

RÉPUBLIQUE ALGERIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

33/85

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

2 ex.

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

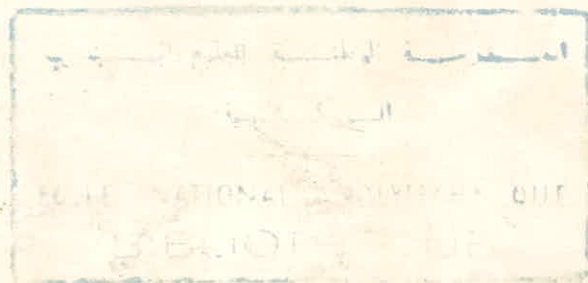
DEPARTEMENT GENIE - CIVIL

Projet de Fin d'Études

INGENIORAT D'ÉTAT EN GENIE-CIVIL

THEME : BATIMENT A USAGE D'HABITATION

R + 8



DIRIGÉ PAR :

M. STRAKHOV

ETUDIÉ PAR :

REKHROUKH Lakhdar

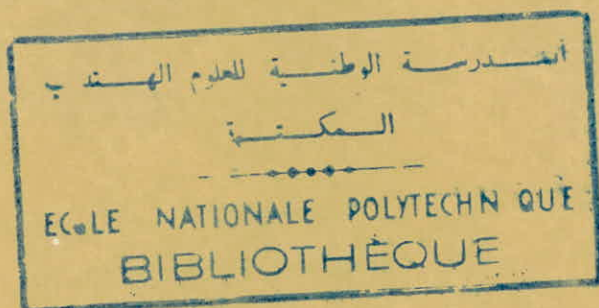
SALAKDJI Ahmed

Remerciements

Nous tenons à remercier tous ceux
qui nous ont aidé à mener à bien ce
projet de fin d'études.

Sous nos professeurs et en particulier
ME CHENNAF et ME MEKIRI pour leur aimable
assistance.

Ainsi que : Zouhir et Boualem.



Je dedie ce travail

- A mes parents
- A ma soeur , à mes frères
- A tous mes amis
- A toi .

Lakhdar

- A mon Pere , à ma Mere
- A mes Freres et Soeur
- A celle qui m'est chere

Je dedie ce travail

Ahmed.



SOMMAIRE

INTRODUCTION

- PRESENTATION de l'OUVRAGE
- CARACTERISTIQUES des MATERIAUX
- DESCENTE de CHARGES

CALCUL DES ELEMENTS

- ACROTERE
- ESCALIER
- CALCUL DES PLANCHERS

CALCUL DES INERTIES

CALCUL DES PERIODES PROPRES

ETUDE AU VENT

ETUDE AU SEISME

- SENS TRANSVERSAL
- SENS LONGITUDINAL
- CENTRE DE MASSE et DE TORSION

ETUDE DU CONTREVENTEMENT

- DISTRIBUTION des EFFORTS sur les REFENDS
- DISTRIBUTION des EFFORTS sur les ELEMENTS de REFENDS
- SUPERPOSITION des EFFORTS

SOMMAIRE

INTRODUCTION

- PRESENTATION de l'OUVRAGE
- CARACTERISTIQUES des MATERIAUX
- DESCENTE de CHARGES

CALCUL DES ELEMENTS

- ACROTERE
- ESCALIER
- CALCUL DES PLANCHERS

CALCUL DES INERTIES

CALCUL DES PERIODES PROPRES

ETUDE AU VENT

ETUDE AU SEISME

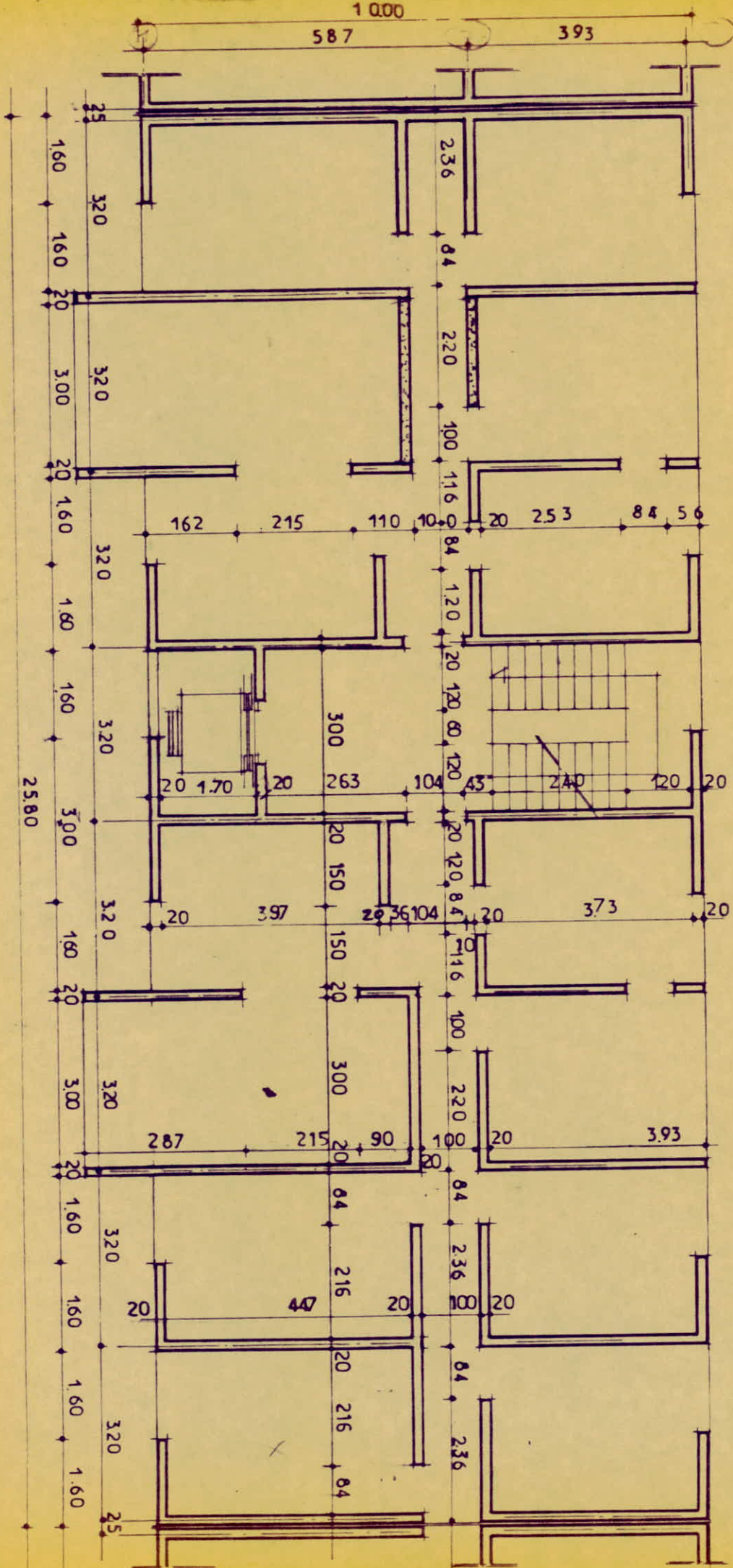
- SENS TRANSVERSAL
- SENS LONGITUDINAL
- CENTRE DE MASSE et DE TORSION

ETUDE DU CONTREVENTEMENT

- DISTRIBUTION des EFFORTS sur les REFENDS
- DISTRIBUTION des EFFORTS sur les ELEMENTS de REFENDS
- SUPERPOSITION des EFFORTS

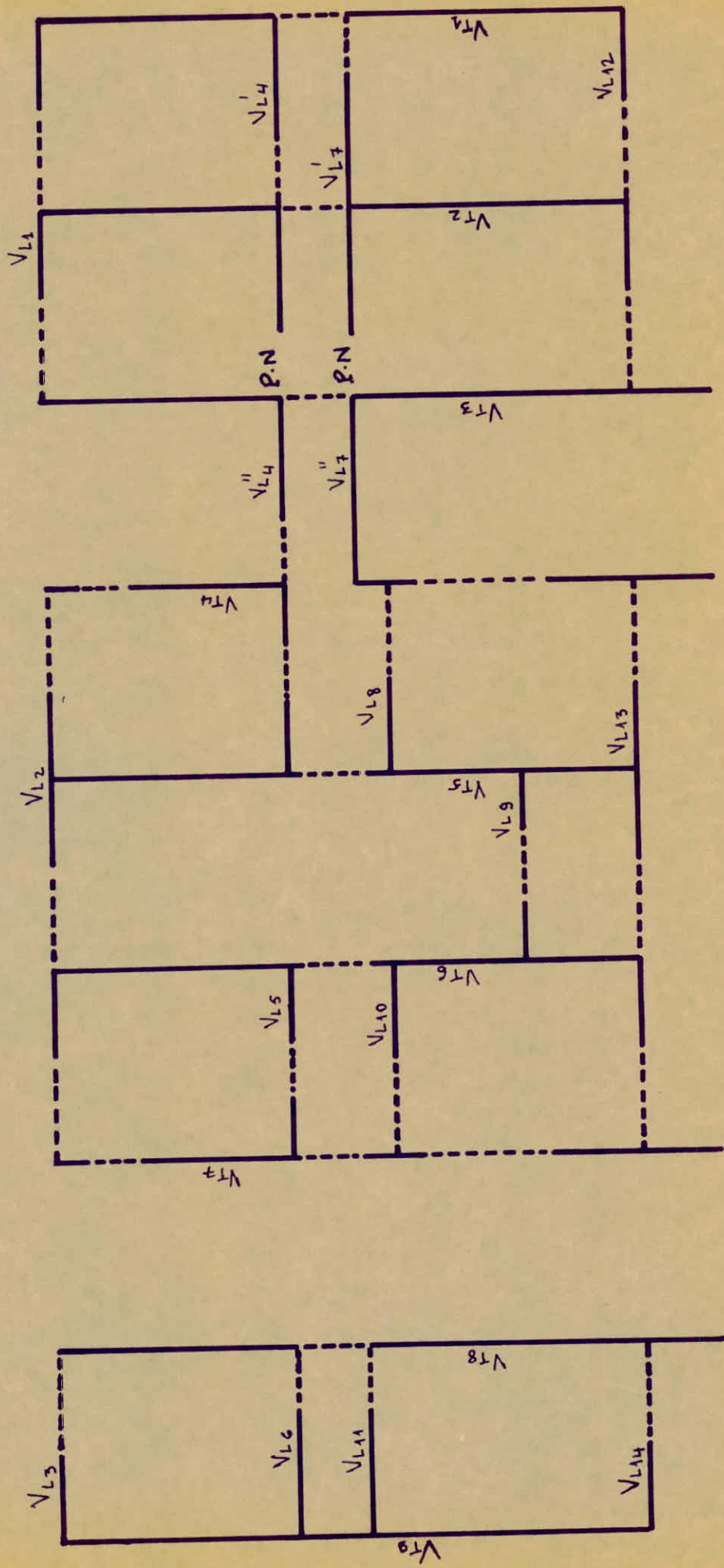
INTRODUCTION

TYPE 8 TRAMES



R+8
2eme AU 8eme ETAGE
H=301 Bt N°23





INTRODUCTION

PRESENTATION DE L'OUVRAGE

Notre étude consiste à calculer les éléments résistants d'un bâtiment à usage d'habitation, faisant partie d'un complexe d'habitation implanté dans le quartier des Halles-Belcourt - (Alger). Cette région est classée zone II (zone de moyenne sismicité), par le règlement parasismique algérien (R.P.A 81), et ne présente pas de caractères particuliers pour le vent.

Du fait du type de coffrage utilisé (coffrage tunnel), les planchers seront des planchers pleins, d'épaisseur 12 cm et les voiles auront une épaisseur de 20 cm dans les deux sens.

a) CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE L'OUVRAGE :

* Hauteur d'étage	3,01 m (R.O.C 4,50 m).
* Hauteur totale (acrotère non comprise)	28,58 m
* Largeur	10,00 m
* Longueur	25,80 m.

b) TYPE DE CONTREVENTEMENT :

- Notre bâtiment sera contreventé par des voiles dans les deux directions.

c) NATURE DU SOL :

- IL est constitué d'une couche de sable d'épaisseur variable reposant sur une couche de marne. La contrainte admissible a été prise égale à 1,9 bars ($\bar{\sigma}_s = 1,9 \text{ bars}$)

CARACTERISTIQUES MECANQUES DES MATERIAUX

a) - Sollicitations du premier genre :

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

$$\sigma'_{27} = 270 \text{ bars}$$

$$\sigma'_{28} = 275 \text{ kg/cm}^2$$

- α dépend de la classe du ciment : $\alpha = 1$, C.P.A 325.

- β dépend du contrôle du béton : $\beta = \frac{5}{6}$ pour un contrôle atténué.

- γ dépend des dimensions relatives de la section et du plus gros agrégat.

Dans le cas des refends dont l'épaisseur est de 20 cm on a :

$$\frac{hm}{4C_g} = \frac{20}{4 \times 2,5} = 2 > 1 \quad \text{d'où } \gamma = 1$$

- δ dépend de la nature de la sollicitation :

i) Compression simple : $\delta = 0,3$

ii) Flexion simple ou composée avec traction : $\delta = 0,6$

iii) Flexion composée avec compression :

$$\delta = \min \begin{cases} 0,3 \left(1 + \frac{e_0}{3e_1}\right) \\ 0,6 \end{cases} \quad \text{avec } \begin{cases} e_0 = \frac{M}{N} \\ e_1 = \frac{ht}{6} \end{cases}$$

- ε dépend de la forme de la section et de la sollicitation

i) Compression simple : $\varepsilon = 1$ pour toute forme de section.

ii) Flexion simple ou composée avec traction et pour une section rectangulaire :

iii) Autres cas : ε découle de $\frac{F'_B}{B'} \leq \bar{\sigma}'_{b_0}$ et $\varepsilon \leq 1$

* Pour le cas de sections rectangulaires :

i) $\bar{\sigma}'_{b_0} = 1 \cdot \frac{5}{6} \cdot 1 \cdot 0,3 \cdot 1 \cdot 275 = 68,75 \text{ kg/cm}^2$

ii) Flexion simple ou composée avec traction :

$$\bar{\sigma}'_b = 1 \cdot \frac{5}{6} \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 275 = 137,5 \text{ kg/cm}^2$$

* Contraintes de traction de référence :

$$\bar{\sigma}_b = \alpha \beta \gamma \theta \sigma'_{28}$$

- les coefficients α, β, γ ont été cités précédemment.

$$\theta = 0,018 + \frac{2,1}{\sigma'_{28}}$$

$$\theta = 0,018 + \frac{2,1}{270} = 0,025$$

d'où :

$$\bar{\sigma}_b = 1 \cdot \frac{5}{6} \cdot 1 \cdot 0,025 \cdot 270 = 5,8 \text{ bars}$$

$$\bar{\sigma}_b = 5,9 \text{ bars}$$

Sollicitations du 2^e genre

Le règlement impose des contraintes admissibles majorées au plus de 50 % par rapport aux contraintes du premier genre, nous avons alors :

$$\bar{\sigma}'_{b2} = 1,5 \cdot 68,75 = 103,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_{b2} = 1,5 \cdot 137,5 = 206,25 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_{b2} = 1,5 \cdot 5,9 = 8,85 \text{ kg/cm}^2$$

Caracteristiques des aciers

a) Barres à haute adhérence H.A : Fe E 40

$$\sigma_{an} = 4200 \text{ kg/cm}^2 \text{ si } \phi \leq 20 \text{ mm.}$$

$$\sigma_{an} = 4000 \text{ kg/cm}^2 \text{ si } \phi > 20 \text{ mm.}$$

b) Aciers ronds lisses : Fe E 24

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

Contraintes admissibles

a) Barres à haute adhérence : Fe E 40

i) Sollicitations du premier genre :

ii) Sollicitations du deuxième genre :

$$\bar{\sigma}'_a = \bar{\sigma}_a = \frac{2}{3} \sigma_{en} = \begin{cases} 2800 \text{ kg/cm}^2 & (\phi \leq 20) \\ 2667 \text{ kg/cm}^2 & (\phi > 20) \end{cases}$$

$$\bar{\sigma}'_a = \bar{\sigma}_a = \sigma_{en} = \begin{cases} 4200 \text{ kg/cm}^2 & (\phi \leq 20) \\ 4000 \text{ kg/cm}^2 & (\phi > 20) \end{cases}$$

b) Aciers ronds lisses :

- Sollicitations du premier genre :

$$\bar{\sigma}'_a = \bar{\sigma}_a = \frac{2}{3} \sigma_{en} = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

DESCENTE DE CHARGES

On effectue la descente de charge afin de déterminer les charges verticales qui reviennent à chaque élément porteur pour cela il nous faut connaître le poids de tous les éléments de notre bâtiment et de répartir les charges sur les voiles. On donnera donc les charges permanentes et les surcharges.

1) CHARGES PERMANENTES

* plancher terrasse :

• Gravrillons de protection (5 cm)	-----	$0,05 \times 1,80 = 0,09$	t/m^2
• Etanchéité multicouches	-----	$0,02$	t/m^2
• Papier craft	-----	$0,05$	t/m^2
• Liège (4 cm)	-----	$0,01$	t/m^2
• Film polyane	-----	$0,05$	t/m^2
• Forme de pente	-----	$2 \times 0,1 = 0,2$	t/m^2
• Dalle pleine en béton armé (12 cm)	-----	$2,5 \times 0,12 = 0,3$	t/m^2
• Enduit + plâtre	-----	$0,018$	t/m^2
		<hr/>	
		total :	$0,738$

* étage courant :

• Carrelage	-----	$0,04$	t/m^2
• Mortier de pose	-----	$0,04$	t/m^2
• Sable (3 cm)	-----	$1,5 \times 0,03 = 0,045$	t/m^2
• Isolation phonique	-----	$0,01$	t/m^2

• Dalle pleine (12 cm) -----	0,30 t/m ²
• Enduit + plâtre -----	0,03 t/m ²
• Cloisons -----	0,075 t/m ²
	<hr/>
	total : 0,54 t/m ²

* Dalle rez-de-chaussée :

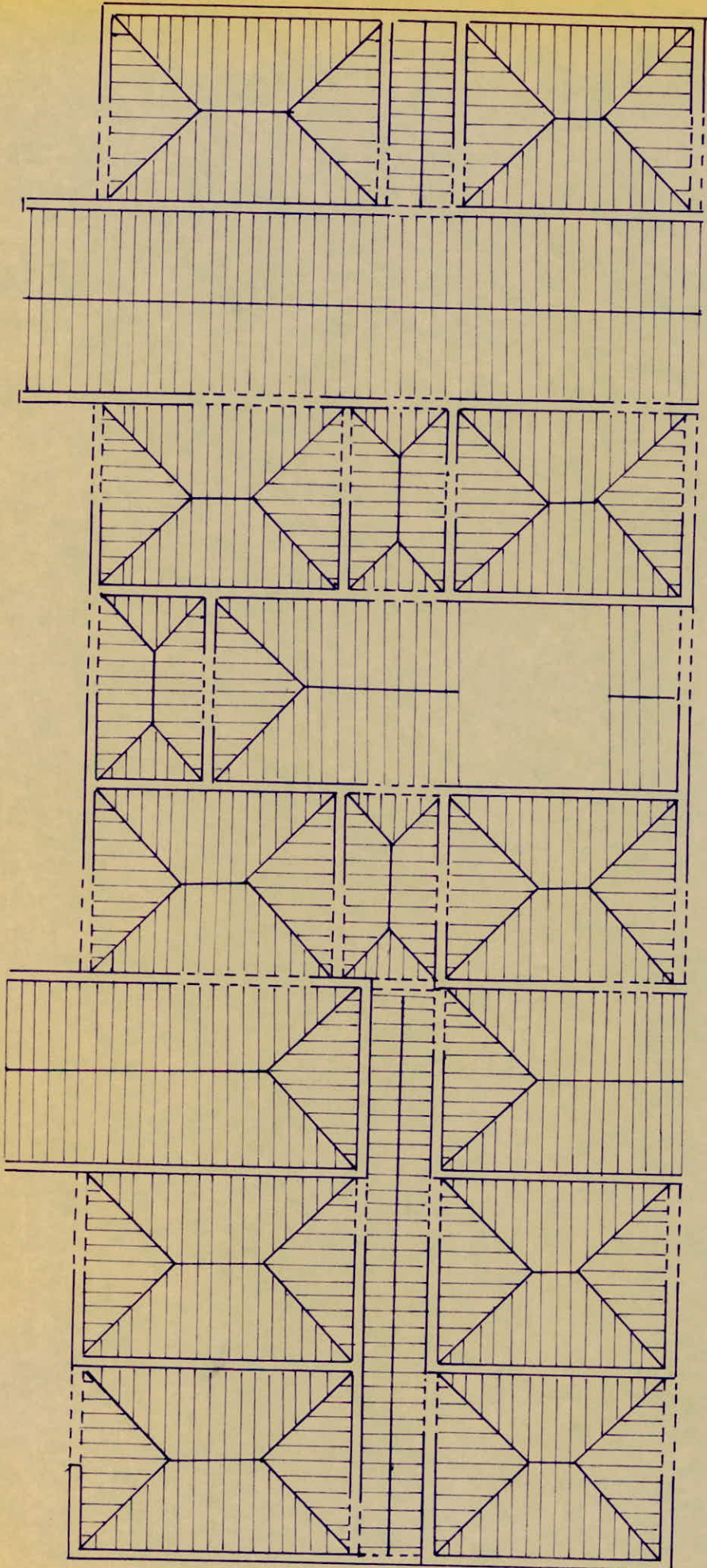
• Carrelage -----	0,04 t/m ²
• Mortier de pose -----	0,04 t/m ²
• Sable (3cm) -----	0,045 t/m ²
• Dalle de compression -----	0,11 t/m ²
• Prédalle -----	0,2 t/m ²
	<hr/>
	total : 0,435 t/m ²

2) SURCHARGES D'EXPLOITATION

* Terrasse -----	0,1 t/m ²
* Etage courant -----	0,175 t/m ²
* Rez de-chaussée -----	0,4 t/m ²
* Loggia séchoir -----	0,3 t/m ²
* Escalier -----	0,4 t/m ²

On effectuera une dégression de 10% pour chaque étage jusqu'à un minimum de 50% sur les surcharges d'exploitation

Les résultats des répartitions des charges et surcharges sur les éléments porteurs sont donnés sous forme de tableaux.



Reparation des charges sur les voiles

Surfaces des planchers reprises par chaque voile

Voiles Longitudinaux	Plancher Courant	terrasse
V_{L1}	2,5	2,5
V_{L1}'	2,5	2,5
V_{L2}	2,5	2,5
V_{L2}'	0	0
V_{L2}''	2,5	2,5
V_{L3}	2,5	2,5
V_{L4}	4	4
V_{L4}'	4	4
V_{L4}''	4	4
V_{L4}'''	4,19	4,19
V_{L5}	4,19	4,19
V_{L6}	4	4
V_{L7}	4	4
V_{L7}'	4	4
V_{L7}''	4	4
V_{L8}	4,19	4,19
V_{L9}	1,83	4,0
V_{L10}	4,19	4,19
V_{L11}	4	4
V_{L12}	2,5	2,5
V_{L12}'	2,5	2,5
V_{L13}	2,5	2,5
V_{L13}'	0	1,83
V_{L13}''	2,5	2,5
V_{L14}	2,5	2,5

Voiles Transversaux	Plancher Courant	Plancher terrasse
V_{T1}	3,35	3,35
V_{T1}'	4,60	4,60
V_{T2}	6,69	6,69
V_{T2}'	9,21	9,21
V_{T3}	7,82	7,82
V_{T3}'	12,36	12,36
V_{T4}	7,82	7,82
V_{T4}'	0,56	0,56
V_{T4}''	14,37	14,37
V_{T5}	8,945	8,945
V_{T5}'	2,81	2,81
V_{T5}''	5,1	5,1
V_{T5}'''	2,280	4,11
V_{T6}	8,945	8,945
V_{T6}'	2,81	2,81
V_{T6}''	5,1	5,1
V_{T6}'''	2,280	4,11
V_{T7}	8,94	8,94
V_{T7}'	2,81	2,81
V_{T7}''	11,76	11,76
V_{T8}	8,945	8,945
V_{T8}'	2,5	1,5
V_{T8}''	13,485	13,485
V_{T9}	3,35	3,35
V_{T9}'	-	-
V_{T9}''	4,60	4,60

Surfaces et poids des refends par hauteur d'étage

Voiles Longitudinaux	Surfaces (m ²)	Poids (t)
V _{L1}	5,58	2,79
V _{L1} '	5,58	2,79
V _{L2}	5,58	2,79
V _{L2} '	6,02	3,01
V _{L2} ''	5,58	2,79
V _{L3}	5,58	2,79
V _{L4}	7,87	3,935
V _{L4} '	7,87	3,935
V _{L4} ''	7,87	3,935
V _{L4} '''	7,87	3,935
V _{L5}	7,87	3,935
V _{L6}	7,87	3,935
V _{L7}	7,87	3,935
V _{L7} '	7,87	3,935
V _{L7} ''	9,63	4,815
V _{L8}	6,48	3,240
V _{L9}	7,46	3,730
V _{L10}	6,48	3,240
V _{L11}	7,87	3,935
V _{L12}	5,58	2,79
V _{L12} '	5,58	2,79
V _{L13}	5,58	2,79
V _{L13} '	6,02	3,01
V _{L13} ''	5,58	2,79
V _{L14}	5,58	2,79

Voiles transversaux	Surfaces (m ²)	Poids (t)
V _{T1}	11,83	5,919
V _{T1} '	14,38	7,19
V _{T2}	11,83	5,919
V _{T2} '	14,38	7,19
V _{T3}	11,83	5,919
V _{T3} '	18,75	9,375
V _{T4}	10,06	5,03
V _{T4} '	2,44	1,22
V _{T4} ''	16,31	8,155
V _{T5}	11,83	5,919
V _{T5} '	2,21	1,105
V _{T5} ''	6,83	3,415
V _{T5} '''	5,72	2,86
V _{T6}	11,83	5,919
V _{T6} '	2,21	1,105
V _{T6} ''	6,83	3,415
V _{T6} '''	5,72	2,86
V _{T7}	10,06	5,03
V _{T7} '	2,44	1,22
V _{T7} ''	16,31	8,155
V _{T8}	11,83	5,919
V _{T8} '	3,62	1,81
V _{T8} ''	15,13	7,565
V _{T9}	11,83	5,919
V _{T9} '	3,62	1,81
V _{T9} ''	14,05	7,025

9

Charges permanentes

Etages Voiles	T	8	7	6	5	4	3	2	1	R.D.C
V_{L1}	4,936	9,076	13,216	17,356	21,496	25,636	29,776	33,916	39,256	49,685
V'_{L1}	5,784	9,924	14,064	18,204	22,344	26,484	30,624	34,764	40,104	50,533
V_{L2}	5,784	9,924	14,064	18,204	22,344	26,484	30,624	34,764	40,104	50,533
V'_{L2}	3,201	6,241	9,281	12,321	15,361	18,401	21,441	24,481	28,721	37,846
V''_{L2}	5,784	9,924	14,064	18,204	22,344	26,484	30,624	34,764	40,104	50,533
V_{L3}	5,784	9,924	14,064	18,204	22,344	26,484	30,624	34,764	40,104	50,533
V_{L4}	4,920	11,015	17,110	23,205	29,300	35,395	41,490	47,585	54,880	59,410
V'_{L4}	4,920	11,015	17,110	23,205	29,300	35,395	41,490	47,585	54,880	59,410
V''_{L4}	4,920	11,015	17,110	23,205	29,300	35,395	41,490	47,585	54,880	59,410
V'''_{L4}	5,060	11,257	17,454	23,651	29,848	36,045	42,242	48,439	55,836	64,366
V_{L5}	5,060	11,257	17,454	23,651	29,848	36,045	42,242	48,439	55,836	60,485
V_{L6}	4,920	11,015	17,110	23,205	29,300	35,395	41,490	47,585	54,880	59,447
V_{L7}	4,920	11,015	17,110	23,205	29,300	35,395	41,490	47,585	54,880	59,707
V'_{L7}	4,920	11,015	17,110	23,205	29,300	35,395	41,490	47,585	54,880	59,707

Etagés Voiles	T	8	7	6	5	4	3	2	1	R.D.C
V_{L7}''	5,360	12,335	19,310	26,285	33,260	40,235	47,210	54,185	62,360	67,187
V_{L8}	4,712	10,215	15,718	21,221	26,724	32,227	37,730	43,233	49,936	53,971
V_{L9}	-	4,62	8,350	12,080	15,810	19,540	23,270	27,00	31,930	35,311
V_{L10}	4,712	10,215	15,718	21,221	26,724	32,227	37,730	43,233	49,936	53,971
V_{L11}	4,920	11,015	17,110	23,205	29,300	35,395	41,490	47,585	54,880	59,447
V_{L12}	4,936	9,076	13,216	17,356	21,496	25,636	29,776	33,916	39,256	49,685
V_{L12}'	4,936	9,076	13,216	17,356	21,496	25,636	29,776	33,916	39,256	49,685
V_{L13}	4,936	9,076	13,216	17,356	21,496	25,636	29,776	33,916	39,256	49,685
V_{L13}'	3,201	5,621	8,631	11,641	14,651	17,661	20,671	23,681	27,891	38,012
V_{L13}''	4,936	9,076	13,216	17,356	21,496	25,636	29,776	33,916	39,256	49,685
V_{L14}	4,936	9,076	13,216	17,356	21,496	25,636	29,776	33,916	39,256	49,685

Etages Villes	Terrasse	8	7	6	5	4	3	2	1	R.D.C
V_{T1}	7,513	15,237	22,961	30,685	38,409	46,133	53,857	61,581	70,779	88,562
V_{T1}'	10,101	19,865	29,629	39,393	49,157	58,921	68,685	78,449	90,410	111,170
V_{T2}	7,895	17,422	26,949	36,476	46,003	55,530	65,057	74,584	85,585	98,480
V_{T2}'	10,392	22,555	34,718	46,881	59,044	71,207	83,370	95,533	109,897	119,455
V_{T3}	8,728	18,866	29,004	39,142	49,280	59,418	69,556	79,694	91,306	99,136
V_{T3}'	13,809	29,858	45,907	61,956	78,005	94,054	110,103	126,152	142,569	155,128
V_{T4}	8,280	17,528	26,776	36,024	45,272	54,520	63,768	73,016	83,738	90,790
V_{T4}'	1,023	2,545	4,067	5,589	7,111	8,633	10,155	11,677	13,649	14,539
V_{T4}''	14,682	30,597	46,512	62,427	78,342	94,257	110,172	126,087	144,287	154,853
V_{T5}	9,559	19,813	31,219	42,625	54,031	65,437	76,843	88,249	101,129	109,451
V_{T5}'	2,626	5,248	7,870	10,492	13,114	15,736	18,358	20,980	24,164	25,676
V_{T5}''	5,471	11,640	17,809	23,978	30,147	36,316	42,485	48,654	56,394	62,277
V_{T5}'''	4,463	7,833	10,693	13,553	16,413	19,273	22,133	24,993	27,853	30,713

Etages Voiles	Terrasse	8	7	6	5	4	3	2	1	R.D.C
V_{T_6}	9,559	19,813	31,219	42,625	54,031	65,437	76,843	88,249	101,129	109,451
V_{T_6}'	2,626	5,248	7,870	10,492	13,114	15,736	18,358	20,980	24,164	25,676
V_{T_6}''	5,471	11,640	17,809	23,978	30,147	36,316	42,485	48,654	56,394	62,277
V_{T_6}'''	4,463	7,833	10,293	13,553	16,413	19,273	22,133	24,993	27,853	30,713
V_{T_7}	9,113	18,970	28,827	38,684	48,541	58,398	68,255	78,112	89,443	96,982
V_{T_7}'	2,683	5,320	7,957	10,594	13,231	15,868	18,505	21,142	24,154	26,248
V_{T_7}''	12,756	27,261	41,766	56,271	70,776	85,281	99,786	114,291	131,091	140,296
V_{T_8}	9,559	20,304	31,049	41,794	52,539	63,284	74,029	84,774	96,993	105,315
V_{T_8}'	2,012	4,632	7,252	9,872	12,492	15,112	17,732	20,352	23,347	
V_{T_8}''	13,734	28,581	43,428	58,275	73,122	87,969	102,816	117,663	134,805	146,140
V_{T_9}	7,513	15,237	22,961	30,685	38,409	46,133	53,857	61,581	70,779	82,562
V_{T_9}'	1,541	3,351	5,161	6,971	8,781	10,591	12,401	14,211	16,471	19,361
V_{T_9}''	9,488	18,997	28,546	38,095	47,644	57,193	66,742	76,291	87,666	102,050

Surcharges d'exploitation

Etages Voiles	Terrasse	8	7	6	5	4	3	2	1	R.D.C
V_{L1}	0,25	0,688	1,081	1,431	1,738	2,000	2,219	2,438	2,656	3,656
V'_{L1}	0,25	0,688	1,081	1,431	1,738	2,000	2,219	2,438	2,656	3,656
V_{L2}	0,25	0,688	1,081	1,431	1,738	2,000	2,219	2,438	2,656	3,656
V'_{L2}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V''_{L2}	0,25	0,688	1,081	1,431	1,738	2,000	2,219	2,438	2,656	3,656
V_{L3}	0,25	0,688	1,081	1,431	1,738	2,000	2,219	2,438	2,656	3,656
V_{L4}	0,4	1,100	1,730	2,290	2,780	3,200	3,550	3,900	4,250	5,850
V'_{L4}	0,4	1,100	1,730	2,290	2,780	3,200	3,550	3,900	4,250	5,850
V''_{L4}	0,4	1,100	1,730	2,290	2,780	3,200	3,550	3,900	4,250	5,850
V'''_{L4}	0,419	1,152	1,812	2,398	2,911	3,351	3,718	4,084	4,451	6,127
V_{L5}	0,419	1,152	1,812	2,398	2,911	3,351	3,718	4,084	4,451	6,127
V_{L6}	0,4	1,100	1,730	2,290	2,780	3,200	3,550	3,900	4,250	5,850
V_{L7}	0,4	1,100	1,730	2,290	2,780	3,200	3,550	3,900	4,250	5,850

14

etages voiles	Terrasse	8	7	6	5	4	3	2	1	R.D.C
V_{L7}'	0,4	1,100	1,730	2,290	2,780	3,200	3,550	3,900	4,250	5,850
V_{L7}''	0,4	1,100	1,730	2,290	2,780	3,200	3,550	3,900	4,250	5,850
V_{L8}	0,419	1,152	1,812	2,398	2,911	3,351	3,718	4,084	4,451	6,127
V_{L9}	-	3,111	6,039	8,674	10,724	12,481	13,945	15,409	16,873	17,605
V_{L10}	0,419	1,152	1,812	2,398	2,911	3,351	3,718	4,084	4,451	6,127
V_{L11}	0,4	1,100	1,730	2,290	2,780	3,200	3,550	3,900	4,250	5,850
V_{L12}	0,25	0,688	1,081	1,431	1,738	2,000	2,219	2,438	2,656	3,656
V_{L12}'	0,25	0,688	1,081	1,431	1,738	2,000	2,219	2,438	2,656	3,656
V_{L13}	0,25	0,688	1,081	1,431	1,738	2,000	2,219	2,438	2,656	3,656
V_{L13}'	0,183	3,294	6,222	8,857	10,907	12,664	14,128	15,582	17,056	17,788
V_{L13}''	0,25	0,688	1,081	1,431	1,738	2,000	2,219	2,438	2,656	3,656
V_{L14}	0,25	0,688	1,081	1,431	1,738	2,000	2,219	2,438	2,656	3,656

etages voiles	T	8	7	6	5	4	3	2	1	R.O.C
V_{T_6}	0,895	3,719	6,260	8,519	10,496	12,191	13,603	15,015	16,427	20,007
V_{T_6}'	0,281	1,279	2,177	2,976	3,674	4,273	4,772	5,271	5,770	6,894
V_{T_6}''	0,510	2,290	3,892	5,316	6,562	7,630	8,520	9,410	10,300	12,340
V_{T_6}'''	0,411	4,287	4,880	5,414	5,888	6,303	6,659	6,955	7,252	8,607
V_{T_7}	0,894	2,721	4,365	5,827	7,106	8,202	9,116	10,029	10,943	14,519
V_{T_7}'	0,281	0,772	1,214	1,607	1,950	2,245	2,491	2,736	2,982	4,106
V_{T_7}''	1,176	3,609	5,799	7,745	9,448	10,908	12,125	13,341	14,558	19,262
V_{T_8}	0,895	3,719	6,260	8,519	10,496	12,191	13,603	15,015	16,427	20,007
V_{T_8}'	0,150	0,412	0,648	0,857	1,041	1,198	1,329	1,460	1,591	2,191
V_{T_8}''	1,349	4,083	6,543	8,730	10,644	12,285	13,652	15,019	16,386	21,782
V_{T_9}	0,335	0,921	1,448	1,917	2,327	2,679	2,972	3,265	3,558	4,898
V_{T_9}'	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V_{T_9}''	0,460	1,265	1,990	2,634	3,197	3,680	4,083	4,485	4,888	6,728

Etages Voiles	Terrasse	8	7	6	5	4	3	2	1	RDC
V_{T1}	0,335	0,921	1,448	1,917	2,327	2,679	2,972	3,265	3,558	4,898
V_{T1}'	0,460	1,265	1,990	2,634	3,197	3,680	4,083	4,485	4,888	6,728
V_{T2}	0,669	1,839	2,892	3,828	4,647	5,349	5,934	6,519	7,104	9,780
V_{T2}'	0,921	2,533	3,984	5,273	6,402	7,369	8,175	8,981	9,787	13,471
V_{T3}	0,782	2,413	3,881	5,186	6,327	7,306	8,122	8,937	9,753	12,881
V_{T3}'	1,236	3,774	6,058	8,089	9,865	11,388	12,657	13,926	15,195	20,139
V_{T4}	0,782	2,413	3,881	5,186	6,327	7,306	8,122	8,937	9,753	12,881
V_{T4}'	0,056	0,154	0,242	0,321	0,389	0,448	0,497	0,546	0,595	0,819
V_{T4}''	1,437	4,327	6,928	9,240	11,263	12,997	14,442	15,887	17,332	23,080
V_{T5}	0,895	3,719	6,260	8,519	10,496	12,191	13,603	15,015	16,427	20,007
V_{T5}'	0,281	1,279	2,177	2,976	3,674	4,273	4,772	5,271	5,770	6,894
V_{T5}''	0,510	2,290	3,892	5,316	6,562	7,630	8,520	9,410	10,300	12,340
V_{T5}'''	0,411	4,287	4,880	5,414	5,888	6,303	6,659	6,955	7,252	8,607

C'ALC'UIL

DES'

ELEMENTS'

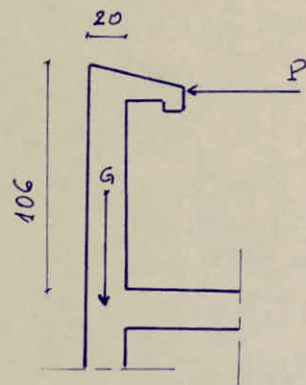
ACROTERE

INTRODUCTION

L'acrotère est un élément assimilable à une console encastrée au plancher terrasse. Elle est soumise donc à son poids propre G et à une surcharge P due à la main courante. Le calcul se fait pour une bande de 1 mètre.

Dimensions de l'acrotère :

- largeur $b = 100 \text{ cm}$
- hauteur $h = 106 \text{ cm}$
- épaisseur $e = 20 \text{ cm}$



CALCUL DES EFFORTS

Poids propre : $1,06 \times 0,20 \times 2,5 = 0,53 \text{ t} = 530 \text{ kg}$.

Surcharge majorée : $1,2 \times 100 = 120 \text{ kg}$.

- effort normal $N = 530 \text{ kg}$.
- Moment max. à l'encastrement $M = 120 \times 1,06 = 127,2 \text{ kg.m}$.

Notre élément est soumis à une flexion composée :

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{12720}{530} = 24 \text{ cm}$$

$$e_1 = \frac{h_t}{6} = \frac{20}{6} = 3,33 \text{ cm}$$

} $e_0 > e_1 \Rightarrow$ Section partiellement comprimée.

FERRAILLAGE

On utilisera la méthode du moment fictif.

$$M_b = M + \left(\frac{h_t}{2} - d\right) \cdot N = 12720 + \left(\frac{20}{2} - 2\right) \cdot 530$$

$$M_b = 16960 \text{ kg.cm}$$

$$\mu = \frac{n M}{\bar{\sigma}_a \cdot b \cdot h^2} = \frac{15 \cdot 16960}{2800 \cdot 100 \cdot 18^2} = 0,0028 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon = 0,9756 \\ k = 190 \end{cases}$$

$$\bar{\sigma}'_b = \frac{\bar{\sigma}_a}{k} = \frac{2800}{190} = 14,7 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b$$

$$A' = A'_1$$

$$A = A_1 - \frac{N'}{\bar{\sigma}_a}$$

$$A_1 = \frac{M}{\varepsilon \cdot \bar{\sigma}_a \cdot h} = \frac{16960}{0,9756 \cdot 2800 \cdot 18} = 0,35 \text{ cm}^2$$

$$A = 0,35 - \frac{530}{2800} = 0,16 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A \geq 0,69 \cdot b \cdot h \cdot \frac{\bar{\sigma}_b}{\bar{\sigma}_{en}} = 0,69 \cdot 100 \cdot 18 \cdot \frac{5,9}{4200} = 1,75 \text{ cm}^2$$

On prendra 6 HA6 écartés de 16 cm

Verification à la fissuration :

$$\sigma_1 = \frac{k \eta}{\phi} \cdot \frac{\bar{\omega}_f}{1 + 10 \bar{\omega}_f} \quad k = 10^6 \text{ fissuration préjudiciable}$$

$$\sigma_2 = 2,4 \sqrt{\frac{k \eta \bar{\sigma}_b}{\phi}} \quad \eta = 1,6 \text{ pour H.A.}$$

$$\sigma_1 = \frac{10^6 \cdot 1,6}{6} \cdot \frac{4,375 \cdot 10^{-3}}{1 + 10 \cdot 4,375 \cdot 10^{-3}} = 1117,76 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_2 = 2,4 \cdot \frac{10^6 \cdot 1,6 \cdot 5,9}{6} = 3010,4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\max(\sigma_1, \sigma_2) = 3010,4 \text{ kg/cm}^2 > 2800 \text{ kg/cm}^2 \text{ Cond. vérifiée}$$

Verification à l'effort tranchant :

on doit vérifier que $A \bar{\sigma}_a \geq T + \frac{M}{\delta}$ avec :

$$T = 120 \text{ kg}$$

$$M = -12720 \text{ kg.cm}$$

$$T + \frac{M}{\delta} = 120 - \frac{12720}{\frac{7}{8} \times 18} = -687,6 \text{ kg.}$$

Ce qui signifie que les armatures ne sont pas soumises à un effort de traction.

- Verification au Seisme :

des elements et leur ancrage doivent être calculés sous l'action des forces horizontales d'après l'article 3.39 du R.P.A.

$$F_p = Z \cdot I \cdot C_p \cdot W_p \quad \text{avec} \quad \begin{aligned} ZI &= 0,6 \text{ (zone II groupe 2)} \\ C_p &= 0,3 \\ W_p &= 530 \text{ kg.} \end{aligned}$$

$$F_p = 0,6 \times 0,3 \times 530 = 95,4 \text{ kg} < 100 \text{ kg.}$$

donc le seisme n'est pas prépondérant.

ESCALIERS

Dimensionnement des marches et contre-marches

Pour le dimensionnement des marches et contre-marches on doit vérifier la formule de BLONDEL

$$0,59 \leq g + 2h \leq 0,66 \text{ (m)}$$

Soit $2H = 3,01$: hauteur d'étage

Il est à noter qu'au rez-de-chaussée on a une hauteur d'étage de 4,51 m ce qui nous donne

3 paillasses. donc $H = 1,505 \text{ m}$.

Si on pose h : hauteur d'une contre-marche.
 g : longueur d'une marche
 n' : nombre de contre-marches
 n : nombre de marches.

