

وزارة الجامعات
Ministère aux Universitaires

lex

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT G - Civil

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE - المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

Etude d'un bâtiment
(R + 18).

Contreventé par voiles

Proposé par : CTC

Etudié par :

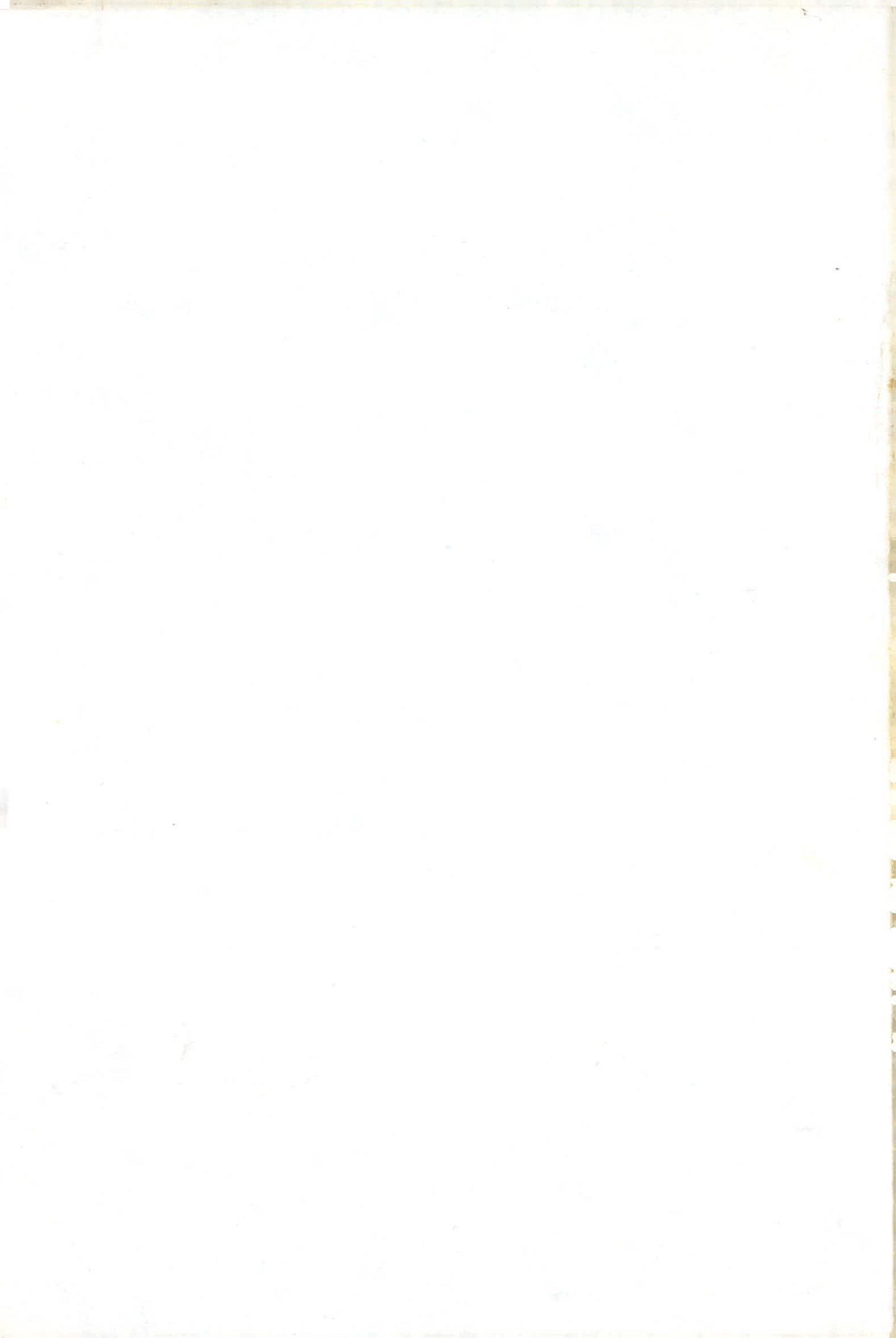
N. BOULIF

N - ITOKHTAR-AHDouga

Dirigé par : M^{me} CHIKH

PROMOTION

juin 91



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

نقل من كتابه ونسخته ومبانيه

ومبانيه

لله رب العالمين

صَلَّى اللهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ

Dedicaces

A

Mon très cher papa

Ma mère

Mon frère, mes soeurs

Mes amis

Je dedie ce modeste travail.

Karima-Nora

Je dedie ce modeste travail

A mes chères parents, ma chère ABIR-IMEN

A FOUAD, à mes frères et soeurs

A toute ma famille et mes amis

A tout ceux qui m'ont aidé et qui ont toujours

souhaité ma réussite.

Nabila

Remerciements

Nous tenons à exprimer nos très vifs remerciements et notre reconnaissance à Monsieur H. ALAYAT Ingénieur au C.G.S qui, a mis son incomparable compétence à notre disposition .

Nos plus sincères remerciements vont également à M^{elle} AREGREDJ DJAMILA qui à contribué à l'apparition de cet ouvrage.

Nous remercions notre promoteur M^{me} CHIKH pour son aide, ainsi que M^r A.TAIBI, S.KAOUA et tous ceux qui nous ont honoré de leurs précieuse aide.

SOMMAIRE

- CHAPITRE 1 PRESENTATION DE L'OUVRAGE
- * PRESENTATION
 - * CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES
 - * PREDIMENSIONNEMENT
 - * CHARGES ET SURCHARGES
 - * CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX
- CHAPITRE 2 CALCUL DU POIDS DE LA STRUCTURE
- * CENTRE DE MASSE
 - * CENTRE DE TORSION
 - * EXCENTRICITEE
- CHAPITRE 3 INERTIE DES REFENDS
- CHAPITRE 4 ETUDE PSEUDO-DYNAMIQUE
- * METHODE DE JACOBI
 - * METHODE DE RAILEIGH
 - * METHODE DES PARAMETRES INITIAUX
- CHAPITRE 5 ETUDE SISMIQUE
- * DISTRIBUTION DES EFFORTS HORIZONTAUX
- CHAPITRE 6 ETUDE AU VENT
- CHAPITRE 7 ETUDE AU RENVERSEMENT
- CHAPITRE 8 ETUDE DES VOILES SOUS CHARGES HORIZONTALES
- CHAPITRE 9 ETUDE DES VOILES SOUS CHARGES VERTICALES

CHAPITRE 10 FERRAILLAGE DES VOILES

- * LINTEAUX
- * TRUMEAUX

CHAPITRE 11 FERRAILLAGE DES ELEMENTS

- * ACROTERE
- * PLANCHERS
- * ESCALIERS
- * BALCONS
- * POUTRE CLOISON
- * POTEAUX
- * DALLE DE L'ASCENCEUR

CHAPITRE 12 FONDATIONS

CHAPITRE 13 PROGRAMMES DE CALCUL

بسم الله الرحمن الرحيم

ملخص: نتطرق في هذا المشروع إلى دراسة بناية من ثمانية عشرة طابقا و ذلك بتحديد كمية الحديد اللازمة لتفادي خطر الزلزال بالخصوص .
بالإضافة إلى إعطاء نظرة على كيفية حساب عناصر البناية .

SUJET : ETUDE DUN BATIMENT 18 ETAGE CONTREVENTE PAR VOILES

RESUME

Le but de ce projet est l'étude d'une tour de 18 étages .
Cette étude consiste à déterminer le ferrailage nécessaire pour éviter surtout les dommages dû au seisme .
Ainsi que les méthodes de calcul des éléments de cette structure.

SUBJECT : COMPUTING CALCULATION OF 18 STORY TOWER

ABSTRACT :

The aim of this study is the analysis of the behavior of the 18 stories tower subjected to both static and dynamics loads .
The goal to be reached is the preparation of computer cods to determine the dynamics carachteristics ,The reinforcing steel sections of the structural elements and the foundations under flexure and axial force.

Présentation de l'ouvrage

Nous nous proposons de calculer les éléments résistants d'un bâtiment tour à usage d'habitation, implanté à BIRKHADEM(Wilaya d'Alger), zone de moyenne sismicité, comportant dix-huits étages et un RDC à usage commercial.

Il est doté de 2 bassins de natation au niveau de la terrasse. Les accès vers les étages supérieures se font au moyen de deux escaliers ou de deux ascenseurs.

Caractéristique géométrique

L'ossature de ce bâtiment est entièrement en voiles de béton armé

Les dimensions en plan :

Longueur du bâtiment \longrightarrow $L = 32.6 \text{ m}$

Largeur du bâtiment \longrightarrow $l = 27.0 \text{ m}$

La hauteur totale de l'ouvrage(acrotère comprise) est $H = 55.15\text{m}$

La hauteur d'étage = 3.00 m

Hauteur du RDC = 4.00 m

La distribution des éléments de contreventement présente une symétrie absolue.

Plancher

Les planchers sont en dalles pleine à dimensionner.

Voiles

Les épaisseurs des voiles sont $e = 30\text{cm}$ et $e = 20\text{cm}$.

Caractéristique du sol

Le sol sur lequel se repose notre batiment est un sol incompressible dont la contrainte admissible a été évaluée à $\bar{\sigma} = 2.5\text{bars}$.

183
 17
 16
 15
 14
 13
 12
 11
 10
 9
 8
 7
 6
 5
 4
 3
 2
 1
 RDC

183
 17
 16
 15
 14
 13
 12
 11
 10
 9
 8
 7
 6
 5
 4
 3
 2
 1
 RDC

183
 17
 16
 15
 14
 13
 12
 11
 10
 9
 8
 7
 6
 5
 4
 3
 2
 1
 RDC

183
 17
 16
 15
 14
 13
 12
 11
 10
 9
 8
 7
 6
 5
 4
 3
 2
 1
 RDC

183
 17
 16
 15
 14
 13
 12
 11
 10
 9
 8
 7
 6
 5
 4
 3
 2
 1
 RDC

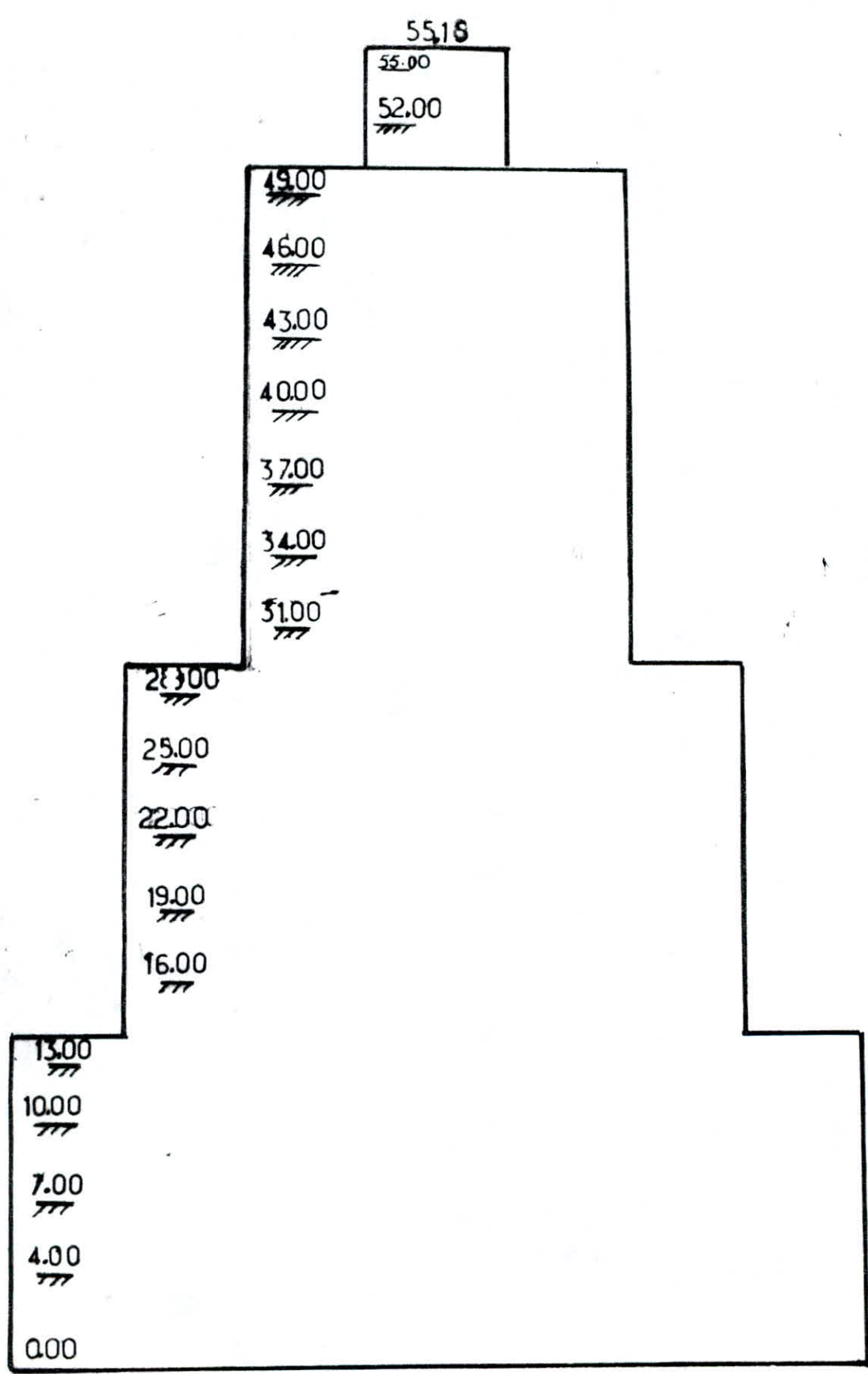
183
 17
 16
 15
 14
 13
 12
 11
 10
 9
 8
 7
 6
 5
 4
 3
 2
 1
 RDC

183
 17
 16
 15
 14
 13
 12
 11
 10
 9
 8
 7
 6
 5
 4
 3
 2
 1
 RDC

183
 17
 16
 15
 14
 13
 12
 11
 10
 9
 8
 7
 6
 5
 4
 3
 2
 1
 RDC

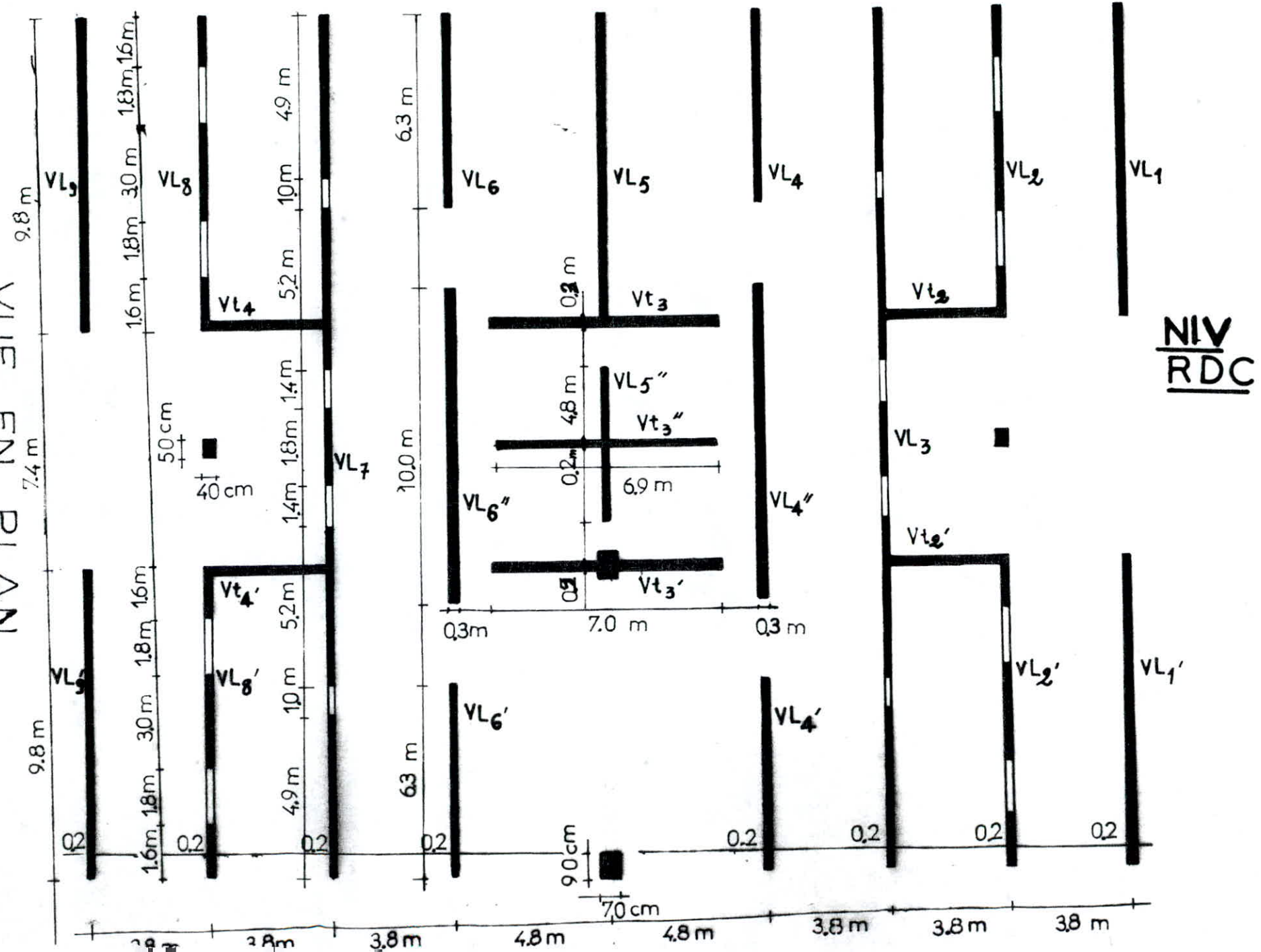
183
 17
 16
 15
 14
 13
 12
 11
 10
 9
 8
 7
 6
 5
 4
 3
 2
 1
 RDC

183
 17
 16
 15
 14
 13
 12
 11
 10
 9
 8
 7
 6
 5
 4
 3
 2
 1
 RDC



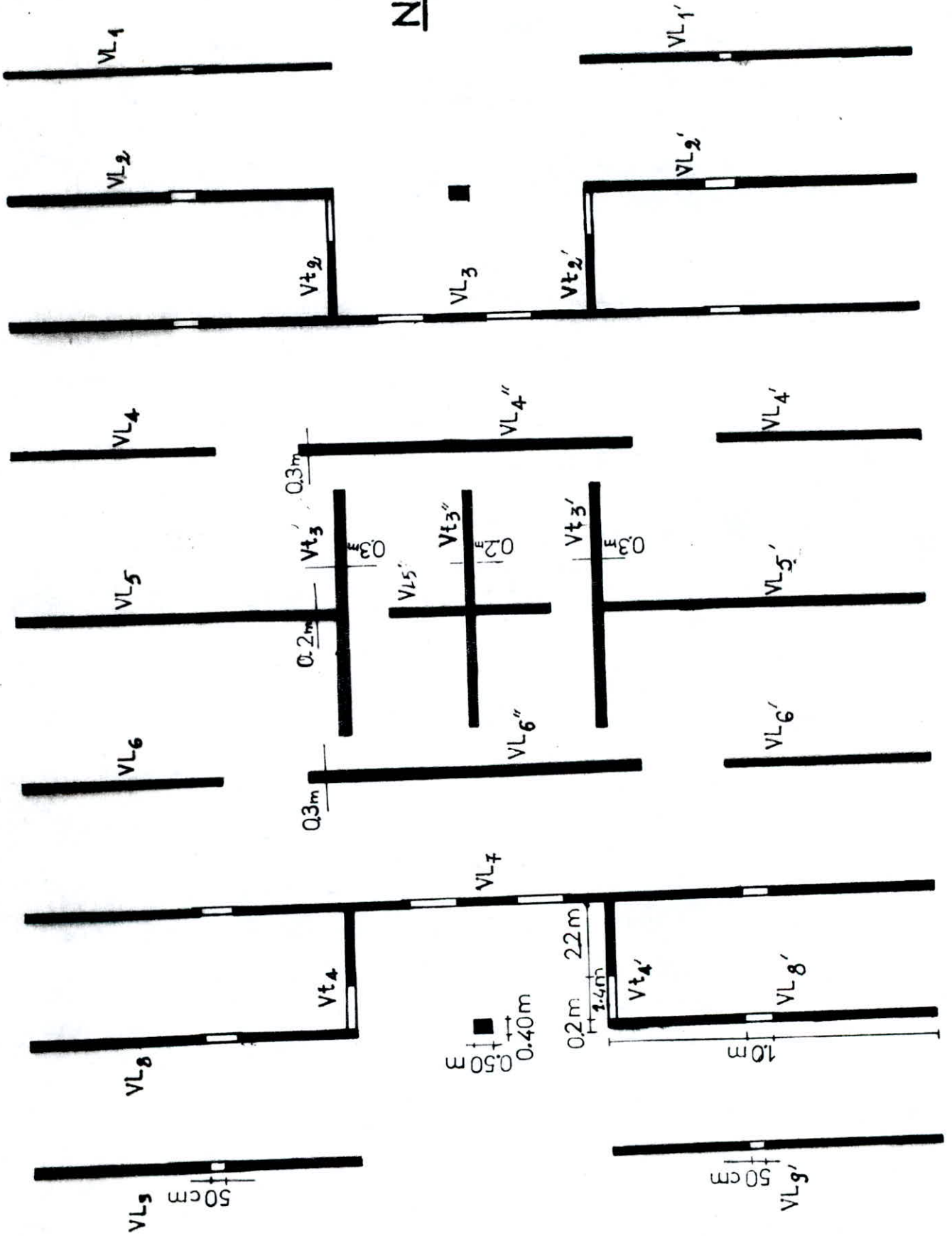
VUE EN PLAN

VUE EN PLAN

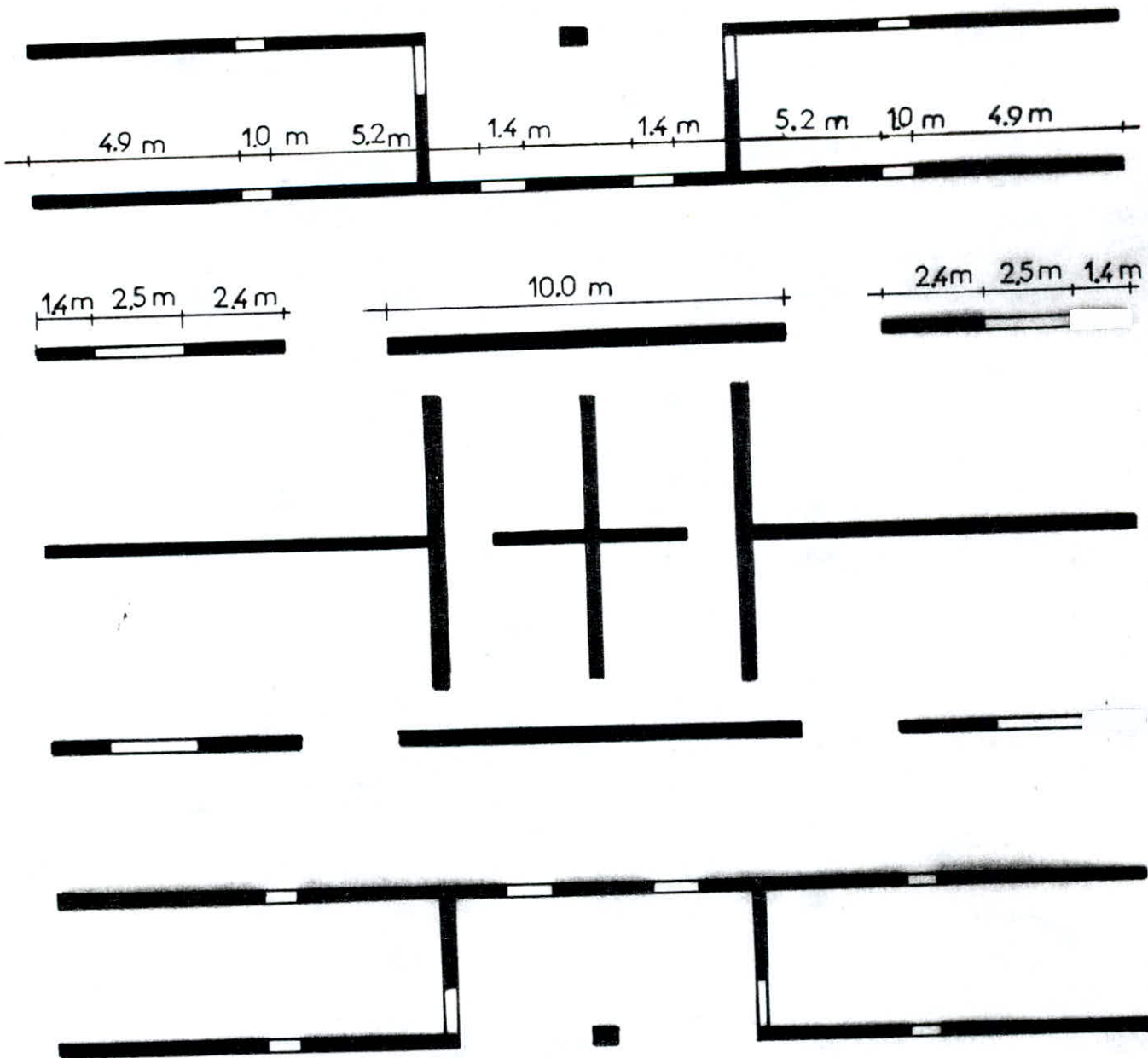


NIV
RDC

NIV
F6



5



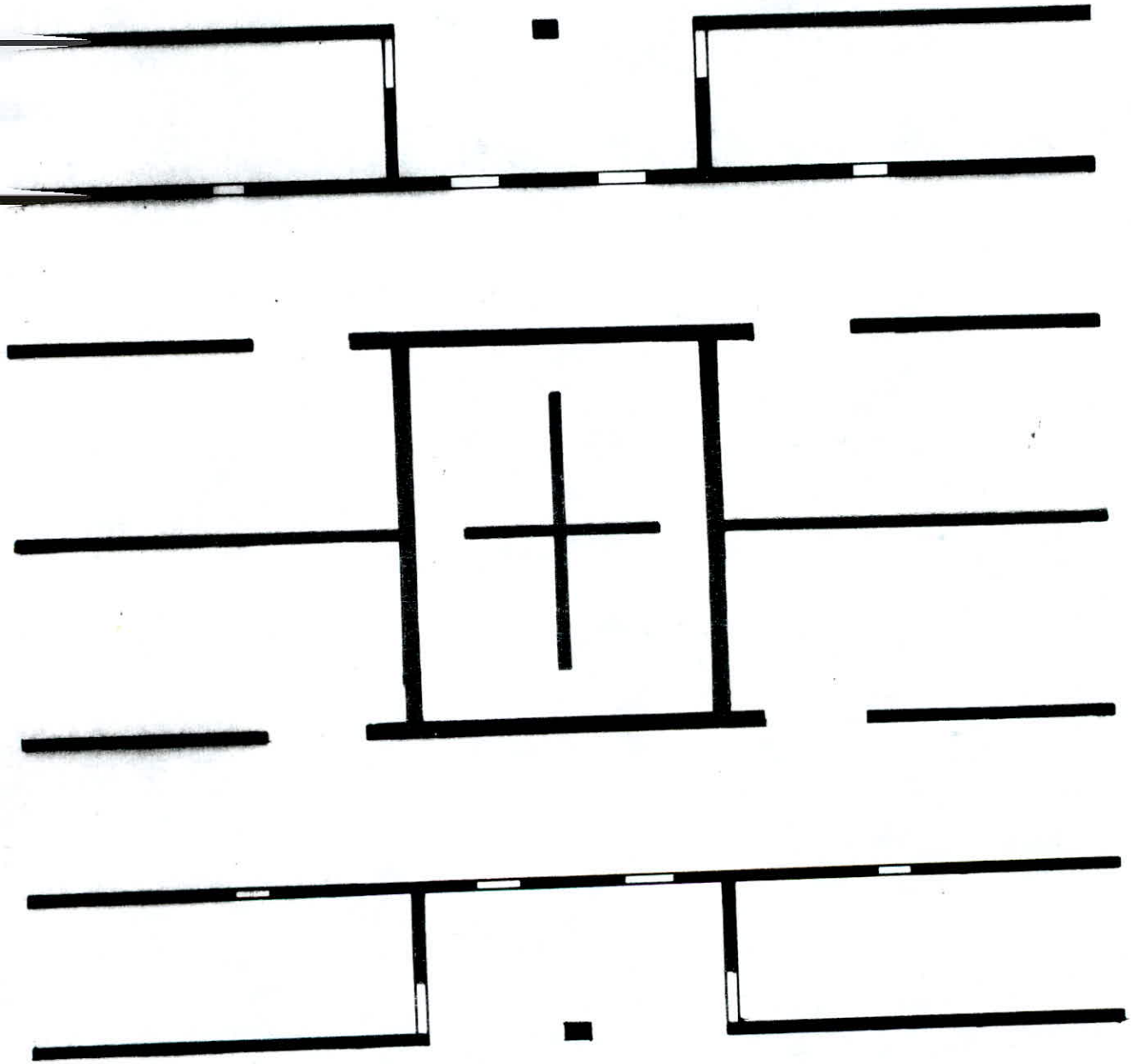
14m 2.5m 2.4m

10.0 m

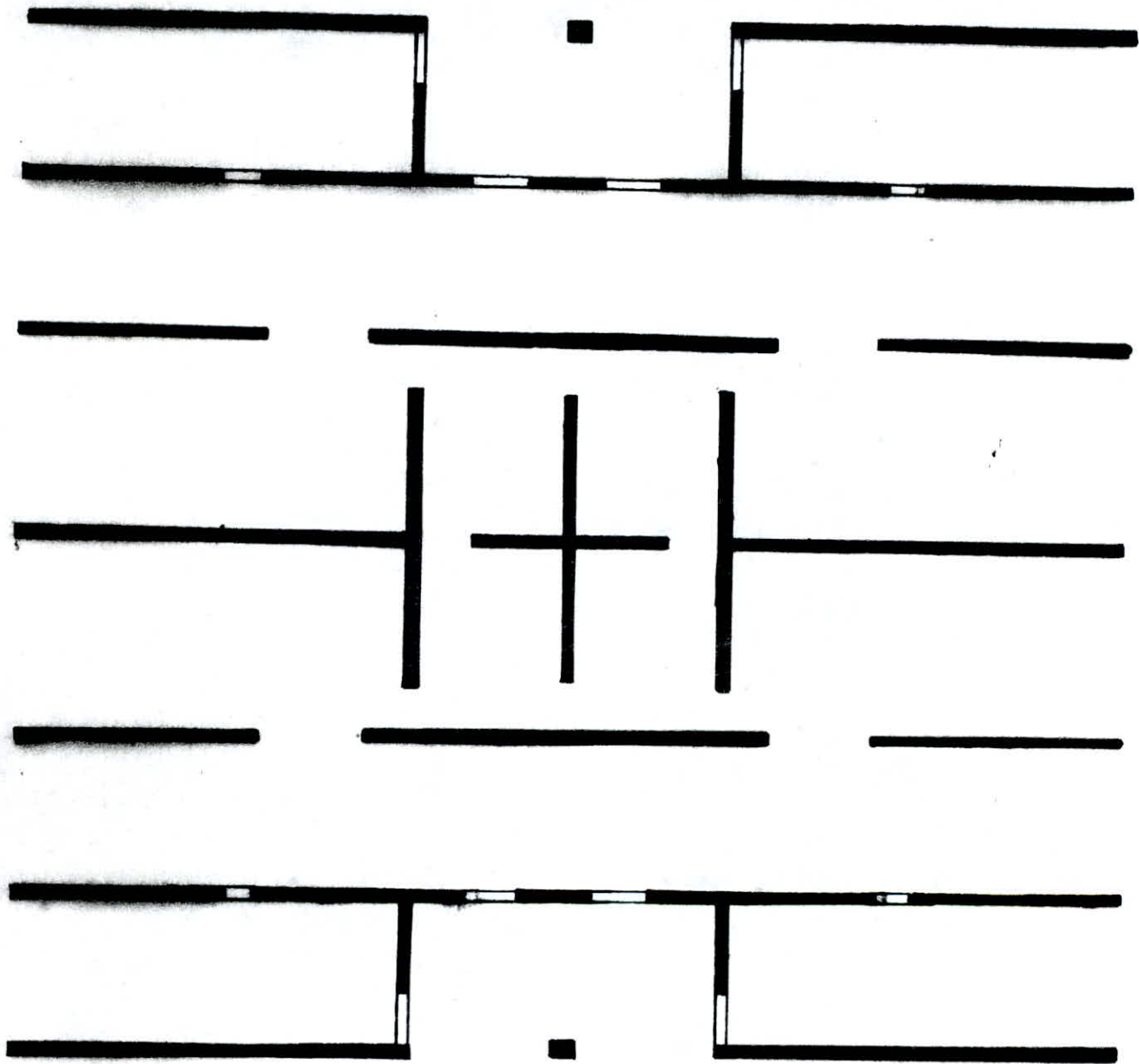
2.4m 2.5m 1.4m

NIV
F 8 INF

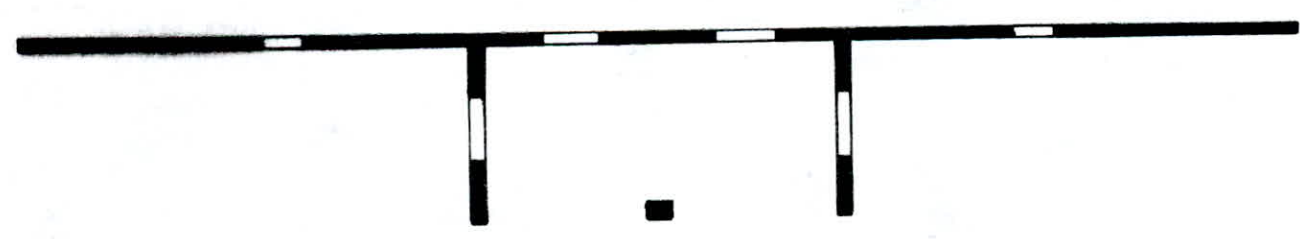
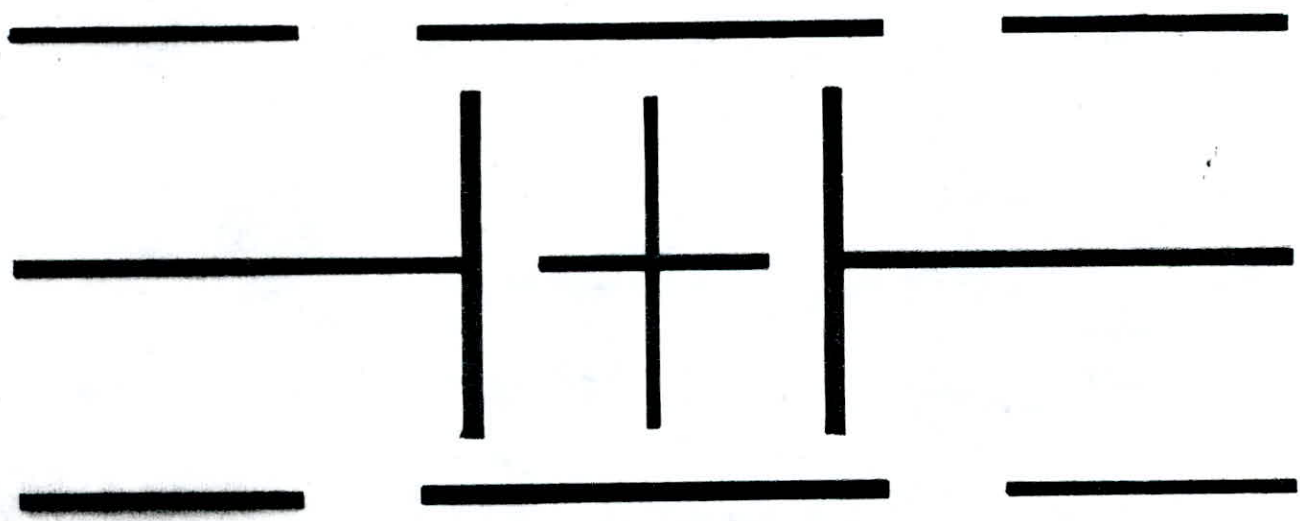
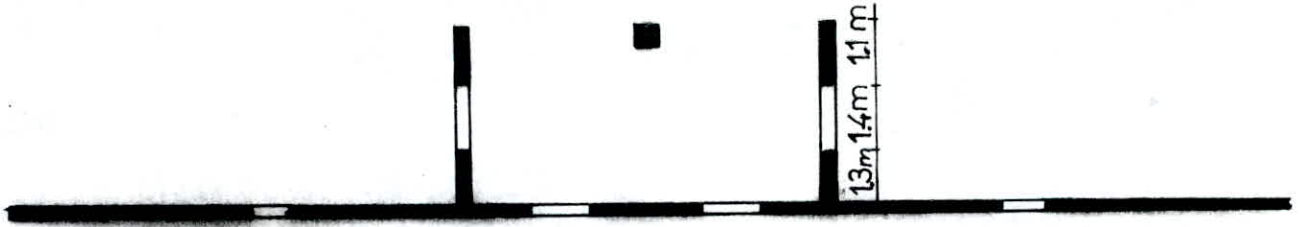
NIV
F 8 sup



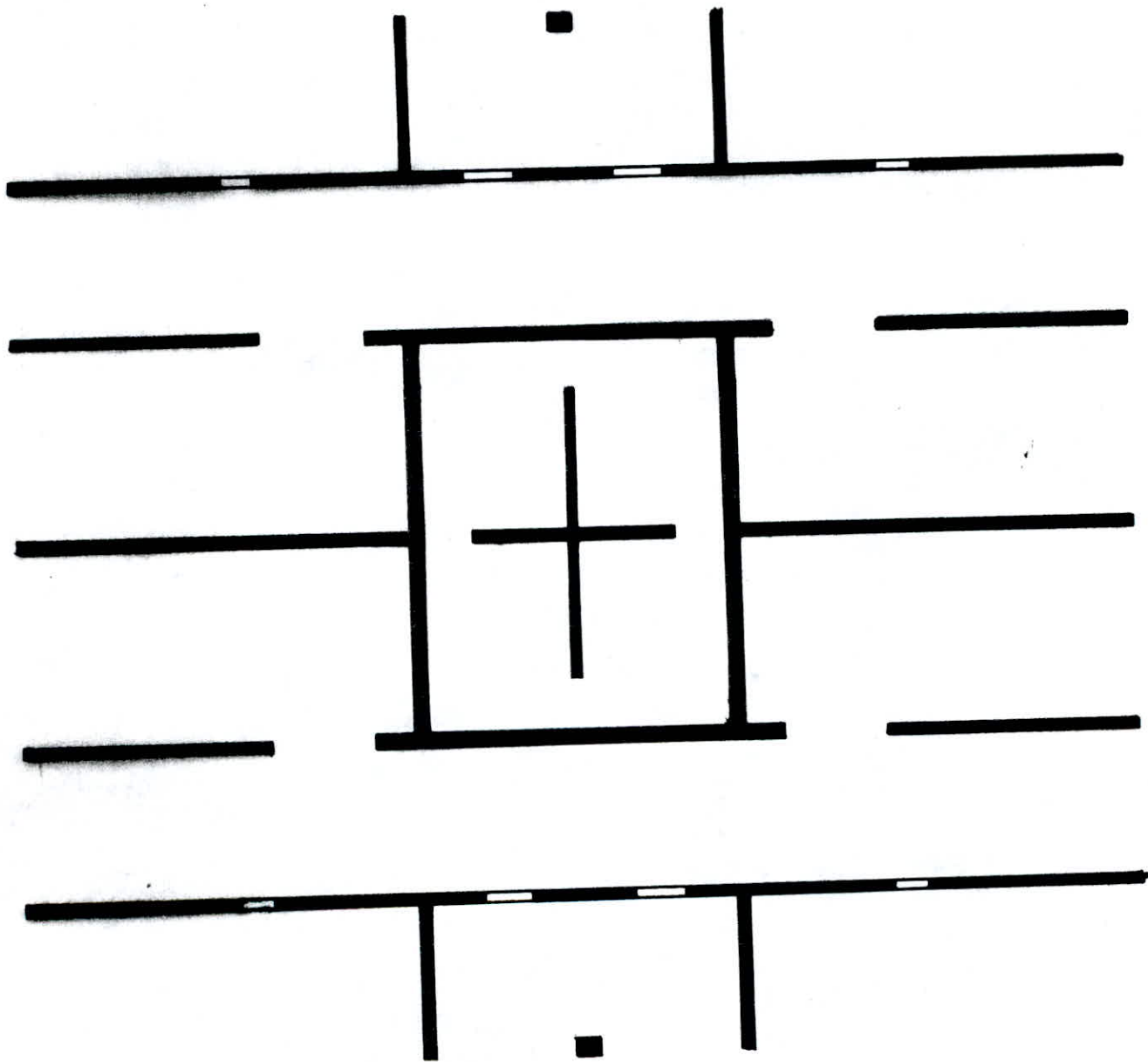
NIV
F4



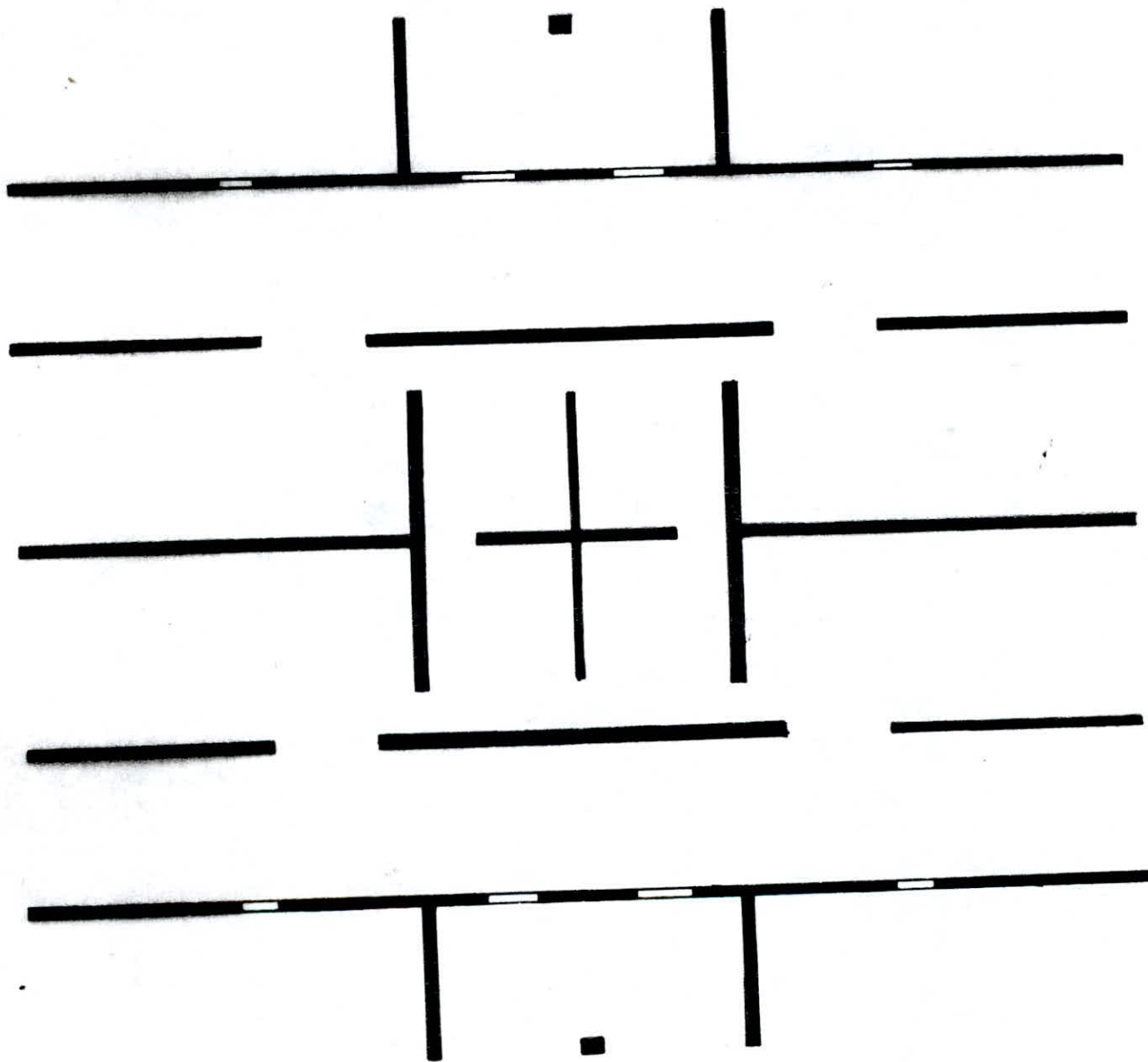
NIV
F7 inf

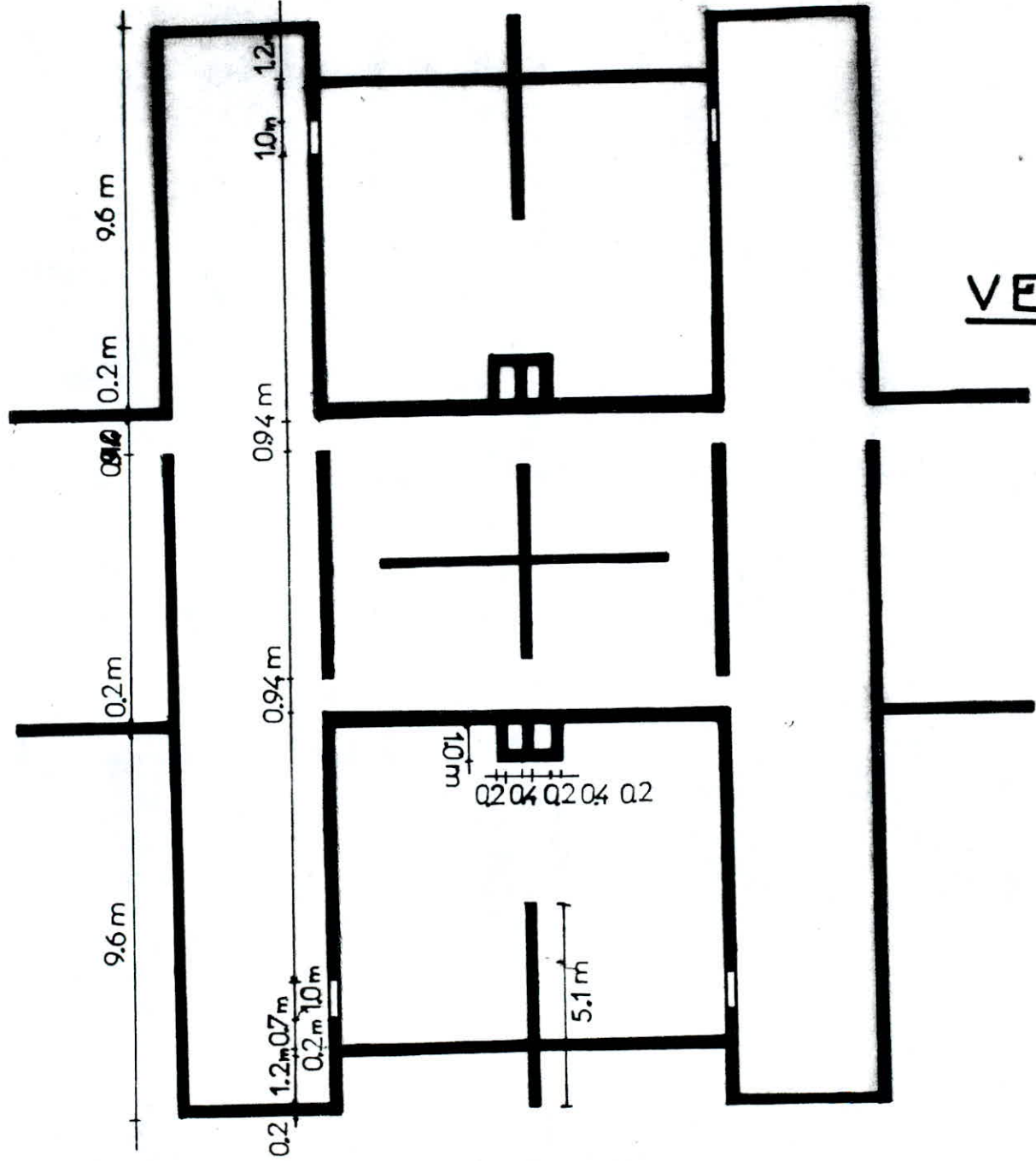


NIV
F7 sup

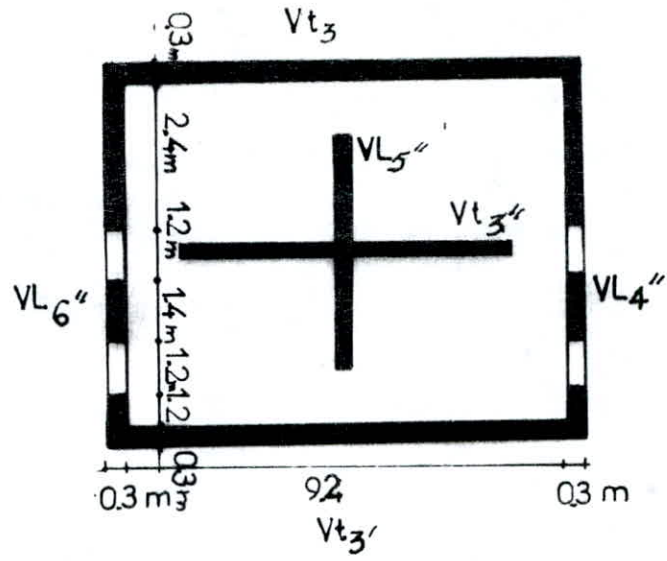


NIV
F3

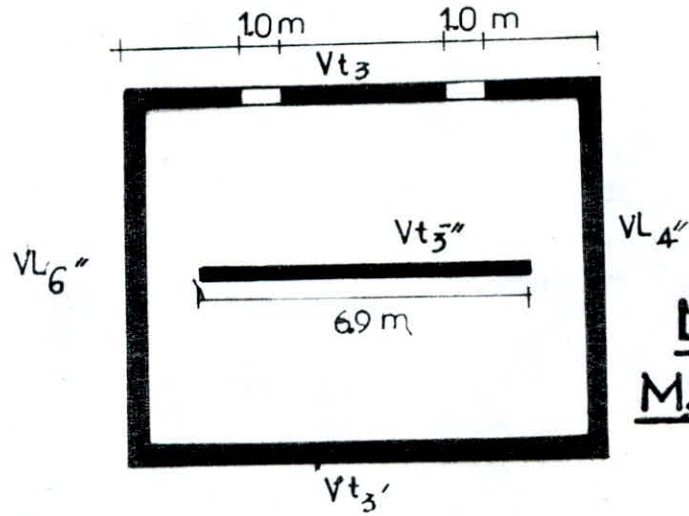




VESTIAIRE



BASSIN



LOCAL
MACHINERIE

Predimensionnement

Plancher-Dalle

L'épaisseur est fonction des dimensions de la dalle, ainsi que des conditions d'appuis.

$$\rho = \frac{l_x}{l_y} \quad \text{avec } l_y > l_x$$

$$e \geq \frac{l_x}{20} : \text{dalles sur appui simple avec } \rho \leq 0.4$$

$$\frac{l_x}{40} \leq e \leq \frac{l_x}{30} : \text{dalles continues avec } \rho \leq 0.4$$

$$\frac{l_x}{50} \leq e \leq \frac{l_x}{40} : \text{dalles continues avec } 0.4 \leq \rho \leq 1$$

Dans notre cas : $l_x = 3.6\text{m}$

$$l_y = 9.4\text{m}$$

$$\rho = \frac{l_x}{l_y} = 0.383 < 0.4$$

$$\text{Donc } \frac{36}{40} \leq e \leq \frac{3.6}{30} \longrightarrow 0.09 \leq e \leq 0.12$$

On prend $e = 16 \text{ cm}$

Voiles

L'épaisseur du voile selon L'RPA88 article 4.3.1 est :

$$e \geq 15 \text{ cm en zone II}$$

$$e \geq \max \left(\frac{h_0}{25}, \frac{h_0}{22}, \frac{h_0}{20} \right) = \frac{h_0}{20} = \frac{300}{20} = 15\text{cm}$$

L'épaisseur $e=30 \text{ cm}$ et $e=20 \text{ cm}$ de nos voiles vérifient les conditions RPA.

