

16/87
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

Etude d'un Bâtiment d'Habitation en Voiles (R + 9)

Proposé par :

B E R E P

Etudié par :

DJEDDOU M.

BARAKEH S.

Dirigé par :

Mr ABDELGARFI

Mr SAHEB

PROMOTION : JANVIER 1987

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم والبحث العلمي
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

Etude d'un Bâtiment d'Habitation en Voiles (R + 9)

Proposé par :

B E R E P

Etudié par :

DJEDDOU M.
BARAKEH S.

Dirigé par :

Mr ABDELGARFI
Mr SAHEB

PROMOTION : JANVIER 1987

E.N.P. 10, Avenue Hacén Badi - EL-HARRACH — ALGER

dédicaces

Je dedie ce modeste travail à :

- La memoire de ma grand mere .
- Mes chers parents qui sont heureux de me voir arrive à cette étape .
- Mon grand pere .
- Mes freres et mes soeurs .
- Mes ancles en signe de reconnaissance de leur soutien moral et materiel .
- Tous mes amis .
- Ceux qui me sont chers .


Mohamed D.

Je dedie ce modeste travail à :

- Mes chers parents .
- Mes freres et mes soeurs .
- Ma femme .
- Mes deux enfants : MOUTASSEM & ILHEM
- Mes chers amis .


Sabri B.

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Remerciements

Nos remerciements sincères à notre promoteur M. ABDELGUERFI pour son aide tout au long de l'élaboration de notre mémoire .

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à M. SAHEB (Ber.ep) pour son aimable collaboration et ses conseils efficaces .

Notre profonde gratitude à toutes les personnes ayant participé de près ou de loin à la réalisation de notre projet en particulier :

- Notre frère et ami MAZIGHI Ahmed .
- M. SAADI (Ing .-Ber.ep)
- M. YOUNGA.M. (Archit .-Ber.ep)

Nous exprimons notre reconnaissance au JURY qui nous honorera en jugeant notre travail .

- DJEDDOU M.
- BARAKEH S.

SOMMAIRE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

CH.1 _ INTRODUCTION	page: ①
_ CARACTERISTIQUES MECANIKES DES MATERIAUX	
_ CHARGES ET SURCHARGES	
CH.2 _ CALCUL DES ELEMENTS	⑦
_ L'ACROTERE	
_ LES ESCALIERS	
_ LES PLANCHERS	
_ LES BANDES NOYEEES	
_ LES POUTRES PALIERES	
_ LES PEDALLES	
CH.3 _ CALCUL DES INERTIES EQUIVALENTES	②5
CH.4 _ ETUDE DE LA TORSION	②8
_ CENTRE DE TORSION	
_ CENTRE DE MASSE	
_ EXCENTRICITE	
_ DISTRIBUTION DES CHARGES HORIZONTALES	
CH.5 _ ETUDE AU VENT	③6
CH.6 _ ETUDE PSEUDO-DYNAMIQUE	④2
CH.7 _ ETUDE AU SEISME	④6
CH.8 _ CALCUL DES DEFORMATIONS	⑤2

CH.9 _CALCUL DES REFENDS.....(55)

CH.10 _SUPERPOSITION DES SOLLICI-
TATIONS(61)

CH.11 _FERRAILLAGE DES VOILES
ET DES LINTEAUX(72)

_ FERRAILLAGE DES VOILES.

_ FERRAILLAGE DES LINTEAUX.

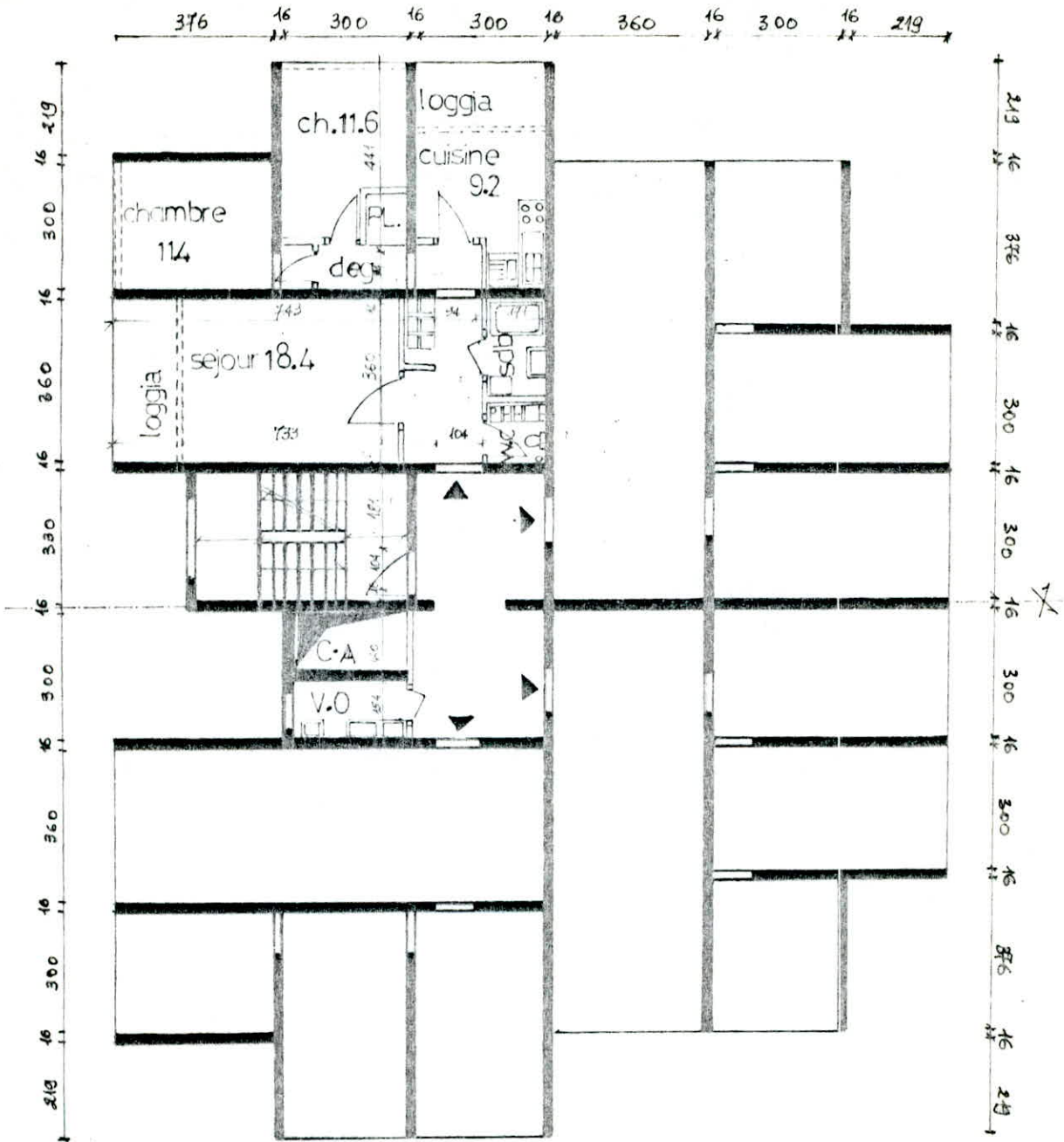
CH.12 _CALCUL DES FONDATIONS(87)