Si on prend $h = 17 \text{ cm} \Rightarrow n = \frac{H}{h} = \frac{1,505}{0,17} = 8,85$ donc
 $n' = 9$ d'où la hauteur de contre-marche

est : $\frac{1,505}{9} = 16,72 \text{ cm}$. on a $L = 2,40 \text{ m}$.

$$L = g(n'-1) \Rightarrow g = \frac{L}{n'-1} = \frac{2,40}{9-1} = 0,30 \text{ m}$$

$g = 30 \text{ cm}$. donc :

$h = 16,7 \text{ cm}$ $n' = 9$

$g = 30 \text{ cm}$ $n = 8$

Verification de la loi de BLONDEL :

$$0,59 < g + 2h < 0,66$$

$$0,59 < 0,30 + 2 \times 0,167 < 0,66$$

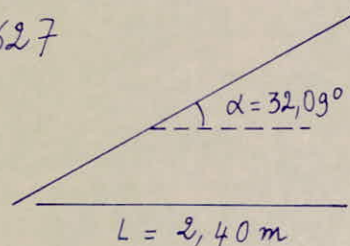
$$0,59 < 0,634 < 0,66$$

Calcul de la pailleuse :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{H}{L} = \frac{1,505}{2,40} = 0,627$$

$$\text{d'où } \alpha = 32,09^\circ$$

$$l = \frac{L}{\cos \alpha} = \frac{2,40}{\cos 32,09^\circ} = 2,83 \text{ m.}$$



1 / épaisseur de la pailleuse :

Le prédimensionnement est donné par

$$\text{la formule : } e = \frac{l}{30} \div \frac{l}{20} = \frac{2,83}{30} \div \frac{2,83}{20} = 9,4 \div 14,1$$

on prend $e = 12 \text{ cm}$.

2 / Charges et surcharges :

charges permanentes :

$$\text{Poids propre de la pailleuse : } \frac{2500 \times e}{\cos \alpha} = \frac{2500 \times 0,12}{0,847} = 354,19 \text{ kg/m}^2$$

$$= 354,19 \text{ kg/m}^2.$$

$$\text{Poids propre des marches : } \frac{2200 \times h}{2} = \frac{2200 \times 0,167}{2} = 183,7 \text{ kg/m}^2.$$

Mortier de pose
carrelage
Sable (3 cm)

$$----- 135 \text{ kg/m}^2$$

Garde corps
Enduit + plâtre

$$10 \text{ kg/m}^2$$

$$30 \text{ kg/m}^2$$

$$G = 712,89 \approx 713 \text{ kg/m}^2$$

Surcharges d'exploitation :

Immeuble d'habitation ----- $\varphi = 400 \text{ kg/m}^2$

$$G + 1,2 \varphi = 713 + 1,2 \times 400 = 1193 \text{ kg/m}^2$$

On admet que les charges et les surcharges soient uniformément réparties sur une projection horizontale et sur 1 mètre d'embranchement donc :

$$q = 1193 \times 1 \text{ m} = 1193 \text{ kg/ml}$$

3/ Calcul des efforts :

$$R_A = R_B = \frac{qL}{2} = \frac{1193 \times 2,40}{2} = 1431,6 \text{ kg.}$$

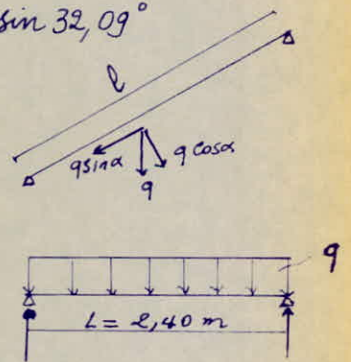
$$M = \frac{q L^2}{8} = \frac{1193 \times 2,40^2}{8} = 858,96 \text{ kg. m}$$

Sur la poutre s'exerce un effort de flexion dû au moment causé par $q \cos \alpha$ qui est perpendiculaire à l ; et un effort normal N qui est parallèle à l dû à $q \sin \alpha$:

$$N = \frac{q L}{2} \sin \alpha = 1193 \times \frac{2,40}{2} \times \sin 32,09^\circ$$

$$N = 760,54 \text{ kg.}$$

$$\sigma_b = \frac{N}{S} = \frac{760,54}{12 \times 100} = 0,634 \text{ kg/cm}^2.$$



Vu que la valeur de la contrainte due à N est négligeable devant celle due au moment le calcul ne se fera pas en flexion composée mais en flexion simple.

4/ Ferraillage :

$$M = 858,96 \text{ kg. m}$$

$$h_t = 12 \text{ cm} ; \quad h = 10 \text{ cm}$$

$$b = 100 \text{ cm.}$$

D'après la méthode de M^e P. CHARON

$$\mu = \frac{15 M}{\bar{\sigma}_a \cdot b \cdot h} = \frac{15 \cdot 858,96 \cdot 10^2}{2800 \cdot 100 \cdot 10^2} = 0,0460 \Rightarrow \begin{aligned} \varepsilon &= 0,9095 \\ \kappa &= 33,6 \end{aligned}$$

$$\bar{\sigma}_e' = \frac{\bar{\sigma}_a}{\kappa} = \frac{2800}{33,6} = 83,33 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_e'$$

Les aciers comprimés ne sont pas nécessaires.

$$A = \frac{M}{\bar{\sigma}_a \cdot \varepsilon \cdot h} = \frac{858,96 \cdot 10^2}{2800 \cdot 0,9095 \cdot 10} = 3,37 \text{ cm}^2$$

on prendra 5 HA 10 (3,92 cm²)

Armatures de répartition :

$$\frac{A_c}{4} \leq A_r \leq \frac{A_c}{2} \Rightarrow \frac{3,37}{4} \leq A_r \leq \frac{3,37}{2}$$

$$0,98 \leq A_r \leq 1,96 \text{ cm}^2 \quad \text{on prendra 5 HA 6 (1,41 cm}^2\text{)}$$

5/ Vérifications :

Vérification à la fissuration

$\kappa = 1,5 \cdot 10^6$: fissuration peu nuisible (élément à l'intérieur du bâtiment)

$\eta = 1,6$ coefficient de fissuration pour les aciers H.A

$$\tilde{\omega}_f = \frac{A}{B_f} = \frac{3,92}{2 \times 2 \times 100} = 0,98 \cdot 10^{-2}$$

$$\bar{\sigma}_e = 5,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_1 = \kappa \frac{\eta}{\varphi} \cdot \frac{\tilde{\omega}_f}{1 + 10 \tilde{\omega}_f} ; \quad \sigma_2 = 2,4 \sqrt{\frac{\kappa \eta \bar{\sigma}_e}{\varphi}}$$

$$\sigma_1 = 1,5 \cdot 10^6 \cdot \frac{1,6}{10} \cdot \frac{0,98 \cdot 10^{-2}}{1 + 10 \cdot 0,98 \cdot 10^{-2}} = 2142 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_2 = 2,4 \sqrt{\frac{1,5 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 5,9}{10}} = 2856 \text{ kg/cm}^2$$

$$\max(\sigma_1, \sigma_a) = 2856 \text{ kg/cm}^2 > 2800 \text{ kg/cm}^2 = \bar{\sigma}_a$$

donc il n'y a pas de risque de fissuration.

Vérification des contraintes :

$$\tilde{\omega} = \frac{100 A}{b \cdot h} = \frac{100 \times 3,92}{100 \times 10} = 0,392$$

$$\varepsilon = 0,9038$$

$$k = 37$$

$$\sigma_a = \frac{M}{A \cdot \varepsilon \cdot h} = \frac{858,96 \times 10^4}{3,92 \cdot 0,9038 \cdot 10} = 2424 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a$$

$$\sigma'_b = \frac{\sigma_a}{k} = \frac{2424}{37} = 65,5 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

Vérification à l'effort tranchant

$$\bar{\tau}_{er} = \frac{T}{b \cdot z} = \frac{1431,6}{100 \times \frac{7}{8} \times 10} = 1,64 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_b = 72 \text{ kg/cm}^2 \text{ on voit que } \bar{\sigma}'_{e0} \leq \sigma'_b \leq 2 \bar{\sigma}'_{e0}$$

$$\text{donc } \bar{\tau}_{er} = \left(4,5 - \frac{\sigma'_b}{\bar{\sigma}'_{e0}}\right) \bar{\tau}_{er} = \left(4,5 - \frac{72}{67,5}\right) \times 5,9 = 20,25 \text{ kg/cm}^2$$

donc $\bar{\tau}_{er} < \bar{\tau}_{er} \Rightarrow$ on ne prévoit pas d'armatures transversales

Condition de non fragilité :

$$A \geq 0,69 \cdot b \cdot h \cdot \frac{\bar{\sigma}_{er}}{\sigma_{en}} = 0,69 \times 100 \times 10 \times \frac{5,9}{4200} = 0,97 \text{ cm}^2$$

$$A = 3,92 > 0,97 \text{ cm}^2 \text{ donc}$$

La condition de non fragilité est vérifiée.

Vérification à la flèche :

D'après le CCBA article 61.21, Si les trois conditions suivantes sont vérifiées, la vérification à la flèche n'est pas nécessaire.

$$A \leq \frac{43 b \cdot h}{\sigma_{en}} = \frac{43 \times 100 \times 10}{4200} = 10,23 \text{ condition vérifiée.}$$

$$\frac{h_t}{l} \geq \frac{1}{16} \quad \frac{12}{283} \not\geq \frac{1}{16} \quad \longrightarrow \text{condition non-vérifiée.}$$

$\frac{h_t}{l} \geq \frac{1}{10} \cdot \frac{M_t}{M_0} \cdot \frac{12}{283} = 0,042 < 0,1$ condition non vérifiée
 Les conditions ne sont pas toutes vérifiées, la vérification à la flèche s'impose.

Soit f_0 charge de faible durée et f_∞ charge de longue durée

$$f_0 = \frac{M_i l^2}{10 E_i I_{f_i}} \quad (\text{charge de courte durée : surcharges})$$

$$f_\infty = \frac{M_v l^2}{10 E_v I_{f_v}} \quad (\text{charge de longue durée : charges permanentes})$$

$$\mu_i = \mu_v = 1 - \frac{5 \bar{\sigma}_e}{4 \tilde{\omega} \bar{\sigma}_a + \bar{\sigma}_e}$$

$$d_i = \frac{\bar{\sigma}_e}{72 (2 + 3 \frac{b_0}{b}) \tilde{\omega}}$$

$b_0 = b$: largeur min et max de la section

$$d_v = \frac{\bar{\sigma}_e}{180 (2 + 3 \frac{b_0}{b}) \tilde{\omega}}$$

$$\tilde{\omega} = \frac{A}{b \cdot h} = \frac{3,92}{100 \times 12} = 3,267 \cdot 10^{-3}$$

$$I_{f_i} = \frac{I_t}{1 + d_i \mu_i} ; \quad I_{f_v} = \frac{I_t}{1 + d_v \mu_v} ; \quad I_t = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$\mu_i = \mu_v = 1 - \frac{5 \times 5,9}{4 \times 3,267 \cdot 10^{-3} \times 2424 + 3,59} = 0,400$$

$$d_i = \frac{5,9}{72 (2 + 3 \times 1) 3,267 \cdot 10^{-3}} = 5,016$$

$$d_v = \frac{5,9}{180 (2 + 3 \times 1) 3,267 \cdot 10^{-3}} = 2,007$$

$$I_t = \frac{1 \times 12^3}{12} = 1,44 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_{f_i} = \frac{1,44 \cdot 10^{-4}}{1 + 5,016 \times 0,400} = 4,790 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_{f_v} = \frac{1,44 \cdot 10^{-4}}{1 + 2,007 \times 0,400} = 7,987 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$E_v = 7000 \sqrt{\sigma_{2,8}} = 115021,74 \text{ kg/cm}^2 = 115021,74 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$E_i = 21000 \sqrt{\sigma_{2,8}} = 345065,21 \text{ kg/cm}^2 = 345065,21 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$f_{\infty} = \frac{513,36 \times 2,40^2}{10 \times 115021,74 \cdot 10^4 \times 7,987 \cdot 10^5} = 3,22 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0,3 \text{ cm}$$

$$f_0 = \frac{288 \times 2,40^2}{10 \times 345065,21 \cdot 10^4 \times 4,790 \cdot 10^4} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,01 \text{ cm}$$

$$f = f_0 + f_{\infty} = 0,31 \text{ cm}$$

$$\bar{f} = \frac{l}{500} = \frac{2,40}{500} = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ don } f < \bar{f}$$

Calcul des bequets :

Chaque bequet de la pailleasse et de la poutre palière doit être calculé pour une charge linéaire $Q = \gamma_g l (G + 1,2 S)$

G : charge permanente de la totalité de la volée préfabriquée

S : surcharge d'exploitation sur la totalité de la volée préfabriquée

γ_g : Coefficient de comportement expérimental = 1,4
(sans armatures de suspension)

D'après les recommandations du CTC l'épaisseur des bequets des pailleasses et des paliers doit être :

$$e \geq 0,707$$

$$a \geq 10 \text{ cm}$$

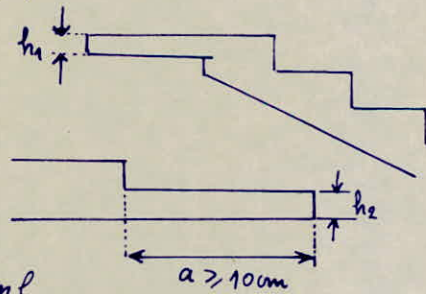
$$h_2 = 8 \text{ cm}$$

$$h_1 = 7 \text{ cm}$$

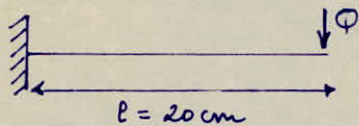
on prend

$$a = 18 \text{ cm}$$

$$l = a + 2 = 20 \text{ cm}$$



$$Q = 1,4 \cdot 2,40 \cdot 1193 = 4008,48 \text{ kg/ml}$$



$$M = Q \cdot l = 4008,48 \times 0,20$$

$$M = 801,7 \text{ kg} \cdot \text{m/ml}$$

Ferrailage :

$$h = h_e - d = 5 \text{ cm}$$

$$\mu = \frac{15 \cdot 801,7 \cdot 10^2}{2800 \cdot 100 \cdot 5^2} = 0,1718$$

$$\epsilon = 0,8452$$

$$k = 17,3$$

$$\sigma'_e = \frac{2800}{17,3} = 162 \text{ kg/cm}^2 : \text{aciers comprimés non nécessaires}$$

$$A = \frac{801,7 \cdot 10^2}{0,8452 \cdot 2800 \cdot 5} = 6,78 \text{ cm}^2 \text{ on prend } 10 T8 = 7,85 \text{ cm}^2$$

Espacement : $t \leq \min \begin{cases} 2 \cdot h_t = 2 \cdot 7 = 14 \text{ cm} \\ 20 \text{ cm} \end{cases}$

on a $t = 10 \text{ cm}$ donc l'espacement vérifie les conditions préconisées par le CTC.

Armatures de répartition :

On doit choisir cette section de façon à vérifier la condition :

$$\frac{A_L}{4} \leq A_r \leq \frac{A_L}{2} \text{ soit } \frac{7,85}{4} \leq A_r \leq \frac{7,85}{2}$$

$$1,96 \leq A_r \leq 3,92 \text{ on prend } 5 HA8 (2,51 \text{ cm}^2)$$

Vérifications :

- contraintes

* aciers : $\tilde{\omega} = 1,121$

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon = 0,8547 \\ k = 19,4 \end{array} \right.$$

$$\sigma_a = \frac{801,7 \cdot 10^2}{7,85 \cdot 0,8547 \cdot 5} = 2390 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a$$

* béton :

$$\sigma'_e = \frac{2390}{19,4} = 123 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_e$$

- Cisaillement

$$\varphi = \gamma_g l (G + 1,2 S) ; \gamma_g = 1 \text{ (pour le calcul de la constante tangentielle)}$$

$$T = \varphi = 1 \times 2,40 \times 1193 = 2863,2 \text{ kg/ml}$$

$$\bar{\tau}_e = \frac{T}{l \cdot z} = \frac{2863,2}{100 \times 0,875 \cdot 5} = 6,55 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\tau}'_e = 1,15 \bar{\sigma}'_e = 1,15 \times 5,9 = 6,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{donc } \bar{\tau}_e < \bar{\tau}'_e$$

A - PALIER INTERMEDIAIRE

Il sera calculé comme une dalle encastrée sur deux côtés et libre sur les deux autres.

1. Charges et surcharges

- poids propre : $G = 575 \text{ kg/m}^2$

- surcharge d'exploitation majorée : $1,2 \times 400 = 480 \text{ kg/m}^2$

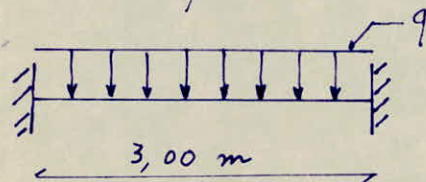
- charge provenant de la volée : $q_{\text{volée}} = 1192 \text{ kg/m}^2$

(on prend la moitié de la somme des deux volées reposant sur le palier)

charge de calcul :

$$q = (575 + 480 + 1192) \times 1,00 = 2248 \text{ kg/m}^2$$

Schéma statique :



$$h_t = 16 \text{ cm}$$

$$h = h_t - d = 16 - 2 = 14 \text{ cm}$$

$$M_0 = \frac{q l^2}{8} \quad \text{moment isostatique}$$

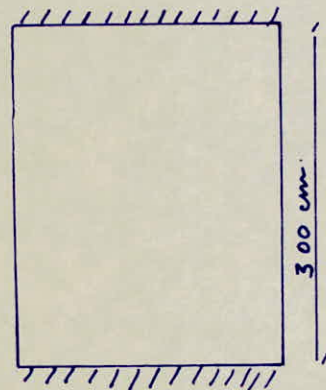
Encastrement partiel donc

$$M_t = \frac{q l^2}{10} = \frac{2248 \times 3,00^2}{10} = 2023,2 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

(M_t : moment en travée)

$$M_a = \frac{q l^2}{20} = \frac{2248 \times 3,00^2}{20} = 1011,6 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

(M_a : moment sur appui)



Ferrailage :* En travée :

$$\mu = \frac{15 M_t}{\sigma_a \cdot b \cdot h^2} = \frac{15 \times 2023,2 \cdot 10^2}{2800 \times 100 \times 14^2} = 0,05530 \Rightarrow \begin{cases} \epsilon = 0,9020 \\ k = 36 \end{cases}$$

$$\sigma_b = \frac{\bar{\sigma}_a}{k} = \frac{2800}{36} = 77,8 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_b'$$

donc les armatures comprimées sont inutiles.

$$A = \frac{M}{\bar{\sigma}_a \cdot \epsilon \cdot h} = \frac{2023,2 \cdot 10^2}{2800 \times 0,9020 \times 14} = 5,72 \text{ cm}^2/\text{ml.}$$

on prendra 8 HA 12 (6,78 cm²) avec un espacement t = 12,5 cm.

Armatures de repartition :

$$\frac{A}{4} \leq A_r \leq \frac{A}{2} \Rightarrow \frac{6,78}{4} \leq A_r \leq \frac{6,78}{2} \Rightarrow 1,70 \leq A_r \leq 3,39 \text{ cm}^2$$

soit : 4 HA 8 (2,01 cm²)* Sur appui :

$$\mu = \frac{15 \times M_a}{\bar{\sigma}_a \cdot b \cdot h^2} = \frac{15 \times 1011,6 \cdot 10^2}{2800 \times 100 \times 14^2} = 0,02765 \Rightarrow \begin{cases} \epsilon = 0,9604 \\ k = 111 \end{cases}$$

$$\sigma_b' = \frac{2800}{111} = 25,22 < \bar{\sigma}_b' \Rightarrow A' \text{ inutile.}$$

$$A = \frac{M}{\bar{\sigma}_a \cdot \epsilon \cdot h} = \frac{1011,6 \cdot 10^2}{2800 \times 0,9604 \times 14} = 2,69 \text{ cm}^2/\text{ml.}$$

soit 6 HA 8 (3,01 cm²)

Vérification à la fissuration :

$$\tilde{\omega}_f = \frac{A}{B_f} = 0,0157$$

$$\sigma_1 = \frac{k \eta}{\varphi} \cdot \frac{\tilde{\omega}_f}{1 + 10 \tilde{\omega}_f} = \frac{15 \cdot 10^6 \cdot 1,6}{10} \times \frac{0,0157}{1 + 10 \times 0,0157} = 3256 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_2 = 2,4 \sqrt{\frac{\eta k \bar{\sigma}_a}{\varphi}} = 2,4 \left(\frac{15 \times 1,6 \cdot 10^6 \cdot 5,9}{10} \right)^{\frac{1}{2}} = 2856 \text{ kg/cm}^2$$

max (σ_1, σ_2) = 3256 kg/cm² > 2800 kg/cm². Condition vérifiée.

Vérification au cisaillement :

$$T = q \frac{l}{2} = \frac{2248 \times 300}{2} = 3372 \text{ kg.}$$

$$\bar{\tau}_e = \frac{T_{\max}}{b \cdot z} = \frac{3372}{100 \times 0,875 \times 14} = 2,75 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\tau}_e = 3,5 \times \bar{\sigma}_e = 3,5 \times 5,9 = 20,65 \text{ donc :}$$

$$\bar{\tau}_e < \bar{\tau}_e \quad \text{condition vérifiée.}$$

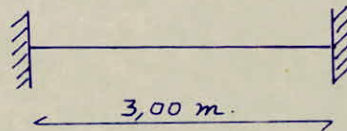
Condition de non fragilité :

$$A_{\min} \geq 0,69 \cdot b \cdot h \cdot \frac{\bar{\sigma}_e}{\sigma_{en}} = 0,69 \cdot 100 \times 14 \cdot \frac{5,9}{4200} = 1,36 \text{ cm}^2$$

$$A = 6,28 > 1,36 \quad \text{condition vérifiée.}$$

CALCUL DE LA POUTRE NOYÉE

C'est une poutre de faible épaisseur (épaisseur de la dalle) supportant les volées. Elle sera calculée comme étant encastree partiellement à ses deux extrémités.



* charge revenant à la poutre :

$$\text{- poids propre : } 2500 \times 0,16 = 400 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{- surcharge : } \text{-----} = 400 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{- poids de la demi volée : } \frac{1193}{2} = 596,5 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{- } q = (400 + 400 + 596,5) \times 1,00 = 1396,5 \text{ kg/ml.}$$

* Détermination des efforts :

$$M_0 = q \frac{l^2}{8} = \frac{1396,5 \times 3,00^2}{8} = 1571 \text{ kg.m}$$

$$\text{- moment en travée : } M_t = 0,8 M_0 = \frac{q l^2}{10} = 1256,8 \text{ kg.m.}$$

$$\text{- moment sur appui : } M_a = 0,4 M_0 = \frac{q l^2}{20} = 628,4 \text{ kg.m.}$$

- Prédimensionnement : La détermination de la largeur de la poutre noyée se fait par comparaison du moment extérieur avec le moment résistant du béton.

$$M_{r,b} \geq M_0 \Rightarrow k b h^2 \geq M_0$$

$$\left. \begin{aligned} k &= \frac{1}{2} \bar{\sigma}'_c \bar{\alpha} \left(1 - \frac{\bar{\alpha}}{3}\right) \\ \alpha &= \frac{15 \bar{\sigma}'_c}{15 \bar{\sigma}'_c + \bar{\sigma}_a} = \frac{15 \times 135}{15 \times 135 + 2800} = 0,419 \end{aligned} \right\} k = 24,36$$

$$M_{r,b} = 24,36 \cdot b \cdot 14^2 \geq 1571 \cdot 10^2 \Rightarrow b \geq \frac{1571 \cdot 10^2}{24,36 \cdot 14^2}$$

$b \geq 33 \text{ cm}$ on prendra $b = 40 \text{ cm}$.

* Calcul des armatures :

- En travée : $\mu_t = \frac{15 M_t}{\bar{\sigma}_a \cdot b \cdot h^2} = \frac{15 \times 1256,8 \cdot 10^2}{2800 \times 40 \cdot 14^2} = 0,0859$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{aligned} \varepsilon &= 0,8818 \\ k &= 27,3 \end{aligned} \right. \quad \sigma'_c = \frac{\bar{\sigma}_a}{k} = \frac{2800}{27,3} = 102,56 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_c$$

$$A_t = \frac{M_t}{\bar{\sigma}_a \cdot h \cdot \varepsilon} = \frac{1256,8 \cdot 10^2}{2800 \cdot 14 \cdot 0,8818} = 3,64 \text{ cm}^2$$

on prendra 4 HA12 ($4,52 \text{ cm}^2$)

- A l'appui : $\mu_a = \frac{15 M_a}{\bar{\sigma}_a \cdot h^2 \cdot b} = \frac{15 \times 628,4 \cdot 10^2}{2800 \times 14^2 \times 40} = 0,0429$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{aligned} \varepsilon &= 0,9123 \\ k &= 42 \end{aligned} \right. \quad \sigma'_c = \frac{2800}{42} = 66,67 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_c$$

$$A_a = \frac{M}{\bar{\sigma}_a \cdot h \cdot \varepsilon} = \frac{628,4 \cdot 10^2}{2800 \cdot 14 \cdot 0,9123} = 1,76 \text{ cm}^2$$

on prendra 4 HA8 ($2,01 \text{ cm}^2$).

* Armatures transversales :

- Contrainte de cisaillement :

$$T = q \frac{l}{2} = 1396,5 \cdot \frac{3,00}{2} = 2094,75 \text{ kg}$$

$$\bar{\tau}_0 = \frac{T}{b \cdot z} = \frac{2094,75}{40 \cdot \frac{7}{8} \cdot 14} = 4,275 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\tau}_v = 3,5 \cdot \bar{\tau}_0 = 3,5 \times 4,275 = 14,96 \text{ kg/cm}^2$$

donc $\bar{\epsilon}_e < \bar{\epsilon}_{e0}$

- Contrainte admissible :

$$\bar{\sigma}_{at} = \rho_a \cdot \sigma_{en} \quad \rho_a = 1 - \frac{\bar{\epsilon}_e}{9 \cdot \bar{\sigma}_e} = 1 - \frac{4,275}{9 \times 5,9} = 0,919 > \frac{2}{3}$$

donc : pas de reprise de bétonnage.

$$\sigma_{en} = 2400 \text{ kg/cm}^2, \quad \sigma_{at} = 0,919 \times 2400 = 2205,6 \text{ kg/cm}^2$$

- Espacement :

$$t \leq \begin{cases} t_1 = 0,2h = 0,2 \times 14 = 28 \text{ cm.} \\ t_2 = h \left(1 - 0,3 \frac{\bar{\epsilon}_e}{\bar{\sigma}_e}\right) = 14 \left(1 - 0,3 \frac{4,275}{5,9}\right) = 10,95 \text{ cm} \end{cases}$$

$$t = \frac{\sigma_{at} \cdot A_t \cdot \gamma}{T} \quad \text{on prendra } A_t = 1,13 \text{ cm}^2 \quad (4 \phi 6)$$

$$t = \frac{2205,6 \times 1,13 \times 0,875 \times 14}{2094,75} = 14,75 \text{ cm}$$

on prendra un espacement $t = 10 \text{ cm}$.

* Vérifications :

- Condition de non fragilité :

$$A \geq 0,69 \cdot b \cdot h \cdot \frac{\bar{\sigma}_e}{\sigma_{en}} = 0,69 \times 40 \times 14 \times \frac{5,9}{4200} = 0,54 \text{ cm}^2$$

$$A \geq A_{\min} = 0,54 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{condition vérifiée.}$$

- Contrainte :

- En travée :

$$\tilde{\omega} = \frac{100A}{b \cdot h} = \frac{100 \times 4,52}{40 \times 14} = 0,8071 \Rightarrow \begin{cases} \epsilon = 0,8715 \\ k = 23,9 \end{cases}$$

$$\sigma_a = \frac{M}{A \cdot \epsilon \cdot h} = \frac{1256,8 \cdot 10^2}{4,52 \times 0,8715 \times 14} = 2279 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_e = \frac{\sigma_a}{k} = \frac{2279}{23,9} = 95,4 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_e$$

- A l'appui :

$$\tilde{\omega} = \frac{100A}{b \cdot h} = \frac{100 \times 2,01}{40 \times 14} = 0,3589 \Rightarrow \begin{cases} \epsilon = 0,9071 \\ k = 38,8 \end{cases}$$

$$\sigma_a = \frac{M}{A \cdot \epsilon \cdot h} = \frac{628,4 \cdot 10^2}{2,01 \times 0,9071 \times 14} = 2461,82 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_b = \frac{\sigma_a}{k} = \frac{2461,82}{38,8} = 63,45 \text{ kg/cm}^2$$

- Vérification à la fissuration :

- En travée :

$$\tilde{w}_f = \frac{A}{B_f} = \frac{4,52}{2 \times 40 \times 2} = 0,02825$$

$$\sigma_1 = \frac{k \eta}{\varphi} \cdot \frac{\tilde{w}_f}{1 + 10 \tilde{w}_f} = \frac{1,5 \cdot 10^6 \cdot 1,6}{12} \cdot \frac{0,02825}{1 + 10 \cdot 0,02825} = 4405,4 \text{ kg/cm}^2$$

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

$\max(\sigma_1, \sigma_2) = 4405,4 \text{ kg/cm}^2 > \sigma_a$: pas de risque de fissuration.

- A l'appui :

$$\tilde{w}_f = \frac{A}{B_f} = \frac{2,01}{2 \times 40 \times 2} = 0,01256$$

$$\sigma_1 = \frac{1,5 \cdot 10^6 \cdot 1,6}{8} \cdot \frac{0,01256}{1 + 10 \cdot 0,01256} = 3348 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_2 = 2,4 \sqrt{\frac{1,5 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 5,9}{8}} = 3193 \text{ kg/cm}^2$$

$\max(\sigma_1, \sigma_2) = 3348 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow$ pas de risque de fissuration.

- Condition d'appui :

L'épaisseur de l'appui (voile) est de 20 cm.

$$c = \frac{2T}{b \cdot \bar{\sigma}'_{b0}} = \frac{2 \times 2094,75}{40 \times 67,5} = 1,55 < 20 \text{ cm}$$

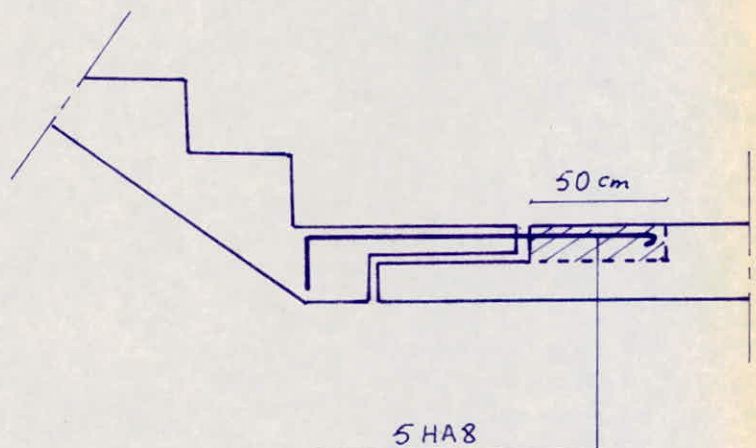
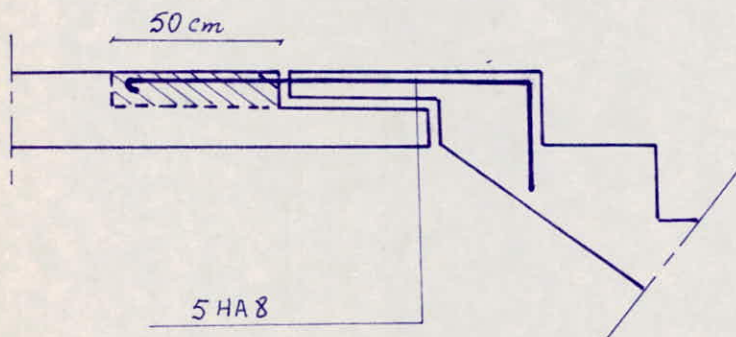
Condition vérifiée.

- Ancrage :

$$l_d = \frac{\varphi}{4} \cdot \frac{\bar{\sigma}_a}{\bar{E}_d} = \frac{12}{4} \cdot \frac{2800}{4} =$$

LIAISON PALIER-PAILLASSE

L'utilisation de l'escalier préfabriqué est un procédé très important vu la rapidité d'exécution qu'il permet en nous évitant l'opération ferrailage - coffrage - décoffrage des volées.
Cependant, d'après le règlement du C.T.C, il faut prévoir des armatures formant une parachute pour assurer une garantie contre le risque d'effondrement de la paillasse sous l'action du séisme et des charges verticales. Ces armatures seront en acier doux ou à haute adhérence.
On disposera 5 HA8 par volée ancrés de plus de 30 cm dans le béton du palier.



CALCUL DES PLANCHERS

Dans notre ouvrage nous avons utilisé deux types de Plancher :

- * Plancher rez de chaussée (Predalles)
- * Plancher étage courant (dalles pleines).

PLANCHER R-D-C PREDALLES

- Introduction :

- . Les planchers en predalles sont constitués de pièces de dalles prefabriquées ou en precontraint, d'épaisseur e (dans notre cas $e = 8 \text{ cm}$) et de largeur standard. Elles ont des barres d'attente au niveau des appuis que sont les voiles.
- Après la pose de ces plaques on coule une couche de béton dessus avec un treillis soudé pour éviter les fissurations ; on fera de sorte que la face supérieure de la predalle soit rugueuse pour assurer une bonne adhérence avec la couche de béton coulée. Après durcissement on aura un fonctionnement monolithique.
- . On utilise les predalles pour éviter le gaspillage du coffrage qui ne pourrait être récupéré après le coulage du béton vu que le plancher à corps creux ne procure pas une bonne rigidité d'ensemble à la boîte que forme l'infrastructure.
- . Le levage sera assuré par 4 crochets $\phi 10$ incorporés lors du coulage.

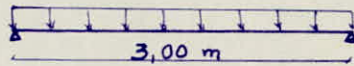
- Calcul de la predalle :

Conformément aux prescriptions du CCBA 68 art 22 le calcul de la predalle se fera pour les 3 phases suivantes :

- 1^{ère} phase : Predalle soumise à son poids propre
- 2^{ème} phase : En plus du poids propre de la predalle on tiendra compte du béton coulé et d'une surcharge de chantier (100 kg/m^2)
- 3^{ème} phase : predalle à pleine résistance sous $G+1,2 Q$

. 1^{ère} Phase :

Schema statique



$$q_1 = 0,08 \times 0,8 \times 2,5 = 0,16 \text{ t/ml} = 160 \text{ kg/ml}$$

. 2^{ème} phase :

- Poids propre de la predalle 160 kg/ml
- beton coule majeure $1,2 (0,08 \times 0,8 \times 2500) = 192 \text{ kg/ml}$
- Surcharge de chantier majeure : $1,2 \times 100 \times 0,80 = 96 \text{ kg/ml}$

$$q_2 = 448 \text{ kg/ml}$$

. 3^{ème} phase :

- dalle : $0,16 \times 0,80 \times 2500 = 320 \text{ kg/ml}$
- Carrelage : $40 \times 0,80 = 32 \text{ kg/ml}$
- Mortier de pose : $40 \times 0,80 = 32 \text{ kg/ml}$
- Sable $45 \times 0,80 = 36 \text{ kg/ml}$
- Surcharge $400 \times 0,80 = 320 \text{ kg/ml}$

$$q_3 = 420 + 1,2 \times 320 = 804 \text{ kg/ml}$$

Effort en travée : $M_t = \frac{q l^2}{10} = \frac{804 \cdot 3,00^2}{10} = 723,6 \text{ kg}\cdot\text{m}$

fermeture :

$$\mu = \frac{15 \times M}{\bar{\sigma}_a \times b \times h^2} = \frac{15 \times 723,6 \cdot 10^2}{2800 \times 80 \times 14^2} = 0,0247$$

$$\text{d'où } \begin{cases} \varepsilon = 0,9315 \\ k = 58 \end{cases}$$

$$\bar{\sigma}_b' = \frac{\bar{\sigma}_b}{k} = \frac{2800}{58} = 48,27 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_b'$$

$$A = \frac{723,6 \cdot 10^2}{2800 \cdot 0,9315 \cdot 14} = 1,98 \text{ cm}^2$$

Soit 4HA8 ($A = 2,01 \text{ cm}^2$)

. Sur appui

$$M_2 = \frac{qL^2}{20} = \frac{804 \cdot 3,00^2}{20} = 361,8 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$\mu = 0,0124 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon = 0,9502 \\ k = 85,5 \end{cases}$$

$$A = \frac{361,8 \cdot 10^2}{2800 \cdot 0,9502 \cdot 14} = 0,97 \text{ cm}^2$$

Soit 4HA6 ($A = 1,13 \text{ cm}^2$)

- Verification à la fissuration :

$$\omega_f = \frac{A}{B_f} = \frac{2,01}{2 \times 2 \times 80} = 0,00628$$

$$\bar{\sigma}_1 = \frac{k \eta}{\phi} \cdot \frac{\bar{\omega}_f}{1 + 10 \bar{\omega}_f} = \frac{1,5 \times 10^6 \times 1,6}{8} \times \frac{0,00628}{1 + 10 \times 0,00628} = 1173 \text{ kg/cm}^2$$

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

$$\max(\bar{\sigma}_1, \bar{\sigma}_2) = 3193 \text{ kg/cm}^2 > \bar{\sigma}_a \Rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

- Condition de non fragilité :

$$A_{\min} = 0,69 \cdot b \cdot h \cdot \frac{\bar{\sigma}_b}{\bar{\sigma}_{en}} = 0,69 \cdot 80 \cdot 14 \cdot \frac{5,9}{4200} = 1,08 \text{ cm}^2$$

$$A = 2,01 \text{ cm}^2 > A_{\min} \quad \text{Condition vérifiée}$$

- Armatures de repartition :

$$A_r = \max(A_{\min}, \frac{A}{4})$$

$$A_{\min} = 0,0006 \times 100 \times 16 = 0,96 \text{ cm}^2$$

$$\frac{A}{4} = \frac{2,01}{4} = 0,50 \text{ cm}^2$$

on prendra $A_r = A_{min} = 0,96 \text{ cm}^2$ soit 4HA6

avec un espacement de 25cm.

- Verification à l'effort tranchant :

effort tranchant à l'appui :

$$T = \frac{qL}{2} = \frac{804 \times 3}{2} = 1206 \text{ kg}$$

$$\tau_b = \frac{T}{b \cdot z} = \frac{1206}{80 \times \frac{7}{8} \times 14} = 1,23 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_b < \bar{\tau}_b = 1,15 \sigma'_b = 1,15 \times 5,9 = 6,78 \text{ kg/cm}^2$$

* Appui intermediaire :

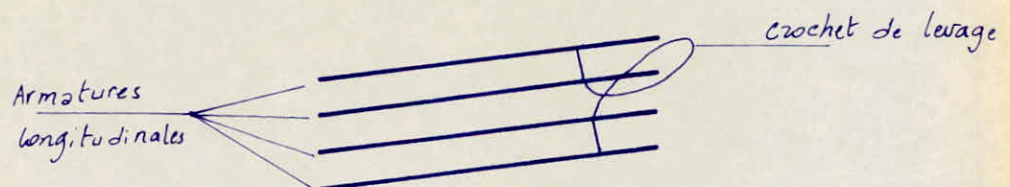
$$M_a = -361,8 \text{ kg.m}$$

$$T \cdot z = 1206 \times \frac{7}{8} \times 0,14 = 147,74 \text{ kg.m}$$

On voit que $|M_a| > T \cdot z$ donc il n'est pas necessaire de verifier pour les armatures inferieures que

$$A \cdot \bar{\sigma}_a \geq T + \frac{M}{z}$$

Disposition des aciers de levage :



ETAGE COURANT

Le coffrage utilisé est un coffrage tunnel ce qui nous permet de coffrer simultanément les voiles et les planchers.

Les dalles sont considérées comme toutes pleines, en réalité certaines présentent des petites ouvertures réservées au passage des gaines.

On distingue 3 types de dalles pour le calcul des efforts :

- dalles appuyées sur 4 côtés
- " " " 3 "
- " " " 2 " , celles-ci seront calculées comme des poutres de 1m de large.

Calcul des dalles

Nous supposerons que les dalles sont simplement appuyées sur leurs côtés, en réalité la liaison refend-plancher est un encastrement partiel ; donc nous calculerons les moments isostatiques en premier temps, puis on fera une répartition des moments en travée et sur appuis conformément aux règles du CCBA 68 art. 55.

Méthode de Calcul :

On utilisera les tables de R. BARRIS pour le calcul des efforts et les flèches sur les dalles. Les étapes de calcul se feront comme suit :

- On détermine $\gamma = \frac{a}{b}$
- Coefficient de poisson $\mu = 0,15$ pour le béton armé
- On tire de tableau correspondant au type de charges les valeurs :
 - w_s : coefficient de la flèche au milieu de la dalle
 - w_{b_s} : coefficient de la flèche au bord de la dalle appuyée sur 3 côtés.
 - M_{x_s} : Coefficient du moment au milieu de la dalle dans le sens x
 - M_{y_s} : " " " " " "
 - $M_{y_{as}}$: Coefficient du moment au milieu du bord libre de la dalle

Les coefficients donnés sont des coefficients multiplicateurs donc

Les efforts et les fleches seront :

$$f_s = w_s \cdot \frac{q a^4}{E h^3}$$

$$f_{bs} = w_{bs} \cdot \frac{q a^4}{E h^3} \quad (\text{fleche au bord})$$

q : charge en kg/cm^2

$$E : 7000 \sqrt{1,2 \cdot 0,20} = 126000 \text{ bars} = 128394 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_{xs} = M_{xs} \cdot q \cdot a^2$$

$$M_{ys} = M_{ys} \cdot q \cdot b^2$$

$$M_{yas} = M_{yas} \cdot q \cdot a^2$$

$$M_{ybs} = \mu M_{yas}$$

Calcul des efforts :

charges de calcul des panneaux :

- Plancher terrasse : $G + 1,2 Q = 0,738 + 1,2 \times 0,1 = 0,858 \text{ t/m}^2$
- Plancher etage courant : $G + 1,2 Q = 0,54 + 1,2 \times 0,175 = 0,750 \text{ t/m}^2$
- Plancher comportant une loggia : $G + 1,2 Q = 0,54 + 1,2 \times 0,3 = 0,9 \text{ t/m}^2$

Vu que les charges sont du même ordre de grandeur, on fera le calcul avec la charge la plus defavorable, $q = 0,9 \text{ t/m}^2$, le plancher terrasse sera ferreillé donc comme le plancher de l'etage courant.

Les efforts seront donnés sous forme de tableaux, l'un pour les dalles appuyées sur 4 côtés et l'autre pour celles appuyées sur 3 côtés.

Remarque :

$$\text{si } \begin{cases} \delta < 0,4 \\ \delta > 2,5 \end{cases}$$

on considerera la dalle appuyée sur 2 côtés. Le sens porteur sera, parallele au plus petit des 2 côtés.