Caractéristiques des matériaux

* Charges et Surcharges

A) Plancher terrasse accessible

* charges permanentes

- Etanchéité multicouches			10 Kg/m ²
- Liège(isolation)			5 Kg/m ²
- Pare-vapeur			5 Kg/m ²
- Forme de pente(1.5%)			253 Kg/m ²
- Pds propre de la dalle e=16cm			400 Kg/m ²
- Enduit de platre	e=0.02	1500x0.02=30	Kg/m ²
- Carrelage	e=0.02	2200x0.02=44	Kg/m ²
			<hr/>
			$\Sigma = 747 \text{ Kg/m}^2$

* Surcharge d'exploitation : 300 Kg/m²

B) Plancher etage courant

* Charges permanentes

- Carrelage			44 Kg/m ²
- Mortier de pose			44 Kg/m ²
- Sable	1700x0.02=34		Kg/m ²
- Cloisons			75 Kg/m ²
- Enduit de platre			30 Kg/m ²
- Pds propre de la dalle			400 Kg/m ²
			<hr/>
			$\Sigma = 627 \text{ Kg/m}^2$

* Surcharges : 175 Kg/m²

C) RDC

Il ne diffère du plancher courant que par l'épaisseur de la dalle = 20cm et de $G = \Sigma 727 \text{ Kg/m}^2$

* Surcharges = 400 Kg/m²

D) Balcon

* Charges permanentes

- Carrelage + mortier	84 Kg/m ²
- Dalle pleine	400 Kg/m ²
- Enduit de plâtre	30 Kg/m ²
	<hr/>
	$\sum = 514 \text{ Kg/m}^2$

* Surcharges : 350 Kg/m²

Terasse non accessible

* Sharges permanentes

- Etanchéité multicouches	10 Kg/m ²
- Granulats (protection) e=5cm	90 Kg/m ²
- Liège	5 Kg/m ²
- Pare vapeur	5 Kg/m ²
- Forme de pente	1.5% , 253 Kg/m ²
- P.P de dalle	2500x0.16=400 Kg/m ²
- Enduit+plâtre	30 Kg/m ²
	<hr/>
	$\sum = 793 \text{ Kg/m}^2$

* Surcharge d'exploitation : 100 Kg/m²

Caractéristique des matériaux et hypothèses de calcul

IIa) Caractéristiques des matériaux

- 1) Béton: Le béton utilisé est défini du point de vue mécanique par sa résistance à la compression mesurée à 28 jours à partir d'essais effectuées sur des éprouvettes cylindriques de diamètre $\phi=16$ cm et une hauteur $h=32$ cm.
La résistance caractéristique à la compression à 28 jours est notée f_{c28} .

La constitution de notre béton est pour $1m^3$.

- 800 litres de gravier
- 400 litres de sable propre
- 350 Kg de ciment
- 175 litres d'eau

Cette composition nous donne pour des conditions nouvelles de contrôle une résistance caractéristique $f_{c28} = 25$ MPA.

La résistance caractéristique en traction est donnée par:

$$f_{t28} = 0.6 + 0.06 f_{c28}$$

.La contrainte limite ultime en compression est :

$$f_{bu} = \frac{0.85 f_{c28}}{\gamma_b}$$

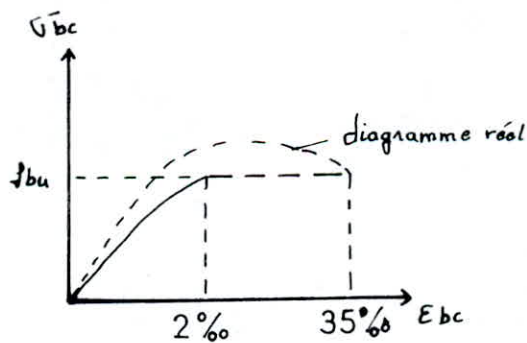
avec γ_b : coefficient de sécurité ayant les valeurs suivantes:

$\gamma_b = 1.15$ pour les situations accidentelles

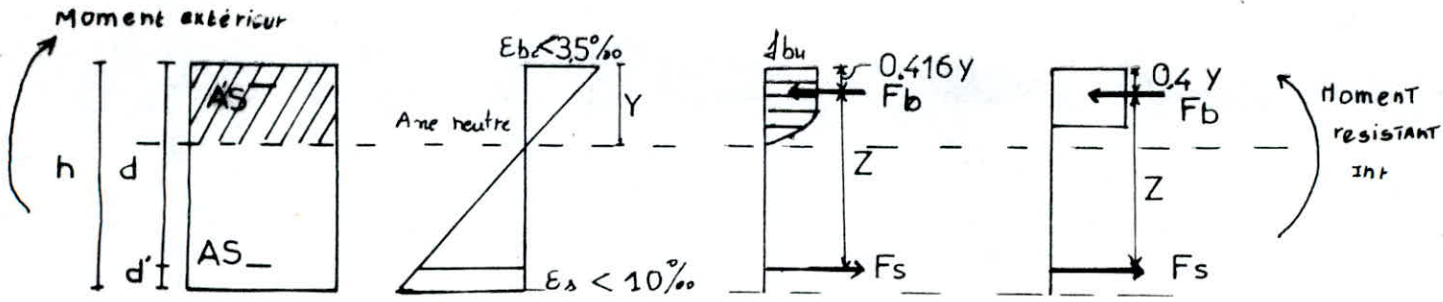
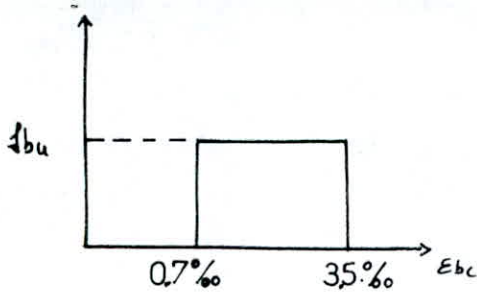
$\gamma_b = 1.50$ pour les autres cas (situations durables)

.Diagramme de calcul (contrainte déformation)

Le diagramme utilisé dans tous les cas de calcul est le diagramme dit *parabole-rectangle* (fig 1).



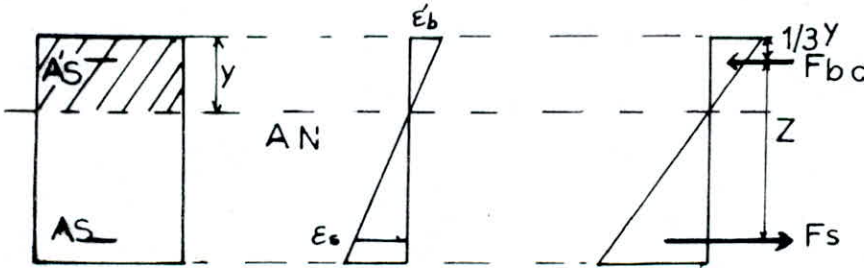
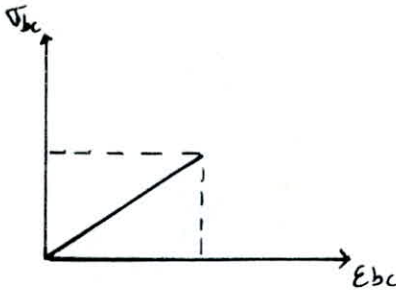
Lorsque la section considérée n'est pas entièrement comprimée, le calcul à l'ELU est effectuée selon un diagramme rectangulaire.



La contrainte limite de service en compression est donnée par

$$\bar{\sigma} = 0.6 f_{c28} \longrightarrow \bar{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPA}$$

Le diagramme contrainte déformation est linéaire.



La contrainte ultime de cisaillement est donnée par:

$\bar{\tau}_u = \text{Min} (0.10 f_{c28} - 3 \text{ MPA})$ pour pour une fissuration préjudiciable

Module de déformation longitudinal

Pour un chargement de courte durée ($t < 24h$) et un âge de $j < 24h$

$$E_{tj} = 12000 f_{c28}^{1/3} \longrightarrow E_{t28} = 11000 f_{c28}^{1/3} = 32164 \text{ MPA}$$

$$E_{t28} = 32164 \text{ MPA}$$

Le coefficient de Poisson est donnée par:

$$\mu = 0 \text{ à l'ELU.}$$

$$\mu = 0.2 \text{ à l'ELS.}$$

2) Acier

Résistance caractéristique : le caractère mécanique de référence à l'acier est la valeur de sa contrainte élastique (f_e) qui dépend de la nature de l'acier.

L'acier utilisé est de type 1.

$f_e = E_s \epsilon_s$: Acier à haute adhérence $f_e = 400$ MPA.

Diagramme Contrainte Déformation

A l'ELU, on introduit un facteur de sécurité γ_s qui a les valeurs suivantes :

- $\gamma_s = 1$ situation accidentelle

- $\gamma_s = 1.15$ situation durable

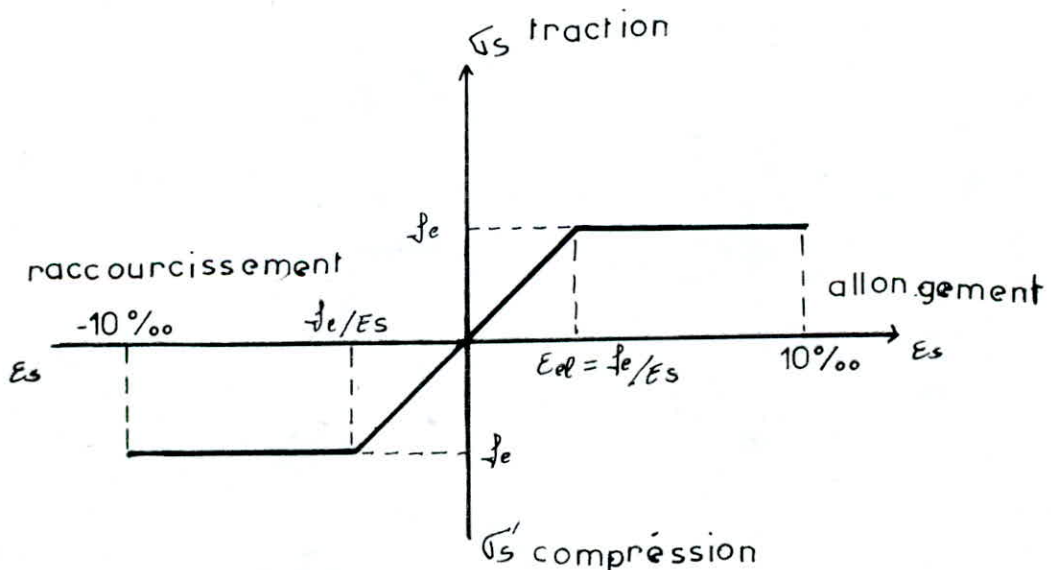
Modèle d'élasticité

Le module de l'acier est pris égal à $E_s = 2 \cdot 10^5$ MPA

Coefficient de poisson : $\mu = 0.3$

La fissuration étant préjudiciable, les contraintes à l'ELS sont données par $\overline{\sigma_s} = \text{Min}(\frac{2}{3} f_e, 150)$ avec η : coefficient de fissuration égal à 1.6

$$\overline{\sigma_s} = 240 \text{ MPA}$$



II b) Hypothèse de calcul

Les calculs à l'état limit ultime (ELU) sont conduites suivants les hypothèses suivantes :

1) Hypothèse de base

- Conservation des sections planes
- Absence de glissement entre l'acier et le béton
- Non prise en compte du béton tendu

2) Déformation relative limites

Pour l'acier le plus tendu : 10%

Pour le béton le plus comprimée : $\left\{ \begin{array}{l} 3.5\% \text{ en flexion} \\ 2\% \text{ en compression} \end{array} \right.$

3) Règle des 03 pivots

Le dimensionnement à l'ELU est conduit en supposant que le diagramme de déformation passe par l'un des 03 pivots A, B ou C. Chacun d'eux définissant une zone (fig3).

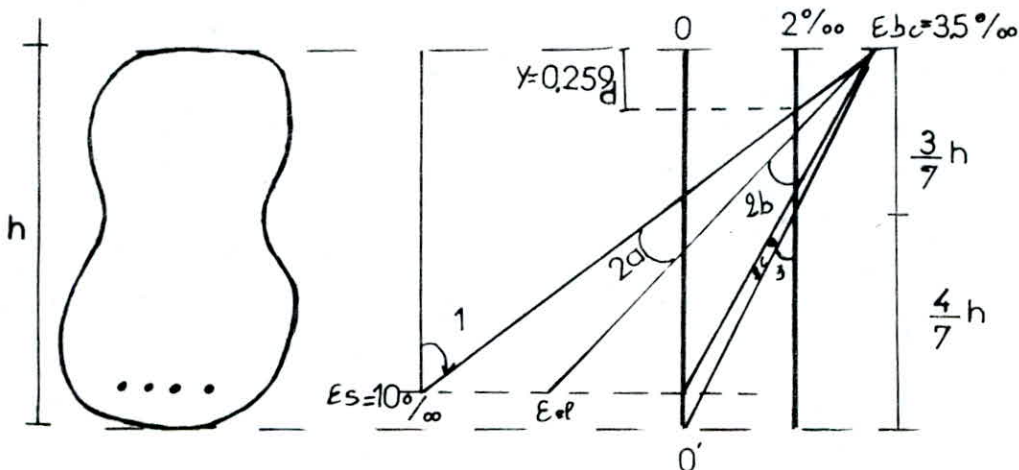
Pivot a (région 1). L'allongement de l'acier tendu est de 10%

La section est soumise à la traction ou à la flexion simple ou composée sans épuisement dans la résistance du béton.

Pivot b (région 2) : le raccourcissement du béton est de 3.5%.

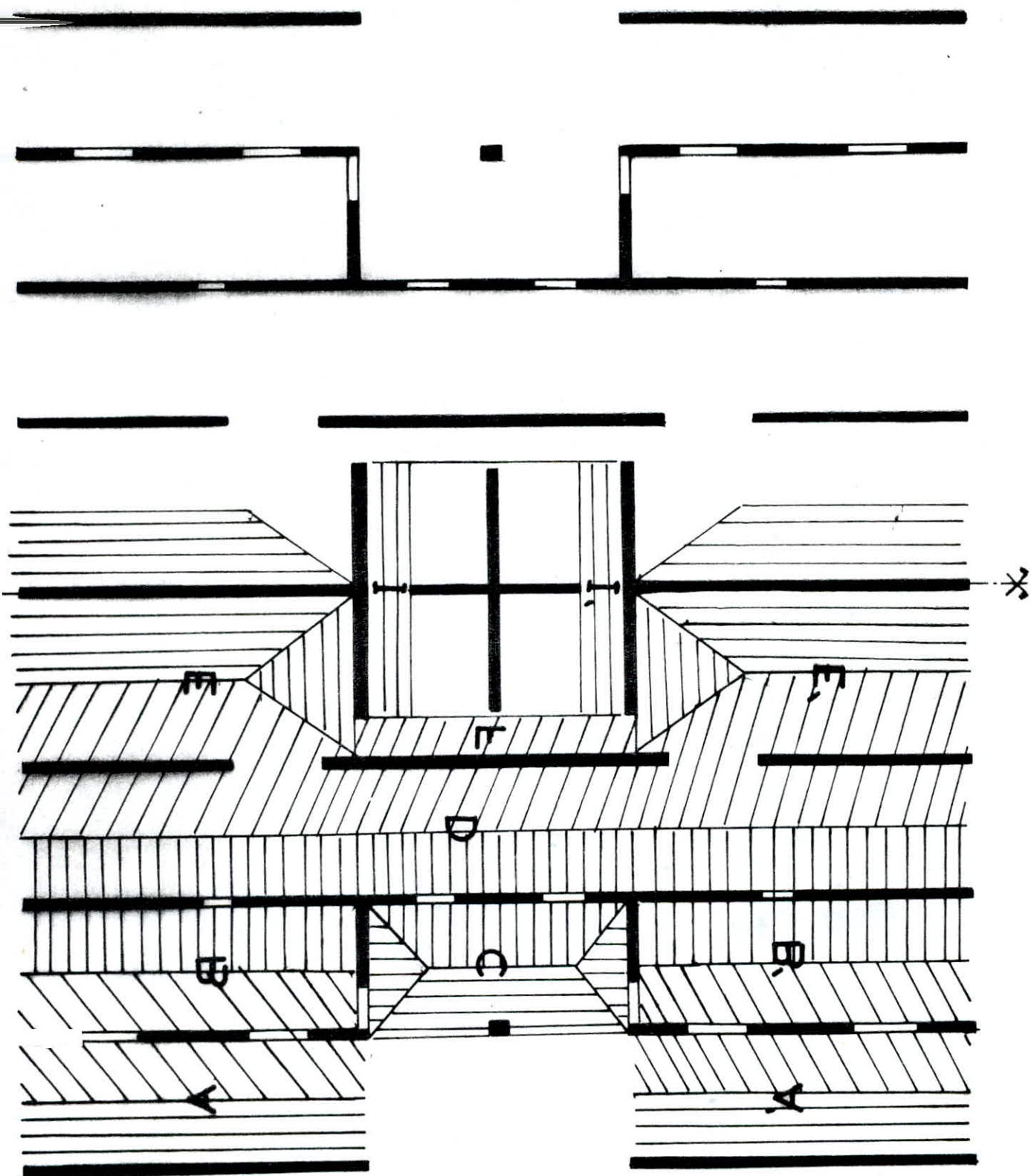
La section est soumise à la flexion simple ou composée.

Pivot c (région 3) : le raccourcissement du béton au niveau du pivot C est de 2%, la section soumise est à la flexion composée ou à la compression.



CHAPITRE II

*CALCUL DU POIDS DE
LA STRUCTURE*

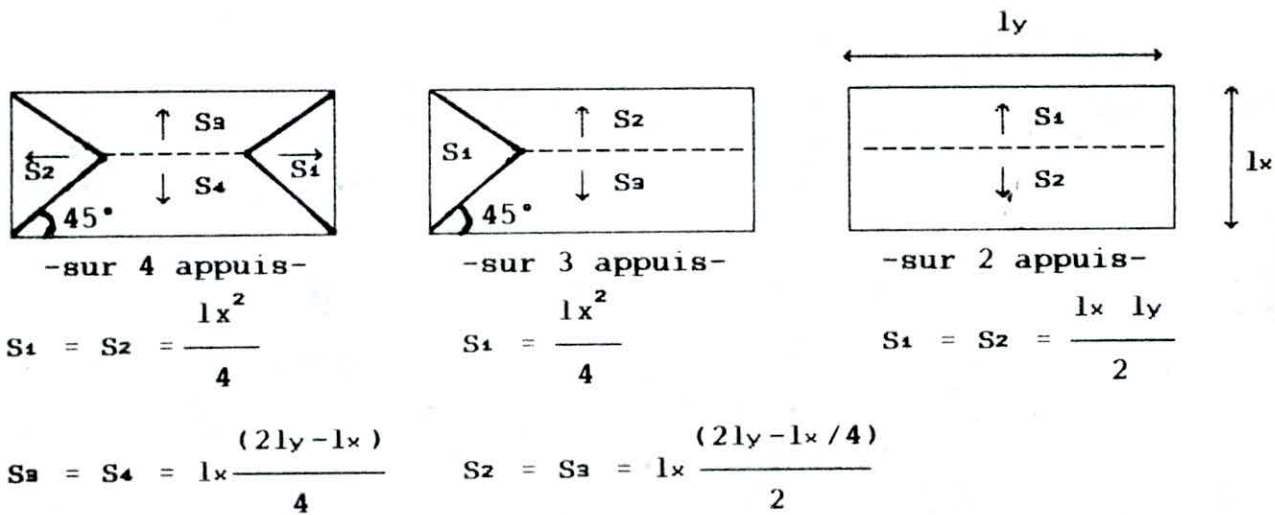


Calcul des surfaces revenant aux voiles

Principe

Le principe de la répartition des charges verticales au niveau des éléments porteurs, est basé sur la méthode des lignes de rupture de Johansen. Cette méthode concerne les dalles sur 2,3 ou 4 appuis soumises à des charges uniformes.

Les lignes de rupture qui sont constituées par des diagonales à 45° partant des angles, permettant de comprendre comment les charges se distribuent sur les éléments porteurs(voiles).



Nous avons calculé les différentes surfaces élémentaires.

Panneaux aux A et A'

Dalles appuyés sur 2 côtés

$$\begin{cases} l_x = 3.6 \\ l_y = 9.8 \end{cases} \longrightarrow \frac{l_x}{l_y} = 0.367 < 0.4$$

$$S_1 = S_2 = \frac{l_x l_y}{2} = 17.64 \text{ cm}^2$$

Panneaux aux B et B' (3 appuis)

$$\begin{cases} l_x = 3.6 \\ l_y = 9.8 \end{cases} \longrightarrow \frac{l_x}{l_y} = 0.367 < 0.4$$

$$S_1 = S_2 = \frac{l_x l_y}{2} = 17.64 \text{ m}^2$$

Panneau c (4 appuis)

$$\begin{cases} l_x = 3.6 \\ l_y = 7.4 \end{cases} \longrightarrow \frac{l_x}{l_y} = 0.486 < 0.4$$

$$S_1 = S_2 = \frac{l_x^2}{4} = 3.24 \text{ m}^2$$

$$S_3 = S_4 = l_x (2l_y - l_x) / 4 = 10.08 \text{ m}^2$$

Panneau d (2 appuis)

$$\begin{cases} l_x = 3.6 \\ l_y = 27 \end{cases} \longrightarrow \frac{l_x}{l_y} = 0.130 < 0.4$$

$$S_1 = S_2 = \frac{l_x l_y}{2} = 48.6 \text{ cm}^2$$

Panneaux E et E' (3 appuis)

$$\begin{cases} l_x = 4.6 \\ l_y = 9.8 \end{cases} \longrightarrow \frac{l_x}{l_y} = 0.469 < 0.4$$

$$S_1 = \frac{l_x^2}{4} = 5.29 \text{ cm}^2$$

$$S_2 = S_3 = l_x (l_y - l_x / 4) / 2 = 19.895 \text{ m}^2$$

Panneau F (encastré d'un seul côté)

$$S = 1.04 \times 7.4 = 7.696 \text{ m}^2$$

Panneaux I et I' (encastré d'un seul côté)

$$S = 1.25 \times 7 = 8.75 \text{ m}^2$$

- 1 - On répartit toutes les surfaces élémentaires revenant au voile
- 2 - On calcule la somme des produits de ces surfaces par leurs charges (et surcharges) respectives .

EX : voile VL1 NIV F6

$$S = 17.64 \text{ m}^2$$

$$\longrightarrow G = 17.64 \times 0.627 = 11.06 \text{ t}$$

$$\longrightarrow Q = 17.64 \times 0.175 = 3.087 \text{ t}$$

Le reste des calculs est donné dans le tableau suivant :

SURFACES REVENANTS AUX VOILES LONGITUDINAUX (m²)

Voile Niv	VL1-VL1'	VL2-VL2'	VL3	VL4-VL4'	VL4	VL5-VL5'	VL a-VL b
RDC F6	17.64	35.28	93.96	45.99	61.69	39.79	--
F4 F8	--	17.64	93.96	45.99	61.69	39.79	--
F3 F7	--	--	58.68	45.99	61.69	39.79	--
VEST	--	--	58.68	28.86	54.00	--	31.51
LM BASSIN	--	--	--	--	7.69	--	--
TERR	--	--	--	--	--	--	--

SURFACES REVENANTS AUX VOILES TRANSVERSAUX (m²)

Voile Niv	Vt2-Vt2'	Vt3	Vt a - Vt b	Vt a "
RDC F6	3.24	19.33	--	--
F4 F8	3.24	19.33	--	--
F3 F7	3.24	19.33	--	--
VESTIAIRE DOUCHE	3.24	19.33	10.58	--
LOCAL MACH BASSIN	--	8.75	--	7.93
TERRASSE	--	16.92	--	33.84

TABLEAU DONNANT LES CHARGES REVENANT A CHAQUE VOILE ET A CHAQUE NIVEAU
CHARGES PERMANENTES

VOILE NIV	VL1	VL2	VL3	VL4	VL5	VT2	VT3'	VL5"	VT3"	VL4"	VTa
	VL1'	VL2'		VL4'	VL5'	VT2'					
0	11.06	22.12	58.913	28.84	24.95	2.03	12.12	--	--	38.683	--
1	11.06	22.12	58.913	28.84	24.95	2.03	12.12	--	--	38.683	--
2	11.06	22.12	58.913	28.84	24.95	2.03	12.12	--	--	38.683	--
3	--	11.06	58.913	28.84	24.95	2.03	12.12	--	--	38.683	--
4	--	11.06	58.913	28.84	24.95	2.03	12.12	--	--	38.683	--
5	--	11.06	58.913	28.84	24.95	2.03	12.12	--	--	38.683	--
6	--	11.06	58.913	28.84	24.95	2.03	12.12	--	--	38.683	--
7	--	11.06	58.913	28.84	24.95	2.03	12.12	--	--	38.683	--
8	--	--	36.792	28.84	24.95	2.03	12.12	--	--	38.683	--
9	--	--	36.792	28.84	24.95	2.03	12.12	--	--	38.683	--
10	--	--	36.792	28.84	24.95	2.03	12.12	--	--	38.683	--
11	--	--	36.792	28.84	24.95	2.03	12.12	--	--	38.683	--
12	--	--	36.792	28.84	24.95	2.03	12.12	--	--	38.683	--
13	--	--	36.792	28.84	24.95	2.03	12.12	--	--	38.683	--
14	--	--	36.792	28.84	24.95	2.03	12.12	--	--	38.683	--
15	--	--	36.792	28.84	24.95	2.03	12.12	--	--	33.858	--
16	--	--	43.830	21.56	--	2.42	14.44	--	--	16.237	7.9
17	--	--	--	--	--	--	5.486	--	4.97	4.825	--
18	--	--	--	--	--	--	13.42	--	26.83	--	--

TABLEAU DONNANT LES SURCHARGES REVENANT A CHAQUE VOILE

ET A CHAQUE NIVEAU(t)

Voile nv	VL1	VL2	VL3	VL4	VL4"	VL5	VT2	VT3	VT3"	VTa	VLa
	VL1	VL2'		VL4'		VL5'	VT2'	VT3'		VTb	VLb
1	3.087	6.17	16.443	8.049	10.797	6.96	0.567	3.38	--	--	--
2	3.087	6.17	16.443	8.049	10.77	6.96	0.567	3.38	--	--	--
3	3.087	6.17	16.443	8.049	10.77	6.96	0.567	3.38	--	--	--
4	--	3.08	16.443	8.049	10.77	6.96	0.567	3.38	--	--	--
5	--	3.08	16.443	8.049	10.77	6.96	0.567	3.38	--	--	--
6	--	3.08	16.443	8.049	10.77	6.96	0.567	3.38	--	--	--
7	--	3.08	16.443	8.049	10.77	6.96	0.567	3.38	--	--	--
8	--	3.08	16.443	8.049	10.77	6.96	0.567	3.38	--	--	--
9	--	--	10.269	8.049	10.77	6.96	0.567	3.38	--	--	--
10	--	--	10.269	8.049	10.77	6.96	0.567	3.38	--	--	--
11	--	--	10.269	8.049	10.77	6.96	0.567	3.38	--	--	--
12	--	--	10.269	8.049	10.77	6.96	0.567	3.38	--	--	--
13	--	--	10.269	8.049	10.77	6.96	0.567	3.38	--	--	--
14	--	--	10.269	8.049	10.77	6.96	0.567	3.38	--	3.194	9.453
15	--	--	10.269	5.05	9.45	--	--	3.38	--	--	--
16	--	--	--	--	1.347	--	--	1.53	1.38	--	--
17	--	--	--	--	1.347	--	--	1.53	1.38	--	--
18	--	--	--	--	--	--	--	1.69	3.38	--	--

Calcul du poids des voiles

* RDC

Voiles	Pds (t)
Vl ₁ -Vl' ₁	$2.5 \times 0.2 \times 9.8 \times 4 = 19.6t$
Vl ₂ -Vl' ₂	$2.5 \times 0.2(4 \times 9.8 - 2.17 \times 1) = 18.515t$
Vl ₃	$0.2 \times 2.5(4 \times 27 - 2.17 \times 4.8) = 48.792t$
Vl ₄ -Vl' ₄	$0.2 \times 2.5 \times 6 \times 4 = 12t$
Vl'' ₄	$0.3 \times 10 \times 2.5 \times 4 = 30t$
Vl ₅	$0.2 \times 9.8 \times 2.5 \times 4 = 19.6t$
Vl'' ₅	$0.2 \times 4.8 \times 2.5 \times 4 = 9.6t$
Vt ₂ -Vt' ₂	$0.2 \times 2.5(3.8 \times 4 - 2.17 \times 1.4) = 6.081t$
Vt ₃	$0.3 \times 7.3 \times 2.5 \times 4 = 21.9t$
Vt'' ₃	$0.2 \times 6.9 \times 2.5 \times 4 = 13.8t$

* Etage courant

Voiles	Pds (t)
Vl ₁ -Vl' ₁	$0.2 \times 9.8 \times 2.5 \times 3 = 14.7t$
Vl ₂ -Vl' ₂	$0.2 \times 2.5(3 \times 9.8 - 2.17) = 13.615t$
Vl ₃	$0.2 \times 2.5(3 \times 27 - 2.17 \times 4.8) = 35.292t$
Vl ₄ -Vl' ₄	$0.2 \times 2.5 \times 6 \times 3 = 9t$
Vl'' ₄	$0.3 \times 10 \times 2.5 \times 3 = 22.5t$
Vl ₅	$0.2 \times 9.8 \times 2.5 \times 3 = 14.7t$
Vl'' ₅	$0.2 \times 4.8 \times 2.5 \times 3 = 7.2t$
Vt ₂ -Vt' ₂	$0.2 \times 2.5(3.8 \times 3 - 2.17 \times 1.4) = 4.181t$
Vt ₃	$0.3 \times 7.3 \times 2.5 \times 3 = 16.35t$
Vt'' ₃	$0.2 \times 6.9 \times 2.5 \times 3 = 10.35t$

Niveau local machinerie

Voiles	Pds (t)
Vl ⁿ 4	$0.3 \times 7.8 \times 2.5 \times 2.65 = 15.5000$
Vt _a	$0.3 \times 7 \times 2.5 \times 2.65 = 13.9100$
Vt' _a	
Vt _a "	$0.2 \times 6.9 \times 2.5 \times 2.65 = 09.1425$

Niveau bassin

Voiles	Pds (t)
Vl ⁿ 4	$0.3 \times 7.8 \times 2.5 \times 3 = 17.55$
Vl ⁿ 5	$0.2 \times 4.8 \times 2.5 \times 3 = 07.20$
Vt _a	$0.3 \times 7 \times 2.5 \times 3 = 15.75$
Vt' _a	
Vt ⁿ 3	$0.2 \times 6.9 \times 2.5 \times 3 = 10.35$

Niveau vestiaires

Voiles	Pds (t)
Vl _a	$0.2 \times 2.5(3 \times 27 - 2.17 \times 4.8) = 35.292$
Vl ₄ -Vl' ₄	$3.2 \times 2.5 \times 6 \times 3 = 09.000$
Vl _a	$= 06.05$
Vt ₂ -Vt' ₂	$0.2 \times 2.5(3.8 \times 3 - 2.7 \times 1.4) = 04.181$
Vt _a -Vt' _a	$0.3 \times 7.3 \times 2.5 \times 3 = 16.425$
Vt ⁿ 3	$0.2 \times 6.9 \times 2.5 \times 3 = 10.35$
Vl ⁿ 5	$0.2 \times 6.9 \times 2.5 \times 3 = 07.2$
Vt _a	$9.2 \times 3 \times 0.2 \times 2.5 = 13.8$
Vl ⁿ 4	$0.3 \times 10 \times 2.5 \times 3 = 22.5$
Vt gaine	$0.2 \times 2.5 \times 3 \times 1 = 01.5$

Poids des escaliers

$$\text{Poids du palier} = 2(1.125)^2 = 1.225t$$

$$\text{Poids de la volée} = 3(1.125 \times 1.10) \times 0.63 = 2.345t$$

$$\sum 3.57t$$

Le poids des escaliers est: $2 \times 3.57 = 7.14t$

Poids des balcons

$$\text{Pour chaque niveau : } S = 12.595 \text{ m}^2$$

$$G = 12.595 \times 0.514t \times 2 = 12.94t$$

$$Q = 12.595 \times 0.35 = 4.4t \times 2$$

Poids de remplissage(t)

	RDC	Etage courant	Vest	Bassin	Local machinerie
Vl ₁ -Vl' ₁	15.640	11.520	---	---	---
Vl ₂ -Vl' ₂	14.730	10.610	---	---	---
Vl ₃	38.720	27.377	---	---	---
Vl ₄ -Vl' ₄	09.576	07.056	---	---	---
Vl ⁿ ₄	15.960	11.760	11.760	8.0262	08.0262
Vl ₅	15.640	11.520	11.520	---	---
Vl ⁿ ₅	07.660	05.645	05.645	5.6450	---
Vt ₂ -Vt' ₂	04.800	03.193	03.193	---	---
Vt ₃ -Vt' ₃	11.650	08.580	08.580	8.5800	10.0840
Vt ⁿ ₃	11.650	08.110	08.110	8.1100	07.1000

Calcul du poids de la structure W

La valeur de W comprend la totalité des charges permanentes (poids propre de la structure, poids de remplissage et des revêtements). Pour les salles et les magasins accessibles au public, il faut prendre en considération 50% des surcharges d'exploitation. Pour les bâtiments à usage d'habitation, il faut prendre en considération 20% des surcharges d'exploitation :

$$W = 6 + 0.2 Q$$

	G(t)	Q(t)	W(t)
1	1237.367	138.138	1265.000
2	1141.123	//	1168.750
3	//	//	//
4	1088.683	//	//
5	0940.386	111.384	0962.660
6	//	//	//
7	//	//	//
8	//	//	//
9	0891.386	085.575	0909.051
10	0751.013	//	0768.128
11	//	//	//
12	//	//	//
13	//	//	//
14	//	//	0768.128
15	G _p = 1022.958	052.094	W _p = 1033.4
	G _v = 0784.368		W _v = 0794.8
16	0491.020	089.800	0508.980
17	0155.770	007.581	0157.286
18	0129.703	007.644	0131.230
			W _{tot} =15150t

EFFORT NORMAL CUMULE(SOUS CHARGE PERMANENTE) DANS LES VOILES (r)

NIV	VL1-VL1'	VL2-VL2'	VL3	VL4-VL4'	VL5	VL5'	VL5''
18	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	12.845
16	-	-	106.499	37.614	58.345	58.345	25.69
15	-	-	205.96	82.51	109.515	109.685	38.535
14	-	-	305.42	127.406	160.685	160.685	51.38
13	-	-	404.882	172.302	211.855	211.855	64.225
12	-	-	504.343	217.198	263.025	263.025	77.07
11	-	-	603.804	262.094	314.195	314.195	89.915
10	-	-	703.265	306.99	365.365	365.365	102.76
9	-	-	802.726	351.886	416.535	416.535	115.60
8	-	35.285	924.307	396.782	467.705	467.705	128.45
7	-	70.57	1045.889	441.678	518.875	518.875	141.29
6	-	105.85	1167.471	486.574	570.045	570.045	154.14
5	-	141.14	1289.05	531.47	621.215	621.215	166.98
4	0	176.425	1410.635	576.366	672.385	672.385	179.83
3	37.20	222.77	1532.217	621.262	723.555	723.555	192.67
2	74.58	269.115	1653.8	666.158	774.725	774.725	205.52
1	111.84	315.46	1775.38	711.054	825.895	825.895	218.36
0	158.14	370.825	1921.806	761.47	886.085	850.00	296.31

EFFORT NORMAL CUMULE SOUS CHARGES PERMANENTE

DANS LES VOILES : Ng (r)

N	VT2-VT2'	VT3-VT3'	VT3"	VT4"	VTa
18	--	37.41	43.07	23.53	--
17	--	67.23	66.51	53.96	--
16	9.79	106.67	84.97	104.46	32.75
15	19.20	143.79	103.43	172.58	--
14	28.60	180.92	121.89	245.47	--
13	38.00	218.05	140.35	318.37	--
12	47.41	255.17	158.81	391.27	--
11	56.81	292.29	177.27	464.17	--
10	66.22	329.42	195.73	537.07	--
9	75.62	366.54	214.19	609.96	--
8	85.03	403.67	232.65	682.86	--
7	94.43	440.79	251.11	755.76	--
6	103.83	477.92	269.57	828.66	--
5	134.24	515.05	288.03	901.56	--
4	122.64	552.17	306.49	974.45	--
3	132.05	589.30	324.95	1047.35	--
2	141.45	626.42	343.41	1120.25	--
1	150.85	663.54	361.87	1193.15	--
RDC	163.76	710.68	386.68	1277.79	--

EFFORT NORMAL CUMULE SOUS SURCHARGES D'EXPLOITATION Nq (t)

Voi	VL1	VL2	VL3	VL4	VL4"	VL5	VL5"	VT2	VT3	VT3"	VTa
Niv	VL1'	VL2'		VL4'		VL5'		VT2'	VT3'		VTb
18	--	--	--	--	1.35	--	--	--	1.69	3.38	--
17	--	--	--	--	2.69	--	--	--	3.22	4.77	--
16	--	--	10.27	5.05	12.14	9.45	--	0.56	4.75	6.16	--
15	--	--	20.54	13.10	22.94	16.41	--	1.13	8.13	--	3.1
14	--	--	30.81	21.15	33.74	23.37	--	1.70	11.51	--	--
13	--	--	41.07	29.20	44.53	30.33	--	2.17	14.89	--	--
12	--	--	51.34	37.25	55.33	37.30	--	2.83	18.27	--	--
11	--	--	61.61	45.30	66.12	44.25	--	3.40	21.65	--	--
10	--	--	71.88	53.34	76.93	51.21	--	3.90	25.03	--	--
9	--	--	88.37	61.40	87.72	58.17	--	4.53	28.41	--	--
8	--	3.08	104.77	69.44	98.52	65.13	--	5.10	31.79	--	--
7	--	6.17	121.21	77.50	109.32	72.10	--	5.67	35.17	--	--
6	--	9.26	137.65	85.54	120.11	79.05	--	6.24	38.55	--	--
5	--	12.35	154.10	93.59	130.91	86.01	--	6.80	41.93	--	--
4	--	15.34	170.54	101.64	141.71	92.97	--	7.37	45.31	--	--
3	3.087	21.61	186.98	109.68	152.50	99.93	--	7.94	48.69	--	--
2	6.174	27.78	203.43	117.74	163.30	106.89	--	8.61	52.07	--	--
1	9.261	33.96	219.87	125.78	174.10	113.85	--	9.07	55.45	--	--
RDC	12.34	40.13	236.31	133.83	184.90	120.81	--	9.64	58.83	--	--

Centre de masse - Centre de torsion

Centre de masse

Les efforts sismiques étant supposés se concentrer au niveau des planchers, on calcule donc le centre de masse des éléments par rapport à un repère arbitraire du CDM sont:

$$X_G = \frac{\sum_{i=1}^k m_i x_i}{\sum_{i=1}^k m_i} \quad ; \quad Y_G = \frac{\sum_{i=1}^k m_i y_i}{\sum_{i=1}^k m_i}$$

Centre de torsion

Par rapport au même repère, les coordonnées du CDT sont:

$$X_G = \frac{\sum_{i=1}^k x_i I_{xi}}{\sum_{i=1}^k I_{xi}} \quad ; \quad Y_G = \frac{\sum_{i=1}^k y_i I_{yi}}{\sum_{i=1}^k I_{yi}}$$

x_i et y_i : coordonnées des centres de gravité des voiles

I_{xi}, I_{yi} : moments d'inertie des voiles suivant les axes X et Y

m_i : masse des éléments

Puisque la structure est symétrique dans les deux directions, nous déduisons donc que le centre de masse est confondu avec le centre de torsion.

Excentricité

Sens longitudinal: $e_x = X_G - x_c = 0$

Sens transversal: $e_y = Y_G - y_c = 0$

Le RPA exige une excentricité accidentelle, à chaque niveau et dans les deux sens, égale à la plus grande des deux valeurs:

- 5% de la plus grande dimension du bâtiment à ce niveau
- excentricité théorique résultant des plans.

Dans notre cas, les dimensions du bâtiment sont: (27 x 32.6)

Donc $e_{ac} = 5\% \times 32.6 = 1.63 \text{ m}$

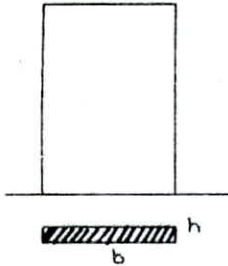
CHAPITRE III

INERTIE DES REFENDS

Calcul des inerties

La structure comporte deux types de refends, des refends pleins et des refends avec ouvertures.

a) Refends pleins



$$I_y = h b^3 / 12$$

* Hypothèse

Nous prendrons :

I_x pour les voiles transversaux

I_y pour les voiles longitudinaux.

b) Refends avec ouvertures

Ce sont des refends avec une seule ou plusieurs files d'ouvertures constitués par des trumeaux reliés entre eux par des poutres de couplage appelées linteaux.

Pour le calcul de leurs inertie, nous utiliserons la notion d'inertie équivalente qui permet d'assimiler les refends avec ouvertures à des refends linéaires pleins.

Définition

On appelle inertie équivalente, l'inertie d'un refend linéaire plein fictif qui, soumis aux mêmes efforts horizontaux répartis sur toute la hauteur du bâtiment présenterait à son sommet une flèche égale à celle du refend avec ouvertures.

