

13/92

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT *GENIE CIVIL*

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ETUDE D'UN BATIMENT

(R + 15)

CONTREVENTE PAR VOILES

4 PLANCHES

Proposé par :

Mme BAUCHE

Etudié par :

Mr BOUTICHE RIAD

Dirigé par :

Mme BAUCHE

Mr BAY AHMED HADJ YUCEF

PROMOTION **SEPTEMBRE 1992**

وزارة الجامعات والبحث العلمي
Ministère aux Universités et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT *GENIE CIVIL*

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ETUDE D'UN BATIMENT
(R + 15)
CONTREVENTE PAR VOILES

Proposé par :

Mme BAUCHE

Etudié par :

Mr BOUTICHE RIAD

Dirigé par :

Mme BAUCHE

Mr BAY AHMED HADJ YUCEF

PROMOTION *SEPTEMBRE 1992*

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier sincèrement notre promotrice
Mme BAUCHE professeur à l'ENP pour son aide et ses
appréciations compétantes.

Nous tenons également à exprimer notre gratitude
envers tous les enseignants qui ont contribué à notre
formation et à l'élaboration de ce présent travail.
Sans oublier les responsables du centre de calcul .

Enfin, à nos parents qui nous aidés et soutenus
pendant nos études, toute notre affection.

RIAD et HADJ YUCEF

DEDICACES

Je dedie ce modeste travail :

*à mes plus chers au monde, mon père et ma mère
à mes frères et soeurs
à toute la famille au sens large
à tous mes amis*

RIAD

Je dédie ce modeste travail :

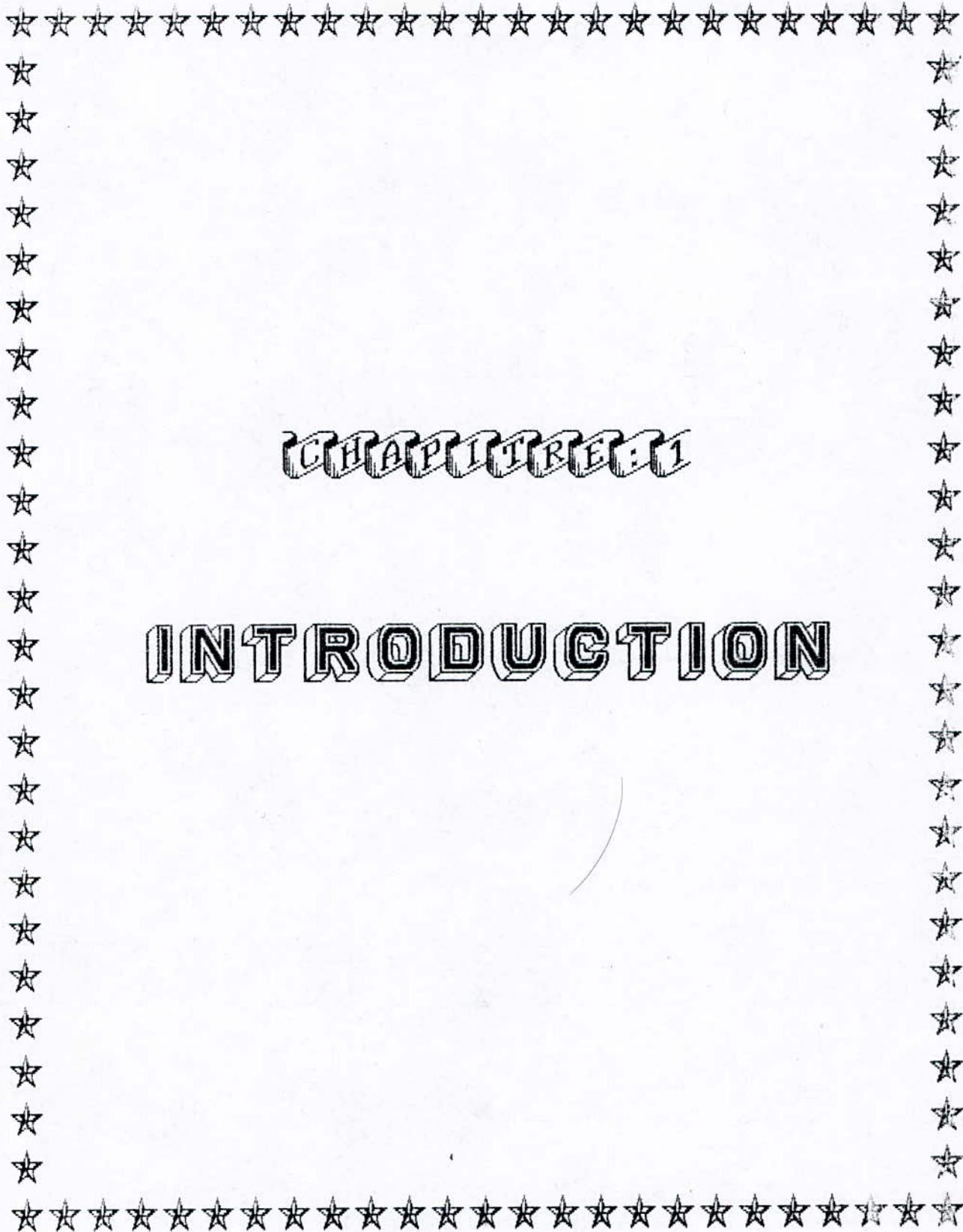
*à la mémoire de mon défunt père en signe de
connaissance pour tous les sacrifices
concentris à mon égard .
à ma mère qui n'a jamais cessé de me soutenir
pour aboutir à ma formation .
à mes frères et soeurs .
à ma fiancée .
à tous mes amis (es)
à ceux que me sont chers.*

HADJ YOUSSEF

SOMMAIRE

<u>CHAPITRE 1</u> :	INTRODUCTION	1
	PRESENTATION DU PROJET.....	1
	CARACTERISTIQUES MECANIQUES DES MATERIAUX	4
	PREDIMENSIONNEMENT	10
	DESCENTE DE CHARGE	14
<u>CHAPITRE 2</u> :	CARACTERISTIQUES DES REFENDS	23
	NOTION D'INERTIE EQUIVALENTE	26
	CENTRE DE MASSE	32
	CENTRE DE TORSION	37
<u>CHAPITRE 3</u> :	ETUDE PSEUDO DYNAMIQUE	40
	ETUDE PSEUDO DYNAMIQUE	40
	ETUDE AU SEISME	53
<u>CHAPITRE 4</u> :	ETUDE AU VENT	64
	ETUDE AU VENT	64

<u>CHAPITRE 5</u> : ETUDE PARASISMIQUE	72
ETUDE PARASISMIQUE	72
<u>CHAPITRE 6</u> : ETUDE DES VOILES SOUS CHARGES HORIZONTALES ..	79
METHODE DU CENTRE DE TORSION	79
ETUDE AU CONTREVENTEMENT	99
<u>CHAPITRE 7</u> : CALCUL DUFERRAILLAGE	114
COMBINAISON D'ACTION	114
FERRAILLAGE DES VOILES	144
CALCUL DES LINTEAUX	157
FERRAILLAGE DES LINTEAUX	158
<u>CHAPITRE 8</u> : CALCUL DES ELEMENTS	170
CALCUL DES ELEMENTS	170
<u>CHAPITRE 9</u> : ELEMENTS D'INFRASTRUCTURE	218
ELEMENTS D'INFRASTRUCTURE	218



CHAPITRE: 1

INTRODUCTION

Chapitre 1

PRESENTATION DU PROJET

INTRODUCTION :

Dans le cadre de notre mise en situation professionnelle. Le bureau d'architecture situé à EL-HARRACH nous a confié un sujet de mémoire, qui consiste à l'étude de l'ossature en Béton Armé (voile) d'un bâtiment (R+15) à usage d'habitation faisant partie d'une opération de 384 logements à MEDEA .

DESCRIPTIF DE L'OUVRAGE :

Le bâtiment comporte seize (16) niveaux ayant une distribution de 2 logements par niveau de type F5 et F6. Le bâtiment a une forme rectangulaire et présente un décrochement en plan. La communication verticale d'un étage à l'autre, s'effectue par le biais d'un escalier à deux volées préfabriquées reposant sur les paliers intermédiaires (repos) et d'arrivé (ou de départ) coulés sur place.

Les façades sont constituées de panneau de maçonnerie en brique creuses de 25cm d'épaisseur .

L'Acrotère est de type coulé sur place en prolongement des façades ayant une hauteur de 60 cm .

Les planchers sont constitués par des dalles pleines en béton armé assurant une grande rigidité au diaphragme horizontal et une sécurité contre l'incendie .

Le système de coffrage à utiliser est soit la table et banche,

soit tunnel, cependant pour le plancher sur vide sanitaire, des predalles jouant le rôle du coffrage en raison de la difficulté d'utilisation d'autres types de coffrage .

CONCEPTION DE L'OSSATURE :

La structure résistante est constituée de voiles porteurs, disposés dans les deux sens longitudinale et transversal, destinés à prendre la totalité des charges auxquelles sera soumis l'ouvrage

Le recours à la structure en voiles est rendu nécessaire en raison de la rapidité de manipulation du coffrage tables et banches (ou tunnel) ce qui conduit à une réduction du temps d'exécution

L'ossature en voiles porteurs présente une rigidité importante vis à vis des actions sismiques ce qui provoque de faibles déplacements, comparés à ceux d'une structure auto-stable (portique). Ce qui implique que les fissurations dans les cloisons seront moindres .

Les éléments de refend dont la longueur est inférieure à "5e" (e: épaisseur du voile) ne font pas partie de l'ossature de contreventement (Art: 4.3.1 PRA 88) .

Ils seront considérés comme des poteaux .

Le niveau d'encastrement sera pris au niveau du plancher bas du R.D.C .

Les dimensions en plan du bâtiment sont :

- Longueur $L = 29$ m .
- Largeur : $l = 13,9$ m .

La hauteur totale du bâtiment est $Z = 48,6$ m (y compris l'acrotère)

- La hauteur d'étage est constante : $h_e = 3m$.
- La contrainte admissible est donnée après une étude au sol égale à :

$$\overline{\sigma}_{sol} = 3 \text{ bars} .$$

CARACTERISTIQUES MECANIKES DES MATERIAUX

Le béton armé utilise sera conforme aux règles techniques des états limites (B.A.E.L 83) ainsi qu'à toutes les règles en vigueur applicables en ALGERIE (R.P.A 88) .

LE BETON :

Le béton est un mélange de ciment (liant hydraulique), d'eau, de granulats (sable, graviers, cailloux, pierres cassées) et éventuellement des adjuvants dans des proportions bien déterminées

1/ Composition :

Le béton est composé de granulats naturels dosés à 350 Kg/m³ et dont les proportions sont les suivantes :

- * 350 Kg CPA 325
- * 400l de sable D ≤ 5mm .
- * 800l de gravillons D ≤ 25mm
- * 175l d'eau de gachage .

2/ Resistance mécanique du béton :

2.1/ Résistance à la compression

Cette caractéristique est déterminée à partir d'essais sur éprouvettes normalisées en forme de cylindre à base circulaire de 200 cm² de section droite à l'âge de 28 jours noté f_{c28} . De leur côté, les règles BAEL prévoient la loi ci-après :

pour $j \leq 28$ jours

$$f_{cj} = 0,625 f_{c28} \cdot \text{Log}_{10}(j+1)$$

Pour un béton courant et pour un dosage de 350 Kg/m³ la résistance f_{c28} admise par ces dernières règles (Art 2,3,13)

$$f_{c28} = 25 \text{ MPa}$$

2.2/ Résistance a la traction :

La résistance du béton à la traction à "j" jours notée " f_{tj} " est défini par la relation suivante pour $f_{c_j} \leq 40$ MPa :

$$f_{tj} = 0,6 + 0,06f_{c_j}$$

En particulier pour $j = 28$ jours :

$$f_{tj} = 2,10 \text{ MPa}$$

3/ Contrainte limites :

3.1/ Contraintes a l'état limite ultime (ELU)

L'ELU correspond à l'équilibre entre les sollicitations d'actions majorées et les sollicitations résistantes calculées en supposant que les matériaux atteignent la limite de rupture minorées .

3.1.1/ Hypothèses de calcul a l'ELU (BAEL) :

- 1- Conservations des sections planes (diagramme des déformations lineaire) .
- 2- La résistance du béton à la traction est negligée .
- 3- Pas de glissement entre l'acier et le béton, chaque armature subit la même variation lineaire que la gaine du béton qui l'entoure .
- 4- Le raccourcissement relatif du béton est limité à :
3,5 % . en flexion simple .
2,0 % . en compression centrée .
- 5- L'allongement relatif de l'acier est limité à 10% .
- 6- Les diagrammes lineaires des deformations de la section passent obligatoirement par l'un des 3 pivots A, B ou C c'est la règle des 3 pivots .

La contrainte limite ultime est donnée par la relation :

$$f_{bu} = \frac{0,85 \cdot f_{c28}}{\gamma_b}$$

- Le coefficient 0,85 est un coefficient réducteur défini pour les sections régulières et qui tient compte du risque d'altération du béton sur les aciers .

- Le coefficient γ_b est donné par :

1,15 —————> cas d'actions accidentelles

1,50 —————> cas d'actions courantes .

La contrainte ultime de cisaillement est donné par :

$$\bar{\tau}_u = \text{Min} (0,13 f_{c28}; 4\text{MPa}) = 3,25 \text{ MPa} \longrightarrow \text{F.P.N}$$

$$\bar{\tau}_u = \text{Min} (0,10 f_{c28}; 3\text{MPa}) = 2,5 \text{ MPa} \longrightarrow \text{F.P}$$

F.P.N : Fissuration peu nuisible

F.P : Fissuration préjudiciable .

sachant que la contrainte de cisaillement à L'ELU est défini par :

$$\tau_u = \frac{V_u}{b \cdot d}$$

3.2/ Contraintes a l'état limite de service (E.L.S)

L'ELS correspond à l'équilibre entre les sollicitations d'actions réelles (non majorées) et les sollicitations calculées, sans dépassement des contraintes limites en supposant que le matériau se déforme dans le domaine élastique

Hypothèses de calcul à l'ELS :

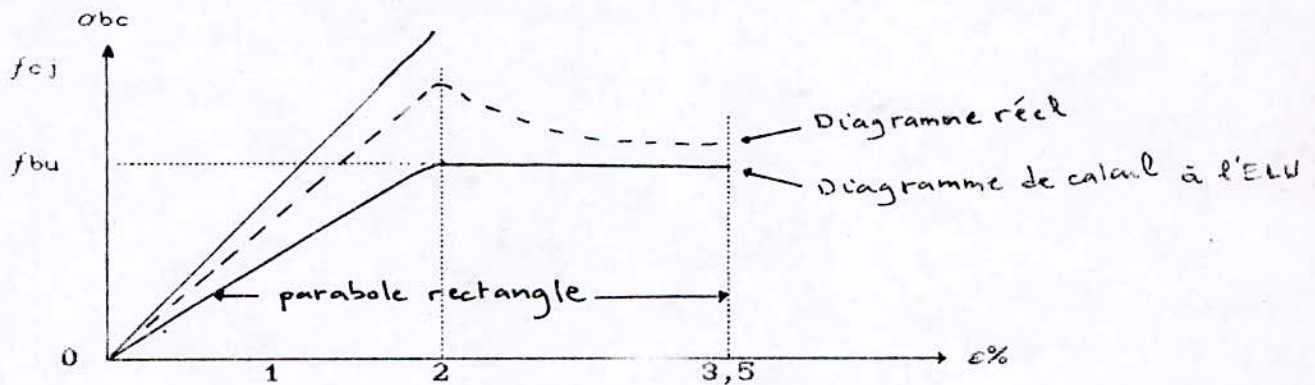
- 1- Conservation des sections planes .
- 2- Les contraintes de compression du béton et de traction de l'acier sont proportionnelles à leur déformations élastiques .
- 3- La résistance à la traction du béton est négligée .

- 4- Le glissement entre l'acier et le béton est négligé .
 5- Par convention, le rapport η des modules d'élasticité longitudinaux de l'acier est du béton est pris égal à 15
 $\eta = E_s/E_b = 15$.

La contrainte limite à l'ELS du béton comprimé est donnée par

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0,6 f_{c28} = 15 \text{ MPa}$$

4- DIAGRAMME CONTRAINTES DEFORMATION



$$\epsilon_{bc} = \frac{\Delta L}{L}$$

$$\sigma_{bc} = f(\epsilon_{bc})$$

- Le diagramme parabolique rectangle utilisé pour le calcul à l'ELU
- A l'ELS on suppose que le matériau travaille à l'état élastique .

Quelques particularités du béton :

a/ retrait : raccourcissement du béton non chargé dû à l'évaporation de l'eau du béton au cours de son durcissement (eau de gâchage en excès) .

b/ Fluage : c'est le phénomène de l'augmentation dans le temps des déformations relatives sous des charges constamment appliquées .

5/ Module de déformation longitudinal :

Il est défini sous des contraintes normales d'une longue ou courte durée .

- Pour de courte durée ($t \leq 24h$); le module est dit instantané

$$E_{tj} = 11000 f_{cj}^{1/3} = 32164,19 \text{ MPa}$$

* Pour l'action de charge de longue durée et pour tenir compte du retrait et du fluage, le module de déformation différé .

$$E_{vj} = 3700 f_{cj}^{1/3} = 10818,86 \text{ MPa}$$

6/ Coefficient de Poisson :

La déformation longitudinale est toujours accompagnée d'une déformation transversale . Le coefficient de Poisson ν par définition est le rapport de déformation longitudinale .

$$\nu = \frac{\Delta d/d_0}{\Delta l/l_0} \quad \Delta d/d_0 = \nu \Delta l/l_0$$

à l'ELu : $\nu = 0$

à l'ELS : $\nu = 0,20$

La relation qui lie le coefficient de Poisson au module d'élasticité transversal G est :

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

LES ACIERS :

On distingue les nuances d'acier suivantes :

1/ Acier ronds lisse "RL" :

* Acier naturel f_{eE24} caractérisé par :

- La limite élastique : 235 MPa .
- La contrainte de rupture : 410 + 490 MPa

- Allongement de l'ordre de 1,175% .
- * Acier naturel $f_e E22$ caractérisé par :
 - La limite élastique : 215 MPa .
 - La contrainte de rupture : $380 \div 490$ MPa .
 - Allongement de l'ordre de 1,075% .

2/ Acier de haute adhérence "HA" :

Ce sont des aciers de type 1 de nuance $f_e E40$ caractérisés par :

- La limite élastique : 400 MPa .
- La contrainte de rupture : 480 MPa .
- Allongement de l'ordre de 2% .

Module d'élasticité de l'acier :

$E_s = 2. 10^5 \text{ MPa}$

3/ Contraintes limites :

A/ Contraintes limites a L'ELU :

On adopte un diagramme contraintes-déformations de calcul réduit du diagramme ci-dessous par une affinité parallèle à la tangente à l'origine dans le rapport $(1/\gamma_s)$.

B/ Contraintes limites a L'ELS :

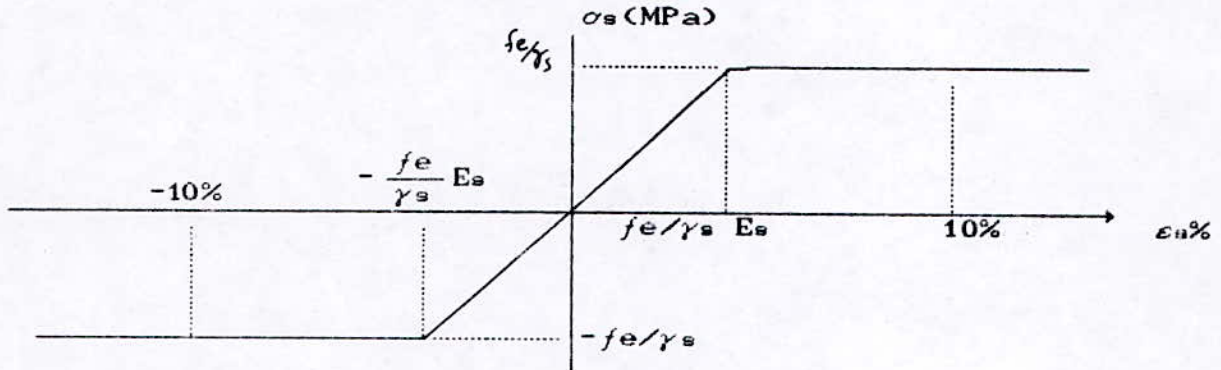
- Fissuration préjudiciable : $\bar{\sigma}_s = \text{Min} (2/3 f_e; 150\mu)$
- Fissuration peu nuisible : $\bar{\sigma}_s = \text{Min} (0,5 f_e; 110\mu)$

μ : coefficient de fissuration :

$\mu = 1$ \longrightarrow Rond lisse et treillis soudés

$\mu = 1,6$ \longrightarrow Aciers haute adhérence .

DIAGRAMME CONTRAINTE DEFORMATION :



γ_s : coefficient de sécurité

$\gamma_s = 1$ cas accidentel

$\gamma_s = 1,15$ cas non accidentel

- $E_s = 2.10^5$ MPa .

- $\epsilon_s = \Delta L/L$: Allongement unitaire .

- σ_s : Contrainte de l'acier $\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s}$

PREDIMENSIONNEMENT

Prédimensionnement des dalles :

L'épaisseur des dalles dépend plus souvent des conditions d'utilisation que des vérifications de résistance donc on déduira l'épaisseur des dalles à partir des conditions ci-après :

a/ Resistance au feu :

$e = 7$ cm pour une heure de coup de feu

$e = 11$ cm pour deux heures de coup de feu

b/ Isolation phonique :

Le confort acoustique exige une épaisseur minimale de 16 cm

c/ Resistance à la flexion :

Pour les dalles reposant sur 3 ou 4 appuis, l'épaisseur "e" est déterminé comme suit .

$$lx/50 \leq e \leq lx/40$$

On, prendra la dalle la plus sollicitée (cas défavorable) .

$$lx = 5,80m .$$

$$\left. \begin{array}{l} - lx/40 = 14,5 \text{ cm} \\ - lx/50 = 11,6 \text{ cm} \end{array} \right\} \quad 11,6 \text{ cm} \leq e \leq 14,5 \text{ cm}$$

d/ Condition de flèche :

On doit vérifier la condition suivante :

$$f_{max} \leq lx/500$$

$$\text{tel que : } f_{max} = \frac{5 q l x^4}{384 EI}$$

$$\rightarrow \frac{5 q l x^4}{384 EI} \leq lx/500$$

Or :

$$I = \frac{be^3}{12} \rightarrow \frac{5 \cdot 12 \cdot q \cdot lx^4}{384 E b^3 e} \leq lx/500$$

$$\rightarrow e \geq \sqrt[3]{3 \cdot 10^4 \cdot q \cdot l^3 x / 384 \cdot E \cdot b}$$

Determination de G et Q :

$$\left. \begin{array}{l} G = 0,843 \text{ t/m}^2 \\ Q = 0,1 \text{ t/m}^2 \\ q = 0,943 \text{ t/m}^2 \end{array} \right\} \text{ (voir descente de charge)}$$

$$E = 321,6419 \text{ t/cm}^2$$

$$e \geq 12,21 \text{ cm}$$

Finalemment :

$$e \geq \text{Max} (16 ; 11,6 ; 12,21 ; 14,5)$$

On prendra :

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

Predimensionnement des voiles :

Sont appelés voiles , les murs réalisés en B.A justifiant l'article 4.3 du RPA 88 .

Ils ont pour rôle de contreventer le bâtiment , de reprendre les efforts horizontaux (seisme et vent) , les efforts verticaux et de les transmettre aux fondations . le predimensionnement des voiles depend de plusieurs paramètres

- * Les charges verticales : charges permanentes et surcharges .
- * Les actions horizontales : effet du seisme et vent
- * Les voiles assurant le contreventement sont supposés pleins
- * Seuls les efforts de translation seront pris en compte ceux de la rotation ne sont pas connus dans le cadre de ce prédimensionnement .

D'après le R.P.A 88 article 4.3.1 , ne sont considérés comme voiles de contreventement que les voiles satisfaisant à la condition $l \geq 5e$

l : portée du voile

e : epaisseur du voile

- L'article 4.3.13 RPA 88 exige une epaisseur minimale des voiles de 15 cm pour les constructions de groupe d'usage 1 et 2 implantées en zone II et III

MEDEA : Zone II donc $e = 15 \text{ cm}$.

De plus l'epaisseur doit être déterminée en fonction de la

hauteur libre d'étage h_e et des conditions de rigidité aux extrémités .

$$e \geq \max (h_e/25 ; h_e/22 ; h_e/20)$$

$$e \geq 12 \text{ cm}$$

$$e = 20 \text{ cm}$$

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

} Vérifie tous les conditions citées
ci-dessus .

DESCENTE DE CHARGESIntroduction

Le but de la descente de charge est de déterminer tout élément porteur de la structure, les charges qu'il supporte au niveau de chaque étage jusqu'aux fondations

On désigne par :

G : charges permanentes

Q : surcharges d'exploitations

1/ CHARGES PERMANENTES :1- Plancher terrasse :

Gravier de protection (ep = 5cm)	$0,05 \cdot 1,8 = 0,09 \text{ t/m}^2$
béton de pente (ep = 15 cm)	$0,15 \cdot 2,00 = 0,30 \text{ t/m}^2$
Etanchéité multicouche (ep = 1 cm)	$= 0,01 \text{ t/m}^2$
Isolation thermique (liège)(ep = 4cm))	$0,04 \cdot 0,25 = 0,01 \text{ t/m}^2$
Pare vapeur	$= 0,005 \text{ t/m}^2$
Dalle pleine (ep = 16 cm)	$0,16 \cdot 2,50 = 0,40 \text{ t/m}^2$
Enduit en plâtre (ep = 2cm)	$0,02 \cdot 1,40 = 0,028 \text{ t/m}^2$
	<hr/>
Gtotale	$= 0,843 \text{ t/m}^2$

2- Plancher étage courant :

Carrelage (ep = 2cm)	$0,02 \cdot 2,20 = 0,044 \text{ t/m}^2$
Mortier de ciment (ep = 2cm)	$0,02 \cdot 2,00 = 0,04 \text{ t/m}^2$

Sable (ep = 3cm)	$0,03 \cdot 1,80 = 0,04 \text{ t/m}^2$
Dalle pleine (ep = 16 cm)	$0,16 \cdot 2,50 = 0,400 \text{ t/m}^2$
Enduit en platre (ep = 2 cm)	$0,02 \cdot 1,40 = 0,028 \text{ t/m}^2$
Cloisons	$= 0,075 \text{ t/m}^2$
	<hr/>
	Gtotal = $0,641 \text{ t/m}^2$

3/ Escaliers :

3.1 Palier :

Carrelage (ep = 2 cm)	$0,02 \cdot 2,20 = 0,044 \text{ t/m}^2$
Mortier de pose (ep = 2 cm)	$0,02 \cdot 2,00 = 0,04 \text{ t/m}^2$
Sable (ep = 3 cm)	$0,03 \cdot 1,80 = 0,054 \text{ t/m}^2$
Dalle pleine (ep = 16 cm)	$0,16 \cdot 2,50 = 0,400 \text{ t/m}^2$
Enduit en platre (ep = 2 cm)	$0,02 \cdot 1,40 = 0,028 \text{ t/m}^2$
	<hr/>
	Gtotal = $0,566 \text{ t/m}^2$

3.2 Vol e :

$$h = 17 \text{ cm} ; g = 30 \text{ cm} ; \alpha = 29,53^\circ$$

$$\text{Poids propre de la paillasse (ep = 16 cm)} \frac{2,5 \cdot 0,16}{\cos \alpha} = 0,345 \text{ t/m}^2$$

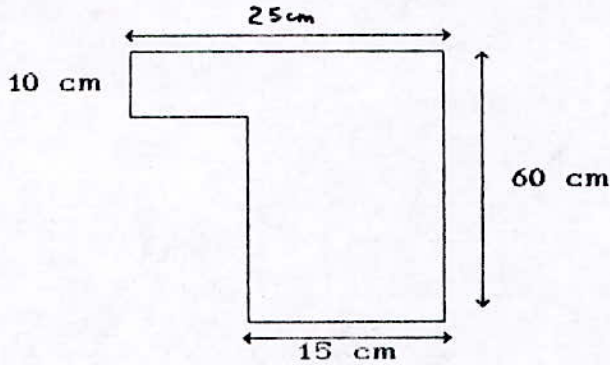
$$\text{Poids propre des marches (ep = 17 cm)} \frac{1}{2} \cdot 2,0 \cdot 17 \cdot 2,20 = 0,187 \text{ t/m}^2$$

Enduit platre (ep = 2 cm)	$0,02 \cdot 1,40 = 0,028 \text{ t/m}^2$
Garde corps metallique	$= 0,10 \text{ t/m}^2$
Revetement	$= 0,044 \text{ t/m}^2$
	<hr/>
	Gtotal = $0,69 \text{ t/m}^2$

4/ Balcon :

Carrelage + mortier + sable	$= 0,134 \text{ t/m}^2$
Dalle pleine en beton armé (ep = 16 cm)	$0,16 \cdot 2,50 = 0,40 \text{ t/m}^2$
Enduit en platre (ep = 3 cm)	$0,03 \cdot 1,00 = 0,03 \text{ t/m}^2$
	<hr/>
	Gtotal = $0,564 \text{ t/m}^2$

5/ Acrotère :



$$G = [0,15 \cdot 0,6 + 0,1 \cdot 0,1] \cdot 2,5$$

$$G = 0,2625 \text{ t/m}^2$$

II/ Surcharges :

- | | |
|---------------------------------|-----------------------------|
| 1/ Plancher terrasse | $P_1 = 0,1 \text{ t/m}^2$ |
| 2/ Plancher étage courant + RDC | $P_2 = 0,175 \text{ t/m}^2$ |
| 3/ Escaliers | |
| 3.1 : Palier | $P_3 = 0,250 \text{ t/m}^2$ |
| 3.2 : Volée | $P_4 = 0,250 \text{ t/m}^2$ |
| 4/ Balcon | $P_5 = 0,350 \text{ t/m}^2$ |
| 5/ Acrotère (main courante) | $P_6 = 0,100 \text{ t/m}^2$ |

III/ Surface revenant aux différents voiles :

1/ Voiles longitudinaux :

Voiles (VI1-VI'1) :

$$S_1 = 2,1,28 + 5,48 + 3,25 + 2 + 2,2,56$$

$$S_1 = 18,41 \text{ m}^2$$

Voiles (VI2-VI'2) :

$$S_2 = 5,48 + 2,1,28 + 2,56 + 2 + 6,05 + 2,56$$

$$S_2 = 21,21 \text{ m}^2$$

Voiles (VI3-VI'3) :

$$S_3 = 2 + 7,4 + 6,88$$

$$S_3 = 16,28 \text{ m}^2$$

Voiles (VI4-VI'4) :

$$S_4 = 2 + 6,05 + 2,56 + 2 + 7,4 + 1,28 + 6,56 + 7,952$$

$$S_4 = 35,80 \text{ m}^2$$

Voiles (VI5-VI'5) :

$$S_5 = 5,25 \text{ m}^2$$

Voiles (VI6-VI'6) :

$$S_6 = 4,75 \text{ m}^2$$

Voiles (VI7-VI'7) :

$$S_7 = 2 + 2,8 + 6,88$$

$$S_7 = 11,68 \text{ m}^2$$

2/ Voiles transversaux :

Voiles (VT1-VT'1) :

$$S'_1 = 6,56 + 4 \quad \rightarrow \quad S'_1 = 10,56 \text{ m}^2$$

Voiles VT2 :

$$S'_2 = 4 + 2,56 + 4 + 2 + 1,28 + 1,28 \quad \rightarrow \quad S'_2 = 18,24 \text{ m}^2$$

Voiles (VT3-VT'3) :

$$S'_3 = 6,56 + 4 + 2,2,56 + 4 + 3,1,28 \quad \rightarrow \quad S'_3 = 24,8 \text{ m}^2$$

IV/ Poids des voiles :

1/ Poids des voiles par hauteur d'etage courant :

1.1/ Sens longitudinal :

Voiles	longueur (m)	surface brute (S _b)(m ²)	surface d'ouverture (S _o) (m ²)	poids(t) (S _b -S _o).e.γ _b
V1 ₁ -V1' ₁	7,10	21,30	3,52	2 . 8,89
V1 ₂ -V1' ₂	7,10	21,30	-	2 . 10,65
V1 ₃ -V1' ₃	5,80	17,40	1,76	2 . 7,82
V1 ₄ -V1' ₄	13,90	41,70	3,52	2 . 19,09
V1 ₅ -V1' ₅	3,75	11,25	-	2 . 5,625
V1 ₆ -V1' ₆	3,50	10,50	-	2 . 5,25
V1 ₇ -V1' ₇	3,50	10,50	-	2 . 5,25
				Plot=125,155

2.2/ Sens transversal :

Voiles	longueur (m)	surface brute (S _b)(m ²)	surface d'ouverture (S _o) (m ²)	poids(t) (S _b -S _o).e.γ _b
VT ₁ -VT ₁	3,80	11,40	1,76	2 . 4,82
VT ₂	10,80	31,80	4,95	2 . 16,78
VT ₃ -VT' ₃	10,60	31,80	3,52	2 . 17,678
				Plot= 78,3381

IV/ **Détermination de la charge "G" revenant à chaque voile :**

1/ Plancher terrasse :

1.1/ Sens longitudinal :

Voiles	Charge due au plancher $G = S \cdot G_T(t)$	charge due à l'acrotère $G = G_{acr} \cdot L(t)$	Charge totale $G(t)$
VI ₁ -VI' ₁	15,52	$0,2625 \cdot 5 = 1,3125$	16,83
VI ₂ -VI' ₂	17,88	$0,2625 \cdot 3,60 = 0,945$	18,825
VI ₃ -VI' ₃	13,72	$0,2625 \cdot 5 = 1,3125$	15,03
VI ₄ -VI' ₄	30,18	$0,2625 \cdot 8,60 = 2,26$	32,44
VI ₅ -VI' ₅	4,43	$0,2625 \cdot 9,225 = 2,42$	6,85
VI ₆ -VI' ₆	4,00	$0,2625 \cdot 8,975 = 2,35$	6,35
VI ₇ -VI' ₇	9,85	$0,2625 \cdot 4,50 = 1,18$	11,03

1.2/ Sens transversal :

Voiles	Charge due au plancher $G = S \cdot G_T(t)$	charge due à l'acrotère $G = G_{acr} \cdot L(t)$	Charge totale t
VI ₁ -VI' ₁	8,90	-	8,90
VI ₂	15,38	-	15,38
VI ₃ -VI' ₃	20,91	-	20,91

2/ Plancher étage courant :

2.1/ Sens longitudinal :

Voiles	Charge due au plancher $G = 0,641 \cdot S_i$	Poids propre du voile (t)	Balcon $G = 0,564 \cdot S_i$	Maçonnerie (t)	Charge totale (t)
V11-V1'1	11,80	8,89	-	2,203	22,89
V12-V1'2	13,60	10,65	-	2,203	26,45
V13-V1'3	10,44	7,82	1,692	2,203	22,155
V14-V1'4	23,49	19,09	-	4,406	46,986
V15-V1'5	3,37	5,625	-	1,03	10,025
V16-V1'6	3,04	5,25	-	2,30	9,32
V17-V1'7	7,49	5,25	1,692	2,203	16,635

2.2- Plancher transversal :

Voiles	Plancher	Poids propre du voile (t)	Balcon	Maçonnerie (t)	charg total (t)
V11-V1'1	6,77	4,82	-	-	11,59
V12-V1'2	11,69	16,78	-	-	28,47
V13-V1'3	15,90	17,675	-	-	33,57

V/ **Determination de la structure Q revenant à chaque voile :**

1/ Plancher terrasse :

1.1/ Sens longitudinal :

Voiles	$\frac{V11}{V11'}$	$\frac{V12}{V12'}$	$\frac{V13}{V13'}$	$\frac{V14}{V14'}$	$\frac{V15}{V15'}$	$\frac{V16}{V16'}$	$\frac{V17}{V17'}$
Surcharges Q(t)	1,84	2,21	1,63	3,58	0,58	0,48	1,17

1.2/ Sens transversal :

1.2/ Sens transversal :

Voiles	V _T	V _{T'1}	V _{T2}	V _{T3}	V _{T'3}
Surcharges Q(t)	1,06	1,06	1,82	2,48	2,48

2/ Plancher etage courant :

2.1/ Sens longitudinal:

Voiles	$\frac{V_{I1}}{V_{I1'}}$	$\frac{V_{I2}}{V_{I2'}}$	$\frac{V_{I3}}{V_{I3'}}$	$\frac{V_{I4}}{V_{I4'}}$	$\frac{V_{I5}}{V_{I5'}}$	$\frac{V_{I6}}{V_{I6'}}$	$\frac{V_{I7}}{V_{I7'}}$
Surcharges Q(t)	3,22	3,71	2,85	10,51	0,92	0,83	2,04

2.2/ Sens transversal :

Voiles	V _T	V _{T'1}	V _{T2}	V _{T3}	V _{T'3}
Surcharges Q(t)	1,85	1,85	3,19	4,34	4,34

VI Poids de la structure :

1/ Poids de la terrasse :

1.1 Acrotère :

$$W_{acr} = G_{acr} \cdot \text{perimetre}$$

$$W_{acr} = 22,15t$$

1.2 Plancher terrasse :

$$W_{pt} = G_{pt} \cdot S_{pt}$$

Avec : $S_{pt} = S_{tot} - S_{vide}$

$$S_{vide} = \text{surface vide de l'ascenseur} = 5,1 \text{ m}^2$$

$$W_{pt} = 265,258 \text{ t}$$

1.3 Ascenseur :

Type 630 : 4 personnes

$$W_{asc} = 0,63 \text{ t}$$

1.4/ Voiles :

1.4.1/ Voiles longitudaux :

$$W_v = 125,15 \text{ t} \rightarrow 1/2 X_v = 62,575 \text{ t}$$

1.4.2/ Voiles transversaux :

$$W_v = 78,55 \text{ t} \rightarrow 1/2 W_v = 39,275 \text{ t}$$

1.5/ Façades : (30% d'ouverture)

$$W_f = 27,044 \text{ t} \rightarrow 1/2 = 13,522 \text{ t}$$

1.6 : Poids total :

$$W_{tot} = G_{tot} + 20\% Q$$

Avec : $Q = 31,465 \text{ t}$

$W_{tot} = 405,64 \text{ t}$

2/ Poids d'un étage courant :

2.1/ Poids du plancher :

$$W_{pc} = G_{pc} \cdot S_{pc}$$

Avec : $S_{pc} = S_t - S_v$

$$S_v = \text{Sacsenseur} + \text{Eescalier} = 5,1 + 14,16 \text{ m}^2$$

$$S_v = 19,26 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow S_{pc} = 300,49 \text{ m}^2$$

$$W_{pc} = 192,62 \text{ t}$$

2.2/ Voiles :

2.4.1/ Voiles longitudinaux :

$$W_v = 78,555 \text{ t}$$

2.3/ Façades :

$$W_f = 27,044 \text{ t}$$

2.4.2/ $W_p = 2,33 \text{ t}$

2.5/ Balcon :

$$W_p = G_b \cdot G_b$$

$$= 0,564 \cdot 13,8$$

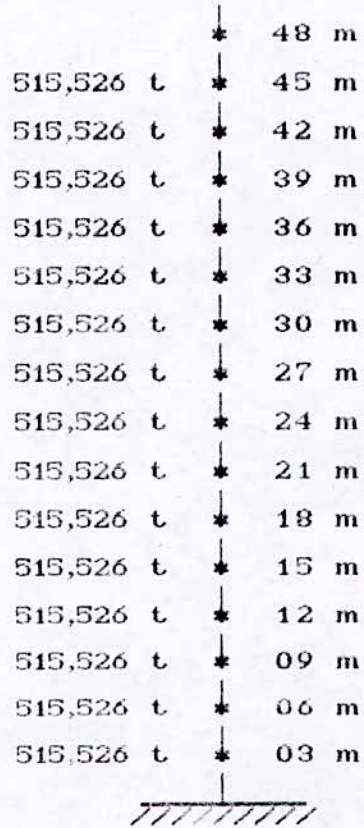
$$W_p = 7,78 \text{ t}$$

2.6/ Poids total :

$$W_{tot} = \sum W$$

$W_{tot} = 515,526 \text{ t}$

Modelisation :



Chapitre 2

CARACTERISTIQUES DES REFENDS

INERTIE EQUIVALENT :

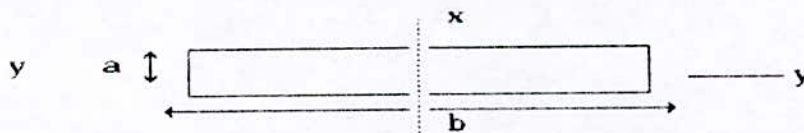
On assume la stabilité du bâtiment vis à vis des efforts horizontaux par des voiles, l'existence des ouvertures dans ces voiles nécessite l'introduction de la notion d'inertie équivalente qui permet par un artifice de calcul d'assimiler les refends avec ouvertures à des refends linéaire pleins fictifs dans l'inertie équivalente est définie comme suit .

Definition :

L'inertie équivalente d'un refend avec ouvertures est l'inertie d'un refend plein fictif qui soumis au même efforts horizontaux sur la hauteur du bâtiment présenterait à son sommet une flèche égale à celle d'un refend avec ouvertures .

Calcul des inerties pour les refends pleins et des inerties équivalentes pour les refends à files d'ouverture .

1/ Refend plein :

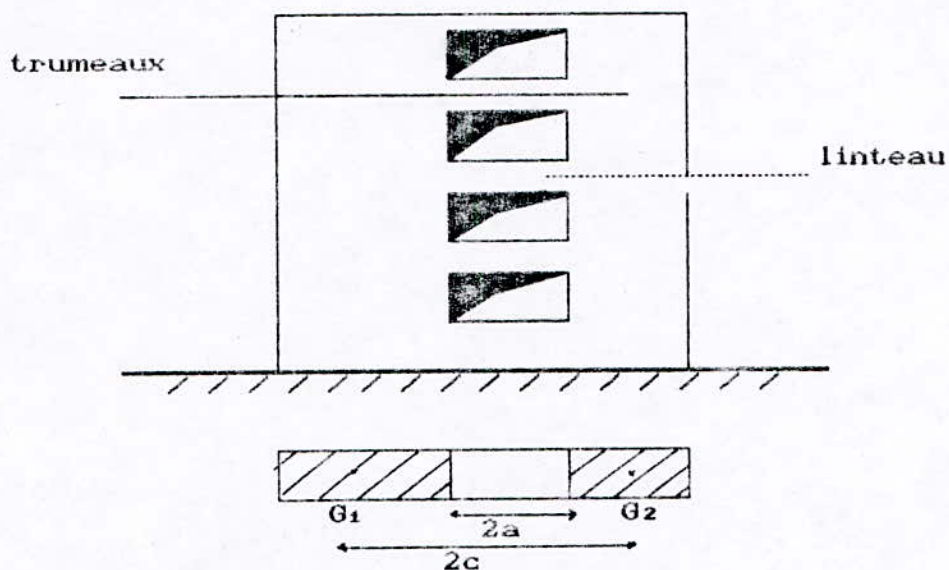


$$I_{xx} = a.b^3/12 \quad ; \quad I_{yy} = b.a^3/12 \cong 0$$

2/ Refends avec une file d'ouvertures :

Un refend avec file d'ouverture est considéré comme un ensemble

constitué de deux refends reliés par des éléments horizontaux appelés linteaux, encastres dans les demi-refends, à leur extrémités qui assurent la distribution des efforts dans ces derniers .



Calcul de I_e :

Pour un cas d'un vent :

Dans ce cas, notre structure est sollicitée par un changement uniformément répartie suivant sa hauteur

$$I_{ev} = \frac{I}{\frac{16mc \cdot \psi_0}{I_0 \cdot \alpha^2} + 1}$$

Pour un cas d'un seisme :

Dans ce cas, notre structure est sollicitée par un changement lineaire .

$$I_{es} = \frac{a_n \cdot I}{\frac{60 \cdot 2 m.c.\psi_0}{11 \cdot I_0 \cdot \alpha^2} + 1}$$

Avec :

- a_n : coefficient dépendant du nombre de niveau .

$$a_n = 11/20 + 9/20.n - 1/30.n^2 - 1/30.n^2 ; n : \text{nbre d'étages}$$

si $n > 11$, n est pris égal à 1 .

- I : inertie totale du refend , $I = I_0 + 2mc$
- m : moment statique de chacun des 2 trumeaux par rapport au centre de gravité de l'ensemble : $m = 2c / (1/A_1) + (1/A_2)$
- ψ_0 : coefficient dependant de α et ξ , $\psi_0 = f(\alpha, \xi)$
avec : $\xi = z/H$

du fait qu'on travaille à l'encastrement de la structure alors :

$$\xi = 0/H = 0 \leftrightarrow$$

$$\psi_0 = 2/3 - (\alpha^2 - 2) \operatorname{th} \alpha / \alpha^3 - 2 / \alpha^2 \operatorname{cha}$$

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

$$\alpha = w.H \text{ avec : } \omega^2 = 3.E'.i / E(I_1 + I_2) . I/m . c/a^3.h$$

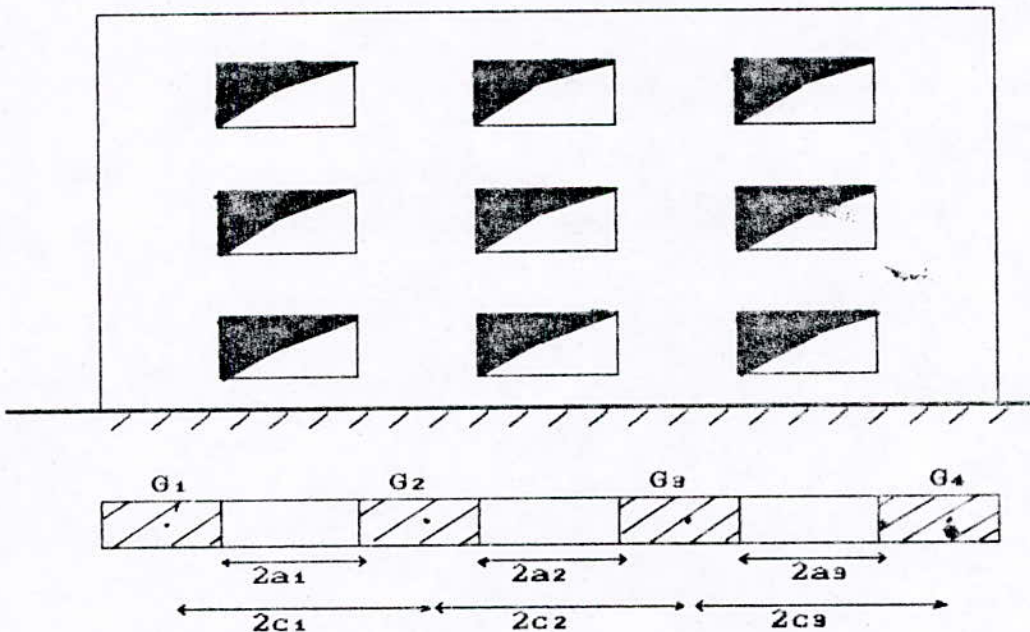
i : inertie transversale du linteau .

