121786,70 |
| 11 | | 67710,267 | 1494,165 | 213738,49 |
| 12 | | 253389,678 | 10342,025 | 1842053,05 |
| 12 | | 253389,678 | 10342,025 | 1798339,83 |
| 13 | | 209964,518 | 8607,852 | 1513225,66 |
| 13 | | 209964,518 | 8607,852 | 1516738,16 |
| 14 | | 167244,678 | 7212,904 | 1279580,95 |
| 14 | | 167244,678 | 7212,904 | 1259361,27 |
| 15 | | 244416,918 | 9314,995 | 1630462,08 |
| 15 | | 244416,918 | 9314,995 | 1648416,28 |
| 16 | | 204636,486 | 8280,995 | 1445677,09 |
| 16 | | 204636,486 | 8280,995 | 1469233,31 |
| 17 | | 164647,391 | 6657,245 | 1203756,45 |
| 17 | | 164647,391 | 6657,245 | 1139593,73 |
| 18 | | 127461,633 | 12142,132 | 2145841,00 |
| 18 | | 127461,633 | 11644,291 | 2042152,86 |
| 19 | | 104004,884 | 10517,969 | 1798505,92 |
| 19 | | 104004,884 | 9969,394 | 1808662,92 |
| 20 | | 81175,399 | 10323,078 | 1740154,92 |
| 20 | | 81175,399 | 9729,018 | 1790289,52 |
| 21 | | 49924,767 | 341,964 | 255766,53 |
| 21 | | 49924,767 | 2948,629 | 318539,32 |
| 22 | | 33373,565 | 1364,633 | 440191,03 |
| 22 | | 33373,565 | 4126,249 | 521952,39 |
| 23 | | 15583,384 | 3896,101 | 805091,98 |
| 23 | | 15583,384 | 6797,673 | 1073053,53 |
| 24 | | 119605,265 | 5421,962 | 944249,13 |
| 24 | | 119605,265 | 5421,962 | 964281,38 |
| 25 | | 77783,118 | 3289,447 | 565290,95 |
| 25 | | 77783,118 | 3289,447 | 592594,22 |
| 26 | | 36454,600 | 1550,630 | 240309,60 |
| 26 | | 36454,600 | 1550,630 | 305512,09 |
| 27 | | 118630,551 | 4856,210 | 831903,20 |
| 27 | | 118630,551 | 4856,210 | 877482,76 |
| 28 | | 77817,563 | 3103,679 | 523720,18 |
| 28 | | 77817,563 | 3103,679 | 568774,94 |
| 29 | | 36762,556 | 741,298 | 139210,53 |
| 29 | | 36762,556 | 741,298 | 121726,36 |
| 30 | | 56989,096 | 9027,442 | 1536037,64 |
| 30 | | 56989,096 | 8391,645 | 1530894,61 |
| 31 | | 35996,569 | 7348,683 | 1222981,58 |
| 31 | | 35996,569 | 6675,149 | 1246253,88 |

| | | | | |
|----|--|-----------|-----------|------------|
| 32 | | 15991,569 | 7019,057 | 1088266,41 |
| 32 | | 15991,569 | 6311,034 | 1258812,05 |
| 33 | | 27011,985 | 12270,840 | 1267804,02 |
| 33 | | 27011,985 | 27905,800 | 4986179,94 |
| 34 | | 27415,231 | 16502,139 | 1347782,95 |
| 34 | | 27415,231 | 23674,500 | 4216727,81 |
| 35 | | 27664,756 | 15855,091 | 882968,87 |
| 35 | | 27664,756 | 24321,549 | 4269552,19 |
| 36 | | 3693,915 | 20690,118 | 1028982,54 |
| 36 | | 3693,915 | 39723,801 | 6584490,50 |
| 37 | | 2339,173 | 26373,347 | 2748240,00 |
| 37 | | 2339,173 | 34040,573 | 5815130,44 |
| 38 | | 1037,534 | 27545,765 | 2413954,09 |
| 38 | | 1037,534 | 32868,154 | 4542909,56 |
| 39 | | 3370,190 | 12878,051 | 990225,01 |
| 39 | | 3370,190 | 26968,748 | 4646054,13 |
| 40 | | 1636,023 | 16456,413 | 1334488,58 |
| 40 | | 1636,023 | 23390,386 | 4108077,81 |
| 41 | | 601,862 | 16390,057 | 1013984,93 |
| 41 | | 601,862 | 23456,742 | 3840658,72 |
| 42 | | 2092,583 | 14002,019 | 482527,25 |
| 42 | | 2092,583 | 25844,780 | 4254577,31 |
| 43 | | 697,724 | 16875,047 | 1458259,13 |
| 43 | | 697,724 | 22971,752 | 3896941,28 |
| 44 | | 926,303 | 17017,317 | 1223951,88 |
| 44 | | 926,303 | 22829,482 | 3548817,63 |
| 45 | | 3677,736 | 17785,502 | 469505,65 |
| 45 | | 3677,736 | 27423,857 | 4324848,00 |
| 46 | | 1886,682 | 20215,578 | 2121237,91 |
| 46 | | 1886,682 | 24993,781 | 4032518,97 |
| 47 | | 85,596 | 21023,049 | 2061022,34 |
| 47 | | 85,596 | 24186,310 | 3326326,84 |
| 48 | | 4272,325 | 16551,208 | 758730,70 |
| 48 | | 4272,325 | 23508,392 | 3541604,28 |
| 49 | | 2139,886 | 18313,698 | 2012032,27 |
| 49 | | 2139,886 | 21745,901 | 3384912,97 |
| 50 | | 387,281 | 19067,092 | 1983710,19 |
| 50 | | 387,281 | 20992,507 | 2753876,13 |
| 51 | | 3065,824 | 17790,177 | 1327044,78 |
| 51 | | 3065,824 | 22269,422 | 3118742,47 |
| 52 | | 1326,974 | 19059,168 | 2285838,94 |
| 52 | | 1326,974 | 21000,431 | 3062343,63 |
| 53 | | 1035,396 | 20054,598 | 2354358,38 |
| 53 | | 1035,396 | 20054,001 | 2334519,91 |
| 54 | | 8249,119 | 15583,395 | 1073053,41 |
| 54 | | 8249,119 | 19347,326 | 2578626,66 |
| 55 | | 6698,363 | 17107,287 | 2273114,44 |
| 55 | | 6698,363 | 17823,433 | 2559572,75 |
| 56 | | 5956,947 | 18939,153 | 2437846,41 |
| 56 | | 5956,947 | 15991,567 | 1258812,16 |

$$G + P + 1.75 V_n$$

| Barres | Joints | Effort - Normal | Effort - tranchant | Moment |
|--------|--------|-----------------|--------------------|-------------|
| 1 | 1 | 220220,506 | 27709,777 | 2 396637,94 |
| 1 | 5 | 220220,506 | 7633,222 | 262167,24 |
| 2 | 5 | 176188,793 | 4793,344 | 295597,38 |
| 2 | 9 | 176188,793 | 968,635 | 90842,03 |
| 3 | 2 | 600145,289 | 14795,803 | 2 222558,66 |
| 3 | 6 | 600145,289 | 14795,803 | 2 216182,28 |
| 4 | 6 | 473684,574 | 15252,258 | 2616580,03 |
| 4 | 10 | 473684,574 | 15252,258 | 2569187,81 |
| 5 | 3 | 577516,164 | 11898,591 | 1903070,16 |
| 5 | 7 | 577516,164 | 11898,591 | 1666507,28 |
| 6 | 7 | 457067,496 | 12246,610 | 2093177,48 |
| 6 | 11 | 457067,496 | 12246,610 | 2070669,91 |
| 7 | 4 | 290590,164 | 4764,302 | 1353592,11 |
| 7 | 8 | 290590,164 | 30599,698 | 3397679,88 |
| 8 | 8 | 231707,229 | 16634,544 | 3393097,34 |
| 8 | 12 | 231707,229 | 20876,121 | 3547062,91 |
| 9 | 9 | 137822,529 | 2586,700 | 346387,23 |
| 9 | 13 | 137822,529 | 73,420 | 129744,42 |
| 10 | 13 | 104956,436 | 680,678 | 51873,18 |
| 10 | 17 | 104956,436 | 2091,322 | 189172,49 |
| 11 | 17 | 70810,942 | 673,588 | 281689,17 |
| 11 | 21 | 70810,942 | 3676,588 | 477617,50 |
| 12 | 10 | 362239,242 | 13160,345 | 2330863,81 |
| 12 | 14 | 362239,242 | 13160,345 | 2301577,56 |
| 13 | 14 | 268038,070 | 11284,289 | 1981863,84 |
| 13 | 18 | 268038,070 | 11284,289 | 1990206,05 |
| 14 | 18 | 174600,266 | 9146,538 | 1648498,38 |
| 14 | 22 | 174600,266 | 9146,538 | 1571083,14 |
| 15 | 11 | 351181,277 | 11064,859 | 1948644,73 |
| 15 | 15 | 351181,277 | 11064,859 | 1946185,69 |
| 16 | 15 | 261471,828 | 9529,433 | 1664671,58 |
| 16 | 19 | 261471,828 | 9529,433 | 1689688,72 |
| 17 | 19 | 171399,375 | 7946,958 | 1411953,16 |
| 17 | 23 | 171399,375 | 7946,958 | 1385375,94 |
| 18 | 12 | 178332,906 | 17635,011 | 3064161025 |
| 18 | 16 | 178332,906 | 17021,475 | 3037331169 |
| 19 | 16 | 132429,648 | 16529,419 | 2838351281 |
| 19 | 20 | 132429,648 | 15853,359 | 2862733163 |
| 20 | 20 | 87405,300 | 14557,292 | 2576335,94 |
| 20 | 24 | 87405,300 | 13825,176 | 2420550,41 |
| 21 | 21 | 48085,139 | 43,732 | 261992,85 |
| 21 | 25 | 48085,139 | 3168,708 | 282040,07 |
| 22 | 25 | 31669,089 | 839,465 | 385950,14 |
| 22 | | 31669,089 | 4242,865 | 503299,75 |
| 23 | | 13854,728 | 3325,745 | 779931,20 |
| 23 | | 13854,728 | 6901,625 | 1015207,18 |
| 24 | | 114722,398 | 6442,975 | 1125479,44 |
| 24 | | 114722,398 | 6442,975 | 1142447,61 |
| 25 | | 72953,385 | 3824,506 | 652311,73 |
| 25 | | 72953,385 | 3824,506 | 693914,55 |
| 26 | | 31663,955 | 1501,794 | 238154,61 |
| 26 | | 31663,955 | 1501,794 | 290476,84 |

$$G + P + 1,75 V_n$$

| | | | |
|----|------------|-----------|-------------|
| 27 | 113512,165 | 6223,789 | 1063441,08 |
| 27 | 113521,165 | 6223,789 | 1127332,58 |
| 28 | 72995,759 | 4054,348 | 689779,90 |
| 28 | 72995,759 | 4054,348 | 737350,69 |
| 29 | 32043,480 | 1322,768 | 229564,33 |
| 29 | 32043,480 | 1322,768 | 236049,86 |
| 30 | 56791,184 | 10660,204 | 1839792,06 |
| 30 | 56791,184 | 9876,652 | 1776140,22 |
| 31 | 34901,675 | 8214,176 | 1350657,09 |
| 31 | 34901,675 | 7384,116 | 1395625,13 |
| 32 | 14357,770 | 7174,460 | 1128914,11 |
| 32 | 14357,770 | 6301,896 | 1244135,28 |
| 33 | 32957,551 | 44031,709 | 33430,18 |
| 33 | 32957,551 | 72576,291 | 11384402,63 |
| 34 | 33414,002 | 53884,411 | 6551640,50 |
| 34 | 33414,002 | 62723,589 | 10087312,38 |
| 35 | 33762,026 | 57725,063 | 6327627,75 |
| 35 | 33762,026 | 58882,937 | 6790777,25 |
| 36 | 5934,520 | 38366,169 | 255545,06 |
| 36 | 5934,520 | 64657,831 | 10261119,63 |
| 37 | 3842,604 | 46787,477 | 5361069,25 |
| 37 | 3842,604 | 56236,523 | 9140687,88 |
| 38 | 2660,809 | 49649,687 | 5121373,50 |
| 38 | 2660,809 | 53374,313 | 6611224,31 |
| 39 | 3257,385 | 32866,126 | 77871,03 |
| 39 | 3257,385 | 54693,873 | 8653227,88 |
| 40 | 1381,339 | 39507,305 | 4369786,25 |
| 40 | 1381,339 | 48052,695 | 7787942,31 |
| 41 | 154,287 | 41656,752 | 4177085,69 |
| 41 | 154,287 | 45903,247 | 5875683,44 |
| 42 | 4310,833 | 34145,431 | 470862,04 |
| 42 | 4310,833 | 53414,568 | 8178517,06 |
| 43 | 2173,191 | 40023,227 | 4539814,00 |
| 43 | 2173,191 | 47536,772 | 7545232,31 |
| 44 | 590,376 | 42535,651 | 4443590,94 |
| 44 | 590,376 | 45024,348 | 5439069,31 |
| 45 | 6832,774 | 22725,801 | 739611,17 |
| 45 | 6832,774 | 34306,198 | 5371770,06 |
| 46 | 4129,073 | 25571,684 | 2675207,88 |
| 46 | 4129,073 | 31460,315 | 5030660,25 |
| 47 | 2405,841 | 26417,877 | 2581843,63 |
| 47 | 2405,841 | 30614,123 | 4260342,06 |
| 48 | 5642,326 | 16416,055 | 667990,63 |
| 48 | 5642,326 | 23783,944 | 3615146,16 |
| 49 | 3023,951 | 17985,086 | 1820387,22 |
| 49 | 3023,951 | 22214,914 | 3512318,06 |
| 50 | 854,419 | 18310,510 | 1695205,75 |
| 50 | 854,419 | 21889,489 | 3126797,25 |

$$G + P + 1.75 V_n$$

| | | | | |
|----|--|----------|-----------|------------|
| 51 | | 4411,791 | 17814,358 | 1283231,45 |
| 51 | | 4411,791 | 22385,641 | 3111744,41 |
| 52 | | 2089,038 | 18903,799 | 2179675,59 |
| 52 | | 2089,038 | 21296,200 | 3136636,03 |
| 53 | | 642,530 | 19656,103 | 2169721,25 |
| 53 | | 642,530 | 20543,897 | 2524838,78 |
| 54 | | 8690,383 | 13854,740 | 1015207,04 |
| 54 | | 8690,383 | 16785,260 | 2187414,75 |
| 55 | | 7188,435 | 14878,713 | 1896937,75 |
| 55 | | 7188,435 | 15761,287 | 2249967,53 |
| 56 | | 5865,521 | 16282,228 | 2013917,70 |
| 56 | | 5865,521 | 14357,772 | 1244135,39 |
| | | | | |
| | | | | |

$$\frac{4}{3}(C_p + C_e + V_m + \frac{N_m}{2})$$

| | | | |
|----|------------|------------|------------|
| 1 | 313300,348 | 17392,392 | 1452149,42 |
| 1 | 313300,348 | 9468,288 | 930063,42 |
| 2 | 250868,646 | 2066,405 | 738289,19 |
| 2 | 250868,646 | 6445,510 | 1047274,58 |
| 3 | 793997,164 | 11964,111 | 1760302,58 |
| 3 | 793997,164 | 11964,111 | 1828930,81 |
| 4 | 627154,773 | 18620,297 | 2170859,53 |
| 4 | 627154,773 | 12620,297 | 2120041,47 |
| 5 | 776799,055 | 8323,624 | 1375174,59 |
| 5 | 776799,055 | 8323,624 | 1121912,66 |
| 6 | 614525,820 | 8278,841 | 1408555,83 |
| 6 | 614525,820 | 8278,841 | 1406250,08 |
| 7 | 366781,230 | 46,166 | 1398024,75 |
| 7 | 366781,230 | 26928,806 | 3313052,53 |
| 8 | 293062,613 | 18351,599 | 3541696,97 |
| 8 | 293062,613 | 21575,197 | 3674002,22 |
| 9 | 195636,027 | 2613,707 | 533319,52 |
| 9 | 195636,027 | 4523,799 | 716839,17 |
| 10 | 148198,742 | 4296,776 | 881021,38 |
| 10 | 148198,742 | 6403,496 | 996733,48 |
| 11 | 99675,761 | 5180,503 | 1049095,69 |
| 11 | 99675,761 | 7462,782 | 1171314,05 |
| 12 | 480445,020 | 10593,023 | 1879273,77 |
| 12 | 480445,020 | 10593,023 | 1849570,28 |
| 13 | 356447,398 | 9070,532 | 1595622,86 |
| 13 | 356447,398 | 9070,532 | 1597203,91 |
| 14 | 233143,242 | 7285,893 | 1319009,66 |
| 14 | 233143,242 | 7285,893 | 1245624,72 |
| 15 | 472040,996 | 7818,126 | 1373851,77 |
| 15 | 472040,996 | 7818,126 | 1378728,73 |
| 16 | 351457,078 | 6747,891 | 1175742,78 |
| 16 | 351457,078 | 6747,891 | 1199514,88 |
| 17 | 230710,586 | 5705,158 | 1006932,48 |
| 17 | 230710,586 | 5705,158 | 1004283,19 |
| 18 | 226423,900 | 17982,202 | 312533,556 |
| 18 | 226423,900 | 17515,915 | 312381,622 |
| 19 | 169078,355 | 77376,444 | 2998744,22 |
| 19 | 169078,355 | 16862,638 | 3028638,94 |
| 20 | 112287,470 | 15732,114 | 2793026,56 |
| 20 | 112287,470 | 102287,470 | 2647944,44 |
| 21 | 67194,010 | 3341,762 | 819357,84 |
| 21 | 67194,010 | 5783,216 | 782106,51 |
| 22 | 43793,651 | 3570,123 | 809263,76 |
| 22 | 43793,651 | 6156,707 | 898675,97 |
| 23 | 19296,043 | 6091,874 | 1178193,55 |
| 23 | 19296,043 | 8809,543 | 1440748,14 |
| 24 | 154083,852 | 4954,573 | 872180,53 |
| 24 | 154083,852 | 4954,573 | 871829,09 |

| | | | |
|----|-------------|------------|--------------|
| 25 | 98892, 576 | 2823, 996 | 482822, 22 |
| 25 | 98892, 576 | 2823, 996 | 511224, 50 |
| 26 | 44100, 307 | 1233, 887 | 186911, 66 |
| 26 | 44100, 307 | 1233, 887 | 247416, 48 |
| 27 | 153170, 914 | 4672, 161 | 791397, 85 |
| 27 | 153170, 914 | 4672, 161 | 853202, 64 |
| 28 | 98924, 781 | 3163, 926 | 537166, 18 |
| 28 | 98924, 781 | 3163, 926 | 576935, 86 |
| 29 | 44388, 754 | 912, 772 | 168553, 39 |
| 29 | 44388, 754 | 912, 772 | 152742, 44 |
| 30 | 73810, 609 | 11476, 749 | 2018484, 50 |
| 30 | 73810, 609 | 10881, 249 | 1917627, 80 |
| 31 | 46250, 412 | 9174, 899 | 1542440, 30 |
| 31 | 46250, 412 | 8544, 054 | 1577070, 47 |
| 32 | 19678, 353 | 9016, 893 | 1443419, 67 |
| 32 | 19678, 353 | 8353, 744 | 1614732, 55 |
| 33 | 23005, 431 | 62431, 695 | 1668352, 58 |
| 33 | 23005, 431 | 92656, 943 | 13758452, 13 |
| 34 | 23661, 614 | 74185, 432 | 9758662, 00 |
| 34 | 23661, 614 | 80903, 206 | 12445772, 00 |
| 35 | 23616, 834 | 81370, 012 | 9919303, 75 |
| 35 | 23616, 834 | 73718, 626 | 6854749, 56 |
| 36 | 5639, 983 | 55232, 512 | 1580594, 16 |
| 36 | 5639, 983 | 81789, 406 | 12203352, 00 |
| 37 | 3612, 707 | 64920, 323 | 8204138, 44 |
| 37 | 3612, 707 | 72101, 596 | 11076647, 50 |
| 38 | 3151, 959 | 70383, 219 | 8297145, 88 |
| 38 | 3151, 959 | 16638, 699 | 6799338, 00 |
| 39 | 2241, 120 | 47437, 320 | 1597860, 66 |
| 39 | 2241, 120 | 69017, 478 | 10229923, 00 |
| 40 | 718, 635 | 54980, 152 | 6784729, 63 |
| 40 | 718, 635 | 61474, 646 | 9382527, 13 |
| 41 | 351, 751 | 59109, 268 | 68280556, 13 |
| 41 | 351, 751 | 57345, 530 | 6122560, 44 |
| 42 | 3421, 749 | 48522, 912 | 2045829, 50 |
| 42 | 3421, 749 | 67931, 886 | 9809419, 13 |
| 43 | 1637, 193 | 55372, 254 | 6893207, 44 |
| 43 | 1637, 193 | 61082, 544 | 9177323, 63 |
| 44 | 594, 201 | 59663, 913 | 6970876, 56 |
| 44 | 594, 201 | 56790, 885 | 5821665, 38 |
| 45 | 6486, 486 | 32481, 748 | 1990674, 56 |
| 45 | 6486, 486 | 43370, 811 | 6346299, 50 |
| 46 | 4155, 063 | 35688, 602 | 4228494, 50 |
| 46 | 4155, 063 | 40163, 958 | 6028637, 13 |
| 47 | 3122, 017 | 37375, 689 | 4225056, 50 |
| 47 | 3122, 017 | 38476, 870 | 4666428, 63 |
| 48 | 4731, 035 | 23400, 367 | 1591370, 61 |
| 48 | 4731, 035 | 30065, 631 | 4257476, 31 |

| | | | |
|----|------------|------------|-------------|
| 49 | 2600, 530 | 25125, 667 | 2902825, 34 |
| 49 | 2600, 530 | 28340, 332 | 418891, 50 |
| 50 | 1092, 226 | 25905, 825 | 2798322, 84 |
| 50 | 1092, 226 | 27560, 174 | 3460062, 03 |
| 51 | 2720, 783 | 24497, 604 | 2076869, 95 |
| 51 | 2720, 783 | 28968, 395 | 3865186, 50 |
| 52 | 1130, 643 | 25823, 888 | 3167050, 66 |
| 52 | 1130, 643 | 27642, 110 | 3894339, 22 |
| 53 | 1120, 503 | 26893, 950 | 3149250, 19 |
| 53 | 1120, 503 | 26572, 049 | 3020489, 78 |
| 54 | 10168, 988 | 19296, 054 | 1440747, 98 |
| 54 | 10168, 988 | 23191, 785 | 2999040, 63 |
| 55 | 8934, 983 | 20908, 542 | 2751023, 94 |
| 55 | 8934, 983 | 21579, 297 | 3019925, 94 |
| 56 | 8022, 100 | 22809, 483 | 2867183, 47 |
| 56 | 8022, 100 | 19678, 356 | 1614732, 64 |

$$C_p + C_e + \frac{5}{3} N_n$$

| Barres | Joints | Efforts Normaux | Efforts tranchants | Moments |
|--------|--------|-----------------|--------------------|------------|
| 1 | | 256612,215 | 6434,153 | 647963,46 |
| 1 | | 256612,215 | 6434,153 | 1282282,58 |
| 2 | | 205790,713 | 10018,134 | 1689633,88 |
| 2 | | 205790,713 | 10018,134 | 1716531,53 |
| 3 | | 594116,828 | 1261,422 | 124786,91 |
| 3 | | 594116,828 | 1261,422 | 253639,72 |
| 4 | | 470026,316 | 1803,330 | 319572,93 |
| 4 | | 470026,316 | 1803,330 | 293559,26 |
| 5 | | 594116,883 | 1261,430 | 124788,22 |
| 5 | | 594116,883 | 1261,430 | 253640,79 |
| 6 | | 470026,359 | 1803,334 | 319573,61 |
| 6 | | 470026,359 | 1803,334 | 293559,83 |
| 7 | | 256612,117 | 6434,146 | 647962,27 |
| 7 | | 256612,117 | 6434,146 | 1282281,64 |
| 8 | | 205790,621 | 10018,131 | 1689633,45 |
| 8 | | 205790,621 | 10018,131 | 1716531,08 |
| 9 | | 160044,387 | 8036,761 | 1397881,20 |
| 9 | | 160044,387 | 8036,761 | 1431058,86 |
| 10 | | 120639,614 | 8449,456 | 1477092,50 |
| 10 | | 120639,614 | 8449,456 | 1497115,95 |
| 11 | | 81034,847 | 8194,634 | 1465680,36 |
| 11 | | 81034,847 | 8194,634 | 1418830,72 |
| 12 | | 361236,551 | 1035,458 | 188710,39 |
| 12 | | 361236,551 | 1035,458 | 175770,74 |
| 13 | | 269301,348 | 864,950 | 156431,75 |
| 13 | | 269301,348 | 864,950 | 148030,68 |
| 14 | | 177566,061 | 583,547 | 115487,35 |
| 14 | | 177566,061 | 583,547 | 89921,04 |
| 15 | | 361236,609 | 1035,468 | 188712,14 |
| 15 | | 361236,609 | 1035,468 | 175772,62 |
| 16 | | 269301,398 | 864,963 | 156434,05 |
| 16 | | 269301,398 | 864,963 | 148032,91 |
| 17 | | 177566,098 | 583,557 | 115489,21 |
| 17 | | 177566,098 | 583,557 | 89922,84 |
| 18 | | 160044,359 | 8036,753 | 1397879,75 |
| 18 | | 160044,359 | 8036,753 | 1431057,41 |
| 19 | | 120639,564 | 8449,446 | 1477090,84 |
| 19 | | 120639,564 | 8449,446 | 1497114,16 |
| 20 | | 81034,841 | 8194,627 | 1465679,14 |
| 20 | | 81034,841 | 8194,627 | 1418829,59 |
| 21 | | 54346,437 | 5926,785 | 1089001,98 |
| 21 | | 54346,437 | 5926,785 | 997226,34 |
| 22 | | 35177,418 | 5137,409 | 904992,52 |
| 22 | | 35177,418 | 5137,409 | 903375,38 |
| 23 | | 15934,372 | 6375,368 | 1039701,38 |
| 23 | | 15934,372 | 6375,368 | 1204428,22 |
| 24 | | 118706,481 | 99,105 | 29026,01 |
| 24 | | 118706,481 | 99,105 | 5858,96 |
| 25 | | 77575,522 | 155,315 | 24048,34 |
| 25 | | 77575,522 | 155,315 | 30622,59 |

$$C_p + C_e + 5/6 \cdot (2N_n)$$

| | | | |
|----|------------|-----------|------------|
| 26 | 36518,573 | 185,696 | 12136,11 |
| 26 | 36518,573 | 185,696 | 53228,76 |
| 27 | 118706,482 | 99,117 | 29028,20 |
| 27 | 118706,482 | 99,117 | 5861,15 |
| 28 | 77575,521 | 155,303 | 24046,12 |
| 28 | 77575,521 | 155,303 | 30620,38 |
| 29 | 36518,588 | 185,709 | 12138,52 |
| 29 | 36518,588 | 185,709 | 53231,21 |
| 30 | 54346,447 | 5926,777 | 1089000,66 |
| 30 | 54346,447 | 5926,777 | 997224,87 |
| 31 | 35177,411 | 5137,401 | 904991,16 |
| 31 | 35177,411 | 5137,401 | 903373,97 |
| 32 | 15934,368 | 6375,359 | 1039699,80 |
| 32 | 15934,368 | 6375,359 | 1204426,45 |
| 33 | 3583,980 | 50821,499 | 2971916,41 |
| 33 | 3583,980 | 65786,501 | 8957917,50 |
| 34 | 3042,072 | 58304,001 | 8384704,94 |
| 34 | 3042,072 | 58303,999 | 8384703,94 |
| 35 | 3583,976 | 65786,504 | 8957918,38 |
| 35 | 3583,976 | 50821,496 | 2971915,22 |
| 36 | 1981,372 | 45746,260 | 3114412,69 |
| 36 | 1981,372 | 57277,740 | 7727004,69 |
| 37 | 1213,500 | 51512,002 | 7244736,50 |
| 37 | 1213,500 | 51511,998 | 7244773,31 |
| 38 | 1981,365 | 57277,745 | 7727006,31 |
| 38 | 1981,365 | 45746,256 | 3114411,06 |
| 39 | 412,694 | 39404,792 | 2908151,25 |
| 39 | 412,694 | 48155,208 | 6408317,81 |
| 40 | 583,200 | 43780,002 | 6076114,69 |
| 40 | 583,200 | 43779,998 | 6076112,88 |
| 41 | 412,695 | 48155,214 | 6408319,75 |
| 41 | 412,695 | 39404,786 | 2908148,25 |
| 42 | 254,822 | 39604,729 | 2962796,38 |
| 42 | 254,822 | 47955,271 | 6303013,56 |
| 43 | 26,583 | 43780,004 | 6039496,94 |
| 43 | 26,583 | 43779,996 | 6039493,88 |
| 44 | 254,823 | 47955,278 | 6303015,94 |
| 44 | 254,823 | 39604,722 | 2962793,41 |
| 45 | 2267,849 | 26688,407 | 2507832,84 |
| 45 | 2267,849 | 30343,593 | 3969907,06 |
| 46 | 1783,410 | 28516,002 | 3850959,97 |
| 46 | 1783,410 | 28515,997 | 3850957,91 |
| 47 | 2267,850 | 30343,598 | 3969909,03 |
| 47 | 2267,850 | 26688,401 | 2507830,22 |
| 48 | 789,376 | 19169,025 | 1902218,94 |
| 48 | 789,376 | 21030,974 | 2646998,59 |
| 49 | 534,956 | 20100,003 | 2665188,00 |
| 49 | 534,956 | 20099,997 | 2665185,69 |
| 50 | 789,376 | 21030,981 | 2647000,81 |
| 50 | 789,376 | 19169,019 | 1902216,02 |

$$C_p + C_e + \frac{5}{3} N_m$$

| | | | | |
|----|--|----------|-----------|------------|
| 51 | | 1237,959 | 19243,043 | 1943076,83 |
| 51 | | 1237,959 | 20956,957 | 2628642,28 |
| 52 | | 896,948 | 20100,003 | 2647128,81 |
| 52 | | 896,948 | 20099,997 | 2647126,47 |
| 53 | | 1237,964 | 20956,964 | 2628644,69 |
| 53 | | 1237,964 | 19243,036 | 1943073,70 |
| 54 | | 6375,347 | 15934,374 | 1204428,11 |
| 54 | | 6375,347 | 19034,266 | 2444384,88 |
| 55 | | 6189,651 | 17484,322 | 2391156,06 |
| 55 | | 6189,651 | 17484,319 | 2391154,81 |
| 56 | | 6375,360 | 19034,269 | 2444385,97 |
| 56 | | 6375,360 | 15934,371 | 1204426,52 |

$$C_p + C_e + 5/6 N_n + 1,75 V_n$$

| Barres | Joints | Effort - Normal | Effort - tranchant | Moment |
|--------|--------|-----------------|--------------------|------------|
| 1 | 1 | 221210,363 | 27708,516 | 2396509,13 |
| 1 | 5 | 221210,363 | 7634,483 | 262416,70 |
| 2 | 5 | 177176,713 | 4790,432 | 295161,46 |
| 2 | 9 | 177176,713 | 971,548 | 91396,44 |
| 3 | 2 | 602382,477 | 14794,948 | 2222471,88 |
| 3 | 6 | 602382,477 | 14794,948 | 2216012,53 |
| 4 | 6 | 475923,695 | 15250,248 | 2616279,28 |
| 4 | 10 | 475923,695 | 15250,248 | 2568805,16 |
| 5 | 3 | 579753,352 | 11899,446 | 1903156,84 |
| 5 | 7 | 579753,352 | 11899,446 | 1666676,94 |
| 6 | 7 | 459306,617 | 12248,619 | 2093478,14 |
| 6 | 11 | 459306,617 | 12248,619 | 2071052,47 |
| 7 | 4 | 291580,020 | 4763,041 | 1353720,86 |
| 7 | 8 | 291580,020 | 30600,958 | 3397929,25 |
| 8 | 8 | 232695,146 | 16637,457 | 3393533,19 |
| 8 | 12 | 232695,146 | 20879,033 | 3547617,25 |
| 9 | 9 | 138807,080 | 2582,710 | 345744,05 |
| 9 | 13 | 138807,080 | 69,430 | 128983,04 |
| 10 | 13 | 105936,083 | 674,500 | 52888,74 |
| 10 | 17 | 105936,083 | 2097,500 | 190331,58 |
| 11 | 17 | 71783,788 | 680,552 | 282943,05 |
| 11 | 21 | 71783,788 | 3683,552 | 478815,08 |
| 12 | 10 | 364481,730 | 13157,548 | 2330415,28 |
| 12 | 14 | 364481,730 | 13157,548 | 2301041,66 |
| 13 | 14 | 270285,465 | 11280,023 | 1981156,48 |
| 13 | 18 | 270285,465 | 11280,023 | 1989411,61 |
| 14 | 18 | 176854,461 | 9140,937 | 1647547,05 |
| 14 | 22 | 176854,461 | 9140,937 | 1570062,84 |
| 15 | 11 | 353423,766 | 11067,655 | 1949093,17 |
| 15 | 15 | 353423,766 | 11067,655 | 1946721,52 |
| 16 | 15 | 263719,223 | 9533,698 | 1665378,83 |
| 16 | 19 | 263719,223 | 9533,698 | 1690483,06 |
| 17 | 19 | 173653,570 | 7952,558 | 1412904,38 |
| 17 | 23 | 173653,570 | 7952,558 | 1386396,14 |
| 18 | 12 | 179317,457 | 17639,000 | 3064894,34 |
| 18 | 16 | 179317,457 | 17025,465 | 3038093,00 |
| 19 | 16 | 133409,295 | 16535,596 | 2839367,31 |
| 19 | 20 | 133409,295 | 15859,536 | 2863892,66 |
| 20 | 20 | 88378,145 | 14564,256 | 2577589,72 |
| 20 | 24 | 88378,145 | 13832,140 | 2421747,91 |
| 21 | 21 | 49051,353 | 34,106 | 263429,24 |
| 21 | 25 | 49051,353 | 3178,334 | 283991,97 |
| 22 | 25 | 32628,888 | 828,255 | 385667,69 |
| 22 | 29 | 32628,888 | 4231,655 | 499636,41 |
| 23 | 29 | 14785,546 | 3530,820 | 801082,95 |
| 23 | 33 | 14785,546 | 7106,700 | 1066241,94 |
| 24 | 22 | 116983,225 | 6438,787 | 1124680,56 |
| 24 | 26 | 116983,225 | 6438,787 | 1141772,48 |
| 25 | 26 | 75220,626 | 3807,132 | 650036,18 |

$$C_p + C_e + 5/6 N_n + 1.75 V_n$$

| | | | | |
|----|--|------------|-----------|-------------|
| 25 | | 75220,626 | 3807,132 | 690074,27 |
| 26 | | 33960,177 | 1541,021 | 241109,01 |
| 26 | | 33960,177 | 1541,021 | 301330,44 |
| 27 | | 115781,991 | 6227,976 | 1064239,86 |
| 27 | | 115781,991 | 6227,976 | 1128007,59 |
| 28 | | 75263,000 | 4071,722 | 692055,34 |
| 28 | | 75263,000 | 4071,722 | 741190,86 |
| 29 | | 34339,703 | 1283,540 | 226609,83 |
| 29 | | 34339,703 | 1283,540 | 225196,14 |
| 30 | | 57757,397 | 10669,830 | 1841228,38 |
| 30 | | 57757,397 | 9886,278 | 1778092,05 |
| 31 | | 35861,474 | 8202,966 | 1350374,56 |
| 31 | | 35861,474 | 7372,906 | 1392261,72 |
| 32 | | 15288,588 | 7379,535 | 1150065,78 |
| 32 | | 15288,588 | 6506,971 | 1295169,97 |
| 33 | | 32955,900 | 44033,646 | 32744,81 |
| 33 | | 32955,900 | 72574,354 | 11383538,75 |
| 34 | | 33411,196 | 53884,411 | 6551247,19 |
| 34 | | 33411,196 | 62723,589 | 10086919,00 |
| 35 | | 33760,374 | 57723,126 | 6326764,00 |
| 35 | | 33760,374 | 58884,873 | 6791462,50 |
| 36 | | 5933,443 | 38369,538 | 254347,47 |
| 36 | | 5933,443 | 64654,462 | 10259622,38 |
| 37 | | 3840,740 | 46787,477 | 5360403,25 |
| 37 | | 3840,740 | 56236,523 | 9140021,75 |
| 38 | | 2659,732 | 49646,319 | 5119876,38 |
| 38 | | 2659,732 | 53377,682 | 6612421,75 |
| 39 | | 3255,198 | 32871,031 | 76094,09 |
| 39 | | 3255,198 | 54688,969 | 8651081,50 |
| 40 | | 1377,681 | 39507,305 | 4368883,19 |
| 40 | | 1377,681 | 48052,695 | 7787039,19 |
| 41 | | 156,474 | 41652,849 | 4174939,50 |
| 41 | | 156,474 | 45908,151 | 5877460,25 |
| 42 | | 4310,047 | 34152,233 | 473275,01 |
| 42 | | 4310,047 | 53407,767 | 8175488,69 |
| 43 | | 2171,070 | 40023,227 | 4538531,38 |
| 43 | | 2171,070 | 47536,772 | 7543949,56 |
| 44 | | 589,589 | 42528,850 | 4440562,69 |
| 44 | | 589,589 | 45031,149 | 5441482,13 |
| 45 | | 6830,113 | 22732,433 | 742245,14 |
| 45 | | 6830,113 | 34299,567 | 5369098,81 |
| 46 | | 4127,825 | 25571,685 | 2674355,78 |
| 46 | | 4127,825 | 31460,315 | 5029808,06 |
| 47 | | 2403,180 | 26411,246 | 2579172,47 |
| 47 | | 2403,180 | 30620,754 | 4262975,88 |
| 48 | | 5663,161 | 16422,471 | 669660,08 |
| 48 | | 5663,161 | 23777,529 | 3611683,34 |
| 49 | | 3031,600 | 17985,086 | 1819875,09 |
| 49 | | 3031,600 | 22214,913 | 3511805,81 |
| 50 | | 875,254 | 18304,095 | 1691743,06 |

$$C_p + C_e + \frac{5}{6} N_n + 1,75 V_n$$

| Barres | Joints | Effort - Normal | Effort - Tranchant | Moment |
|--------|--------|-----------------|--------------------|------------|
| 50 | 28 | 875,254 | 21895,904 | 3128466,53 |
| 51 | 29 | 4195,506 | 17843,339 | 1300719,86 |
| 51 | 30 | 4195,506 | 22356,660 | 3106048,09 |
| 52 | 30 | 1929,355 | 18903,800 | 2174865,19 |
| 52 | 31 | 1929,355 | 21296,200 | 3131825,53 |
| 53 | 31 | 858,815 | 19627,123 | 2164025,06 |
| 53 | 32 | 858,815 | 20572,877 | 2542327,03 |
| 54 | 33 | 8895,457 | 14785,558 | 1066241,80 |
| 54 | 34 | 8895,457 | 18005,802 | 2354339,03 |
| 55 | 34 | 7354,282 | 15954,393 | 2053008,42 |
| 55 | 35 | 7354,282 | 16836,967 | 2406038,19 |
| 56 | 35 | 6070,596 | 17502,770 | 2180842,03 |
| 56 | 36 | 6070,596 | 15288,590 | 1295170,08 |

PORTIOUE TRANSVERSAL B B

COMBINAISONS ...