Developpement de la méthode

Refend à une file d'ouverture symétrique ou non symétrique

Evaluation des inerties équivalentes

* Cas d'un vent constant

La flèche au sommet d'un refend plein s'exprime par :

$$f_t = \frac{H_0 Z^3}{8 E I_0} \quad (1) \quad \text{fig 1}$$

. Pour une file d'ouverture, la flèche au sommet d'un refend est :

$$f = \frac{H_0 Z^3}{E(I_1 + I_2)} \times \frac{2mc \psi_0}{I^2 \alpha} + \frac{H_0 Z^3}{8 E I} \quad (2)$$

Remarque: pour le développement des formules, se référer à la méthode d'Albiges et de Goulet dans l'annale de L'I.T.B.T.P

(Mai 1960)

En égalisant (1) et (2):

$$\longrightarrow I_0 = \frac{I}{\frac{16mc \psi_0}{I_1 + I_2} \times \frac{1}{\alpha^2} + 1} \quad \text{fig 2}$$

. Pour plusieurs files d'ouvertures, la flèche au sommet d'un refend est :

$$f = \frac{H_0 Z^3}{E I_0} \times \psi_0 \alpha^2 + \frac{H_0 Z^3}{8 E I}$$

$$f_t = \frac{H_0 Z^3}{8 E I_{0v}} \quad , \quad I_0 = \sum I_i \quad \text{fig 3}$$

$$\longrightarrow I_{0v} = \frac{I}{\frac{8I}{I_0} \times \frac{\psi_0}{\alpha^2} + 1}$$

* Cas du seisme

$$f_t = \frac{11 H_0 Z^4}{60 E I_0}$$

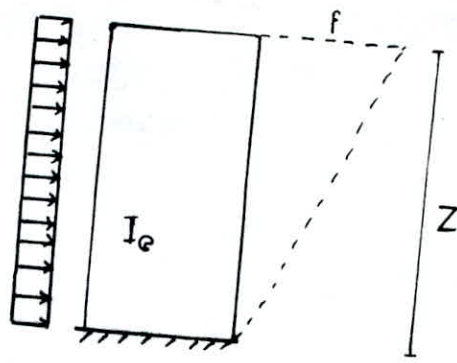


fig 1

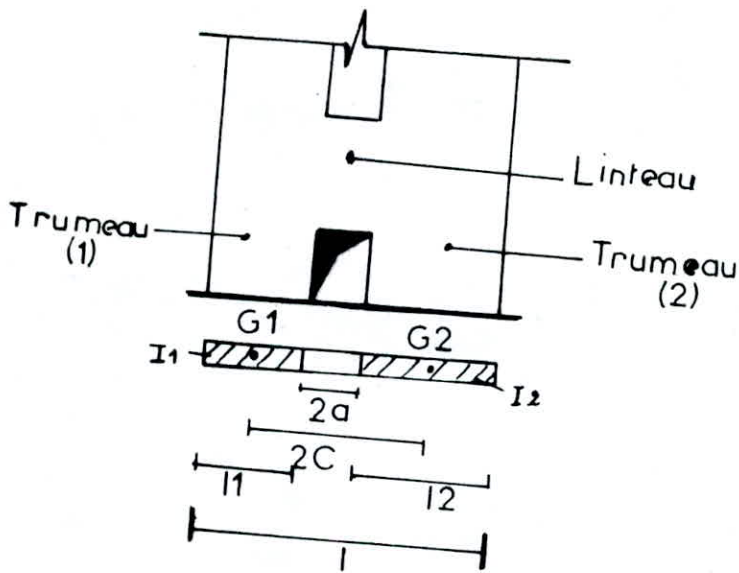


fig 2

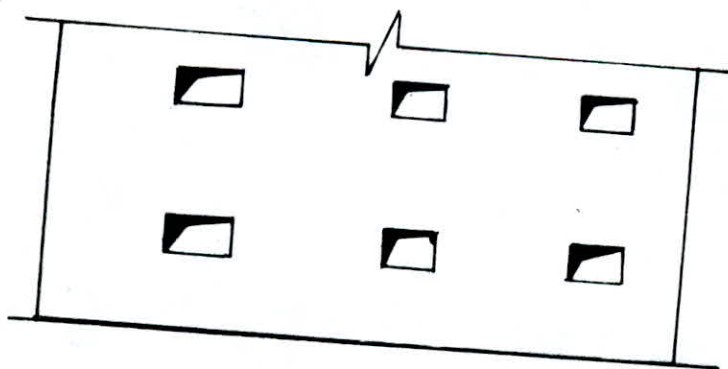
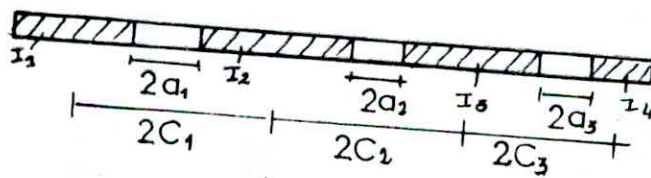


fig 3



. Pour une file d'ouvertures

$$f = \frac{H_0 Z^3}{E(I_1 + I_2)} \times \frac{2mc \psi_0}{I \alpha^2} + \frac{11 H_0 Z^3}{60 E I}$$

$$\longrightarrow I_{0a} = \frac{an I}{60 \frac{2 mc \psi_0}{11} \times \frac{1}{(I_1 + I_2) \alpha^2} + 1}$$

avec un coefficient dependant du nombre de niveaux de la structure pour $n \geq 11$ niveaux, $an = 1$

$$an = \frac{11}{20} + \frac{9}{20n} - \frac{1}{30n^2} - \frac{1}{30n^3} \quad \text{tel que } n: \text{nombre de niveau}$$

. Pour plusieurs files d'ouvertures

$$I_{0a} = \frac{an I}{60 \frac{I}{I_0} \times \frac{\psi_0}{\alpha^2} + 1}$$

où :

.I: inertie totale du refend telle que $I = I_0 + 2mc$ et

$$I_0 = \sum I_i \quad (\text{inertie des trumeaux}).$$

.c: demi-distance entre les centres de gravité des 2 trumeaux.

.m : moment statique de chacun des deux trumeaux du refend par rapport au centre de gravité de l'ensemble tel que:

$$m = \frac{2c}{\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2}} \quad (\text{refend à une seule file d'ouvertures})$$

Rq: A_1 et A_2 sont les aires des deux trumeaux:

. ψ_0 : coefficient dependant du coefficient " α ".

. α : coefficient de monolithisme qui exprime le taux de participation du linteau à la déformation de l'ensemble.

$$\alpha = Z \sqrt{\frac{3E' \cdot i \cdot I \cdot c}{EI \cdot m \cdot a^3 \cdot H}} \quad (\text{refend avec une file d'ouvertures})$$

avec H : hauteur d'étage

i : inertie transversale du linteau

a : demi portée de l'ouverture

Z : hauteur du bâtiment

E' : module de l'élasticité du matériau composant le linteau.

E : module de l'élasticité du matériau composant le refend.

$$I = I_0 + \sum_{i=1}^{n-1} 2c_i m_i \quad (\text{refend à plusieurs files d'ouvertures})$$

$$m_i = m_{i-1} + A_i \left[D - \sum_{j=1}^{i-1} C_j \right]$$

D est la distance séparant le cdg du trumeau 1 et le cdg du refend.

$$\alpha = Z \sqrt{\frac{6E'}{EI_0H} \left(\frac{i_1 C_1^2}{a_1^3} + \frac{i_2 C_2^2}{a_2^3} + \dots \right)}$$

Remarque:

* si $\alpha < 1$ \longrightarrow nous sommes en présence d'ouvertures de grandes dimensions, la rigidité du linteau devient très faible et l'inertie équivalente sera égale à $I_e \simeq I_1 + I_2 \simeq I_0$.

* si $\alpha > 10$ \longrightarrow les ouvertures sont de petites dimensions et n'affectent les éléments du refend que localement :

$$I_{ev} = I = I_0 + 2mc$$

* $E = E'$ car c'est le même matériau qui compose les linteaux et les trumeaux.

$$\text{Le rapport } r = \frac{\sum \text{aires des ouv}}{\sum \text{aires totale}}$$

Lorsque:

* $r > 25\%$, le refend est considéré comme ayant de moyennes ouvertures.

* $10\% < r < 25\%$, le refend est considéré comme ayant de petites ouvertures.

* $r < 10\%$, le refend est pratiquement monolithique.

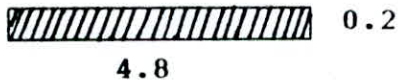
Exemple de calcul

Refend plein



$$I = \frac{el^3}{12}$$

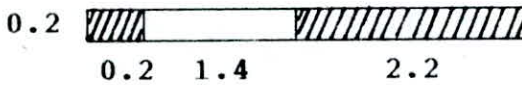
Ex: voile v15"



$$I = \frac{0.2 \times 4.8^3}{12} = 1.843 \text{ m}^4$$

a) Refend avec une file d'ouvertures

Ex : voiles Vtz-Vt'z
2.6



$$A_1 = 0.2 \times 0.2 = 0.04 \text{ m}^2, \quad A_2 = 0.2 \times 2.2 = 0.44 \text{ m}^2$$

$$I_1 = \frac{0.2 \times 0.2^3}{12} = 1.33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_2 = \frac{0.2 \times 2.2^3}{12} = 0.1774 \text{ m}^4$$

$$m = \frac{2.6}{\frac{1}{0.04} + \frac{1}{0.44}} = 0.0953 \text{ m}^3$$

$$I_0 = 1.33 \cdot 10^{-4} + 0.1774 = 0.17753 \text{ m}^4$$

$$2a = 1.4 \text{ m}$$

$$i = \frac{0.2 \times (0.83)^3}{12} = 9.529 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I = 0.425 \text{ m}^4$$

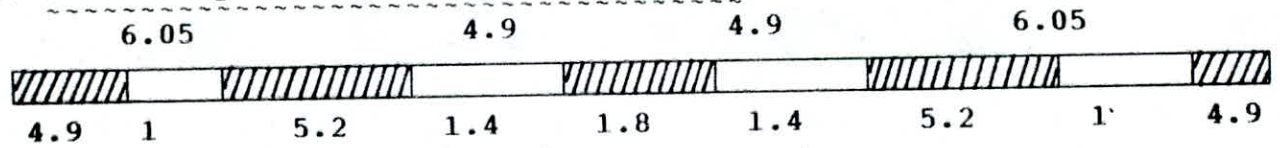
$$W = \sqrt{\frac{3 \times 9.529 \cdot 10^{-3} \times 0.425 \times 1.3}{0.17753 \times 0.0953 \times 0.73 \times 3}} = 0.952 \frac{1}{\text{m}}$$

$$\alpha = 0.952 \times 55 = 52.387$$

$$\psi_0 \approx 0.5$$

$$I_{\infty} = \frac{0.425}{\frac{16 \times 0.0695 \times 0.5}{0.17753 \times (52.387)^2} + 1} \longrightarrow I_{\infty} = 0.424 \text{ m}^4$$

b) Refend à plusieurs files d'ouvertures



$$A_1 = A_5 = 4.9 \times 0.2 = 0.98 \text{ m}^2$$

$$A_2 = A_4 = 5.2 \times 0.2 = 1.04 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 0.2 \times 1.8 = 0.36 \text{ m}^2$$

$$X_{G1} = X_{G5} = 10.95 \text{ m}, \quad X_{G2} = X_{G4} = 4.9 \text{ m}$$

$$I_1 = I_5 = \frac{0.2 \times 4.9^3}{12} = 1.9608 \text{ m}^4$$

$$I_2 = I_4 = \frac{0.2 \times 5.2^3}{12} = 2.3434 \text{ m}^4$$

$$I_3 = \frac{0.2 \times 1.8^3}{12} = 0.0972 \text{ m}^4$$

$$\longrightarrow I_0 = \sum I_i = 8.7056 \text{ m}^4$$

$$i_1 = i_2 = i_3 = i_4 = \frac{0.2 \times 0.83^3}{12} = 9.529 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I = 2 \left[1.9608 + 0.98 \times (10.95)^2 \right] + 2 \left[2.3434 + 1.04 \times (4.9)^2 \right] + \left[0.0972 + 0.36 \times (0)^2 \right] = 293.665 \text{ m}^4$$

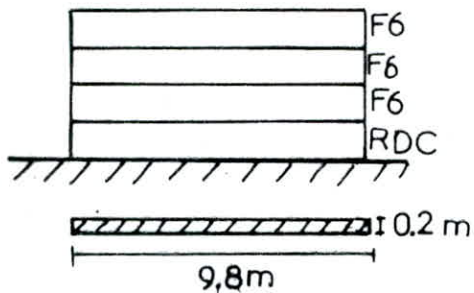
$$W = \sqrt{\frac{6 \times 9.529 \times 10^{-3}}{8.7056} \times 2 \left[\frac{3.025^2}{0.5^3} + \frac{2.45^2}{0.73} \right]} = 0.63$$

$$\alpha = W \times Z = 0.63 \times 49 = 30.87$$

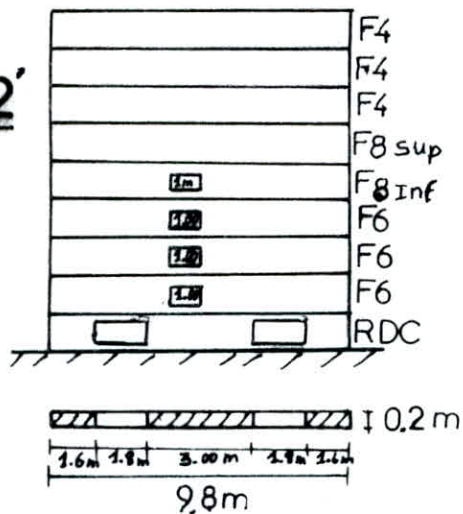
$$\psi_0 = 0.5$$

$$I_e = \frac{293.665}{\frac{8 \times 293.665 \times 0.5}{8.7056 \times (30.87)^2} + 1} \longrightarrow I_e = 257.241 \text{ m}^4$$

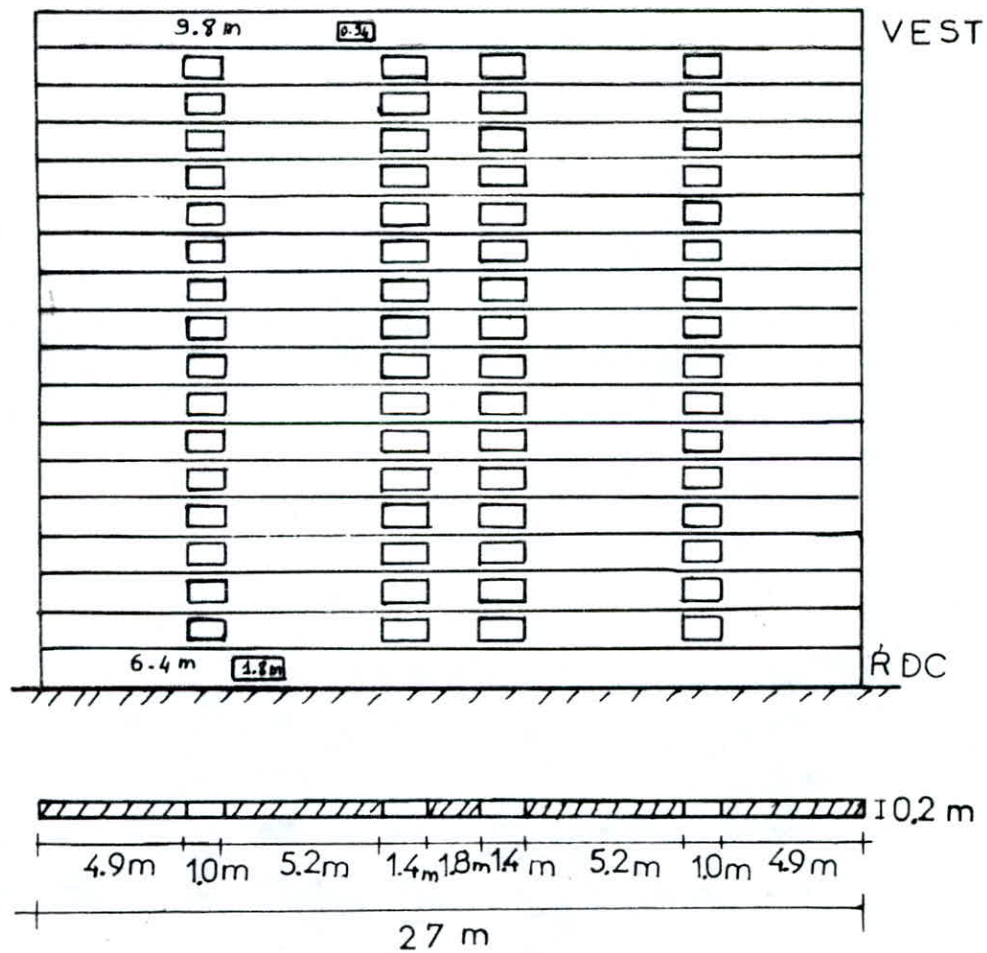
VL1
VL1'



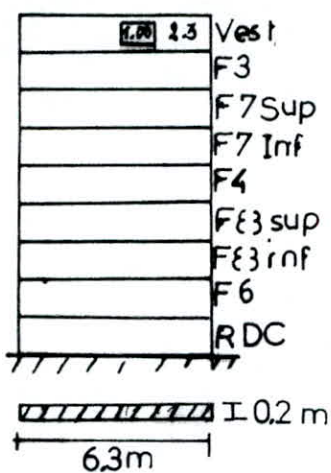
VL2
VL2'



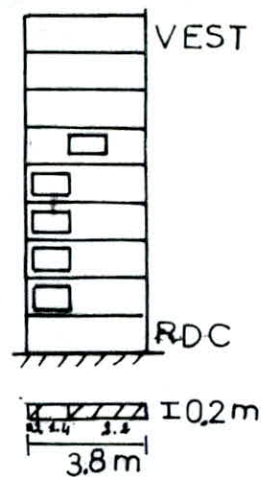
VL3



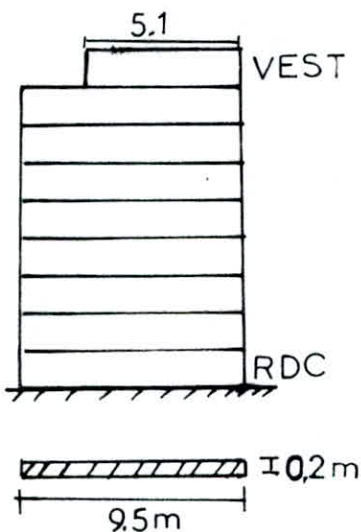
VL4
VL4'



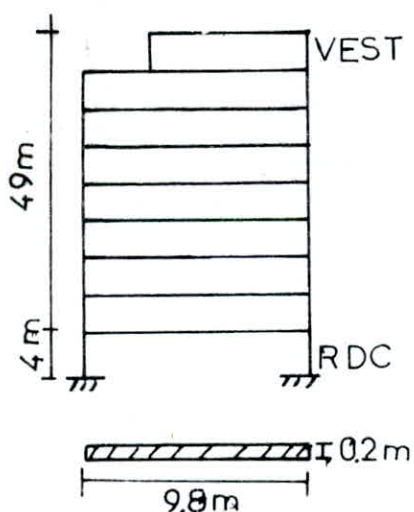
VT2
VT2'



VL5



VL5'



$$S = 1.96 \text{ m}^2$$

$$I_{\text{sup}} = 15.686 \text{ m}^4$$

$$I_e = BI_{\text{sup}} \frac{L^2 Z^3}{8I_{\text{sup}} Z Z' (Z-Z') + BL^2 (Z-Z')^3}$$

$$B = 0.7 \times 0.6 = 0.63 \text{ m}^2$$

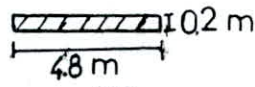
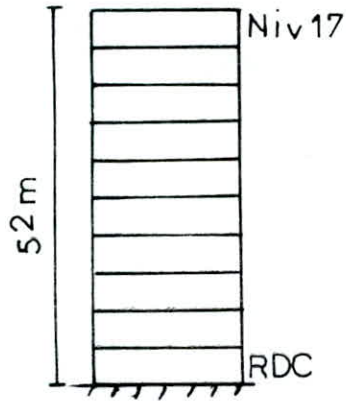
$$Z' = 4 \text{ m}$$

$$Z = 53 \text{ m}$$

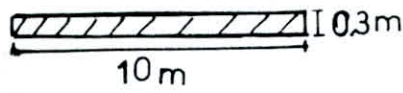
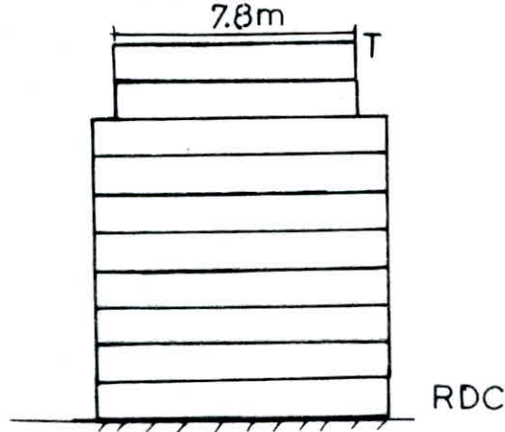
$$L = 9.8 \text{ m}$$

$$I_e = 16.777 \text{ m}^4$$

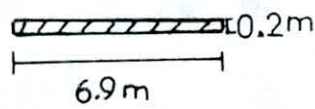
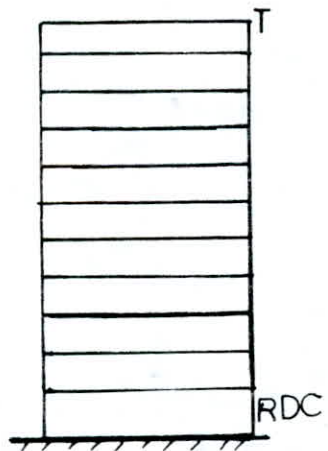
VL 5"



VL 4"



VT 3"



VT 3-VT 3'

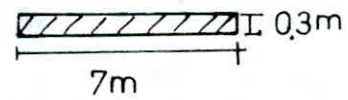
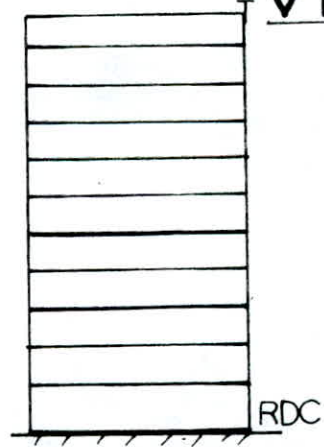


TABLEAU DONNANT LES INERTIES DES DIFFERENTS VOILES (m⁴)

N I V	VL1	VL2	VL3	VL4	VL5	VL5'	VL5"	VL	VT2	VT3"	VT3
	VL1'	VL2'		VL4'				4"	VT2'		VT3'
RDC	15.686	11.572	257.241	4.167	14.289	16.777	1.843	25	0.427	5.475	9.725
3F6	-	11.572	257.241	4.167	14.289	16.777	1.843	25	0.427	5.475	9.725
F8I	-	11.572	257.241	4.167	14.289	16.777	1.843	25	0.427	5.475	9.725
F8S	-	11.572	257.241	4.167	14.289	16.777	1.843	25	0.427	5.475	9.725
3F4	-	11.572	257.241	4.167	14.289	16.777	1.843	25	0.427	5.475	9.725
F7I	-	-	257.241	4.167	14.289	16.777	1.843	25	0.427	5.475	9.725
F7S	-	-	257.241	4.167	14.289	16.777	1.843	25	0.427	5.475	9.725
4F3	-	-	257.241	4.167	14.289	16.777	1.843	25	0.427	5.475	9.725
VES	-	-	257.241	4.167	14.289	16.777	1.843	25	0.427	5.475	9.725
BAS	-	-	-	-	-	-	1.843	25	-	5.475	9.725
L-M	-	-	-	-	-	-	-	25	-	5.475	9.725

CHAPITRE IV

ETUDE PSEUDO DYNAMIQUE

ETUDE PSEUDO-DYNAMIQUE

INTRODUCTION

On entend par action dynamique la sollicitation produite par des charges qui varient rapidement dans le temps et contribuent à l'apparition des forces d'inertie.

Pour déterminer les périodes et modes propres de vibration on doit modéliser notre ouvrage par un modèle mathématique qui reflète aussi bien que possible le comportement dynamique réel de la structure. Pour notre bâtiment le modèle mathématique choisi est une console flexible encastée à sa base.

Les masses sont supposées concentrées au niveau des planchers et solidaires à un support d'inertie variable ou constante et de masse négligeable.

L'inertie attribué à chaque tronçon est l'inertie totale de l'étage dans le sens considéré.

DEGRE DE LIBERTE DYNAMIQUE DU SYSTEME

Théoriquement un solide dans l'espace possède 6 degré de liberté, 3 rotations et 3 translations, mais notre cas, en considérant que les planchers sont infiniment rigides du fait que leurs déformations propres sont négligeables par rapport à celle de l'ensemble du bâtiment, alors chaque plancher ne constitue qu'un seul degré de liberté dans une direction donnée.

Puisqu'on a 18 planchers, alors notre système comporte 18 degrés de liberté.

METHODES DE CALCUL

Nous utiliserons deux méthodes:

1-Méthode de JACOBI

2-METHODE DE RAILEIGH

La première nous permet d'avoir tous les modes, tandis que la deuxième qui ne donne qu'un seul mode permet de vérifier les résultats du mode fondamental

- Formulation de l'équation du mouvement

L'équation dynamique des structures à plusieurs degrés de liberté est basée sur la résolution de l'équation matricielle :

$$M\ddot{v}(t) + C\dot{v}(t) + Kv(t) = P(t)$$

où :

M : matrice de masse

C : matrice des coefficients d'amortissement

K : matrice des raideurs du système oscillant

P(t) : force excitatrice

Pour un système se déplaçant librement sans amortissement ($c=0$), l'équation devient :

$$M\ddot{v}(t) + Kv(t) = 0 \quad (1)$$

Si le mouvement est supposé harmonique alors v s'exprime par :

$$v(t) = \hat{V} \sin(\omega t + \theta) \quad \text{où } \hat{V} \text{ désigne le mode de vibration.}$$

L'accélération s'exprime par :

$$\ddot{v}(t) = \frac{d^2 v(t)}{dt^2} = -\omega^2 \hat{V} \sin(\omega t + \theta) = -\omega^2 v(t) \quad (2)$$

où :

ω : pulsation du système

θ : angle de déphasage

En reportant (2) dans (1), on obtient l'équation suivante:

$$(K - \omega^2 M) \hat{V} = 0$$

Ce qui conduit à la résolution de l'équation :

$$||K - \omega^2 M|| = 0$$

Détermination des matrices caractérisant les propriétés d'une structure

.Choix du modèle

Le modèle choisi pour représenter les caractéristiques dynamiques de la tour est une console encastrée à la base (fondation) fig(48).

1^{ère} hypothèse : supposons que les planchers sont indéformables

.Matrice masse

La manière la plus simple de représenter les caractéristiques massiques d'une structure, consiste à supposer que toute la masse est concentrée aux points de définition des déplacements translation.

Pour un système dont on ne connaît que le degrés de liberté de translation, la matrice masse est diagonale.

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & m_2 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & & & m_n \end{bmatrix}$$

CALCUL DE LA RIGIDITE

RIGIDITE LATERALE KH DU VOILE :

Les voiles sont supposés encastrés dans les planchers

La rigidité d'un voile bi-encastré est égale à :

$$12.E.I / H^3 \quad \text{avec} \quad :$$

- I : l'inertie propre du voile
- H : hauteur du voile
- E : module de YOUNG

Cette rigidité corespond aux voiles qui sont soumis seulement à

une flexion.

Dans le cas où on tient compte de l'effet de cisaillement la rigidité latérale du voile devient :

$$K = \frac{12.E.I}{H(1+\phi)^3}$$

Avec $\phi = \frac{12.E.I}{K.G.A.L^2}$

$$G = \frac{E}{(1+\nu)} \rightarrow \phi = \frac{2.(1+\nu)}{K} \cdot \left\{ \frac{h}{L} \right\}^2$$

K : coefficient de forme

ν : coefficient de POISSON

h : hauteur du voile

L : longueur du voile

En raison des hypothèses établies pour le choix du modèle, les voiles d'un même niveau dans la même direction auront tous en tête le même déplacement horizontal.

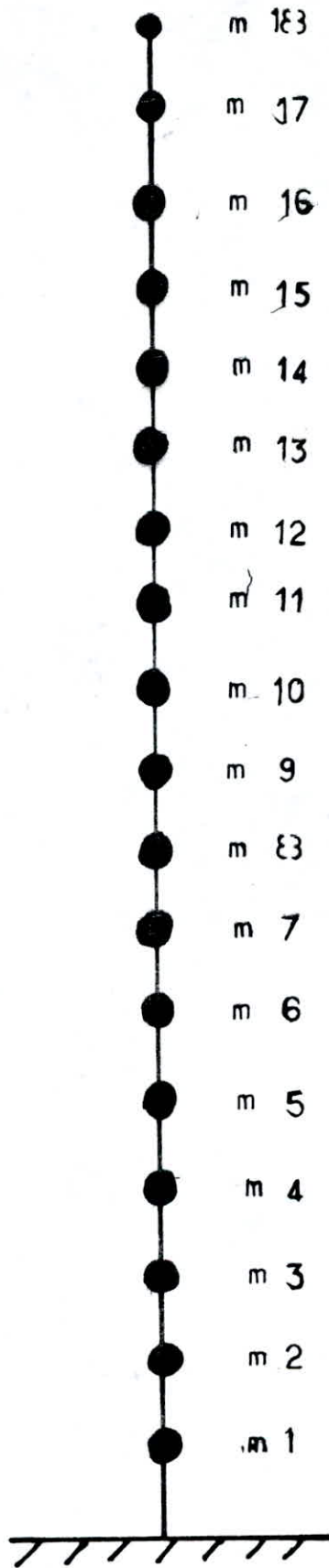
Par conséquent la rigidité latérale K^H des voiles dans une direction choisie est la somme des rigidités latérales des voiles dans la même direction

$$K^H = \sum_{i=1}^n K_j \quad (n \text{ le nombre des voiles dans un étage})$$

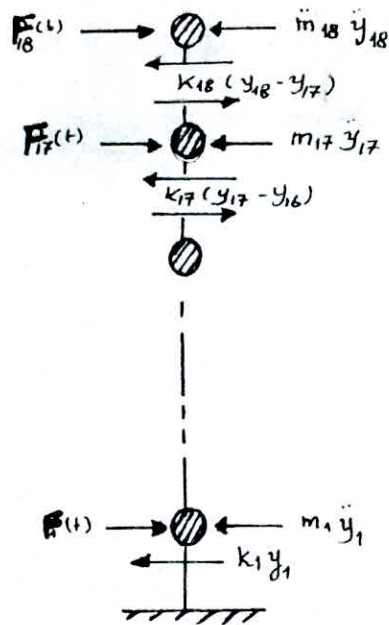
Matrice des raideurs

Soient $K_1^H, K_2^H, K_3^H, \dots, K_n^H$ respectivement les rigidités des niveaux 1, 2, ... n données par :

$$K_l^H = \sum_{i=1}^n K_i$$



MODELISATION DE LA STRUCTURE



Ecrivons l'équation d'équilibre de chaque masse, il vient:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 m_{18} \ddot{y}_{18} - F_{18}(t) + K_{18}(y_{18} - y_{17}) = 0 \\
 m_{17} \ddot{y}_{17} - F_{17}(t) + K_{17}(y_{17} - y_{16}) - K_{18}(y_{18} - y_{17}) = 0 \\
 m_{16} \ddot{y}_{16} - F_{16}(t) + K_{16}(y_{16} - y_{15}) - K_{17}(y_{17} - y_{16}) = 0 \\
 \vdots \\
 m_j \ddot{y}_j - F_j(t) + K_j(y_j - y_i) - K_{j+1}(y_{j+1} - y_j) = 0 \\
 \vdots \\
 m_1 \ddot{y}_1 - F_1(t) + K_1 y_1 - K_2(y_2 - y_1) = 0
 \end{array} \right.$$

En réarrangeant les termes, nous obtenons:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 m_{18} \ddot{y}_{18} + K_{18} y_{18} - K_{18} y_{17} = F_{18}(t) \\
 m_{17} \ddot{y}_{17} - K_{17} y_{17} + (K_{17} + K_{18}) y_{17} - K_{17} y_{16} = F_{17}(t) \\
 \vdots \\
 m_j \ddot{y}_j - K_j y_j + (K_j + K_{j+1}) y_j - K_j y_i = F_j(t) \\
 \vdots \\
 m_1 \ddot{y}_1 - K_2 y_2 + (K_1 + K_2) y_1 = F_1(t)
 \end{array} \right.$$

Ces termes sont simplifiés par la matrice suivante:

$$M \ddot{y} + Ky = P(t) \quad \text{où}$$

$$K = \begin{bmatrix} K_{18} & -K_{18} & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ -K_{18} & K_{17+18} & -K_{17} & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & -K_{17} & K_{16+17} & 0 & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & & -K_{j+1} & K_{j+1} + K_j & K_j & & \\ & & & & & & \\ & & & & & K_2 + K_3 & -K_2 \\ & & & & -K_2 & & \\ & & & & & & K_1 + K_2 \end{bmatrix}$$

Pour déterminer les modes propres, les pulsations, les périodes, nous utilisons la méthode de JACOBI qui est plus générale.

Principe de la méthode

Elle permet de calculer les N valeurs et vecteurs propres d'un système de dimension limitée dont les matrices sont symétriques et définies positives.

Elle consiste à transformer les matrices [K] et [M] en des matrices diagonales en utilisant les transformations successives suivantes:

$$\left\{ \begin{array}{l} [K_1] = [K] \quad , \quad [M_1] = [M] \\ [K_2] = [P_1]^T [K_1] [P_1] \quad , \quad [M_2] = [P_1]^T [M_1] [P_1] \\ [K_3] = [P_2]^T [K_2] [P_2] \quad , \quad [M_3] = [P_2]^T [M_2] [P_2] \\ \vdots \\ [K_{k+1}] = [P_k]^T [K_k] [P_k] \quad , \quad [M_{k+1}] = [P_k]^T [M_k] [P_k] \end{array} \right.$$

Les matrices $[K_{k+1}]$ et $[M_{k+1}]$ tendent vers des matrices diagonales $[K_d]$ et $[M_d]$ lorsque k tend vers l'infini.

Les valeurs et vecteurs propres resultants sont donnés par :

$$\lambda = [K_d] [M_d]^{-1} \text{ où } \lambda_i = K_{ii} / M_{ii}$$

$$\phi = [P_1] [P_2] \dots [P_{k+1}] \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{1}{\sqrt{M_{11}}} & & & \\ & 1 \\ & & \frac{1}{\sqrt{M_{ii}}} & \\ & & & \dots & \\ & & & & \frac{1}{\sqrt{M_{nn}}} \end{bmatrix}$$

P_k : matrice de transformation

Chaque matrice $[P_k]$ est choisie de manière à ce qu'un terme non diagonal et non nul de $[K_k]$ et de $[M_k]$ soit après transformation égal à zéro.

La matrice $[P_k]$ à la structure suivante:

$$\begin{bmatrix} 1 & & & & & & \\ & 1 & & & & & \\ & & \ddots & & & & \\ & & & 1 & a & & \\ & & & 0 & b & 1 & \\ & & & & & & \ddots & \\ & & & & & & & 1 \end{bmatrix}$$

colonne j

↓

↑ n

colonne i

ligne i
ligne j

Les coefficients a et b sont calculés en posant :

$$K_{ij}^{(k+1)} - M_{ij}^{k+1} = 0$$

et en supprimant par simplicité l'indice $k+1$ sur les termes de chaque matrice, ce qui revient à résoudre le système suivant:

$$\begin{cases} aK_{ii} + (1+ab) K_{ij} + b K_{jj} = 0 \\ aM_{ii} + (1+ab) M_{ij} + b M_{jj} = 0 \end{cases}$$

Notons que : $C_1 = K_{ii} M_{ii} - M_{ii} K_{ij}$

$$C_2 = K_{jj} M_{ij} - M_{jj} K_{ij}$$

$$C_3 = K_{ii} M_{jj} - M_{ii} K_{jj}$$

$$d = \frac{C_3}{2} + \text{SIGNE}(C_3) \sqrt{\left(\frac{C_3}{2}\right)^2 + C_1 C_2}$$

Les valeurs de a et de b sont donnés par:

$$a = C_2/d \text{ et } b = -C_1/d$$

Lorsque M est définie positive $\frac{C_3}{2} + C_1 C_2$ est positif.

Pour vérifier la convergence du processus, il suffit de vérifier la relation suivante:

$$\frac{\lambda_i^{(l+1)} - \lambda_i^{(l)}}{\lambda_i^{l+1}} \leq \varepsilon$$

où $\lambda_i^{(l+1)}$: valeur propre de la $(l+1)^{\text{ème}}$ itération

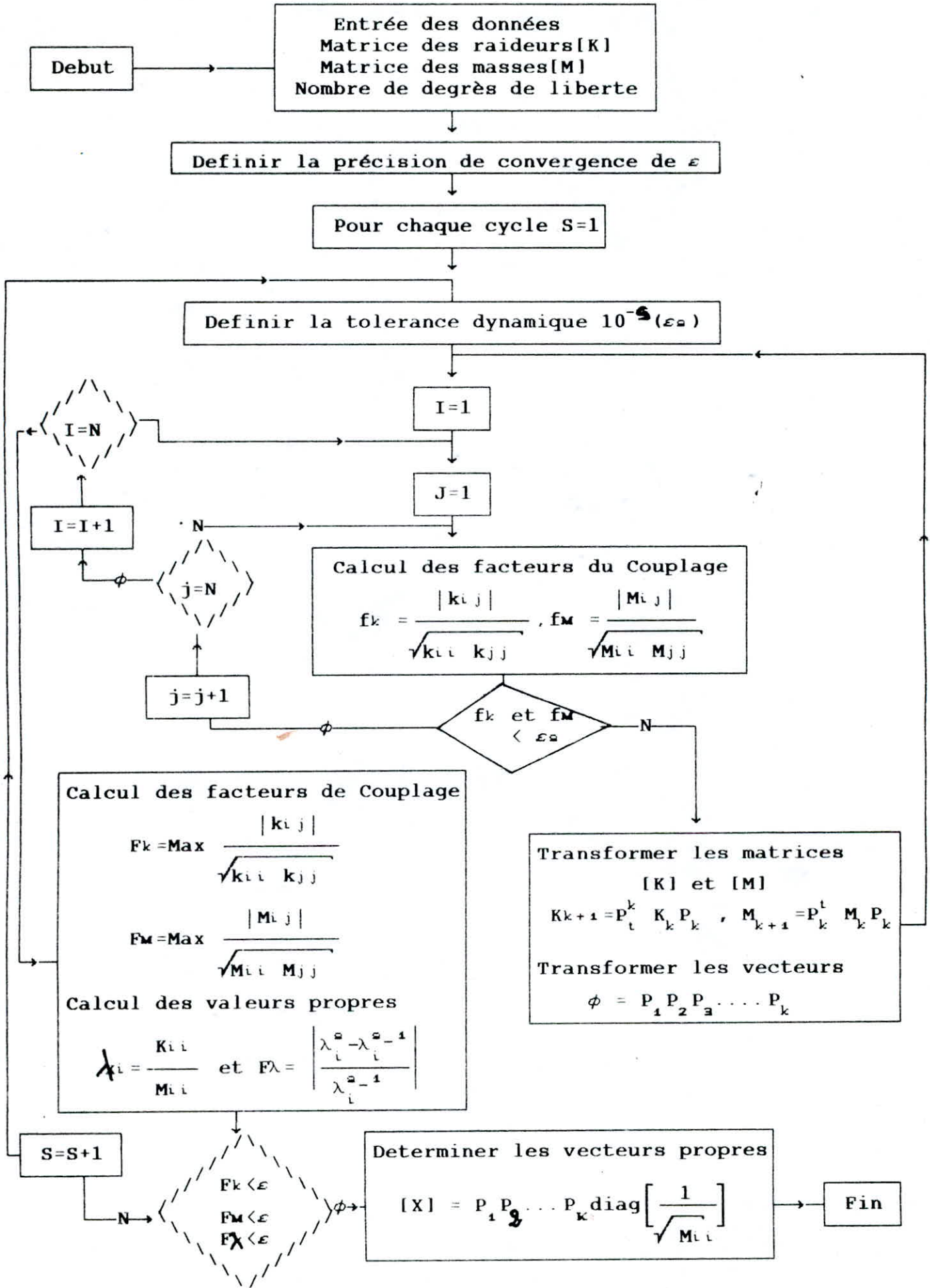
$\lambda_i^{(l)}$: valeur propre de la $l^{\text{ème}}$ itération

ε : tolérance de Convergence (on prendra $\varepsilon=10^{-5}$).

Un autre test est introduit et qui consiste à vérifier les inégalités suivantes:

$$\left(\left| \frac{\left[K_{ij}^{(l+1)} \right]^2}{K_{ii}^{(l+1)} K_{jj}^{(l+1)}} \right|^{1/2} \leq 10^{-5} \right. \\ \left. \left| \frac{\left[M_{ij}^{(l+1)} \right]^2}{K_{ii}^{(l+1)} K_{jj}^{(l+1)}} \right|^{1/2} \leq 10^{-5} \right)$$

ORGANIGRAMME DE LA METHODE DE JACOBI



Avec cette hypothèse (plancher indeformable) ,et cette méthode (méthode de JACOBI) on a obtenu comme période :

SENS TRANSVERSAL	T = 0.32 s
SENS LONGITUDINAL	T = 0.15 s

Vu que les périodes obtenues sont très petites, ça sous entend que la structure est trop rigide, ce qui est loin de la réalité. Par conséquent l'hypothèse du plancher indéformable ne convient pas à notre structure.

2^{ème} hypothèse : Les planchers sont déformables

La matrice des raideurs pour les structures à plancher déformables est obtenue en inversant la matrice des souplesse donnée par:

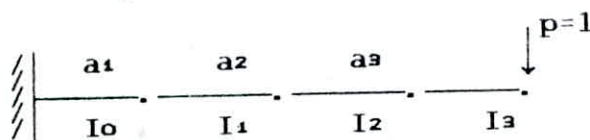
$$\begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} & \dots & f_{2n} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} & \dots & f_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{n1} & f_{n2} & f_{n3} & \dots & f_{nn} \end{pmatrix}$$

où f_{ij} : déplacement selon la coordonnée (i) provoquée par une charge appliquée à (j).

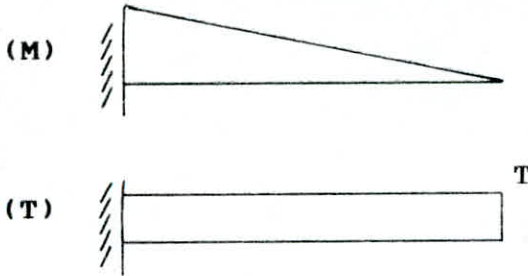
Matrice de flexibilité

Méthode des paramètres initiaux

.Cas d'une poutre à inertie variable



Les efforts internes sont:



Nous déterminons les déformations d'une telle poutre, en écrivant l'équation différentielle de l'axe curviligne de la poutre pour chaque tronçons dont les rigidités en flexion des sections transversales sont respectivement: EI_0, EI_1, EI_2, EI_3 .

$$d'où : \frac{d^2 w}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI_0} , \frac{d^2 w}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI_1} , \frac{d^2 w}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI_2} , \frac{d^2 w}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI_3}$$

Remplaçons notre poutre par une poutre de section constante et d'inertie égale au moment d'inertie d'un de ces tronçons; multipliant après par I_0/I_0 le 2^{ème} membre de l'équation différentielle.

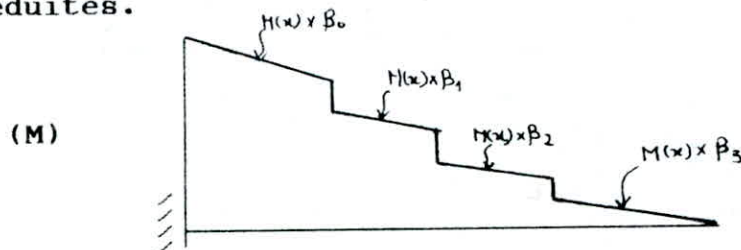
Pour un tronçons quelconque, il vient :

$$\frac{d^2 w}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI_n} \times \frac{I_0}{I_0} = \frac{M(x)}{EI_0} \times \frac{I_0}{I_n} = \frac{M(x)}{EI_0} \times B_n$$

où $B_n = I_0/I_n$ est le coefficient de réduction.

Ce coefficient doit être multiplier par les efforts internes (T,M).

A la fin, nous obtenons une poutre de section constante ayant EI_0 comme rigidité en flexion, et sollicitée par des charges extérieures réduites.



Avec $B_0 = I_0 / I_0$, $B_1 = I_1 / I_0$, $B_2 = I_2 / I_0$, $B_3 = I_3 / I_0$,

Pour celà, nous notons de brusques variations des efforts tranchants et des moments fléchissants.

$$\Delta M_1 = M_1 (B_1 - B_0) , \Delta M_2 = M_2 (B_2 - B_1) , \Delta M_3 = M_3 (B_3 - B_2)$$

$$\Delta Q_1 = Q_1 (B_1 - B_0) , \Delta Q_2 = Q_2 (B_2 - B_1) , \Delta Q_3 = Q_3 (B_3 - B_2) ,$$

Le déplacement d'une telle poutre est donné par:

$$\frac{d^2 w}{dx^2} = \frac{M_{red}(x)}{EI_0}$$

où M_{red} est le moment crée par des charges extérieures reduites et les charges supplémentaires ΔQ et ΔM déterminées par les formules réduites $\Delta Q_i = Q_i (B_{i+1} - B_i)$, $\Delta M_i = M_i (B_{i+1} - B_i)$.

On aboutit à l'équation des paramètres initiaux donnée par:

$$EI_0 f_x = \frac{Mx^2}{2} + \Delta M_1 \frac{(x-a_1)^2}{2} + \Delta M_2 \frac{(x-a_2)^2}{2} + \Delta M_3 \frac{(x-a_3)^2}{2} - \frac{Qx^3}{6} - \Delta Q_1 \frac{(x-a_1)^3}{6} - \Delta Q_2 \frac{(x-a_2)^3}{6} - \Delta Q_3 \frac{(x-a_3)^3}{6} \quad x \geq a_i$$

Pour une poutre à n tronçons, l'équation peut être écrite comme suit :

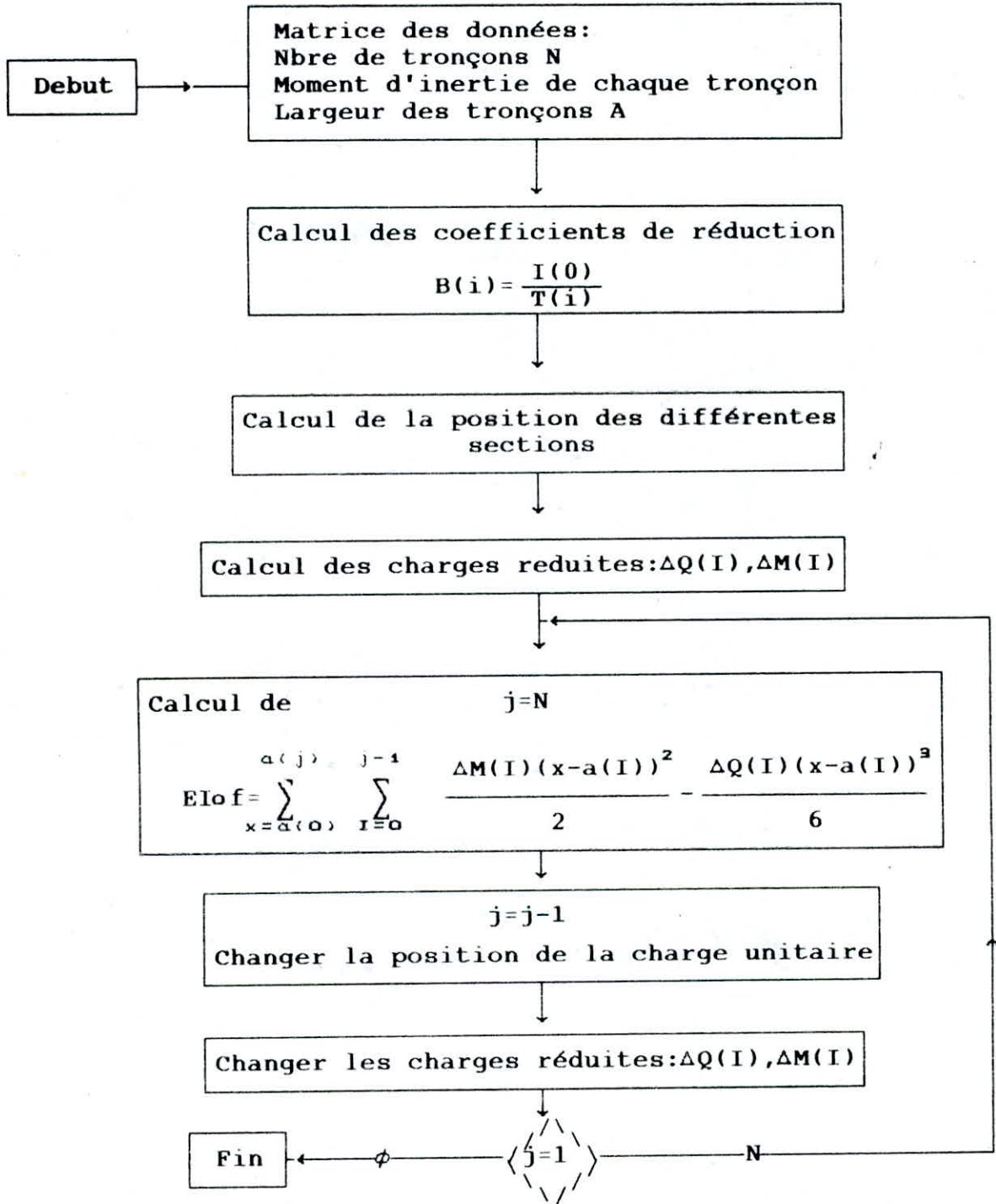
$$EI_0 f_x = \sum_{i=0}^{m-1} \Delta M_i \frac{(x-a_i)^2}{2} - \sum_{i=0}^{n-1} \Delta Q_i \frac{(x-a_i)^3}{6}$$

avec $\Delta M_0 = M$

$\Delta Q_0 = Q$

et $a_0 = 0$

ORGANIGRAME DE LA METHODE (paramètre initiaux)



Une fois la matrice de souplesse est déterminée on l'inverse pour obtenir la matrice des raideurs du plancher déformable .