E_1 E' : module d'élasticité du materiau composant resp le refend et linteau .

h : hauteur d'étage .

H : hauteur totale du batiment (y compris l'acrotère) .

Refend à plusieurs files d'ouvertures :



Cas du vent :

$$I_{ev} = \frac{I}{8 \cdot I/I_0 + \psi_0/\alpha^2 + 1}$$

Cas du seisme :

$$I_{e,s} = \frac{a_n \cdot I}{60/11 \cdot I/I_0 \cdot \psi_0/\alpha^2 + 1}$$

avec :

- I : inertie totale du refend : $I : I_0 + \sum_{i=1}^{n-1} 2 c_i \cdot m_i$

- m : moment statique : $m_i = m_{i-1} + A_i (D - \sum_{j=1}^{n-1} 2 c_j)$

- D : distance entre le c.d.g du trumeau et le c.d.g du refend ;

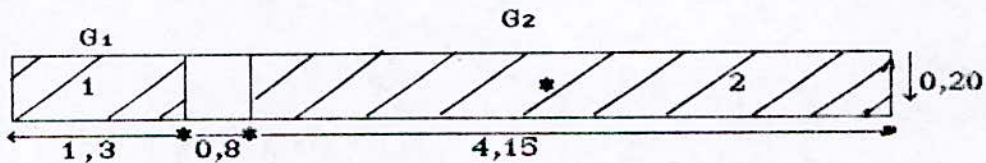
$$D = 2/A_0 \left[\sum_{i=2}^n \Omega_i \cdot \sum_{j=1}^{i-1} e_j \right] \quad \text{avec : } A_0 = \sum_{c=1}^n A_i$$

$$\omega^2 = 6 \cdot E' / E \cdot I_0 \cdot h \left(\sum_{i=1}^{n-1} \frac{c_i^2}{a_i^3} \right)$$

Application numerique:

Voile à une seule file d'ouverture :

Voiles VL1 :



$$2a = 0,8 \text{ m} \rightarrow a = 0,4 \text{ m}$$

$$2c = 1,3/2 + 4,15/2 + 0,8 = 3,525 \rightarrow c = 1,76 \text{ m}$$

Calcul des sections et des inerties :

trumeau 1 : $\Omega_1 = 0,20 \cdot 1,3 = 0,26 \text{ m}^2$

$$I_1 = 0,2 \cdot 1,3^3 / 12 = 0,036 \text{ m}^4$$

trumeau 2 : $\Omega_2 = 0,20 \cdot 4,15 = 0,83 \text{ m}^2$

$$I_2 = 0,2 \cdot 4,15^3 / 12 = 1,19$$

linteau : $i = e h_0^3 / 12 = 0,20 \cdot 0,8^3 / 12 = 0,008 \text{ m}^4$

Calcul du moment statique :

$$m = \frac{2c}{1/\Omega_1 + 1/\Omega_2} = \frac{2 \cdot 1,76}{1/0,26 + 1/0,83} = 0,697 \text{ m}^3$$

$$I = I_0 + 2m \cdot c = I_1 + I_2 + 2m \cdot c$$

$$\underline{I = 3,679 \text{ m}^4}$$

$$\omega^2 = \frac{3 E' \cdot i}{E (I_1 + I_2)} \cdot I/m \cdot c/a \cdot h^3 ; \quad E = E'$$

$$\omega^2 = \frac{3 \cdot 0,085 \cdot 3,679 \cdot 1,76}{1,226 \cdot 0,697 \cdot 3 \cdot 0,4} = 10,06$$

$$\alpha = \omega H \quad \text{avec} \quad H = 48,6 \text{ m}$$

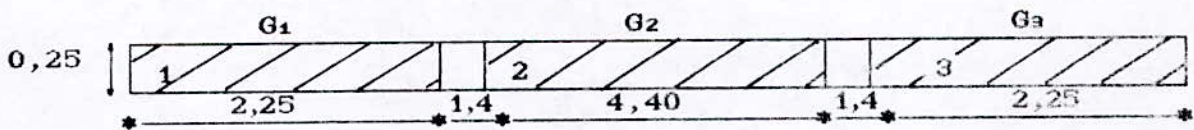
$$\alpha = 152,27 \quad \longrightarrow \quad \psi = 0,66 \text{ (abaque)}$$

$$T_e = \frac{3,679}{\frac{60 \cdot 2 \cdot 0,697 \cdot 1,76 \cdot 0,66}{11} + 1} \quad a_n = 1$$

$$\underline{I_e = 3,51 \text{ m}^4}$$

Voiles à plusieurs files d'ouvertures :

Voile Vr2 :



$$2a_1 = 2a_2 = 2a = 1,4 \quad \longrightarrow \quad a = 0,7 \text{ m}$$

$$2c_1 = 2,25/2 + 4,4/2 + 1,4 = 4,725 \quad \longrightarrow \quad c_1 = 2,3625 \text{ m}$$

Calcul des sections et des inerties :

trumeau 1 : $\Omega_1 = 2,25 \cdot 0,25 = 0,5625 \text{ m}^2 ;$

$$I_1 = \frac{(0,25 \cdot 2,25^3)}{12} = 0,207 \text{ m}^4$$

trumeau 2: $\Omega_2 = 4,40 \cdot 0,25 = 1,1 \text{ m}^2$

$$I_2 = 0,25 \cdot 4,4^3 / 12 = 1,77 \text{ m}^4$$

trumeau 3 : $\Omega_3 = \Omega_1 = 0,5625 \text{ m}^2$; $I_3 = I_1 = 0,207 \text{ m}^4$.

$$y_G = \frac{1,125 \cdot 0,5625 + 5,85 \cdot 1,1 + 10,525 \cdot 0,5625}{0,5625 + 1,1 + 0,5625}$$

$$\underline{y_G = 5,84 \text{ m}}$$

$$D_1 = y_G - y_1 = 4,715 \text{ m}; D_2 = y_G - y_2 = -0,01 \text{ m}; D_3 = -4,685 \text{ m}$$

$$D_1^2 = 22,23 \text{ m}^2; D_2^2 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2; D_3^2 = 21,95 \text{ m}^2.$$

$$\left. \begin{array}{l} \sum I = 2,18 \text{ m}^4 \\ \sum \Omega_i d_i^2 = 24,59 \text{ m}^4 \end{array} \right\} \sum (I + \Omega_i d_i^2) = 26,77 \text{ m}^4$$

$$i_1 c_1^2 / a_1^3 = i_2 c_2^2 / a_2^3 = \frac{0,011 \cdot 2,3625^2}{0,73} = 0,1789$$

$$\omega^2 = \frac{6}{3 \cdot 2,18} (0,1789 + 0,1789) = 0,328$$

$$\rightarrow \omega = 0,573$$

$$\alpha = \omega H = 26,13 \quad \rightarrow \quad \boxed{\psi = 0,605}$$

$$I_2 = \frac{26,77}{\frac{60}{11} + \frac{26,77 \cdot 0,605^2}{2,18 \cdot 26,13^2} + 1}$$

$$\boxed{I_e = 25,84 \text{ m}^4}$$

Tableau donnant les inerties et les inerties equivalentes des voiles transversaux et longitudinaux :

Voiles	L(m)	m(m ³)	I(m ⁴)	ω	α	ψ_0	Ie(m ⁴)
VL1-VL1'	6,25	0,697	3,65	3,17	154,06	0,66	3,79
VL2-VL2'	7,1		5,965				
VL3-VL3'	5,8	0,825	3,24	1,28	62,208	0,62	2,77
VL4-VL4'	13,9		41,69	0,45	21,87	0,6	41,41
VL5-VL5'	3,75		0,879				
VL6-VL6'	3,5		0,714				
VL7-VL7'	3,5		0,714				
VT1-VT1'	3,05	0,196	1,0819	1,39	67,587	0,62	1,081
VT2	11,5		26,07	0,573	27,85	0,605	25,84
VT3-VT3'	11,4		27,515	1,595	77,517	0,63	27,68

CENTRE DE MASSE

Definition :

On appelle centre de masse, le point sur lequel, l'effort sismique est appliqué, les coordonnées de ce point sont :

$$x_{cm} = \frac{\sum m_i \cdot x_i}{\sum m_i} ; y_{cm} = \frac{\sum m_i \cdot y_i}{\sum m_i}$$

Pour calculer le centre de masse d'un étage, on tiendra compte des masses des unités, dalles, maçonnerie, des escaliers ect .

Choix du repere :

Du fait que notre structure est symetrique d'un sens, nous avons choisi l'axe des Y-Y du milieu de cette dernière, nous avons, alors directement $x_{cm} = 0$.

1/ Centre de masse des voiles :

a/ Sens longitudinal (X-X) :

Voiles	m_i (t)	y_i (m)	$m_i \cdot y_i$ (t.m)
VL1	8,89	10,61	94,32
VL1'	8,89	10,61	94,32
VL2	10,65	10,35	110,23
VL2'	10,65	10,35	110,23
VL3	7,82	2,90	22,68
VL3'	7,82	2,90	22,68
VL4	19,09	7,15	136,49
VL4'	19,09	7,15	136,49
VL5	5,625	10,625	59,77
VL5'	5,625	10,625	59,77
VL6	5,25	4,05	21,26
VL6'	5,25	4,05	21,26
VL7	5,25	4,05	21,26
VL7'	5,25	4,05	21,26

$$\Sigma m_i y_i = 932,02 \text{ t.m}$$

$$\Sigma m_i = 125,15 \text{ t}$$

$$y_{cm} = \frac{\Sigma m_i y_i}{\Sigma m_i} = 7,447 \text{ m .}$$

B/ Sens transversal (Y-Y) :

Voiles	m_i (t)	y_i (m)	$m_i \cdot y_i$ (t.m)
VL1	4,82	5,65	27,23
VL1'	4,82	5,65	27,23
VL2	16,78	5,65	94,81
VL3	17,675	8,825	155,98
VL34	17,675	8,825	155,98
Total	61,77	-	461,233

$$y_{cm} = 7,47 \text{ m .}$$

2/ Centre de masse des dalles :

Dalles	m_i (t)	y_i (m)	$m_i y_i$ (t.m)	surface des dalles (m ²)
D ₁	53,96	10,93	589,78	13,49
D ₂	50,16	3,95	198,132	12,54
D ₃	65,2	7,28	474,656	16,3
D ₄	87	5,025	437,175	21,75
D ₅	58,8	11,35	667,38	14,70
D ₆	81,32	2,675	217,531	20,33
D ₇	44,84	7,275	326,211	11,21
D ₈	74,4	11,35	844,44	18,60
D ₉	33,6	2,775	93,24	8,40
D ₁₀	80,04	8,885	711,155	20,01

$$\Sigma m_i y_i = 4559,7 \text{ t.m}$$

$$\Sigma m_i = 629,32 \text{ t}$$

$y_{cm} = \Sigma m_i y_i / \Sigma m_i = 7,245 \text{ m}$
--

3- Centre de masse de la maçonnerie :

	M_i (t)	y_i (m)	$M_i y_i$ (t.m)
F ₁	5,7	0	0
F ₂	3,2	3,4	10,88
F ₃	4	2,3	9,2
F ₄	1,6	5,5	8,8
F ₅	3,55	7,275	25,83
F ₆	1,6	9,05	14,48
F ₇	4	12,5	50
F ₈	5,90	12,5	73,75
F ₉	3	13,9	41,7
Total	29,55		234,64

$$y_{cm} = \sum m_i y_i / \sum m_i = 7,94 \text{ m}$$

4- Escaliers :

2 volées + 1 palier

$$\sum M_i = 11,93 \text{ t}$$

$$y_i = 9,046 \text{ m}$$

$$\sum M_i y_i = 107,92 \text{ t.m}$$

	Masse M_i (t)	y_i (m)	$M_i y_i$ (t.m)
A ₁	5,7	0	0
A ₂	1,4	0,7	0,98
A ₃	3,20	1,4	4,48
A ₄	0,9	1,85	1,665
A ₅	4	2,3	9,2
A ₆	3,20	3,9	12,48
A ₇	1,60	5,50	8,80
A ₈	3,55	7,275	25,83
A ₉	1,60	9,05	14,48
A ₁₀	3,45	11,225	38,73
A ₁₁	4,00	12,5	50,00
A ₁₂	1,40	13,2	36,96
A ₁₃	7,50	13,9	102,86
A ₁₄	1,50	12,5	18,75
Σ	44,30		325,36

$$y_{cm} = \sum m_i y_i / \sum m_i = 7,34 \text{ m}$$

Détermination du centre de masse du plancher terrasse :

	Masse M_i (t)	y_i (m)	$M_i y_i$ (t.m)
Dalle	629,32	7,245	455,423
Acrotère	22,15	7,34	162,581
$V_L/2$	62,575	7,447	466,00
$V_T/2$	30,885	7,47	230,71
F/2	14,775	7,94	117,46
Σ	759,705		5536,17

$$y_{cm} = \frac{\Sigma M_i y_i}{\Sigma M_i} = 7,29 \text{ m}$$

Détermination du centre de masse d'un plancher étage courant :

	Masse M_i (t)	y_i (m)	$M_i y_i$ (t.m)
Dalle	549,28	7,01	3848,545
V_L	125,15	7,447	931,99
V_T	61,77	7,47	461,42
façade	29,55	7,94	234,63
escalier	11,93	7,046	107,92
Σ	777,68		5584,50

$$y_{cm} = \frac{\Sigma M_i y_i}{\Sigma M_i} = 7,18 \text{ m}$$

CENTRE DE TORSION :

Définition :

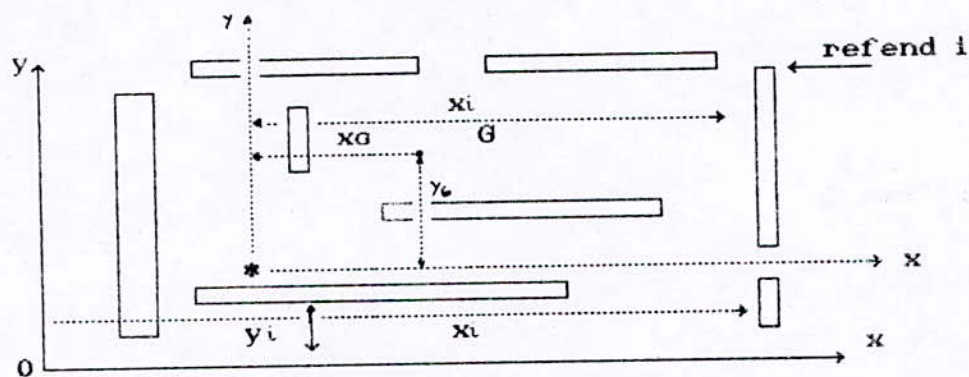
Le centre de torsion est le centre de gravité des inerties de l'ensemble des voiles .

Le centre de torsion est le point caractérisé par les propriétés suivantes :

1/ Une force dont la ligne d'action passe par le centre de torsion engendre uniquement une translation des refends dans la direction parallèle de la force agissante .

2/ Un moment dont l'axe vertical passe par le centre de torsion engendre uniquement une rotation des refends de même sens que le moment .

Determination du centre de torsion "C" :



- (ox, oy) : les axes parallèles aux axes principaux du bâtiment.
- I_x : inertie propre (réelle ou équivalente) d'un refend transversal
- I_y : inertie propre (réelle ou équivalente) d'un refend longitudinal .
- x_i : distance algébrique d'un refend transversal à l'axe oy .
- y_i : distance algébrique d'un refend longitudinal à l'axe ox .

Les coordonnées du centre de torsion "C" par rapport du repère (o,x,y) sont :

$$x_{cT} = \frac{\sum I_{yi} \cdot x_i}{\sum I_{xi}} \quad ; \quad y_{cT} = \frac{\sum I_{xi} \cdot y_i}{\sum I_{yi}}$$

Sens longitudinal : X-X

$x_{cT} = 0$ dû à la symetrie de notre structure suivante ce sens :

Sens transversal : Y-Y :

Voiles	$I_{xi} (m^4)$	$y_i (m)$	$I_{xi} \cdot y_i (m^2)$
V _{T1}	0,47	5,65	2,655
V _{T1}	0,47	5,65	2,655
V _{T2}	28,00	5,65	158,2
V _{T3}	29,34	8,825	258,926
V _{T3}	29,34	8,825	258,926
Σ	87,62	-	681,362

$$y_{c.T} = \frac{\sum I_{xi} y_i}{\sum I_{xi}} = 7,78 \text{ m}$$

Excentricité :

C'est la distance entre le centre de masse et le centre de torsion, d'après l'article 3.2.15 du PRA88: pour toutes les structures comportants des planchers horizontaux rigides dans leur plan, on supposera qu'à chaque niveau et dans chaque direction, la resultante des forces horizontales à une excentricité par rapport au centre de torsion égale à la plus grande des deux valeurs :

a/ 5% de la grande dimension du bâtiment en plan .

b/ excentricité théorique resultant des plans .

$e_a = 5\% = 0,05 \cdot 29 = 1,45 \text{ m}$ (excentricité accidentielle)

Excentricité théorique :

$$e_x = x_{cm} - x_{cT} ; \quad e_y = y_{cm} - y_{cT}$$

Plancher terrasse :

$$y_{cm} = 7,29 \text{ m} ; \quad y_{cT} = 7,78 \text{ m}$$

$$e_y = 7,29 - 7,78$$

$$e_y = 0,49 \text{ m}$$

Plancher étage courant :

$$y_{cm} = 7,18 \text{ m} ; \quad y_{cT} = 7,78 \text{ m}$$

$$e_y = 7,18 - 7,78$$

$$e_y = - 0,60 \text{ m}$$

Inertie polaire de torsion : J_θ

$$J_\theta = \sum I_x \cdot D_x^2 + \sum I_y \cdot D_y^2 \quad \text{avec} \quad D_{xi} = x_i - x_{cT}$$

$$D_{yi} = y_i - y_{cT}$$

$$J_\theta = 2419,62 \text{ m}^6$$

*Chapitre 3***ETUDE PSEUDO DYNAMIQUE****INTRODUCTION :**

L'une des étapes essentielles en vue du calcul et de la sécurité antisismique d'un bâtiment ou d'une construction donnée sur la base de la théorie dynamique du génie sismique est le choix du modèle mathématique ou schéma de calcul, représentant le comportement dynamique d'une construction, de ce fait l'emploi de la console de rigidité constante avec des masses concentrées au niveau des planchers qui sont considérés comme parfaitement rigides dans leurs plans et comme bases des modèles mathématiques pour les bâtiments tours; le but de cette étude est de déterminer le nombre de degrés de liberté par étage et le nombre total de degrés de liberté .

Parmi les méthodes qui permettent de développer cette analyse avec précision plus au moins acceptable sont :

- 1- Méthode de VIANELLO-STODOLA
- 2- Méthode de RAYLEIGH
- 3- Méthode de HOLTZER
- 4- Méthode exacte par analyse modale .

Choix de la méthode de calcul :

Pour notre présent ouvrage nous avons opté pour la méthode de (VIANELLO-STODOLA) vu qu'elle est plus pratique manuellement, permet la détermination des modes prépondérants s'adaptant mieux à notre structure contrairement à la méthode de (RAYLEIGH) qui est limitée au mode fondamental à la méthode de (HOLTZER) qui s'adapte mieux aux portiques et à l'analyse modale qui présente des

difficultés de résolution des équations de mouvement au delà de 2 à 3 degrés de 2 à 3 degrés de liberté .

Presentation de la methode de STODOLA :

Cette methode consiste à faire une hypothèse initiale sur l'allure du mode, cette hypothèse est ensuite améliorée par iterations successives jusqu'à ce qu'une approximation satisfaisante du mode soit obtenu, la fréquence de vibration correspondante est alors déterminée .

Mode fondamental :

Pour cette methode, l'équation générale dont elle a été fondée est :

$$1/W^2 \cdot \hat{V} = \bar{f} \cdot m \cdot \hat{V} \quad (1)$$

v : Vecteur déplacement .

f : Matrice de souplesse

m : Matrice des masses

On peut simplifier notre formule en introduisant un nouveau facteur qu'on appelle matrice dynamique tel que :

$$D = \bar{f} \cdot m$$

D'où 1 devient :

$$1/W^2 \cdot \hat{V} = D \cdot \hat{V} \quad (2)$$

La résolution par la methode STODOLA consiste à choisir un vecteur initial $V_1^{(0)}$ qui doit représenter au mieux le premier mode .

L'indice (1) inferieur caractérise le premier mode par contre l'indice superieur (0) caractérise l'hypothèse initiale .

En introduisant ce vecteur dans notre équation on aura :

$$1/W^2 \cdot V_1^{(1)} = D \cdot V_1^{(0)}$$

Généralement le vecteur obtenu qui caractérise la nouvelle déformation diffère de l'hypothèse initiale, sauf s'il s'agit d'un mode réel.

Posons le produit initial

$$D \cdot V_1^{(0)} = \bar{V}_1^{(1)} \quad \text{avec } \bar{V}_1^{(1)} \text{ proportionnel à la}$$

déformée calculée .

$1/W^2$: facteur inconnu .

On écrira donc : $1/W^2 \cdot V_1^{(1)} = V_1^{(1)}$

Si on suppose que l'amplitude calculée est égale à l'amplitude initiale; on peut donc déduire directement la fréquence "W" en considérant la coordonnée de déplacement d'un point arbitraire (K) on aura :

$$V_1^{(1)}(k) = V_1^{(0)}(k) \longrightarrow V_{k1}^{(1)} = 1/W^2 \cdot V_{k1}^{(0)}$$

donc :

$$W_1^2 = \frac{V_{k1}^{(0)}}{V_{k1}^{(1)}}$$

On aura une même fréquence pour le rapport de l'équation (2) pour n'importe quel point de la structure si le mode (déforme) supposée était un vrai mode .

La vraie fréquence du premier mode sera alors située entre les valeurs maximum et minimum obtenu à partir de l'équation (2) .

$$\left[\frac{V_{k1}^{(0)}}{V_{k1}^{(1)}} \right]_{\min} < W_1^2 < \left[\frac{V_{k1}^{(0)}}{V_{k1}^{(1)}} \right]_{\max}$$

En repetant le processus plusieurs fois c'est à dire en calculant $V_1^{(2)} = D V_1^{(1)}$ et $V_1^{(3)} = D V_1^{(2)}$; $V_1^{(n)} = D V_1^{(n-1)}$

Le resultat le plus proche du cas réel est obtenu lorsque

$$V_1^{(n-1)} \simeq V_1^{(n)}$$

Enfin on calcule la pulsation exacte par :

$$W_1^2 = \frac{V_{k1}^{(n-1)}}{V_{k1}^{(n)}}$$

Seconde mode :

Pour le second mode, on va faire intervenir une matrice sous le nom de "MATRICE DE BALAYAGE"

$$S_1 = I - 1/M Q_1 Q_1^T m$$

avec :

$$M_1 = Q_1^T m Q_1$$

- * Q_1 : Vecteur propre du 1er mode .
- * Q_1^T : Transpose du vecteur propre .
- * m : Matrice des masses
- * M_1 : Matrice généralisée .
- * I : Matrice identité .

La matrice dynamique devient pour le second mode :

$$D_2 = D S_1$$

- * D = Matrice dynamique du 1er mode .
- * S_1 : Matrice de balayage .

Comme précédemment, on utilise la même astuce pour converger à la déformée proche du cas réel .

en faisant des itérations jusqu'à aboutir à des valeurs proches avec une certaine précision adéquate .

La relation finale pour avoir la fréquence est

$$W_2^2 = \frac{V_{k2}^{(s-1)}}{V_{k2}^{(s)}}$$

S : nombre d'itérations effectuées .

Pour le troisième mode et les modes supérieurs, on doit procéder comme préalablement, en introduisant une nouvelle matrice de balayage " S_2 " qui va à son tour annuler la contribution des deux premiers modes, cette matrice est donnée par :

$$S_2 = S_1 - 1/M_1 Q_2 Q_2^T m$$

Le procédé itératif continue alors avec une troisième matrice dynamique .

$$D_3 = D S_2$$

S₂ : Matrice de balayage du 2eme mode .

La fréquence est obtenue apres convergence par :

$$W_3^2 = \frac{V_{k3}^{(s-1)}}{V_{k3}^{(s)}}$$

Pour les modes superieurs, le procédé est le même d'ou la possibilité de généraliser tout ceci en notant que :

$$D_n = D S_{n-1}$$

Le dernier mode est déterminé par les itérations faisant appel à la matrice dynamique du type rigidité cette matrice est donnée par

$$E = m^{-1} K = D^{-1}$$

K : matrice de rigidité .

D⁻¹ : Inverse de la matrice dynamique .

Résumé pratique de la méthode :

- 1- Détermination de la matrice de souplesse \bar{f} .
- 2- Détermination de la matrice des masses M .
- 3- Détermination de la matrice dynamique $D = f \cdot m$
- 4- Détermination du mode fondamental .
 - * Choisir d'un vecteur déformation initial $V_1^{(0)}$
 - * Faire le produit $\bar{V}_1^{(1)} = D V_1^{(0)}$
 - * Faire ameliorer le $V_1^{(1)}$ en le multipliant .

Par le rapport : $r_1^i = \frac{\text{Element correspondant de } V_0^i}{\text{Element maximum de } V_1^i}$

* Calcul de la pulsation :

5- Procéder de la même façon en passant la matrice de balayage pour autres modes :

RESULTATS DE LA METHODE "STODOLA" :

Le programme informatique tel qu'il a été conçu demande successivement les données suivantes :

* Nombre de niveaux N = 16 niveaux .

* Inertie par sens en (m⁴)

$$I_{\text{long}} = 119,104$$

$$I_{\text{trans}} = 87,62$$

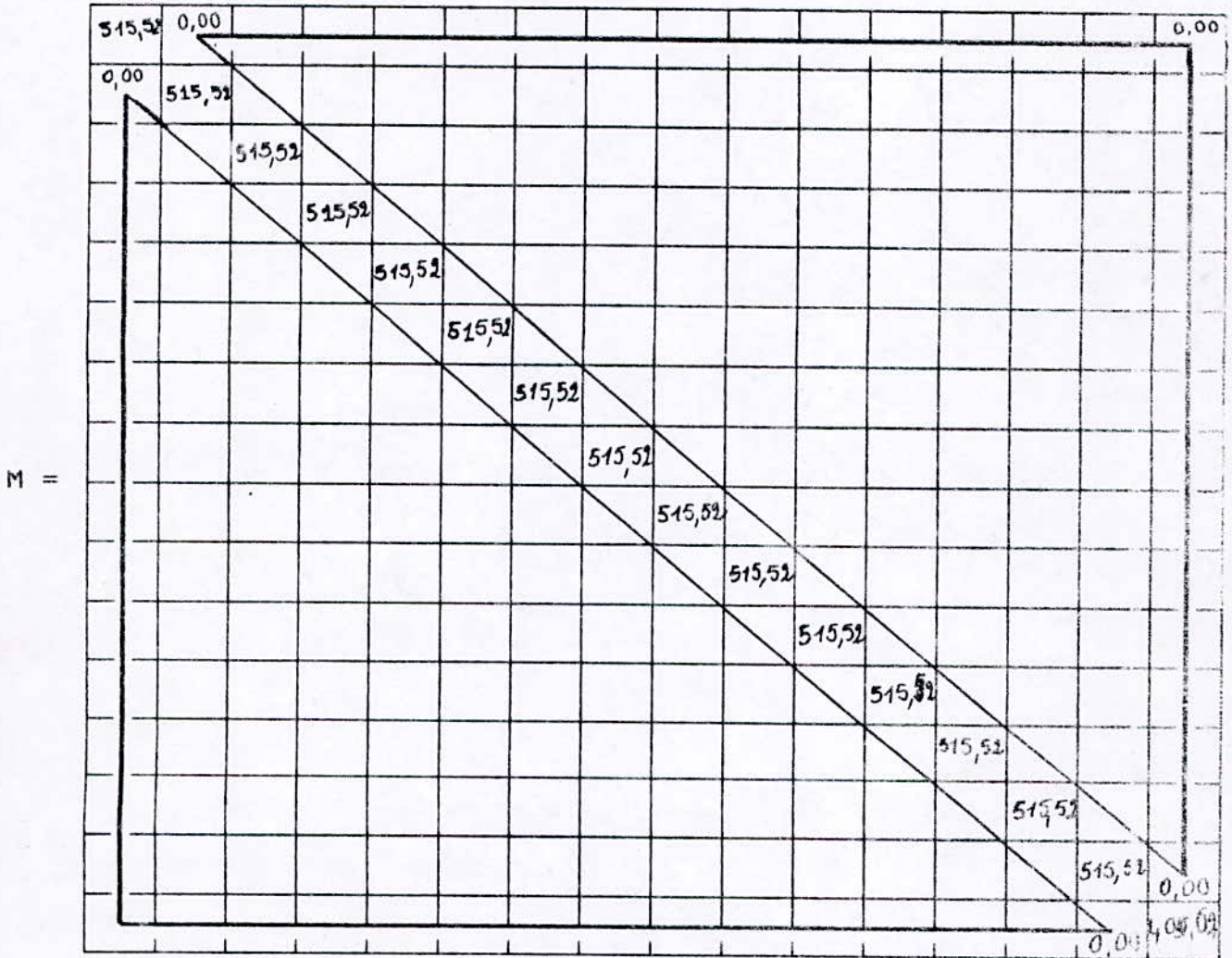
* Module d'élasticité en (t/m²)

$$E = 321641,90 \text{ t/m}^2$$

A partir du haut, c'est à dire du dernier étage, on donne les masses et les hauteurs correspondantes .

m(1) = 515,526 t	—————→	Z(1) = 48 m
m(2) = 515,526 t	—————→	Z(2) = 45 m
m(3) = 515,526 t	—————→	Z(3) = 42 m
m(4) = 515,526 t	—————→	Z(4) = 39 m
m(5) = 515,526 t	—————→	Z(5) = 36 m
m(6) = 515,526 t	—————→	Z(6) = 33 m
m(7) = 515,526 t	—————→	Z(7) = 30 m
m(8) = 515,526 t	—————→	Z(8) = 27 m
m(9) = 515,526 t	—————→	Z(9) = 24 m
m(10) = 515,526 t	—————→	Z(10) = 21 m
m(11) = 515,526 t	—————→	Z(11) = 18 m
m(12) = 515,526 t	—————→	Z(12) = 15 m
m(13) = 515,526 t	—————→	Z(13) = 12 m
m(14) = 515,526 t	—————→	Z(14) = 09 m
m(15) = 515,526 t	—————→	Z(15) = 06 m
m(16) = 405,64 t	—————→	Z(16) = 03 m

MATRICE MASSE



SENS LONGITUDINAL
MODE 1

Niveau	Vecteur	Dernière itération
16	1,00	1,00
15	1,00	0,9133838
14	1,00	0,8269305
13	1,00	0,7409353
12	1,00	0,6558375
11	1,00	0,5722076
10	1,00	0,4907314
09	1,00	0,412195
08	1,00	0,3374712
07	1,00	0,2675052
06	1,00	0,2033018
05	1,00	0,145913
04	1,00	0,09642666
03	1,00	0,05595663
02	1,00	0,0256339
01	1,00	0,006599722

- * La pulsation du 1er mode est : $\omega_1 = 6,956719$ rd/s
- * La periode du 1er mode est : $T_1 = 0,9034$ S .
- * Le coefficient de participation est : $\alpha_1 = 63,205$ % .

SENS LONGITUDINAL
MODE 2

Niveau	Vecteur	Dernière itération
16	1,00	1,00
15	1,00	0,6794823
14	1,00	0,36508
13	1,00	0,06644403
12	1,00	- 0,2042466
11	1,00	- 0,4343219
10	1,00	- 0,6124719
09	1,00	- 0,7303143
08	1,00	- 0,7836104
07	1,00	- 0,7730716
06	1,00	- 0,704724
05	1,00	- 0,589847
04	1,00	- 0,04445122
03	1,00	- 0,2888147
02	1,00	- 0,1458947
01	1,00	- 0,4089364

- * La pulsation du 2eme mode est : $\omega = 43,50938 \text{ rad/s}$
- * La periode du 2eme mode est $T_2 = 0,144409 \text{ s}$.
- * Le coefficient de participation est : $\alpha_2 = 19,434 \%$.

SENS TRANSVERSAL
MODE 1

Niveau	Vecteur	Dernière itération
16	1,00	1,00
15	1,00	0,9133838
14	1,00	0,8269304
13	1,00	0,740935
12	1,00	0,6558373
11	1,00	0,5722075
10	1,00	0,4907312
09	1,00	0,4121949
08	1,00	0,3374711
07	1,00	0,2675051
06	1,00	0,2033017
05	1,00	0,1459129
04	1,00	0,09642662
03	1,00	0,05595663
02	1,00	0,02563393
01	1,00	0,006599718

- * La pulsation du 1er mode est : $\omega_1 = 5,9553867$ rd/s
- * La periode du 1er mode est $T_1 = 1,05531$ s .
- * Le coefficient de participation est : $\alpha_1 = 63,205$ % .

SENS LONGITUDINAL
MODE 3

Niveau	Vecteur	Dernière itération
16	1,00	1,00
15	1,00	0,4418883
14	1,00	-0,07054479
13	1,00	-0,4764249
12	1,00	-0,7177088
11	1,00	-0,7605021
10	1,00	-0,6077062
09	1,00	-0,3013576
08	1,00	0,08520232
07	1,00	0,4631519
06	1,00	0,7481786
05	1,00	0,8800307
04	1,00	0,8373111
03	1,00	0,6443647
02	1,00	0,3692116
01	1,00	0,1137738

- * La pulsation du 3eme mode est : $\omega_3 = 121,6406 \text{ rd/s}$
- * La periode du 3eme mode est $T_3 = 0,05165 \text{ S}$.
- * Le coefficient de participation est : $\alpha_3 = 7,384 \%$.

SENS TRANSVERSAL
MODE 1

Niveau	Vecteur	Dernière itération
16	1,00	1,00
15	1,00	0,9133838
14	1,00	0,8269304
13	1,00	0,740935
12	1,00	0,6558373
11	1,00	0,5722075
10	1,00	0,4907312
09	1,00	0,4121949
08	1,00	0,3374711
07	1,00	0,2675051
06	1,00	0,2033017
05	1,00	0,1459129
04	1,00	0,09642662
03	1,00	0,05595663
02	1,00	0,02563393
01	1,00	0,006599718

- * La pulsation du 1er mode est : $\omega_1 = 5,9553867$ rad/s
- * La periode du 1er mode est $T_1 = 1,05531$ S .
- * Le coefficient de participation est : $\alpha = 63,205$ % .

SENS TRANSVERSAL
MODE 2

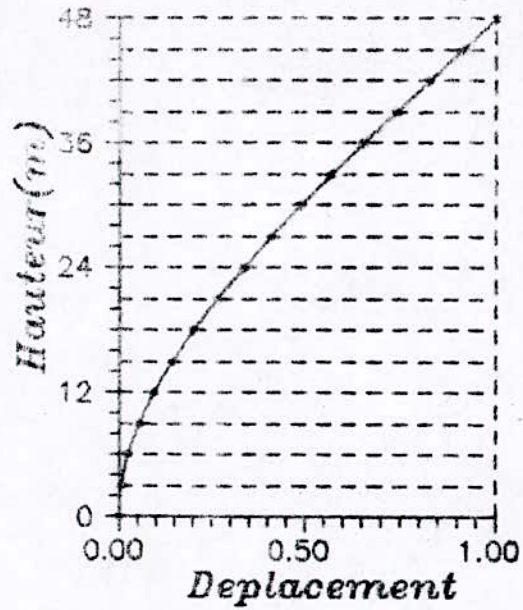
Niveau	Vecteur	Derniere itération
16	1,00	1,00
15	1,00	0,6794808
14	1,00	0,3650773
13	1,00	0,06644128
12	1,00	-0,2043492
11	1,00	-0,434324
10	1,00	-0,6124744
09	1,00	-0,7303168
08	1,00	-0,7836134
07	1,00	-0,7730738
06	1,00	-0,7047263
05	1,00	-0,1589486
04	1,00	-0,4445136
03	1,00	-0,2888155
02	1,00	-0,1458951
01	1,00	-0,04089374

- * La pulsation du 2eme mode est : $\omega_2 = 37,23725$ rd/s
- * La periode du 2eme mode est $T_2 = 0,168734$ s .
- * Le coefficient de participation est : $\alpha_2 = 19,434$ % .

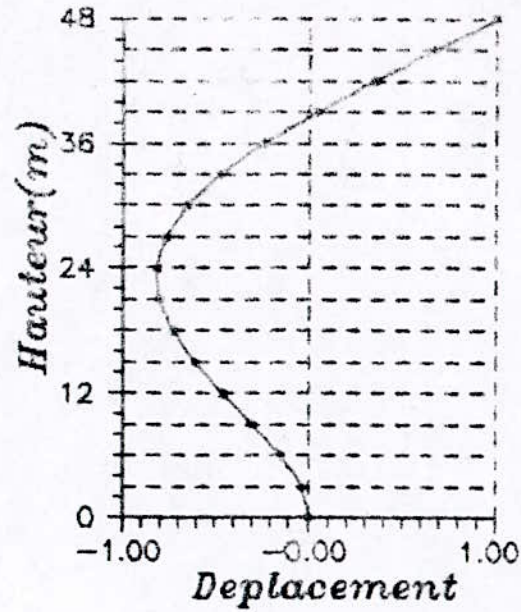
SENS TRANSVERSAL
MODE 3

Niveau	Vecteur	Dernière itération
16	1,00	1,00
15	1,00	0,4418861
14	1,00	-0,07056298
13	1,00	-0,4764591
12	1,00	-0,7177445
11	1,00	-0,7605399
10	1,00	-0,6077312
09	1,00	-0,3013731
08	1,00	0,08519955
07	1,00	0,4631589
06	1,00	0,7481977
05	1,00	0,8800543
04	1,00	0,8373321
03	1,00	0,6443825
02	1,00	0,3692218
01	1,00	0,1137769

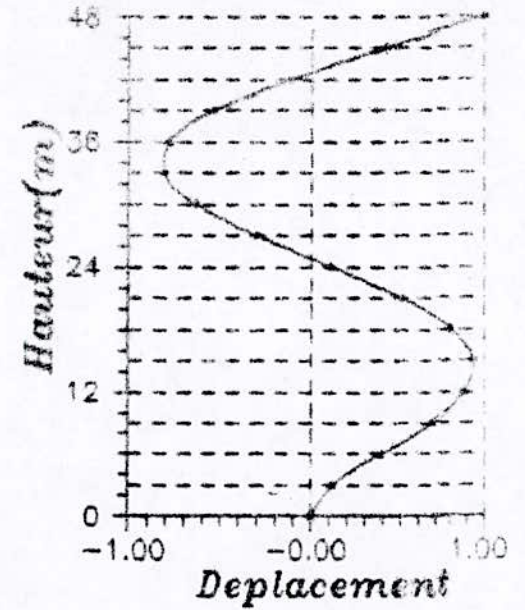
- * La pulsation du 3eme mode est : $\omega_3 = 104,1054$ rd/s
- * La periode du 3eme mode est $T_3 = 0,06035$ S .
- * Le coefficient de participation est : $\alpha_3 = 7,364$ % .



MODE 1



MODE 2



MODE 3

REPRESENTATION DE L'ACTION SISMIQUE

(SENS LONGITUDINAL)

$$S_i = A \cdot D_i \cdot B \cdot Q \cdot \bar{\alpha}_i \cdot \sum_{k=1}^n W_k$$

* Coefficient de distribution :

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

* Coefficient de contribution :

$$\alpha_i = \frac{\left(\sum_{k=1}^n W_k \phi_{ki} \right)^2}{\left(\sum_{k=1}^n W_k \phi_{ki}^2 \right) \left(\sum_{k=1}^n W_k \right)}$$

3- SOLLICITATIONS RESULTANTES :

1- Cas où un seul mode est prépondérant par rapport aux autres :

$$\bar{F} = \sum_{i=1}^n | F_i |$$

2- Cas où deux modes sont voisins (ayant des fréquences voisines à 10 % près)

$$\bar{F} = \sqrt{\left(| F_1 | + | F_2 | \right)^2 + \sum_{i=1}^n F_i}$$

3- Cas où les modes sont indépendant (fréquences différentes d'au moins 10%)

$$\bar{F} = \sqrt{\sum_{i=1}^n F_i^2}$$

N.B : Pour notre projet, on travaille avec le 3eme cas.

Remarque :

En aucun cas, les efforts calculés par cette méthode à chaque niveau ne devront être inférieures à 60 % de ceux obtenus par la méthode statique équivalente.

Les résultats sont regroupés dans des tableaux ci-après.