Tableaux donnant les coefficients, les fleches (cm) et les moments (kg.m) dans les panneaux :

Panneaux appuyés sur 4 côtés :

N° du Panneau	δ	w_s		M_{x_s}		M_{y_s}	
		f_s	f_s	M_{x_s}	M_{y_s}	M_{y_s}	M_{x_s}
1	0,804	0,0703	0,23	0,0607	491,67	0,0272	340,59
9	0,671	0,0897	0,29	0,0766	620,46	0,0175	314,70
10	0,756	0,0769	0,25	0,0662	536,22	0,0235	333,34
11	0,567	0,1071	0,08	0,0900	520,2	0,0411	199,8
17	0,5	0,1189	0,02	0,0991	200,68	0,0079	63,99

Panneaux appuyés sur 3 côtés :

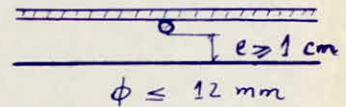
N°	δ	w_s		w_{bs}		M_{x_s}		M_{y_s}		$M_{x_{as}} = M_{y_{as}}$		
		f_s	f_s	f_{bs}	f_{bs}	M_{x_s}	M_{y_s}	M_{y_s}	M_{x_s}			
3	1,31	0,0405	0,15	0,0559	0,18	0,0182	253	0,0923	747,63	0,1264	1024	153,6
5	1,36	0,0354	0,17	0,2008	0,21	0,0166	251,14	0,0943	763,83	0,1236	1001,16	150,17
13	1,973	0,0091	0,03	0,0111	0,04	0,0067	211,33	0,1132	916,92	0,1313	1063,53	159,53

PANNEAU 1

Les panneaux 1, 2, 4, 6, 8 sont identiques :

$$\frac{h_0}{10} = 1,2 \text{ cm} \quad \phi \leq 1,2 \text{ cm}$$

$$e \geq 1 \text{ cm}$$



On prend $\phi = 8 \text{ mm}$

$$h_x = h_0 - e - \frac{\phi}{2} = 12 - 1 - \frac{0,8}{2} = 10,6 \text{ cm}$$

$$h_y = h_x - \phi = 9,8 \text{ cm}$$

Sens x :

$$M_{0x} = 491,67 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$M_t = 0,85 M_0 = 417,92 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$M_a = 0,50 M_0 = 245,84 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

En travée :

$$\mu = \frac{15 M}{\bar{\sigma}_a \cdot b \cdot h^2} = \frac{15 \times 417,92 \cdot 10^2}{2800 \times 100 \times 10,6^2} = 0,0199 \Rightarrow \begin{cases} \epsilon = 0,9380 \\ \kappa = 65,5 \end{cases}$$

$$\sigma'_s = \frac{2800}{65,5} = 42,75 \text{ kg}/\text{cm}^2 < \bar{\sigma}'_s$$

$$A = \frac{M}{\bar{\sigma}_a \cdot \epsilon \cdot h} = \frac{417,92 \cdot 10^2}{2800 \cdot 0,9380 \cdot 10,6} = 1,50 \text{ cm}^2$$

on prendra 6HAC ($A = 1,69 \text{ cm}^2$)

$$A_{\min} = 0,69 \cdot b \cdot h \cdot \frac{\bar{\sigma}'_b}{\bar{\sigma}_{en}} \left(1 - \frac{\rho}{2}\right)$$

$$= 0,69 \cdot 100 \cdot 10,6 \cdot \frac{5,9}{4200} \left(1 - \frac{0,804}{2}\right) = 0,61 \text{ cm}^2 < A$$

Condition vérifiée.

Sur appui :

$$\mu = \frac{15 \times 245,84 \cdot 10^2}{2800 \times 100 \times 10,6^2} = 0,0117 \Rightarrow \begin{cases} \epsilon = 0,9517 \\ \kappa = 88,5 \end{cases}$$

$$A = \frac{245,84 \cdot 10^2}{2800 \times 0,9517 \times 10,6} = 0,87 \text{ cm}^2$$

on prendra 4 HAG ($A = 1,13 \text{ cm}^2$)

$$A_{\min} = 0,69 \cdot b \cdot h \cdot \frac{\bar{\sigma}_b}{\sigma_{en}} \left(\frac{1+\rho}{4} \right) = 0,69 \times 100 \times 10,6 \times \frac{5,9}{4200}$$

$$A_{\min} = 0,46 \text{ cm}^2 < A$$

Sens y : $M_{0y} = 340,59 \text{ kg.m}$

$$M_t = 289,5 \text{ kg.m}$$

$$M_a = 170,30 \text{ kg.m}$$

En travée :

$$\mu = 0,0161 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon = 0,9438 \\ k = 74 \end{cases}$$

$$A = 1,11 \text{ cm}^2 \quad \text{Soit 4 HAG } (A = 1,13 \text{ cm}^2)$$

Sur appui :

$$\mu = 0,0095 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon = 0,9561 \\ k = 99 \end{cases}$$

$$A = 0,65 \text{ cm}^2$$

$$A_{\min} = 0,69 \times 100 \times 9,8 \times \frac{5,9}{4200} \left(\frac{1+0,806}{4} \right) = 0,46 \text{ cm}^2 < A$$

on prendra 3 HAG ($A = 0,84 \text{ cm}^2$)

PANNEAU 9

les panneaux 9, 14, et 15 sont identiques

Sens x : $M_0 = 620,46 \text{ kg.m}$

$$M_t = 527,39 \text{ kg.m}$$

$$M_a = 310,23 \text{ kg.m}$$

En travée :

$$\mu = 0,0251 \Rightarrow \begin{cases} E = 0,9310 \\ k = 57,5 \end{cases}$$

$$A = 1,91 \text{ cm}^2 \text{ soit } 4 \text{ HA } 8 \quad (A = 2,01 \text{ cm}^2)$$

Sur appui :

$$\mu = 0,0148 \Rightarrow \begin{cases} E = 0,9460 \\ k = 77,5 \end{cases}$$

$$A = 1,10 \text{ cm}^2 \text{ soit } 4 \text{ HA } 6 \quad (A = 1,13 \text{ cm}^2)$$

Sens y : $M_0 = 314,70 \text{ t.m}$

$$M_t = 267,70 \text{ t.m}$$

$$M_a = 157,35 \text{ t.m}$$

En travée :

$$\mu = 0,0149 \Rightarrow \begin{cases} E = 0,9459 \\ k = 77,5 \end{cases}$$

$$A = 1,03 \text{ cm}^2 \text{ soit } 4 \text{ HA } 6$$

Sur appui :

$$\mu = 0,0087 \Rightarrow \begin{cases} E = 0,9580 \\ k = 104 \end{cases}$$

$$A = 0,60 \text{ cm}^2$$

$$A_{\min} = 0,69 \times 100 \times 9,8 \times \frac{5,9}{4200} \left(\frac{1 + 0,671}{4} \right) = 0,40 \text{ cm}^2 < A$$

don on prendra 3 HA6

PANNEAUX 10 et 12

Sens x : $M_0 = 536,22 \text{ kg.m}$

$$M_t = 455,79 \text{ kg.m}$$

$$M_a = 268,11 \text{ kg.m}$$

. En travée :

$$\mu = 0,0217 \Rightarrow \begin{cases} E = 0,9355 \\ K = 62,5 \end{cases}$$

$$A = 1,64 \text{ cm}^2 \quad \text{soit } 6 \text{ HAG}$$

. Sur appui :

$$\mu = 0,0129 \Rightarrow \begin{cases} E = 0,9494 \\ K = 83,75 \end{cases}$$

$$A = 0,95 \text{ cm}^2 \quad \text{soit } 4 \text{ HAG}$$

Sens y :

$$M_o = 277,78 \text{ kg.m}$$

$$M_t = 236,11 \text{ kg.m}$$

$$M_a = 138,89 \text{ kg.m}$$

. En travée :

$$\mu = 0,0131 \Rightarrow \begin{cases} E = 0,9490 \\ K = 83 \end{cases}$$

$$A = 0,91 \text{ cm}^2 \quad \text{soit } 4 \text{ HAG}$$

. Sur appui :

$$\mu = 0,0077 \Rightarrow \begin{cases} E = 0,9603 \\ K = 111 \end{cases}$$

$$A = 0,53 \text{ cm}^2$$

$$A_{\min} = 0,42 \text{ cm}^2 < A \quad \text{on prendra donc } 3 \text{ HAG } (A = 0,84 \text{ cm}^2)$$

PANNEAUX 17-18

. Sens x :

$$M_o = 200,68 \text{ kg.m}$$

$$M_t = 170,58 \text{ kg.m}$$

$$M_a = 100,34 \text{ kg.m}$$

. En travée :

$$\mu = 0,0081 \Rightarrow \begin{cases} E = 0,9593 \\ K = 108 \end{cases}$$

$$A = 0,60 \text{ cm}^2 \quad \text{on prendra } 4 \text{ HAG}$$

Sur appui : $\mu = 0,0048 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon = 0,9686 \\ k = 144 \end{cases}$

$$A = 0,35 \text{ cm}^2$$

$$A_{\min} = 39 \text{ cm}^2 > A \quad \text{on prendra 3 HA6 (A = 0,84 cm}^2\text{)}$$

Sens y : $M_o = 63,99 \text{ kg.m}$

d'effort dans ce sens est très faible ce qui nous donne de faibles sections d'acier, on ferraillera donc avec une section minimum.

$$A_{\min} = 0,36 \text{ cm}^2 \quad \text{on prendra 3 HA6 sur appui et en travée.}$$

PANNEAU 3

Sens x : $M_{o,x} = 253 \text{ kg.m}$

$$M_t = 215 \text{ kg.m}$$

$$M_a = 126,5 \text{ kg.m}$$

En travée :

$$\mu = 0,0103 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon = 0,9545 \\ k = 95 \end{cases}$$

$$A = 0,76 \text{ cm}^2 \quad \text{Soit 4 HA6 (A = 1,13 cm}^2\text{)}$$

Sur appui :

$$\mu = 0,0061 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon = 0,9645 \\ k = 126 \end{cases}$$

$$A = 0,45 \quad \text{Soit 3 HA6 (A = 0,84 cm}^2\text{)}$$

Sens y :

$$M_{o,y} = 1024 \text{ kg.m}$$

$$M_t = 870,4 \text{ kg.m}$$

$$M_a = 512 \text{ kg.m}$$

En travée :

$$\mu = 0,0485 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon = 0,9074 \\ k = 39 \end{cases}$$

$$A = 3,50 \text{ cm}^2 \quad \text{Soit 7 HA8 (A = 3,51 cm}^2\text{)}$$

Sur appui :

$$\mu = 0,0285 \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} \varepsilon = 0,9270 \\ k = 53,5 \end{cases}$$

$$A = 2,05 \text{ cm}^2 \quad \text{soit} \quad 5 \text{ HA8} \quad (A = 2,51 \text{ cm}^2)$$

PANNEAU 13

Sens x :

$$M_{ox} = 211,33 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$M_t = 179,63 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$M_a = 105,67 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

En travée :

$$\mu = 0,0085 \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} \varepsilon = 0,9583 \\ k = 105 \end{cases}$$

$$A = 0,63 \text{ cm}^2$$

$$A_{\min} = 0,77 \text{ cm}^2 \quad \text{soit} \quad 4 \text{ HA6} \quad (A = 1,13 \text{ cm}^2)$$

Sur appui :

$$\mu = 0,0050 \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} \varepsilon = 0,9677 \\ k = 140 \end{cases}$$

$$A = 0,37 \text{ cm}^2$$

$$A_{\min} = 0,71 \text{ cm}^2 \quad \text{soit} \quad 3 \text{ HA6} \quad (A = 0,84 \text{ cm}^2)$$

Sens y :

$$M_{oy} = 1063,53 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$M_t = 904 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$M_a = 531,77 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

En travée :

$$\mu = 0,0504 \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} \varepsilon = 0,9058 \\ k = 38,1 \end{cases}$$

$$A = 3,64 \text{ cm}^2 \quad \text{soit} \quad 7 \text{ HA8} \quad (A = 3,51 \text{ cm}^2)$$

Sur appui

$$\mu = 0,0297 \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} \varepsilon = 0,9256 \\ k = 52,25 \end{cases}$$

$$A = 2,10 \text{ cm}^2 \quad \text{soit} \quad 5 \text{ HA8} \quad (2,51 \text{ cm}^2)$$

PANNEAU 11

Sens x :

$$M_{0x} = 520,2 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$M_t = 422,17 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$M_a = 260,1 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

En travée :

$$\mu = 0,0201 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon = 0,9378 \\ k = 65,5 \end{cases}$$

$$A = 1,52 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{on prendra 4HA8 (2,01 cm}^2\text{)}$$

Sur appui :

$$\mu = 0,0124 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon = 0,9502 \\ k = 85,5 \end{cases}$$

$$A = 0,92 \text{ cm}^2 \text{ soit 4HA6 (1,13 cm}^2\text{)}$$

Sens y :

$$M_{0y} = 199,8 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$M_t = 169,83 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$M_a = 99,9 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

En travée :

$$\mu = 0,0095 \Rightarrow \begin{cases} 0,9561 = \varepsilon \\ k = 99 \end{cases}$$

$$A = 0,65 \text{ cm}^2 \text{ soit 4HA6 (1,13 cm}^2\text{)}$$

Sur appui :

$$\mu = 0,0055 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon = 0,9660 \\ k = 132 \end{cases}$$

$$A = 0,38 \text{ cm}^2$$

$$A_{\min} = 0,37 \text{ cm}^2 \text{ donc on prendra 3HA6 (0,84 cm}^2\text{)}$$

PANNEAU 7

Sens porteur : $M_o = \frac{qL^2}{8} = \frac{900 \times 3,5^2}{8} = 1012,5 \text{ kg}\cdot\text{m}$

$$M_t = 810 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$M_a = 506,25 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

En travée :

$$\mu = 0,0386 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon = 0,9163 \\ \kappa = 44,8 \end{cases}$$

$$A = 2,99 \text{ cm}^2 \quad \text{soit } 6 \text{ HA}8 \quad (A = 3,01 \text{ cm}^2)$$

Sur appui :

$$\mu = 0,0241 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon = 0,9323 \\ \kappa = 59 \end{cases}$$

$$A = 1,83 \text{ cm}^2 \quad \text{soit } 4 \text{ HA}8 \quad (2,01 \text{ cm}^2)$$

Armatures de repartition :

$$\text{on prendra } A = \frac{A_t}{4} = 0,75 \text{ cm}^2 \quad \text{soit } 3 \text{ HA}6 \text{ p.m. } (0,84 \text{ cm}^2)$$

PANNEAU 16

$$\delta = \frac{1}{3} = 0,33 < 0,4 \quad \text{donc le panneau sera considéré comme étant appuyé sur 2 côtés}$$

Sens porteur : $M_o = \frac{900 \times 1^2}{8} = 112,5 \text{ kg}\cdot\text{m}$

$$M_t = 95,63 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$M_a = 56,25 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

En travée :

$$\mu = 0,0046 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon = 0,9690 \\ \kappa = 146 \end{cases}$$

$$A = 0,33 \text{ cm}^2$$

$$\text{on a } A_{\min} = 0,86 \text{ cm}^2 \quad \text{on prendra } 4 \text{ HA}6 \quad (1,13 \text{ cm}^2)$$

Sur appui : $\mu = 0,0027 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon = 0,9763 \\ \kappa = 196 \end{cases}$

$$A = 0,19 \text{ cm}^2 \quad ; \quad \text{on a } A_{\min} = 0,86 \text{ cm}^2$$

$$\text{on prendra } 4 \text{ HA}6 \quad (1,13 \text{ cm}^2)$$

Armature de repartition : on prendra 3 HA6 p.m.

Verification à la fissuration :

On fera la verification avec le diametre maximum, donc la condition sera verifiée pour tous les panneaux.

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= k \frac{\eta}{\phi} \frac{w_f}{1+10\tilde{w}_f} \\ \sigma_2 &= 2,4 \sqrt{\frac{k \eta \bar{\sigma}_b}{\phi}} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\max(\sigma_1, \sigma_2) > \bar{\sigma}_a ? \\ &\text{il suffit que } \sigma_2 \text{ soit sup. à } \bar{\sigma}_a \text{ et} \\ &\text{la condition sera verifiée.} \end{aligned}$$

$$k = 1,5 \cdot 10^6 \quad \text{fissuration peu nuisible}$$

$$\eta = 1,6 \quad \text{coefficient de fissuration pour H.A}$$

$$\sigma_2 = 2,4 \sqrt{\frac{1,5 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 5,9}{8}} = 3193 \text{ kg/cm}^2 > \bar{\sigma}_a = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

Condition verifiée.

Verification à l'effort tranchant :

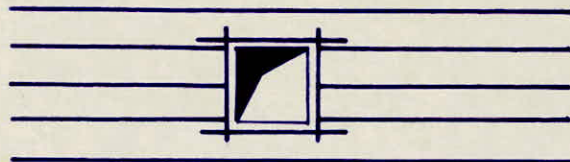
$$T = \frac{q_l}{2} = \frac{900 \cdot 3}{2} = 1350 \text{ kg}$$

$$\bar{\tau}_b = \frac{T}{b \cdot z} = \frac{1350}{100 \cdot \frac{7}{8} \cdot 10,6} = 1,46 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\tau}_b < \bar{\tau}_b = 1,15 \bar{\sigma}_b = 6,78 \text{ kg/cm}^2$$

Ouvertures dans les panneaux :

Les panneaux comportent des trous pour le passage des gaines, dans le cas où ces ouvertures sont supérieures à l'espacement des armatures de la dalle on coupe les barres et on renforce les contours des trous par des barres de même diametre. Sinon aucune disposition n'est à prendre.



PANNEAU 5

$$h_t = 16 \text{ cm}$$

Sens x :
$$M_{ox} = 251,14 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$M_t = 213,47 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$M_a = 125,57 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

En travée :

$$\mu = 0,0058 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon = 0,9650 \\ \kappa = 128 \end{cases}$$

$$A = 0,56 \text{ cm}^2$$

$$A_{\min} = 0,43 \text{ cm}^2 \text{ soit } 4 \text{ HA6 } (A = 1,13 \text{ cm}^2)$$

Sur appui :

$$\mu = 0,0034 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon = 0,9733 \\ \kappa = 172 \end{cases}$$

$$A = 0,34 \text{ cm}^2$$

$$A_{\min} = 0,43 \text{ cm}^2 \text{ soit } 3 \text{ HA6 } (A = 0,84 \text{ cm}^2)$$

Sens y :

$$M_{oy} = 1001,16 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$M_t = 851 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$M_a = 500,58 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

En travée :

$$\mu = 0,0233 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon = 0,9334 \\ \kappa = 60 \end{cases}$$

$$A = 2,33 \text{ cm}^2 \text{ soit } 5 \text{ HA8 } (A = 2,51 \text{ cm}^2)$$

En appui :

$$\mu = 0,0137 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon = 0,9479 \\ \kappa = 81 \end{cases}$$

$$A = 1,35 \text{ cm}^2 \text{ soit } 3 \text{ HA8 } (A = 1,50 \text{ cm}^2)$$

POUTRES NOYÉES

Poutre noyée au bord de la Loggia :

- * Poids p.m du garde corps : 0,70 t/ml
- * " " de la poutre : $0,30 \times 0,9 = 0,270$ t/ml

$$\text{charge totale : } q = 0,970 \text{ t/ml}$$

Schema statique :



$$M_0 = \frac{q l^2}{8} = \frac{970 \times 3^2}{8} = 1091,25 \text{ kg.m}$$

$$M_t = 0,80 M_0 = 873 \text{ kg.m}$$

$$M_a = 0,50 M_0 = 545,63 \text{ kg.m}$$

. En travée :

$$M_{rb} = k b h^2 \quad ; \quad \bar{\alpha} = \frac{n \bar{\sigma}'_b}{n \bar{\sigma}'_b + \bar{\sigma}_a} = \frac{15 \times 137,5}{15 \times 137,5 + 2800} = 0,424$$

$$\bar{\epsilon} = 1 - \frac{\bar{\alpha}}{3} = 0,8586$$

$$k = \frac{1}{2} \bar{\sigma}'_b \cdot \bar{\alpha} \cdot \bar{\epsilon} = 25,04$$

$$M_{rb} = 25,04 \cdot 30 \cdot 10^2 = 751,20 \text{ kg.m} > M_{ext}$$

$$\Delta M = 873 - 751,2 = 121,8 \text{ kg.m.}$$

$$A' = \frac{\Delta M}{\sigma'_a (h - d')} \quad ; \quad \sigma'_a = n \bar{\sigma}'_b \frac{\bar{\alpha} - \delta'}{\bar{\alpha}}$$

$$\delta' = \frac{d'}{h} = \frac{2}{10} = 0,2 \quad ; \quad \sigma'_a = 15 \times 137,5 \frac{0,424 - 0,2}{0,424} = 1090 \text{ kg/cm}^2$$

$$A' = \frac{12180}{(10 - 2) 1090} = 1,39 \text{ cm}^2 \text{ soit } 34A8$$

$$A = \frac{M_{rb}}{\bar{\epsilon} \cdot h \cdot \bar{\sigma}_a} + \frac{\Delta M}{\bar{\sigma}_a (h - d')} = \frac{75120}{0,8586 \times 10 \times 2800} + \frac{12180}{2800 \times 8} =$$

$$A = 3,67 \text{ cm}^2$$

soit 5HA10 ($A = 3,92 \text{ cm}^2$)

. Sur appui :

$$M_a = 545,63 \text{ kg}\cdot\text{m} < M_{rb}$$

$$\mu = \frac{15 \times 545,63 \cdot 10^2}{2800 \times 30 \times 10^2} = 0,0974 \Rightarrow \begin{cases} E = 0,8755 \\ k = 25,2 \end{cases}$$

$$A = \frac{545,63 \cdot 10^2}{2800 \times 0,8755 \times 10} = 2,23 \text{ cm}^2 \quad \text{Soit 5 HA 8}$$

$$\sigma'_b = \frac{\bar{\sigma}_a}{k} = \frac{2800}{25,2} = 111,11 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b$$

Poutre noyée supportant le mur en béton banché :

- hauteur totale $h_t = 20 \text{ cm}$
- Largeur = 20 cm
- Poids propre : $0,20 \times 0,20 \times 2,5 = 0,10 \text{ t/ml}$
- Poids du mur : $0,20 \times 2,81 \times 2,5 = 1,405 \text{ t/ml}$

$$q = 1,505 \text{ t/ml} = 1505 \text{ kg/ml}$$

$$M_0 = \frac{q l^2}{8} = \frac{1505 \times 3,00^2}{8} = 1693,125 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$M_t = 0,8 M_0 = 1354,5 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$M_a = 0,5 M_0 = 846,56 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

. En travée :

$$\mu = 0,1120 \Rightarrow \begin{cases} E = 0,8683 \\ k = 23 \end{cases}$$

$$\sigma'_b = \frac{2800}{23} = 122 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b$$

$$A = 3,09 \text{ cm}^2 \quad \text{Soit 4 HA 10} \quad (A = 3,14 \text{ cm}^2)$$

. Sur appui

$$\mu = 0,0700 \Rightarrow \begin{cases} E = 0,8915 \\ k = 31,1 \end{cases}$$

$$\sigma'_b = \frac{2800}{31,1} = 90 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b$$

$$A = 1,88 \text{ cm}^2 \quad \text{Soit 4 HA 1}$$

* Vérification à la fissuration

$$\tilde{\omega}_f = \frac{A}{B_f} = \frac{3,14}{2 \times 2 \times 20} = 0,03925$$

$$\sigma_1 = \frac{k \eta}{\phi} \cdot \frac{\bar{w}_f}{1 + 10 \bar{w}_f} = \frac{1,5 \cdot 10^6 \cdot 1,6}{10} \cdot \frac{0,03925}{1 + 10 \cdot 0,03925} = 6765 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_1 > \bar{\sigma}_a$: donc pas de risque de fissuration

* Verification à l'effort tranchant :

$$\sigma'_b = 122 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{on a} \quad \bar{\sigma}'_{b_0} < \sigma'_b < 2 \bar{\sigma}'_b$$

$$\text{donc} \quad \bar{\sigma}'_b = \left(4,5 - \frac{\sigma'_b}{\bar{\sigma}'_{b_0}}\right) \bar{\sigma}'_b = \left(4,5 - \frac{122}{68,5}\right) \times 5,9 = 16,04 \text{ kg/cm}^2$$

$$T = \frac{q l}{2} = \frac{1505 \times 3}{2} = 2257,5 \text{ kg}$$

$$\bar{\sigma}'_b = \frac{T}{b \cdot z} = \frac{2257,5}{20 \times 0,875 \times 18} = 7,17 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b$$

Condition vérifiée.

* Armatures transversales :

$$\begin{aligned} \sigma_{at} &= \left(1 - \frac{\bar{\sigma}'_b}{9 \bar{\sigma}'_b}\right) \cdot \sigma_{en} = \left(1 - \frac{7,17}{9 \times 5,9}\right) \cdot \sigma_{en} \\ &= 0,865 \times 2400 = 2076, \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$A_t = 1,13 \text{ cm}^2 \quad : \quad 2 \text{ cadres } \phi 6$$

- espacement au voisinage de l'appui :

$$t = \frac{A_t \cdot z \cdot \sigma_{at}}{T} = \frac{1,13 \cdot 0,875 \times 18 \times 2076}{2257,5} = 16,4 \text{ cm}$$

- espacement minimum :

$$\bar{t} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,2 h = 0,2 \times 18 = 3,6 \text{ cm} \\ h \left(1 - \frac{0,3 \cdot \bar{\sigma}'_b}{\bar{\sigma}'_b}\right) = 18 \left(1 - 0,3 \cdot \frac{7,17}{5,9}\right) = 11,4 \text{ cm} \end{array} \right.$$

on prendra $t_0 = 10 \text{ cm}$

Pour la repartition des armatures transversales le long de la poutre on utilisera la serie de Caquot

$$\frac{l}{2} = \frac{3}{2} = 1,5 \quad \text{on prendra } n = 2$$

La zone nodale d'après le R.P.A est de $2h_t = 2 \times 20 = 40 \text{ cm}$
donc on ne doit pas y dépasser \bar{t} :
Donc les armatures transversales seront disposées comme suit :

$$5, 4 \times 11, 2 \times 13, 2 \times 16, 2 \times 21$$

* Conditions d'appui :

- Vérification de la section d'armatures :

Les armatures inférieures doivent être suffisantes pour équilibrer l'effort de traction $T + \frac{M}{\bar{\sigma}}$

$$\text{Soit } A \cdot \bar{\sigma}_a \geq T + \frac{M}{\bar{\sigma}}$$

$$A \bar{\sigma}_a = 3,14 \times 2800 = 8792 \text{ kg.}$$

$$T + \frac{M}{\bar{\sigma}} = 2257,5 + \frac{846,56 \cdot 10^2}{0,875 \cdot 18}$$

$$= 7632,5 \text{ kg} < 8792 \text{ kg} = A \bar{\sigma}_a \quad \text{donc condition vérifiée}$$

Il sera plus simple de prolonger les armatures inférieures jusqu'aux appuis.

- Ancrage des armatures supérieures :

$$F = \frac{M}{\bar{\sigma}} = \frac{84656}{0,875 \times 18} = 5375 \text{ kg.}$$

$$\bar{\sigma}_a = \frac{F}{A} = \frac{5375}{3,14} = 1711,8 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a$$

$$\bar{\sigma}_d = 1,25 \psi^2 \bar{\sigma}_b = 16,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$l_d = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\bar{\sigma}_a}{\bar{\sigma}_d} = \frac{1,0}{4} \times \frac{1711,8}{16,6} = 25,8 \text{ cm.}$$

on prendra $l_d = 30 \text{ cm.}$

CALCUL

DES

INERTIES

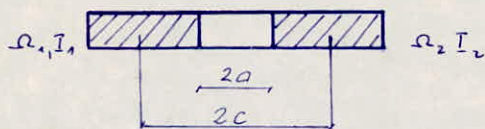
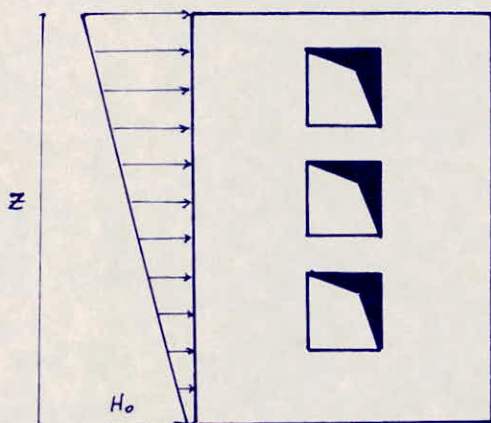
CALCUL DES INERTIES

INERTIE EQUIVALENTE

Notre structure comporte des voiles avec une ou plusieurs files d'ouvertures. Pour ces voiles on utilisera la notion d'inertie équivalente qui permet par un artifice de calcul d'assimiler les refends avec ouvertures à des refends pleins. Pour la distribution des efforts, le refend avec ouvertures est remplacé par un refend plein fictif dont l'inertie est évaluée ci-après (d'après M. Dizez)

Par définition l'"inertie équivalente" d'un refend est l'inertie d'un refend linéaire plein fictif, qui soumis au même effort horizontal reparti sur toute la hauteur du bâtiment, présenterait à son sommet une fleche égale à celle du refend avec ouvertures.

a) Refend à une seule file d'ouvertures :



Dans le cas d'un refend plein la fleche au sommet est :

$$f_0 = \frac{11 H_0 z^3}{60 E I_e}$$

Pour un refend à une file d'ouvertures :

$$f = H_0 z^3 \left(\frac{11}{60 E I} + \frac{2 m c}{I} \frac{v_0}{\alpha^2} \frac{1}{E (I_1 + I_2)} \right)$$

en égalisant les fleches

$$f = f_0 \quad \text{on aura :}$$

$$\frac{11}{60 E I} + \frac{2 m c}{I} \frac{v_0}{\alpha^2} \frac{1}{E (I_1 + I_2)} = \frac{11}{60 E I}$$

d'où

$$I_e = \frac{I}{\frac{60}{11} \cdot \frac{2 m c}{I_1 + I_2} \cdot \frac{v_0}{\alpha^2} + 1}$$

* Notation :

- m : moment statique de la section par rapport au c.d.g.

$$m = \frac{z}{2} \left(\frac{1}{\Omega_1} + \frac{1}{\Omega_2} \right)$$

- Ω_1, Ω_2 : Aires des sections pleines planes.
 - z : distance entre les 2 c.d.g. des sections pleines.
 - $2a$: largeur de l'ouverture

- α : degrés de monolithisme : $\alpha = w \cdot z$

$$w^2 = \frac{3 \alpha E'}{I} \cdot \frac{E (I_1 + I_2)}{m} \cdot \frac{\alpha^3 l}{c}$$

- l : hauteur d'étage

- x : inertie du linteau

- E' : Module d'inertie longitudinal du matériau constituant le linteau

- E : Module d'inertie longitudinal du matériau constituant le refend.

- w_0 : Coefficient lu sur l'abaque B.23 b à la côte zéro. du livre "calcul des tours en B.A." de M. Diver.

b) Refend à plusieurs files d'ouvertures :

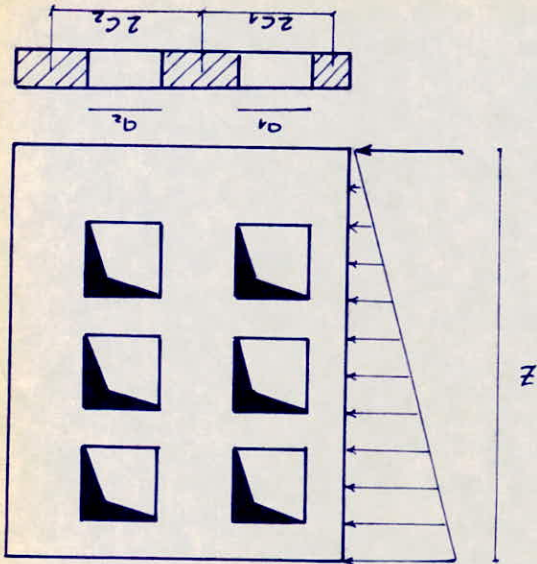
La flèche approximative d'un refend à plusieurs files d'ouvertures est :

$$f = H_0 z^3 \left(\frac{11}{60EI} + \frac{\alpha^2}{w_0} \frac{E (I_1 + I_2 + \dots + I_n)}{1} \right)$$

$$f = \frac{11}{60EI} \frac{H_0 z^3}{E I_e}$$

en égalisant les 2 termes on aura :

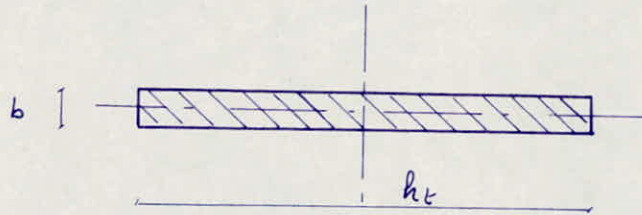
$$I_e = \frac{\frac{60}{11} \frac{H_0 z^3}{I} \cdot \frac{\sum I_i \alpha_i^2}{w_0} + 1}{I}$$



. Remarque : Dans ce cas on néglige les déformations dues à l'effort normal dans les éléments de refend.

c) Voiles Pleins :

Dans ce cas le calcul de l'inertie sera fait pour une section rectangulaire par rapport à l'un axe passant par son centre de gravité.

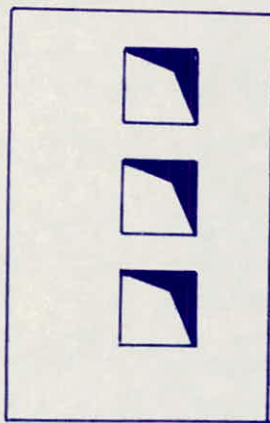


$$I = \frac{b h_t^3}{12}$$

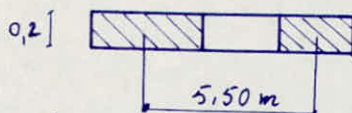
EXEMPLES DE CALCUL

a) Refend à une file d'ouvertures :

Voiles V_{T1} ; V_{T2}



1,00 m



5,50 m

$$\begin{aligned} 2c &= 5,50 \text{ m} \\ \Omega_1 &= 0,974 \text{ m}^2 \\ \Omega_2 &= 0,826 \text{ m}^2 \\ 2a &= 1,00 \text{ m} \end{aligned}$$

$$m = \frac{2c}{\frac{1}{\Omega_1} + \frac{1}{\Omega_2}} = 2,458 \text{ m}^3$$

$$I_1 = \frac{4,87^3 \times 0,20}{12} = 1,925 \text{ m}^4$$

$$I_2 = \frac{4,13^3 \times 0,20}{12} = 1,174 \text{ m}^4$$

$$I = I_1 + I_2 + 2mc = 16,618 \text{ m}^4$$

$$i = \frac{bh^3}{12} = \frac{0,20 \times 0,33^3}{12} = 0,000599 \text{ m}^4$$

$$\omega^2 = \frac{3i}{\sum I_i} \cdot \frac{I}{m} \cdot \frac{c}{a^3 l} = \frac{3 \times 0,000599}{1,925 + 1,174} \cdot \frac{16,618}{2,458} \cdot \frac{2,75}{0,50^3 \cdot 3,01}$$

$$\omega^2 = 0,0286 \Rightarrow \omega = 0,169$$

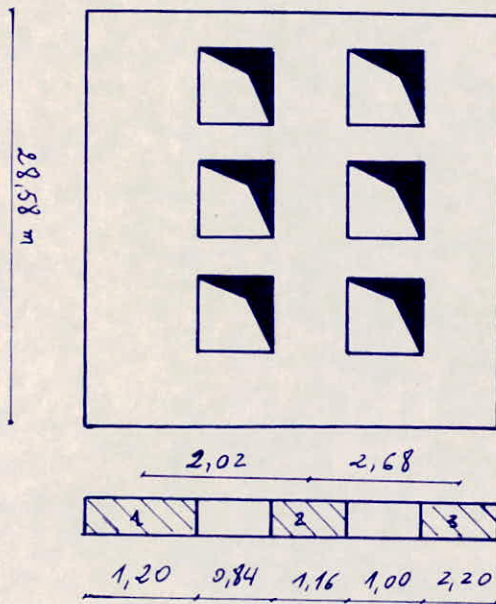
$$\alpha = \omega z = 0,169 \times 28,58 = 4,83 \Rightarrow \psi_0 = 0,475 \text{ (abaque)}$$

$$\text{d'où } I_e = \frac{I}{\frac{60}{11} \frac{2mc}{I_1 + I_2} \frac{\psi_0}{\alpha^2} + 1} = \frac{16,618}{\frac{60}{11} \times \frac{2,458 \times 5,50}{1,925 + 1,174} \cdot \frac{0,475}{4,83^2} + 1}$$

$$I_e = 9,720 \text{ m}^4$$

b) Refend à Plusieurs files d'ouvertures

Voile V_{L4} (2 files d'ouvertures)



$$\Omega_1 = 0,24 \text{ m}^4$$

$$\Omega_2 = 0,232 \text{ m}^4$$

$$\Omega_3 = 0,44 \text{ m}^4$$

$$O_G = \frac{\sum \Omega_i d_i}{\sum \Omega_i} = \frac{3,083}{0,912} = 3,38 \text{ m}$$

$$d_1 = 2,78 \text{ m}$$

$$d_2 = 0,76 \text{ m}$$

$$d_3 = 1,92 \text{ m}$$

$$I_1 = \frac{1,20^3}{12} \times 0,2 = 0,0288 \text{ m}^4$$

$$I_2 = \frac{1,16^3}{12} \times 0,2 = 0,0260 \text{ m}^4$$

$$I_3 = \frac{2,2^3}{12} \times 0,2 = 0,1775 \text{ m}^4$$

$$I = \sum I_i + \sum \Omega_i d_i^2$$

$$I = (0,0288 + 0,0260 + 0,1775) + (0,24 \times 2,78^2 + 0,232 \times 0,76^2 + 0,44 \times 1,92^2) = 3,8431 \text{ m}^4$$

$$\bar{I} = 3,8431 \text{ m}^4$$

$$\omega^2 = \frac{6}{4} \cdot 0,0082 \left[\frac{2,02^2}{0,42^3} + \frac{2,68^2}{0,5^3} \right] \frac{1}{3,01 \times 0,2323} = 1,9796$$

$$\omega^2 = 1,9796 \Rightarrow \omega = 1,4$$

$$\alpha = \omega z = 40,21 \rightarrow \psi_0 = 0,66 \text{ (abaque B23.b)}$$

$$I_e = \frac{3,8431}{\frac{60}{11} \cdot \frac{3,8431}{0,2323} \cdot \frac{0,66}{40,21^2} + 1} = 3,646 \text{ m}^4$$

Les résultats de toutes les inerties des autres voiles sont donnés dans le tableau ci-joint.

N° du voile	Nbre de file d'osier	L (m)	zC (m)	zA (m)	m (m ²)	I (m ⁴)	ω	α	ψ_0	I_e (m ⁴)
V _{T1} V _{T2}	1	10,00	5,50	1,00	2,458	16,618	0,169	4,83	0,475	9,720
V _{T3} V _{T8}	1	11,25	6,125	1,00	3,021	23,497	0,151	4,313	0,470	13,437
V _{T4} V _{T7}	3	11,25	2,485 2,915 4,135	0,84 1,00 2,15	—	18,456	0,694	19,830	0,66	13,91
V _{T5} V _{T6}	1	10,00	5,52	1,04	2,458	16,619	0,596	17,04	0,66	15,376
V _{T9}	0	10,00	—	—	—	16,66	—	—	—	—
V _{L1} V _{L12}	1	4,80	3,20	1,60	0,512	1,774	0,534	15,27	0,66	1,394
V _{L2} V _{L13}	1	6,20	3,90	1,60	0,814	3,692	0,346	9,886	0,565	2,876
V _{L3} V _{L4}	0	1,60	—	—	—	0,068	—	—	—	—
V _{L4}	1	5,56	3,20	0,84	0,755	2,854	1,234	35,26	0,66	2,788
V _{L4}	2	6,40	2,02 2,68	0,84 1,00	—	3,843	1,41	40,21	0,66	3,646
V _{L5}	1	3,40	2,12	0,84	0,268	0,640	1,983	56,68	0,66	0,632
V _{L6} V _{L11}	0	2,36	—	—	—	0,219	—	—	—	—
V _{L7}	0	4,52	—	—	—	1,539	—	—	—	—
V _{L7}	0	3,20	—	—	—	0,542	—	—	—	—
V _{L8} V _{L10}	0	1,50	—	—	—	0,0562	—	—	—	—
V _{L9}	1	3,20	2,15	1,10	0,226	0,524	1,784	50,98	0,66	0,511

**CALCUL
DES
PERIODES
PRINCIPALES**

CALCUL DES PERIODES PROPRES

Dans le but d'apprécier au mieux les efforts qui s'exercent sur la structure, nous avons calculé les périodes propres de notre ouvrage ; pour cela nous avons utilisé la méthode de Rayleigh.

ETAPES DE CALCUL

- * Choix du modèle mathématique
 - * Calcul itératif.
- * Le modèle choisi doit refléter aussi fidèlement que possible le comportement dynamique réel de la structure. Nous assimilerons notre bâtiment à une console encastrée au niveau du rez de chaussée. Cette hypothèse est justifiée du fait qu'au niveau de l'infrastructure, les épaisseurs des voiles sont de 25 cm, la boîte rigide que forment ces voiles constitue le niveau d'encastrement de notre structure. La console supporte "n" masses concentrées au niveau des planchers, fixées à un support d'inertie constante et de masse négligeable. Nous admettrons que le seul degré de liberté est le déplacement dans la direction de la vibration, nous négligerons une éventuelle rotation autour de l'axe vertical de la console.
- * La méthode de Rayleigh est basée sur le principe de conservation de l'énergie. Elle n'est applicable qu'aux systèmes conservatifs ; néanmoins cette méthode peut être appliquée pour le calcul des caractéristiques dynamiques des structures réelles en admettant que les frottements et l'influence de l'amortissement sur les valeurs des formes propres sont négligeables.

Pour un système élastique, la loi de conservation de l'énergie s'écrit :

$$E_T = E_c + E_p = \text{cste}$$

E_T : énergie totale
 E_p : " potentielle
 E_c : " cinétique

Quand E_p est maximum, $E_c = 0$ et vice-versa.

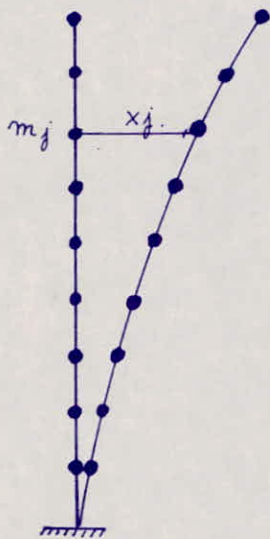
$$\text{donc } E_{p_{\max}} = E_{c_{\max}} = E_T$$

L'approximation de cette méthode réside dans le choix de la déformée ; ce choix pouvant être éliminé si l'on utilise la méthode de la déformée statique. On considère que notre système est soumis à des forces $P_j = m_j \cdot g$ agissant statiquement dans le sens du déplacement et des degrés de liberté i . Soit

$$\delta_{stj} = \sum_{i=1}^n P_i \delta_{ij}$$

δ_{ij} = déplacement en j résultant d'une force unitaire en i .

Soit x_i le déplacement des masses m_i



$$E_{P_{max}} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n P_i x_i$$

$$E_{C_{max}} = \frac{1}{2g} \omega^2 \sum_{i=1}^n P_i x_i^2$$

$$P_j = m_j g$$

$$x_j = \delta_{stj}$$

$$E_{P_{max}} = E_{C_{max}}$$

donc :

$$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n P_i x_i = \frac{1}{2g} \omega^2 \sum_{i=1}^n P_i x_i^2$$

$$\Rightarrow \omega^2 = \frac{g \sum_{i=1}^n P_i x_i}{\sum_{i=1}^n P_i x_i^2}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

d'où

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i x_i^2}{g \sum_{j=1}^n P_j x_j}}$$

La précision peut être améliorée en utilisant un procédé itératif qui consiste en :

En première approximation on admet que :

$$\begin{cases} F_j = P_j \\ x_{0j} = \delta_{stj} \end{cases}$$

$$e_{1j} = \frac{x_{0j}}{x_{on}}$$

"1" indique la première approximation
 $x_{0n} =$ flèche au sommet de la console
 $x_{0n} = \delta_{10n}$

Cette première approximation nous conduit à calculer une nouvelle force $F'_j = e_{1j} \cdot P_j$.

On calcule alors les déplacements x_{1j} sous les forces F'_j .

$$x'_{1j} = \sum_{i=1}^n F'_i \cdot \delta_{ij}$$

puis on calcule $e_{2j} = \frac{x'_{1j}}{x'_{1n}}$ cette 2^{ème} correction donne :

$$F_j^{(2)} = e_{2j} \cdot P_j$$

On poursuit ce processus itératif jusqu'à convergence

$$e_{mj} \approx e_{(m-1)j}$$

L'expression de la période s'écrit :

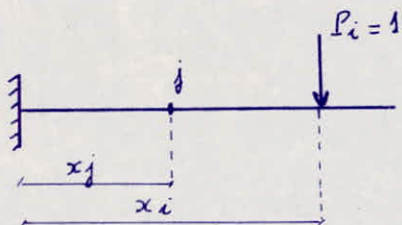
$$\omega^2 = g \frac{1}{x_{mn}} \quad \text{d'où} \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{x_{mn}}{g}}$$

avec $x_{mn} =$ déplacement au sommet à la $m^{\text{ème}}$ itération.

T : période propre du mode fondamental

CALCUL DES DEPLAC^{ts} UNITAIRES

δ_{ij} : Déplacement unitaire d'une section "j" produit par une force unitaire appliquée en "i"



$$\delta_{ij} = \frac{x_j^2}{2EI} \left(x_i - \frac{x_j}{3} \right) \quad i \geq j$$

D'après le théorème de réciprocité de Maxwell - Betti :

$$\delta_{ij} = \delta_{ji}$$

Tableau donnant les
Valeurs de δ_{ij} .