_BIBLIOGRAPHIE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION

PRESENTATION DE L'OUVRAGE



PRESENTATION

Le sujet nous a été présenté par le BEREP pour notre mémoire de fin d'étude.

L'étude concerne un bâtiment (R+9) à usage d'habitation situé à Bab-Ezzouar dans le cadre d'un Centre de quartier zone de moyenne densité.

La structure est en voile, symétrique en plan et régulière en élévation. Le plancher est constitué de dalles pleines.

- Hauteur totale (y compris l'acrotère) : 31,30 m.
- Longueur totale : 25,00 m.
- Largeur totale : 19,35 m.

On note la présence d'un escalier ainsi qu'une cage d'ascenseur et un vide sanitaire sous sol non-aménagé avec voiles périphériques.

Les matériaux de construction (acier - béton) sont conformes aux règles en vigueur en Algérie.

- Taux de travail du sol est évalué à 1,5 bars.
- Tous les planchers sont constitués d'une dalle pleine pleine de 16 cm d'épaisseur, à l'exception du plancher haut du vide sanitaire qui sera constitué de pré-dalles.
- Les escaliers sont du type droit, ils seront constitués par deux voiles adjacents préfabriqués simplement appuyés sur les paliers.

Maçonnerie: Les murs extérieurs sont constitués de:

- * Briques creuses de 10 cm d'épaisseur
- * Vide d'air
- * Briques creuses de 7cm.

Les murs intérieurs (cloisons) sont constitués de briques de 7cm d'épaisseur.

CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

1 - béton

Le béton est dosé à 350 kg/m³ à base de ciment CPA 325 avec un contrôle atténué. La résistance nominale de compression à 28 jours est de $\sigma_{28} = 270 \text{ kg/cm}^2$. La résistance nominale de traction de traction à 28 jours est de $\sigma_{28} = 7 + 0,006 \sigma_{28} = 23,2 \text{ kg/cm}^2$

La contrainte admissible selon (CCBA 68/70). Art.: 9.4

est donnée par:

$$\bar{\sigma}_b = \alpha \beta \gamma \delta \varepsilon \sigma_{28}$$

avec:

1°/ $\alpha = 1$ ciment CPA 325.

2°/ $\beta = 5/6$ contrôle atténué

3°/ $\gamma = 1$ Coef. fraction de l'épaisseur minimale des pièces et des dimensions de granulats; dans notre cas: $h_m > 4 C_j$

4°/ δ : coef. dépendant de la nature de la sollicitation

$$\delta = \begin{cases} 0,3 & \text{en compression simple.} \\ 0,6 & \text{en flexion simple et composée si l'effort normal N est nul.} \end{cases}$$

$$\delta = \begin{cases} \delta_1 & \text{si } \delta_1 < 0,6 \\ 0,6 & \text{si } \delta_1 \geq 0,6 \end{cases} \begin{cases} \text{en flexion composée si N est nul} \\ \text{en effort de compression.} \end{cases}$$

avec $\delta_1 = 0,3 (1 + e_0/3e_1)$.

e_0 représente l'excentricité de la résultante des forces extérieures par rapport au c.d.g du béton seul.

e_1 : Rayon extérieur de même signe que e_0 du noyau central de cette même section dans le plan radial passant par le centre de pression.

5°) $\varepsilon = 1$ en flexion pour les sections rectangulaires et quelle que soit la forme de la section en compression simple.

$0,5 \leq \varepsilon \leq 1$ Dans les autres cas.

N.B : On note que $\delta(SP2) = 1,5 \delta(SP1)$

VALEURS NUMÉRIQUES DES CONTRAINTES

1°) COMPRESSION SIMPLE:

$$\bar{\sigma}'_b = 1,5/6 \cdot 0,3 \cdot 1 \cdot 270 = 68,5 \text{ kg/cm}^2$$

Pour les sollicitations du second genre

$$\bar{\sigma}'_b = 1,5 \cdot 68,5 = 102,75 \text{ kg/cm}^2$$

2°) FLEXION:

En flexion simple ou en flexion avec traction pour les sections rectangulaires ou en (T) dont l'A.N tombe dans la table.

$$\text{- Sollicitation SP1: } \bar{\sigma}'_b = 137 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\text{- Sollicitation SP2: } \bar{\sigma}'_b = 205,5 \text{ kg/cm}^2.$$

3°) TRACTION (CCBA 68/70 Art. 8.5)

$$\bar{\sigma}_b = \alpha \beta \gamma \theta \sigma_{28} \quad ; \quad \text{avec } \theta = 0,018 - \frac{2,1}{\sigma_{28}} = 0,0258$$

$$\Rightarrow \text{SP1} \rightarrow \bar{\sigma}_b = 5,9 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\text{SP2} \rightarrow \bar{\sigma}_b = 8,85 \text{ kg/cm}^2.$$

2 - aciers

1°/ BARRES A HAUTE ADHERENCE : (FeE 40)

$$\varnothing \leq 20 \text{ mm} \rightarrow \sigma_{\text{en}} = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$\varnothing > 20 \text{ mm} \rightarrow \sigma_{\text{en}} = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