SENS LONGITUDINAL
MODE 1

Niveau	M(t)	V	M.V	M.V ²	γ_i	Fk
16	515,526	1	515,526	515,526	1,501	54,840
15	515,526	0,9133	470,029	430,01	1,371	50,09
14	515,526	0,8269	426,288	352,498	1,241	45,350
13	515,526	0,74094	381,974	283,019	1,112	40,633
12	515,526	0,65584	338,103	221,741	0,984	35,966
11	515,526	0,52221	269,213	140,585	0,859	31,380
10	515,526	0,49073	252,984	124,147	0,737	26,912
9	515,526	0,41219	212,495	87,588	0,619	22,605
8	515,526	0,33747	173,975	58,711	0,507	18,507
7	515,526	0,26751	137,908	36,892	0,402	14,67
6	515,526	0,2033	104,806	21,307	0,305	11,149
5	515,526	0,14591	75,22	10,975	0,219	11,149
4	515,526	0,09643	49,712	4,794	0,145	8,002
3	515,526	0,05596	28,849	1,614	0,084	5,298
2	515,526	0,0256	13,197	0,338	0,038	3,069
1	400,02	0,0066	3,402	0,0225	0,010	1,406

avec :

$$A = 0,15 \quad D = 1,20 \quad B = 1/3 \quad Q = 1,1$$

SENS LONGITUDINAL
MODE 2

Niveau	M(t)	V	M.V	M.V ²	γ_i	F _k
16	515,526	1	515,526	515,526	0,713	38,566
15	515,526	0,67948	350,289	238,015	0,484	26,205
14	515,526	0,36508	188,208	68,771	0,260	14,073
13	515,526	0,06644	34,252	2,276	0,047	2,564
12	515,526	-0,2042	- 105,270	21,496	-0,146	-7,877
11	515,526	-0,4343	-223,893	97,237	- 0,309	- 16,750
10	515,526	- 0,61247	- 315,744	193,384	- 0,436	-23,621
9	515,526	- 0,73031	- 376,494	274,957	-0,520	-26,165
8	515,526	- 0,78361	- 403,97	316,556	-0,558	-30,221
7	515,526	-0,77307	- 398,538	308,096	-0,551	-29,814
6	515,526	- 0,70472	- 363,301	256,026	-0,502	-27,178
5	515,526	- 0,58985	- 304,083	179,563	-0,420	-21,748
4	515,526	- 0,4445	- 229,151	101,858	-0,317	-17,143
3	515,526	- 0,28882	- 148,894	43,004	-0,206	-11,138
2	515,526	- 0,14589	- 75,210	10,972	-0,104	-5,627
1	515,526	- 0,04089	- 16,357	0,6688	-0,029	-1,224

avec :

$$A = 0,15 ; D = 1,35 ; B = 1/3 ; Q = 1,1$$

SENS LONGITUDINAL
MODE 3

Niveau	M(t)	V	M.V	M.V ²	γ_i	F _k
16	515,526	1	515,526	515,526	0,452	17,138
15	515,526	0,44189	227,906	100,665	0,200	7,573
14	515,526	- 0,07055	- 36,37	2,566	- 0,032	- 1,209
13	515,526	-0,47643	- 245,612	117,017	- 0,216	- 8,165
12	515,526	-0,71771	- 369,998	265,551	- 0,325	- 12,300
11	515,526	- 0,7605	-392,058	298,159	-0,344	- 13,034
10	515,526	- 0,6077	- 313,285	190,383	-0,275	-10,415
9	515,526	-0,3014	-155,380	46,831	-0,136	-5,165
8	515,526	0,0852	43,923	3,742	0,039	1,460
7	515,526	0,46315	238,766	110,584	0,210	7,997
6	515,526	0,74818	385,709	288,578	0,338	12,823
5	515,526	0,88003	453,678	399,250	0,398	15,082
4	515,526	0,83731	431,655	361,429	0,371	15,082
3	515,526	0,644365	332,187	214,049	0,197	11,043
2	515,526	0,36921	190,337	70,274	0,167	6,343
1	515,526	0,11377	45,510	5,178	0,051	1,513

avec :

$$A = 0,15 ; D = 1,35 ; B = 1/3 ; Q = 1,1 .$$

SENS LONGITUDINAL
RESULTATS RECAPITULATIFS

Niveau	F _{K1}	F _{K2}	F _{K9}	$F = \sqrt{\sum F_{Ki}^2}$
16	54,840	38,566	17,138	69,199
15	50,09	26,205	7,573	57,036
14	45,350	14,073	-1,209	47,499
13	40,633	2,564	-8,165	41,524
12	35,966	-7,877	-12,300	38,819
11	31,380	-16,750	-13,034	37,883
10	26,912	-23,621	-10,415	37,291
9	22,605	-28,165	-5,165	36,482
8	18,507	-30,221	1,460	35,467
7	14,670	-29,814	7,997	34,163
6	11,149	-27,178	12,823	32,053
5	8,002	-22,748	15,082	28,443
4	5,288	-17,143	14,350	22,973
3	3,069	-11,138	11,043	15,982
2	1,406	-5,627	6,343	8,503
1	0,280	-1,224	1,513	1,966

SENS TRANSVERSAL
MODE 1

Niveau	M(t)	V	M.V	M.V ²	γ_i	Fk
16	515,526	1	515,526	515,526	1,501	48,747
15	515,526	0,91338	471,871	430,084	1,371	44,525
14	515,526	0,82693	426,304	352,523	1,241	40,310
13	515,526	0,74094	381,974	283,019	1,112	36,118
12	515,526	0,65584	338,103	221,741	0,984	31,970
11	515,526	0,57221	294,989	168,796	0,859	27,893
10	515,526	0,49073	252,984	124,147	0,737	23,922
9	515,526	0,412195	212,497	87,590	0,619	20,093
8	515,526	0,33747	173,975	85,711	0,507	16,040
7	515,526	0,26751	137,908	36,892	0,402	13,910
6	515,526	0,2033	104,806	21,307	0,305	9,113
5	515,526	0,14591	75,220	10,975	0,219	7,121
4	515,526	0,09641	49,702	4,792	0,145	4,701
3	515,526	0,05596	28,849	1,614	0,084	2,728
2	515,526	0,02563	13,213	0,339	0,038	1,2496
1	515,526	0,02563	13,213	0,339	0,038	1,2496

avec :

$$A = 0,15 ; D = 1,35 ; B = 1/3 ; Q = 1,05$$

SENS TRANSVERSAL
MODE 2

Niveau	M(t)	V	M.V	M.V ²	γ_i	Fk
16	515,526	1	515,526	515,526	0,713	38,566
15	515,526	0,67948	351,346	238,0148	0,484	26,205
14	515,526	0,36508	188,208	68,711	0,260	14,079
13	515,526	0,06644	34,252	2,275	0,047	2,562
12	515,526	- 0,2042	- 105,270	21,496	- 0,146	-7,877
11	515,526	- 0,4343	- 223,89	97,237	- 0,309	-16,750
10	515,526	- 0,61247	- 315,744	193,384	- 0,436	-23,621
9	515,526	- 0,7303	- 376,489	274,549	- 0,520	-28,166
8	515,526	- 0,7836	- 403,966	316,548	- 0,558	-30,221
7	515,526	- 0,77473	- 399,393	309,422	- 0,551	-29,814
6	515,526	- 0,70985	- 365,946	256,767	- 0,502	-27,179
5	515,526	- 0,5845	- 301,325	176,124	- 0,420	-22,748
4	515,526	- 0,4445	-229,151	101,858	- 0,317	-17,143
3	515,526	- 0,2888	- 148,883	42,998	- 0,206	-11,139
2	515,526	- 0,1458	- 75,164	10,959	- 0,104	-5,627
1	515,526	400,02	- 0,04008	-21,033	- 0,029	- 1,224

avec :

$$A = 0,15 ; D = 1,80 ; B = 1/3 ; Q = 1,05$$

SENS TRANSVERSAL
MODE 3

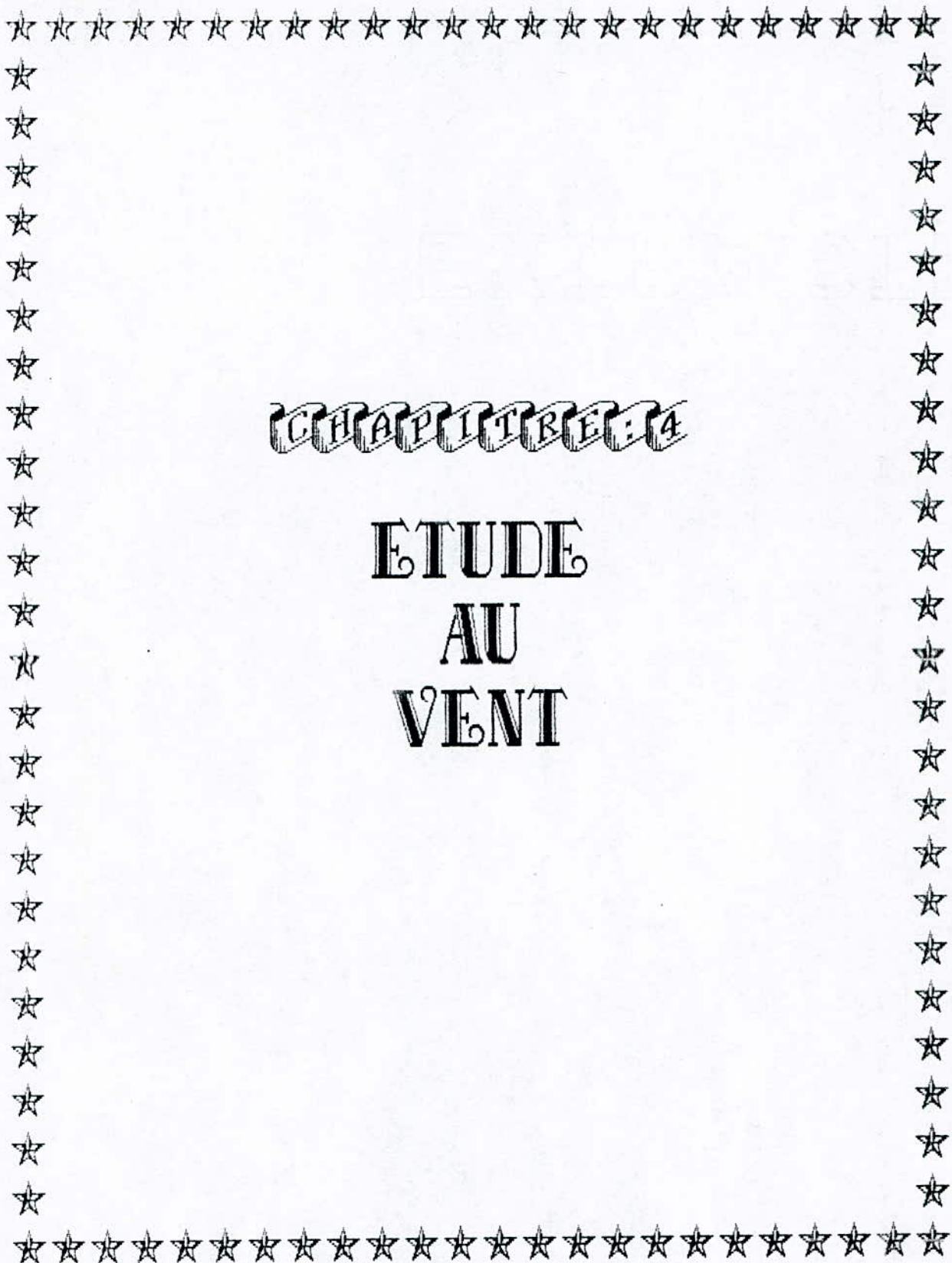
Niveau	M(t)	V	M.V	M.V ²	γ_i	F _k
16	515,526	1	515,526	515,526	0,452	17,382
15	515,526	0,44189	227,805	100,665	0,200	7,681
14	515,526	-0,07056	-36,376	2,566	-0,032	-1,227
13	515,526	-0,47646	-246,628	117,032	-0,216	-8,282
12	515,526	-0,71775	-245,628	265,581	-0,325	-12,476
11	515,526	-0,76054	-392,079	298,191	-0,344	-13,220
10	515,526	-0,6077	-313,285	190,383	-0,275	-10,563
9	515,526	-0,30137	-155,364	46,822	-0,136	-5,238
8	515,526	0,0852	43,923	3,742	0,039	1,480
7	515,526	0,46316	238,771	110,589	0,209	8,051
6	515,526	0,74819	385,711	288,585	0,338	13,005
5	515,526	0,88005	453,689	399,268	0,398	15,297
4	515,526	0,83733	431,665	361,446	0,379	14,554
3	515,526	0,64638	332,195	214,059	0,291	11,200
2	515,526	0,36922	190,343	70,278	0,167	6,418
1	515,526	0,11378	45,514	5,179	0,051	1,536

Avec :

$$A = 0,15 ; \quad D = 2 ; \quad B = 1/3 ; \quad Q = 1,05$$

SENS TRANSVERSAL
RESULTATS RECAPITULATIFS

Niveau	M(t)	V	M.V	M.V ²
16	48,747	38,566	17,382	64,542
15	44,525	26,205	7,681	52,231
14	40,310	14,079	-1,227	42,716
13	36,118	2,562	-8,282	37,144
12	31,970	-7,877	-12,476	35,210
11	27,893	-16,750	-13,220	35,119
10	23,922	-23,621	-10,563	35,239
9	20,093	-28,166	-5,238	34,992
8	16,040	-30,221	1,480	34,440
7	13,910	-29,814	8,051	33,522
6	9,113	-27,179	13,005	31,718
5	7,121	-22,148	15,297	28,321
4	4,701	-17,143	14,554	22,974
3	2,728	-11,139	11,200	16,030
2	1,249	-5,627	6,418	8,626
1	0,249	-1,224	1,536	1,979



CHAPITRE 4

ETUDE
AU
VENT

Chapitre 4

ETUDE AU VENT

INTRODUCTION :

Le vent est assimilé à des forces statiques appliquées à la construction . Ces forces dépendent de plusieurs paramètres, la région , le site , l'altitude , les dimensions de l'ouvrage , la majoration dynamique, coefficient de trainée et de l'effet de masque .

L'action dynamique du vent se compose de :

T : Force de trainée ou action parallèle à l'action du vent .

L : Force de dérivée ou action perpendiculaire à l'action du vent.

U : Force de portance ou action verticale et perpendiculaire à la force du vent.

Force de trainée :

La force de trainée est donnée par la formule suivante :

$$T = C_t \cdot \beta \cdot \delta \cdot q \cdot D_c$$

tel que :

C_t : Coefficient de trainée , dépendent de l'élanement de l'ouvrage et de la rugosité de la surface .

$$C_t = C_{t0} \cdot \gamma_0$$

$C_{t0} = 1,3$ prisme 3 ou 4 cotes (N.V 65 table VII)

γ_0 : Coefficient dépendant du rapport de dimension sa valeur est donnée par le diagramme (R III 5 NV 65)

γ_0 est donné en fonction de :

Longueur de l'ouvrage $a = 29$ m

Longueur de l'ouvrage $b = 13,9$ m

Hauteur de l'ouvrage : H : 48 m

* Cas du vent perpendiculaire à la face (Sa)

$$\left. \begin{array}{l} b/a = 0,48 \\ \lambda_a = H/a = 1,66 \end{array} \right\} \rightarrow \gamma_{0a} = 1$$

* Cas du vent perpendiculaire à la face (Sb)

$$\left. \begin{array}{l} b/a = 0,436 \\ \lambda_b = H/b = 3,45 \end{array} \right\} \rightarrow \gamma_{0b} = 1,03$$

$$C_t = C_{t0} \cdot \gamma_0 = 1,3 \cdot 1 = 1,3$$

$$C_t = C_{t0} \cdot \gamma_0 = 1,3 \cdot 1,03 = 1,339$$

β : Coefficient de majoration dynamique , il est lié aux effets de raisonnances provoqué par les sollicitations de l'ouvrage de la construction et du niveau considéré . Ce coefficient est donné par la relation suivante :

$$\beta = \theta (1 + \xi \tau)$$

θ : Coefficient global qui dépend du type de construction .

$$30 < H < 60 \rightarrow \theta = 0,7 + 0,01 (H - 30)$$

$$\theta = 0,88$$

ξ : Coefficient de réponse donné en fonction de la période.

$$\text{Sens transversal : } T = 0,9 \text{ s} \rightarrow \xi = 0,63$$

$$\text{Sens longitudinal : } T = 1,05 \text{ s} \rightarrow \xi = 0,72$$

(Voir chapitre pseudo-dynamique)

τ : Coefficient de pulsation , fonction de la côte de l'étage considéré : $\tau = f(H)$ (fig R III 4 NV 65)

$$H = 48 \text{ m} \longrightarrow \tau = 0,304$$

d'où :

$$\beta_L = 0,88 (1 + 0,55 * 0,304)$$

$$\beta_L = 1,027$$

$$\beta_L = 0,88 (1 + 0,8 * 0,305)$$

$$\beta_L = 1,094$$

$T_{eL} = 58,949 q$

$T_{eT} = 31,001 q$

Hauteur (m)	$q=1,75.(H+18)/(H+60)$	T_{eL} (Kg/ml)	T_{eT} (Kg/ml)
48	1,069	6304,170	3315,330
45	1,05	6053,145	3186,034
40	1,015	5517,890	2909,250
35	0,976	5133,360	2708,125
30	0,933	4738,930	2497,021
25	0,885	4476,820	2389,850
20	0,831	4244,960	2243,950
15	0,770	3947,230	2091,600
10	0,700	3588,380	1906,520
05	0,619	3174,340	1686,530
00	0,525	2691,330	1686,530

Calcul des efforts dûs à T :

Vent longitudinal :

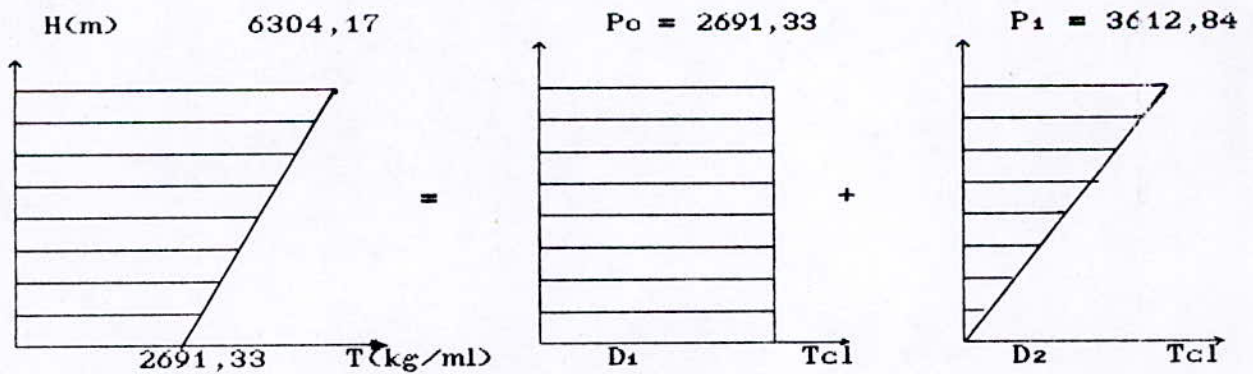


Diagramme D_1

$T_1 = 2691,33 \cdot 10^{-3} \cdot 48,6 = 130,80 t$

$$M_1 = T_1 \cdot H/2 = 130,80 \cdot 48,6/2 = 3178,40 \text{ m}$$

Diagramme D2

$$T_2 = (1/2) \cdot 3612,84 \cdot 10^{-3} \cdot 48,6 = 87,79 \text{ t}$$

$$M_2 = (2/3) \cdot T_2 \cdot H = (2/3) \cdot 87,79 \cdot 48,6 = 2844,706 \text{ m}$$

Diagramme Total :

$$T_N = T_1 + T_2 = 218,59 \text{ t}$$

$$M_N = M_1 + M_2 = 6022,8 \text{ t.m}$$

Vent extrême :

$$T_e = 1,75 T_N = 382,53 \text{ t} ; M_e = 1,75 M_N = 10539,9 \text{ t.m}$$

Vent transversal :

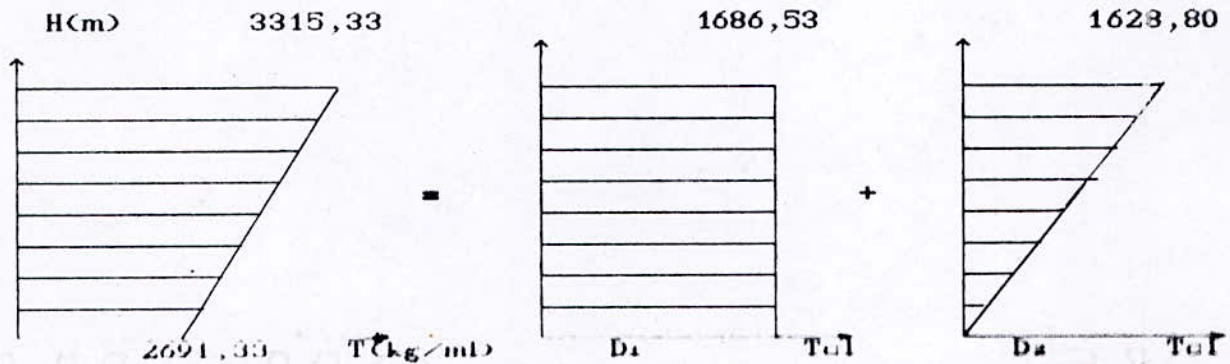


Diagramme D1 :

$$T_1 = 1686,53 \cdot 10^{-3} \cdot 48,6 = 81,97 \text{ t}$$

$$M_1 = T_1 \cdot H/2 = 81,97 \cdot 48,6/2 = 1991,76 \text{ t.m}$$

Diagramme D2 :

$$T_2 = (1/2) \cdot 1628,80 \cdot 48,6 = 39,58 \text{ t}$$

$$M_2 = (2/3) \cdot T_e \cdot H = 2/3 \cdot 39,58 \cdot 48,6 = 1282,38 \text{ t.m}$$

Diagramme total :

$$T_N = T_1 + T_2 = 121,55 \text{ t}$$

$$M_N = M_1 + M_2 = 3274,14 \text{ t.m}$$

Vent. extrême :

$$F_e = 1,75 T_N = 212,71 \text{ t}$$

$$M_e = 1,75 M_N = 5729,75 \text{ t.m}$$

Force de dérive :

Action perpendiculaire à celle du vent , elle correspond à une force qui s'exprime par :

$$L = C_L \cdot \delta \cdot \beta' \cdot q_{cr} \cdot d \cdot (H / \tau)$$

- δ : coefficient de dimension déjà calculé
- C_L : coefficient de dérive
- β' : coefficient de majoration dynamique
- q_{cr} : Pression dynamique critique tenant compte de l'amortissement .
- d : Largeur du maitre couple
- H : la côte du niveau considère à partir du sol .

D'après N.V.65 , si la vitesse du vent est supérieure à 25 m/s il serait inutile de faire un calcul à la résonance

Si $T = T_k$, on a dans ce cas le phénomène de résonance c'ad :

$$V = V_r = d / (S \cdot T)$$

telque :

d : longueur du maitre couple

S : Nombre dit de STOUHAL . fonction de la rugosité des surfaces de la forme , de la construction et de la rugosité du fluide .

V : vitesse du fluide

On prend : $S = 0,25$ (Annexe 88311 NV65)

$$d_L = 29 \text{ m} \longrightarrow T_L = 0,9 \text{ s}$$

$$d_r = 13,9 \text{ m} \longrightarrow T_r = 1,05 \text{ s}$$

Donc la vitesse sera égale à :

Sens longitudinal

$$V_{c.T} = 29 / (0,25 \cdot 0,9) = 129 \text{ m/s} > 25 \text{ m/s}$$

Sens transversal :

$$V_{c.r} = 13,9 / (0,25 \cdot 1,05) = 52,95 \text{ m/s} > 25 \text{ m/s}$$

Donc il est inutile de faire un calcul a la raisonance puisque dans les deux sens les vitesses sont > à 25 m/s

Force de portance :

C'est une action de soulevement du batiment , mais généralement elle est negligeeable devant le poids mort du batiment , elle s'exprime par :

$$U = C_u \cdot \delta \cdot q \cdot S_u$$

telque :

* C_u : Coefficient de portance

$$C_u = C_i - C_e$$

C_i : coefficient de surpression interieure sur la terrasse

$$C_i = 0,6 (1,8 - 1,38\gamma_0) \text{ Avec } \gamma_0 = 1 \rightarrow C_i = 0,3$$

C_e : $f(\alpha, \gamma_0)$: α : Angle d'inclinaison

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = 0 \\ \gamma_0 = 1 \end{array} \right\} C_e = -0,5$$

$$\rightarrow C_u = 0,8$$

* $\delta = 0,74$ (déjà calculé)

* S_u : surface de la terrasse : $S_u = 403,1 \text{ m}^2$

* $q = 106,94 \text{ daN/m}^2$

$$U = 0,8 \cdot 0,74 \cdot 106,94 \cdot 403,1$$

$$U = 25,52 \text{ t}$$

Sous Vent extreme :

$$U_e = 1,75 U \rightarrow U_e = 44,66 \text{ t}$$

Si on désigne par G , le poids total à vide du bâtiment , il faut vérifier que $G \gg U_e$

On a $G = 7049,17 \text{ t} \gg 44,66 \text{ t}$

donc les effets de la portance sont négligeable

Conclusion :

Cette étude à été menée dans un but purement pédagogique sachant d'avance que les efforts engendrés par l'action du vent sur notre bâtiment sont faibles par rapport à ceux engendrés par le seisme

*Chapitre 5***ETUDE PARASISMIQUE****INTRODUCTION :**

Le but essentiel de l'étude sismique est de vérifier la résistance et la stabilité du bâtiment vis à vis des actions sismiques qui sont déterminées conformément aux règles parasismiques algériennes RPA88

Choix de la méthode :

Nous avons opté pour l'utilisation de la méthode statique équivalente donnée par le RPA88 .

Principe de la méthode :

Les forces réelles dynamiques qui se développent dans la construction sont remplacées par un système de forces statiques fictives, dont les effets sont considérés équivalents aux effets de l'action sismique , toutefois ces forces statiques sont inférieures aux forces observées réellement sur la structure sous l'effet d'un séisme majeur d'où la nécessité d'application rigoureuse des dispositions constructives garantissant à la structure :

* Une ductilité suffisante (c'est à dire l'aptitude d'un élément de structure ou de la structure dans son ensemble à se déformer au delà de la limite élastique sans risque de rupture soudaine et fragile).

* La capacité de dissiper l'énergie vibratoire , transmise à la structure par des secousses sismiques majeures .

Calcul de l'action sismique :

Tout bâtiment sera conçu et construit pour résister aux forces sismiques horizontales totales agissant sans simultanéité dans la direction de chacun des axes principaux de la structure conformément à la formule .

$$V = A . B . D . Q . W$$

A - COEFFICIENT D'ACCELERATION DE ZONE

Notre bâtiment est à usage d'habitation → groupe d'usage 2 , zone de moyenne sismicité II donc

$$A = 0,15$$

B - FACTEUR DE COMPORTEMENT DE LA STRUCTURE :

Il dépend du type de la structure et de la nature de ses entreventement .

D'après R.P A 88 tableau N°3 , on est dans le cas d'une structure : murs porteurs donc

$$B = 1/3$$

D - FACTEUR D'AMPLIFICATION DYNAMIQUE MOYEN :

Il fait appel à la classification des sols et à l'évaluation de la période T du bâtiment ou de l'ouvrage .

Pour notre cas : Sol meuble → $D = 2 \sqrt{0,5/T}$

T : suivant une formule empirique qui depend du type de batiment
(Annexe II R.P.A : 88).

$$T = 0,09 \cdot H / \sqrt{L}$$

- H : hauteur du batiment (m)
- L : dimension du batiment dans le sens de l'action sismique (m)

Sens longitudinal : X - X

$$L_x = 29 \text{ m} \longrightarrow T_x = 0,09 \cdot 48,6 / \sqrt{29}$$

$$= 0,81 \text{ s} \longrightarrow D_x = 1,57$$

Sens transversal : Y - Y

$$L_y = 13,9 \text{ m} \longrightarrow T_y = 0,09 \cdot 48,6 / \sqrt{13,9}$$

$$1,17 \text{ s} \longrightarrow D_y = 1,31$$

Q : FACTEUR DE QUALITE :

Du systeme de contreventement d'une structure donnee est fonction de l'hyperstaticitee et de la surabondance du systeme , de ces symetries en plan , de sa regularite en elevation et de la quantite de control pendant la construction

$$Q = 1 + \sum_{q=1}^6 P_q \quad : \quad \text{Sens longitudinal} : X - X$$

$$P_1 = 0,05 \quad \text{critere non observe}$$

$$P_2 = 0,05 \quad \text{critere non observe}$$

$$P_3 = 0 \quad \text{critere observe}$$

$$P_4 = 0 \quad \text{critere observe}$$

$$P_5 = 0 \quad \text{critere observe}$$

$$P_6 = 0 \quad \text{critere observe}$$

$$\sum P_q = 0,05 + 0,05 + 0 + 0 + 0 + 0 = 0,1$$

$$Q = 1 + 0,1 = 1,1$$

$$Q = 1,1$$

Sens transversal : Y - Y

$P_1 = 0,05$	critère non observé
$P_2 = 0$	critère observé
$P_3 = 0$	critère observé
$P_4 = 0$	critère observé
$P_5 = 0$	critère observé
$P_6 = 0$	critère observé

$$\sum Pq = 0,05 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 = 0,05$$

$$Q = 1 + 0,05$$

$$Q = 1,01$$

W - POIDS DE LA STRUCTURE :

$$W = 7049,17$$

CONCLUSION :

Sens longitudinal : Y - Y

$$V_x = 0,15 \cdot \left(\frac{1}{3} \right) \cdot 1,57 \cdot 1,1 \cdot 7049,17 = 608,70 \text{ t}$$

Sens transversal : Y - Y

$$V_y = 0,15 \cdot \left(\frac{1}{3} \right) \cdot 1,31 \cdot 1,01 \cdot 7049,17 = 466,34 \text{ t}$$

Distribution verticale de la force sismique

* La force laterale totale V doit être distribuée sur la hauteur de la structure selon les formules suivantes :

$$V = Ft + \sum_{i=1}^n Fi$$

* La force concentrée F_t au sommet de la structure doit être déterminée par la formule suivante où T est en secondes

$$F_t = 0,07 TV$$

$F_t = 0$ pour $T \leq 0,7$ s qui n'est pas notre cas .

La partie restante de l'effort horizontal total V doit être distribuée sur la hauteur de la structure suivant la formule :

$$F_k = [(V - F_t) \cdot W_k \cdot h_k] / \sum_{i=1}^n W_i \cdot h_i$$

F_k : effort horizontal au niveau k

h_i : niveau d'un plancher quelconque

h_k : niveau du plancher considéré

w_k : poids de l'étage k

Calcul de F_t

Sens longitudinal : X - X

$$T_x = 0,81 \text{ s} > 0,7 \text{ s} ; \quad V_x = 608,70 \text{ t}$$

$$F_t = 0,07 \cdot 0,81 \cdot 608,70 \quad \boxed{f_t = 34,51 \text{ t}}$$

sens transversal : Y - Y

$$T_y = 1,17 \text{ s} > 0,7 \text{ s} ; \quad V_y = 466,34 \text{ t}$$

$$F_t = 0,07 \cdot 1,17 \cdot 466,34 \text{ t}$$

$$\boxed{F_t = 38,19 \text{ t}}$$

Niveau	Wk (t)	hk (m)	Wkhk (t.m)	Fk ^{long} (t)	Fk ^{trans} (t)
16	105,65	48	19471,20	62,441	46,560
15	113,526	45	19947,60	63,969	47,699
14	443,28	42	18617,76	59,704	44,519
13	443,28	39	17287,92	55,439	41,339
12	443,28	36	15958,08	51,175	38,159
11	443,28	33	14628,24	46,910	34,979
10	443,28	30	13298,4	42,646	31,799
09	443,28	27	11968,56	38,381	28,619
08	443,28	24	10638,72	34,117	25,439
07	443,28	21	9308,88	29,852	22,259
06	443,28	18	7979,04	25,587	19,020
05	443,28	15	6649,2	21,323	15,900
04	443,28	12	5319,36	17,058	12,720
03	443,28	09	3989,52	12,794	9,540
02	443,28	06	2659,68	8,529	6,360
01	443,28	03	1329,84	4,265	3,180
RDC	---	00	0,00	0,000	0,000

TABLEAU DONNANT M ET T SELON LES DEUX SENS

Niveau	Tx (t)	Mx (t.m)	Ty (t)	My (t.m)
16	62,44	0,00	46,560	0,00
15	126,41	187,32	94,259	139,68
14	186,114	566,55	138,778	422,457
13	241,553	1124,892	180,117	838,791
12	292,728	1849,551	218,276	1379,142
11	339,638	2727,735	253,255	2033,97
10	382,284	3746,649	285,054	2793,735
09	420,665	4893,501	313,673	3648,897
08	454,782	5314,166	339,112	4589,916
07	484,634	6678,512	361,371	5607,252
06	510,222	8132,414	380,451	6691,365
05	531,545	9663,08	396,351	7832,718
04	548,603	11257,715	409,071	9021,771
03	561,397	12903,524	418,611	10248,984
02	569,926	14587,715	424,971	11504,817
01	574,191	16297,493	428,151	12789,270
RDC	574,191	18020,066	428,151	14073,723

Chapitre 6

ETUDE DES VOILES SOUS CHARGES HORIZONTALES

Methode du centre de torsion :

Le centre de torsion (ou centre élastique) d'un groupe de refends est le point caracterisé par les propriétés suivantes :

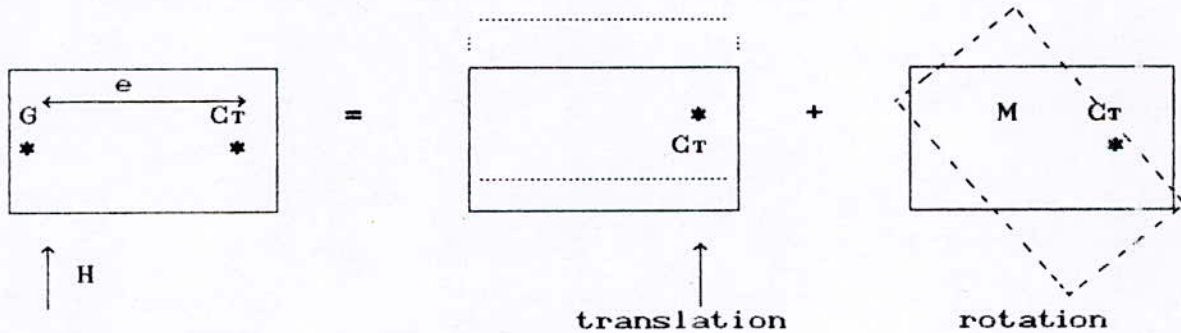
1- Une force dont la ligne d'action passe par le centre de torsion engendre uniquement une translation des refends

la direction de la translation est parallèle à la direction de la force .

2- Un moment dont l'axe (vertical) passe par le centre de torsion engendre uniquement une rotation des refends , le sens de la rotation est le même que le sens du moment.

On doit verifier 2 hypothèses de base :

- Les elements du contreventement ont un comportement élastique
- Les planches sont infiniment rigides dans leurs plans



Determination des efforts horizontaux

dans les refends suivants les 2 sens :

La répartition des efforts horizontaux F_k déterminés en étude pseudo-dynamique se fait proportionnellement à la rigidité des

plans verticaux résistants ; rigidité en translation et la répartition des moments de torsion .

De façon générale , la réduction de la force extérieure H (pour notre cas F_k) par rapport au centre de torsion fournit H et $M = H \cdot e$

e : l'excentricité entre le centre de torsion et le centre de masse avec sa valeur algébrique .

* Les forces provenant des translations deviennent .

$$F_T = I_i / \sum I_i \quad (: \text{l'axe d'inertie})$$

* Les forces provenant des rotations deviennent

$$F_\theta = y_i \cdot I_{xi} \cdot y_i / J_\theta$$

J_θ : L'inertie de torsion (polaire)

$$J_\theta = \sum I_x \cdot y^2 + \sum I_y \cdot x^2$$

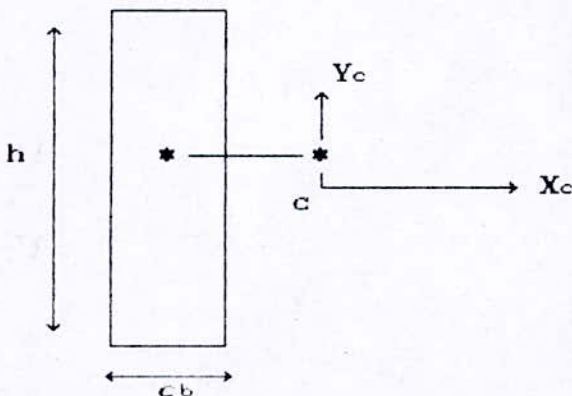
en définitive , les forces distribuées dans les refends sont :

Sens X-X :

$$H_{xi} = H_x [F_T + F_\theta] = H_x [I_{xi} / \sum I_{xi} + y_i I_{xi} y_i / J_\theta]$$

Sens Y-Y :

$$H_{yi} = H_y [F_T + F_\theta] = H_y [I_{yi} / \sum I_{yi} + y_i I_{yi} x_i / J_\theta]$$



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

y_i = excentricité entre G et c

Remarque :

D'après l'article 3.2.1.5 du RPA 88, les efforts tranchants négatifs dus à la torsion devront être négligés.

SENS LONGITUDINAL

$$J\theta = 2419,62 \text{ m}^6$$

Voiles	$I_y(\text{m}^4)$	F_T	F_θ	$F_{\text{theorique}}$	F_{RPA}
VL1	3,79	0,0318	0,023	0,055	0,055
VL1'	3,79	0,0138	-0,0167	0,015	0,0318
VL2	5,965	0,05	0,025	0,075	0,075
VL2'	5,965	0,05	-0,015	0,035	0,05
VL3	2,77	0,0233	0,0115	0,0348	0,0348
VL3'	2,77	0,0233	-0,0068	0,0165	0,0233
VL4	44,72	0,375	0,082	0,457	0,457
VL4'	44,72	0,375	-0,004	0,371	0,375
VL5	0,879	0,00738	0,00742	0,0148	0,0148
VL5'	0,879	0,00738	-0,00598	0,0014	0,00738
VL6	0,714	0,00599	0,00601	0,012	0,012
VL6'	0,714	0,00599	-0,00489	0,0011	0,00599
VL7	0,714	0,00599	0,00441	0,0104	0,0104
VL7'	0,714	0,00599	-0,00311	0,0091	0,00599
Σ	119,104	0,99892	0,10286	1,1081	1,15846

Avec : $Y_G = 1,45 \text{ m}$; $H_y = 1 \text{ MN}$ (charge unitaire)

SENS TRANSVERSAL

$$J\theta = 2419,62 \text{ m}^6$$

Voiles	$I_y(\text{m}^4)$	F_T	F_θ	$F_{\text{theorique}}$	F_{RPA}
VL1	0,47	0,0053	-0,00088	0,00442	0,0053
VL1'	0,47	0,0053	-0,00088	0,00442	0,0053
VL2	28	0,319	-0,0525	0,2665	0,319
VT3	29,34	0,335	0,00079	0,33579	0,33579
V3'	29,34	0,335	0,00079	0,33579	0,33579
Σ	78,62	0,999	-0,05268	0,946	1,00118

Avec : $Y_G = 1,45 \text{ m}$; $H_y = 1 \text{ MN}$ (charge unitaire)

SENS LONGITUDINAL

Voiles Niveaux	VL1		VL1'		VL2		VL2'	
	T(t)	M(t.m)	T(t)	M(t.m)	T(t)	M(t.m)	T(t)	M(t.m)
16	3,219	0,00	1,90	0,00	4,41	0,00	3,00	0,00
15	5,86	9,65	3,47	5,71	8,04	13,26	5,40	8,99
14	8,06	27,24	4,76	16,11	11,06	37,40	7,50	25,36
13	9,89	51,41	5,90	30,40	13,69	70,59	9,29	47,85
12	11,79	81,34	6,97	48,11	16,18	111,69	10,97	75,72
11	13,57	116,69	8,03	69,02	18,64	160,23	12,63	108,63
10	15,36	157,41	9,08	93,10	21,09	216,14	14,29	146,53
9	17,12	203,47	10,13	120,35	23,51	279,40	15,94	189,40
8	18,85	254,84	11,15	150,73	25,89	349,94	17,55	237,23
7	20,52	311,4	12,14	184,19	28,18	427,60	19,10	289,88
6	22,07	372,96	13,05	220,59	30,31	512,13	20,55	347,19
5	23,43	439,18	13,86	259,76	32,18	603,18	21,82	408,83
4	24,53	509,48	14,50	301,35	33,68	699,60	22,83	474,28
3	25,28	583,06	14,95	344,86	34,71	800,63	23,53	542,78
2	25,68	658,90	15,19	389,72	35,26	904,76	23,9	613,37
1	25,79	735,93	15,25	435,28	35,41	1010,54	24,00	685,08
RDC	25,79	813,30	15,25	481,00	35,41	1116,77	24,00	757,08

SENS LONGITUDINAL

suite

Voiles Niveaux	VL ₃		VL ₃ '		VL ₄		VL ₄ '	
	T(t)	M(t.m)	T(t)	M(t.m)	T(t)	M(t.m)	T(t)	M(t.m)
16	2,04	0,00	1,39	0,00	27,08	0,00	22,46	0
15	3,72	6,13	2,53	4,17	49,31	81,23	40,91	67,39
14	5,11	17,29	3,48	11,78	67,78	225,17	56,22	190,10
13	6,33	32,63	4,31	22,22	83,94	432,51	69,63	358,77
12	7,48	51,63	5,09	35,16	99,15	684,32	82,24	567,65
11	8,61	74,07	5,87	50,44	114,19	981,78	94,72	814,10
10	9,75	99,91	6,64	68,05	129,19	1324,30	107,17	1098,60
9	10,87	129,15	7,40	87,95	144,06	1711,92	119,5	1131,50
8	11,97	161,76	8,15	110,17	158,62	2144,10	131,58	1413,21
7	13,02	179,66	8,87	134,62	172,64	2619,90	143,21	2173,30
6	14,00	236,74	9,54	161,23	185,70	3137,89	154,04	2602,90
5	14,88	278,76	10,13	189,85	197,17	3654,99	163,56	3065,10
4	15,57	323,39	10,60	220,24	206,34	206,34	4286,51	171,17
3	16,04	370,09	10,53	252,05	212,67	4905,60	167,42	4069,2
2	16,30	418,22	11,10	284,83	216,04	5543,60	179,22	4598,50
1	16,37	467,13	11,14	318,14	216,95	6191,72	179,97	5136,10
RDC	16,37	516,24	11,14	351,56	216,95	6842,57	179,97	5676,02

SENS LONGITUDINAL

suite

Voiles Niveaux	VL5		VL5'		VL6		VL6'	
	T(t)	M(t.m)	T(t)	M(t.m)	T(t)	M(t.m)	T(t)	M(t.m)
16	0,87	0	0,44	0	0,70	0,00	0,36	0,00
15	1,58	2,59	0,80	1,32	1,28	2,11	0,65	1,08
14	2,17	7,32	1,11	3,74	1,76	5,95	0,90	3,04
13	2,68	13,82	1,37	7,05	2,18	11,22	1,11	5,73
12	3,17	21,87	1,62	11,15	2,57	17,77	1,31	9,06
11	3,65	31,38	1,86	16	2,96	25,49	1,51	13,00
10	4,13	42,32	2,11	21,60	3,35	34,38	1,71	17,54
9	416	54,71	2,35	27,99	3,74	44,44	1,82	22,57
8	5,07	68,53	2,59	37,91	4,12	55,66	2,10	28,40
7	5,52	83,73	2,81	42,71	4,48	68,01	2,29	34,69
6	5,94	100,29	3,03	51,16	4,82	81,46	2,46	41,56
5	6,30	118,10	3,21	60,24	5,19	95,93	2,61	48,93
4	6,60	137,00	3,36	69,89	5,36	111,28	2,73	56,77
3	6,80	156,78	3,47	79,98	5,52	127,35	2,82	64,96
2	6,90	177,78	3,52	90,39	5,61	143,92	2,86	73,41
1	6,93	197,89	3,54	100,95	5,63	160,75	2,87	82,00
RDC	6,93	218,68	3,54	11,57	5,63	177,64	2,87	90,61

SENS LONGITUDINAL

suite

Voiles Niveaux	VL7		VL7'		sollicitation par étage	
	T(t)	M(t.m)	T(t)	M(t.m)	T(t)	M(t.m)
16	0,61	0,00	0,36	0,00	59,82	0,00
15	1,10	1,82	0,65	1,08	108,95	179,47
14	1,52	5,13	0,50	3,04	149,74	506,31
13	1,88	9,68	1,11	5,72	185,44	955,53
12	2,22	15,32	1,31	9,06	219,02	1511,85
11	2,56	21,98	1,51	13,00	252,27	2925,82
10	2,89	29,65	1,71	17,54	285,42	2925,82
9	3,23	38,33	1,91	22,67	318,27	3782,08
8	3,55	48,01	2,01	28,39	350,44	5788,21
7	3,87	58,66	2,28	34,70	384,41	4735,89
6	4,16	70,26	2,45	41,56	410,26	6932,44
5	4,42	82,73	2,61	48,94	435,61	8163,22
4	4,62	95,98	2,73	56,77	455,87	9470,04
3	4,76	109,84	2,82	64,96	469,85	10837,6
2	4,84	124,13	2,86	73,41	477,31	12247,2
1	4,86	138,73	2,87	82,00	479,31	12247,2
RDC	4,86	153,22	2,87	90,61	479,31	15117,08

SENS TRANSVERSAL

Voiles Niveaux	V _{T1}		V _{T1} '		V _{T2}	
	T(t)	M(t.m)	T(t)	M(t.m)	T(t)	M(t.m)
16	0,31	0,00	0,310	0,00	18,74	0,00
15	0,57	0,94	0,57	0,94	33,82	56,23
14	0,77	2,65	0,77	2,65	46,08	157,67
13	0,95	4,97	0,95	4,97	56,10	295,92
12	1,13	7,83	1,13	7,83	67,08	466,32
11	1,30	11,21	1,30	11,21	77,48	667,57
10	1,48	15,11	1,48	15,11	88,05	900,02
9	1,66	18,54	1,66	19,54	98,64	1164,17
8	1,83	24,51	1,83	24,51	109,14	1460,1
7	2,00	30,00	2,00	30,00	119,36	1787,5
6	2,17	36,01	2,17	36,01	128,99	2145,6
5	2,30	42,51	2,30	42,51	137,54	2532,5
4	2,42	45,44	2,42	49,44	144,44	2945,1
3	2,50	56,71	2,50	56,71	149,23	3378,5
2	2,55	64,23	2,55	64,23	151,80	3826,2
1	2,56	71,87	2,56	71,87	152,48	4281,5
RDC	2,56	79,55	2,56	79,55	152,48	4739,0

SENS TRANSVERSAL

suite

Voiles Niveaux	V _{rs}		V _{rs} '		solicitation par étage	
	T(t)	M(t.m)	T(t)	M(t.m)	T(t)	M(t.m)
16	19,68	0,00	19,68	0,00	58,65	0,00
15	35,51	59,05	35,51	59,05	105,819	175,95
14	48,39	165,59	48,39	165,59	144,20	793,41
13	59,65	310,77	59,65	310,77	177,742	926,01
12	70,45	489,72	70,45	489,72	209,92	1459,23
11	81,37	701,07	81,37	701,07	242,46	2089,00
10	92,47	945,19	92,47	945,19	275,53	2816,41
9	103,59	1222,60	103,59	1222,60	308,69	3643,01
8	114,62	1533,40	114,62	1533,40	341,52	4569,11
7	125,35	1877,25	125,35	1877,25	373,50	5593,68
6	135,46	2253,30	135,46	2253,30	403,64	5967,18
5	144,45	2659,69	144,45	2659,69	430,41	7178,12
4	151,69	3093,03	151,69	3093,03	451,99	8469,35
3	156,72	3548,09	156,72	3548,09	466,98	9825,33
2	159,41	4018,26	159,41	4018,26	475,01	11226,27
1	160,13	4496,50	160,13	4496,50	477,17	12651,31
RDC	160,13	4976,89	160,13	4976,89	477,17	14082,83

ETUE DU CONTREVENTEMENT

INTRODUCTION :

Cette étude permet d'assurer la stabilité d'un bâtiment soumis à des efforts horizontaux (seisme) .

Le contreventement peut être assuré par l'intermédiaire des voiles appelées couramment refends entrants dans la composition de l'ouvrage, la détermination des sollicitations (M,N,T et π) pour les voiles à files d'ouverture sera faite en utilisant la méthode de Mr "ALBIGES et GOULET"

Hypothèses de la méthode "ALBIGES et GOULET" :

* 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 (l'identité des déformations des trumeaux est imposée par les planchers); en négligeant les déformations dues à l'effort normal dans les linteaux .

Ces deux hypothèses conduisent à admettre qu'un refend (voile) présentant des ouvertures peut être assimilé du point de vue de la résistance aux efforts horizontaux , à la structure constituée par une plaque élastique (linteau) se déformant dans son plan par distorsion qui lie 2 éléments de refend dont on néglige leur déformation distorsionnelle due à l'effort tranchant .

Il est admis en outre que :

- * La hauteur d'étage est constante .
- * Les linteaux qui lient les deux (02) trumeaux du voile ont

tous les mêmes caractéristiques géométriques .

* Les linteaux ont une inertie transversal faible vis à vis de celle des trumeaux .

* Le bâtiment est élevé (nombre d'étages au moins égal à 7) .

Exposée de la méthode :

Voiles à une seule file d'ouvertures :

Avant de commencer la distribution des efforts , on doit déterminer le paramètre α (degré de concordance) qui nous renseigne sur le degré de monolithisme d'un refend et définit le comportement des linteaux selon les cas suivants :

* $\alpha \leq 1$: Le refend sera calculée comme un refend avec ouvertures de grandes dimensions . La rigidité des linteaux est très faible, les deux éléments de refend sont simplement entretoisés, l'effort est distribué entre les 2 éléments de refend proportionnellement à leurs inerties.

* $1 < \alpha < 10$: Un refend avec ouvertures de moyenne dimensions .

* $\alpha > 10$: Un refend avec ouvertures de faibles dimensions . Le voile se comporte comme un mur plein, l'influence des ouvertures ayant un caractère local.

Pour notre cas, on va exposer seulement la méthode de calcul pour $\alpha \geq 10$ car nos voiles ne vérifient que cela.

Sollicitations au niveau des linteaux (à la section d'encastrement)

$$\pi^{(j)} = \frac{Hc. m . h_e}{I} . (1 - \xi)$$

$$M^{(j)} = \pi^{(j)} . a/2$$

- * j : indique le niveau
- * $\pi^{(j)}$: effort tranchant à la section d'encastrement du linteau en chaque niveau.
- * $M^{(j)}$: moment d'encastrement au niveau de linteau en chaque niveau.

H_0 : Effort tranchant à la base du voile.

m : moment statique;

h_e : hauteur d'étage

I : inertie du refend

a : la dimension de l'ouverture

ξ : z/Z ; $z =$ constante ; Z : hauteur du bâtiment

à la base ($\xi = 0$) $\longrightarrow \pi = H_0 \cdot m \cdot h_e / I$

au sommet ($\xi = 1$) $\longrightarrow \pi = 0$

Sollicitations au niveau des trumeaux :

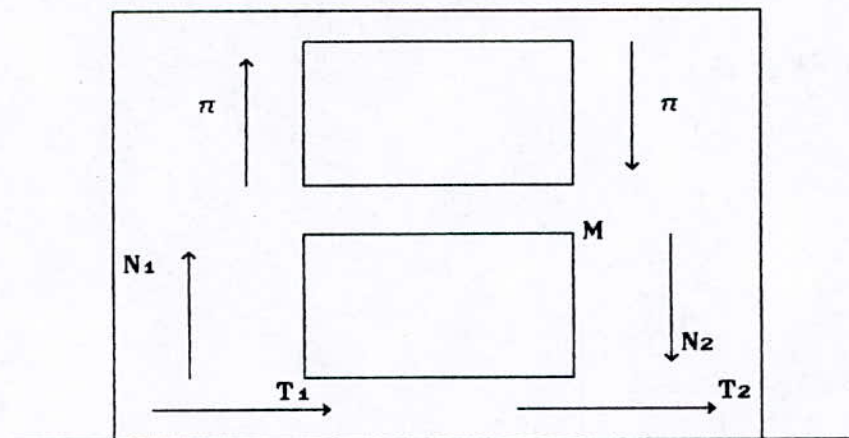
Moment fléchissant (M) et effort tranchant (T) en chaque niveau et l'effort normal (N)

$$T^{(j)} = P_1 + P_2 + \dots + P_j$$

$$M^{(j)} = M^{(j-1)} + T^{(j-1)} \cdot h_e$$

$$N_1^{(j)} = \pi_1^{(1)} + \pi_1^{(2)} + \dots + \pi_1^{(j-1)} = \sum_{i=1}^{j-1} \pi_1^{(i)}$$

$$N_2^{(j)} = \pi_2^{(1)} + \pi_2^{(2)} + \dots + \pi_2^{(j-1)} = \sum_{i=1}^{j-1} \pi_2^{(i)}$$



Voiles à 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.

$$\frac{S(\text{ouverture})}{S(\text{totale})} = \frac{\text{Surface totale des ouvertures}}{\text{Surface totale du voile}}$$

Remarque :

Les surfaces mentionnées sont prises en considération en élévation et non pas en coupe transversale.