Cette dernière est introduite dans le programme JACOBI

Les périodes obtenus sont : voir tableau (p 62 - 63)

Ces valeurs représentent les vibrations de la structure dans le cas d'une piscine pleine.

Dans le cas contraire (c.à.d piscine vide) on a obtenu les périodes suivantes :

SENS LONGITUDINAL	T = 0.49 s	} 1 ^{er} mode
SENS TRANSVERSAL	T = 2.56 s	

Mais dans ce qui suit on va prendre dans nos calculs le cas de la piscine pleine .

EXPOSEE DE LA METHODE DE RAILEIGH

Cette methode est basée sur le principe de conservation de l'énergie du systeme afin d'établir l'expression de la pulsation fondamentale .

On écrit que l'énergie totale du systeme non amorti est constante

cad $E_T = E_c(t) + E_p(t) = \text{cste}$

$E_c(t) = 1/2 \sum M_k \dot{V}_k(t)$: énergie cinétique du systeme

$E_p(t) = 1/2 \sum W_k V_k(t)$: énergie potentielle du systeme

$V(t)$: déplacement des masses suivant la direction du degré de liberté a un instant (t)

$\dot{V}(t)$: vitesse des masses a l'instant (t)

W_k : poids de la masse M_k

Dans le cas du mode fondamental, nous avons des solutions harmonique simples:

$V_k(t) = V_k \sin(W_1 t + \phi_1)$ = amplitude a l'instant (t)

avec W_1 : pulsation du mode fondamental

ϕ_1 : dephasage du mode fondamental

V_k : amplitude max de la masse k

L'expression de l'énergie potentielle devient:

$E_p(t) = E_{p\max} \sin(W_1 t + \phi_1)$

avec $E_{p\max} = 1/2 \sum_{k=1}^n W_k V_k$

L'expression de la vitesse instantanée devient :

$$\dot{V}_k(t) = W_1 \bar{V}_k \cos(W_1 t + \phi_1)$$

$$E_c(t) = E_{cmax} \cos^2(W_1 t + \phi_1)$$

d'où

avec

$$E_{cmax} = 1/2 W_1^2 \sum_{k=1}^n M_k V_k^2$$

En oscillant le système passe par deux positions extrêmes

-La position d'équilibre statique :

A cet instant E_c est max et $E_p = 0$

-La position où E_p est max et $E_c = 0$

D'où $E_{cmax} = E_{pmax} \rightarrow 1/2 \sum W_k V_k^2 = 1/2 W_1^2 \sum M_k V_k^2$

Alors la pulsation fondamentale a pour expression :

$$W_1^2 = g \frac{\sum_{k=1}^n V_k M_k}{\sum_{k=1}^n V_k^2 M_k}$$

avec

$$T = 2\pi / W_1$$

D'où la période

$$T = \frac{2\pi \sqrt{W_j V_{m_j}^2}}{\sqrt{g \sum W_j V_{m_j}}}$$

Pour le calcul

La matrice de flexibilité a été obtenue en inversant la matrice de rigidité

X(1) = 7.5288923E-03
X(2) = 7.4932920E-03
X(3) = 7.4148932E-03
X(4) = 7.3547992E-03
X(5) = 7.2153937E-03
X(6) = 7.0174499E-03
X(7) = 6.7609702E-03
X(8) = 6.4459522E-03
X(9) = 6.0723973E-03
X(10) = 5.6403056E-03
X(11) = 5.2238274E-03
X(12) = 4.7464408E-03
X(13) = 4.2081466E-03
X(14) = 3.6089444E-03
X(15) = 2.9488341E-03
X(16) = 2.3716113E-03
X(17) = 1.7359758E-03
X(18) = 1.0419281E-03
T = 0.1508127

SENS
LONGITUDINAL

X(1) = 3.2780129E-02
X(2) = 3.2741919E-02
X(3) = 3.2645188E-02
X(4) = 3.2447003E-02
X(5) = 3.2022189E-02
X(6) = 3.1392187E-02
X(7) = 3.0556992E-02
X(8) = 2.9516602E-02
X(9) = 2.8271019E-02
X(10) = 2.6820241E-02
X(11) = 2.5126599E-02
X(12) = 2.3175931E-02
X(13) = 2.0968234E-02
X(14) = 1.8503517E-02
X(15) = 1.5781771E-02
X(16) = 1.2761854E-02
X(17) = 9.4298720E-03
X(18) = 5.7858252E-03
T = 0.3205617

SENS
TRANSVERSAL

 * VECTEURS ET VALEURS PROPRES *
 * SENS LONGITUDINALE *

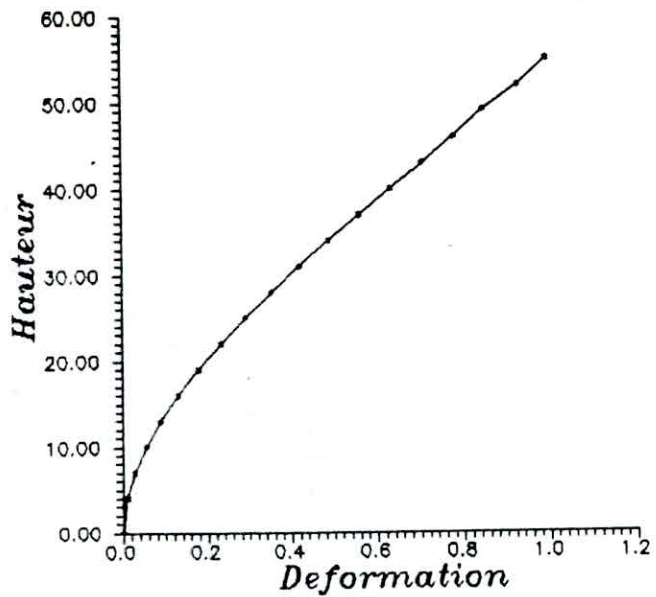
* NIV	** MODE 1	** MODE 2	** MODE 3	** MODE 4
* 1	* 1.00000	* 1.00000	* 1.00000	* 1.00000
* 2	* 0.93329	* 0.79868	* 0.64182	* 0.43214
* 3	* 0.85810	* 0.58156	* 0.31181	* 0.02110
* 4	* 0.78335	* 0.37767	* 0.07070	* -0.13233
* 5	* 0.70886	* 0.18041	* -0.13416	* -0.20807
* 6	* 0.63492	* -0.00419	* -0.28181	* -0.19541
* 7	* 0.56197	* -0.16907	* -0.35573	* -0.10748
* 8	* 0.49052	* -0.30714	* -0.34942	* 0.02083
* 9	* 0.42119	* -0.41219	* -0.26905	* 0.14269
* 10	* 0.35466	* -0.47952	* -0.13330	* 0.21359
* 11	* 0.29157	* -0.50806	* 0.02881	* 0.20871
* 12	* 0.23256	* -0.49950	* 0.18455	* 0.13084
* 13	* 0.17845	* -0.45712	* 0.30374	* 0.00716
* 14	* 0.13009	* -0.38716	* 0.36393	* -0.11810
* 15	* 0.08839	* -0.29857	* 0.35534	* -0.19976
* 16	* 0.05391	* -0.20278	* 0.28637	* -0.21211
* 17	* 0.02721	* -0.11243	* 0.18084	* -0.15893
* 18	* 0.00914	* -0.04103	* 0.07290	* -0.07175
* T(S)	* 0.51255	* 0.08983	* 0.03344	* 0.01868
* W(rd/s)	* 12.25864	* 69.94692	* 187.87929	* 336.36099

LES PERIODES ET FORMES PROPRES DE VIBRATION

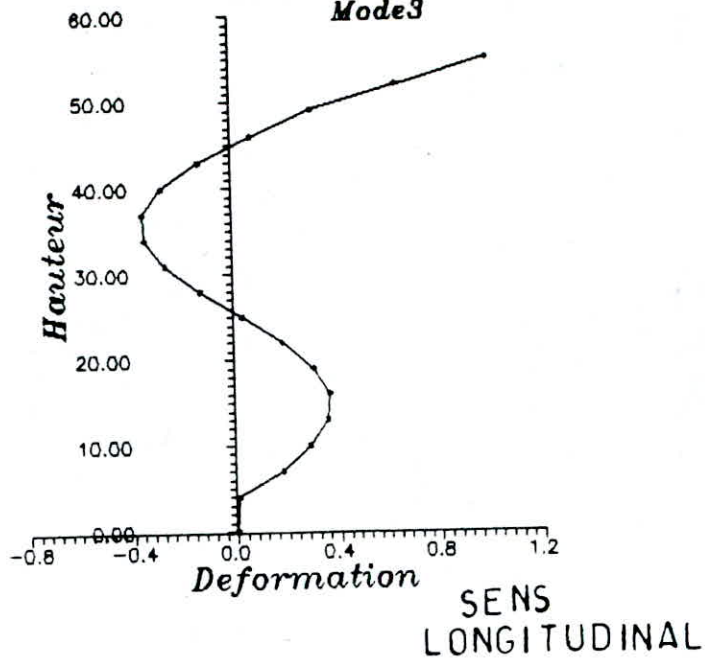
SENS TRANSVERSAL Y-Y

NIV	MODE 1	MODE 2	MODE 3	MODE 4
1	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2	0.93482	0.81499	0.72519	0.64297
3	0.86105	0.60644	0.42075	0.26240
4	0.78734	0.39968	0.12901	-0.07501
5	0.71382	0.19798	-0.13146	-0.32041
6	0.64078	0.00842	-0.32640	-0.40344
7	0.56861	-0.16209	-0.43390	-0.31875
8	0.49776	-0.30661	-0.44331	-0.10971
9	0.42878	-0.41892	-0.35901	0.14168
10	0.36227	-0.49426	-0.20079	0.34008
11	0.29839	-0.52990	-0.00117	0.40875
12	0.23938	-0.52588	0.19946	0.31988
13	0.18452	-0.48529	0.36075	0.10732
14	0.13512	-0.41437	0.45106	-0.14644
15	0.09204	-0.32225	0.45452	-0.34256
16	0.05615	-0.22053	0.37551	-0.40593
17	0.02834	-0.12302	0.24113	-0.32183
18	0.00953	-0.04512	0.09835	-0.15028
T(S)	2.63062	0.44707	0.16285	0.08584
W(rd/s)	2.38849	14.05405	38.58280	73.19405

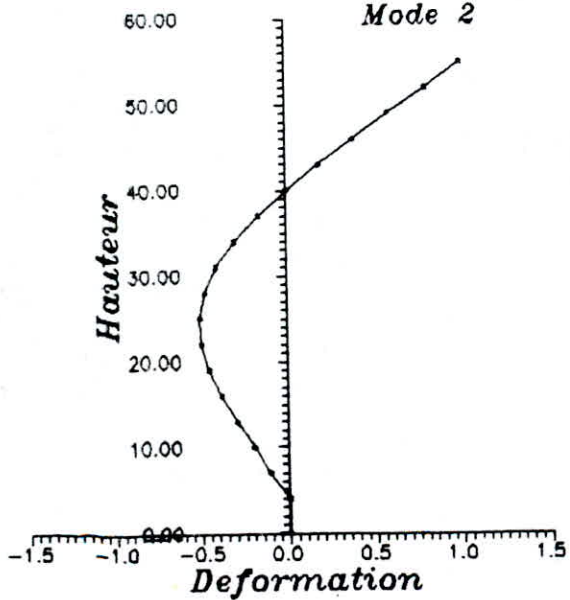
Mode 1



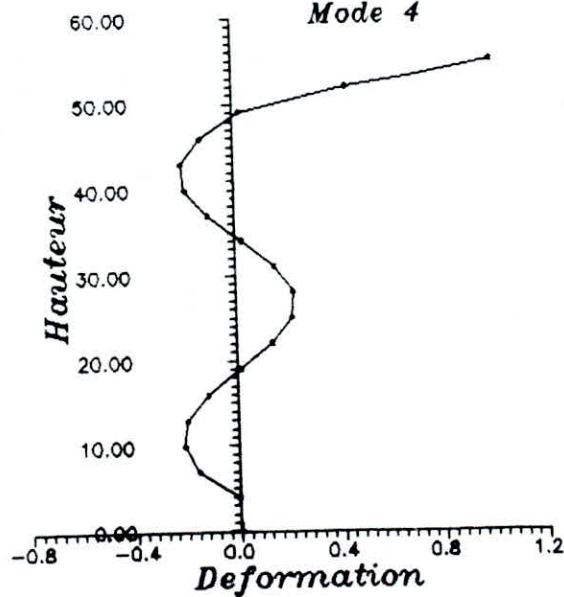
Mode 3

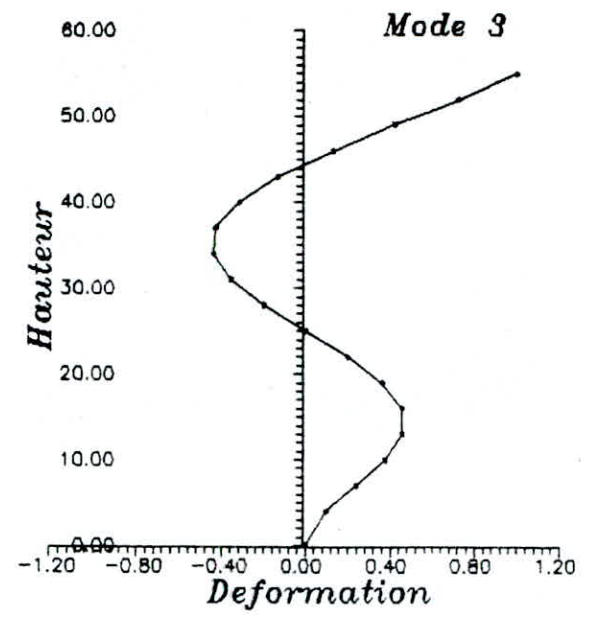
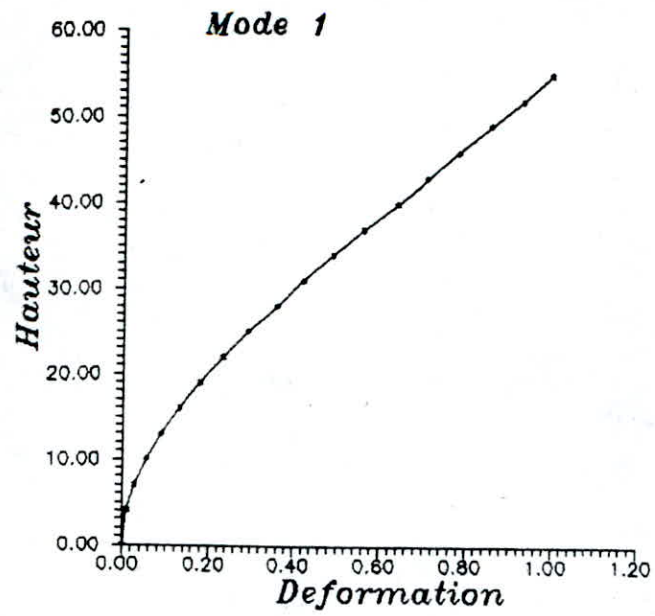


Mode 2

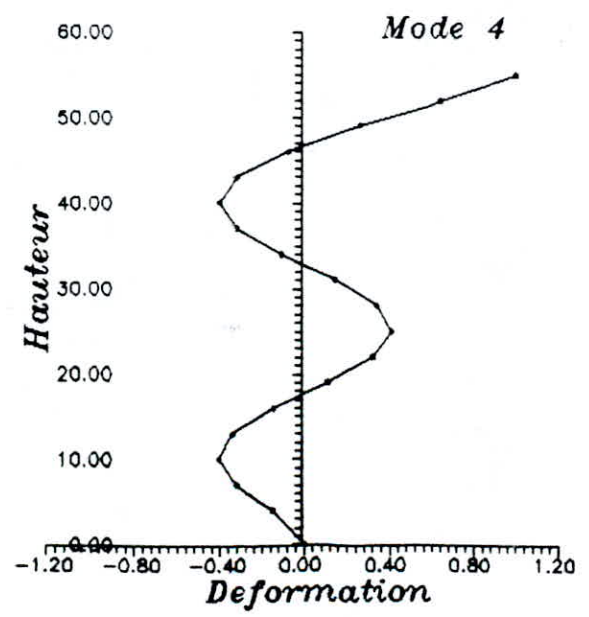
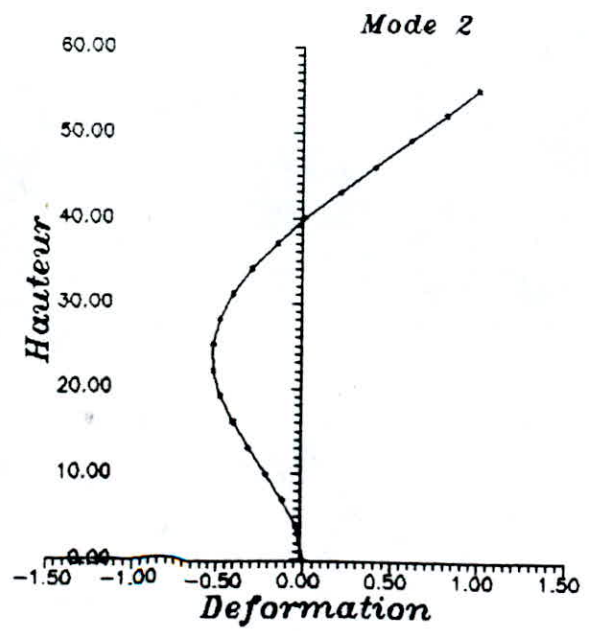


Mode 4





SENS
TRANSVERSAL



CHAPITRE V

ETUDE SISMIQUE

ETUDE SISMIQUE

INTRODUCTION

Les efforts sismiques sont déterminées afin de vérifier la résistance d'une structure, vu les pertes humaines et matériels causées par les tremblements de terre.

Le règlement en vigueur "RPA 88 " préconise une force sismique donnée par la méthode statique équivalente qu'on ne peut appliquer dans notre étude, car les conditions d'applications de cette méthode ne sont pas vérifiées ($h > 45m$).

On applique donc la méthode dynamique directe.

Présentation de la méthode dynamique directe

Cette méthode tient compte de manière adéquate de la sismicité du site, des caractéristiques dynamiques de la tour et des conditions du sol.

Conformément aux règles parasismiques algériennes, les forces sismiques sont déterminées d'après les formules suivantes:

$$F_{ki} = A D_i B Q \gamma_{ki} W_k$$

où

.A : le coefficient d'accélération de zone.

IL dépend du groupe d'usage de la structure et de la zone sismique.

Pour notre cas: groupe d'usage2, zone II ; $A=0.15$

. D_i : facteur d'amplification dynamique.

Il caractérise l'effet dynamique de la sollicitation sismique sur les structures, il déterminé par les expressions suivantes:

$$* \text{ pour un sol meuble } \longrightarrow 1.0 \leq D_i = 2 \sqrt{\frac{0.5}{T_i}} \leq 2$$

* pour un sol ferme $\longrightarrow 0.78 \leq D_i = 2 \sqrt{\frac{0.3}{T_i}} \leq 2$
 où T_i : période du $i^{\text{ème}}$ mode de vibration.

Rg : pour notre cas: on a un sol ferme.

Sens longitudinal

$T_1 = 0.513s$	$T_2 = 0.098s$	$T_3 = 0.033s$	$T_4 = 0.0187s$
$D_1 = 1.53$	$D_2 = 2$	$D_3 = 2$	$D_4 = 2$

Sens transversal

$T_1 = 2.56s$	$T_2 = 0.44s$	$T_3 = 0.16s$	$T_4 = 0.08s$
$D_1 = 0.67$	$D_2 = 1.65$	$D_3 = 2$	$D_4 = 2$

. Q : facteur de qualité du système de concentration d'une structure, il est donné en fonction de l'hyperstaticite et de la surabondance du système ,de ses symétries en plan de sa régularité en élévation et de la qualité de contrôle pendant la construction la valeur de Q est déterminée par :

$$Q = 1 + \sum_{q=1}^6 P_q$$

où P_q est la pénalite qui dépend de l'observation ou du critère de qualité.

- * $P_{q_1} = 0.05$: surabondance en plan critère non observé
- * $P_{q_2} = 0.03$: régularité en élévation
- * $P_{q_3} = 0.10$: contrôle de qualité de la concentration

D'où $Q_i = 1.2$

. B : le facteur de comportement de la structure.

Il depend du type de système de contreventement, des types de structures ainsi que leurs définitions.

Pour notre cas, nous avons une structure à mur porteur donc catégorie 5 \longrightarrow B = 1/3 .

• γ_{ki} : coefficient de mode de vibration, ou coefficient de distribution, exprime que pour les différents niveaux X_k de la construction, les forces sismiques de calcul sont différentes. Ce coefficient est donné par l'expression suivante:

$$\gamma_{ki} = \phi_{ki} \frac{\sum_{k=1}^n W_k \phi_{ki}}{\sum_{k=1}^n W_k \phi_{ki}^2}$$

ϕ_{ki} : amplitude au niveau k dans le mode i

W_k : poids de l'étage k.

. La force sismique resultante (effort tranchant) au niveau K dûe au mode i est donnée par l'équation quadratique :

$$F_k = \sqrt{\sum F_{ki}^2}$$

APPLICATION DE LA METHODE A LA STRUCTURE

Le cas étudié se caractérise par le fait suivant :

- Une force extérieure dont la ligne d'action passe par le centre de torsion se répartira uniquement entre les refends linéaires qui lui sont parallèles.
- Si la ligne d'action des forces extérieures ne passe pas par le centre de torsion il se crée un moment égal au produit de la force considérée par son excentricité
- 1 - un refend parallèle à la direction de la force sismique est soumis à un effort de translation H' et un effort de rotation H''
 - 2 - Un refend perpendiculaire à la direction de la force sismique est soumis à un effort de rotation

DETERMINATION DES EFFORTS TRANCHANTS PRIS PAR CHAQUE REFEND

Soit v_{jx} : effort tranchant agissant à l'étage (j) dans le sens x

v_{jy} : effort tranchant agissant à l'étage (j) dans le sens y

On aura :

effort tranchant au niveau (j) dans les refends longitudinaux

$$V_{jx} = V_{jx} \times I_x / \Sigma I_x + V_{jx} \times Y_g \times I_x / J\theta$$

avec

$$H'_{xj} = V_{jx} \times I_x / \Sigma I_x \quad : \text{force due à la translation}$$

$$H''_{xj} = V_{jx} \times Y_g \times I_x / J\theta \quad : \text{force due à la rotation}$$

effort tranchant au niveau (j) dans les refends transversaux

$$V_{jy} = V_{jy} \times I_y / \Sigma I_y + V_{jy} \times X_g \times I_y / J\theta$$

avec:

$$H'_{yj} = V_{jy} \times I_y / \Sigma I_y \quad : \text{force due à la translation}$$

$$H''_{yj} = V_{jy} \times X_g \times I_y / J\theta \quad : \text{force due à la rotation}$$

$J\theta$: l'inertie polaire de torsion

$$J\theta = \Sigma I_x \cdot dy^2 + \Sigma I_y \cdot dx^2$$

DISTRIBUTION DES EFFORTS HORIZONTAUX

INTRODUCTION

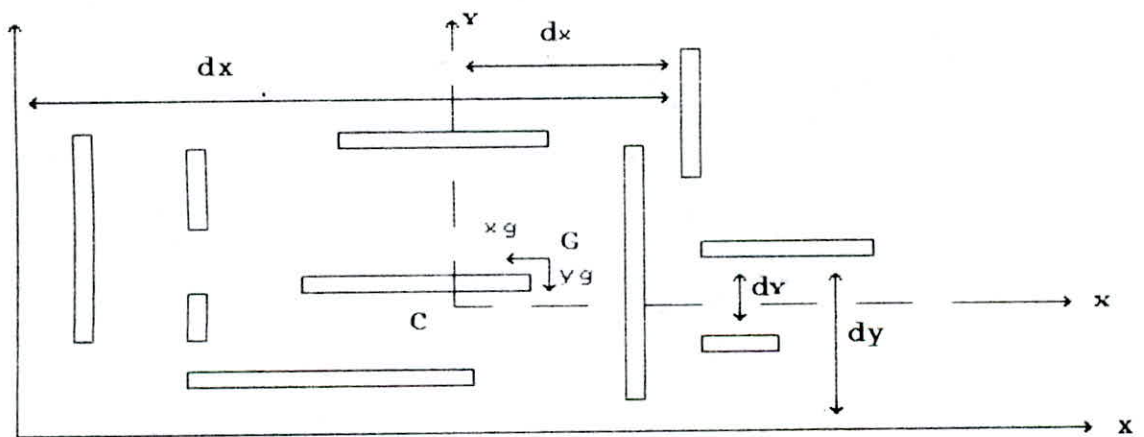
La détermination des efforts tranchants revenants au niveau de chaque plancher permet de les répartir entre les différents éléments de contreventement.

Cette répartition se fera en utilisant la méthode du centre de torsion (C.D.T)

HYPOTHESES DE CALCUL

- Les planchers sont indéformables
- Les refends sont parfaitement encastrés à leurs bases
- L'inertie des refends est constante sur toute la hauteur où bien la variation suit la même loi pour tous les refends.

METHODE DU CENTRE DE TORSION



Le centre de torsion d'un groupe de refends est le point défini par :

- 1 - Une force dont la ligne d'action passe par le centre de torsion provoque uniquement une translation de direction parallèle à celle de la force
- 2 - Un moment vertical dont la direction passe par le centre de torsion engendre seulement une rotation

```

#####
# VOILES ## IXi ## DXi ## IXi*DXi^2 ##
#####
# VL ( 1 ) ## 15.686 ## 14.570 ## 3329.901 ##
# VL ( 1' ) ## 15.686 ## 14.570 ## 3329.901 ##
# VL ( 9 ) ## 15.686 ## -17.830 ## 4986.719 ##
# VL ( 9' ) ## 15.686 ## -17.830 ## 4986.719 ##
# VL ( 2 ) ## 11.572 ## 10.770 ## 1342.270 ##
# VL ( 2' ) ## 11.572 ## 10.770 ## 1342.270 ##
# VL ( 8 ) ## 11.572 ## -14.030 ## 2277.843 ##
# VL ( 8' ) ## 11.572 ## -14.030 ## 2277.843 ##
# VL ( 3 ) ## 257.241 ## 6.970 ## 12496.999 ##
# VL ( 7 ) ## 257.241 ## -10.230 ## 26921.014 ##
# VL ( 4 ) ## 4.167 ## 3.170 ## 41.874 ##
# VL ( 4' ) ## 4.167 ## 3.170 ## 41.874 ##
# VL ( 6 ) ## 4.167 ## -6.430 ## 172.284 ##
# VL ( 6' ) ## 4.167 ## -6.430 ## 172.284 ##
# VL ( 5 ) ## 14.289 ## -1.630 ## 37.964 ##
# VL ( 5' ) ## 16.777 ## -1.630 ## 44.575 ##
# VL ( 5" ) ## 1.843 ## -1.630 ## 4.897 ##
# VL ( 4" ) ## 25.000 ## 3.170 ## 251.223 ##
# VL ( 6" ) ## 25.000 ## -6.430 ## 1033.622 ##
#####

```

```

#####
# VOILES ## IYi ## DYi ## IYi*DYi^2 ##
#####
# VT ( 2 ) ## 0.427 ## 2.070 ## 1.830 ##
# VT ( 4 ) ## 0.427 ## 2.070 ## 1.830 ##
# VT ( 2' ) ## 0.427 ## -5.330 ## 12.131 ##
# VT ( 4' ) ## 0.427 ## -5.330 ## 12.131 ##
# VT ( 3" ) ## 5.475 ## -1.630 ## 14.547 ##
# VT ( 3 ) ## 9.725 ## 2.070 ## 41.671 ##
# VT ( 3' ) ## 9.725 ## -5.330 ## 276.277 ##
#####

```

INERTIE POLAIRE IP = 65452.50


```

#####
# VOILES  ##      IXi      ##      DXi      ##      IXi*DXi^2  ##
#####
# VL ( 2 ) ##      11.572  ##      10.770  ##      1342.270  ##
# VL ( 2' ) ##      11.572  ##      10.770  ##      1342.270  ##
# VL ( 8 ) ##      11.572  ##     -14.030  ##      2277.843  ##
# VL ( 8' ) ##      11.572  ##     -14.030  ##      2277.843  ##
# VL ( 3 ) ##     257.241  ##       6.970  ##     12496.999  ##
# VL ( 7 ) ##     257.241  ##     -10.230  ##     26921.014  ##
# VL ( 4 ) ##       4.167  ##       3.170  ##       41.874  ##
# VL ( 4' ) ##       4.167  ##       3.170  ##       41.874  ##
# VL ( 6 ) ##       4.167  ##      -6.430  ##      172.284  ##
# VL ( 6' ) ##       4.167  ##      -6.430  ##      172.284  ##
# VL ( 5 ) ##      14.289  ##      -1.630  ##       37.964  ##
# VL ( 5' ) ##      16.777  ##      -1.630  ##       44.575  ##
# VL ( 5" ) ##       1.843  ##      -1.630  ##        4.897  ##
# VL ( 4" ) ##      25.000  ##       3.170  ##      251.223  ##
# VL ( 6" ) ##      25.000  ##      -6.430  ##     1033.622  ##
#####

```

```

#####
# VOILES  ##      IYi      ##      DYi      ##      IYi*DYi^2  ##
#####
# VT ( 2 ) ##       0.427  ##       2.070  ##        1.830  ##
# VT ( 4 ) ##       0.427  ##       2.070  ##        1.830  ##
# VT ( 2' ) ##       0.427  ##      -5.330  ##       12.131  ##
# VT ( 4' ) ##       0.427  ##      -5.330  ##       12.131  ##
# VT ( 3" ) ##       5.475  ##      -1.630  ##       14.547  ##
# VT ( 3 ) ##       9.725  ##       2.070  ##       41.671  ##
# VT ( 3' ) ##       9.725  ##      -5.330  ##      276.277  ##
#####

```

INERTIE POLAIRE 1P 48819.25

```

#####
# VOILES ## IXi ## DXi ## IXi*DXi^2 ##
#####
# VL ( 3 ) ## 257.241 ## 6.970 ## 12496.999 ##
# VL ( 7 ) ## 257.241 ## -10.230 ## 26921.014 ##
# VL ( 4 ) ## 4.167 ## 3.170 ## 41.874 ##
# VL ( 4' ) ## 4.167 ## 3.170 ## 41.874 ##
# VL ( 6 ) ## 4.167 ## -6.430 ## 172.284 ##
# VL ( 6' ) ## 4.167 ## -6.430 ## 172.284 ##
# VL ( 5 ) ## 14.289 ## -1.630 ## 37.964 ##
# VL ( 5' ) ## 16.777 ## -1.630 ## 44.575 ##
# VL ( 5" ) ## 1.843 ## -1.630 ## 4.897 ##
# VL ( 4" ) ## 25.000 ## 3.170 ## 251.223 ##
# VL ( 6" ) ## 25.000 ## -6.430 ## 1033.622 ##
#####

```

```

#####
# VOILES ## IYi ## DYi ## IYi*DYi^2 ##
#####
# VT ( 2 ) ## 0.427 ## 2.070 ## 1.830 ##
# VT ( 4 ) ## 0.427 ## 2.070 ## 1.830 ##
# VT ( 2' ) ## 0.427 ## -5.330 ## 12.131 ##
# VT ( 4' ) ## 0.427 ## -5.330 ## 12.131 ##
# VT ( 3" ) ## 5.475 ## -1.630 ## 14.547 ##
# VT ( 3 ) ## 9.725 ## 2.070 ## 41.671 ##
# VT ( 3' ) ## 9.725 ## -5.330 ## 276.277 ##
#####

```

INERTIE POLAIRE IP = 41579.03


```
#####
# VOILES ## IXi ## DXi ## IXi*DXi^2 ##
#####
# VL (5") ## 1.843 ## -1.630 ## 4.897 ##
# VL (4") ## 25.000 ## 3.170 ## 251.223 ##
# VL (6") ## 25.000 ## -6.430 ## 1033.622 ##
#####
```

```
#####
# VOILES ## IYi ## DYi ## IYi*DYi^2 ##
#####
# VT (3") ## 5.475 ## -1.630 ## 14.547 ##
# VT (3 ) ## 9.725 ## 2.070 ## 41.671 ##
# VT (3') ## 9.725 ## -5.330 ## 276.277 ##
#####
INERTIE POLAIRE IP = 1622.235
```

```
#####
# VOILES ## IXi ## DXi ## IXi*DXi^2 ##
#####
# VL (4") ## 25.000 ## 3.170 ## 251.223 ##
# VL (6") ## 25.000 ## -6.430 ## 1033.622 ##
#####
```

```
#####
# VOILES ## IYi ## DYi ## IYi*DYi^2 ##
#####
# VT (3") ## 5.475 ## -1.630 ## 14.547 ##
# VT (3 ) ## 9.725 ## 2.070 ## 41.671 ##
# VT (3') ## 9.725 ## -5.330 ## 276.277 ##
#####
INERTIE POLAIRE IP = 1617.339
```

EFFORT TRANCHANT ET MOMENT FLECHISSANT

VOILES LONGITUDINAUX

NIV	VL1-VL1'		VL9-VL9'		VL4-VL4'		VL6-VL6'	
	T	M	T	M	T	M	T	M
18	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16	0.000	0.000	0.000	0.000	0.331	0.000	0.309	0.000
15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.799	0.993	0.744	0.927
14	0.000	0.000	0.000	0.000	1.087	3.390	1.011	3.159
13	0.000	0.000	0.000	0.000	1.384	6.651	1.287	6.192
12	0.000	0.000	0.000	0.000	1.706	10.803	1.587	10.053
11	0.000	0.000	0.000	0.000	2.052	15.921	1.908	14.814
10	0.000	0.000	0.000	0.000	2.417	22.077	2.247	20.538
9	0.000	0.000	0.000	0.000	2.827	29.328	2.631	27.279
8	0.000	0.000	0.000	0.000	3.262	37.809	3.037	35.172
7	0.000	0.000	0.000	0.000	3.692	47.595	3.439	44.283
6	0.000	0.000	0.000	0.000	4.123	58.671	3.842	54.600
5	0.000	0.000	0.000	0.000	4.553	71.040	4.244	66.126
4	1.887	0.000	1.494	0.000	4.973	84.699	4.641	78.858
3	3.495	5.661	2.768	4.482	5.331	99.618	4.979	92.781
2	4.539	16.146	3.595	12.786	5.563	115.611	5.199	107.718
1	5.008	29.763	3.967	23.571	5.667	132.300	5.298	123.315
0	5.008	49.795	3.967	39.439	5.667	154.968	5.298	144.507

EFFORT TRANCHANT ET MOMENT FLECHISSANT

VOILES LONGITUDINAUX

NV	VL5		VL5'		VL5''		VL4''		VL6''	
	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M
18	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	16.491	0.000	14.22	0.000
17	0.00	0.000	0.000	0.000	0.795	0.000	29.051	43.701	25.00	37.683
16	1.06	0.000	1.246	0.000	0.932	2.385	31.035	130.85	26.85	112.683
15	2.55	3.183	2.996	3.738	1.124	5.181	33.842	223.95	29.46	193.251
14	3.46	10.83	4.072	12.72	1.242	8.553	35.568	325.48	31.06	281.643
13	4.41	21.24	5.183	24.94	1.364	12.279	37.349	432.18	32.72	374.847
12	5.44	34.49	6.389	40.49	1.496	16.371	39.283	544.23	34.52	473.016
11	6.54	50.81	7.681	59.65	1.638	20.859	41.356	662.08	36.44	576.576
10	7.70	70.44	9.045	82.70	1.788	25.773	43.544	786.15	38.47	685.914
9	9.02	93.56	10.59	109.86	1.958	31.137	46.007	916.78	40.78	801.348
8	10.41	120.62	12.22	141.66	2.138	37.011	48.615	1054.806	43.21	923.688
7	11.79	151.86	13.84	178.28	2.316	43.425	51.197	1200.651	45.63	1053.339
6	13.17	187.24	15.46	219.82	2.494	50.373	53.785	1354.242	48.05	1190.232
5	14.55	226.77	17.08	266.229	2.672	57.855	56.364	1515.597	50.46	1334.382
4	15.91	270.43	18.68	317.490	2.848	65.871	58.882	1684.689	52.84	1485.765
3	17.07	318.18	20.04	373.545	2.998	74.415	61.028	1861.335	54.87	1644.294
2	17.83	369.41	20.93	433.689	3.095	83.409	62.422	2044.419	56.19	1808.913
1	18.16	422.90	21.33	496.488	3.139	92.694	63.049	2231.685	56.78	1977.489
0	18.16	495.57	21.33	581.812	3.139	105.25	63.049	2483.881	56.78	2204.629

EFFORTS TRANCHANTS ET MOMENTS FLECHISSANTS

VOILES TRANSVERSEAUX

VOILE	VT2-VT4		VT2'-VT4'		VT3''		VT3		VT3'	
	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M
18	0.000	0.00	0.00	0.000	7.959	0.000	14.872	0.000	14.137	0.000
17	0.000	0.00	0.00	0.000	15.157	21.09	28.321	39.41	26.923	37.463
16	0.623	0.00	0.62	0.000	23.115	66.562	42.514	124.37	41.058	18.232
15	2.800	1.86	2.79	1.863	50.969	135.90	92.097	251.91	90.534	241.406
14	4.193	10.2	4.18	10.24	68.789	288.81	123.81	528.20	122.187	513.008
13	5.467	22.8	5.45	22.79	85.087	495.18	152.83	899.66	151.136	879.569
12	6.685	39.2	6.66	39.15	100.66	750.44	180.56	1358.1	178.808	1332.977
11	7.882	59.3	7.86	59.16	115.97	1052.4	207.81	1899.8	206.005	1869.4
10	9.075	82.9	9.05	82.74	131.24	1400.3	234.98	2523.2	233.115	2487.416
9	10.47	110.1	10.44	109.9	149.13	1794.0	266.83	3228.2	264.909	3186.761
8	11.91	141.6	11.88	141.2	167.54	2241.5	299.59	4028.7	297.610	3981.488
7	13.28	177.3	13.25	176.9	185.11	2744.1	330.86	4927.5	328.816	4874.318
6	14.58	217.1	14.55	216.6	201.75	3299.5	360.47	5920.1	358.371	5860.766
5	15.80	260.9	15.76	260.3	217.30	3904.7	388.14	7001.5	385.989	6935.879
4	17.04	308.3	17.01	307.6	233.25	4556.6	416.51	8165.9	414.328	8093.846
3	18.07	359.4	18.03	358.6	246.38	5256.4	439.86	9415.5	437.641	9336.830
2	18.72	413.6	18.68	412.7	254.71	5995.6	454.68	10735.	452.443	10649.75
1	19.01	469.8	18.97	468.8	258.41	6759.7	461.25	12099.	459.004	12007.08
0	19.01	545.9	18.97	544.7	258.41	7793.4	461.25	13944.	459.004	13843.09

CHAPITRE VI

ETUDE AU VENT

CHAPITRE VII

ETUDE AU RENVERSEMENT

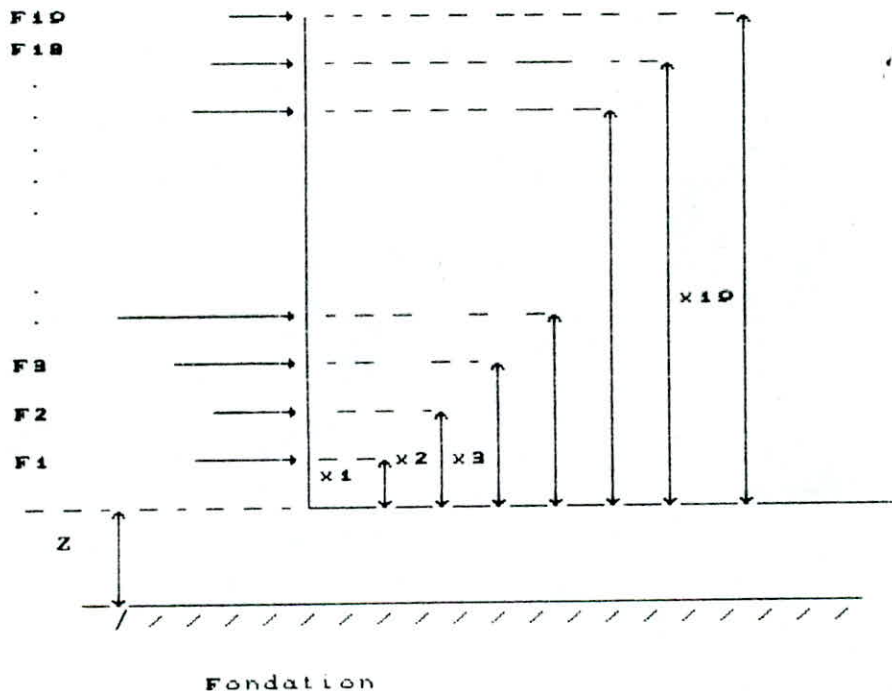
VERIFICATION AU RENVERSEMENT

Chaque structure doit résister aux efforts qui provoquent son renversement. En effet les efforts sismiques calculés au niveau de chaque plancher ainsi que l'effort tranchant à la base tendent à renverser la structure .

Il faut donc vérifier que $\frac{M_{résistant}}{M_{renversement}} > F_s$

F_s : coefficient de sécurité

$$F_s = 1.5$$



CALCUL DU MOMENT DE RENVERSEMENT

$$M_{renv} = \sum F_i \cdot x_i + V \cdot Z$$

Avec :
 V : effort tranchant à la base
 F_i : effort sismique au niveau x_i
 Z : profondeur de la fondation

CALCUL DU MOMENT RESISTANT

$$M_{rés} = W.b/2$$

Avec :

W : poids total du bâtiment

b : longueur du bâtiment dans le sens considéré

Dans notre cas on a :

$$\underline{\text{SENS LONGITUDINAL}} : z = 4.00 \text{ m} , b = 27.00 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \Sigma \text{Fixi} &= 17.96*4 + 40.54*7 + 63.84*10 + 77.6*13 + 75.63*16 + 80.94*19 \\ &+ 85.46*22 + 89.55*25 + 87.07*28 + 74.24*31 + 74.48*34 + 75.78*40 \\ &+ 86.68*43 + 135.49*46 + 81.56*49.10 + 32.77*52 + 36.23*55 \\ &= 39777.33 \text{ t.m} \end{aligned}$$

$$M_{renv} = 39777.33 + 4*1295.15 = 44957.94 \text{ t.m}$$

$$M_{rés} = W.b/2 = 15150 * 27/2 = 204525 \text{ t.m}$$

$$\frac{M_{rés}}{M_{renv}} = \frac{204525}{44957.94} = 4.55 > 1.5$$

Donc dans le sens longitudinal ,il n'ya pas de risque de renversement

$$\underline{\text{SENS TRANSVERSAL}} : z = 4.00 \text{ m} , b = 32.60 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \Sigma \text{Fixi} &= 17.14*4 + 38.14*7 + 58.73*10 + 68.89*13 + 63.68*16 \\ &+ 63.88*19 + 63.75*22 + 64.37*25 + 60.8*28 + 49.92*31 \\ &+ 47.30*34 + 44.14*37 + 40.65*40 + 39.39*43 + 64.06*46 \\ &+ 45.60*49.10 + 22.35*52 + 28.44*55 \\ &= 24785.91 \text{ t.m} \end{aligned}$$

$$M_{renv} = 24785.91 + 4*881.28 = 28311 \text{ t.m}$$

$$M_{rés} = W.b/2 = 15150 * 32.6/2 = 246945 \text{ t.m}$$

$$\frac{M_{rés}}{M_{renv}} = \frac{246945}{28311} = 8.72 > 1.5$$

Donc même dans le sens transversal , il n'ya pas de risque de renversement

CHAPITRE VIII

**ETUDE DES VOILES SOUS
CHARGES HORIZONTALES**

ETUDE DES VOILES SOUS CHARGES HORIZONTALES

* VOILES PLEINS

La détermination des efforts internes dans les voiles pleins ne pose aucun problème. Les refends pleins sont assimilés à une console encastrée à sa base et soumise aux charges concentrées appliquées au niveau de chaque plancher. L'effort tranchant sera obtenu en faisant le cumul des charges de chaque niveau, c'est à dire :

$$T_{18} = F_{18}$$

$$T_{17} = T_{18} + F_{17}$$

$$T_i = T_{i+1} + F_i$$

$$T_1 = T_2 + F_1$$

avec . T_i : effort tranchant au niveau(i)

. F_i : force horizontale au niveau(i)

et le moment fléchissant sera obtenu comme suit:

$$M_{18} = 0$$

$$M_{17} = h_e * T_{18}$$

$$M_i = M_{i+1} + h_e * T_{i+1}$$

$$M_0 = M_1 + T_1 * h_e$$

avec M_i : moment fléchissant au plancher(i)

h_e : hauteur d'étage

Les résultats sont groupés sous forme de tableaux.

VOILES AVEC OUVERTURES

On se propose d'utiliser dans ce cas la méthode proposée par Mrs : ALBIGES et GOULET, fournissant des abaques pour le calcul pratique de la structure.

HYPOTHESES DE LA METHODE

La méthode est basée sur les hypothèses suivantes:

- * Les efforts localisés transmis par les linteaux peuvent être considérés comme répartis le long de la fibre moyenne de chaque

élément du voile.