$$\frac{2}{3} e_p + \frac{3}{2} e_e$$

| barre | Effort normal | Effort tranchant | Moment |
|-------|---------------|------------------|------------|
| 1 | 362167,680 | 9366,469 | 943037,86 |
| 1 | 362127,680 | 9366,469 | 1866902,91 |
| 2 | 288213,320 | 14400,682 | 2439462,50 |
| 2 | 288213,320 | 14400,682 | 2456764,28 |
| 3 | 839247,109 | 1854,647 | 183558,57 |
| 3 | 839247,109 | 1854,647 | 372835,64 |
| 4 | 658536,484 | 2610,222 | 464980,73 |
| 4 | 658536,484 | 2610,222 | 422494,66 |
| 5 | 839247,172 | 1854,657 | 183560,15 |
| 5 | 839247,172 | 1854,657 | 372836,89 |
| 6 | 658536,547 | 2610,225 | 464981,32 |
| 6 | 658536,547 | 2610,225 | 422495,13 |
| 7 | 362167,547 | 9366,461 | 943036,42 |
| 7 | 362167,547 | 9366,461 | 1866901,81 |
| 8 | 288213,199 | 14400,680 | 2439467,19 |
| 8 | 288213,199 | 14400,680 | 2456763,91 |
| 9 | 223012,971 | 11487,863 | 1993625,34 |
| 9 | 223012,971 | 11487,863 | 2050102,30 |
| 10 | 166243,287 | 12151,125 | 2124197,38 |
| 10 | 166243,287 | 12151,125 | 2152998,78 |
| 11 | 109210,453 | 11613,567 | 2087902,39 |
| 11 | 109210,453 | 11613,567 | 2000073,31 |
| 12 | 503515,832 | 1496,375 | 271002,82 |
| 12 | 503515,832 | 1496,375 | 255721,25 |
| 13 | 370915,352 | 1289,350 | 232465,01 |
| 13 | 370915,352 | 1289,350 | 221386,12 |
| 14 | 238577,910 | 856,616 | 171242,42 |
| 14 | 238577,910 | 856,616 | 130286,30 |
| 15 | 503515,910 | 1496,388 | 271004,93 |
| 15 | 503515,910 | 1496,388 | 255723,55 |
| 16 | 370915,422 | 1289,366 | 232467,90 |
| 16 | 370915,422 | 1289,366 | 221388,91 |
| 17 | 238577,959 | 856,629 | 171244,87 |
| 17 | 238577,959 | 856,629 | 130288,49 |
| 18 | 223012,936 | 11487,853 | 1993623,59 |
| 18 | 223012,936 | 11487,853 | 2050200,52 |
| 19 | 166243,210 | 12151,113 | 2124195,31 |
| 19 | 166243,210 | 12151,113 | 2152996,50 |
| 20 | 109210,447 | 11613,559 | 2087900,95 |
| 20 | 109210,447 | 11613,559 | 2000071,97 |
| 21 | 71880,066 | 8201,237 | 1511158,25 |
| 21 | 71880,066 | 8201,237 | 1375677,13 |
| 22 | 45544,057 | 7116,185 | 1248153,16 |
| 22 | 45544,057 | 7116,185 | 1256744,13 |
| 23 | 19180,748 | 8195,045 | 1372592,36 |
| 23 | 19180,748 | 8195,045 | 1512063,33 |
| 24 | 156254,270 | 124,895 | 38722,79 |
| 24 | 156254,270 | 124,895 | 5240,22 |
| 25 | 99820,013 | 193,743 | 32033,99 |
| 25 | 99820,013 | 193,743 | 36163,64 |

| | | | | |
|----|----|-----------|-----------|-------------|
| 25 | 10 | 1305,473 | 72848,363 | 10281426,50 |
| 25 | 11 | 1305,473 | 72848,354 | 10281423,13 |
| 26 | 11 | 2253,888 | 81225,788 | 10989826,80 |
| 26 | 12 | 2253,888 | 64470,931 | 4287884,13 |
| 27 | 13 | 390,167 | 56164,602 | 4071599,59 |
| 27 | 14 | 390,167 | 69188,438 | 9281134,00 |
| 28 | 14 | 578,971 | 62676,522 | 8745065,75 |
| 28 | 15 | 578,971 | 62676,517 | 8745063,38 |
| 29 | 15 | 390,166 | 69188,450 | 9281137,88 |
| 29 | 16 | 390,166 | 56164,589 | 4071593,53 |
| 30 | 17 | 90,472 | 56346,723 | 4139925,41 |
| 30 | 18 | 90,472 | 69006,316 | 9203762,63 |
| 31 | 18 | 32,400 | 62676,524 | 8699909,25 |
| 31 | 19 | 32,400 | 62676,515 | 8699905,83 |
| 32 | 19 | 90,472 | 69006,329 | 9203766,88 |
| 32 | 20 | 90,472 | 56346,711 | 4139919,56 |
| 33 | 21 | 11816,238 | 34778,109 | 2089363,02 |
| 33 | 22 | 11816,238 | 44097,490 | 5817115,31 |
| 34 | 22 | 10325,659 | 39437,801 | 5549344,69 |
| 34 | 23 | 10325,659 | 39437,797 | 5549343,06 |
| 35 | 23 | 11816,258 | 44097,496 | 5817117,31 |
| 35 | 24 | 11816,258 | 34778,103 | 2089360,14 |

$$\frac{4}{3}CP + \frac{3}{2}N_n$$

| | | | | |
|----|----|------------|----------|------------|
| 1 | 1 | 99496,115 | 2023,964 | 205194,72 |
| 1 | 5 | 99496,115 | 2023,964 | 401994,37 |
| 2 | 5 | 82239,481 | 4427,944 | 673078,20 |
| 2 | 9 | 82239,481 | 4427,944 | 832422,90 |
| 3 | 2 | 237553,809 | 332,309 | 32430,74 |
| 3 | 6 | 237553,809 | 332,309 | 67261,92 |
| 4 | 6 | 195870,152 | 811,757 | 123384,86 |
| 4 | 10 | 195870,152 | 811,757 | 152642,58 |
| 5 | 3 | 237553,826 | 332,320 | 32432,43 |
| 5 | 7 | 237553,826 | 332,320 | 67263,47 |
| 6 | 7 | 195870,166 | 811,768 | 123386,76 |
| 6 | 11 | 195870,166 | 811,768 | 152644,40 |
| 7 | 4 | 99496,070 | 2023,954 | 205193,18 |
| 7 | 8 | 99496,070 | 2023,954 | 401993,08 |
| 8 | 8 | 82239,456 | 4427,936 | 673076,72 |
| 8 | 12 | 82239,456 | 4427,936 | 832421,49 |
| 9 | 9 | 56227,899 | 4145,484 | 761816,65 |
| 9 | 13 | 56227,899 | 4145,484 | 697393,84 |
| 10 | 13 | 38648,932 | 3560,541 | 630865,50 |
| 10 | 17 | 38648,932 | 3560,541 | 622444,78 |
| 11 | 17 | 20865,463 | 5390,211 | 828893,25 |
| 11 | 21 | 20865,463 | 5390,211 | 1068460,94 |
| 12 | 10 | 132936,611 | 616,508 | 122023,42 |
| 12 | 14 | 132936,611 | 616,508 | 94987,36 |

| | | | | |
|----|----|------------|-----------|------------|
| 13 | 14 | 92086,041 | 287,788 | 55913,58 |
| 13 | 17 | 92086,041 | 287,788 | 45387,96 |
| 14 | 11 | 51439,939 | 826,553 | 110896,26 |
| 14 | 22 | 51439,939 | 826,553 | 180050,33 |
| 15 | 11 | 132936,637 | 616,521 | 122025,76 |
| 15 | 15 | 132936,637 | 616,521 | 94989,70 |
| 16 | 15 | 92086,041 | 287,803 | 55916,16 |
| 16 | 19 | 92086,041 | 287,803 | 45390,51 |
| 17 | 19 | 51439,927 | 826,566 | 110898,48 |
| 17 | 23 | 51439,927 | 826,566 | 180052,67 |
| 18 | 12 | 56227,907 | 4145,474 | 761814,83 |
| 18 | 16 | 56227,907 | 4145,474 | 697392,11 |
| 19 | 16 | 38648,917 | 3560,530 | 630863,66 |
| 19 | 20 | 38648,917 | 3560,530 | 622442,87 |
| 20 | 20 | 20865,460 | 5390,201 | 828891,59 |
| 20 | 24 | 20865,460 | 5390,201 | 1068459,05 |
| 21 | 5 | 2403,981 | 17256,618 | 1075072,52 |
| 21 | 6 | 2403,981 | 22036,901 | 2987185,50 |
| 22 | 6 | 1924,532 | 19646,761 | 2796538,97 |
| 22 | 7 | 1924,532 | 19646,761 | 2796537,31 |
| 23 | 7 | 2403,981 | 22036,907 | 2987187,56 |
| 23 | 8 | 2403,981 | 17256,612 | 1075069,83 |
| 24 | 9 | 282,460 | 26011,557 | 1594239,50 |
| 24 | 10 | 282,460 | 33285,162 | 4503681,63 |
| 25 | 10 | 87,211 | 29648,362 | 4229046,00 |
| 25 | 11 | 87,211 | 29648,356 | 4229043,94 |
| 26 | 11 | 282,458 | 33285,169 | 4503684,06 |
| 26 | 12 | 282,458 | 26011,549 | 1594236,36 |
| 27 | 13 | 584,944 | 17578,996 | 1328259,42 |
| 27 | 14 | 584,944 | 21374,044 | 2846278,88 |
| 28 | 14 | 256,226 | 19476,522 | 2695377,16 |
| 28 | 15 | 256,226 | 19476,517 | 2695375,44 |
| 29 | 15 | 584,944 | 21374,052 | 2846281,38 |
| 29 | 16 | 584,944 | 17578,988 | 1328255,75 |
| 30 | 17 | 1829,670 | 17783,464 | 1451338,09 |
| 30 | 18 | 1829,670 | 21169,575 | 2805782,75 |
| 31 | 18 | 1290,907 | 19476,522 | 2649498,66 |
| 31 | 19 | 1290,907 | 19476,517 | 2649496,47 |
| 32 | 19 | 1829,670 | 21169,583 | 2805785,50 |
| 32 | 20 | 1829,670 | 17783,456 | 1451334,47 |
| 33 | 21 | 5390,187 | 20865,463 | 1068460,94 |
| 33 | 22 | 5390,187 | 27338,136 | 3657529,84 |
| 34 | 22 | 4563,633 | 24101,800 | 3477479,56 |
| 34 | 23 | 4563,633 | 24101,798 | 3477478,53 |
| 35 | 23 | 5390,200 | 27338,139 | 3657531,19 |
| 35 | 24 | 5390,200 | 20865,459 | 1068459,09 |

$$\frac{4}{3} C_p + \frac{3}{2} V_m$$

| | | | | |
|----|----|------------|-----------|------------|
| 1 | 1 | 89441,273 | 21236,656 | 1425587,33 |
| 1 | 5 | 89441,273 | 9057,344 | 350415,47 |
| 2 | 5 | 74342,809 | 3341,898 | 172838,64 |
| 2 | 9 | 74342,809 | 1658,652 | 263688,62 |
| 3 | 2 | 236050,973 | 5035,111 | 763366,45 |
| 3 | 6 | 236050,973 | 5035,111 | 747166,98 |
| 4 | 6 | 193839,074 | 5786,321 | 970878,08 |
| 4 | 10 | 193839,074 | 5786,321 | 996470,94 |
| 5 | 3 | 229461,141 | 4009,898 | 635286,73 |
| 5 | 7 | 229461,141 | 4009,898 | 567682,82 |
| 6 | 7 | 189190,941 | 4653,646 | 814535,92 |
| 6 | 11 | 189190,941 | 4653,646 | 767703,72 |
| 7 | 4 | 107482,438 | 13333,962 | 142325,36 |
| 7 | 8 | 107482,438 | 16960,038 | 1437961,72 |
| 8 | 8 | 87182,432 | 2536,598 | 1104543,56 |
| 8 | 12 | 87182,432 | 11219,557 | 1726349,61 |
| 9 | 9 | 51096,639 | 517,215 | 71431,05 |
| 9 | 13 | 51096,639 | 1763,745 | 140833,88 |
| 10 | 13 | 35670,823 | 207,078 | 205389,06 |
| 10 | 17 | 35670,823 | 2720,358 | 303334,66 |
| 11 | 17 | 19041,149 | 3024,831 | 610975,58 |
| 11 | 21 | 19041,149 | 5786,271 | 931724,73 |
| 12 | 10 | 129830,453 | 5108,602 | 912440,62 |
| 12 | 14 | 129830,453 | 5108,602 | 885787,17 |
| 13 | 14 | 88201,879 | 3166,693 | 552446,76 |
| 13 | 18 | 88201,879 | 3166,693 | 562229,11 |
| 14 | 18 | 47166,472 | 1764,816 | 275901,35 |
| 14 | 22 | 47166,472 | 1764,816 | 345314,04 |
| 15 | 11 | 127739,629 | 3894,019 | 673257,61 |
| 15 | 15 | 127739,629 | 3894,019 | 697436,93 |
| 16 | 15 | 87627,320 | 2535,221 | 432331,82 |
| 16 | 19 | 87627,320 | 2535,221 | 460065,96 |
| 17 | 19 | 47271,752 | 254,950 | 67114,23 |
| 17 | 23 | 47271,752 | 254,950 | 22628,23 |
| 17 | 12 | 57998,327 | 7799,809 | 1361540,63 |
| 18 | 16 | 57998,327 | 7248,049 | 1288586,17 |
| 19 | 16 | 38305,912 | 6005,191 | 1002989,59 |
| 19 | 20 | 38305,912 | 5395,351 | 1005209,44 |
| 20 | 20 | 19467,424 | 6122,414 | 922428,77 |
| 20 | 24 | 19467,424 | 5459,774 | 1117430,14 |
| 21 | 5 | 29997,236 | 15098,444 | 177576,79 |
| 21 | 6 | 29997,236 | 24195,074 | 3816228,97 |
| 22 | 6 | 30748,445 | 18016,830 | 2098184,13 |
| 22 | 7 | 30748,445 | 21276,689 | 3402127,56 |
| 23 | 7 | 31392,188 | 18993,514 | 2019908,97 |
| 23 | 7 | 31392,188 | 20300,005 | 2542505,31 |
| 24 | 9 | 4333,668 | 23246,137 | 335119,67 |
| 24 | 10 | 4333,668 | 36050,582 | 5456897,50 |
| 25 | 10 | 3655,903 | 27958,023 | 3547986,34 |
| 25 | 11 | 3655,903 | 31338,695 | 4900255,13 |

$$\frac{4}{3} G + \frac{3}{2} V_m$$

| | | | | |
|----|----|-----------|-----------|-------------|
| 26 | 11 | 2 896,255 | 30112,614 | 3 459293,84 |
| 26 | 12 | 2 896,255 | 29184,104 | 3 087890,25 |
| 27 | 13 | 3 960,396 | 15425,855 | 3 46223,07 |
| 27 | 14 | 3 960,396 | 23527,185 | 3 586755,28 |
| 28 | 14 | 2 018,497 | 18101,384 | 2 148520,75 |
| 28 | 15 | 2 018,497 | 20851,656 | 3 248629,56 |
| 29 | 15 | 6 59,689 | 19260,626 | 2 118861,00 |
| 29 | 16 | 6 59,689 | 19692,413 | 2 291575,69 |
| 30 | 17 | 2 318,663 | 16629,672 | 914310,41 |
| 30 | 18 | 2 318,663 | 22323,367 | 3 191788,38 |
| 31 | 18 | 9 16,766 | 18712,036 | 2 353658,03 |
| 31 | 19 | 9 16,766 | 20241,003 | 2 965244,66 |
| 32 | 19 | 13 63,599 | 20114,553 | 2 438064,59 |
| 32 | 20 | 13 63,599 | 18838,487 | 1 927638,09 |
| 33 | 21 | 7 149,360 | 19041,148 | 931724,66 |
| 33 | 22 | 7 149,360 | 25274,451 | 3 425045,88 |
| 34 | 22 | 53 84,505 | 21892,014 | 3 079731,84 |
| 34 | 23 | 53 84,505 | 22423,584 | 3 292359,78 |
| 35 | 23 | 5 129,489 | 24848,176 | 3 269731,50 |
| 35 | 24 | 5 129,489 | 19467,423 | 1 117430,23 |

$$\frac{4}{3} C_p + \frac{17}{12} (C_e + V_m)$$

| | | | | |
|----|----|-------------|------------|-------------|
| 1 | 1 | 2 67138,066 | 13492,035 | 6 85597,66 |
| 1 | 5 | 2 67138,066 | 15186,285 | 1 651368,20 |
| 2 | 5 | 1 98903,527 | 5750,732 | 1 421386,73 |
| 2 | 9 | 1 98903,527 | 10484,585 | 1 695512,31 |
| 3 | 2 | 6 59830,820 | 6199,572 | 865108,91 |
| 3 | 6 | 6 59830,820 | 6199,572 | 994762,59 |
| 4 | 6 | 4 86636,027 | 7181,418 | 1 241169,48 |
| 4 | 10 | 4 86636,027 | 7181,418 | 1 200512,66 |
| 5 | 3 | 6 53592,469 | 2363,031 | 4 58948,30 |
| 5 | 7 | 6 53592,469 | 2363,031 | 2 49961,01 |
| 6 | 7 | 4 82235,801 | 2701,744 | 4 49021,46 |
| 6 | 11 | 4 82235,801 | 2701,744 | 4 69571,67 |
| 7 | 4 | 1 84216,992 | 6010,823 | 5 29222,66 |
| 7 | 8 | 1 84216,992 | 22667,496 | 2 480911,22 |
| 8 | 8 | 1 11058,383 | 1 1315,703 | 2 600641,22 |
| 8 | 12 | 1 11058,383 | 1 9535,572 | 2 610063,91 |
| 9 | 9 | 1 39095,102 | 6547,260 | 1 259127,91 |
| 9 | 13 | 1 39095,102 | 8706,569 | 1 418801,59 |
| 10 | 13 | 8 7019,122 | 8108,138 | 1 578746,84 |
| 10 | 17 | 8 7019,122 | 10487,376 | 1 687905,67 |
| 11 | 17 | 3 3782,491 | 9483,831 | 1 824240,08 |
| 11 | 21 | 3 3782,491 | 1 2097,995 | 1 966537,03 |
| 12 | 10 | 3 36411,457 | 5816,100 | 1 030404,84 |
| 12 | 14 | 3 36411,457 | 5816,100 | 1 016862,23 |
| 13 | 14 | 2 08671,742 | 4 078,567 | 7 14173,30 |
| 13 | 18 | 2 08671,742 | 4 078,567 | 7 21482,40 |

| | | | | |
|----|----|------------|-----------|-------------|
| 14 | 18 | 81514,498 | 2397,576 | 410015,93 |
| 14 | 22 | 81514,498 | 2397,576 | 433930,70 |
| 15 | 11 | 334432,160 | 2706,372 | 470721,26 |
| 15 | 15 | 334432,160 | 2706,372 | 481921,57 |
| 16 | 15 | 208127,844 | 1319,233 | 218081,81 |
| 16 | 19 | 208127,844 | 1319,233 | 246288,37 |
| 17 | 19 | 81614,176 | 485,538 | 85295,96 |
| 17 | 23 | 81614,176 | 485,538 | 85613,58 |
| 18 | 12 | 137628,750 | 14420,703 | 2480430,44 |
| 18 | 16 | 137628,750 | 13898,370 | 2500339,22 |
| 19 | 16 | 89513,660 | 13597,010 | 2333807,31 |
| 19 | 20 | 89513,660 | 13019,695 | 2352345,69 |
| 20 | 20 | 34186,025 | 12416,203 | 2119081,38 |
| 20 | 24 | 34186,025 | 11788,904 | 2142336,91 |
| 21 | 5 | 26094,987 | 68234,471 | 3072754,97 |
| 21 | 6 | 26094,987 | 93747,047 | 13277785,63 |
| 22 | 6 | 27076,834 | 79447,760 | 11041854,25 |
| 22 | 7 | 27076,834 | 82533,750 | 12276252,88 |
| 23 | 7 | 27415,542 | 88822,907 | 11577270,63 |
| 23 | 8 | 27415,542 | 73158,611 | 5311552,50 |
| 24 | 9 | 5980,044 | 59808,359 | 2954640,19 |
| 24 | 10 | 5980,044 | 81280,359 | 11543440,50 |
| 25 | 10 | 4614,683 | 68944,177 | 9312524,00 |
| 25 | 11 | 4614,683 | 72144,541 | 10592670,13 |
| 26 | 11 | 4619,291 | 75659,088 | 9652377,25 |
| 26 | 12 | 4619,291 | 65429,630 | 5560594,44 |
| 27 | 13 | 2873,961 | 52076,072 | 2997548,72 |
| 27 | 14 | 2873,961 | 68668,967 | 9634706,63 |
| 27 | 14 | 1136,440 | 59070,725 | 7903669,19 |
| 27 | 15 | 1136,440 | 61674,314 | 8945104,75 |
| 29 | 15 | 250,708 | 64629,963 | 8245101,63 |
| 29 | 16 | 250,708 | 56115,075 | 4839146,44 |
| 30 | 17 | 3486,781 | 53236,629 | 3512146,03 |
| 30 | 18 | 3486,781 | 67508,409 | 9220858,00 |
| 31 | 18 | 1805,768 | 59648,810 | 8089359,94 |
| 31 | 19 | 1805,768 | 61096,229 | 8668326,88 |
| 32 | 19 | 1210,907 | 65417,403 | 8507334,63 |
| 32 | 20 | 1210,907 | 55327,635 | 4471427,00 |
| 33 | 21 | 13388,369 | 33782,488 | 1966536,98 |
| 33 | 22 | 13388,369 | 43249,910 | 5753505,63 |
| 34 | 22 | 10990,757 | 38264,590 | 5319574,94 |
| 34 | 23 | 10990,757 | 38767,808 | 5520861,94 |
| 35 | 23 | 11476,233 | 42846,372 | 5606475,44 |
| 35 | 24 | 11476,233 | 34186,026 | 2142337,03 |

EFFORTS DANS LE PORTIQUE LONGITUDINAL CC

4/3 Cp + 3/2 Ce

| barre | Noeud | Effort Normale | Effort tranchant | Moment |
|-------|-------|----------------|------------------|------------|
| 1 | 1 | 312856,645 | 9163,772 | 1984101,45 |
| 1 | 6 | 312856,645 | 9163,772 | 765030,29 |
| 2 | 6 | 312856,645 | 9163,772 | 765030,29 |
| 2 | 11 | 312856,645 | 9163,772 | 3780712,94 |
| 3 | 2 | 714203,594 | 22385,649 | 2030529,17 |
| 3 | 7 | 714203,594 | 22385,649 | 4685165,38 |
| 4 | 7 | 631765,813 | 15965,952 | 4335365,50 |
| 4 | 12 | 631765,813 | 15965,952 | 1093058,11 |
| 5 | 3 | 725096,219 | 4436,855 | 596068,270 |
| 5 | 8 | 725096,289 | 4436,855 | 734988,16 |
| 6 | 8 | 553278,586 | 1376,796 | 213609,22 |
| 6 | 13 | 553278,586 | 1376,796 | 254501,56 |
| 7 | 4 | 654631,930 | 2653,008 | 412429,55 |
| 7 | 9 | 654631,930 | 2653,008 | 313472,79 |
| 8 | 9 | 483942,941 | 2626,291 | 551209,54 |
| 8 | 14 | 483942,941 | 2626,291 | 341729,28 |
| 9 | 5 | 318240,363 | 24459,536 | 2633594,78 |
| 9 | 10 | 318240,363 | 24459,536 | 4704265,88 |
| 10 | 10 | 234689,012 | 29132,773 | 4794962,94 |
| 10 | 15 | 234689,012 | 29132,773 | 5110179,88 |
| 11 | 11 | 240872,617 | 21273,739 | 3887917,75 |
| 11 | 16 | 240872,617 | 21273,739 | 3600431,16 |
| 12 | 16 | 177347,330 | 20472,663 | 3524537,41 |
| 12 | 21 | 177347,330 | 20472,663 | 3681840,06 |
| 13 | 21 | 115530,644 | 19252,617 | 3484169,50 |
| 13 | 26 | 115530,644 | 19252,617 | 3282751,69 |
| 14 | 12 | 483151,395 | 2057,562 | 556813,05 |
| 14 | 17 | 483151,395 | 2057,562 | 167448,93 |
| 15 | 17 | 356934,027 | 469,828 | 177441,57 |
| 15 | 22 | 356934,027 | 469,828 | 54677,78 |
| 16 | 22 | 230940,260 | 808,303 | 77053,01 |
| 16 | 27 | 230940,260 | 808,303 | 207469,71 |
| 17 | 13 | 407703,547 | 407,607 | 54525,44 |
| 17 | 18 | 407703,547 | 407,607 | 78952,73 |
| 18 | 18 | 281704,109 | 797,250 | 123003,31 |
| 18 | 23 | 281704,109 | 797,250 | 193180,54 |
| 19 | 23 | 155630,955 | 1142,222 | 69956,97 |
| 19 | 28 | 155630,955 | 1142,222 | 340112,58 |
| 20 | 14 | 336148,609 | 678,512 | 159141,06 |
| 20 | 19 | 336148,609 | 678,512 | 79695,03 |
| 21 | 19 | 208739,514 | 193,295 | 14105,78 |
| 21 | 24 | 208739,514 | 193,295 | 82145,55 |
| 22 | 24 | 21635,973 | 102,239 | 46400,73 |
| 22 | 29 | 21635,973 | 102,239 | 17687,49 |
| 23 | 15 | 162637,529 | 18130,040 | 3001913,41 |
| 23 | 20 | 162637,529 | 18130,040 | 3379860,53 |
| 24 | 20 | 100648,369 | 19870,915 | 3513863,44 |
| 24 | 25 | 100648,369 | 19870,915 | 3410698,59 |

| | | | | |
|----|----|-------------|-------------|--------------|
| 25 | 25 | 38495, 183 | 21385, 374 | 3503717, 72 |
| 25 | 30 | 88495, 183 | 21385, 374 | 4023934, 00 |
| 26 | 26 | 75506, 642 | 9301, 447 | 1403193, 94 |
| 26 | 31 | 75606, 642 | 8301, 447 | 1518915, 45 |
| 27 | 31 | 47116, 737 | 8961, 365 | 1632088, 52 |
| 27 | 34 | 47116, 737 | 7961, 365 | 1522312, 13 |
| 28 | 34 | 20387, 411 | 11177, 594 | 1769880, 87 |
| 21 | 37 | 20387, 411 | 11177, 594 | 2174652, 19 |
| 29 | 27 | 152396, 411 | 1277, 926 | 298865, 89 |
| 29 | 32 | 152396, 411 | 1277, 926 | 158364, 22 |
| 30 | 32 | 97195, 830 | 233, 185 | 71944, 18 |
| 30 | 35 | 97195, 830 | 233, 185 | 10137, 11 |
| 31 | 35 | 42512, 66 | 48530 | 12129, 30 |
| 31 | 38 | 42512, 66 | 48530 | 4953, 12 |
| 32 | 21 | 75716, 518 | 7023, 513 | 961212, 08 |
| 32 | 33 | 75716, 518 | 7023, 513 | 1511064, 58 |
| 33 | 33 | 48145, 695 | 9194, 547 | 1683195, 94 |
| 34 | 36 | 48145, 695 | 9194, 547 | 1553285, 08 |
| 34 | 36 | 20396, 852 | 11129, 065 | 1740929, 16 |
| 35 | 39 | 20396, 852 | 11129, 065 | 2176501, 66 |
| 35 | 1 | 3212, 35 | 169531, 916 | 40687656, 50 |
| 36 | 3 | 3212, 35 | 169531, 916 | 40687666, 50 |
| 36 | 7 | 5419, 720 | 82437, 757 | 3020931, 13 |
| 37 | 8 | 5419, 720 | 77094, 163 | 10696837, 25 |
| 37 | 8 | 606, 072 | 84723, 516 | 10175458, 38 |
| 38 | 9 | 606, 072 | 74808, 203 | 10206017, 75 |
| 38 | 9 | 4673, 231 | 85910, 578 | 10373754, 50 |
| 39 | 10 | 4673, 231 | 83551, 341 | 9499228, 75 |
| 39 | 11 | 12109, 984 | 71984, 028 | 7768630, 81 |
| 40 | 12 | 12109, 984 | 74498, 795 | 8672967, 00 |
| 40 | 12 | 5913, 511 | 74118, 625 | 9209112, 13 |
| 41 | | 5913, 511 | 72361, 198 | 8576438, 50 |
| 41 | | 7697, 922 | 73213, 852 | 8766414, 63 |
| 42 | | 7697, 922 | 73265, 971 | 8775177, 38 |
| 42 | | 11002, 716 | 74428, 345 | 8967765, 63 |
| 43 | | 11002, 716 | 72051, 478 | 8112093, 13 |
| 43 | | 801, 087 | 62525, 215 | 7124975, 75 |
| 44 | | 801, 087 | 63509, 778 | 7479393, 25 |
| 44 | | 1746, 300 | 62707, 081 | 7429676, 00 |
| 45 | | 1746, 300 | 63327, 483 | 7652850, 81 |
| 45 | | 1255, 657 | 62674, 903 | 7450894, 88 |
| 46 | | 1255, 657 | 63363, 160 | 7699747, 44 |
| 46 | | 1740, 877 | 64046, 913 | 7634151, 38 |
| 47 | | 1220, 023 | 61979, 150 | 6893723, 81 |
| 47 | | 1220, 023 | 62116, 678 | 7176009, 75 |
| 48 | | 901, 544 | 63217, 385 | 7320624, 56 |
| 48 | | 901, 544 | 62775, 381 | 7452355, 31 |
| 49 | | 1137, 923 | 63259, 682 | 7626703, 75 |
| 49 | | 1138, 923 | 62813, 439 | 7495474, 25 |
| 50 | | 1514, 46 | 63221, 624 | 7642420, 81 |
| 50 | | 1514, 46 | 62153, 198 | 7606736, 06 |

| | | | |
|----|------------|------------|-------------|
| 51 | 10951, 171 | 40024, 015 | 4685945, 63 |
| 51 | 10951, 171 | 39629, 369 | 4543873, 13 |
| 52 | 13037, 400 | 38914, 502 | 4460477, 00 |
| 52 | 13037, 400 | 40788, 881 | 5119253, 25 |
| 53 | 21203, 135 | 39175, 606 | 4496153, 88 |
| 53 | 21203, 135 | 40477, 777 | 4964935, 26 |
| 54 | 21365, 372 | 41158, 204 | 4982622, 75 |
| 54 | 21365, 372 | 38495, 180 | 4023934, 03 |
| 55 | 659, 921 | 27389, 906 | 3151004, 00 |
| 55 | 659, 921 | 27690, 741 | 3259304, 60 |
| 56 | 2171, 036 | 27509, 802 | 3172274, 59 |
| 56 | 2171, 036 | 27570, 845 | 3194260, 44 |
| 57 | 2216, 234 | 27729, 324 | 3282173, 28 |
| 57 | 2216, 234 | 27351, 323 | 3146092, 09 |
| 57 | 1934, 517 | 27748, 815 | 3144100, 60 |
| 57 | 1934, 517 | 20387, 417 | 3294214, 09 |
| 59 | 11177, 597 | 21261, 054 | 2174652, 16 |
| 59 | 11177, 597 | 21251, 606 | 2489161, 91 |
| 60 | 11129, 066 | 20396, 864 | 2484208, 78 |
| 60 | 11129, 066 | 20307, 504 | 2176504, 66 |

$$\frac{4}{3} C_p + \frac{3}{2} V_{n1}$$

| | | | |
|----|-------------|------------|-------------|
| 1 | 132551, 477 | 32006, 703 | 3519540, 78 |
| 1 | 132551, 477 | 1651, 046 | 198495, 27 |
| 2 | 132551, 479 | 1827, 897 | 198495, 28 |
| 2 | 132551, 479 | 7257, 102 | 1774514, 73 |
| 3 | 314177, 789 | 883, 365 | 1048219, 99 |
| 3 | 314177, 789 | 883, 365 | 1313229, 47 |
| 4 | 297792, 117 | 3932, 691 | 313237, 48 |
| 4 | 297792, 117 | 3952, 691 | 1030677, 54 |
| 5 | 285496, 605 | 7822, 428 | 1876875, 16 |
| 5 | 285496, 605 | 7822, 428 | 469853, 22 |
| 6 | 244735, 119 | 8995, 135 | 1702189, 00 |
| 6 | 244735, 119 | 8995, 135 | 1356157, 11 |
| 7 | 227068, 967 | 6770, 455 | 1719587, 92 |
| 7 | 227068, 967 | 6770, 455 | 311548, 60 |
| 8 | 187166, 354 | 8871, 174 | 1687249, 72 |
| 8 | 187166, 354 | 8871, 174 | 1328949, 39 |
| 9 | 124133, 866 | 14127, 752 | 651503, 39 |
| 9 | 124133, 866 | 19529, 998 | 994146, 00 |
| 10 | 101387, 854 | 11587, 277 | 2394995, 19 |
| 10 | 101387, 854 | 15076, 824 | 2716910, 53 |
| 11 | 106148, 079 | 1575, 927 | 340754, 24 |
| 11 | 106148, 079 | 3854, 247 | 607677, 08 |
| 12 | 89277, 550 | 2124, 843 | 578771, 41 |
| 12 | 89277, 550 | 4635, 483 | 604695, 77 |
| 13 | 71743, 028 | 5377, 409 | 835700, 39 |
| 13 | 71743, 028 | 8096, 609 | 1529841, 27 |
| 14 | 237386, 668 | 6740, 852 | 1261888, 94 |
| 14 | 237386, 668 | 6740, 852 | 1110890, 97 |

| | | | |
|----|-------------|-----------|------------|
| 15 | 197828, 279 | 5354.873 | 912277.78 |
| 15 | 197828, 279 | 5354.873 | 872637.42 |
| 16 | 158673, 770 | 3662.748 | 751506.05 |
| 16 | 158673, 770 | 3662.748 | 537781.13 |
| 17 | 184975, 445 | 6511.879 | 1169388.53 |
| 17 | 184975, 445 | 6511.879 | 1122792.95 |
| 18 | 145394, 725 | 6450.412 | 1066776.09 |
| 18 | 145394, 725 | 6450.412 | 1203768.80 |
| 19 | 105772, 684 | 3201.965 | 753171.11 |
| 19 | 105772, 684 | 3201.965 | 373920.75 |
| 20 | 126603, 469 | 6623.196 | 1191720.14 |
| 20 | 126603, 469 | 6623.196 | 1139645.00 |
| 21 | 86721, 413 | 6142.600 | 1036627.06 |
| 21 | 86721, 413 | 6142.600 | 1125568.16 |
| 22 | 47091, 649 | 5656.071 | 912031.28 |
| 22 | 47091, 649 | 5656.071 | 1078905.80 |
| 23 | 68199, 961 | 11300.939 | 1942601.55 |
| 23 | 68199, 961 | 9587.579 | 1739198.58 |
| 24 | 45551, 361 | 9744.131 | 1611687.70 |
| 24 | 45551, 361 | 7856.531 | 1490929.97 |
| 25 | 22961, 906 | 13979.707 | 1866582.45 |
| 25 | 22951, 906 | 11933.707 | 2698670.06 |
| 26 | 51745, 451 | 627.692 | 119454.72 |
| 26 | 51745, 451 | 3536.972 | 608260.10 |
| 27 | 34155, 903 | 2598.729 | 829515.20 |
| 27 | 34155, 903 | 5682.249 | 622980.81 |
| 28 | 15487, 364 | 6081.497 | 1225740.94 |
| 28 | 15487, 364 | 9323.417 | 1481187.36 |
| 29 | 113967, 587 | 6593.047 | 1286006.06 |
| 29 | 113967, 587 | 3934.521 | 1034746.48 |
| 30 | 73766, 348 | 3934.521 | 558886.77 |
| 30 | 73766, 348 | 1502.535 | 826064.48 |
| 31 | 33969, 340 | 1502.535 | 145948.21 |
| 31 | 33969, 340 | 10354.177 | 382944.11 |
| 32 | 60146, 531 | 8162.977 | 1645750.25 |
| 32 | 60146, 531 | 9830.662 | 1617295.67 |
| 33 | 38016, 000 | 7510.102 | 1496359.84 |
| 33 | 38016, 000 | 10285.930 | 1559176.94 |
| 34 | 16560, 233 | 7849.210 | 1324326.02 |
| 34 | 16560, 233 | 39931.918 | 1870710.95 |
| 35 | 2136.509 | 39931.920 | 9583660.38 |
| 35 | 2136.509 | 16385.662 | 9583661.38 |
| 36 | 4836.075 | 23546.257 | 999882.07 |
| 36 | 4836.075 | 17215.222 | 3577805.94 |
| 37 | 6008.735 | 22746.008 | 1405763.86 |
| 37 | 6008.735 | 16403.395 | 3386204.78 |
| 38 | 8109.460 | 17185.911 | 1387496.30 |
| 38 | 8109.460 | 22746.008 | 3389131.19 |
| 39 | 5702.710 | 26403.395 | 2115269.13 |
| 39 | 5702.710 | 33676.429 | 4738561.14 |

| | | | |
|----|-----------|-----------|-------------|
| 40 | 8490.919 | 26729.025 | 2440995.69 |
| 40 | 8490.919 | 33350.797 | 4824833.75 |
| 41 | 6007.630 | 26408.874 | 2299288.38 |
| 41 | 6007.630 | 33570.949 | 4913635.69 |
| 42 | 3759.693 | 26891.931 | 2392966.19 |
| 42 | 3759.693 | 33187.892 | 4659512.19 |
| 43 | 1753.451 | 16870.531 | 1186448.75 |
| 43 | 1753.451 | 22764.532 | 3308289.13 |
| 44 | 367.500 | 16793.853 | 128512094 |
| 44 | 367.500 | 22841.210 | 3462169.31 |
| 45 | 306.004 | 16739.487 | 1272600.50 |
| 45 | 306.004 | 22895.576 | 3488792.28 |
| 46 | 174.574 | 16986.468 | 1312520.70 |
| 46 | 174.574 | 22648.594 | 3350885.95 |
| 47 | 715.763 | 17534.516 | 1440396.17 |
| 47 | 715.763 | 22100.547 | 3084167.28 |
| 48 | 2407.816 | 17053.951 | 1360023.78 |
| 48 | 2407.816 | 22581.112 | 3349801.41 |
| 49 | 5656.327 | 17040.919 | 1392861.72 |
| 49 | 5656.327 | 22594.144 | 3392022.94 |
| 50 | 6142.886 | 17035.603 | 1354423.68 |
| 50 | 6142.886 | 22599.460 | 3357412.16 |
| 51 | 7497.137 | 19997.593 | 1649296.08 |
| 51 | 7497.137 | 25095.800 | 3484653.91 |
| 52 | 10427.393 | 19610.415 | 1660867.02 |
| 52 | 10427.393 | 25482.969 | 3774986.59 |
| 53 | 17579.539 | 20143.209 | 1755315.88 |
| 53 | 17579.539 | 24950.174 | 34085822.91 |
| 54 | 11923.499 | 22141.480 | 2406917.16 |
| 54 | 11923.499 | 22951.904 | 2698669.69 |
| 55 | 968.245 | 17589.548 | 1437776.02 |
| 55 | 968.245 | 22371.099 | 3159134.69 |
| 56 | 1690.303 | 17830.111 | 1565502.30 |
| 56 | 1690.303 | 22130.536 | 3113655.47 |
| 57 | 367.629 | 18668.511 | 1848722.44 |
| 57 | 367.629 | 21292.106 | 2793206.28 |
| 58 | 2799.637 | 18504.894 | 1821193.52 |
| 58 | 2799.637 | 21455.758 | 2883502.75 |
| 59 | 9339.622 | 15487.366 | 1481187.20 |
| 59 | 9339.622 | 17521.104 | 2213332.97 |
| 60 | 7937.082 | 16448.233 | 1830389.06 |
| 60 | 7937.082 | 16560.238 | 1870711.13 |