CONTRAINTES ADMISSIBLES :

$$\text{SP1} \rightarrow \bar{\sigma}_a = \frac{2}{3} \sigma_{\text{en}} \rightarrow \begin{cases} \varnothing \leq 20 \text{ mm} : \bar{\sigma}_a = \bar{\sigma}_a' = 2800 \text{ kg/cm}^2 \\ \varnothing > 20 \text{ mm} : \bar{\sigma}_a = \bar{\sigma}_a' = 2670 \text{ kg/cm}^2 \end{cases}$$

$$\text{SP2} \rightarrow \bar{\sigma}_a = \bar{\sigma}_a' = \sigma_{\text{en}}$$

2°/ BARRES ROND - LISSES : (FeE 24)

$$\varnothing \leq 20 \text{ mm} \rightarrow \sigma_{\text{en}} = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

CONTRAINTES ADMISSIBLES :

$$\text{SP1} \rightarrow \bar{\sigma}_a = \bar{\sigma}_a' = \frac{2}{3} \cdot 2400 = 1600 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{SP2} \rightarrow \bar{\sigma}_a = \sigma_{\text{en}} = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

La contrainte de traction imposée par la condition de non-fissuration de béton. la valeur maximale de la contrainte des armatures est limitée par la plus grande des valeurs suivantes :

$$\sigma_1 = K \frac{\chi}{\varnothing} \frac{c \bar{\omega}_f}{1 + 10 c \bar{\omega}_f} \quad \text{et} \quad \sigma_2 = 2,4 \sqrt{\frac{K \chi}{\varnothing} \cdot \bar{\sigma}_b}$$

avec:

\varnothing : diamètre nominal en mm de la plus grosse des barres tendues de la section d'entretoise.

χ : coef. de fissuration dépend de l'acier.

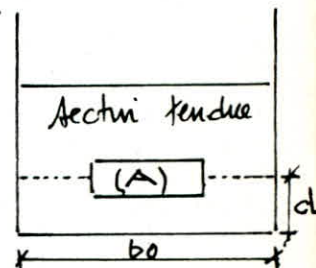
$$(\chi = 1 \text{ Adx} ; \chi = 1,6 \text{ HA})$$

$$K = \begin{cases} 1,5 \cdot 10^6 & \text{fissuration peu nuisible} \\ 1 \cdot 10^6 & \text{" préjudiciable} \\ 0,5 \cdot 10^6 & \text{" très préjudiciable} \end{cases}$$

$c \bar{\omega}_f = A/B_f$ c'est le pourcentage de fissuration

A: section des aciers tendus ; B_f : section d'entretoise (2bad).

$$\Rightarrow \bar{\sigma}_a \leq \max(\sigma_1, \sigma_2)$$



DESCENTE DE CHARGES

10/ TERRASSE INACCESSIBLE

	$G = 895 \text{ kg/m}^2$	$P = 100 \text{ kg/m}^2$
--	--------------------------	--------------------------

- Granille (protection) 5cm 100 kg/m^2
- Etanchéité multi-couche 20 kg/m^2
- Béton de pente 260 kg/m^2
- Isolant thermique (5cm) 50 kg/m^2
- Dalle en B.A (16cm) 400 kg/m^2
- Surcharge d'exploitation 100 kg/m^2

20/ PLANCHER LOGEMENT

	$G = 735 \text{ kg/m}^2$	$P = 175 \text{ kg/m}^2$
--	--------------------------	--------------------------

- Carrelage et mortier de pose 60 kg/m^2
- Dalle en BA (16cm) 400 kg/m^2
- Faux plafond 65 kg/m^2
- Cloison 150 kg/m^2
- Surcharge d'exploitation 175 kg/m^2

30/ ESCALIER

a) Palier :

	$G = 575 \text{ kg/m}^2$	$P = 250 \text{ kg/m}^2$
--	--------------------------	--------------------------

- Dalle en BA (16cm) 400 kg/m^2
- Revêtement (Carr. + Sable + plâtre...) 175 kg/m^2

b) Volée :

	$G = 730 \text{ kg/m}^2$	$P = 250 \text{ kg/m}^2$
--	--------------------------	--------------------------

- Poids de la poutrelle 345 kg/m^2
- Poids des marches $187,0 \text{ kg/m}^2$
- Revêtement 105 kg/m^2
- Garde-corps 93 kg/m^2

4/ Poids des éléments verticaux:A) Voiles longitudinaux:

- VL1 et VL9 $(5,35 \times 2,66 - 2,17 \times 0,94) \times 2,5 \times 0,16 = 4,87t$
- VL2 et VL10 ... $(5,35 \times 2,66 - 2,17 \times 0,94) \times 2,5 \times 0,16 = 4,87t$
- VL3 $(2,5 \times 2,66 - 2 \times 2,17 \times 0,94) \times 2,5 \times 0,16 = 24,96t$
- VL4 $(20,62 \times 2,66 - 2 \times 2,17 \times 0,94) \times 2,5 \times 0,16 = 20,29t$
- VL5 et VL11... $(3,76 \times 2,66) \times 2,5 \times 0,16 = 4,00t$
- VL6 $(3,30 \times 2,66 - 1,00 \times 1,5) \times 2,5 \times 0,16 = 2,91t$
- VL7 $(3,16 \times 2,66 - 1,50 \times 0,75) \times 2,5 \times 0,16 = 2,91t$
- VL8 $(3,00 \times 2,66 - 2,17 \times 0,94) \times 2,5 \times 0,16 = 2,46t$

B) Voiles transversaux:

- VT1, VT2, VT4 et VT5 : $(5,35 \times 2,66 - 0,94 \times 2,17) \times 2,5 \times 0,16 = 4,87t$
- VT3 $(10,27 \times 2,66) \times 2,5 \times 0,16 = 10,92t$
- VT6 et VT13 $(3,76 \times 2,66) \times 2,5 \times 0,16 = 4,00t$
- VT7, VT8, VT11 et VT12. $(10,08 \times 2,66 - 2,17 \times 0,94) \times 2,5 \times 0,16 = 9,90t$
- VT9 et VT10 $= 2,93t$