On distingue 3 cas :

- 1- $So/St < 10 \%$ \longrightarrow voile pratiquement monolithique
- 2- $So/St > 25 \%$ \longrightarrow voiles à ouvertures moyennes
- 3- $10 \% \leq So/St \leq 25 \%$ \longrightarrow voiles à petites ouvertures

Nos voiles vérifiant que la 1ere et la 3eme condition :

1/ $10 \% \leq So/St \leq 25 \%$

Sollicitations au niveau des linteaux :

$$\pi_i^{(j)} = Hc; h_e / 2 [m_i / I (1 - \xi) + (i(i).c(i)) / (a^3(i).2R).\phi]$$

$$M_i^{(j)} = \pi_i^{(j)} . a_i$$

i : indique le linteau , j : indique le niveau

Sollicitations au niveau des trumeaux :

$$\begin{aligned}
 M_i^{(j)} &= I_i / \Sigma I \cdot H_o \cdot Z \cdot [(1 - \xi)^2 / 2 - \psi] \\
 T_i^{(j)} &= T^{(j)} \cdot I_i / \Sigma I \\
 N_i^{(j)} &= \sum_{i=1}^{j-1} \pi_i - \sum_{i=1}^{j-1} \pi_{i-1}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi(\xi, \alpha) &= - (1 - 2/\alpha^2) \operatorname{ch} [\alpha(1 - \xi)] / \operatorname{ch} \alpha + 2 \operatorname{sh} ' \alpha \cdot \xi / (\alpha \cdot \operatorname{cha}) \\
 &\quad + (1 - 2/\alpha^2 - \xi^2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \psi(\xi, \alpha) &= (2/\alpha^2 - 1) \cdot \operatorname{sh} [\alpha(1 - \xi)] / (\alpha \operatorname{ch} \alpha) \\
 &\quad - 2 \cdot \operatorname{cha} \cdot \xi / (\alpha^2 \cdot \operatorname{cha}) + (\xi^3 - 3\xi + 2) / 3 + 2 \xi / \alpha^2
 \end{aligned}$$

2/ $S_o/S_t < 10 \%$

Sollicitations au niveau des linteaux :

$$\begin{aligned}
 \pi_i^{(j)} &= H_c \cdot m_i \cdot h_e / I \quad (1 - \xi) \\
 M_i^{(j)} &= \pi_i^{(j)} \cdot a_i
 \end{aligned}$$

Sollicitations au niveau des trumeaux :

$$\begin{aligned}
 T^{(j)} &= \sum_{i=1}^j P_i \\
 M^{(j)} &= M(j - 1) + T(j - 1) \cdot h_e
 \end{aligned}$$

Voiles à une seule file d'ouverture : voile VL1

$\alpha = 154,06 > 10$, donc le voile est considéré comme un voile plein

$h_e = 3 \text{ m}$

$H_o = 25,79 \text{ t}$

$I = 3,679 \text{ m}^4$

$a = 0,4 \text{ m}$

$m = 0,697 \text{ m}^3$

Voiles à une seule file d'ouverture : Voile VL1

Niveau	z(m)	$\xi = z/Z$	$\pi(t)$	M(t.m)
16	48	1	0	0
15	45	0,9375	0,916	0,366
14	42	0,875	1,83	0,733
13	39	0,8125	2,748	1,099
12	36	0,75	3,665	1,466
11	33	0,6875	4,58	1,832
10	30	0,625	5,497	2,199
9	27	0,5625	6,413	2,565
8	24	0,5	7,329	2,932
7	21	0,4375	8,245	3,298
6	18	0,375	9,161	3,665
5	15	0,3125	10,077	4,031
4	12	0,25	10,99	4,397
3	9	0,1875	11,909	4,764
2	8	0,125	12,826	5,130
1				

$\alpha = 154,06 > 10$, donc le voile est considéré comme un voile plein

$h_e = 3 \text{ m}$

$H_o = 25,79 \text{ t}$

$$I = 3,679 \text{ m}^4$$

$$a = 0,4 \text{ m}$$

$$m = 0,697 \text{ m}^3$$

Voile VL1'

Niveau	z(m)	$\xi = z/Z$	$\pi(t)$	M(t.m)
16	48	1	0	0
15	45	0,9375	0,542	0,216
14	42	0,875	1,083	0,433
13	39	0,8125	1,625	0,65
12	36	0,75	2,167	0,867
11	33	0,6875	2,709	1,083
10	30	0,625	3,25	1,3
9	27	0,6525	3,792	1,517
8	24	0,5	4,334	1,734
7	21	0,4375	4,875	1,95
6	18	0,375	5,417	2,167
5	15	0,3125	5,959	2,383
4	14	0,25	6,5	2,6
3	9	0,1875	7,04	2,817
2	6	0,125	7,584	3,033
1	3	0,0625	8,125	3,25

$\alpha = 154,06 > 10$, donc le voile est considéré comme un voile plein

$$h_e = 3 \text{ m}$$

$$H_o = 25,79 \text{ t}$$

$$I = 3,679 \text{ m}^4$$

$$a = 0,4 \text{ m}$$

$$m = 0,697 \text{ m}^3$$

Voile VL3 :

Niveau	z(m)	$\xi = z/Z$	$n(t)$	M(t.m)
16	48	1	0	0
15	45	0,9375	0,781	0,312
14	42	0,875	1,562	0,625
13	39	0,8125	2,343	0,937
12	36	0,75	3,129	1,249
11	33	0,6875	3,905	1,562
10	30	0,625	4,686	1,874
9	27	0,5625	5,466	2,186
8	24	0,5	6,248	2,499
7	21	0,4375	7,029	2,811
6	18	0,375	7,809	3,124
5	15	0,3125	8,59	3,436
4	12	0,25	9,371	3,749
3	9	0,1875	10,152	4,061
2	6	0,125	10,933	4,373
1	3	0,0625	11,714	4,686

$\alpha = 154,06 > 10$, donc le voile est considéré comme un voile plein

$$h_e = 3 \text{ m}$$

$$H_o = 25,79 \text{ t}$$

$$I = 3,679 \text{ m}^4$$

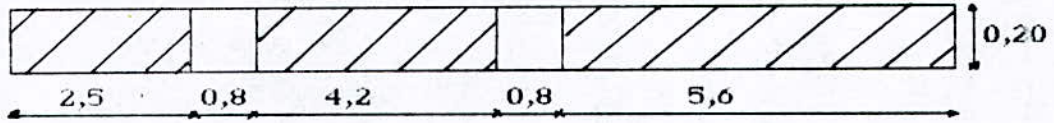
$$a = 0,4 \text{ m}$$

$$m = 0,697 \text{ m}^3$$

Voile VL3' :

Niveau	z(m)	$\xi = z/Z$	$\pi(t)$	M(t.m)
16	48	1	0	0
15	45	0,9375	0,531	0,213
14	42	0,875	1,063	0,425
13	39	0,8125	1,594	0,638
12	36	0,75	2,126	0,85
11	33	0,6875	2,657	1,063
10	30	0,625	3,189	1,275
9	27	0,6525	3,72	1,488
8	24	0,5	4,252	1,7
7	21	0,4375	4,783	1,913
6	18	0,375	5,315	2,126
5	15	0,3125	5,846	2,338
4	12	0,25	6,377	2,55
3	9	0,1875	6,909	2,764
2	6	0,125	7,440	2,976
1	3	0,0625	7,972	3,189

Voile VL4 :



$$S_o/S_r = 8,44 \% < 10 \%$$

voile pratiquement monolithique

$$C_1 = 2,075 ; \quad C_2 = 2,85$$

$$a_1 = a_2 = 0,4 \text{ m}$$

Inertie des linteaux :

$$i_1 = 0,20 \cdot 0,8^3 / 12 = 0,0085 \text{ m}^4$$

$$i_2 = 0,0085 \text{ m}^4$$

Moments statique :

$$l_1 = 2,5 \text{ m} ; \quad x_1 = 1,25 \text{ m}$$

$$l_2 = 4,2 \text{ m} ; \quad x_2 = 5,4 \text{ m}$$

$$l_3 = 5,6 \text{ m} ; \quad x_3 = 11,1 \text{ m}$$

$$X_G = \frac{l_1 x_1 + l_2 x_2 + l_3 x_3}{l_1 + l_2 + l_3} = 7,15 \text{ m}$$

$$d_1 = X_G - x_1 = 5,9 \text{ m}$$

$$d_2 = X_G - x_2 = 1,75 \text{ m}$$

$$d_3 = X_G - x_3 = - 3,95$$

$$m_1 = e \cdot l_1 \cdot d_1 = 2,95 \text{ m}^3$$

$$m_2 = e \cdot l_2 \cdot d_2 = 1,47 \text{ m}^3$$

Sollicitation au niveau des linteaux :

$$\pi_i^{(j)} = H_o \cdot m_i \cdot h_e / I \quad (1, - \xi)$$

$$H_o = 216,95 \text{ t}$$

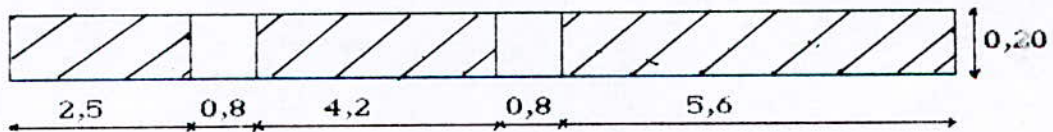
ETUDE DES VOILES SOUS CHARGES HORIZONTALES

he = 3 m

I = 41,86 m⁴

Niveau	z	n ₁ (t.)	M ₁ (t. . m)	n ₂ (t.)	M ₂ (t. . m)
16	1	0	0	0	0
15	0,9375	2,867	1,147	1,428	0,571
14	0,875	2,733	2,293	2,857	1,143
13	0,8125	8,6	3,44	4,285	1,714
12	0,75	11,467	4,586	5,714	2,285
11	0,6875	14,334	5,733	7,142	2,857
10	0,625	17,2	6,88	8,571	3,428
9	0,5625	20,067	8,027	9,999	4,00
8	0,5	22,934	9,173	11,428	4,571
7	0,4375	25,8	10,32	12,856	5,142
6	0,375	28,667	11,467	14,28	5,714
5	0,3125	31,531	12,614	15,713	6,285
4	0,25	34,401	13,76	17,142	6,857
3	0,1875	37,267	14,907	18,57	7,428
2	0,125	40,054	16,054	19,999	7,999
1	0,0625	43	17,2	21,427	9,571

Voile VL4' :



$$C_1/C_2 = 0,44 \times < 10 \times$$

voile pratiquement monolithique

$$C_1 = 2,075 \text{ m} ; \quad C_2 = 2,85 \text{ m}$$

$$a_1 = a_2 = 0,4 \text{ m}$$

Inertie des linteaux :

$$i_1 = 0,0085 \text{ m}^4$$

$$i_2 = 0,0085 \text{ m}^4$$

Moments statiques :

$$m_1 = 2,95 \text{ m}^3 ;$$

$$m_2 = 1,47 \text{ m}^3 ;$$

Sollicitation au niveau des linteaux :

$$\pi_i^{(j)} = H_o \cdot m_i \cdot h_e / I \quad (1 - \xi)$$

$$H_o = 179,97 \text{ t}$$

$$h_e = 3 \text{ m}$$

$$I = 41,86 \text{ m}^4$$

$$\pi_1(j) = 38,049 \quad (1 - \xi)$$

$$\pi_2(j) = 18,96 \quad (1 - \xi)$$

Niveau	ξ	$n_1(t)$	$M_1(t.m)$	$n_2(t)$	$M_2(t.m)$
16	1	0	0	0	0
15	0,9375	2,378	0,951	1,185	0,474
14	0,875	4,756	1,902	2,37	0,948
13	0,8125	7,134	2,854	3,555	1,422
12	0,75	9,51	3,804	4,74	1,896
11	0,6875	11,89	4,756	5,925	2,37
10	0,625	14,268	5,707	7,11	2,844
9	0,6525	16,646	6,659	8,295	3,318
8	0,50	19,025	7,610	9,485	3,792
7	0,4375	21,403	8,561	10,665	4,266
6	0,375	23,781	9,51	11,85	4,74
5	0,3125	26,159	10,463	13,035	5,214
4	0,25	28,537	11,415	14,22	5,688
3	0,1875	30,915	12,366	15,405	6,162
2	0,125	33,293	13,317	16,59	6,636
1	0,0625	35,671	14,268	17,775	7,11

Voile V_{T1} :

Niveau	z(m)	$\zeta = z/Z$	$n(t)$	M(t.m)
16	48	1	0	0
15	45	0,9375	0,087	0,0348
14	12	0,875	0,223	0,089
13	39	0,8125	0,261	0,104
12	36	0,75	0,348	0,139
11	33	0,6875	0,435	0,174
10	30	0,625	0,552	0,209
9	27	0,5625	0,609	0,244
8	24	0,5	0,696	0,278
7	21	0,4375	0,783	0,313
6	18	0,375	0,870	0,348
5	15	0,3125	0,958	0,383
4	12	0,25	1,044	0,417
3	9	0,1875	1,131	0,453
2	6	0,125	1,218	0,487
1	3	0,0625	1,305	0,522

$\alpha = 154,06 > 10$, donc le voile est considéré comme un voile plein

$h_e = 3 \text{ m}$

$H_o = 25,79 \text{ t}$

$I = 3,679 \text{ m}^4$

$a = 0,4 \text{ m}$

$m = 0,697 \text{ m}^3$

Voile V_{T1'} :

Niveau	z(m)	$\xi = z/Z$	$n(t)$	M(t.m)
16	48	1	0	0
15	45	0,9375	0,087	0,0348
14	42	0,875	0,223	0,089
13	39	0,8125	0,261	0,104
12	36	0,75	0,348	0,139
11	33	0,6875	0,435	0,174
10	30	0,625	0,552	0,209
9	27	0,5625	0,609	0,244
8	24	0,5	0,696	0,278
7	21	0,4375	0,783	0,313
6	18	0,375	0,873	0,348
5	15	0,3125	0,958	0,383
4	12	0,25	1,044	0,417
3	9	0,1875	1,131	0,453
2	6	0,125	1,218	0,487
1	3	0,0625	1,305	0,522

$\alpha = 154,06 > 10$, donc le voile est considéré comme un voile plein

$h_e = 3 \text{ m}$

$H_0 = 25,79 \text{ t}$

$I = 3,679 \text{ m}^4$

$a = 0,4 \text{ m}$

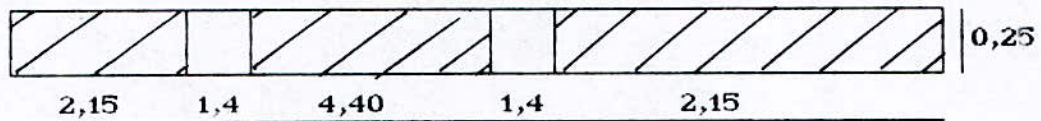
$m = 0,697 \text{ m}^3$

Voiles à deux files d'ouvertures :

Voile Vr2 :

$$\alpha = 27,84$$

$$10 \% < S_o/S_T = 17,855 < 25 \% \longrightarrow \text{voile à petites ouvertures}$$



$$C_1 = C_2 = 2,3625 \text{ m} ; a_1 = a_2 = 0,7 \text{ m}$$

$$I_1 = 0,207 \text{ m}^4 ; \quad I_2 = 1,77 \text{ m}^4 ; \quad I_3 = I_4 = 0,207 \text{ m}^4$$

$$\sum I_i = 2,184 \text{ m}^4 ; \quad i_1 = i_4 = 0,0106 \text{ m}^4$$

$$R = i_1 c_1^2 / a_1^2 + i_2 c_2^2 / a_2^3 = 0,0106 * 2,3625^2 / 0,7^3 * 2 \\ = 0,345 \text{ m}^3$$

$$y_0 = 5,84 \text{ m} ; m_1 = 2,53 \text{ m}^3 ; m_2 = 2,519 \text{ m}^3$$

$$I = \sum_{i=1}^3 I_i + \sum_{i=1}^3 \Omega_i d^2 = 26,77 \text{ m}^4$$

$$H_0 = 152,48 \text{ t}$$

Niveau	ξ	Φ	$\pi_1(t)$	$M_1(t.m)$	$\pi_2(t)$	$M_2(t.m)$
16	1	0,069	1,670	1,169	1,669	1,169
15	0,9375	0,131	4,521	3,164	4,515	3,161
14	0,875	0,234	8,365	5,855	8,353	5,847
13	0,8125	0,338	12,23	8,563	12,215	8,55
12	0,75	0,435	15,931	11,152	15,908	11,135
11	0,6875	0,525	19,46	13,622	19,43	13,601
10	0,625	0,607	22,795	15,957	22,76	15,93
9	0,5625	0,681	25,937	18,156	25,896	18,127
8	0,5	0,747	28,885	20,219	28,838	20,187
7	0,4375	0,806	31,664	22,165	31,611	22,128
6	0,375	0,857	34,250	23,975	34,975	23,930
5	0,3125	0,9	36,641	25,649	36,58	25,603
4	0,25	0,934	38,815	27,17	38,744	27,121
3	0,1875	0,957	40,722	28,506	40,646	28,452
2	0,125	0,951	41,928	29,349	41,846	29,292
1	0,0625	0,819	40,085	28,059	39,997	27,998

Sollicitation au niveau des linteaux (Vr2)

$$M_i^{(j)} = I_i / \Sigma I \cdot H_o \cdot Z [(1 - \xi)^2 / 2 - \psi]$$

$$M_i^{(j)} = 0,207 / 2,184 \cdot 152,48 \cdot 48 [(1 - \xi)^2 / 2 - \psi];$$

$$T_i = I_i / \Sigma I \cdot T^{(j)}$$

$$M_i^{(j)} = 693,7 [(1 - \xi)^2 / 2 - \psi]; \quad T_i^{(j)} = 0,095 T^{(j)}$$

$$M_2^{(j)} = 5931,64 [(1 - \xi)^2/2 - \psi]; \quad T_2^{(j)} = 0,810 T^{(j)}$$

$$M_1^{(j)} = 693,7 [(1 - \xi)^2/2 - \psi]; \quad T_1^{(j)} = 0,095 T^{(j)}$$

$$N_1 = \sum \pi_1 ; \quad N_2 = \sum \pi_2 - \sum \pi_1 ; \quad N_3 = - \sum \pi_2$$

Niveau	ξ	ψ	$T_1(t)$	$T_2(t)$
16	1	0	1,78	15,18
15	0,9375	0,006	3,21	27,39
14	0,875	0,017	4,38	37,32
13	0,8125	0,035	5,396	46,01
12	0,75	0,059	6,37	54,33
11	0,6875	0,089	7,36	62,76
10	0,625	0,124	8,36	71,32
9	0,5625	0,164	9,37	79,90
8	0,5	0,210	10,37	88,40
7	0,4375	0,258	11,34	96,68
6	0,375	0,31	12,25	104,48
5	0,3125	0,365	13,07	111,41
4	0,25	0,422	13,72	116,99
3	0,1875	0,482	14,18	120,88
2	0,125	0,541	14,42	122,96
1	0,0625	0,598	14,49	123,51
RDC	0	0,63	14,49	123,51

ETUDE DES VOILES SOUS CHARGES HORIZONTALES

Niveau	T ₃ (t)	M ₁ (t.m)	M ₂ (t.m)	M ₃ (t.m)
16	1,78	0	0	0
15	3,21	-2,81	-24	-2,81
14	4,38	-6,37	-54,50	-6,37
13	5,396	-12,09	-103,34	-12,09
12	6,37	-19,25	-164,6	-19,25
11	7,36	-27,87	-238,29	-27,87
10	8,36	-37,24	-318,45	-37,24
9	9,37	-47,38	-405,11	-47,38
8	10,37	-58,96	-504,19	-58,96
7	11,34	-69,23	-591,96	-69,23
6	12,25	-79,56	-680,28	-79,56
5	13,07	-89,26	-763,24	-89,26
4	13,72	-97,64	-834,88	-97,64
3	14,18	-105,39	-901,15	-105,39
2	14,42	-109,73	-938,31	-109,73
1	14,49	-109,98	-940,44	-109,98
RDC	14,49	-90,18	-771,11	-90,18

Effort normal Vr_z :

Niveau	$\pi_1(t)$	$N_1(t)$	$\pi_2(t)$	$N_2(t)$	$N_3(t)$
16	1,67	0	1,669	0	0
15	1,521	1,67	4,515	-0,001	-1,669
14	8,365	6,191	8,353	-0,006	-6,184
13	12,23	14,556	12,215	-0,012	-14,537
12	15,931	26,786	15,908	-0,015	-26,752
11	19,46	12,717	19,43	-0,023	-42,66
10	22,795	62,177	22,76	-0,03	-62,09
9	25,937	84,972	25,896	-0,035	-84,85
8	28,885	110,909	28,838	-0,041	-110,746
7	31,664	139,794	31,611	-0,047	-139,585
6	34,25	171,485	34,191	-0,053	-171,195
5	36,6417	205,708	36,58	-0,059	-205,386
4	38,815	242,349	38,744	-0,061	-241,966
3	40,722	281,164	40,646	-0,071	-207,55
2	41,928	321,886	41,846	-0,076	-248,196
1	40,085	363,814	39,997	-0,082	-290,042
RDC	40,085	403,899	39,997	-0,088	-330,039

Vérification de l'équilibre extérieur a la base du voile :

$$M_{int} = M_1 + M_2 + M_3 + N_1 (2C_1 + 2C_2) + N_2 \cdot 2C_2$$

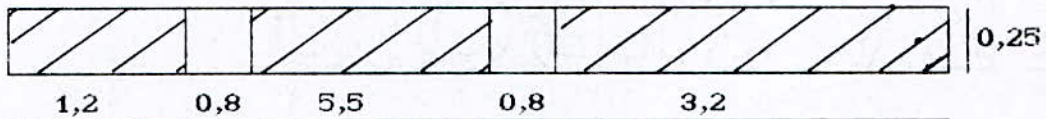
$$= 90,18 + 771,11 + 90,18 + 403,899(4,725 + 4,725) + (-0,088) \cdot 4,725$$

$$M_{int} = 4767,899 \text{ t.m}$$

$$M_{ext} = \sum F_i h_i = 4739,03 \text{ t.m}$$

$$\varepsilon = (M_{ext} - M_{int}) / M_{ext} = 0,61 \% \quad \text{tolerable}$$

Voile V13 :



$10 \% < S_o/S_r = 10,29 < 25 \% \longrightarrow$ voiles a petites ouvertures

$$C_1 = 2,075 \text{ m}; \quad C_2 = 2,575 \text{ m}$$

$$a_1 = a_2 = 0,4 \text{ m}$$

Inerties des linteaux :

$$i_1 = i_2 = 0,25 * 0,8^3 / 12 = 0,011 \text{ m}^4$$

$$R = i_1 c_2^2 / a_1^3 + i_2 c_2^2 / a_1^3 = 0,011 * 2,075^2 / 0,4^3 + 0,011 * 2,575^2 / 0,4^3 = 1,88 \text{ m}^3$$

Moments statiques :

$$y_G = 5,91$$

$$m_1 = 1,593 \text{ m}^3;$$

$$I_1 = 0,036 \text{ m}^4;$$

$$I_2 = 3,47 \text{ m}^4$$

$$m_2 = 1,595 \text{ m}^3;$$

$$I_3 = 0,68 \text{ m}^4;$$

$$\sum_{i=1}^3 I_i = 4,186 \text{ m}^4$$

$$w = 1,595 \longrightarrow \alpha = 76,56$$

$$I = 27,236 \text{ m}^4$$

Sollicitations au niveau des linteaux :

$$H_0 = 160,13 \text{ t}$$

$$\pi_1^{(p)} = 14,051 (1 - \xi) + 22,783 \Phi$$

$$\pi_2^{(p)} = 14,066 (1 - \xi) + 28,273 \Phi$$

$$M_1^{(p)} = \pi_1^{(p)} * a_1$$

$$m_2^{(p)} = \pi_2^{(p)} * a_2$$

Niveau	ξ	Φ	$\pi_1(t)$	$M_1(t.m)$	$\pi_2(t)$	$M_2(t.m)$
16	1	0,0257	0,586	0,234	0,727	0,291
15	0,9375	0,121	3,635	1,454	4,30	1,72
14	0,875	0,234	7,088	2,835	8,374	3,350
13	0,8125	0,34	10,381	4,152	12,25	4,90
12	0,75	0,437	13,468	5,388	15,871	6,349
11	0,6875	0,527	16,398	6,559	15,295	7,718
10	0,625	0,609	19,144	7,658	22,493	8,997
9	0,5625	0,683	21,708	8,68	25,464	10,186
8	0,5	0,750	24,11	9,645	28,238	11,295
7	0,4375	0,808	26,312	10,525	30,757	12,303
6	0,375	0,859	28,352	11,341	33,078	13,231
5	0,375	0,859	28,352	11,341	33,078	13,231
4	0,25	0,937	31,754	12,754	37,041	14,817
3	0,1875	0,965	33,402	13,361	38,712	15,485
2	0,125	0,984	34,713	13,885	40,128	16,051
1	0,0625	0,987	35,659	14,264	71,092	16,437

Sollicitation au niveau des troneaux (Vr3)

$$\begin{aligned}
 M_1^{(j)} &= 66,102 [(1 - \xi)^2/2 - \psi] ; & T_1 &= 0,0086 T^{(j)} \\
 M_2^{(j)} &= 6371,536 [(1 - \xi)^2/2 - \psi] ; & T_2 &= 0,829 T^{(j)} \\
 M_3^{(j)} &= 1248,6 [(1 - \xi)^2/2 - \psi] ; & T_3 &= 0,162 T^{(j)} \\
 N_1 &= \sum \pi_1 ; & N_2 &= \sum \pi_2 - \sum \pi_1 ; & N_3 &= - \sum \pi_2
 \end{aligned}$$

ETUDE DES VOILES SOUS CHARGES HORIZONTALES

Niveau	ξ	ψ	$T_1(t)$	$T_2(t)$
16	1	0	0,169	16,314
15	0,9375	0,004	0,305	29,438
14	0,875	0,015	0,416	40,115
13	0,8125	0,033	0,5137	49,449
12	0,75	0,058	0,606	58,403
11	0,6875	0,088	0,700	67,455
10	0,625	0,123	0,795	76,658
9	0,5625	0,164	0,891	85,876
8	0,5	0,209	0,986	95,02
7	0,4375	0,257	1,078	103,915
6	0,375	0,309	1,165	112,296
5	0,3125	0,364	1,242	119,749
4	0,25	0,422	1,305	125,751
3	0,1875	0,481	1,348	129,92
2	0,125	0,54	1,371	132,151
1	0,0625	0,604	1,377	132,747
RDC	0	0,653	1,377	132,747

Niveau	T ₃ (t)	M ₁ (t.m)	M ₂ (t.m)	M ₃ (t.m)
16	3,188	0	0	0
15	5,753	-0,135	-13,041	-2,556
14	7,839	-0,475	-45,795	-8,974
13	9,663	-1,019	-98,261	-19,256
12	11,413	-1,768	-170,439	-33,4
11	13,182	-2,589	-249,585	-48,91
10	14,98	-3,482	-335,7	-65,786
9	16,781	-4,514	-435,156	-85,275
8	18,568	-5,553	-535,209	-104,882
7	20,307	-6,531	-629,488	-123,357
6	21,944	-7,515	-724,364	-141,95
5	23,401	-8,435	-813,466	-159,411
4	24,574	-9,304	-896,794	-175,74
3	25,389	-9,976	-961,604	-188,441
2	25,824	-10,39	-1001,526	-196,264
1	25,941	-10,877	-1048,416	-205,45
RDC	25,941	-10,114	-974,845	-191,036

Effort normal : V_{n3}

Niveau	$N_1(t)$	$\pi_1(t)$	$N_2(t)$	$\pi_2(t)$	$N_3(t)$
16	0	0,586	0	0,727	0
15	0,586	3,635	-0,141	4,30	-0,727
14	4,221	7,088	-0,665	8,374	-5,027
13	11,309	10,381	-1,286	12,25	-13,401
12	21,69	13,468	-1,869	15,871	-25,651
11	35,158	16,398	-2,403	19,295	-41,522
10	51,556	19,144	-2,897	22,493	-60,817
9	70,7	21,708	-3,349	25,464	-83,31
8	92,408	24,11	-3,756	28,238	-108,774
7	116,518	26,312	-4,128	30,757	-137,012
6	142,83	28,352	-4,445	33,078	-167,769
5	171,182	30,210	-4,726	35,173	-200,847
4	201,392	31,886	-4,963	37,041	-236,02
3	233,278	33,402	-5,155	38,712	-273,061
2	266,68	34,713	-5,31	40,128	-311,773
1	301,393	35,659	-5,415	41,092	-351,901
RDC	337,052	35,659	-5,433	41,092	-392,993

Verification de l'équilibre extérieur a la base du voile :

$$M_{int} = M_1 + M_2 + M_3 + N_1 (2C_1 + 2C_2) + N_2 \cdot 2C_2$$

$$= 10,114 + 974,845 + 191,036 + 337,052 (4,15+5,15) - 5,433 \cdot 5,15$$

$$M_{int} = 4282,599 \text{ t.m}$$

$$M_{ext} = \sum F_i h_i = 4438,23 \text{ t.m}$$

$$\varepsilon = (M_{ext} - M_{int}) / M_{ext} = 3,5 \% \quad \text{tolerable}$$

Chapitre 7

CALCUL DU FERRAILLAGE

COMBINAISONS D'ACTIONS :

Les combinaisons d'actions sismiques et des actions dues aux charges verticales spécifiques sont données d'après RPA 88 ci-dessous :

$$(3 - 1A) \longrightarrow G + Q \pm E$$

$$(3 - 1B) \longrightarrow 0,8 G \pm e$$

G : Effort normal dû aux charges permanentes

Q : Effort normal dû aux surcharges d'exploitations.

E : Effort normal dû aux charges sismiques

D'après les commentaires du R.P.A 88 :

* La combinaison (3 - 1A) comprend la totalité de la charge d'exploitation est tout à fait improbable , une grande partie de celle-ci (environ 40 à 60 %) peut effectivement représenter l'effet des accélérations verticales des séismes.

* La combinaison (3 - 1B) tient compte de la réduction de la charge verticale qui se produit à cause des effets de l'accélération verticale .

1- combinaisons donnant l'effort normal dans le voile à files d'ouvertures.

$$N_{max} = N_G + N_Q \pm N_E,$$

$$N_{min} = 0,8 N_G \pm N_E$$

2- Combinaisons donnant l'effort normal dans le voile plein :

$$N_{\max} = N_G + N_Q \quad , \quad N_{\min} = 0,8 N_G$$

3- Combinaison donnant le moment fléchissant dans le voile

$$M = M_E \quad , \quad M_G = M_Q = 0$$

4- Combinaison donnant l'effort tranchant dans le voile

$$V = V_E \quad , \quad V_G = V_Q = 0$$

5- Combinaison donnant l'effort tranchant dans le voile

$$V = V_E \quad , \quad V_G = V_Q = 0$$

Remarque :

Pour les voiles à 2 files d'ouvertures , la distribution des charges verticales (G et Q) sur les éléments du refend (truneaux) se fait proportionnellement à leur longueurs.

$$G_i = G \cdot l_i / l \quad ; \quad Q_i = Q \cdot l_i / l$$

G : charge totale permanente qui s'applique sur le voile.

G_i : charge permanente verticale qui revient au truneau (i).

l_i : longueur du truneau 'i' augmentée de la moitié de la longueur du linteau.

l : longueur totale du voile

Voiles à une seule file d'ouverture :

Voile VL1 :

Efforts Niveaux	$N_0(t)$	$N_1(t)$	$N_0+N_1(t)$	$0,8N_0(t)$	$M_E(t.m)$
16	0	0	0	0	0
15	27,92	1,84	29,76	22,34	9,65
14	73,81	5,06	55,87	40,65	27,24
13	73,70	8,28	81,98	58,96	51,41
12	96,59	11,5	108,09	77,27	81,34
11	119,48	14,72	134,20	95,59	116,69
10	142,37	17,94	160,31	113,31	157,41
9	165,26	21,16	186,42	132,21	203,47
8	188,15	24,38	212,53	150,52	254,84
7	211,04	27,60	238,64	168,83	311,4
6	233,93	30,82	264,75	187,15	372,96
5	256,82	34,04	290,86	205,46	439,18
4	279,71	37,26	316,97	223,77	509,48
3	302,60	40,48	343,08	242,08	583,06
2	325,49	43,70	369,19	260,39	658,9
1	348,38	46,92	395,30	278,71	735,93
RDC	371,27	50,14	421,52	297,02	813,3

Voile VL1:

Efforts Niveaux	Na(t)	Na(t)	Na+Na(t)	0,8Na(t)	Me(t.m)
16	0	0	0	0	0
15	27,92	1,84	29,76	22,34	5,71
14	73,81	5,06	55,87	40,65	16,11
13	73,70	8,28	81,98	58,96	30,4
12	96,59	11,5	108,09	77,27	48,11
11	119,48	14,72	134,20	95,59	69,02
10	142,37	17,94	160,31	113,31	93,10
9	165,26	21,16	186,42	132,21	120,35
8	188,15	24,38	212,53	150,52	150,73
7	211,04	27,60	238,64	168,83	184,19
6	233,93	30,82	264,75	187,15	220,59
5	256,82	34,04	290,86	205,46	289,76
4	279,71	37,26	316,97	223,77	301,35
3	302,60	40,48	343,08	242,08	344,86
2	325,49	43,70	369,19	260,39	389,72
1	348,38	46,92	395,30	278,71	435,28
RDC	371,27	50,14	421,52	297,02	481

Voile plein :Voile VLz :

Efforts Niveaux	$N_0(t)$	$N_0(t)$	$N_0+N_0(t)$	$0,8N_0(t)$	$M_E(t.m)$
16	0	0	0	0	0
15	31,678	2,12	33,798	25,342	13,26
14	58,128	5,83	63,958	46,50	37,40
13	84,578	9,54	94,118	67,662	70,59
12	111,028	13,25	124,278	88,822	111,69
11	137,478	16,96	154,438	109,982	160,23
10	163,928	20,67	184,598	131,142	216,14
9	190,378	24,38	214,758	152,302	279,40
8	216,828	28,09	244,918	173,462	349,94
7	243,278	31,80	275,078	194,622	427,6
6	269,728	35,51	305,238	215,782	512,13
5	296,178	39,22	335,398	236,942	603,06
4	322,628	42,93	365,558	258,102	669,60
3	349,078	46,64	395,718	279,262	800,63
2	375,528	50,35	425,878	300,422	904,76
1	401,978	54,06	456,038	321,982	1010,54
RDC	428,428	57,198	486,198	342,742	1116,77

Voile VL2' :

Efforts Niveaux	$N_0(t)$	$N_1(t)$	$N_0+N_1(t)$	$0,8N_0(t)$	$M_E(t.m)$
16	0	0	0	0	0
15	31,678	2,12	33,798	25,342	8,99
14	58,128	5,83	63,958	46,50	25,36
13	84,578	9,54	94,118	67,662	47,85
12	111,028	13,25	124,278	88,822	75,72
11	137,478	16,96	154,438	109,982	108,63
10	163,928	20,67	184,598	131,142	146,53
9	190,378	24,38	214,758	152,302	189,40
8	216,828	28,09	244,918	173,462	237,23
7	243,278	31,80	275,078	194,622	289,88
6	269,728	35,51	305,238	215,782	347,19
5	296,178	39,22	335,398	236,942	408,83
4	322,628	42,93	365,558	258,102	474,28
3	349,078	46,64	395,718	279,262	542,78
2	375,528	50,35	425,878	300,422	613,37
1	401,978	54,06	456,038	321,982	685,08
RDC	428,428	57,198	486,198	342,742	757,08

Voile VL3 :

Efforts Niveaux	$N_0(t)$	$N_1(t)$	$N_0+N_1(t)$	$0,8N_0(t)$	$M_E(t.m)$
16	0	0	0	0	0
15	25,053	1,63	26,683	20,042	6,13
14	47,208	4,48	51,688	37,766	17,29
13	69,363	7,33	76,693	55,490	32,63
12	91,518	10,18	101,698	73,214	51,63
11	113,673	13,03	126,703	90,938	74,07
10	135,828	15,88	151,708	108,662	99,91
9	157,983	18,73	176,713	126,386	139,15
8	180,138	21,58	201,718	144,11	161,76
7	202,293	24,43	226,723	161,834	197,66
6	224,448	27,28	251,728	179,558	236,74
5	246,603	30,13	276,733	197,282	278,76
4	268,758	32,98	301,738	215,006	323,39
3	290,913	35,83	326,743	232,73	370,09
2	313,068	38,68	351,748	250,454	418,22
1	335,223	41,53	376,753	268,178	467,13
RDC	357,378	44,38	401,758	285,902	516,24

Voile VL3' :

Efforts Niveaux	Na (t)	Na (t)	Na+Na (t)	0,8Na (t)	Me (t.m)
16	0	0	0	0	0
15	25,053	1,63	26,683	20,042	4,17
14	47,208	4,48	51,688	37,766	11,78
13	69,363	7,33	76,693	55,490	22,22
12	91,518	10,18	101,698	73,214	35,16
11	113,673	13,03	126,703	90,938	50,44
10	135,828	15,88	151,708	108,662	68,05
9	157,983	18,73	176,713	126,386	87,95
8	180,138	21,58	201,718	144,11	110,17
7	202,293	24,43	226,723	161,834	134,62
6	224,448	27,28	251,728	179,558	161,23
5	246,603	30,13	276,733	197,282	189,85
4	268,758	32,98	301,738	215,006	220,24
3	290,913	35,83	326,743	232,73	252,05
2	313,068	38,68	351,748	250,454	284,83
1	335,223	41,53	376,753	268,178	318,14
RDC	357,378	44,38	401,758	285,902	351,56

Voile VL4 : $S_0/S_t < 10\%$ ———> voile pratiquement monolithique

Efforts Niveaux	$N_0(t)$	$N_0(t)$	$N_0+N_0(t)$	$0,8N_0(t)$	$M_E(t.m)$
16	0	0	0	0	0
15	55,936	3,58	59,516	44,749	81,23
14	102,922	14,09	117,012	82,338	229,17
13	149,908	24,6	174,508	119,926	432,51
12	196,894	35,11	232,004	157,515	694,32
11	243,88	45,62	289,5	195,104	981,78
10	290,866	56,13	346,996	232,693	1324,34
9	337,852	66,64	404,492	270,281	1711,92
8	384,838	77,15	461,968	307,870	2144,1
7	431,824	87,66	519,484	345,459	2619,97
6	478,81	98,17	576,98	383,048	3137,89
5	572,782	119,19	691,973	458,226	4286,51
4	619,768	129,7	749,68	495,814	4905,55
3	619,768	129,7	749,68	495,814	4905,55
2	666,754	140,21	806,964	533,403	5543,57
1	713,74	150,72	864,46	570,992	6191,72
RDC	760,726	161,23	921,956	608,581	6842,57

Voile VL4' : $S_o/S_t < 10\%$ \longrightarrow voile pratiquement monolithique

Efforts Niveaux	$N_a(t)$	$N_b(t)$	$N_a+N_b(t)$	$0,8N_a(t)$	$M_E(t.m)$
16	0	0	0	0	0
15	55,936	3,58	59,516	44,749	67,39
14	102,922	14,09	117,012	82,338	190,10
13	149,908	24,6	174,508	119,926	358,77
12	196,894	35,11	232,004	157,515	567,65
11	243,88	45,62	289,5	195,104	814,40
10	290,866	56,13	346,996	232,693	1098,55
9	337,852	66,64	404,492	270,281	1420,05
8	384,838	77,15	461,968	307,870	1778,56
7	431,824	87,66	519,484	345,459	2173,37
6	478,81	98,17	576,98	383,048	2602,93
5	572,782	119,19	691,973	458,226	3065,04
4	619,768	129,7	749,68	495,814	3555,72
3	619,768	129,7	749,68	495,814	4069,22
2	666,754	140,21	806,964	533,403	4598,47
1	713,74	150,72	864,46	570,992	5136,11
RDC	760,726	161,23	921,956	608,581	5676,02

Voile VL5 :

Efforts Niveaux	$N_0(t)$	$N_1(t)$	$N_0+N_1(t)$	$0,8N_0(t)$	$M_E(t.m)$
16	0	0	0	0	0
15	13,505	0,53	14,035	10,804	2,59
14	23,53	1,45	24,98	18,824	7,32
13	33,555	2,37	35,925	26,044	13,82
12	43,58	3,39	46,87	34,864	21,87
11	53,605	4,21	57,815	42,884	31,38
10	63,63	5,13	68,76	50,904	42,32
9	73,655	6,05	79,705	58,924	54,71
8	83,68	6,97	90,65	66,944	68,53
7	93,705	7,89	101,595	74,964	83,73
6	103,73	8,81	112,54	82,984	100,29
5	113,755	9,73	123,485	91,004	118,10
4	123,78	10,65	134,43	99,024	137,00
3	133,805	11,57	145,375	107,044	156,78
2	143,83	12,49	156,32	115,064	177,78
1	153,855	13,41	167,265	123,084	197,89
RDC	163,88	14,33	178,210	131,104	218,68

Voile VL5 :

Efforts Niveaux	N_0 (t)	N_1 (t)	N_0+N_1 (t)	$0,8N_0$ (t)	M_E (t.m)
16	0	0	0	0	1,32
15	13,505	0,53	14,035	10,804	3,74
14	23,53	1,45	24,98	18,824	7,05
13	33,555	2,37	35,925	26,044	11,15
12	43,58	3,39	46,87	34,864	16,00
11	53,605	4,21	57,815	42,884	21,59
10	63,63	5,13	68,76	50,904	27,91
9	73,655	6,05	79,705	58,924	34,96
8	83,68	6,97	90,65	66,944	27,91
7	93,705	7,89	101,595	74,964	34,96
6	103,73	8,81	112,54	82,984	51,16
5	113,755	9,73	123,485	91,004	60,24
4	123,78	10,65	134,43	99,024	69,89
3	133,805	11,57	145,375	107,044	79,98
2	143,83	12,49	156,32	115,064	90,39
1	153,855	13,41	167,265	123,084	100,95
RDC	163,88	14,33	178,210	131,104	111,57

Voile VL6 :

Efforts Niveaux	N_0 (t)	N_a (t)	N_0+N_a (t)	$0,8N_0$ (t)	M_E (t.m)
16	0	0	0	0	0
15	69,78	0,48	70,26	55,824	2,11
14	79,10	1,31	80,41	63,28	5,95
13	88,42	2,14	90,56	70,735	11,22
12	97,74	2,97	100,71	78,192	17,77
11	107,06	3,8	110,86	85,648	25,49
10	116,38	4,63	121,01	93,104	34,38
9	125,7	5,46	131,16	100,56	44,44
8	135,02	6,29	141,31	108,016	55,66
7	144,34	7,12	151,46	115,472	68,01
6	153,66	7,95	161,61	122,928	81,46
5	162,98	8,78	171,76	130,394	95,93
4	172,3	9,61	181,91	137,84	111,28
3	181,62	10,44	192,06	145,296	127,35
2	190,94	11,27	202,21	152,752	143,92
1	200,26	12,1	212,36	160,208	160,75
RDC	209,58	12,93	222,51	167,664	177,64

Voile VL0' :

Efforts Niveaux	N_0 (t)	N_q (t)	N_0+N_q (t)	$0,8N_0$ (t)	M_E (t.m)
16	0	0	0	0	0
15	69,78	0,48	70,26	55,824	1,08
14	79,10	1,31	80,41	63,28	3,04
13	88,42	2,14	90,56	70,735	5,73
12	97,74	2,97	100,71	78,192	9,06
11	107,06	3,8	110,86	85,648	13,00
10	116,38	4,63	121,01	93,104	17,54
9	125,7	5,46	131,16	100,56	22,67
8	135,02	6,29	141,31	108,016	28,40
7	144,34	7,12	151,46	115,472	34,69
6	153,66	7,95	161,61	122,928	41,56
5	162,98	8,78	171,76	130,394	48,93
4	172,3	9,61	181,91	137,84	56,77
3	181,62	10,44	192,06	145,296	64,96
2	190,94	11,27	202,21	152,752	73,41
1	200,26	12,1	212,36	160,208	82,00
RDC	209,58	12,93	222,51	167,664	90,61

Voile VL7 :

Efforts Niveaux	$N_a(t)$	$N_b(t)$	$N_a+N_b(t)$	$0,8N_a(t)$	$M_E(t.m)$
16	0	0	0	0	0
15	19,093	1,17	20,263	15,274	1,82
14	35,728	3,21	38,938	28,582	5,13
13	52,363	5,25	57,613	41,850	9,68
12	68,998	7,29	76,288	55,198	15,32
11	85,633	9,33	94,963	68,506	21,98
10	102,268	11,37	113,638	81,814	29,65
9	118,903	13,41	132,313	95,122	38,33
8	135,538	15,45	150,988	108,430	48,01
7	152,173	17,49	169,663	121,738	58,66
6	168,808	19,53	188,338	135,046	70,26
5	185,443	21,57	207,013	148,354	82,73
4	202,078	23,61	225,688	161,662	95,98
3	218,713	25,65	244,363	174,970	109,84
2	235,348	27,69	263,038	188,278	124,13
1	251,983	29,73	281,713	201,586	138,64
RDC	268,618	31,77	300,388	214,894	153,22

Voile VL7' :

Efforts Niveaux	Na (t)	Na (t)	Na+Na (t)	0,8Na (t)	ME (t.m)
16	0	0	0	0	0
15	19,093	1,17	20,263	15,274	1,08
14	35,728	3,21	38,938	28,582	3,04
13	52,363	5,25	57,613	41,850	5,72
12	68,998	7,29	76,288	55,198	9,06
11	85,633	9,33	94,963	68,506	13,00
10	102,268	11,37	113,638	81,814	17,54
9	118,903	13,41	132,313	95,122	22,67
8	135,538	15,45	150,988	108,430	28,39
7	152,173	17,49	169,663	121,738	34,76
6	168,808	19,53	188,338	135,046	41,56
5	185,443	21,57	207,013	148,354	48,94
4	202,078	23,61	225,688	161,662	56,77
3	218,713	25,65	244,363	174,970	64,96
2	235,348	27,69	263,038	188,278	73,41
1	251,983	29,73	281,713	201,586	82
RDC	268,618	31,77	300,388	214,894	90,61