$\frac{4}{3} C_1 + \frac{3}{2} V_{12}$

| | | | |
|---|------------|-----------|------------|
| 1 | 180266.816 | 33247.655 | 871608.32 |
| 1 | 180266.816 | 410.095 | 3218713.13 |
| 2 | 180266.816 | 16910.093 | 3218712.81 |
| 2 | 180266.816 | 20315.490 | 3695159.78 |
| 3 | 320522.891 | 19796.874 | 4443767.44 |
| 3 | 320522.891 | 19796.874 | 1495294.83 |

| | | | |
|----|------------|-----------|-------------|
| 4 | 295039.633 | 15536.424 | 2873899.03 |
| 4 | 295039.633 | 15536.424 | 2408485.09 |
| 5 | 271697.996 | 19381.001 | 4439114.06 |
| 5 | 271697.996 | 19381.001 | 1375186.39 |
| 6 | 231607.404 | 14460.712 | 2662614.22 |
| 6 | 231607.404 | 14460.712 | 2254027.81 |
| 7 | 228460.164 | 20552.445 | 4635847.25 |
| 7 | 228460.164 | 20552.445 | 1529886.34 |
| 8 | 188072.824 | 14742.477 | 2650123.25 |
| 8 | 188072.824 | 14742.477 | 2362319.09 |
| 9 | 82480.829 | 36602.445 | 5278765.44 |
| 9 | 82480.829 | 2944.695 | 182006.98 |
| 10 | 68646.235 | 317.933 | 68725.12 |
| 10 | 68646.235 | 5055.172 | 1306995.03 |
| 11 | 143037.141 | 11729.930 | 2514385.75 |
| 11 | 143037.141 | 12842.330 | 2344372.50 |
| 12 | 117070.047 | 13741.098 | 2227140.19 |
| 12 | 117070.047 | 11658.138 | 2248546.03 |
| 13 | 91496.295 | 12774.245 | 2184319.22 |
| 13 | 91496.295 | 10517.045 | 1919748.97 |
| 14 | 235854.875 | 13222.377 | 12423756.00 |
| 14 | 235854.875 | 13222.377 | 2230520.66 |
| 15 | 187041.490 | 11377.458 | 1924578.17 |
| 15 | 197011.490 | 11377.458 | 2080286.95 |
| 16 | 158528.955 | 8375.466 | 1651948.89 |
| 16 | 158528.955 | 8375.466 | 1296220.77 |
| 17 | 171510.533 | 12479.616 | 2300654.47 |
| 17 | 171510.533 | 12479.616 | 2092170.30 |
| 18 | 131827.129 | 10617.743 | 1804759.11 |
| 18 | 131827.129 | 10617.743 | 1932686.31 |
| 19 | 91781.483 | 8045.915 | 1528139.66 |
| 19 | 91781.483 | 8045.915 | 1304022.47 |
| 20 | 126936.920 | 12928.678 | 2367657.28 |
| 20 | 126936.920 | 12928.678 | 2183237.31 |
| 21 | 86350.611 | 10597.120 | 1868062.83 |
| 21 | 86350.611 | 10597.120 | 1867123.33 |
| 22 | 46023.050 | 11930.279 | 1892712.70 |
| 22 | 46023.050 | 11930.279 | 2306745.44 |
| 23 | 45874.150 | 2807.689 | 538657.71 |
| 23 | 45974.150 | 648.169 | 76387.89 |
| 24 | 32514.049 | 1519.731 | 8946.50 |
| 24 | 32514.049 | 861.549 | 113088.62 |
| 25 | 18403.252 | 2396.259 | 320621.15 |
| 25 | 18403.252 | 4878.179 | 971704.84 |
| 26 | 64003.251 | 14180.672 | 2515073.03 |
| 26 | 64003.251 | 11767.712 | 2656179.08 |
| 27 | 39939.202 | 12263.426 | 1788097.02 |
| 27 | 39939.202 | 9707.906 | 2082884.41 |
| 28 | 17121.608 | 10955.509 | 1301729.88 |
| 28 | 17121.608 | 8267.989 | 2085223.06 |

| | | | | |
|----|--|------------|-----------|------------|
| 29 | | 114382.766 | 10525.846 | 1988043.28 |
| 29 | | 114382.766 | 10525.846 | 1717054.63 |
| 30 | | 73929.176 | 8327.260 | 127245.959 |
| 30 | | 73929.176 | 8327.260 | 1658736.09 |
| 31 | | 34067.180 | 3118.348 | 23914.63 |
| 31 | | 34067.180 | 3118.348 | 797743.72 |
| 32 | | 47473.551 | 5556.198 | 1379846.03 |
| 32 | | 47473.551 | 2794.758 | 94878.54 |
| 33 | | 32069.872 | 838.047 | 693206.49 |
| 33 | | 32069.872 | 3763.167 | 711960.88 |
| 34 | | 14928.140 | 5429.895 | 1216671.00 |
| 34 | | 14928.148 | 8505.495 | 1231775.89 |
| 35 | | 5150.48 | 39931.918 | 9583660.38 |
| 35 | | 5150.48 | 39931.920 | 9583661.38 |
| 36 | | 4260.429 | 25483.249 | 4369194.00 |
| 36 | | 4260.429 | 1448.670 | 396745.49 |
| 37 | | 9180.818 | 25641.916 | 4434546.44 |
| 37 | | 9180.818 | 14290.004 | 347858.01 |
| 38 | | 14990.773 | 26097.330 | 4527868.44 |
| 38 | | 14990.773 | 13834.589 | 113281.70 |
| 39 | | 3798.714 | 37229.673 | 620954.556 |
| 39 | | 3798.714 | 22850.150 | 1032917.24 |
| 40 | | 6112.677 | 36334.613 | 5865177.44 |
| 40 | | 6112.677 | 23745.210 | 1382972.28 |
| 41 | | 8093.847 | 36351.662 | 5887654.44 |
| 41 | | 8093.847 | 23728.162 | 1343194.52 |
| 42 | | 9907.586 | 37407.737 | 6073171.31 |
| 42 | | 9907.586 | 22672.086 | 768336.84 |
| 43 | | 2889.198 | 25967.093 | 4571512.75 |
| 43 | | 2889.198 | 13667.970 | 143828.55 |
| 44 | | 1044.305 | 25175.411 | 4298926.81 |
| 44 | | 1044.305 | 14459.652 | 441253.50 |
| 45 | | 817.627 | 25223.731 | 4338182.56 |
| 45 | | 817.627 | 14411.332 | 445718.73 |
| 46 | | 3149.153 | 26174.966 | 4492018.31 |
| 46 | | 3149.153 | 13460.097 | 85334.49 |
| 47 | | 3288.923 | 25573.746 | 4432866.25 |
| 47 | | 3288.923 | 14061.317 | 28391.90 |
| 48 | | 297.040 | 24421.207 | 40206.2234 |
| 48 | | 287.040 | 15213.856 | 705975.90 |
| 49 | | 2284.852 | 24831.782 | 4166802.16 |
| 49 | | 2284.852 | 14807.281 | 556542.14 |
| 50 | | 251.770 | 25524.262 | 4316378.81 |
| 50 | | 251.770 | 14110.801 | 207532.45 |
| 51 | | 6001.229 | 27493.053 | 4434922.38 |
| 52 | | 6001.229 | 17600.330 | 873442.05 |
| 52 | | 8151.567 | 26545.800 | 4157706.16 |
| 52 | | 8151.567 | 19547.493 | 1278283.02 |
| 53 | | 5661.738 | 2360.464 | 3862152.28 |
| 53 | | 5661.738 | 19332.919 | 1648236.28 |

| | | | |
|----|-----------|------------|------------|
| 54 | 6268.502 | 26690.131 | 3954981.56 |
| 54 | 6269.502 | 18403.252 | 971705.16 |
| 55 | 2993.991 | 24064.048 | 3844275.84 |
| 55 | 2993.991 | 15896.599 | 903994.44 |
| 56 | 785.324 | 24556.963 | 3893508.25 |
| 56 | 785.324 | 15403.684 | 598327.60 |
| 57 | 3872.156 | 22817.595 | 3384615.25 |
| 57 | 3872.156 | 17143.052 | 1341779.98 |
| 58 | 1336.724 | 22718.936 | 3300432.16 |
| 58 | 1336.724 | 17241.711 | 1328631.36 |
| 59 | 6924.575 | 17121.612 | 2085328.05 |
| 59 | 6924.575 | 15886.859 | 1640812.14 |
| 60 | 10042.991 | 181.80.319 | 2438555.47 |
| 60 | 10042.991 | 14828.152 | 1231775.73 |

$4/3 G + 3/2 Nv$

| | | | |
|----|-------------|----------|------------|
| 1 | 149898.113 | 3948.599 | 864268.49 |
| 1 | 149898.113 | 3948.599 | 320311.32 |
| 2 | 149898.115 | 3948.599 | 320311.37 |
| 2 | 149898.115 | 3948.599 | 1662835.14 |
| 3 | 3200971.125 | 4845.472 | 424756.73 |
| 3 | 320971.125 | 4845.472 | 1028884.93 |
| 4 | 301594.863 | 3869.822 | 1081058.63 |
| 4 | 301594.863 | 3969.822 | 268680.82 |
| 5 | 284713.879 | 1573.621 | 809801.47 |
| 5 | 284713.879 | 1573.621 | 262524.78 |
| 6 | 244230.035 | 557.937 | 113610.93 |
| 6 | 244230.035 | 557.937 | 76087.66 |
| 7 | 231715.221 | 1496.393 | 212726.11 |
| 7 | 231715.221 | 1496.393 | 236191.70 |
| 8 | 191617.105 | 1145.847 | 225679.93 |
| 8 | 191617.105 | 1145.847 | 163908.19 |
| 9 | 111682.363 | 5724.051 | 669285.07 |
| 9 | 111682.363 | 5724.051 | 1047930.14 |
| 10 | 91844.802 | 9622.194 | 1261935.72 |
| 10 | 91844.802 | 9622.194 | 2009610.82 |
| 11 | 120447.496 | 7809.453 | 1503992.31 |
| 11 | 120447.496 | 7809.453 | 1245634.97 |
| 12 | 100451.688 | 6370.410 | 1117717.11 |
| 12 | 100451.688 | 6370.410 | 1124667.17 |
| 13 | 80166.052 | 8498.404 | 1337676.55 |
| 13 | 80166.052 | 8498.404 | 1653761.50 |
| 14 | 240749.395 | 621.377 | 166037.92 |
| 14 | 240749.395 | 621.377 | 52686.99 |
| 15 | 201538.785 | 511.052 | 97401.72 |
| 15 | 201538.785 | 511.052 | 82488.50 |
| 16 | 162507.850 | 449.053 | 63177.27 |
| 16 | 162507.850 | 449.053 | 94889.30 |
| 17 | 184382.064 | 331.961 | 57143.14 |
| 17 | 184382.064 | 331.961 | 59707.29 |

| | | | |
|----|------------|-----------|------------|
| 11 | 144720.888 | 714.420 | 92959.04 |
| 18 | 144720.898 | 714.420 | 158516.68 |
| 19 | 104955.085 | 1065.942 | 63911.38 |
| 19 | 104955.085 | 1065.942 | 311300.21 |
| 20 | 130729.187 | 174.472 | 40168.43 |
| 20 | 130729.187 | 174.472 | 21245.69 |
| 21 | 90620.244 | 526.722 | 6136399 |
| 21 | 90620.244 | 526.732 | 124045.54 |
| 22 | 50831.301 | 359.973 | 47987.21 |
| 22 | 50831.301 | 359.973 | 78723.33 |
| 23 | 62557.480 | 6681.636 | 1197259.20 |
| 23 | 62557.480 | 6681.636 | 1154676.55 |
| 24 | 42993.712 | 5640.299 | 1042761.62 |
| 24 | 42993.712 | 5640.299 | 942623.74 |
| 25 | 23224.749 | 10373.366 | 1368488.56 |
| 25 | 23224.749 | 10373.366 | 2282936.44 |
| 26 | 57631.669 | 5667.901 | 937666.05 |
| 26 | 57631.669 | 5667.901 | 1057435.03 |
| 27 | 37892.837 | 6306.172 | 1178504.52 |
| 27 | 37892.837 | 6306.172 | 1041267.84 |
| 21 | 17805.114 | 9002.885 | 7336802.52 |
| 21 | 17805.114 | 9002.885 | 1832213.03 |
| 29 | 118187.705 | 972.095 | 214541.77 |
| 29 | 118187.705 | 972.095 | 127635.83 |
| 30 | 77901.150 | 172.336 | 54794.57 |
| 30 | 77901.150 | 172.336 | 5867.86 |
| 31 | 38174.474 | 37.167 | 8970.26 |
| 31 | 38174.474 | 37.167 | 4112.66 |
| 32 | 57816.195 | 4695.804 | 590272.13 |
| 32 | 57816.195 | 4695.804 | 1062650.17 |
| 33 | 37920.263 | 6478.510 | 1213562.23 |
| 33 | 37920.263 | 6478.510 | 1066873.30 |
| 34 | 17813.349 | 8965.721 | 1321901.81 |
| 34 | 17813.349 | 8965.721 | 1834031.94 |
| 35 | 1120.985 | 39931.918 | 9583660.38 |
| 35 | 1120.985 | 39931.920 | 9583661.38 |
| 36 | 875.656 | 19376.252 | 2109943.56 |
| 36 | 875.656 | 20555.667 | 2534532.66 |
| 37 | 1255.901 | 19928.171 | 2385618.81 |
| 37 | 1255.901 | 20003.748 | 2412826.56 |
| 38 | 3898.142 | 20294.361 | 2402314.81 |
| 38 | 3898.142 | 19837.558 | 2309865.84 |
| 39 | 3860.861 | 29450.614 | 3166127.44 |
| 39 | 3860.861 | 3029.209 | 3590421.63 |
| 40 | 730.332 | 30216.265 | 3693064.50 |
| 40 | 730.332 | 29863.558 | 3566090.34 |
| 41 | 1620.234 | 29984.411 | 3585034.88 |
| 41 | 1620.234 | 30095.412 | 3624995.09 |
| 42 | 2940.549 | 30792.502 | 3748734.84 |
| 42 | 2940.549 | 29287.321 | 3206869.31 |

| | | | |
|----|-----------|-----------|------------|
| 43 | 1436.046 | 19995.809 | 2363352.16 |
| 43 | 1436.046 | 19639.254 | 2234992.41 |
| 44 | 306.618 | 19571.352 | 2279707.28 |
| 44 | 306.618 | 20063.711 | 2456956.28 |
| 45 | 689.077 | 19597.432 | 2304280.00 |
| 45 | 689.077 | 20037.631 | 2462761.28 |
| 46 | 1041.335 | 20071.300 | 2380151.66 |
| 46 | 1041.335 | 19563.762 | 2197438.13 |
| 47 | 2128.001 | 20285.631 | 2462343.94 |
| 47 | 2128.001 | 19349.432 | 2125312.03 |
| 48 | 2066.005 | 19581.492 | 2270977.78 |
| 48 | 2066.005 | 20053.571 | 2440926.28 |
| 49 | 3846.361 | 19712.232 | 2346321.00 |
| 49 | 3846.361 | 19922.821 | 2422136.41 |
| 50 | 4733.067 | 19866.095 | 2346078.13 |
| 50 | 4733.067 | 19768.968 | 2311112.28 |
| 51 | 2830.503 | 22334.389 | 2591427.56 |
| 51 | 2830.503 | 22558.994 | 2600235.69 |
| 52 | 4251.651 | 21861.192 | 2480633.25 |
| 52 | 4251.651 | 23232.201 | 2974200.47 |
| 53 | 10013.393 | 23806.714 | 2695228.66 |
| 53 | 10013.393 | 25074.669 | 3115692.50 |
| 54 | 10373.366 | 25756.635 | 3194415.84 |
| 54 | 10373.366 | 23224.748 | 2282936.44 |
| 55 | 638.272 | 19738.832 | 2235939.59 |
| 55 | 638.272 | 20221.815 | 2409913.44 |
| 56 | 1782.705 | 20064.711 | 2336972.25 |
| 56 | 1782.705 | 19995.936 | 2276213.29 |
| 57 | 2696.715 | 20087.725 | 2378070.47 |
| 57 | 2696.715 | 19872.922 | 2300741.44 |
| 58 | 2487.211 | 19853.746 | 2287639.06 |
| 58 | 2487.211 | 20106.901 | 2389775.00 |
| 59 | 9002.888 | 17905.116 | 1832212.88 |
| 59 | 9002.888 | 19091.335 | 2295259.09 |
| 60 | 8965.721 | 19083.117 | 2291146.44 |
| 60 | 8965.721 | 17913.354 | 1834031.84 |

$4/3 C_p + 17/12 (C_e + V_{na})$

| | | | |
|---|------------|-----------|------------|
| 1 | 289435.758 | 25148.883 | 2224832.47 |
| 1 | 289435.758 | 6713.786 | 250330.46 |
| 2 | 289435.758 | 6881.204 | 250330.50 |
| 2 | 989435.758 | 12090.852 | 3869383.78 |
| 3 | 690336.242 | 17698.539 | 550595.26 |
| 3 | 690336.242 | 17698.539 | 4758976.25 |
| 4 | 614092.508 | 7832.365 | 2842393.16 |
| 4 | 614092.508 | 7832.365 | 179388.97 |
| 5 | 705764.547 | 10198.323 | 2153570.28 |
| 5 | 705764.547 | 10198.323 | 9059266.3 |
| 6 | 540688.078 | 7710.366 | 1510484.39 |
| 6 | 540688.078 | 7710.366 | 1116040.20 |

| | | | |
|----|------------|-----------|------------|
| 7 | 631259.016 | 7585.187 | 1828294.72 |
| 7 | 631259.016 | 7585.187 | 447261.41 |
| 8 | 467628.301 | 6941.265 | 1277665.28 |
| 8 | 467628.301 | 6941.265 | 1277665.28 |
| 9 | 320681.520 | 6141.265 | 1082364.94 |
| 9 | 320681.242 | 4669.890 | 2512179.59 |
| 10 | 237771.352 | 36532.549 | 4459947.19 |
| 10 | 237771.352 | 29956.111 | 5679718.56 |
| 11 | 222598.313 | 33259.549 | 5615062.13 |
| 11 | 222598.313 | 14660.718 | 2661306.88 |
| 12 | 165288.830 | 16817.527 | 2871973.03 |
| 12 | 165288.830 | 15712.418 | 2888759.53 |
| 13 | 107328.928 | 18089.158 | 3054306.53 |
| 13 | 107326.928 | 15772.087 | 2908806.97 |
| 14 | 470582.895 | 18346.263 | 3089451.00 |
| 14 | 470582.895 | 7773.051 | 1572955.55 |
| 15 | 348690.566 | 7773.051 | 1163158.28 |
| 15 | 348690.566 | 5039.933 | 835676.60 |
| 16 | 227127.209 | 5039.933 | 938379.94 |
| 16 | 227127.209 | 3075.691 | 689073.59 |
| 17 | 399765.711 | 3075.691 | 393569.73 |
| 17 | 399765.711 | 6244.957 | 1116219.16 |
| 18 | 278446.488 | 6244.957 | 1082005.63 |
| 18 | 278446.488 | 6379.183 | 1048029.39 |
| 19 | 157100.980 | 6379.183 | 1197442.92 |
| 19 | 157100.980 | 2502.634 | 672463.45 |
| 20 | 324981.520 | 2502.634 | 208463.80 |
| 20 | 324881.520 | 6755.002 | 1243043.34 |
| 21 | 202347.850 | 6755.002 | 1134717.36 |
| 21 | 22347.850 | 5563.811 | 917536.72 |
| 22 | 80121.690 | 5448.773 | 854036.55 |
| 22 | 80121.690 | 5448.773 | 1063931.55 |
| 23 | 164301.244 | 21909.919 | 3613117.81 |
| 23 | 164301.244 | 20287.938 | 3819936.84 |
| 24 | 101647.611 | 22933.056 | 3918093.75 |
| 24 | 101647.611 | 21146.128 | 3844388.03 |
| 25 | 39036.204 | 24741.499 | 3899902.47 |
| 25 | 39036.204 | 22804.619 | 4472466.25 |
| 26 | 70625.229 | 3364.788 | 586346.18 |
| 26 | 70625.229 | 6118.906 | 1067798.81 |
| 27 | 45686.620 | 5227.576 | 1275146.20 |
| 27 | 45686.620 | 8146.641 | 1074024.19 |
| 28 | 19670.044 | 8841.067 | 1675841.34 |
| 28 | 19670.044 | 11910.084 | 1972255.91 |
| 29 | 150219.316 | 6658.410 | 1317433.70 |
| 29 | 150219.316 | 6658.410 | 1026326.48 |
| 30 | 95891.051 | 3644.759 | 505656.03 |
| 30 | 95891.051 | 3644.759 | 77299.23 |
| 31 | 42017.307 | 1438.043 | 142316.80 |
| 31 | 42017.307 | 1438.043 | 363874.48 |

| | | | |
|----|-----------|------------|-------------|
| 32 | 78627.828 | 12155.529 | 19055.20.14 |
| 32 | 78627.828 | 10081.193 | 2011155.11 |
| 33 | 49346.191 | 12153.722 | 1926003.98 |
| 33 | 49346.191 | 9956.925 | 1968942.14 |
| 34 | 20697.973 | 12805.677 | 1763370.86 |
| 34 | 20697.973 | 10498.855 | 2341295.22 |
| 35 | 5898.255 | 162619.914 | 39028776.00 |
| 35 | 5898.255 | 162619.922 | 39028781.00 |
| 36 | 9866.208 | 76243.715 | 7601369.75 |
| 36 | 9866.208 | 86376.203 | 11249065.63 |
| 37 | 7378.208 | 79700.246 | 8932654.75 |
| 37 | 7378.208 | 83619.672 | 10711647.63 |
| 38 | 6734.289 | 79710.035 | 8986720.75 |
| 38 | 6734.289 | 82909.883 | 10138665.63 |
| 39 | 2619.489 | 66832445 | 6530690.94 |
| 39 | 2619.489 | 75034.377 | 9481586.50 |
| 40 | 12985.860 | 68475.228 | 729242.69 |
| 40 | 12985.860 | 73396.595 | 9500934.50 |
| 41 | 11520.523 | 67525.776 | 7274675.50 |
| 41 | 11520.523 | 74346.046 | 9728971.88 |
| 42 | 11334.293 | 68401.722 | 7403563.69 |
| 42 | 11334.293 | 73470.601 | 9228180.60 |
| 43 | 1127.880 | 57309.481 | 5760732.88 |
| 43 | 1127.880 | 64117.581 | 8211649.13 |
| 44 | 1605.208 | 57774.739 | 6212814.89 |
| 44 | 1605.208 | 63652.323 | 8228745.19 |
| 45 | 1471.009 | 57666.854 | 6198710.44 |
| 45 | 1471.009 | 63760.208 | 8392317.75 |
| 46 | 2662.180 | 58773.439 | 6340064.44 |
| 46 | 2662.180 | 62653.623 | 7736930.25 |
| 47 | 2341.823 | 57961.895 | 5964113.63 |
| 47 | 2341.823 | 63465.167 | 7945292.31 |
| 48 | 377.649 | 58098.189 | 6317838.75 |
| 48 | 377.649 | 63328.873 | 8200885.19 |
| 49 | 3498.957 | 58016.597 | 6330979.04 |
| 49 | 3498.957 | 63410.466 | 8272772.38 |
| 50 | 3614.029 | 58815.642 | 6377810.19 |
| 50 | 3614.029 | 62611.420 | 7744290.19 |
| 51 | 15008.190 | 36701.708 | 3685797.25 |
| 51 | 15008.190 | 41108.474 | 5272232.75 |
| 52 | 18590.868 | 35799.447 | 3561229.53 |
| 52 | 18590.868 | 42016.735 | 5797293.19 |
| 53 | 28243.699 | 36162.466 | 3683209.59 |
| 53 | 28243.699 | 41347.717 | 5441999.50 |
| 54 | 22794.953 | 38773.983 | 4378068.00 |
| 54 | 22794.953 | 39036.200 | 4472465.88 |
| 55 | 919.731 | 24938.612 | 2342945.69 |
| 55 | 919.731 | 29335.635 | 3925873.84 |
| 56 | 2093.941 | 24992.586 | 2393892.22 |
| 56 | 2093.941 | 28281.660 | 3937959.00 |

| | | | |
|----|-----------|-----------|------------|
| 57 | 664.496 | 26016.574 | 2749866.28 |
| 57 | 664.496 | 28257.673 | 3556661.84 |
| 58 | 2871.232 | 25616.058 | 2637045.81 |
| 58 | 2871.232 | 28658.189 | 3732212.78 |
| 59 | 11925.425 | 19670.050 | 1972255.73 |
| 59 | 11925.425 | 21517.621 | 2637381.59 |
| 60 | 10487.376 | 20499.685 | 2273507.34 |
| 60 | 10487.376 | 20687.985 | 2341295.38 |

$4/3 C_p + 17/12 (C_e + V_{n2})$

| | | | |
|----|------------|-----------|------------|
| 1 | 334606.277 | 2623.650 | 281976.90 |
| 1 | 334606.277 | 5539.019 | 2608809.09 |
| 2 | 334606.277 | 21159.017 | 2608809.75 |
| 2 | 334606.277 | 24382.793 | 5687594.38 |
| 3 | 696342.938 | 35603.327 | 5749666.63 |
| 3 | 696342.938 | 35602.327 | 4931331.50 |
| 4 | 611486.820 | 26282.061 | 5859549.00 |
| 4 | 611486.820 | 26282.061 | 3076351.63 |
| 5 | 692701.867 | 15554.256 | 3825566.09 |
| 5 | 692701.867 | 15554.256 | 840710.84 |
| 6 | 528260.508 | 14494.502 | 2621528.28 |
| 6 | 528260.508 | 14494.502 | 2306601.47 |
| 7 | 632576.016 | 18280.492 | 4188183.88 |
| 7 | 632576.016 | 18280.492 | 1295963.66 |
| 8 | 468487.426 | 15412.991 | 2828381.09 |
| 8 | 468487.426 | 15412.991 | 2412035.84 |
| 9 | 281248.699 | 16606.163 | 3101908.19 |
| 9 | 281248.699 | 15256.507 | 3620122.29 |
| 10 | 206775.951 | 18685.845 | 3347406.16 |
| 10 | 206775.951 | 23772.385 | 4280342.13 |
| 11 | 257519.957 | 27113.174 | 4919011.38 |
| 11 | 257519.957 | 25326.246 | 4516044.69 |
| 12 | 191599.061 | 26709.140 | 4449215.31 |
| 12 | 191599.061 | 24737.271 | 4610484.75 |
| 13 | 126026.687 | 22774.424 | 4186499.47 |
| 13 | 126026.687 | 26637.608 | 3458563.63 |
| 14 | 469132.797 | 11125.473 | 1916121.64 |
| 14 | 469132.797 | 11125.473 | 2000044.69 |
| 15 | 347917.340 | 10800.006 | 1849880.33 |
| 15 | 347917.340 | 10800.006 | 1951721.78 |
| 16 | 226990.117 | 8320.484 | 1586191.86 |
| 16 | 226990.117 | 8320.484 | 1342618.72 |
| 17 | 387018.930 | 11733.658 | 2168754.84 |
| 17 | 387018.930 | 11733.658 | 1961492.89 |
| 18 | 265602.496 | 9778.670 | 1670357.25 |
| 18 | 265602.496 | 9778.670 | 1771734.56 |
| 19 | 143855.976 | 8145.359 | 1487177.39 |
| 19 | 143855.976 | 8145.359 | 1379989.09 |
| 20 | 325197.188 | 11754.106 | 2126500.59 |
| 20 | 325197.188 | 11754.106 | 2010944.55 |

| | | | |
|----|------------|------------|-------------|
| 21 | 201996.824 | 10283.121 | 1827503.02 |
| 21 | 201996.824 | 10283.121 | 1792155.39 |
| 22 | 79110.084 | 11199.638 | 1801121.06 |
| 22 | 79110.084 | 11199.638 | 2141151.63 |
| 23 | 143260.811 | 8553.751 | 1264192.41 |
| 23 | 143260.811 | 10598.097 | 2100081.69 |
| 24 | 89305.623 | 12269.934 | 2383898.41 |
| 24 | 89305.623 | 14524.213 | 2326011.78 |
| 25 | 34730.145 | 13775.834 | 2436392.44 |
| 25 | 34730.145 | 16220.052 | 2837605.28 |
| 26 | 82229.280 | 16194.942 | 2864198.16 |
| 26 | 82229.280 | 13610.673 | 2438495.44 |
| 27 | 51161.476 | 14376.922 | 2192603.66 |
| 27 | 51161.476 | 11957.597 | 2456066.25 |
| 27 | 21217.128 | 13455.131 | 1747777.53 |
| 28 | 21217.128 | 10910.946 | 2544171.03 |
| 29 | 150612.352 | 9547.476 | 1791989.64 |
| 29 | 150612.352 | 8547.476 | 1578711.88 |
| 30 | 86045.194 | 863.060 | 1228018.50 |
| 30 | 86045.194 | 7963.060 | 1574178.63 |
| 31 | 41209.928 | 2936.392 | 279766.68 |
| 31 | 41209.928 | 2936.392 | 753843.32 |
| 32 | 66620.741 | 2806.293 | 958710.98 |
| 32 | 66620.741 | 292.129 | 391096.87 |
| 33 | 43717.189 | 8640.713 | 1165685.48 |
| 33 | 43717.189 | 6409.827 | 598910.94 |
| 34 | 19048.266 | 9208.571 | 1661457.45 |
| 34 | 19048.266 | 11120.139 | 1736436.69 |
| 35 | 8720, 495 | 162619.914 | 3902976.00 |
| 35 | 8720, 495 | 162619.922 | 39028781.00 |
| 36 | 9321.263 | 84856.097 | 10790880.88 |
| 36 | 9321.263 | 77763.821 | 8237661.75 |
| 37 | 10381.113 | 86677.516 | 1168902.25 |
| 37 | 10381.113 | 75942.402 | 7835260.81 |
| 38 | 13249.600 | 88146.178 | 11959606.38 |
| 38 | 13248.600 | 74473.740 | 7037528.13 |
| 39 | 4421.939 | 77086.322 | 10406606.00 |
| 39 | 4421.939 | 64785.500 | 5978309.94 |
| 40 | 10734.558 | 77568.518 | 10970782.38 |
| 40 | 10734.558 | 64303.305 | 6195305.69 |
| 41 | 13495.474 | 76968.282 | 10670662.00 |
| 41 | 13495.474 | 64933.540 | 6348954.31 |
| 42 | 17154.298 | 78356.685 | 10887491.13 |
| 42 | 17154.298 | 63515.138 | 5544534.00 |
| 43 | 8267.160 | 65920.913 | 8965260.13 |
| 43 | 8267.160 | 55506.169 | 5215959.81 |
| 44 | 2941.717 | 65709.280 | 9065884.38 |
| 44 | 2941.717 | 55717.782 | 5488944.94 |
| 45 | 886.671 | 65698.604 | 9100794.75 |
| 46 | 484.281 | 67471.984 | 9349888.75 |
| 46 | 484.281 | 53955.178 | 4483974.94 |

| | | | |
|----|-----------|-----------|------------|
| 47 | 94. 101 | 65572.365 | 8796985.25 |
| 47 | 94. 101 | 55854.697 | 5998624.94 |
| 48 | 2385.317 | 65072.524 | 8936538.75 |
| 48 | 2385.317 | 56354.588 | 5698668.69 |
| 49 | 4018.692 | 65391.947 | 8956976.00 |
| 49 | 4018.692 | 56035.116 | 5588517.25 |
| 50 | 3102.246 | 66851.116 | 3181714.38 |
| 50 | 3102.246 | 54575.489 | 4762404.06 |
| 51 | 2229.737 | 43797.420 | 6322762.13 |
| 51 | 2228.737 | 34012.763 | 2800285.53 |
| 52 | 1002.786 | 42365.031 | 5924903.88 |
| 52 | 1002.786 | 35445.151 | 3433747.19 |
| 53 | 6241.957 | 41780.134 | 5772448.06 |
| 53 | 6241.957 | 36030.049 | 3702417.53 |
| 54 | 17441.557 | 43090.040 | 5843569.00 |
| 54 | 17441.557 | 34730.143 | 2837606.13 |
| 55 | 2921.719 | 31067.805 | 4621098.81 |
| 55 | 2921.719 | 23206.442 | 1791007.77 |
| 56 | 1237.228 | 31360.673 | 4597737.81 |
| 56 | 1237.228 | 22913.573 | 1556782.00 |
| 57 | 3982.115 | 29944.345 | 4203844.81 |
| 57 | 3982.115 | 24329.901 | 2188644.97 |
| 58 | 1044.523 | 29605.351 | 4037391.69 |
| 58 | 1044.523 | 24668.896 | 2260267.88 |
| 59 | 9689.180 | 21217.135 | 2544170.97 |
| 59 | 9689.180 | 19970.535 | 2095395.22 |
| 60 | 12575.636 | 22139.393 | 2849239.22 |
| 60 | 12575.636 | 19048.277 | 1736436.55 |

$$\frac{4}{3} C_p + \frac{17}{12} (C_e + N_m)$$

| | | | |
|---|------------|-----------|-------------|
| 1 | 305857.238 | 8888.803 | 1925173.59 |
| 1 | 305857.238 | 8888.803 | 741467.56 |
| 2 | 305857.238 | 8888.803 | 741467.45 |
| 2 | 305857.238 | 8888.803 | 3763660.44 |
| 3 | 696767.266 | 21449.333 | 1945003.20 |
| 3 | 696767.266 | 21449.333 | 4489796.81 |
| 4 | 617692.438 | 15332.344 | 416232679 |
| 4 | 617692.438 | 15332.344 | 105067027 |
| 5 | 705023.570 | 4282.786 | 575180.02 |
| 5 | 705023.570 | 4282.786 | 709655.71 |
| 6 | 540209.230 | 1333.209 | 208472.86 |
| 6 | 540209.230 | 1333.209 | 244918.46 |
| 7 | 685657.469 | 2592.408 | 401798.89 |
| 7 | 685657.469 | 2592.408 | 375923.55 |
| 8 | 471842.480 | 2541.515 | 533241.44 |
| 8 | 471842.480 | 2541.515 | 330873.56 |
| 9 | 308893.820 | 28462.919 | 2529012.91 |
| 9 | 308893.820 | 28462.919 | 41509862.88 |

| | | | |
|----|------------|-----------|------------|
| 10 | 22837.262 | 28095.832 | 4607098.38 |
| 10 | 22937.262 | 28095.832 | 4945484.50 |
| 11 | 236135.094 | 20561.788 | 3761942.91 |
| 11 | 236135.094 | 20561.788 | 3475906.50 |
| 12 | 175867.014 | 19731.556 | 3398961.47 |
| 12 | 175867.014 | 19731.556 | 3546546.13 |
| 13 | 115300.723 | 19726.628 | 3385011.06 |
| 13 | 115300.723 | 19726.628 | 3206762.16 |
| 14 | 473766.277 | 1979.948 | 535549.94 |
| 14 | 473766.277 | 1979.948 | 161391.77 |
| 15 | 352203.180 | 513.142 | 120153.32 |
| 15 | 352203.180 | 513.142 | 60472.60 |
| 16 | 230851.471 | 816.813 | 82159.95 |
| 16 | 230851.471 | 816.813 | 205358.27 |
| 17 | 399203.980 | 394.635 | 63293.55 |
| 17 | 399203.980 | 394.635 | 756A.87 |
| 18 | 277808.598 | 949.110 | 126449.24 |
| 18 | 277808.598 | 949.110 | 67937.59 |
| 19 | 156326.986 | 1537.652 | 101041.30 |
| 19 | 156326.986 | 1537.652 | 440212.03 |
| 20 | 328787.199 | 650.210 | 152907.73 |
| 20 | 328787.199 | 650.210 | 75966.02 |
| 21 | 206038.744 | 247.459 | 5712.31 |
| 21 | 206038.744 | 247.459 | 92817.77 |
| 22 | 83661.896 | 246.416 | 54780.94 |
| 22 | 83661.896 | 246.416 | 31957.36 |
| 23 | 158959.695 | 17536.979 | 2807527.09 |
| 23 | 158959.695 | 17536.979 | 3265489.34 |
| 24 | 99226.371 | 19048.096 | 3379510.41 |
| 24 | 99226.371 | 19048.096 | 3325419.47 |
| 25 | 392294.496 | 21327.496 | 3428373.56 |
| 25 | 392294.496 | 21327.496 | 4078905.09 |
| 26 | 76197.517 | 8136.186 | 1376919.58 |
| 26 | 76197.517 | 8136.186 | 1493017.73 |
| 27 | 49224.251 | 8737.288 | 1605522.77 |
| 27 | 49224.251 | 8737.288 | 1478002.56 |
| 28 | 21864.181 | 11606.647 | 1780979.64 |
| 28 | 21864.181 | 11606.647 | 230456.22 |
| 29 | 154214.361 | 1337.242 | 303114.19 |
| 29 | 154214.361 | 1337.242 | 167595.07 |
| 30 | 99805.330 | 243.065 | 75295.62 |
| 30 | 99805.330 | 243.065 | 10263.38 |
| 31 | 45998.167 | 50.829 | 12044.34 |
| 31 | 45998.167 | 50.829 | 5247.38 |
| 32 | 76421.777 | 6798.936 | 906334.19 |
| 32 | 76421.777 | 6798.936 | 1486891.47 |
| 33 | 49255.560 | 8980.351 | 1658288.92 |
| 33 | 49255.560 | 8980.351 | 1502794.69 |
| 34 | 21874.256 | 11555.819 | 1761075.97 |
| 34 | 21874.256 | 11555.819 | 2306572.41 |

| | | | |
|----|-----------|------------|-------------|
| 35 | 7930.579 | 162619.914 | 39028776.00 |
| 35 | 793.0.579 | 162619.922 | 39028781.00 |
| 36 | 6117.012 | 79074.807 | 8652123.75 |
| 36 | 6117.012 | 83545.111 | 10261433.63 |
| 37 | 501.019 | 81268.504 | 9760250.75 |
| 37 | 501.019 | 81351.414 | 9790097.75 |
| 38 | 4632.907 | 82463.367 | 9947415.63 |
| 38 | 4632.907 | 80156.551 | 9116961.13 |
| 39 | 11673.003 | 69722.146 | 7525503.44 |
| 39 | 11673.003 | 72149.676 | 8399414.00 |
| 40 | 5639.271 | 71776.491 | 8914534.50 |
| 40 | 5639.271 | 70095.341 | 8309324.13 |
| 41 | 7367.121 | 70910.619 | 8490848.88 |
| 41 | 7367.121 | 70961.303 | 8509058.75 |
| 42 | 10558.837 | 72094.263 | 8687024.63 |
| 42 | 10558.837 | 69777.560 | 7853011.44 |
| 43 | 820.244 | 60268.077 | 6874868.13 |
| 43 | 820.244 | 61158.985 | 7195594.94 |
| 44 | 1662.843 | 60404.105 | 7154356.63 |
| 44 | 1662.843 | 61022.957 | 7377143.50 |
| 45 | 1108.365 | 60372.375 | 7175376.50 |
| 45 | 1108.365 | 61054.687 | 7421008.50 |
| 46 | 1511.119 | 61693.747 | 7350755.06 |
| 46 | 1511.119 | 59733.315 | 6641999.63 |
| 47 | 1004.905 | 60566.283 | 6931557.38 |
| 47 | 1004.905 | 60860.779 | 7037576.00 |
| 48 | 701.230 | 60490.927 | 7180208.50 |
| 48 | 701.230 | 60936.135 | 7340493.38 |
| 49 | 1795.523 | 60845.440 | 7233587.19 |
| 49 | 1795.523 | 60881.623 | 7354613.13 |
| 50 | 2279.401 | 61495.175 | 7316576.38 |
| 50 | 2279.401 | 59931.888 | 6753793.00 |
| 51 | 10580.444 | 39103.217 | 4577691.69 |
| 51 | 10580.444 | 38706.965 | 443500.81 |
| 52 | 12744.499 | 37930.174 | 4337274.88 |
| 52 | 12744.499 | 39880.009 | 5039215.69 |
| 53 | 21081.081 | 40025.250 | 4573093.69 |
| 53 | 21081.081 | 41465.572 | 5091609.44 |
| 54 | 21327.494 | 42196.331 | 5123566.75 |
| 54 | 21327.494 | 39294.493 | 4078905.09 |
| 55 | 601.105 | 26973.268 | 3098540.53 |
| 55 | 601.105 | 27300.979 | 3216516.41 |
| 56 | 2181.415 | 27108.008 | 3124217.09 |
| 56 | 2181.415 | 27166.239 | 3145180.31 |
| 57 | 2869.365 | 27360.069 | 3250982.41 |
| 57 | 2869.365 | 26914.178 | 3090461.78 |
| 58 | 2575.468 | 26892.971 | 3088080.91 |
| 58 | 2575.468 | 27391.276 | 3263870.50 |
| 59 | 11606.650 | 21864.186 | 2304560.13 |
| 59 | 11606.650 | 23004.125 | 2714938.34 |
| 60 | 11555.820 | 22994.042 | 2709691.00 |
| 60 | 11555.820 | 21874.268 | 2306572.41 |

CH 5

DIMENSIONNEMENT DE LA
STRUCTURE

DIMENSIONNEMENT DES PORTIQUES

1. DIMENSIONNEMENT DES POTEAUX

1a portique longitudinal c-c

1.a.1. Poteaux des sous-sols. (barres 1 = 10).

$$M_{max} = 6078937,63 \text{ kg cm.}$$

$$N_{corr} = 509434,68 \text{ kg.}$$

$$N_{max} = 725096,289 \text{ kg.}$$

$$M_{corr} = 734988,16 \text{ kg cm}$$

• Resistance: On verifie: $\frac{M_{max}}{W_x} + \frac{N_{corr}}{A} \leq \sigma_c$ et $\frac{N_{max}}{A} + \frac{M_{corr}}{W_x} \leq \sigma_c$

On prend un HEM700. $\rightarrow W_x = 9200 \text{ cm}^3$
 $A = 383 \text{ cm}^2$

Donc:

$$\frac{M_{max}}{W_x} + \frac{N_{corr}}{A} = \frac{6078937,63}{9200} + \frac{509434,68}{383} = 1991 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

$$\frac{N_{max}}{A} + \frac{M_{corr}}{W_x} = \frac{725096,289}{383} + \frac{734988,16}{9200} = 1973 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

• Stabilité: la verification de fera. avec: $k_1 \sigma + k_2 \sigma_f \leq \sigma_c$

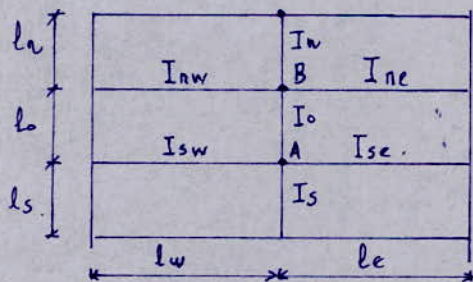
$$\text{avec: } \sigma = \frac{N}{A} = \frac{509434,68}{383} = 1330,12 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_f = \frac{M}{W_x} = \frac{6078937,63}{9200} = 660,75 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_k = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad \text{et: } \lambda = \frac{e_f}{i_x}$$

e_f : Longueur de flambement du poteau:

Pour le calcul de e_f on utilise. Les. Regles. CM.66.