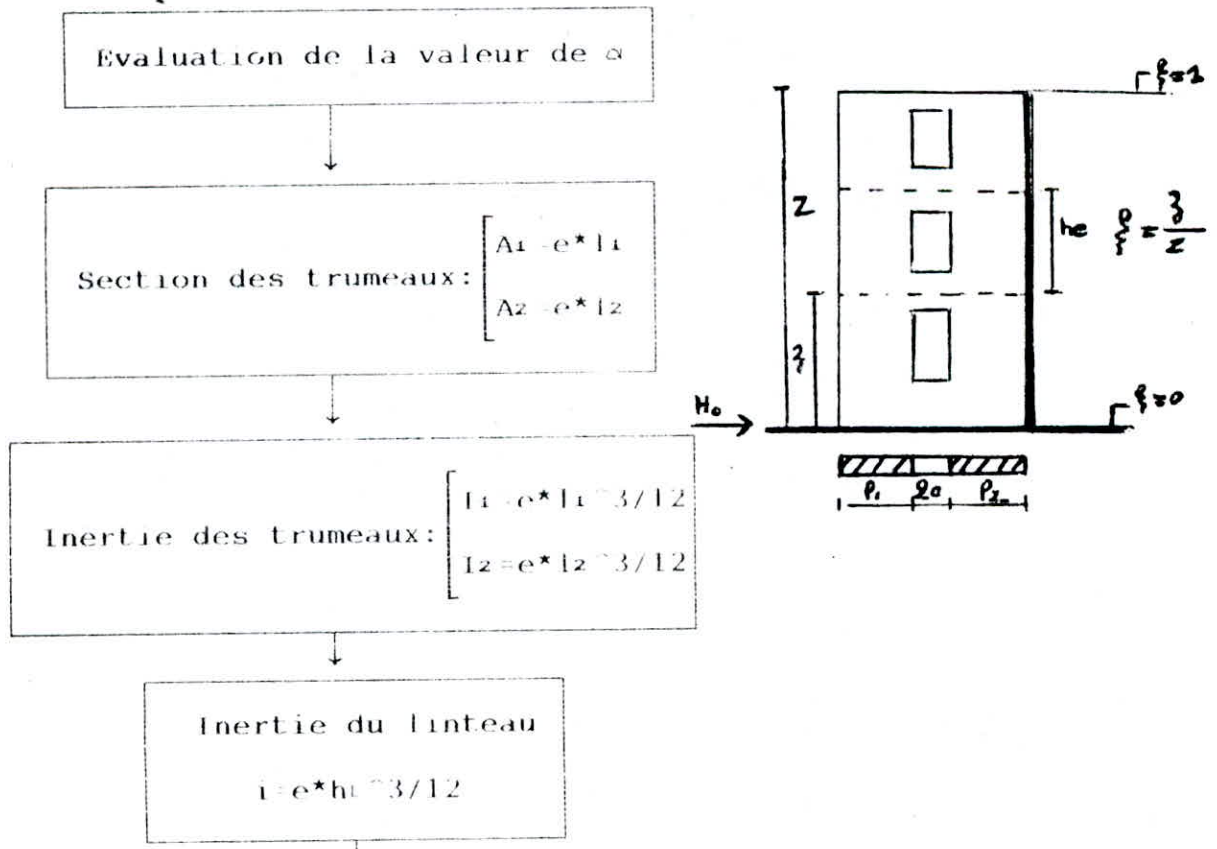
* Les éléments du voile (trumeaux) subissent le même déplacement horizontal au niveau de chaque étage .

On peut aussi admettre que:

- La hauteur d'étage est constante.
- Les linteaux qui lient les deux trumeaux du voile ont tous les mêmes caractéristiques géométriques.
- Les linteaux ont une inertie transversale faible vis-a-vis des trumeaux.

VOILES A UNE FILE D'OUVERTURES

Suivant l'importance de l'intervention des linteaux dans la stabilité du voile sous l'action des forces horizontales on distingue trois cas pour lesquels sont donnés des méthodes de calculs particulières. Grâce à la valeur du coefficient "α" représentant le degré de concordance du voile ,il est possible de fixer les limites d'application suivantes :



↓

Moment statique de chacun des trumeaux
par rapport au centre de gravite
de l'ensemble

$$m = \frac{2C}{\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2}}$$

Inertie totale du voile

$$I = I_1 + I_2 + 2mc$$

$$W = \sqrt{\frac{12E'i}{E(I_1 + I_2)} * \frac{I}{m} * \frac{2C}{(2a)^3 * h_e}}$$

notre cas $E=E'$

$$W = \sqrt{\frac{12i}{(I_1 + I_2)} * \frac{I}{m} * \frac{2C}{(2a)^3 * h_e}}$$

$$\alpha = W * Z$$

$$\alpha < 1$$

Le voile sera calculé
comme un voile avec
ouvertures de grande
dimension

$$1 \leq \alpha \leq 10$$

Le voile sera calculé
comme un voile avec
ouvertures moyennes

$$\alpha > 10$$

le voile sera calculé
comme un voile avec
petites ouvertures

avec:

- E : module de déformation longitudinale du matériau constituant les trumeaux (t/m^2)
- E' : module de déformation longitudinale du matériau constituant les linteaux (t/m^2)
- e : épaisseur du voile (m)
- h₀ : hauteur d'étage (m)
- Z : hauteur du bâtiment (m)
- h_{l(i)} : hauteur du linteau (i) (m)
- a(i) : demi-largeur de l'ouverture (m)
- l(i) : longueur du trumeau
- 2c(i) : distance entre les centres de gravité de deux trumeaux consécutifs.

1° cas général:

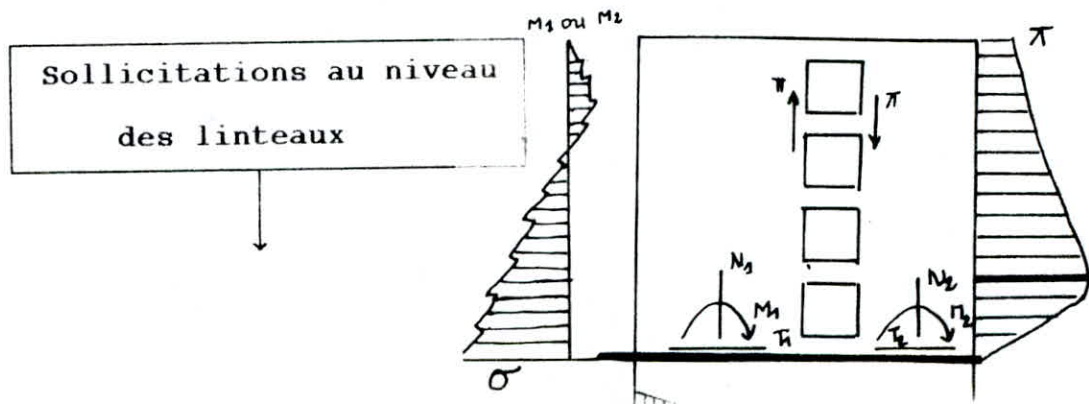
• VOILE A MOYENNES OUVERTURES : $1 \leq \alpha \leq 10$

Pour chaque niveau on doit déterminer :

- * $\xi = z/Z$ avec z : hauteur du niveau considéré par rapport au niveau d'encastrement du voile.
- * $\phi =$ fonction du couple (α, ξ)
- * $\psi =$ fonction du couple (α, ξ) (voir abaque sur marius divers)

On doit calculer l'effort tranchant H₀ a la base du voile

$$H_0 = \sum_{i=1}^{n-1} F_i$$



↓

Effort tranchant Π , a la section
d'encastrement des linteaux en chaque
niveau(j) est:

$$\Pi(j) = \frac{H_0.m.he}{I} \phi$$

↓

Moment d'encastrement (M) en chaque
niveau(j) est: $M(j) = \Pi(j) * a$

↓

Sollicitations au niveau
des trumeaux

↓

Moment flechissant dans les trumeaux en chaque niveau

$$M_1 = \frac{I_1}{I_1 + I_2} H_0.Z \frac{(1-\xi)^2}{2} - \frac{2Cm}{I} \psi$$

$$M_2 = \frac{I_2}{I_1 + I_2} H_0.Z \frac{(1-\xi)^2}{2} - \frac{2Cm}{I} \psi$$

↓

Effort normal en chaque niveau

$N_1 = \Pi_1(1) + \Pi_1(2) + \dots + \Pi_1(j-1) = \Sigma \Pi_1(i)$

$N_2 = \Pi_2(1) + \Pi_2(2) + \dots + \Pi_2(j-1) = \Sigma \Pi_2(i)$

↓

Effort tranchant en chaque niveau

$$T_1(j) = T(j) * I_1 / I_1 + I_2$$

$$T_2(j) = T(j) * I_2 / I_1 + I_2$$

↓

Vérifier l'équilibre extérieur

↓

Fin

2/ VOILES A GRANDES OUVERTURES

Quand $\alpha < 1$ on peut considérer que pratiquement $\alpha \rightarrow 0$, en conséquence $\phi = 0$ (voir abaque)

$\pi = 0$ (voir formule précédente)

Sollicitation au niveau
des linteaux

$$\pi = 0$$

$$M = 0$$

Sollicitation au niveau
des trumeaux

Moment flechissant $-M-$ en chaque niveau

$$M1(j) = M(j) \cdot \frac{I1}{I1 + I2} ; M2(j) = M(j) \cdot \frac{I2}{I1 + I2}$$

Avec $M(j)$: moment de console au niveau (j)

Effort tranchant en chaque niveau

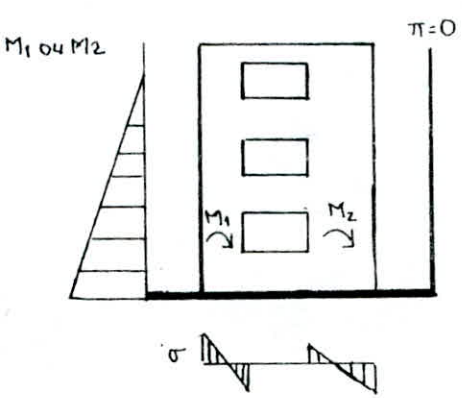
$$T1(j) = T(j) \cdot \frac{I1}{I1 + I2} ; T2(j) = T(j) \cdot \frac{I2}{I1 + I2}$$

Effort normal N

Etant donné que l'effort tranchant π est nul, par conséquent $N = 0$

Vérifier l'équilibre extérieure

FIN

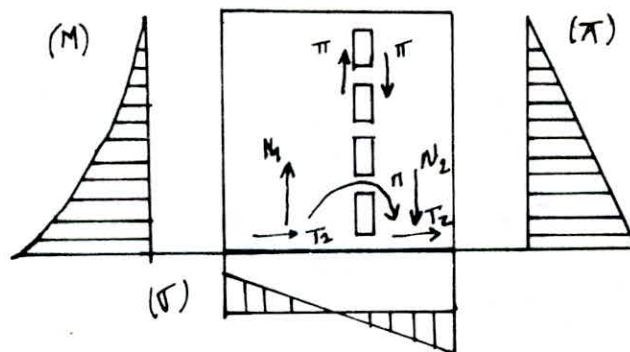
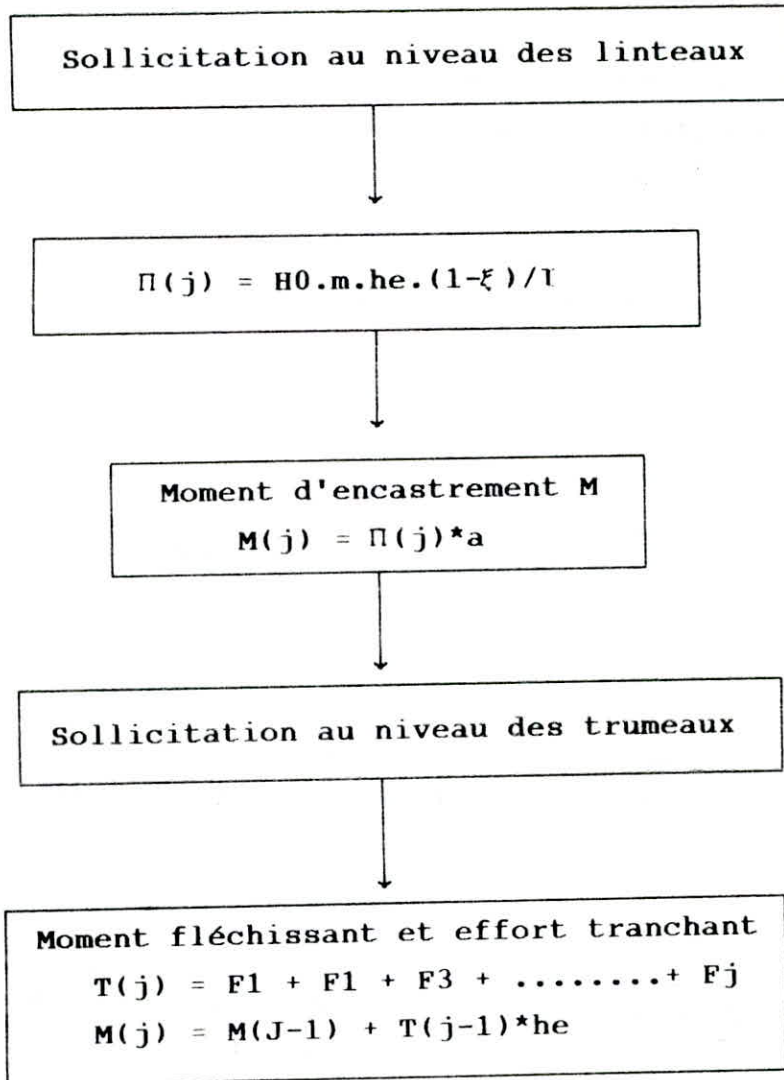


3/ VOILES A PETITES OUVERTURES $\alpha > 10$

Quand $\alpha > 10$ on peut considérer que pratiquement $\alpha \rightarrow$ infini

Les variations de ϕ et Π sont linéaires.

Le voile se comporte comme un mur plein ,l'influence des ouvertures ayant un caractère local.

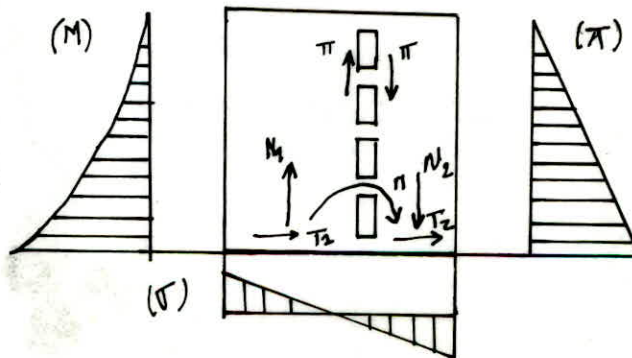
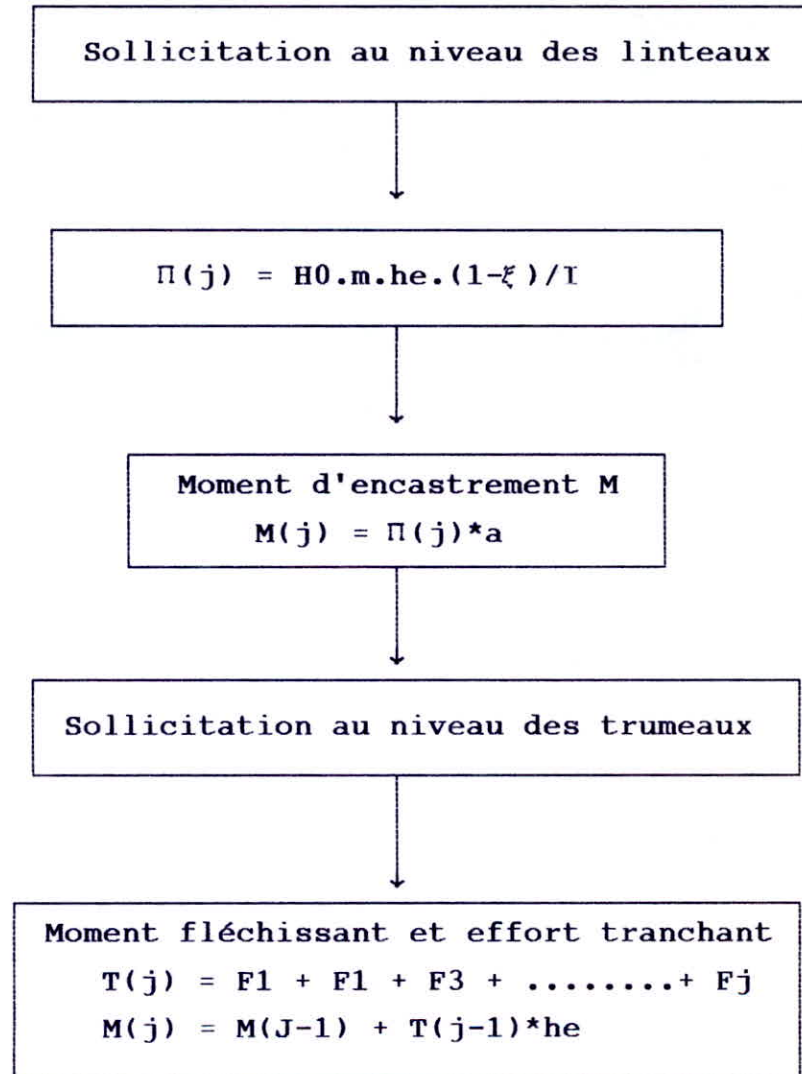


3/ VOILES A PETITES OUVERTURES $\alpha > 10$

Quand $\alpha > 10$ on peut considérer que pratiquement $\alpha \rightarrow$ infini

Les variations de ϕ et Π sont linéaires.

Le voile se comporte comme un mur plein ,l'influence des ouvertures ayant un caractère local.

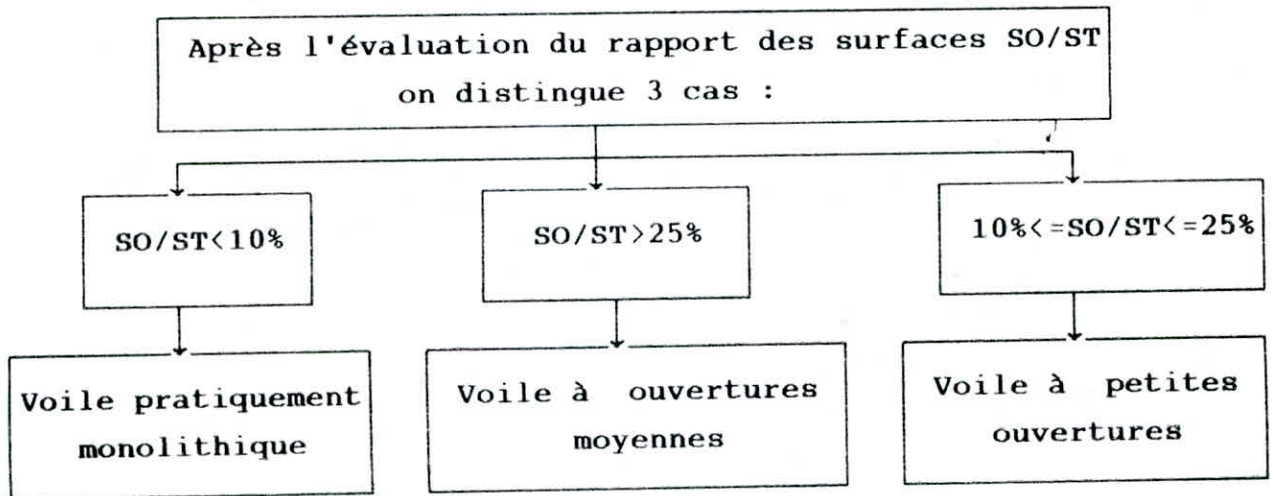


VOILES A PLUSIEURS FILES D'OUVERTURES

Dans le cas des voiles à plusieurs files d'ouvertures le degré de concordance α n'a plus de rapport avec la largeur des ouvertures. Il s'agit donc dans le cas des voiles à plusieurs files d'ouvertures de déterminer le rapport d'ouvertures :

$$\left\{ \begin{array}{l} S_o \quad \text{SURFACES TOTALE DES OUVERTURES} \\ \hline S_t \quad \text{SURFACES TOTALE DU VOILE} \end{array} \right\}$$

NB: les surfaces sont prises en consideration en elevation et non pas en coupe transversale



1/ VOILES A MOYENNES OUVERTURES

Calcul des inerties des différents linteaux
 $i_1 = e \cdot h_1^3 / 12, \dots, i(i) = e \cdot h(i)^3 / 12$

On calcule la somme:

$$R = i_1 \times (2c_1)^2 / (2a_1)^3 + i_2 \times (2c_2)^2 / (2a_2)^3 + \dots + i(i) \times 2c(i)^2 / 2a(i)^3$$

On calcule les inerties des différents trumeaux

$$I_1 = e \cdot l_1^3 / 12, \dots, I_i = e \cdot l(i)^3 / 12$$

On calcule la somme des inerties des trumeaux

$$\Sigma I(i) = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I(i) + \dots$$

On calcule la valeur de W

$$W = \sqrt{\frac{12 \times E'}{E \times h \times \Sigma I(i)} \times R}$$

$$\alpha = W \times Z$$

On détermine pour chaque niveau

$$\xi, \phi, \psi$$

On détermine l'effort tranchant T(j)

en chaque niveau ainsi que H0

$$H_0 = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_{n-1}$$

Sollicitations au niveau des linteaux

↓

Effort tranchant Π , à la section d'encastrement
des linteaux, en chaque niveau est :

$$\Pi_1(j) = H_0 * h_e * \frac{i_1 * 2c_1}{(2a_1)^3 * R} * \phi$$

$$\Pi_2(j) = H_0 * h_e * \frac{i_2 * 2c_2}{(2a_2)^3 * R} * \phi$$

De même on avalue Π_3, Π_4, \dots

↓

Moment d'encastrement (M)
en chaque niveau

$$M_1(j) = \Pi_1(j) * a_1$$

$$M_2(j) = \Pi_2(j) * a_2$$

↓

Sollicitations au niveau des trumeaux

↓

Effort tranchant (T) en chaque niveau

$$T_i(j) = T(j) * \frac{I(i)}{\Sigma I(i)}$$

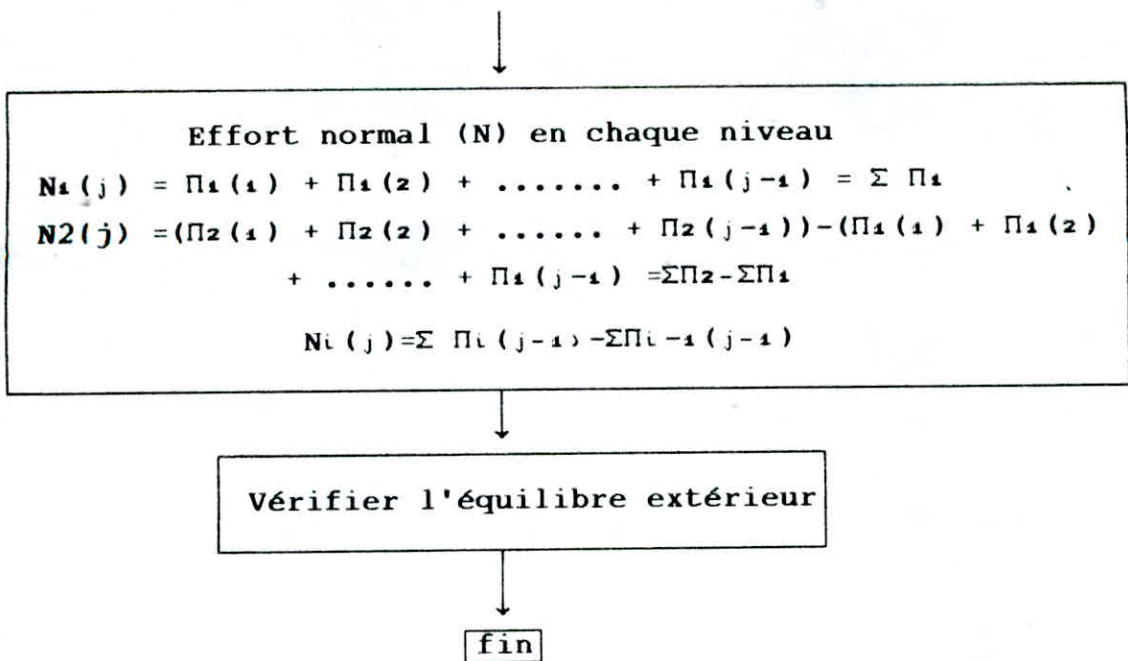
↓

Moment fléchissant en chaque niveau

$$M_1(j) = \frac{I_1}{\Sigma I(i)} * H_0 * Z * [(1-\xi)^2 / 2 - \psi]$$

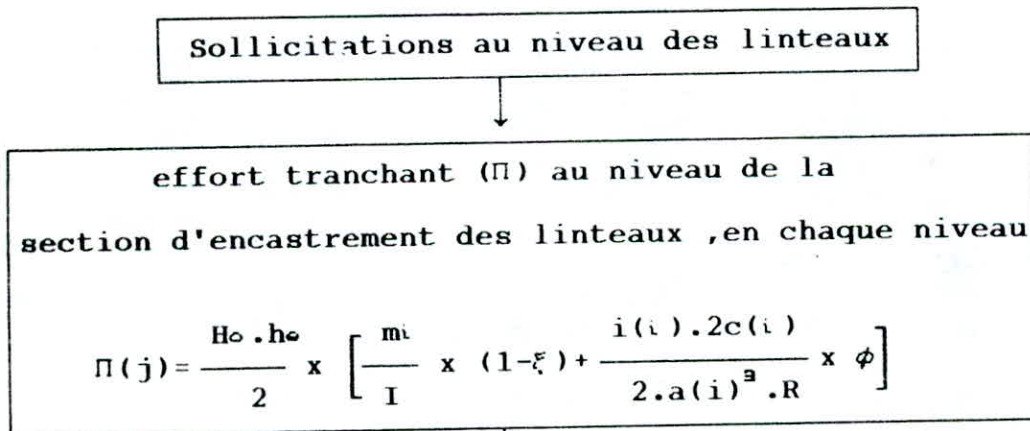
$$M_2(j) = \frac{I_2}{\Sigma I(i)} * H_0 * Z * [(1-\xi)^2 / 2 - \psi]$$

↓



3/ VOILES A PETITES OUVERTURES

Pour les petites ouvertures , il est conseillé d'effectuer deux évaluations de p , une première avec les formules du voile pratiquement monolithiques et une deuxième avec la relation du voile à ouvertures moyennes ,et d'utiliser dans l'étude une valeur intermédiaire.



Moment d'encastrement

$$M_i(j) = M_i(j) a_i$$

Sollicitations au niveau des trumeaux

Moment flechissant (M)

$$M_i(j) = \frac{I_i}{\sum I_i} \cdot H_0 \cdot Z \cdot ((1-\xi)^{2/2-\psi})$$

Effort tranchant (T)

$$T_i(j) = T(j) \cdot I_i / \sum I_i$$

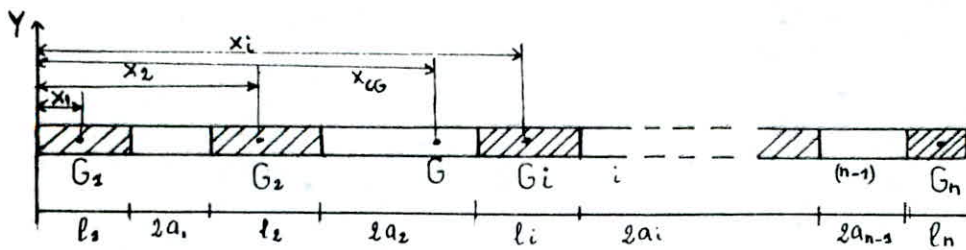
Effort normal

$$N_i(j) = \sum \Pi_i - \sum \Pi_{(i-1)}$$

Vérifier l'équilibre extérieur
à la base du voile

VOILES PRATIQUEMENT MONOLITHIQUES

DETERMINATION DES MOMENTS STATIQUES m_i



Le moment statique est calculé par rapport au cdg de l'ensemble des éléments

$$X_{cg} = \frac{l_1 x_1 + l_2 x_2 + l_3 x_3 + \dots + l_i x_i + \dots + l_n x_n}{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_i + \dots + l_n}$$

$$m_1 = l_1 \cdot e \cdot (X_{cg} - X_1)$$

$$m_2 = m_1 + l_2 \cdot e \cdot (X_{cg} - X_2)$$

⋮

$$m_i = (m_1 + m_2 + \dots + m_{i-1}) + l_i \cdot e \cdot (X_{cg} - X_i)$$

$$m_{(n-1)} = (m_1 + m_2 + \dots + m_{(n-2)}) + l_{(n-1)} \cdot e \cdot (X_{cg} - X_{n-1})$$

Moment d'inertie totale du voile

$$I = \left\{ \sum I_i + e \cdot l_1 (X_{cg} - X_1)^2 + e \cdot l_2 (X_{cg} - X_2)^2 + \dots + e \cdot l_n (X_{cg} - X_n) \right\}$$

On détermine pour chaque niveau

- * $\xi = z/Z$
- * $T(j); H_0 = F_1 + \dots + F_{n-1}$
- * Le moment fléchissant de console $M(j)$

Sollicitations au niveau
des linteaux

↓
Effort tranchant Π à la section d'encastrement
des linteaux en chaque niveau

$$\Pi_i(j) = \frac{H_0 \cdot m_i \cdot h_e}{I} (1 - \xi)$$

↓
Moment d'encastrement (M) au niveau
des linteaux de chaque niveau.

$$M_i(j) = \Pi_i(j) \cdot a(i)$$

↓
Sollicitations au niveau des
trumeaux

↓
Moment fléchissant M

On détermine le moment à chaque niveau
comme si le voile était plein

↓
Effort tranchant

On détermine $T(j)$ pour chaque niveau

$$H_0 = F_1 + \dots + F_{n-1}$$

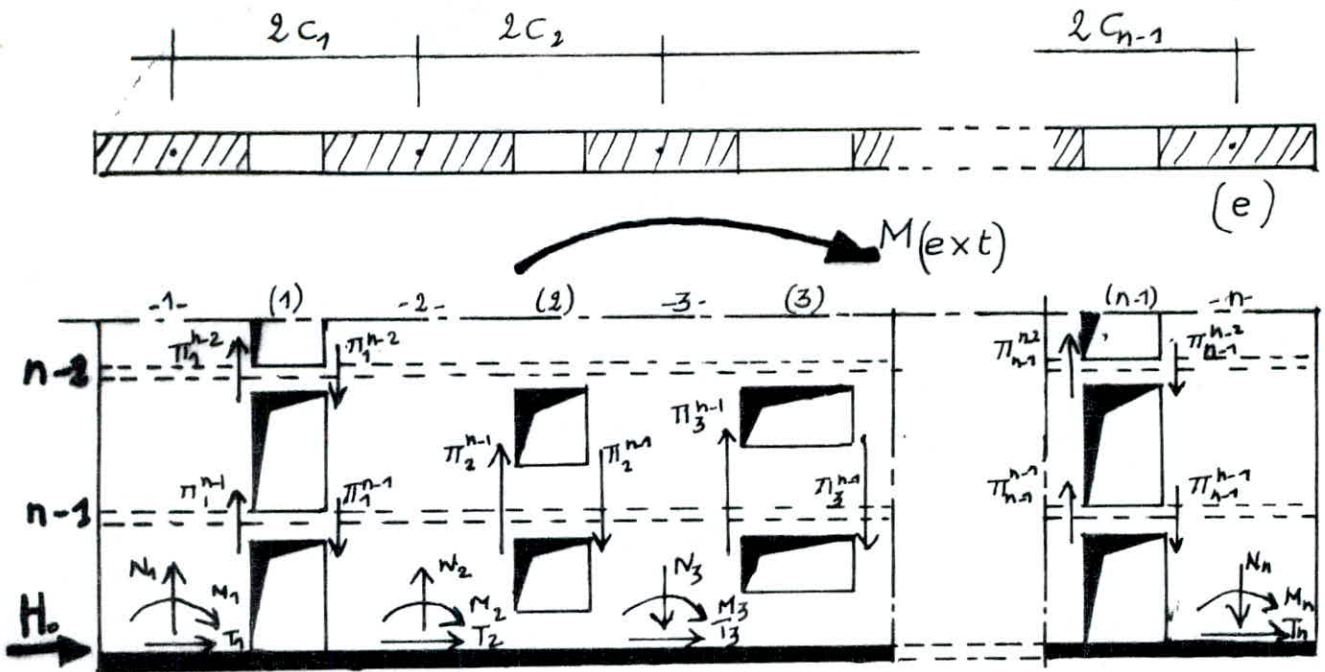
↓
Effort normal N

$$N_i(j) = \Sigma \Pi_i - \Sigma \Pi_{(i-1)}$$

↓
Inutile de vérifier
l'équilibre extérieure

VERIFICATION DE L'EQUILIBRE EXTERIEURE

Cas général (M.N.T.Π) ≠ 0



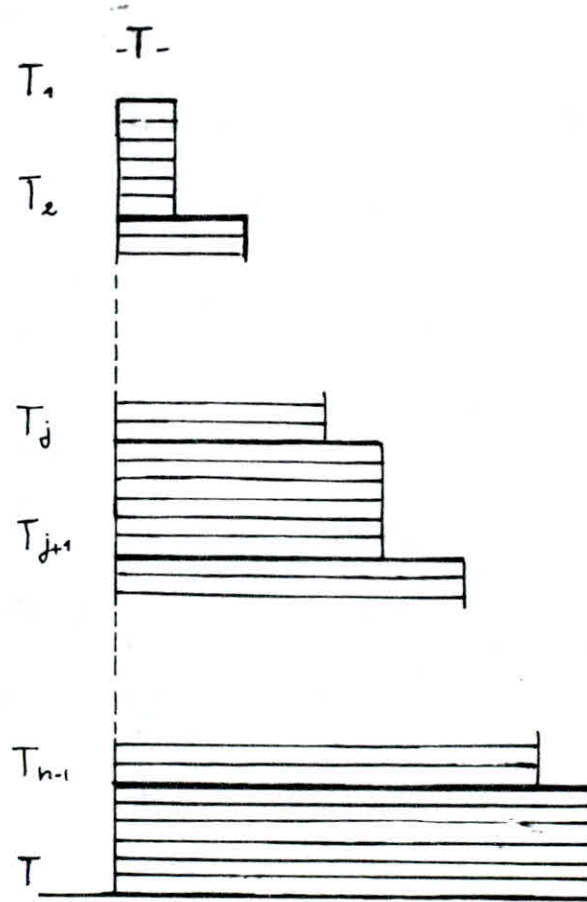
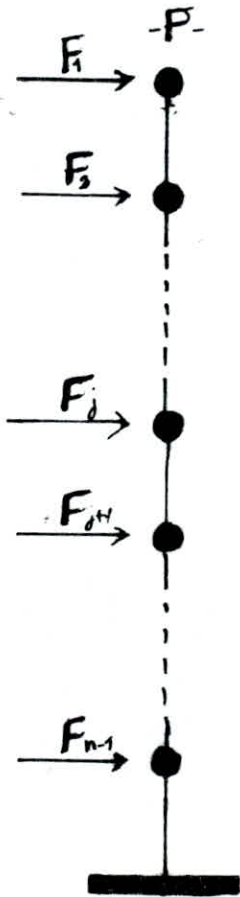
Equilibre extérieur à la base du voile (par rapport au point (e))

$$M_{int} = M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_n + N_1 (2C_1 + 2C_2 + \dots + 2C_{n-1}) + N_2 (2C_2 + 2C_3 + \dots + 2C_{n-1}) + N_3 (2C_3 + 2C_4 + \dots + 2C_{n-1}) + \dots + N_{n-1} \cdot 2C_{n-1}$$

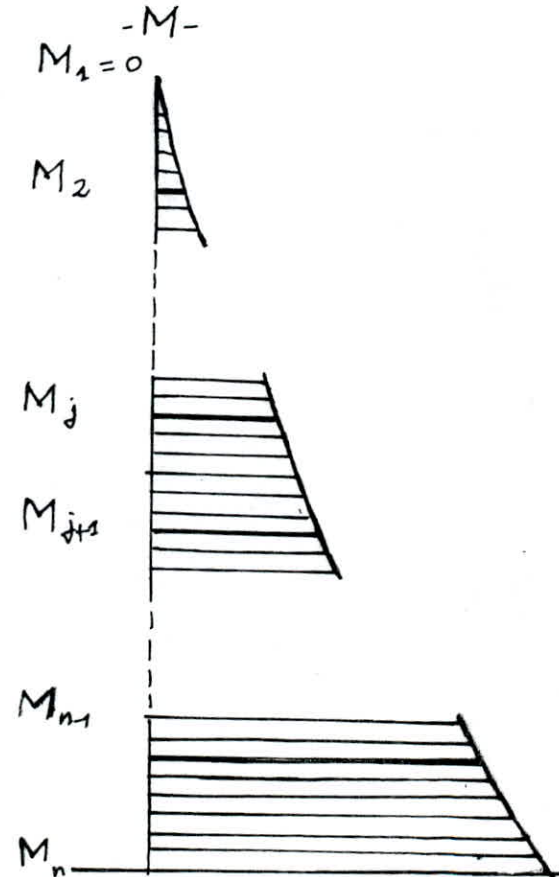
$$M_{ext} = h_0 \cdot (F_1 (n-1) + F_2 (n-2) + \dots + F_{n-2} (2) + F_{n-1})$$

MODELISATION DE LA STRUCTURE
 et
 DIAGRAMME DU MOMENT DE CONSOLE ET DE LEFFORT TRANCHANT

103



$$T_j = F_1 + F_2 + \dots + F_j$$



$$M_j = T_{j+1} h_e + M_{j-1}$$

VOILE A UNE FILE D'OUVERTURES					
VT2' -VT4'					
SOLLICITATIONS DANS LES LINTEAUX				SOLLICITATIONS DANS LES TRUMEAUX	
NIV	ξ	Π	$M=\Pi * a$	N	M
1	1	0	0	0	0
2	0.9387	0.7820	0.547	0.782	1.863
3	0.8775	1.5640	1.095	2.346	10.242
4	0.8163	2.3450	1.641	4.6910	22.791
5	0.7551	3.1260	2.188	7.8170	39.153
6	0.6938	3.9090	2.736	11.7260	59.160
7	0.6326	4.890	3.423	16.610	82.749
8	0.5714	5.471	3.830	22.087	109.908
9	0.5102	6.253	4.377	28.340	141.255
10	0.4489	7.035	4.924	35.375	176.910
11	0.3877	7.817	5.472	43.192	216.675
12	0.3265	8.598	6.020	51.79	260.334
13	0.2653	9.379	6.565	61.169	307.632
14	0.204	10.160	7.112	71.329	358.662
15	0.1428	10.943	7.660	82.272	412.764
16	0.0816	11.724	8.207	93.996	468.826
17	0	12.766	8.936	106.762	544.704

VOILE A UNE FILE D'OUVERTURES					
VT2 -VT4					
SOLLICITATIONS DANS LES LINTEAUX				SOLLICITATIONS DANS LES TRUMEAUX	
NIV	ξ	Π	$M=\Pi*a$	N	M
1	1	0	0	0	0
2	0.9387	0.7840	0.5488	0.784	1.869
3	0.8775	1.5670	1.0969	2.351	10.269
4	0.8163	2.3499	1.6449	4.7009	22.848
5	0.7551	3.1327	2.1929	7.8336	39.249
6	0.6938	3.9169	2.7418	11.7505	59.304
7	0.6326	4.698	3.2898	16.4503	82.950
8	0.5714	5.4826	3.8378	21.9329	110.175
9	0.5102	6.2655	4.3858	28.184	141.597
10	0.4489	7.0497	4.9350	35.248	177.333
11	0.3877	7.8325	5.4827	43.080	217.188
12	0.3265	8.6154	6.0308	51.696	260.943
13	0.2653	9.3983	6.5788	61.094	308.343
14	0.204	10.182	7.1274	71.276	359.481
15	0.1428	10.965	7.6755	82.241	413.694
16	0.0816	11.748	8.2236	93.989	469.860
17	0	12.792	8.9544	106.781	545.900

VOILE A DEUX FILES D'OUVERTURES

SOLLICITATIONS DANS LES LINTEAUX

VOILE VL2

NIV	ξ	ϕ	ψ	$\Pi 1$	$\Pi 2$	M1=M2	N1	N2	N3
1	1	0.12	0	0.455	0.455	0.4095	0	0	0
2	0.857	0.26	0.01	0.985	0.985	0.8865	0.455	0	-0.455
3	0.75	0.43	0.058	1.629	1.629	1.4661	1.44	0	-1.44
4	0.643	0.59	0.11	2.236	2.236	2.0124	3.069	0	-3.069
5	0.535	0.71	0.18	2.690	2.690	2.421	5.305	0	-5.305
6	0.428	0.81	0.26	3.069	3.069	2.762	7.995	0	-7.995
7	0.321	0.88	0.36	3.335	3.335	3.0015	11.064	0	-11.064
8	0.214	0.92	0.46	3.486	3.486	3.1374	14.399	0	-14.399
0	0.107	0.80	0.57	5.052	5.052	4.547	17.885	0	-17.885
1	0	0	0.61	0	0	0	22.937	0	-22.937

VOILE A DEUX FILES D'OUVERTURES

SOLLICITATIONS DANS LES LINTEAUX

VOILE VL8

NIV	ξ	ϕ	ψ	$\Pi 1$	$\Pi 2$	M1=M2	N1	N2	N3
1	1	0.12	0	0.372	0.372	0.3348	0	0	0
2	0.857	0.26	0.01	0.805	0.805	0.7245	0.372	0	-0.372
3	0.75	0.43	0.058	1.332	1.332	1.1988	1.177	0	-1.177
4	0.643	0.59	0.11	1.829	1.829	1.6461	2.509	0	-2.509
5	0.535	0.71	0.18	2.20	2.20	1.9800	4.338	0	-4.338
6	0.428	0.81	0.26	2.51	2.51	2.2590	6.538	0	-6.538
7	0.321	0.88	0.36	2.728	2.728	2.4552	9.048	0	-9.048
8	0.214	0.92	0.46	2.851	2.851	2.5659	11.776	0	-11.776
9	0.107	0.80	0.57	4.132	4.132	3.7188	14.627	0	-14.6270
10	0	0	0.61	0	0	0	18.759	0	-18.759

MOMENT FLECHISSANT DANS LES TRUMEAUX		
VOILE VL2		
TRUMEAU 1	TRUMEAU 2	TRUMEAU 3
0.000000	0.000000	0.000000
7.57E-03	4.99E-02	7.57E-03
-0.902294	-5.953554	-0.902294
-1.560902	-10.29920	-1.560902
-2.424811	-15.99949	-2.424811
-3.251901	-21.45683	-3.251901
-4.367424	-28.81732	-4.367424
-5.096765	-33.62968	-5.096765
-5.777229	-38.11955	-5.777229
-3.710000	-24.50000	-3.710000

EFFORT TRANCHANT DANS LES TRUMEAUX		
VOILE VL2		
TRUMEAU 1	TRUMEAU 2	TRUMEAU 3
0.153403	1.012193	0.153403
0.315762	2.083475	0.315762
0.476492	3.144014	0.476492
0.637572	4.206855	0.637572
0.798186	5.266627	0.798186
0.951241	6.276518	0.951241
1.081733	7.137534	1.081733
1.166634	7.697732	1.166634
1.204665	7.948670	1.204665
1.204665	7.948670	1.204665

VOILE A DEUX FILES D'OUVERTURES

SOLLICITATIONS DANS LES LINTEAUX

VOILE VL2

NIV	ξ	ϕ	ψ	$\Pi 1$	$\Pi 2$	M1=M2	N1	N2	N3
1	1	0.12	0	0.455	0.455	0.4095	0	0	0
2	0.857	0.26	0.01	0.985	0.985	0.8865	0.455	0	-0.455
3	0.75	0.43	0.058	1.629	1.629	1.4661	1.44	0	-1.44
4	0.643	0.59	0.11	2.236	2.236	2.0124	3.069	0	-3.069
5	0.535	0.71	0.18	2.690	2.690	2.421	5.305	0	-5.305
6	0.428	0.81	0.26	3.069	3.069	2.762	7.995	0	-7.995
7	0.321	0.88	0.36	3.335	3.335	3.0015	11.064	0	-11.064
8	0.214	0.92	0.46	3.486	3.486	3.1374	14.399	0	-14.399
0	0.107	0.80	0.57	5.052	5.052	4.547	17.885	0	-17.885
1	0	0	0.61	0	0	0	22.937	0	-22.937

VOILE A DEUX FILES D'OUVERTURES

SOLLICITATIONS DANS LES LINTEAUX

VOILE VL8

NIV	ξ	ϕ	ψ	$\Pi 1$	$\Pi 2$	M1-M2	N1	N2	N3
1	1	0.12	0	0.372	0.372	0.3348	0	0	0
2	0.857	0.26	0.01	0.805	0.805	0.7245	0.372	0	-0.372
3	0.75	0.43	0.058	1.332	1.332	1.1988	1.177	0	-1.177
4	0.643	0.59	0.11	1.829	1.829	1.6461	2.509	0	-2.509
5	0.535	0.71	0.18	2.20	2.20	1.9800	4.338	0	-4.338
6	0.428	0.81	0.26	2.51	2.51	2.2590	6.538	0	-6.538
7	0.321	0.88	0.36	2.728	2.728	2.4552	9.048	0	-9.048
8	0.214	0.92	0.46	2.851	2.851	2.5659	11.776	0	-11.776
9	0.107	0.80	0.57	4.132	4.132	3.7188	14.627	0	-14.6270
10	0	0	0.61	0	0	0	18.759	0	-18.759

EFFORT TRANCHANT DANS LES TRUMEAUX		
VOILE VL8		
TRUMEAU 1	TRUMEAU 2	TRUMEAU 3
0.1238626	0.817275	0.1238626
0.2550522	1.682896	0.2550522
0.3849625	2.540075	0.3849625
0.5152217	3.399557	0.5152217
0.6471092	4.269782	0.6471092
0.7732978	5.102405	0.7732978
0.8826225	5.823755	0.8826225
0.9535672	6.291866	0.9535672
0.9854342	6.502131	0.9854342
0.9854342	6.502131	0.9854342

MOMENT FLECHISSANT DANS LES TRUMEAUX		
VOILE VL8		
TRUMEAU 1	TRUMEAU 2	TRUMEAU 3
0.000000	0.000000	0.000000
6.19E-03	4.08E-02	6.19E-03
-0.738090	-4.870097	-0.738090
-1.276841	-8.424904	-1.276841
-1.983532	-13.08782	-1.983532
-2.660104	-17.55201	-2.660104
-3.572619	-23.57300	-3.572619
-4.169230	-27.50958	-4.169230
-4.725861	-31.18236	-4.725861
-3.037000	-20.02300	-3.037000

VOILES A 4FILES D'OUVERTURES

ALPHA=30.26°

$$\Pi_1 = H_0 * H_e * (M_i * (1 - \xi) / I + I_i * C(i) * \phi / AI^3 * R)$$

VOILE VL3

NIV	ξ	ϕ	ψ	$\Pi_1 = \Pi_4$	$M_1 = M_4$	$\Pi_2 = \Pi_3$	$M_2 = M_3$
49	1	0.068	0	2.566	1.283	0.757	0.53
46	0.938	0.14	0.005	6.549	3.274	3.428	2.4
43	0.8775	0.22	0.015	10.83	5.415	6.186	4.33
40	0.8163	0.34	0.04	16.626	8.313	9.39	6.573
37	0.7551	0.44	0.055	21.664	10.832	12.369	8.658
34	0.6938	0.52	0.08	25.950	12.975	15.129	10.59
31	0.6326	0.6	0.11	30.234	15.117	17.886	12.52
28	0.5714	0.67	0.15	34.140	17.07	20.53	14.371
25	0.5102	0.74	0.2	38.05	19.025	23.178	16.224
22	0.4489	0.8	0.25	41.50	20.8	25.715	18
19	0.3877	0.84	0.29	44.352	22.176	28.027	19.62
16	0.3265	0.9	0.36	47.891	23.945	30.56	21.392
13	0.2653	0.93	0.43	50.278	25.139	32.76	22.932
10	0.204	0.95	0.47	52.30	26.15	34.854	24.398
7	0.1428	0.96	0.53	53.943	26.971	36.831	25.78
4	0.0816	0.9	0.584	70.59	35.295	50.705	35.493
0	0	0	0.64	-	-	-	-

VOILES A 4FILES D'OUVERTURES

ALPHA=30.26°

$$\Pi_i = H_0 \cdot H_e \cdot (M_i \cdot (1 - \xi) / I + I_i \cdot C(i) \cdot \phi / AI^3 \cdot R)$$