$\begin{matrix} K\delta_{ij} \\ \text{Ni-} \\ \text{Vaux} \end{matrix}$	$K\delta_{i1}$	$K\delta_{i2}$	$K\delta_{i3}$	$K\delta_{i4}$	$K\delta_{i5}$	$K\delta_{i6}$	$K\delta_{i7}$	$K\delta_{i8}$	$K\delta_{i9}$
1	30,375	60,851	91,328	121,803	152,280	182,756	213,232	243,708	274,185
2	60,851	141,188	226,070	310,952	395,834	480,716	565,599	650,481	735,363
3	91,328	226,070	388,084	554,643	721,202	887,761	1054,320	1220,878	1387,437
4	121,803	310,952	554,643	825,604	1101,111	1376,670	1652,124	1927,631	2203,137
5	152,280	395,834	721,202	1101,111	1508,291	1920,016	2331,741	2743,467	3155,192
6	182,756	480,716	887,761	1376,617	1920,016	2490,686	3065,901	3641,115	4216,330
7	213,232	565,599	1054,320	1652,124	2331,741	3065,901	3827,331	4593,306	5359,281
8	243,708	650,481	1220,878	1927,631	2743,467	3641,115	4593,306	5572,767	6556,774
9	274,185	735,363	1387,437	2203,137	3155,192	4216,330	5359,281	6556,774	7781,537

DETERMINATION DES PERIODES PROPRES DU 1^{er} MODE

a) Sens longitudinal :

Niveaux	Poids de niveaux (t)	Deplacements statiques (m)
9	313,56	0,14597
8	327,97	0,12519
7	336,68	0,10455
6	336,68	0,08430
5	336,68	0,06480
4	336,68	0,04657
3	336,68	0,03022
2	336,68	0,01652
1	407,852	0,00636

$$\sum I_{y-y} = 18,93 \text{ m}^4$$

$$E = 378 \cdot 10^4 \text{ t/m}^2$$

d'où

$$EI_{y-y} = 7,15554 \cdot 10^7 \text{ t.m}^2$$

$$\sum P_i x_i^2 = 20,362 \text{ t.m}^2$$

$$\sum P_i x_i = 206,237 \text{ t.m}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{20,362}{206,237 \cdot 9,81}} = 0,630 \text{ s}$$

$T_{x-x} = 0,630 \text{ s}$

b) Sens transversal :

$$\sum I_{x-x} = 121,553 \text{ m}^4$$

$$E = 378 \cdot 10^4 \text{ t/m}^2$$

$$EI_{x-x} = 4,5947034 \cdot 10^8 \text{ t.m}^2$$

$$\sum P_i x_i^2 = 0,4961 \text{ t.m}^2$$

$$\sum P_i x_i = 32,117 \text{ t.m}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{0,4961}{32,117 \cdot 9,81}} = 0,249 \text{ s}$$

$T_{y-y} = 0,249 \text{ s}$

Niveaux	Poids de niveaux (t)	Deplacements statiques (m)
9	313,56	0,02273
8	327,97	0,01950
7	336,68	0,01628
6	336,68	0,01313
5	336,68	0,01009
4	336,68	0,00725
3	336,68	0,00471
2	336,68	0,00257
1	407,852	0,00099

- Amelioration des resultats par processus iteratifs :

$P_j = F_{1j}$	X_{1j}	$e_{1j} = \frac{x_{1j}}{x_n}$
407,852	455126	0,0436
336,68	1182619,3	0,1132
336,68	2162889,1	0,2071
336,68	3332529,8	0,3191
336,68	4637323,3	0,4440
336,68	6032227,3	0,5775
336,68	7481385,2	0,7163
327,97	8958118,5	0,8577
313,56	10444894	1

f_{2j}	X_{2j}	$e_{2j} = \frac{x_{2j}}{x_n}$
17,782	286563,04	0,0396
38,122	758234,63	0,1048
69,726	1410048,98	0,1949
107,435	2205140,23	0,3048
149,486	3108572,376	0,4297
194,433	4088357,782	0,5651
241,164	5116599,804	0,7072
281,300	6170711,005	0,8529
313,56	7234651,801	1

f_{3j}	X_{3j}	e_{3j}
16,151	282846,672	0,0395
35,284	748640,621	0,1046
65,619	1392665,145	0,1946
102,620	2178663,570	0,3044
144,671	3072199,603	0,4293
190,258	4041657,270	0,5648
238,100	5059383,164	0,7070
279,726	6102921,394	0,8528
313,56	7156282,064	1

F_{4j}	X_{4j}	e_{4j}
16,110	282754,489	0,0395
35,217	748402,900	0,1046
65,518	1392234,947	0,1946
102,485	2178009,375	0,3044
144,537	3071302,554	0,4293
190,157	4040507,648	0,5648
238,033	5057976,884	0,7070
279,693	6101257,251	0,8528
313,56	7154359,908	1

a) Sens longitudinal :

$$E I_{y-y} = 7,15554 \cdot 10^7 \text{ t} \cdot \text{m}^2$$

$$X_{4n} = \frac{7154359,908}{7,15554 \cdot 10^7} = 0,099984$$

$$\text{d'où } T_{x-x} = 2\pi \sqrt{\frac{0,099984}{9,81}} = 0,634 \text{ s}$$

$$\boxed{T_{x-x} = 0,634 \text{ s}}$$

b) Sens transversal :

$$E I_{x-x} = 4,5947034 \cdot 10^8 \text{ t} \cdot \text{m}^2$$

$$X_{4n} = \frac{7154359,908}{4,5947034 \cdot 10^8} = 0,015571$$

$$\text{d'où } T_{y-y} = 2\pi \sqrt{\frac{0,015571}{9,81}} = 0,250 \text{ s}$$

$$\boxed{T_{y-y} = 0,250 \text{ s}}$$

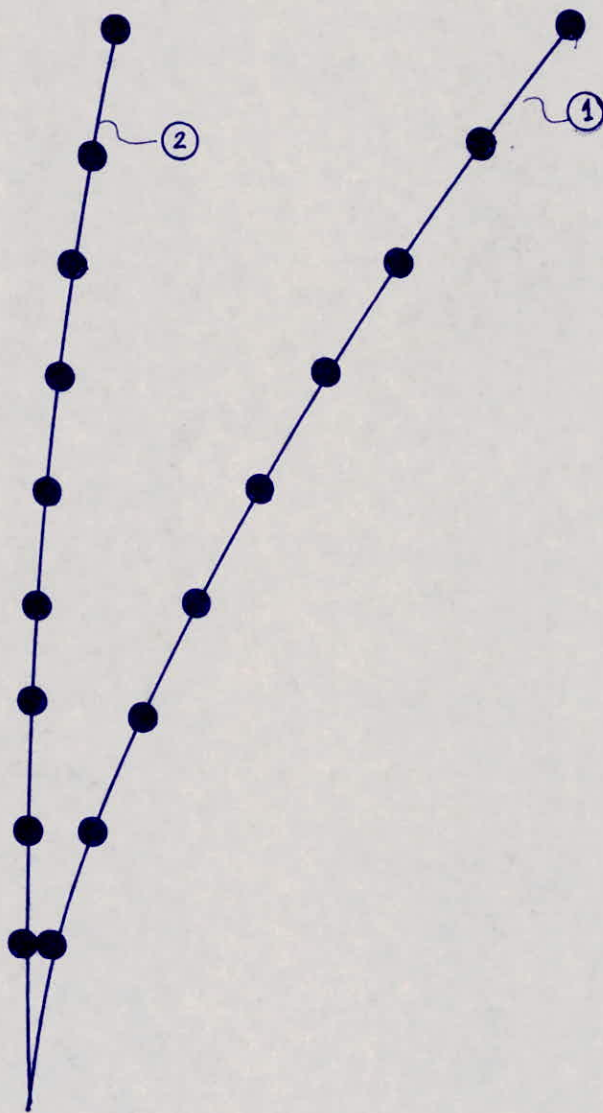
Remarque :

La méthode de Rayleigh donne une bonne approximation des périodes propres du 1^{er} mode

DEFORMEE DU 1^{er} MODE

① Sens Longitudinal

② Sens transversal



le calcul des modes supérieurs a été fait sur ordinateur, les résultats sont les suivants :

• Sens longitudinal :

Mode 2

$$\xi^{\text{II}} = 0,207$$

Mode 3

$$\xi^{\text{III}} = 0,071$$

Niveaux	Vecteurs propres	deplac ^t (m)
9	-4,148	-0,002
8	-1,683	-0,001
7	0,574	0,000
6	2,366	0,001
5	3,460	0,001
4	3,736	0,002
3	3,241	0,001
2	2,200	0,001
1	1,00	0,000

Niveaux	Vecteurs propres	deplac ^t
9	1,532	0,000
8	-0,152	-0,000
7	-1,288	-0,000
6	-1,451	-0,000
5	-0,652	-0,000
4	0,593	0,000
3	1,544	0,000
2	1,673	0,000
1	1,000	0,000

$$T^{\text{II}} = 0,1047 \text{ s.}$$

$$T^{\text{III}} = 0,0375 \text{ s.}$$

Tous les déplacements inférieurs au millimètre sont négligés

Remarque :

$$\sum_{k=1}^3 \xi^k = 0,958$$

donc on peut se limiter au calcul des 3 premiers modes.

• Sens transversal :

Tous les deplac^t sont inférieurs au millimètre donc négligés, les périodes du 2^{ème} et 3^{ème} mode sont :

$$T^{\text{II}} = 0,0413 \text{ s} \quad \text{et} \quad T^{\text{III}} = 0,0148 \text{ s}$$

ETUDE

AU

VENT

ETUDE AU VENT

L'action dynamique du vent induit 3 types d'efforts :

- Une action parallèle à l'action du vent : Trainée (T)
- Une action perpendiculaire à l'action du vent : Derive (L)
- Une action verticale de soulèvement : Portance (U)

* Determination de l'effort de trainée : T

Il s'agit dans notre cas d'un ouvrage prismatique à base rectangulaire

Grand côté $a = 25,80 \text{ m}$

Largeur $b = 10,00 \text{ m}$

Hauteur $h = 28,58 \text{ m}$

Les dimensions doivent vérifier :

- $\frac{h}{a} \geq 0,25$: $\frac{28,58}{25,80} = 1,10 > 0,25$ (Cond. vérifiée)

- $\frac{h}{a} \leq 2,5$ et $\frac{b}{a} \leq 0,4$ si $\frac{h}{b} > 2,5$

.) $\frac{h}{a} = 1,10 < 2,5$ cond. vérifiée

..) $\frac{b}{a} = \frac{10}{25,80} = 0,387$ ($\frac{h}{b} = \frac{28,58}{10,00} = 2,858$)
cond. vérifiée.

Effort de trainée : $T = C_t \cdot \beta \cdot \delta \cdot q \cdot d$

Coefficient de trainée C_t :

$$C_t = 1,3 \delta_0 \text{ (NV 65 - III - 2,161 - 1)}$$

δ_0 est un coefficient dépendant des rapports de dimensions, sa valeur est donnée par le diagramme R. III 5 de N.V 65

Pour un vent \perp à la face a :

$$\left. \begin{aligned} \frac{b}{a} &= \frac{10,00}{25,80} = 0,387 \\ d_a &= \frac{h}{a} = \frac{28,58}{25,80} = 1,10 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\rightarrow \delta_0 = 1 \Rightarrow \\ &C_t = 1,3 \times 1 = 1,3 \end{aligned}$$

Pour un vent \perp à la face b :

$$\left. \begin{aligned} \frac{b}{a} &= 0,387 \\ d_b &= \frac{h}{b} = \frac{28,58}{10} = 2,858 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\rightarrow \delta_0 = 0,94 \\ &\Rightarrow C_t = 1,222 \end{aligned}$$

Coefficient de majoration dynamique :

Ce coefficient est lié aux efforts de résonance provoqué par les oscillations ; il dépend de la période propre de vibration de la construction et du niveau considéré. Il est donné par la formule :

$$\beta = 0(1 + \xi \epsilon) \quad ; \quad \beta \geq 1 \quad (\text{N.V. 65 - III } 1,511)$$

Pour un bâtiment d'habitation, la période propre est donnée par :

$$T_{x,y} = 0,08 \frac{h}{\sqrt{l_{x,y}}} \sqrt{\frac{h}{l_{x,y} + h}}$$

N.B : Il est préférable d'avoir les périodes des vibrations du bâtiments par excès.

a) Vent longitudinal parallèle à l_x :

$$T_x = 0,08 \frac{28,58}{\sqrt{25,8}} \sqrt{\frac{28,58}{25,8 + 28,58}} = 0,326 \text{ s}$$

b) Vent transversal \parallel à l_y :

$$T_y = 0,08 \frac{28,58}{\sqrt{10}} \sqrt{\frac{28,58}{10 + 28,58}} = 0,622 \text{ s}$$

Le coefficient ξ est donné en fonction de la période (R. III. 3. N.V. 65)

$$\left. \begin{array}{l} \text{Batiment à densité normale} \\ \text{à paroi en B.A} \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} \xi_x = 0,3 \\ \xi_y = 0,5 \end{array}$$

Le coefficient de pulsation ζ est fonction de la hauteur H du niveau considéré :

Niveau	0	4	6	9
H (m)	0	13,53	19,55	28,58
ζ	0,36	0,352	0,345	0,32

Le coefficient global θ dépend du type de construction. Dans notre cas θ est donné en fonction de la côte H_s de leur sommet

$$\theta = 0,70 \quad \text{pour } H_s \leq 30 \text{ m}$$

$$\theta = 0,70 + 0,01 (H_s - 30) \quad \text{pour } 30 \text{ m} < H_s < 60 \text{ m}$$

$$\theta = 1 \quad \text{pour } H_s \geq 60 \text{ m}$$

donc dans notre cas $\theta = 0,70$ puisque $H_s = 28,58 \text{ m}$

- Coefficient de dimensions δ

Ce coefficient tient compte de l'effet des dimensions de l'ouvrage. δ est fonction du niveau H considéré, et est donné par le diagramme de la figure R. III. 2 des règles N.V. 65.

La plus grande dimension de toutes les surfaces au vent est :

$$H = 28,58 \text{ m} \quad \text{d'où} \quad \delta = 0,760$$

- Pression du vent :

La pression normale du vent dépend de la région où est implanté l'ouvrage, du site et de la hauteur au dessus du sol au niveau considéré :

$$q = K_s K_m q_H$$

K_s : effet du site : $K_s = 1,00$ en zone normale

k_m : effet de masque

La pression dynamique q agissant au niveau H au dessus du sol, peut être lue sur le tableau de la figure CIII 4 des règles N.V. 65.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Region II} \\ H = 28,58 \text{ m} \end{array} \right\} \Rightarrow q_H = 92 \text{ kg/m}^2 \quad \text{pression normale}$$

N.B : δq_H doit être compris entre 30 kg/m^2 et 170 kg/m^2

$$\delta q_H = 0,760 \times 92 = 69,92 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{on a } 30 < 69,92 < 170 \text{ kg/m}^2$$

donc la condition est vérifiée.

- largeur du maître couple d :

d est la dimension en plan du bâtiment suivant la direction du vent.

$$\text{Vent transversal : } d = 25,80 \text{ m}$$

$$\text{" longitudinal : } d = 10,00 \text{ m}$$

Tous les coefficients étant connus on calcule

$$T = C_t \cdot \beta \cdot S \cdot q \cdot d \quad \text{à chaque niveau } H$$

les résultats sont donnés par le tableau.

H (m)	z					q _H (kg/m ²)	Vent transversal		Vent longitudinal	
		1 + f z		β = θ(1 + f z) ≥ 1			d (m)	T = c _t β δ q d	d (m)	T = c _t β δ q d
		v.T	v.L	v _T	v _L					
0	0,36	1,18	1,108	1	1	52,5	25,8	1338	10,00	519
5	0,36	1,18	1,108	1	1	62,0	25,8	1580	10,00	613
10	0,36	1,18	1,108	1	1	70,0	25,8	1784	10,00	692
15	0,358	1,179	1,1074	1	1	77,5	25,8	1976	10,00	766
20	0,345	1,1725	1,1035	1	1	83,0	25,8	2116	10,00	820
25	0,337	1,1685	1,1011	1	1	88,5	25,8	2256	10,00	874
28	0,332	1,166	1,0996	1	1	91,0	25,8	2320	10,00	899

$$c_t = 1,3$$

$$\beta = 1$$

$$\delta = 0,760$$

$$k_s = 1$$

$$k_m = 1$$

- Détermination des eff^{ts} de réduction dus à la Trainée :

* Effort tranchant à la base :

$$H_0 = \frac{519 + 899}{2} \times 28,58$$

$$H_0 = 20,263 \text{ t.}$$

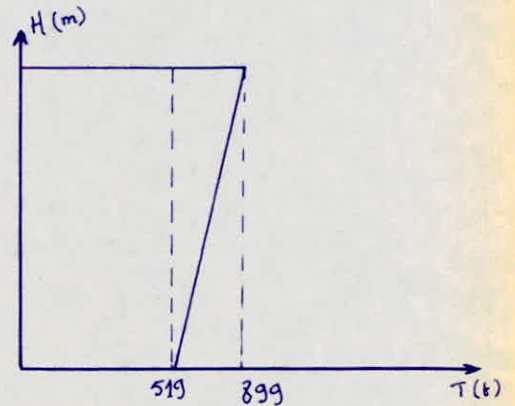
* Moment de renversement :

$$M_1 = (519 \times 28,58) \times \frac{28,58}{2}$$

$$= 211,964 \text{ t.m}$$

$$M_2 = \left(\frac{899 - 519}{2} \right) \times \frac{2}{3} \times 28,58^2 = 103,463 \text{ t.m}$$

$$M = M_1 + M_2 = 211,964 + 103,463 = 315,427 \text{ t.m}$$



- Vent extrême :

La pression de base $q(H=10m) = 70 \text{ daN/m}^2$ sera majorée du coefficient $\frac{7}{4}$ d'où $q_e = 1,75 \times 70 = 122,5 \text{ daN/m}^2$

Dans le cas du vent normal : $\beta = 1$

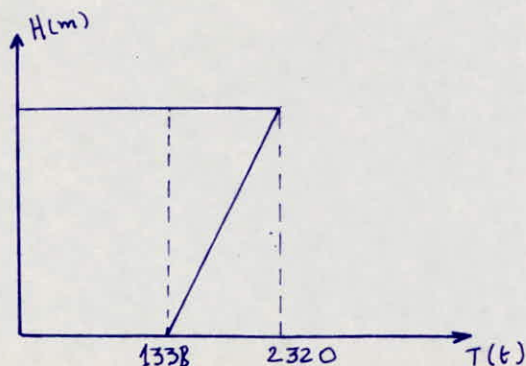
.. extrême :

On prend la valeur $\beta = 1$ comme majoration dynamique.

Donc les efforts s'obtiennent par majoration directe des efforts normaux

$$\text{- Vent extrême : } \begin{cases} H_{0e} = 1,75 H_0 = 35,46 \text{ t} \\ M_e = 1,75 M = 551,997 \text{ t.m} \end{cases}$$

- Vent transversal :



- Effort tranchant à la base :

$$H_0 = \frac{1338 + 2320}{2} \times 28,58 = 52,272 \text{ t}$$

- Moment de renversement :

$$M_1 = (1338 \times 28,58) \cdot \frac{28,58}{2} = 546,450 \text{ t.m}$$

$$M_2 = \left(\frac{2320 - 1338}{2} \right) \cdot \frac{28,58^2}{3} = 267,371 \text{ t.m}$$

$$M = M_1 + M_2 = 546,450 + 267,371 = 813,821 \text{ t.m}$$

- Vent extrême :

$$H_{0e} = 1,75 \times 52,272 = 91,476$$

$$M_e = 1,75 \times 813,821 = 1424,18 \text{ t.m}$$

* Effort de derive L :

L'effort de derive est une action \perp à l'action du vent et ayant lieu pour des vitesses faibles. On a admis arbitrairement qu'à partir d'une vitesse de 25 m/s, et plus la mise en résonance diminue et devient quasiment impossible avec l'augmentation de la vitesse du vent. Cette action a été matérialisée par la théorie de KARMAN qui donne la période des tourbillons comme :

$$T_k = \frac{d}{S \cdot V} \quad \left. \begin{array}{l} V: \text{vitesse du vent} \\ d: \text{largeur du maître couple} \\ S: \text{Nbre de STROUHL} \end{array} \right\}$$

(Pour les tubes circulaires)

Dans notre cas il y aura résonance si les périodes propres du mode fondamental seront confondues avec les périodes T_k des Tourbillons de KARMAN.

- Vent longitudinal :

$$T = 0,326 \text{ s}$$

$$d = 10,00 \text{ m}$$

$$0,25 < S < 0,30 \Rightarrow S = 0,30 \text{ cas défavorable}$$

depend de la rugosité des surfaces

$$V_{cr} = \frac{d}{S \cdot T} = \frac{10}{0,30 \times 0,326} = 102,24 \text{ m/s} > 25 \text{ m/s}.$$

- Vent transversal :

$$\begin{aligned} T &= 0,622 \text{ s} \\ d &= 25,80 \text{ m} \\ S &= 0,30 \end{aligned}$$

$$V_{cr} = \frac{25,80}{0,622 \cdot 0,30} = 138,26 \text{ m/s} > 25 \text{ m/s}$$

Dans les 2 directions les vitesses critiques sont très supérieures à la fourchette de valeur $0 \div 25 \text{ m/s}$ donc la mise en résonance est quasiment impossible. Le calcul à la résonance est dans ce cas inutile.

* Détermination de l'effort de Portance U :

- C'est une action verticale perpendiculaire à la poussée du vent, c'est un effort de soulèvement s'écrivant :

$$U = C_u \delta q S_u$$

- Coefficient de Portance C_u :

$$\text{Il s'écrit : } C_u = C_i - C_e$$

C_i étant le coefficient de surpression interne sur le plancher terrasse

Pour une construction fermée dont les parois ont une perméabilité $\mu \leq 5$, le coefficient C_i est défini comme suit (art 2,141 NV65)

$$C_i = 0,6(1,8 - C_f) = 0,6(1,8 - 1,3 \times 1) = 0,3$$

C_e : Coefficient de dépression extérieure, est fonction de l'inclinaison α de la toiture et du coefficient de correction δ_0 .
Il est lu sur le diagramme R^{III}.6. NV65

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = 0 \\ \delta_0 = 1 \end{array} \right\} \Rightarrow C_e = -0,5$$

d'où le coefficient de Portance est

$$C_u = 0,3 - (-0,5) = 0,8.$$

- Coefficient de dimension δ :

La plus grande dimension de toiture offerte au vent est :

$$L = 25,80 \text{ m}$$

La hauteur du bâtiment est : $H = 28,58 \text{ m}$

$$\text{d'où } \delta = 0,770$$

- Pression du vent q :

La pression du vent est $q_{10} = 70 \text{ daN/m}^2$ 1

$$\text{pour } H = 28,58 \text{ m} \quad q_H = q_{10} \left(2,5 \cdot \frac{H+18}{H+60} \right) = 92 \text{ daN/m}^2$$

$$K_s = 1 \quad \text{Site normal} \Rightarrow q = K_s q_H = 92 \text{ daN/m}^2$$

- Aire de la toiture S_u : $S_u = 266 \text{ m}^2$

- Effort de Soulevement :

. Vent normal :

$$U = C_u \delta q S_u = 0,8 \cdot 0,770 \times 92 \times 266 = 15074 \text{ daN}$$

. Vent extrême :

$$U_e = 1,75 U = 26380 \text{ daN}$$

Poids mort du bâtiment $G = 3491,2 \cdot 10^3 \text{ daN}$

on voit que $G > U_e$ donc il n'y a pas de risque de soulevement.

ETUDE

AU

S'EISME

ETUDE AU SEISME

Nous avons utilisé pour notre étude au séisme, le règlement parasismique algérien - R.P.A 83

1) INTRODUCTION

Le RPA a pour but de donner un certain degré de sécurité aux vies humaines et aux biens matériels en donnant les mesures nécessaires à la conception et l'exécution des constructions.

Dans ce règlement les forces réelles dynamiques qui se développent sont remplacées par des forces statiques fictives dont les effets sont équivalents aux effets sismiques.

Ces forces sismiques équivalentes sont inférieures aux forces réelles qui se produiraient dans la structure élastique sous l'action d'un séisme extrême. Cette différence est considérée implicitement par l'application rigoureuse des dispositions constructives qui garantissent à la structure une ductilité suffisante.

2) ACTION SISMIQUE

- Sens transversal :

Le bâtiment sera conçu et calculé de manière à résister aux forces sismiques horizontales totales agissant non simultanément dans la direction de chacun des axes principaux de la structure conformément à la formule de base :

$$V = ABDQW$$

- * A : Coefficient d'accélération des zones :

Bâtiment à usage d'habitation implanté à Alger classé zone II

$$\text{d'où } A = 0,15$$

- * B : facteur de comportement de la structure :

Structure à voiles porteurs. La sollicitation horizontale est entièrement reprise par les voiles.

$$B = 1/4$$

* Q : facteur de qualité :

Il est fonction de l'hyperstaticité et de la surabondance du système, des symétries en plan, de sa régularité en élévation et de la qualité du contrôle pendant la construction. Et chaque qualité non observée constitue une pénalité P_q :

$$P_q = 0,1 \quad \text{critère non observé}$$

$$P_q = 0 \quad \text{" observé}$$

$$Q = 1 + \sum_{q=1}^n P_q$$

$$Q = 1,2$$

* D : facteur d'amplification dynamique moyen :

Il dépend de la période du mode fondamental T , de la nature du sol. Il est donné en fonction du spectre de réponse donné en fig. 4 (RPA) en considérant un amortissement de 10%.

Notre structure est fondée sur un sol meuble (Sable fin et moyen).

$$T_{1-y-y} = 0,250 \text{ s} \rightarrow D_1 = 2$$

$$T_{2-y-y} = 0,1 \text{ N} = 0,8 \text{ s} \rightarrow D_2 = 1,581$$

$$T_{3-y-y} = \frac{0,09 \cdot H}{\sqrt{L_x}} = \frac{0,09 \cdot 28,58}{\sqrt{25,80}} = 0,506 \rightarrow D_3 = 1,988$$

Donc D_1 n'est pas inférieur à 80% des valeurs D_2, D_3 déterminées à partir des formules forfaitaires du RPA.

* W : Poids de la structure :

Ce poids comporte toute la charge (masse) de la superstructure soumise à l'action sismique. Elle ne comprend donc que la partie définie élastique.

$$W = 3070 \text{ t}$$

Donc la force sismique est :

$$V = 0,15 \cdot 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot 1,2 \cdot W = 0,12 W = 0,12 \cdot 3070$$

$$V = 276,3 \text{ t}$$

3) DISTRIBUTION DES FORCES LATÉRALES

La force latérale V doit être distribuée sur toute la hauteur de la structure selon l'expression suivante :

$$V = F_t + \sum F_i$$

avec $F_t = 0,07 T.V.$: force concentrée au sommet de la structure

Pour $T < 0,7$ s on a $F_t = 0$

La partie restante doit être distribuée sur la hauteur de la structure.

$$F_k = \frac{V \cdot w_k h_k}{\sum_{i=1}^n (w_i \cdot h_i)} \quad F_k : \text{effort horizontal au niveau } k$$

Niveau	Hauteur h_k	Masse w_k	$w_k \cdot h_k$	F_k	F_k cumulé
Terrasse	28,58	313,56	8962,12	49,97	49,97
8	25,57	327,97	8385,83	46,76	96,73
7	22,56	336,68	7595,50	42,35	139,08
6	19,55	336,68	6582,09	36,70	175,78
5	16,54	336,68	5568,69	31,05	206,83
4	13,53	336,68	4555,28	25,40	232,23
3	10,52	336,68	3541,87	19,75	251,98
2	7,51	336,68	2528,47	14,10	266,08
1	4,50	407,852	1835,32	10,23	276,3
RDC	0	421,735	0		276,3
Σ			49555,17		

- Sens longitudinal :

La prise en compte du coefficient d'équivalence E (c.f. chp Calcul des périodes propres) nous a amené à tenir compte des modes supérieurs (2^{ème} et 3^{ème} mode), pour apprécier d'une façon plus exacte les efforts qui sont repris dans le sens longitudinal par la structure. Le calcul de ces efforts se fera conformément à l'annexe 3 du RPA 83 qui donne la force sismique par niveau comme suit :

$$F_{ki} = \Gamma_i W_k (A D_i B Q) \Delta k_i$$

où : - A, B, Q coefficients explicités précédemment

- W_k : Poids du niveau considéré

- Δk_i : déplacement horizontal du niveau k , dans le mode i .

$$- \Gamma_i = \frac{\sum_{k=1}^n W_k \Delta k_i}{\sum_{k=1}^n W_k (\Delta k_i)^2} \quad \text{où : } \begin{array}{l} i : \text{rang du mode} \\ k : \text{indice de l'étage} \\ n : \text{nombre total d'étage.} \end{array}$$

La force totale par niveau s'obtient par une superposition quadratique des forces F_{ki} :

$$F_k = \left[\sum_{i=1}^n F_{ki}^2 \right]^{1/2}$$

dans notre cas on note :

$$F_{ki} = K_i W_k$$

$$\text{avec } K_i = \Gamma_i (A D_i B Q) \Delta k_i$$

A chaque période T_i correspond un facteur d'amplification dynamique D_i donné par le spectre de réponse du R.P.A 83

Niveau k	W_k (t)	Mo de 1		Mo de 2		Mo de 3		Forces super posées quadra tiquement	Forces F_k cumulées (t)
		K_1	F_{K_1} (t)	K_2	F_{K_2} (t)	K_3	F_{K_3} (t)		
9	313,56	0,1624	36,450	-0,06265	-19,645	0,03061	9,601	42,505	42,505
8	327,97	0,09901	32,473	-0,02538	-8,327	-0,00303	-0,996	33,538	76,043
7	336,68	0,08191	27,580	0,00864	2,910	-0,02566	-8,640	29,048	105,091
6	336,68	0,06544	22,035	0,03561	11,991	-0,02889	-9,728	26,906	131,997
5	336,68	0,04976	16,754	0,05207	17,534	-0,01298	-4,371	24,642	156,639
4	336,68	0,03530	11,885	0,05623	18,933	0,01181	3,978	22,705	179,344
3	336,68	0,002257	7,602	0,04877	16,422	0,03075	10,356	20,850	200,194
2	336,68	0,01215	4,091	0,03312	11,151	0,03332	11,221	16,340	216,534
1	407,852	0,00461	1,882	0,01508	6,154	0,01996	8,144	10,380	226,914

CENTRE DE MASSECENTRE DE TORSION

La détermination du c.d.g du bâtiment se fera, pour la terrasse, l'étage courant et pour le 8^{em} étage vu que le panneau 11 n'existe pas dans les étages courants.

Pour cela on déterminera le c.d.g des éléments horizontaux ; on présentera un tableau donnant les résultats :

- * Aire du panneau
- * $F_i = \left(G + \frac{Q}{5} \right) \cdot A_i$

avec :

$$\begin{aligned} G &= 0,738 \text{ t/m}^2 && \text{pour la terrasse} \\ G &= 0,54 \text{ t/m}^2 && \text{" plancher d'étage courant} \\ G &= 0,64 \text{ t/m}^2 && \text{" paliers} \\ G &= 0,712 \text{ t/m}^2 && \text{" escaliers} \end{aligned}$$

$$Q = \begin{cases} 0,100 & \text{Plancher terrasse} \\ 0,175 & \text{" étage courant} \\ 0,300 & \text{loggia, sechoir} \\ 0,400 & \text{escaliers, paliers} \end{cases}$$

- * x_i, y_i coordonnées du c.d.g du panneau

origine ds le sens x : Axe du voile V_{10}
 " " " " y : extrémité du voile V_{11}

- * $F_i x_i$ et $F_i y_i$

On obtiendra les coordonnées du c.d.g des éléments horizontaux de chaque étage :

$$X_G = \frac{\sum F_i x_i}{\sum F_i} \quad \text{et} \quad y_G = \frac{\sum F_i y_i}{\sum F_i}$$

Puis on déterminera le c.d.g des él^{ts} verticaux (voiles) avec le même procédé.

Puis on en tire le c.d.g de chaque étage.

Plancher terrasse :

N° du Panneau	A_i (m ²)	F_i (t)	x_i (m)	y_i (m)	$F_i x_i$	$F_i y_i$
1	11,19	8,482	24	2,065	203,57	17,515
2	11,19	8,482	20,4	2,065	173,03	17,515
3	11,79	8,937	17,6	1,965	157,29	17,561
4	11,19	8,482	14,4	2,065	122,14	17,515
5	23,1	17,520	11,2	4,05	196,22	70,95
6	11,19	8,482	8	2,065	67,86	17,515
7	33,75	25,582	4,8	5,625	122,79	143,89
8	11,19	8,482	1,6	2,065	13,57	17,515
9	13,41	10,165	1,6	7,565	16,26	76,899
10	11,91	9,028	8	7,815	72,22	70,554
11	5,10	3,866	11,2	8,95	43,30	34,601
12	11,91	9,028	14,4	7,815	130,003	70,55
13	17,76	13,462	17,6	8,29	236,93	111,59
14	13,41	10,165	20,8	7,565	211,43	76,89
15	13,41	10,165	24	7,565	243,96	76,89
16	3,20	2,425	1,6	4,63	3,88	11,22
17	4,5	3,411	8	4,88	27,29	16,64
18	4,5	3,411	14,4	4,88	49,12	16,64
19	9,4	7,125	20,8	4,63	148,20	32,99

$$x_G = \frac{\sum F_i x_i}{\sum F_i} = \frac{2239,06}{176,7} = 12,67 \text{ m}$$

$$y_G = \frac{\sum F_i y_i}{\sum F_i} = \frac{915,44}{176,7} = 5,18 \text{ m}$$

N° du Panneau	A _i (m ²)	F _i (t)	X _i (m)	Y _i (m)	F _i X _i	F _i Y _i
1	11,19	6,434	24	2,065	154,416	13,286
2	11,19	6,434	20,4	2,065	131,253	13,286
3	7,59	4,364	17,6	2,665	76,804	11,630
3'	4,2	2,52	17,6	0,70	44,352	1,764
4	11,19	6,434	14,4	2,065	92,649	13,286
5	3,6	2,592	11,2	0,8	22,030	2,074
5'	5,76	4,564	11,2	2,6	51,117	11,866
5''	12,3	8,856	11,2	5,85	99,187	51,807
6	11,19	6,434	8	2,065	51,472	13,286
7	23,55	13,541	4,8	5,625	64,997	76,168
7'	4,2	2,52	4,8	0,70	12,096	1,764
7''	6	3,6	4,8	10,25	17,28	36,9
8	11,9	6,434	1,6	2,065	10,294	13,286
9	13,41	7,711	1,6	6,565	12,337	50,623
10	11,91	6,848	8	7,915	54,784	54,202
11	5,10	2,36	11,2	8,95	26,432	21,122
12	11,91	6,848	14,4	7,915	98,611	56,932
13	11,76	6,762	17,6	7,29	119,011	49,295
13'	6	3,6	17,6	10,25	63,36	36,9
14	13,41	7,711	20,8	7,915	149,614	56,932
15	13,41	7,711	24	7,915	172,632	56,932
16	3	1,725	1,6	4,63	2,76	7,987
17	4,5	2,587	8	4,88	20,696	12,624
18	4,5	2,587	14,4	4,88	37,253	12,624
19	9,4	5,405	20,8	4,63	112,424	25,025

C.d.g du plancher etage courant :

$$X_G = \frac{\sum F_i X_i}{\sum F_i} = \frac{1671,429}{134,222} = 12,453 \text{ m}$$

$$Y_G = \frac{\sum F_i Y_i}{\sum F_i} = \frac{680,479}{134,222} = 5,07 \text{ m}$$

Refonds	F_i (t)	x_i (m)	y_i (m)	$F_i x_i$	$F_i y_i$
V_{t_1}	13,405	25,6	5,09	343,168	68,231
V_{t_2}	13,405	22,4	5,09	300,272	68,231
V_{t_3}	15,591	19,2	5,71	299,347	89,025
V_{t_4}	11,778	16	5,695	188,448	67,076
V_{t_5}	13,595	12,8	5,08	174,016	69,063
V_{t_6}	13,595	9,6	5,08	130,512	69,063
V_{t_7}	11,778	6,4	5,695	75,379	67,0766
V_{t_8}	15,591	3,2	5,71	49,891	89,025
V_{t_9}	14,749	0	5,00	0	73,745
V_{L_1}	6,017	23	0,1	138,391	0,602
V_{L_2}	9,026	11,38	0,1	102,716	0,903
V_{L_3}	3,008	1,06	0,1	3,188	0,301
V_{L_4}	15,357	18,56	4,03	285,026	61,889
V_{L_5}	3,884	8,02	4,03	31,150	15,653
V_{L_6}	3,884	1,32	4,03	5,127	15,653
V_{L_7}	12,583	21,06	5,13	264,998	64,551
V_{L_8}	3,151	13,86	5,63	43,673	17,740
V_{L_9}	3,595	11,22	8,00	40,336	28,760
$V_{L_{10}}$	3,151	8,53	5,63	26,878	17,740
$V_{L_{11}}$	3,884	1,32	5,13	5,127	19,925
$V_{L_{12}}$	6,017	23	9,90	138,391	59,568
$V_{L_{13}}$	9,026	11,38	9,90	102,716	89,357
$V_{L_{14}}$	3,008	1,06	9,90	3,188	29,779

Centre de gravité des étages verticaux :

Etage Courant :

$$x_G = \frac{\sum F_i x_i}{\sum F_i} = \frac{2751,94}{209,078} = 13,16 \text{ m}$$

$$y_G = \frac{\sum F_i y_i}{\sum F_i} = \frac{1082,956}{209,078} = 5,18 \text{ m}$$

C.D.G de la terrasse :

	F_i (t)	X_i (m)	Y_i (m)	$F_i X_i$	$F_i Y_i$
Plancher terrasse	176,7	12,67	5,18	2238,789	915,306
$\frac{1}{2}$ mur inf.	104,050	13,063	5,237	1359,199	544,907
Acrotère	40,492	12,80	5,426	518,298	219,719
Σ	321,242	-	-	4116,286	1679,932

$$X_G = \frac{4116,286}{321,242} = 12,81 \text{ m}$$

$$Y_G = \frac{1679,932}{321,242} = 5,23 \text{ m}$$

C.D.G du 8^{ème} étage :

	F_i (t)	X_i (m)	Y_i (m)	$F_i X_i$	$F_i Y_i$
Plancher étage	136,582	12,431	5,137	1697,851	701,622
$\frac{1}{2}$ mur inf	104,539	13,037	5,192	1362,875	542,766
$\frac{1}{2}$ mur sup	104,539	13,037	5,192	1362,875	542,766
Σ	345,66	-	-	4423,601	1787,154

$$X_G = \frac{4423,601}{345,66} = 12,80 \text{ m}$$

$$Y_G = \frac{1787,154}{345,66} = 5,17 \text{ m}$$

Centre de Torsion

Refends	$I_{x_i} (m^4)$	$I_{y_i} (m^4)$	$x_i (m)$	$y_i (m)$	$I_i x_i (m^5)$	$I_i y_i (m^5)$
V_{t_1}	9,72		25,6		248,832	
V_{t_2}	9,72		22,4		217,728	
V_{t_3}	13,437		19,2		257,990	
V_{t_4}	13,91		16		222,56	
V_{t_5}	15,376		12,8		196,813	
V_{t_6}	15,376		9,6		147,610	
V_{t_7}	13,91		6,4		99,024	
V_{t_8}	13,437		3,2		42,998	
V_{t_9}	16,667		0		0	
V_{L_1}		1,394		0,1		0,1394
V_{L_2}		2,877		0,1		0,2877
V_{L_3}		0,068		0,1		0,0068
V_{L_4}		2,831		4,03		11,409
V_{L_4}''		3,646		4,03		14,693
V_{L_5}		0,632		4,03		2,547
V_{L_6}		0,219		4,03		0,883
V_{L_7}'		1,539		5,13		7,895
V_{L_7}''		0,542		5,13		2,780
V_{L_8}		0,05625		5,63		0,317
V_{L_9}		0,5114		8,00		4,091
$V_{L_{10}}$		0,05625		5,63		0,317
$V_{L_{11}}$		0,219		5,13		1,123
$V_{L_{12}}$		1,394		9,90		13,801
$V_{L_{13}}$		2,877		9,90		28,482
$V_{L_{14}}$		0,068		9,90		0,673

Centre de torsion :

$$x_I = \frac{\sum I_{x_i} X_i}{\sum I_{x_i}} = \frac{1423,555}{121,553} = 11,71 \text{ m}$$

$$y_I = \frac{\sum I_{y_i} Y_i}{\sum I_{y_i}} = \frac{89,345}{18,93} = 4,71 \text{ m}$$

Calcul des excentricités

Sens transversal : $e_x = x_G - x_I$

Sens longitudinal : $e_y = y_G - y_I$

avec (x_G, y_G) Coordonnées du c.d.g.

et (x_I, y_I) " du Centre de torsion.

Excentricité théorique :

	Etage courant	8 ^e étage	terrasse
x_G (m)	12,88	12,80	12,87
y_G (m)	5,14	5,17	5,23
e_x (m)	1,17	1,09	1,16
e_y (m)	0,43	0,46	0,52

Excentricité accidentelle :

Art 3.3.1.4.3 :

L'excentricité entre le centre de gravité et le centre de rigidité à l'étage considéré ne devra pas dépasser 20% de la dimension effective du bâtiment, mesurée perpendiculairement à la direction des forces latérales appliquées.

L'excentricité à prendre en compte dans les calculs sera égale au maximum entre l'excentricité théorique déterminée à partir des plans et 5% de la plus grande dimension du bâtiment mesurée en plan.

on a :

$$e_{x_{\max}} = 1,17 \text{ m} < 0,20 \times 25,80 = 5,16 \text{ m}$$

$$e_{y_{\max}} = 0,52 \text{ m} < 0,20 \times 10 = 2 \text{ m}$$

$$5\% \text{ de la + grande dimension : } 0,05 \times 25,80 = 1,29 \text{ m}$$

$$e = \max(1,17 ; 1,29)$$

donc l'excentricité sera $e = 1,29 \text{ m}$ dans les 2 directions.

**ETUDE
DU
CONTRE-
VENTEMENT**

Repartition des forces sismiques sur les refends

- Methode du centre de torsion : (D'après M. DIVERS)

Le centre de torsion d'un groupe de refends est le point caractérisé par les propriétés suivantes :

- 1- Une force dont la ligne d'action passe par le centre de torsion engendre uniquement une translation des refends. La direction de la translation est parallèle à la direction de la force.
- 2- Un moment dont l'axe vertical passe par le centre de torsion engendre uniquement une rotation des refends, le sens de la rotation est le même que celui du moment.
- 3- Les forces provenant de la translation deviennent :

$$H'_x = \frac{F_x \cdot I_y}{\sum I_y} \quad I = \frac{F_y \cdot I_x}{\sum I_x}$$

$$j = \frac{I_y}{\sum I_y} \quad : \text{coefficient de repartition}$$

\bar{F}_x, \bar{F}_y : Forces sismiques.

4- Les forces provenant des rotations deviennent :

$$H''_x = \frac{F_x \cdot e_x \cdot y \cdot I_y}{J} \quad H''_y = \frac{F_y \cdot e_y \cdot x \cdot I_x}{J}$$

$$\text{avec} \quad J = \sum I_x \cdot x^2 + \sum I_y \cdot y^2$$

Remarque : Dans les tableaux on donnera les résultats avec une force $F_x = F_y = 100t$, puis on en déduira l'effort réel par une règle de trois.