Sens transversal : Y - Y

Voile V_{T1} :

Efforts Niveaux	N ₀ (t)	N ₁ (t)	N ₀ +N ₁ (t)	0,8N ₀ (t)	M _E (t.m)
16	0	0	0	0	0
15	13,72	1,06	14,78	10,976	0,94
14	25,31	2,91	28,22	20,248	2,65
13	36,90	4,76	41,66	29,52	4,97
12	48,49	6,61	55,10	38,792	7,83
11	60,08	8,46	68,54	48,064	11,21
10	71,67	10,31	81,98	57,336	15,11
9	83,26	12,16	95,42	66,608	19,54
8	94,85	14,01	108,86	75,88	24,51
7	106,44	15,86	122,30	85,152	30,00
6	118,03	17,71	135,74	94,424	36,01
5	129,62	19,56	149,18	103,696	42,51
4	141,21	21,41	162,62	112,468	49,44
3	152,8	23,26	176,06	122,24	56,71
2	164,39	25,11	189,50	131,512	64,23
1	175,98	26,96	202,94	140,784	71,87
RDC	187,57	28,81	216,38	150,056	79,55

Voile V_{T1}' :

Efforts Niveaux	N ₀ (t)	N ₁ (t)	N ₀ + N ₁ (t)	0,8N ₀ (t)	M _e (t.m)
16	0	0	0	0	0
15	13,72	1,06	14,78	10,976	0,94
14	25,31	2,91	28,22	20,248	2,65
13	36,90	4,76	41,66	29,52	4,97
12	48,49	6,61	55,10	38,792	7,83
11	60,08	8,46	68,54	48,064	11,21
10	71,67	10,31	81,98	57,336	15,11
9	83,26	12,16	95,42	66,608	19,54
8	94,85	14,01	108,86	75,88	24,51
7	106,44	15,86	122,30	85,152	30,00
6	118,03	17,71	135,74	94,424	36,01
5	129,62	19,56	149,18	103,696	42,51
4	141,21	21,41	162,62	112,468	49,44
3	152,8	23,26	176,06	122,24	56,71
2	164,39	25,11	189,50	131,512	64,23
1	175,98	26,96	202,94	140,784	71,87
RDC	187,57	28,81	216,38	150,056	79,55

Voiles à 2 files d'ouvertures :

Voile Vr2 : TRUMEAU 1

Efforts Niveaux	N _a (t)	N _a (t)	N _E (t)	N _a + N _a + N _E
16	0	0	0	0
15	7,970	0,45	1,67	0,09
14	15,026	1,242	6,191	22,459
13	22,08	2,033	14,556	34,669
12	29,135	2,823	26,786	58,744
11	36,19	3,614	41,717	81,521
10	43,245	4,404	62,277	109,826
9	50,3	5,195	84,972	140,467
8	57,355	5,985	110,909	171,249
7	64,41	6,776	139,794	210,98
6	71,465	7,567	171,458	250,488
5	78,52	8,357	205,708	292,585
4	85,575	9,148	242,349	337,072
3	92,63	9,938	281,161	383,732
2	99,625	10,729	321,886	432,3
1	106,74	11,519	363,814	482,073
RDC	113,795	12,310	403,899	530,004

Voile Vr2 : TRUMEAU I (suite)

Efforts Niveaux	$N_d + N_d$ - N_E	$0,8 N_d$ + N_E	$0,8 N_d$ - N_E	M_E (t.m)
16	0	0	0	0
15	6,75	8,046	4,706	-2,81
14	10,077	18,212	5,829	-6,37
13	13,557	28,22	7,088	-12,09
12	5,172	50,094	-3,478	-19,25
11	-1,913	70,669	-12,765	-27,07
10	-14,528	96,773	-27,581	-37,24
9	-29,477	125,212	-44,732	-47,38
8	-47,569	156,793	-65,025	-58,96
7	-68,608	191,322	-88,266	-69,23
6	-92,428	228,63	-114,286	-79,56
5	-118,131	268,524	-142,892	-89,26
4	-147,626	310,809	-173,889	-97,64
3	-178,596	355,268	-207,06	-105,39
2	-211,472	401,634	-242,138	-109,73
1	-245,555	449,206	-278,422	-109,98
RDC	-277,794	494,435	-312,863	-90,18

Voile Vr2 : TRUMEAU 11

Efforts Niveaux	N _a (t)	N _q (t)	N _E (t)	N _a + N _q + N _E
16	0	0	0	0
15	7,970	0,45	1,67	22,459
14	15,026	1,242	6,191	22,459
13	22,08	2,033	10,556	34,669
12	29,135	2,823	26,786	58,744
11	36,19	3,614	41,717	81,512
10	43,245	4,404	62,177	109,826
9	50,3	5,195	84,972	140,467
8	57,355	5,985	110,909	174,249
7	64,41	6,776	139,794	210,98
6	71,465	7,567	171,458	250,488
5	78,52	8,357	205,708	292,585
4	85,575	9,148	242,349	337,072
3	92,63	9,938	281,164	383,732
2	99,685	10,729	321,886	432,3
1	109,74	11,519	363,814	482,073
RDC	113,795	12,310	403,899	530,004

Voile Vr2 : TRUMEAU II (suite)

Efforts Niveaux	$N_d + N_q$ - N_E	$0,8 N_d$ + N_E	$0,8 N_d$ - N_E	ME (t.m)
16	0	0	0	0
15	6,75	8,046	4,706	- 2,81
14	10,077	18,212	5,829	- 6,37
13	13,557	28,224	7,08878	- 12,09
12	-5,1723	50,094	--23,478	-219,25
11	- 1,9138	70,669	-12,7651	-27,07
10	- 14,528	96,773	- 27,581	-37,24
9	- 29,477	125,212	-44,732	-47,38
8	-47,569	156,793	-65,025	-58,96
7	-68,609	191,322	-88,266	-69,23
6	-92,428	228,63	-114,286	-79,56
5	-118,831	268,524	-142,892	-89,26
4	-147,626	310,809	-173,889	-97,64
3	-178,596	355,268	-207,06	-105,39
2	-211,472	401,634	-242,138	-109,73
1	-245,555	449,206	-278,422	-109,98
RDC	-277,794	494,935	-312,863	-90,18

Voile Vr2 : TRUMEAU III

Efforts Niveaux	$N_G(t)$	$N_Q(t)$	$N_E(t)$	$N_G + N_Q$ + N_E
16	0	0	0	0
15	7,97	0,45	-1,669	6,751
14	15,026	1,242	-6,174	10,084
13	22,08	2,033	-14,537	9,576
12	29,135	2,823	-26,752	5,206
11	36,19	3,614	-42,66	-2,856
10	43,245	4,404	-62,09	-14,441
9	50,3	5,195	-84,85	-29,355
8	57,355	5,985	-110,746	-47,406
7	64,41	6,776	-139,584	-68,398
6	71,465	7,567	-171,195	-92,163
5	78,52	8,357	-205,386	-118,509
4	85,575	9,148	241,966	-146,443
3	92,63	9,938	-207,55	-104,982
2	99,685	10,729	-248,196	-137,782
1	106,74	11,519	-290,042	-171,783
RDC	113,795	12,310	-330,039	-203,934

Efforts Niveaux	$N_d + N_d$ - N_E	$0,8 N_d$ + N_E	$0,8 N_d$ - N_E	M_E (t.m)
16	0	0	0	0
15	10,089	4,707	8,045	-2,81
14	22,452	5,836	18,204	-6,37
13	38,65	33,271	32,201	-12,09
12	58,71	-3,444	50,06	-19,25
11	82,464	-13,708	71,612	-27,87
10	109,739	-27,494	96,686	-37,24
9	140,345	-44,61	125,09	-47,39
8	147,086	-64,862	156,63	-58,96
7	210,77	-88,056	191,112	-69,23
6	250,227	-114,023	228,367	-79,56
5	292,263	-142,57	268,202	-89,26
4	337,489	-173,506	310,426	-97,64
3	310,118	-133,446	281,654	-105,39
2	358,61	-168,448	327,944	-109,73
1	408,301	-204,65	375,003	-109,73
RDC	456,144	-239,003	421,075	-90,18

Voile V₁₃ : TRUMEAU I

Efforts Niveaux	N _G (t)	N _Q (t)	N _E (t)	N _G + N _Q + N _E
16	0	0	0	0
15	5,43	0,35	0,586	6,366
14	10,14	0,96	4,221	15,321
13	14,84	1,57	11,309	27,719
12	19,57	2,18	21,69	43,44
11	24,28	2,79	35,158	62,228
10	28,698	3,40	51,556	83,936
9	33,69	4,00	70,7	108,39
8	38,41	4,61	92,408	135,428
7	43,13	5,22	116,518	164,868
6	47,89	5,83	148,83	196,52
5	52,54	6,44	171,182	230,162
4	57,26	7,05	201,392	265,702
3	61,97	7,66	233,278	302,908
2	66,68	8,27	266,68	341,63
1	71,39	8,88	301,393	381,663
RDC	76,10	9,49	337,052	422,64

Efforts Niveaux	$N_d + N_d$ - N_E	$0,8 N_d$ + N_E	$0,8 N_d$ - N_E	ME (t.m)
16	0	0	0	0
15	5,194	4,906	3,734	-0,135
14	6,879	12,333	3,891	-0,475
13	5,101	23,181	0,563	-1,019
12	0,06	37,346	-6,034	-1,768
11	- 8,088	54,582	-15,734	-2,589
10	-19,176	74,74	-28,372	-3,482
9	- 33,01	97,652	-43,748	-4,514
8	-49,388	123,136	-61,68	-5,553
7	-68,168	151,022	-82,014	-6,531
6	-89,14	181,142	-104,518	-7,515
5	-112,202	213,214	-129,15	-8,435
4	-137,082	247,2	-155,584	-9,304
3	-163,648	282,954	-183,702	-9,976
2	-191,73	320,024	-213,336	-10,39
1	-221,123	358,505	-244,281	-10,877
RDC	-221,123	358,505	-244,281	-10,877

Voile V_{T3} : TRUMEAU II

Efforts Niveaux	N _a (t)	N _q (t)	N _e (t)	N _a + N _q + N _e
16	0	0	0	0
15	24,04	1,55	-0,141	25,449
14	44,95	1,55	-0,665	48,535
13	65,86	6,96	-1,286	71,534
12	86,77	9,66	-1,869	94,299
11	167,68	12,36	-2,403	117,637
10	128,59	15,06	-2,897	140,547
9	149,50	17,77	-3,349	163,921
8	170,42	20,47	-3,756	187,134
7	151,33	23,17	-4,128	210,372
6	212,24	25,88	-4,445	233,675
5	233,15	28,58	-4,726	257,004
4	254,97	33,98	-5,155	303,795
3	316,79	39,39	-5,415	350,765
2	295,88	36,69	-5,31	327,26
1	316,79	39,39	-5,415	350,765
RDC	337,70	42,09	-5,433	374,357

Efforts Niveaux	$N_d + N_d$ - N_E	$0,8 N_d$ + N_E	$0,8 N_d$ - N_E	M_E (t.m)
16	0	0	0	0
15	25,731	19,295	19,373	-13,041
14	49,865	35,295	36,625	-45,795
13	74,106	54,402	53,974	-98,261
12	98,299	67,547	71,285	-170,439
11	122,443	83,741	88,547	-249,585
10	146,547	99,975	105,769	-335,7
9	170,619	116,251	122,949	-435,156
8	194,646	132,58	140,092	-535,209
7	218,628	148,639	157,192	-629,488
6	242,565	165,347	174,237	-724,364
5	266,456	181,794	191,246	-813,466
4	290,303	198,285	208,211	-896,794
3	314,105	214,821	225,131	-961,604
2	337,88	231,394	242,014	-1001,526
1	361,595	248,017	258,847	-1048,416
RDC	385,223	264,727	275,593	-974,845

VOILE VT3 : TRUMEAU III

Efforts Niveaux	$N_0(t)$	$N_0(t)$	$N_E(t)$	$N_0 + N_0$ + N_E
16	0	0	0	0
15	12,18	0,78	-0,727	12,233
14	22,78	2,15	-5,017	19,903
13	33,39	3,52	-13,401	23,509
12	43,99	4,89	-25,651	23,229
11	54,59	6,26	-41,522	19,328
10	65,19	7,36	-60,817	12,003
9	75,80	9,00	-83,31	1,49
8	86,40	10,37	-108,774	-12,004
7	97,00	11,74	-137,012	-28,272
6	107,60	13,11	-167,769	-47,059
5	118,21	14,49	-200,847	-68,147
4	128,81	15,86	-236,02	-91,35
3	139,41	17,22	-273,061	-116,431
2	150,01	18,60	-311,773	-143,163
1	160,62	19,97	-351,901	-171,311
RDC	171,22	21,34	-392,993	-200,433

Efforts Niveaux	$N_0 + N_0$ - N_E	$0,8 N_0$ + N_E	$0,8 N_0$ - N_E	M_E (t.m)
16	0	0	0	0
15	13,687	9,017	10,471	-2,556
14	29,957	13,197	23,251	-8,974
13	50,311	13,311	40,113	-19,256
12	74,531	9,541	60,843	- 73,4
11	102,372	2,15	85,194	-48,91
10	133,637	-8,665	112,969	-65,786
9	168,11	-22,67	143,95	-85,275
8	205,544	-39,654	177,894	-104,882
7	245,752	-59,412	214,612	-123,357
6	288,479	-81,689	253,849	-141,95
5	33,574	-106,279	295,415	-159,411
4	380,69	-132,972	39,068	-175,74
3	429,691	-161,533	384,589	-188,441
2	480,383	-191,765	431,781	-196,364
1	532,491	-223,405	480,397	-205,45
RDC	585,553	-256,017	529,965	-191,036

FERRAILLAGE DES VOILES :

Les sollicitations engendrées dans le voile sont :

- moment fléchissant et effort tranchant provoqués par l'action du seisme.
- Effort normal dû à la combinaison des charges permanentes d'exploitation ainsi que la charge sismique.

Donc les voiles seront calculées en flexion composée et au cisaillement , ce qui nécessitera une disposition du ferrailage suivant .

- Le plan vertical (aciers verticaux).
- Le plan horizontal (aciers horizontaux).

1- Ferrailage vertical :

Le ferrailage vertical sera disposé de telle sorte qu'il reprendra les contraintes de flexion composée , en tenant compte des prescriptions composées par le R.P.A 88 décrit ci-dessous :

- a) L'effort de traction engendré dans une partie du voile doit être repris en totalité par les armatures dont le pourcentage minimal est de 0,5 % de la section horizontale du béton tendu.
- b) 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.
- c) Les barres verticales du dernier doivent être munies de crochets (jonction par recouvrement).

d) 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 égal à 15 cm (le ferrailage vertical doit être disposé systématiquement en raison du chargement de sens du moment).

e) 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 %

f) Si des efforts importants de compression agissent sur l'extrémité , les barres verticales doivent respecter les conditions imposées aux poteaux.

2- Ferrailage horizontal :

Les armatures transversales sont des cadres disposés selon la hauteur du voile permettant la couture des fissures inclinées à 45° engendré par l'effort tranchant , ces barres doivent être munies de crochet à 135° ayant une longueur de 10ϕ .

Règles communes :

a) L'espacement des barres horizontales et verticales doit être inférieur à la plus petite des 2 valeurs suivantes :

$$S \leq 1,5 a \quad a : \text{épaisseur du voile}$$

$$S = 30 \text{ cm}$$

b) Les 2 nappes d'armatures doivent être reliées avec au moins quatre épingles au mètre carré, dans chaque nappe les barres horizontales doivent être disposées vers l'extérieur.

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

l'épaisseur du voile.

c) Les longueurs de recouvrement 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.

d) Le long des joints de reprise de coulage, l'effort tranchant doit être pris par les aciers de couture dont la section est calculée avec la formule :

$$A_v = 1,1 \bar{T} / \sigma_{en} ; \quad \bar{T} = 1,4 T$$

Cette quantité doit s'ajouter à la section d'aciers tendus nécessaires pour équilibrer les efforts de traction dûs aux moments de renversement .

Remarque :

Le calcul se fera en bandes verticales de largeur d :

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

l' : étant la longueur de la zone comprimée

h_e : hauteur libre d'un niveau.

EXEMPLE D'APPLICATION :

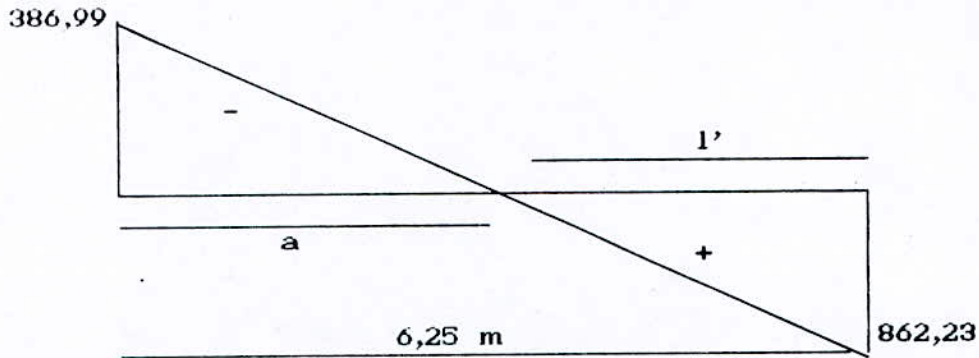
Voile V1 :

RDC \longrightarrow 3eme niveau
 $M = 813,30 \text{ t.m}$; $I = 4,069 \text{ m}^4$
 $N_{\text{min}} = 297,02 \text{ t}$; $\Omega = 1,25 \text{ m}^2$
 $N_{\text{max}} = 421,52 \text{ t}$; $v = 3,125 \text{ m}$

Armatures verticales :

$$\sigma_1 = N/\Omega + Mv/I = 297,02/1,25 + 813,2/4,069 * 3,125 = 862,23 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_2 = N/\Omega - Mv/I = 297,02/1,25 - 813,2/4,069 * 3,125 = -386,99 \text{ t/m}^2$$



calcul de l' :

$$\frac{386,99}{6,25 - l'} = \frac{862,23}{l'} \rightarrow 5388,94 - 862,23 l' = 386,99 l'$$

$$\leftrightarrow l' = \frac{5388,94}{386,99 + 862,23} = 4,31 \text{ m}$$

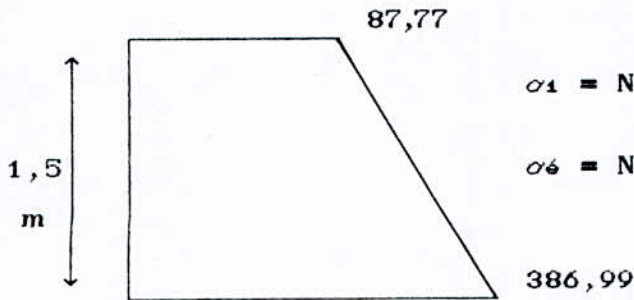
$$\rightarrow a = 1,94 \text{ m}$$

$$d \leq \min (h/2 ; 2/3 l') = \min (3/2 ; 2/3 * 4,31) = 1,50 \text{ m}$$

Etude de la bande :

Calcul de σ_1 ' :

$$\frac{386,99}{6,25 - l'} = \frac{\sigma_1}{6,25 - l' - 1,5} \rightarrow \sigma_1 = 87,77 \text{ t/m}^2$$



$$\sigma_1 = N_1/r_1 + M_1/I_1 v' = -87,77 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_6 = N_1/r' - M_1/I' v' = -386,99 \text{ t/m}^2$$

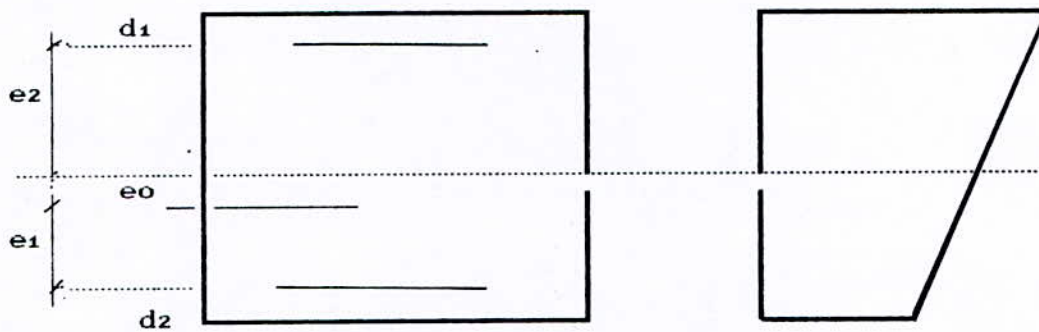
$$I' = 0,2 \cdot 1,5^3 / 12 = 0,056 \text{ m}^4$$

$$\Omega' = 0,2 \cdot 1,5 = 0,3 \text{ m}^2 ; v' = -0,75 \text{ m}$$

$$\sigma_1 + \sigma_2 = -474,76 \text{ t/m}^2 = 2 N_1 / \Omega_1 \rightarrow N_1 = -71,214 \text{ t}$$

$$\sigma_1 - \sigma_2 = 299,22 \text{ t/m}^2 = 2 M_1 v' / I' \rightarrow M_1 = 11,17 \text{ t.m}$$

$$e_0 = M / N = 0,157 \text{ m}$$



$$e_1 = h/2 - e_0 - d_1 = 1,5/2 - 0,157 - 0,1 = 0,493$$

$$e_2 = h/2 + e_0 - d_2 = 1,5/2 + 0,157 - 0,1 = 0,807$$

$$A_{s1} = \frac{N e_2}{(e_1 + e_2) f_{su}} = 6,75 \text{ cm}^2$$

$$A_{s2} = \frac{N e_1}{(e_1 + e_2) f_{su}} = 11,05 \text{ cm}^2$$

$$A_s \text{ tot} = A_{s1} + A_{s2} = 17,80 \text{ cm}^2$$

$$A_s/\text{face/ml} = 1/2 \frac{A_{s \text{ tot}}}{1,50} = 5,93 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{min}} (\text{RPA}) = 1/4 \cdot 20 \cdot 1000/100 = 5 \text{ cm}^2$$

$A_s > A_{\text{min}}(\text{RPA})$; donc on ferraille avec $A_s = 5,93 \text{ cm}^2$.

$$A_s = 5,93 \text{ cm}^2 \longrightarrow 4 \text{ MA14} = 6,16 \text{ cm}^2 \text{ avec } S_t = 25 \text{ cm} .$$

Armatures horizontales :

$$\tau = \frac{1,4 \cdot 25,79}{b \cdot z} = \frac{1,4 \cdot 25,79}{0,20 \cdot 8,6,25} = 0,36 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau} = 0,025 \sigma'_{28} = 0,625 \text{ MPa} .$$

$$\bar{\tau} < \tau \rightarrow W_{\min} = 0,15 \% \rightarrow \boxed{A_{st} = 1,50 \text{ cm}^2}$$

on prend 4HA8 = 2,1 cm²

Vérification sous (M, Nmax) :

$$\sigma_{b\max} = N_{\max} / A + MV/I = 961,83 \text{ cm}^2 < 2500 \text{ t/m}^2$$

Condition vérifié

4^{eme} → 7^{eme} niveau :

$$\sigma_1 = 570,30 \text{ t/m}^2 ; \sigma_2 = - 212,27 \text{ t/m}^2$$

$$A_{sv\text{tot}} = 8,877 \text{ cm}^2 ; A_{sv} / \text{face/ml} = 2,96 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{minRPA}} = 5 \text{ cm}^2 > A_{sv} / \text{face/ml}$$

On ferraille avec $A_{\text{min}} = 5 \text{ cm}^2 \longrightarrow 5 \text{ HA12} = 5,65 \text{ cm}^2$

Armature horizontales :

$$\tau = 0,343 \text{ MPa}; A_{st} = 1,5 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{b\max} = 644,86 \text{ t/m}^2 \text{ vérifié}$$

8^{eme} → 11^{eme} niveau :

$$\sigma_1 = 316,13 ; \sigma_2 = - 75,30 \text{ t/m}^2$$

$$A_{sv\text{tot}} = 2,263 \text{ cm}^2 ; A_{sv} / \text{face /ml} = 0,75 \text{ cm}^2 .$$

$$A_{\text{minRPA}} = 5 \text{ cm}^2 > A_{sv} / \text{face/ml}$$

On ferraille avec $A_{\text{min}} = 5 \text{ cm}^2 \longrightarrow 5 \text{ HA12} = 5,65 \text{ cm}^2$

Armatures horizontales :

$$\tau = 0,264 \text{ MPa}; A_{st} = 1,5 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{b\max} = 365,74 \text{ t/m}^2 \text{ vérifié}$$

12^{eme} —————> 16^{eme} niveau :

$$\sigma_1 = 124,29 \quad ; \quad \sigma_2 = - 0,65 \quad \text{t/m}^2$$

$$A_{svtot} = 0 \text{ cm}^2 \quad ;$$

$$A_{smin} = 5 \text{ cm}^2 \quad \longrightarrow \quad 5 \text{ HA12} = 5,65 \text{ cm}^2$$

Armatures horizontales :

$$\tau = 0,165 \text{ MPa} ; A_{st} = 1,5 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{bmax} = 148,94 \text{ t/m}^2 \quad \text{verifié}$$

VOILE VL2

niveau	M(t.m)	Nmin(t) Nmax(t)	nature	al choisi (cm ²)	nombre de barres	At/ml (cm ²)	Nombre de barres	st (cm)
RDC ÷ 3	1116,77	$\frac{342,742}{486,198}$	S.P.C	7,07	5HA14	1,50	4HA8	20
4 ÷ 7	699,60	$\frac{258,102}{365,558}$	S.P.C	5,00	5HA12	1,50	4HA8	20
8 ÷ 11	349,942	$\frac{173,462}{244,918}$	S.P.C	5,00	5HA12	1,50	4HA8	20
12÷16	111,69	$\frac{88,822}{124,278}$	S.P.C	5,00	5HA12	1,50	4HA8	20

VOILE VL3

RDC ÷ 3	516,24	$\frac{285,902}{401,758}$	S.P.C	5,00	5HA12	1,50	4HA8	20
4 ÷ 7	323,39	$\frac{215,006}{301,738}$	S.P.C	5,00	5HA12	1,50	4HA8	20
8 ÷ 11	161,762	$\frac{144,11}{201,718}$	S.P.C	5,00	5HA12	1,50	4HA8	20
12÷16	51,63	$\frac{873,214}{101,698}$	S.P.C	5,00	5HA12	1,50	4HA8	20

VOILE VL4

RDC ÷ 3	6842,57	$\frac{608,581}{921,956}$	S.P.C	18,23	9HA16	2,50	5HA8	10
4 ÷ 7	4286,51	$\frac{458,226}{691,972}$	S.P.C	10,73	7HA14	2,50	5HA8	15
8 ÷ 11	2144,1	$\frac{307,870}{461,988}$	S.P.C	5,00	5HA12	2,50	5HA8	20
12÷16	684,32	$\frac{157,515}{232,004}$	S.P.C	5,00	5HA12	1,50	5HA8	20

VOILE VL5 :

niveau	M(t.m)	Nmin(t) Nmax(t)	nature	al choisi (cm ²)	nombre de barres	At/ml (cm ²)	Nombre de barres	st (cm)
RDC ÷ 3	218,68	$\frac{131,104}{178,210}$	S.P.C	5,00	5HA12	1,50	4HA8	20
4 ÷ 7	137,00	$\frac{99,024}{134,43}$	S.P.C	5,00	5HA12	1,50	4HA8	20
8 ÷ 11	68,53	$\frac{66,944}{90,65}$	S.P.C	5,00	5HA12	1,50	4HA8	20
12÷16	21,87	$\frac{34,864}{46,87}$	S.E.C	5,00	5HA12	1,50	4HA8	20

VOILE VL6

RDC ÷ 3	177,64	$\frac{167,664}{222,52}$	S.P.C	5,00	5HA12	1,50	4HA8	20
4 ÷ 7	111,28	$\frac{137,84}{181,91}$	S.P.C	5,00	5HA12	1,50	4HA8	20
8 ÷ 11	55,66	$\frac{108,016}{141,31}$	S.E.C	5,00	5HA12	1,50	4HA8	20
12÷16	17,77	$\frac{78,192}{100,71}$	S.E.C	5,00	5HA12	1,50	4HA8	20

VOILE VL7

RDC ÷ 3	153,22	$\frac{214,894}{300,388}$	S.P.C	5,00	5HA12	1,50	4HA8	20
4 ÷ 7	95,98	$\frac{161,662}{225,688}$	S.P.C	5,00	5HA12	1,50	4HA8	20
8 ÷ 11	42,01	$\frac{108,430}{150,988}$	S.E.C	5,00	5HA12	1,50	4HA8	20
12÷16	15,32	$\frac{55,198}{76,288}$	S.E.C	5,00	5HA12	1,50	4HA8	20

VOILE VL1' :

niveau	M(t.m)	Nmin(t) Nmax(t)	nature	al choisi (cm ²)	nombre de barres	At/ml (cm ²)	Nombre de barres	st (cm)
RDC ÷ 3	481	$\frac{297,02}{421,52}$	S.P.C	5,00	5HA12	1,50	4HAB	20
4 ÷ 7	301,35	$\frac{223,77}{316,97}$	S.P.C	5,00	5HA12	1,50	4HAB	20
8 ÷ 11	150,73	$\frac{150,52}{212,53}$	S.E.C	5,00	5HA12	1,50	4HAB	20
12÷16	48,11	$\frac{77,27}{108,09}$	S.E.C	5,00	5HA12	1,50	4HAB	20

VOILE VL2'

RDC ÷ 3	757,08	$\frac{342,742}{486,198}$	S.P.C	5,00	5HA12	1,50	4HAB	20
4 ÷ 7	474,28	$\frac{258,102}{365,558}$	S.P.C	5,00	5HA12	1,50	4HAB	20
8 ÷ 11	237,23	$\frac{173,462}{244,918}$	S.P.C	5,00	5HA12	1,50	4HAB	20
12÷16	75,72	$\frac{88,822}{124,278}$	S.E.C	5,00	5HA12	1,50	4HAB	20

VOILE VL4'

RDC ÷ 3	5676,02	$\frac{608,581}{921,956}$	S.P.C	14,20	5HA12	2,50	4HAB	20
4 ÷ 7	3555,72	$\frac{458,226}{691,972}$	S.P.C	8,23	5HA12	2,50	4HAB	25
8 ÷ 11	1778,56	$\frac{307,870}{461,988}$	S.P.C	5,00	5HA12	2,50	4HAB	20
12÷16	567,65	$\frac{157,515}{232,004}$	S.P.C	5,00	5HA12	1,50	4HAB	20

VOILE VL5' :

niveau	M(t.m)	Nmin(t) Nmax(t)	nature	al choisi (cm ²)	nombre de barres	At/ml (cm ²)	Nombre de barres	st (cm)
RDC ÷ 3	111,57	$\frac{131,104}{178,210}$	S.P.C	5,00	5HA12	1,50	4HAB	20
4 ÷ 7	69,89	$\frac{99,024}{134,43}$	S.P.C	5,00	5HA12	1,50	4HAB	20
8 ÷ 11	34,96	$\frac{66,144}{90,658}$	S.E.C	5,00	5HA12	1,50	4HAB	20
12÷16	11,15	$\frac{34,864}{46,87}$	S.E.C	5,00	5HA12	1,50	4HAB	20

VOILE VL6'

RDC ÷ 3	90,61	$\frac{167,664}{222,518}$	S.E.C	5,00	5HA12	1,50	4HAB	20
4 ÷ 7	56,77	$\frac{137,842}{181,918}$	S.E.C	5,00	5HA12	1,50	4HAB	20
8 ÷ 11	28,40	$\frac{108,016}{141,318}$	S.E.C	5,00	5HA12	1,50	4HAB	20
12÷16	9,06	$\frac{78,192}{100,71}$	S.E.C	5,00	5HA12	1,50	4HAB	20

VOILE VL7' :

RDC ÷ 3	90,61	$\frac{214,894}{300,388}$	S.E.C	5,00	5HA12	1,50	4HAB	20
4 ÷ 7	56,77	$\frac{161,662}{225,688}$	S.E.C	5,00	5HA12	1,50	4HAB	20
8 ÷ 11	28,39	$\frac{108,430}{150,988}$	S.E.C	5,00	5HA12	1,50	4HAB	20
12÷16	9,06	$\frac{55,198}{76,288}$	S.E.C	5,00	5HA12	1,50	4HAB	20

SENS TRANSVERSAL : VOILE V_{T2} : TRUMEAU I

niveau	M(t.m)	Nmin(t) Nmax(t)	nature	al choisi (cm ²)	nombre de barres	At/ml (cm ²)	Nombre de barres	st (cm)
RDC ÷ 3	09,98	$\frac{-378,42}{482,073}$	S.P.C	33,35	7HA25	1,875	3HA10	10
4 ÷ 7	-97,64	$\frac{-173,889}{337,072}$	S.P.C	24,06	5HA25	1,875	3HA10	20
8 ÷ 11	-58,96	$\frac{-65,025}{174,249}$	S.P.C	11,34	6HA16	1,875	3HA10	15
12÷16	-19,25	$\frac{-3,478}{58,744}$	S.P.C	6,25	5HA14	1,875	3HA10	20
VOILE TRUMEAU II								
RDC ÷ 3	-94044	$\frac{173,716}{240,762}$	S.P.C	19,12	4HA25	3,125	3HA12	20
4 ÷ 7	-83488	$\frac{139,275}{208,831}$	S.P.C	14,97	5HA20	3,125	3HA12	20
8 ÷ 11	-50419	$\frac{93,343}{128,951}$	S.P.C	8,81	5HA16	3,125	3HA12	20
12÷16	-16460	$\frac{47,425}{65,055}$	S.P.C	6,25	5HA14	3,125	3HA12	20
VOILE V_{T2} : TRUMEAU III								
RDC ÷ 3	-10998	$\frac{-204,65}{408,301}$	S.P.C	33,25	7HA25	1,875	3HA10	10
4 ÷ 7	-97,64	$\frac{-173,506}{337,489}$	S.P.C	24,02	5HA25	1,875	3HA10	20
8 ÷ 11	-58,96	$\frac{-64,862}{174,086}$	S.P.C	11,34	6HA16	1,875	3HA10	15
12÷16	-19,25	$\frac{-3,444}{58,71}$	S.P.C	6,25	5HA14	1,875	3HA10	20

VOILE 3 : TRUMEAU I

niveau	M(t.m)	Nmin(t) Nmax(t)	nature	al choisi (cm ²)	nombre de barres	At/ml (cm ²)	Nombre de barres	st (cm)
RDC ÷ 3	-10,877	$\frac{-276,172}{422,642}$	S.E.T	26,37	6HA25	1,875	3HA10	15
4 ÷ 7	-9,304	$\frac{-155,584}{265,702}$	S.E.T	24,39	5HA25	1,875	3HA12	20
8 ÷ 11	-5,553	$\frac{-61,68}{135,428}$	S.E.T	15,09	8HA16	1,875	3HA12	10
12÷16	-1,768	$\frac{-6,034}{43,44}$	S.E.T	6,79	5HA14	1,875	3HA12	

VOILE 3 TRUMEAU II

RDC ÷ 3	-1048,41	$\frac{248,017}{361,595}$	S.P.C	22,34	5HA25	1,875	3HA12	20
4 ÷ 7	-896,794	$\frac{198,285}{290,303}$	S.P.C	11,85	6HA16	1,875	3HA12	15
8 ÷ 11	-535,209	$\frac{132,58}{194,646}$	S.P.C	6,78	5HA14	1,875	3HA12	20
12÷16	-170,439	$\frac{67,547}{98,299}$	S.P.C	6,25	5HA14	1,875	3HA10	20

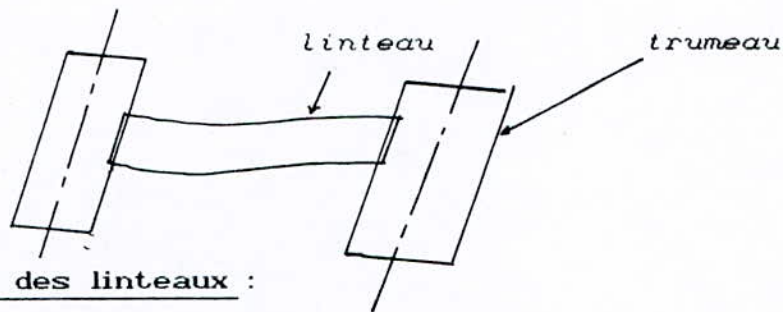
VOILE 3 TRUMEAU III

RDC ÷ 3	-205,45	$\frac{-223,405}{532,491}$	S.P.C	15,64	8HA16	1,875	3HA12	10
4 ÷ 7	-175,74	$\frac{-132,972}{380,692}$	S.P.C	7,55	5HA16	1,875	3HA12	20
8 ÷ 11	-104,882	$\frac{-39,654}{205,544}$	S.P.C	6,25	5HA14	1,875	3HA12	20
12÷16	-33,45	$\frac{9,541}{74,531}$	S.P.C	6,25	5HA14	1,875	3HA12	20

CALCUL DES LINTEAUX

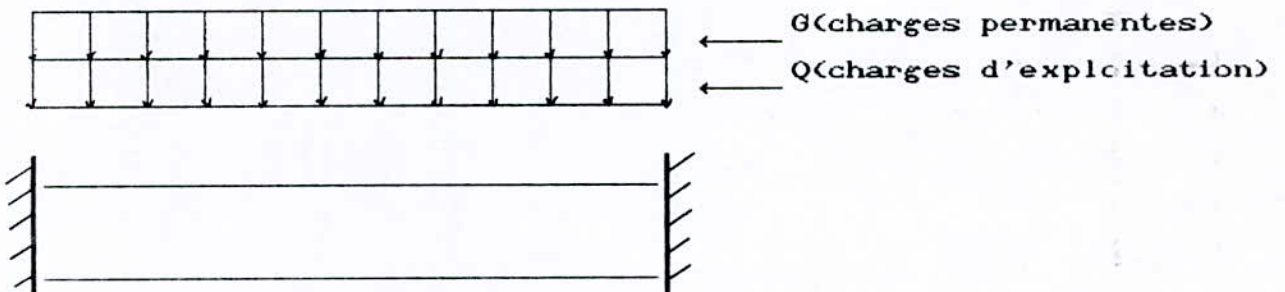
INTRODUCTION :

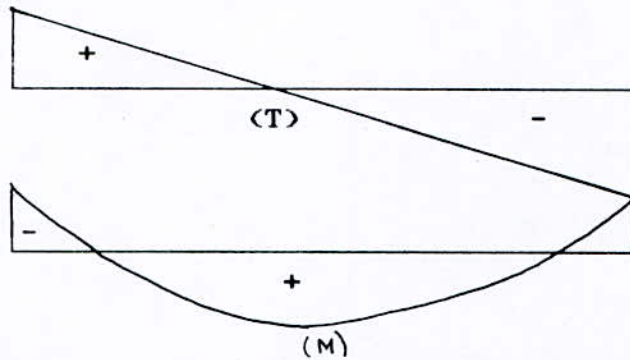
Les linteaux sont des poutres courtes ou longues (selon la valeur de λ_g) encastree aux extremites et reliant les deux trumeaux du voile et ayant des noeuds rigides. Les deformations dans les linteaux creent des prolongement dans les trumeaux de ce fait la portee du linteau presente des difficultes dans le calcul (la majoration de T de 40% peut être justifiée à la limite) .



Sollicitations des linteaux :

Les linteaux seront calculés en flexion simple, de façon à eviter leurs rupture et à reprendre les moments fléchissant, les efforts tranchants dus aux charges permanentes et aux charges d'exploitation ainsi qu'a l'action du seisme :





Les sollicitations dans linteaux seront :

$$T = T_s + T_p$$

$$M = M_s + M_p$$

T_s = effort tranchant dû au seisme .

T_p : Effort tranchant dû au seisme (G + Q)

M_s : moment fléchissant dû au seisme

M_p : moment fléchissant dû aux charges (G + Q)

selon les prescriptions du R.P.A 88, les efforts internes dûs aux seismes seront majorés comme suit :

$$T_s = 1,4 T_{cal}$$

$$M_s = 1,4 M_{cal}$$

Calcul du ferrailage :

A : Premier cas : $\tau_B \leq 0,06 \sigma'_{28}$

Les linteaux sont calculés en flexion simple avec M et T; on devra disposer :

- des aciers longitudinaux (A_l) de flexion .
- des aciers transversaux (A_t) .
- des aciers en partie courante (A_c)

* Aciers longitudinaux : A_L

Ils sont donnés par la formule suivante :

$$A_L \geq M / (Z \cdot \sigma_s)$$

tel que :

M : moment dû à l'effort tranchant ($\bar{T} = 1,4 T_{calcul}$)

$Z = h - 2d$; h : hauteur total du linteau

* Aciers transversaux : A_t

a°/ Linteaux longs ($\lambda_g = L / h > 1$)

$$S \leq A_t \cdot \sigma_s \cdot Z / \bar{T}$$

S : Espacement des cours d'armatures transversales.

A_t : Section d'un cour d'armatures transversales

$$\bar{T} = 1,4 T_{calcul}$$

L : portée du linteau

b°/ Linteaux courts ($\lambda_g \leq 1$)

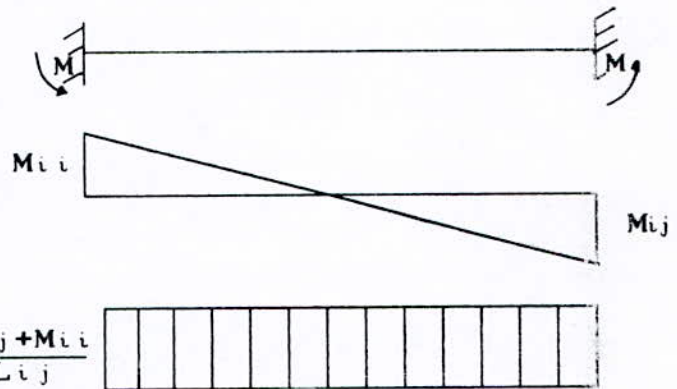
$$S \leq A_t \cdot \sigma_s \cdot L / (\bar{T} + A_t \cdot \sigma_s)$$

$$T = \min (T_1 ; T_2)$$

$$T_2 = 2 T_{calcul}$$

$$T_1 = (M_{ii} + M_{ij}) / L_{ij}$$

$$M_t = A_L \cdot \sigma_s \cdot Z$$



B : Deuxième cas : $\tau_b > 0,06 f_{c28}$

Pour ce cas , il y'a lieu de disposer le ferrailage longitudinal (supérieurs et inférieures) transversaux et partie courante suivant le minimum réglementaire .

Les efforts (M,T) 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 :

$$A_d = T / (2 \cdot \sigma_{en} \cdot \sin \alpha) \quad \text{avec} \quad \tan \alpha = (h - 2d) / L$$

$$T = T_{\text{calcul}} \text{ (sans majoration)}$$

Ferrailage minimal :

Armatures longitudinales :

$$(A_l, A_l') \geq 0,0015 \cdot b \cdot h \quad (0,15 \%)$$

Armatures transversales :

$$\text{Pour } \tau_b \leq 0,025 \sigma_{28}' \quad A_t \geq 0,0015 b \cdot S \quad (0,15 \%)$$

$$\text{Pour } \tau_b \leq 0,025 \sigma_{28}' \quad A_t \geq 0,0025 b \cdot S \quad (0,25 \%)$$

Armatures en section courante (armatures de peau) :

Les armatures longitudinales intermédiaires ou de peau A_c (2 nappes doivent être au total d'un minimum égal à 0,20 %).

EXEMPLE DE CALCUL :

Linteau du voile V_{11} :

1er \longrightarrow 7eme étage

Détermination des sollicitations M et T :

$$G = 0,20 \cdot 0,8 \cdot 2,5$$

$$G_0 = 0,4 \text{ t/ml}$$

$$\text{donc } q = 0,4 \text{ t/ml}$$

Effort tranchant :

$$\begin{aligned} \bar{T} &= 1,4 (n + q l/2) \\ &= 1,4 (13,742 + 0,4 \cdot 0,8/2) \\ \bar{T} &= 19,46 \text{ t} \end{aligned}$$

Moment fléchissant :

$$\begin{aligned} M &= 1,4 n (l/2) + q l^2/12 \\ &= 1,4 \cdot 13,742 \cdot 0,8/2 + 0,4 \cdot (0,8)^2/12 \end{aligned}$$

Verification de la contrainte de cisaillement :

D'après Art. 4.3.2.1 RPA 88

$$\tau_b = \bar{T} / (Z \cdot b)$$

$$Z = 0,8 h = 0,8 \cdot 0,8 = 0,64 \text{ m}$$

$$\tau_b = 19,46 / (0,64 \cdot 0,2) = 1,52 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau}_b = 0,2 f_{c28} = 5 \text{ MPa} \qquad \bar{\tau}_b > \tau_b$$

Donc la contrainte de cisaillement est vérifiée.

Ferraillage :

$$0,06 f_{c28} = 1,5 \text{ MPa} \quad \rightarrow \quad \tau_b = 1,52 > 1,5 \text{ MPa}$$

\Rightarrow existence des armatures diagonales

D'après le RPA 88 Art 4.3.2.2 , on choisit un ferraillage suivant un minimum réglementaire

Armatures diagonales :

$$A_D = T / (2 \sigma_{en} \cdot \sin \alpha)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = (h - 2d) / L = (0,8 - 2 \cdot 0,03) / 0,80 = 0,925 \text{ m}$$

$$\alpha = 42,76^\circ \rightarrow \sin \alpha = 0,679$$

$$A_D = (13,742 \cdot 10^{-2}) / (2 \cdot 400 \cdot 0,679)$$

$$A_D = 2,53 \text{ cm}^2$$

Ferraillage du RPA 88 :

$$* (A_l, A_l') \geq 0,0015 \cdot b \cdot h$$

$$(A_l, A_l') \geq 0,0015 \cdot 20 \cdot 80$$

$$(A_l, A_l') \geq 2,40 \text{ cm}^2 \longrightarrow 4 \phi 10$$

$$* A_c \geq 0,002 \cdot b \cdot h$$

$$A_c \geq 3,20 \text{ cm}^2 \longrightarrow 4 \phi 12$$

$$* \tau_b > 0,025 f_{c28} = 0,625 \text{ MPa}$$

$$\text{donc } A_t \geq 0,0025 b \cdot S$$

$$\text{tel que : } S = h / 4 = 80 / 4 = 20 \text{ cm}$$

$$\text{on prend } S_t = 20 \text{ cm}$$

Donc :

$$A_t \geq 0,0025 \cdot 20 \cdot 20$$

$$A_t \geq 1 \text{ cm}^2 \longrightarrow 2 \phi 8$$

8eme \longrightarrow 16eme étage :

$$\pi = 7,329 \text{ t}; \quad q = 0,4 \text{ t/ml}$$

$$\bar{T} = 1,4 (\pi + q l/2)$$

$$= 1,4 (7,329 + 0,4 \cdot 0,8/2)$$

$$\bar{T} = 10,48 \text{ t}$$

$$M = 1,4 \pi (l/2) + q l^2/12$$

$$M = 4,10 \text{ t.m}$$

Vérification de la contrainte de cisaillement :

$$\tau_b = \bar{T} / (Z \cdot b)$$

$$\text{avec } \bar{T} = 10,48 \text{ t}$$

$$\tau_b = 10,48 \cdot 10^{-2} / (0,64 \cdot 0,2) \rightarrow \tau_b = 0,82 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau}_b = 5 \text{ MPa} > \tau_b \quad \text{condition vérifiée}$$

Ferraillage :

$0,06 f_{c28} = 1,5 \text{ MPa} > \tau_b = 0,82 \text{ MPa}$; donc on devra disposer :

- * des aciers longitudinaux (A_l) calculer en flexion simple (symétriquement).
- * des aciers transversaux (A_t)
- * des aciers en partie courante (A_c)

Calcul de A_l :

$$\mu_{bu} = M_u / (b_0 d^2 f_{bu}) = 7,72 \cdot 10^{-2} / (0,20 \cdot (0,9 \cdot 0,8)^2) = 14,17$$

$$\mu_{bu} = 0,042 < \mu_{lu} = 0,379 \longrightarrow \text{pas d'aciers comprimés}$$

$$\longrightarrow \text{pivot A} \longrightarrow \varepsilon_s = 10 \% \longrightarrow \sigma_s = f_e / \gamma_s = 348 \text{ MPa}$$

$$\alpha = 1,25 (1 - \sqrt{1 - 2 \mu_{bu}}) = 0,053$$

$$Z = d (1 - 0,4 \alpha) = 0,704 \text{ m}$$

$$A_l = M_u / Z \cdot \sigma_s = 7,72 \cdot 10^{-2} / (0,704 \cdot 348) = 2,74 \text{ cm}^2$$

Le ferraillage sera disposé symétriquement.