VOILE VL7

NIV	ξ	ϕ	ψ	$\Pi_1 = \Pi_4$	$M_1 = M_4$	$\Pi_2 = \Pi_3$	$M_2 = M_3$
49	1	0.068	0	2.225	1.112	0.656	0.459
46	0.9387	0.14	0.005	5.679	2.8395	2.973	2.08
43	0.8775	0.22	0.015	9.392	4.696	5.364	3.755
40	0.8163	0.34	0.04	14.418	6.209	8.143	5.70
37	0.7551	0.44	0.055	18.788	9.394	10.727	7.509
34	0.6938	0.52	0.08	22.50	11.25	13.12	9.184
31	0.6326	0.6	0.11	26.22	13.11	15.51	10.858
28	0.5714	0.67	0.15	29.22	14.803	17.804	12.463
25	0.5102	0.74	0.2	32.464	16.499	20.10	14.07
22	0.4489	0.8	0.25	36.08	18.04	22.30	15.61
19	0.3877	0.84	0.29	38.464	19.232	24.306	17.014
16	0.3265	0.9	0.36	41.533	20.766	26.50	18.55
13	0.2653	0.93	0.43	43.603	21.80	28.41	19.887
10	0.204	0.95	0.47	45.356	22.678	30.227	21.158
7	0.1428	0.96	0.53	46.78	23.39	31.94	22.36
4	0.0816	0.9	0.584	61.218	30.609	43.973	30.78
0	0	0.64	-	-	-	-	-

SOLLICITATIONS AU NIVEAU DES TRUPEAUX: EFFORT NORMAL

VOILE VL3						VOILE VL7				
NIV	N1	N2	N3	N4	N5	N1	N2	N3	N4	N5
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2.56	-1.80	0	1.80	-1.80	2.22	-1.56	0	1.56	-1.56
3	9.11	-4.93	0	4.93	-4.93	7.90	-4.27	0	4.27	-4.27
4	19.94	-9.57	0	9.57	-9.57	17.29	-8.30	0	8.30	-8.30
5	36.57	-16.81	0	16.81	-16.8	31.71	-14.57	0	14.57	-14.57
6	58.23	-26.10	0	26.10	-26.15	50.50	-22.63	0	22.63	-22.63
7	84.18	-36.92	0	36.92	-36.96	73.00	-32.01	0	32.01	-32.01
8	114.41	-49.27	0	49.27	-49.27	99.22	-42.72	0	42.72	-42.72
9	148.55	-62.88	0	62.88	-62.84	128.82	-54.53	0	54.53	-54.53
10	186.60	-77.75	0	77.75	-77.76	161.8	-67.4	0	67.43	-67.43
11	228.20	-93.64	0	93.64	-93.61	197.90	-81.2	0	81.21	-81.21
12	272.56	-109.96	0	109.96	-109.96	236.37	-95.36	0	95.36	-95.36
13	320.45	-127.29	0	127.29	-127.27	277.90	-110.40	0	110.40	-110.40
14	370.73	-144.81	0	144.81	-144.85	321.50	-125.59	0	125.59	-125.59
15	423.03	-162.26	0	162.26	-162.21	366.86	-140.72	0	140.72	-140.72
16	476.97	-179.37	0	179.37	-179.33	413.64	-155.56	0	155.56	-155.56
17	547.56	-199.25	0	199.25	-199.28	474.86	-172.80	0	172.80	-172.80

EFFORT TRANCHANT DANS LES TRUMEAUX

VOILE VL3

TRUMEAU 1	TRUMEAU 2	TRUMEAU 3	TRUMEAU 4	TRUMEAU 5
4.953128	5.919604	0.2455345	5.919604	4.953128
12.01242	14.35634	0.5954751	14.35634	12.01242
16.35337	19.54431	0.8106625	19.54431	16.35337
20.83237	24.89728	1.032694	24.89728	20.83237
25.69631	30.71029	1.273807	30.71029	25.69631
30.90869	36.93972	1.532193	36.93972	30.90869
36.40958	43.51398	1.804881	43.51398	36.40958
42.56411	50.86941	2.109971	50.86941	42.56411
49.08082	58.65768	2.433015	58.65768	49.08082
55.53400	66.37005	2.752910	66.37005	55.53400
62.00071	74.09856	3.073475	74.09856	62.00071
68.44691	81.80257	3.393023	81.80257	68.44691
74.66000	89.22800	3.701016	89.22800	74.66000
79.95639	95.55783	3.963566	95.55783	79.95639
83.39594	99.66853	4.134070	99.66853	83.39594
84.94196	101.5162	4.210709	101.5162	84.94196
84.94196	101.5162	4.210709	101.5162	84.94196

MOMENT FLECHISSANT DANS LES TRUMEAUX				
VOILE VL3				
TRUMEAU 1	TRUMEAU 2	TRUMEAU 3	TRUMEAU 4	TRUMEAU 5
0.000000	0.000000	0.0000000	0.000000	0.000000
-12.99074	-15.52555	-0.6439717	-15.52555	-12.99074
-31.20316	-37.29166	-1.546791	-37.29166	-31.20316
-96.25880	-115.0412	-4.771703	-115.0412	-96.25880
-104.1038	-124.4170	-5.160594	-124.4170	-104.1038
-137.8538	-164.7525	-6.833634	-164.7525	-137.8538
-176.9275	-211.4504	-8.770580	-211.4504	-176.9275
-242.0336	-289.2603	-11.99799	-289.2603	-242.0336
-333.1722	-398.1823	-16.51588	-398.1823	-333.1722
-408.4922	-488.1990	-20.24961	-488.1990	-408.4922
-426.8055	-510.0857	-21.15743	-510.0857	-426.8055
-554.3945	-662.5704	-27.48223	-662.5704	-554.3945
-666.3942	-796.4240	-33.03423	-796.4240	-666.3942
-637.6089	-762.0220	-31.60730	-762.0220	-637.6089
-676.7833	-808.8403	-33.54923	-808.8403	-676.7833
-675.3961	-807.1823	-33.48046	-807.1823	-675.3961
-582.7000	-696.4000	-28.88600	-696.4000	-582.7000

EFFORT TRANCHANT DANS LES TRUMEAUX

VOILE VL7

TRUMEAU 1	TRUMEAU 2	TRUMEAU 3	TRUMEAU 4	TRUMEAU 5
4.302426	5.141935	0.213278	5.141935	4.302426
10.34727	12.36627	0.512930	12.36627	10.34727
14.06453	16.80887	0.697201	16.80887	14.06453
17.90005	21.39279	0.887334	21.39279	17.90005
22.06508	26.37052	1.093801	26.37052	22.06508
26.52855	31.70492	1.315063	31.70492	26.52855
31.23910	37.33461	1.548572	37.33461	31.23910
36.57401	43.71049	1.813032	43.71049	36.57401
42.22266	50.46133	2.093045	50.46133	42.22266
47.81635	57.14649	2.370333	57.14649	47.81635
53.42176	63.84565	2.648202	63.84565	53.42176
59.00937	70.52354	2.925189	70.52354	59.00937
64.52964	77.12095	3.198838	77.12095	64.52964
69.23546	82.74500	3.432113	82.74500	69.23546
72.29144	86.39726	3.583602	86.39726	72.29144
73.66515	88.03901	3.651699	88.03901	73.66515
73.66515	88.03901	3.651699	88.03901	73.66515

MOMENT FLECHISSANT DANS LES TRUMEAUX

VOILE VL7

TRUMEAU 1	TRUMEAU 2	TRUMEAU 3	TRUMEAU 4	TRUMEAU 5
0.00000	0.00000	0.000000	0.00000	0.00000
-11.26610	-13.46439	-0.558478	-13.46439	-11.26610
-27.06066	-32.34085	-1.341440	-32.34085	-27.06066
-83.47958	-99.76848	-4.138216	-99.76848	-83.47958
-90.28311	-107.8995	-4.475478	-107.8995	-90.28311
-119.5525	-142.8801	-5.926407	-142.8801	-119.5525
-153.4388	-183.3784	-7.606206	-183.3784	-153.4388
-209.9015	-250.8584	-10.40515	-250.8584	-209.9015
-288.9406	-345.3200	-14.32325	-345.3200	-288.9406
-354.2612	-423.3862	-17.56129	-423.3862	-354.2612
-370.1432	-442.3671	-18.34859	-442.3671	-370.1432
-480.7937	-574.6082	-23.83371	-574.6082	-480.7937
-577.9244	-690.6915	-28.64863	-690.6915	-577.9244
-552.9606	-660.8567	-27.41114	-660.8567	-552.9606
-586.9343	-701.4594	-29.09527	-701.4594	-586.9343
-585.7311	-700.0215	-29.03563	-700.0215	-585.7311
-505.343	-603.947	-25.05000	-603.9470	-505.3430

TABLEAU DONNANT LES EFFORTS HORIZONTEAUX CUMULES POUR CHAQUE VOIE

SENS LONGITUDINAL

NIV	VL1-VL1'	VL9-VL9'	VL2-VL2'	VL8-VL8'	VL3	VL7
T	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16	0.000	0.000	0.000	0.000	21.991	19.102
15	0.000	0.000	0.000	0.000	53.333	45.940
14	0.000	0.000	0.000	0.000	72.606	62.444
13	0.000	0.000	0.000	0.000	92.492	79.473
12	0.000	0.000	0.000	0.000	114.08	97.965
11	0.000	0.000	0.000	0.000	137.229	117.782
10	0.000	0.000	0.000	0.000	161.652	138.696
9	0.000	0.630	1.319	1.065	188.977	162.382
8	0.000	0.000	2.715	2.193	217.910	187.461
7	0.000	0.000	4.097	3.310	246.561	212.296
6	0.000	0.000	5.482	4.430	275.272	237.183
5	0.000	0.000	6.863	5.546	303.892	261.991
4	1.887	1.494	8.179	6.649	331.477	286.500
3	3.495	2.768	9.301	7.589	354.992	307.393
2	4.539	3.595	10.030	8.199	370.263	320.961
1	5.008	3.967	10.358	8.473	377.127	327.060
0	5.008	3.967	10.358	8.473	377.127	327.060

NIV	VL4-VL4'	VL6-VL6'	VL5	VL5'	VL5"	VL4"	VL6"
T	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	16.491	14.220
17	0.000	0.000	0.000	0.000	0.795	29.051	25.000
16	0.331	0.309	1.061	1.246	0.932	31.035	6.856
15	0.799	0.744	2.552	2.996	1.124	33.842	29.464
14	1.087	1.011	3.469	4.072	1.242	35.568	31.068
13	1.384	1.287	4.415	5.183	1.364	37.349	32.723
12	1.706	1.587	5.442	6.389	1.496	39.283	34.520
11	2.052	1.908	6.543	7.68	1.638	41.356	36.446
10	2.417	2.247	7.705	9.045	1.788	43.544	38.478
9	2.827	2.63	9.021	10.590	1.958	46.007	40.780
8	3.262	3.037	10.414	12.226	2.138	48.615	43.217
7	3.692	3.439	11.794	13.846	2.316	51.197	45.631
6	4.123	3.842	13.176	15.469	2.494	53.785	48.050
5	4.553	4.244	14.554	17.087	2.672	56.364	50.461
4	4.473	4.641	15.915	18.685	2.848	58.882	52.843
3	5.331	4.979	17.076	20.048	2.998	61.028	54.873
2	5.563	5.199	17.830	20.933	3.095	62.422	56.192
1	5.667	5.298	18.169	21.331	3.139	63.049	56.785
0	5.667	5.298	18.169	21.331	3.139	63.049	56.785

CHAPITRE IX

**ETUDE DES VOILES SOUS
CHARGES VERTICALES**

Etude des voiles sous charges verticales et combinaisons

Distribution des charges verticales aux différents trumeaux

La charge verticale (effort normal) revenant au trumeau est donnée par l'expression suivante:

$$N_i = \frac{N l_i}{L}$$

où

N : charge verticale totale revenant au voile

l_i : longueur du trumeau plus la moitié de la longueur du linteau

L : longueur total du voile.

Combinaisons d'actions

Les combinaisons des actions sismiques données par le RPA sont les suivantes : (article 3-1-13 du RPA 88)

$$G + Q + E \quad \text{et} \quad 0.8G + E$$

avec

G : charge permanente

Q : surcharge d'exploitation non pondérée

E : effet du seisme

D'où les combinaisons :

1- Efforts axiaux : $N_G + N_Q + N_E$

. $0.8N_G + N_Q$

2- Moment : $M_G = 0$; $M_Q = 0$; $M_E \neq 0$

3- Effort tranchant : $V_G = 0$; $V_Q = 0$; $V_E \neq 0$

VOILES		TABLEAUX DONNANT LES COMBINAISONS DES EFFORTS ET MOMENTS							
		NI	NG(t)	NQ (t)	NE (t)	G+Q+E		0.8G+E	
						N (t)	M (t.m)	N (t)	M (t.m)
VT 3	1	710.686	58.832	0	769.518	13944.255	568.549	13944.215	
	2	589.296	48.692	0	637.988	9415.533	471.437	9415.533	
	3	477.921	38.552	0	516.473	5920.137	382.337	5920.137	
	4	366.546	28.412	0	394.958	3228.243	293.237	3228.243	
	5	255.171	18.272	0	273.443	1358.154	240.137	1358.154	
	6	143.796	8.132	0	151.928	251.916	115.037	251.916	
	7	67.227	3.222	0	70.449	39.411	53.781	39.411	
VT 3"	1	386.680	-	0	386.680	7793.401	309.344	7793.401	
	2	324.950	-	0	324.950	5256.464	259.960	5256.464	
	3	269.570	-	0	269.570	3299.510	215.656	3299.510	
	4	214.190	-	0	214.190	1794.095	171.352	1794.095	
	5	158.810	-	0	158.810	750.442	127.048	750.442	
	6	103.430	6.160	0	109.590	135.907	82.744	135.907	
	7	66.512	4.772	0	71.284	21.091	53.209	21.091	
VL 7	1	391.479	48.138	474.861	914.478	-505.343	788.044	-505.343	
		455.539	56.015	-172.808	383.746	-603.947	191.623	-603.947	
		227.769	28.007	0	255.776	-25.05	182.215	-25.05	
		455.539	56.015	172.808	684.362	-603.947	537.239	-603.947	
		391.479	48.138	-172.808	266.809	-505.343	140.375	-505.343	
	2	312.118	38.089	321.507	671.714	-552.960	571.201	-552.960	
		363.192	44.322	-125.594	281.92	-660.857	164.959	-660.857	
		181.596	22.161	0	203.757	-27.411	145.277	-27.411	
		363.192	44.322	125.594	533.108	-660.857	416.147	-660.857	
		312.118	38.089	125.594	224.613	-552.960	124.081	-552.960	
	3	237.818	28.041	197.907	463.766	-370.143	388.161	-370.143	
		276.734	32.629	-81.21	228.153	-442.367	140.177	-442.367	
		138.367	16.314	0	154.681	-18.348	110.693	-18.348	
		276.437	32.629	81.21	390.573	-442.367	302.597	-442.367	
		237.818	28.041	-81.21	184.649	-370.143	109.044	-370.143	

	4	163.518	17.992	99.222	280.732	-209.901	230.036	-209.901
		190.275	20.936	-42.729	168.482	-250.858	109.491	-250.858
		95.138	10.468	0	105.606	-10.405	76.110	-10.405
		190.275	20.936	42.729	253.94	-205.858	194.949	-250.858
		163.518	17.992	-42.729	138.781	-209.901	88.085	-209.901
	5	102.736	10.459	31.714	144.909	-90.283	113.903	-90.283
		119.548	12.170	-14.578	117.140	-107.899	81.060	-107.899
		59.774	6.085	0	65.859	-4.475	47.819	-4.475
		119.548	12.170	14.578	146.296	-107.899	110.216	-107.899
		102.736	10.459	-14.578	98.617	-90.283	67.611	-90.283
	6	41.955	4.183	2.225	48.363	-11.266	35.789	-11.266
		48.820	4.868	-1.569	52.119	-13.464	37.487	-13.464
		24.41	2.434	0	26.844	-0.558	19.528	-0.558
		48.820	4.868	1.569	55.257	-13.464	40.625	-13.464
		41.955	4.183	-1.569	44.569	-11.266	31.995	-11.266
VL5"	1	296.31	-	0	296.315	105.250	296.315	105.250
	2	192.67	-	0	192.675	74.415	192.675	74.415
	3	154.14	-	0	154.14	50.373	154.14	50.375
	4	115.60	-	0	115.605	31.137	115.605	31.137
	5	77.07	-	0	77.07	16.371	77.07	16.371
	6	38.53	-	0	38.535	5.181	38.535	5.181
	7	12.84	-	0	12.845	2.385	12.845	2.385
VT2 - VT4	1	163.76	9.639	106.78	280.185	545.9	237.79	545.9
	2	132.04	7.938	71.27	211.26	359.481	176.91	359.481
	3	103.83	6.237	43.08	153.151	217.188	126.14	217.188
	4	75.62	4.536	21.93	102.091	110.175	82.43	110.175
	5	47.41	2.835	7.83	58.08	39.249	45.76	39.249
	6	19.19	1.134	0.78	21.116	1.869	16.14	1.869
VT2'	1	163.76	9.639	8.93	182.34	544.704	139.94	544.704
	2	132.04	7.938	7.11	147.096	358.662	112.75	358.662
	3	103.83	6.237	5.47	115.543	216.675	88.53	216.675

VT 4'	4	75.62	4.536	3.83	83.988	109.908	64.32	109.908
	5	47.41	2.835	2.18	52.433	39.153	52.43	39.153
	6	19.19	1.134	0.54	20.879	1.863	15.90	1.863
VT 3'	1	710.68	58.832	0	769.518	13843.098	568.54	13843.098
	2	589.29	48.692	0	637.988	9336.83	471.43	9336.83
	3	477.92	38.552	0	516.473	5860.766	382.33	5860.766
	4	366.54	28.412	0	394.958	3186.761	293.23	3186.761
	5	255.17	18.272	0	273.443	1332.977	204.13	1332.977
	6	143.79	8.132	0	151.928	241.406	115.03	241.406
	7	67.22	3.222	0	70.449	37.463	53.78	37.463
VL 9	1	158.14	12.348	0	170.488	39.439	126.51	39.439
	2	74.58	6.174	0	80.754	12.786	59.66	12.786
VL 8'	1	94.59	10.237	18.75	123.594	-3.037	94.43	-3.037
		181.62	19.656	0	201.284	-20.023	145.30	-20.023
		94.59	10.237	-18.75	86.076	-3.037	56.91	-3.037
VL 8 - VL 8'	2	56.82	5.512	9.04	71.389	-3.572	54.51	-3.572
		109.11	10.584	0	119.696	-23.573	87.28	-23.573
		56.82	5.512	-9.04	53.293	-3.572	36.41	-3.572
	3	27	2.362	2.50	31.871	-1.277	24.10	-1.277
		51.84	4.536	0	56.381	-8.425	41.47	-8.425
		27	2.362	-2.50	26.853	-1.277	19.09	-1.277
VL 6 - VL 6'	1	761.47	133.834	0	895.304	144.507	609.17	144.507
	2	621.26	109.687	0	730.949	92.781	497.01	92.781
	3	486.57	85.54	0	572.114	54.6	389.25	54.60
	4	351.88	61.393	0	413.279	27.279	281.50	27.279
	5	217.19	37.246	0	254.444	10.053	173.75	10.053
	6	82.51	13.099	0	95.609	0.927	66.01	0.927
VL 6"	1	1277.79	184.9	0	1462.693	2204.629	1022.23	2204.629
	2	1047.35	152.50	0	1199.854	1644.294	837.88	1644.294
	3	828.66	120.114	0	948.774	1190.232	662.92	1190.232
	4	609.96	87.723	0	697.689	801.348	487.97	801.348

	5	391.27	55.332	0	446.604	473.016	313.02	473.016	
	6	172.57	22.941	0	195.519	193.251	138.06	193.251	
	7	53.96	2.694	0	56.657	37.683	43.17	37.683	
VL1-1'	1	158.14	12.348	0	170.488	49.795	126.51	49.795	
	2	74.58	6.174	0	80.754	16.146	59.66	16.146	
VL2	1	94.598	10.237	22.93	127.772	-3.71	98.61	-3.71	
		181.628	19.656	0	201.284	-24.5	145.30	-24.5	
		94.598	10.237	-22.93	81.898	-3.71	52.74	-3.71	
	2	56.829	5.512	11.06	73.405	-4.367	56.52	-4.367	
		109.112	10.584	0	119.696	-28.817	87.28	-28.817	
		56.829	5.512	-11.06	51.277	-4.367	34.39	-4.367	
	3	27	2.362	3.06	32.431	-1.561	24.66	-1.561	
		51.845	4.536	0	56.381	-10.299	41.47	-10.299	
		27	2.362	-3.06	26.293	-1.561	18.53	-1.561	
	VL3	1	391.479	48.138	547.56	987.18	-582.70	860.74	-582.70
			455.539	56.015	-199.25	312.296	-696.4	165.17	-696.4
			227.769	28.007	0	255.776	-28.886	182.21	-28.886
455.539			56.015	199.25	710.812	-696.4	563.68	-696.4	
391.479			48.138	-199.25	240.375	-582.70	113.92	-582.70	
2		312.118	38.089	370.73	720.937	-637.609	620.42	-637.609	
		363.192	44.322	-144.81	262.699	-762.022	145.73	-762.022	
		181.596	22.161	0	203.757	-31.607	145.27	-31.607	
		363.192	44.322	144.81	552.329	-762.022	435.37	-762.022	
		312.118	38.089	-144.81	205.392	-637.609	104.87	-637.609	
3		237.818	28.041	228.20	494.068	-426.805	418.46	-426.805	
		276.734	32.629	-93.64	215.722	-510.086	127.74	-510.086	
		138.367	16.314	0	154.681	-21.157	110.69	-21.157	
		276.734	32.629	93.64	403.004	-510.086	315.02	-510.086	
		237.818	28.041	-93.64	172.22	-426.805	96.61	-426.805	
		163.518	17.992	114.41	295.929	-242.033	245.23	-242.033	
		190.275	20.936	-49.27	161.937	-289.260	102.94	-289.260	

	4	95.138	10.468	0	105.606	-11.998	76.11	-11.998	
		190.275	20.936	49.27	260.485	-289.260	201.49	-289.260	
		163.518	17.992	-49.27	132.236	-242.033	81.54	-242.033	
	5	102.736	10.459	36.571	149.766	-104.104	118.76	-104.104	
		119.548	12.170	-16.81	114.908	-124.417	78.82	-124.417	
		59.774	6.085	0	65.859	-5.16	47.81	-5.16	
		119.548	12.170	16.81	148.528	-124.417	112.44	-124.417	
		102.736	10.459	-16.81	130	-104.104	65.38	-104.104	
	6	41.955	4.183	2.566	48.704	-12.991	36.13	-12.991	
		48.820	4.868	-1.809	51.879	-15.525	37.24	-15.525	
		24.41	2.434	0	21.976	-0.644	19.52	-0.644	
		48.820	4.868	1.809	55.497	-15.525	40.865	-15.525	
		41.955	4.183	-1.809	44.329	-12.991	31.755	-12.991	
	VL 4 - VL 4'	1	761.47	133.834	0	895.304	154.968	609.17	154.968
		2	621.262	109.687	0	730.949	99.618	497.01	99.618
3		486.574	85.54	0	572.114	58.671	389.25	58.671	
4		351.886	61.393	0	413.279	29.328	281.50	29.328	
5		217.198	37.246	0	254.444	10.803	173.75	10.803	
6		82.51	13.099	0	95.609	0.993	66.01	0.993	
VL 4''	1	1277.79	184.9	0	1462.693	2483.881	1022.23	2483.881	
	2	1047.35	152.50	0	1199.854	1861.335	837.88	1861.335	
	3	828.66	120.114	0	948.774	1354.242	662.92	1354.242	
	4	609.966	87.720	0	697.689	916.785	487.97	916.785	
	5	391.272	55.332	0	446.604	544.236	313.02	544.236	
	6	172.578	22.941	0	195.519	223.959	138.06	223.959	
	7	53.963	2.694	0	56.657	43.701	43.17	43.701	
VL 5	1	886.085	120.813	0	1006.898	495.577	708.86	495.577	
	2	723.555	99.93	0	823.485	318.183	578.84	318.183	
	3	570.045	79.053	0	649.098	187.248	456.03	187.248	
	4	416.535	58.173	0	474.708	93.561	333.23	93.561	
	5	263.025	37.293	0	300.318	34.491	210.42	34.491	

	6	109.515	16.413	0	125.928	3.183	87.61	3.183
VL 5'	1	825.895	120.813	0	946.708	581.812	660.71	581.812
	2	723.555	99.93	0	823.485	373.545	578.84	373.545
	3	570.045	79.053	0	649.098	219.822	456.03	219.822
	4	416.535	58.173	0	474.708	109.836	333.23	109.836
	5	263.025	37.293	0	300.318	40.491	210.42	40.491
	6	109.515	16.413	0	125.928	3.738	87.61	3.738

CHAPITRE X

FERRAILLAGE DES VOILES

FERRAILLAGE DES VOILES

Les voiles seront calculés en flexion composée avec effort tranchant, chaque voile sera soumis à un moment fléchissant (M) et à un effort normal (N).

Le calcul des voiles se fera sous les sollicitations citées précédemment (d'après RPA 88)

$$\left\{ \begin{array}{l} G+Q+E \\ \text{et} \\ 0.8G+E \end{array} \right.$$

FERRAILLAGE DES TRUMEAUX

Les trumeaux seront calculés en flexion composée avec effort tranchant, le calcul se fera en bandes verticales de largeur d:

$$d \leq \min(h_e/2 ; 2l'/3)$$

l' : étant la longueur de la zone comprimée

On disposera les ferraillasses suivants:

- Des aciers verticaux
- Des aciers horizontaux

Aciers verticaux

Lorsqu'une partie du voile est tendue sous l'action des forces verticales et horizontales, l'effort de traction doit être pris en totalité par les armatures, le pourcentage minimum des armatures verticales sur toute la zone tendue est de 50%

Il est possible de concentrer des armatures de traction à l'extrémité du voile ou du trumeau; la section totale d'armature verticales de la zone tendue devant rester au moins égale à 50%

de la section horizontale du béton tendu.

Les barres verticales des zones extrêmes devraient être ligaturées avec des cadres horizontaux, dont l'espacement ne doit pas être supérieur à l'épaisseur du voile. Si des efforts importants de compression agissent sur l'extrémité, les barres verticales doivent respecter les conditions imposées au poteaux.

Les barres verticales du dernier niveau doivent être munies de crochets à la partie supérieure.

Toutes les autres barres n'ont pas de crochets (jonctions par recouvrement).

A chaque extrémité du voile, (trumeau) l'espacement des barres doit être réduit de moitié sur 1/10 de la largeur du voile. Cet espacement doit être au plus égale à 15 Cm.

Le pourcentage minimum d'armatures longitudinales des trumeaux, dans chaque direction, est donné comme suit:

- Globalement dans la section du voile : 0.15 %
- En zone courante : 0.10 %

Aciers horizontaux

Les barres horizontales doivent être munies de crochets à 135° ayant une longueur de 10ϕ . Dans le cas où il existe des talons de rigidité, les barres horizontales devront être ancrées sans crochets si les dimension des talons permettent la réalisation d'un ancrage droit.

Règles communes:

L'espacement des barres horizontales et verticales doit être :

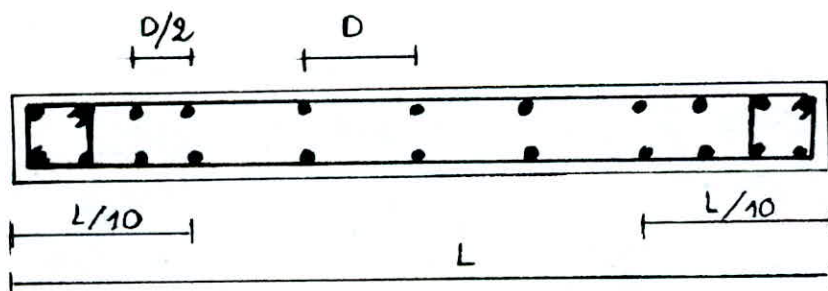
$$s_t \leq \text{Min} (1.5e, 30\text{cm})$$

Les deux nappes d'armature doivent être reliées avec au moins 4 épingles au mètre carré. Dans chaque nappe, les barres horizontales doivent être disposées vers l'extérieur.

Le diamètre des barres verticales et horizontales des voiles (à l'exception des zones d'about) ne devrait pas dépasser 1/10 de l'épaisseur du voile.

Les longueurs de recouvrements doivent être égales à :

- 40ϕ pour les barres situées dans les zones où le renversement du signe des efforts est possible;
- 20ϕ pour les barres situées dans les zones comprimées sous l'action de toutes les combinaisons possibles de charges.



FERRAILLAGE DES VOILES

VOILE VL1-VL1'		
NIVEAU	1	2
AT(Cm)	5.000	5.000
AT adoptée	4HA14	4HA14
ST	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm
Ahmin(Cm)	2.500	2.500
AH adoptée	4HA12	4HA12
ST	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm
sigb(Mpa)	0.870	0.412
SIG BAR	15MPA	15MPA

	VOILE VL2-VL2'			
		TRUMEAU 1	TRUMEAU 2	TRUMEAU 3
Niveau 1	AT(Cm)	5.000	5.000	5.000
	AT adoptée	4HA14	4HA14	4HA14
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	Ahmin(Cm)	2.500	2.500	2.500
	AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	sigb(Mpa)	3.993	3.355	2.559
	SIG BAR	15MPA	15Mpa	15MPA

	VOILE VL2-VL2'			
		TRUMEAU 1	TRUMEAU 2	TRUMEAU 3
Niveau 2	AT(Cm)	5.000	5.000	5.000
	AT adoptée	4HA14	4HA14	4HA14
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	Ahmin(Cm)	2.500	2.500	2.500
	AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12
	ST	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	ST Max	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	sigb(Mpa)	2.294	1.995	1.602
	SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA
Niveau 3	AT(Cm)	5.000	5.000	5.000
	AT adoptée	4HA14	4HA14	4HA14
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	Ahmin(Cm)	2.500	2.500	2.500
	AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	sigb(Mpa)	1.013	0.940	0.822
	SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA

VOILE VL3

		TRUMEAU 1	TRUMEAU 2	TRUMEAU 3	TRUMEAU 4	TRUMEAU 5
Niveau 1	AT(Cm)	5.000	9.774	5.000	5.000	9.724
	AT adoptée	4HA14	5HA16	4HA14	4HA14	5HA16
	ST (a)	25 Cm	20 Cm	25 Cm	25 Cm	20 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	Ahmin(Cm)	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
	AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	sigb(Mpa)	10.073	3.003	7.105	6.835	2.453
	SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA
Niveau 2	AT(Cm)	5.000	11.536	5.000	5.335	11.145
	AT adoptée	4HA14	6HA16	4HA14	4HA14	6HA16
	ST	25 Cm	16 Cm	25 Cm	25 Cm	16 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	Ahmin(Cm)	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
	AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	sigb(Mpa)	7.351	2.526	5.660	5.311	2.096
	SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA
Niveau 3	AT(Cm)	5.000	6.996	5.000	5.000	6.786
	AT adoptée	4HA14	5HA14	4HA14	4HA14	5HA14
	ST	25 Cm	20 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	Ahmin(Cm)	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
	AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12

VOILE VL3

		TRUMEAU 1	TRUMEAU 2	TRUMEAU 3	TRUMEAU 4	TRUMEAU 5
Niveau 3	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	sigb(Mpa)	5.042	2.074	4.297	3.875	1.757
	SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA
Niveau 4	AT(Cm)	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
	AT adoptée	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	Ahmin(Cm)	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
	AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	sigb(Mpa)	3.020	1.557	2.933	2.505	1.349
	SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA
Niveau 5	AT(Cm)	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
	AT adoptée	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	Ahmin(Cm)	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
	AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	sigb(Mpa)	1.528	1.105	1.820	1.428	1.327
	SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA

VOILE VL3

		TRUMEAU 1	TRUMEAU 2	TRUMEAU 3	TRUMEAU 4	TRUMEAU 5
Niveau 6	AT(Cm)	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
	AT adoptée	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	Ahmin(Cm)	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
	AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	sigb(Mpa)	0.497	0.499	0.610	0.534	0.452
	SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA

VOILE VL4-VL4'

NIVEAU	1	2	3	4	5	6
AT(Cm)	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
AT adoptée	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14
ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
Ahmin(Cm)	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12
ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
sigb(Mpa)	7.106	5.801	4.541	3.280	2.019	0.759
SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA

VOILE VL4"							
NIVEAU	1	2	3	4	5	6	7
AT(Cm)	7.500	7.500	7.500	7.500	7.500	7.500	7.500
AT adoptée	4HA16	4HA16	4HA16	4HA16	4HA16	4HA16	4HA16
ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
Ahmin(Cm)	3.750	3.750	3.750	3.750	3.750	3.750	3.750
AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12
ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
sigb(Mpa)	4.876	4.000	3.163	2.326	1.489	0.652	0.189
SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA

VOILE VL5						
NIVEAU	1	2	3	4	5	6
AT(Cm)	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
AT adoptée	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14
ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
Ahmin(Cm)	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12
ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
sigb(Mpa)	5.299	4.334	3.416	2.498	1.581	0.659
SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA

VOILE VL5'						
NIVEAU	1	2	3	4	5	6
AT(Cm)	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
AT adoptée	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14
ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
Ahmin(Cm)	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12
ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
sigb(Mpa)	4.830	4.201	3.312	2.422	1.532	0.642
SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA

VOILE VL5''							
NIVEAU	1	2	3	4	5	6	7
AT(Cm)	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
AT adoptée	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14
ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
Ahmin(Cm)	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12
ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
sigb(Mpa)	3.087	2.007	1.606	1.204	0.803	0.401	0.134
SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA

VOILE VT2-VT4						
NIVEAU	1	2	3	4	5	6
AT(Cm)	10.266	6.426	5.000	5.000	5.000	5.000
AT adoptée	5HA16	5HA14	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14
ST	20 Cm	20 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
Ahmin(Cm)	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12
ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
sigb(Mpa)	3.687	2.780	2.015	1.343	0.764	0.278
SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA

VOILE VT2'-VT4'						
NIVEAU	1	2	3	4	5	6
AT(Cm)	12.724	7.567	5.000	5.000	5.000	5.000
AT adoptée	6HA16	5HA16	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14
ST	16 Cm	20 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
Ahmin(Cm)	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12
ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
sigb(Mpa)	2.399	1.935	1.520	1.105	0.690	0.275
SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA

VOILE VT3						
NIVEAU	1	2	3	4	5	6
AT(Cm)	98.565	66.479	41.848	16.053	5.000	5.000
AT adoptée	14HA30	9HA30	6HA30	8HA16	4HA14	4HA14
ST	07 Cm	11 Cm	16 Cm	13 Cm	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
Ahmin(Cm)	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12
ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
sigb(Mpa)	3.664	3.038	2.459	1.881	1.302	0.723
SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA

VOILE VT3"							
NIVEAU	1	2	3	4	5	6	7
AT(Cm)	90.479	60.096	36.772	19.015	6.950	5.000	5.000
AT adoptée	30HA20	20HA20	20HA16	10HA16	4HA16	4HA14	4HA14
ST	07 Cm	07 Cm	07 Cm	10 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
Ahmin(Cm)	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12
ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
sigb(Mpa)	2.802	2.355	1.953	1.552	1.151	0.794	0.517
SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA

VOILE VL7

		TRUMEAU 1	TRUMEAU 2	TRUMEAU 3	TRUMEAU 4	TRUMEAU 5
Niveau 1	AT(Cm)	5.000	7.313	5.000	5.000	7.372
	AT adoptée	4HA14	4HA16	4HA14	4HA14	4HA16
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	Ahmin(Cm)	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
	AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	sigb(Mpa)	9.331	3.690	7.105	6.580	2.723
	SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA
Niveau 2	AT(Cm)	5.000	9.077	5.000	5.000	8.820
	AT adoptée	4HA14	4HA16	4HA14	4HA14	4HA16
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	Ahmin(Cm)	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
	AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	sigb(Mpa)	6.854	2.711	5.660	5.126	2.292
	SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA
Niveau 3	AT(Cm)	5.000	5.361	5.000	5.000	5.241
	AT adoptée	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	Ahmin(Cm)	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
	AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12

VOILE VL7

		TRUMEAU 1	TRUMEAU 2	TRUMEAU 3	TRUMEAU 4	TRUMEAU 5
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	sigb(Mpa)	4.732	2.194	4.297	3.756	1.884
	SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA
Niveau 4	AT(Cm)	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
	AT adoptée	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	Ahmin(Cm)	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
	AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	sigb(Mpa)	2.865	1.620	2.933	2.442	1.416
	SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA
Niveau 5	AT(Cm)	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
	AT adoptée	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	Ahmin(Cm)	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
	AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	sigb(Mpa)	1.479	1.126	1.829	1.407	1.006
	SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA

VOILE VL7						
		TRUMEAU 1	TRUMEAU 2	TRUMEAU 3	TRUMEAU 4	TRUMEAU 5
Niveau 6	AT(Cm)	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
	AT adoptée	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	Ahmin(Cm)	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
	AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	sigb(Mpa)	0.493	0.501	0.746	0.531	0.455
	SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA

VOILE VT3'							
NIVEAU	1	2	3	4	5	6	7
AT(Cm)	136.646	90.590	55.321	28.556	10.490	7.500	7.500
AT adoptée	20HA30	13HA30	10HA28	10HA20	6HA16	4HA16	4HA16
ST	07 Cm	07 Cm	10 Cm	10 Cm	16 Cm	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
Ahmin(Cm)	3.750	3.750	3.750	3.750	3.750	3.750	3.750
AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12
ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
sigb(Mpa)	3.664	3.038	2.459	1.881	1.302	0.723	0.335
SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA

VOILE VL9-VL9'		
NIVEAU	1	2
AT (Cm)	5.000	5.000
AT adoptée	4HA14	4HA14
ST	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm
Ahmin (Cm)	2.500	2.500
AH adoptée	4HA12	4HA12
ST	30 Cm	30 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm
sigb (Mpa)	0.870	0.412
SIG BAR	15MPA	15MPA

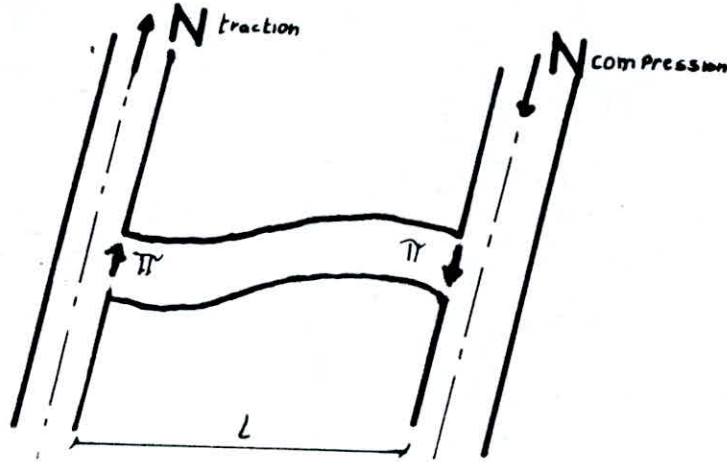
VOILE VL8-VL8'				
		TRUMEAU 1	TRUMEAU 2	TRUMEAU 3
Niveau 1	AT (Cm)	5.000	5.000	5.000
	AT adoptée	4HA14	4HA14	4HA14
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	Ahmin (Cm)	2.500	2.500	2.500
	AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	sigb (Mpa)	3.862	3.355	2.690
	SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA

VOILE VL8-VL8'				
		TRUMEAU 1	TRUMEAU 2	TRUMEAU 3
Niveau 2	AT (Cm)	5.000	5.000	5.000
	AT adoptée	4HA14	4HA14	4HA14
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	Ahmin (Cm)	2.500	2.500	2.500
	AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	sigb (Mpa)	2.231	1.995	1.665
	SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA
Niveau 3	AT (Cm)	5.000	5.000	5.000
	AT adoptée	4HA14	4HA14	4HA14
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	Ahmin (Cm)	2.500	2.500	2.500
	AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12
	ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm
	ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm
	sigb (Mpa)	0.996	0.940	0.839
	SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA

VOILE VL6-VL6'						
NIVEAU	1	2	3	4	5	6
AT(Cm)	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
AT adoptée	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14	4HA14
ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
Ahmin(Cm)	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12
ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
sigb(Mpa)	7.106	5.801	4.541	3.280	2.019	0.759
SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA

VOILE VL 6"							
NIVEAU	1	2	3	4	5	6	7
AT(Cm)	7.500	7.500	7.500	7.500	7.500	7.500	7.500
AT adoptée	4HA16	4HA16	4HA16	4HA16	4HA16	4HA16	4HA16
ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
Ahmin(Cm)	3.750	3.750	3.750	3.750	3.750	3.750	3.750
AH adoptée	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12	4HA12
ST	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm	25 Cm
ST Max	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm	30 Cm
sigb(Mpa)	4.876	4.000	3.163	2.326	1.489	0.652	0.189
SIG BAR	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA	15MPA

Les linteaux en tant que poutres courtes se chargent par un grand effort tranchant, cet effort tranchant sera transmis aux trumeaux comme force axiale (compression dans un trumeau et traction dans l'autre).



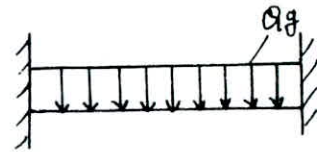
Les linteaux sont calculés en flexion simple sous l'action de M et T. La vérification de la résistance des linteaux aux sollicitations d'effort tranchant les plus défavorables doit être effectuée avec:

$$\bar{T} = 1.4 T \text{ où}$$

T : l'effort tranchant de calcul

M : calculé à partir de \bar{T}

Sollicitations de calcul



Les sollicitations de calcul sont:
$$\begin{cases} V = V_E + V_G \\ M = M_E + M_G \end{cases}$$

Les efforts maximaux sont obtenus au niveau de l'encastrement:

$$\begin{cases} V_g \text{ max} = Q_g * L/2 \\ M_g \text{ max} = Q_g * L^2/12 \end{cases}$$

Calcul du ferrailage

Le calcul se fait Selon les dispositions du RPA 88 (voir art 4.3.2.2). Pour chaque voile, on calcul le linteau chaque trois niveaux.

RECOMMANDATION RPA

$$\underline{1^{er} \text{ cas}} \quad \tau_b \leq 0.06 \sigma_{2B}$$

Les linteaux sont calculés en flexion simple , (avec les efforts M , T

On devra disposer :

- des aciers longitudinaux (Al) de flexion
- des aciers transversaux (At)
- des aciers en partie courante (AC)

ACIERS LONGITUDINAUX

Les aciers inférieurs et supérieurs sont calculés d'après la formule:

$$Al \geq \frac{M}{Z \sigma_{sn}} \quad \text{avec} \quad Z = h - 2d \quad \begin{array}{l} h : \text{ hauteur du linteau} \\ d : \text{ distance d'enrobage} \end{array}$$

ACIERS TRANSVERSAUX

Les linteaux de cette tour sont tous des linteaux longs $\rightarrow l/h > 1$

donc :

$$S \leq \frac{At \sigma_{sn} z}{\bar{T}} \quad \begin{array}{l} S : \text{ l'espacement d'armatures transversales} \\ T : \text{ effort tranchant dans la section} \\ \quad \quad \quad \text{considérée } 1.4 T \\ L : \text{ portée du linteau} \end{array}$$

$$\underline{2^{eme} \text{ CAS}} \quad \tau_b \geq 0.06 \sigma_{2B}$$

Dans ce cas il y a lieu de disposer les ferrailages longitudinaux (supérieurs et inférieurs), transversaux et zone courante (armatures de peau) suivant les minimum réglementaires.

Les efforts (M,T) sont repris suivant des bielles diagonales (de compression et de traction) suivant l'axe moyen des armatures diagonales A_D à disposer obligatoirement

Le calcul de ces armatures se fait suivant la formule :

$$A_D = \frac{T}{2 \sigma_{en} \sin \alpha} \quad \text{Avec } \operatorname{tg} \alpha = \frac{h-2d}{l}$$

FERRAILLAGE MINIMAL:

Armatures longitudinales:

$$(A_l, A_l') \geq 0.0015 \cdot b \cdot h$$

Armatures transversales:

$$\text{pour } \tau_b \leq 0.025 \sigma'_{28} \quad : \quad A_t \geq 0.0015 \cdot b \cdot e$$

$$\text{pour } \tau_b > 0.025 \sigma'_{28} \quad : \quad A_t \geq 0.0025 \cdot b \cdot e$$

Armatures de section courante :

Les armatures longitudinales intermédiaires ou de peau A_c

(2 nappes) doivent être au total d'un minimum égal à 0.20%.

FERRAILLAGE DES LINTEAUX

VOILE VL3-VL7

LINTEAU 1

NIV	τ_b	ARM LONG (cm)	ARM TANG (cm)	ARM DIAG (cm)	ARM COU (cm)
1	747.297	2.490	1.038	15.053	3.320
2	537.666	2.490	1.038	10.838	3.320
3	533.164	2.490	1.038	10.747	3.320
4	348.486	2.490	1.038	7.033	3.320
5	441.679	2.490	1.038	8.907	3.320
6	274.217	2.490	1.038	5.540	3.320

LINTEAU 2

NIV	τ_b	ARM LONG	ARM TANG	ARM DIAG	ARM COU
1	323.107	2.490	1.038	8.331	3.320
2	192.932	2.490	1.038	4.993	3.320
3	179.649	2.490	1.038	4.652	3.320
4	103.366	3.198	1.038	0.000	3.320
5	31.426	0.662	0.623	0.000	3.320
6	12.355	0.623	0.623	0.000	3.320

VOILES

VL2-VL2'

VL8-VL8'

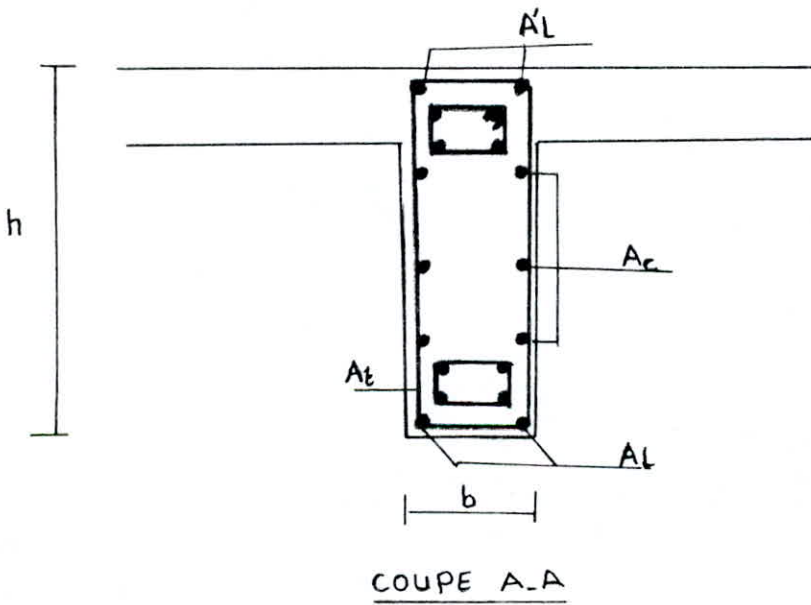
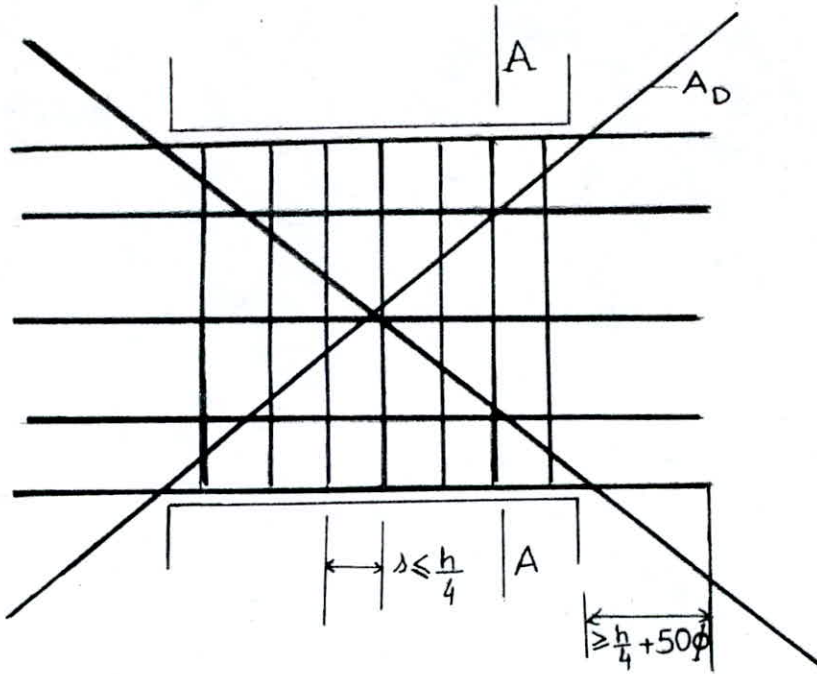
NIV	τ_b	ARM LONG	ARM TANG	ARM DIAG	ARM COU
1	58.863	2.257	0.623	0.000	3.320
2	37.979	1.401	0.623	0.000	3.320
3	22.798	0.780	0.623	0.000	3.320

VOILES

VT2-VT4

VT2'-VT4'

NIV	τ_b	ARM LONG	ARM TANG	ARM DIAG	ARM COU
1	139.230	4.340	1.314	0.000	3.320
2	111.715	3.464	1.054	0.000	3.320
3	86.947	2.675	1.038	0.000	3.320
4	62.174	1.886	0.623	0.000	3.320
5	37.400	1.098	0.623	0.000	3.320
6	12.640	0.623	0.623	0.000	3.320



CHAPITRE XI

CALCUL DES ELEMENTS

CALCUL DE L'ACROTÈRE

L'acrotère est encastree sur le plancher terrasse et se calcul comme une console.