Les forces finales distribuées dans les refends sont alors :

$$H_x = H'_x + H''_x$$

$$H_y = H'_y + H''_y$$

Voiles	$\sum x_i$	x_i	x_i^2	$\sum x_i x_i$	$\sum x_i x_i^2$	$\sum y_i$	y_i	y_i^2	$\sum y_i y_i$	$\sum y_i y_i^2$
V_{T1}	9,720	13,89	192,930	135,011	1875,280					
V_{T2}	9,720	10,69	114,276	103,907	1110,763					
V_{T3}	13,437	7,49	56,100	100,643	753,816					
V_{T4}	13,910	4,29	18,404	59,674	256,00					
V_{T5}	15,376	1,09	1,188	16,760	18,267					
V_{T6}	15,376	-2,11	4,452	-32,443	68,454					
V_{T7}	13,910	-5,31	28,196	-73,862	392,206					
V_{T8}	13,437	-8,51	72,420	-114,349	973,108					
V_{T9}	16,667	-11,71	137,124	-195,171	2285,446					
V_{L1}						1,394	-4,40	19,36	-6,134	26,988
V_{L2}						2,877	-4,40	19,36	-12,659	55,699
V_{L3}						0,068	-4,40	19,36	-0,299	1,316
V_{L4}'						2,831	-0,47	0,221	-1,331	0,626
V_{L4}''						3,646	-0,47	0,221	-1,709	0,806
V_{L5}						0,632	-0,47	0,221	-0,297	0,140
V_{L6}						0,219	-0,47	0,221	-0,103	0,048
V_{L7}'						1,539	0,63	0,397	0,970	0,611
V_{L7}''						0,542	0,63	0,397	0,341	0,215
V_{L8}						0,05625	1,13	1,277	0,064	0,072
V_{L9}						0,5114	3,50	12,25	1,790	6,265
V_{L10}						0,05625	1,13	1,277	0,064	0,072
V_{L11}						0,219	0,63	0,397	0,138	0,087
V_{L12}						1,394	5,40	29,16	7,528	40,649
V_{L13}						2,877	5,40	29,16	15,536	83,893
V_{L14}						0,068	5,40	29,16	0,367	1,983

Refor ds	H'_x	H''_x	$H_x = H'_x + H''_x$	H'_y	H''_y	$H_y = H'_y + H''_y$
V_{t1}	7,997	2,190	10,187			
V_{t2}	7,997	1,686	9,683			
V_{t3}	11,054	1,632	12,686			
V_{t4}	8,956	0,968	9,924			
V_{t5}	12,650	0,272	12,922			
V_{t6}	12,650	0,526	12,124			
V_{t7}	11,444	-1,198	10,246			
V_{t8}	11,054	-1,855	9,219			
V_{t9}	13,972	-3,166	10,546			
V_{L1}				7,364	-0,099	7,295
V_{L2}				15,198	-0,205	14,993
V_{L3}				0,359	-0,005	0,354
V_{L4}				14,955	-0,022	14,933
V_{L4}				19,260	-0,028	19,232
V_{L5}				3,339	-0,005	3,334
V_{L6}				1,154	-0,002	1,155
V_{L7}				8,130	0,016	8,146
V_{L7}				2,863	0,006	2,869
V_{L8}				0,297	0,001	0,298
V_{L9}				2,702	0,029	2,731
V_{L10}				0,297	0,001	0,298
V_{L11}				1,157	0,002	1,159
V_{L12}				7,364	0,122	7,486
V_{L13}				15,198	0,252	15,450
V_{L14}				0,359	0,006	0,365

		V_{L1}	V_{L2}	V_{L3}	V'_{L4}	V''_{L4}	V_{L5}	V_{L6}	V'_{L7}
8	H (t)	3,101	6,373	0,150	6,347	8,175	1,417	0,491	3,462
	M (t.m)	9,334	19,183	0,452	19,104	24,607	4,265	1,478	10,421
7	H	5,247	11,401	0,269	11,356	14,625	2,535	0,878	6,194
	M	25,127	53,500	1,261	53,286	68,628	11,896	4,121	29,065
6	H	7,666	15,756	0,372	15,693	20,211	3,504	1,214	8,561
	M	48,202	100,925	2,381	100,522	129,463	22,443	7,775	55,104
5	H	9,629	19,790	0,467	19,711	25,386	4,401	1,525	10,752
	M	77,185	160,493	3,787	159,852	205,875	35,690	12,365	87,468
4	H	11,427	23,485	0,555	23,391	30,125	5,222	1,809	12,760
	M	111,581	231,183	5,457	230,259	296,551	51,408	17,810	125,875
3	H	13,083	26,889	0,635	26,781	34,491	5,979	2,071	14,609
	M	150,961	312,119	7,368	310,870	400,369	69,405	24,044	169,848
2	H	14,604	30,015	0,709	29,895	38,501	6,674	2,312	16,308
	M	194,919	402,464	9,503	400,854	516,257	89,493	31,003	218,935
1	H	15,796	32,465	0,767	32,335	41,644	7,219	2,501	17,639
	M	242,465	500,184	11,811	498,182	641,606	111,223	38,531	272,029
R.D.C	H	16,553	34,021	0,803	33,885	43,640	7,565	2,621	18,484
	M	316,953	653,278	15,425	650,665	837,986	145,265	50,326	355,207

		V_{L7}''	V_{L8}	V_{L9}	V_{L10}	V_{L11}	V_{L12}	V_{L13}	V_{L14}
8	H (t)	1,219	0,127	1,161	0,127	0,493	3,182	6,567	0,155
	M (t·m)	3,669	0,382	3,495	0,382	1,484	9,578	19,767	0,467
7	H	2,182	0,227	2,077	0,227	0,881	5,693	11,749	0,278
	M	10,237	1,066	9,746	1,066	4,136	26,714	55,131	1,303
6	H	3,015	0,313	2,870	0,313	1,218	7,867	16,237	0,384
	M	19,312	2,008	18,385	2,008	7,802	50,393	104,005	2,459
5	H	3,787	0,393	3,605	0,393	1,530	9,881	20,394	0,482
	M	30,711	3,191	29,236	3,191	12,407	80,135	165,390	3,910
4	H	4,494	0,467	4,278	0,467	1,815	11,726	24,201	0,572
	M	44,238	4,596	42,113	4,596	17,870	115,430	238,235	5,632
3	H	5,145	0,534	4,898	0,534	2,079	13,426	27,709	0,655
	M	59,724	6,204	56,856	6,204	24,128	155,843	321,640	7,603
2	H	5,744	0,597	5,467	0,597	2,320	14,987	30,930	0,731
	M	77,014	8,001	73,312	8,001	31,111	200,954	414,739	9,804
1	H	6,212	0,645	5,914	0,645	2,510	16,210	33,455	0,790
	M	95,712	9,942	91,113	9,942	38,666	249,746	515,438	12,181
R-DC	H	6,510	0,676	6,197	0,676	2,630	16,987	35,058	0,828
	M	125,007	12,984	118,999	12,984	50,501	326,187	673,199	15,907

		V_{T1}	V_{T2}	V_{T3}	V_{T4}	V_{T5}	V_{T6}	V_{T7}	V_{T8}	V_{T9}
8	H (t)	5,090	4,839	6,339	4,959	6,457	6,058	5,120	4,607	5,270
	M (t.m)	15,321	14,565	19,080	14,926	19,436	18,235	15,411	13,867	15,863
7	H	9,854	9,366	12,271	9,599	12,499	11,728	9,911	8,918	10,201
	M	44,981	42,757	56,016	43,819	57,058	53,536	45,243	40,710	46,568
6	H	14,168	13,467	17,644	13,802	17,972	16,862	14,250	12,822	14,667
	M	87,627	83,293	109,125	85,364	111,153	104,290	88,236	79,304	90,715
5	H	17,907	17,021	22,299	17,444	22,714	21,312	18,010	16,205	18,538
	M	141,527	134,526	176,245	137,87	179,522	168,440	142,346	128,082	146,515
4	H	21,070	20,027	26,238	20,526	26,727	25,076	21,192	19,068	21,812
	M	204,948	194,807	255,221	199,653	259,971	243,918	206,134	185,476	212,169
3	H	23,657	22,487	29,461	23,046	30,009	28,156	23,794	21,409	24,491
	M	276,115	262,493	343,899	269,022	350,298	328,668	277,754	249,917	285,887
2	H	25,669	24,399	31,966	25,006	32,561	30,550	25,818	23,230	26,574
	M	353,419	335,934	440,116	344,290	448,306	420,623	355,466	319,840	365,875
1	H	27,106	25,765	33,755	26,406	34,383	32,260	27,263	24,530	28,061
	M	435,008	413,487	541,719	423,772	551,799	517,726	437,528	393,675	450,338
R-D-C	H	28,147	26,754	35,051	27,420	35,703	33,499	28,310	25,472	29,139
	M	561,67	533,880	699,448	547,162	712,463	668,472	564,923	508,299	581,464

DISTRIBUTION DES EFFORTS SUR LES REFENDS

Afin de fournir chaque section, on calcule les refends sous l'effet des charges horizontales et verticales qui lui ont été distribuées

1) REFENDS PLEINS

Le calcul de ce type de refend est le calcul d'une section rectangulaire vis à vis de l'élément de réduction M, N, T dû aux forces appliquées.

2) VOILES AVEC OUVERTURES

- Refend à une seule file d'ouvertures :

. Hypothèses :

- Les efforts localisés transmis par les linteaux peuvent être considérés comme repartis le long de la fibre moyenne de chaque élément de refend

- Au niveau de chaque étage, les éléments de refend subissent le même déplacement.

. Méthode de calcul :

Le fait que les ouvertures soient superposées crée un affaiblissement dans le plan vertical qui modifie la répartition des efforts dans la totalité du refend. Une telle disposition modifiée est incompatible avec l'hypothèse du voile indéformable.

La méthode de calcul sera étroitement liée à la valeur d'un coefficient " α " appelé degré de monolithisme d'un refend donné ; on notera que α est une caractéristique géométrique du refend et que sa valeur ne dépend pas de l'épaisseur du voile.

Selon la valeur de α , un refend sera considéré comme :

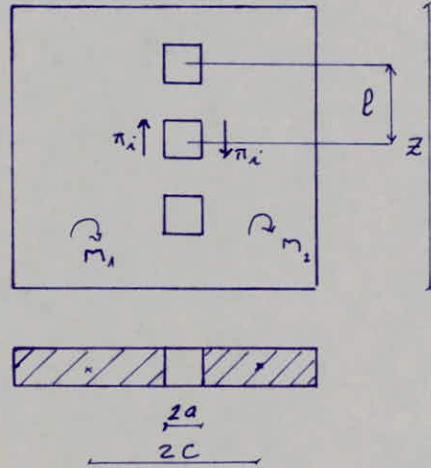
- a) Voile à grandes ouvertures si $\alpha \leq 1$
- b) " " moyennes " si $1 < \alpha \leq 10$
- c) " " petites " si $\alpha > 10$

c) Refond à petites ouvertures : $\alpha \geq 10$

π est donné en fonction de l'effort tranchant total H_0 appliqué à la base.

$$N = \sum_i \pi$$

$$M_1 = \frac{I_1}{I_1 + I_2} H_0 z \left[\frac{(1-f)^2(z+f) - 2m\psi}{3} \right] H_0 \rightarrow$$



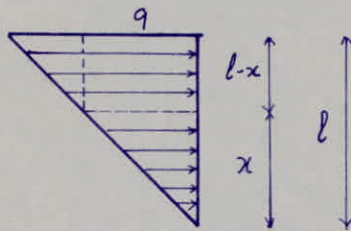
$$\pi = \frac{H_0 \cdot m \cdot l}{I} (1 - f^2)$$

$$f = \frac{z}{z}$$

z : hauteur totale

z : " au niveau considéré

Démonstration de la formule pour une charge triangulaire.



La charge agissant à un niveau z est trapézoïdale, on la décompose en une charge triangulaire plus une charge rectangulaire ce qui nous donne :

$$q = q_r + q_t$$

$$\text{avec } q_r = q \frac{x}{l} \quad \text{et} \quad q_t = q - q_r$$

le moment au niveau x sera alors :

$$M = q_r \frac{(l-x)^2}{2} + l \frac{(q - q_r)(l-x)^2}{3}$$

$$\text{d'où } M = q \cdot \frac{x}{l} \frac{(l-x)^2}{2} + q \frac{(l-x)}{l} \frac{(l-x)}{2} \cdot \frac{2}{3} (l-x)$$

$$M = \frac{q(l-x)^2}{2l} \left[x + \frac{2}{3}(l-x) \right] = q \frac{(l-x)^2}{2} \left[\frac{1}{3}x + \frac{2}{3}l \right]$$

On pose $x = \xi l$ on obtient :

$$M = \frac{9l^2(1-\xi)^2}{2l} \left(\frac{1}{3} \xi l + \frac{2}{3} l \right) = \frac{9l^2}{2} (1+\xi^2-2\xi) \left(\frac{\xi+2}{3} \right)$$

$$M = \frac{9l^2}{6} (\xi + \xi^3 - 2\xi^2 + 2 + 2\xi^2 - 4\xi) = \frac{9l^2}{6} (2 - 3\xi + \xi^3)$$

donc :

$$M = \frac{H_0 l}{3} (2 - 3\xi + \xi^3) \quad \text{avec } H_0 = \frac{9l}{2}$$

d'où $M = \frac{H_0 l}{3} (2 - 3\xi + \xi^3)$

- Refend à plusieurs files d'ouvertures :

La méthode utilisée pour le calcul des refends à une file d'ouvertures peut être généralisée dans le cas des refends plusieurs files d'ouvertures en négligeant la déformation due aux efforts normaux dans les éléments de refends.

Dans ce cas on aura à calculer : $\frac{S_0}{S_t}$ où

S_0 : surface des ouvertures (prise en élévation)

S_t : surface totale du refend (" ")

* Si $\frac{S_0}{S_t} < 10\%$: c'est un refend à très petites ouvertures.

$$\pi_i = \frac{H_0 \cdot m_i \cdot l}{I} (1 - \xi^2)$$

$$N = \sum \pi_i - \sum \pi_{i-1}$$

$$M = \sum M_i + 2N_1(c_1 + c_2 + \dots) + 2N_2(c_2 + c_3 + \dots) + \dots$$

m_i : moment statique de l'élément du refend qui tend à glisser par rapport au linteau pris en considération.

l : distance entre les centres de gravité des linteaux.

* Si $\frac{S_0}{S_t}$ est compris entre 10% et 25% : c'est un refend à petites ouvertures.

on calculera 2 valeurs de π et on prendra la moyenne :

$$\left. \begin{aligned} \pi_{i1} &= H_0 l \frac{i_i c_i}{2a_i^3 \left(\frac{\sum i_i c_i^2}{a_i^3} \right)} \phi \\ \pi_{i2} &= H_0 \cdot m_i \cdot l \left(\frac{1 - \xi^2}{I} \right) \end{aligned} \right\} \pi_i = \frac{\pi_{i1} + \pi_{i2}}{2}$$

$$N_i = \sum_1 (\pi_i - \pi_{i-1})$$

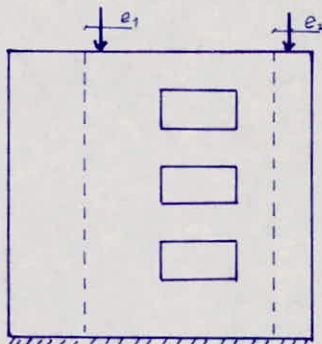
$$M_i = \frac{I_i}{\sum I_i} H_0 z \cdot \left[\frac{(1-\xi)^2 \cdot (z+\xi)}{3} - \psi \right]$$

avec I_i : inertie du linteau i .

- Charges verticales :

D'après M^r DAVIDOVICI ; si les ouvertures sont disposées d'une façon symétrique par rapport à leurs axes alors les charges verticales (charges permanentes et surcharges d'exploitation) sont excentrées. De plus la redistribution des efforts dans les éléments de refends engendre des moments et des efforts normaux.

Mais puisque ces moments sont négligeables devant les moments dus au séisme, donc on pourra négliger cette excentricité et on ne tiendra compte que de l'effort normal de compression dans les trumeaux.



Voile : V_{L1}

$$H_0 = 16,553 \text{ t}$$

$$m = 0,512 \text{ m}^3$$

$$2c = 3,20 \text{ m}$$

$$I_1 = I_2 = 0,0680 \text{ mA}$$

$$I = 1,174 \text{ mA}$$

$$\alpha = 15,27.$$

$$r_{\text{ext}} = 316,953 \text{ t.m.}$$

Niveau	ξ	$\frac{(1-\xi)^2}{3}$	$(2+\xi)$	4	$\frac{2mc}{I} 4$	$\frac{(1-\xi)^2(2+\xi)}{3} - \frac{2mc}{I} 4$	π	M_1	M_2	N
9	1	0	3	0	0	0	0,000	0	0	0
8	0,89	0,0040	2,89	0,01	0,0092	0,0024	2,990	0,568	0,568	2,990
7	0,79	0,0147	2,79	0,04	0,0369	0,0041	5,405	0,970	0,970	8,395
6	0,68	0,0341	2,68	0,09	0,0831	0,0083	7,731	1,963	1,963	16,126
5	0,58	0,0588	2,58	0,15	0,1385	0,0132	9,543	3,122	3,122	25,669
4	0,47	0,0936	2,47	0,23	0,2124	0,0188	11,203	4,447	4,447	36,872
3	0,37	0,1323	2,37	0,32	0,2955	0,0312	12,411	7,380	7,380	49,183
2	0,27	0,1825	2,27	0,41	0,3787	0,0338	13,408	7,995	7,995	62,691
1	0,16	0,2352	2,16	0,50	0,4618	0,0462	14,012	10,928	10,928	76,703
cdc	0	0,3333	2	0,65	0,6003	0,0603	14,380	14,264	14,264	91,083

Verification : $M_1 + M_2 + 2Nc = 320 \text{ t.m}$

Erreur : 0,95 % par excès.

Voile: V_{L2}

$$H_0 = 34,021 \text{ t}$$

$$m = 0,814 \text{ m}^3$$

$$2c = 3,90 \text{ m}$$

$$I_1 = 0,068 \text{ m}^4$$

$$I_2 = 0,45 \text{ m}^4$$

$$I = 3,692 \text{ m}^4$$

$$\alpha = 9,886$$

$$M_{\text{ext}} = 653,278 \text{ t.m}$$

Niveau	ξ	ϕ	$\frac{(1-\xi)^2}{3}$	$(2+\xi)$	ψ	$\frac{2mc\psi}{I}$	$\frac{(1-\xi)^2(2+\xi)}{3} - \frac{2mc\psi}{I}$	Π	M_1	M_2	N
9	1	0,175	0	3	0	0	0	3,951	0	0	3,951
8	0,89	0,25	0,0040	2,89	0,03	0,0258	-0,0142	5,644	-1,812	-11,994	9,595
7	0,79	0,4	0,0147	2,79	0,07	0,0602	-0,0192	9,031	-2,451	-16,218	18,626
6	0,68	0,525	0,0341	2,68	0,11	0,0946	-0,0032	11,853	-0,408	-2,703	30,479
5	0,58	0,65	0,0586	2,58	0,18	0,1548	-0,0036	14,675	-0,459	-3,041	45,154
4	0,47	0,75	0,0936	2,47	0,24	0,2064	0,0248	16,933	3,165	20,948	62,087
3	0,37	0,813	0,1323	2,37	0,32	0,2752	0,0384	18,356	4,901	32,436	80,443
2	0,26	0,763	0,1825	2,26	0,4	0,3439	0,0686	17,227	8,756	57,945	97,67
1	0,16	0,738	0,2352	2,16	0,48	0,4127	0,0953	16,662	12,164	80,498	114,332
RDC	0	0	0,3333	2	0,56	0,4815	0,1851	0	23,626	156,350	114,332

Verification: $M_1 + M_2 + 2N_c = 625,871 \text{ t.m.}$

Erreur: 1,2% par défaut.

Voile : V_{L_1}

$$\begin{aligned}
 H_0 &= 33,885 \text{ t.} \\
 m &= 0,7552 \text{ m}^3 \\
 2c &= 3,20 \text{ m.} \\
 I_1 = I_2 &= 0,219 \text{ m}^4 \\
 I &= 2,854 \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

$$\alpha = 35,26.$$

$$M_{ext} = 650,665 \text{ t.m.}$$

Niveau	ξ	$\frac{(1-\xi)^2}{3}$	$(2+\xi)$	ψ	$\frac{2mc}{I} \psi$	$\frac{(1-\xi)^2(2+\xi)}{3} - \frac{2mc}{I} \psi$	$\bar{\pi}$	M_1	M_2	N
9	1	0	3	0	0	0	0,000	0	0	0
8	0,89	0,0040	2,89	0,0117	0,0099	0,0017	5,611	0,923	0,823	5,611
7	0,79	0,0147	2,79	0,0410	0,0347	0,0063	10,145	3,051	3,051	15,756
6	0,68	0,0341	2,68	0,0915	0,0775	0,0139	14,509	6,731	6,731	30,265
5	0,58	0,0588	2,58	0,1517	0,1285	0,0232	17,910	11,234	11,234	48,175
4	0,47	0,0936	2,47	0,2313	0,1959	0,0353	21,027	17,093	17,093	69,209
3	0,37	0,1323	2,37	0,3136	0,2655	0,0481	23,294	23,291	23,291	92,496
2	0,27	0,1825	2,27	0,4125	0,3493	0,0632	25,164	30,602	30,602	117,660
1	0,16	0,2352	2,16	0,5080	0,4309	0,0778	26,298	37,672	37,672	143,958
cdc	0	0,3333	0	0,6667	0,5645	0,1021	26,989	49,439	49,439	170,947

Vérification : $M_1 + M_2 + 2Nc = 645,908 \text{ t.m.}$

Erreur : 0,73 % par défaut.

Voile V_{LA}'' :

$$H_0 = 43,640 \text{ t}$$

$$I_1 = 0,0288 \text{ m}^4$$

$$I_2 = 0,0260 \text{ m}^4$$

$$I_3 = 0,1775 \text{ m}^4$$

$$I = 3,843 \text{ m}^4$$

$$\alpha = 40,24$$

$$e_1 = 2,02 \text{ m}$$

$$e_2 = 2,68 \text{ m}$$

$$M_{ext} = 837,986 \text{ t.m.}$$

Niveau	ξ	A	4	ϕ	π_1	π_2	M_1	M_2	M_3	$N_1 \uparrow$	$N_2 \downarrow$	$N_3 \uparrow$
9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0,89	0,0177	0,051	0,200	6,365	5,005	-6,077	-5,486	-37,454	6,365	1,360	5,005
7	0,79	0,0410	0,0683	0,388	12,348	9,710	-4,221	-3,811	-26,015	12,713	3,998	14,715
6	0,68	0,0915	0,1170	0,550	17,504	13,764	-3,943	-3,560	-24,301	26,217	7,738	28,479
5	0,58	0,1517	0,1745	0,675	21,482	16,892	-3,526	-3,183	-21,731	57,699	12,328	45,371
4	0,47	0,2313	0,2414	0,788	25,078	19,720	-1,562	-1,410	-9,627	82,777	17,686	65,091
3	0,37	0,3136	0,2206	0,863	27,465	21,597	-1,082	-0,977	-6,669	110,242	23,554	86,688
2	0,26	0,4125	0,4080	0,925	29,438	23,149	0,696	0,628	4,290	139,680	29,869	109,837
1	0,16	0,5080	0,5020	0,969	30,839	24,250	0,928	0,838	5,719	170,509	36,432	134,077
R-D.C	0	0,6667	0,66	1	34,825	25,026	1,036	0,935	6,385	202,344	43,231	165,912

Verification: $M_1 + M_2 + M_3 + 2N_1(e_1 + e_2) - 2N_2 e_2 = 843,514 \text{ t.m.}$

Erreur : 0,65% par étages

Voile : V_{L5}

$$H_0 = 7,565 \text{ t}$$

$$m = 0,268 \text{ m}^3$$

$$2c = 2,12 \text{ m}$$

$$I_1 = 0,026 \text{ m}^4$$

$$I_2 = 0,045 \text{ m}^4$$

$$I = 0,640 \text{ m}^4$$

$$\alpha = 56,68.$$

$$M_{ext} = 145,265 \text{ t.m}$$

Niveau	ξ	$(\frac{1-\xi}{3})^2$	$(2+\xi)$	ψ	$\frac{2mc}{I} \psi$	$\frac{(1-\xi)^2(2+\xi)}{3} - \frac{2mc}{I} \psi$	π	M_1	M_2	N
9	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0
8	0,89	0,0040	2,89	0,01	0,0089	0,0027	1,982	0,214	0,370	1,982
7	0,79	0,0147	2,79	0,04	0,0355	0,0055	3,584	0,435	0,754	5,566
6	0,68	0,0341	2,68	0,09	0,0799	0,0115	5,126	0,911	1,576	10,692
5	0,58	0,0588	2,58	0,15	0,1332	0,0185	6,328	1,465	2,535	17,020
4	0,47	0,0936	2,47	0,24	0,2131	0,0181	7,429	1,433	2,480	24,449
3	0,37	0,1323	2,37	0,33	0,2930	0,0206	8,230	1,631	2,823	32,679
2	0,26	0,1825	2,26	0,42	0,3729	0,0396	8,891	3,135	5,427	41,570
1	0,16	0,2352	2,16	0,51	0,4528	0,0552	9,291	4,370	7,564	50,861
RDC	0	0,3333	2	0,66	0,5859	0,0807	9,535	6,389	11,059	60,396

Verification : $M_1 + M_2 + 2Nc = 145,487 \text{ t.m.}$

Erreur : 0,15% par excès.

$$V_{orle} = V_{Lg}$$

$$H_0 = 6,197 \text{ t}$$

$$m = 0,226 \text{ m}^3$$

$$l_c = 2,15 \text{ m}$$

$$I_1 = I_2 = 0,0193 \text{ m}^4$$

$$I = 0,5245 \text{ m}^4$$

$$\alpha = 50,98.$$

$$M_{ext} = 118,999 \text{ t.m}$$

$N_{i,veau}$	ξ	$\frac{(1-\xi)^2}{3}$	$(2+\xi)$	ψ	$\frac{2mc}{I} \psi$	$\frac{(1-\xi)^2(2+\xi)}{3} - \frac{2mc}{I} \psi$	π	M_1	M_2	N
9	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0
8	0,99	0,0040	2,99	0,0117	0,0108	0,0008	1,671	0,071	0,071	1,671
7	0,79	0,0147	2,79	0,0410	0,0380	0,0030	3,021	0,266	0,266	4,692
6	0,68	0,0341	2,68	0,0915	0,0848	0,0066	4,321	0,584	0,584	9,013
5	0,58	0,0588	2,58	0,1517	0,1405	0,0112	5,334	0,992	0,992	14,347
4	0,47	0,0936	2,47	0,2313	0,2143	0,0169	6,262	1,497	1,497	20,609
3	0,37	0,1323	2,37	0,3136	0,2905	0,0231	6,937	2,046	2,046	27,546
2	0,26	0,1825	2,26	0,4125	0,3821	0,0304	7,494	2,692	2,692	35,040
1	0,16	0,2352	2,16	0,5080	0,4706	0,0374	7,832	3,312	3,312	42,872
RDC	0	0,3333	2	0,6667	0,6176	0,0490	8,037	4,339	4,339	50,909

$$\text{Verification : } M_1 + M_2 + 2Nc = 118,132 \text{ t.m}$$

$$\text{Erreur : } 0,73 \% \text{ par défaut.}$$

$$V_{oile} = V_{L12}$$

$$H_0 = 16,987 \text{ t}$$

$$m = 0,512 \text{ m}^3$$

$$l_c = 3,20 \text{ m}$$

$$I_1 = I_2 = 0,0680 \text{ m}^4$$

$$I = 1,774 \text{ m}^4$$

$$d = 15,27.$$

$$M_{ext} = 326,187 \text{ t.m.}$$

Niveau	ξ	$\frac{(1-\xi)^2}{3}$	$(2+\xi)$	ψ	$\frac{2mc}{I} \psi$	$\frac{(1-\xi)^2(2+\xi)}{3} - \frac{2mc}{I} \psi$	π	M_1	M_2	N
9	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0
8	0,89	0,0040	2,89	0,01	0,0092	0,0024	3,068	0,583	0,583	3,068
7	0,79	0,0147	2,79	0,04	0,0369	0,0041	5,547	0,995	0,995	8,547
6	0,68	0,0341	2,68	0,09	0,0831	0,0083	7,933	2,015	2,015	16,548
5	0,58	0,0588	2,58	0,15	0,1385	0,0132	9,793	3,204	3,204	26,341
4	0,47	0,0936	2,47	0,24	0,2217	0,0188	11,497	4,564	4,564	37,838
3	0,37	0,1323	2,37	0,33	0,3048	0,0312	12,737	7,574	7,574	50,575
2	0,26	0,1825	2,26	0,42	0,3879	0,0338	13,759	8,205	8,205	64,334
1	0,16	0,2352	2,16	0,51	0,4710	0,0462	14,379	11,215	11,215	78,713
C.C.	0	0,3333	2	0,66	0,6096	0,0603	14,757	14,637	14,637	93,470

$$\text{Verification: } M_1 + M_2 + 2N_c = 328,378 \text{ t.m.}$$

$$\text{Erreur: } 0,66\% \text{ par excès.}$$

Verle VL13 :

$W_0 = 35,058 \text{ t}$
 $m = 0,814; l_c = 3,9 \text{ m}$
 $I_1 = 0,068 \text{ m}^4$
 $I_2 = 0,45 \text{ m}^4$
 $I = 3,692 \text{ m}^4$

$d = 9,886$

$M_{\text{ext}} = 643,199 \text{ t.m.}$

110

Niveau	ξ	ϕ	$\frac{(1-\xi)^2}{3}$	$(2+\xi)$	ψ	$\frac{2mc}{I} \psi$	$\frac{(1-\xi)^2(2+\xi)}{3} - \frac{2mc}{I} \psi$	π	M_1	M_2	N
9	1	0,175	0	3	0	0	0	4,071	0	0	4,071
8	0,89	0,25	0,0040	2,89	0,03	0,0258	-0,0142	5,816	-1,868	-12,360	9,887
4	0,49	0,4	0,0144	2,49	0,07	0,0602	-0,0192	9,306	-2,525	-16,712	19,193
6	0,68	0,525	0,0341	2,68	0,11	0,0946	-0,0032	12,214	-0,421	-2,785	31,404
5	0,58	0,65	0,0586	2,58	0,180	0,1548	-0,0036	15,123	-0,474	-3,134	46,530
4	0,47	0,75	0,0936	2,47	0,24	0,2064	0,0248	17,449	3,262	21,587	63,979
3	0,37	0,813	0,1323	2,37	0,32	0,2752	0,0384	19,915	5,051	33,424	82,894
2	0,26	0,763	0,1825	2,26	0,4	0,3439	0,0686	17,752	9,023	59,711	100,646
1	0,16	0,738	0,2352	2,16	0,48	0,4127	0,0953	17,170	12,535	89,952	117,816
LOC	0	0	0,3333	2	0,56	0,4815	0,1851	0	24,346	161,116	117,816

Verification: $M_1 + M_2 + 2Nc = 644,944 \text{ t.m.}$

Erreur: 4,2% par défaut.

Voile: V_{T1}

$$H_0 = 28,147 \text{ t}$$

$$m = 2,458 \text{ m}^3$$

$$2c = 5,50 \text{ m}$$

$$I_1 = 1,925 \text{ m}^4$$

$$I_2 = 1,174 \text{ m}^4$$

$$I = 16,618 \text{ m}^4$$

$$\alpha = 4,83.$$

$$M_{\text{ext}} = 561,67 \text{ t.m.}$$

Niveau	ξ	ϕ	$\frac{(1-\xi)^2}{3}$	$(2+\xi)$	ψ	$\frac{2mc}{I} \psi$	$\frac{(1-\xi)^2(2+\xi)}{3} - \frac{2mc}{I} \psi$	Π	M_1	M_2	N
9	1	0,30	0	3	0,02	0,0163	-0,0163	3,759	-8,145	-4,967	3,759
8	0,89	0,35	0,0040	2,89	0,05	0,041	-0,0294	4,386	-11,691	-8,960	8,145
7	0,79	0,41	0,0147	2,79	0,09	0,073	-0,0320	5,138	-15,990	-9,752	13,293
6	0,68	0,51	0,0341	2,68	0,14	0,114	-0,0226	6,391	-11,293	-6,887	19,674
5	0,58	0,59	0,0588	2,58	0,19	0,155	-0,0033	7,394	-1,649	-1,006	27,068
4	0,47	0,64	0,0936	2,47	0,25	0,203	0,0282	8,020	14,09	8,593	35,088
3	0,37	0,65	0,1323	2,37	0,30	0,244	0,0696	8,145	34,779	21,211	43,233
2	0,26	0,61	0,1825	2,26	0,37	0,301	0,1115	7,604	55,716	33,976	50,877
1	0,16	0,48	0,2352	2,16	0,42	0,342	0,1660	6,015	82,949	50,588	56,892
ROC	0	0	0,3333	2	0,46	0,374	0,2926	0	116,210	89,173	56,892

Verification : $M_1 + M_2 + 2Nc = 548,289 \text{ t.m}$

Erreur : 2,38% par défaut.

Voile : V_{T2}

$$H_0 = 26,754 \text{ t}$$

$$m = 2,458 \text{ m}^3$$

$$2c = 5,50 \text{ m}$$

$$I_1 = 1,925$$

$$I_2 = 1,174$$

$$I = 16,618 \text{ m}^4$$

$$\alpha = 4,83$$

$$M_{ext} = 533,88 \text{ t.m.}$$

Niveau	ξ	ϕ	$\frac{(1-\xi)^2}{3}$	$(2+\xi)$	ψ	$\frac{2mc}{I} \psi$	$\frac{(1-\xi)^2(2+\xi)}{3} - \frac{2mc}{I} \psi$	π	M_1	M_2	N
9	1	0,30	0	3	0,02	0,0163	-0,0163	3,573	-7,742	-4,722	3,573
8	0,89	0,35	0,0040	2,89	0,05	0,041	-0,0294	4,169	-13,961	-8,516	7,742
7	0,79	0,41	0,0147	2,79	0,09	0,073	-0,0320	4,884	-15,199	-9,269	12,626
6	0,68	0,51	0,0341	2,68	0,14	0,114	-0,0226	6,075	-10,734	-6,546	18,701
5	0,58	0,59	0,0588	2,58	0,19	0,155	-0,0033	7,028	-1,567	-0,956	25,729
4	0,47	0,64	0,0936	2,47	0,25	0,203	0,0282	7,623	13,394	8,169	33,352
3	0,37	0,65	0,1323	2,37	0,30	0,244	0,0696	7,742	33,057	20,160	41,094
2	0,26	0,61	0,1825	2,26	0,37	0,301	0,1115	7,266	52,958	32,298	48,360
1	0,16	0,48	0,2352	2,16	0,42	0,342	0,1660	5,717	78,844	48,085	51,077
0c	0	0	0,3333	2	0,46	0,3741	0,1926	0	138,974	84,756	54,077

Verification : $M_1 + M_2 + 2Nc = 521,154 \text{ t.m}$

Erreur : 2,4% par défaut.

Voile : V_{T3}

$$\begin{aligned}
 H_0 &= 35,051 \text{ t} \\
 m &= 3,021 \text{ m}^2 \\
 l_c &= 6,125 \text{ m} \\
 I_1 &= 3,820 \text{ m}^4 \\
 I_2 &= 1,174 \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I &= 23,497 \text{ m}^4 \\
 \alpha &= 4,313
 \end{aligned}$$

$$M_{ext} = 699,448 \text{ t.m.}$$

Niveau	ξ	ϕ	$\frac{(1-\xi)^2}{3}$	$(2+\xi)$	ψ	$\frac{2mc}{I} \psi$	$(1-\xi)^2(2+\xi) - \frac{2mc}{I} \psi$	π	M_1	M_2	N
9	-1	0,34	0	3	0,02	0,016	-0,016	4,612	-12,260	-3,768	4,612
8	0,89	0,38	0,0040	2,89	0,05	0,039	-0,027	5,155	-20,689	-6,358	9,767
7	0,79	0,41	0,0147	2,79	0,09	0,071	-0,030	5,561	-22,988	-7,065	15,328
6	0,68	0,49	0,0341	2,68	0,14	0,110	-0,0186	6,647	-14,252	-4,380	21,975
5	0,58	0,54	0,0588	2,58	0,19	0,150	0,0017	7,325	1,303	0,401	29,3
4	0,47	0,58	0,0936	2,47	0,25	0,197	0,0342	7,867	26,206	8,054	37,167
3	0,37	0,56	0,1323	2,37	0,30	0,236	0,0746	7,596	59,462	18,274	44,763
2	0,26	0,51	0,1825	2,26	0,37	0,291	0,1215	6,918	93,101	28,613	51,681
1	0,16	0,4	0,2352	2,16	0,42	0,331	0,1770	5,426	135,628	41,683	57,107
RDC	0	0	0,3333	2	0,46	0,362	0,3046	0	233,403	71,732	57,107

Verifications $M_1 + M_2 + 2Nc = 233,403 + 71,732 + (57,107 \times 6,125)$
 $= 654,915 \text{ t.m}$

Erreur: 6,4 % par défaut.

Voile : V_{T4} :

$H_0 = 27,1420 \text{ t}$
 $I_1 = 0,00292 \text{ m}^4$
 $I_2 = 0,3391 \text{ m}^4$
 $I_3 = 0,02218 \text{ m}^4$
 $I_4 = 0,39399 \text{ m}^4$

$I = 18,456 \text{ m}^4$
 $\alpha = 19,83$

$M_{ext} = 547,162 \text{ t.m.}$

$$A = \frac{2 - 3\xi + \xi^3}{3}$$

14

Niveau	ξ	A	U	ϕ	$(1-\frac{\xi}{\alpha})$	π_1	π_2	π_3	M_1	M_2	M_3	M_4	$N_1 \uparrow$	$N_2 \downarrow$	$N_3 \uparrow$	$N_4 \downarrow$
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0,19	0,0117	0,05	0,200	0,2079	6,199	0,315	0,045	-0,116	-13,423	-0,878	-15,596	6,199	5,184	0,27	0,045
7	0,49	0,0410	0,0688	0,388	0,3759	12,025	0,611	0,087	-0,082	-9,568	-0,625	-11,117	18,224	17,298	0,794	0,132
6	0,68	0,0915	0,117	0,550	0,5376	17,046	0,866	0,124	-0,077	-8,937	-0,584	-10,384	35,270	33,478	1,536	0,256
5	0,58	0,1517	0,1745	0,645	0,6636	20,920	1,063	0,152	-0,068	-7,991	-0,522	-9,285	56,190	53,335	2,447	0,408
4	0,47	0,2313	0,2414	0,788	0,7791	24,622	1,240	0,177	-0,030	-3,540	-0,231	-4,113	80,612	76,517	3,51	0,585
3	0,37	0,3136	0,3206	0,863	0,8631	26,747	1,358	0,194	-0,021	-2,453	-0,1604	-2,851	107,359	101,606	4,644	0,779
2	0,26	0,4125	0,408	0,925	0,9324	28,668	1,456	0,209	0,0136	1,577	0,103	-1,832	136,027	128,818	5,921	0,988
1	0,16	0,5080	0,502	0,969	0,9744	30,032	1,527	0,218	0,0181	2,102	0,137	2,443	166,059	157,323	7,73	1,206
LOC	0	0,6667	0,66	1	1	30,992	1,574	0,225	0,0202	2,348	0,153	2,728	197,051	186,741	8,549	1,431

Verification: $M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + 2N_1 (C_1 + C_2 + C_3) - 2N_2 (C_1 + C_2) + 2N_3 C_3 = 547,162 \text{ t.m}$

Erreur : 9,27 % par excès.

Voile: V_{T5}

$H_0 = 35,703 \text{ t}$
 $m = 2,458 \text{ m}^2$
 $2c = 5,52 \text{ m}$
 $I_1 = 1,878 \text{ m}^4$
 $I_2 = 1,174 \text{ m}^4$

$I = 16,619 \text{ m}^4$
 $\alpha = 17,04$

$M_{\text{ext}} = 712,463 \text{ t.m.}$

N_{travers}	ξ	$\frac{(1-\xi)^2}{3}$	$(2+\xi)$	η	$\frac{2mc}{I} \eta$	$\frac{(1-\xi)^2(2+\xi)}{3} - \frac{2mc}{I} \eta$	π	M_1	M_2	N
9	1	0	3	0	0	0	0,000	0	0	0
8	0,89	0,0040	2,89	0,01	0,008	0,0036	3,304	2,260	1,413	3,304
7	0,79	0,0147	2,79	0,04	0,033	0,0080	5,975	5,023	3,140	9,279
6	0,68	0,0341	2,68	0,09	0,073	0,0184	8,545	11,553	7,222	17,824
5	0,58	0,0588	2,58	0,15	0,122	0,0297	10,548	18,648	11,657	28,372
4	0,47	0,0936	2,47	0,24	0,196	0,0352	12,383	22,101	13,816	40,755
3	0,37	0,1323	2,37	0,33	0,269	0,0446	13,719	28,004	17,506	54,474
2	0,26	0,1825	2,26	0,42	0,343	0,0695	14,820	43,638	27,280	69,294
1	0,16	0,2352	2,16	0,51	0,416	0,0920	15,488	57,765	36,111	84,782
RDC	0	0,3333	2	0,66	0,539	0,1277	15,895	80,181	50,124	100,677

Verification : $M_1 + M_2 + 2Nc = 686,042 \text{ t.m}$

Erreur : 3,7% par défaut.

Voile : V_{T6}

$H_0 = 33,499 \text{ t}$
 $m = 2,458 \text{ m}^3$
 $z_c = 5,52 \text{ m}$
 $I_1 = 1,878 \text{ m}^4$
 $I_2 = 1,174 \text{ m}^4$

$I = 16,619 \text{ m}^4$
 $\alpha = 17,04$

$M_{ext} = 668,472 \text{ t.m.}$

116

Niveau	ξ	$\frac{(1-\xi)^2}{3}$	$(2+\xi)$	4	$\frac{2mc}{I} 4$	$\frac{(1-\xi)^2(2+\xi)}{3} - \frac{2mc}{I} 4$	π	M_1	M_2	N
9	1	0	3	0	0	0	0,000	0	0	0
8	0,89	0,0040	2,89	0,01	0,008	0,0036	3,100	2,121	1,326	3,100
7	0,79	0,0147	2,79	0,04	0,033	0,0080	5,606	4,713	2,926	5,706
6	0,68	0,0341	2,68	0,09	0,073	0,0184	8,017	10,840	6,776	16,723
5	0,58	0,0588	2,58	0,15	0,122	0,0297	9,897	17,497	10,938	26,620
4	0,47	0,0936	2,47	0,24	0,196	0,0352	11,619	20,737	12,675	38,299
3	0,37	0,1323	2,37	0,33	0,269	0,0446	12,872	26,275	16,425	51,111
2	0,27	0,1825	2,27	0,42	0,343	0,0695	13,826	40,944	25,595	64,937
1	0,16	0,2352	2,16	0,51	0,416	0,0920	14,532	50,199	31,381	79,469
ROC	0	0,3333	2	0,66	0,539	0,1177	14,913	75,231	47,029	94,382

Verification : $M_1 + M_2 + 2Nc = 643,249 \text{ t.m}$

Erreur : 3,7 % par défaut.

Voile V7

$$H_0 = 28,310 \text{ t.}$$

$$I_1 = 0,00292 \text{ m}^4$$

$$I_2 = 0,3391 \text{ m}^4$$

$$I_3 = 0,02218 \text{ m}^4$$

$$I_4 = 0,39399 \text{ m}^4$$

$$2c_1 = 2,485 \text{ m}$$

$$2c_2 = 2,915 \text{ m}$$

$$2c_3 = 4,135 \text{ m.}$$

$$\alpha = 19,83$$

$$I = 18,456.$$

$$A = \frac{2 \cdot 3 \xi + \xi^3}{3}$$

$$V_{\text{ext}} = 564,923 \text{ t.}$$

117

Niveau	ξ	A	Y	ϕ	$1-\xi^2$	π_1	π_2	π_3	M_1	M_2	M_3	M_4	$N_1 \uparrow$	$N_2 \downarrow$	$N_3 \uparrow$	$N_4 \downarrow$
9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0,89	0,0147	0,5	0,200	0,2079	6,400	0,325	0,046	-0,119	-13,860	-0,907	-16,103	6,400	6,075	0,279	0,046
7	0,79	0,0410	0,0683	0,388	0,3759	12,415	0,631	0,090	-0,085	-9,879	-0,646	-11,478	18,815	17,859	0,820	0,136
6	0,68	0,0915	0,170	0,550	0,5376	17,599	0,894	0,128	-0,079	-9,228	-0,604	-10,721	36,414	34,664	1,586	0,264
5	0,58	0,1517	0,345	0,675	0,6636	21,599	1,097	0,157	-0,071	-8,251	-0,540	-9,586	58,013	55,066	2,526	0,421
4	0,47	0,230	0,2414	0,788	0,7791	25,215	1,281	0,183	-0,031	-3,655	-0,239	-4,246	83,228	79,000	3,624	0,604
3	0,37	0,3136	0,3206	0,863	0,8631	27,615	1,403	0,200	-0,022	-2,533	-0,166	-2,943	110,843	105,212	4,827	0,804
2	0,26	0,4125	0,408	0,925	0,9324	29,599	1,503	0,215	0,014	1,628	0,107	1,892	140,442	133,308	6,115	1,019
1	0,16	0,5080	0,502	0,969	0,9744	31,007	1,575	0,225	0,019	2,171	0,142	2,523	171,449	162,740	7,465	1,244
ROC	0	0,6667	0,66	1	1	31,998	1,625	0,232	0,021	2,425	0,159	2,817	203,447	193,173	8,858	2,869

$$M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + 2N_1(c_1 + c_2 + c_3) - 2N_2(c_1 + c_2) + 2N_3c_3 = 620,47 \text{ t.m.}$$

Erreur: 8,9% par excès.