La Longueur de flambement e_f d'un poteau. est determinée en fonction de la hauteur d'etage. l_0 et des liaisons effectives aux extremités. On peut admettre. comme hauteur d'etage l_0 la distance. entre faces superieures. des lanchers. consecutifs.

Lorsque la stabilité dans la direction du flambement est assurée par des contreventements ou des murs de refend, le rapport $\frac{e_f}{l_0}$ est donné par la formule suivante en fonction des coefficients d'encastrement k_A et k_B aux extremités AB. de poteau considéré:

$$\frac{e_f}{l_0} = \frac{3 - 1,6(k_A + k_B) + 0,84 k_A k_B}{3 - (k_A + k_B) + 0,28 k_A k_B}$$

Le coefficient d'encastrement du poteau AB a son noeud inférieur est

$$K_A = \frac{\frac{I_{sw}}{l_w} + \frac{I_{se}}{l_e}}{\frac{I_s}{l_s} + \frac{I_o}{l_o} + \frac{I_{sw}}{l_w} + \frac{I_{se}}{l_e}}$$

$$\kappa_{sw} = \frac{I_{sw}}{l_w}$$

$$\kappa_{se} = \frac{I_{se}}{l_e}$$

et au noeud supérieur B.

$$K_B = \frac{\frac{I_{nw}}{l_w} + \frac{I_{ne}}{l_e}}{\frac{I_n}{l_n} + \frac{I_o}{l_o} + \frac{I_{nw}}{l_w} + \frac{I_{ne}}{l_e}}$$

Donc: on aura en fonction des rigidités

$$K_A = \frac{\kappa_{sw} + \kappa_{se}}{\kappa_s + \kappa_o + \kappa_{sw} + \kappa_{se}}$$

$$K_B = \frac{\kappa_{nw} + \kappa_{ne}}{\kappa_n + \kappa_o + \kappa_{nw} + \kappa_{ne}}$$

Application à notre cas:

$$K_A = \frac{\kappa_{sw} + \kappa_{se}}{\kappa_s + \kappa_o + \kappa_{sw} + \kappa_{se}} = \frac{0}{\kappa_o} = 0, \quad K_B = \frac{2 \cdot \frac{136691}{7,20}}{2 \cdot \frac{136691}{7,20} + 39278 \left(\frac{1}{3,4} + \frac{1}{3} \right)} = 0,15524$$

$$\text{Donc: } \frac{l_f}{l_o} = \frac{3 - 1,6 \cdot 0,15524 + 0}{3 - 0,15524 + 0} = 0,967$$

$$\Rightarrow l_f = 0,967 \cdot l_o$$

$$\text{D'où: } \lambda_x = \frac{l_f}{l_e} = \frac{0,967 \cdot 300}{29,3} = 10$$

$$\bar{\sigma}_k = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^6}{100} = 2,073 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \mu = \frac{\bar{\sigma}_k}{\sigma} = \frac{2,073 \cdot 10^5}{1330,12} = 155,85 \text{ kg/cm}^2$$

$$k_f = \frac{\mu + 0,25}{\mu - 1,3} = \frac{155,85 + 0,25}{155,85 - 1,3} = 1,01$$

$$K_1 = \frac{\mu - 1}{\mu - 1,3} = \frac{155,85 - 1}{155,85 - 1,3} = 1,0019$$

$$K_1 \bar{\sigma} + k_f \times \bar{\sigma}_k = 1,0019 \cdot 1330,12 + 1,01 \cdot 660,75 = 2000 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_c$$

1.a-2. Poteaux (RDC+1+2) → barres 11 ÷ 25

$$M_{max} = 4719011,38 \text{ kgcm}$$

$$N_{corr} = 257519,957 \text{ kg}$$

$$N_{max} = 483151,395 \text{ kg}$$

$$M_m = 556813,05 \text{ kgcm}$$

• Résistance: on vérifie.

$$\frac{M_{max}}{W_x} + \frac{N_{corr}}{A} \leq \bar{\sigma}_c \quad \text{et} \quad \frac{N_{max}}{A} + \frac{M_{corr}}{W_x} \leq \bar{\sigma}_c$$

$$\text{on prend un HEM. 300} \rightarrow W_x = 3480 \text{ cm}^3$$

$$A = 303,1 \text{ cm}^2$$

$$\frac{M_{max}}{W_x} + \frac{N_{corr}}{A} = \frac{4719011,38}{3480} + \frac{257519,957}{303,1} = 2210 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_c$$

$$\frac{N_{max}}{A} + \frac{M_{corr}}{W_x} = \frac{483151,38}{303,1} + \frac{556813,05}{3480} = 1760 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

Stabilité : on vérifie $k_1 \sigma + k_{fx} \sigma_{fx} \leq \sigma_c$

avec: $\sigma = \frac{N}{A} = \frac{257519,957}{303,1} = 850 \text{ kg/cm}^2$

• $\sigma_f = \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{4719041,38}{3480} = 1360 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$

Détermination de l_f :

$$k_A = \frac{\frac{I_{sw}}{e_w} + \frac{I_{se}}{e_e}}{\frac{I_s}{e_s} + \frac{I_o}{e_o} + \frac{I_{sw}}{e_{sw}} + \frac{I_{se}}{e_{se}}} = \frac{\frac{136691}{720}}{\frac{136691}{720} + \frac{399278}{340} + \frac{59201}{352}} = 0,143$$

$$k_B = \frac{\frac{107176}{720}}{2 \cdot \frac{59201}{552} + \frac{107176}{720}} = 0,307$$

$$\rightarrow \frac{l_f}{e_o} = \frac{3 - 1,6(0,143 + 0,307) + 0,84 \cdot 0,307 \cdot 0,143}{3 - (0,143 + 0,307) + 0,28 \cdot 0,307 \cdot 0,143} = 0,904 \rightarrow l_f = 0,904 e_o$$

$$\lambda_x = \frac{l_f}{i_x} = \frac{0,904 \cdot 352}{14} = 23 \rightarrow \sigma_D = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2 x} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^6}{196} = 1,057 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\mu = \frac{\sigma_D}{\sigma} = \frac{1,057 \cdot 10^5}{850} = 124,35 \rightarrow k_f = \frac{\mu + 0,25}{\mu - 1,3} = \frac{124,35 + 0,25}{124,35 - 1,3} = 1,012$$

$$k_1 = \frac{\mu - 1}{\mu - 1,3} = \frac{124,35 - 1}{124,35 - 1,3} = 1,0024$$

$$k_1 \sigma + k_{fx} \sigma_{fx} = 1,0024 \cdot 850 + 1,012 \cdot 1360 = 2230 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

1. a. 3. poteaux (3^e, 4^e, 5^e étage) (barres 26 = 34)

$$M_{max} = 2864198,16 \text{ kgcm}$$

$$N_{corr} = 82229,29 \text{ kg}$$

$$N_{max} = 154214,361 \text{ kg}$$

$$M_{corr} = 303114,19 \text{ kgcm}$$

Resistance: on essaye un HEM 240 $\rightarrow W_x = 1800 \text{ cm}^3$
 $A = 199,6 \text{ cm}^2$

$$\frac{M_{max}}{W_x} + \frac{N_{corr}}{A} = \frac{2864198,16}{1800} + \frac{82229,28}{199,6} = 2000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{N_{max}}{A} + \frac{M_{corr}}{W_x} = \frac{154214,361}{199,6} + \frac{303114,19}{1800} = 941 \text{ kg/cm}^2$$

Stabilité : on vérifie $k_1 \sigma + k_f \sigma_f \leq \sigma_c$

La vérification tiendra avec M_{max} et N_{corr} .

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{82229,28}{199,6} = 412 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_f = \frac{M}{W_x} = \frac{2864198,16}{1800} = 1591 \text{ kg/cm}^2$$

Determination de k_f :

$$K_A = \frac{\frac{57680}{720} \cdot 2}{2 \cdot \frac{57680}{720} + \frac{59201}{352} + \frac{24289}{352}} = 0,403$$

$$K_B = \frac{\frac{36656}{720}}{2 \cdot \frac{24289}{352} + \frac{36656}{720}} = 0,270$$

D'où

$$\frac{l_f}{l_0} = \frac{\beta - 1,6(K_A + K_B) + 0,84 \cdot K_A \cdot K_B}{\beta - (K_A + K_B) + 0,28 \cdot K_A \cdot K_B} = 0,854 \rightarrow l_f = 0,854 l_0$$

$$\lambda = \frac{l_f}{i_x} = \frac{0,854 \cdot 352}{11} = 27 \rightarrow \sigma_R = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^6}{729} = 2,84 \cdot 10^4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\mu = \frac{\sigma_R}{\sigma} = \frac{2,84 \cdot 10^4}{412} = 68,93 \rightarrow K_f = \frac{\mu + 0,25}{\mu - 1,3} = 1,023$$

$$K_1 = \frac{\mu - 1}{\mu - 1,3} = 1,0044$$

$$K_1 \sigma + K_f \sigma_f = 1,0044 \cdot 412 + 1,023 \cdot 1591 = 2041 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

1b portique transversal aa

1.b.1. poteaux des sous-sols. (barres 1÷8)

$$M_{\max} = 372836,89 \text{ kgcm}$$

$$N_{\text{corr}} = 839247,172 \text{ kg}$$

$$N_{\max} = 839247,172 \text{ kg}$$

$$M_{\text{corr}} = 372836,89 \text{ kgcm}$$

• Resistance: on essaye en HEM. 800 $\rightarrow W_y = 1230 \text{ cm}^3$
 $A = 404,3 \text{ cm}^2$

$$\frac{M_{\max}}{W_x} + \frac{N_{\text{corr}}}{A} = \frac{372836,89}{1230} + \frac{839247,172}{404,3} = 2380 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

• Stabilité: on vérifie $K_1 \sigma + K_f \sigma_f \leq \sigma_c$.

avec: $\sigma = \frac{N}{A} = \frac{839247,172}{404,3} = 2075 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma_f = \frac{M}{W_y} = \frac{372836,89}{1230} = 303 \text{ kg/cm}^2$$

Determination de k_f :

$$K_A = \frac{\frac{I_{sw}}{l_w} + \frac{I_{se}}{l_e}}{\frac{I_s}{l_s} + \frac{I_0}{l_0} + \frac{I_{sw}}{l_w} + \frac{I_{se}}{l_e}} ; K_B = \frac{\frac{I_{nw}}{l_w} + \frac{I_{ne}}{l_e}}{\frac{I_n}{l_n} + \frac{I_0}{l_0} + \frac{I_{nw}}{l_w} + \frac{I_{ne}}{l_e}}$$

$$\frac{l_f}{l_0} = \frac{\beta - 1,6(K_A + K_B) + 0,84 \cdot K_A \cdot K_B}{\beta - (K_A + K_B) + 0,28 \cdot K_A \cdot K_B}$$

Tout calcul fait on trouve $l_f = 0,74 \cdot l_0$
 $\lambda_y = 32,6$

$$\mu = \frac{\sigma_k}{\sigma} = 11,6 \quad \rightarrow \quad k_f = \frac{\mu + 9,25}{\mu - 1,3} = 1,15 \quad ; \quad k_1 = \frac{\mu - 1}{\mu - 1,3} = 1,029$$

$k_1 \sigma + k_f \sigma_{fy} \leq \sigma_c \rightarrow 1,029 \cdot 2075 + 1,15 \cdot 303 = 2484 \text{ kg/cm}^2$
 L'erreur commise est de 3,5% \rightarrow donc on garde le 2^o profil

1.2.b. Poteaux: (RDC + 1+2) \rightarrow barres 9: 20

$$M_{\max} = 2647944,44 \text{ kgcm} \quad N_{\max} = 583515,91 \text{ kg}$$

$$M_{\text{corr}} = 102287,47 \text{ kg} \quad M_{\text{corr}} = 271004,93 \text{ kgcm}$$

Resistance: essayons un HEM 340 $\rightarrow W_y = 1280 \text{ cm}^3$ $c_y = 7,90 \text{ cm}$
 $A = 315,8 \text{ cm}^2$

$$\frac{M_{\max}}{W_x} + \frac{N_{\text{corr}}}{A} = \frac{2647944,44}{1280} + \frac{102287,47}{315,8} = 2390 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

$$\frac{N_{\max}}{A} + \frac{M_{\text{corr}}}{W_y} = \frac{583515,91}{315,8} + \frac{271004,93}{1280} = 1806,14 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

Stabilité: on vérifie $k_1 \sigma + k_f \sigma_{fy} \leq \sigma_c$

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{102287,44}{315,8} = 324 \text{ kg/cm}^2 \quad , \quad \sigma_f = \frac{M}{W_x} = \frac{2647944,44}{1280} = 2070 \text{ kg/cm}^2$$

Détermination de l_f : Les coefficients d'encastrement sont:
 $k_A = 0,754$
 $k_B = 0,753$

$$\rightarrow \frac{l_f}{l_0} = 0,634 \rightarrow l_f = 0,634 l_0$$

$$\lambda_y = \frac{l_f}{i_y} = 28,25 \rightarrow \sigma_k = \frac{\pi^2 E}{\lambda_y^2} = 2,6 \cdot 10^4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\mu = \frac{\sigma_k}{\sigma} = 80,25 \rightarrow k_f = \frac{\mu + 9,25}{\mu - 1,3} = 1,0196$$

$$k_1 = \frac{\mu - 1}{\mu - 1,3} = 1,0038$$

$$k_1 \sigma + k_f \sigma_f = 1,0038 \cdot 324 + 1,0196 \cdot 2070 = 2436 \text{ kg/cm}^2 \approx \sigma_c$$

L'erreur étant de 1,5% on garde le 2^o profil

1.b.3. Poteaux (5,4,3) \rightarrow barres 21: 32

$$M_{\max} = 2091360,19 \text{ kgcm} \quad N_{\max} = 158039,988 \text{ kg}$$

$$M_{\text{corr}} = 74413,087 \text{ kg} \quad M_{\text{corr}} = 38369,290 \text{ kgcm}$$

Resistance: Essayons un HEM 300 $\rightarrow W_y = 1250 \text{ cm}^3$
 $A = 303,1 \text{ cm}^2$

$$\frac{M_{\max}}{W_x} + \frac{N}{A} = \frac{2091360,19}{1250} + \frac{74413,087}{303,1} = 1920 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

$$\frac{N_{\max}}{A} + \frac{M_{\text{corr}}}{W_y} = \frac{158039,988}{303,1} + \frac{31309,29}{1250} = 552 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$$

Stabilité : on vérifie $k_1 \sigma + k_f \sigma_f \leq \sigma_e$

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{74413,087}{303,1} = 245,5 \text{ kg/cm}^2 ; \sigma_f = \frac{M}{W_y} = \frac{2091360,19}{1250} = 1673 \text{ kg/cm}^2$$

Détermination de l_f : Les coefficients d'encastrement déterminés d'après les règles EN 66 sont

$$k_A = 0,3935$$

$$k_B = 0,3954$$

$$\text{D'où: } l_f = 0,83 \cdot l_0 \rightarrow \lambda_y = \frac{l_f}{r_y} = \frac{0,83 \cdot 352}{8} = 36,52$$

$$\sigma_k = \frac{\pi^2 E}{\lambda_y^2} = 1,55 \cdot 10^4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\mu = \frac{\sigma_e}{\sigma_k} = 63,14 \rightarrow k_f = \frac{\mu + 0,25}{\mu - 1,3} = \frac{63,14 + 0,25}{63,14 - 1,3} = 1,025$$

$$k_1 = \frac{\mu - 1}{\mu - 1,3} = \frac{63,14 - 1}{63,14 - 1,3} = 1,0049$$

$$k_1 \sigma + k_f \sigma_f = 1,0049 \cdot 245,5 + 1,025 \cdot 1673 = 1962 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$$

1c portique transversal bb

1.c.1. Poutres des sous-sols. → barres. 1 ÷ 8.

$$M_{\max} = 2610063,91 \text{ kg cm}$$

$$N_{\text{corr}} = 111058,383 \text{ kg}$$

$$N_{\max} = 671236,781 \text{ kg}$$

$$M_{\text{corr}} = 367438,11 \text{ kg cm}$$

Resistance: On essaye un HEM 800 → $W_y = 1230 \text{ cm}^3$
 $A = 404,3 \text{ cm}^2$

$$\frac{M_{\max}}{W_y} + \frac{N_{\text{corr}}}{A} = \frac{2610063,91}{1230} + \frac{111058,383}{404,3} = 2396,7 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$$

$$\frac{N_{\max}}{A} + \frac{M_{\text{corr}}}{W_y} = \frac{671236,781}{404,3} + \frac{367438,11}{1230} = 1983,71 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$$

Stabilité on vérifie $k_1 \sigma + k_f \sigma_f \leq \sigma_e$

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{111058,383}{404,3} = 274,69 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_f = \frac{M}{W_y} = \frac{2610063}{1230} = 2122 \text{ kg/cm}^2$$

Détermination de l_f : des coeff d'encastrement sont:

$$k_A = 0$$

$$k_B = 0,718$$

$$\rightarrow l_f = 0,775 l_0$$

$$\bar{\sigma}_y = \frac{M_f}{I_y} = \frac{0,775 \cdot 300}{6,79} = 34,24 \rightarrow \sigma_k = \frac{\sigma^2 E}{\sigma^2 y} = 17678,75 \text{ kg/cm}^2$$

$$\mu = \frac{\sigma_k}{\sigma} = 54,30 \rightarrow k_f = \frac{(\mu + 0,25)}{(\mu - 1,3)} = 1,0246$$

$$k_1 = \frac{\mu + 1}{\mu - 1,3} = 1,0048$$

$$k_1 \sigma + k_f \sigma_f = 1,0048 \cdot 274,69 + 1,0246 \cdot 2122 = 2450 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{erreur } 2\%$$

on garde donc le profil'.

1.C.2. Poutres (RDE+1+2) \rightarrow barres $9 \div 20$.

$$M_{\max} = 2500339,22 \text{ kg cm}$$

$$N_{\text{corr}} = 137628,75 \text{ kg}$$

$$N_{\max} = 347083,133 \text{ kg}$$

$$M_{\text{corr}} = 291935,57 \text{ kg cm}$$

Resistance: on essaye un HEM 340 $\rightarrow W_y = 1280 \text{ cm}^3$
 $A = 315,8 \text{ cm}^2$

$$\frac{M_{\max}}{W_y} + \frac{N_c}{A} = \frac{2500339,22}{1280} + \frac{137628,75}{315,8} = 2389 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

$$\frac{N_{\max}}{A} + \frac{M_c}{W_y} = \frac{347083,133}{315,8} + \frac{291935,57}{1280} = 1327,13 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

Stabilité: $k_1 \sigma + k_f \sigma_f \leq \sigma_c$

$$\text{avec: } \sigma = \frac{N}{A} = \frac{137628,75}{315,8} = 435,7 \text{ kg/cm}^2, \quad \sigma_f = \frac{M}{W_y} = \frac{2500339,22}{1280} = 1953,4 \text{ kg/cm}^2$$

Determination de e_f : $k_A = 0,659$
 $k_B = 0,604 \} \rightarrow e_f = 0,71 \cdot l_0$

$$I_y = \frac{e_f^3}{12} = 31,64 \rightarrow \sigma_k = 2,07 \cdot 10^4 \rightarrow \mu = \frac{\sigma_k}{\sigma} = 47,50$$

$$k_f = 1,0335, \quad k_1 = 1,0065 \rightarrow k_1 \sigma + k_f \sigma_f = 1,0065 \cdot 435,7 + 1,0335 \cdot 1953,4 = 2457 \text{ kg/cm}^2$$

2. DIMENSIONNEMENT DES POUTRES

2a portuelongitudinal cc

2.a.1. Poutres niveaux 1,2 $M_{\max} = 116999,02,25 \text{ kg cm}$ $N_{\max} = 185188,18 \text{ kg}$
 $N_{\text{corr}} = 10381,113 \text{ kg}$ $M_{\text{corr}} = 9598910,25 \text{ kg cm}$

On essaye un HEB 550 $\rightarrow W_x = 4970 \text{ cm}^3$
 $A = 254,1 \text{ cm}^2$

$$\frac{M_{\max}}{W_x} + \frac{N_{\text{corr}}}{A} = \frac{116999,02,25}{4970} + \frac{10381,113}{254,10} = 2395,10 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

$$\frac{N_{\max}}{A} + \frac{M_{\text{corr}}}{W_x} = \frac{185188,11}{254,10} + \frac{9598910,25}{4970} = 2005 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

2.a.2 Poutres niveaux (RDE+1) barres $43 \div 50$ (Niveaux 4,3)

$$M_{\max} = 9349988,75 \text{ kg cm}$$

$$N_{\text{corr}} = 474,281 \text{ kg}$$

$$N_{\max} = 6346,626 \text{ kg}$$

$$M_{\text{corr}} = 3310363,5 \text{ kg cm}$$

Essayons un HEB. 500 $\rightarrow W_x = 4290 \text{ cm}^3$
 $A = 238,6 \text{ cm}^2$

$$\frac{M_{\max}}{W_x} + \frac{N_{\text{corr}}}{A} = \frac{9349988,75}{4290} + \frac{484,281}{238,6} = 2182 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$$

$$\frac{N_{\max}}{A} + \frac{M_{\text{corr}}}{W_x} = \frac{6346,626}{238,6} + \frac{3310363,50}{4290} = 800 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$$

2.a.3. Poutres niveaux (5.9) \rightarrow barres 51-54.

$$M_{\max} = 6322762,13 \text{ kgcm}$$

$$N_{\text{corr}} = 2229,737 \text{ kg}$$

$$N_{\max} = 27243,699 \text{ kg}$$

$$M_{\text{corr}} = 5441999,5 \text{ kgcm}$$

On essaye un HEB. 400 $\rightarrow W_x = 2880 \text{ cm}^3$, $A = 197,8 \text{ cm}^2$

$$\frac{M_{\max}}{W_x} + \frac{N_c}{A} = \frac{6322762,13}{2880} + \frac{2229,737}{197,8} = 2203,68 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$$

$$\frac{N_{\max}}{A} + \frac{M_c}{W_x} = \frac{27243,699}{197,8} + \frac{5441999,5}{2880} = 2040 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$$

2.a.4. Poutres niveaux 0,7,6 \rightarrow barres. 55-60. : On essaye HEB 340.

$$M_{\max} = 4621098,81 \text{ kgcm}$$

$$N_{\text{corr}} = 2821,719 \text{ kg}$$

$$N_{\max} = 12575,636 \text{ kg}$$

$$M_{\text{corr}} = 2849238,22 \text{ kgcm}$$

$$\frac{M_{\max}}{W_x} + \frac{N}{A} = \frac{4621098,81}{2160} + \frac{2821,719}{170,9} = 2160 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$$

$$\frac{N_{\max}}{A} + \frac{M_{\text{corr}}}{W_x} = \frac{12575,636}{170,9} + \frac{2849238,22}{2160} = 1400 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$$

2 b portique transversal aa

2.b.1. Poutres niveaux 1,3 \rightarrow barres. 33-35 : On essaye un HEB. 650 $\rightarrow W_x = 6480 \text{ cm}^3$
 $A = 286,3 \text{ cm}^2$

$$M_{\max} = 14485898,63 \text{ kgcm}$$

$$N_{\text{corr}} = 24741,905 \text{ kg}$$

$$N_{\max} = 33762,026 \text{ kg}$$

$$M_{\text{corr}} = 6790777,25 \text{ kgcm}$$

$$\frac{M_{\max}}{W_x} + \frac{N_{\text{cor}}}{A} = \frac{14485898,63}{6480} + \frac{24741,905}{286,3} = 2330 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$$

$$\frac{N_{\max}}{A} + \frac{M_{\text{cor}}}{W_x} = \frac{33762,026}{216,3} + \frac{6790777,25}{6480} = 1200 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$$

2.b.2. Poutres niveaux 2 \rightarrow barres 36-38.

$$M_{\max} = 12723759 \text{ kgcm}$$

$$N_{\text{corr}} = 5989,482 \text{ kg}$$

$$N_{\max} = 5989,48 \text{ kg}$$

$$M_{\text{corr}} = 12723,759 \text{ kgcm}$$

on essaye un HEB. 600 $\rightarrow W_x = 5700 \text{ cm}^3$
 $A = 270 \text{ cm}^2$

$$\frac{M_{\max}}{W_x} + \frac{N_c}{A} = \frac{12723759}{5700} + \frac{5989,482}{270} = 2260 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$$

2.b.3. Poutres niveau ⁴⁺³ (RDC+1) → barres 39 ÷ 44 : on essaie un HEB 550

$$M_{max} = 10732532,5 \text{ kgcm}$$

$$N_{corr} = 2367,754 \text{ kg}$$

$$N_{max} = 4310,833 \text{ kg}$$

$$M_{corr} = 8178517,06 \text{ kgcm}$$

$$\cdot \frac{M_{max}}{W_x} + \frac{N_{corr}}{A} = \frac{10732532,5}{4970} + \frac{2367,754}{254,1} = 2170 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

$$\cdot \frac{N_{max}}{A} + \frac{M_{corr}}{W_x} = \frac{4310,833}{254,10} + \frac{8178517,06}{4970} = 1670 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

2.b.4. Poutres niveau (7,6,5) → barres 45 ÷ 53

$$M_{max} = 6561916,44 \text{ kgcm}$$

$$N_{corr} = 6929,052 \text{ kg}$$

$$N_{max} = 6929,052 \text{ kg}$$

$$M_{corr} = 6561916,44 \text{ kgcm}$$

Essayons un HEB 400 → $W_x = 2880 \text{ cm}^3$, $A = 197,8 \text{ cm}^2$.

$$\cdot \frac{M_{max}}{W_x} + \frac{N_{corr}}{A} = \frac{6561916,44}{2880} + \frac{6929,052}{197,8} = 2320 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

2.b.5. Poutres niveau 8. 54 ÷ 56

$$M_{max} = 3119189,16 \text{ kgcm}$$

$$N_{corr} = 8421,372 \text{ kg}$$

Essayons un HEB 280 → $W_x = 1380 \text{ cm}^3$, $A = 131,4 \text{ cm}^2$.

$$\cdot \frac{M_{max}}{W_x} + \frac{N_{corr}}{A} = \frac{3119189,16}{1380} + \frac{8421,372}{131,4} = 2330 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

Portique transversal bb

3.C.1. Poutres Niveau 1 → barres 21 - 23

$$M_{max} = 13277785,63 \text{ kgcm}$$

$$N_{corr} = 26094,987 \text{ kg}$$

$$N_{max} = 36088,767 \text{ kg}$$

$$M_{corr} = 7810888,13 \text{ kgcm}$$

Essayons un HEB 650 → $W_x = 6480 \text{ kg/cm}^3$
 $A = 286,3 \text{ cm}^2$

$$\cdot \frac{M_{max}}{W_x} + \frac{N_{corr}}{A} = \frac{13277785,63}{6480} + \frac{26094,987}{286,3} = 2140 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

$$\cdot \frac{N_{max}}{A} + \frac{M_{corr}}{W_x} = \frac{36088,767}{286,3} + \frac{7810888,13}{6480} = 1340 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

2.C.2. Poutres niveau 2 → barres 24 ÷ 26

$$M_{max} = 11543440,5 \text{ kgcm}$$

$$N_{corr} = 5980,04 \text{ kg}$$

$$N_{max} = 6248,414 \text{ kg}$$

$$M_{corr} = 88189,77,38 \text{ kgcm}$$

Essayons un HEB 550 → $W_x = 4970 \text{ cm}^3$
 $A = 254,1 \text{ cm}^2$

$$\bullet \frac{M_{\max}}{W_x} + \frac{N_{\text{corr}}}{A} = \frac{11543440,5}{4970} + \frac{5380,044}{254,1} = 2350 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$$

$$\bullet \frac{N_{\max}}{A} + \frac{M_{\text{corr}}}{W_x} = \frac{6248,414}{254,1} + \frac{8818977,38}{4970} = 1800 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$$

2.C.3. Poutres niveaux RDC+1 → barres 27 ÷ 32

$$M_{\max} = 9634706,63 \text{ kg cm}$$

$$N_{\text{corr}} = 2873,961 \text{ kg}$$

$$N_{\max} = 4312,282 \text{ kg}$$

$$M_{\text{corr}} = 6816678,69 \text{ kg cm}$$

$$\bullet \text{ Essayons un HEB 500} \rightarrow W_x = 4290 \text{ cm}^3, A = 238,6 \text{ cm}^2$$

$$\bullet \frac{M_{\max}}{W_x} + \frac{N_{\text{corr}}}{A} = \frac{9634706,63}{4290} + \frac{2873,961}{238,6} = 2260 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$$

$$\bullet \frac{N_{\max}}{A} + \frac{M_{\text{corr}}}{W_x} = \frac{4312,282}{238,6} + \frac{6816678,69}{4290} = 1620 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$$

2.C.4. Poutres (2+3) → barres 33 ÷ 35.

$$M_{\max} = 5973592,50 \text{ kg cm}$$

$$N_{\text{corr}} = 11723,039 \text{ kg}$$

$$N_{\max} = 13388,369 \text{ kg}$$

$$M_{\text{corr}} = 5753505,63 \text{ kg cm}$$

$$\bullet \text{ Essayons un HEB 400} \rightarrow W_x = 2880 \text{ cm}^3$$

$$A = 197,8 \text{ cm}^2$$

$$\bullet \frac{M_{\max}}{W_x} + \frac{N_{\text{corr}}}{A} = \frac{59735292,50}{2880} + \frac{11723,039}{197,8} = 2140 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$$

$$\bullet \frac{N_{\max}}{A} + \frac{M_{\text{corr}}}{W_x} = \frac{13388,369}{197,8} + \frac{5753505,63}{2880} = 2070 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$$

3 VERIFICATION A L EFFORT TRANCHANT

3-1 Poteaux:

3.1.4. portique longitudinal CC

— Poteaux 1^e+2^e sous-sols on vérifie: $1,54 \cdot \tau \leq \sigma_e$

$$\text{avec: } \tau = \frac{T_{\max} \cdot S^{x-x}}{I^{x-x} \cdot e_a} = \frac{36946,134 \cdot 6240}{442600 \cdot 2,1} = 248 \text{ kg/cm}^2 < 1560 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{ou: } \tau = \frac{T_{\max}}{e_a \cdot h_a} = \frac{36946,134}{2,1 \cdot 93,4} = 240 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e / 1,54$$

— Poteaux (RDC+1+2) barres 11 ÷ 25.

$$T_{\max} = 27113,174 \text{ kg}$$

$$\text{HEM. 300} \rightarrow I_x = 59200 \text{ cm}^4$$

$$e_a = 2,1 \text{ cm}$$

$$S^{x-x} = 2040 \text{ cm}^3$$

$$\tau = \frac{T_{\max} \cdot S^{x-x}}{e_a \cdot I^{x-x}} = \frac{27113,174 \cdot 2040}{2,1 \cdot 59200} = 445 \text{ kg/cm}^2$$

Poteaux. (3+4+5 etages) → barres. 26 ÷ 34 :

$$T_{max} = 16194,942 \text{ kg.}$$

ona un HEM. 240 → $I_x = 24290 \text{ cm}^4$
 $e_q = 1,8 \text{ cm}$
 $S^{xx} = 1060 \text{ cm}^3$

$$\bar{\sigma} = \frac{T_{max} \cdot S^{xx}}{e_q \cdot I_x} = \frac{16194,942 \cdot 1060}{1,8 \cdot 24290} = 392,63 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\sigma_c}{1,54}$$

$$\text{ou: } \frac{T_{max}}{e_q \cdot h_q} = \frac{16194,942}{1,8 \cdot 26,2} = 300 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\sigma_c}{1,54}$$

33 1.6 portique transversal AA

Poteaux. (1^e+2^e sous-sol.) → barres. 1 ÷ 8.

$$T_{max} = 28594,823 \text{ kg.}$$

HEM. 800 → $I_x = 442600 \text{ cm}^4$
 $S^{xx} = 6240 \text{ cm}^3$
 $e_q = 2,1 \text{ cm}$

$$\bar{\sigma} = \frac{T_{max}}{2 A_s} = \frac{28594,823}{242,4} = 118 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\sigma_c}{1,54}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{T_{max}}{2 A_s} = \frac{28594,823}{242,4} = 118 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\sigma_c}{1,54}$$

Poteaux. (RDC+1+2) → barres. 9 ÷ 20 :

$$\text{HEM. 340.} \rightarrow S^{xx} = 2360 \text{ cm}^3 \quad T_{max} = 12577,863 \text{ kg.}$$

$$I^{xx} = 76370 \text{ cm}^4$$

$$e_q = 2,1 \text{ cm}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{T_{max}}{2 A_s} = \frac{12577,863}{2 \cdot 123,6} = 50,8 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\sigma_c}{1,54}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{T_{max}}{2 A_s} = \frac{12577,863}{247,2} = 50,8 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\sigma_c}{1,54}$$

Poteaux. (3+4+5) etages → barres 21 ÷ 32.

$$\text{HEM. 300} \rightarrow I^{xx} = 59200 \text{ cm}^4 \quad T_{max} = 11895,723 \text{ kg.}$$

$$S^{xx} = 2040 \text{ cm}^3$$

$$e_q = 2,1 \text{ cm}$$

$$h_q = 26,2 \text{ cm}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{T_{max}}{2 A_s} = \frac{11895,723}{241,8} = 49,2 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\sigma_c}{1,54}$$

3.1.c. portique transversal IBB

- Poteaux. 1er. 2. sous-sols.

$$\text{On a un HEM. 800} \rightarrow \begin{aligned} I^{x-x} &= 442600 \text{ cm}^4 \\ S^{x-x} &= 6240 \text{ cm}^3 \\ e_a &= 2,1 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$T_{\max} = 23528,71 \text{ kg}$$

$$\sigma = \frac{T_{\max}}{2A_s} = \frac{23528,71}{242,4} = 97 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\sigma_c}{1,54}$$

. Poteaux: (RDC+1+2) → barres 9 ÷ 20

$$\text{On a un HEM. 340} \rightarrow \begin{aligned} I^{x-x} &= 76370 \text{ cm}^4 \\ S^{x-x} &= 2360 \text{ cm}^3 \\ e_a &= 2,1 \text{ cm} \\ h_a &= 29,7 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$T_{\max} = 14420,703 \text{ kg}$$

$$\sigma = \frac{T_{\max}}{2A_s} = \frac{14420,703}{247,2} = 58,33 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\sigma_c}{1,54}$$

3.2 Poutres:

3.2 appretique transversal AA

. Poutres. niveaux 1^e + 2^e s-sols. barres 35 ÷ 42.

$$\text{On a un HEB. 550.} \rightarrow \begin{aligned} I^{x-x} &= 136690 \text{ cm}^4 \\ e_a &= 1,5 \text{ cm} \\ S^{x-x} &= 2800 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$T_{\max} = 88146,178 \text{ kg}$$

$$\text{On verifie: } \sigma = \frac{T_{\max} \cdot S^{x-x}}{e_a \cdot I^{x-x}} = \frac{88146,178}{1,5 \cdot 2800} = 21 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\sigma_c}{1,54}$$

. Poutres. niveaux: (RDC+1) barres. 43 ÷ 50.

$$\text{HEB. 500} \rightarrow \begin{aligned} I^{x-x} &= 107180 \text{ cm}^4 \\ e_a &= 1,45 \text{ cm} \\ S^{x-x} &= 2410 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$T_{\max} = 67471,884 \text{ kg}$$

$$\sigma = \frac{T_{\max} \cdot S^{x-x}}{e_a \cdot I^{x-x}} = \frac{67471,884 \cdot 2410}{1,45 \cdot 107180} = 1046,3 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\sigma_c}{1,54}$$

. Poutres niveaux 5. (2^e étage) → barres. 51 ÷ 54

$$\text{HEB. 400} \rightarrow \begin{aligned} I^{x-x} &= 57680 \text{ cm}^4 \\ S^{x-x} &= 1620 \text{ cm}^3 \\ e_a &= 1,35 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$T_{\max} = 43797,420 \text{ kg}$$

$$\sigma = \frac{T_{\max} \cdot S^{x-x}}{e_a \cdot I^{x-x}} = \frac{43797,420 \cdot 1620}{1,35 \cdot 57680} = 911,18 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\sigma_c}{1,54}$$

Poutres. niveaux (6, 7, 8) → barres. 55 ÷ 60. (3^e, 4^e, 5^e étages)

on a un HEB. 340. → $I^{x-x} = 36660 \text{ cm}^4$ $T_{\text{max}} = 31360,673 \text{ kg}$
 $S^{x-x} = 1200 \text{ cm}^3$
 $e_q = 1,2 \text{ cm}$

$$\sigma = \frac{T_{\text{max}} \cdot S^{x-x}}{e_q \cdot I^{x-x}} = \frac{31360,673 \cdot 1200}{1,2 \cdot 36660} = 855,45 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\sigma_c}{1,54}$$

3.2. b portique transversal ΔΔ

• Poutres. niveau (2^e s.s.) → barres 33 ÷ 35.

on a un HEB. 650 → $I^{x-x} = 210620 \text{ cm}^4$, $T_{\text{max}} = 97412,761 \text{ kg}$
 $e_q = 1,6 \text{ cm}$
 $S^{x-x} = 3660 \text{ cm}^3$

$$\sigma = \frac{T_{\text{max}} \cdot S^{x-x}}{e_q \cdot I^{x-x}} = \frac{97412,761 \cdot 3660}{1,6 \cdot 210620} = 1058 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\sigma_c}{1,54}$$

• Poutres. niveau. 1^o s. sol → barres. 36 ÷ 38.

on a un HEB. 600 → $I^{x-x} = 171040 \text{ cm}^4$. $T_{\text{max}} = 85043,519 \text{ kg}$
 $S^{x-x} = 3210 \text{ cm}^3$
 $e_q = 1,55 \text{ cm}$

$$\sigma = \frac{T_{\text{max}} \cdot S^{x-x}}{e_q \cdot I^{x-x}} = \frac{85043,519 \cdot 3210}{1,55 \cdot 171040} = 1029,71 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\sigma_c}{1,54}$$

• Poutres. niveaux. (RDC+1.) → 39 ÷ 44.

HEB. 550 → $I^{x-x} = 136690 \text{ cm}^4$ $T_{\text{max}} = 69477,087 \text{ kg}$
 $e_q = 1,5 \text{ cm}$
 $S^{x-x} = 2800 \text{ cm}^3$

$$\sigma = \frac{T_{\text{max}} \cdot S^{x-x}}{e_q \cdot I^{x-x}} = \frac{69477,087 \cdot 2800}{1,5 \cdot 136690} = 948,79 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\sigma_c}{1,54}$$

• Poutres. niveaux (5, 6, 7) → barres 45 ÷ 53

HEB. 400 → $I^{x-x} = 57680 \text{ cm}^4$ $T_{\text{max}} = 44672,108 \text{ kg}$
 $S^{x-x} = 1620 \text{ cm}^3$
 $e_q = 1,35 \text{ cm}$

$$\sigma = \frac{T_{\text{max}} \cdot S^{x-x}}{e_q \cdot I^{x-x}} = \frac{44672,108 \cdot 1620}{1,35 \cdot 57680} = 929,38 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\sigma_c}{1,54}$$

• Poutres. niveau. 8 → barres 54 ÷ 56

HEB. 280 → $I^{x-x} = 19270 \text{ cm}^4$ $T_{\text{max}} = 24402,381 \text{ kg}$
 $e_q = 1,05 \text{ cm}$
 $S^{x-x} = 767$

$$\sigma = \frac{T_{\text{max}} \cdot S^{x-x}}{e_q \cdot I^{x-x}} = \frac{24402,381 \cdot 767}{1,05 \cdot 19270} = 925,03 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\sigma_c}{1,54}$$

3.2-C. portique transversal BB

• • Poutres niveau 2^e.5-sol → barres 21-23

$$\begin{aligned} \text{HEB. 650} \rightarrow I^{x-x} &= 210620 \text{ cm}^4 & T_{\text{max}} &= 95632,723 \text{ kg} \\ S^{x-x} &= 3660 \text{ cm}^3 \\ e_e &= 1,6 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma = \frac{T_{\text{max}} \cdot S^{x-x}}{e_e \cdot I^{x-x}} = \frac{95632,723 \cdot 3660}{1,6 \cdot 210620} = 1038,65 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\sigma_c}{1,54}$$

• • Poutres niveau 1^{er}.5-sol → barres 24-26

$$\begin{aligned} \text{HEB. 600} \rightarrow I^{x-x} &= 171041 \text{ cm}^4 & T_{\text{max}} &= 81280,359 \text{ kg} \\ S^{x-x} &= 3210 \text{ cm}^3 \\ e_e &= 1,55 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma = \frac{T_{\text{max}} \cdot S^{x-x}}{e_e \cdot I^{x-x}} = \frac{81280,359 \cdot 3210}{1,55 \cdot 171041} = 984,14 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\sigma_c}{1,54}$$

• • Poutres niveaux RDC+1. → barres 27-32

$$\begin{aligned} \text{HEB. 550} \rightarrow I^{x-x} &= 136690 \text{ cm}^4 & T_{\text{max}} &= 69188,450 \text{ kg} \\ S^{x-x} &= 2800 \text{ cm}^3 \\ e_e &= 1,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma = \frac{T_{\text{max}} \cdot S^{x-x}}{e_e \cdot I^{x-x}} = \frac{69188,450 \cdot 2800}{1,5 \cdot 136690} = 944,85 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\sigma_c}{1,54}$$

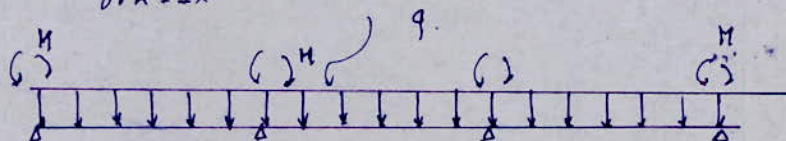
• • Poutres niveau 5 → barres 33-35 (2^e étage)

$$\begin{aligned} \text{HEB. 400} \rightarrow I^{x-x} &= 57690 \text{ cm}^4 & T_{\text{max}} &= 45203,538 \text{ kg} \\ S^{x-x} &= 1620 \text{ cm}^3 \\ e_e &= 1,35 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma = \frac{T_{\text{max}} \cdot S^{x-x}}{e_e \cdot I^{x-x}} = \frac{45203,538 \cdot 1620}{1,35 \cdot 57690} = 940,27 \text{ kg/cm}^2 < \frac{\sigma_c}{1,54}$$

4 VERIFICATION DE LA FLECHE : Pour la verification de la fleche on considerera la poutre comme une poutre continue sur plusieurs appuis simples. La fleche sera duee aux charges verticales. Son expression est.