Aciers transversaux :

$$\lambda_g = l/h = 0,8/0,8 = 1 \longrightarrow \text{linteau court}$$

$$S \leq A_l \cdot \sigma_{en} \cdot Z / \bar{T} \quad \text{Avec } S \leq h/4 = 0,2 \text{ m}$$

on prend $S = 20 \text{ cm}$

$$A_t \geq S \cdot \bar{T} / (\sigma_{en} \cdot Z) = 0,2 \cdot 19,46 \cdot 10^{-2} / (348 \cdot 0,704) = 1,38 \text{ cm}^2$$

Condition minimale du RPA 88 :

- * Armatures longitudinales :

$$(A_l, A_l') \geq 0,0015 \cdot b \cdot h = 2,4 \text{ cm}^2$$

- * Armatures transversales :

$$\tau_b = 0,82 \text{ MPa} > 0,025 f_{c28} = 0,625 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow A_t \geq 0,0025 \cdot b \cdot S = 1 \text{ cm}^2$$

$$A_t = 1 \text{ cm}^2$$

- * Armatures en section courante (armatures de peau)

$$A_c \geq 0,002 \cdot b \cdot h = 3,2 \text{ cm}^2$$

$$A_c = 3,2 \text{ cm}^2$$

Ferrailage final :

$$A_l = 2,74 \text{ cm}^2 \longrightarrow 4 \phi 10 = 3,14 \text{ cm}^2$$

$$A_t = 1,38 \text{ cm}^2 \longrightarrow 4 \phi 8 = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$A_c = 3,20 \text{ cm}^2 \longrightarrow 4 \phi 12 = 4,52 \text{ cm}^2$$

tous les autres résultats sont donnés sous forme de tableaux dans ce qui suit :

1er \longrightarrow 7eme étage : Niveau I

8eme \longrightarrow 16eme étage : Niveau II

VOILES A UNE SEULE FILE D'OUVERTURE

VOILES	V1 ₁		V1'1		V1 ₂	
	1		1		1	
LINTEAU	1		1		1	
NIVEAU	I	II	I	II	I	II
LONGEUR (m)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
M (MN.m)	0,077	0,041	0,069	0,034	0,071	0,035
T (MN)	0,19	0,105	0,165	0,09	0,185	0,098
τ (MPa)	1,52	0,82	1,28	0,70	1,57	1,51
$\bar{\tau}$ (MPa)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
A _t (cm ²)	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
S (cm)	20	20	20	20	20	20
A _t (cm ²)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
A _c (cm ²)	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20
0,2 f _{c20}	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
A _D (cm ²)	2,53	-	-	-	4,235	2,93

VOILES A UNE SEULE FILE D'OUVERTURE

VOILES	V1a'		V11		V11'	
	1		1		1	
LINTEAU	1		1		1	
NIVEAU	I	II	I	II	I	II
LONGEUR (m)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
M (MN.m)	0,045	0,024	0,007	0,0039	0,007	0,0039
T (MN)	0,114	0,062	0,021	0,021	0,021	0,012
τ (MPa)	0,889	0,48	0,16	0,093	0,16	0,093
$\bar{\tau}$ (MPa)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Al (cm ²)	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
S (cm)	20	20	20	20	20	20
At (cm ²)	1,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ac (cm ²)	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20
0,2 fct28	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Ad (cm ²)	-	-	-	-	-	-

VOILES A DEUX FILES D'OUVERTURES

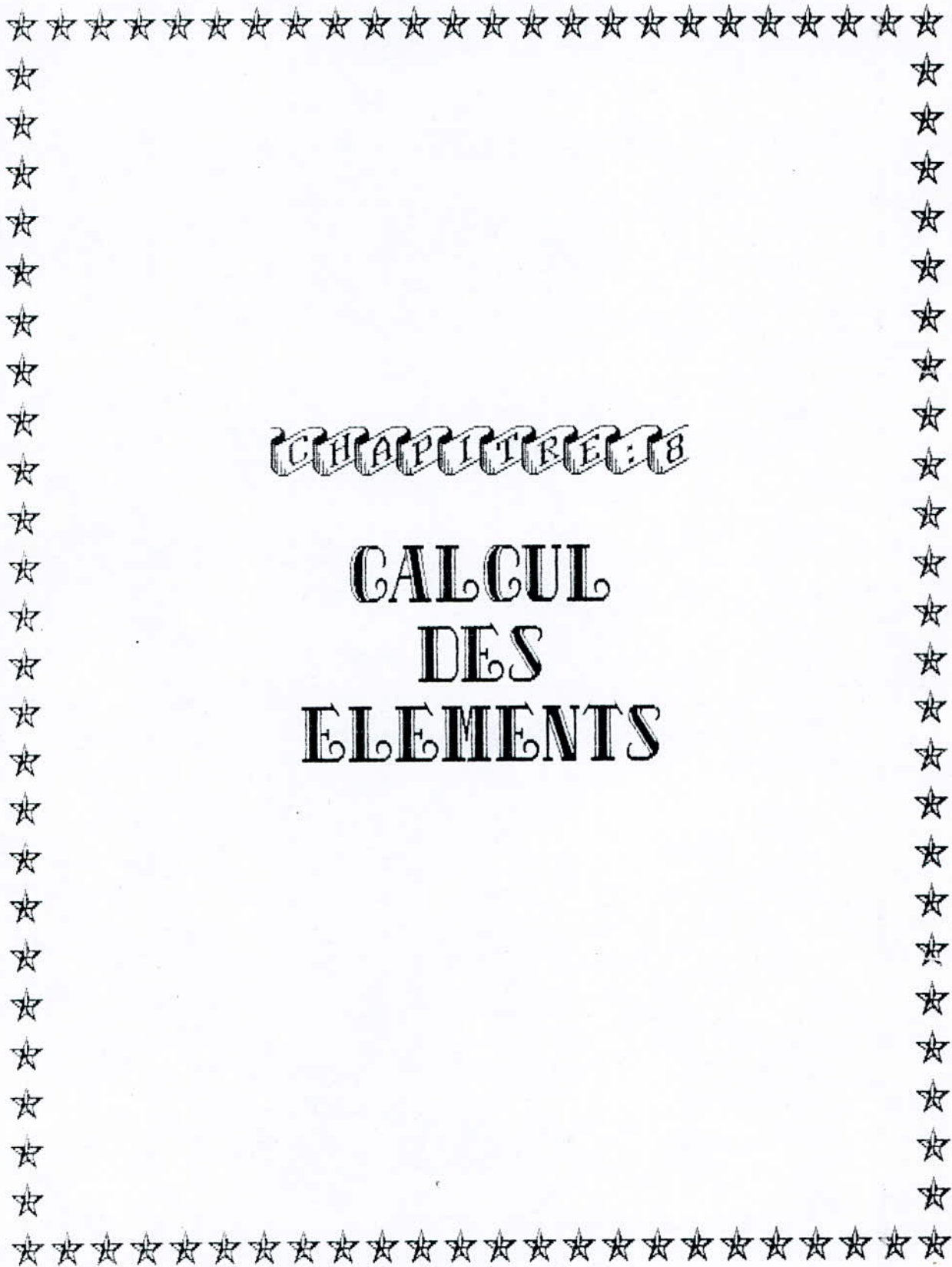
VOILES	V14				V14	
	1		2		1	
LINTEAU						
NIVEAU	I	II	I	II	I	II
LONGEUR (m)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
M (MN.m)	0,241	0,107	0,099	0,053	0,20	0,106
T (MN)	0,604	0,269	0,251	0,135	0,50	0,268
τ (MPa)	4,721	2,098	1,96	1,054	3,92	2,098
$\bar{\tau}$ (MPa)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
A_t (cm ²)	8,36	3,70	3,46	2,40	6,96	3,68
S (cm)	15	15	15	15	15	15
A_t (cm ²)	3,54	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20
A_c (cm ²)	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20
$0,2 f_{c20}$	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
A_D (cm ²)	9,08	8,26	4,76	2,56	8,75	6,68

VOILES A DEUX FILES D'OUVERTURES

VOILES	V14		VT2			
	2		1		2	
	I	II	I	II	I	II
LINTEAU						
NIVEAU						
LONGEUR (m)	0,8	0,8	1,2	1,2	1,2	1,2
M (MN.m)	0,129	0,064	0,357	0,243	0,352	0,246
T (MN)	0,302	0,162	0,586	0,409	0,590	0,408
τ (MPa)	2,36	0,983	4,40	2,55	3,69	2,55
$\bar{\tau}$ (MPa)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
At (cm ²)	4,16	2,40	11,40	8,44	12,20	8,53
S (cm)	15	15	15	15	15	15
At (cm ²)	3,15	2,70	1,25	2,83	2,65	2,39
Ac (cm ²)	3,20	3,20	3,20	4,00	4,00	4,00
0,2 fctoe	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Ad (cm ²)	5,73	-	16,39	12,84	16,36	12,81

VOILES A DEUX FILES D'OUVERTURES

VOILES LINTEAU	V _{T3}		V _{1'1}	
	1		2	
NIVEAU	I	II	I	II
LONGEUR (m)	1,20	1,20	1,20	1,20
M (MN.m)	0,299	0,206	0,349	0,241
T (MN)	0,503	0,342	0,579	0,40
τ (MPa)	3,15	2,136	3,62	3,12
$\bar{\tau}$ (MPa)	5,00	5,00	5,00	5,00
A _t (cm ²)	10,40	7,15	12,11	8,36
S (cm)	15	15	15	15
A _t (cm ²)	2,95	2,00	3,40	2,34
A _c (cm ²)	4,00	4,00	4,00	4,00
0,2 f _{c20}	1,50	1,50	1,50	1,50
A _D (cm ²)	10,28	7,87	11,41	8,73



CHAPITRE 8

CALCUL
DES
ELEMENTS

Chapitre 8

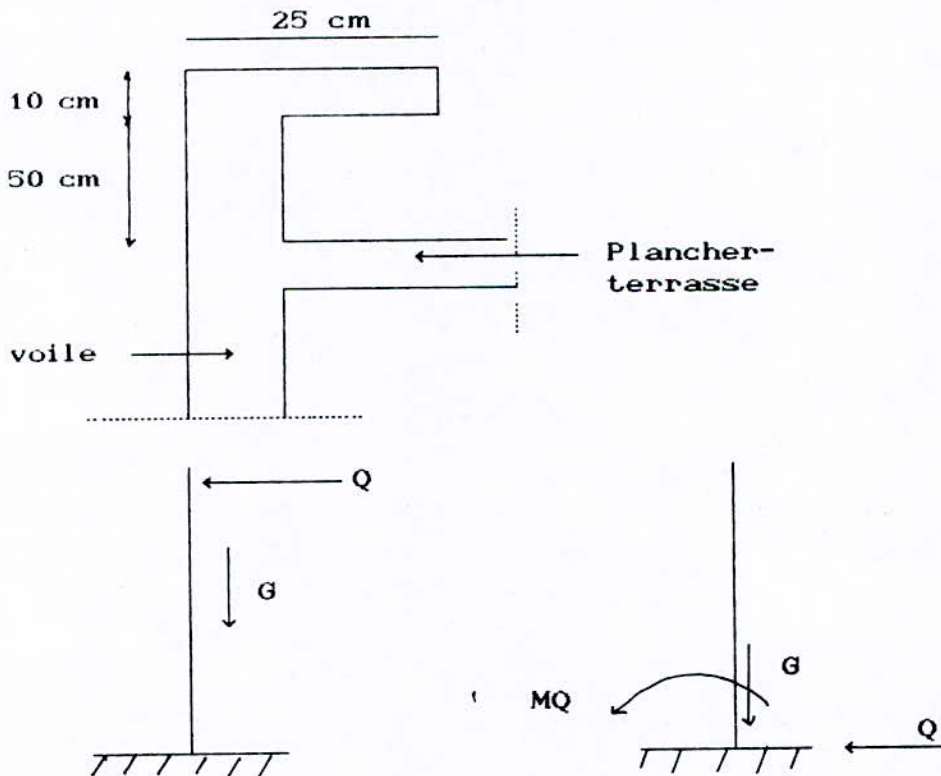
CALCUL DES ELEMENTS

ACROTERE

INTRODUCTION :

L'acrotère est assimilée à une console encastrée au niveau du plancher terrasse; elle est soumise à son poids propre 'G' et à la surcharge 'Q' due à la main courante laquelle crée un mouvement 'MQ' au niveau de l'encastrement .

Le calcul se fera en flexion composée dans la section d'encastrement pour une bande de '1m' lineaire. La fissuration étant préjudiciable.



Charges et surcharges :

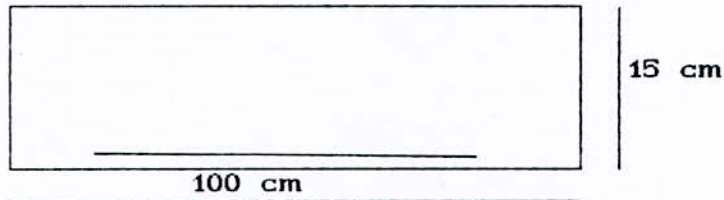
Poids propre de l'acrotère : $G = 0,25 \text{ t/ml}$

Surcharge (main courante) : $Q = 0,1 \text{ t/ml}$

Calcul des sollicitations :

- Effort normal dû au poids propre : $N_G = 0,25 \text{ t/ml}$

- Moment fléchissant dû à la surcharge : $M_Q = Q \cdot l = 0,06 \text{ t.m/ml}$



Combinaison des charges :

* ELU : $N_u = 1,35 N_G = 1,35 \cdot 0,25 = 0,3375 \text{ t}$

$M_u = 1,5 M_Q = 1,5 \cdot 0,06 = 0,09 \text{ t.m}$

* ELS : $N_{ser} = N_G = 0,25 \text{ t/ml}$

$M_{ser} = M_Q = 0,06 \text{ t.m/ml}$

Calcul du ferrailage :

Centre de pression : (Nature de la section)

$e_o = M_u / N_u = 0,09 / 0,3375 = 0,267 \text{ m}$

$e_i = h / 6 = 0,15 / 6 = 0,025 \text{ m}$

} $e_o > e_i \rightarrow$ la section est partiellement comprimée.

Calcul de l'élançement : (calcul au flambement)

$\lambda \leq \max (50; \min [67 e_o / h, 100]) = \max (50; \min [178, 89, 100])$

$\bar{\lambda} = 100 \text{ m}$

$\lambda = 1 f \sqrt{12} / h = 2 \cdot 1 \cdot \sqrt{12} / h = 2 \cdot 0,6 \cdot \sqrt{12} / 0,1 = 41,57 \text{ m}$

donc $\lambda < \bar{\lambda}_{\max}$ d'où le calcul au flambement n'est pas exigé, le calcul se fera en flexion composée.

Ferraillage :

Moment fictif : $M_{ua} = M_{ug} + N_u (d - h/2)$

$$M_{ua} = 0,09 + 0,3375 (0,8 - 0,15/2)$$

$$M_{ua} = 0,105 \text{ t.m}$$

$f_{c28} = 25 \text{ MPa} ; \quad f_{bu} = 14,2 \text{ MPa}$

$$\mu_{bu} = \frac{M_{ua}}{b d^2 f_{bu}} = \frac{0,105 \cdot 10^{-2}}{1 \cdot 0,13^2 \cdot 14,2} = 0,0044 < 0,3 \rightarrow A'u = 0$$

$\alpha = 1,25 (1 - \sqrt{1 - 2\mu_{bu}}) = 0,0055 < 0,259 \rightarrow \text{pivot A}$

$Z = d(1 - 0,4\alpha) = 0,129 \text{ m} ; \sigma_s = f_{su} = f_e/\gamma_s = 348 \text{ MPa}$

$A_u = M_{ua} / Z \cdot \sigma_s = 0,23 \text{ cm}^2$

$A_{ur} = A_u - N_{ua} / \sigma_s = 0,23 - 0,25 \cdot 10^{-2} / 348 = 0,17 \text{ cm}^2$

Calcul à l'ELS :

Centre de pression (Nature de la section) :

$$\left. \begin{aligned} e_o &= M_{su} / N_{su} = 0,06 / 0,25 = 0,24 \text{ m} \\ e_i &= h/6 = 0,15/6 = 0,025 \text{ m} \end{aligned} \right\} e_o > e_i \text{ donc S.P.C}$$

calcul de ferraillage :

$N_{serA} = N_{ser} = 0,25 \text{ t/ml}$

$M_{serA} = M_{ser} + N_{ser} (d - h/2) = 0,071 \text{ t.m}$

$\sigma_{bc} = 0,6 f_{c28} = 15 \text{ MPa}$

$\sigma_s = \min(2/3 f_e ; 150,7) = \min(2/3 \cdot 400 ; 150,7) = 240 \text{ MPa}$

$\alpha_{rd} = \frac{15 \sigma_{bc}}{15 \cdot \sigma_{bc} + \sigma_s} = 0,484 ; \mu_{rb} = \alpha_{rd} / 2 (1 - \alpha_{rd} / 3) = 0,203$

$M_{rb} = \mu_{rb} \cdot b_o d^2 \cdot \sigma_{bc} = 0,203 \cdot 1 \cdot (0,13)^2 \cdot 15 = 0,051 \text{ MN.m}$

on'a $M_{ser} < M_{rb} \rightarrow A'_{ser} = 0$

$A_{ser} = \frac{M_{ser} / A}{z_{rb} \cdot \sigma_s} ; z_{rb} = d (1 - \alpha_{rb} / 3)$

$A_{ser} = 0,27 \text{ cm}^2/\text{ml}$

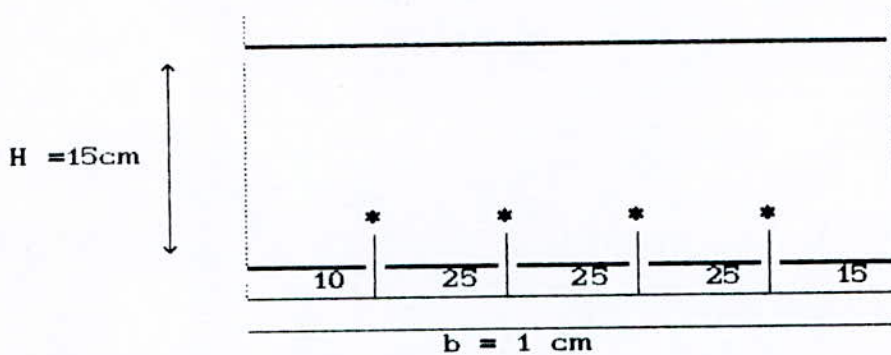
Ferraillage minimal (BAEL) : condition de non fragilité :

$$A_{min} = 0,23 \cdot b_0 \cdot d \cdot f_{t28} / f_e = 0,23 \cdot 1 \cdot 0,13 \cdot 2,1 / 400 = 1,57 \text{ cm}^2$$

Choix de finitif du ferraillage :

$$A_s = \max (A_{in} ; A_y ; A_{ser}) \rightarrow A_s = 1,57 \text{ cm}^2$$

soit 4T8/m espacées de 25 cm



Verification des contraintes de cisaillement :

On doit verifier que : $\tau_u \leq \bar{\tau}_u$

$$\tau_u = \frac{V_u}{b \cdot d} = \frac{1,5 \cdot Q}{bc \cdot d} = \frac{1,5 \cdot 0,1 \cdot 10}{1 \cdot 0,13} = 0,012 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau}_u = \min (0,1 ; f_{c28} ; 3 \text{ MPa}) = 2,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_u < \bar{\tau}_u = 2,5 \text{ MPa} \text{ vérifiée}$$

donc le ferraillage à l'effort tranchant nest pas ncessaire .

Verification au seisme :

D'apres R.P.A 88 Art 3.3.6

Les éléments des structures secondaires doivent être calculés sous l'action des forces horizontales suivant la formules .

$$F = 4 \cdot A \cdot C_p \cdot W_p$$

où :

* A : coefficient d'acceleration obtenue dans le tableau 1 (R.P.A 88)

{ groupe d'usage 2 \longrightarrow A = 0,15
 zone de moyenne sismicité (II)

* Cp : facteur de force horizontale pour les éléments secondaires donné par le tableau 5 (R.P.A : 88 page 44)

acrotère : élément en console \longrightarrow Cp = 0,8

* Wp : poids de l'acrotère , Wp = 0,25 t/ml

$$F_p = 4 \cdot 0,15 \cdot 0,8 \cdot 0,25$$

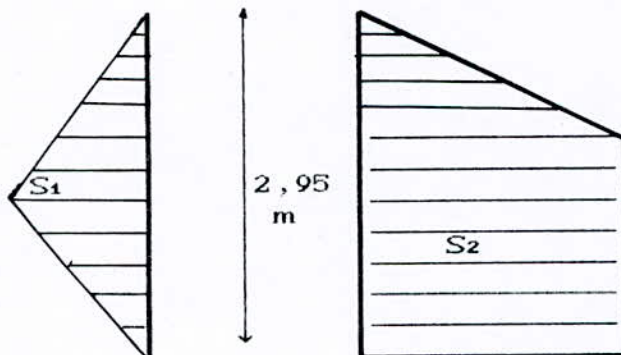
$$F_p = 0,12 \text{ t/ml}$$

soit $f = 1,5 \cdot Q = 1,5 \cdot 0,1 = 1,5 \text{ t/ml}$ (force de à la main courante) :

$F_p < F$ donc le calcul de l'acrotère sous F est le cas le plus défavorable .

POUTRE NOYEE

Les poutres noyées dans les planchers dalles sont destinées à soulager la dalle des charges transmises à cette dernière et lui servent d'appuis elles sont considérées comme des poutres simplement appuyées aux extrémités (encastrement partiel) .



S1 : surface revenant à la poutre noyée due à la dalle 3
 S2 : surface revenant à la p

La surface totale revenant à la poutre noyée est s .

$$S' = S'1 + S'2 = 3,26 + 4,32 = 7,46 \text{ m}^2$$

- Hauteur de la poutre = hauteur de la dalle = 16 cm .

- Condition sur la largeur de la poutre :

Il faut que $b \geq Vu / \bar{\tau}_u \cdot d$

$$Vu = Q \cdot l/2 = I (1,35g + 1,5Q) \cdot S/2l \cdot l/2 = 0,04 \text{ Mn}$$

$$\tau_u = \min(0,13 \cdot f_{ct0} ; 4 \text{ MPa}) = \min(0,13 \cdot 25 ; 4 \text{ MPa}) = 3,25 \text{ MPa}$$

$$b \geq \frac{0,04}{3,25 \cdot 0,14} = 0,09 \text{ cm} \quad \text{on prend } b = 15 \text{ cm}$$

$$P_{\text{poutre}} = b \cdot h \cdot \gamma_b = 0,15 \cdot 0,16 \cdot 2500 = 6 \cdot 10^{-3} \text{ Mn/ml}$$

$$P_{\text{dalle}} = 1232,7 \cdot 6,4 / 2,95 = 0,027 \text{ MN/ml}$$

$$q_u = 1,35 P_p + P_d = 0,028 \text{ MN/ml}$$

$$M_u = q_u l^2 / 8 = 0,03 \text{ MN.m}$$

DONC on a :

$$\text{En travée : } M_{tu} = 0,75 M_u = 0,023 \text{ MN.m}$$

$$\text{Sur appuis : } M_{au} = 0,5 M_u = 0,016 \text{ MN.m}$$

Ferraillage longitudinal :

Les caractéristiques de la poutre sont :

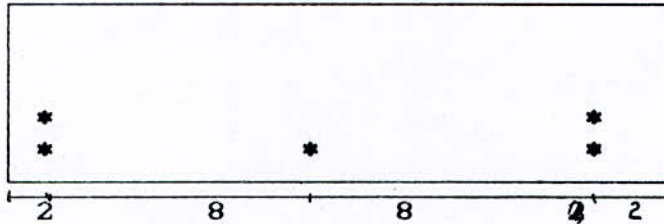
$$b = 0,15 \text{ m} ; h = 0,16 \text{ m} ; d = 0,14 \text{ m} ; \text{Aciers } F_{eE40} ; f_{bu} = 14,17 \text{ MPa}$$

zone	appui	travée
M_u (MN . m)	0,016	0,023
μ_{bu}	0,065	0,094
Pivot	A	A
α	0,085	0,124
z (m)	0,135	0,133
A_u (cm ²)	3,4 cm ²	4,97

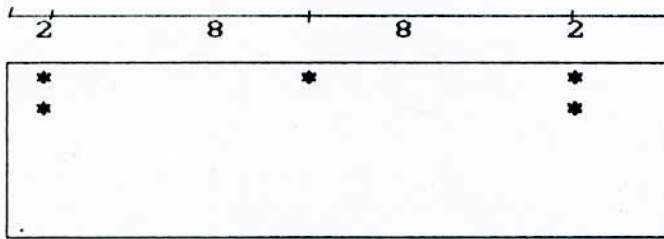
Condition de non fragilité :

$$A_s \geq 0,23 \cdot b_0 \cdot d \cdot f_{t28}/f_e = 0,25 \text{ cm}^2$$

Entravée : $A_{ut} = 4,97 \text{ cm}^2$ soit 5T12



Sur appui : $A_{ua} = 3,4 \text{ cm}^2$ soit 5T20



Ferraillage transversal :

$$V_u = q_u \cdot l/2 = 0,028 \cdot 2,95/2 = 0,0413 \text{ MN}$$

$$\tau_u = V_u/b.d = 0,0413/0,15 \cdot 0,14 = 1,96 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau}_u = \min (0,13 f_{c28} ; 4 \text{ MPa}) = 3,25 \text{ MPa}$$

$$\tau_u < \bar{\tau}_u$$

$$A_t/St \geq \frac{(\tau_u - 0,5 \cdot k) \cdot b}{0,8 \cdot f_e} \text{ pas de reprise de betonage } k = 0$$

On prend un cadre 8 et un etrier 8 $\longrightarrow A_t = 2,01 \text{ cm}^2$

$$St \leq \frac{A_t \cdot 0,8 \cdot f_e}{Z_u \cdot b} \longrightarrow St \leq \frac{2,01 \cdot 10 \cdot 0,8 \cdot 400}{0,15 \cdot 1,96} = 22 \text{ cm}$$

$$\bar{St} \leq \min (0,9d ; 40\text{cm}) \longrightarrow \bar{St} \leq 12,6 \text{ cm}$$

donc on prend $St = 10 \text{ cm}$

Verification du pourcentage minimum :

$$\left\langle \frac{A_t}{S_T} \right\rangle_{\min} \geq 0,4 \text{ b/fe}$$

$$\frac{2,01 \cdot 10^{-4}}{0,1} = 2 \cdot 10^{-9} < 0,4 \quad \frac{0,15}{400} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ c'est vérifiée .}$$

CALCUL DES PREDALLES

Le plancher R.D.C est constitué de predalles préfabriquées surmontées d'une couche de béton coulée sur place de sorte que l'épaisseur totale du plancher soit égale à 16 cm.

Les prédalles sont utilisées comme un coffrage perdu pour couler la dalle de compression.

Epaisseur des prédalles :

L'épaisseur minimale résulte de la condition d'enrobage $e_p > 5$ cm (BAEL 83 B761).

On prend :

Prédalle e_p : 7 cm

Dalle de compression : e_p : 9 cm

Principe de calculs :

Les prédalles sont calculées suivant trois phases :

1°/ Phase provisoire :

Les prédalles doivent être justifiées en phase de manitention (stockage et mise en place (B7 621 M)

2°/ Phase d'exécution :

Les prédalles sont soumises à leur poids propre et au poids du béton coulé (BAEL 83 . B 76 21.2)

3°/ Phase finale :

La prédalle travaille monolithiquement comme une dalle pleine et joue le rôle du plancher RDC (BAEL 83 B 7 6 2 2).

Calcul des sollicitations :

* Phase provisoire :

$$G = 0,07 \cdot 1 \cdot 2500 = 175 \text{ Kg/ml}$$

$$Q = 100 \cdot 1 = 100 \text{ Kg/ml}$$

$$\text{d'où : } q_u = 1,35 G + 1,5 Q$$

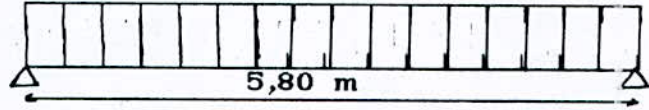
$$= 1,35 \cdot 175 + 1,5 \cdot 100$$

$$q_u = 386,25 \text{ Kg/ml}$$

$$q_{ser} = G + Q$$

$$= 175 + 100$$

$$q_{ser} = 275 \text{ Kg/ml}$$



$$M_{uo} = q_u l^2 / 8 \rightarrow M_u = 1,624 \text{ t.m}$$

$$M_{ser} = q_{ser} l^2 / 8 \rightarrow M_{ser} = 1,156 \text{ t.m}$$

$$V_u = q_u l / 2 \rightarrow V_u = 1,12 \text{ t}$$

* Phase d'exécution :

$$G = 0,16 \cdot 1 \cdot 2500 = 400 \text{ Kg/ml}$$

$$q_u = 1,35 G = 1,35 \cdot 400 = 540 \text{ Kg/ml}$$

$$M_u = q_u l^2 / 8 = 540 \cdot (5,8)^2 / 8 \rightarrow M_u = 1,428 \text{ t.m}$$

$$V_u = q_u l / 2 = 540 \cdot (5,8) / 2 \rightarrow V_u = 9,083 \text{ t}$$

* Phase finale :

$$G = 0,641 \text{ t/m}^2$$

$$Q = 0,175 \text{ t/m}^2 \text{ (voir charges et surcharges)}$$

$$q_u = 1,35 G + 1,5 Q$$

$$q_u = 1,128 \text{ t/ml}$$

$$q_{ser} = G + Q$$

$$q_{ser} = 0,816 \text{ t/ml}$$

$$M_u = q_u l^2 / 8 \rightarrow M_u = 4,74 \text{ t.m}$$

$$M_{ser} = q_{ser} l^2 / 8 \rightarrow M_{ser} = 3,43 \text{ t.m}$$

N.B : Vu l'importance des moments en phase finale , le calcul des prédalles se fera avec celui-ci :

Travée intermédiaire :

E. L. U :

$$M_{ua} = 0,5 M_{uo} = 2,37 \text{ t.m}$$

$$M_{ur} = 0,75 M_{uo} = 3,55 \text{ t.m}$$

E. L. S :

$$M_{ser} = 0,5 M_{ser} = 1,715 \text{ t.m}$$

$$M_{serT} = 0,75 M_{ser} = 2,57 \text{ t.m}$$

Ferrailage :

Les prédalles sont calculées en flexion simple avec une bande de 1 m de largeur .

Données :

$$h = 0,16 \text{ m}$$

$$b_o = 1 \text{ m}$$

$$d = 0,14 \text{ m}$$

$$f_{c28} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{bu} = 14,2 \text{ MPa}$$

$$\text{Acier FeE40} \longrightarrow f_e = 400 \text{ MPa}$$

fissuration peu nuisible

Les résultats sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Etapes	Appui	Travée
Mu (MN.m)	0,0237	0,0355
$\mu_{bu} = Mu / (b o d^2 f_{bu})$	0,085	0,128
$\alpha = 1,25 (1 - \sqrt{1 - 2\mu_{bu}})$	0,11	0,17
$z = d (1 - 0,4 \alpha)$	0,134	0,13
Pivot	A	A
ϵ_s	10 %	10 %
σ_s	348	348
A_s (cm ²)	2,92	4,45
A_s min	1,73	1,73
Choix d'aciers	6 ϕ 8	6 ϕ 10
Espacement	15	15

Vérification de la condition de non fragilité :

$$A_s > 0,23 b o d f_{t28} / f_e = 1,69 \text{ cm}^2$$

Condition vérifiée

Vérification de la flèche :

Calcul du moment d'inertie :

$$I_o = b h^3 / 12 + 15 A_s (h/2 - d)^2$$

$$I_o = 36 603 \text{ cm}^4$$

Le rapport de l'aire A_s , de la section des armatures tendues à l'aire de la section utile de la nervure est :

$$\rho = A_s / (b o d) = 4,45 \cdot 10^{-4} / (1,00 \cdot 0,144) = 3,09 \cdot 10^{-3}$$

Calcul du coefficient λ :

$$\lambda = 0,05 f_{t28} / (52 + 3b o / b) \rho \rightarrow \lambda = 6,79$$

$$\lambda_v = 2/5 \lambda_i \rightarrow \lambda_v = 2,71$$

Calcul du coefficient μ :

$$I_{fi}(G,Q) = I_o / (1 + \lambda_i \mu(G,Q)) = 12587,05 \text{ cm}^4$$

$$I_{fi}(G) = I_o / (1 + \lambda_i \mu(G)) = 18133,76 \text{ cm}^4$$

de la même façon on a :

$$I_{fv}(G,Q) = 20779,33 \text{ cm}^4$$

$$I_{fv}(G) = 26024,17 \text{ cm}^4$$

a°) Flèche instantanée sous (G + Q)

$$f_i = M_{ser}(G+Q) \cdot l^2 / (9 \cdot E_i I_{fi}) = 0,54 \text{ cm}$$

b°) Flèche instantanée sous (G) :

$$f_i = M_{ser}(G) \cdot l^2 / (9 \cdot E_i I_{fi}(G)) = 0,55 \text{ cm}$$

c°) Flèche différée sous (G)

$$f_v = M_{ser}(G) \cdot l^2 / (9 \cdot E_v I_{fv}(G)) = 1,13 \text{ cm}$$

d°) Flèche instantanée sous (P.P) :

$$f_i(PP) = M_{ser}(PP) \cdot l^2 / (9 \cdot E_i I_{fi})$$

$$q_{pp} = 0,16 \cdot 2500 \cdot 1 = 400 \text{ Kg/ml}$$

$$M_{ser/pp} = 0,85 (400 \cdot (5,8)^2 / 8) = 1,429 \text{ t.m}$$

$$\lambda_i = 6,79$$

$$\sigma_s = M_{ser} / (A_s (d - y_1/3))$$

$$= 1,429 \cdot 10^{-2} / (4,45 \cdot 108^{-4} (0,144 - 3,6 \cdot 10^{-2}/3))$$

$$\sigma_s = 243,28 \text{ MPa}$$

$$\mu = 1 - 1,75 \cdot 2,1 / (4 \cdot 3,09 \cdot 10^{-3} \cdot 243,28 + 2,1)$$

$$\mu = 0,28$$

D'où :

$$I_{fi} = I_o / (1 + \lambda_i \mu) = 36603 / (1 + 6,79 \cdot 0,28)$$

$$I_{fi} = 12616,50 \text{ cm}^4 \rightarrow f_i(P.P) = 0,30 \text{ cm}^2$$

La flèche totale est donnée par :

$$\Delta f_t = f_i(G+Q) + f_i(G) - f_v(G) - f_i(PP) = 0,34 \text{ m}$$

$$\bar{\Delta} f_t = 1 / 500 = 580 / 500 = 1,16 \text{ cm}$$

On a donc : $\Delta f_t < \bar{\Delta} f_t = 1,16 \text{ cm}$

La flèche est donc vérifiée

Vérification de la flèche en phase provisoire :

$$G = 2500 \cdot 0,16 \cdot 1 = 400 \text{ Kg/ml}$$

$$M_{ser} = (G l^2 / 8) \cdot 0,85$$

$$= 0,85 \cdot 400 \cdot 5,8^2 / 8 = 1,43 \text{ t.m}$$

$$M_{ser} = 1,43 \text{ t.m}$$

Soit la résistance caractéristique du béton après six (06) jours de la préfabrication des prédalles :

$$f_{cj} = 0,685 f_{c28} \text{ Log } (j+1)$$

$$f_{c6} = 0,685 \cdot 25 \cdot \text{Log } (7) = 14,47 \text{ MPa}$$

$$f_{tj} = 0,6 + 0,06 f_{cj} \Rightarrow f_{t6} = 1,47 \text{ MPa}$$

Module d'élasticité E_{tj} :

$$E_{tj} = 1100 \sqrt[3]{f_{tj}} \Rightarrow E_{tj} = 26804,98 \text{ MPa}$$

Contrainte d'acier en service :

$$\sigma_s = M_{ser} / (A_s \cdot Z)$$

$$= 1,43 \cdot 10^{-2} / (4,45 \cdot 0,09 \cdot 0,05 \cdot 10^{-4}) = 714,1 \text{ MPa}$$

Calcul de ρ :

$$\rho = A_s / (b_0 \cdot d) = 4,45 / (100 \cdot 5) = 8,9 \cdot 10^{-3}$$

Calcul de λ_i :

$$\lambda_i = 0,05 f_{cb} / ((2+3b/b_0) \rho) = 1,65$$

$$\lambda_i = 1,65$$

Calcul de μ :

$$\mu = 1 - 1,75 \cdot 1,47 / (4 \cdot 8,9 \cdot 10^{-3} \cdot 714,1 + 1,47)$$

$$\mu = 0,904$$

Calcul de l'inertie I_{fi} :

$$I_{fi} = I_0 / (1 + \lambda_i \mu) = 2992 / (1+1,65 \cdot 0,904)$$

$$I_{fi} = 1244,41 \text{ cm}^4$$

Calcul de la flèche :

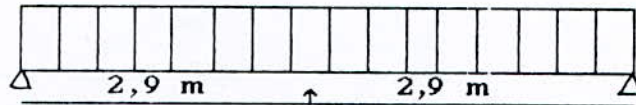
$$\begin{aligned} f_i &= M_{ser} \cdot l^2 / (9 E_t I_{fi}) \\ &= 1,43 \cdot 10^{-2} \cdot (5,80)^2 / (9 \cdot 26804,98 \cdot 1244,49 \cdot 10^{-8}) \\ f_i &= 7,58 \text{ cm} \end{aligned}$$

Flèche admissible :

$$\bar{f} = l / 500 = 580 / 500 = 1,16 \text{ cm}$$

d'où : $\bar{f} < f$ (non vérifiée)

La flèche n'est pas vérifiée, on prévoit donc des étais à mi-portée.



$$M_{ser} = 0,85 (400 \cdot (2,90)^2 / 8) \rightarrow M_{ser} = 357,43 \text{ Kg.m}$$

$$\sigma_s = M_{ser} / (A_s \cdot Z) = 357,43 \cdot 10^2 / (4,45 \cdot 0,9 \cdot 0,05 \cdot 10^2)$$

$$\sigma_s = 1784,92 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\rho = 8,90 \cdot 10^{-3}$$

$$\lambda_t = 1,65$$

$$\mu = 1 - 1,75 \cdot 1,47 / (4 \cdot 8,90 \cdot 10^{-3} \cdot 178,49 + 1,47)$$

$$\rightarrow \mu = 0,33$$

$$I_{fi} = I_o / (1 + \lambda_t \mu) = 2994 / (1 + 1,65 \cdot 0,33) = 1938,49 \text{ cm}^4$$

$$f_i = M_{ser} \cdot l^2 / (9 E_t \cdot I_{fi})$$

$$= 3,47 \cdot 10^{-2} \cdot (5,80)^2 / (9 \cdot 268049,8 \cdot 1938,49 \cdot 10^{-8})$$

$$f_i = 0,025 \text{ cm}$$

$$\bar{f} = l / 500 = 290 / 500 = 0,58 \text{ cm}$$

D'où $f < \bar{f}$ condition vérifiée

Vérification sous l'effort tranchant :

On doit vérifier que : $\tau_u = V_u / (b_o d) \leq 0,05 f_{ct0} = 1,25$

$$V_u = (1,35 G + 1,5 Q) l/2$$

$$V_u = 1,128 \cdot 5,8/2 \rightarrow V_u = 3,271 \text{ t}$$

$$\tau_u = 3,271 / 0,14 \cdot 1 = 0,23 \text{ MPa}$$

donc $\tau_u < \bar{\tau}_u = 1,25 \text{ MPa}$

condition vérifiée

Aciers de coutures :

D'après BAEL 83 Art 5.3.3 , les armatures de couture ne sont pas nécessaires si les conditions suivantes remplies :

* L'élément en cause n'est soumis qu'à des charges réparties, mais elle est susceptible d'effet dynamique ou de chocs.

* la contrainte tangentielle calculée sous sollicitations ultime n'excede pas 0,35 MPa.

* La surface de prédalle est traitée pour lui donner une rugosité importante.

Dans notre cas toutes les conditions sont vérifiées , donc les armatures de couture ne sont pas prévues mais par mesure de sécurité , on prévoit des armatures de couture à partir des formules données par le BAEL 83 Article A 5.3.1.2.

$$Ac/St \cdot f_e/\gamma_s \geq Nu$$

tel que : $Nu = V_u / 0,9 d \cdot A_{s1}/A_s$ c'est l'effort de glissement

Ac : section d'une nappe de couture

A_{s1} : section totale des armatures tendues en travée

$$A_{s1} = 4,45 \text{ cm}^2$$

A_{s2} : section totale des armatures tendues en appuis

$$A_{s2} = 2,92 \text{ cm}^2$$

$$Nu = 3,271 / (0,9 \cdot 0,144) \cdot 2,92/4,45 = 16,56 \text{ t}$$

On doit avoir :

$$Ac/St \geq Nu \cdot \gamma_s / f_e \rightarrow Ac/St \geq 1,15/215 \cdot 16,56 \cdot 10^{-2}$$

$$Ac/St \geq 8,86 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$FeE22 \text{ 5Aciers doux } \rightarrow f_e = 215 \text{ MPa}$$

d'après BAEL 83 Art B7 . 6; 2; 3

$$St \leq 3 h = 3 \cdot 0,16 = 0,48 \text{ m}$$

Soit $S_t = 25 \text{ cm}$

$$A_c \geq 0,25 \cdot 8,86 \cdot 10^{-4}$$

$$A_c \geq 2,22 \text{ cm}^2 \quad \text{soit } 5 \phi 8 \text{ (A = 2,51 cm}^2\text{)}$$

Ils seront disposées dans les tiers (1/3) extrêmes avec un pas $\leq h \leq 15 \text{ cm}$.

Calcul des aciers de levage :

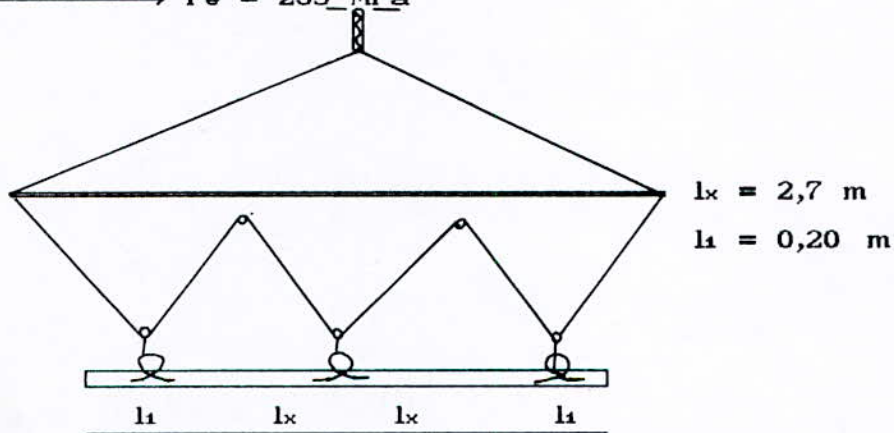
Les boucles de levage doivent être ancrées sous les armatures principales pour éviter toutes déformations des prédalles .

L'effort sollicitant les boucles doit être majoré de 20% pour l'éventuel effet de basculement de la grue durant le levage.

D'où : $R'_{\max} = 1,2 R_{\max}$

On utilise des aciers doux plus maleables que les H.A et présentant un grand palier de palasticité.

FeE24 \longrightarrow $F_e = 235 \text{ MPa}$



Poids de la prédalle :

$$P = 0,07 \cdot 1,00 \cdot 2500 \rightarrow P = 175 \text{ Kg/ml}$$

D'où :

$$R = 3,625 \cdot 175 = 634,38 \text{ Kg}$$

$$A_s \geq R'_{\max} / 2f_e = 634,38 \cdot 1,2 / (2 \cdot 235) = 1,61 \text{ cm}^2$$

On choisit des $\phi 6$.