Voite : V_{T8}

$H_0 = 25,472 \text{ t}$
 $m = 3,021 \text{ m}^3$
 $2c = 6,125 \text{ m}$
 $I_1 = 3,820 \text{ m}^4$
 $I_2 = 1,174 \text{ m}^4$

$I = 23,497 \text{ m}^4$
 $\alpha = 4,313.$

$M_{ext} = 508,299 \text{ t.m.}$

118

Niveau	ξ	ϕ	$\frac{(1-\xi)^2}{3}$	$(2+\xi)$	ψ	$\frac{2mc}{I} \psi$	$(1-\xi)^2(2+\xi) - \frac{2mc}{I} \psi$	Π	M_1	M_2	N
9	1	0,34	0	3	0,02	0,016	-0,016	3,352	-8,910	-2,738	3,352
8	0,89	0,38	0,0040	2,89	0,05	0,039	-0,027	3,746	-15,035	-4,621	7,098
7	0,79	0,41	0,0147	2,79	0,09	0,071	-0,030	4,042	-16,706	-5,134	11,14
6	0,68	0,49	0,0341	2,68	0,14	0,110	-0,0186	4,830	-10,357	-3,183	15,97
5	0,58	0,54	0,0588	2,58	0,19	0,15	0,0017	5,323	0,947	0,291	21,293
4	0,47	0,58	0,0936	2,47	0,25	0,197	0,0342	5,717	19,044	5,853	27,010
3	0,37	0,56	0,1323	2,37	0,30	0,236	0,0776	5,520	43,212	13,280	32,530
2	0,26	0,51	0,1825	2,26	0,37	0,291	0,1215	5,027	67,656	20,793	37,557
1	0,16	0,4	0,2352	2,16	0,42	0,331	0,1770	3,943	98,563	30,291	41,5
RDC	0	0	0,3333	2	0,46	0,362	0,3046	0	169,617	52,128	41,5

Verification : $M_1 + M_2 + 2Nc = 475,933 \text{ t.m}$

Erreur : 6,4 % par défaut.

SUPERPOSITIONS DES SOLLICITATIONS

D'après l'article 3.3.2 du R.P.A 83 :

Les combinaisons des forces sismiques et des charges verticales spécifiées sont données ci-dessous. Les éléments structuraux doivent être dimensionnés pour ces combinaisons des charges sur la base des règlements de béton en vigueur.

$$G + Q + E$$

$$0,8 G \pm E$$

Les effets de l'accélération verticale dus aux séismes sont inclus comme suit :

La combinaison $(G+Q+E)$, comprend la totalité de la charge d'exploitation ainsi que la charge sismique. Du fait que cette charge d'exploitation est tout à fait improbable, une grande partie de celle-ci (environ 40 à 60%) peut effectivement représenter l'effet des accélérations verticales des séismes. La combinaison $(0,8G \pm E)$ tient compte de la réduction de la charge verticale qui se produira à cause des effets de l'accélération verticale. La valeur $\pm E$ permet de prendre en compte la réversibilité des charges sismiques créant des efforts de traction et de compression dans les voiles.

Les résultats des combinaisons sont donnés sous forme de tableaux.

Voile V_{L1}		Trameau II									
Niveau	$G(x)$	$Q(x)$	$E(x)$	$0,8G+E$	$0,8G-E$	$G+Q+E$	$G+1,2Q$	$M(x-m)$			
8	9,076	0,25	2,990	10,254	4,271	12,316	9,376	0,568			
7	13,216	0,688	4,395	18,968	2,178	22,299	14,042	0,970			
6	17,356	1,081	16,126	30,014	-2,241	34,563	18,653	1,963			
5	21,946	1,431	25,669	42,166	-8,472	48,596	23,213	3,122			
4	25,636	1,438	36,872	57,381	-16,363	64,246	27,722	4,447			
3	29,476	2,000	49,183	73,104	-25,462	81,059	32,176	7,380			
2	33,916	2,219	62,691	89,824	-35,558	98,826	36,579	7,995			
1	39,256	2,438	76,703	108,108	-45,298	118,397	42,182	10,928			
2-0-C	49,685	3,656	91,083	130,831	-51,335	144,424	54,072	14,264			

Voile V_{L1}		Trameau III									
Niveau	$G(x)$	$Q(x)$	$E(x)$	$0,8G+E$	$0,8G-E$	$G+Q+E$	$G+1,2Q$	$M(x-m)$			
8	9,076	0,25	2,990	10,254	4,271	12,316	9,376	0,568			
7	13,216	0,688	4,395	18,968	2,178	22,299	14,042	0,970			
6	17,356	1,081	16,126	30,014	-2,241	34,563	18,653	1,963			
5	21,946	1,431	25,669	42,166	-8,472	48,596	23,213	3,122			
4	25,636	1,438	36,872	57,381	-16,363	64,246	27,722	4,447			
3	29,476	2,000	49,183	73,104	-25,462	81,059	32,176	7,380			
2	33,916	2,219	62,691	89,824	-35,558	98,826	36,579	7,995			
1	39,256	2,438	76,703	108,108	-45,298	118,397	42,182	10,928			
2-0-C	49,685	3,656	91,083	130,831	-51,335	144,424	54,072	14,264			

Voie VL12		Trumeau I									
Niveau	G(t)	Q(t)	E(t)	q8q+E	q8q-E	G+Q+E	G+1,2Q	M(t.m)			
8	9,046	0,25	3,068	10,329	4,193	12,394	9,346	0,583			
7	13,216	0,688	8,544	19,120	9,026	22,451	14,1042	0,995			
6	19,356	1,081	16,548	30,143	-2,663	34,985	18,653	1,015			
5	21,496	1,431	26,341	43,538	-9,144	49,268	23,213	3,204			
4	25,636	1,738	37,838	58,344	-17,329	65,212	24,422	4,564			
3	29,776	2,000	50,545	74,1396	-26,1754	82,351	32,176	4,444			
2	33,916	2,219	64,934	91,464	-37,201	100,469	36,599	8,205			
1	39,256	2,438	78,443	110,118	-47,308	120,404	42,182	11,215			
a-0-c	49,685	3,656	93,440	133,218	-53,722	146,812	54,072	14,634			

Voie VL12		Trumeau II									
Niveau	G(t)	Q(t)	E(t)	q8q+E	q8q-E	G+Q+E	G+1,2Q	M(t.m)			
8	9,046	0,25	3,068	10,329	4,193	12,394	9,346	0,583			
7	13,216	0,688	8,544	19,120	9,026	22,451	14,1042	0,995			
6	19,356	1,081	16,548	30,143	-2,663	34,985	18,653	1,015			
5	21,496	1,431	26,341	43,538	-9,144	49,268	23,213	3,204			
4	25,636	1,738	37,838	58,344	-17,329	65,212	24,422	4,564			
3	29,776	2,000	50,545	74,1396	-26,1754	82,351	32,176	4,444			
2	33,916	2,219	64,934	91,464	-37,201	100,469	36,599	8,205			
1	39,256	2,438	78,443	110,118	-47,308	120,404	42,182	11,215			
a-0-c	49,685	3,656	93,440	133,218	-53,722	146,812	54,072	14,634			

Voile VL2		Trameau I							
Niveau	G(L)	Q(L)	E(L)	Q8G+E	Q8G-E	G+Q+E	G+1,2Q	M(L)	
8	46,135	0,125	9,595	22,503	3,343	25,980	16,435	-11,994	
7	22,345	0,688	18,426	37,302	0,050	42,659	24,171	-16,218	
6	30,525	1,081	30,479	54,899	-6,059	62,085	31,822	-2,1703	
5	37,705	1,431	45,154	75,318	-14,990	84,790	39,422	-3,044	
4	44,885	1,738	62,087	97,995	-26,179	108,710	46,971	20,948	
3	52,065	2,000	80,143	122,095	-38,791	184,508	54,465	32,436	
2	59,245	2,219	97,670	145,066	-50,274	159,134	61,908	57,945	
1	68,825	2,438	114,332	169,392	-59,272	185,595	71,751	80,498	
D.O.C	88,379	3,656	144,382	185,035	-43,629	206,367	92,766	156,350	

Voile VL2		Trameau II							
Niveau	G(L)	Q(L)	E(L)	Q8G+E	Q8G-E	G+Q+E	G+1,2Q	M(L)	
8	9,924	0,250	9,595	17,534	-1,656	19,679	10,224	-1,812	
7	14,064	0,688	18,626	29,877	-7,375	33,378	14,890	-2,451	
6	18,204	1,081	30,479	45,042	-15,916	49,764	19,501	-0,408	
5	22,344	1,431	45,154	63,019	-27,279	68,929	24,061	0,408	
4	26,484	1,738	62,087	83,274	-40,900	90,309	28,570	3,165	
3	30,624	2,000	80,143	104,912	-55,944	113,067	33,024	4,901	
2	34,764	2,219	97,670	125,481	-69,859	134,653	37,427	8,756	
1	40,104	2,438	114,332	146,445	-82,249	156,874	43,030	12,164	
D.O.C	50,533	3,656	144,332	154,758	-73,906	168,521	54,920	13,626	

Voile VL14								
Niveau	G(T)	Q(T)	-	0,8G	G+Q	-	G+1,2Q	M(T.m)
8	9,076	0,25		7,261	9,326		9,376	0,467
7	13,246	0,688		10,543	13,904		14,042	1,303
6	17,356	1,084		13,885	18,347		18,653	2,459
5	21,496	1,431		17,107	22,921		23,243	3,910
4	25,636	1,738		20,509	27,344		27,722	5,632
3	29,776	2,000		23,821	31,776		32,176	7,603
2	33,916	2,249		27,133	36,235		36,579	9,804
1	39,256	2,438		31,405	41,694		42,182	12,181
2-0-C	49,685	3,656		39,748	53,341		54,072	15,909

Voile VL3								
Niveau	G(T)	Q(T)	-	0,8G	G+Q	-	G+1,2Q	M(T.m)
8	9,924	0,25		7,939	10,174		10,224	0,452
7	14,064	0,688		11,251	14,1752		14,1890	1,261
6	18,204	1,081		14,563	19,285		19,501	2,381
5	22,344	1,431		17,875	23,775		24,061	3,787
4	26,484	1,738		21,187	28,222		28,570	5,457
3	30,624	2,000		24,499	32,644		33,024	7,368
2	34,764	2,249		27,811	36,983		37,427	9,503
1	40,104	2,438		32,083	42,542		43,030	11,811
2-0-C	50,533	3,656		40,426	54,189		54,920	15,425

Voile $\sqrt{L_4}$		Trumeau I							
Niveau	$G(L)$	$Q(L)$	$E(L)$	$0,8G+E$	$0,8G-E$	$G+Q+E$	$G+1,2Q$	$M(L.m)$	
8	11,015	0,1400	5,611	14,143	3,201	17,026	11,1495	0,823	
7	17,110	1,100	15,756	29,144	-2,1068	33,966	18,1430	3,051	
6	23,205	1,730	30,165	48,829	-1,1701	55,200	25,281	6,431	
5	29,300	1,290	48,175	71,615	-2,4,735	79,765	32,048	11,234	
4	35,395	2,1780	69,202	97,518	-4,0,886	107,377	38,731	17,093	
3	41,490	3,200	92,496	125,688	-5,9,304	137,186	45,330	23,291	
2	47,585	3,550	117,660	155,728	-7,9,592	168,795	51,845	30,602	
1	54,880	3,900	143,958	184,862	-10,0,54	201,738	59,560	37,672	
0-0-C	59,1410	5,850	170,947	218,1475	-12,3,149	236,207	66,430	49,439	

Voile $\sqrt{L_4}$		Trumeau II							
Niveau	$G(L)$	$Q(L)$	$E(L)$	$0,8G+E$	$0,8G-E$	$G+Q+E$	$G+1,2Q$	$M(L.m)$	
8	11,015	0,1400	5,611	14,143	3,201	17,026	11,1495	0,823	
7	17,110	1,100	15,756	29,144	-2,1,068	33,966	18,1430	3,051	
6	23,205	1,730	30,265	48,829	-1,1,701	55,200	25,281	6,431	
5	29,300	1,290	48,175	71,615	-2,4,735	79,765	32,048	11,234	
4	35,395	2,1780	69,202	97,518	-4,0,886	107,377	38,731	17,093	
3	41,490	3,200	92,496	125,688	-5,9,304	137,186	45,330	23,291	
2	47,585	3,550	117,660	155,728	-7,9,592	168,795	51,845	30,602	
1	54,880	3,900	143,958	184,862	-10,0,54	201,738	59,560	37,672	
LOC	59,1410	5,850	170,947	218,1475	-12,3,149	236,207	66,430	49,439	

Voile VL4"		Trumeau I							
Niveau	$G(x)$	$Q(x)$	$E(x)$	$0,8G-E$	$0,8G+E$	$G+Q+E$	$G+Q+E$	$G+1,2Q$	$M(x-m)$
8	11,015	0,4	5,005	3,807	13,917	16,1420	11,495	-6,077	
7	17,110	1,100	14,115	-1,027	18,403	32,925	18,430	-4,1221	
6	23,205	1,730	18,479	-0,915	17,043	53,444	25,281	-5,943	
5	29,300	2,290	25,311	-21,931	68,841	76,961	32,048	-3,526	
4	35,395	2,780	35,091	-36,775	93,407	103,266	38,731	-1,562	
3	41,490	3,200	46,688	-53,196	119,880	131,378	45,330	-1,082	
2	47,585	3,550	109,337	-71,769	147,905	160,912	51,845	0,696	
1	54,980	3,900	134,087	-90,183	177,991	192,867	59,560	0,928	
P-0-C	59,440	5,850	165,912	-118,384	213,440	231,172	66,130	1,036	

Voile VL4"		Trumeau II						
Niveau	$G(x)$	$Q(x)$	$E(x)$	$0,8G-E$	$0,8G+E$	$G+Q+E$	$G+1,2Q$	$M(x-m)$
8	5,1291	0,195	1,360	4,825	5,1545	6,786	5,465	-5,1486
7	8,111	1,339	3,998	2,1491	10,1487	13,1448	9,718	-3,811
6	10,991	1,645	7,138	1,055	16,531	20,374	12,965	-3,560
5	13,871	1,918	12,328	-1,231	23,425	28,117	16,143	-3,193
4	16,750	2,156	17,686	-4,1286	31,086	36,592	19,337	-1,440
3	19,630	2,361	23,554	-7,850	39,258	45,545	22,787	-0,977
2	22,510	2,531	29,713	-11,835	47,851	54,884	25,547	0,628
1	25,947	2,701	36,1432	-15,674	57,190	65,080	29,198	0,838
P-0-C	29,911	4,1548	43,931	-19,302	67,160	77,690	35,369	0,935

Voile VL4"		Trumeau III						
Niveau	$G(x)$	$Q(x)$	$E(x)$	$0,8G-E$	$0,8G+E$	$G+Q+E$	$G+1,2Q$	$M(x-m)$
8	6,1026	0,224	6,365	-1,544	11,186	12,615	6,295	-3,1454
7	9,343	0,617	18,713	-11,239	26,187	28,673	10,083	-26,015
6	11,660	0,970	36,217	-26,989	46,345	49,847	13,824	-24,301
5	15,977	1,284	57,699	-44,917	70,481	74,960	17,518	-21,731
4	19,295	1,558	82,777	-67,341	98,213	103,630	21,165	-9,617
3	22,612	1,794	110,242	-92,152	128,532	134,648	24,765	-6,669
2	25,929	1,990	139,680	-118,937	160,423	167,599	28,317	4,290
1	29,949	2,186	170,519	-146,608	194,430	202,594	32,512	5,719
P-0-C	34,455	4,058	207,344	-174,730	229,908	240,857	39,315	6,385

Voile VL5		Trumeau I						
Niveau	$G_i(t)$	$Q_i(t)$	$E_i(t)$	$0,8G_i+E$	$0,8G_i-E$	G_i+Q_i+E	$G_i+1,2Q$	$M_i(t.m)$
8	6,026	0,224	4,982	6,803	1,839	8,232	6,295	0,214
7	9,343	0,617	5,566	13,040	1,908	15,526	10,083	0,1435
6	11,660	0,950	10,692	20,810	-0,564	14,1322	13,024	0,911
5	15,974	1,244	17,020	29,802	-4,1238	34,281	17,518	1,1465
4	19,295	1,558	24,449	39,885	-9,013	45,302	24,165	1,1433
3	22,612	1,794	32,649	50,769	-14,589	57,085	24,765	1,631
2	25,929	1,990	41,510	62,313	-20,817	69,489	28,317	3,1135
1	29,188	2,186	50,861	74,772	-26,950	82,936	31,512	4,1390
0-0-C	32,377	3,249	60,396	86,298	-34,494	96,052	36,312	6,1389

Voile VL5		Trumeau II						
Niveau	$G_i(t)$	$Q_i(t)$	$E_i(t)$	$0,8G_i+E$	$0,8G_i-E$	G_i+Q_i+E	$G_i+1,2Q$	$M_i(t.m)$
8	5,231	0,195	1,982	6,167	2,203	7,408	5,1465	0,340
7	8,111	0,535	5,566	12,055	0,923	14,121	8,753	0,754
6	10,991	0,842	10,692	19,485	-1,899	22,525	12,001	1,576
5	13,871	1,114	17,020	28,117	-5,923	32,005	15,208	1,535
4	16,750	1,353	24,449	37,849	-11,049	42,552	18,374	2,1480
3	19,630	1,557	32,679	48,383	-16,975	53,966	21,498	2,1823
2	22,510	1,728	41,570	59,518	-23,562	65,808	24,584	5,427
1	25,914	1,898	50,861	71,619	-30,103	78,766	28,125	7,564
0-0-C	28,108	1,847	60,396	82,872	-37,910	91,351	31,524	11,059

Voile V_{L71}									
Niveau	$G(L)$	$Q(L)$	-	$0,8G$	-	$G+Q$	$G+1,2Q$	$W(L-m)$	
8	22,030	0,800		17,624		22,830	22,990	10,1421	
7	34,720	2,200		27,376		36,420	36,160	29,065	
6	46,410	3,140		37,128		49,870	50,562	55,104	
5	58,600	4,150		46,980		63,180	64,096	87,468	
4	70,790	5,150		56,632		76,350	77,462	125,875	
3	82,980	6,140		66,384		89,380	90,660	169,848	
2	95,170	7,100		76,136		102,270	103,690	218,935	
1	109,460	7,900		87,408		117,560	119,120	272,029	
LD	119,444	10,100		95,531		129,544	131,534	355,207	

Voile V_{L71}									
Niveau	$G(L)$	$Q(L)$	-	$0,8G$	-	$G+Q$	$G+1,2Q$	$W(L-m)$	
8	12,335	0,400		9,868		12,735	12,845	3,669	
7	19,310	1,100		15,448		20,410	20,630	10,237	
6	26,285	1,730		21,028		28,015	28,361	19,312	
5	33,260	2,290		26,608		35,550	36,008	30,711	
4	40,235	2,780		32,188		43,045	43,571	44,238	
3	47,210	3,200		37,768		50,410	51,050	59,724	
2	54,185	3,550		43,348		57,735	58,445	74,014	
1	62,360	3,900		49,888		66,260	67,040	95,712	
LD	67,187	5,850		53,750		73,037	74,207	125,007	

Voies VL6 - VL11									
Niveau	G(t)	Q(t)		0,8G	G+Q	G+1,2Q	M _{VL6}	M _{VL11}	
8	11,015	0,400		8,812	11,415	11,495	11,478	11,484	
F	11,111	1,100		13,688	18,210	18,430	4,121	4,136	
6	13,205	1,730		18,564	24,935	25,281	11,115	11,802	
5	19,3	2,290		23,440	31,590	32,048	12,365	12,407	
4	35,395	2,780		28,316	38,175	38,731	17,810	17,870	
3	41,49	3,200		33,192	44,690	45,330	24,044	24,128	
2	47,585	3,550		38,068	51,135	51,845	31,003	31,111	
1	54,88	3,900		43,904	58,780	59,560	38,531	38,666	
AOC	59,447	5,850		47,558	65,297	66,467	50,226	50,501	

Voies VL8 - VL10									
Niveau	G(t)	Q(t)		0,8G	G+Q	G+1,2Q		M _L	
8	10,115	0,419		8,172	10,534	10,718		0,382	
F	15,718	1,152		12,574	16,870	17,100		1,066	
6	21,221	1,812		16,977	23,033	23,395		2,008	
5	26,724	2,398		21,379	29,122	29,602		3,191	
4	32,227	2,911		25,782	35,138	35,720		4,596	
3	37,730	3,351		30,184	41,081	41,751		6,204	
2	43,233	3,718		34,586	46,951	47,695		8,001	
1	49,936	4,084		39,949	54,020	54,837		9,942	
AOC	53,971	6,127		43,177	60,098	61,323		12,984	

Voile VL13		Trumeau I									
Niveau	$G(t)$	$Q(t)$	$E(t)$	$0,8G+E$	$0,8G-E$	$G+Q+E$	$G+1,2Q$	$M(t-m)$			
8	13,292	0,25	9,887	20,521	0,747	93,429	13,592	-12,360			
7	19,690	3,021	19,193	34,945	-3,441	41,904	23,345	-16,712			
6	26,177	5,655	34,407	52,349	-10,465	63,239	32,963	-2,785			
5	32,485	8,025	46,530	72,518	-20,542	87,040	42,115	-3,134			
4	38,882	10,131	63,979	95,085	-32,873	112,992	51,039	21,597			
3	45,267	11,975	82,894	119,108	-46,680	140,136	59,637	33,424			
2	51,677	13,555	100,646	144,988	-59,304	165,878	67,943	59,711			
1	60,175	14,872	117,816	165,956	-69,676	192,863	78,021	89,952			
20C	78,194	18,189	117,816	180,371	-55,264	244,199	100,021	161,116			

Voile VL13		Trumeau II									
Niveau	$G(t)$	$Q(t)$	$E(t)$	$0,8G+E$	$0,8G-E$	$G+Q+E$	$G+1,2Q$	$M(t-m)$			
8	10,181	0,25	9,887	14,772	-1,502	20,618	10,781	-1,868			
7	15,374	1,465	19,193	31,492	-6,894	36,032	17,132	-2,525			
6	20,266	2,635	31,407	47,620	-15,194	54,308	23,428	-0,421			
5	25,159	3,684	46,530	66,657	-26,403	75,376	29,583	-0,174			
4	30,051	4,623	63,979	88,020	-39,938	98,653	35,599	3,262			
3	34,944	6,143	82,894	110,849	-54,939	123,981	42,316	5,051			
2	39,836	6,728	100,646	132,515	-68,747	147,210	47,910	9,023			
1	46,229	7,313	117,816	154,179	-80,833	171,358	55,005	12,535			
20C	59,188	9,148	117,816	165,166	-70,466	186,152	70,166	24,346			

Voile V_1		Trumeau II.						
Niveau	$G(E)$	$Q(E)$	$E(E)$	$0,8G+E$	$0,8G-E$	$G+Q+E$	$G+1,2Q$	$M(A.m)$
9	15,237	0,335	8,145	12,190	12,335	13,717	15,639	-8,960
7	12,961	0,921	13,283	18,369	11,652	37,165	14,1066	-9,752
6	30,685	1,148	19,674	24,548	44,222	51,807	32,423	-6,887
5	38,409	1,917	27,068	39,727	57,795	67,394	40,709	-1,006
4	46,133	2,1327	35,088	36,906	71,994	83,548	48,925	8,593
3	53,857	2,1679	43,233	43,086	86,319	99,769	57,072	21,211
2	61,581	2,1972	50,877	49,265	100,142	115,130	65,147	33,976
1	70,779	3,265	56,892	56,623	113,515	130,936	74,697	50,588
0-0-C	81,562	4,1998	56,892	66,050	122,942	144,352	88,440	89,173

Voile V_1		Trumeau I.						
Niveau	$G(E)$	$Q(E)$	$E(E)$	$0,8G+E$	$0,8G-E$	$G+Q+E$	$G+1,2Q$	$M(A.m)$
9	18,865	0,460	8,145	13,237	6,947	27,1470	19,147	-8,145
7	29,629	1,265	13,283	36,986	10,420	44,117	31,147	-16,691
6	39,393	1,989	19,674	51,188	11,840	61,056	41,760	-15,990
5	49,157	2,1633	27,068	66,394	12,258	78,858	52,317	-11,293
4	58,921	3,197	35,088	81,225	12,049	97,206	62,757	-1,649
3	68,685	3,680	43,233	98,181	11,715	115,598	73,101	14,109
2	78,449	4,1082	50,877	113,636	11,882	133,408	83,347	34,779
1	90,440	4,1485	56,892	129,220	15,436	151,787	95,792	82,849
0-0-C	111,170	6,728	56,892	145,828	31,044	174,790	119,244	146,210

Voile VT ₂		Trumeau I									
Niveau	G(t)	Q(t)	E(t)	QEG+E	QEG-E	G+Q+E	G+1,2Q	M (t.m)			
8	17,422	0,669	7,742	21,680	6,196	25,833	18,125	-8,546			
7	26,949	1,939	12,626	34,185	8,933	41,414	19,156	-9,269			
6	36,476	2,892	18,701	47,882	10,480	58,069	39,946	-6,436			
5	46,003	3,828	25,729	61,531	11,073	75,560	50,597	-0,956			
4	55,530	4,647	33,352	77,776	11,072	93,529	61,106	8,169			
3	65,057	5,349	41,094	93,140	10,952	111,500	71,476	20,160			
2	74,584	5,934	48,360	108,027	11,307	128,878	81,705	32,298			
1	85,585	6,519	54,077	122,545	11,391	146,181	93,408	48,085			
0-0-C	98,480	9,778	54,077	132,861	21,707	162,337	110,216	84,156			

Voile VT ₂		Trumeau II									
Niveau	G(t)	Q(t)	E(t)	QEG+E	QEG-E	G+Q+E	G+1,2Q	M (t.m)			
8	12,555	0,921	7,742	25,786	10,302	31,218	23,660	-13,864			
7	34,718	2,533	12,626	40,400	15,148	49,877	37,758	-15,199			
6	46,881	3,984	18,701	56,206	18,804	69,566	51,662	-10,734			
5	59,044	5,273	25,729	71,964	21,506	90,104	65,372	-1,567			
4	71,207	6,402	33,352	90,318	23,614	110,961	78,889	15,394			
3	83,370	7,369	41,094	107,790	25,602	131,833	92,243	33,057			
2	95,533	8,175	48,360	124,786	28,066	152,068	105,343	52,958			
1	100,897	8,181	54,077	134,795	26,641	163,955	111,674	78,844			
0-0-C	119,455	13,471	54,077	149,641	41,417	187,003	135,620	118,974			

Voile 1/3		Trumeau = II									
Niveau	G (t)	Q (t)	E (t)	O, 86 t	E	O, 86 t	E	G+Q+E	G+Q+E	η (t.m)	
9	19,866	0,792	9,767	24,860	5,326	23,415	19,804	-6,358			
7	29,004	2,413	15,328	38,531	7,875	46,745	31,900	-7,065			
6	39,142	3,881	21,375	53,831	9,333	64,898	43,793	-4,380			
5	49,28	5,186	25,3	69,724	10,124	89,766	55,802	0,401			
4	59,418	6,327	37,167	84,701	10,367	102,912	67,080	8,054			
3	69,568	7,306	44,763	100,408	10,882	121,625	78,323	18,274			
2	79,694	8,121	51,681	115,436	12,074	139,496	89,439	28,613			
1	91,906	9,997	57,107	130,152	15,938	157,350	102,034	41,683			
RDC	39,133	13,480	57,107	156,418	22,204	169,726	115,315	71,732			

Voile 1/3		Trumeau I.									
Niveau	G (t)	Q (t)	E (t)	O, 86 t	E	O, 86 t	E	G+Q+E	G+Q+E	η (t.m)	
9	29,852	1,236	9,767	33,653	14,113	40,861	31,311	-20,683			
7	45,907	3,774	15,228	52,054	21,398	65,009	50,436	-24,988			
6	61,956	6,058	21,375	71,540	27,590	83,989	69,226	-14,852			
5	78,005	8,082	29,300	91,704	33,204	115,394	87,712	-1,902			
4	94,054	9,865	37,167	112,446	38,076	141,084	105,893	9,6206			
3	110,103	11,378	44,763	132,845	43,319	166,254	123,763	59,462			
2	126,152	12,204	51,681	152,603	49,241	180,037	140,739	93,401			
1	148,569	13,019	57,107	171,162	56,948	212,628	158,192	135,628			
RDC	157,128	13,232	57,107	181,203	66,935	231,447	179,202	233,403			

Voile V_{T4}		Trumeau I							
Niveau	$G_i(L)$	$Q_i(L)$	$E_i(L)$	$G+Q+E$	$0,8G+E$	$0,8G-E$	$G+1,2Q$	$M_i(L_m)$	
8	9,251	0,168	6,199	8,618	7,999	-4,398	9,1453	-0,116	
7	3,832	0,1462	18,224	22,518	21,290	-15,158	4,386	-0,082	
6	5,413	0,1727	35,270	41,410	39,600	-30,940	6,285	-0,077	
5	6,993	0,1962	56,190	64,145	61,784	-50,596	8,147	-0,068	
4	8,575	1,168	80,612	90,355	87,172	-73,752	9,977	-0,030	
3	10,156	1,344	107,359	118,859	115,484	-99,234	11,769	-0,021	
2	11,737	1,491	136,027	149,255	145,417	-126,637	13,526	0,0136	
1	13,318	1,638	166,099	181,045	176,713	-155,405	15,284	0,0181	
DDC	14,899	2,1310	197,051	214,126	208,970	-185,132	16,671	0,0202	

Voile V_{T4}		Trumeau II							
Niveau	$G_i(L)$	$Q_i(L)$	$E_i(L)$	$G+Q+E$	$0,8G+E$	$0,8G-E$	$G+1,2Q$	$M_i(L_m)$	
8	13,970	0,894	5,184	25,048	20,360	9,992	20,043	-13,423	
7	28,827	2,721	17,298	48,846	40,360	5,764	32,092	-9,568	
6	38,684	4,365	33,478	76,527	64,425	-2,531	43,922	-8,937	
5	48,541	5,817	53,335	107,703	92,168	-14,502	55,533	-7,991	
4	58,398	7,106	76,517	142,021	113,235	-29,799	66,925	-3,540	
3	68,255	8,202	101,606	178,063	156,210	-47,002	78,097	-2,453	
2	78,112	9,116	128,818	216,046	194,308	-66,328	89,051	1,577	
1	89,443	10,029	157,323	256,795	228,877	-85,769	101,478	1,102	
DDC	96,982	11,205	186,741	297,928	264,327	-109,155	114,028	1,348	

Voile V _{T4}		Trumeau III									
Niveau	G(L)	Q(L)	E(L)	G+Q+E	0,8G+E	0,8G-E	G+1,2Q	M(L.m)			
8	5,320	0,281	0,27	5,871	4,526	3,986	5,657	-0,878			
7	7,957	0,772	0,794	9,523	7,160	5,572	8,883	-0,625			
6	10,594	1,214	1,536	13,344	10,011	6,939	12,051	-0,584			
5	13,131	1,607	2,147	17,285	13,032	8,138	15,159	-0,522			
4	15,868	1,950	3,51	21,328	16,204	9,184	18,208	-0,231			
3	18,505	2,245	4,674	25,424	19,178	10,130	21,199	-0,1064			
2	21,142	2,491	5,921	29,554	22,835	10,993	24,131	0,1103			
1	24,154	2,736	7,230	34,120	26,553	12,093	27,437	0,137			
R.O.C	26,248	3,858	8,579	38,685	29,577	12,419	30,878	0,153			

Voile V _{T4}		Trumeau IV									
Niveau	G(L)	Q(L)	E(L)	G+Q+E	0,8G+E	0,8G-E	G+1,2Q	M(L.m)			
9	27,261	1,176	0,045	28,482	21,854	21,764	28,672	-15,596			
8	41,766	3,609	0,132	45,507	33,545	33,281	46,097	-11,117			
7	56,271	5,799	0,256	62,326	45,273	44,761	63,230	-10,384			
6	70,776	7,745	0,408	78,929	57,029	56,213	80,070	-9,285			
5	85,281	9,448	0,585	95,314	68,810	67,640	96,619	-4,113			
4	99,786	10,908	0,779	111,473	80,608	79,050	112,376	-2,851			
3	114,291	12,125	0,988	127,404	92,421	90,445	128,841	-1,832			
2	131,091	13,341	1,206	145,638	106,079	103,667	147,100	2,143			
1	140,296	10,218	1,431	161,845	113,668	110,806	164,438	2,728			

Voile V ₁₅		Trumeau I						
Niveau	G(t)	Q(t)	E(t)	G+Q+E	0,8G+E	0,8G-E	G+1,2Q	M(t-m)
8	19,813	0,894	3,304	24,011	19,154	12,546	20,886	2,260
7	31,219	3,436	9,229	43,934	34,254	15,696	35,342	5,023
6	42,625	5,695	17,824	66,144	51,924	16,176	49,459	6,553
5	54,031	7,672	28,372	90,075	71,597	14,853	63,237	18,648
4	65,437	9,366	40,755	115,558	93,105	11,595	76,676	11,101
3	76,843	10,978	54,474	142,095	115,948	7,000	89,777	28,004
2	88,249	12,190	69,294	169,733	139,893	1,305	102,897	48,688
1	101,129	13,602	84,782	199,513	165,685	-3,879	117,451	58,465
A.O.C	109,451	18,592	100,677	228,720	210,128	-13,116	130,761	80,181

Voile V ₁₅		Trumeau II						
Niveau	G(t)	Q(t)	E(t)	G+Q+E	0,8G+E	0,8G-E	G+1,2Q	M(t-m)
8	15,630	0,924	3,104	19,655	15,808	9,200	19,595	1,413
7	24,659	6,041	9,279	39,979	29,006	10,448	31,872	3,140
6	33,688	10,354	17,824	61,866	46,744	9,126	46,113	7,222
5	42,717	14,153	28,372	84,942	62,126	5,482	59,301	11,657
4	51,746	17,440	40,755	109,941	82,152	0,642	71,688	13,816
3	60,775	20,124	54,474	135,373	103,094	-5,870	84,924	17,506
2	69,804	22,838	69,294	161,936	125,137	-13,451	97,210	21,280
1	81,116	25,552	84,782	191,450	149,675	-19,889	111,778	26,111
A.O.C	89,931	31,844	100,677	222,452	172,062	-28,732	128,144	50,124

Voile VT ₆		Trumeau I							
Niveau	G(L)	Q(L)	E(L)	G+Q+E	Q ₈ G+E	Q ₈ G-E	G+I/2Q	M(L.m)	
8	19,813	0,994	3,100	23,807	18,950	12,150	20,886	2,121	
7	31,219	3,136	8,106	43,361	32,681	16,269	35,342	4,113	
6	42,625	5,195	16,123	65,043	50,813	17,344	49,159	10,840	
5	54,031	7,167	26,120	88,323	69,845	16,605	63,237	17,194	
4	65,437	9,166	38,299	113,102	90,649	14,051	76,676	20,437	
3	76,843	10,148	51,111	138,132	112,595	10,363	89,744	26,235	
2	88,249	12,190	64,934	165,376	135,536	5,662	102,844	40,914	
1	101,129	13,160	79,169	194,200	160,342	1,434	117,151	50,191	
0-0-C	109,1451	15,1592	94,382	222,145	181,918	-6,821	130,761	65,231	

Voile VT ₆		Trumeau II							
Niveau	G(L)	Q(L)	E(L)	G+Q+E	Q ₈ G+E	Q ₈ G-E	G+I/2Q	M(L.m)	
8	15,630	0,921	3,100	19,651	15,604	9,140	19,595	1,326	
7	24,159	6,011	8,106	39,376	28,433	11,021	31,872	2,946	
6	33,638	10,354	16,123	60,165	43,643	10,221	46,113	6,176	
5	42,317	14,153	26,120	83,090	60,144	7,234	59,301	10,938	
4	51,146	17,110	38,299	107,155	79,696	3,098	72,638	12,649	
3	60,195	20,124	51,111	132,010	99,731	-2,491	84,124	16,125	
2	69,804	22,138	64,934	157,549	120,440	-9,094	97,210	25,595	
1	81,116	15,552	79,169	186,434	144,362	-14,516	111,748	34,381	
0-0-C	89,931	31,844	94,382	216,154	166,327	-22,437	128,144	47,029	

Voile VT7		Trumeau I									
Niveau	G (A)	Q (A)	E (A)	O,86+E	O,86-E	G+Q+E	G+1,2Q	H (A)			
8	2,251	0,168	6,400	8,800	-4,599	8,819	2,453	-0,119			
7	3,832	0,262	18,815	21,981	-15,743	23,109	4,1386	-0,085			
6	5,413	0,424	36,414	40,744	-32,084	42,554	6,285	-0,049			
5	6,993	0,962	58,013	63,607	-52,419	65,968	9,122	-0,041			
4	8,575	1,168	83,228	90,088	-76,368	92,974	9,977	-0,031			
3	10,156	1,324	110,843	118,968	-102,718	122,343	11,769	-0,022			
2	11,737	1,491	140,442	149,832	-134,052	153,670	13,526	0,014			
1	13,318	1,638	174,449	182,103	-160,793	186,405	15,284	0,019			
RDC	14,899	2,310	203,447	215,366	-181,528	220,658	11,671	0,024			

Voile VT7		Trumeau II									
Niveau	G (A)	Q (A)	E (A)	O,86+E	O,86-E	G+Q+E	G+1,2Q	H (A)			
9	18,970	0,994	6,075	41,851	9,101	25,939	20,043	-18,860			
8	28,927	2,721	17,859	40,924	5,203	49,107	32,032	-9,849			
6	38,684	4,365	34,564	65,511	-3,617	77,613	43,982	-9,128			
5	48,541	5,927	55,066	93,899	-16,233	109,434	58,573	-8,151			
4	58,398	7,106	79,00	125,718	-32,292	144,504	66,925	-3,655			
3	68,255	8,202	105,812	159,798	-50,608	181,669	78,097	-2,533			
2	79,112	9,116	133,308	205,816	-70,818	220,534	89,051	-1,628			
1	89,443	10,029	162,74	234,294	-91,786	262,122	101,477	-9,171			
RDC	96,982	14,205	193,113	234,758	-115,527	304,306	114,028	2,125			

Voie V ₇		Trameau III						
Niveau	G(t)	Q(t)	E(t)	0,8G+E	0,8G-E	G+Q+E	G+1,2Q	T (Km)
8	5,320	0,281	0,279	4,535	3,977	5,880	5,657	-0,907
7	7,957	0,772	0,820	7,186	5,326	9,529	8,883	-0,646
6	10,594	1,264	1,586	10,061	6,889	13,334	12,051	-0,604
5	13,231	1,607	2,526	13,111	8,059	17,364	15,159	-0,540
4	15,868	1,950	3,624	16,318	9,070	21,422	18,208	-0,239
3	18,505	2,245	4,827	19,634	9,977	26,577	21,199	-0,166
2	21,142	2,491	6,115	23,029	10,799	29,748	24,131	0,107
1	24,154	2,726	7,665	26,788	11,858	34,355	27,437	0,142
RDC	26,228	3,858	8,858	29,856	12,420	38,964	30,878	0,159

Voie V ₇		Trameau IV						
Niveau	G(t)	Q(t)	E(t)	0,8G+E	0,8G-E	G+Q+E	G+1,2Q	T (Km)
8	27,264	1,176	0,046	26,855	21,963	28,283	28,672	16,103
7	41,766	3,608	0,136	33,549	33,277	25,544	46,097	11,278
6	56,271	5,799	0,264	42,881	44,753	62,334	63,230	-10,721
5	70,776	7,745	0,414	57,044	52,800	79,942	20,070	-9,586
4	85,281	9,441	0,604	68,829	67,621	95,337	36,619	-4,246
3	99,786	10,908	0,804	80,693	73,025	111,449	108,876	-2,923
2	114,291	12,185	1,019	92,252	80,414	127,435	120,841	-1,892
1	131,091	12,341	1,244	106,117	89,629	145,676	147,100	2,523
RDC	140,296	20,128	2,863	115,106	109,368	163,293	164,433	2,817

Voile V_{18}		Trumeau II.									
Niveau	$G(L)$	$Q(L)$	$E(L)$	$0,8G+E$	$0,8G-E$	$G+Q+E$	$G+1,2Q$	$M(L.m)$			
8	20,304	0,934	7,098	23,341	9,145	28,287	21,377	-4,621			
7	31,049	2,711	11,114	35,979	13,699	44,190	34,1302	-5,134			
6	41,794	4,366	15,97	49,405	17,465	62,130	47,033	-3,183			
5	52,539	5,927	21,293	63,324	20,738	79,659	59,531	0,291			
4	63,284	7,406	27,01	77,637	23,617	97,400	71,811	5,853			
3	74,029	8,202	32,53	91,753	26,693	114,761	83,871	13,280			
2	84,774	9,116	37,557	105,376	30,262	131,447	95,713	20,793			
1	96,993	10,03	41,5	119,094	36,094	148,523	109,019	30,291			
200	105,1315	14,206	41,5	125,752	42,752	161,071	122,762	52,128			

Voile V_{18}		Trumeau I.									
Niveau	$G(L)$	$Q(L)$	$E(L)$	$0,8G+E$	$0,8G-E$	$G+Q+E$	$G+1,2Q$	$M(L.m)$			
8	28,58	1,348	7,098	29,962	15,766	27,026	30,198	-15,035			
7	43,428	4,102	11,114	45,982	23,602	58,650	48,326	-16,706			
6	58,275	6,543	15,97	62,590	30,650	80,788	66,127	-10,357			
5	73,122	8,730	21,293	79,791	37,205	103,145	83,598	0,947			
4	87,969	10,644	27,01	97,385	43,365	125,623	100,742	19,044			
3	102,816	12,284	32,53	114,783	49,713	147,630	117,557	43,212			
2	117,663	13,656	37,557	131,687	56,573	168,876	134,050	67,656			
1	134,805	15,018	41,5	149,344	66,344	191,323	152,827	98,563			
200	146,440	21,268	41,5	158,412	75,412	208,308	171,662	169,617			

Voile V _{lg}		Niveau I et II									
Niveau	G(t)	Q(t)	E(t)	Q _{8G+E}	Q _{8G-E}	G+Q	G+1,2Q	M(t,m)			
8	4,310	—	1,641	3,519	0,177	3,981	2,1310	0,071			
7	4,175	1,556	4,681	8,1032	-1,352	10,423	6,1042	0,266			
6	6,1040	3,020	8,1013	13,845	-4,181	18,1073	9,1664	0,514			
5	4,1905	4,334	24,1347	20,1641	-8,1023	26,1589	13,1109	0,992			
4	9,1440	5,1509	20,1609	28,425	-12,793	35,888	16,381	1,494			
3	11,635	6,1533	27,1546	36,854	-18,238	45,714	19,1475	2,1046			
2	13,1500	7,1412	35,1040	45,840	-24,240	55,952	22,394	2,692			
1	15,1965	8,1144	42,872	55,644	-30,100	66,981	25,738	3,312			
2-0-C	17,1656	8,976	50,909	65,1034	-36,784	77,441	28,307	4,1339			

Voile V _{lg}		Niveau							
Niveau	G(t)	Q(t)	Q _{8G}	G+Q	G+1,2Q	M(t,m)			
8	37,1585	0,1495	30,068	38,380	38,539	25,863			
7	56,1578	2,1044	45,262	58,625	59,034	46,568			
6	75,154	3,160	60,601	78,911	79,543	70,715			
5	94,1834	4,133	75,864	98,367	99,794	116,515			
4	113,947	4,1968	91,134	114,115	119,389	146,515			
3	133,000	5,1564	106,100	138,564	139,674	185,827			
2	152,083	6,1359	121,666	158,1442	159,714	265,875			
1	171,916	7,1055	139,933	181,971	183,382	450,338			
2-0-C	203,973	10,930	163,778	214,303	217,089	581,464			

FERRAILLAGE

FERRAILLAGE DES VOILES

Les voiles seront ferrailés en flexion composée, chaque voile sera soumis à un moment fléchissant et à un effort normal de traction ou de compression.
Le calcul se fera en flexion composée sous les sollicitations du second genre.