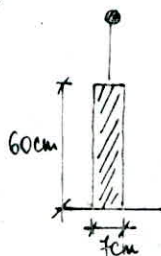
C) Façades:

- F1, F4, F6, F8, F9, F12, F13 et F16 : $(3,00 \times 2,66 - 1,5 \times 1,35) \times 0,298 = 1,77t$
- PF2, PF3, PF7 et PF14 $(3,00 \times 2,66 - 2,10 \times 2,17) \times 0,298 = 1,02t$
- PF6, PF10, PF11 et PF15 $(3,60 \times 2,66 - 2,10 \times 2,17) \times 0,298 = 1,49t$

D) Garde - Corps:

$$G = (0,60 \times 0,07 \times 1) \times 2,5$$

$$= 0,100 t/ml$$



calcul des éléments

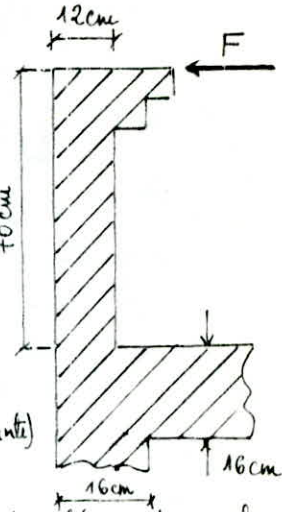
1 - CALCUL DE L'ACROTERE :

L'acrotere est assimilée - au point de vue calcul - à une console encastrée dans le plancher.

On fait le calcul pour une bande de (1m) de largeur, d'épaisseur $e = 12\text{cm}$ et de hauteur $h = (70\text{cm})$. Les charges sollicitant l'acrotere

$$\text{Avec : } G = (0,12 \times 0,70 \times 1) \times 2,5 = 210 \text{ kg/ml}$$

$$P = 100 \text{ kg/ml (due à la main courante)}$$



Calcul des efforts :

La section dangereuse se trouve au niveau de l'encastrement.

$$N = G \times 1\text{m} = 210 \text{ kg} ; M = F \times h = 84 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{84 \cdot 10^2}{210} = 40 \text{ cm} ; e_1 = \frac{e}{8} = \frac{12}{8} = 1,5 \text{ cm}$$

$\Rightarrow e_0 \gg e_1 \rightarrow$ la section est partiellement comprimée

Moment fictif :

$$M_f = N e_c = N (e_0 + \frac{e_1}{2} - d)$$

e_c étant la distance entre le centre de pression et les armatures tendues.

$$\Rightarrow M_f = 210 (40 + \frac{0,12}{2} - 0,02) = 90,30 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

Moment résistant du béton :

$$M_{rb} = \frac{1}{2} \bar{\sigma}_b \bar{\alpha} \bar{\gamma} b h^2$$

$$\text{avec : } \bar{\alpha} = \frac{15 \bar{\sigma}_b}{17 \bar{\sigma}_b' + \bar{\sigma}_a} = 0,42$$

$$\bar{\gamma} = 1 - \frac{\bar{\alpha}}{3} = 0,9509 ; h = h_f - d = 10 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow M_{rb} = 2,40 \cdot 10^5 \text{ kg}\cdot\text{cm}$$

On remarque que $M_{rb} \gg M_f \Leftrightarrow A_{\text{Comp.}} \approx 0$.

Armatures tendues : (Méthode de M. CHARON).

$$\mu = \frac{(15M)}{\bar{\sigma}_a b h^2} = 0,0048 \rightarrow K = 144 ; \varepsilon = 0,9684$$

$$A^s = \frac{M}{\bar{\sigma}_a \cdot \varepsilon \cdot h} = \frac{90,30 \cdot 10^5}{2800 \cdot 0,9684 \cdot 10} = 0,333 \text{ cm}^2$$

$$\Rightarrow A = A^s \cdot N / \bar{\sigma}_a = \underline{\underline{0,258 \text{ cm}^2}}$$

Verification des conditions:

1/ Condition de non-fragilité: (Art 52. CCBA 68/70):

$$A \geq 0,69 bh \frac{\bar{\sigma}_b}{\sigma_{en}} = 0,69 \cdot 100 \cdot 10 \cdot 5,9 / 4200 = 0,969 \text{ cm}^2$$

⇒ la section d'acier necessaire étant insuffisante, on disposera donc de (4HA6/ml): $1,13 \text{ cm}^2$, espacées de 25cm; on prévoit aussi des armatures constructives perpendiculaires aux armatures principales.

2/ Condition de non-fissuration: (Art 49.22 CCBA 68/70)

$$\begin{cases} \sigma_1 = \frac{kx}{\rho} \cdot \frac{\bar{\omega}f}{1+10\bar{\omega}f} = 1174 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_a = 2,4 \left(\frac{kx}{\rho} \cdot \bar{\sigma}_b \right)^{\frac{1}{2}} = 3687 \text{ kg/cm}^2 \end{cases} \Rightarrow \bar{\sigma}_a < \max(\sigma_1, \sigma_2)$$

La fissuration est ainsi vérifiée.

3/ La contrainte du béton:

$$\sigma'_b = \frac{\bar{\sigma}_a}{K} = \frac{2800}{144} = 19,4 \text{ kg/cm}^2 \ll \bar{\sigma}_b = 137 \text{ kg/cm}^2$$

4/ l'effort repris par les armatures tendues:

On vérifie que l'effort repris par les armatures soit supérieur à l'effort tranchant dû à (T et M).

$$A \bar{\sigma}_a \geq T \pm \frac{M}{z} \quad (1)$$

$$\text{or } T + \frac{M}{z} = 120 - 84 \cdot 10^2 / \left(\frac{7}{4} \cdot 10 \right) = -840 \text{ kg} < 0$$

La relation (1) est largement vérifiée.

5/ Verification au sein local (Art 3.3.9 RPA 81)

L'acrotere doit être vérifiée à l'action de la force horizontale F_p .

$$F_p = z \cdot I \cdot C_p \cdot W_p \quad \text{or } \begin{cases} z = 0,6 \\ C_p = 0,8 \text{ (Fact. de force horizontale)} \\ I = 1 \text{ (groupe d'usage 2)}. \end{cases}$$

$$\Rightarrow F_p = 0,6 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 210 = 101 \text{ kg/ml}$$

Donc $F_p < T \rightarrow$ l'effort dynamique horizontale sur l'acrotere est inferieur à l'effort horizontal ayant servi au dimensionnement de l'acrotere, elle est donc vérifiée au sein local.