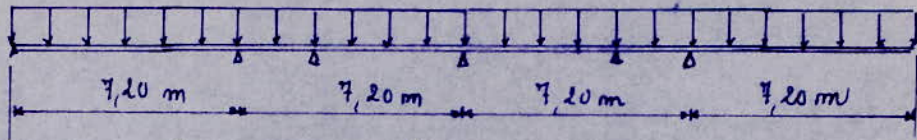
$$f_a = \frac{q l^4}{384 E I_x}$$



À l'influence du moment sur la rigidité étant faible, on négligera l'effet de ces derniers dans les calculs

POUTRES LONGITUDINALES

niveaux 1-2 HEB 550



On vérifie $f = \frac{q l^4}{384 EI} \leq \frac{f}{c} = \frac{l}{300} = 2,4 \text{ cm}$

Les charges et surcharges ne seront pas pondérées

Donc:

$$q = e_p + e_s = 408,4 + \frac{28 \cdot 30,7}{7,2} + 1500,4 = 7751,40 \text{ kg/ml}$$

$$f = \frac{7751,40 \cdot 7,2^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 136691} = 0,20 < \bar{f}_a$$

niveaux RDC+1 HEB500 : avec le même schéma statique.

$$q = e_p + e_s = 408,4 + \frac{28}{7,2} \cdot 26,2 + 1000,4 = 5733,89 \text{ kg/ml}$$

$$f = \frac{q l^4}{384 EI} = \frac{5733,89 \cdot 7,2^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 107176} = 0,18 \text{ cm} < \bar{f}_a$$

niveau 5 (2^e étage) HEB400.

$$q = e_p + e_s = 478,4 + \frac{21}{7,2} \cdot 26,2 + 445,4 = 3793,89 \text{ kg/ml}$$

on vérifie.

$$f = \frac{q l^4}{384 EI} \leq \bar{f}_a$$

$$f = \frac{3793,89 \cdot 7,2^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 57610} = 0,22 \text{ cm} < \bar{f}_a = 2,4 \text{ cm}$$

niveaux 8,7,6 HEB 340

$$q = e_p + e_s = 418,4 + \frac{28}{7,2} \cdot 15,8 + 175,4 = 2433,45 \text{ kg/ml}$$

on vérifie.

$$f = \frac{q l^4}{384 EI} \leq \bar{f}_a$$

$$f = \frac{2433,45 \cdot 7,2^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 36656} = 0,22 \text{ cm} < \bar{f}_a$$

POUTRES TRANSVERSALES

On suppose les poutres comme des poutres continues donc on fera la vérification de flèche avec les formules suivantes

$$\frac{f}{l} = \frac{f_1}{l} - \frac{1,2 (\delta f_w + \delta f_c) \cdot l}{10^7 \cdot 2h}$$

$\delta f_w, \delta f_c$: Contraintes de flexion au droit des appuis

$\delta f_1, f_1$: Contraintes et flèche de la poutre sur appuis libres supportant les mêmes charges.

$$\left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{300}$$

Pour une poutre sur appuis libres et pour une force concentrée au milieu de cette poutre on a: $\frac{f_1}{l} = \frac{R l^2}{48 E I}$

Niveaux 7,65 → barres 45-58.

$$M_w = 1994693,44 \text{ kgcm}$$

$$M_c = 6501916,44 \text{ kgcm}$$

$$R = R_1 + R_2 = 42200 \text{ kg} \rightarrow \frac{f}{l} = \frac{f_1}{l} - \frac{1,2 (\delta f_w + \delta f_c) \cdot l}{10^7 \cdot 2h} = \frac{0,83}{800} < \frac{1}{300}$$

Poutres niveau 8: (54-56)

$$M_w = 1577378,45 \text{ kgcm}$$

$$M_c = 3119187,75 \text{ kgcm}$$

$$R_1 = 15133,5 \text{ kg}$$

$$R_2 = 5222 \text{ kg}$$

$$q_1 = 500 \text{ kg/m}$$

$$q_2 = 120 \text{ kg/m}$$

$$\frac{f}{l} = \frac{f_1}{l} - \frac{1,2 (\delta f_w + \delta f_c) \cdot l}{10^7 \cdot 2h} = 2,5 \cdot 10^{-3} < \frac{1}{300}$$

Poutres Niveau 4,3 (barres 80-44)

$$M_w = 1607803,39 \text{ kgcm}$$

$$M_c = 10732532,50 \text{ kgcm}$$

$$R_1 = 15230 \text{ kg}$$

$$R_2 = 35228 \text{ kg}$$

$$q_1 = 590 \text{ kg}$$

$$q_2 = 1200 \text{ kg}$$

$$\frac{f}{l} = \frac{f_1}{l} - \frac{1,2 (\delta f_w + \delta f_c) \cdot l}{10^7 \cdot 2h} = 8,42 \cdot 10^{-4} < \frac{1}{300}$$

Poutres Niveau 2: 36-38.

$$M_w = 1571311,38 \text{ kgcm}$$

$$M_c = 12723759 \text{ kgcm}$$

$$R_1 = 24049 \text{ kg}$$

$$R_2 = 35228 \text{ kg}$$

$$q_1 = 910 \text{ kg/m}$$

$$q_2 = 1200 \text{ kg/m}$$

$$\frac{f}{l} = \frac{f_1}{l} - \frac{1,2 (\delta f_w + \delta f_c) \cdot l}{10^7 \cdot 2h} = 8,2 \cdot 10^{-4} < \frac{1}{300}$$

Poutres Niveau 1 33-35

$$M_w = 1701544,91 \text{ kgcm}$$

$$M_c = 144858,98 \text{ kgcm}$$

$$R_1 = 15576 \text{ kg}$$

$$R_2 = 13210 \text{ kg}$$

$$q_1 = 675 \text{ kg/m}$$

$$q_2 = 1500 \text{ kg/m}$$

$$\frac{f}{l} = \frac{f_1}{l} - \frac{1,2 (\delta f_w + \delta f_c) \cdot l}{10^7 \cdot 2h} = 3,94 \cdot 10^{-4} < \frac{1}{300}$$

B. RÉSULTATS FINALS ET CHOIX DÉFINITIF

| NIVEAUX | POTEAUX | Poutres Longitudinales | Poutres Transversales | Poutres Supplémentaires | POUTRELLES |
|---------|---------|------------------------|-----------------------|-------------------------|------------|
| 1 | HEM 800 | HEB 550 | HEB 650 | HEB 360 | IPE 240 |
| 2 | HEM 800 | HEB 550 | HEB 600 | HEB 320 | IPE 300 |
| 3 | HEM 340 | HEB 500 | HEB 550 | HEB 300 | IPE 220 |
| 4 | HEM 340 | HEB 500 | HEB 550 | HEB 300 | IPE 220 |
| 5 | HEM 340 | HEB 400 | HEB 400 | HEB 260 | IPE 200 |
| 6 | HEM 300 | HEB 340 | HEB 400 | HEB 220 | IPE 180 |
| 7 | HEM 300 | HEB 340 | HEB 400 | HEB 220 | IPE 180 |
| 8 | HEM 300 | HEB 340 | HEB 280 | HEB 200 | IPE 160 |

CH 6

CALCUL AU SEISME

CALCUL AU SEISME

1. EFFETS CAUSES PAR LE SEISME : Le seisme de par ses secousses, engendre dans les constructions des accélérations particulières pouvant atteindre parfois l'ordre de grandeur de la gravité. Il en résulte des efforts pouvant s'exercer suivant des directions quelconques. Ainsi, on peut concevoir deux composantes : l'une horizontale, l'autre verticale.

On admet que l'accélération horizontale du mouvement sismique s'adresse à la masse même des constructions.

Dans le cas des constructions comportant des planchers on suppose que les forces horizontales s'appliquent au niveau de chaque plancher. Comme notre bâtiment est contreventé par des poteaux de stabilité triangulés on étudiera donc 3 portiques : deux portiques transversaux et un portique longitudinal.

2 CALCUL SISMOLOGIQUE : La vérification de stabilité d'un bâtiment vis à vis de l'action sismique se fait en substituant aux effets dynamiques réels les sollicitations résultant de la considération de systèmes de forces fictives dont les effets sont censés équivaloir à ceux de l'action sismique.

Ces systèmes équivalents résultent de la combinaison.

- d'un système de forces élémentaires horizontales. S_{IH}
- d'un système de forces élémentaires verticales. S_{IV}
- d'un système de couples de torsion d'ensemble d'axe vertical. S_T

3 COEFFICIENTS SISMOLOGIQUES

L'intensité de force horizontale agissant sur un élément de construction donne dans la direction Ox est :

$$F = \gamma_x \cdot W$$

W : Poids des charges et surcharges de l'élément soumis à l'action sismique

$$W = G + P/5 + N_n \quad \text{si } N_n > 35 \text{ kg/m}^2$$

$$W = G + P/5 \quad \text{si } N_n < 35 \text{ ''}$$

Dans notre cas : $N_n = 45 \text{ kg/m}^2 \rightarrow W = G + P/5 + N_n$

γ_x : Coefficient défini comme un produit de n facteurs.

$$\gamma_x = \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \delta$$

α : Coefficient d'intensité, dépend de l'intensité nominale du séisme. Notre bâtiment étant implanté dans la région de BATNA (zone 1)

Le règlement en vigueur du GTC nous donne $\alpha = 0,5$.

β : Coefficient de réponse : caractérise l'importance de la réponse de la structure à une secousse égale à l'intensité de référence.

Il dépend de la période T du mode fondamental de vibration de la construction dans la direction étudiée.

- Du degré d'amortissement de l'ouvrage
- Accessoirement de la nature du sol de fondation.

Dans le cas de notre ouvrage

Dans le cas de notre ouvrage. L'amortissement est pris comme moyen

$$\beta = \frac{0,085}{\sqrt[3]{T}} \quad \text{avec: } 0,065 \leq \beta \leq 0,13 \quad \text{P.5.69. (Article 3,112,132 b)}$$

a. evaluation de la Periode du mode fondamental : Notre bâtiment étant contreventé par des poteaux de stabilité dans les 2 sens. Le règlement en vigueur de P.5.69 donne

$$T = 0,10 \frac{H}{\sqrt{Lx}} = 0,10 \frac{27,52}{\sqrt{Lx}}$$

où :

H : hauteur totale du bâtiment

Lx : Dimension en plan du bâtiment dans la direction considérée

- Sens longitudinal: $Lx = 32 \text{ m}$

$$T_L = 0,10 \frac{27,52}{\sqrt{32}} = 0,4865$$

$$\beta_L = \frac{0,085}{\sqrt[3]{0,265}} = 0,108 \rightarrow \beta_L = 0,$$

- Sens transversal: $Lx = 24,6 \text{ m}$

$$T_t = 0,08 \frac{27,52}{\sqrt{24,6}} = 0,555 \text{ s}$$

$$\beta_t = \frac{0,085}{\sqrt[3]{0,323}} = 0,103$$

γ : Coefficient de distribution: dépend de la structure et caractérise à l'intérieur de cette dernière le comportement de la masse à laquelle se rapporte.

Dans les constructions courantes de flexibilité normale il est permis, sauf anomalie marquée dans la distribution des charges et sauf variation brutale de sa rigidité du système de contreventement, d'assimiler la déformée du système à une droite.

$$\gamma(h) = h \frac{\int z \cdot M(z)}{\int z^2 \cdot M(z)}$$

M(z): masse concentrée à la cote z

δ : Coefficient de fondation: Il tient compte de l'incidence des conditions de fondations sur le comportement de l'ouvrage, il est en outre indépendant des propriétés dynamiques de la construction

Dans notre cas on a utilisé un radier sur un terrain de consistance moyenne $\rightarrow \delta = 1$

coefficient sismique horizontal :

$$\sigma_{H_L} = \alpha \beta_L \delta \gamma(h) = 0,5 \cdot 0,108 \cdot \gamma(h) = 0,054 \gamma(h)$$

$$\sigma_{H_t} = \alpha \beta_t \delta \gamma(h) = 0,5 \cdot 0,103 \cdot \gamma(h) = 0,0515 \gamma(h)$$

coefficient sismique vertical

$$\sigma_v = \pm \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \sigma_H$$

Comme $\alpha = 0,5 < 1 \rightarrow \sigma_v = \pm \sigma_H$ (P.s. 69. article 3112-2.21)
Les valeurs numeriques des coefficients seront donnees dans les paragraphes suivants.

MASSES SOUMISES AU SEISME : on fera le calcul detaille pour les niveaux 7 et 6 seulement. Pour les autres niveaux les resultats seront directement consignés dans le tableau.

Dans notre cas. $N_n = 45 \text{ kg/m}^2$
Donc: $W = G + P/5 + N_n$

niveau 8

1. Charges Permanentes

| | | |
|------------------|---|---------------|
| Acrotère : | $(4,2 + 2,4) \cdot 6 \cdot 0,6 + 125 \cdot 36,50 \cdot 0,6 =$ | 2980 kg |
| Plancher | $405 \cdot 15 \cdot 24,6 + 15,8 \cdot 13 \cdot 24,6 =$ | 154480 |
| 1/2 poteaux : | $238 \cdot 1,76 \cdot 12 =$ | 502656 |
| Poutres Long : | $15 \cdot 4 \cdot 134 =$ | 8040 |
| Poutres trans | $24,6 \times 3 \cdot 103 =$ | 7416 |
| Poutres supp : | | 2648 |
| Dalle escalier : | $18,06 \cdot 2500 \times 0,2 =$ | 9030 |
| 1/2 Voiles : | $(6,45 + 4,4 + 5,2) \cdot 0,2 \cdot 1,76 \cdot 2500 =$ | 14274 |
| | | <hr/> |
| | | $G = 203894$ |
| | | $P = 34560$ |
| | | $N_n = 15520$ |

surecharges :

D'où $W = G + P/5 + N_n =$

niveau 7

1. Charges Permanentes :

| | | |
|-----------------|---|--------------|
| Plancher : | $493 \cdot 15 \cdot 24,6 + 18,8 \cdot 13 \cdot 24,6 =$ | 187929,24 kg |
| Voiles : | $(6,45 + 4,4 + 0,85 + 5,2) \cdot 0,2 \cdot 3,52 \cdot 2500 =$ | |
| Poteaux : | $238 \cdot 3,52 \cdot 12 =$ | 10053,12 |
| Poutres long : | | 8040 |
| Poutres trans : | | 11160 |
| Poutres supp : | | 3089 |
| Murs ext : | | 90472 |
| cloisons : | | 22730,4 |
| | | <hr/> |
| | | $G = 383706$ |
| | | $S = 60480$ |

surecharges :

D'où $W = G + P/5 + N_n = 395802$

DETERMINATION DE $\gamma(h)$.

| Niveaux | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|--------|
| Z (m) | 24,52 | 21,00 | 17,48 | 13,96 | 10,44 | 6,92 | 3,40 |
| Z ² | 601,23 | 441 | 305,55 | 194,88 | 108,99 | 47,89 | 11,56 |
| M(z) | 226,33 | 395,70 | 355,80 | 662,32 | 770,42 | 771,47 | 948,53 |
| Z · M(z) | 5549,61 | 8311,8 | 6316,58 | 9246 | 8043,11 | 598,57 | 3225 |
| Z ² · M(z) | 136016,39 | 114547,80 | 120936,69 | 129872,92 | 83970,85 | 36945,70 | 10965 |
| $\Sigma Z \cdot M(z)$ $\Sigma Z^2 \cdot M(z)$ | 0,0673 | 0,0673 | 0,0673 | 0,0673 | 0,0673 | 0,0673 | 0,0673 |
| $\gamma(h)$ | 1,85 | 1,62 | 1,38 | 1,14 | 0,905 | 0,661 | 0,431 |
| δ_{HL} | 0,0999 | 0,0875 | 0,0745 | 0,0615 | 0,0489 | 0,0361 | 0,0233 |
| δ_{HE} | 0,0953 | 0,0834 | 0,0711 | 0,0587 | 0,0466 | 0,0344 | 0,0222 |
| δ_V | 0,0999 | 0,0875 | 0,0745 | 0,0615 | 0,0489 | 0,0361 | 0,0233 |

EFFORTS A CHAQUE NIVEAU

• Pour le système de forces élémentaires horizontales.

$$(F_x)_i = (T_x)_i \cdot W_e$$

• Pour le système de forces élémentaires verticales.

$$(F_x)_i = (D_v)_i \cdot W_e$$

La répartition uniforme de la charge sur le niveau considéré est

$$(Q_v)_i = \frac{(F_v)_i}{\delta_i} \quad (t/m^2)$$

Surfaces horizontales du bâtiment.

Niveaux: 8,7,6 $\rightarrow S = 15 \times 24,6 = 369 \text{ m}^2$

Niveaux 5,4,3,2 $\rightarrow S = 24,6 \times 29,8 = 728,24 \text{ m}^2$

| Niveaux | W(t) | $\sigma_{HL} = \sigma_v$ | σ_{Hc} | F_{HL} | F_{Hc} | $S_{iv}(t)$ | $S_{iv}(t/m^2)$ |
|---------|--------|--------------------------|---------------|----------|----------|-------------|-----------------|
| 8 | 226,33 | 0,0999 | 0,0953 | 22,61 | 21,57 | 22,61 | 0,0523 |
| 7 | 395,80 | 0,0875 | 0,0834 | 34,63 | 33,01 | 34,63 | 0,0802 |
| 6 | 395,80 | 0,0745 | 0,0711 | 29,49 | 28,14 | 29,49 | 0,0799 |
| 5 | 662,32 | 0,0615 | 0,0587 | 40,73 | 38,88 | 40,73 | 0,0563 |
| 4 | 770,42 | 0,0489 | 0,0489 | 37,67 | 35,90 | 37,67 | 0,052 |
| 3 | 771,47 | 0,0361 | 0,0344 | 27,85 | 26,54 | 27,75 | 0,0385 |
| 2 | 948,53 | 0,0233 | 0,0222 | 22,10 | 21,06 | 22,10 | 0,03056 |

Masse soumise au séisme

| Niveaux | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
|------------------------------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Acrotère garde-corps | 2980 | | | 700 | | | | |
| Diaphragmes | 154497,84 | 187929,24 | 187929,24 | 380214,52 | 335756,92 | 335756,92 | 510870,92 | 335204,92 |
| Poteaux | 5026,55 ^{1/2} | 10053,12 | 10053,12 | 13756,16 | 17459,52 | 17459,52 | 19507,60 | 20288 |
| Poutres Longitudinal | 8040 | 8040 | 8040 | 17856 | 21542,40 | 21542,40 | 22924,80 | 22924,80 |
| Poutres transvers. | 7416 | 11160 | 11160 | 18600 | 23880 | 23880 | 25440 | 27000 |
| Poutres Supplém. | 2648 | 3089 | 3089 | 7366 | 9266,40 | 9266,40 | 10913 | 12269 |
| cloisons | / | 22730,4 | 22730,4 | 11352 | 28116 | 28116 | 33454 | 17722 |
| Murs extérieurs | | 90472 | 90472 | 55950 | 110373,12 | 110373,12 | 110373,12 | 479400 |
| Voiles (cas. ext.) | ^{1/2} 14274 | 21547,2 | 21547,20 | 36203,2 | 44915 | 45971 | 44770 | 44774 |
| Escalier intérieur | — | — | — | 12169 | 19183 | 19183 | 17765 | 18444 |
| Escaliers extérieurs | | 21685 | 21685 | 21615 | 21685 | 21615 | 14108 | — |
| charge tot ^e | 215155 | 313706 | 313706 | 575922 | 632177 | 813250 | 810286,12 | 1051027 |
| March. exp. ^{ce} | 34560 | 60480 | 60480 | 276480 | 691200 | 691200 | 691200 | 1036800 |
| March. charge N ₀ | 15520 | — | — | 31104 | — | — | — | — |
| M = G + 1/5 M ₀ | 226326 | 395862 | 395862 | 662322 | 770417 | 771493 | 948526 | 1251387 |

CH 7

ETUDE A LA TORSION

4 DE TERMINATION DU CENTRE DE TORSION : Les coordonnées du centre de torsion. Calculées pour chaque Niveau. Sont données Par:

$$X_T = \frac{\sum I_{xi} \cdot x_i}{\sum I_{xi}}$$

$$Y_T = \frac{\sum I_{yi} \cdot y_i}{\sum I_{yi}}$$

I_{xi} : Moment d'inertie de l'élément considéré / son axe principal x_i-x_i
 x_i : Distance du centre de torsion de l'élément considéré à l'axe choisi arbitrairement.

Exemple:

niveau 8

$$X_T = \frac{0,0043 \times 17,18 + 0,0294 \times 18,2 + 0,293(14,05 + 20,3) + 3 \times 59201(0,20 + 8 + 16 + 24)}{0,0043 + 0,0294 + 2 \times 0,293 + 12 \times 59201} = 12,05 \text{ m}$$

$$Y_T = \frac{4,47 \times 32,10 + 1,42 \times 29,3 + (0,00174 \times 30,7) \times 2 + 5 \cdot 19403(14,4 + 21,6 + 28,8)}{4,47 + 1,42 + 0,00174 \times 2 + 12 \times 19403} = 27,00 \text{ m}$$

de l'ensemble.

L'ensemble des résultats. Pour chaque Niveau. Sont résumés dans le tableau suivant

5 DETERMINATION DE L'EXCENTRICITE DE NIVEAU

L'excentricité de Niveau est donnée par:

- sans X $e_x = X_G - X_T$
- sans Y $e_y = Y_G - Y_T$

| Niveaux | X_G | X_T | e_x | Y_G | Y_T | e_y |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 8 | 12,70 | 12,05 | 0,62 | 22,10 | 27,00 | -5,10 |
| 7 | 12,65 | 12,05 | 0,57 | 22,01 | 27,08 | -5,07 |
| 6 | 12,65 | 12,05 | 0,57 | 22,01 | 27,08 | -5,07 |
| 5 | 12,40 | 12,00 | 0,48 | 14,96 | 18,00 | -4,96 |
| 4 | 12,44 | 12,00 | 0,46 | 15,04 | 18,00 | -2,96 |
| 3 | 12,20 | 11,99 | 0,40 | 15,35 | 18,00 | -2,65 |
| 2 | 12,20 | 11,32 | 1,03 | 15,03 | 18,04 | -3,01 |

de complément aux règlements parasismiques élaborés par le CTE
 Reconise de prendre.

excentricité = Max { excentricité de calcul
 5% des dimensions du bâtiment dans le sens considéré

Compte tenu de cette clause on obtient les excentricités suivantes:

| Niveau excentricité | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| e_x | 1,23 | 1,23 | 1,23 | 1,23 | 1,23 | 1,23 | 1,23 |
| e_y | -5,10 | -5,07 | -5,07 | -4,96 | -4,96 | -2,65 | -3,04 |

car on a:

- sens longitudinal $y \rightarrow L = 32,20 \text{ m} \rightarrow e_y = 0,05 \cdot 32,2 = 1,61 \text{ m}$
- sens transversal $x \rightarrow L = 24,60 \text{ m} \rightarrow e_x = 0,05 \cdot 24,6 = 1,23 \text{ m}$

FORCES DUES A LA TORSION

Dans les bâtiments dissymétriques ne arrive que les efforts horizontaux ne passent pas par le centre de gravité du Niveau qui sera donc entraîné dans une rotation autour de ce centre.

On peut remplacer la résultante des forces horizontales au niveau considéré par une force F appliquée au centre de rigidité et par un couple de torsion $M = F \cdot d$ d'axe verticale passant par le centre. d est l'excentricité par rapport au centre de torsion des éléments résistants.

Distribution des efforts tranchants: Le plancher pouvant être considéré comme indéformable dans son plan

chaque des poteaux subit en tête, par rapport à son pied, le même déplacement que celui que subissent les autres poteaux. Les efforts tranchants développés dans les divers poteaux sont alors proportionnels aux inerties.

Effet d'un couple de torsion:

Le déplacement subi par la tête du poteau de coordonnées x et y a pour composantes: kx et ky .

k : constante de proportionnalité

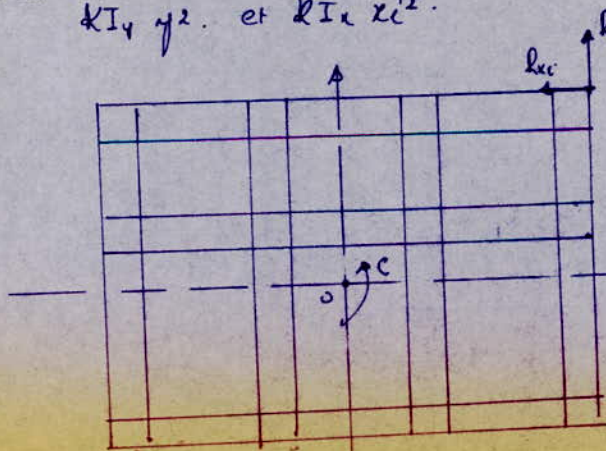
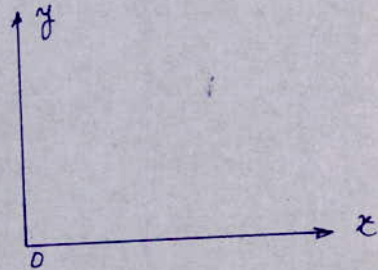
Si I_x désigne le moment d'inertie de la section du poteau par rapport à un axe // ox

I_y désigne le moment d'inertie du poteau par rapport à un axe // oy .

Les actions horizontales correspondantes sont $kI_x \cdot x$ et $kI_y \cdot y$

Les moments par rapport au point 0 de ces actions sont:

$$kI_y y^2 \text{ et } kI_x x^2$$



$$R_{yi} = kI_x x_i$$

$$R_{xi} = kI_y y_i$$

$$\sum R_{xi} = 0$$

$$\sum R_{yi} = 0$$

$$\sum R_{xi} y_i + \sum R_{yi} x_i = C$$

$$k = \frac{C}{\sum I_y y_i^2 + \sum I_x x_i^2}$$

Les forces additionnelles suivant les axes principaux et dues au moment de torsion sont:

$$F_L^a = \frac{\max R_i x_i}{(\sum R_i x_i^2 + \sum R_i y_i^2)} \cdot M_L$$

$$F_L^a = \frac{\max R_i y_i}{(\sum R_i x_i^2 + \sum R_i y_i^2)}$$

Dans notre cas. Les excentricités suivant les 2 directions, ayant déjà été déterminées:

on aura donc. Pour les couples de torsion.

$$M_T^x = F_{HL} \cdot e_y$$

$$M_T^y = F_{HE} \cdot e_x$$

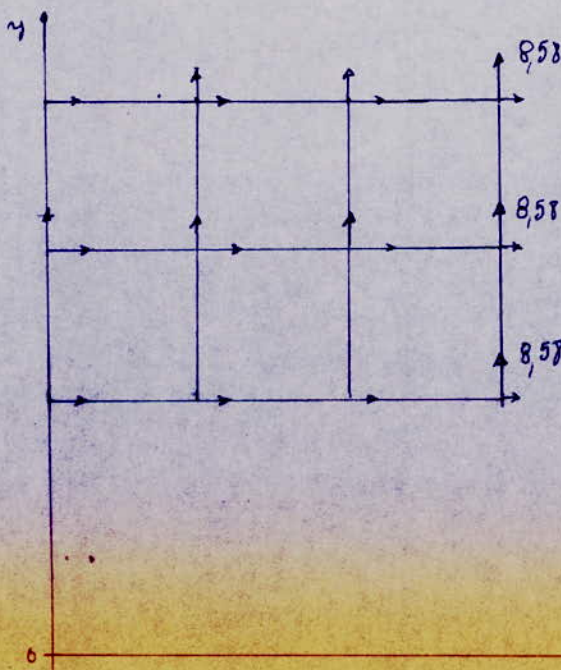
Les valeurs sont données dans le tableau suivant:

| Niv. | F _{HL} | e _x | F _{HE} | e _y | M _L | M _T |
|------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| 8 | 22,61 | 1,23 | 21,57 | -5,10 | 27,81 | 110 |
| 7 | 34,63 | 1,23 | 33,01 | 5,07 | 42,59 | 167,36 |
| 6 | 29,49 | 1,23 | 28,14 | 5,07 | 36,27 | 142,67 |
| 5 | 40,73 | 1,23 | 38,88 | 4,96 | 50,10 | 192,84 |
| 4 | 37,67 | 1,23 | 35,90 | 2,96 | 46,33 | 186,26 |
| 3 | 27,85 | 1,23 | 26,54 | 2,65 | 34,26 | 70,33 |
| 2 | 22,10 | 1,23 | 21,06 | 3,01 | 27,17 | 63,39 |

Calcul de $k = \frac{1}{\sum I_{xi} x_i^2 + \sum I_{yi} y_i^2}$

Exemple de calcul:

Niveau 8



$$k = \frac{1}{\sum I_{xi} x_i^2 + \sum I_{yi} y_i^2} = 0,3574$$

$$\max R I_{xi} = 8,58 \times 3 = 25,74$$

DETERMINATION DES EFFORTS DUS AU SEISME

Pour la détermination des efforts, on utilise une méthode simplificatrice.

On admet que les forces horizontales agissant sur une file de poteaux se répartissent entre les différents poteaux de cette file proportionnellement aux moments d'inertie des dits poteaux.

- On sait que les poteaux d'un même étage aient la même hauteur.

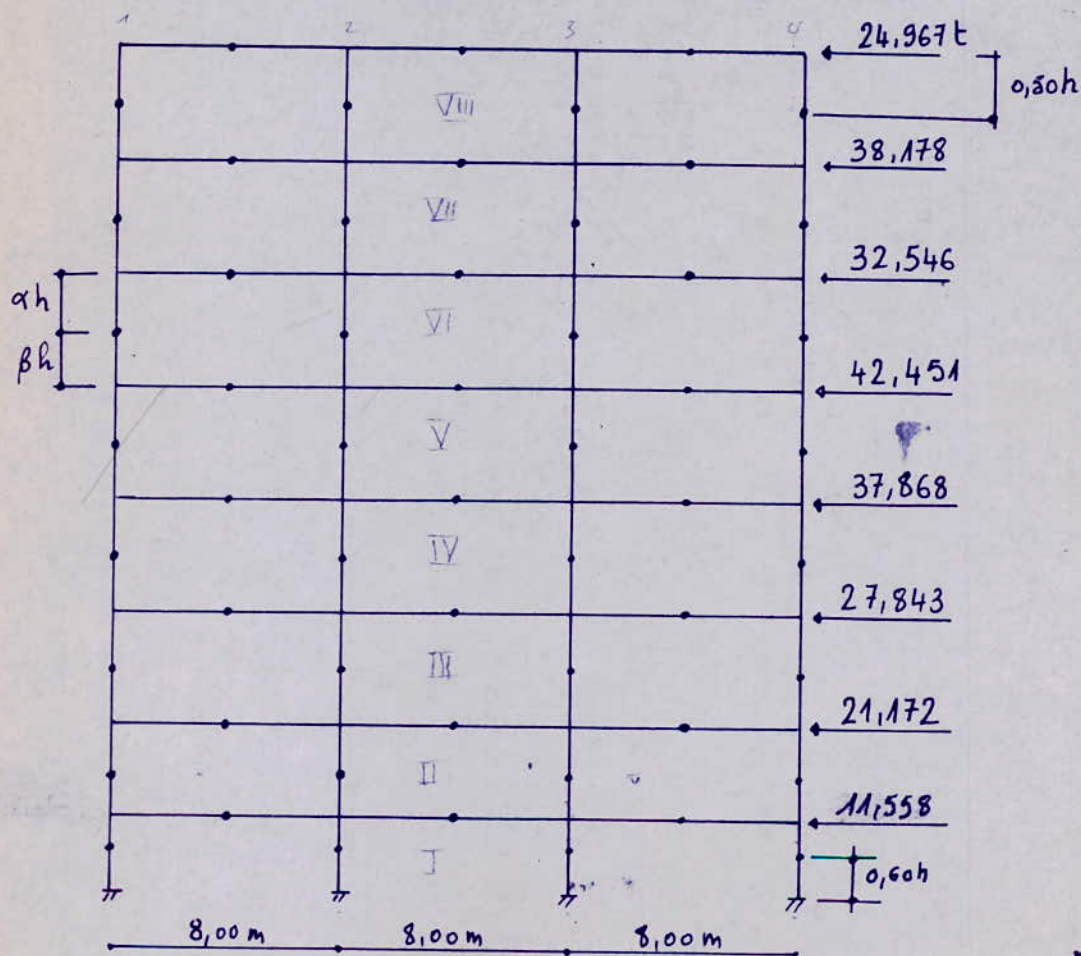
- Les points d'inflexion des poteaux de hauteur h se situent :

- A tous les niveaux (sauf au 1^{er}) à $0,50h$ de la partie supérieure du poteau.
- Au 1^{er} niveau à $0,60h$ de la base du poteau.

- Les points d'inflexion des traverses de longueur l se situent :

- A tous les niveaux à $0,50l$

A. ETUDE DU PORTIQUE TRANSVERSAL A-A



- Les moments en tête et à la base des poteaux sont résumés sur le tableau ci-dessous.
- En tête du poteau $M_s = F \cdot \alpha h$
- à la base du poteau $M_n = F \cdot \beta h$

| NIVEAU | Forces totales agissant sur chaque poteau [t] | αh [m] | βh [m] | Moment en tête du poteau en [t.m] | Moment à la base du poteau [t.m] |
|--------|---|----------------|---------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| VIII | 6,24t | 1,76 | 1,76 | 10,98 t.m | 10,98 |
| VII | 15,786 | 1,76 | 1,76 | 27,78 | 27,78 |
| VI | 23,92 | 1,76 | 1,76 | 42,1 | 42,1 |
| V | 34,54 | 1,76 | 1,76 | 60,79 | 60,79 |
| IV | 44,00 | 1,76 | 1,76 | 77,44 | 77,44 |
| III | 50,96 | 1,76 | 1,76 | 89,69 | 89,69 |
| II | 56,256 | 1,70 | 1,70 | 95,64 | 95,64 |
| I | 59,146 | 1,20 | 1,80 | 70,975 | 106,46 |

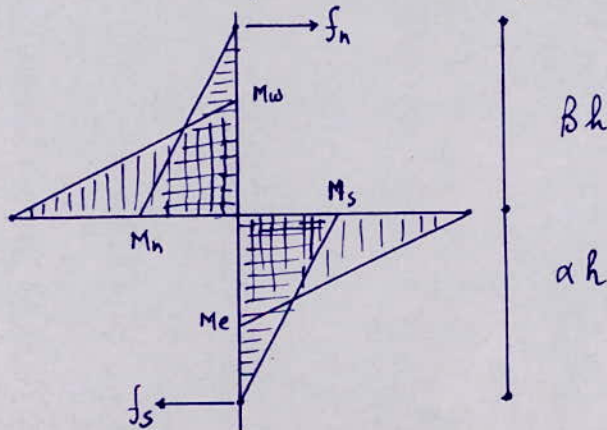
- Moments dans les poutres :

Les moments dans les poutres sont déterminés en fonction de M_n et M_s .

• $M_w = (M_n + M_s) \frac{k_w}{k_w + k_e}$; Moment à gauche du nœud

• $M_e = (M_n + M_s) \cdot \frac{k_e}{k_w + k_e}$; Moment à droite du nœud.

• k_e et k_w sont les rigidités des poutres aboutissant au nœud ($k = I/e$)



Pour un même étage :

$$\left. \begin{aligned} I_w &= I_e = I \\ l_w &= l_e = l \end{aligned} \right\} \Rightarrow k_w = k_e$$

Toutes les poutres ayant la même inertie pour un même étage

- Les moments dans les poutres sont résumés dans le tableau suivant.

- Moment dans les poutres

| NIVEAU | $M_n [E]$ | $M_s [E]$ | $K_w = K_e = I/l$ | M_{e1} | M_{e2} | M_{e3} | M_{e4} | M_{w1} | M_{w2} | $[E]$ | M_{w3} | M_{w4} |
|--------|-----------|-----------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|----------|----------|
| VIII | 10,98 | 10,98 | | 21,96 | 10,98 | 10,98 | 0 | 0 | 10,98 | 10,98 | 21,96 | |
| VII | 27,78 | 27,78 | | 55,56 | 27,78 | 27,78 | 0 | 0 | 27,78 | 27,78 | 55,56 | |
| VI | 42,1 | 42,1 | | 84,2 | 42,1 | 42,1 | / | / | 42,1 | 42,1 | 84,2 | |
| V | 60,79 | 60,79 | | 121,58 | 60,79 | 60,79 | / | / | 60,79 | 60,79 | 121,58 | |
| IV | 77,44 | 77,44 | | 154,88 | 77,44 | 77,44 | / | / | 77,44 | 77,44 | 154,88 | |
| III | 89,69 | 89,69 | | 179,38 | 89,69 | 89,69 | / | / | 89,69 | 89,69 | 179,38 | |
| II | 95,64 | 95,64 | | 191,28 | 95,64 | 95,64 | / | / | 95,64 | 95,64 | 191,28 | |
| I | 106,46 | 70,975 | | 212,92 | 88,72 | 88,72 | / | / | 88,72 | 88,72 | 212,92 | |

- EFFORT TRANCHANT DANS LES POUTRES

Les efforts tranchant dans les poutres sont déterminés à partir des moments de continuité dans les poutres soit M_w et M_e .
 Si l'on considère la travée indépendante avec $M(x) = \alpha x + \beta$ un moment à la distance de l'extrémité, l'effort tranchant correspondant à la même distance sera :

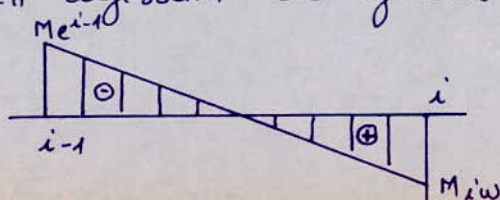
$$T(x) = \frac{dM(x)}{dx} = \alpha$$

Soit S_{IH} agissant de gauche à droite

- pour $x = 0$; $\beta = M_e$
- pour $x = l$; $\alpha = \pm \frac{M_e + M_w}{l}$ (car S_{IH} peut agir dans un sens ou dans l'autre).

- donc $T_{e^{i-1}} = T_w^i = \frac{M_{e^{i-1}} + M_w}{l}$

Pour S_{IH} agissant de gauche à droite on changera de signe.