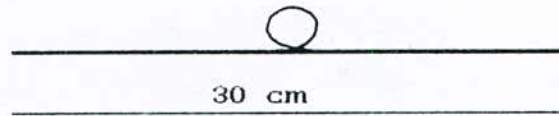
On a donc 6 boucles de $\phi 6$

Calcul de la longueur de scellement :

$$\bar{\tau} = 0,6 \psi^2 s \cdot f_{t20} = 1,26 \text{ MPa} \quad (\psi = 1 ; \text{Rond lisse})$$

$$\text{d'où } l_s = \phi f_e / 4\tau = 0,6 \cdot 2,35 / (4 \cdot 1,26) = 27,9 \text{ cm}$$

on prend $l_s = 30 \text{ cm}$



CALCUL DES ESCALIERS

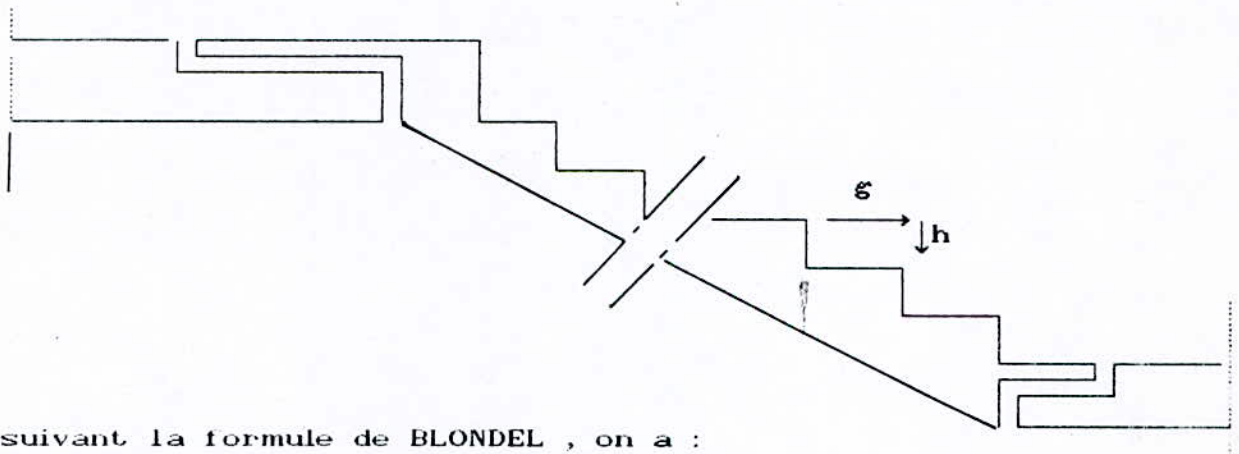
INTRODUCTION :

Les escaliers prévus sont constitués de volées préfabriquées en béton armé reposant sur des paliers coulés sur place . La jonction palier-volée est assurée par des bequets qui par scellement s'opposent à l'effort transmis par la paillasse au palier .

Le choix de ce type d'escaliers a été retenu vu les avantages suivants :

- Rapidité d'exécution .
- Revêtement incorporé .
- Utilisation immédiate de l'escalier .

Prédimensionnement :



suivant la formule de BLONDEL , on a :

$$60 \leq g + 2h \leq 64$$

La hauteur entre étages est : $h_e = 3 \text{ m} \longrightarrow 20$ contremarches de 15 cm .

$$h = 15 \text{ cm} \quad 60 \leq g + 2.15 \leq 64 \iff 30 \leq g \leq 34$$

$$\text{on prend pour } g = 30 \text{ cm}$$

$$\text{tg} \alpha = h/g = 15/30 = 0,5 \iff \alpha = 26,57^\circ$$

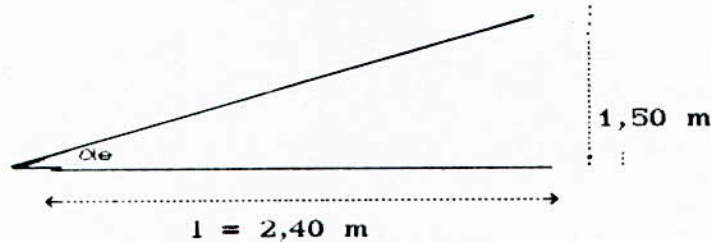
$$\cos\alpha = 2,40/1 \Leftrightarrow l = 2,40/\cos\alpha \Leftrightarrow l = 2,68 \text{ m}$$

Etude de la pailleasse :

Epaisseur de la pailleasse :

Pour éviter une grande flexibilité , ep doit être supérieur à 10 cm avec :

$$1/30 \leq ep \leq 1/20$$



$$l = 2,68 \text{ m} \Leftrightarrow 2,68/30 \leq ep \leq 2,68/20$$

$$\Leftrightarrow 8,93 \leq ep \leq 13,4 \text{ cm}$$

on prend $ep = 12 \text{ cm}$

Evaluation des charges :

Largeur de la pailleasse : $l = 1,45 \text{ m}$

$$\left. \begin{array}{l} G = 0,566 \text{ t/m}^2 \\ Q = 0,25 \text{ t/m}^2 \end{array} \right\} \text{ voir descente de charge .}$$

D'ou l'action permanente par metre lineaire :

$$G = 0,566 \cdot 1,45 = 0,921 \text{ t/ml}$$

$$Q = 0,25 \cdot 1,45 = 0,363 \text{ t/ml}$$

Combinaisons d'actions :

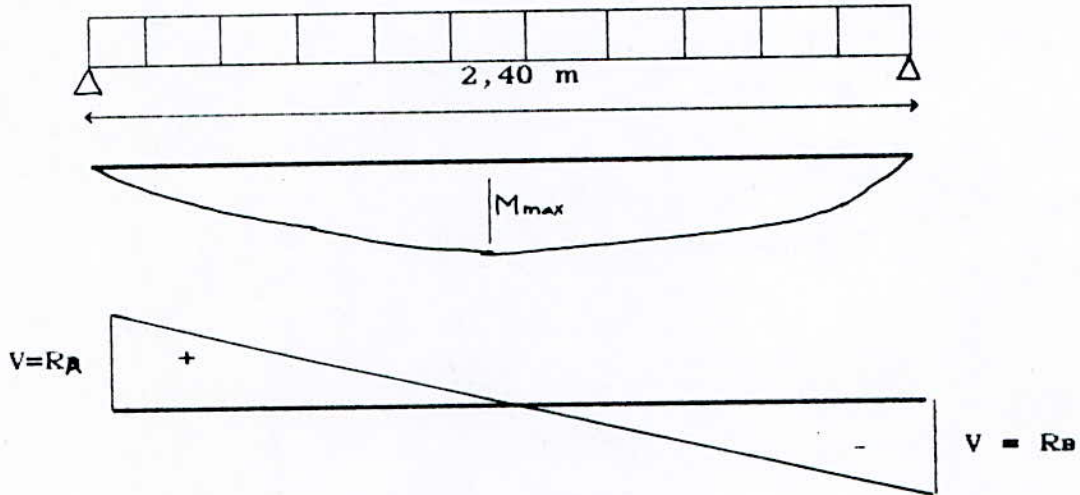
$$\text{ELU : } Pu = 1,35G + 1,5Q$$

$$Pu = 1,65 \text{ t/ml}$$

$$\text{ELS : } Pser = G + Q$$

$$Pser = 1,18 \text{ t/ml}$$

Calcul des sollicitations :



Moment de flexion à mi-travée :

$$M_{u\max} = \frac{P_u l^2}{8} = \frac{1,65 \cdot (2,40)^2}{8}$$

$$M_{u\max} = 1,188 \text{ t.m}$$

$$M_{u\max} = \frac{P_{ser} l^2}{8} = \frac{1,184 \cdot (2,40)^2}{8}$$

$$M_{ser\max} = 0,852 \text{ t.m}$$

Effort tranchant :

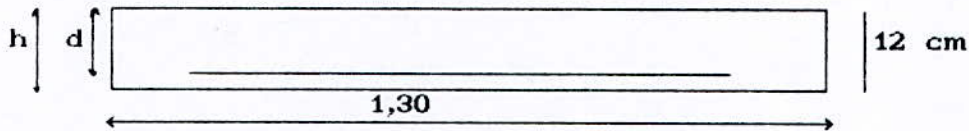
$$V_u = P_u \cdot l/2 = 1,65 \cdot 2,40 / 2$$

$$V_u = 1,98 \text{ t}$$

Calcul du ferrailage :

Ferrailage de la paillasse (volée) :

La volée d'escalier est assimilée à une poutre isostatique simplement appuyée, on calcule le ferrailage à l'ELU la fissuration est peu nuisible (les escaliers se trouvant à l'intérieur du bâtiment)



$h = 12 \text{ cm}$

$d = 9 h / 10 = 10,8 \text{ cm}$

- $b_0 = 145 \text{ cm}$

- $f_{bu} = 0,85 \cdot f_{c28} / \gamma_b = 14,167 \text{ MPa}$

- Acier FeE40

- $\gamma = M_u / m_{ser} = 1,188 / 0,852 = 1,39$

$\gamma = 1,39$

$\mu_{lu} = 0,3367 \gamma - 0,1711$; $\mu_{bu} = M_u / b_0 d^2 f_{bu}$

$\mu_{lu} = 0,297$

$\mu_{bu} = 0,0564$

$\mu_{bu} < \mu_{lu} \rightarrow A'_{u} = 0$

$\mu_{bu} < 0,186 \rightarrow \text{Pivot A}$

$\epsilon_s = 10\%$

$\sigma_s = f_e / \gamma_s$ Acier naturel

$\sigma_s = 348 \text{ MPa}$

$\alpha = 1,25 (1 - \sqrt{1 - 2 \mu_{bu}})$

$= 1,25 (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,0564})$

$\alpha = 0,0726$

$z = d (1 - 0,4\alpha) \rightarrow z = 0,1048 \text{ m}$

$A_u = \frac{M_u}{z \cdot \sigma_s} = \frac{1,188 \cdot 10^{-2}}{0,1048 \cdot 348}$

$A_u = 3,25 \text{ cm}^2$

Espacement des armatures :

D'apres l'article 8.243 BAEL83

$e \leq \min(3h ; 33\text{cm})$

$e \leq \min(3 \times 12 ; 33) \rightarrow e = 30 \text{ cm}$

$A_u = 3,25 \text{ cm}^2 / \text{ml}$

On prend 5T10 ($A = 3,92 \text{ cm}^2$)

Avec un espacement de 20 cm .

Vérification de la condition de non fragilité :

$$A_{min} = 0,23 b_0 d f_{t28}/f_e \quad \text{avec } f_{t28} = 2,1 \text{ MPa}$$

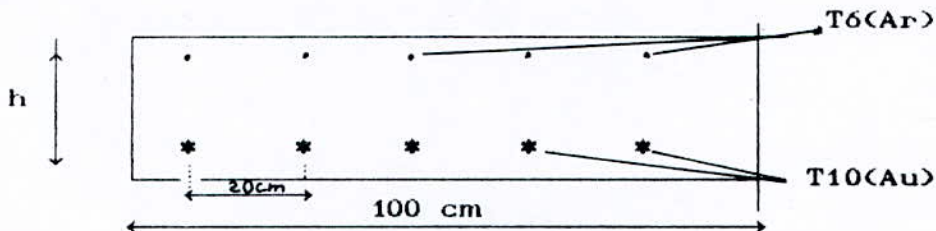
$$A_{min} = 1,695 \text{ cm}^2$$

Armatures de repartition :

$$A_r = 1/4 A_u = 0,98 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

On prend : ST6 /ml = 1,43 cm² avec :

un espacement e = 20 cm



Ferraillage transversal :

Pour ne pas avoir des armatures transversales il faut vérifier ces deux conditions :

- Pas de reprise de bétonnage .
- $\tau_u < 0,05 f_{c28}$

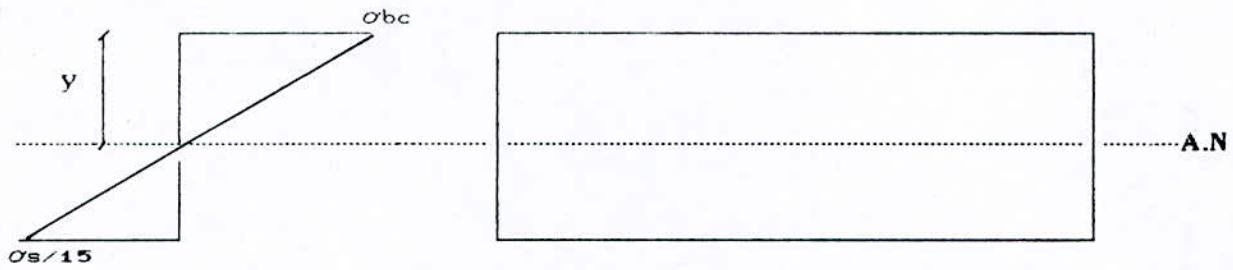
La volée sera coulé en totalité donc il n'aura pas de reprise de bétonnage .

$$\left. \begin{array}{l} \tau_u = V_u / b_0 d = 0,145 \text{ MPa} \\ 0,05 f_{c28} = 1,25 \text{ MPa} \end{array} \right\} \rightarrow \tau_u < 0,05 f_{c28}$$

Alors les armatures transversales ne sont pas nécessaires puisque les deux conditions sont vérifiées :

Vérification de la contrainte de compression dans le béton :

Equation des moments statiques :



$$\begin{aligned} 1/2 b_0 y^2 + 15 A_s (y - d) &= 0 \\ 72,5 y^2 + 15 \cdot 3,25 (y - 10,8) &= 0 \\ 72,5 y^2 + 48,75 y - 526,5 &= 0 \\ \sqrt{\Delta} = 393,79 \Rightarrow y &= 2,38 \text{ cm} \end{aligned}$$

Inertie efficace :

$$\begin{aligned} I_1 &= b y^3 / 12 + 15 A_s (d - y)^2 \\ A_s &= 3,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2, \quad y = 0,0238 \text{ m}, \quad b = 1,45 \text{ m} \\ I_1 &= 3,62 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Calcul de la contrainte du béton à la compression :

$$\begin{aligned} \sigma_{bc} &= M_{ser} \cdot y / I_1 = 0,852 \cdot 10^{-2} \cdot 0,0238 / 3,62 \cdot 10^{-5} \\ \sigma_{bc} &= 5,6 \text{ MPa} \\ \bar{\sigma}_{bc} &= 0,6 f_{c28} = 15 \text{ MPa} \\ \sigma_{bc} &< \bar{\sigma}_{bc} \end{aligned}$$

Donc il n'y a pas risque d'écrasement du béton dans la partie comprimée.

Vérification de la flèche :

Le calcul de la flèche se fait à l'ELS.

$$M_{ser} = 0,852 \cdot 10^{-2} \text{ MN.m}$$

Moment d'inertie de la section rendue homogène : I₀

$$\begin{aligned} I_0 &= b_0 h^3 / 12 + 15 A_s (h/2 - d)^2 \\ I_0 &= 1,45 \cdot (0,12)^3 / 12 + 15 \cdot 3,92 \cdot 10^{-4} (0,12/2 - 0,108)^2 \end{aligned}$$

$$I_0 = 2,22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

Coefficient instantané λ_i :

$$\rho = A_s / b_0 d = 3,92 / (1,45 \cdot 10,8) = 2,5 \cdot 10^{-3}$$

$$\lambda_i = 0,05 f_{ti} / 5\rho \rightarrow \lambda_i = 8,4$$

Contrainte d'acier :

$$\sigma_s = M_{ser} / (A_s (d - y_1/3))$$

$$= 0,852 \cdot 10^{-2} / (3,92 \cdot 10^{-4} (0,108 - 0,0238/3))$$

$$\sigma_s = 217,20 \text{ MPa}$$

Coefficient μ :

$$\mu = 1 - 1,75 f_{t28} / (4 \rho \sigma_s + f_{t28})$$

$$\mu = 1 - 1,75 \cdot 2,1 / (4 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 217,20 + 2,1)$$

$$\mu = 0,14$$

Moment d'inertie fictif instantané :

$$I_f = I_0 / (1 + \lambda_i \mu) = 2,22 \cdot 10^{-4} / (1 + (8,4 \cdot 0,14))$$

$$I_f = 1,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

la flèche f_3 sans chargement instantané sera :

$$f_3 = M_{ser} l^2 / (0,9 \cdot 10 E_t I_f)$$

$$= 0,852 \cdot 10^{-2} (2,40)^2 / (0,9 \cdot 10 \cdot 32164,19 \cdot 1,02 \cdot 10^{-4})$$

$$f_3 = 1,66 \cdot 10^{-3} \text{ m (sous G+Q)}$$

Flèche instantanée sous G :

$$\lambda_i = 8,4 ; M_{ser} = 0,591 \text{ t.m}$$

$$\sigma_s = M_{ser} / A_s (d - y/3) = 591 \cdot 10^{-5} / (3,92 \cdot 10^{-4} (0,108 - 0,0238/3))$$

$$\sigma_s = 150,66 \text{ MPa}$$

$$\mu = 1 - 1,75 \cdot 2,1 / (4 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 150,66 + 2,1)$$

$$\mu < 0 \rightarrow \mu = 0$$

$$I_{fi} = I_0 = 2,22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$f_1 = M_{ser} \cdot l^2 / (0,9 \cdot 10 \cdot E_t \cdot I_{fi})$$

$$= 591 \cdot 10^{-5} (2,40)^2 / (0,9 \cdot 10 \cdot 32164,19 \cdot 2,22 \cdot 10^{-4})$$

$$f_1 = 5,29 \cdot 10^{-4} \text{ m (sous G)}$$

Flèche différée sous G :

$$\lambda_u = 2/5 \quad \lambda_t = 2/5 \cdot 8,4 = 3,36$$

$$I_{ft} = I_0 / (1 + \lambda_t \mu) \quad \text{avec } \mu = 0$$

$$\rightarrow I_{ft} = I_0 = 2,22 \cdot 10^{-4}$$

$$f_2 = f_1 = 5,29 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

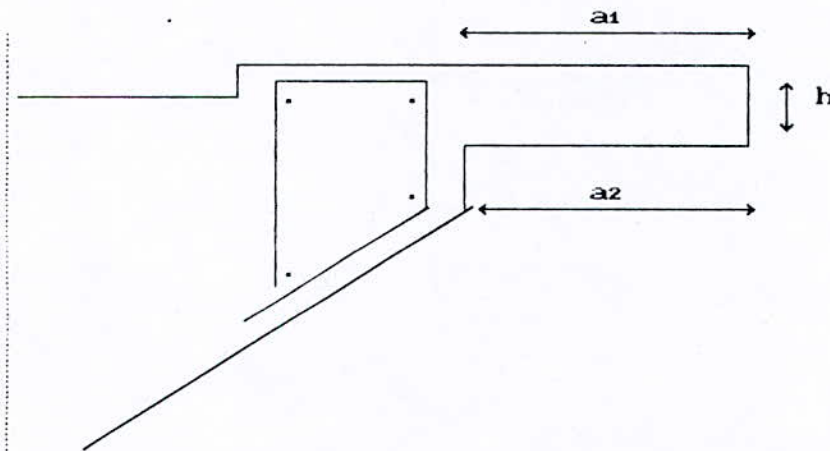
$$\Delta f_t = f_3 + f_2 + f_1 = 2,72 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\bar{\Delta} f = 1/500 = 2400/500 = 4,8 \text{ mm}$$

$\Delta f_t < \bar{\Delta} f \Rightarrow$ la flèche est vérifiée

Calcul du ferrailage des bequets :

On désigne le ferrailage des bequets à l'effort tranchant car ce dernier est maximal aux bequets.



Recommandations du C.T.C :

$$h \geq 7 \text{ cm} \quad \text{on prend } h = 8 \text{ cm}$$

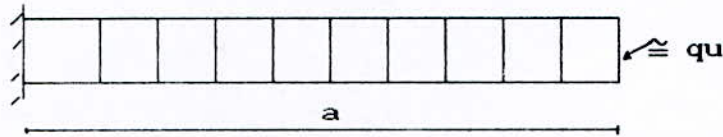
$$a_2 \geq 10 \text{ cm} \quad \text{on prend } a_2 = 12 \text{ cm}$$

$$a_1 = a_2 + 2 \text{ cm} \Rightarrow = 14 \text{ cm} \quad (2 \text{ cm : enrobage})$$

Le bequet est considéré comme une console soumise à la réaction d'appui. La portée sera déterminée comme suit :

$$a = \text{Max} (a_1 ; a_2 + 3 \text{ cm})$$

$$a = \text{Max} (14 ; 15) \rightarrow a = 15 \text{ cm}$$



$$q_u = 1,98 / 0,15 = 0,132 \text{ MN/m}$$

$$q_u = 0,132 \text{ MN/m}$$

Remmandation du CTC :

Majoration de la charge de 40% pour la pose des armatures de suspension .

$$q'_u = 1,4 q_u = 0,1848 \text{ MN/m}$$

Moment d'encastrement :

$$M_u = q'_u \cdot l^2 / 2 = 0,1848 \cdot 0,15^2 / 2$$

$$M_u = 2,08 \cdot 10^{-3} \text{ MN.m}$$

Ferraillage :

$$\mu_{bu} = M_u / (b_0 d^2 f_{bu}) = 2,08 \cdot 10^{-3} / (1,45 (0,072)^2 14,2)$$

$$\mu_{bu} = 1,95 \cdot 10^{-2}$$

$$\epsilon_s = 10 \%. \quad \sigma_s = f_e / \gamma_s = 348 \text{ MPa}$$

$$\alpha = 1,25 (1 - \sqrt{1 - 2\mu_{bu}}) \rightarrow \alpha = 0,025$$

$$z = d (1 - 0,4 \alpha) \rightarrow z = 0,071 \text{ m}$$

$$A_u = M_u / (z \cdot \sigma_s) = 2,08 \cdot 10^{-3} / (0,071 \cdot 348)$$

$$A_u = 0,84 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_s \geq 0,23 b_0 d f_{t28} / f_e$$

$$A_s = 1,26 \text{ cm}^2$$

non vérifiée , on prend $A_s = 1,26 \text{ cm}^2 \rightarrow 7T6 (1,97 \text{ cm}^2)$ avec un espacement $e = 20 \text{ cm}$.

Armatures de répartition :

$$A_r = A_s/4 = 0,282 \text{ cm}^2, \quad \text{on prend } 2 \phi 6$$

Ferraillage transversal :

$$v'u = 1,4 V_u = 1,4 \cdot 1,98 \cdot 10^{-2} = 2,77 \cdot 10^{-2} \text{ MN}$$

$$\tau'u = V'u / b_0 d = 2,77 \cdot 10^{-2} / (1,45 \cdot 0,072) = 0,27 \text{ MPa}$$

$$\tau'u = 0,27 \text{ MPa}$$

$$\tau'u < 1,25 \text{ MPa}$$

→ les armatures transversales ne sont pas nécessaires (pas de reprise de bétonnage).

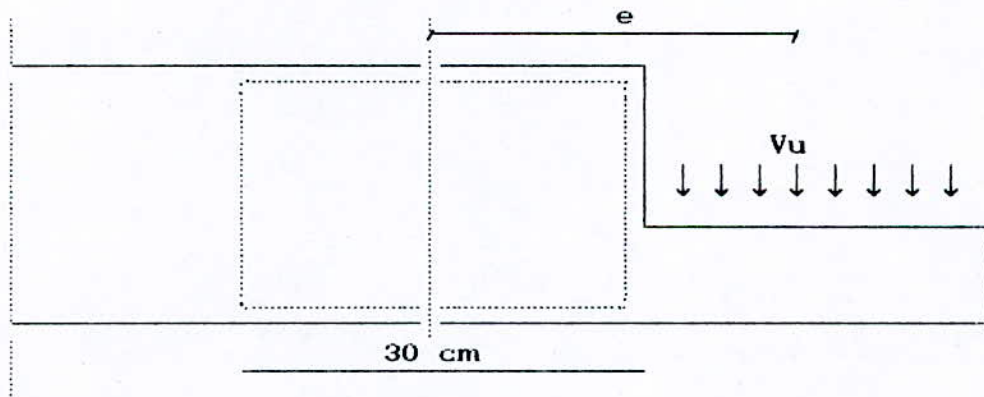
Ferraillage de la poutre palière :

La poutre palière supporte :

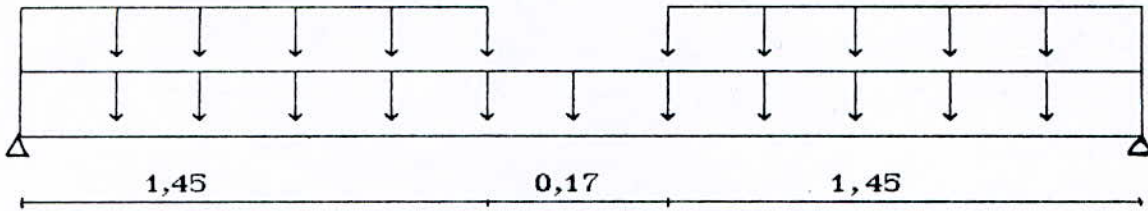
- son poids propre G_1 et la surcharge Q .
- la réaction des volées G_2 .
- Le couple de torsion C .

$$C = V_u \cdot e$$

On se fixe : $b_0 = 30 \text{ cm}$



SCHEMA STATIQUE DE CALCUL



$$G_1 = 0,30 \cdot 0,20 \cdot 2,5 = 1,5 \text{ t/ml}$$

$$G_2 = Vu/1,45 = 1,98 \cdot 10^{-2} / 1,45 = 1,365 \text{ MN/ml}$$

$$Q = 0,3 \cdot 0,250 \cdot 1 = 0,075 \text{ t/ml}$$

$$\begin{cases} q_1 = 1,35 G_1 + 1,5Q = 0,3375 \text{ t/ml} \\ q_2 = 1,365 \text{ t/ml} \end{cases}$$

Calcul des sollicitations :

On considère en premier lieu que la poutre est simplement appuyée puis on tiendra compte d'un encastrement partiel dû à la liaison palier-volée :

$$M_{o1} = Q_1 l^2/8 = 0,3375 \cdot (3,05)^2 / 2 = 0,39 \cdot 10^{-2} \text{ NM.m}$$

$$M_{o2} = Q_1 l_1^2/2 = 1,3650 \cdot (1,45)^2 / 2 = 1,435 \cdot 10^{-2} \text{ NM.m}$$

$$M_o = M_{o1} + M_{o2} = 1,825 \cdot 10^{-2} \text{ MN.m}$$

$$V_{uo} = q_1 l/2 + q_2 l_1 = 0,3375 \cdot 3,05/2 + 1,365 \cdot 1,45$$

$$V_{uo} = 2,49 \cdot 10^{-2} \text{ MN}$$

En tenant compte de l'encastrement partiel on aura :

$$\text{En appui : } M_a = 0,3 M_o = 0,547 \cdot 10^{-2} \text{ MN}$$

$$\text{en travée = } M_t = 0,95 M_o = 1,733 \cdot 10^{-2} \text{ MN}$$

Ferraillage :

En appui :

$$h = 16 \text{ cm} ; d = 14,4 \text{ cm} ; b_o = 30 \text{ cm}$$

$$\mu_{bu} = \frac{M_a}{b_o d^2 f_{bu}} = 0,061$$

$$\alpha = 1,25 (1 - \sqrt{1 - 2\mu_{bu}}) = 0,078$$

$$z = d(1 - 0,4\alpha) = 0,139$$

$$\text{Pivot a} \longrightarrow A_s = M_a / z \cdot \sigma_s = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$A_{min} = 0,23 b_0 d f_{t28}/f_e = 0,52 \text{ cm}^2$$

En travée :

$$\mu_{bu} = 0,161 ; \alpha = 0,221$$

$$z = 0,131 \text{ m}$$

$$\text{Pivot A} \longrightarrow A_s = 3,128 \text{ cm}^2$$

$$A_{min} = 0,52 \text{ cm}^2$$

Ferraillage de torsion :

$$C = V_u \cdot e/1,45 = 2,49 \cdot 10^{-2} \cdot 0,2/1,45 = 3,43 \cdot 10^{-3} \text{ MN.m}$$

Torsion : $T_u = 1,3 C$

$$T_u = 4,46 \cdot 10^{-3} \text{ MN.m}$$

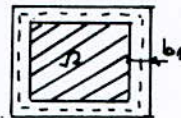
On remplace la section réelle pleine par une section fictive creuse dont l'épaisseur de la paroi est égal à b_1 (d'après Art A54.2.2

$$b_1 = h/6 = 16/6 = 2,67 \text{ cm}$$

L'aire " Ω " du contour tracé à une épaisseur de la paroi fictive est :

$$\Omega = (h-b_1)(b_0-b_1)$$

$$\Omega = 364,31 \text{ cm}^2$$



D'où : $\tau'_{u2} = T_u/2\Omega b_1$: contrainte de cisaillement

$$= \frac{4,46 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 364,31 \cdot 10^{-4} \cdot 2,67 \cdot 10^{-2}}$$

$$\tau'_{u2} = 2,29 \text{ MPa}$$

Section d'armature transversale (A5.44)

$$\frac{A_{t2}}{S_{t2}} \geq \frac{T_u}{2 \Omega \sigma_s} = \frac{4,46 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 364,31 \cdot 10^{-4} \cdot 348} = 1,75 \cdot 10^{-4}$$

Section d'armature longitudinales

Soit η le périmètre de l'aire Ω :

$$\eta = (27,33 + 13,33) \cdot 2$$

$$\eta = 81,32 \text{ cm}$$

$$A_{s.l}/\eta = T_u/2\Omega\sigma_s = 1,75 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$\rightarrow A_{s.l} = 1,42 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Effort tranchant :

$$\tau_{u1} = V_u/b_0 d = \frac{2,49 \cdot 10^{-2}}{0,3 \cdot 0,144} = 0,576 \text{ MPa}$$

$$\tau_{u1} < 0,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{Max} [\tau_{u1}/2 ; 0,4 \text{ MPa}] = 0,4 \text{ MPa}$$

Pas de reprise de bétonnage ($0,4 \text{ MPa} < 1,25 \text{ MPa}$)

$$A_{t1}/S_{t1} \geq 0,4 b_0/f_e = 0,4 \cdot 0,3/400 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$A_{t1}/S_{t1} \geq 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Ferraillage final de la poutre palière :

$$\text{En travée : } A_t = A_s + A_{s.l} = (3,128 + 1,42) = 4,548 \text{ cm}^2$$

$$\text{A l'appui : } A_a = A_s + A_{s.l} = (1,13 + 1,42) = 2,55 \text{ cm}^2$$

On prend : $A_t = 4\text{HA}14$

$$A_a = 4\text{HA}10$$

2°/ Ferraillage transversal :

$$A_t/S_t = A_{t1}/S_{t1} + A_{t2}/S_{t2} = 3 \cdot 10^{-4} + 1,75 \cdot 10^{-4} = 4,75 \text{ cm}^2$$

$$S_t \leq \min(0,9d ; 40\text{cm}) = 12,96 \text{ cm}$$

$$\text{on prend } S_t = 10 \text{ cm}$$

$$A_t = 4,75 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \cdot 10^{-2} = 0,475 \text{ cm}^2$$

On adoptera :

$$A_t = 206 = 0,56 \text{ cm}^2$$

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

Verification de la condition de cisaillement :

$$\tau_{\text{total}} : \tau_{u1} + \tau_{u2} = 0,576 + 2,29$$

$$\tau_{total} = 2,866 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau}_u = \text{Min} (0,13 f_{cz0} ; 4\text{MPa}) = 3,25 \text{ MPa}$$

$\tau_u < \bar{\tau}_u \Rightarrow$ la contrainte de cisaillement est vérifiée .

Calcul des boucles de levage :

Pendant le levage des volées, on doit tenir compte de l'effort de basculement, généralement on prend une majoration de 20% sur le poids la volée .

$$P_u = 1,98 \text{ t}$$

Vérification de la flèche :

$$\left. \begin{array}{l} (1) P_u = 1,98 \text{ t} \\ (2) q_u = 1,184 \text{ t} \end{array} \right\} P_u < q_u$$

(1) : Phase de manutention

(2) : Phase de service .

La section d'acier trouvée précédemment résiste lors du levage .

Aciers de levage :

La volée sera levée par 4 boucles
effort total :

$$F = 1,98 \cdot 2,40 = 4,752 \text{ t}$$

Pour chaque boucle , on aura $F/4 = 1,188 \text{ t}$

La boucle est sollicité en traction simple

Calcul à l'ELS (F.P)

$$\sigma_s = F/A_{ser} \leq \bar{\sigma}_s \Rightarrow A_{ser} \geq F/\bar{\sigma}_s$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Acier } f_e E24 \\ f_e = 240 \text{ MPa} \end{array} \right\} \bar{\sigma}_s = \text{Min} (2/3 f_e ; 150\mu) = 160 \text{ MPa}$$

$$A_{ser} \geq \frac{1,188 \cdot 10^{-2}}{160} = 0,74 \text{ cm}^2$$

On prendra :

boucle ϕ 14
FeE40r

LES DALLES

Définition :

Les dalles sont des pièces minues et planes dont l'épaisseur est relativement faible par rapport à leurs dimensions en plan , elles sont destinées essentiellement au cheminement des charges verticales aux éléments porteurs.

Rôle des dalles :

Elles jouent le rôle :

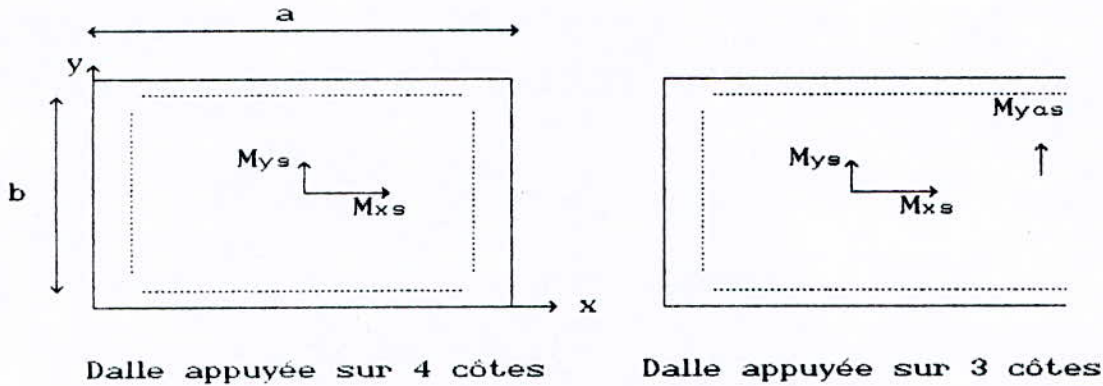
- * de dalle porteuse pour l'étage considéré.
- * de toit pour l'étage sous adjacent .
- * d'écran permettant le confort de l'habitant.
- * d'élément de stabilité , destiné essentiellement au cheminement des charges verticales aux éléments de contreventements.

Méthode de calcul :

On adopte la méthode de Mr R. BARRES qui est basée sur la résolution de l'équation de Lagrange et qui tient compte du coefficient de poisson μ et le rapport $\gamma = a/b$.

Principe de calcul :

Le calcul est basé sur l'évaluation des sollicitations en supposant que la dalle soit articulée sur le contour , puis on procédera à la ventilation de ces sollicitations sur la travée et les appuis (compte tenu de l'encastrement plancher-voile).



1er étape : calcul des moments isostatiques :

- $M_{xs} = \mu_{xs} \cdot q \cdot a^2$ moment dans la direction (x-x) avec $x = a/2$;
 $y = b/2$.
- $M_{ys} = \mu_{ys} \cdot q \cdot b^2$ moment dans la direction (y-y) avec $x = a/2$;
 $y = b/2$.
- $M_{yas} = \mu_{yas} \cdot q \cdot b^2$ moment dans la direction (y-y) avec $x = a$;
 $y = b/2$.

Les coefficients multiplicateurs (μ_{xs} ; μ_{ys} et μ_{yas}) sont tirés à partir des tables de BARRES en fonction de $\gamma = a/l$ et le coefficient de poisson μ .

$\mu = 0$ à l'ELU ; $\mu = 0,2$ à l'ELS

2eme étape : Ventilation des moments isostatiques
(prise en compte de la continuité)

Selon les règlements BAEL 83 Art 82.83 ; on doit toujours vérifier : $M_t + (M_c + M_v)/2 \geq 1,25 M_o$

Nous adoptons :

travée de rive : $M_e = 0,35 M_o$ $M_t = 0,85 M_o$
travée intermédiaire : $M_c = M_v = 0,5 M_o$ $M_t = 0,75 M_o$

$$\frac{0,35 M_o \quad \quad \quad 0,5 M_o \quad \quad \quad 0,5 M_o}{0,85 M_o \quad \quad \quad 0,75 M_o}$$

Remarques :

- Le moment qu'on va répartir suivant le sens y sera M_{yas} car ($M_{yas} > M_{ys}$).
- suivant le sens x, on répartira le ferrailage donné par la condition de non fragilité si elle est vérifiée.
- Etant donné que les charges et les surcharges de la toiture terrasse donnent les combinaisons les plus défavorables alors les panneaux de dalle seront calculés sous la charge et la surcharge de la terrasse.

Le calcul se fait à l'ELU (fissuration est peu nuisible)

$$q = 1,35 q_g + 1,5 q_s$$

$$q_g = 0,843 \text{ t/ml}$$

$$q_s = 0,1 \text{ t/ml}$$

$$q = 1,288 \text{ t/ml}$$

Détermination des coefficients :

$$\gamma = l_x/l_y \quad a : \text{petit côté} \quad b : \text{grand côté}$$

Dalle	l_x (m)	l_y (m)	a/b	γ	μ_{xs}	μ_{ys}	μ_{yas}
D1	4,00	3,40	0,85	1,18	0,0207	0,0742	0,1046
D2	4,00	3,575	0,89	1,12	0,0211	0,0736	0,1041
D3	5,70	3,35	0,59	1,70	0,0041	0,1043	0,1211
D4	3,20	7,525	0,43	0,43	0,0529	0,0457	0,0735
D5	3,20	5,025	0,64	0,64	0,0501	0,0467	0,0742
D6	4,00	5,65	0,71	0,71	0,0507	0,0461	0,0736
D7	4,00	3,20	0,80	1,25	0,0106	0,0908	0,1151
D8	4,00	5,65	0,71	0,71	0,0507	0,0461	0,0736
D9	4,00	5,65	0,71	0,71	0,0507	0,0461	0,0736

Moment pour les dalles :

On distingue :

* la dalle D7 : dalle reposant sur 4 appuis et portant dans les deux sens . C'est une dalle intermédiaire.

tous les autres dalles reposent sur 3 appuis et portant dans les deux sens.

* Les dalles d1 et D3 sont des dalles de rives, les autres sont des dalles intermédiaires.

Dalles de rives :

Dalle	M _{xs}	M _{ys}	M _{yas}	M _y appui	M _y travée	M _x travée
D1	0,308	1,529	2,156	0,755	1,833	0,262
D3	0,059	4,365	5,068	1,774	4,302	0,05
D2	0,347	1,517	2,145	1,0726	1,6087	0,2603
D4	0,698	0,603	0,969	0,4845	0,7268	0,5235
D5	0,661	1,616	2,479	1,2395	1,8593	0,4958
D6	1,045	1,895	3,026	1,5130	2,2695	0,7838
D7	0,140	1,871	2,372	1,1860	1,1190	0,1050
D8	0,837	1,759	2,703	1,3515	2,0273	0,6278
D9	1,045	1,895	3,026	1,5130	2,2695	0,7838

Ferraillage :

On adoptera un seul ferraillage et cela en considérant le moment maximal.

Suivant le sens y-y : On calculera le ferraillage en fonction de :

$M_{appui} = 0,01513 \text{ MN.m/ml};$

$M_{travée} = 0,2269 \text{ MN.m/ml}$

Suivant le sens x-x : On calculera le ferrailage en fonction de :

$$M_{travée} = 0,007838 \text{ MN.m/ml}$$

sur appui : on adoptera un ferrailage minimum .

Espacement maximaux :

Suivant la direction la plus sollicitée :

$$St \leq \min (3h , 33 \text{ cm}) = 33 \text{ cm}$$

Suivant la direction perpendiculaire à la direction

la plus sollicitée :

$$St \leq \min (4h ; 45 \text{ cm}) = 45 \text{ cm}$$

Zone	Mx travée	My appui	My appui
Mu (MN.m)	0,00784	0,01513	0,02269
μ_{bu}	0,0407	0,0834	0,125
Pivot	A	A	A
α	0,052	0,109	0,167
z(m)	0,133	0,122	0,119
A(cm ²)	1,47	3,10	4,75
A choisie (cm ²)	4HA8	7HA8	10HA8
S (cm)	30	10	10

Avec :

$$dx = h - e - \phi/2 = 16 - 2 - 0,8/2 = 13,6 \text{ cm}$$

$$dy = dx - \phi = 13,6 - 0,8 = 12,8 \text{ cm}$$

$$\phi \leq 1/10 h$$

Conclusion :

Sens X-X : sur appui : $A_a = 1,44 \text{ cm}^2/\text{ml}$ soit 4HA8; S = 30cm

sur travée : $A_t = 1,47 \text{ cm}^2/\text{ml}$ soit 4HA8; S = 30cm

Sens Y-Y : sur appui : $A_a = 3,10 \text{ cm}^2/\text{ml}$ soit 7HA8; S = 10cm

sur travée : $A_t = 4,75 \text{ cm}^2/\text{ml}$ soit 10HA8; S = 10cm

Ferraillage de la dalle D7 :

Zone	Mx travée	My appui	My appui
Mu (MN.m)	0,01050	0,0118	0,0178
μ_{bu}	0,039	0,051	0,0767
Pivot	A	A	A
α	0,050	0,065	0,099
z(m)	0,133	0,125	0,123
A(cm ²)	1,97	2,37	3,62
A choisie (cm ²)	4HA8	5HA8	8HA8

Ferraillage transversal :

Les armatures ne sont pas nécessaires si :

1- Pas de reprise de bétonnage

2- $V_u \leq 0,05 \cdot d \cdot f_{c28}$

$$V_u = q \cdot L/2 = 1,288 \cdot 3,575/2 = 0,023 \text{ MN/ml}$$

$$\bar{V}_u = 0,05 \cdot d \cdot f_{c28} = 0,05 \cdot 0,128 \cdot 25 = 0,16 \text{ MN}$$

donc on a $\bar{V}_u > V_u$

En plus pas de reprise de bétonnage , donc les armatures transversales ne sont pas nécessaires.

Renforcement des ouvertures :

Pour les ouvertures de faibles dimensions (passage de gaines); il est nécessaire de placer des aciers de renfort au pourtour de la réservation (ouverture), par contre les ouvertures de grandes dimensions nécessitent à leur pourtour des poutres noyées.

Pour le cas de faibles dimensions, la section d'armatures minimale à disposer de chaque côté est au moins égale à 0,55 A. On prolonge ces armatures au delà de l'ouverture d'une longueur de scellement $l_s = 40 \phi$.

Chapitre 9

ELEMENTS D'INFRASTRUCTURE

IX.1- INTRODUCTION :

L'infrastructure doit constituer un ensemble rigide capable de remplir les fonctions suivantes :

- * Réaliser l'encastrement de la structure dans le terrain.
- * transmettre au sol de fondation la totalité des efforts apportés par la superstructure.
- * limiter les tassements différentiels à une valeur acceptable.

IX.2- VOILE PERIPHERIQUE :

Un voile périphérique est prévu entre la fondation et le niveau du plancher R.D.C.

D'après le R.P.A 88 article 4.5.2, le voile périphérique doit avoir les caractéristiques minimales ci-dessous :

- * Epaisseur du voile doit être supérieur ou égal à 15 cm.
- * les armatures sont constituées de deux nappes , le pourcentage minimum est de 0,1% dans les deux sens (horizontal et vertical).

IX.2.1- Dimensionnements :

On adopte une épaisseur de 18 cm.

IX.2.2- Ferraillage :IX.2.2.1- Armatures longitudinales :

Les armatures longitudinales supérieures et inférieures ont une section $A_l \geq 0,1 \%$ de la section transversale du béton avec un recouvrement de 40ϕ equerre de renforcement dans les angles.

Armatures longitudinales filantes :

$$A_{lf} \geq 0,1/100 \cdot 150 \cdot 18 = 2,7 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

soit 4T10 /ml

Armatures longitudinales de peau :

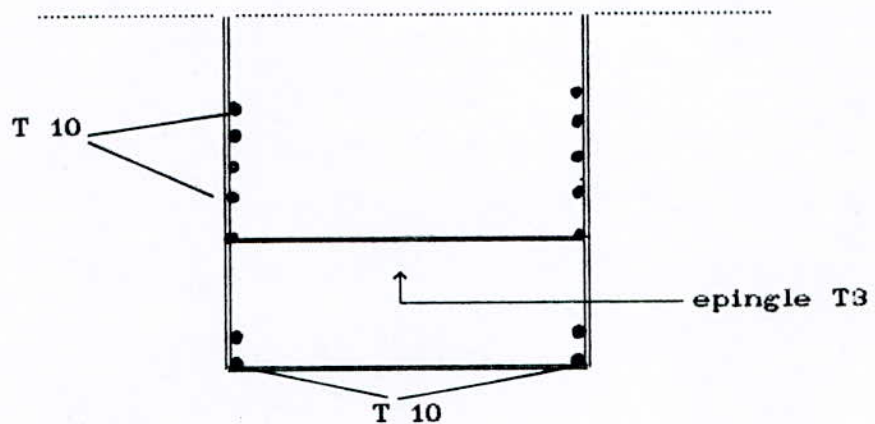
$$A_{lp} \geq 2 \text{ cm}^2$$

soit 4T10/ml/face avec un espacement de 30 cm.

Armatures transversales :

Les deux nappes d'armatures doivent être reliées avec au moins 4 épingle au mètre carré.

Dans les angles du voile , on place des equerres de renforcement.

**IX.3- FONDATIONS :**

Un projet correcte necessite une bonne connaissance de l'état des lieux ainsi que des renseignements assez precis que possible sur les caractéristiques géotechniques des différentes couches constituant le terrain de fondations .

IX.3.1- Définition :

une fondation est destinée à transmettre au sol dans les

conditions les plus favorables les charges provenant de la superstructure (charges permanentes, surcharges d'exploitations, charges climatiques); en d'autres termes, c'est un élément de transition entre la superstructure et le sol.

IX.3.2- Choix du type de fondation :

Un certain nombre de problèmes se pose lorsqu'il s'agit de choisir un type de fondation, qui dépend essentiellement de la contrainte du sol.

Le choix du type de fondation se fait suivant trois paramètres.

- la nature et le poids de la superstructure.
- la qualité et la quantité des charges appliquées sur la construction.
- la qualité du sol de fondations.

D'après les caractéristiques du sol (une contrainte moyenne admissible de $\bar{\sigma}_{sol} = 3$ bars) sur lequel est implanté notre présent ouvrage et la proximité du bon sol par rapport à la surface, nous avons conduit dans un 1er temps à considérer les semelles filantes comme solution de fondation, mais il s'est avéré après un dimensionnement que les semelles occupent presque la totalité de la surface d'emprise de l'ouvrage, en finalité nous étions obligés d'envisager la solution du radier général comme fondation vu qu'il présente les avantages suivants :

- 1) L'augmentation de la surface de la fondation minimise la forte pression apportée par la structure.
- 2) la réduction des tassements différentiels.
- 3) Effacer les irrégularités ou l'hétérogénéité du sol.
- 4) Faciliter d'exécution.
- 5) L'économie dans la construction (réduction dans le ferrailage).

IX.3.1.3- Prédimensionnement du radier :

Le radier fonctionne comme un plancher renversé dont les appuis sont constitués par les murs de l'ossature soumis à la réaction du

sol agissant du bas vers le haut d'une manière uniforme (radier supposé infiniment rigide).