On divisera notre structure en 3 zones, comme suit :

Zone I : RDC, 1^{er} étage, 2^{ème} étage.

Zone II : 3^{ème} étage, 4^{ème} étage, 5^{ème} étage.

Zone III : 6^{ème} étage, 7^{ème} étage, 8^{ème} étage.

Le ferrailage sera déterminé d'après les combinaisons données par le R.P.4 à savoir :

$$0,8 G \pm E, \quad G + Q + E.$$

On détermine respectivement N_{\min} , N_{\max} et le ferrailage sera calculé avec les sollicitations : M, N_{\min} .

Pour la détermination de la longueur de la zone tendue on utilisera la formule :

$$\bar{v}_{1,2} = \frac{N}{\Omega} \pm \frac{M}{I} v$$

ou : Ω , section transversale du voile ou trumeau.

I , Moment d'inertie du voile ou trumeau.

v , distance du centre de gravité à la fibre la plus éloignée.

* Vérification des contraintes -

La vérification des contraintes se fera sous (M, N_{\min})

et (M, N_{max}) .

* Prescription du R.P.A pour le ferrailage des voiles :

- Armatures transversales = (Art 4-3-3-1)

Les armatures de la section transversale résistant à l'effort tranchant doivent être calculées à l'aide de la formule :

$$w_t = \frac{V - 8}{v_{en}} \times 100 \quad \text{avec } V = \frac{1,4T}{b.z}$$

- Partie courante (Art 4-3-3-2)

Elles doivent être armées par un quadrillage, d'armatures en double nappe dont le pourcentage, minimum total est donné ci-après :

$$\tau_b \leq 0,025 \tau'_{28}, \quad 0,15\% \text{ dans chaque direction.}$$

$$0,025 \tau'_{28} < \tau_b < 0,12 \tau'_{28}, \quad 0,25\% \text{ dans chaque direction.}$$

- Armatures minimales (Art 4-3-3-3)

Lorsqu'une partie du voile est tendue sous l'action des forces verticales et horizontales, l'effort de traction doit être repris en totalité par les armatures. Le pourcentage minimum des armatures verticales sur toute la longueur tendue est de 0,5%

- Espacement des armatures (Art 4-3-3-4)

L'espacement des barres horizontales et verticales doit être inférieur à la plus petite des deux valeurs suivantes :

$$t = \min (1,5b, 30 \text{ cm}).$$

- Disposition à prendre pour le ferrailage:

- 1/ Les 2 nappes d'armatures doivent être reliées avec au moins 4 épingles au mètre carré. Dans chaque nappe, les barres horizontales doivent être disposées vers l'extérieur.
- 2/ A chaque extrémité du voile, l'espacement des barres doit être réduit de moitié sur $1/10$ de la longueur du voile.
- 3/ Les barres verticales des zones d'about doivent être ligaturées avec des cadres horizontaux, dont l'espacement ne doit pas dépasser l'épaisseur du voile.
- 4/ Les longueurs de recouvrement doivent être égales à :
 Zone tendue : $l_r = 50 \phi$.
 Zone comprimée : $l_r = 20 \phi$.
- 5/ Le long des joints de reprise de coulage, l'effort tranchant doit être repris par les aciers de couture dont la section doit être calculée avec la formule :

$$A_{sj} = \frac{1,1 \bar{T}}{\bar{v}_{en}}$$

- Méthodes de ferrailage.

La méthode de calcul du ferrailage des voiles sera celle de Pierre CHARON. La vérification des contraintes sera faite par la même méthode.

- Exemples de calcul.

* Voile V_{Tg}

Tronçon I : $h_x = 6,12 \text{ m}$
 $b = 0,20 \text{ m}$

zone	M (t.m)	N _{min} (t)	N _{max} (t)	e ₀ (m)	e ₁ (m)	nature sollicitation	$\bar{\sigma}_b$ (kg/cm ²)
I	169,617	75,412	208,908	2,249	1,02	S.P.C	119,3
II	43,212	49,723	117,630	0,869	1,02	S.E.C	88,27
III	10,357	30,650	80,788	0,338	1,02	S.E.C	76,34

- Ferrailage zone I :

Le moment fictif s'écrit : $\mathcal{M} = M + N \left(\frac{h_x}{2} - d \right)$

On choisira dans un premier temps $d = 18 \text{ cm}$

$$\text{d'où } \mathcal{M} = 169,617 + 75,412 \left(\frac{6,12}{2} - 0,18 \right)$$

$$\mathcal{M} = 386,804 \text{ t.m}$$

$$\mu = \frac{\mathcal{M} \cdot 15}{\bar{\sigma}_a \cdot b \cdot h^2} = \frac{15 \cdot 386,804 \cdot 10^5}{4200 \cdot 20 \cdot 594^2} = 0,0495 \quad \text{d'où } \begin{cases} \varepsilon = 0,9831 \\ k = 280. \end{cases}$$

$$A_1 = \frac{\mathcal{M}}{\bar{\sigma}_a \cdot \varepsilon \cdot h} = \frac{386,804 \cdot 10^5}{4200 \cdot 0,9831 \cdot 594} = 15,77 \text{ cm}^2$$

$$\text{d'où } A = A_1 - \frac{N}{\bar{\sigma}_a}$$

$$A = 15,77 - \frac{75412}{4200} = -2,12 < 0 \quad \text{donc ferrailage minimum.}$$

- Détermination de la longueur de la zone tendue :

$$l_{1,2} = \frac{N}{S} \left(1 \pm \frac{6e_0}{h_x} \right) = \frac{75412}{20 \cdot 612} \left(1 \pm \frac{6 \cdot 225}{612} \right)$$

d'où $\sigma_1 = -7,42 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_2 = 19,75 \text{ kg/cm}^2$

$$l_x = \frac{\sigma_1}{\sigma_1 + \sigma_2} l_{xt} = \frac{7,42}{7,42 + 19,75} \cdot 612$$

$$l_x = 167,1 \text{ cm}$$

- Ferrailage minimum:

$$A_{\min} = \frac{0,5}{100} \cdot b \cdot l_x$$

$$A_{\min} = \frac{0,5}{100} \cdot 20 \cdot 167,1 \Rightarrow A_{\min} = 16,71 \text{ cm}^2$$

On choisit : 2 HA12 + 8 HA10 par face

- Zone courante:

$$d = \frac{\sum A_i z_i}{\sum A_i} \Rightarrow d = 59 \text{ cm}$$

$$T = 19,483 \text{ t}$$

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$z = \frac{7}{8} (l_x - d) = \frac{7}{8} (612 - 59)$$

$$z = 484 \text{ cm}$$

$$d'où \sigma_b = \frac{1,4 \times 19483}{20 \cdot 484} = 2,81 \text{ kg/cm}^2 < 0,025 \sigma_{28} = 6,875 \text{ kg/cm}^2$$

On prendra donc, 0,15% dans chaque direction:

$$A = 0,15 \times 20 = 3 \text{ cm}^2 \text{ on adopte 4 HA10 p.m / face}$$

- Armatures horizontales:

$$\omega_t = \frac{\tau - 8}{\sigma_{\text{ven}}} \times 100 = \frac{2,81 - 8}{4200} \cdot 100 < 0;$$

On adopte donc le ferrailage minimum:

$$A = 0,15 \times 20 = 3 \text{ cm}^2 \text{ d'où 6 HA8 p.m / face.}$$

- Armatures transversales

- 1 cadre HA8, espacement $t = 20 \text{ cm}$

- 4 épingles $\phi 8$ au mètre carré.

* Vérification des contraintes :

- Sous M, N_{\max} .

$$\begin{cases} N_{\max} = 208,908 \text{ t} \\ M = 169,617 \text{ t.m.} \end{cases}$$

Contraintes admissibles : $\bar{\sigma}'_{b_{1p_2}} = 1,5 \bar{\sigma}'_{b_{1p_1}} = 1,5 \cdot 85,94$
 $= 130,42 \text{ kg/cm}^2$
 $\bar{\sigma}_a = \bar{\sigma}_{\text{ten}} = 4200 \text{ kg/cm}^2$.

$$\begin{aligned} e_0 &= \frac{M}{N} = \frac{169,617}{208,908} = 0,81 \text{ m.} \\ e_1 &= \frac{h_t}{6} = \frac{6,12}{6} = 1,02 \text{ m} \end{aligned} \left. \begin{array}{l} N \text{ effort de compression} \\ e_0 < e_1 \text{ donc S.F.C.} \end{array} \right\}$$

Armatures symétriques : $v_1 = v_2 = \frac{6,12}{2} = 3,06 \text{ m}$

$$I'_{xx} = 2 \left(\frac{20 \cdot 306^3}{3} \right) + 2 \left[15 \times 17,08 \times 247^2 \right] = 412618692 \text{ cm}^4$$

$$B' + 15 A' = (612 \times 20) + 15 (17,08 \times 2) = 12741,3 \text{ cm}^2$$

$$M_{G1} = 169,617 \cdot 10^5 \text{ kg.cm.}$$

$$d'_{ov} \quad \bar{\sigma}'_{b_1} = \frac{208908}{12741,3} + \frac{169,617 \cdot 10^5}{412618692} \cdot 306 = 28,97 \text{ kg/cm}^2 < 130,42 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}'_{b_2} = \frac{208908}{12741,3} - \frac{169,617 \cdot 10^5}{412618692} \cdot 306 = 3,81 \text{ kg/cm}^2 > 0.$$

$$\bar{\sigma}'_a = 15 \bar{\sigma}'_{b_1} = 15 \cdot 28,97$$

$$= 434,55 \text{ kg/cm}^2 < 4200 \text{ kg/cm}^2$$

- Sous M, N_{\min} .

$$\begin{cases} N_{\min} = 75,412 \text{ t} \\ M = 169,617 \text{ t.m.} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} e_0 &= 2,249 \text{ m} \\ e_1 &= 1,02 \text{ m} \end{aligned} \left. \right\} \text{ S.P.C.}$$

$$c = \frac{h_t}{2} - e_0 = \frac{6,12}{2} - 2,249 = 0,81 \text{ m}$$

$$\beta = \frac{c}{R} = \frac{81}{553} = 0,1465 \quad ; \quad \delta' = \frac{d'}{R} = \frac{59}{553} = 0,1067$$

$$\tilde{\omega}' = \tilde{\omega} = \frac{100 A}{b \cdot R} = \frac{100 \cdot 17,08}{20 \cdot 553} = 0,1510$$

$$P = 3 \left[\beta^2 + 0,3 \tilde{\omega} [(\beta - \delta') - (1 - \beta)] \right]$$

$$P = 3 \left[0,1465^2 + 0,3 \cdot 0,1510 [(0,1465 - 0,1067) - (1 - 0,1465)] \right]$$

$$P = -0,0462$$

$$q = 2 \left[\beta^3 + 0,45 \tilde{\omega} [(\beta - \delta')^2 + (1 - \beta)^2] \right]$$

$$= 2 \left[0,1465^3 + 0,45 \cdot 0,1510 [(0,1465 - 0,1067)^2 + (1 - 0,1465)^2] \right]$$

$$q = 0,1055$$

$$\alpha_1^3 - P \alpha_1 - q = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \alpha_1^3 + 0,0462 \alpha_1 - 0,1055 = 0$$

$$d'_{av} \quad \alpha_1 = 0,4399$$

$$y_2 = \alpha_1 R = 0,4399 \cdot 553$$

$$y_2 = 243,26 \text{ cm}$$

$$y_1 = y_2 + c = 243,26 + 81 = 324,26 \text{ cm}$$

$$S = \frac{b y_1^2}{2} + 15 A [(y_1 - d') - (R - y_1)]$$

$$= \frac{20 \cdot 324,26^2}{2} + 15 \cdot 17,08 [(324,26 - 59) - (553 - 324,26)]$$

$$S = 1060599,21 \text{ cm}^3 \quad \text{et} \quad K = \frac{N}{S} = 0,0711$$

$$\bar{v}'_b = K y_1 = 0,0711 \times 324,26$$

$$\bar{v}'_b = 23,05 \text{ kg/cm}^2 < 1,5 \bar{v}'_{sp_1} = 178,95 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{v}'_a = 15 K (y_1 - d') = 15 \cdot 0,0711 (324,26 - 59)$$

$$\bar{v}'_a = 282,9 \text{ kg/cm}^2 < \bar{v}_{en} = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{v}'_a = 15 K (R - y_1) = 15 \cdot 0,0711 (553 - 324,26)$$

$$\bar{v}'_a = 244 \text{ kg/cm}^2 < \bar{v}_{en} = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

* Trumeau II

$$h_{tot} = 4,13 \text{ m}$$

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

Zone	M (t.m)	N _{min} (t)	N _{max} (t)	e _g (m)	e _o (m)	nature sollicitation	$\bar{\sigma}'_b$ (kg/cm ²)
I	52,128	42,752	161,021	0,688	1,219	S. P. C	109,35
II	13,280	26,693	114,761	0,688	0,497	S. E. C	85,30
III	10,357	17,465	62,130	0,688	0,593	S. E. C	85,30

- Ferrailage zone I

le moment fictif s'écrit : $\mathcal{M} = M + N \left(\frac{h_{tot}}{2} - d \right)$ avec $d = 18 \text{ cm}$.

$$\mathcal{M} = 52,128 + 42,752 \left(\frac{4,13}{2} - 0,18 \right)$$

$$\mathcal{M} = 132,715 \text{ t.m.}$$

$$\mu = \frac{132,715 \cdot 10^5}{4200 \cdot 20 \cdot 395^2} = 0,01515 \Rightarrow \begin{cases} k = 320 \\ \epsilon = 0,9851 \end{cases}$$

$$A_1 = \frac{132,715 \cdot 10^5}{4200 \cdot 0,9851 \cdot 395} = 8,12 \text{ cm}^2$$

$$A = A_1 - \frac{N}{\bar{\sigma}_a} = 8,12 - \frac{42752}{4200} < 0, \text{ donc ferrailage minimum.}$$

- Calcul de la longueur de la zone tendue :

$$\bar{\sigma}'_{1,2} = \frac{N}{S} \left(1 \pm \frac{6e_o}{h_{tot}} \right) = \frac{42752}{20 \cdot 413} \left(1 \pm \frac{6 \cdot 121,9}{413} \right) \begin{cases} \bar{\sigma}'_1 = -3,99 \text{ kg/cm}^2 \\ \bar{\sigma}'_2 = 14,34 \text{ kg/cm}^2 \end{cases}$$

$$d'où l_x = \frac{\bar{\sigma}'_1}{\bar{\sigma}'_1 + \bar{\sigma}'_2} h_{tot} = \frac{3,99}{3,99 + 14,34} \cdot 413 = 90 \text{ cm}$$

d'où le ferrailage minimum prescrit par le R.P.A est :

$$A_{min} = \frac{0,5}{100} \times 0,2 \times 90 = 9 \text{ cm}^2 \text{ soit } \left. \begin{array}{l} 2 \text{ HA10} \\ 4 \text{ HA10} \end{array} \right\} \text{ par face}$$

$$t = 22 \text{ cm}$$

- Zone courante :

$$d = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i} = 36 \text{ cm}$$

$$T = 5,988 \text{ t}$$

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$h = h_{ut} - d = 413 - 36 = 377 \text{ cm} \text{ et } z = \frac{7}{8} h = 339,5 \text{ cm}$$

$$d'ou \quad \sigma_b = \frac{1,4 \cdot 5988}{20 \times 339,5} = 1,23 \text{ kg/cm}^2 < 0,015 \sigma_{28} = 6,875 \text{ kg/cm}^2$$

On prendra donc 0,15 % dans chaque direction.

$$A = 0,15 \times 20 = 3 \text{ cm}^2 \text{ p.m / face. soit 4 HA10, } t = 22 \text{ cm.}$$

- Ferrailage horizontale.

$$\omega_t = \frac{\sigma - \sigma_{\text{ten}}}{\sigma_{\text{ten}}} \cdot 100 = \frac{1,23 - 8}{4200} \cdot 100 < 0, \text{ donc ferrailage minimum}$$

$$A = 0,15 \times 20 = 3 \text{ cm}^2 \text{ on adopte 6 HA8 p.m / face}$$

- Armatures transversales : - 1 cadre HA8, $t = 20 \text{ cm.}$

- 1 épingle $\phi 8$ au mètre carré.

* Verification des contraintes :

- Sous M, N_{max} .

$$\begin{cases} M = 52,128 \text{ t.m} \\ N_{\text{max}} = 161,021 \text{ t} \end{cases}$$

$$e_0 = \frac{M}{N} = 0,324 \text{ m} \quad \left. \begin{array}{l} e_0 < e_1 \\ N \text{ effort de compression} \end{array} \right\} \text{ donc S.E.C}$$

$$e_1 = \frac{h-t}{6} = 0,688 \text{ m}$$

$$v_1 = v_2 = \frac{h-t}{2}$$

$$v_1 = v_2 = \frac{413}{2} = 206,5 \text{ cm.}$$

$$I'_{x-y} = 2 \left(\frac{20 \times 206,5^3}{3} \right) + 2 \left(15 \times 9,42 \times 167,5 \right) = 117453553,3 \text{ cm}^4$$

$$B' + 15A' = (20 \times 413) + (15 \times 2 \times 9,42)$$

$$= 8530 \text{ cm}^2.$$

$$\bar{\sigma}'_{b_1} = \frac{161021}{8530} + \frac{52,128 \cdot 10^5}{117453553,3} \cdot 206,5 = 28,04 \text{ kg/cm}^2 < 1,5 \bar{\sigma}'_{b_{op}} = 119,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}'_{b_2} = \frac{161021}{8530} - \frac{52,128 \cdot 10^5}{117453553,3} \cdot 206,5 = 2,71 \text{ kg/cm}^2 > 0$$

$$\bar{\sigma}'_a = 15 \times 28,04 = 420,6 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_a = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

- Soit M, N_{\min} :

$$\begin{cases} M = 52,128 \text{ t.m} \\ N_{\min} = 42,752 \text{ t} \end{cases}$$

$$e_0 = \frac{M}{N} = 1,219 \text{ m} \quad \left. \begin{array}{l} e_0 > e_1 \\ N \text{ effort de compression} \end{array} \right\} \text{ donc S.P.C}$$

$$e_1 = \frac{h_t}{6} = 0,688 \text{ m}$$

$$c = \frac{h_t}{2} - e_0 = \frac{443}{2} - 1,219 \quad \text{d'où } c = 85 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{c}{h} = \frac{85}{374} = 0,2273 \quad ; \quad \beta' = \frac{c'}{h} = \frac{39}{374} = 0,1043$$

$$\tilde{\omega} = \tilde{\omega}' = \frac{100 A}{b h} = \frac{100 \cdot 9,42}{20 \cdot 374} = 0,1259$$

$$p = 3 \left[\beta^2 + 0,3 \tilde{\omega} \left[(\beta - \beta') - (1 - \beta) \right] \right]$$

$$= 3 \left[0,2273^2 + 0,3 \cdot 0,1259 \left[(0,2273 - 0,1043) - (1 - 0,2273) \right] \right]$$

$$p = 0,0847$$

$$q = 2 \left[\beta^3 + 0,45 \tilde{\omega} \left[(\beta - \beta')^2 + (1 - \beta)^2 \right] \right]$$

$$= 2 \left[0,2273^3 + 0,45 \cdot 0,1259 \left[(0,2273 - 0,1043)^2 + (1 - 0,2273)^2 \right] \right]$$

$$q = 0,08977$$

$$\alpha_1^3 - p \alpha_1 - q = 0 \Leftrightarrow \alpha_1^3 - 0,0847 \alpha_1 - 0,08977 = 0$$

$$\alpha_1 = 0,5105$$

$$y_2 = \alpha_1 h = 0,5105 \cdot 374 = 190,9 \text{ cm}$$

$$y_1 = y_2 + c = 190,9 + 85 = 275,9 \text{ cm}$$

$$S = \frac{by_1^2}{2} + 15A [(y_1 - d') - (h - y_1)]$$

$$= \frac{20 \cdot 275,9^2}{2} + 15 \cdot 9,42 [(275,9 - 39) - (374 - 275,9)]$$

$$S = 779946,1 \text{ cm}^3$$

$$K = \frac{N}{S} = \frac{42752}{779946,1} = 0,0548$$

$$\sigma'_b = Ky_1 = 0,0548 \cdot 275,9 \quad \text{d'où} \quad \sigma'_b = 15,11 \text{ kg/cm}^2 < 1,5 \bar{\sigma}'_{0,2} = 164 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_a = 15K(y_1 - d') = 15 \cdot 0,0548 \cdot (275,9 - 39) = 194,73 \text{ kg/cm}^2 < 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_a = 15K(h - y_1) = 15 \cdot 0,0548 (374 - 275,9) = 80,63 \text{ kg/cm}^2 < 4200 \text{ kg/cm}^2$$

On maintiendra le meme ferrailage pour les zones II et III pour les deux trumeaux.

* Voile V_{T5}

- Trumeau I $h_t = 4,83 \text{ m}$
 $b = 0,20 \text{ m}$

zone	M (t.m)	N _{min} (t)	N _{max} (t)	e ₀ (m)	e ₁ (m)	Nature sollicitation	$\bar{\sigma}'_b$ (kg/cm ²)
I	80,181	-13,116	228,72	6,11	0,805	S.P.C	137,5
II	28,004	7,000	142,095	4,00	0,805	S.P.C	137,5
III	11,553	16,276	66,144	0,709	0,805	S.F.C	88,93

- Ferrailage zone I.

Le moment fictif s'écrit : $\mathcal{M} = M + N \left(\frac{h_t}{2} - d \right)$
 avec $d = 18 \text{ cm}$ d'où $\mathcal{M} = 80,181 - 13,116 (2,415 - 0,18)$
 $\mathcal{M} = 50,866 \text{ t.m}$

$$\mu = \frac{50,866 \cdot 10^5}{4200 \cdot 20 \cdot 465^2} = 0,004208 \quad \text{d'où} \quad \begin{cases} k = 560 \\ \epsilon = 0,9913 \end{cases}$$

$$A_1 = \frac{50,866 \cdot 10^5}{4200 \cdot 0,9913 \cdot 465} = 2,62 \text{ cm}^2$$

$$A = A_1 - \frac{N}{\bar{\sigma}_a} = 2,62 + \frac{13,116 \cdot 10^3}{4200} = 5,74 \text{ cm}^2.$$

- Ferrailage minimum :

$$\bar{\sigma}_{1,2} = \frac{N}{S} \left(1 \pm \frac{6e_0}{h_x} \right) = \frac{-13116}{20 \cdot 483} \left(1 \pm \frac{6 \cdot 11,6}{483} \right)$$

$$\bar{\sigma}_1 = -11,66 \text{ kg/cm}^2, \quad \bar{\sigma}_2 = 8,94 \text{ kg/cm}^2.$$

$$l_x = \frac{\bar{\sigma}_1}{\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2} \cdot h_x = \frac{11,66}{8,94 + 11,66} \cdot 483 = 273,4 \text{ cm}$$

$$\text{d'où} \quad A = \frac{0,5}{100} \cdot 20 \cdot 273,4 = 27,34 \text{ cm}^2. \quad \text{Soit} \quad \begin{cases} 2 \text{ HA } 14 \\ 14 \text{ HA } 10 \end{cases}$$

- Armatures horizontales :

$$d = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i} = 89 \text{ cm.}$$

$$T = 21,969 \text{ t}$$

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$z = \frac{7}{8} (h_x - d) = \frac{7}{8} (483 - 89)$$

$$z = 344,8 \text{ cm}$$

$$\text{d'où} \quad \tau_b = \frac{1,4 \cdot 21969}{20 \cdot 344,8} = 4,46 \text{ kg/cm}^2 < 0,025 \bar{\sigma}'_{28} = 6,875 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\omega}_t = \frac{\tau - 8}{\bar{\sigma}'_{28}} = \frac{4,46 - 8}{4200} < 0$$

On prend donc le pourcentage minimale

$$A = 0,15 \times 20 = 3 \text{ cm}^2 \text{ p.m / face.}$$

Soit 6 HA8 par face / metre -

- Armatures transversales :
- 1 cadre HA8, $t = 20 \text{ cm}$
 - 4 épingles $\phi 8$ au metre carré.

* Verification des contraintes:- Sous M, N_{max} -

$$\begin{cases} M = 80,181 \text{ t.m} \\ N_{max} = 228,72 \text{ t} \end{cases}$$

$$\left. \begin{aligned} e_0 &= \frac{M}{N} = 0,35 \text{ m} \\ e_1 &= \frac{h_t}{6} = 0,805 \text{ m} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} e_0 < e_1 \\ N \text{ effort de compression} \end{array} \Rightarrow \text{S.F.C}$$

$$v'_1 = v'_2 = \frac{h_t}{2} = \frac{483}{2} = 241,5 \text{ cm}$$

$$I'_{x-x} = 2 \left(\frac{20 \cdot 241,5^3}{3} \right) + 2 \left(15 \times 25 \times 152,5^2 \right) = 205239832,5 \text{ cm}^4$$

$$B' + 15A' = (483 \times 20) + (2 \times 15 \times 25) = 10410 \text{ cm}^2$$

$$\sigma'_{b_1} = \frac{228720}{10410} + \frac{80,181 \cdot 10^5}{205239832,5} \cdot 241,5 = 31,40 \text{ kg/cm}^2 < 1,5 \sigma'_{b_{opt}} = 118,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_{b_2} = \frac{228720}{10410} - \frac{80,181 \cdot 10^5}{205239832,5} \cdot 241,5 = 12,53 \text{ kg/cm}^2 > 0$$

$$\sigma'_a = 15 \times 31,40 = 471 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_{cn} = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

- Sous M, N_{min} :

$$\begin{cases} M = 80,181 \text{ t.m} \\ N_{min} = -13,116 \text{ t} \end{cases}$$

$$\left. \begin{aligned} e_0 &= \frac{M}{N} = 6,11 \text{ m} \\ e_1 &= \frac{h_t}{6} = 0,805 \text{ m} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{La résultante des forces extérieures ne passe pas} \\ \text{entre les armatures.} \\ N \text{ effort de traction.} \end{array}$$

La section est donc partiellement comprimée.

$$c = e_0 + \frac{h_t}{2} = 6,11 + 2,415$$

$$c = 8,525 \text{ m.}$$

$$\beta = \frac{c}{h} = \frac{8,525}{3,94} = 2,1637, \quad \delta' = \frac{d'}{h} = \frac{89}{394} = 0,2259$$

$$\tilde{\omega}' = \omega = \frac{100 A}{b \cdot R} = \frac{100 \cdot 25}{20 \cdot 394} = 0,3173$$

$$p = 3 \left[\beta^2 + 0,3 \tilde{\omega} [(\beta - \delta') - (1 - \beta)] \right]$$

$$p = 3 \left[2,1637^2 + 0,3 \cdot 0,3173 [(2,1637 - 0,2259) - (1 - 2,1637)] \right]$$

$$p = 14,930.$$

$$q = 2 \left[\beta^3 + 0,45 \tilde{\omega} [(\beta - \delta')^2 + (1 - \beta)^2] \right]$$

$$q = 2 \left[2,1637^3 + 0,45 \cdot 0,3173 [(2,1637 - 0,2259)^2 + (1 - 2,1637)^2] \right].$$

$$q = 21,718.$$

$$\alpha_1^3 - p \alpha_1 - q = 0 \Leftrightarrow \alpha_1^3 - 14,930 \alpha_1 - 21,718 = 0$$

$$d'ou \alpha_1 = -1,9555.$$

$$Y_2 = \alpha_1 R = -1,9555 \times 394 = -770,3 \text{ cm.}$$

$$Y_1 = Y_2 + c \quad d'ou \quad Y_1 = -770,3 + 852,5 = 82,2 \text{ cm.}$$

$$S = \frac{b Y_1^2}{2} + 15 A [(Y_1 - d') - (R - Y_1)]$$

$$= \frac{20 \cdot 82,2^2}{2} + 15 \cdot 25 [(82,2 - 89) - (394 - 82,2)]$$

$$S = -51906,6 \text{ cm}^3 \quad \text{et} \quad K = \frac{N}{S} = \frac{-13116}{-51906,6} = 0,2526$$

$$\sigma'_b = K Y_1 = 0,2526 \times 82,2 = 20,76 \text{ kg/cm}^2 < \sigma'_{b, \text{ap}_2} = 137,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_a = 15 K (Y_1 - d') = 15 \cdot 0,2526 \cdot (82,2 - 89) < 0$$

$$\sigma'_a = 15 \cdot 0,2526 \cdot (394 - 82,2) = 1181,4 \text{ kg/cm}^2 < \sigma'_{\text{ten}} = 4200 \text{ kg/cm}^2.$$

On maintiendra le meme ferrailage pour les zones II et III.

* Tourneau II

$$h_t = 4,13 \text{ m}$$

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

Zone	M (t.m)	N _{min} (t)	N _{max} (t)	e ₀ (m)	e ₁ (m)	Nature sollicitation	$\bar{\sigma}'_b$ (kg/cm ²)
I	50,124	-28,732	222,452	1,744	0,688	S.E.T	/
II	17,506	-5,870	135,373	2,98	0,688	S.P.C	137,5
III	7,222	9,126	61,866	0,791	0,688	S.P.C	95,1

- Ferrailage zone I :

$$l_1 = \frac{h_t}{2} - d + e_0 = \frac{413}{2} - 18 + 174,4$$

$$l_1 = 363 \text{ cm.}$$

$$l_2 = \frac{h_t}{2} - d - e_0 = 14 \text{ cm}$$

$$z = l_1 + l_2 \quad \text{d'où } z = 377 \text{ cm}$$

$$A_1 = \frac{N l_2}{\sigma_a \cdot z} = \frac{28732 \cdot 14}{4200 \cdot 377} = 0,25 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = \frac{N l_1}{\sigma_a \cdot z} = \frac{28732 \cdot 363}{4200 \cdot 377} = 6,58 \text{ cm}^2$$

$$A = \max(A_1, A_2) = 6,58 \text{ cm}^2.$$

- Ferrailage minimum :

$$A_{\min} = \frac{0,5}{100} \cdot b \cdot \frac{h_t}{2} = \frac{0,5}{100} \cdot 20 \cdot 206,5$$

$$\text{d'où } A_{\min} = 20,65 \text{ cm}^2 \quad \text{soit par face : } \begin{cases} 2 \text{ HA } 14 \\ 10 \text{ HA } 10 \end{cases}$$

- Armatures horizontales :

$$d = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i} = 71,2 \text{ cm}$$

$$T = 13,733 \text{ t}$$

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$\sigma_b = \frac{1,4 \cdot 13733}{20 \cdot \frac{7}{8} (413 - 71,2)} = 3,21 \text{ kg/cm}^2 < 0,025 \sigma_{27} = 6,875 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\omega_t = \frac{\sigma_{-8}}{\sigma_{en}} 100 = \frac{3,21 - 8}{4200} 100 < 0, \text{ donc ferrailage minimum.}$$

$$A = 0,15 \times 20 = 3 \text{ cm}^2, \text{ soit 6 HA8 p.m/face.}$$

- Armatures transversales =

- 1 cadre HA8, $t = 20 \text{ cm}$.

- 4 épingle $\phi 8$ au mètre carré.

- Vérification des contraintes :

- Sous M, N_{\max} :

$$\begin{cases} M = 50,124 \text{ t.m} \\ N_{\max} = 222,452 \text{ t} \end{cases}$$

$$e_0 = \frac{M}{N} = 0,225 \text{ m} \quad \left. \begin{array}{l} e_0 < e_1 \\ N \text{ effort de compression} \end{array} \right\} \text{ donc S.E.C}$$

$$e_1 = \frac{h_t}{6} = 0,688$$

$$v'_1 = v'_2 = \frac{h_t}{2} = 206,5 \text{ cm}$$

$$I'_{x-x} = 2 \left(\frac{20 \times 206,5^3}{3} \right) + 2 \left(15 \times 21,86 \times 135,3^2 \right) = 129413462,2 \text{ cm}^4.$$

$$B' + 15A' = (20 \times 413) + (15 \times 2 \times 21,86) = 8915,8 \text{ cm}^2$$

$$\sigma'_{b1} = \frac{222452}{8915,8} + \frac{50,124 \cdot 10^5}{129413462,2} \cdot 206,5 = 32,94 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_{bap2} = 137,24 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'_{b2} = \frac{222452}{8915,8} - \frac{50,124 \cdot 10^5}{129413462,2} \cdot 206,5 = 16,95 \text{ kg/cm}^2 > 0$$

$$\sigma'_a = 15 \times 32,94 = 494,1 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_{en} = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

- Sous M, N_{\min} :

$$\begin{cases} M = 50,124 \text{ t.m} \\ N_{\min} = -28,732 \text{ t.m} \end{cases}$$

$$e_0 = \frac{M}{N} = 1,744 \text{ m}$$

$$e_1 = \frac{h_e}{6} = 0,688 \text{ m}$$

La résultante des forces extérieures passe en dehors des armatures, N étant un effort de traction, la section est partiellement comprimée.

$$c = e_0 + \frac{h_e}{2} = 1,744 + 2,065 \quad \text{d'où } c = 3,809 \text{ m.}$$

$$\beta = \frac{c}{h} = \frac{3,809}{3,418} = 1,114, \quad \beta' = \frac{d'}{h} = \frac{71,2}{341,8} = 0,2083.$$

$$\tilde{\omega}' = \tilde{\omega} = \frac{100 A}{b \cdot h} = \frac{100 \cdot 21,86}{20 \cdot 341,8} = 0,3198.$$

$$p = 3 \left[\beta^2 + 0,3 \tilde{\omega} [(\beta - \beta') - (1 - \beta)] \right]$$

$$p = 3 \left[1,114^2 + 0,3 \cdot 0,3198 [(1,114 - 0,2083) - (1 - 1,114)] \right]$$

$$p = 4,016.$$

$$q = 2 \left[\beta^3 + 0,45 \tilde{\omega} [(\beta - \beta')^2 + (1 - \beta)^2] \right]$$

$$q = 2 \left[1,114^3 + 0,45 \cdot 0,3198 [(1,114 - 0,2083)^2 + (1 - 1,114)^2] \right].$$

$$q = 3,004.$$

$$\alpha_1^3 - p \alpha_1 - q = 0 \Leftrightarrow \alpha_1^3 - 4,016 \alpha_1 - 3,004 = 0$$

$$\alpha_1 = -0,9885$$

$$y_2 = \alpha_1 h = -0,9885 \cdot 341,8 = -337,9 \text{ cm.}$$

$$y_1 = y_2 + c = -337,9 + 380,9 \quad \text{d'où } y_1 = 43 \text{ cm.}$$

$$S = \frac{b y_1^2}{2} + 15 A [(y_1 - d') - (h - y_1)]$$

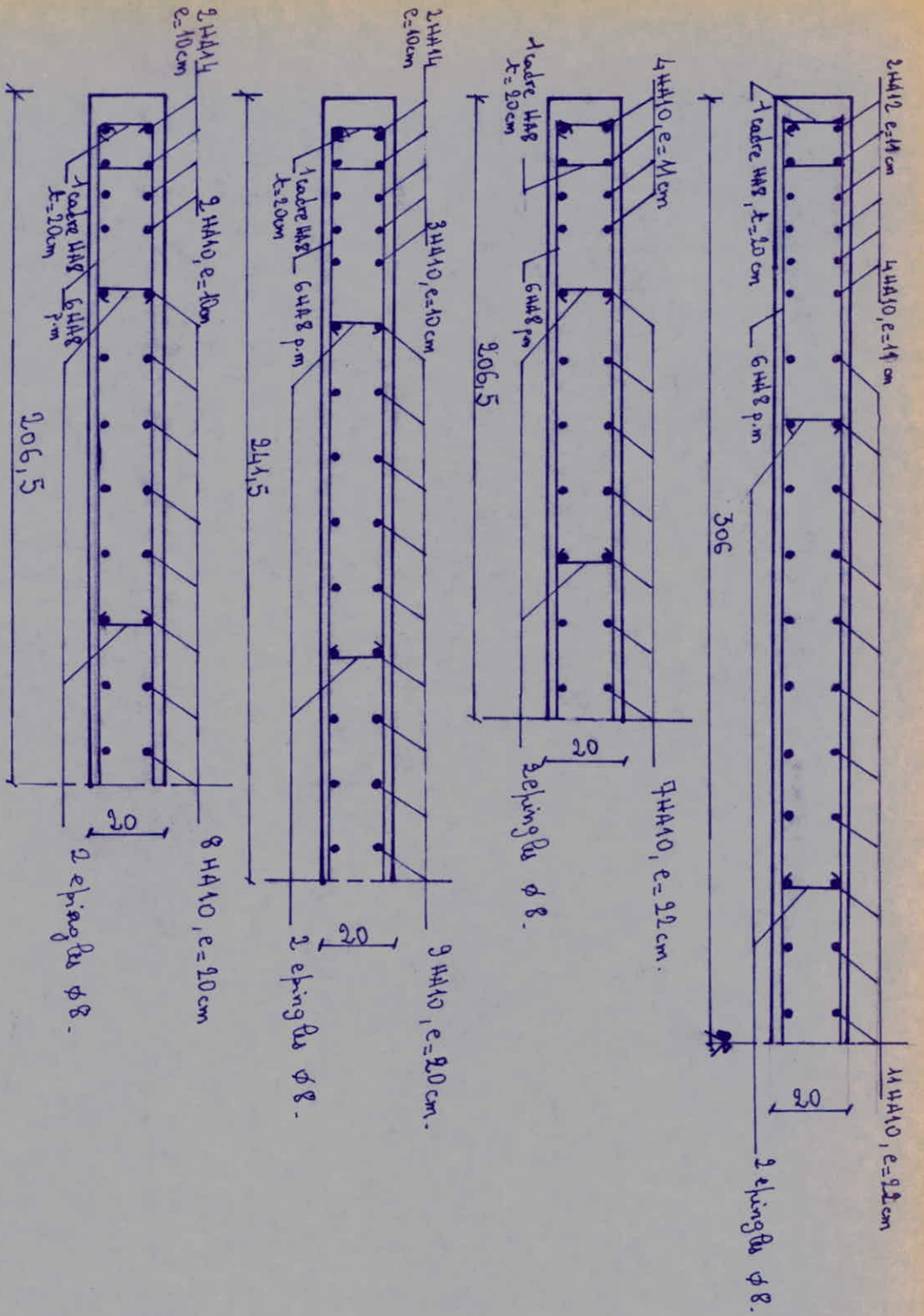
$$= \frac{20 \cdot 43^2}{2} + 15 \cdot 21,86 [(43 - 71,2) - (341,8 - 43)]$$

$$S = -88733,3 \text{ cm}^3 \quad \text{et } k = \frac{N}{S} = \frac{-28732}{-88733,3} = 0,3238$$

$$\sigma'_b = k y_1 = 0,3238 \cdot 43 = 13,92 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\sigma'_a = 15 \cdot k (y_1 - d) = 15 \cdot 0,3238 (43 - 71,2) < 0$$

$$\sigma_a = 15 k (h - y_1) = 15 \cdot 0,3238 (341,8 - 43) \quad \text{d'où } \sigma_a = 1451,3 \text{ kg/cm}^2 < 4200 \text{ kg/cm}^2$$



Voiles	Zones d'about	Zones tendues (2 nattes)	\tilde{w}_t	Zone courante (2 nattes) p.m	Espacement e (cm)	Nature sollicitation	Armatures horizontales (p)
V ₁₉	2-4 HA14	28 HA10	<0	8 HA10	22 cr	S.P.C	6 HA8
V ₁₃	2-4 HA10	—	"	10 HA10	20	S.P.C	"
V ₁₆	2-4 HA10	6 HA10	"	10 HA10	20	S.P.C	"
V _{17'}	2-4 HA12	18 HA10	"	10 HA10	20	S.P.C	"
V _{17''}	2-4 HA12	10 HA10	"	10 HA10	20	S.P.C	"
V ₁₈	2-4 HA10	—	"	10 HA10	20	S.P.C	"
V ₁₁₀	2-4 HA10	—	"	10 HA10	20	S.P.C	"
V ₁₁₁	2-4 HA10	6 HA10	"	10 HA10	20	S.P.C	"
V ₁₁₄	2-4 HA10	—	"	10 HA10	20	S.P.C	"

Ferrailage des voiles pleines.

Voiles	Zones d'about	Zones tendues (2 nattes)	\tilde{w}_t	Zone courante (2 nattes) p.m	Espacement e (cm)	Nature sollicitation	Armatures horizontales p
V ₄	I 8 HA25	4 HA14	<0	—	25	S.E.T	5 HA8
	II 2-4 HA14	20 HA14	"	—	22	S.E.T	6 HA8
	III 2-4 HA10	—	"	4 HA10	20	S.E.C	"
	IV 2-4 HA10	—	"	14 HA10	20	S.E.C	"
V ₇	I 8 HA25	4 HA14	"	—	25	S.E.T	5 HA8
	II 2-4 HA14	4 HA12	"	—	22	S.E.T	6 HA8
	III 2-4 HA10	—	"	4 HA10	20	S.E.C	"
	IV 2-4 HA10	—	"	14 HA10	20	S.E.C	"
V _{4''}	I 2-4 HA20	4 HA20	"	—	20	S.E.T	"
	II 2-4 HA10	4 HA10	"	—	20	S.E.T	"
	III 2-4 HA14	8 HA10	0,14%	—	22	S.E.T	"

Ferrailage des voiles à 2 et 3 files d'ouvertures.

- Ferrailage des voiles à une seule file d'ouvertures -

Voiles	Zones d'about	Zones tendues (Inachées)	ω_t	Zone courante (Inachées)	Espacement e (cm)	Nature de sollicitation	Armatures horizontales (cm)
V ₁	I	2.4HA14	<0	8HA10	22	S.P.C	6HA8
	II	2.4HA14	"	10HA10	20	S.P.C	"
V ₂	I	2.4HA14	"	8HA10	22	S.P.C	"
	II	2.4HA12	"	8HA10	23	S.P.C	"
V ₃	I	2.4HA12	"	8HA10	22	S.P.C	"
	II	2.4HA12	"	8HA10	22	S.P.C	"
V ₅	I	2.4HA14	"	—	20	S.P.C	"
	II	2.4HA14	"	—	20	S.E.T	"
V ₆	I	2.4HA14	"	12HA10	18	S.P.C	"
	II	2.4HA12	"	8HA10	22	S.P.C	"
V ₈	I	2.4HA12	"	8HA10	22	S.P.C	"
	II	2.4HA10	"	8HA10	22	S.P.C	"
V ₁₁	I	2.4HA10	"	—	22	S.E.T	"
	II	2.4HA10	"	—	22	S.E.T	"

- Ferrailage des voiles à une seule file d'ouverture.

Voiles	zones à root	zones tendus	wt	zone courant ($\frac{m^2 \cdot f_{yk}}{f_{yk}}$)	espacement (cm)	Nature solicitation	Armatures horizontales
V _{L1}	I	2.4HA14	0,08	8 HA12	22	S.P.C	6 HA8
	II	2.4 HA12	<0	/	25	S.E.T	"
V _{L4}	I	2.4 HA12	"	/	16	S.E.T	"
	II	2.4 HA12	"	/	16	S.E.T	"
V _{L5}	I	2.4 HA12	"	/	20	S.E.T	"
	II	2.4 HA12	"	/	20	S.E.T	"
V _{L9}	I	2.4 HA10	"	/	22	S.E.T	"
	II	2.4 HA10	"	/	22	S.E.T	"
V _{L12}	I	2.4 HA12	"	/	20	S.E.T	"
	II	2.4 HA12	"	/	20	S.E.T	"
V _{L13}	I	2.4 HA14	0,02	8 HA12	22	S.P.C	"
	II	2.4 HA12	<0	/	16	S.E.T	"

CALCUL DES LINTEAUX

INTRODUCTION

La vérification de la résistance des linteaux aux sollicitations de flexion et d'effort tranchant les plus défavorables doit être effectuée avec :

$T = 1,4$ fois l'effort tranchant de calcul

$M =$ moment flechissant calculé à partir de T

Le linteau sera calculé comme une poutre partiellement encastrée des 2 extrémités et comme le sens des efforts sismiques est arbitraire, le linteau sera ferrailé symétriquement : $A_s = A_i$.