1) Acrotère 1

Charges et surcharges

pois propre de l'acrotère : $G=0.15 \text{ t/ml}$

surcharge (main courante) : $Q=0.1 \text{ t/ml}$

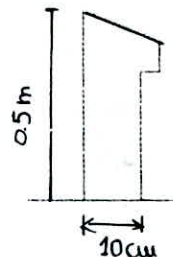
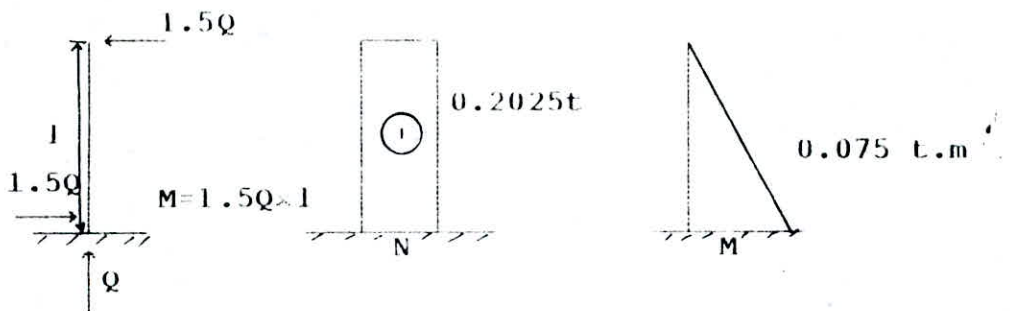


Schéma statique et évaluation des efforts



Ferraillage

Le calcul se fait en flexion composée pour une bande de largeur 1m



Calcul à l'ELU

Sollicitations

Effort normal $N_u = 1.35$, $N_g = 0.2025 \text{ t}$

Moment à la base $M_u = 1.5 \times 0.1 \times .5 = 0.075 \text{ t.m}$

Le centre de pression $e_o = M_u / N_u = 0.075 / 0.2025 = 0.37\text{m}$

$e_o = 0.37 > 0.1$: Le centre de pression est à l'extérieur de la section \longrightarrow section partiellement comprimée

Le moment par rapport au centre de gravité des armatures tendues

$$M_{UA} = M_{UG} + N_u (d-h/2)$$

ou $d =$ hauteur utile ; $d = 0.8h = 0.8 \times 0.1 = 0.08 \text{ m}$

A.N

$$M_{UA} = 0.075 + 0.2025 (0.08 - 0.05) = 0.081$$

$$M_{UA} = 0.081 \text{ t.m}$$

$$f_{czB} = 25 \text{ Mpa} \quad f_{bu} = 0.85 \times 25 / 1.5 = 14.2 \text{ Mpa}$$

$$U_{bu} = M_{UA} / (b \times d^2 \times f_{bu}) = 0.081 \times 10^{-2} / (1 \times (0.08)^2 \times 14.2) = 0.0089 < 0.3 = U_{LU}$$

$$\longrightarrow A_s = 0$$

$$\alpha = 1.25 (1 - \sqrt{1 - 2U_{bu}}) = 0.0112 < 0.259 \implies \text{PIVOT A}$$

$$\sigma_a = F_{su} = F_E / \gamma_s = 400 / 1.15 = 348 \text{ MPA}$$

$$A_s = 1 / F_{su} (M_{UA} / d (1 - 0.4\alpha) - N_u)$$

$$= 1 / 348 (0.081 \times 10^{-2} / 0.08 (1 - 0.4(0.0112)) - 0.2025) < 0 \implies A_s = 0$$

Notre acrotère ne nécessite pas un ferrailage puisque la section trouvée est négative. On utilise cependant un ferrailage minimal.

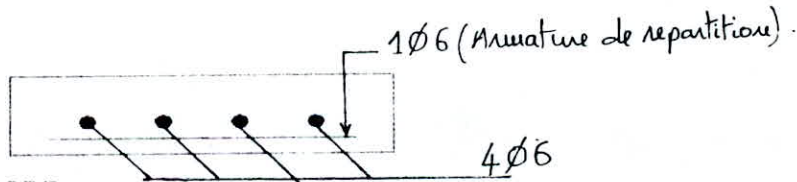
*** SECTION MINIMALE**

$$A_{min} = 0.23 \cdot b \cdot d \cdot f_{tzb} / f_c = 0.23 \times 1 \times 0.08 \times 2.1 / 400 = 9.661 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$A_{min} = 0.966 \text{ cm}^2$$

$$s_t = 25 \text{ cm}$$

On adopte $A = 4\phi 6 / m l = 1.13 \text{ cm}^2$



Vérifications

Vérification au cisaillement (effort tranchant)

$$V_u = 1.5Q = 1.5 \times 0.1 = 0.15 \text{ t}$$

$$\tau = V_u / b d = 1.875 \text{ t/m}^2$$

Fissuration préjudiciable

donc $\overline{\tau_v} = 0.05$, $f_{ctB} = 125 \text{ t/m}^2$

$$\tau_v < \overline{\tau_v} \implies \text{vérifiée}$$

Vérification au seisme local

Selon l'article (3.3.6 du RPA 88), l'acrotère doit être calculée sous l'action des forces horizontales suivant la formule :

$$F_p = 4 A C_p W_p$$

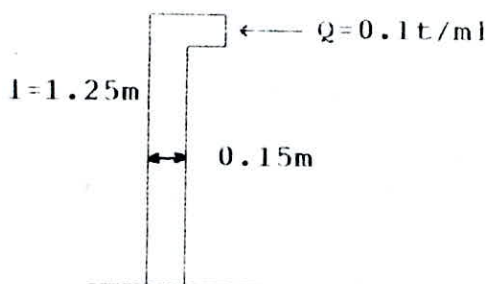
Avec . $A = 0.15$ (groupe d'usage 2, zone 2)

. $C_p = 0.8$ (tableau 5, RPA88)

. $W_p =$ poids propre de l'acrotère

$$F_p = 4 \times 0.15 \times 0.8 \times 0.2025 = 0.0972 < 0.15 \text{ t} \longrightarrow \text{vérifiée}$$

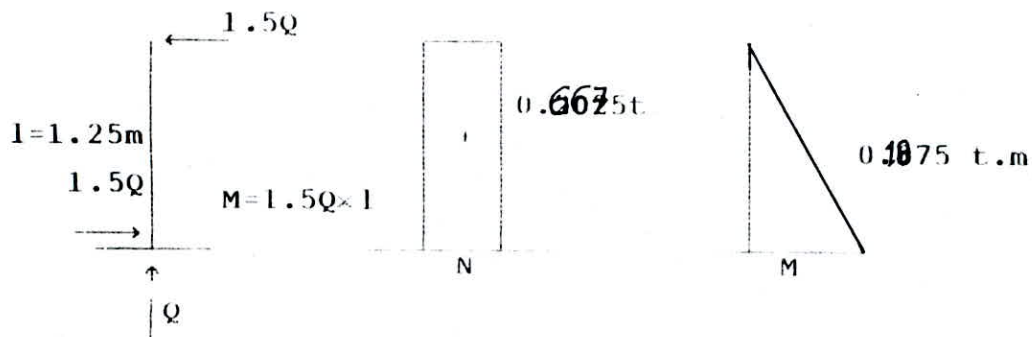
2) Acrotère 2



poids de l'acrotère = 0.494 t/ml

surcharge = 0.1 t/ml

Schéma statique



Sollicitations

$$\text{Effort normal } N_u = 1.35 \times 0.494 = 0.667 \text{ t}$$

$$\text{Moment à la base } M_u = 1.5 \times Q \times l = 1.5 \times 0.1 \times 1.25 = 0.1875 \text{ t.m}$$

$$\text{Exentricité } e_o = M_u / N_u = 0.28 > 0.1 \longrightarrow \text{S.P.C}$$

$$M_{UA} = 0.1875 + 0.667(0.12 - 0.075) = 0.217 \text{ t.m}$$

$$M_{UA} = 0.217$$

$$U_{BU} = M_{UA} / b d^2 \quad f_{bu} = 0.01 < 0.3 \longrightarrow A_s = 0$$

$$\alpha = 0.0125 < 0.259 \longrightarrow \text{pivot A} \quad \sigma_s = f_{su}$$

$$A_s = 1/348(0.2171E-2 / 0.12(1 - 0.4\alpha) - 0.667) = -1.86 \text{ 1E-3 m}^2$$

$$M_{JA} = 0.217$$

$$U_{BU} = M_{JA} / b d^2 \quad f_{bu} = 0.01 < 0.3 \longrightarrow A_s' = 0$$

$$\alpha = 0.0125 < 0.259 \longrightarrow \text{pivot A} \quad \sigma_s = f_{su}$$

$$A_s = 1/348 (0.2171E-2 / 0.12(1-0.4\alpha) - 0.667) = -1.86 \text{ 1E-3 m}^2$$

$$A_{s \min} = 1.449 \text{ 1E-4 m}^2$$

$$A_{s \min} = 1.449 \text{ cm}^2$$

$$A_{eff} = 6\phi 6 = 1.695 \text{ cm}^2$$

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

Vérification au cisaillement

$$w_u = 1.5Q = 0.15 \text{ t}$$

$$\tau_v = w_u / b d = 1.25 \text{ t/m}^2, \quad \bar{\tau}_v = 125 \text{ t/m}^2$$

$$\tau_v < \bar{\tau}_v \longrightarrow \text{vérifiée}$$

Vérification au séisme local

$$F_p = 4 A C_p W_p = 4 \times 0.15 \times 0.8 \times 0.667 = 0.320 \text{ t}$$

F_p est une force d'inertie appliquée au cdg de l'acrotère

d'où le moment d'ancrage = $F_p \times 1.25 / 2 = 0.2 \text{ t.m}$

$$U_{BU} = 0.21E-2 / 1 \times 0.12 \times 14.2 = 1.17 \text{ 1E-3} < 0.3 \longrightarrow A_s' = 0$$

$$\alpha = 0.00146, \quad z = 0.1199$$

$$A_s = M / z x f_{su} = 4.79 \text{ 1E-5 m}^2$$

$$A_s = 0.479 \text{ cm}^2$$

$A_s < A_{s \min}$ calculée auparavant
donc c'est vérifiée.

CALCUL DES PLANCHERS

INTRODUCTION

Les dalles sont des éléments plans chargées perpendiculairement à leurs plan , et ayant deux dimensions grandes par rapport à la troisième (épaisseur e).

Pour le calcul de notre plancher, on utilise les tables de BARES. Chaque disposition de dalle est traitée indépendamment.

ETAPE DE CALCUL

- En fonction du coefficient du POISSON ν
- De la valeur du rapport des dimensions de la dalle $\rho = a/b$
- En fonction du type de dalle, on tire les coefficients suivants:
 u : coefficient du moment fléchissant

Avec

- u_{x0} : coefficient du moment dans la direction $x(x=a/2, y=b/2)$
- u_{y0} : coefficient du moment dans la direction $y(x=a/2, y=b/2)$
- u_{y0a} : coefficient du moment dans la direction $y(x=a, y=b/2)$
- u_{xva} : coefficient du moment dans la direction $x(x=0, y=b/2)$
- u_{yva} : coefficient du moment dans la direction $y(x=a, y=0)$

Enfin

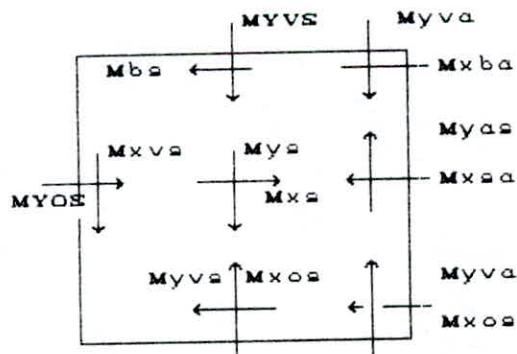
$$M_{x0} = u_{x0} * q * a^2$$

$$M_{y0} = u_{y0} * q * b^2$$

$$M_{y0a} = u_{y0a} * q * b^2$$

$$M_{xva} = u_{xva} * q * a^2$$

$$M_{yva} = u_{yva} * q * b^2$$



REMARQUE

Dans le cas où la valeur γ ne figure pas dans les tables c.à.d γ très petit, alors la dalle travaille dans un seul sens.

EVALUATION DES CHARGES

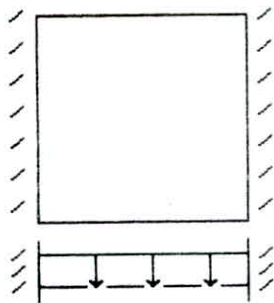
$$q = 1.35G + 1.5Q$$

$$\text{Plancher RDC} \quad : \quad q = 1.35 \times 0.727 + 1.5 \times 0.4 = 1.58 \text{ tm}$$

$$\text{Plancher courant} \quad : \quad q = 1.35 \times 0.627 + 1.5 \times 0.175 = 1.10 \text{ tm}$$

CALCUL DE RDC

Panneau A G : encastré sur 2 côtés, les 2 autres sont libres



$$\left. \begin{array}{l} a = 3.80 \text{ m} \\ b = 27.00 \text{ m} \end{array} \right\} \rho = 0.14$$

Ce panneau travaille suivant la plus petite portée.

$$M_{app} = -ql^2/20 = 1.58 \times 3.8^2 / 20 = 1.14 \text{ tm}$$

$$M_{tr} = ql^2/10 = 1.58 \times 3.8^2 / 10 = 2.28 \text{ tm}$$

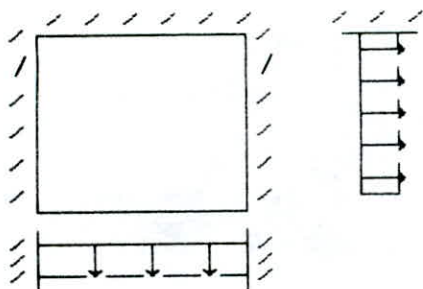
D'après le programme fléxion simple :

$$A_t = 3.74 \text{ cm}^2, \quad 5\phi 10 \longrightarrow 3.92 \text{ cm}^2$$

$$A_a = 1.84 \text{ cm}^2, \quad 4\phi 8 \longrightarrow 2.00 \text{ cm}^2$$

$$A_F = 2.17 \text{ cm}^2, \quad 2\phi 12 \longrightarrow 2.20 \text{ cm}^2$$

Panneau C E : encastré sur 3 côtés le 4^{ème} est libre



$$\left. \begin{array}{l} a = 3.80 \text{ m} \\ b = 9.60 \text{ m} \end{array} \right\} \rho = 0.39$$

D'après les tables de BARES :

$$M_{cmax} = 0.032 qa^2 = 0.032 \times 1.58 \times 3.8^2 = 0.73 \text{ tm}$$

$$M_{xmax} = 0.73 \text{ tm}$$

$$M_a = 0.0834 \times qa^2 = 0.0834 \times 1.58 \times 3.8^2 = 1.9 \text{ cm}^2$$

D'ou les sections d'armature :

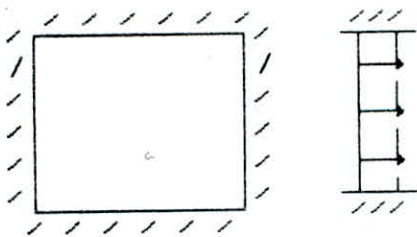
$$A_t = 1.18 \text{ cm}^2 \quad 3\phi 8 \quad \longrightarrow \quad 1.50 \text{ cm}^2$$

$$A_a = 3.09 \text{ cm}^2 \quad 3\phi 12 \quad \longrightarrow \quad 3.40 \text{ cm}^2$$

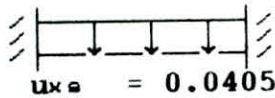
$$A_F = 2.17 \text{ cm}^2 \quad 2\phi 12 \quad \longrightarrow \quad 2.20 \text{ cm}^2$$

Donc pour A_t on prend 2.20 cm^2

Panneau D : encasté sur 4 côtés



$$\left. \begin{array}{l} a = 3.80 \text{ m} \\ b = 7.40 \text{ m} \end{array} \right\} \rho = 0.51$$



$$u_{xa} = 0.0405$$

$$M_{xs} = 1.026 \text{ tm}$$

$$u_{xva} = 0.0833$$

$$M_{xvs} = 1.900 \text{ tm}$$

$$u_{ya} = 0.0024$$

$$M_{ys} = 0.207 \text{ tm}$$

$$u_{yva} = 0.0143$$

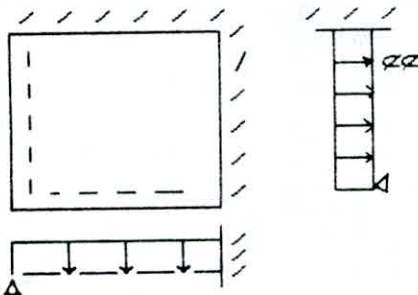
$$M_{yvs} = 1.237 \text{ tm}$$

$$M_t = M_a = M_{max} = 1.90 \text{ tm}$$

$$A_t = A_a = 3.10 \text{ cm}^2 \quad 3\phi 12 \quad \longrightarrow \quad 3.40 \text{ cm}^2$$

$$A_F = 2.17 \text{ cm}^2 \quad 2\phi 12 \quad \longrightarrow \quad 2.20 \text{ cm}^2$$

Panneau J : encasté sur 3 côtés, simplement appuyé sur l'autre côté



$$\left. \begin{array}{l} a = 4.80 \text{ m} \\ b = 9.60 \text{ m} \end{array} \right\} \rho = 0.5$$

$$M_{x \max} = 0.0412 \times qa^2 = 1.50 \text{ tm}$$

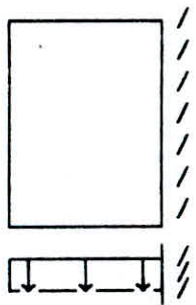
$$M_{y \max} = 0.0512 \times qb^2 = 5.19 \text{ tm}$$

$$M_t = M_a = 5.19 \text{ tm}$$

$$A_t = A_a = 8.80 \text{ cm}^2, \quad 8\phi 12 \longrightarrow 9.00 \text{ cm}^2$$

$$A_F = 2.17 \text{ cm}^2, \quad 2\phi 12 \longrightarrow 2.20 \text{ cm}^2$$

Panneau K : encastré sur 1 seul côté (console)



$$\left. \begin{array}{l} a = 1.20 \text{ m} \\ b = 7.40 \text{ m} \end{array} \right\} \rho = 0.16$$

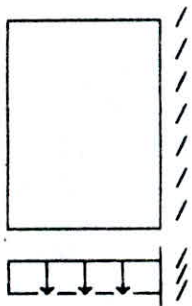
Le panneau travaille dans un seul sens : $M = qa^2 / 2 = 1.58 \times 1.2^2 / 2 = 1.13$

$$M = 1.13 \text{ tm}$$

$$A_a = 1.82 \text{ cm}^2, \quad 2\phi 12 \longrightarrow 2.20 \text{ cm}^2$$

$$A_F = 2.17 \text{ cm}^2, \quad 2\phi 12 \longrightarrow 2.20 \text{ cm}^2$$

Panneau L : encastré sur un seul côté



$$\left. \begin{array}{l} a = 1.25 \text{ m} \\ b = 9.40 \text{ m} \end{array} \right\} \rho = 0.132$$

Le panneau porte dans un seul sens

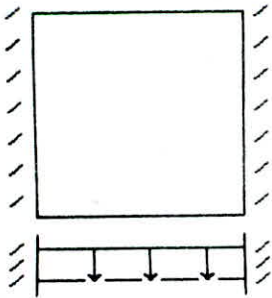
$$M = q \times a^2 / 2 = 1.58 \times 1.25^2 / 2 = 1.23 \text{ tm}$$

$$A_s = 2.00 \text{ cm}^2, \quad 2\phi 12 \longrightarrow 2.20 \text{ cm}^2$$

$$A_F = 2.17 \text{ cm}^2, \quad 2\phi 12 \longrightarrow 2.20 \text{ cm}^2$$

PLANCHER COURANT

Panneau A B : encastres sur 2 cotes



$$\left. \begin{aligned} a &= 3.80 \text{ m} \\ b &= 9.60 \text{ m} \end{aligned} \right\} \rho = 0.39$$

Le panneau travaille dans un seul sens

$$M_t = q \times a^2 / 10 = 1.1 \times 3.8^2 / 10 = 1.58 \text{ tm}$$

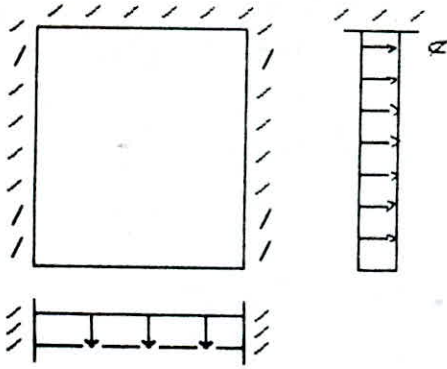
$$M_a = q \times a^2 / 20 = 1.1 \times 3.8^2 / 20 = 0.79 \text{ tm}$$

$$A_t = 3.24 \text{ cm}^2, \quad 3\phi 12 \longrightarrow 3.40 \text{ cm}^2$$

$$A_a = 1.59 \text{ cm}^2, \quad 4\phi 8 \longrightarrow 2.00 \text{ cm}^2$$

$$A_F = 1.73 \text{ cm}^2, \quad 2\phi 12 \longrightarrow 2.20 \text{ cm}^2$$

Panneau C E : encastres sur 3 cotes l'autre cote est libre



$$\left. \begin{aligned} a &= 3.80 \text{ m} \\ b &= 9.60 \text{ m} \end{aligned} \right\} \rho = 0.39$$

$$M_{x\max} = 0.0834 \times qa^2 = 1.32 \text{ tm}$$

$$M_{y\max} = 0.0084 \times qb^2 = 0.85 \text{ tm}$$

$$M_a = 0.0834 \times qa^2 = 1.30 \text{ tm}$$

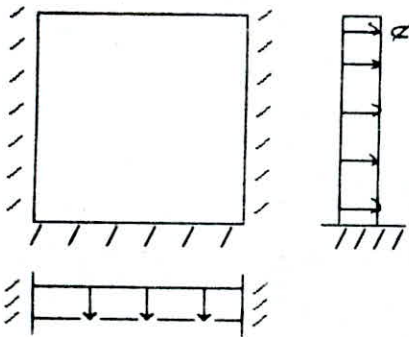
$$M_t = 1.32 \text{ tm}$$

$$M_a = 1.32 \text{ tm}$$

$$A_t = A_a = 2.69 \text{ cm}^2, \quad 4\phi 10 \longrightarrow 3.10 \text{ cm}^2$$

$$A_F = 1.73 \text{ cm}^2, \quad 2\phi 12 \longrightarrow 2.20 \text{ cm}^2$$

Panneau D : encastré sur 3 côtés , le 4eme est libre



$$\left. \begin{aligned} a &= 3.80 \text{ m} \\ b &= 7.40 \text{ m} \end{aligned} \right\} \rho = 0.5$$

$$M_{x\max} = 0.0836 \times qa^2 = 1.32 \text{ tm}$$

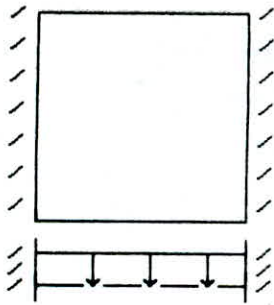
$$M_{y\max} = 0.0135 \times qb^2 = 0.81 \text{ tm}$$

$$M_{app} = 0.0834 \times qa^2 = 1.90 \text{ tm}$$

$$M_t = 1.32 \text{ tm}$$

$$\begin{aligned}
 A_t &= 2.69 \text{ cm}^2 & 4\phi 10 &\longrightarrow 3.10 \text{ cm}^2 \\
 A_a &= 3.09 \text{ cm}^2 & 3\phi 12 &\longrightarrow 3.40 \text{ cm}^2 \\
 A_F &= 1.73 \text{ cm}^2 & 2\phi 12 &\longrightarrow 2.20 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Panneau G : encastré sur 2 cotés les 2 autres sont libres



$$\left. \begin{aligned} a &= 3.80 \text{ m} \\ b &= 27.0 \text{ m} \end{aligned} \right\} \rho = 0.39$$

Le panneau porte dans un seul sens :

$$M_t = q \times a^2 / 10 = 1.58 \text{ tm}$$

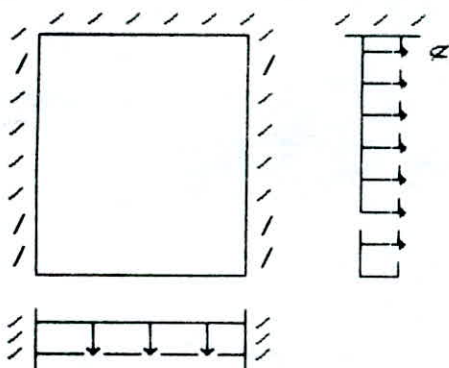
$$M_a = q \times a^2 / 20 = 0.79 \text{ tm}$$

$$A_t = 3.24 \text{ cm}^2 , 3\phi 12 \longrightarrow 3.40 \text{ cm}^2$$

$$A_a = 1.59 \text{ cm}^2 , 4\phi 8 \longrightarrow 2.00 \text{ cm}^2$$

$$A_F = 1.73 \text{ cm}^2 , 2\phi 12 \longrightarrow 2.20 \text{ cm}^2$$

Panneau I J : encastrés sur 3 côtés



$$\left. \begin{aligned} a &= 4.80 \text{ m} \\ b &= 9.60 \text{ m} \end{aligned} \right\} \rho = 0.5$$

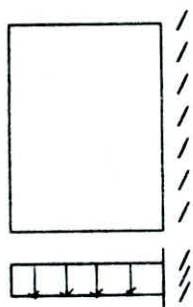
$$\begin{aligned}
 M_{x\max} &= 0.0836 \times qa^2 = 2.10 \text{ tm} \\
 M_{y\max} &= 0.0135 \times qb^2 = 1.36 \text{ tm} \\
 M_a &= 0.0834 \times qa^2 = 2.00 \text{ tm}
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} M_{x\max} \\ M_{y\max} \\ M_a \end{aligned}} \right\} M_{\max} = 2.10 \text{ tm}$$

$$A_t = 4.35 \text{ cm}^2, \quad 4\phi 12 \longrightarrow 4.50 \text{ cm}^2$$

$$A_a = 4.30 \text{ cm}^2, \quad 4\phi 12 \longrightarrow 4.50 \text{ cm}^2$$

$$A_F = 1.73 \text{ cm}^2, \quad 2\phi 12 \longrightarrow 2.20 \text{ cm}^2$$

Panneau K : encastré sur 1 seul côté (consol)



$$\left. \begin{aligned} a &= 1.20 \text{ m} \\ b &= 7.40 \text{ m} \end{aligned} \right\} \rho = 0.162$$

Le panneau travaille dans un seul sens :

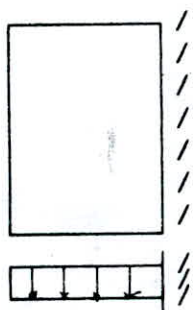
$$M = q \times \frac{l_x^2}{2} = 1.1 \times \frac{1.2^2}{2} = 0.73 \text{ tm}$$

$$M = 0.73 \text{ tm}$$

$$A_s = 1.47 \text{ cm}^2, \quad 3\phi 8 \longrightarrow 1.50 \text{ cm}^2$$

$$A_F = 1.73 \text{ cm}^2, \quad 2\phi 12 \longrightarrow 2.20 \text{ cm}^2$$

Panneau L : encastré sur un seul côté



$$\left. \begin{aligned} a &= 1.25 \text{ m} \\ b &= 9.40 \text{ m} \end{aligned} \right\} \rho = 0.132$$

Le panneau porte dans un seul sens

$$M = q \times a^2 / 2 = 1.1 \times 1.25^2 / 2 = 0.86 \text{ tm}$$

$$M = 0.86 \text{ tm}$$

$$A_s = 1.74 \text{ cm}^2, 2\phi 12 \longrightarrow 2.20 \text{ cm}^2$$

$$A_f = 1.73 \text{ cm}^2, 2\phi 12 \longrightarrow 2.20 \text{ cm}^2$$

VERIFICATION PRELIMINAIRES

. ARMATURES MINIMALES

Pour les aciers FeE40 on doit avoir :

$A_y \geq 8d$ armatures parallèles à l_y

$A_x \geq 8d \frac{3 - \alpha}{2}$ armatures parallèles à l_x

$$\text{Avec } d = 2.5 \sqrt{M_u / f_{c28}}$$

On prend les valeurs les plus petites

$$M_u = 0.73 \text{ tm}$$

$$\alpha = 0.4$$

$$\rightarrow d = 0.0427 \text{ cm}$$

$$\text{et } A_x \geq 0.44 \text{ cm}^2$$

$$A_y \geq 0.34 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow \boxed{A_{\min} = 0.34 \text{ cm}^2}$$

c'est vérifié

EFFORT TRANCHANT

On doit vérifier les conditions suivantes dans les 2 sens

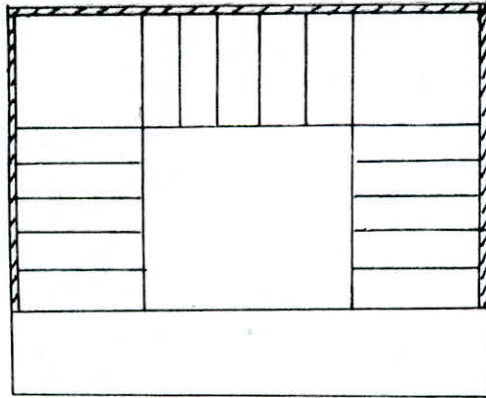
$$\text{SENS LX} \quad V_{ux} = \frac{P_u l_x}{2 + \alpha} \leq 0.05 \times d \times f_{c28}$$

$$\text{SENS LY} \quad V_{ux} = \frac{P_u l_x}{3} \leq 0.05 \times d \times f_{c28}$$

Si ces conditions sont vérifiées , il n'est pas nécessaire d'avoir des armatures transversales .

Dans notre cas , les 2 conditions sont vérifiées ,donc pas d'armatures transversales .

L'escalier que nous étudions est un escalier à 3 paillasse, chaque paillasse étant à 2 paliers, elle est préfabriquée, simplement appuyée sur ces paliers.



*** PREDIMENSIONNEMENT DE LA PAILLASSE**

On prédimensionne la paillasse selon la relation suivante :

$$L/50 \leq e \leq L/20 \quad \text{avec } L : \text{portée de la paillasse.}$$

$$g : \text{giron d'une marche, } g = L / (n-1) = 137.5 / 5 = 27.5 \text{ cm}$$

$$h : \text{hauteur d'une marche, } h = 17.0 \text{ cm}$$

Pour $g = 27.5 \text{ cm}$ et $h = 17 \text{ cm}$ la relation de BLONDEL est vérifiée.

$$60 \leq g + 2h \leq 64 \quad (g + 2h = 61.50 \text{ cm })$$

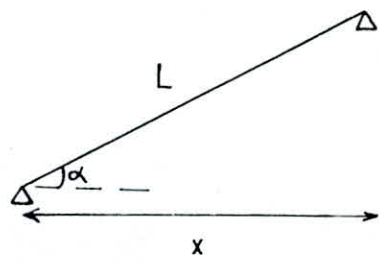
$$l = x / \cos(\alpha) \quad \text{avec } \tan(\alpha) = h/g = 17/27.5 = 0.618$$

$\alpha = 31.72^\circ$

$$l = 137.5 / \cos(31.72) = 161.64 \quad \longrightarrow \quad \boxed{l = 1.6 \text{ m}}$$

D'où $1.6/50 \leq e \leq 1.6/20$

$$\longrightarrow \quad \boxed{e = 8.00 \text{ cm}}$$



FERRAILLAGE

. EVALUATION DES CHARGES

PAILLASSE

* CHARGES PERMANENTE

- poids propre de la paillasse	: $2500 \times 0.08 / \cos(\alpha)$	= 237.54 kg/m ²
- poids propre de la marche	: $2500 \times 0.17 / 2$	= 212.50 kg/m ²
- poids propre du revêtement	:	= 84.00 kg/m ²
- poids propre du gard-corps	:	= 100.00 kg/m ²
		$\sum = 634.00 \text{ kg/m}^2$

* CHARGES D'EXPLOITATION : 250.00 Kg/m²

PALIER

* CHARGES PERMANENTE

- Poids propre de la dalle	: 2500×0.16	= 400.00 kg/m ²
- Poids propre du revêtement	:	= 84.00 kg/m ²
		$\sum = 484.00 \text{ kg/m}^2$

* SURCHARGES D'EXPLOITATION : 250.00 kg/m²

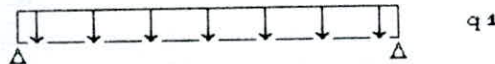
DETERMINATION DES EFFORTS

. PAILLASSE

$$q_{1u} = 1.35G + 1.5Q = 1.35 \times 0.634 + 1.5 \times 25 = 1.23 \text{ t/m}$$

* ETUDE DE LA PAILLASSE

Le schéma statique équivalent de calcul pour la paillasse est :



Les valeurs des moments

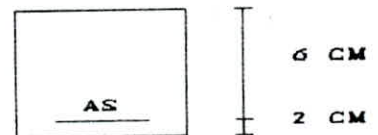
$$M_u = q_{1u} \cdot x \cdot l^2 / 8 = 1.23 \times 1.375^2 / 8 = 0.29 \text{ t.m}$$

CALCUL DES SECTIONS

La paillasse est soumise à une flexion simple

le programme nous donne :

$$ACU = 0.00 \text{ cm}^2$$



$$A_U = 1.44 \text{ cm}^2$$

Section adoptée $A_s = 3 \phi 8 = 1.50 \text{ cm}^2$

ARMATURES DE REPARTITION

$$A/4 \leq A_r \leq A/2, \quad A_r = 0.70 \text{ cm}^2$$

Section adoptée $A_r = 2 \phi 8 = 1.00 \text{ cm}^2$

* VERIFICATIONS DIVERSES

. FERRAILLAGE MINIMALE

$$A_{s \min} = .23 \times b \times d \times f_{t28} / f_{c28} = .23 \times 100 \times 68 \times 2.1 / 400 = 0.725 \text{ cm}^2$$

→ c'est vérifié

Calcul de v_u

$$R_A = R_B = q_l \times \cos(\alpha) / 2 = 1.23 \times 1.375 \times \cos(31.72) / 2 = 0.72 \text{ t}$$

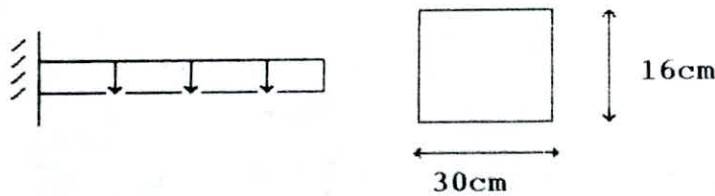
$$v_u = 0.72 \text{ t}$$

$$\tau_u = v_u / b \times d = 0.72 / 0.06 \times 1 = 13.71 \text{ t/m}^2 < 325 \text{ t/m}^2$$

→ c'est vérifié

* CALCUL DE LA POUTRE PALIERE

Les poutres palieres sont incorporées dans les paliers, elles servent à supporter les sollicitations dues à la paillasse ou, à transmettre ces efforts aux paliers.



$$P = v_u / l + \text{poids propre de la poutre}$$

$$p = 0.72 / 1.125 + 1.35 \times (0.3 \times 0.16 \times 2.5) = 0.80 \text{ t/ml}$$

Cette poutre est soumise à une flexion simple

$$M_u = q_l^2 / 2 = 0.80 \times 1.125^2 / 2 = 0.50 \text{ t.m}$$

Le programme flexion simple nous donne :

$$A_s = 1.06 \text{ cm}^2$$

Section adoptée: $4 \phi 6 = 1.13 \text{ cm}^2$

* VERIFICATIONS DIVERSES

• ARMATURES MINIMALES

$$A_{min} = 0.23 \times b \times d \times f_{t2B} / f_{c2B} = 0.23 \times 0.3 \times 0.14 \times 2.1 / 400 = 0.51 \text{ cm}^2$$

$$A_{min} = 0.51 \text{ cm}^2 \longrightarrow \text{c'est vérifié}$$

• EFFORT TRANCHANT

$$v_u = q_l = 0.8 \times 1.125 = 0.9 \text{ t}$$

$$t_u = v / b \times d = 0.9 / 0.3 \times 0.11 = 27.27 \text{ t/mz} < 325 \text{ t/mz}$$

—————> c'est vérifié

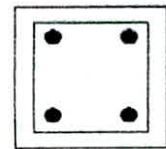
• ARMATURES TRANSVERSALES

$$s_t = \text{Min} [0.9d, 40\text{cm}] = \text{Min} [12.6, 40\text{cm}] = 12.6 \text{ cm}$$

$$A_t / b \times s_t \geq t_u \times 0.5 / 0.8 \times f_w$$

$$A_t = 1.01 \text{ cmz}$$

Soit : A_t adoptée ———> 1 cadre de $\phi 8$



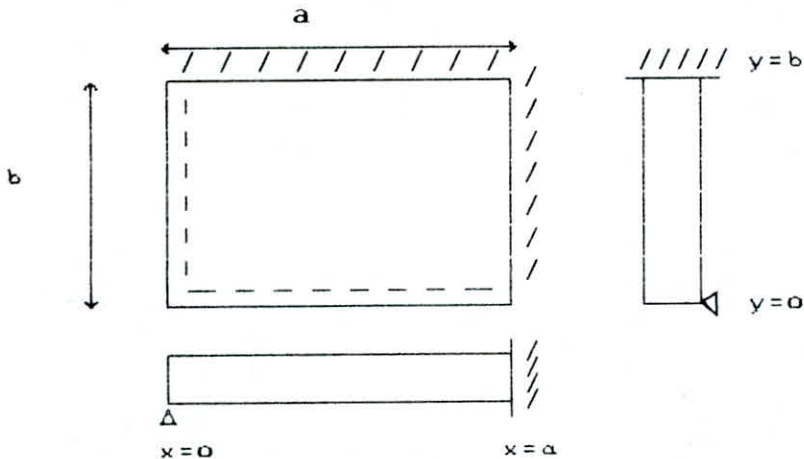
* CALCUL DES PALIERS

Les appuis disposés dans les plans d'architecture n'étant pas suffisant pour retenir le palier, l'ajout d'un voile de faibles dimensions est devenu indispensable. Donc on a obtenu un palier encastré sur 2 cotés adjacents (qui sont des voiles), et simplement appuyé sur les deux autres cotés (poutres palières).

Les efforts agissant sur le palier sont : son poids propre, la surcharge majorée, et la réaction transmise par la volée :

$$D'où : q = q(\text{palier}) + q(\text{volée}) = 1.35G + 1.5Q$$

$$q = 1.35 \times (0.484 + 0.634) + 1.5 \times (0.25 + 0.25) = 2.26 \text{ t}$$



$$a = b = 1.125 \text{ m}$$

$$\rho = a / b = 1.00$$

$$M_{y \text{ min}} = 0.0699 qb^2 = 0.20 \text{ t.m}$$

$$M_{y \text{ o}} = 0.0269 qb^2 = 0.08 \text{ t.m}$$

$$M_{x \text{ min}} = 0.0699 qa^2 = 0.20 \text{ t.m}$$

$$M_{x \text{ o}} = 0.0269 qa^2 = 0.08 \text{ t.m}$$

$$\longrightarrow M_{\text{max}} = 0.20 \text{ t.m}$$

D'après le programme flexion simple :

$$ACU = 0.00 \text{ cm}^2$$

$$AU = 0.42 \text{ cm}^2$$

. ARMATURES MINIMALES

$$A_a = .23 \times b \times d \times f_t \times z_a / f_c \times z_a$$

$$A_{\text{min}} = .23 \times 100 \times .14 \times 2.1 / 400 = 1.70 \text{ cm}^2$$

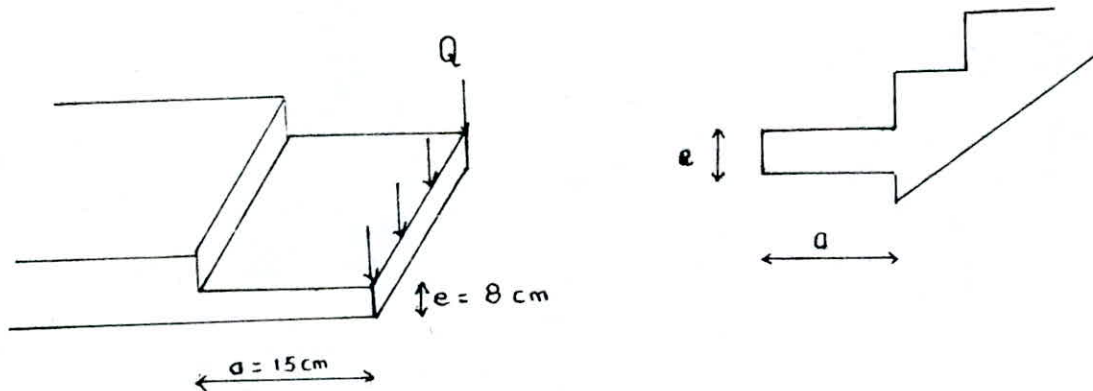
Donc on prend comme armatures longitudinale $A_s = 1.70 \text{ cm}^2$

$$\text{section adoptée } 4 \phi 8 = 2.00 \text{ cm}^2$$

* CALCUL DES BEQUETS :

D'après les recommandations techniques du C.T.C , l'épaisseur des bequets ne doit pas être inférieure à 0.07 m (7 cm)

Aussi bien dans les sections d'encastrement que dans les sections d'extrémité.



On prend $e = 8\text{ cm}$

La largeur des bequets ne devra pas être inférieure à 10 cm

On prend : $a = \max [a_1, a_2 + 3]$

$$a_2 = 12\text{ cm}$$

$$a_1 = 14\text{ cm}$$

$$a = 15\text{ cm}$$

Le calcul de bequet est mené en considérant une bande d'un mètre encastrée dans la paillasse, soumise à une flexion simple

Q : charge de la paillasse

$$Q = v_u / a_2 - 1\text{ cm} = 0.72 / 0.11 = 6.54\text{ t/m}$$

le moment d'encastrement vaut :

$$M = qa^2 / 2 = 6.54 \times 0.15^2 / 2 = \underline{0.0735\text{ t/m}}$$

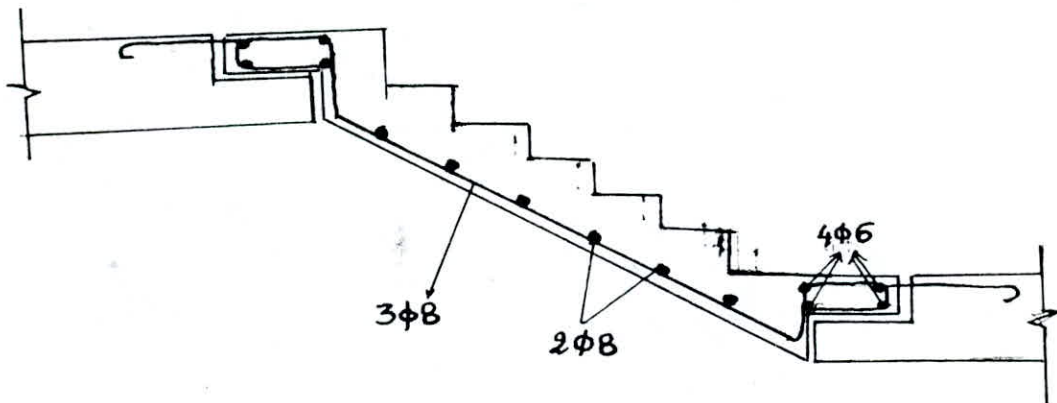
$$e = 8\text{ cm} \quad d = 6\text{ cm}$$

$$\text{donc } \underline{A_u = 0.35\text{ cm}^2}$$

ARMATURES DE NON FRAGILITE

$$A_s = 0.23 \times b \times d \times f_{t28} / f_{c28} = 0.72\text{ cm}^2$$

$$\text{on prend } A_s = 4 \phi 6 = 1.1\text{ cm}^2$$



$$A_{smin} = 1.449 \text{ 1E-4 m}^2$$

$$A_{smin} = 1.449 \text{ Cm}^2$$

$$A_{eff} = 6\phi 6 = 1.695 \text{ Cm}^2$$

$$St = 16 \text{ Cm}$$

Vérification au cisaillement

$$Vu = 1.5Q = 0.15 \text{ t}$$

$$\tau_v = Vu/bd = 1.25 \text{ t/m}^2, \quad \bar{\tau}_v = 125 \text{ t/m}^2$$

$$\tau_v < \bar{\tau}_v \longrightarrow \text{vérifiée}$$

Vérification au seisme local

$$F_p = 4 A C_p W_p = 4 \times 0.15 \times 0.8 \times 0.667 = 0.320 \text{ t}$$

F_p est une force d'inertie appliqué au cdq de l'acrotère

d'où le moment d'ancrage = $F_p \times 1.25 / 2 = 0.2 \text{ t.m}$

$$U_{bu} = 0.21 \text{E-2} / 1 \times 0.12 \times 14.2 = 1.17 \text{ 1E-3} < 0.3 \longrightarrow A_s = 0$$

$$\alpha = 0.00146, \quad z = 0.1199$$

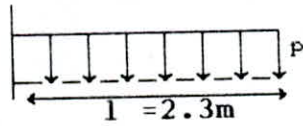
$$A_s = M / Z \times f_{su} = 4.79 \text{ 1E-5 m}^2$$

$$A_s = 0.479 \text{ Cm}^2$$

$A_s < A_{smin}$ calculée auparavant

donc c'est vérifiée.