EFFORTS TRANCHANTS DANS LES POUTRES

Tableau donnant les efforts tranchants sous S_{IH} :

| NIVEAU | travée | l [m] | M_e [t.m] | M_w [t.m] | $T_{\text{sous } S_{IH}}$ [t] | $T_{\text{sous } S_{IH}}$ [t] |
|--------|--------|---------|-------------|-------------|-------------------------------|-------------------------------|
| VIII | 1 | 8,00 | 21,96 | 10,98 | 4,12 | - 4,12 |
| | 2 | " | 10,98 | 10,98 | 2,745 | - 2,745 |
| | 3 | " | 10,98 | 21,96 | 4,12 | - 4,12 |
| VII | 1 | 8,00 | 55,56 | 27,78 | 10,42 | - 10,42 |
| | 2 | 8,00 | 27,78 | 27,78 | 6,945 | - 6,945 |
| | 3 | " | 27,78 | 55,56 | 10,42 | - 10,42 |
| VI | 1 | 8,00 | 84,2 | 42,1 | 15,79 | - 15,79 |
| | 2 | " | 42,1 | 42,1 | 10,525 | - 10,525 |
| | 3 | " | 42,1 | 84,2 | 15,79 | - 15,79 |
| V | 1 | 8,00 | 121,58 | 60,79 | 22,80 | - 22,80 |
| | 2 | " | 60,79 | 60,79 | 15,20 | - 15,20 |
| | 3 | " | 60,79 | 121,58 | 22,80 | - 22,80 |
| IV | 1 | 8,00 | 154,88 | 77,44 | 29,04 | - 29,04 |
| | 2 | " | 77,44 | 77,44 | 19,36 | - 19,36 |
| | 3 | " | 77,44 | 154,88 | 29,04 | - 29,04 |
| III | 1 | 8,00 | 179,38 | 89,69 | 33,64 | - 33,64 |
| | 2 | " | 89,69 | 89,69 | 22,42 | - 22,42 |
| | 3 | " | 89,69 | 179,38 | 33,64 | - 33,64 |
| II | 1 | 8,00 | 191,28 | 95,64 | 35,865 | - 35,865 |
| | 2 | " | 95,64 | 95,64 | 23,91 | - 23,91 |
| | 3 | " | 95,64 | 191,28 | 35,865 | - 35,865 |
| I | 1 | 8,00 | 212,92 | 88,72 | 37,705 | - 37,705 |
| | 2 | " | 88,72 | 88,72 | 22,180 | - 22,180 |
| | 3 | " | 88,72 | 212,92 | 37,705 | 37,705 |

- Remarque : M_e correspondant à M_w par rapport à la travée
 M_w - correspondant à M_e par rapport à la travée

- EFFORTS TRANCHANTS DANS les poteaux.

| NIVEAU | Forces totales agissant sur chaque poteau [t] |
|--------|---|
| VIII | 6,24 |
| VII | 15,786 |
| VI | 23,92 |
| V | 34,54 |
| IV | 44,00 |
| III | 50,96 |
| II | 56,256 |
| I | 59,146 |

- L'EFFORT Normal dans les traverses est égal à l'effort tranchant dans les poteaux.
 Donc à partir des efforts tranchants dans les poteaux on déduit directement les efforts normaux dans les poutres.

- De même pour la détermination des efforts normaux dans les poteaux ; se déduit à partir des efforts tranchants dans les poutres, en appliquant à chaque fois la relation permettant d'avoir l'effort normal à l'appui i.

$$T_{e_i} - T_{i_w} = N_i$$

Verification au seisme: La verification au seisme se fera avec les memes formules utilisees pour le dimensionnement.

Resistance

$$\frac{M_{max}}{W} + \frac{N_c}{A} \leq \sigma_c$$

$$\frac{N_{max}}{A} + \frac{M_{corr}}{W} \leq \sigma_c$$

Stabilité

$$k_0 + k_f \sigma_f \leq \sigma_c$$

CH 8

BASE DES POTEAUX

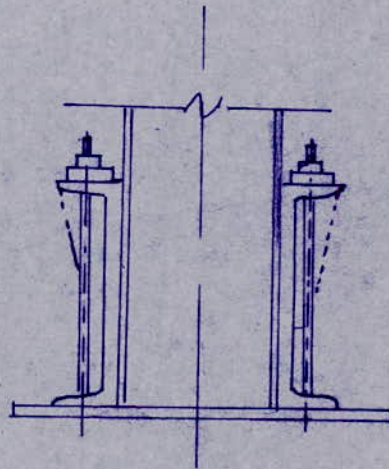
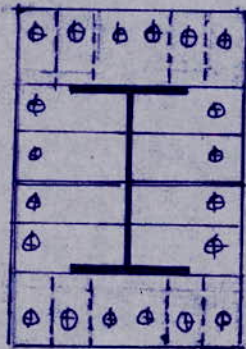
BASE DES POTEAUX

1. GENERALITES : La base des poteaux a pour rôle de transmettre au massif de fondation les efforts développés dans les poteaux par l'ensemble des charges et surcharges agissant sur la construction. Etant donné la faible résistance du matériau constitutif du massif (béton) par rapport à l'acier la base est généralement élargie afin que la pression admissible sur le matériau de fondation ne soit pas dépassée. Cela se fait par l'intermédiaire d'une plaque d'assise appelée "Platine" dont les dimensions dépendent directement de l'importance des efforts à transmettre et qui est soudée perpendiculairement à l'axe longitudinal du poteau. On distingue les bases encastrées et les bases articulées. Les efforts à transmettre sont N, T et M .

2 HYPOTHESES DE CALCUL : Dans notre cas on adoptera une base encastrée.

Les dimensions de la plaque seront déterminées sous N_{max} et M_{resp} . alors que les boulons d'ancrage seront eux calculés sous M_{max} , N_{resp} . On adoptera une même base pour tous les poteaux.

3 CONSTRUCTION DE LA BASE : La pression exercée sur la fondation par le poteau dans la direction d'action du moment comprime la fondation. Tandis que sur le bord opposé la plaque tend à se décoller de la surface du massif de fondation en surmontant la résistance des boulons d'ancrage. Pour cette raison on adoptera la plaque ci-dessous.



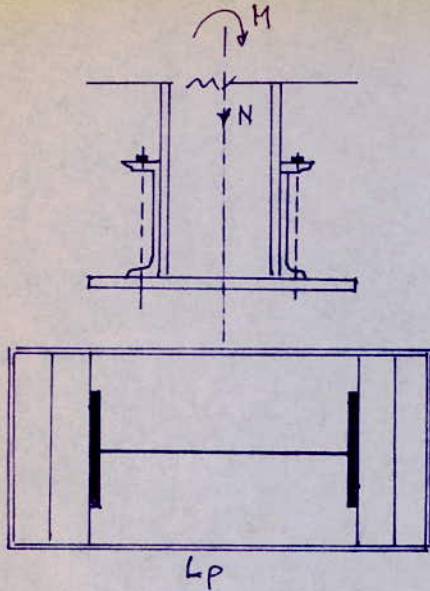
4 DIMENSIONNEMENT DE LA PLATINE

on prend des fondations en béton : dosage 350 kg/m^3 , non contrôlé

$$\bar{\sigma}_b' = 67,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_m = \alpha \bar{\sigma}_b' = 1,2 \cdot 67,5 = 81 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{ETB6 ancrés}$$

on dimensionnera la platine avec N_{max} , M_{resp} .
 Elle sera dimensionnée de façon que les contraintes créées par un moment agissant dans les 2 sens principaux soient inférieures aux contraintes admissibles du massif de fondation. le $\sigma'_m = 81 \text{ kg/cm}^2$



$$M_{max} = 734988,16 \text{ kgcm}$$

$$N_{max} = 725096,289 \text{ kg}$$

on se donne une largeur $B_p = 90 \text{ cm}$
 La longueur L_p sera déterminée par

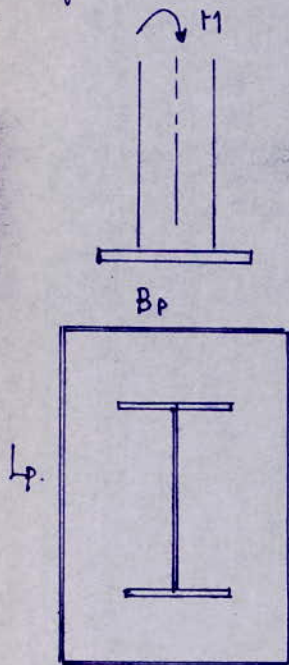
$$L_p \geq \frac{N}{2B_p \sigma'_m} + \sqrt{\left(\frac{N}{2B_p \sigma'_m}\right)^2 + \frac{6M}{B_p \sigma'_m}} \quad (1)$$

avec: $N = 725096,289 \text{ kg}$
 $M = 734988,16 \text{ kgcm}$
 $\sigma'_m = 81 \text{ kg/cm}^2$
 $B_p = 90 \text{ cm}$

$$(1) \rightarrow L_p \geq \frac{725096,289}{2 \times 90 \times 81} + \sqrt{\left(\frac{725096,289}{2 \times 90 \times 81}\right)^2 + \frac{6 \times 734988,16}{90 \times 81}} = 105,21 \text{ cm}$$

on prendra $L_p = 120 \text{ cm}$

on vérifie les dimensions de la platine dans le cas d'un moment M_y et $N_y \text{ max}$.



Dans ce cas on a:

$$L_p = 120 \text{ cm}$$

$$N_{max} = 839247,172 \text{ kg}$$

$$M_{resp} = 372836,89 \text{ kgcm}$$

on détermine B_p par la condition

$$B_p \geq \frac{N}{2L_p \sigma'_m} + \sqrt{\left(\frac{N}{2L_p \sigma'_m}\right)^2 + \frac{6M}{L_p \sigma'_m}}$$

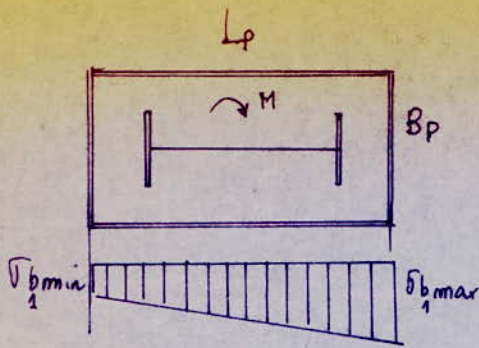
$$\Rightarrow B_p \geq 88 \text{ cm} \rightarrow B_p = 90 \text{ cm}$$

avec une platine de $120 \times 90 \text{ cm}$ les contraintes σ_{max} restent toujours inférieures à σ'_m

$$\frac{N_{max}}{L_p \cdot B_p} = \frac{839247,172}{120 \times 90} = 77,7 \text{ kg/cm}^2 < \sigma'_m$$

EPAISSEUR DE LA PLATINE :

Pour la détermination de l'épaisseur de la platine on utilisera la théorie des plaques.



$$\sigma_{b1, \max} = \frac{N}{B_p L_p} \pm \frac{6M}{B_p L_p^2}$$

avec:

$$N = 725096,289 \text{ kg}$$

$$M = 734988,16 \text{ kg cm}$$

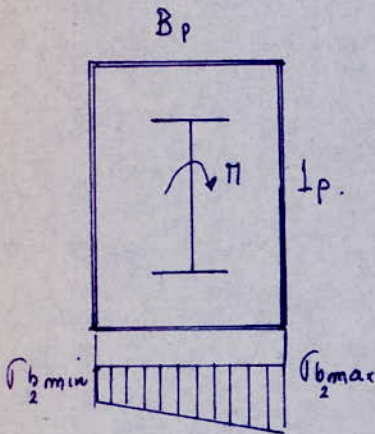
$$B_p = 90 \text{ cm}$$

$$L_p = 120 \text{ cm}$$

on aura:

$$\sigma_{b1, \max} = 70,54 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{b1, \min} = 63,74 \text{ kg/cm}^2$$



de même principe de calcul donne avec

$$N = 839247,172 \text{ kg}$$

$$M = 372836,89 \text{ kg cm}$$

$$B_p = 90 \text{ cm}$$

$$L_p = 120 \text{ cm}$$

$$\sigma_{b2, \max} = \frac{N}{B_p L_p} \pm \frac{6M}{L_p B_p^2}$$

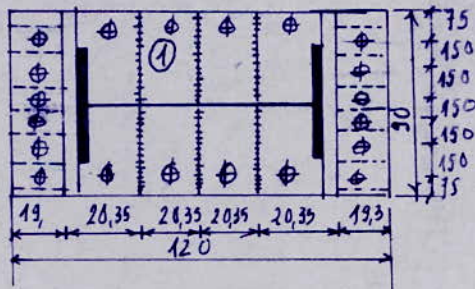
$$\sigma_{b2, \max} = 80 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{b2, \min} = 75,44 \text{ kg/cm}^2$$

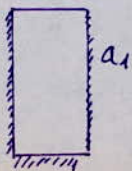
L'épaisseur de la plaque qui est généralement comprise entre 16 et 40 mm, est fonction du choix des raidisseurs. Pour le poteau sur la platine

Pour avoir une épaisseur assez petite on envisagera de diminuer la valeur des moments de flexion sur la platine et ceci en partageant cette dernière en plusieurs plaques élémentaires

disposition



Plaque 1



sera calculée comme une plaque appuyée sur 3 cotés:

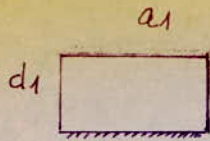
$$M = \alpha q d_1^2$$

$$\alpha = f\left(\frac{a_1}{d_1}\right)$$

$$\frac{a_1}{d_1} = \frac{45}{20,35} = 2,21 > 2 \rightarrow \alpha = 0,133$$

D'où $M = 0,133 \cdot 80 \cdot (20,35)^2 = 4406,26 \text{ kg cm}$

Plaque 2 : Plaque appuyée un côté → console



$$M = q \frac{e^2}{2}$$

D'où $M = 80 \cdot \frac{9,3^2}{2} = 3459,6 \text{ kgcm}$

on choisit le moment maximal et l'épaisseur de la platine sera calculée en fonction de celui-ci.

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_p} = \frac{M_{\max}}{\frac{1 \cdot l^2 p}{6}} \leq \sigma_e$$

D'où : $e_p \geq \sqrt{\frac{6 \cdot M_{\max}}{\sigma_e}} = \sqrt{\frac{6 \times 4406,26}{2400}} = 3,32 \text{ cm} \rightarrow e_p = 35 \text{ mm}$

Donc on prendra une platine de $120 \times 90 \times 35$.

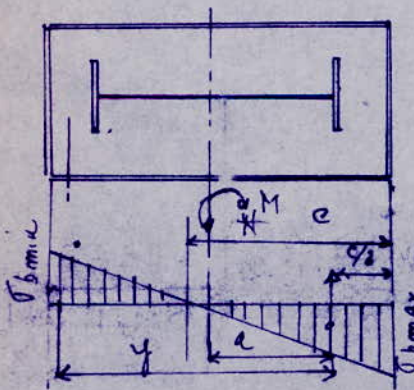
calcul des boulons la section des boulons d'ancrage est déterminée pour les efforts de traction maximum, i.e.

M_{\max} et N_{\min} .

on calculera les boulons de façon qu'ils puissent résister à un éventuel renversement de la platine dans les 2 sens.

1) traction provoquée par un moment M_x : on prendra :

$M_{\max} = 6078866,19 \text{ kgcm}$
 $N_{\text{resp}} = 67653,531 \text{ kg}$



$$\sigma_{\max/\min} = \frac{N}{B_p L_p} \mp \frac{6M}{B_p L_p^2}$$

$$\sigma_{1 \max} = \frac{67653,531}{90 \times 120} + \frac{6 \cdot 6078866,19}{90 \times 120^2} = 34,4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{1 \min} = \frac{67653,531}{90 \times 120} - \frac{6 \cdot 6078866,19}{90 \times 120^2} = -25,75 \text{ kg/cm}^2$$

$$y = l_p - \frac{d}{3} - \delta = 120 - \frac{68,63}{3} - 10 = 87,12 \text{ cm}$$

$$\text{car } d = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}} \cdot l_p = \frac{34,4}{34,4 + 25,75} \cdot 120 = 68,63 \text{ cm}$$

$$e = \frac{l_p}{2} - \frac{d}{3} = \frac{120}{2} - \frac{68,63}{3} = 37,12 \text{ cm}$$

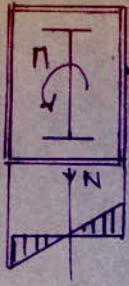
$$F_b = \frac{M - N \cdot e}{y} = \frac{6078866,19 - 67653,531 \times 37,12}{87,12} = 40950 \text{ kg}$$

$$A_r = 1,25 \cdot \frac{F_b}{\sigma_e} = 1,25 \cdot \frac{40950}{2400} = 2133 \text{ cm}^2$$

on prend 16 boulons $\phi 24$ $A_r = 6 \times 3,54 = 2154 \text{ cm}^2$

$$\sigma = \frac{1,25 \cdot 40950}{2154} = 2376,40 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$$

2) Traction provoquée par un moment My



$M_{max} = 3860538,07 \text{ kgcm}$
 $N_{resp} = 102888,965 \text{ kg}$

$$\sigma_{2 \frac{max}{min}} = \frac{N}{B_p L_p} \pm \frac{6M}{L_p B_p^2}$$

$\sigma_2 \text{ max} = 33,36$
 $\sigma_2 \text{ min} = -14,30$

$$y = B_p - \frac{d}{3} - \delta = 59 \text{ cm}$$

avec $a = \frac{\sigma_2 \text{ max} B_p}{\sigma_2 \text{ max} + \sigma_2 \text{ min}} = \frac{33,36}{33,36 + 14,30} B_p = 63 \text{ cm}$

$$a = \frac{B_p}{2} - \frac{d}{3} = \frac{90}{2} - \frac{63}{3} = 24 \text{ cm}$$

$$F_y = \frac{M - N a}{y} = \frac{3860538,07 - 102888,965 \cdot 24}{59} = 23580 \text{ kg}$$

$$A_r = 1,25 F_y / \sigma_c = 1,25 \frac{23580}{2400} = 12,28 \text{ cm}^2$$

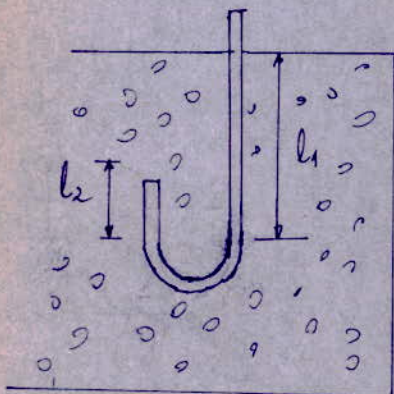
Donc on prend 4 ϕ 24 $\rightarrow A = 4 \times 3,59 = 14,36 \text{ cm}^2$

$$\sigma = \frac{23580}{14,36} \cdot 1,25 = 2052,5 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

ancrage

Les efforts transversaux doivent être transmis au massif de fondation directement par la plaque d'assise pour avoir une bonne stabilité du poteau et est nécessaire d'assurer un bon ancrage de ce dernier dans le massif de fondation.

Comme tige d'ancrage on utilisera une tige lisse de diamètre ϕ comportant une partie droite de longueur l_1 la longue par un crochet à 180° de rayon r , puis par une nouvelle partie droite de longueur l_2 satisfaisant à $l_1 \geq r \geq l_2$



$l_1 = 0,40 \text{ m}$
 $l_2 = 0,20 \text{ m}$
 $r = 0,30 \text{ m}$

$l_1 \geq r \geq l_2$

$\phi = 24$ $d_1 = 100$ $g = 350 \text{ kg/m}^3$

$$N = 0,1 \left(1 + \frac{7gc}{1000} \right) \frac{\phi}{\left(1 + \frac{\phi}{d_1} \right)^2} (l_1 + 6,4r + 3,5l_2)$$

Donc on aura

$$N = 0,1 \cdot \left(1 + \frac{7 \cdot 350}{1000} \right) \frac{30}{\left(1 + \frac{24}{100} \right)^2} (0,40 + 6,4 \cdot 0,3 + 3,5 \cdot 0,20) = 20321,4 \text{ kg}$$

Effort supporté par un boulon:

$$N = \frac{F_r}{4} = \frac{40950}{6} = 6825 \text{ kg} < N$$

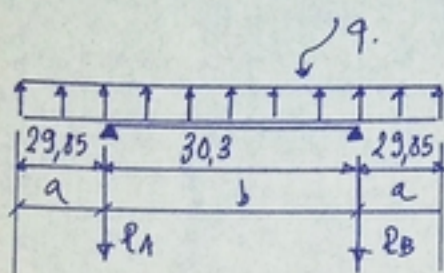
CALCUL DU PROFILE : Le profilé en I sera dimensionné avec le moment maximal résultant des 2 schémas

statiques suivants.

D'abord on suppose que le profilé est sollicité par la traction venant des fondations.

Ensuite, on calcule le profilé sous les charges concentrées dues aux boulons.

1) charge uniforme.

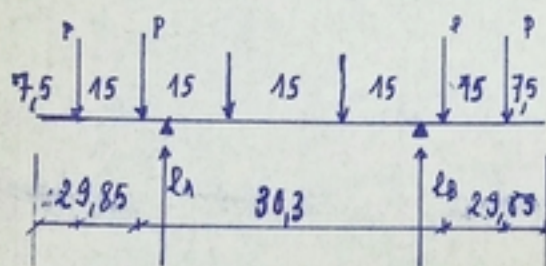


$$q_b = 70,54 \cdot 19,30 = 1361,42 \text{ kg/cm}$$

$$M_a = \frac{q \cdot a^2}{2} = \frac{1361,42 \cdot 29,85^2}{2} = 606528 \text{ kgcm}$$

$$M_c = \frac{q \cdot b^2}{2} = \frac{1361,42 \cdot 30,3^2}{2} = 624953 \text{ kgcm}$$

2) Charges concentrées



$$R_A + R_B = 6825 \cdot 6 = 40950 \text{ kg}$$

$$R_A = R_B = 20425 \text{ kg}$$

Calcul des moments.

$$0 < x < 10 \rightarrow m(x) = 0$$

$$10 < x < 26 \rightarrow m(x) = -Px \begin{cases} m(10) = 168250 \text{ kgcm} \\ m(26) = 247019,5 \text{ kgcm} \end{cases}$$

$$26 < x < 64 \rightarrow m(x) = -2Px + R_A(x - 3,85) = \begin{cases} m() = \end{cases}$$

Le moment max. est obtenu pour le 2^u cas de charge on supprime les charges concentrées comme une charge uniformément répartie

$$q = 40950 / 19,3 = 2212 \text{ kg/cm} \rightarrow M_{max} = \frac{q b^2}{2} = \frac{2212 \cdot 30,3^2}{2} = 974093,5 \text{ kgcm}$$

Donc. $M_{max} = 974093,5 \text{ kgcm}$

$$W_{x_{nec}} \geq \frac{M}{\sigma_e} \rightarrow W_{x_{nec}} \geq \frac{974093,5}{2400} = 405,8 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{UPN } 300$$

Un UPN. 240. suffirait normalement. mais pour des raisons constructives on prendra un UPN. 300.

CALCUL DESCORDONS :

on a 2 cordons verticaux de longueur $l_c = 30 \text{ cm}$

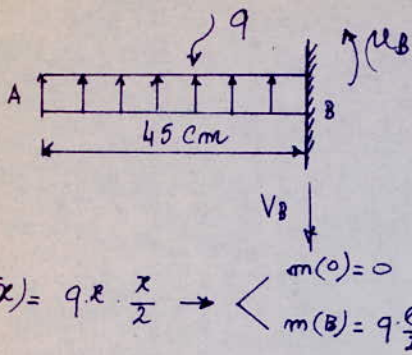
$$\text{on vérifie. } \frac{T}{0,75 \sum l_c \cdot a} \leq \sigma_e \rightarrow 2T = 1361,42 \cdot 90 = 122527,8 \text{ kg}$$

$$T = 61264 \text{ kg}$$

$$a = 1,4 \text{ mm} \rightarrow a \cdot a = 1,2 \text{ cm} \rightarrow \frac{61264}{0,75 \cdot 30 \cdot 1,4} = 2269 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_e$$

RAIDISSEURS

1) raidisseurs longitudinaux: Ces raidisseurs seront calculés comme des consoles. Ils seront soumis à la poussée venant des fondations.



Chaque raidisseur reprendra une charge q , égale à.

$$q = \sigma_b \cdot l = 80 \cdot 20,35 = 1628 \text{ kg/cm} \cdot l$$

$$\sum M(qe/v)/B = 0 \rightarrow q \cdot \frac{l^2}{2} - M_B = 0 \rightarrow M_B = q \frac{l^2}{2}$$

$$m(x) = q \cdot x \cdot \frac{x}{2} \rightarrow \begin{cases} m(0) = 0 \\ m(B) = q \frac{l^2}{2} \end{cases}$$

$$M = q \cdot \frac{l^2}{2} = 1628 \cdot \frac{45^2}{2} = 1648350 \text{ kgcm} \quad T = q \cdot l = 1628 \times 45 = 73260 \text{ kg}$$

hauteur du raidisseur: prenons une épaisseur $e_r = 2 \text{ cm}$

$$\sigma = \frac{6M}{\sigma_r h_r^2} \leq \sigma_c \rightarrow h_r \geq \sqrt{\frac{6M}{\sigma_r \cdot \sigma_c}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 1648350}{2 \cdot 2400}} = 45,4 \text{ cm} \approx 46 \text{ cm}$$

Cordons liant le raidisseur à l'âme du poteau: Le raidisseur est attaché par le cordon d'épaisseur $h_c = 10 \text{ mm}$. Les cordons doivent résister au cisaillement et au moment. On les vérifie donc pour la contrainte résultante.

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_e^2 + 3 \tau_{xy}^2} \leq \sigma_c$$

$$\text{avec: } \sigma_e = \frac{M_r}{W_c}, \quad \tau_{xy} = \frac{Q_r}{2 \cdot 0,7 \cdot h_c \cdot l_c}$$

$$W_c = \frac{2 \cdot 0,7 \cdot h_c \cdot l_c^2}{6} = \frac{2 \cdot 0,7 \cdot 2 \cdot 46^2}{6} = 987,46 \text{ cm}^3$$

$$\tau_{xy} = \frac{73260}{2 \cdot 0,7 \cdot 46 \cdot 20} = 578,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_e = \frac{M_r}{W_c} = \frac{1648350}{987,46} = 1669,28 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{D'où } \sigma = \sqrt{(1669,28)^2 + 3(578,8)^2} = 1947,10 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

on détermine l'épaisseur des cordons d'attache du raidisseur sur la plaque

$$h_c \geq \frac{Q_r}{2 \cdot 0,7 \cdot l_c \cdot \sigma_c} = \frac{73260}{2 \cdot 0,7 \cdot 45 \cdot 2400} = 0,44 \text{ cm}$$

ou bien: on applique la formule suivante, tirée du règlement français.

$$1,35 \cdot \sqrt{\left(\frac{M_r}{W_c}\right)^2 + \left(\frac{T}{A_c}\right)^2} \leq \sigma_c$$

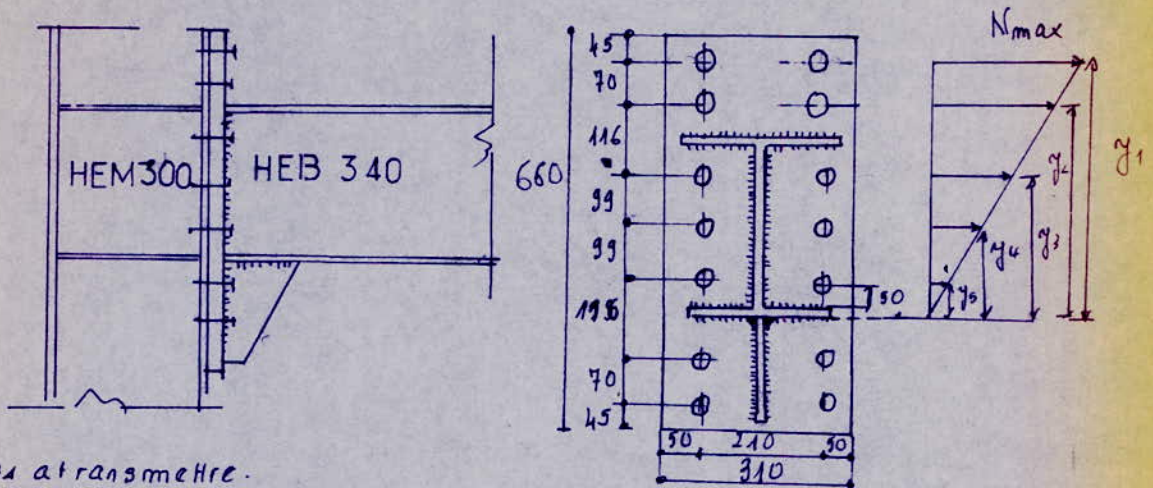
CH 9

ASSEMBLAGES

ASSEMBLAGES

ASSEMBLAGE DES POUTRES LONGITUDINALES AUX POTEAUX

assemblage HEB 340 HEM 300



Efforts à transmettre.

$$M = 462.1098,81 \text{ kgcm}$$

$$N = 2821,719 \text{ kg}$$

$$T = 31067,805$$

La déformée de l'ensemble (axe neutre) de figure à peu près à la hauteur de la membrure inférieure de la poutre. L'effort maximum sollicitant les 2 boulons de haut, situés sur un même axe horizontal et travaillant à la traction est calculé par la formule

$$N_{\max} = \frac{M \cdot y_{\max}}{\sum y_i^2}$$

On doit vérifier $N \leq N_a$

$$N_{\max} = \frac{462109881 \cdot 0,455}{(0,455)^2 + (0,315)^2 + (0,269)^2 + (0,17)^2 + (0,071)^2} = 45555 \text{ kg}$$

L'effort sur un boulon est $\frac{N_{\max}}{2} = 22777,5 \text{ kg}$.

La contrainte d'un boulon $\phi 24$.

$$N_a = 0,8 \cdot \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} \cdot \sigma_{e10.9} = 0,8 \cdot \pi \cdot 3,52 \cdot 9000 = 25848 \text{ kg} > N.$$

Donc on aura une platine $660 \times 310 \times 20$ avec 2 files de boulons espacés de

$$\begin{aligned} 3d \leq s \leq 7d &\rightarrow 72 \leq s \leq 168 \rightarrow s = 99 \text{ cm} \\ 1,5 \leq e \leq 4d &\rightarrow e = 4,5 \text{ cm} \\ 1,5 \leq e' \leq 2,5d &\rightarrow e' = 5 \text{ cm} \end{aligned}$$

ve
Verification des boulons au cisailie ent

on verife: $T_a = 1,14(N_0 - N) > T$

on prend $\varphi = 0,3$.

Done: $T_a = 1,1 \cdot 0,3 (32572 - 2821,719) = 9817,59 \text{ kg}$

$T_1 = \frac{T}{2 \times 7} = \frac{31067,805}{2 \times 7} < T_a$

Calcul des cordons:

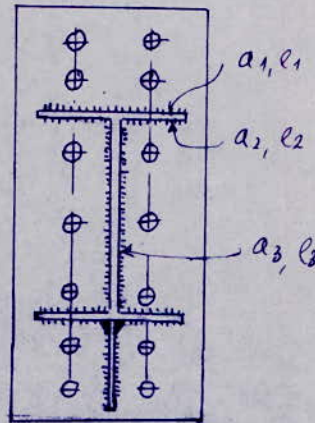
ona:

$h_1 \leq 1,2 \cdot e = 1,2 \cdot 21,5 = 25,8 \text{ mm}$
 $h_2 \leq 1,2 \cdot e = 1,2 \cdot 21,5 = 25,8 \text{ mm}$
 $h_3 \leq 1,2 \cdot a = 1,2 \cdot 12 = 14,4 \text{ mm}$

on prend

$h_1 = 28,46 \text{ mm} \rightarrow a_1 = 0,707 h_1 = 18 \text{ mm}$
 $h_2 = 28,46 \text{ mm} \rightarrow a_2 = 0,707 h_2 = 18 \text{ mm}$
 $h_3 = 14,14 \text{ mm} \rightarrow a_3 = 0,707 h_3 = 10 \text{ mm}$

Donc $a_1 \alpha_1 = a_2 \alpha_2 = 15,2 \text{ mm}$
 $a_3 \alpha_3 = 0,88 \text{ mm}$



Pour les cordons assemblant les semelles et le poteau. on verife:

$$-\sigma_c \leq 1,18 \cdot \left[\frac{N}{\Sigma l a \alpha} \pm \frac{M \cdot h}{h^2 \cdot l_1 a_1 \alpha_1 + 2(h-2e)^2 \cdot l_2 a_2 \alpha_2} \right] \leq \sigma_c$$

Pour les cordons assemblant l'ame et le poteau.

$$\sqrt{1,4 \cdot \left(\frac{N}{\Sigma l a \alpha} \right)^2 + 1,8 \cdot \left(\frac{T}{2l_3 a_3 \alpha_3} \right)^2} \leq \sigma_c$$

Dans ces formules. on a suppose, pour simplifier les calculs que
 • la force N se repartit uniformement sur tous les cordons.
 • les cordons d'attache de l'ame equilibrent T
 • les cordons d'attache des semelles equilibrent le couple M.

$l_1 = (b - 2a_1) = (30 - 2 \times 1,8) = 26,4 \text{ cm}$
 $l_2 = \frac{1}{2} (b - e_1 - 2a_2) = \frac{1}{2} (30 - 1,2 - 3,6) = 12,6 \text{ cm}$
 $l_3 = \frac{1}{2} (h - 2e_1 - 2a_3) = \frac{1}{2} (34 - 2 \times 2,15 - 2) = 27,3 \text{ cm}$

Done:

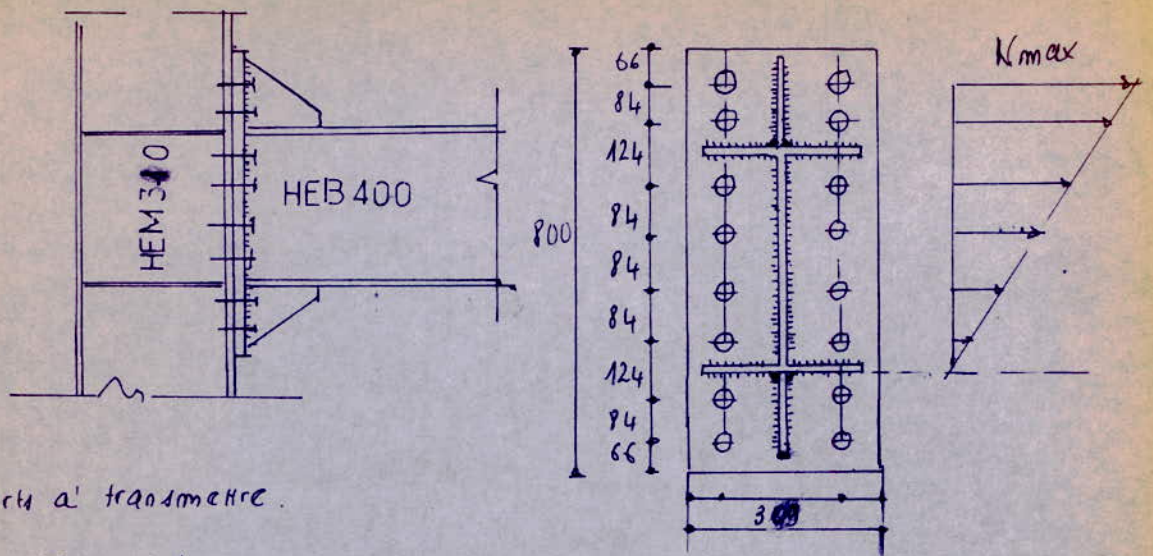
$$-\sigma_c \leq 1,18 \left[\frac{2821,719}{(26,4 - 2 \cdot 12,6) \cdot 1,52 + 27,3 \cdot 0,88} \pm \frac{462 \cdot 1097,81 \times 34}{34^2 \cdot 26,4 \cdot 1,52 + 2(29,7)^2 \cdot 12,6 \times 1,52} \right] \leq \sigma_c$$

 $-2400 \leq 2352,38 < 2400, \quad -2400 \leq -2000 < 2400$

$$\sqrt{1,4 \left(\frac{2821,719}{26,4 \cdot 1,52 + 2 \cdot 12,6 \times 1,52 + 27,3 \cdot 0,88} \right)^2 + 1,8 \left(\frac{31067,805}{2 \times 27,3 \cdot 0,88} \right)^2} < \sigma_c$$

 $868,12 < \sigma_c$

assemblage HEB 400 - HEM 340



Efforts a transmettre.

$$M = 63\,227,62,13 \text{ kgcm}$$

$$N = 2229\,737 \text{ kg}$$

$$T = 43797,420$$

on prend $\Phi 24$. He.10-8. . Platine. $800 \times 300 \times 20$

Conditions d'espacement:

$$7,2 \leq d \leq 16,8$$

$$3,6 \leq d_e \leq 9,6$$

$$3,6 \leq d_t \leq 6$$

L'effort maximale agissant sur les 2 boulons d'en haut est.

$$N = \frac{M y_{max}}{\sum y_i^2} = \frac{63\,227,6213 \cdot 0,534}{(0,534)^2 + (0,45)^2 + (0,326)^2 + (0,242)^2 + (0,158)^2 + (0,074)^2}$$

$$N_{max} = 49\,438,82 \text{ kg}$$

Effort revenant a un boulon. $\rightarrow N_e = \frac{N_{max}}{2} = 24\,719,41 \text{ kg}$

L'effort de compression d'un $\Phi 24$ est

$$N_0 = 0,7 \pi \cdot \frac{\Phi^2}{4} \cdot 9000 = 25848 \text{ kg} > N_e$$

Verification des boulons au cisaillement

on verifie que $T_a = 1,1 \varphi (N_0 - N) \geq T$
 $N_a = N_0 > N$

$$\varphi = 0,90$$

$$T_a = 1,1 \cdot 0,90 \cdot (32572 - 2229,737) = 10012,95 \text{ kg}$$

$$T = \frac{43797,4}{8 \times 2} = 2737 < T_a$$

$$N = 2229,737 < N_0 = 25848 \text{ kg}$$

Cordons de soudure : on détermine tous les paramètres.

$$h_1 \leq 1,2 \cdot e = 1,2 \cdot 24 = 28,8 \text{ mm}$$

$$h_2 \leq 1,2 \cdot e = 1,2 \cdot 24 = 28,8 \text{ mm}$$

$$h_3 \leq 1,2 \cdot a = 1,2 \cdot 13,5 = 16,2 \text{ mm}$$

on prend donc.

$$h_1 = 28,8 \text{ mm} \rightarrow a_1 = 0,707 h_1 = 20 \text{ mm} \rightarrow a_1 \alpha_1 = 16,8 \text{ mm}$$

$$h_2 = 28,8 \text{ mm} \rightarrow a_2 = 0,707 h_2 = 20 \text{ mm} \rightarrow a_2 \alpha_2 = 16,8 \text{ mm}$$

$$h_3 = 14,4 \text{ mm} \rightarrow a_3 = 10 \text{ mm} \rightarrow a_3 \alpha_3 = 8,8 \text{ mm}$$

Cordons assemblant les femelles et le poteau.

$$\sigma_c \leq 1,18 \left[\frac{N}{\sum l a \alpha} \pm \frac{M h}{h^2 l_1 a_1 \alpha_1 + 2(h-2e)^2 l_2 a_2 \alpha_2} \right] \leq \sigma_c$$

Cordons assemblant l'âme et le poteau.

$$\sqrt{1,4 \left(\frac{N}{\sum l a \alpha} \right)^2 + 1,8 \left(\frac{T}{2 l_3 a_3 \alpha_3} \right)^2} \leq \sigma_c$$

$$l_1 = (b - 2a_1) = (30 - 2 \cdot 2) = 26 \text{ cm}$$

$$l_2 = \frac{1}{2} (b - e_1 - 2a_2) = (30 - 1,35 - 4) = 12,325 \text{ cm}$$

$$l_3 = (h - 2e_1 - 2a_3) = (40 - 2 \cdot 2,4 - 2) = 33,2 \text{ cm}$$

$$1,18 \left[\frac{2229,737}{(26 + 12,325) \cdot 1,68 + 33,2 \cdot 0,88} \pm \frac{63,22762,13 \cdot 40}{40^2 \cdot 26 \cdot 1,68 + (35,2)^2 \cdot 2 \cdot 12,325 \cdot 1,68} \right] \leq \sigma_c$$

non vérifié.