2. - ETUDE DES ESCALIERS

Notre escalier est à paillasse adjacents identiques constitué de deux paliers et une dalle inclinée (paillasse), toutes les volées sont préfabriquées en BA d'une manière identique.

- Caractéristiques géométriques:

L'épaisseur de la paillasse est conditionnée par la relation:

$$l/30 \leq e \leq l/40 \Leftrightarrow 9\text{cm} \leq e \leq 14\text{cm} \rightarrow \text{on prend } \underline{e = 12\text{cm}}$$

$$\text{tg} \alpha = \frac{BC}{AC} = \frac{1,30}{1,80} = 0,722$$

$$\Leftrightarrow \alpha = 36^{\circ},33 \rightarrow \begin{matrix} \cos \alpha = 0,80 \\ \sin \alpha = 0,59 \end{matrix}$$

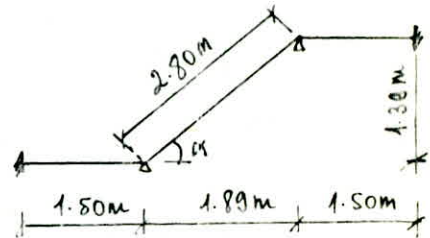
- Vérification de la relation de BLONDEL:

$$59 \leq g + 2h \leq 66 ?$$

$$g + 2h = 30 + 2(15) = 60\text{cm}$$

$\Rightarrow 59 < 60 < 66$ La relation est vérifiée

- charges et surcharges:



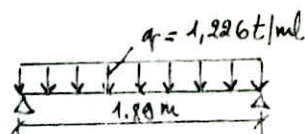
Palier (Kg/m^2)	Paillasse (Kg/m^2)
- Poids propre de la dalle en BA 400	- Poids propre en BA ($2500 \times 0,12$) = 0,30 375
- Poids du mortier ($2000 \times 0,02$) = 0,40 40	- Poids du mortier ($2000 \times 0,02$) = 0,40 50
- Poids du marbre $2800 \times 0,03$ 84	- Poids du marbre 84
- Poids de l'enduit $1800 \times 0,02$ 36	- Poids de l'enduit 42
	- Poids des marches en BA ($2500 \times 0,156$) $\times 0,859$ 195
$G = 560 \text{ Kg}/\text{ml}$	$G = 746 \text{ Kg}/\text{ml}$
$P = 400 \text{ Kg}/\text{ml}$	$P = 400 \text{ Kg}/\text{ml}$
$G + 1,2P = 1040 \text{ Kg}/\text{ml}$	$G + 1,2P = 1226 \text{ Kg}/\text{ml}$

1- CALCUL DE LA PAILLASSE :

La paillasse est assimilée à une poutre simplement appuyée et uniformément chargée.

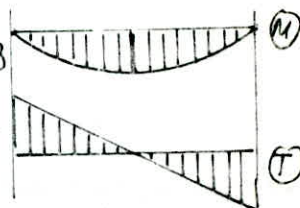
$$M_{\max} = \frac{q \cdot l^2}{8} = 1,226 \times \frac{1,89^2}{8} = 0,547 \text{ tm}$$

$$T_{\max} = \frac{q \cdot l}{2} = 1,226 \times \frac{1,89}{2} = 1,15 \text{ t}$$



$$\begin{cases} b = 100 \text{ cm} \\ h = 10 \text{ cm} \end{cases} \Rightarrow \mu = \frac{15M}{\bar{\sigma}_a b h^2} = \frac{15 \cdot 0,547 \cdot 10^5}{2800 \cdot 100(100)} = 0,0293$$

$$\mu = 0,0293 \rightarrow \begin{cases} \delta = 0,9259 \\ K = 52,5 \end{cases}$$



$$\sigma'_b = \frac{\bar{\sigma}_a}{K} = \frac{2800}{52,5} = 53,5 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b = 137 \text{ kg/cm}^2$$

$$A = \frac{M}{\bar{\sigma}_a \cdot \epsilon \cdot h} = \frac{0,547 \cdot 10^5}{2800 \cdot 0,925 \cdot 10} = 2,11 \text{ cm}^2 \text{ ou adopte } 5T8 \text{ (ml)}$$

Vérification à la fissuration :

$$K = 1,5 \cdot 10^6 ; \bar{\sigma}_b = 5,9 \text{ bars} ; \phi = 8 \text{ mm} ; \eta = 1,6 ; \bar{c} \bar{f} = 6,27 \cdot 10^{-3}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \sigma_1 = 1771,9 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_2 = 3193 \text{ kg/cm}^2 \end{cases} \Rightarrow \bar{\sigma}_a = 2800 \text{ kg/cm}^2 < \max(\sigma_1, \sigma_2) \text{ OK!}$$

Condition de non-fissuration :

$$A \geq 0,69 b h \frac{\bar{\sigma}_a}{\bar{\sigma}_{en}} = 0,69 \cdot 100 \cdot 10 \cdot \frac{5,9}{2800} = 0,96 \text{ cm}^2$$

$$\text{or } (5T8) = 2,51 \text{ cm}^2 > 0,69 \text{ c'est vérifié}$$

des armatures transversales :

$$\bar{\sigma}_b = \frac{T}{b \cdot z} = \frac{1,15 \cdot 10^3}{100 \cdot 7/8 \cdot 10} = 1,31 \text{ kg/cm}^2 < 1,15 \bar{\sigma}_b$$

$\bar{\sigma}_b < 1,15 \bar{\sigma}_b \rightarrow$ les armatures transversales ne font pas nécessaires.