Les balcons sont encastrés dans les planchers, ils sont donc calculés en console soumise à son poids propre.



Charge permanente

$$G = 514 \text{ kg/m}^2$$

$$P = 1.35G + 1.5Q = 1218.9 \text{ kg/m}^2$$

soit par ml $P = 1218.9 \times 1 = 1218.9 \text{ kg/m}^2$

Surcharge

$$Q = 350 \text{ kg/m}^2$$

Sollicitations

Moment à l'encastrement : $M = P l^2 / 2$

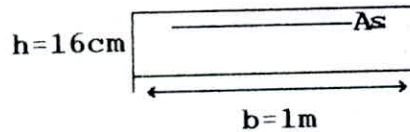
$$M = 1218.9 \times 2.3^2 / 2 = 3.224 \text{ t.m}$$

Effort tranchant : $T = P l$

$$T = 1.2189 \times 2.3 = 2.803 \text{ t}$$

Ferrailage

$$U_{bu} = \frac{M_u}{b d^2 f_{bu}}$$



$$\begin{aligned} d &= 12 \text{ cm} \\ f_{bu} &= 14.2 \text{ Mpa} \\ f_{su} &= 348 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$U_{bu} = \frac{3.224 \cdot 10^{-2}}{1 \times 0.12^2 \times 14.2} = 0.15 < 0.3 = U_{lu} \rightarrow A'_s = 0$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2U_{bu}}) = 0.664 > 0.259 \rightarrow \text{pivot B}$$

$$\epsilon_s = 3.5(1/\alpha - 1) \cdot / \dots = 1.77 \cdot / \dots$$

$$\epsilon_{s1} = f_s / \gamma_s \cdot E = 400 / 1.15 \times 2 \cdot 10^5 = 1.74 \cdot / \dots \quad \epsilon_s > \epsilon_{s1} \rightarrow \sigma_s = f_{su}$$

$$A_{smin} \geq 0.23 b d f_{t28} / f_s = 0.23 \times 1 \times 0.2 \times 2.1 / 400 = 1.45 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_s > A_{smin} \text{ vérifié}$$

$$\tau_u = \frac{T}{b d} = \frac{2.803 \cdot 10^{-2}}{1 \times 0.2} = 0.23 \text{ Mpa}$$

$$\overline{\tau_u} = \min [0.13 f_{c28} ; 4 \text{ mpa}] = 3.25 \text{ Mpa}$$

$$\tau_u < \overline{\tau_u} \text{ vérifié}$$

On choisit 4 ϕ 10 $\rightarrow A_t = 3.14 \text{ cm}^2$ $S_t = 20 \text{ cm}$

$$AS2 = AS \cdot \frac{\sigma_{scc}}{f_{su}} = 607.5 \cdot \frac{274}{348} = 478.32 \text{ cm}^2$$

$$AS = AS1 + AS2 = 510 \text{ cm}^2$$

On adopte $26\phi 50 \longrightarrow 510.5 \text{ cm}^2$

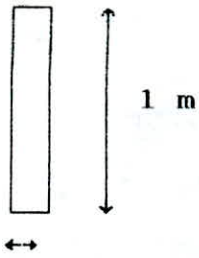
CALCUL DE LA DALLE DE L'ASCENSEUR

Vu que les équipements de l'ascenseur ne nous ont pas été donné , on donnera dans ce qui suit un ferrailage optimale qui vérifiera le poinçonnement et qui pourra reprendre la charge de l'ascenseur .

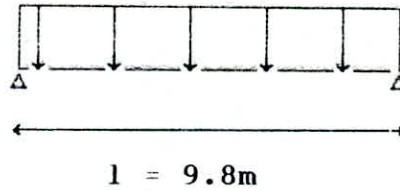
Pour une épaisseur de la dalle égale à 20 cm on ferrailera avec

6 T 16 / ml

CALCUL DE LA POUTRE CLOISON



$b = 0.2 \text{ m}$



$$\left. \begin{aligned} G &= 84.275 \text{ t/ml} \\ Q &= 11.617 \text{ t/ml} \end{aligned} \right\} p = 1.35G + 1.5Q + 131.19 \text{ t/ml}$$

$$M_u = \frac{p L^2}{8} = 1575.02 \text{ tm}$$

$$M_{ser} = 1151.18 \text{ tm}$$

$$\gamma = \frac{M_u}{M_{ser}} = 1.368$$

$$U_{bu} = \frac{M}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{1575.02 \times 10^{-2}}{0.2 \times 0.95^2 \times 14.2} = 6.14 > 0.3 \rightarrow AS \neq 0$$

$$M_{lu} = \gamma \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{bu} = 0.3 \times 2.56 = 0.769$$

$$\begin{aligned} \sigma_{scc} &= 9 \cdot \gamma \cdot f_{c28} - \delta' (370 + 12 f_{c28}) \\ &= 274.34 \text{ MPA} \end{aligned}$$

$$AS' = \frac{M_u - M_{lu}}{\sigma_{scc} (d - d')} = \frac{15.75 - 0.769}{274(0.95 - 0.05)} = 0.06 \text{ m}^2$$

$AS' = 607.5 \text{ cm}^2$

section adoptée $32\phi 50 \rightarrow 628.3 \text{ cm}^2$

ARMATURES TENDUES : $AS1 = \frac{M_{lu}}{Z f_{su}}$

$$\alpha = 0.459, Z = 0.95(1 - 0.6 \times 0.459) = 0.688 \text{ m}$$

$$AS1 = \frac{0.769}{0.688 \times 348} = 3.2 \cdot 10^{-2}$$

$AS1 = 32.11 \text{ cm}^2$

CALCUL DES POTEAUX

On suppose que le poteau est soumis à une compression simple

$$N_g = 828.345 \text{ t} \quad f_{bu} = 14.2 \text{ Mpa}$$

$$N_q = 113.853 \text{ t} \quad f_{cu} = 348 \text{ Mpa}$$

$$l_f = 0.7 l_0 = 2.8 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_f}{i} \quad i = \sqrt{\frac{I}{B}} = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{90}{\sqrt{12}} = 7.5$$

$$\lambda = \frac{280}{7.5} = 37.33 < 50 \rightarrow$$

$$\beta = 1 + 0.2 \left(\lambda / 35 \right)^2 = 1.227$$

$$A_s \geq \frac{1}{0.85 f_{cu}} \left[\beta N_{cu} - A_{br} f_{bu} / 0.9 \right]$$

$$N_{cu} = 1289 \text{ t}$$

$$A_s = 0.0278 \text{ m}^2$$

La section adoptée 40 ϕ 30

CHAPITRE XII

CALCUL DES FONDATIONS

Fondation

Choix du type de fondation

Le sol sur lequel repose notre bâtiment à une contrainte admissible $\overline{\sigma_s} = 2.5$ bars, vu :

- . L'importance de la charge totale transmise au sol par les différents éléments porteurs.
- . Le nombre élevé de voiles.
- . Le rapprochement des voiles trop chargés.
- . La portance assez faible du sol.
- . Des désordres ultérieurs qui peuvent résulter des tassements éventuels.

Le type de fondation retenu est le radier général car :

- . Il répartit sur le sol de fondation l'ensemble des charges qui lui sont transmises par les voiles.
- . Il est capable de réduire les désordres dûs aux divers tassements. Ce radier sera constitué d'une dalle d'épaisseur constante, assimilable du point de vue calcul à un plancher soumis aux forces de réactions du sol agissant de bas vers le haut d'une manière uniforme.

Dimensionnement du radier

a) Détermination de la surface du radier

La surface est déterminée en considérant que la contrainte transmise au sol par la construction doit être inférieure ou égale à la portance de ce sol.

$$\sigma = \frac{N}{S_{\text{rec}}} \leq \overline{\sigma_s} = S_{\text{rec}} \geq \frac{N}{\overline{\sigma_s}}$$

$$N = 1.35G + 1.5Q$$

$$N = 1.35 \times 14816.3 + 1.5 \times 1668.657 = 22505t$$

D'où

$$S_{nec} \geq \frac{N}{\sigma_a} = \frac{22505}{25} = 900.2 \text{ m}^2$$

En faisant les vérifications diverses, on trouve qu'avec cette surface, certains test ne sont pas vérifiés.

Nous aurons alors à augmenter cette surface et nous prendrons

$$S_r = 1000 \text{ m}^2.$$

La surface de la contraction est $S = 32.6 \times 27 = 880.2 \text{ m}^2$

En calculant le débords:

$$S_d = S_r - S_c = 1000 - 880.2 = 119.8 \text{ m}^2.$$

D'où on a un débord de 1.00 m.

b) Épaisseur du radier

L'épaisseur du radier est déterminée d'après la condition de contreventement.

$$\tau_u = \frac{V_{u\max}}{b_0 d} \leq 0.05 f_{ctb}$$

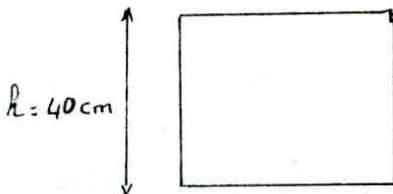
Rq - $V_{u\max}$: effort tranchant maximal dans le panneau le plus sollicité.

$$\text{Soit } V_{u\max} = \frac{q l_x}{2 + \alpha}$$

$$\begin{cases} q = \frac{N_t}{S_r} = \frac{22505}{1000} = 22.505 \text{ t/m} \\ \alpha = \frac{l_x}{l_y} = \frac{3.8}{27} = 0.14 \end{cases} \longrightarrow V_{u\max} = 39.96 \text{ t}$$

$$\text{D'où } d \geq \frac{39.96}{100 \times 0.025 \times 25} = 0.32 \text{ m}$$

$$d = 32 \text{ cm}$$



contrainte du sol.

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{S} \pm \frac{M}{I} V_{1,2}$$

avec

N : $G + \text{Gradier} + Q$ (sous pression)

M : moment de renversement engendré par les efforts horizontaux.

$$M_{x,y} = \sum_{x,y} F_i Z_i + V_{x,y} Z$$

Dans notre cas :

$$\left. \begin{array}{l} M_{y \text{ longt}} = 44957.937 \text{ m} \\ M_{x \text{ trans}} = 28311 \text{ tm} \end{array} \right\} \text{ Voir calcul}$$

$$\text{Sens longt} \quad I_y = \frac{bh^3}{12} = \frac{29^3 \times 34.6}{12} = 70321.6 \text{ m}^4, \quad V_x = 14.5 \text{ m}$$

$$\text{Sens trans} \quad I_x = \frac{34.6^3 \times 29}{12} = 100102.5 \text{ m}^4, \quad V_y = 17.3 \text{ m}$$

$$N = 14816.3 + (1000 \times 0.4 \times 2.5) + 1668.657 = 17485 \text{ t}$$

Les contraintes sont donc égales:

<u>Sens longt</u>	<u>Sens trans</u>
$\sigma_1 = 26.75 \text{ t/m}^2$	$\sigma_1 = 22.37 \text{ t/m}^2$
$\sigma_2 = 8.21 \text{ t/m}^2$	$\sigma_2 = 12.59 \text{ t/m}^2$
$\sigma_m = 22.1 \text{ t/m}^2$	$\sigma_m = 19.92 \text{ t/m}^2$
$\sigma_{\max} = 26.75 \text{ t/m}^2$	$\sigma_{\max} = 22.37 \text{ t/m}^2$

Nous devons vérifier que :

$$\sigma_m = \frac{3\sigma_1 + \sigma_2}{4} < 1.33 \overline{\sigma_s} = 33.25 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_{\max} < 1.5 \overline{\sigma_s} = 37.5 \text{ t/m}^2$$

Nous remarquons bien que les inégalités sont vérifiées dans les deux sens (longitudinal et transversal).

Rq : Nous prendrons $h = 40 \text{ cm}$

Vérification au poinçonnement

$$Q_u \leq 0.045 \cdot U_c \cdot h \cdot f_{c20}$$

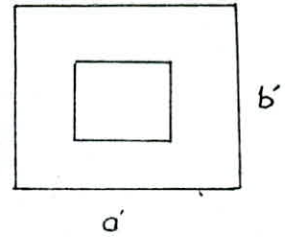
$$U_c = 2(a' + b') \text{ avec } a' = a + h \text{ et } b' = b + h$$

$$a = 0.2 \text{ et } b = 1 \text{ m}$$

$$U_c = 2(1 + 0.2 + 2 \times 0.4) = 4 \text{ m}$$

Q_u est la charge de calcul à l'état limite ultime du voile le plus sollicité; nous prendrons le voile V_{1a} qui a pour longueur $l = 27 \text{ m}$.

$$Q = \frac{1.35 \times 58.913 + 1.5 \times 16.443}{27} = 3.86 \text{ t}$$



Vérification à l'état de sous pression

Nous aurons à vérifier que le bâtiment ne risque de se soulever sous l'effet des sous pressions lorsque le bâtiment n'est pas surchargé. Nous devons justifier que $P \geq 1.5 \times S \times z$

Telque

1.5 : coefficient de sécurité

S : surface du radier

z : pression hydraulique en t/m^2 ; $z = 1.8 \text{ t/m}^2$

P : poids total du bâtiment sous surcharges

$$P = 1.335 \times 14816.3 = 20002 \text{ t}$$

Nous vérifions bien que $20002 > 1.5 \times 100 \times 1.8 = 2700$.

Vérification à la stabilité

Cette vérification consiste à calculer les contraintes sur le radier engendrés par les efforts horizontaux et verticaux et vérifier qu'elle restent inférieure à un certain taux de

Vérification à l'état limite ultime

$$N_u = 1.35 (G + G_{radier}) + 1.5Q = 23855 \text{ t}$$

Nous vérifions que $\sigma = \frac{N_u}{S_r} < \overline{\sigma_a}$

$$\sigma = \frac{N_u}{S_r} = \frac{23855}{1000} = 23.8 < 25 \text{ t/m}^2 \quad (\text{c'est vérifiée})$$

CHARGES A PRENDRE DANS LES CALCULS

DETERMINATION DE LA SOLLICITATION LA PLUS DEFAVORABLE

1°) Situation durable: (poids du radier non compris)

$$p_1 = \frac{N_u}{S_r} = 22.5 \text{ t/m}^2$$

2°) Situation accidentelle

$$\text{sens longitudinal : } \sigma_1 = 26.75 - q_r = 26.75 - 1 = 25.75 \text{ t/m}^2$$

$$\text{sens transversal : } \sigma_2 = 22.37 - 1 = 21.37 \text{ t/m}^2$$

q_r : poids du radier

$$\frac{\sigma_a(\text{sp2})}{\sigma_a(\text{Elu})} = \frac{4000}{3480} = 1.15 > \frac{q(\text{sp2})}{q(\text{Elu})} = 1.17$$

D'où le radier sera calculé sous l'effet des sollicitations du 1^{er} genre (ELU) $q = 22.5 \text{ t/m}^2$

FERRAILLAGE DU RADIER

Le radier est calculé comme étant une dalle soumise à une charge uniformément repartie $q = 22.5 \text{ t/m}^2$

Vue que le radier comporte plusieurs panneaux de dimensions différentes on va se limiter au calcul du panneau qui porte les plus grandes dimension .

les autres panneaux seront ferrailés en conséquence.

EVALUATION DES MOMENTS ISOSTATIQUES AU CENTRE DU PANNEAU

$$\left. \begin{array}{l} LX = 4.8 \text{ m} \\ LY = 9.6 \text{ m} \end{array} \right\} \rightarrow \alpha = \frac{LX}{LY} = 0.5$$

Les tables de PIERRE CHARON nous donnent :

$$U_x = 0.0946$$

$$U_y = 0.25$$

$$M_{0x} = U_x \cdot q \cdot l_x^2 = 0.0946 \times 22.5 \times 4.8 = 49 \text{ tm}$$

$$M_{0y} = U_y \cdot q \cdot l_y^2 = U_y \cdot M_{0x} = 0.25 \times 49 = 12.25 \text{ tm}$$

REPARTITION DES MOMENTS

Les panneaux sont continus au delà de leurs appuis , donc il faut tenir compte de cette continuité.

Il faut que les panneaux vérifient l'inégalité suivante :

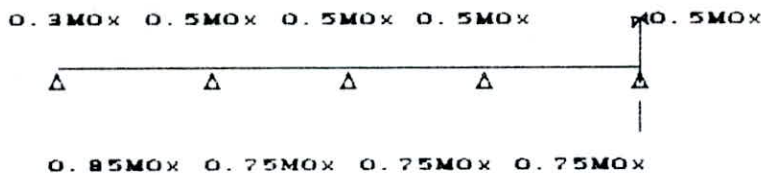
$$M_t + \frac{M_w + M_v}{2} \geq 1.25 M_0$$

$$0.75 M_0 \leq M_t \leq M_0$$

$$0.4 M_0 \leq (M_w, M_v) \leq M_0$$

d'où on obtient la répartition suivante :

SENS LX :



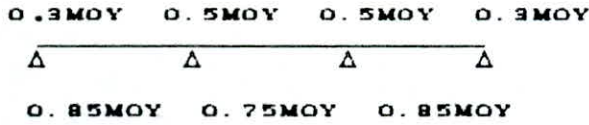
Moment en travée de rive - - - - - $0.85M_{0x} = 41.65 \text{ tm}$

Moment en travée intermédiaire - - - - - $0.75M_{0x} = 36.75 \text{ tm}$

Moment sur appui de rive - - - - - $0.30M_{0x} = 14.70 \text{ tm}$

Moment sur appui intermédiaire - - - - - $0.50M_{0x} = 24.50 \text{ tm}$

SENS LY :



Moment en travée de rive - - - - - 0.85MOY = 10.40 tm
 Moment en travée intermédiaire - - - - - 0.75MOY = 9.18 tm
 Moment sur appui de rive - - - - - 0.30MOY = 3.67 tm
 Moment sur appui intermédiaire - - - - - 0.50MOY = 6.13 tm

Le programme de flexion simple donne :

SENS LX

TRAVEE	MU (tm)	AS (cm ²)	AS ADOPTEE
A-B	41.65	38.6	8ϕ 25
B-C	36.75	33.0	7ϕ 25
C-D	36.75	33.6	7ϕ 25
D-E	41.65	38.6	8ϕ 25

APPUIS	MU (tm)	AS (cm ²)	AS ADOPTEE
A	14.7	12.24	7ϕ 16
B	24.5	12.24	7ϕ 16
C	24.5	21.07	7ϕ 20
D	24.5	21.07	7ϕ 20
E	24.5	21.07	7ϕ 20

SENS LY

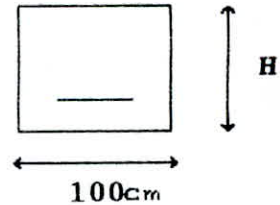
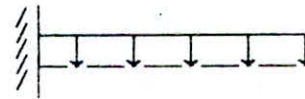
TRAVEE	MU (tm)	AS (cm ²)	AS ADOPTEE
A-B	10.4	8.55	5ϕ 16
B-C	9.12	7.47	4ϕ 16
C-D	10.4	8.55	5ϕ 16

APPUIS	MU (tm)	AS (cm ²)	AS ADOPTÉE
A	3.67	2.96	3 ϕ 12
B	6.13	4.97	5 ϕ 12
C	6.13	4.97	5 ϕ 12
D	3.67	2.96	3 ϕ 12

FERRAILLAGE DU DEBORD

Le débord est une console encastré soumise à une charge $q = 22.5 \text{ t/m}$

$$M_{enc} = \frac{q \cdot a^2}{2}$$



$$M_{enc} = \frac{22.5 \times 1^2}{2} = 11.52 \text{ tm}$$

Avec $d = 32 \text{ cm}$, $b = 100 \text{ cm}$: le programme flexion simple donne :

$$ASU = 10.52 \text{ cm}^2 \quad \text{section adoptée } 6\phi 16 \quad 12.05 \text{ cm}^2$$

ARMATURE DE NON FRAGILITE

$$AF = 0.23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_{c28}} = 3.86 \text{ cm}^2 \quad ; \quad ASU > AF$$

Donc c'est vérifié

ARMATURE DE REPARTITION

$$\frac{ASU}{4} \leq AR \leq \frac{ASU}{2}$$

On prend $AR = 6.0 \text{ cm}^2$ 6 ϕ 12

contrainte du sol.

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{S} \pm \frac{M}{I} V_{1,2}$$

avec

N : G + Gradient + Q (sous pression)

M : moment de renversement engendré par les efforts horizontaux.

$$M_{x,y} = \sum_{x,y} F_i Z_i + V_{x,y} Z$$

Dans notre cas :

$$\left. \begin{array}{l} M_{y \text{ longt}} = 44957.937 \text{ m} \\ M_{x \text{ trans}} = 28311 \text{ tm} \end{array} \right\} \text{ Voir calcul}$$

$$\text{Sens longt} \quad I_y = \frac{bh^3}{12} = \frac{29^3 \times 34.6}{12} = 70.3216 \text{ m}^4, \quad V_x = 14.5 \text{ m}$$

$$\text{Sens trans} \quad I_x = \frac{34.6^3 \times 29}{12} = 100102.5 \text{ m}^4, \quad V_y = 17.3 \text{ m}$$

$$N = 14816.3 + (1000 \times 0.4 \times 2.5) + 1668.657 = 17485 \text{ t}$$

Les contraintes sont donc égales:

<u>Sens longt</u>	<u>Sens trans</u>
$\sigma_1 = 26.75 \text{ t/m}^2$	$\sigma_1 = 22.37 \text{ t/m}^2$
$\sigma_2 = 8.21 \text{ t/m}^2$	$\sigma_2 = 12.59 \text{ t/m}^2$
$\sigma_m = 22.1 \text{ t/m}^2$	$\sigma_m = 19.92 \text{ t/m}^2$
$\sigma_{\max} = 26.75 \text{ t/m}^2$	$\sigma_{\max} = 22.37 \text{ t/m}^2$

Nous devons vérifier que :

$$\sigma_m = \frac{3\sigma_1 + \sigma_2}{4} < 1.33 \overline{\sigma_a} = 33.25 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_{\max} < 1.5 \overline{\sigma_a} = 37.5 \text{ t/m}^2$$

Nous remarquons bien que les inégalités sont vérifiées dans les deux sens (longitudinal et transversal).

CHAPITRE XIII

PROGRAMMES

```

C *****
C **          PROGRAMME DE CALCUL DU FERRAILLAGE DES VOILES          **
C *****

REAL L1
DIMENSION DN(20,20,20),Dm(20,20,20),bLI(20,20),V(20,20),A(20,20)
DIMENSION SIG1(20,20,20),SIG2(20,20,20),DN1(20,20,20)
1,DM1(20,20,20),ALI(20,20),SIG22(20,20,20),DNN(20,20,20),E(20)
1,SIGB(20,20,20),TO(20,20,20),T(20,20,20),AHMIN(20,20,20)
1,DL(20,20),AS(20,20,20),AT(20,20,20),AMIN(20,20,20),N(20),M(20)
OPEN(1,FILE='A.DAT',STATUS='OLD')
OPEN(2,FILE='A.RES',STATUS='NEW')

C *****
C DONNEES DU PROGRAMME
C *****
C I:VARIABLE CORESPONDANT AU NOMBRE DE VOILES
C J:VARIABLE CORESPONDANT AU NOMBRE DE TRUMEAUX
C K:VARIABLE CORESPONDANT AU NOMBRE DE NIVEAUX
C N(I):NOMBRE DE TUMEAUX
C M(I):NOMBRE DE NIVEAUX
C E(I):EPAISSEUR DU VOILE
C DN(I,J,K):EFFORT NORMAL (0.8*G+E)
C DM(I,J,K):MOMMENT FLECHISSANT
C DNN(I,J,K):EFFORT NORMAL (G+Q+E)
C T(I,J,K):EFFORT TRANCHANT
C V(I,J,K):HAUTEUR DU TRUMEAU SUR DEUX
C BLI(I,J):INERTIE DU TRUMEAU
C A(I,J):SECTION DU TRUMEAU
C *****

DO I=1,18
write(*,*)i
READ(1,*) N(I),M(I),E(I)
READ(1,*)((DN(I,J,K),J=1,N(I)),K=1,M(I))
READ(1,*)((DM(I,J,K),J=1,N(I)),K=1,M(I))
READ(1,*)((DNN(I,J,K),J=1,N(I)),K=1,M(I))
READ(1,*)((T(I,J,K),J=1,N(I)),K=1,M(I))
READ(1,*)(V(I,J),J=1,N(I))
READ(1,*)(bli(i,j),J=1,N(I))
READ(1,*)(A(I,J),J=1,N(I))
ENDDO
DO I=1,18

```

```

DO J=1,N(1)
DL(I,J)=V(I,J)*2
DO K=1,M(I)
C *****
C   CALCUL DES CONTRAINTES
C *****
   SIG1(I,J,K)=1E-2*((DN(I,J,K)/A(I,J))+(DM(I,J,K)*V(I,J)/bli(i,j)))
   SIG2(I,J,K)=1E-2*((DN(I,J,K)/A(I,J))-(DM(I,J,K)*V(I,J)/bli(i,j)))
   SIGB(I,J,K)=DNN(I,J,K)*1E-2/A(I,J)
C *****
C   ETUDE DE LA BANDE
C *****
   IF(SIG1(I,J,K).LT.0.AND.SIG2(I,J,K).GE.0) THEN
       L1=SIG2(I,J,K)*DL(I,J)/(ABS(SIG1(I,J,K))+SIG2(I,J,K))
       R=2*L1/3
       IF( R.LT.1.5) D=R
       IF( R.GE.1.5) D=1.5
       DA=DL(I,J)-L1
       IF (DA.LT.D) D=DA
C *****
C   CARACTERISTIQUES DE LA BANDE
C *****
   S=E(I)*D
   V1=D/2
   ALI(I,J)=D**3*E(I)/12
       SIG22(I,J,K)=ABS(SIG1(I,J,K))*(DA-D)/DA
       DN1(I,J,K)=(SIG22(I,J,K)+ABS(SIG1(I,J,K)))/2*S
       DM1(I,J,K)=(ABS(SIG1(I,J,K))-SIG22(I,J,K))/2*ALI(I,J)/V1
   ELSE
   IF(SIG1(I,J,K).GE.0.AND.SIG2(I,J,K).LT.0) THEN
       L1=SIG1(I,J,K)*DL(I,J)/(ABS(SIG2(I,J,K))+SIG1(I,J,K))
       R=2*L1/3
       IF( R.LT.1.5) D=R
       IF( R.GE.1.5) D=1.5
       DA=DL(I,J)-L1
       IF (DA.LT.D) D=DA
C *****
C   CARACTERISTIQUES DE LA BANDE
C *****
   S=E(I)*D
   V1=D/2
   ALI(I,J)=D**3*E(I)/12

```

```

        SIG22(I,J,K)=ABS(SIG2(I,J,K))*(DA-D)/DA
        DN1(I,J,K)=(SIG22(I,J,K)+ABS(SIG2(I,J,K)))/2*S
        DM1(I,J,K)=(ABS(SIG2(I,J,K))-SIG22(I,J,K))/2*ALI(I,J)/V1
ELSE
IF(SIG1(I,J,K).LT.0.AND.SIG2(I,J,K).LT.0) THEN
    L1=DL(I,J)
    R=2*L1/3
    IF( R.LT.1.5) D=R
    IF( R.GE.1.5) D=1.5
    DN1(I,J,K)=DN(I,J,K)
    DM1(I,J,K)=DM(I,J,K)
ENDIF
ENDIF
ENDIF
IF(SIG1(I,J,K).GE.0.AND.SIG2(I,J,K).GE.0) GOTO 20
AS(I,J,K)=DN1(I,J,K)/400
AT(I,J,K)=.5*AS(I,J,K)/D
20 AMIN(I,J,K)=.5*E(I)*1/200
IF (AT(I,J,K).LT.AMIN(I,J,K)) AT(I,J,K)=AMIN(I,J,K)
TO(I,J,K)=1.4*T(I,J,K)/(E(I)*.8*DL(I,J))
IF(TO(I,J,K).LT.0.025*25)THEN
WMIN=.15/100
AHMIN(I,J,K)=WMIN*E(I)*1/2
ELSE
WMIN=.25/100
AHMIN(I,J,K)=WMIN*E(I)*1/2
ENDIF
ENDDO
ENDDO
ENDDO
DO I=1,18
WRITE(2,*)' VOILE ',I
WRITE(2,*)('TRUMEAU',J,' ',J=1,N(I))
DO K=1,M(I)
WRITE(2,290)K
290 FORMAT('NIVEAU',I2)
11 format(' AT ',10F10.3)
WRITE(2,11) (AT(I,J,K)*1E4,J=1,N(I))
write(2,*) 'AT adoptee ',(' XHA14 ',JJ=1,N(I))
write(2,*) 'ST ',(' XX Cm ',JJ=1,N(I))

```



```
write(2,*) 'ST Max      ', (' 30 Cm ',JJ=1,N(I))
16 format(' Ahmin      ',10F10.3)
WRITE(2,16) (AHMIN(I,J,K)*1E4,J=1,N(I))
write(2,*) 'AH adoptee  ', (' YHA12 ',JJ=1,N(I))
write(2,*) 'ST          ', (' YY Cm ',JJ=1,N(I))
write(2,*) 'ST Max      ', (' 30 Cm ',JJ=1,N(I))
36 format(' sigb       ',10F10.3)
WRITE(2,36) (SIGB(I,J,K),J=1,N(I))
write(2,*) 'SIG BAR     ', (' 15MPA ',JJ=1,N(I))
ENDDO
end11
ENDDO
STOP
END
```



```

c*****
c   programme d'etablissement des matrices masses et rigiditees
c*****

      real*16 I(32),K,KH,M(32)
      dimension a(20,20),b(20,20),k(100),s(100),G(50,50),KH(20)
      open (15,file ='mA.dat',status='old')
      open (17,file =' RAOU.dat',status='new')
c*****
c   donees du programme
c   la masse de chaque etage :m(II)
c   le nombre de refends:n
c   hauteur d"etage: h
c   inertie des voiles:i(J)
c   section des voiles:s(j)
c*****
      do II= 1,18
      KH(II)=0
      read(15,*) m(II),n,h
      read(15,*)( I(J),J=1,N)
      read(15,*)( S(J),J=1,N)
      do JJ =1,N
      k(JJ )=(12*3.5E6*I(JJ)/h**3)*(1/(1+(12*I(JJ)/.48/S(JJ)/H**2)))
      kh(II)=kh(II)+k(JJ)
c   WRITE (16,*) 'REGIDITE DU VOILE'
c   WRITE (16,*) 'K( ',JJ, ' )=',K(JJ)
c   WRITE (16,*) 'SECTION DU VOILE'
c   WRITE (16,*) 'S ( ',JJ, ' )=',S(JJ)
      ENDDO
c   WRITE(16,*) 'REGIDITE D"ETAGE'
c   WRITE (16,*) 'KH( ',II, ' )=',KH(II)
      ENDDO
c-----
      N=18
      DO II=1,N
      G(II,II)=KH(N-II+1)+KH(N-II+2)
      G(II,II+1)=-KH(N-II+1)
      G(II+1,II)=-KH(N-II+1)
      END DO
      G(1,1)=KH(N)

```

G(1,2)=-KH(N)

G(2,1)=-KH(N)

C-----

DO II=1,18

DO JJ=1,18

if (II.eq.JJ) then

if (ii.eq.18) then

a(ii,JJ)=kh(ii)

B(II,JJ)=M(II)

else

a(ii,Jj)=kh(ii)+kh(II+1)

b(ii,Jj)=m(II)

endif

else

if (ii.eq.Jj+1) then

a(ii,Jj)=-kh(II)

B(II,JJ)=0

else

if (ii.eq.Jj-1)then

a(ii,Jj)=-KH(JJ)

b(ii,Jj)=0.

endif

endif

endif

ENDDO

ENDDO

WRITE(17,*)((G(II,JJ)*10,JJ=1,18),II=1,18)

C WRITE(16,*)((A(II,JJ)*10,JJ=1,18),II=1,18)

DO II=1,18

WRITE(17,*)(B(18-II+1,18-JJ+1),JJ=1,18)

C WRITE(16,*)(B(II,JJ),JJ=1,18)

ENDDO

stop

end

```

C*****
C   PROGRAMME DE CALCUL DE L'INERTIE EQUIVALENTE
C*****

  real*16 alpha
  real l(20),jj
  dimension a(20),g(20),dm(20),c(20),b(20)
  open(4,file='do.dat',status='old')
  open(7,file='re.dat',status='new')
  do ir=1,3
  read(4,*) n,e,h,z,h1
  if (n.eq.1) then
  goto 200
  else
  read(4,*)(l(I),i=1,n)
  read(4,*)(a(I),i=1,n-1)
  endif
200 write(7,*) 'nombre d"elements de refend=',n
  WRITE(7,*) 'HAUTEUR D"ETAGE=',H
  WRITE(7,*) 'EPAISEUR DU VOILE=',E
  write(7,*) 'HAUTEUR DU BATIMENT=',Z
  DO I=1,N
  WRITE(7,*) 'LONGUER DE L"ELEMENT(m)=' ,I
  WRITE(7,*) 'L(',I,')=' ,L(I)
  ENDDO
  DO I=1,N-1
  WRITE(7,*) 'LONGUER DU LINTEAU (m)=' ,I
  WRITE(7,*) '2A(',I,')=' ,A(I)
  ENDDO
  WRITE(7,*) 'HAUTEUR DU LINTEAU (m)=' ,H1
  somme=0
  do 30 i=1,n
  b(I)=e*l(I)
  write(7,*) 'b(',I,')=' ,b(i)
30  continue
  do 50 i=1,n-1
  c(i)=l(i)/4+a(i)+l(i+1)/4
  IF (N.LT.3) THEN
  dm(i)=2*c(i)/(1/b(i)+1/b(i+1))
  write(7,*) 'm(',I,')=' ,dm(I)
  ENDIF

```



```

    write(7,*) 'c(',I,')=',c(I)
50 continue
do 40 i=1,n
g(i)=e*L(i)**3/12
write(7,*) 'I(',I,')=',g(i)
somme=somme+g(I)
40 continue
if (n.eq.2) then
    gg=somme+2*dm(1)*c(1)
else
    gg=0
do 10 i=1,n-1
    gg=gg+dm(I)*c(I)
10 continue
gg=gg*2+somme
write(7,*) 'Ii=' ,gg
endif
jj=e*h1**3/12
write(7,*) 'i = ',jj
ichoix=n-1
if (ichoix.eq.1) then
w=(3*jj/somme)*(gg/dm(1))*(c(1)/(a(1)**3*h))
else
w=6/(h*somme)
somme3=0
do 20 i=1,n-1
    somme3=somme3+(jj*c(I)**2)/a(I)**3
20 continue
w=w*somme3
endif
write(7,*) 'W= ',sqrt(w)
alpha=sqrt(w)*Z
write(7,*) 'ALPHA= ',alpha
if (alpha.ge.10) then
ev=gg
write(7,*) 'Iev=',ev
ENDIF
val1=(alpha**2-2)/(alpha**3)
val2=hsin(alpha)/hcos(alpha)
val3=2/(alpha**2*hcos(alpha))
psi=0.667-(val1*val2)-val3

```

```

write(7,*) 'psi=',psi
if (ichoix.eq.1) then
ev=gg/1+((16*dm(1)*c(1)*psi)/(somme*alpha**2))
write(7,*) 'Iev := ',ev
es=gg/1+((60/11)*(2*dm(1)*c(1)*psi)/(somme*alpha**2))
write(7,*) 'Ies := ',es
else
ev=gg/1+((8*gg*psi)/(somme*alpha**2))
write(7,*) 'Iev := ',ev
es=gg/1+((60*gg*psi)/(11*somme*alpha**2))
write(7,*) 'Ies := ',es
endif
write(*,*) ir
ENDDO
stop
end
function hsin(alpha)
hsin=(exp(alpha)-exp(-alpha))/2
return
end
function hcos(alpha)
hcos=(exp(alpha)+exp(-alpha))/2
return
end

```

```

C*****
C PROGRAM DE CALCUL DES COEFFICIENTS DE PARTICIPATION ET DE DISTRIBUTION
C*****

REAL K,L,N,M,MP
DIMENSION ALPHA(20),MP(20,20),M(20),P(4),D(4),GAMMA(100,100),
1 F(20,20),SR(20),V(20),S(20)
OPEN(16,FILE='MS.',STATUS='OLD')
OPEN(19,FILE='PTRAP.',STATUS='OLD')
OPEN(5,FILE='CCF.DAT',STATUS='NEW')
OPEN(18,FILE='CCF.DAT',STATUS='NEW')
OPEN(15,FILE='ALF.DAT',STATUS='NEW')

C DONNEES DU PROGRAMME
C *****
C M(J):MASSES CONCENTREES
C MP(I,J):LES MODES PROPRES
C *****

DO J=1,18
READ(16,*) M(J)
ENDDO

C-----
C CALCUL DU COEFFECIENT DE DISTRIBUTION
C CALCUL DU COEFFICIENT DE PARTICIPATION
C-----

DO I=1,18
READ(19,*)(MP(I,J),J=1,4)
ENDDO
DO I=1,18
READ(19,*)(MP(I,J),J=5,8)
ENDDO
DO I=1,18
READ(19,*)(MP(I,J),J=9,12)
ENDDO
DO I=1,12
K=0
L=0
N=0
DO J=1,18
K=K+(M(J)*10*MP(J,I))
L=L+(M(J)*10*(MP(J,I)**2))
N=N+M(J)*10
ENDDO

```

```

DO J=1,18
GAMMA(J,I)=MP(J,I)*ABS(K)/L
WRITE (5,*) GAMMA(J,I)
ENDDO
ALPHA(I)=(K**2)/(L*N)
WRITE (15,*) 'ALPHA(',I,')=',ALPHA(I)
ENDDO

```

```

C-----
C           SELECTION DES MODES UTILES
C-----

```

```

SAM=0
DO I=1,12
SAM=SAM+ALPHA(I)
IF (SAM.GE.(0.9). AND. SAM.LT.(0.95)) GO TO 20
ENDDO
20 WRITE (15,*) 'R=',I
R=I
CLOSE(5)

```

```

C-----
C           CALCUL DES FORCES SISMIQUES
C           CALCUL DE L'EFFORT TRANCHANT
C-----

```

```

OPEN (15,FILE='CF.DAT',STATUS='OLD')
DO I=1,R
DO JJ=1,18
READ (15,*) GAMMA(JJ,I)
ENDDO
ENDDO
SS=0
WRITE(18,*)'$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$'
WRITE(18,*)'$$$$ NIV $$ EFF SISMIQUE $$ EFF TRANCHANT CUMULE $$$$'
WRITE(18,*)'$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$'
DO JJ=1,18
S(JJ)=0
DO I=1,R
D(1)=0.47
D(2)=1.532
D(3)=2
D(4)=2
F(JJ,I)=.06*D(I)*GAMMA(JJ,I)*M(JJ)
S(JJ)=S(JJ)+F(JJ,I)**2
ENDDO

```


PROGRAM DE CALCUL DES EFFORTS HORIZONTAUX REVENANT

A CHAQUE VOILE

```

REAL IX(20),IY(20)
DIMENSION DX(20),DY(20),HX1(20),N(20),M(20),SHH(20),SFF(20)
1, HY1(20),HY2(20),HX(20,20),HY(20,20),FX(20),FY(20),HX2(20)
OPEN (4,FILE='IT.DAT',STATUS='OLD')
OPEN (3,FILE='RT.DAT',STATUS='NEW')
OPEN (5,FILE='RT1.DAT',STATUS='NEW')
OPEN (6,FILE='RT2.DAT',STATUS='NEW')
WRITE(5,*)'=====
WRITE(5,*)'TABLEAU DONNANT LES EFFORTS HORIZONTAUX REVENANT A
1 CHAQUE VOILE -- SENS LONGITUDINAL X-X -en tonnes'
WRITE(5,*)'=====
write(5,*)'# NIV #      VL                                     ##'
WRITE(6,*)'=====
WRITE(6,*)'TABLEAU DONNANT LES EFFORTS HORIZONTAUX REVENANT A
1 CHAQUE VOILE -- SENS TRANSVERSAL Y-Y -en tonnes'
WRITE(6,*)'=====
write(6,*)'# NIV #                                     VT                                     ##'
DO I=1,18
READ(4,*) FX(1),FY(1),N(1),M(1)
READ(4,*) (IX(J),J=1,N(1))
READ(4,*) (IY(J),J=1,M(1))
READ(4,*) (DX(J),J=1,N(1))
READ(4,*) (DY(J),J=1,M(1))
PRINT*,1
WRITE(3,*)'=====
WRITE(3,*)'## VOILES ## IXi ## DXi ## IXi*DXi^2 ##'
WRITE(3,*)'=====
S1=0
S2=0
DO J=1,N(1)
S1=S1+IX(J)
S2=S2+IX(J)*DX(J)**2
WRITE(3,12)J, IX(J),DX(J),(IX(J)*DX(J)**2)
12 FORMAT('#' VL(  ',12,')', '#', 'F8.3,' ## ',F8.3,' ##
1,F14.3,' ##')
ENDDO
WRITE(3,*)'=====

```

```

WRITE(3,*)
WRITE(3,*)
WRITE(3,*)'=====
WRITE(3,*)'## VOILES ## IYi ## DYi ## IYi*DYi^2 ##'
WRITE(3,*)'=====
S3=0
S4=0
DO K=1,M(1)
S3=S3+IY(K)
S4=S4+IY(K)*DY(K)**2
WRITE(3,13)K,IY(K),DY(K),(IY(K)*DY(K)**2)
13 FORMAT('## VT( ',12,')', '## ', F8.3, ' ## ', F8.3, '## '
1, F14.3, ' ##')
ENDDO
WRITE(3,*)'=====
DO J=1,N(1)
HY1(J)=FY(1)*IX(J)/S1
HY2(J)=FY(1)*1.63*IX(J)*DX(J)/(S2+S4)
IF(HY2(J).LT.0)THEN
HY(1,J)=HY1(J)
ELSE
HY(1,J)=HY1(J)+HY2(J)
END IF
ENDDO
WRITE(5,15) (HY(1,J),J=1,N(1))
15 FORMAT('##', ' #', 9F8.3, ' # ')
WRITE(3,*)'INERTIE POLAIRE = 1P', (S2+S4)
DO K=1,M(1)
HX1(K)=FX(1)*IY(K)/S3
HX2(K)=FX(1)*1.63*IY(K)*DY(K)/(S2+S4)
IF(HX2(K).LT.0)THEN
HX(1,K)=HX1(K)
ELSE
HX(1,K)=HX1(K)+HX2(K)
ENDIF
ENDDO
WRITE(6,15) (HX(1,J),J=1,M(1))
16 FORMAT('##', ' ##', 6F8.3, ' ## ')

```

```

WRITE(3,*)'INERTIE POLAIRE = 1P', (S2+S4)
ENDDO
WRITE(5,*)'=====
WRITE(6,*)'=====
CLOSE(5)
CLOSE(6)
OPEN (1,FILE='RT4.DAT',STATUS='OLD')
OPEN (2,FILE='RT4.DAT',STATUS='OLD')
OPEN (7,FILE='RT4.DAT',STATUS='NEW')
OPEN (8,FILE='RT4.DAT',STATUS='NEW')
WRITE(7,*)'=====
WRITE(7,*)'TABLEAU DONNANT LES EFFORTS HORIZONTALS CUMULES REVENANT
LA CHAQUE VOILE -- SENS LONGITUDINAL X-X -en tonnes'
WRITE(7,*)'=====
write(7,*)'# NIV #      VL                      ##'

WRITE(8,*)'=====
WRITE(8,*)'TABLEAU DONNANT LES EFFORTS HORIZONTALS CUMULES REVENANT
LA CHAQUE VOILE -- SENS TRANSVERSAL Y-Y -en tonnes'
WRITE(8,*)'=====
write(8,*)'# NIV #      VT                      ##'
DO 1=1,18
SF(1,J)READ (HY(1,J),J=1,N(1))
READ (HX(1,K),K=1,M(1))
SF=SF+HY(1,J)
SFF(1)=SF
WRITE(7,*)'=====
WRITE(8,*)'=====
STOP
END

```

```

10 CLS
20 PRINT"***CALCUL D UNE SECTION RECTANGULAIRE***"
30 '***SOUMISE A LA FLEXION SIMPLE*****"
40 PRINT
50 PRINT"LES ACIERS UTILISES :FeE40 HA"
60 PRINT
70 'INTRODUCTION DES DONNEES
80 INPUT "RESIST .CARACT.DU BETON (MPA)";F
90 INPUT "NATURE DE L ACIER:NATUREL=1-ECROUI=2";T
100 INPUT "HAUTEUR DE LA SECTION(M)";H
110 INPUT "LARGEUR DE LA SECTION(M)";B
120 INPUT "MOMENT ULTIME(METRE-TONNE)";MU:MU=MU/100
140 D=.9*H:D1=.1*H:FBU=.85*F/1.5:E=200000!
150 PRINT"CALCUL A L ELU"
160 UBU=MU/B/D/D/FBU
170 IF T=2 THEN 190
180 ES=400/1.15/E:GOTO 200
190 ES=.002+400/1.15/E
200 ALPHAR=3.5/(3.5+1000*ES)
210 UR =.8*ALPHAR*(1-.4*ALPHAR)
220 IF UBU <=UR THEN 290
230 ES =(.0035+ES)*8*(D-D1)/D-ES
240 ON T GOSUB 1000,2000
250 ZR=D*(1-.4*ALPHAR)
260 MR=UR*B*D*D*FBU
270 ACU=(MU-MR)/(D-D1)/SIGMA
280 AU=((MU-MR)/(D-D1)+MR/ZR)*1.15/400:GOTO 540
290 ALPHA=1.25*(1-SQR(1-2*UBU))
300 Z=D*(1-.4*ALPHA)
310 IF UBU<=.186 THEN 330
320 ES =.0035*(1/ALPHA-1):GOTO 340
330 ES=.01
340 ON T GOSUB 1000,2000
350 ACU=0
360 AU=MU/Z/SIGMA
540 'CONDITION DE NON FRAGILITE
550 AF=.23*B*D*(.6+.06*F)/400
560 PRINT

```



```

570 'AFFICHAGE DES RESULTATS
580 PRINT "RESULTATS"
590 PRINT
600 PRINT ARMATURES COMPRIMEES"
610 PRINT "ACU=";ACU*10000!;"CM2"
620 PRINT
630 PRINT "ARMATURES TENDUES"
640 PRINT "AU=";AU*10000;"CM2"
650 PRINT
660 PRINT"ARMATURES DE NON FRAGILITE"
670 PRINT "AF=";AF*10000;CM2"
680 PRINT
690 INPUT "VOULEZ VOUS FAIRE UN AUTRE CALCUL (O/N)";R$
700 IF R$="O" THEN GOTO 100
710 END

1000 'CALCUL DES CONTRAINTES DES ACIERS NATURELS
1010 IF ES <=400/1.15 GOTO 1030
1020 SIGMA=400/1.15:GOTO 1040
1030 SIGMA=ES*E
1040 RETURN

2000 'CALCUL DES CONTRAINTES DES ACIERS ECROUIS
2010 IF ES<=400/1.15/E THEN GOTO 2070
2020 S=.7*400/1.15
2030 S=S+.1
2040 ES1=S/E+.823+(S*1.15/400-.7)^5
2050 IF ES1<ES THEN GOTO 2030
2060 SIGMA=S:GOTO 2080
2070 SIGMA=ES*E
2080 RETURN

```


BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- **MARIUS DIVERS : CALCUL DES TOURS EN BETON ARME**
- **CLOUGH AND PENZINE : DYNAMIQUE OF STRUCTURES**
- **MOROLIUBOV : PROBLEME DE RESISTANCE DES MATERIAUX**
- **ALAIN CAPRA- VICTOR DAVIDOVICI : CALCUL DYNAMIQUE DES
STRUCTURES EN ZONE SISMIQUE**
- **REGLE PARASISMIQUE ALGERIENNE RPA 88**