Donc comme la hauteur du profilé est assez grande on suppose que le couple M est repris par les cordons de l'âme et des femelles.

on choisit $a = a_1 = a_2 = a_3 = 15 \text{ mm} \rightarrow a \alpha = 12,8 \text{ mm}$

$$l_1 = (b - 2a) = 30 - 3 = 27 \text{ cm}$$

$$l_2 = \frac{1}{2} (b - e_1 - 2a) = \frac{1}{2} (30 - 1,35 - 30) = 12,825 \text{ cm}$$

$$l_3 = h - 2e_1 - 2a = 40 - 4,8 - 3 = 32,2 \text{ cm}$$

Vérifications.

$$\sigma_c \leq 1,18 \left[\frac{N}{\sum l a \alpha} \pm \frac{M h}{h^2 l_1 a \alpha + 2(h-2e)^2 l_2 a \alpha + (h-2e)^2 l_3 a_3 \alpha_3} \right]$$

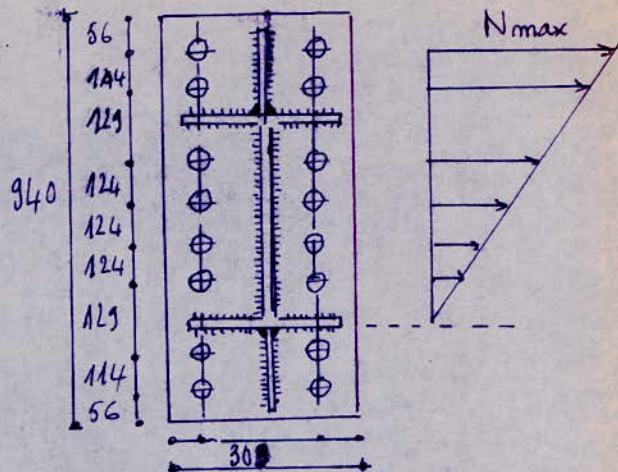
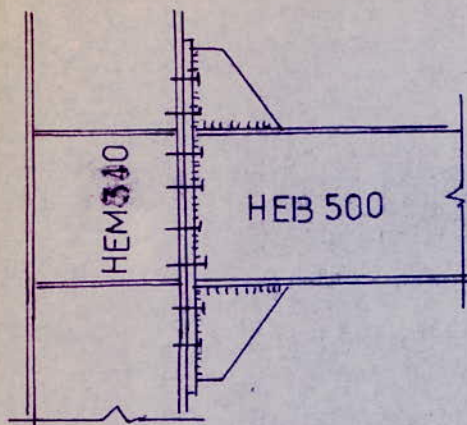
$$\sigma_c < 2088 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

Pour les cordons assemblant l'âme et le poteau. on vérifie

$$\sqrt{\left(\frac{2229,737}{(27 + 12,825 + 32,2) \cdot 12,8} \right)^2 + \left(\frac{43797,420}{2 \cdot 32,2 \cdot 12,8} \right)^2} \cdot 1,8 \rightarrow 713,25 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

Donc $a_1 = a_2 = a_3 = 15 \text{ mm}$

ASSEMBLAGE HEB 500 HEM 340



$$M = 9349988,75 \text{ kgcm}$$

$$N = 484281 \text{ kg}$$

$$T = 67471,884$$

L'effort maximal sur les 2 boulons d'en haut est donné par

$$N_{\max} = \frac{M \cdot y_{\max}}{\sum y_i^2}$$

$$N_{\max} = \frac{9349988,75 \cdot (0,664)}{(0,664)^2 + (0,95)^2 + (0,421)^2 + (0,307)^2 + (0,193)^2 + 0,079^2} = 58659,64 \text{ kg}$$

L'effort admissible sur un boulon est égal à $\frac{N}{2} = 29329,81 \text{ kg}$.

L'effort de précontrainte d'un boulon $\phi 24$ est

$$N_0 = 0,8 \pi \cdot A_s \cdot \sigma_e = 32572 \text{ kg} \rightarrow N_{\max} \leq N_0$$

Donc on aura une lamine $940 \times 30 \times 20$ avec 2 files de 8 boulons HR.10.9 $\phi 24$ de chaque côté.

Vérification des boulons au glissement La sollicitation engendrée par un boulon à la fois un effort T perpendiculaire à son axe et un effort de traction N dans la direction de celui-ci. Ces efforts pondérés ne doivent pas dépasser.

$$T_a = 1,1 \varphi (N_0 - N) \text{ et } N_a = N_0$$

$$\varphi = 0,30 \rightarrow T_a = 1,1 \cdot 0,3 (32572 - 484281) = 10587,95 \text{ kg}$$

$$T_1 = \frac{T}{n} = \frac{67471,884}{8} < T_a$$

$$N = 48428 < N_0$$

Cordon de soudure

on a :

La hauteur de notre profil est importante. Ce sont les cordons de soudure de l'âme et des semelles qui reprendront M

On choisit $a = a_1 = a_2 = a_3 = 16 \text{ mm} \rightarrow a\alpha = 1,25 \text{ mm}$

$$e_1 = (b - 2a) = (30 - 2,8) = 27,2 \text{ cm}$$

$$e_2 = \frac{1}{2}(b - e - 2a) = \frac{1}{2}(30 - 1,45 - 2,8) = 12,875 \text{ cm}$$

$$e_3 = h - 2e_1 - 2e = 50 - 5,6 - 2,8 = 41,6 \text{ cm}$$

on vérifie:

$$\sigma_c \leq 1,18 \left[\frac{N}{\sum l a \alpha} \pm \frac{M h}{h^2 l_1 a \alpha + 2(h - 2e)^2 l_2 a \alpha + (h - 2e)^2 l_3 a \alpha} \right] \leq \sigma_c$$

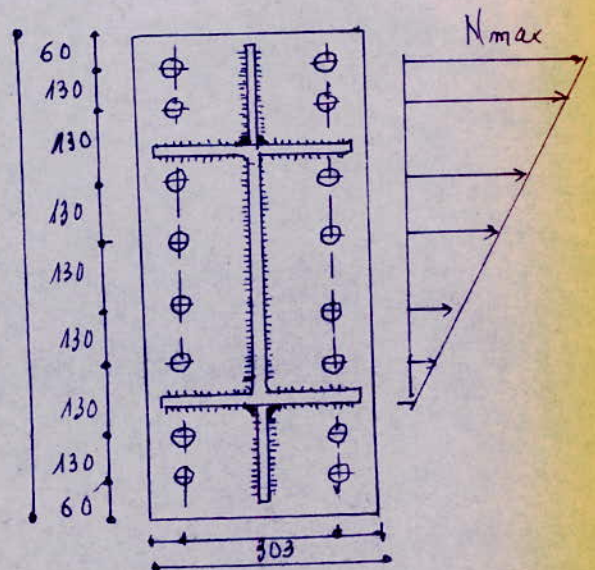
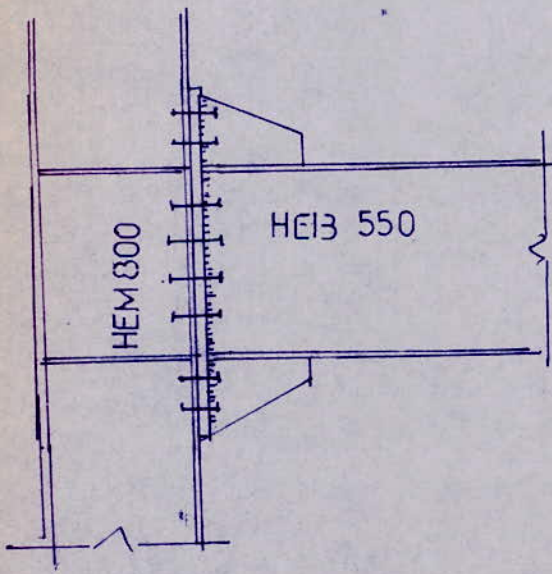
$$\sigma_c < 2294,74 < \sigma_c$$

Pour les cordons assemblant l'âme et le poteau on vérifie:

$$\sqrt{\left(\frac{484,281}{(27,2 + 41,6 + 25,75)12} \right)^2 \cdot 1,4 + 1,8 \left(\frac{67471,884}{2 \cdot 41,6 \times 1,25} \right)^2} \leq \sigma_c \rightarrow 906,7 < \sigma_c$$

Donc. $a = a_1 = a_2 = a_3 = 16 \text{ mm}$

ASSEMBLAGE HE13 550 HEM 800



$$M = 116\,999\,02,25 \text{ kgcm}$$

$$K = 10381,113 \text{ kg}$$

$$T = 86677,516 \text{ kg}$$

L'effort maximal sur les 2 boulons d'en haut est donné par

$$N = \frac{M_{\max} \cdot y_{\max}}{\sum y^2}$$

$$N_{\max} = \frac{116999,0225 \times 0,73}{(0,73)^2 + (0,60)^2 + (0,47)^2 + (0,34)^2 + (0,21)^2 + (0,08)^2} = 66731,22 \text{ kg}$$

on prend des boulons HR $\phi 27$.

Condition d'espacement des boulons.

$$\begin{array}{l} 3\phi \leq s \leq 7\phi \\ 1,5\phi \leq x \leq 4\phi \\ 1,50 \leq x \leq 2,5\phi \end{array} \rightarrow \begin{array}{l} 8,1 \leq s \leq 18,9 \\ 4,05 \leq x \leq 10,8 \\ 4,05 \leq x \leq 6,75 \end{array}$$

L'effort sur un boulon est $N_1 = \frac{N_{\max}}{2} = 33365,61 \text{ kg}$

L'effort de compression sur un boulon $\phi 27$ est

$$N_0 = N_c = 0,8 \times A_r \times \sigma_c = 0,8 \times \frac{27^2}{4} \times 9000 = 41223,98 \text{ kg}$$

Donc $N_1 < N_0$.

on adoptera une tôle $103 \times 303 \times 20$ avec 2 files de boulons HR 10.9 $\phi 27$ de (16 boulons)

Vérification des boulons à l'effort tranchant : Puisqu'on a un effort T perpendiculaire à l'axe du boulon et un effort normal suivant son axe on vérifie donc

$$T \leq T_a = 1,1 \varphi (N_0 - N) \text{ et } N_a = N_0 > N$$

$$T_a = 1,1 \cdot 0,3 (41223,98 - 10381,113) = 10178,15 \text{ kg}$$

$$T = \frac{86677,516}{16} = 5417 \text{ kg} < T_a$$

Vérification des cordons de soudure : La hauteur du profil étant importante, on suppose que le couple M est repris par les cordons de soudure de l'âme et les cordons des semelles.

on choisit $a = a_1 = a_2 = a_3 = 14 \text{ mm} \rightarrow a_x = 1,2 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} e_1 &= (b - 2a) = 277 \text{ cm} \\ e_2 &= \frac{1}{2} (b - 2a - 2a) = 130,5 \text{ cm} \\ e_3 &= \frac{1}{2} h = 2a - 2a = 47 \text{ cm} \end{aligned}$$

on vérifie.

$$-\sigma_c \leq 1,18 \left[\frac{N}{\sum l a_x} \pm \frac{M h}{h^2 e_1 a_x + 2(h-2e)^2 e_2 a_x + (h-2e) e_3 a_x} \right] \leq \sigma_c$$

$$-2400 < 2364,10 < 2400$$

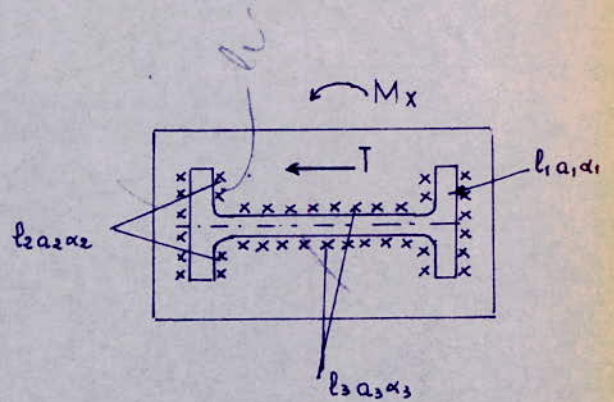
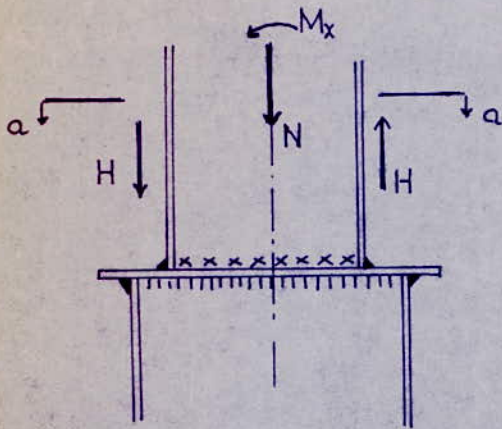
Pour les cordons assemblant l'âme et le poteau on vérifie

$$\sqrt{1,4 \left(\frac{10391,11}{(27 + 2 \cdot 130,5 + 47) \cdot 1,2} \right)^2 + 1,8 \left(\frac{86677,516}{2 \cdot 47 \times 1,2} \right)^2} \leq \sigma_c \rightarrow 1036 < \sigma_c$$

ASSEMBLAGE POTEAU - POTEAU

POTEAU HEM 300 POTEAU HEM 340

a/ Cas d'un moment M_x



- La force N se répartit uniformément entre tous les cordons.
- Les cordons d'attache de l'âme équilibrent la force T
- Les cordons d'attache des semelles équilibrent le couple M

$$M = 2864190,16 \text{ kgcm.}$$

$$N = 82229,28 \text{ kg.}$$

$$T = 16194,942 \text{ Kg}$$

$$h_1 \leq 1,2 c_s = 1,2 \cdot 39 = 46,8 \text{ mm}$$

$$h_2 \leq 1,2 c_s = 1,2 \cdot 39 = 46,8 \text{ mm}$$

$$h_3 \leq 1,2 c_a = 1,2 \cdot 21 = 25,2 \text{ mm}$$

$$a_1 = a_2 = 16 \text{ mm}; \quad a_3 = 14 \text{ mm.}$$

$$h = \frac{a}{0,707} = 22,63 \text{ mm} \Rightarrow h_1 = h_2 = 22,63 \text{ mm.}$$

$$a_1 \alpha_1 = a_2 \alpha_2 = 13,6 \text{ mm}$$

$$h_3 = \frac{a_3}{0,707} = \frac{14}{0,707} = 19,8 \text{ mm} \Rightarrow a_3 \alpha_3 = 12 \text{ mm.}$$

$$l_1 = b - 2a_1 = 310 - 32 = 278 \text{ mm}$$

$$l_2 = \frac{1}{2}((b - c_a) - 2a_2) = \frac{1}{2}(310 - 21 - 32) = 128,5 \text{ mm}$$

$$l_3 = h - 2c_s - 2a_3 = 340 - 78 - 28 = 234 \text{ mm.}$$

Pour les cordons d'assemblage des semelles et du poteau.

$$- \sigma_z \leq 1,18 \left[\frac{N}{\sum l_i a_i \alpha_i} + \frac{M \cdot h}{h^2 \cdot l_1 a_1 \alpha_1 + 2(h - 2c_s)^2 l_2 a_2 \alpha_2} \right] \leq \sigma_z$$

$$-\sigma_e \leq -1216,3 \text{ kg/cm}^2 \leq \sigma_e = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$-\sigma_e \leq 1834,62 \text{ kg/cm}^2 \leq \sigma_e = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

Pour les cordons assemblant l'âme et le poteau.

$$\sqrt{1,4 \left[\frac{N}{\sum l_i a_i \alpha_i} \right]^2 + 1,8 \left[\frac{T}{2 l_3 a_3 \alpha_3} \right]^2} \leq \sigma_e$$

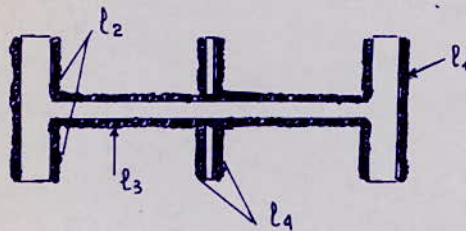
$$\sqrt{1,4 \left[\frac{82229,28}{201,68} \right]^2 + 1,8 \left[\frac{16194,94}{2 \cdot 23,4 \cdot 1,2} \right]^2} = 618,4 \text{ kg/cm}^2 \leq \sigma_e$$

b Cas d'un moment M_y

$$M = 2091360,19 \text{ kg cm}$$

$$N = 74413,087 \text{ kg}$$

$$T = 11895,729 \text{ kg}$$



- L'effort T est repris par les cordons ①, ②, ④
- L'effort N est repris par les cordons ①, ②, ③, ④
- L'effort M est repris par ①, ②, ④.

$$a_1 = a_2 = 18 \text{ mm} \rightarrow \alpha_1 a_1 = \alpha_2 a_2 = 1,52 \text{ cm}$$

$$h_1 = h_2 = 18/0,707 = 25,46 \text{ mm}$$

$$a_3 = a_4 = 16 \text{ mm}$$

$$h_3 = h_4 = 16/0,707 = 22,63 \text{ mm}$$

$$l_1 = b - 2a_1 = 310 - 36 = 27,4 \text{ cm}$$

$$l_2 = \frac{1}{2}(b - e_a - 2a_2) = \frac{1}{2}(310 - 21 - 36) = 12,65 \text{ cm}$$

$$l_3 = h - 2a_3 - 2a_4 = 340 - 78 - 32 = 23 \text{ cm}$$

$$l_4 = \frac{1}{2}(b - 2a_4 - e_a) = \frac{1}{2}(310 - 21 - 32) = 12,85 \text{ cm}$$

Effet de T

$$\sigma_T = \sigma_{\perp T} = \sigma$$

$$\tau_{HT} = \frac{T}{2 l_1 a_1 \alpha_1 + 4(l_2 a_2 \alpha_2 + l_4 a_4 \alpha_4)}$$

$$\sigma_{HT} = \frac{11895,723}{2 \cdot 27,4 \cdot 1,52 + 4 \cdot (12,65 \cdot 1,52 + 12,85 \cdot 1,36)} = 51,7 \text{ kg/cm}^2$$

Effet de M

$$C_M = \frac{M}{I_c} \cdot v_c$$

$$I_c = 2 \cdot \frac{l_1^3 a_1 \alpha_1}{12} + 4 \left[\frac{l_2^3 a_2 \alpha_2}{12} + l_2 a_2 \alpha_2 \left(\frac{l_1 - l_2}{2} \right)^2 \right] + 4 \left[\frac{l_4^3 a_4 \alpha_4}{12} + l_4 a_4 \alpha_4 \left(\frac{l_1 - l_4}{2} \right)^2 \right]$$

$$C_M = \frac{2091360,19 \times 27,4/2}{(2,74)^3 \cdot 1,52/6 + (12,65)^3 \cdot 1,52/3 + 12,65 \cdot 1,52(27,4 - 12,65)^2 + 12,85^3 \cdot 1,36/3 + 12,85 \cdot 1,36(27,4 - 12,85)^2}$$

$$\sigma_M = \sigma_{LM} = 1343,32 \text{ kg/cm}^2$$

Effet de N

$$C_N = \frac{N}{\sum l_i \alpha_i \alpha_i} = \frac{74413,087}{2[27,4 \cdot 1,52 + 2(12,65 \cdot 1,52 + 12,85 \cdot 1,36) + 23 \cdot 1,36]}$$

$$\sigma_N = \sigma_{LN} = 180 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_t = 0 + 1343,32 + 180 = 1523,32 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{II} = 51,7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_L = 1523,32$$

On vérifie que: $\sigma^2 + 1,8[\sigma_L^2 + \sigma_{II}^2] \leq \sigma_{en}^2$

$$(1523,32)^2 + 1,8[51,7^2 + 1523,32^2] \leq \sigma_{en}^2 = 2400^2$$

Pour le cordon (3).

$$C_N = \frac{N}{\sum l_i \alpha_i \alpha_i} \rightarrow \begin{matrix} \sigma_N \\ \sigma_{LN} \end{matrix}$$

$$\sigma_t = \sigma_N$$

$$\sigma_{Lt} = \sigma_{LN}$$

$$\sigma_{II t} = \sigma_{II N} = 0$$

On doit vérifier que: $\sigma^2 + 1,8(\sigma_L^2 + \sigma_{II}^2) \leq \sigma_{en}^2$

$$\sigma_N = \sigma_{LN} = 841 \text{ kg/cm}^2$$

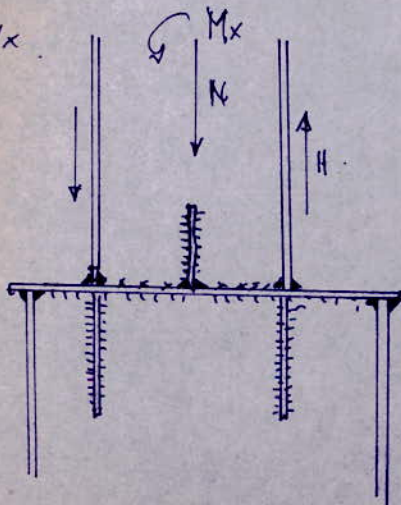
$$\sigma_t = \sigma_N = 841 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{Lt} = \sigma_{LN} = 0 \text{ kg/cm}^2$$

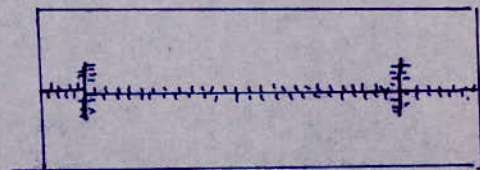
$$841^2 + 1,8(841^2) \leq 2400^2$$

POTEAU HEM 340 HEM 800

1) cas de Π_x



$$\begin{aligned} M_x &= 4719011,38 \text{ kgcm} \\ N &= 257519,957 \text{ kg} \\ T &= 27113,174 \text{ kg} \end{aligned}$$



- On assemble un poteau HEM 340 à un poteau HEM 800

$$a_3 \alpha_3 = a_4 \alpha_4 = 1,36 \text{ cm}$$

$$a_3 = a_4 = 16 \text{ mm}$$

$$a_1 \alpha_1 = a_2 \alpha_2 = 1,68 \text{ cm}$$

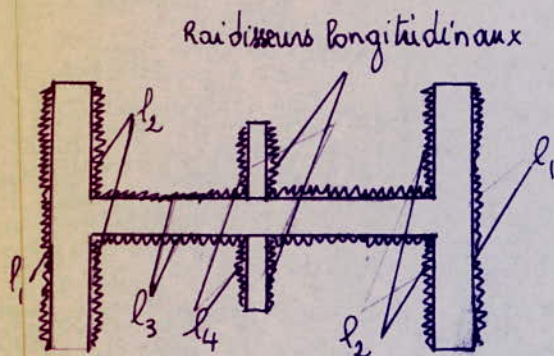
$$a_1 = a_2 = 20 \text{ mm}$$

$$h_1 \leq 1,2 e_s = 48 \text{ mm}$$

$$h_3 \leq 1,2 e_a = 25,2 \text{ mm}$$

$$h_2 \leq 1,2 e_s = 48 \text{ mm}$$

$$h_4 \leq 1,2 e_a = 25,2 \text{ mm}$$



la stabilité de l'âme est douteuse, alors on doit renforcer l'âme avec un double raidisseur longitudinal.

$$N \rightarrow \textcircled{1}, \textcircled{2}, \textcircled{3}, \textcircled{4}$$

$$M = 2647944,44 \text{ kg.cm}$$

$$T \rightarrow \textcircled{1}, \textcircled{2}, \textcircled{4}$$

$$N = 102287,47 \text{ kg}$$

$$M \rightarrow \textcircled{1}, \textcircled{2}, \textcircled{4}$$

$$T = 112287,47 \text{ kg}$$

$$l_1 = 309 - 40 = 269 \text{ mm}$$

$$l_3 = 377 - 80 - 32 = 265 \text{ mm}$$

$$l_2 = \frac{1}{2} (309 - 21 - 40) = 124 \text{ mm}$$

$$l_4 = \frac{1}{2} (309 - 21 - 32) = 128 \text{ mm}$$

Cordons 1 et 2

a) effet de T

$$C_{||} = \frac{T}{2 l_1 a_1 \alpha_1 + 4 l_2 a_2 \alpha_2 + 4 l_4 a_4 \alpha_4}$$

$$= \frac{112287,47}{2 \cdot 26,9 \cdot 1,68 + 4 \cdot 12,4 \cdot 1,68 + 4 \cdot 12,8 \cdot 1,36} = 461,435$$

b) effet de N

$$C_N = \frac{N}{\sum l_i a_i \alpha_i} = \frac{102287,47}{2 \cdot 26,9 \cdot 1,68 + 4 \cdot 12,4 \cdot 1,68 + 4 \cdot 12,8 \cdot 1,36 + 2 \cdot 26,5 \cdot 1,36}$$

$$\sigma_N = C_{\perp} N = C_N \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 229,3 \text{ kg/cm}^2$$

c) effet de M . $C_M = \frac{M v_c}{I_c}$ $v_c = \frac{l_1}{2} = 13,45$

$$\bar{\sigma}_M = \mathcal{C}_{\perp M} = \frac{26\,479\,44,44 \cdot 13,45 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}}{\frac{(26,9)^3 \cdot 1,68}{6} + \frac{(12,4)^3 \cdot 1,68}{3} + 12,4 \cdot 1,68 (210,25) + \frac{(12,8)^3 \cdot 1,36}{3} + (12,8) \cdot 1,36 (198,81)}$$

$$\bar{\sigma}_M = \mathcal{C}_{\perp M} = 1723,67 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_E = \bar{\sigma}_T + \bar{\sigma}_N + \bar{\sigma}_M = 0 + 229,3 + 1723,67 = 1952,97 \text{ kg/cm}^2$$

$$\mathcal{C}_{\parallel} = 461,435 \text{ kg/cm}^2$$

$$\mathcal{C}_{\perp} = 1952,97 \text{ kg/cm}^2$$

On vérifie que $\bar{\sigma}^2 + 1,8 [\mathcal{C}_{\perp}^2 + \mathcal{C}_{\parallel}^2] \leq \bar{\sigma}_{en}^2$

$$\Rightarrow \sqrt{(1952,97)^2 + 1,8 (461,435^2 + 1952,97^2)} \leq \bar{\sigma}_e$$

\(\Rightarrow\) On doit augmenter l'épaisseur des cordons

on prend $a_1 = a_2 = 30 \text{ mm} \rightarrow a_1 \alpha_1 = a_2 \alpha_2 = 2,48 \text{ cm}$
 $a_3 = a_4 = 16 \text{ mm} \rightarrow a_3 \alpha_3 = a_4 \alpha_4 = 1,36 \text{ cm}$

$$l_1 = 24,9 \text{ cm}$$

$$l_2 = 11,4 \text{ cm}$$

$$l_3 = 26,5 \text{ cm}$$

$$l_4 = 12,8 \text{ cm}$$

Cordons 1 et 2

a) Effet de T

$$\mathcal{C}_{\parallel} = \frac{112287,47}{2 \cdot 24,9 \cdot 2,48 + 4 \cdot 11,4 \cdot 2,48 + 4 \cdot 12,8 \cdot 1,36} = 366,68 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_T = \mathcal{C}_{\perp T} = 0$$

b) Effet de N :

$$C_N = \frac{N}{\sum l_i \alpha_i}$$

$$\bar{\sigma}_N = \mathcal{C}_{\perp N} = C_N \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{102287,47 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}}{2 \cdot 24,9 \cdot 2,48 + 4 \cdot 11,4 \cdot 2,48 + 4 \cdot 12,8 \cdot 1,36 + 2 \cdot 26,5 \cdot 1,36} = 191,20 \text{ kg/cm}^2$$

c) Effet de M :

$$C_M = \frac{M}{I_c} \cdot v_c \quad \text{avec } v_c = \frac{l_1}{2} = 12,45 \text{ cm}$$

$$\bar{\sigma}_M = \mathcal{C}_{\perp M} = C_M \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 1498,25 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Rightarrow \bar{\sigma}_E \text{ totale} = \bar{\sigma}_T + \bar{\sigma}_N + \bar{\sigma}_M = 1498,25 + 191,2 + 0 = 1689,45 \text{ kg/cm}^2$$

$$\mathcal{C}_{\parallel \text{ totale}} = 366,68 \text{ kg/cm}^2$$

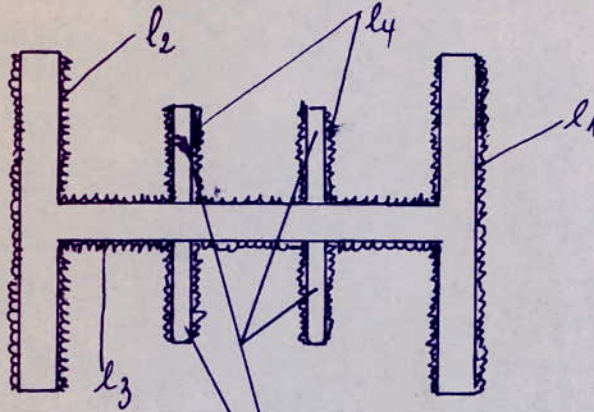
$$\mathcal{C}_{\perp} = 1689,45 \text{ kg/cm}^2$$

on vérifie que $\bar{\sigma}^2 + 1,8 [\mathcal{C}_{\perp}^2 + \mathcal{C}_{\parallel}^2] \leq \bar{\sigma}_{cn}^2$

Mais on remarque que la relation précédente est non vérifiée c'est à dire que la stabilité de l'âme est toujours douteuse, alors on est obligé de renforcer d'avantage l'âme pour cela on prévoit un autre - double - raidisseur longitudinal.

$$a_1 = a_2 = 20\text{mm} \quad \rightarrow a_1 \alpha_1 = a_2 \alpha_2 = 1,68\text{cm}$$

$$a_3 = a_4 = 16\text{mm} \quad \rightarrow a_3 \alpha_3 = a_4 \alpha_4 = 1,36\text{cm}$$



$$l_3 = 26,5\text{cm}$$

$$l_4 = 12,8\text{cm}$$

$$l_2 = 12,4\text{cm}$$

$$l_1 = 26,9\text{cm}$$

raideurs longitudinaux

Cordons 1 et 2

a) Effet de T

$$\tau_{||} = \frac{112287,47}{2 \cdot 26,9 \cdot 1,68 + 4 \cdot 12,4 \cdot 1,68 + 8 \cdot 12,8 \cdot 1,36} = 358,77 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_T = \tau_{\perp T} = 0$$

b) Effet de N

$$C_N = \frac{N}{\sum l_i \alpha_i}$$

$$\sigma_N = \tau_{\perp N} = C_N \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 187,84 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{et } \tau_{||} = 0$$

c) Effet de M :

$$C_M = \frac{M}{I_e} \cdot v_e$$

$$\sigma_M = \tau_{\perp M} = C_M \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 1276,98 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Rightarrow \sigma_{\perp \text{ totale}} = \sigma_N + \sigma_M + \sigma_T = 0 + 1276,98 + 187,84 = 1464,82 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{|| \text{ totale}} = 358,77 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{\perp \text{ totale}} = 1464,82 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sqrt{\sigma^2 + 1,8(\tau_{||}^2 + \tau_{\perp}^2)} = 2497 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \text{l'erreur commise est}$$

de 4% si on garde les dimensions et les hypothèses ci-dessus sinon on augmente carrément l'épaisseur des cordons de soudures en prenant $a_1 = a_2 = 25\text{mm}$ et $a_3 = a_4 = 16\text{mm}$
 $\Rightarrow \sigma^2 + 1,8(\tau_{||}^2 + \tau_{\perp}^2) \leq \sigma_e^2$ est vérifiée

- Cor don 3

On verifie uniquement $C_H = \frac{N}{\Sigma l_i a_i}$

$$C_H = \tau_{LN} = C_H \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 1003,4 \text{ kg/cm}^2$$

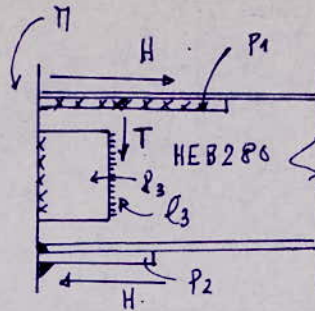
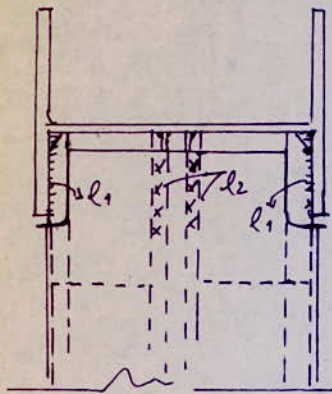
$$\sigma_T = \tau_{LT} = 0$$

$$\tau_{ll} = 0$$

$$\Rightarrow \sqrt{\sigma^2 + 1,8 (\tau_{ll}^2 + \tau_{LT}^2)} = 1012 \text{ kg/cm}^2 < C_e = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

ASSEMBLAGE POUTRETRANSV POTEAUX

1) Assemblage HEB 280 - HEM 300.



Dimensions des plaques.

$$l_1 = 150 \times 100 \times 10 \text{ mm}$$

$$l_3 = 100 \times 100 \times 15 \text{ mm}$$

$$l_2 = 230 \times 150 \times 10 \text{ mm}$$

$$M = 311918,16 \text{ kg}$$

$$N = 8421,372 \text{ kg}$$

$$T = 24402,36 \text{ kg}$$

Les plaques l_1 et l_2 seront soudées d'avance sur le poteau.
La plat l_3 sera soudée lui aussi d'avance sur la poutre.

Le couple M . se décompose en 2 forces H .

$$H = \frac{M}{k} = \frac{311918,16}{28} = 11140 \text{ kg}$$

La force H . sera reprise par les cordons latéraux

$$h_1 \leq 1,2 \delta_1 = 1,2 \cdot 20 = 24 \text{ mm} \rightarrow a = 0,707 b = 16 \text{ mm}$$

$$\rightarrow a_1 \alpha_1 = 1,36 \text{ cm}$$

$$l_2 = 12 \text{ cm} = l_1$$

$$a_2 = 16 \text{ mm} \rightarrow a_2 \alpha_2 = 1,36 \text{ cm}$$

$$\text{on vérifie } \frac{H}{4 \cdot 0,75 a \alpha} \leq \sigma_c \rightarrow \frac{11140}{4 \cdot 0,75 \cdot 12 \cdot 1,36} = 227 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

L'effort tranchant T sera repris par les cordons l_3 a_3 α_3

$$\text{on vérifie } \frac{T}{2 \cdot 0,75 \cdot l_3 \cdot a_3 \alpha_3} \leq \sigma_c \rightarrow \frac{24402,36}{2 \cdot 0,75 \cdot 0,72 \cdot 10,4} = 2173 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

$$\text{on prend } a = 8 \text{ mm} \rightarrow a \alpha = 0,72 \text{ cm}$$

$$l_3 = 12 \text{ cm}$$

on vérifie aussi ces cordons à l'effort normal N .

$$\frac{N}{2 \cdot 0,75 \cdot l_3 \cdot a_3 \alpha_3} \leq \sigma_c \rightarrow \frac{8421,372}{2 \cdot 0,75 \cdot 10,4 \cdot 0,72} = 661,5 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

Assemblage HEB 400 - HEM 300: on gardera le même type d'assemblage

$$M = 656196,44 \text{ kgcm}$$

$$N = 6929,052 \text{ kg}$$

$$T = 44672,108 \text{ kg}$$

Le couple M sera décomposé en 2 forces H qui vont solliciter les cordons. $l_1 a_1 \alpha_1$ et $l_2 a_2 \alpha_2$

$$H = \frac{M}{h} = \frac{656196,44}{40} = 164079 \text{ kg}$$

La force H sera reprise par les cordons latéraux. $l_1 a_1 \alpha_1$, $l_2 a_2 \alpha_2$

$$h_1 \leq 1,2 \times 25 = 30 \text{ mm} \rightarrow a_1 = 14 \text{ mm} \rightarrow a_1 \alpha_1 = 1,2 \text{ cm}, l_1 = 12 \text{ cm}$$

$$h_2 \leq 1,2 \times 24 = 28,8 \text{ mm} \rightarrow a_2 = 14 \text{ mm} \rightarrow a_2 \alpha_2 = 1,2 \text{ cm}$$

on vérifie. $\frac{H}{2 \cdot 0,75 l a \alpha} \leq \sigma_c \rightarrow \frac{164079}{2 \cdot 0,75 \cdot 12 \cdot 1,2 + 2 \cdot 0,75 \cdot 12 \cdot 1,2} = 2170 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$

Donc. $l_2 = 26,2 \text{ cm} \rightarrow l_2 = 30 \text{ cm}$

Pour la plaque inférieure on prévoit un gousset de longueur 15 cm et on vérifie

$$\frac{164079}{4 \cdot 0,75 \cdot 1,2 \times 12 + 2 \cdot 15 \times 1,2 \times 0,75} = 2337 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

L'effort tranchant T sera repris par les cordons. $l_3 a_3 \alpha_3$

on vérifie $\frac{T}{2 \cdot 0,75 l a \alpha} \leq \sigma_c \rightarrow \frac{44672,108}{2 \cdot 0,75 \cdot 10 \cdot 1,36} = 2190 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$

on prend donc. $a_3 = 16 \text{ mm}$

$$l_3 = 10 + 3,2 = 13,2 \text{ cm} \approx 14 \text{ cm}$$

on vérifie aussi les cordons. l_3 pour N .

$$\frac{N}{2 \cdot 0,75 \cdot l_3 a_3 \alpha_3} \leq \sigma_c \rightarrow \frac{6929,052}{2 \cdot 0,75 \cdot 10 \cdot 1,36} = 299 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

Dimensions des plaques.

$$l_1 = 300 \times 100 \times 10 \text{ mm}$$

$$l_2 = 150 \times 234 \times 10 \text{ mm}$$

$$l_3 = 100 \times 100 \times 15 \text{ mm}$$

Assemblage. HEB 550 - HEM 340.

$$M = 10732532,5 \text{ kgcm}$$

$$N = 2367,754 \text{ kg}$$

$$T = 72225,311 \text{ kg}$$

L'effort tranchant sera repris par les cordons l_3, a_3, α_3 .

$$a_3 = 16 \text{ mm} \rightarrow a_3 \alpha_3 = 1,36 \text{ cm}, \quad l_3 = 20 \text{ cm}$$

$$\frac{T}{2 \cdot 0,75 \cdot l_3 \alpha_3} \leq \sigma_c \rightarrow \frac{85043,52}{2 \cdot 0,75 \cdot 20 \cdot 1,36} = 2084 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

Donc $l_3 = 20 + 3,2 = 23 \text{ cm} \approx 24 \text{ cm}$

on vérifie les mêmes cordons pour N.

$$\frac{N}{2 \cdot 0,85 \cdot l_3 \alpha_3} \leq \sigma_c \rightarrow \frac{5989,472}{2 \cdot 0,85 \cdot 20 \cdot 1,36} = 129 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

Dimensions des plaques

$$l_1 = 300 \times 100 \times 35$$

$$l_2 = 300 \times 734 \times 35$$

$$l_3 = 240 \times 100 \times 20$$

Assemblage HE B 650 - HE π. 800 :

$$M = 144858,91 \text{ kgcm}$$

$$N = 24774,19 \text{ kg}$$

$$T = 97412,76 \text{ kg}$$

On décompose le couple M en 2 forces H.

$$H = \frac{M}{h} = \frac{144858,91}{65} = 222860 \text{ kg}$$

$$a_1 = 20 \text{ mm} = a_2 \rightarrow a_1 \alpha_1 = a_2 \alpha_2 = 16,8 \text{ mm}$$

$$l_1 = 13 \text{ cm}$$

$$l_2 = 40 \text{ cm}$$

on vérifie $\frac{H}{0,75 \cdot l_3 \alpha_3} = \frac{222860}{0,75 (2 \times 13 + 1,68 + 2 \times 40 + 1,68)} = 2000 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$

L'effort tranchant T sera repris par l_3, a_3, α_3

$$\frac{T}{2 \cdot 0,75 \cdot l_3 \alpha_3} \leq \sigma_c \rightarrow \frac{97412,76}{2 \cdot 0,75 \cdot 20 \cdot 1,36} = 2387,5 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

Donc $l_3 = 20 + 3,2 = 24 \text{ cm}$

Dimensions des plaques

$$l_1 = 300 \cdot 100 \times 35$$

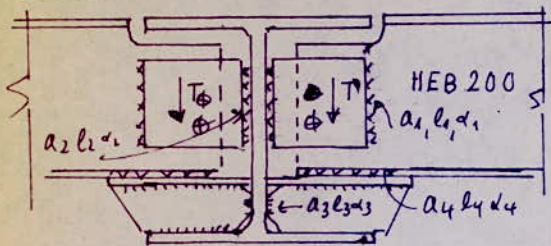
$$l_2 = 400 \cdot 734 \times 35$$

$$l_3 = 240 \times 100 \times 20$$

ASSEMBLAGE POUTRE SUPPL POUTRE TRANSV

1. Assemblage HEB 200 - HEB 280.

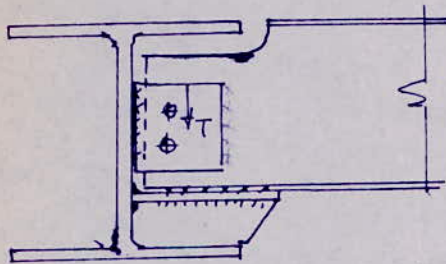
cas n° 1



Dans cet assemblage la réaction d'appui de la poutre supplémentaire sur la poutre transversale crée une excentricité e qui nous donne un moment de flexion local. mais comme on a une autre poutre qui crée la même excentricité donc les 2 moments s'annulent. Donc pour ce type d'assemblage on a 2 cas à étudier.

cas des poutres supplémentaires venant s'appuyer sur les poutres transversales intermédiaires. Dans ce cas on vérifie seulement les cordons de soudure à la résistance et cas où les poutres supplémentaires viennent s'appuyer sur les poutres transversales de rive dans ce cas on a un moment de flexion local $M = T \cdot e$. Donc on doit vérifier les cordons de soudure à la flexion et au cisaillement.

cas n° 2.



$$T = 10$$

on étudiera le cas n° 1 pour chaque Niveau d'abord.
Vérification des cordons.