Contraintes admissibles

* Contrainte de cisaillement : $\bar{\sigma}_b = 0,12 \sigma'_{28} = 33 \text{ kg/cm}^2$

* " admissible du béton : $\bar{\sigma}'_b = 0,75 \sigma'_{28} = 206,25 \text{ kg/cm}^2$

* " admissible des aciers : $\bar{\sigma}'_a = \bar{\sigma}_a = \sigma_{en} = 4200 \text{ kg/cm}^2$

Charges de Calcul

* Poids propre du linteau

* Charge d'exploitation

* effort sismique

Le linteau sera calculé avec les sollicitations du 2^{ème} genre

Ferraillage des linteaux

D'après les prescriptions du RPA (art 4.3.3.13) les armatures doivent être disposées et ancrées dans les trumeaux les valeurs minimum sont :

$$A_s = A_i \geq 0,0015 b h_t$$

$$A_r \geq 0,0020 b \cdot h_t$$

- $A_m \geq 0,0020 \times 20 \times 60 = 2,4 \text{ cm}^2$ Soit 6 HA 8
- $s \leq \frac{h_t}{4} = \frac{60}{4} = 15 \text{ cm}$ on prendra $s = 15 \text{ cm}$
- $A_t \geq 0,0025 \times 20 \times 15 = 0,75 \text{ cm}^2$
on prendra 1 cadre HA 8
- $l_d \geq \frac{60}{4} + 50 \times 1,2 = 75 \text{ cm}$ on prendra $l_d = 80 \text{ cm}$

Linteaux $V_{L6}, V_{L8}, V_{L10}, V_{L11}$

$$h_t = 79 \text{ cm}$$

$$b = 20 \text{ cm}$$

Ces linteaux ont les mêmes dimensions que V_{L1} , donc ils auront le même ferrailage minimum.

$$A_t \geq 0,0025 \cdot b \cdot s$$

$$s \leq \frac{h_t}{4} \quad \text{et} \quad l_d \geq \frac{h_t}{4} + 50 \phi$$

b : largeur du linteau ;

h_t : hauteur totale du linteau

s : espacement des armatures transversales

l_d : distance d'encrage

A_s, A_i : Armatures supérieures et inférieures du linteau

A_r : armatures de repartition

A_t : armatures transversales

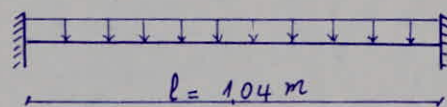
Dans le cas où $\tau_b \geq 0,06 \sigma'_{28}$, des armatures supplémentaires A_x doivent être disposées en diagonal dans le linteau.

$$A_x \geq 0,0015 b h_t$$

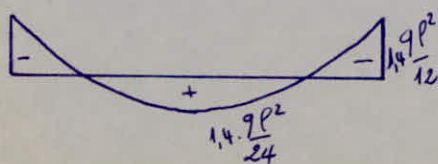
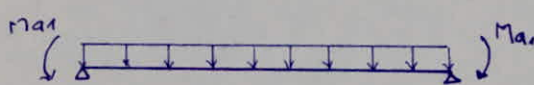
On exposera les détails de calcul pour le linteau du voile V_{T5}
le reste sera donné sous forme de tableau.

Linteau V_{T5}

Schema statique :



Schema statique equivalent

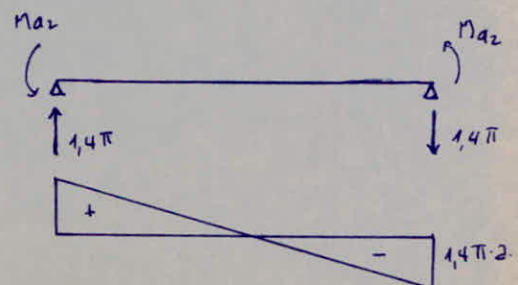


79cm

20cm

$$\pi = 15,895 \text{ t.}$$

$$l = 2a = 104 \text{ cm}$$



M_{21} : effort dû aux charges $G+Q$

M_{22} : " " " " Sismiques.

Calcul des charges :

$$G = [0,388 \times 0,54 + 0,64 \times 1,5 \times 1,04] \cdot \frac{1}{1,04} + 0,79 \times 0,20 \times 2,5$$

$$= 1,557 \text{ t/ml}$$

$$Q = 0,692 \text{ t/ml}$$

$$G+Q = 2,249 \text{ t/ml}$$

$$\text{Effort tranchant à l'appui} = \frac{q\ell}{2} = \frac{2,249 \times 1,04}{2} = 1,169 \text{ t}$$

$$\text{Moment à l'appui} : \frac{q\ell^2}{12} = \frac{2,249 \times 1,04^2}{12} = 0,203 \text{ t.m.}$$

$$\text{Charges sismiques} : \pi = 15,895 \text{ t}$$

$$\text{moment à l'appui} : M = \pi a = 15,895 \times \frac{1,04}{2} = 8,265 \text{ t.m.}$$

Efforts de calcul :

$$T = 1,4 [15,895 + 1,169] = 23,890 \text{ t}$$

$$M = 1,4 [8,265 + 0,203] = 11,855 \text{ t.m.}$$

Pour le calcul du ferrailage on utilisera la méthode du moment résistant du béton.

* Moment résistant du béton :

$$M_{rb} = k b h^2$$

$$k = \frac{1}{2} \bar{\sigma}_b' \bar{\alpha} \bar{\epsilon}$$

$$\bar{\alpha} = \frac{n \bar{\sigma}_b'}{n \bar{\sigma}_b' + \sigma_a} = \frac{15 \times 206,25}{15 \times 206,25 + 4200} = 0,424$$

$$\bar{\epsilon} = 1 - \frac{\bar{\alpha}}{3} = 0,8587$$

$$k = \frac{1}{2} \times 206,25 \times 0,424 \times 0,8587 = 37,54$$

$$M_{rb} = 37,54 \times 20 \times 75^2 = 42,233 \cdot 10^5 \text{ kg.cm} > M_{ext} = 11,855 \cdot 10^5 \text{ kg.cm}$$

$$A = \frac{M}{\epsilon \cdot h \cdot \bar{\sigma}_a} = \frac{11,855 \cdot 10^5}{0,8587 \times 75 \times 4200} = 4,38 \text{ cm}^2$$

Soit 4 HA 12 ($A = 4,52 \text{ cm}^2$)

* Armatures minimum :

$$A_s = A_i = A \geq 0,0015 b \cdot h_t = 0,0015 \times 20 \times 79 = 2,37 \text{ cm}^2$$

$A = 4,52 \text{ cm}^2 > 2,37 \text{ cm}^2$: condition vérifiée.

* Armatures de répartition :

$$A_r \geq 0,0020 b \cdot h_t = 0,0020 \times 20 \times 79 = 3,16 \text{ cm}^2$$

on prendra 6 HA 10 ($A = 4,71 \text{ cm}^2$)

* Longueur d'ancrage :

$$l_d \geq \frac{h_t}{4} + 50 \phi = \frac{79}{4} + 50 \times 1,2 = 77,5 \text{ cm}$$

on prendra $l_d = 80 \text{ cm}$

* Armatures transversales :

$$s = \frac{A_t \cdot z \cdot \bar{\sigma}_{at}}{T} \quad \text{on prendra 2 cadres HA6}$$

Soit $A_t = 1,13 \text{ cm}^2$

$$s = \frac{1,13 \times \frac{7}{8} \times 75 \times 4200}{23,890 \cdot 10^3} = 13 \text{ cm}$$

$$s_{\max} = \frac{h_t}{4} = \frac{79}{4} = 19,75 \text{ cm}$$

on prendra un espacement de 12 cm

* Vérification à l'effort tranchant :

$$\bar{\sigma}_b = \frac{T}{b \cdot z} = \frac{23890}{20 \times \frac{7}{8} \times 75} = 18,2 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_b = 33 \text{ kg/cm}^2$$

* Armatures d'angles :

$$\sigma_b = 18,2 \text{ kg/cm}^2 > 0,06 \sigma_{28} = 16,5 \text{ kg/cm}^2$$

donc des armatures d'angles s'imposent

$$A_x \geq 0,0015 \cdot b \cdot h_t = 0,0015 \times 20 \times 79 = 2,37 \text{ cm}^2$$

on prendra 4 HA 10 ($A = 3,14 \text{ cm}^2$)

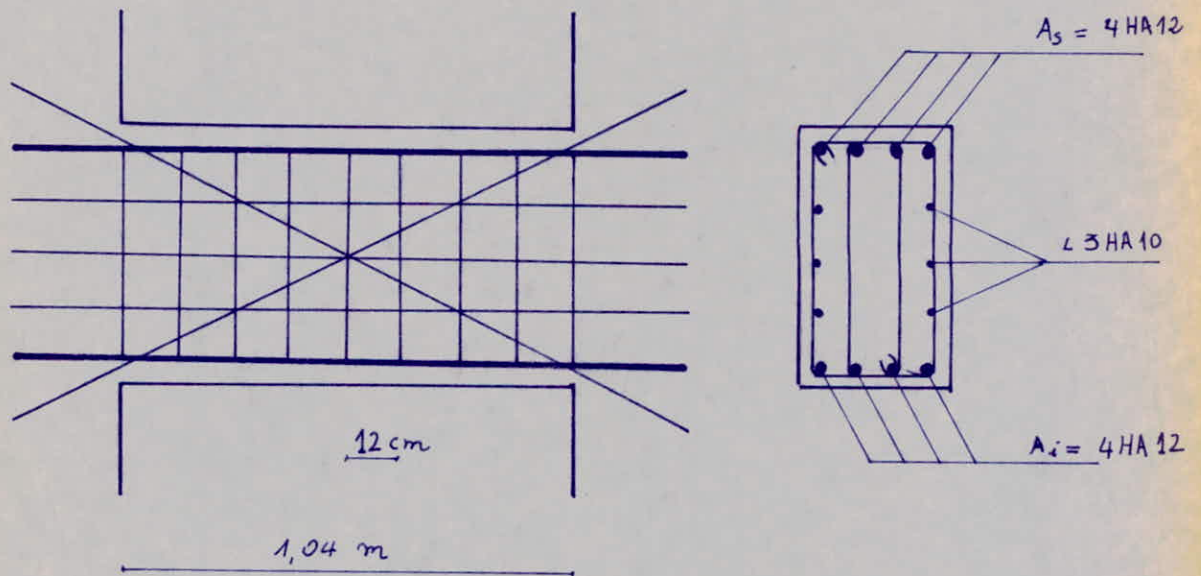
* Longueur des barres :

$$L = \sqrt{l^2 + h_t^2} + \frac{e \cdot l_d}{\cos \alpha}$$

$$\alpha = \arctg \frac{h_t}{l} = \arctg \frac{79}{104} = 37,22^\circ$$

$$L = \sqrt{104^2 + 79^2} + \frac{e \times 80}{\cos 37,22} = 330 \text{ cm}$$

* Représentation du ferrailage :



Linéau V_{L4}

On fera un seul calcul pour les Linéaux V_{L4} et V_{L7} ou qu'ils sont chargés de manières identiques.
Après avoir constaté que les linéaux des voiles V_{L4} (4 files d'ouvertures) et V_{L7} (une file d'ouvertures) ne résistaient pas aux cisaillements engendrés par le séisme, on a diminué de leurs inerties en ne comptant plus sur la liaison entre les différents éléments des refends.
Donc ces linéaux seront calculés pour résister uniquement aux charges verticales à savoir G et Q :

* Charges :

$$\text{Poids propre revenant au linéau : } \frac{0,738 \times 4}{3} = 0,984 \text{ t/ml}$$

$$\text{" " du linéau : } 0,79 \times 0,2 \times 2,5 = 0,395 \text{ t/ml}$$

$$\text{Surcharge revenant au linéau : } \frac{0,1 \times 4}{3} = 0,133 \text{ t/ml}$$

$$q = (0,984 + 0,395) + 1,2 \times 0,133 = 1,539 \text{ t/ml}$$

$$M_t = \frac{q l^2}{10} = \frac{1539 \times 0,84}{10} = 108,592 \text{ kg.m}$$

Vu que cet effort nous donne une section d'armatures très faible, on ferraillera avec la section minimum donnée par le RPA

$$A_i = A_s \geq 0,0015 \cdot b \cdot h_t = 0,0015 \times 20 \times 79 = 2,37 \text{ cm}^2$$

on prendra 4 HA 10

$$A_r \geq 0,0020 \times b \times h_t = 0,0020 \times 20 \times 79 = 3,16 \text{ cm}^2$$

Soit 6 HA 10

$$A_t \geq 0,0025 \cdot b \cdot s$$

$$s \leq \frac{h_t}{4} = 19,25 \text{ cm on prendra } s = 15 \text{ cm}$$

Tableau de ferrailage des linteaux

	$V_{T1} : V_{T2}$	$V_{T3} : V_{T8}$		$V_{T7} : V_{T4}$	
Linteaux			L_1	L_2	L_3
l (cm)	100	100	84	100	215
h_t (cm)	33	33	79	33	33
b (cm)	20	20	20	20	20
π (t)	8,145	7,867	31,998	1,625	0,232
T (t) majoré	11,519	11,130	45,977	3,328	2,744
M (t.m) majoré	5,720	5,527	18,980	1,313	1,282
A (cm ²) calculée	5,65	5,47	7,02	1,30	1,27
A_{min} (cm ²)	0,99	0,99	2,37	0,99	0,99
A (cm ²) adoptée	5,65 5 HA 12	5,65 5 HA 12	7,70 5 HA 14	1,57 2 HA 10	1,57 2 HA 10
l_d (cm)	70	70	90	50	50
A_r (cm ²)	1,32	1,32	3,16	1,32	1,32
A_r (cm ²) adoptée	2,01 4 HA 8	2,01 4 HA 8	4,71 6 HA 10	2,01 4 HA 8	2,01 4 HA 8
A_t (cm ²)	1,50 3 HA 8	1,50 3 HA 8	2,01 4 HA 8	0,56 2 HA 6	0,56 2 HA 6
Δ (cm)	8	8	10	8	8
σ_b (kg/cm ²)	23,51	22,71	35,03	6,79	5,6
A_x (cm ²)	1,13 4 HA 6	1,13 4 HA 6	3,14 4 HA 10	—	—
L (cm)	253	253	362	—	—

	$V_{L_1}, V_{L_{12}}$	$V_{L_2}, V_{L_{13}}$	V'_{L_4}	V''_{L_4}	V'''_{L_4}	V_{L_5}
Linteaux				L_1	L_2	
l (cm)	160	160	84	100	84	84
h_t (cm)	60	60	79	79	79	79
b (cm)	20	20	20	20	20	20
π (t)	14,757	18,915	26,989	31,825	25,026	9,735
T (t) majoré	21,622	26,481	38,559	45,499	35,855	14,168
M (t.m) majoré	16,785	21,185	15,976	22,434	14,855	5,721
A (cm ²) calculée	8,31	10,50	5,91	8,29	5,49	2,12
A_{min} (cm ²)	1,80	1,80	2,37	2,37	2,37	2,37
A (cm ²) adoptée	9,21 6 HA 14	10,77 7 HA 14	6,78 6 HA 12	9,28 6 HA 14	5,65 5 HA 12	3,14 4 HA 10
l_d (cm)	85	85	80	90	80	70
A_r (cm ²)	2,40	2,40	3,16	3,16	3,16	3,16
A_r (cm ²) adoptée	2,51 5 HA 8	2,51 5 HA 8	4,71 6 HA 10	4,71 6 HA 10	4,71 6 HA 10	4,71 6 HA 10
A_t (cm ²)	2,01 4 HA 8	2,01 4 HA 8	2,01 cadre + cheur	2,01 4 HA 8	2,01 4 HA 8	1,00 2 HA 8
s (cm)	15	15	15	12	15	20
Σ_b	22,063	27,021	29,378	34,666	27,318	10,795
A_x (cm ²)	2,01 4 HA 8	2,01 4 HA 8	3,14 4 HA 10	3,14 4 HA 10	3,14 4 HA 10	inutile
L (cm)	350	350	335	360	335	—

F()N()D()A()T()I()O()N()S'

FONDITIONS

1) CARACTERISTIQUES GENERALES DU SITE

Le terrain étudié est situé à ALGER, dans le quartier HUSSEIN-DEY (ex. Belcourt), entre les rues HASSIBA Ben-Bouali, Boualem Rouchat.

La surface du terrain est très légèrement inclinée vers le nord-est, elle est couverte par le goudron et des remblais.

2) CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES DU SITE

L'analyse de la carte géologique et des coupes de sondage rotatifs, a permis de déterminer la géologie du site.

Neuf sondages rotatifs ont été réalisés jusqu'à des profondeurs entre 9 et 30 m. En général, ils montrent une géologie assez homogène du site.

La formation ancienne du pliocène inférieure est composée de dépôts de marnes grises. Cette formation repose à partir de 3,8 ÷ 12 m de profondeur et les sondages ne l'ont pas traversé.

3) CONDITIONS HYDROGEOLOGIQUES DU SITE

Du point de vue de l'hydrogéologique, le terrain posera certains problèmes vis à vis de la réalisation des travaux, et ceci est dû à la présence d'une nappe d'eau dans les sables fins et moyens à partir de 1,6 ÷ 2,4 m de profondeur, révélée lors de l'exécution des sondages.

La couche saturée d'épaisseur variable de 2,5 m jusqu'à 10 m (sondage 5) est composée de sables fins et moyens, de grès, de galets et des sables marneux par endroits.

L'établissement d'un projet de rabattement de nappe nécessite la connaissance du coefficient de perméabilité.

4) ESSAIS DE PENETRATION NORMALISES

Le principe de l'essai dit "S.P.T" est le suivant :

On exécute un forage et on descend ensuite au fond du trou, un carottier normalisé que l'on enfonce de 15 cm dans la couche à reconnaître par la suite ; on continue l'enfoncement par battage en enregistrant le nombre N de coups nécessaires pour enfoncer à nouveau le carottier sur une profondeur de 30 cm.

Le mouton qui sert à battre, pèse 63,5 kg, sa hauteur de chute est de 76,2 cm.

En cas d'essais dans les sables immergés, la valeur équivalente N doit être calculée d'après la formule de TERZAGHI et PECK

$$N = 15 + \frac{1}{2} (N' - 15)$$

où N' = nombre de coups enregistrés au dessous de la nappe.

Dans le cadre de la reconnaissance, il a été exécuté dix neuf essais dans les quatre sondages.

Une partie des essais a été faite dans les sables immergés et l'autre dans le complexe marneux. Quant aux résultats pour les sables immergés, ils ont été corrigés d'après la formule ci-dessus. Leur interprétation a été faite d'après TERZAGHI et PECK. (voir tableau 1)

Pour les sables et d'après MEYERHOF, on peut estimer l'angle de frottement selon la formule empirique :

$$\phi = 25 + 0,15 I_D \approx 31^\circ$$

Dans le cas des argiles (complexe marneux), une fourchette a été obtenue, des N dont la moyenne est $\bar{N}_{30} = 26$. D'après les mêmes auteurs, on peut estimer la consistance d'argile (voir tableau 2) partant de la valeur N .

Tableau 1

Sondages	N' (enregistres)	N (Corrigés)	I _D (Indice de densité)
6	30	22	0,53
7	43	29	0,64
7	27	21	0,51
8	7	-	0,23
9	16	16	0,43
9	24	19	0,48
moyenne			0,47

Tableau 2

Sondages N°	N' (30)	Consistance
6	14 22 17 23	Raide et très raide
7	23 36 43	Très raide et dure
8	11 20 21 36	raide, très raide et dure
9	34 34	dure
Moyenne	26	très raide.

5) ESSAIS AU LABORATOIRE

En se basant sur les essais au laboratoire et in-situ, a été distinguées les deux couche différentes :

- 1) Couche de sables intercalés par grès.
- 2) Couche de sols cohérents (Complexe marneux)

Les caractéristiques généralisées des couches en question sont portées dans le tableau 3.

Tableau 3

Caractéristiques	Couche I	Couche II	
		Fourchette	Moyenne
Nature du sol	Sable fin et moyen	Argile, limon argileux limon argilo-siliceux.	
Poids volumique humide γ_h (g/cm^3)	Hypothèse d'après la norme: 1,95	1,88 ÷ 2,25	1,98
indice de densité I_D d'après S.P.T	0,47	—	
indice de Consistance I_c	—	0,76 ÷ 1,24	0,89
Teneur en eau w%	Saturée	26,7 ÷ 35,5	30,4
Coefficient de perméabilité k (m/h)	0,06 ÷ 0,17	—	
Angle de frottement ϕ	31°	3,5° ÷ 34°	21°
Cohésion c (bars)	—	0,88 ÷ 4,12	1,89
Coeff. de tassement C_T	—	0,057 ÷ 0,194	0,079
Coeff. de gonflement C_g	—	0,019 ÷ 0,095	0,037
Pression de Consolidation	—	1,2 ÷ 2,70	

G) FONDATION SUPERFICIELLE

Vu une certaine épaisseur de la couche de remblais, il a été considéré un encastrement à la profondeur $2,0 \div 2,5$ m dans la couche de sables.

En adoptant l'angle de frottement de 31° , on calcule un taux de travail, q_{ad} , d'après TERZAGHI

$$q_{ad} = \frac{1}{3} \left[N_D \cdot \gamma_h \cdot D + \left(1 - 0,2 \cdot \frac{B}{L} \right) N_B \gamma_h \cdot \frac{B}{L} \right]$$

où : N_D, N_B : facteurs de portance

B, l : dimensions d'une semelle.

D : profondeur d'encastrement

γ_h : poids volumique du sol (tenu-compte d'un sol de fauge)

En admettant le cas d'une semelle filante de largeur $2,0 \div 2,5$ m on aboutit à une fourchette de valeurs :

$$q_{ad} = 2,5 \div 2,7 \text{ bars.}$$

Toutefois, il faut tenir compte de l'épaisseur de la couche de sables. Dans le cas extrême, le toit des marnes se manifeste à 4,0 m, donc l'épaisseur des sables au dessous de la fondation ne serait que de l'ordre de 2,0 m.

Par conséquent, une vérification de la portance des marnes devient donc nécessaire. Admettons la formule simplifiée d'après SKEMPTON

$$q_{ad} = \frac{1}{3} \cdot c' \cdot N_c + \gamma \cdot D$$

$$\text{où } c' = \frac{2}{3} c \quad ; \quad N_c = 7$$

on arrive à : $q_{ad}^{(marnes)} \simeq 3,5 \text{ bars.}$

CONCLUSION

Les ouvrages peuvent être fondés sur semelles filantes encastrées à 2,0 ÷ 2,5 m de profondeur, dimensionnées d'après un taux de travail égal à 1,9 ÷ 2,0 bars.
 Dans ce cas les tassements différentiels ne seront pas à craindre.

CHOIX DU TYPE DE FONDATION

Le choix d'un radier s'est imposé pour plusieurs raisons :

- Un nombre élevé de voiles entraînant des entre-axes assez petits des fouilles.
- Chevauchement des semelles voisines (voiles V_{L4} , V_{L7})
- Risque de remontée de la nappe phréatique.
- Facilité d'exécution

HYPOTHESES DE CALCUL

Pour notre étude on supposera que le radier est infiniment rigide. On admet ainsi une réaction du sol uniforme sur la sous-face due aux charges et surcharges apportées par le bâtiment.

CALCUL DES FONDATIONS

- Poids total du bâtiment :

$$\begin{cases} G = 3491 \text{ t} \\ P = 430 \text{ t} \end{cases}$$

$$G + 1,2 P = 3491 + 1,2 \times 430 = 4007 \text{ t}$$

- Caracteristiques geometriques :

Centre de gravité du radier :

Panneau	S (m ²)	l _x (m)	l _y (m)	x (m)	y (m)	X (m)	Y (m)
1	25,8	25,8	10	12,9	5	0,05	- 0,18
2	4,25	3,40	1,25	4,9	10,625	-7,95	5,445
3	4,25	3,40	1,25	17,7	10,625	4,85	5,445

$$x_G = \frac{\sum S_i x_i}{\sum S_i} = \frac{3424,25}{266,5} = 12,85 \text{ m}$$

$$y_G = \frac{\sum S_i y_i}{\sum S_i} = \frac{1380,312}{266,5} = 5,18 \text{ m}$$

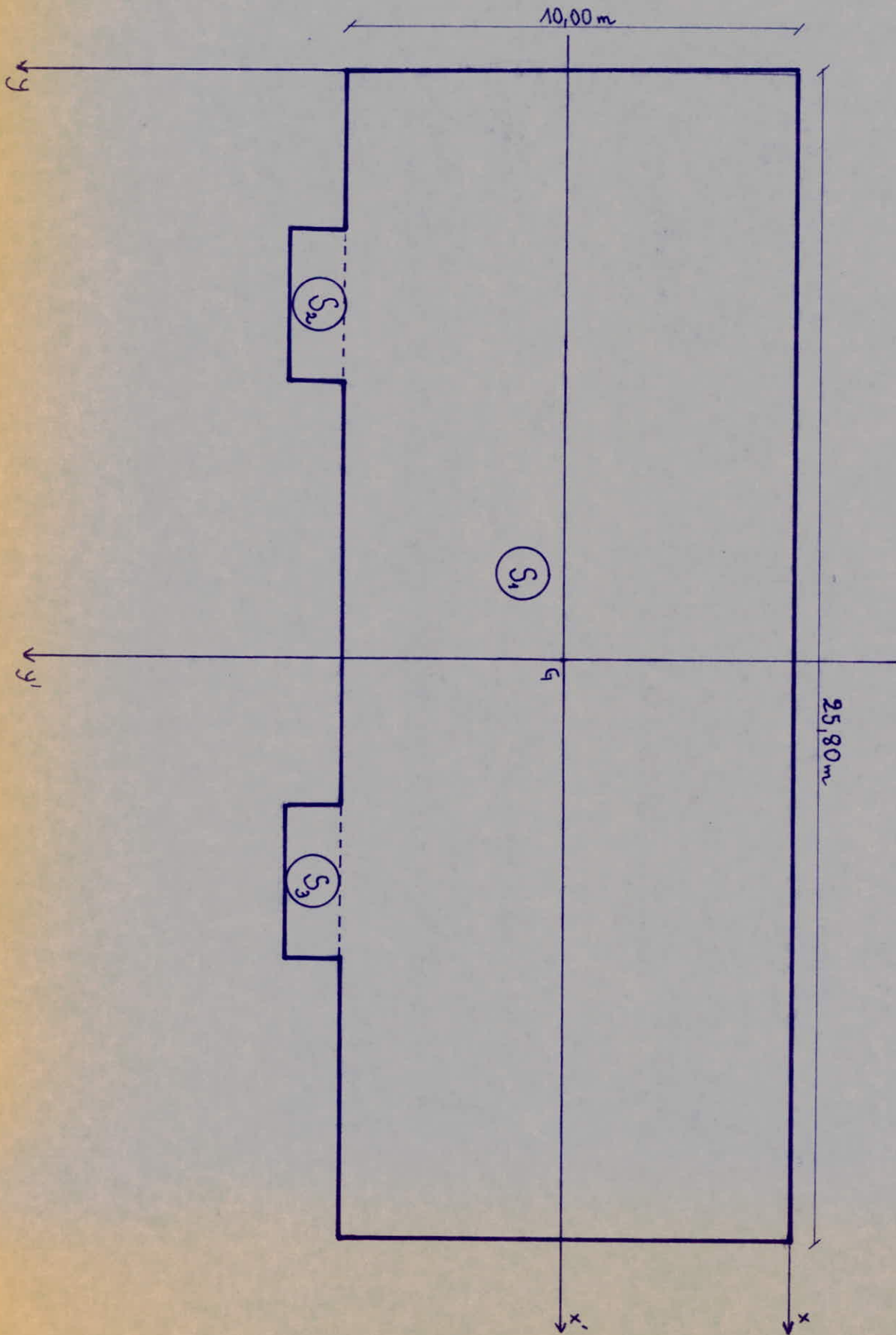
Moments d'inerties

Panneau	I _{x_i} (m ⁴)	I _{y_i} (m ⁴)
1	2158,359	14311,905
2	126,557	272,705
3	126,557	104,065

$$S_{disp} = 266,5 \text{ m}^2$$

$$\sum I_x = 2411,473 \text{ m}^4$$

$$\sum I_y = 14688,675 \text{ m}^4$$



Moments de renversement :

$$M_{0x} = 4360,873 \text{ t.m}$$

$$M_{0y} = 5377,781 \text{ t.m}$$

$$M_x = M_{0x} + H_{0x} \cdot h_e = 4360,873 + 226,914 \times 2,8$$

$$M_x = 4996,232 \text{ t.m.}$$

$$M_y = M_{0y} + H_{0y} \cdot h_e = 5377,781 + 276,3 \times 2,8$$

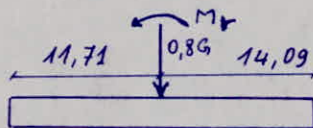
$$M_y = 6151,421 \text{ t.m.}$$

Vérification au renversement :

Sens x :

$$V_{\min} = 11,71 \text{ m}$$

$$0,8 G = 0,8 \cdot 3491 = 2792,8 \text{ t}$$



$$M_s = 0,8 \cdot G \cdot V_{\min} = 2792,8 \times 11,71 = 32703,688 \text{ t.m.}$$

$$M_s = 32703,688 \text{ t.m}$$

$$F = \frac{M_s}{M_r} = \frac{32703,688}{4996,232} = 6,54 > 1,5$$

pas de risque de renversement.

Sens y :

$$V_{\min} = 4,71 \text{ m}$$

$$0,8 G = 2792,8 \text{ t}$$

$$M_s = 2792,8 \times 4,71 = 13154,1 \text{ t.m.}$$

$$F = \frac{13154,1}{61,51,421} = 2,14 > 1,5$$

pas de risque de renversement

Surface nécessaire :

$$\bar{\sigma}_s = 1,9 \text{ bars} = 19 \text{ t/m}^2$$

$$N = G + 1,2 P = 4007 \text{ t}$$

$$S_{nec} \geq \frac{N}{\bar{\sigma}_s} = \frac{4007}{19} = 211 \text{ m}^2$$

$$S_{dis} = 266,5 \text{ m}^2 > S_{nec}$$

Vu que notre structure fait partie d'un ensemble de plusieurs bâtiments, ceci nous ramène à couler un radier général sous l'ensemble de ce complexe d'habitations.

Eoutefois, on isolera notre bâtiment et on adoptera un débord réglementaire de 30 cm aux extrémités de notre radier qui a pour but de soulager le dernier appui et éviter que le voile d'extrémité subisse un moment trop important.

$$S_{dis} = 23,34 + 266,5 = 289,84 \text{ m}^2.$$

$$\Sigma I_y = 1519,624 + 14688,675$$

$$\Sigma I_y = 16208,3 \text{ m}^4$$

$$\Sigma I_x = 2411,473 + 498,866$$

$$\Sigma I_x = 2910,3 \text{ m}^4$$

Pression sous le radier : (solllicitations du 1^{er} genre)

$$P = \frac{4007}{289,84} = 13,82 \text{ t/m}^2 = 1,382 \text{ kg/cm}^2$$

$$P = 1,382 \text{ kg/cm}^2 < 1,9 \text{ kg/cm}^2.$$

Prédimensionnement du radier :

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

$$\bar{\sigma}_b = \frac{T_{\max}}{b \cdot z} \quad \text{pour 1 m de largeur}$$

$$T_{\max} = \frac{13,82 \times 2,95}{2} = 20,38 \text{ t}$$

$$\bar{\sigma}_b = \frac{T_{\max}}{b \cdot z} \Rightarrow z = \frac{20,38 \cdot 10^3}{6,785 \times 100} = 30,04 \text{ cm}$$

$$\text{d'où } h = 34,32 \text{ cm}$$

$$h = 34,32 \text{ cm}$$

$$h \geq \frac{l}{10} = \frac{2,95}{10} = 29,5 \text{ cm}$$

} donc on prendra $h = 36 \text{ cm}$
 $h_t = 40 \text{ cm}$.

Stabilité du radier :

$$N = G + 1,2 I + G_{\text{rad}} = 4007 + 289,84$$

$$N = 4296,84 \text{ t}$$

$$0,8 N = 3437,472 \text{ t}$$

a) Rotation autour de x-x

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{S} \pm \frac{M}{I_x} v_{\max} \quad v_{\max} = 5,51 \text{ m}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{3437,472}{289,84} \pm \frac{6151,421}{2910,3} \cdot 5,48$$

$$\sigma_1 = 0,276 \text{ t/m}^2 > 0$$

$$\sigma_2 = 23,44 \text{ t/m}^2 < 28,5 \text{ t/m}^2 = 1,5 \bar{\sigma}_s$$

$$\sigma\left(\frac{l}{4}\right) = \frac{3\sigma_2 + \sigma_1}{4} = 17,642 \quad 1,33 \bar{\sigma}_s = 25,27 \text{ kg/cm}^2$$

b) Rotation autour de y-y :

$$\sigma_{1,2} = \frac{3437,472}{289,84} \pm \frac{4996,232}{16208,3} \cdot 13,15$$

$$\sigma_1 = 7,806 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_2 = 15,913 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_2 = 15,913 \text{ t/m}^2 < 28,5 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_1 = 7,806 \text{ t/m}^2 > 0$$

$$\sigma\left(\frac{L}{4}\right) = \frac{3 \times 15,913 + 7,806}{4} = 13,886 \text{ t/m}^2 < 25,27 \text{ t/m}^2$$

Verification Sous G+P+E

a) Rotation autour de x-x :

$$N = [G+P] + G_{\text{rod}} = 3491 + 430 + 289,84 = 4211 \text{ t}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{4211}{289,84} \pm \frac{6151,421}{2910,3} \cdot 5,48$$

$$\sigma_2 = 26,11 \text{ t/m}^2 < 28,5 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_1 = 2,426 \text{ t/m}^2 > 0$$

$$\sigma\left(\frac{L}{4}\right) = \frac{3 \times 26,11 + 2,946}{4} = 20,32 \text{ t/m}^2 < 25,27 \text{ t/m}^2$$

b) Rotation autour de y-y

$$\sigma_{1,2} = \frac{4211}{289,84} \pm \frac{4996,232}{16208,3} \cdot 13,15$$

$$\sigma_1 = 10,472 \text{ t/m}^2 > 0$$

$$\sigma_2 = 18,58 \text{ t/m}^2 < 28,5 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma\left(\frac{L}{4}\right) = \frac{10,472 + 18,58 \times 3}{4} =$$

Verification au poinçonnement :

Le voile le plus chargé est le voile V_{T3} avec :

$$\begin{cases} G = 278,425 \text{ t} \\ P = 40,49 \text{ t} \end{cases}$$

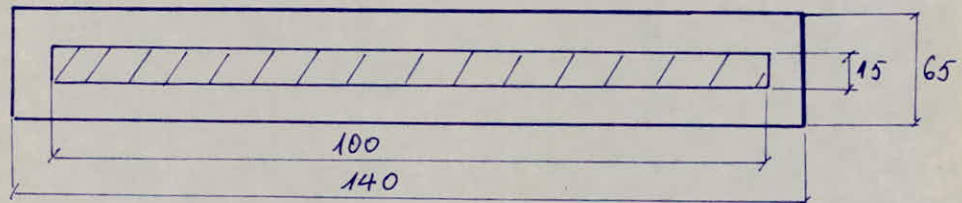
il a une longueur $l = 11,25 \text{ m}$

$$q = \frac{278,425 + 1,2 \times 40,49}{11,25} = 29,07 \text{ t/ml}$$

La condition de non poinçonnement est :

$$1,5 \frac{N}{P_c \cdot h_t} \leq \bar{\sigma}_b = 1,15 \bar{\sigma}_b$$

avec P_c : perimetre du contour cisailé sur le plan moyen de la dalle. Comme le cisaillement se fait suivant un angle moyen de 45° on a :



$$P_c = 2(140 + 65)$$

$$P_c = 410 \text{ cm}$$

$$\text{d'où } \frac{1,5 \times 29,07 \times 10^3}{410 \times 40} = 2,658 < \bar{\sigma}_b = 6,785 \text{ kg/cm}^2$$

Condition vérifiée.

Vérification à l'effet de sous pression :

Le poids total du bâtiment doit être supérieur à la poussée hydrostatique verticale de soulèvement :

$$P \geq 1,5 \cdot S \cdot z$$

$$S = 289,84 \text{ m}^2$$

Niveau d'encastrement du bâtiment à partir du niveau 0-0 :
= 2,80 m.

d'où $z = 2,80 \text{ m}$ (cas le plus défavorable)

$$P \geq 1,5 \times 289,84 \times 2,80 = 1217,34 \text{ t}$$

or $P = 3491 \text{ t}$ donc il n'y a pas de risque de soulèvement.

- Charges de Calcul :

$$q(s_{p_2}) = 26,11 - 1 = 25,11 \text{ t/m}^2$$

$$q(s_{p_2}) = 18,58 - 1 = 17,58 \text{ t/m}^2$$

$$q(s_{p_1}) = 13,82 \text{ (P.P. du radier, non compris).}$$

$$\frac{q(s_{p_2})}{q(s_{p_1})} = \frac{25,11}{13,82} = 1,81$$

Ce rapport est supérieur à $\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_a} = 1,5$, donc notre radier sera donc ferrailé sous les sollicitations du 2^{ème} genre, sous une charge :

$$q = 25,11 \text{ t/m}^2$$

Détermination des moments dans les panneaux de dalles :

Les panneaux de dalles étant sollicités par une charge uniformément répartie, on déterminera les moments avec la méthode de pigeaud.

Moments au milieu de la dalle dans une bande de 1m de largeur :

Sens de la petite portée :

$$M_x = P (M_1 + 0,15 M_2)$$

Sens de la grande portée :

$$M_y = P (M_2 + 0,15 M_1)$$

0,15 : Coefficient de Poisson pour le béton.

$P = q l_x \cdot l_y$: charge totale appliquée sur le radier

M_1, M_2 : Moments unitaires pour une charge uniformément répartie. Ils sont donnés par l'abaque de PIGEAUD en fonction de l et l/p .

Les moments en travée et en appui seront :

$$\cdot M_{tx} = 0,85 M_x \quad ; \quad M_{Ty} = 0,85 M_y$$

$$\cdot M_{ax} = 0,5 M_x \quad ; \quad M_{ay} = 0,5 M_y$$

de façon à satisfaire l'inégalité :

$$M_T + \frac{M_w + M_e}{2} \geq 1,25 M_0$$

Panneaux : (1-2-3-4-6-8).

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

$$l_y = 3,68 \text{ m}$$

$$p = 0,801 \rightarrow M_1 = 0,0445$$

$$\frac{1}{\rho} = 1,247 \rightarrow M_z = 0,02675$$

$$M_x = 13,224 \text{ t.m}$$

$$M_{tx} = 11,612 \text{ t.m}$$

$$M_{ax} = 6,612 \text{ t.m}$$

$$M_y = 9,111 \text{ t.m}$$

$$M_{ty} = 7,749 \text{ t.m}$$

$$M_{ay} = 4,555 \text{ t.m}$$

Ferraillage : (methode de P. (CHARON))

En travée : en x :

$$\mu = \frac{15 \times 11,240 \cdot 10^5}{4200 \cdot 100 \cdot 36^2} = 0,0309 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon = 0,9242 \\ \kappa = 51 \end{cases}$$

$$A = \frac{11,240 \cdot 10^5}{4200 \times 0,9242 \times 36} = 8,04 \text{ cm}^2$$

soit 6 HA 14 (9,23 cm²).

En appui :

$$\mu = 0,0182 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon = 0,9405 \\ \kappa = 69 \end{cases}$$

$$A = 4,65$$

soit 4 HA 14

Sens y :

en travée :

$$\mu = 0,0214 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon = 0,9359 \\ \kappa = 63 \end{cases}$$

$$A = 5,47 \text{ cm}^2 \quad \text{soit 4 HA 14 (6,15 cm}^2\text{)}$$

$$\frac{1}{\rho} = 1,247 \rightarrow M_2 = 0,02675$$

$$M_x = 13,224 \text{ t.m}$$

$$M_{tx} = 11,612 \text{ t.m}$$

$$M_{ax} = 6,612 \text{ t.m}$$

$$M_y = 9,111 \text{ t.m}$$

$$M_{ty} = 7,749 \text{ t.m}$$

$$M_{ay} = 4,555 \text{ t.m}$$

Ferraillage : (methode de M: P. Charon)

En travée : en l_x :

$$\mu = \frac{15 \times 11,240 \cdot 10^5}{4200 \times 100 \times 36^2} = 0,0309$$

$$\begin{cases} k = \\ \varepsilon = \end{cases}$$

$$A = \frac{11,240 \cdot 10^5}{4200 \times 0, \quad \times 36} =$$

Soit

A =

en appui :

$$\mu = 0,0126 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon = 0,9500 \\ \kappa = 85 \end{cases}$$

$$A = 3,17 \text{ cm}^2 \quad \text{soit } 3 \text{ HA } 12$$

Le reste des résultats sera donné sous forme de tableau.

Remarque :

Le panneau 7 sera calculé comme une poutre de 1 m de large.

$$M_0 = \frac{q l^2}{8}$$

Dans le sens non porteur, on mettra des armatures de répartition

$$\frac{A_t}{4} \leq A \leq \frac{A_t}{2}$$

Tableau des moments dans les panneaux du radier.

Panneaux	l_x (m)	l_y (m)	ρ	$1/\rho$	M_1	M_2	M_{0x}	M_{1x} (t.m)	M_{0y} (t.m)	M_y	M_{1y} (t.m)	M_{0y} (t.m)
9-14-15	2,95	4,42	0,667	1,498	0,0475	0,0190	16,485	14,012	8,242	8,553	7,270	4,276
16-19-20-21	0,95	2,95	0,322	3,10	0,0360	0,0030	2,565	2,180	1,282	0,591	0,502	0,295
17-18	1,45	2,95	0,491	2,034	0,0475	0,0095	5,254	4,466	2,627	1,785	1,518	0,892
10-12	2,95	3,92	0,752	1,32	0,046	0,0250	14,446	12,279	7,123	9,262	7,873	4,631
5	2,95	7,65	0,385	2,593	0,0440	0,0040	25,273	21,482	12,636	6,006	5,106	3,003
11	1,65	2,95	0,559	1,787	0,048	0,0125	6,095	5,181	3,048	2,408	2,047	1,204
7	2,95	10,75	0,274	—	—	—	27,315	23,217	13,657	—	—	13,657
13	2,95	5,645	0,522	1,913	0,0475	0,0110	20,552	17,469	10,276	7,578	6,442	3,789

Ferrailage des panneaux du radier.

Panneaux	Sens l_x						Sens l_y					
	At calculée (cm ²)	Aa calculée (cm ²)	A travée adoptée	A appui adoptée	espacement travée	espacement appui	At calculée (cm ²)	Aa calculée (cm ²)	At adoptée	Aa adoptée	espacement travée	espacement appui
9-14-15	9,48	5,55	5HA16	5HA12	20	20	4,89	2,86	4HA14	4HA10	25	25
16-19-20-21	1,45	0,85	4HA8	5HA12	25	20	0,33	—	3HA6	3HA6	33	33
17-18	2,99	1,75	4HA10	4HA8	25	25	1,01	0,59	3HA8	4HA8	33	25
10-12	8,30	4,85	6HA14	5HA12	15	20	5,29	3,10	5HA12	4HA10	20	25
5	18,66	9,24	10HA16	7HA14	10	14	4,66	2,01	4HA14	4HA8	25	25
11	3,47	2,03	5HA10	5HA8	20	20	1,36	0,8	3HA8	3HA6	33	33
7	18,62	9,18	10HA16	7HA14	10	14	4,58	2,24	4HA14	7HA14	25	14
13	11,85	6,93	6HA16	5HA14	15	20	4,33	2,53	4HA16	4HA10	25	25

Schema du radier