40/ Vérification de la flèche :

La valeur de la flèche se peut être donnée par l'expression :

$$f = \frac{5q_l l^4}{384EI} \quad \text{avec : } \begin{cases} E = \frac{2}{3} E_i = 25000 \text{ kg/cm}^2 \\ I = \frac{b h^3}{12} = \frac{100 \times 12^3}{12} = 14400 \text{ cm}^4 \\ q_l = 122.6 \text{ kg/cm} \end{cases}$$

$$\Rightarrow f = \frac{5 \cdot 122.6 \cdot (189)^4}{384 \cdot 25000 \cdot 14400} = 0,15 \text{ cm}$$

$$\text{or } F = \frac{l}{500} = \frac{189}{500} = 0,37 \text{ cm} > f.$$

50/ Condition d'appui :

$$A \bar{\sigma} \stackrel{?}{\geq} T + \frac{M}{z} \Rightarrow 2,51 \cdot 2800 = 7028 \text{ kg} > 1150 + \frac{547}{70} \cdot 8 = 1212,5 \text{ kg}$$

C'est vérifiée.

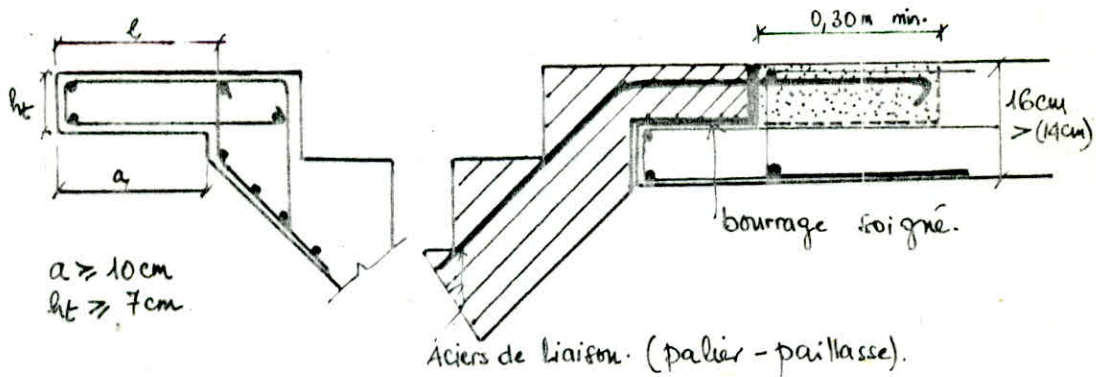
60/ Armatures de répartition :

Les armatures doivent être telle que :

$$\frac{A}{4} \leq A_r \leq \frac{A}{2} \Rightarrow \text{On prend alors } A_r = 1,26 \text{ cm}^2$$

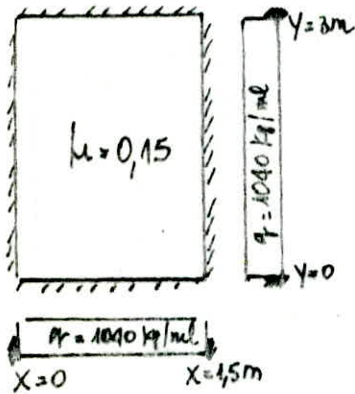
On prend donc 5TG/ml (1,414 cm²) espacées de 20 cm.

Comme la paillasse est préfabriquée on prévoit forfaitairement (6TG/ml) dans la partie supérieure pour éviter le risque de fissuration due au transport et au montage de la paillasse.

Recommandations techniques C.T.C

II- CALCUL DU PALIER :

Le palier est assimilé à un panneau de dalle eucastée sur 4 côtés (3 voiles et une poutre palière), le calcul se fait par la méthode de M. BARRÈS.



$$\gamma = \frac{a}{b} = \frac{1,50}{3,00} = 0,50$$

cat	a	b	γ	W_s	M_{xs}	M_{xvs}	M_{ys}	M_{yvs}
Value	1,50	3,00	0,50	0,0296	0,0947	0,195	0,022	0,133

$$q_a^2 = 1,040 \cdot (1,50)^2 = 2,34$$

$$q_b^2 = 1,040 (3,00)^2 = 9,36.$$

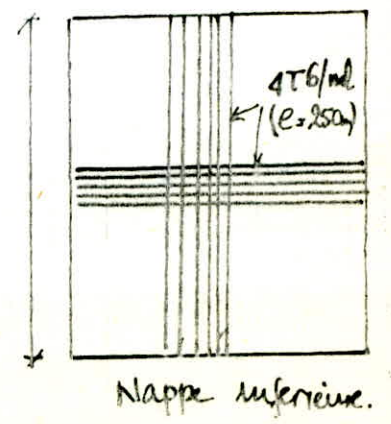
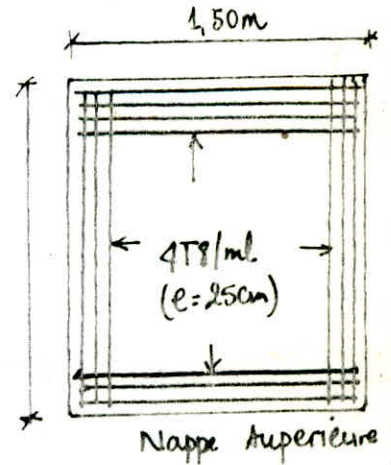
Moment	M_{xs}	M_{xvs}	M_{ys}	M_{yvs}
	0,0947	0,195	0,022	0,133

Calcul de la flèche:

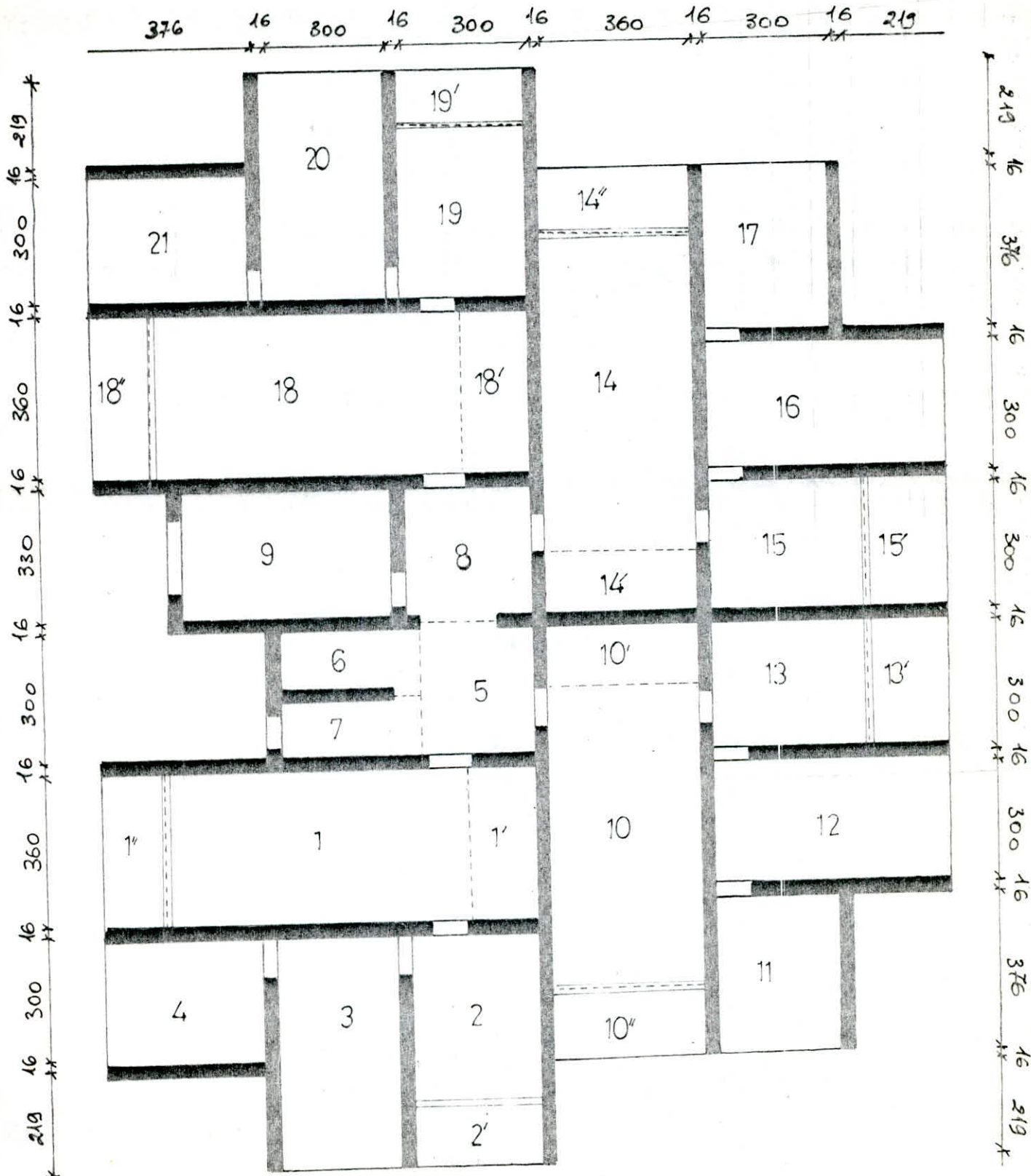
$$f = W_s \cdot \frac{q a^4}{E h^3} = 0,0296 \cdot \frac{1040 \cdot 150^4}{2 \cdot 10^9 \cdot (14)^3} = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ cm. } \ll f = 0,60 \text{ cm.}$$

Calcul de ferrailage:

	SENS PORTEUR	SENS REPARTITEUR
MI-TRAVÉE	$M_{max}^t = 0,094 \text{ tm} \rightarrow \mu = 0,002$ $K = 198$ $\delta = 0,916$ $A^c = 0,24 \text{ cm}^2$ $\Rightarrow A_{ad} = 4T6 (1,13 \text{ cm}^2)$	$M_{max}^t = 0,022 \text{ tm} \rightarrow \mu = 0,00060$ $K = 420$ $\delta = 0,9885$ $A^c = 0,056 \text{ cm}^2$ $\Rightarrow A_{ad} = 4T6 (1,13 \text{ cm}^2)$
	$M_{max}^a = 0,195 \text{ tm} \rightarrow \mu = 0,0053$ $E = 0,9669$ $K = 136$ $A^c = 0,51 \text{ cm}^2$ $\Rightarrow A_{ad} = 4T8 (2,01 \text{ cm}^2)$	$M_{max}^a = 0,133 \text{ tm} \rightarrow \mu = 0,0036$ $K = 166$ $\delta = 0,9727$ $A^c = 0,35 \text{ cm}^2$ $\Rightarrow A_{ad} = 4T8 (2,01 \text{ cm}^2)$

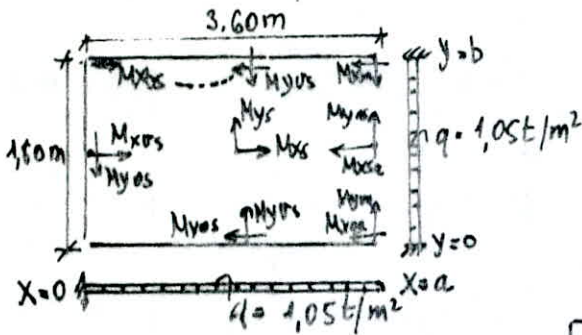


IDENTIFICATION DES DALLES



3. CALCUL DU PLANCHER

Calcul du panneau (1) :



$\mu = 0,15$ (Béton)
 $f = \frac{a}{b} = 2$

	W_s	W_{bs}	M_{xs}	M_{xys}	M_{ys}	M_{yas}	M_{yvs}	M_{yva}
	0,0018	0,0021	0,0021	-0,0019	0,0006	0,0450	-0,0830	-0,0785
F.m	$\frac{q \cdot a^4}{Eh^3}$	$\frac{q \cdot a^4}{Eh^3}$	$q \cdot a^2$	$q \cdot a^2$	$q \cdot b^2$	$q \cdot b^2$	$q \cdot b^2$	$q \cdot b^2$

La dalle travaille dans les deux sens.

Calcul de la flèche: (Au milieu du côté libre)

$$f = W_{bs} \cdot \frac{q \cdot a^4}{Eh^3} = 0,0021 \cdot \frac{1,04 \cdot (360)^4}{2 \cdot 10^5 \cdot (16)^3 \cdot 10^8} = 3,98 \cdot 10^{-3} \text{ cm} \ll \bar{f} = \frac{360}{500} = 0,72 \text{ cm.}$$

Calcul des moments.