$$T = 10463,65 \text{ kg}$$

$$h_1 \leq 1,26 = 1,2 \cdot 9 = 10,8 \text{ mm}$$

$$\text{on prend } a_1 = 6 \text{ mm} \rightarrow a_1 \cdot d_1 = 5,6 \text{ mm}$$

$$l_1 = 10 - 2a_1 = 8,8 \text{ cm}$$

L'effort T est repris par les cordons $l_1 a_1 d_1$.

$$\text{Donc on vérifie } \frac{T}{2 \cdot 0,75 l_1 a_1 d_1} \leq \sigma_c$$

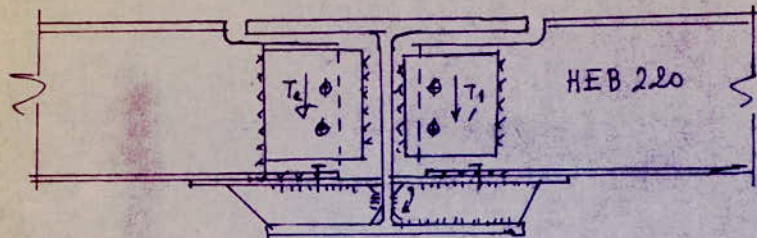
$$\rightarrow \frac{10463,65}{2 \cdot 0,75 \cdot 8,8 \cdot 0,56} = 1415,5 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

comme T sera transmis aux cordons $l_2 a_2 d_2$ on vérifie donc

$$\frac{T}{2 \cdot 0,75 l_2 a_2 d_2} \leq \sigma_c \rightarrow \frac{10463,5}{2 \cdot 0,75 \cdot 8 \cdot 0,56} = 1374 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

$$\text{Donc } l_2 = 8 \text{ cm} \\ a_2 = 6 \text{ mm}$$

2. Assemblage HEB 220 - HEB 400.



$$T = 10950,5 \text{ kg}$$

Vérification des cordons de soudure:

on prend $a_1 = 6 \text{ mm} \rightarrow a_1 \alpha_1 = 5,6 \text{ mm}$

$$l_1 = l - 2a_1 = 8,8 \text{ cm}$$

L'effort T étant repris par les cordons $l_1 a_1 \alpha_1$.
Donc on vérifie

$$\frac{T}{2 \cdot 0,75 l_1 a_1 \alpha_1} \leq \sigma_c \longrightarrow \frac{10950,5}{2 \cdot 0,75 \cdot 8,8 \cdot 0,56} = 1481,4 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

Vérification des cordons $l_4 a_4 \alpha_4$

$$l_4 = 8 \text{ cm}$$

$$a_4 = 6 \text{ mm}$$

$$\frac{T}{2 \cdot 0,85 l_4 a_4 \alpha_4} \longrightarrow \frac{10950,5}{2 \cdot 0,85 \cdot 8 \cdot 0,56} = 1438 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

Donc.

$$l_4 = 8 \text{ cm}$$

$$a_4 = 6 \text{ mm}$$

3. Assemblage HEB 260 - HEB 400: on garde le même type d'assemblage.

Là réaction d'appui T de la poutre est.

$$T = 16411 \text{ kg}$$

Vérification des cordons $l_1 a_1 \alpha_1$

on prend $a_1 = 6 \text{ mm} \rightarrow a_1 \alpha_1 = 0,56 \text{ mm}$

on vérifie pour ces cordons.

$$\frac{T}{2 \cdot 0,75 l_1 a_1 \alpha_1} \leq \sigma_c \longrightarrow \frac{16411}{2 \cdot 0,75 \cdot 8,8 \cdot 0,56} = 2220 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

Comme T sera transmis aux cordons $l_4 a_4 \alpha_4$ on vérifie donc la résistance de ces derniers

$$\frac{T}{2 \cdot 0,85 l_4 a_4 \alpha_4} \leq \sigma_c \longrightarrow \frac{16411}{2 \cdot 0,85 \cdot 8 \cdot 0,56} = 2155 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

Donc.

$$l_4 = 8 \text{ cm}$$

$$a_4 = 6 \text{ mm}$$

Assemblage HEB.300-HEB550: La réaction d'appui du HEB 300 est:

$$T = 25529 \text{ kg}$$

Vérification des cordons:

$$h_1 \leq 1,2 \delta = 1,2 \cdot 11 = 13,2 \text{ mm}$$

$$a_1 = 8 \text{ mm} \rightarrow a_1 a_1 = 7,2 \text{ mm}$$

on vérifie la résistance des cordons.

$$\frac{T}{2 \cdot 0,75 l_1 a_1 a_1} \leq \sigma_c \rightarrow \frac{25529}{2 \cdot 0,75 \cdot 0,72 \cdot 10,4} = 2273 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

Donc. $l_1 = 12 \text{ cm}$
 $a_1 = 8 \text{ mm}$

T étant transmis aux cordons l_4 on vérifie la résistance de ceux-ci.

$$\frac{T}{2 \cdot 0,85 l_4 a_4 a_4} \leq \sigma_c \rightarrow \frac{25529}{2 \cdot 0,85 \cdot 0,8 \cdot 0,72} = 2370 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

Donc. $l_4 = 10 \text{ cm}$
 $a_4 = 8 \text{ mm}$

Assemblage HEB.320-HEB600 $T = 29640 \text{ kg}$

$$h_1 \leq 1,2 \delta = 1,2 \cdot 11,5 = 13,8 \text{ mm}$$

$$\text{on prend } a_1 = 8 \text{ mm} \rightarrow a_1 a_1 = 0,72 \text{ cm}$$

$$l_1 = 14 - 2a_1 = 12,4 \text{ cm}$$

L'effort T étant repris par les cordons l_1, a_1, a_1 .
on vérifie.

$$\frac{T}{2 \cdot 0,75 l_1 a_1 a_1} \leq \sigma_c \rightarrow \frac{29640}{2 \cdot 0,75 \cdot 0,72 \cdot 12,4} = 2213 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

Comme T sera transmis aux cordons l_4, a_4, a_4 .
Donc. on vérifie la résistance de ces derniers.

$$\frac{T}{2 \cdot 0,85 l_4 a_4 a_4} \leq \sigma_c \rightarrow \frac{29640}{2 \cdot 0,85 \cdot 0,72 \cdot 12,4} = 1953 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

Donc. on prend:

$$l_4 = 14 \text{ cm}$$

$$a_4 = 8 \text{ mm}$$

Assemblage HEB 380 - HEB 650.

La réaction d'appui de la poutre supplémentaire est égale à 34210 kg

Vérification des cordons. Les cordons l_1, a_1, α_1 seront vérifiés à la résistance.

$$\frac{T}{2 \cdot 0,75 l_1 a_1} \leq \sigma_c$$

$$h_1 \leq 1,2 \delta = 1,2 \cdot 11,5 = 13,8 \text{ mm}$$

$$a_1 = 8 \text{ mm} \rightarrow a_1 \alpha_1 = 0,72 \text{ cm}$$

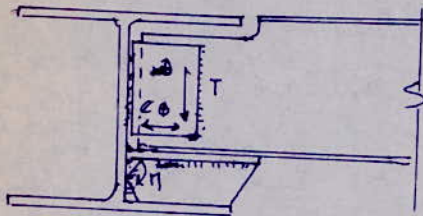
$$l_1 = 15 - 2a_1 = 13,4 \text{ cm}$$

$$\frac{T}{2 \cdot 0,75 \cdot 0,72} = \frac{34210}{2 \cdot 0,75 \cdot 0,72 \cdot 13,4} = 2364 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

Comme l'effort T sera transmis aux cordons au lieu de l_1 on vérifie donc les derniers au (ei d'ailleurs) la résistance

$$\frac{T}{2 \cdot 0,85 l_1 a_1 \alpha_1} \leq \sigma_c \rightarrow \frac{34210}{2 \cdot 0,85 \cdot 13,4 \cdot 0,72} = 2086 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

Cas de l'assemblage sur les poutres de rive:



Dans ce cas, l'excentricité e crée un moment de flexion local.

$$M = T \cdot e$$

On prend un cordon de 10 cm de longueur donc

$$M = T \times e = 34210 \times 6,7 = 229207 \text{ kgcm}$$

on doit vérifier le cordon au moment de flexion et au cisaillement.

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \sigma_c \quad \text{avec} \quad \sigma = \frac{M}{W} \quad \text{et} \quad W = \frac{2a \times h^2}{6}$$

on prend $a = 16 \text{ mm} \rightarrow a \alpha = 1,36 \text{ cm}$ $l_c = 25 \text{ cm}$

$$W = \frac{2 \times 1,36 \times 25^2}{6} = 283,33 \text{ cm}^3 \rightarrow \sigma = \frac{229207}{283,3} = 809 \text{ cm}^2$$

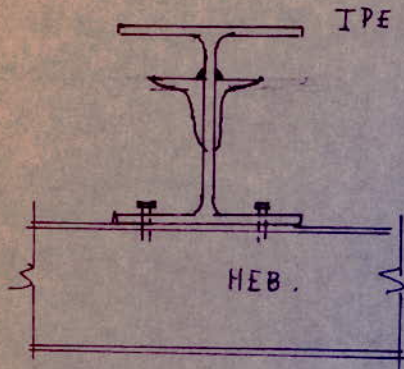
$$\tau = \frac{T}{2A} = \frac{T}{2a \alpha h}$$

et on vérifie $\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \sigma_c$

ASSEMBLAGE POUTRELLES

a) l'aide de 2 boulons $\Phi 16$.

Les poutrelles seront assemblées sur les poutres longitudinales et transversales



Les cornières seront assemblées sur les poutrelles à l'aide de cordons de soudure

Puisque les poutrelles ont une portée de 8m, et les dalles reposant sur les cornières une portée de 1,40m. Donc on adoptera des cordons de soudure discontinus.

Donc on fera 3 cordons de 40cm de longueur chacun. On placera aussi des goussets. (un gousset, tous les 40cm).

Vérification des cordons de soudure.

Les cordons de soudure transmettent la réaction d'appui de la dalle. Ils seront vérifiés donc avec la formule suivante

$$\frac{T}{0,85 \cdot l \cdot a} \leq \sigma_c$$

$$\text{On prend } a = 3\text{mm} \rightarrow \alpha = 1 \rightarrow a\alpha = 3\text{mm}$$

Donc : puisque $T = 1918\text{kg}$, on a

$$\frac{1918}{0,85 \cdot 40 \cdot 0,3} = 188\text{ kg/cm}^2 < \sigma_c$$

CH 10

FONDATIONS

FONDACTIONS

INTRODUCTION : Compte tenu des charges et surcharges importantes de notre bâtiment et de la contrainte admissible du sol la solution retenue pour fonder notre bâtiment est le radier général. Ce radier sera constitué d'une dalle d'épaisseur uniforme, mais toutefois on renforcera la partie du radier sous les poteaux et ceci pour éviter le poinçonnement.

On admettra que le radier est infiniment rigide & le centre de masse de l'ensemble du bâtiment étant très peu écarté du centre de gravité du radier, on admettra en outre que le radier est indéformable dans son ensemble on aura donc une réaction uniforme du sol.

Les radiers ont des dimensions notables aussi bien en largeur qu'en longueur. Ce sont des dalles carrées ou rectangulaires de grande surface.

CHARGES SOUS G 12 P

| Niveaux | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
|---------------------|--------|----------|----------|----------|--------|--------|-----------|---------|----------|
| G (kg) | 200891 | 333553,8 | 333553,8 | 518033,8 | 565577 | 745594 | 751308,12 | 1006253 | 639192,5 |
| P (kg) | 36560 | 60480 | 60480 | 276480 | 691200 | 691200 | 691200 | 1036700 | 1036800 |
| N ₀ (kg) | 15520 | — | — | 31104 | — | — | — | — | — |

On obtient au Niveau des fondations.

$$G_e = 5093947 \text{ kg}$$

$$I_t = 4579200 \text{ kg}$$

$$N_0 = 46624 \text{ kg}$$

$$\rightarrow G + P + N_n = 9720 \text{ t}$$

Détermination de la surface nécessaire du radier

Elle est donnée par $\bar{\sigma}_s = \frac{N}{S_{nec}} \Rightarrow S_{nec} = \frac{N}{\bar{\sigma}_s}$

avec $N = 9720 \text{ t}$

$\bar{\sigma}_s = 15 \text{ t/m}^2$ (Argile peu sableuse, consistance mi-dure)

D'où $S_{nec} = \frac{9720}{15} = 648 \text{ m}^2$

La surface sous le bâtiment étant $S = 24,6 \times 29,4 = 723,24 \text{ m}^2$

Donc la surface du radier est suffisante.

Pression sous le radier

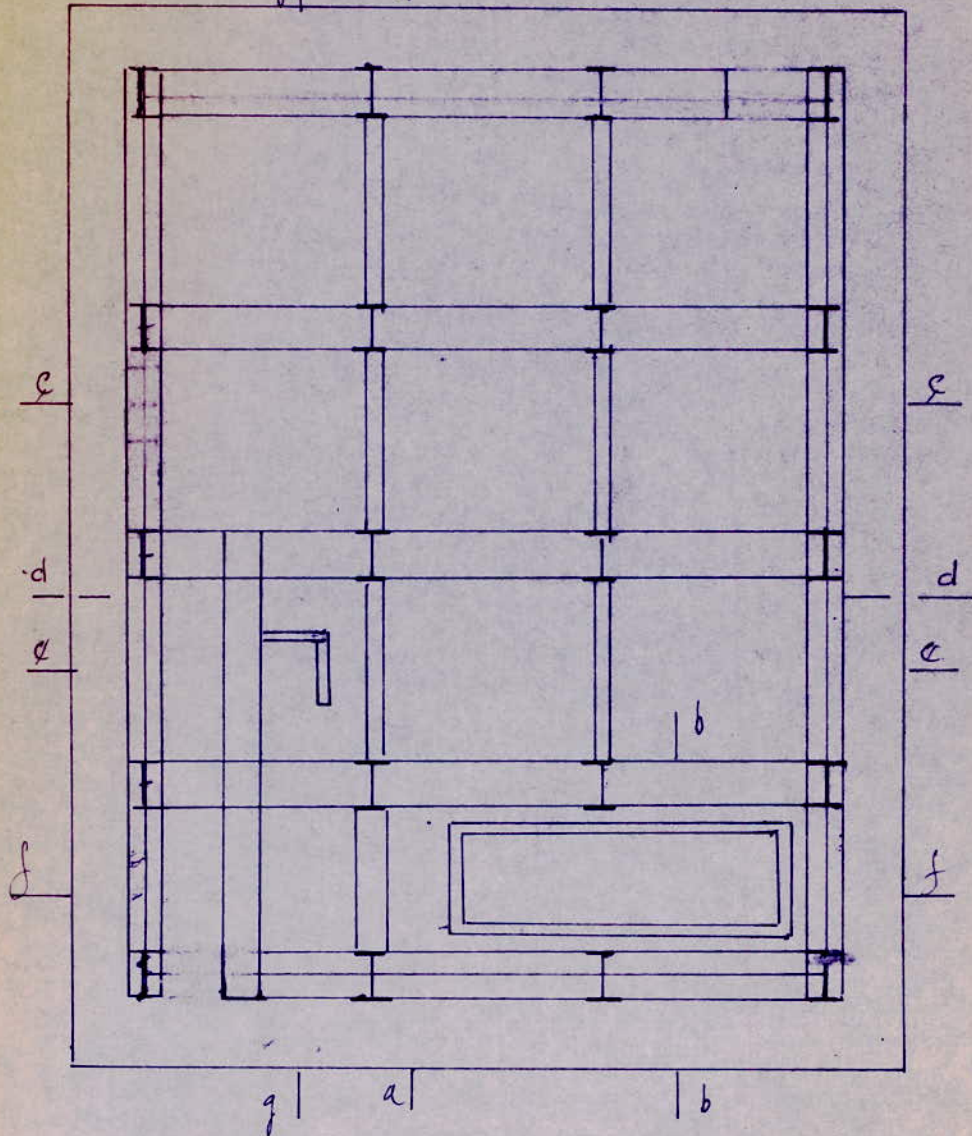
$$p = \frac{N}{S} = \frac{9720}{723,24} = 13,44 \text{ t/m}^2 < 15 \text{ t/m}^2$$

Remarque: La valeur importante de la pression sous le radier nous conduit à des efforts importants au niveau des nervures sous les poteaux et par conséquent à un ferrailage erroné. Ainsi serons-nous amenés à augmenter la surface du radier et de diminuer ainsi la pression sous celui-ci.

$$\text{ie. } l_1 = \frac{N}{S_1} < p$$

on prend un débordement de 2 m
 Donc $S = 33,4 \cdot 28,6 = 955,24 \text{ m}^2$

$$\text{et } l_1 = \frac{9720}{955,24} = 10,175 \text{ t/m}^2$$



Predimensionnement de la dalle :

$l_x = 8 \text{ m}$ D'après les bandes choisies

$$T_{\max} = q \cdot \frac{l_{\max}}{2} = 10,175 \cdot \frac{8}{2} = 40,7 \text{ t}$$

Ve que il est peu commode de placer des étriers dans une dalle et donc dans un radier. On déterminera l'épaisseur de celui-ci en fonction de la contrainte de cisaillement.

$$\bar{\sigma}_b = \frac{T_{\max}}{b z} \leq \bar{\sigma}_b = 1,10 \bar{\sigma}_b \rightarrow z \geq \frac{T_{\max}}{1,10 \bar{\sigma}_b b}$$

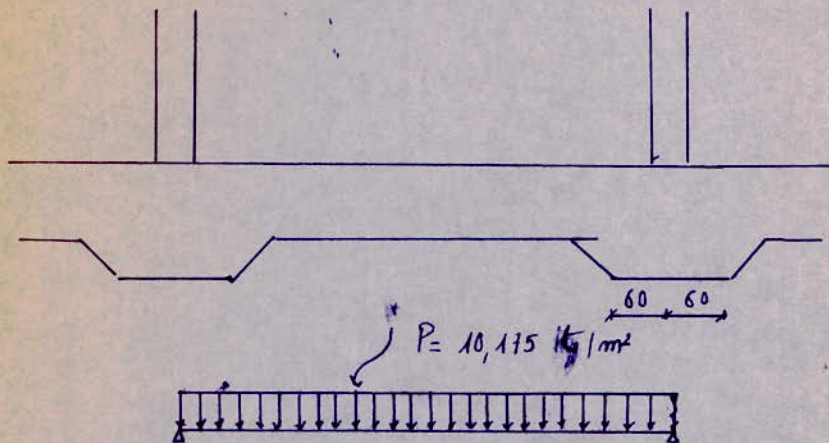
Le calcul est fait pour une bande de 1m

$$\bar{\sigma}_b = 7,1 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow z \geq \frac{40,7 \cdot 10^3}{1,1 \cdot 100 \cdot 7,1} = 52,11 \text{ cm}$$

$$z = \frac{7}{8} h = 7 \Rightarrow h = \frac{8}{7} z = \frac{8}{7} \cdot 52,11 = 59,55 \text{ cm}$$

$$h_t = h + d = 59,55 + 5 \approx 65 \text{ cm}$$

Il est souvent très économique de marquer la position des poteaux (ou voiles) par une surépaisseur de la dalle intéressant une surface que l'on veut rigide. (Impact de la diffusion des contraintes)



$$T_{\max} = T_A - P x = 40,7 - 10,175 \cdot 0,6 = 34,595 \text{ t}$$

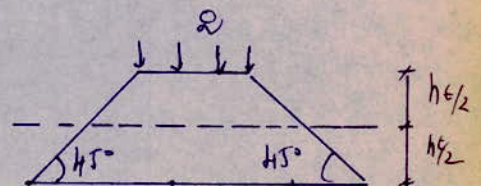
$$z \geq \frac{T_{\max}}{1,1 \cdot 100 \bar{\sigma}_b} = \frac{34,595 \cdot 10^3}{1,1 \cdot 100 \cdot 7,1} = 44,3 \text{ cm}$$

$$h_t = h + d = \frac{8}{7} z + d = \frac{8}{7} \cdot 44,3 + 5 = 56 \text{ cm} \rightarrow h_t = 60 \text{ cm}$$

Vérification au loin ennement sous les poteaux

on vérifie: $\frac{1,5 Q}{l_c \cdot h_c} \leq 1,2 \bar{\sigma}_b$

l_c : Périmètre du contour de la diffusion des contraintes
 $a' \frac{h_c}{2}$



Q : Charge apportée par le poteau

$$l_c = 2(u' + v') \quad \begin{aligned} u' &= u + \frac{h_c}{2} \\ v' &= v + \frac{h_c}{2} \end{aligned}$$

$$l_c \cdot h_c \geq \frac{1,5 Q}{1,2 \bar{\sigma}_b} \rightarrow 2 h_c^2 + 420 h_c - \frac{1,5 Q}{1,2 \bar{\sigma}_b} \geq 0 \Rightarrow h_c = 190 \text{ cm}$$

on vérifie qu'en tenant compte du poids du radier la contrainte admissible du sol n'est pas dépassée.

Batiment: 9720t

Radier: $2,5 \times 0,65 \cdot 955,24 = 1552,3t$

$N_{tot} = 9720 + 1552,3 = 11272,3$

$$P' = \frac{N_{tot}}{S} = \frac{11272}{955,24} = 11,8 t/m^2 < 15 t/m^2$$

CHARGES SOUS G+P+S_r

$N_{Siv} = 215,08t$

$N = G + P + Siv = 4579,2 + 5093,947 + 215,08 = 9888,23t$

Moment dû au ferraillage

| Niveaux | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
|---------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| F_k | 22,61 | 34,63 | 29,49 | 40,73 | 37,67 | 27,85 | 22,10 | — | — |
| T | 22,61 | 57,24 | 88,73 | 127,46 | 165,13 | 192,98 | 215,08 | 215,08 | 215,08 |
| M | 0 | 79,58 | 281,06 | 586,35 | 1035 | 1616,26 | 2295,56 | 3026,83 | 3672,07 |

Détermination des contraintes sous le radier

Sens longitudinal

$$V_x = \frac{24,6 + 2 \times 2}{2} = 14,30 m$$

$$I_x = 88802,3 m^4$$

$$\sigma = \frac{N}{S} \pm \frac{M V_x}{I_x}$$

$$\sigma_1 = \frac{9888,23}{955,24} + \frac{3672,07 \cdot 14,3}{88802,3} = 10,94 t/m^2$$

$$\sigma_2 = \frac{9888,23}{955,24} - \frac{3672,07 \cdot 14,3}{88802,3} = 9,76 t/m^2$$

$$\bar{\sigma}_s = 1,33 \bar{\sigma}_{s0} = 1,33 \cdot 15 = 19,95 t/m^2$$

on vérifie bien que $\text{Max}(\sigma_1, \sigma_2) = \sigma_1 = 10,94 t/m^2 < \bar{\sigma}_s$
 $\sigma_2 > 0$

Charges à prendre en compte

$$q_1 = 10,94 - 1,5 = 9,44 t/m^2$$

$$q_2 = 9,76 - 1,5 = 8,26 t/m^2$$

1,5 est la charge due au radier

Sens transversal

$$v_y = \frac{29,4 + 2 \times 2}{2} = 16,7 \text{ m}$$

$$I_y = 65112,34 \text{ m}^4$$

$$\sigma_1 = \frac{N}{S} \pm \frac{M v_y}{I_y} \Rightarrow \begin{cases} \sigma_1 = \frac{9888,24}{955,24} + \frac{3672,07 \cdot 16,7}{65112,34} = 11,29 \text{ t/m}^2 \\ \sigma_2 = \frac{9888,24}{955,24} - \frac{3672,07 \cdot 16,7}{65112,34} = 9,4 \text{ t/m}^2 \end{cases}$$

on vérifie bien que. $\sigma_1 = 11,29 \text{ t/m}^2 < \bar{\sigma}_3$.
 $\sigma_2 > 0$.

Charges à prendre en compte:

$$q_1 = 11,29 - 1,5 = 9,79 \text{ t/m}^2$$

$$q_2 = 9,4 - 1,5 = 7,9 \text{ t/m}^2$$

Sous SP₁ $\begin{cases} \bar{\sigma}_a = \frac{2}{3} \bar{\sigma}_{en} = 2800 \text{ kg/cm}^2 \\ q = 10,175 \text{ kg/m}^2 \end{cases}$

Sous SP₂ $\begin{cases} \bar{\sigma}_a = 4200 \text{ kg/m}^2 \\ q_{max} = 9,79 \text{ t/m}^2 \end{cases}$

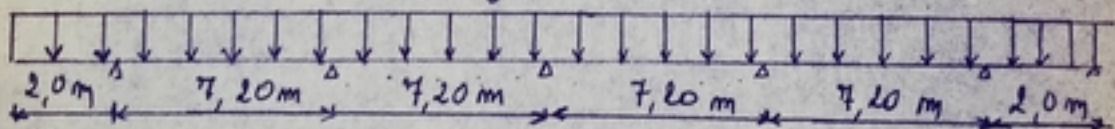
$$\frac{q(SP_2)}{q(SP_1)} = 0,962 < 1,5 = \frac{\bar{\sigma}_a(SP_2)}{\bar{\sigma}_a(SP_1)}$$

On peut dire que les sollicitations du 1^{er} genre sont plus défavorables que celle du 2^e genre.

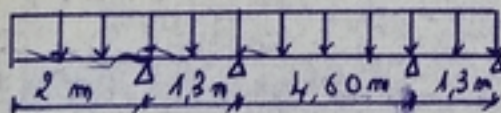
Le radier sera étudié dans son ensemble par bandes définies ci-dessous.

(a-a)

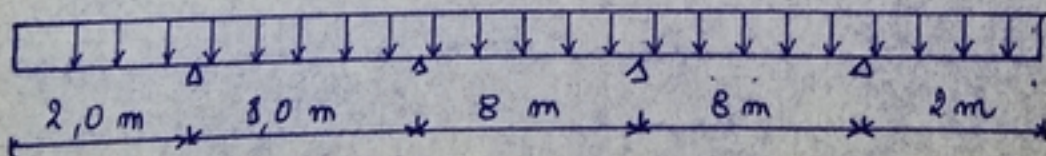
$$q = 10,18 \text{ t/m}^2$$



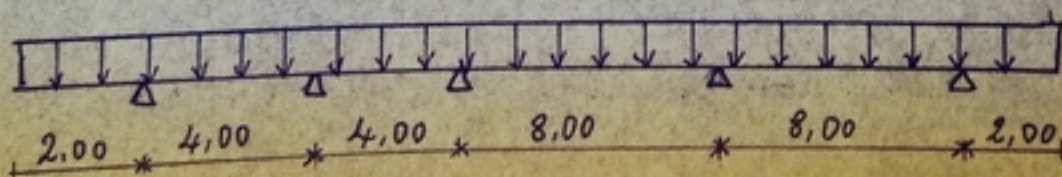
(b-b)



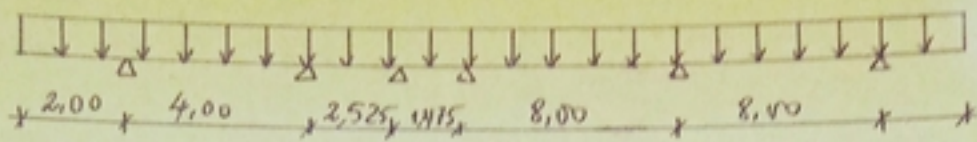
c-c



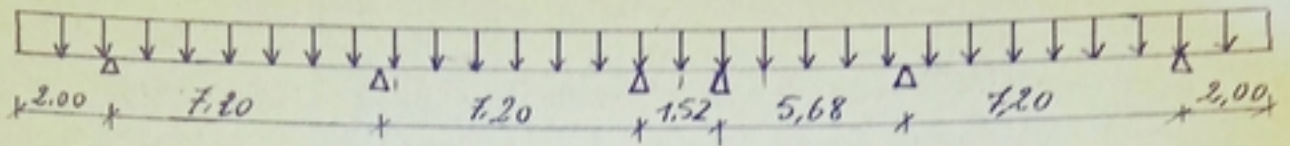
d-d



f-f



g-g



DETERMINATION DES EFFORTS

On déterminera les moments par la méthode de Caquot, en considérant des poutres continues de 1m de largeur

$$M_w = M_e = M_a = \frac{q_w l'_w + q_e \cdot l'_e}{8,5(l'_w + l'_e)}$$

$$\text{avec : } l' = \begin{cases} 0,8 l_0 & \text{travée intermédiaire} \\ l_0 & \text{travée de rive} \end{cases}$$

Une fois qu'on connait les moments sur appuis intermédiaires on en déduit les moments en travée par la statique.

$$A = \frac{M_a}{\bar{\sigma}_a \cdot E \cdot h}$$

$$\bar{\sigma}'_b = \frac{\bar{\sigma}_a}{k}$$

$$\mu = \frac{15M}{\bar{\sigma}_a \cdot b \cdot h^2}$$

$$M_t = M_0 - \frac{M_g + M_d}{2}$$

$$Q_{\max} = 839,247 \text{ t}$$

| Bandes | Appuis | L'w | L'e | M _a | M _o | μ _a | ε _a | K _a | Γ _{ba} | A _a | Γ _{ft} | μ _t | ε _t | K _t | Γ _{be} | A _t |
|--------|--------|------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| a-a | 1 | 2,00 | 7,20 | 49,63 | 65,97 | 0,07385 | 0,88889 | 30,0 | 93,34 | 33,234 | 15,08 | 0,02224 | 0,93446 | 64,5 | 45,53 | 9,604 |
| | 2 | 7,20 | 5,76 | 52,15 | 65,97 | 0,0776 | 0,88666 | 29,1 | 96,22 | 35,012 | 20,03 | 0,02298 | 0,9254 | 52,0 | 53,85 | 12,884 |
| | 3 | 5,76 | 5,76 | 39,735 | 65,97 | 0,0591 | 0,8990 | 34,5 | 84,16 | 26,31 | 20,03 | 0,02298 | 0,9254 | 52,0 | 53,85 | 12,884 |
| | 4 | 5,76 | 7,20 | 52,15 | 65,97 | 0,0776 | 0,88666 | 29,1 | 96,22 | 35,012 | 15,08 | 0,02224 | 0,93446 | 64,5 | 45,53 | 9,604 |
| | 5 | 7,20 | 2,00 | 49,63 | 65,97 | 0,07385 | 0,88889 | 30,0 | 93,34 | 33,234 | 15,08 | 0,02224 | 0,93446 | 64,5 | 45,53 | 9,604 |
| b-b | 1 | 2,00 | 1,30 | 3,701 | 2,15 | 0,0055 | 0,9662 | 133 | 24053 | 2,280 | -5,957 | 0,00886 | 0,9576 | 103 | 27,184 | 3,703 |
| | 2 | 1,30 | 3,68 | 12,513 | 26,93 | 0,01862 | 0,9398 | 68,0 | 44,18 | 7,925 | 14,417 | 0,0214 | 0,9359 | 63,0 | 44,45 | 9,170 |
| | 3 | 3,68 | 1,30 | 12,513 | 26,93 | 0,01862 | 0,9398 | 68,0 | 44,18 | 7,925 | -5,1185 | 0,00762 | 0,9606 | 112 | 25 | 3,172 |
| | 4 | 1,30 | 0,00 | 2,024 | 2,15 | 0,00301 | 0,9749 | 184 | 15,22 | 1,24 | 18,107 | 0,0269 | 0,9288 | 55,2 | 50,73 | 14,60 |
| c-c | 1 | 2,00 | 8,00 | 62,28 | 84,44 | 0,0927 | 0,8780 | 26,0 | 107,70 | 42,23 | 18,107 | 0,0269 | 0,9288 | 55,2 | 50,73 | 14,60 |
| | 2 | 8,00 | 6,4 | 64,386 | 84,44 | 0,0960 | 0,8762 | 25,4 | 110,24 | 43,74 | 17,054 | 0,0254 | 0,9306 | 57 | 49,13 | 10,91 |
| | 3 | 6,4 | 8,00 | 64,386 | 84,44 | 0,0960 | 0,8762 | 25,4 | 110,24 | 43,74 | 18,107 | 0,0269 | 0,9288 | 55,2 | 50,73 | 14,60 |
| | 4 | 8,00 | 2,00 | 62,28 | 84,44 | 0,0927 | 0,8780 | 26,0 | 107,70 | 42,23 | 18,107 | 0,0269 | 0,9288 | 55,2 | 50,73 | 14,60 |
| d-d | 1 | 2,00 | 4,00 | 14,37 | 20,36 | 0,0214 | 0,9359 | 63,0 | 44,45 | 9,14 | 5,989 | 0,0089 | 0,9576 | 103 | 27,184 | 3,723 |
| | 2 | 4,00 | 3,20 | 16,096 | 20,36 | 0,0240 | 0,9346 | 64,5 | 45,53 | 10,252 | -0,923 | 0,00437 | 0,9825 | 170 | 10,37 | 0,5592 |
| | 3 | 3,20 | 6,40 | 36,792 | 20,36 | 0,05475 | 0,9023 | 36,2 | 77,35 | 24,27 | -19,922 | 0,0296 | 0,9259 | 52,5 | 53,34 | 12,807 |
| | 4 | 6,40 | 8,00 | 64,39 | 81,44 | 0,0958 | 0,8762 | 25,4 | 110,24 | 43,74 | 30,849 | 0,0459 | 0,9096 | 40,3 | 69,48 | 20,187 |
| | 5 | 8,00 | 2,00 | 62,28 | 81,44 | 0,0927 | 0,8780 | 26,0 | 107,70 | 42,23 | 18,105 | 0,0269 | 0,9288 | 55,2 | 50,73 | 14,60 |
| e-e | 1 | 2,00 | 4,00 | 14,37 | 8,113 | 0,0214 | 0,9359 | 63,0 | 44,45 | 9,14 | 5,989 | 0,0089 | 0,9576 | 103 | 27,184 | 3,723 |
| | 2 | 4,00 | 2,02 | 14,37 | 8,113 | 0,0214 | 0,9359 | 63,0 | 44,45 | 9,14 | -0,923 | 0,00437 | 0,9825 | 170 | 10,37 | 0,5592 |
| | 3 | 2,02 | 4,18 | 3,70 | 8,113 | 0,0655 | 0,9662 | 133 | 24053 | 2,279 | -19,922 | 0,0296 | 0,9259 | 52,5 | 53,34 | 12,807 |
| | 4 | 4,18 | 6,40 | 41,68 | 8,113 | 0,0620 | 0,8969 | 33,5 | 83,582 | 27,66 | 28,405 | 0,0423 | 0,9126 | 42,2 | 66,35 | 18,53 |
| | 5 | 6,40 | 8,00 | 64,39 | 81,44 | 0,0958 | 0,8762 | 25,4 | 110,24 | 43,74 | 18,105 | 0,0269 | 0,9288 | 55,2 | 50,725 | 14,60 |
| | 6 | 8,00 | 2,00 | 62,28 | 81,44 | 0,0927 | 0,8780 | 26,0 | 107,69 | 42,23 | 18,105 | 0,0269 | 0,9288 | 55,2 | 50,725 | 14,60 |
| f-f | 1 | 2,00 | 4,00 | 14,37 | 20,36 | 0,0214 | 0,9359 | 63,0 | 44,45 | 9,14 | 5,127 | 0,00763 | 0,9606 | 112 | 25 | 3,177 |
| | 2 | 4,00 | 3,20 | 16,096 | 20,36 | 0,0240 | 0,9324 | 59,0 | 47,46 | 10,28 | 6,18 | 0,0092 | 0,9569 | 101 | 27,73 | 3,85 |
| | 3 | 3,20 | 3,20 | 12,264 | 20,36 | 0,0183 | 0,9405 | 69,0 | 40,58 | 7,762 | -19,379 | 0,0288 | 0,9265 | 53,0 | 52,83 | 12,445 |
| | 4 | 3,20 | 8,56 | 67,214 | 14,569 | 0,100 | 0,9281 | 54,5 | 54,376 | 4,3,11 | 73,86 | 0,1099 | 0,8695 | 23,3 | 120,17 | 50,563 |
| | 5 | 8,56 | 1,30 | 76,453 | 14,569 | 0,1138 | 0,8674 | 22,7 | 123,348 | 52,464 | -37,93 | 0,0564 | 0,9012 | 35,6 | 78,65 | 25,053 |
| | 6 | 1,30 | 2,00 | 3,70 | 14,569 | 0,0055 | 0,9867 | 36,0 | 7,78 | 2,232 | -37,93 | 0,0564 | 0,9012 | 35,6 | 78,65 | 25,053 |

| Bandes | Appuis | P_w | P_e | M_a | M_o | ρ_a | ϵ_a | K_a | σ'_{ba} | A_a | M_t | ρ_t | ϵ_t | K_l | σ'_{bl} | A_t |
|--------|--------|-------|-------|--------|--------|----------|--------------|-------|----------------|--------|--------|----------|--------------|-------|----------------|--------|
| g-g | 1 | 2,00 | 7,10 | 49,63 | 65,97 | 0,0739 | 0,8889 | 30,0 | 93,34 | 33,24 | 15,08 | 0,0225 | 0,9346 | 61,5 | 45,53 | 9,6 |
| | 2 | 7,20 | 5,76 | 52,15 | 65,97 | 0,0776 | 0,8866 | 29,1 | 96,22 | 35,012 | 23,34 | 0,0347 | 0,9201 | 47,6 | 58,83 | 15,10 |
| | 3 | 5,76 | 12,16 | 33,12 | 2,94 | 0,0493 | 0,9660 | 132,0 | 24,212 | 20,408 | -23,56 | 0,0351 | 0,9199 | 47,4 | 59,07 | 15,245 |
| | 4 | 12,16 | 4,544 | 19,88 | 44,054 | 0,0296 | 0,9256 | 52,3 | 53,54 | 42,78 | 7,298 | 0,01086 | 0,9533 | 92,0 | 30,435 | 4,56 |
| | 5 | 4,544 | 7,20 | 47,632 | 65,97 | 0,0709 | 0,8908 | 30,8 | 90,91 | 34,83 | 17,339 | 0,0258 | 0,9304 | 56,5 | 49,56 | 11,096 |
| | 6 | 7,20 | 2,00 | 49,63 | 65,97 | 0,0739 | 0,8889 | 30,0 | 93,34 | 33,24 | 17,339 | 0,0258 | 0,9304 | 56,5 | 49,56 | 11,096 |

| Bandes | Appuis | A_a | A_a choisi | A_t | A_t choisi |
|--------|--------|-------|--------------|-------|--------------|
| A-A | 1 | | 11 T20 | | 9 T12 |
| | 2 | | 12 T20 | | 9 T14 |
| | 3 | | 9 T20 | | 9 T14 |
| | 4 | | 12 T20 | | 9 T12 |
| | 5 | | 11 T20 | | |
| B-B | 1 | | 2 T12 | | 4 T12 |
| | 2 | | 7 T12 | | 9 T12 |
| | 3 | | 7 T12 | | 3 T12 |
| | 4 | | 2 T12 | | |
| C-C | 1 | | 14 T20 | | 11 T12 |
| | 2 | | 14 T20 | | 10 T12 |
| | 3 | | 14 T20 | | 11 T12 |
| | 4 | | 14 T20 | | |
| D-D | 1 | | 3 T20 | | 3 T12 |
| | 2 | | 4 T20 | | 4 T12 |
| | 3 | | 8 T20 | | 14 T14 |
| | 4 | | 14 T20 | | 8 T14 |
| | 5 | | 14 T20 | | |
| E-E | 1 | | 6 T14 | | 4 T12 |
| | 2 | | 6 T14 | | 1 T12 |
| | 3 | | 2 T14 | | 12 T12 |
| | 4 | | 9 T20 | | 12 T14 |
| | 5 | | 14 T20 | | 11 T12 |
| | 6 | | 14 T20 | | |
| F-F | 1 | | 6 T14 | | 3 T12 |
| | 2 | | 7 T14 | | 4 T12 |
| | 3 | | 7 T12 | | 12 T12 |
| | 4 | | 14 T20 | | 17 T20 |
| | 5 | | 17 T20 | | 8 T20 |
| | 6 | | 2 T12 | | |
| G-G | 1 | | 11 T20 | | 9 T12 |
| | 2 | | 12 T20 | | 10 T14 |
| | 3 | | 7 T20 | | 10 T14 |
| | 4 | | 5 T20 | | 3 T14 |
| | 5 | | 11 T20 | | 10 T12 |
| | 6 | | 12 T20 | | |

BIBLIOGRAPHIE

- CM 66
- Construction - métallique - YOURI. MARTINOV
- Construction - métallique - GUESTIN
- GUIDE - PRATIQUE - DE - Charpente - métallique
- AIDE - MEMOIRE - DE - RESISTANCE DES MATERIAUX
- Construction - métallique MOUKHANOV
- " - " - " - CHOREAN
- AIDE - MEMOIRE : BETON - ARMÉE
- MECANIQUE DES SOLS SANGLERAT
- Pierre - CHARON
- REGLES PARASISMIQUES 69
- NEIGE et VENT
- REGLES Techniques CC BA 68