3.1.3.1- La descente de charge de l'ensemble de la structure donne :

$$G = 8138,54 \text{ t}$$

$$Q = 646,23 \text{ t}$$

charge du bâtiment :

$$\text{ELS : } N_t = N_g + N_q = 8784,77 \text{ t}$$

$$\text{ELU : } N_t = 1,35 N_g + 1,5 N_q = 11956,374 \text{ t}$$

3.1.3.1- Surface nécessaire du radier :

$$S_{\text{req}} \geq N / \bar{\sigma}_{\text{sol}} = 8784,77 / 25 = 351,39 \text{ m}^2$$

$$\text{la surface totale du bâtiment est } S_b = 314,16 \text{ m}^2$$

$$\text{la surface } S_{\text{deb}} = 37,23 \text{ m}^2 \rightarrow S_{\text{rad}} = 419,36 \text{ m}^2$$

3.1.3.2- Epaisseur du radier :

2.1- Condition de cisaillement :

Pour des raisons d'inconvénients pratiques, on évite de mettre des armatures transversales, pour cette raison la contrainte de cisaillement doit être limitée pour que l'épaisseur du radier soit choisie convenablement.

Nous vérifions l'effort tranchant sous l'effet de l'effort normal par le voile le plus sollicité qui devient un appui au radier renversé.

$$\tau_u = T / b_0 d < \bar{\tau}_u = \min (0,1 f_{ct} ; 3 \text{ MPa}) = 2,5 \text{ MPa}$$

$$T = q L_{\text{max}} / 2 \text{ avec } q = N_u / S_r, L_{\text{max}} = 3,80 \text{ m}$$

$$\Rightarrow T = 18,568 / 391,21 \cdot 3,80 / 2 \Rightarrow T = 0,09 \text{ MN/ml}$$

$$\tau_u = 0,09 / 0,9d \leq 2,5 \Rightarrow d \geq 0,09 / (0,9 \cdot 2,5) \quad d \geq 40 \text{ cm}$$

2.2- Condition forfaitaire :

$$h_t \geq L_{\text{max}} / 10 = 3,80 / 10 = 0,38 \text{ m}$$

On prendra $h_t = 45 \text{ cm}$

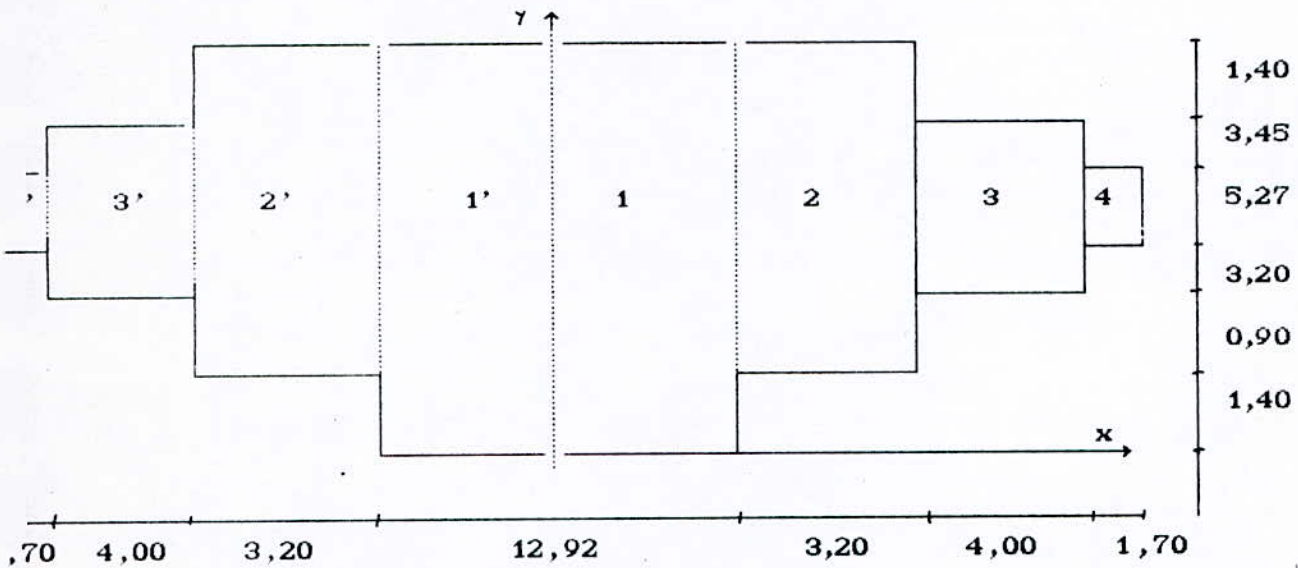
3.1.3.3- Inertie du radier :

Centre de gravité du radier :

Pour la détermination du centre de gravité, on divise notre radier par 4 panneaux :

$$X_{G/o} = \sum A_i x_i / \sum A_i$$

$$y_{G/o} = \sum A_i y_i / \sum A_i$$



Du fait que la structure est symétrique alors :

$$X_G = 0$$

Calcul de $Y_{G/o}$:

$$Y_{G/o} = \sum S_i Y_i / \sum S_i$$

Panneaux	S_i (cm ²)	Y_i (m)	$S_i Y_i$ (m ³)
1	100,91	7,81	788,10
2	45,51	8,51	387,29
3	47,68	7,40	352,83
4	8,96	8,13	72,84

$$\left. \begin{array}{l} \sum S_i = 203,06 \text{ m}^2 \\ \sum S_i Y_i = 1601,06 \text{ m}^3 \end{array} \right\} \rightarrow Y_{G/o} = 7,88 \text{ m}$$

Calcul des inertiespar rapport à X-X :

Panneaux	S_i	I_{xi}	d_i	$I_{xi} + S_i d_i^2$
1	100,91	2051,61	-0,07	2052,104
2	45,51	766,86	0,63	784,92
3	47,68	564,65	0,38	571,53
4	8,96	20,781	0,255	21,36

$$I = \sum I_{xi} + S_i d_i^2$$

$$I = 3429,914 \text{ m}^4$$

$$I_x = 2 I \rightarrow$$

$$I_x = 6859,83 \text{ m}^4$$

Par rapport à Y-Y :

Panneaux	S_i	I_{yi}	d_i	$I_{yi} + S_i d_i^2$
1	100,91	350,91	3,23	1403,69
2	45,51	38,81	8,06	2995,30
3	47,68	63,57	11,66	6545,93
4	8,96	2,16	14,51	1888,59

$$I = \sum I_{yi} + S_i d_i^2 = 12833 \text{ m}^4$$

$$I_y = 2I = 25667 \text{ m}^4$$

Vérification diverses :Vérification de la contrainte du sol sous les charges durables :

$$N = 1,35 (G_{bat} + G_{rad}) + 1,5 Q = 11993,69 \text{ t}$$

On doit avoir : $\sigma = N/S \leq \bar{\sigma}_{sol}$

$$\sigma = 11993,696 : 419,36 = 28,6 \text{ t/m}^2 < \bar{\sigma}_{sol} = 30 \text{ t/m}^2$$

Vérification du poinçonnement :

D'après les règles BAEL 83, sous le voile le plus sollicitant, on doit faire une vérification au poinçonnement pour notre cas le voile le plus sollicitant est le voile VL4.

On doit vérifier que :

$$N \leq 0,045 \mu_c \cdot h \cdot f_{c20}$$

μ_c : paramètre de la surface d'impact projeté sur le plan moyen.

h : épaisseur de la dalle

$$G = 760,73 \text{ t} ; \quad Q = 161,23 \text{ t}$$

$$N = (1,35 G + 1,5 Q) / l = (1,35 \cdot 760,73 + 1,5 \cdot 161,23) / 13,9$$

$$N = 91,28 \text{ t}$$

$$U_c = U + V \text{ avec } U = U_0 + h; \quad V = V_0 + h$$

$$U_0 = 0,20 \text{ m} , \quad V_0 = 1 \text{ m}$$

$$U_c = 2,1 \text{ m}$$

$$N \leq 0,045 \cdot 2,1 \cdot 0,45 \cdot 25 = 106,31 \text{ t}$$

$$N = 91,28 < 106,31 \text{ t}$$

Condition vérifiée

Vérification de la stabilité :

Sous les charges horizontales (sismiques), il n'y a naissance d'un moment de renversement. Les extrémités du radier doivent alors être vérifiées, aux contraintes de traction (soulevement) ; spécialement sous la combinaison $0,8 G + E$ préconisée par le R.P.A., une vérification de la contrainte de compression maximale sous $G + Q + E$ s'impose.

Vérification du soulèvement :

$$N = 0,8 G + E = 6510,83 \text{ t}$$

Sens longitudinal :

$$M_L = 15117,08 \text{ t.m}$$

$$I_L = 25667 \text{ m}^4$$

$$V_L = 14,5 \text{ m}$$

$$\sigma_1 = 6510,83/415,36 + 15117,08/25667 \cdot 14,5$$

Conclusion :

Toutes les conditions vérifiées, il n'y a pas de risque pour notre étude structure vis à vis soulèvement et de la compression maximale.

Vérification au renversement :

Etant donné que le bâtiment est soumis à des efforts horizontaux importants, il est très important de s'assurer vis à vis du renversement, on a :

$$M_{\text{stabilisant}} / M_{\text{renversement}} \geq F_s$$

F_s : coefficient de sécurité

$$F_s = 1,5$$

Sens longitudinal :

$$M_R = \sum F_i h_i + V \cdot Z \quad \text{avec} \quad Z : \text{hauteur des fondations}$$

$$F : \text{Effort sismique}$$

$$M_R = 15836,045 \text{ t.m}$$

$$M_S = W \cdot L/2$$

W : poids total de la structure

L : longueur du bâtiment (longitudinalement)

$$L = 29 \text{ m}$$

$$M_S = 8138,54 \cdot 29 / 2$$

$$M_S = 118008,83$$

$$M_S/M_R = 7,45 > 1,5$$

Sens transversal : $L = 13,9 \text{ m}$

$$M_R = 14798,59 \text{ t.m}$$

$$M_S = 8138,54 \cdot 13,9 / 2$$

$$M_S/M_R = 3,82 > 1,5$$

Conclusion :

Le renversement dans les deux sens est vérifié.

Conclusion :

Toutes les conditions vérifiées, il n'y a pas de risque pour notre étude structure vis à vis soulèvement et de la compression maximale.

Vérification au renversement :

Etant donné que le bâtiment est soumis à des efforts horizontaux importants, il est très important de s'assurer vis à vis du renversement, on a :

$$M_{\text{stabilisant}} / M_{\text{renversement}} \geq F_s$$

F_s : coefficient de sécurité

$$F_s = 1,5$$

Sens longitudinal :

$$M_R = \sum F_i h_i + V \cdot Z \quad \text{avec} \quad Z : \text{hauteur des fondations}$$

$$F : \text{Effort sismique}$$

$$M_R = 15836,045 \text{ t.m}$$

$$M_S = W \cdot L / 2$$

W : poids total de la structure

L : longueur du bâtiment (longitudinalement)

$$L = 29 \text{ m}$$

$$M_S = 8138,54 \cdot 29 / 2$$

$$M_S = 118008,83$$

$$M_S / M_R = 7,45 > 1,5$$

Sens transversal : $L = 13,9 \text{ m}$

$$M_R = 14798,59 \text{ t.m}$$

$$M_S = 8138,54 \cdot 13,9 / 2$$

$$M_S / M_R = 3,82 > 1,5$$

Conclusion :

Le renversement dans les deux sens est vérifié.

FERRAILLAGE DU RADIER

Le radier sera calculé comme un plancher renversé appuyé sur les voiles longitudinaux et transversaux .

Les panneaux seront calculés comme des dalles appuyées sur 4 appuis.

On utilise la méthode de "PIGEAUD" pour déterminer les moments unitaires U_x et U_y .

Cette méthode dépend du rapport $\rho = l_x/l_y$ et du coefficient v .

$$v = 0 \text{ à l'ELU}$$

$$v = 2 \text{ à l'ELS}$$

Si $\rho < 0,4$ \longrightarrow dalle porte dans un sens.

Si $\rho > 0,4$ \longrightarrow dalle porte dans les deux sens.

$$\left. \begin{array}{l} M_x = U_x p \cdot l_x^2 \\ M_y = U_y M_x \end{array} \right\} \rho > 0,4$$

$$\left. \begin{array}{l} M_x = p l_x^2 / 8 \\ M_y = 0 \end{array} \right\} \rho > 0,4$$

On a : $p = 28,6 \text{ t.m}^2$

tous les calculs seront représentés dans des tableaux :

Panneaux	l_x	l_y	$\rho = l_x/l_y$	M_x	M_y
P ₁	3,40	4,00	0,85	0,0541	0,734
P ₂	3,575	4,00	0,89	0,0509	0,786
P ₃	3,35	5,70	0,59	0,0836	0,483
P ₄	3,20	7,525	0,43	0,0989	0,321
P ₅	3,20	5,025	0,64	0,0801	0,530
P ₆	4,00	5,65	0,71	0,0719	0,608
P ₇	3,20	4,00	0,80	0,0618	0,699
P ₈	4,00	5,025	0,80	0,0618	0,699
P ₉	4,00	5,69	0,71	0,0719	0,608

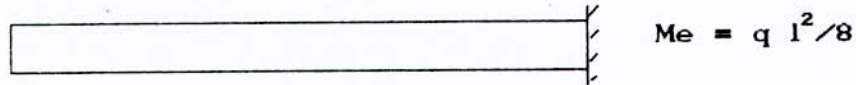
Moments isostatiques :

Panneaux	M_x M.N m/ml	M_y MN.m/ml	Max	M_{tx}	M_{ty}	M_{ty}
P ₁	0,0178	0,336	0,00623	0,01513	0,01176	0,0286
P ₂	0,0186	0,360	0,00651	0,0158	0,0126	0,0306
P ₃	0,0268	0,4488	0,0134	0,0228	0,0224	0,0337
P ₄	0,0289	0,519	0,0145	0,0217	0,0259	0,0389
P ₅	0,0235	0,383	0,011	0,0176	0,0192	0,0287
P ₆	0,0329	0,555	0,0165	0,0247	0,0276	0,0416
P ₇	0,018	0,319	0,009	0,0135	0,0159	0,0239
P ₈	0,0283	0,505	0,0142	0,0212	0,0253	0,0378
P ₉	0,0329	0,555	0,0165	0,0246	0,0276	0,0416

Ferrailage :

On choisit le panneau le plus sollicité , et on le ferraille tout en donnant ce ferrailage aux autres panneaux.

Le débord sera calculé comme une console soumise à une charge uniforme.



Etapas	Sens x		Sens y		DEBORD
	Max	Mtx	May	Mty	
M(MN.m)	0,165	0,276	0,276	0,416	0,107
Ubu	0,0726	0,109	0,121	0,183	0,047
Pivot	A	A	A	A	A
α	0,09	0,144	0,162	0,255	0,06
z(m)	0,399	0,377	0,374	0,359	0,39
A (cm ²)	10,03	16,38	18,44	28,95	6,85
A à prendre	5 HA 20	6 HA 20	6 HA 20	6 HA 25	4 HA 15

A l'ELS : on trouve :

Sens X-X : Aa = 12,83 cm²

At = 17,51 cm²

Sens Y-Y : Aa = 20,21 cm²

At = 29,37 cm²

Ferrailage final :

On ferraille donc à l'ELS.

Sens X-X : Aa = 12,83 cm² on prend 5HA20 (15,71 cm²)

At = 17,51 cm² on prend 6HA20 (18,85 cm²)

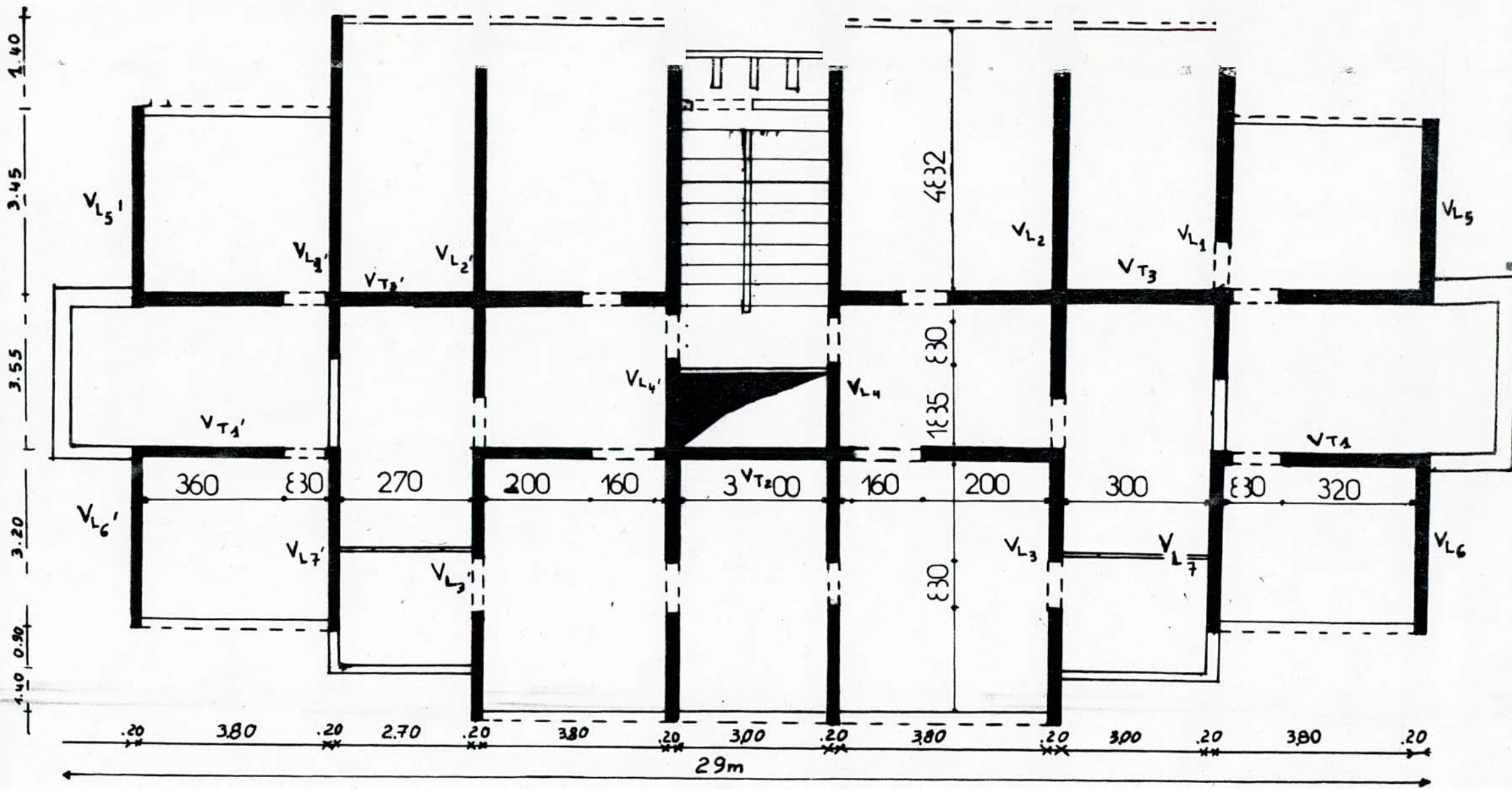
Sens Y-Y : Aa = 20,21 cm² on prend 7HA20 (21,99 cm²)

At = 29,37 cm² on prend 6HA25 (29,45 cm²)

débord : on prend 4HA16 (8,04 cm²) .

BIBLIOGRAPHIE

- | | |
|---|-------------------|
| 1- BETON ARME AUX ETATS LIMITES | PIERRE CHARON |
| 2- REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES | (RPA 88) |
| 3- CALCUL DES OUVRAGES EN BETON ARME | BELAZOUGUI |
| 4- DYNAMIQUE DES STRUCTURES | CLOUGH |
| 5- CALCUL DES TOURS | MARIUS DIVER |
| 6- CALCUL DYNAMIQUE DES STRUCTURES
EN ZONE COURANTE | CAPRA-DAVIDOVICHI |
| 7- REGLES NEIGE ET VENT 65 | |
| 8- OSSATURE DE BATIMENTS | ANDRE - COIN |
| 9- CONTREVENTEMENT DES BATIMENTS | ALBIGES - GOULET |
| 10- CALCUL PRATIQUE DES OSSATURES DE
BATIMENT EN B.A. | FUENTES |
| 11- TABLES POUR CALCUL DES PLAQUES | BARRES |
| 12- CALCUL ET CONCEPTION DES STRUCTURES
SOUMISES AU SEISME | DAOUDI |
| 13- DYNAMIQUE DES STRUCTURES ET
SISMOLOGIE DE L'INGENIEUR | L et A. DOBRESCU |
| 14- COURS RDM, BA, ANALYSE DES STRUCTURES | |



IDENTIFICATION DES VOILES

PROJET DE VOIE N° 12 - 241-24 204

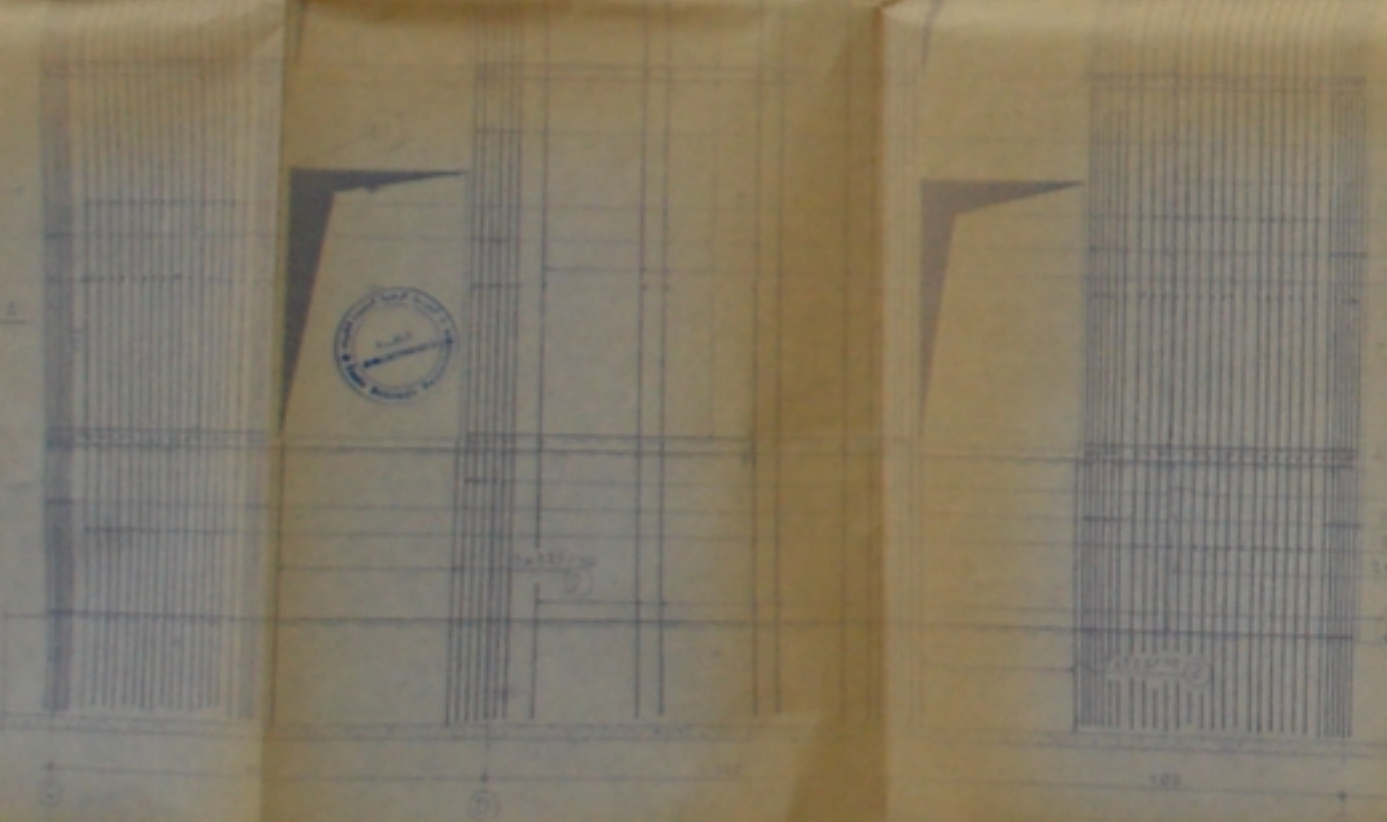


PROJET DE VOIE N° 12 - 241-24 204

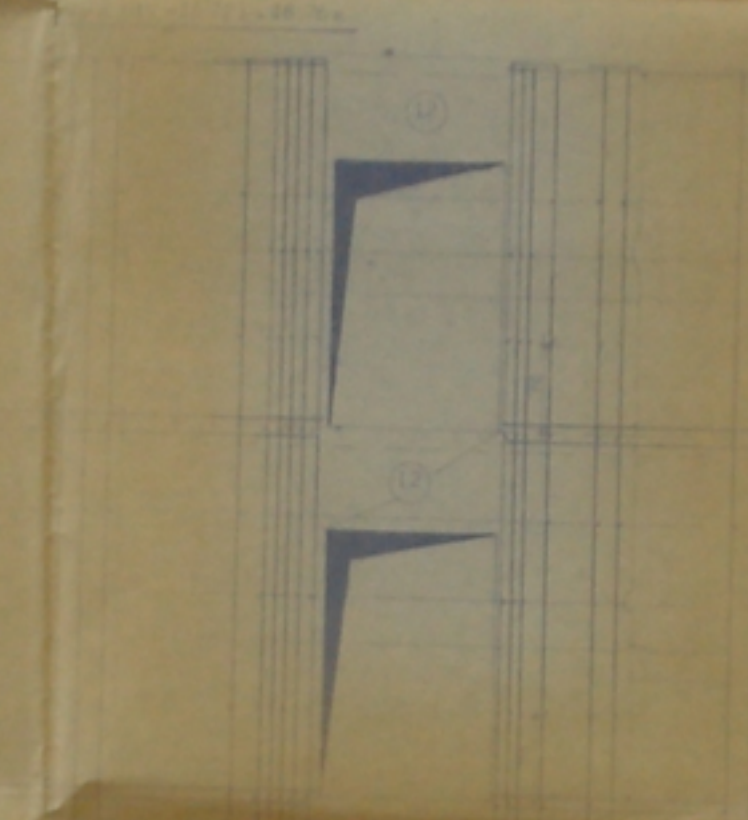
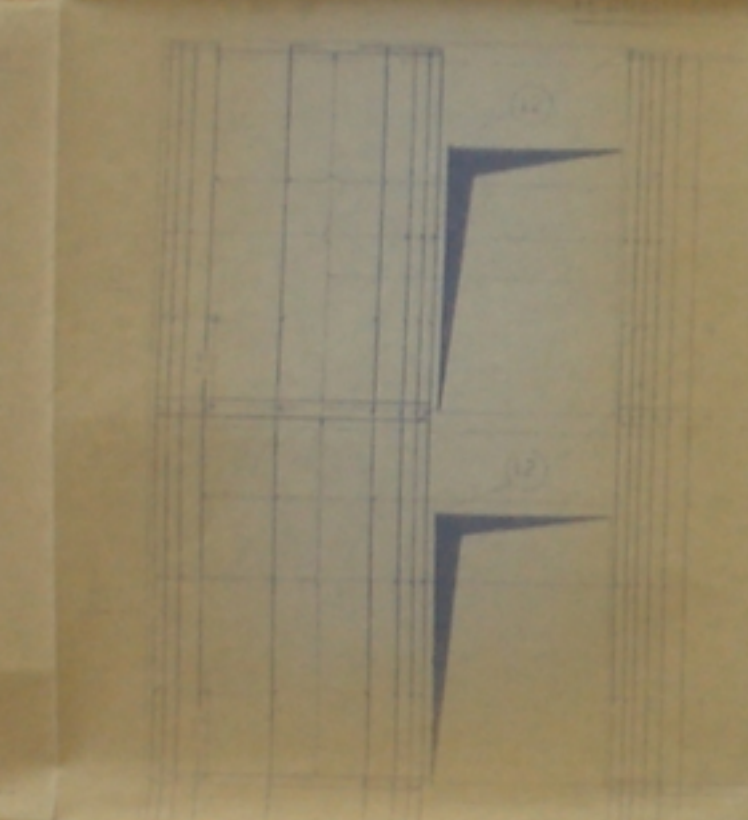
PROJET DE VOIE N° 12 - 241-24 204



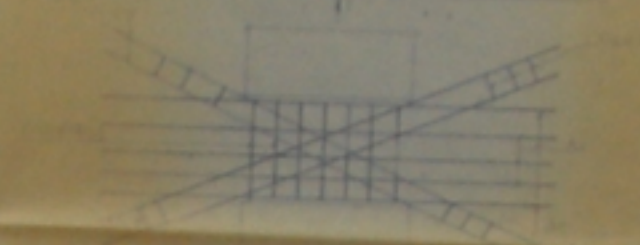
PROJET DE VOIE N° 12 - 241-24 204



PROJET DE VOIE N° 12 - 241-24 204



LE BRILLAGE DE TYPE DU INTÉRIEUR



Talons des brissés

Contour	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

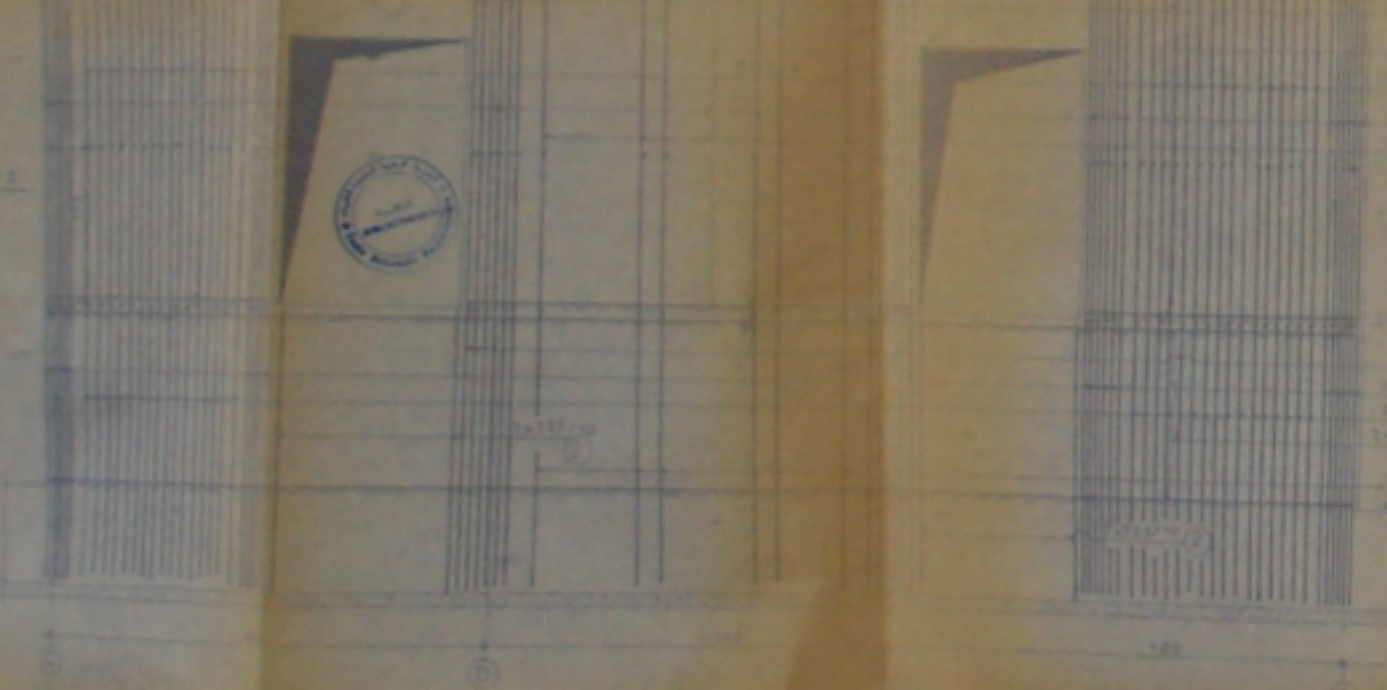
TABLEAU DES BRISÉS

Contour	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

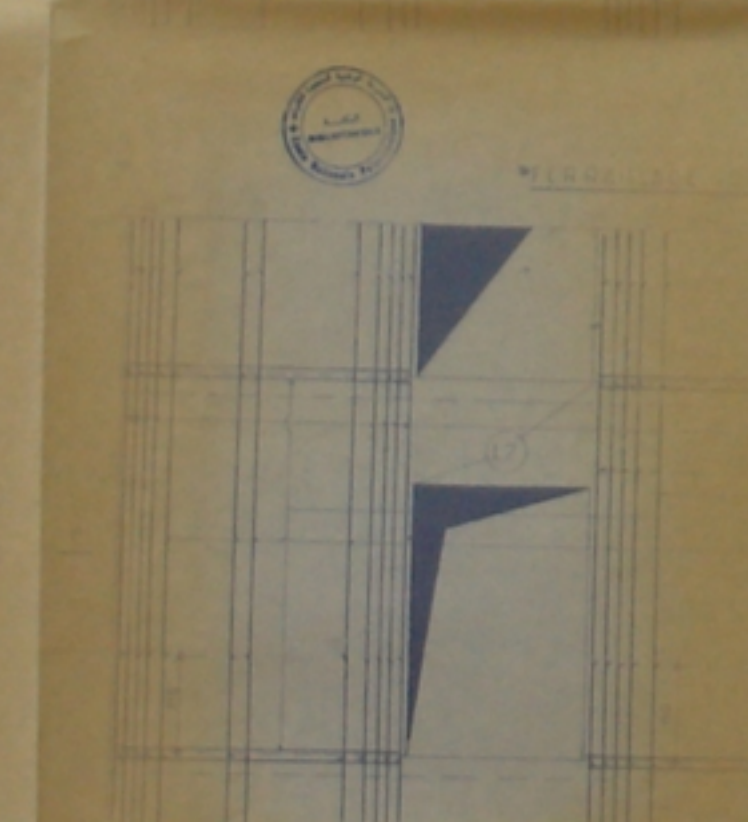
TABLEAU DES BRISÉS

Contour	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

PROJET DE VOIE N° 12 - 241-24 204



PROJET DE VOIE N° 12 - 241-24 204



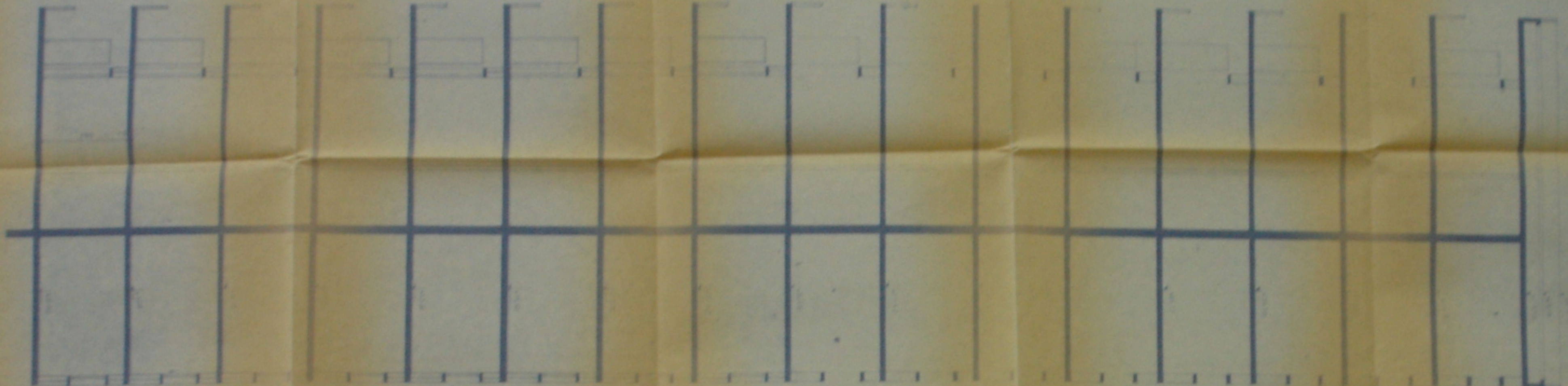
PROJET DE VOIE N° 12 - 241-24 204

PROJET DE VOIE N° 12 - 241-24 204

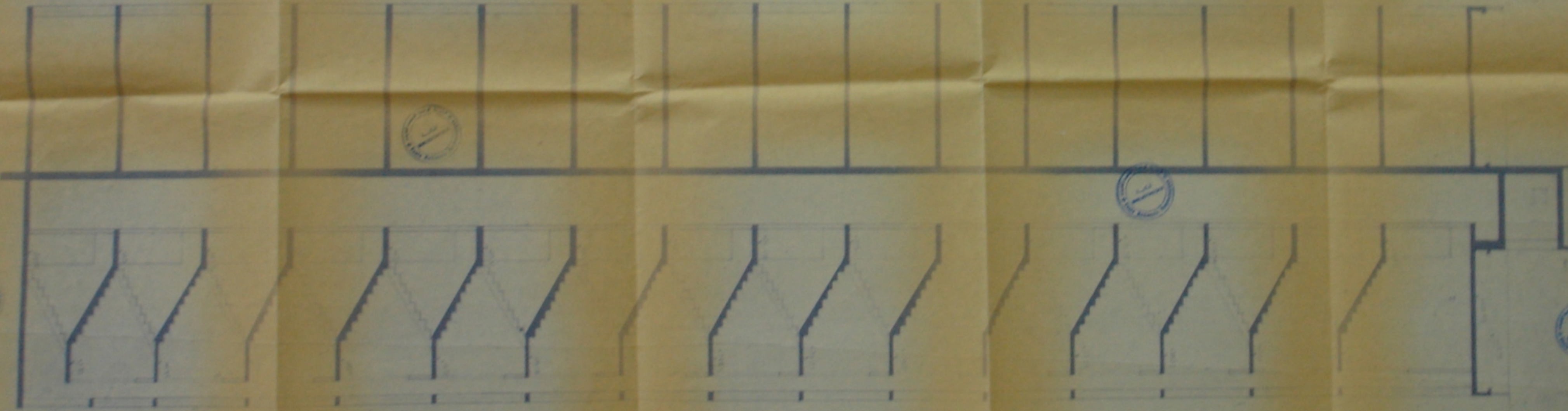
PROJET DE VOIE N° 12 - 241-24 204

PROJET DE VOIE N° 12 - 241-24 204

PROJET DE VOIE N° 12 - 241-24 204

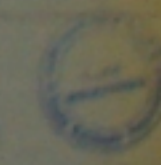


7-
1842/92

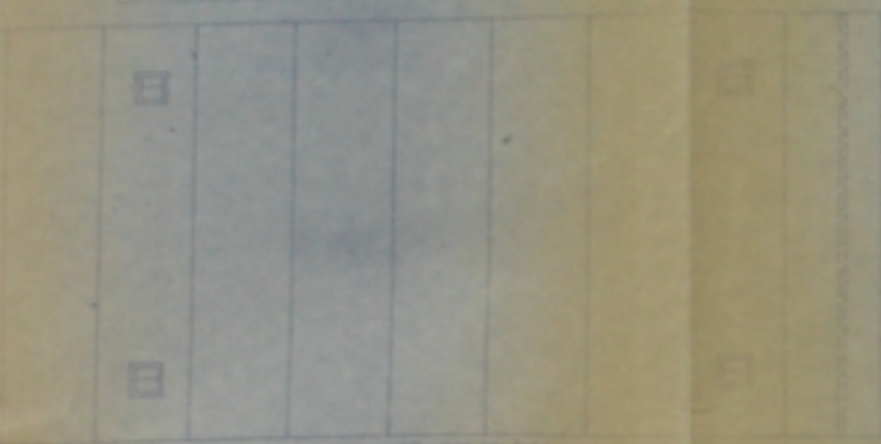


THE UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR
 GEOLOGICAL SURVEY
 WASHINGTON, D. C.
 1892

TITLE
 AUTHOR
 DATE
 PRICE



COFFRAGE DUNE VOLEE D'ESCALIER



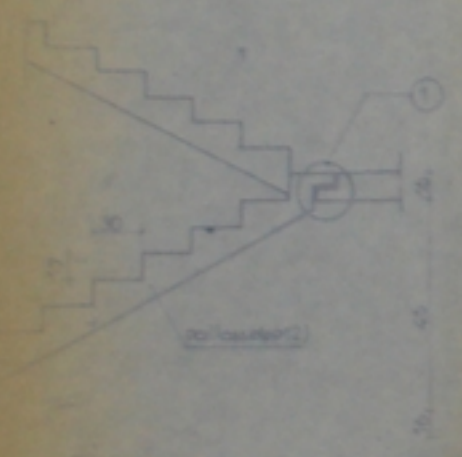
20/08/2012

FERRAILLAGE DUNE VOLTE D'ESCALIER

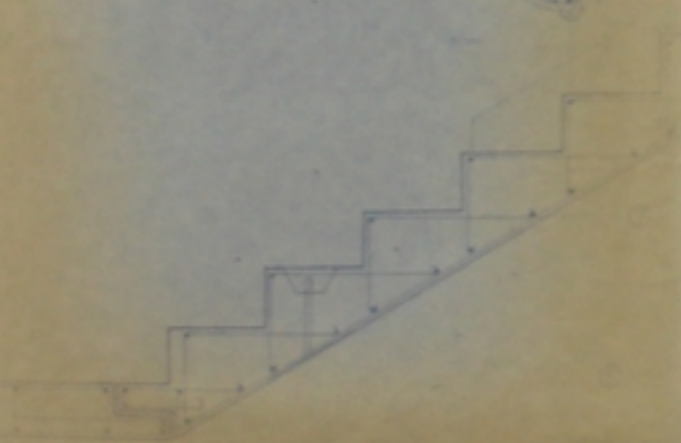


REF	DIAM	ESPA	FACONNAGE
1	10	10	
2	8	20	
3	8	20	
4	8	15 et 20	
5	8	10	
6	8	15	
7	8	25	
8	8	20	
9	8	25	
10	8	0	

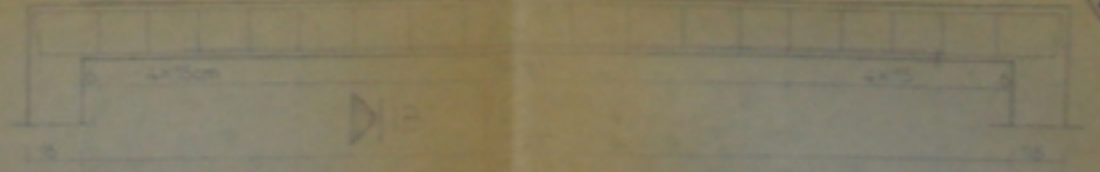
-3-
PBO/13/92



COUPE A-B



FERRAILLAGE DE LA PLATEFORME PALIERE



FERRAILLAGE DE L'ESCALIER

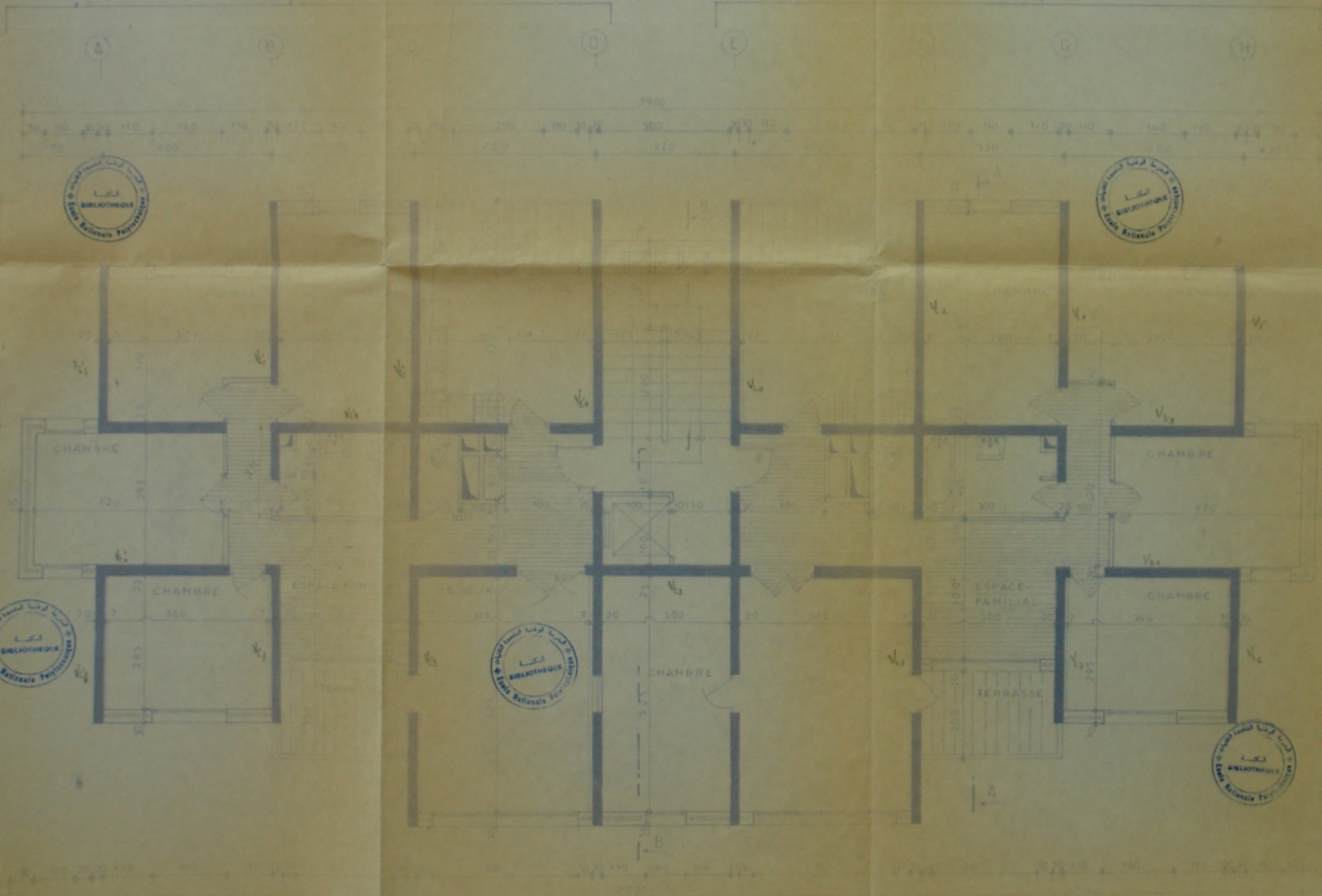
MINISTRE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE
 DE L'URBANISME ET DE LA MERITIME
 THESE
 DE FIN
 D'ETUDE
 PROJET : 314 Logements MEDEA
 ETUDE DE LA STRUCTURE EN FER
 COFFRAGE DES ESCALIERS
 N°02 COFFRAGE FERRAILLAGE
 DES ESCALIERS
 BUREAU D'ETUDE
 117 BOULEVARD
 ALGER ALGERIE

F5

ETAGE COURANT

F6

N° 4
PB013/99



Republique Algérienne Démocratique et Populaire

CABINET D'ARCHITECTURE ZMIT MOURAD

Étage 480 LOGEMENTS MEDEA

Maître d'ouvrage O.P.G.I MEDEA

BATIMENT C
ETAGE COURANT

Étage ZMIT M.

Date _____ Echelle 1/50

Dessein _____ Plan

REMARKS