M_{xs}	M_{ys}	M_{xys}	M_{yvs}	M_{yas}	M_{yva}
0,0857	0,124	-0,1906	-0,250	0,137	-0,258

avec: $\begin{cases} M_x = q \cdot a^2 \cdot \alpha \cdot \bar{x} \\ M_y = q \cdot b^2 \cdot \alpha \cdot \bar{y} \end{cases}$

Ferraillage: (par la méthode de M-CHARON).

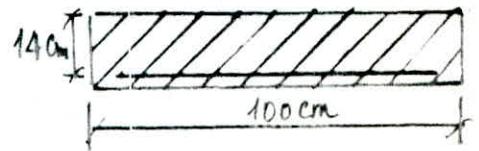
1- Sens porteur

* En travée $\rightarrow M_{max}^t = M_{yas} = 0,137 \text{ tm.}$

$$\mu = \frac{15 \cdot 0,137 \cdot 10^5}{2800 \cdot 700(14)^2} = 0,00374 \rightarrow \begin{cases} \epsilon = 0,9721 \\ k = 164 \end{cases}$$

$$\sigma'_b = \frac{2800}{164} = 17,07 \text{ kg/cm}^2 \ll \bar{\sigma}'_b = 137 \text{ kg/cm}^2$$

$$A = \frac{M}{\sigma'_b \cdot h} = \frac{0,137 \cdot 10^5}{2800 \cdot 0,9721 \cdot 14} = 0,36 \text{ cm}^2$$



* En appui $\rightarrow M_{max}^g = M_{yva} = -0,258 \text{ tm.}$

$$\mu = 0,0070 \rightarrow (\epsilon = 0,9621 ; k = 117)$$

$$A = \frac{0,258 \cdot 10^5}{2800 \cdot 0,9621 \cdot 14} = 0,684 \text{ cm}^2$$

$$\sigma'_b = \frac{2800}{117} = 23,93 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b$$

Calcul de ferrailage: (P.CHARON).

En travée: ($M^t = 1,36 \text{ t.m}$)

$$\mu = \frac{15 \cdot 1,36 \cdot 10^5}{2800 \cdot 100 \cdot (14)^2} = 0,0372 \rightarrow (\varepsilon = 0,9178 ; K = 45,8)$$

$$A = \frac{1,36 \cdot 10^5}{2800 \cdot 0,9178 \cdot 14} = 3,745 \text{ cm}^2, \quad \sigma_b^1 = \frac{2800}{45,8} = 61,13 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_b' \\ (A' = 0).$$

$$A_{ad.} = 5T10/\text{ml} \quad (3,925 \text{ cm}^2) ; e = 20 \text{ cm}.$$

$$A^2 \leq \frac{A}{2} = \frac{3,745}{2} = 1,9625 \text{ cm}^2 \Rightarrow A_{ad}^2 = 5T8/\text{ml} ; e = 20 \text{ cm}.$$

En appui: ($M_a = 0,68 \text{ tm}$)

$$\mu = \frac{15 \cdot 0,68 \cdot 10^5}{2800 \cdot 100 \cdot (14)^2} = 0,0186 \rightarrow (\varepsilon = 0,9398 ; K = 68,0)$$

$$A^{sup} = \frac{0,68 \cdot 10^5}{2800 \cdot 0,9398 \cdot 14} = 1,846 \text{ cm}^2, \quad \sigma_b^1 = \frac{2800}{68} = 41,17 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_b' \\ (A' = 0)$$

$$A_{ad.}^s = 4T8/\text{ml} \quad (2,01 \text{ cm}^2) ; e = 25 \text{ cm}.$$

$$A^2 \leq \frac{A}{2} = \frac{2,01}{2} = 1,005 \text{ cm}^2 \text{ soit } 3T8/\text{ml} \quad (1,50 \text{ cm}^2) ; e = 30 \text{ cm}.$$

VERIFICATION

10/ Effort tranchant:

$$\tau_b = T/bz = \frac{1,89 \cdot 10^3}{100 \cdot 7/8 \cdot 14} = 1,543 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\tau}_b = 1,15 \bar{\sigma}_b = 6,78 \text{ kg/cm}^2$$

$\tau_b < 1,15 \bar{\sigma}_b \rightarrow$ les armatures trans. ne sont pas nécessaires.

20/ Espacement des armatures:

$$t \leq \min(3h_t ; 33 \text{ cm}) = \min(48 \text{ cm} ; 33 \text{ cm}) = 33 \text{ cm}.$$

30/ Condition aux appuis:

$$A \geq \frac{1}{\sigma_a} \left(T + \frac{M}{2} \right) = \frac{1}{2800} \left(1,89 \cdot 10^3 - \frac{0,68 \cdot 10^5}{7/8 \cdot 14} \right) = -1,3 \text{ cm}^2$$

$A > -1,30 \text{ cm}^2$! c'est donc vérifié.

40/ Adhérence:

$$\bar{\tau}_{ad} = \frac{T}{n p x} = \frac{1,89 \cdot 10^3}{5 \cdot \pi \cdot 0,8 \cdot 7/8 \cdot 14} = 12,27 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\bar{\tau}_{ad} = 2,5 \psi_d \bar{\sigma}_b = 2,5 \cdot 1,5 \cdot 5,9 = 22,22 \text{ kg/cm}^2.$$

$\bar{\tau}_{ad} = 22,22 > 12,27$ adhérence vérifiée

2 - Sens repartiteur : (h = 13 cm)

* En travée → M^t_{max} = M_{max} = 0,0257 t.m.

μ = $\frac{15 \cdot 0,0257 \cdot 105}{2800 \cdot 100 \cdot (13)^2} = 0,00080 \rightarrow (\epsilon = 0,9867 ; \kappa = 360)$

⇒ A = $\frac{0,0257 \cdot 105}{0,9867 \cdot 2800 \cdot 13} = 0,072 \text{ cm}^2$; σ_b' = $\frac{2800}{360} = 7,77 \text{ kg/cm}^2 \ll \sigma_b'$.

* En appui → M^a_{max} = M_{x03} = -0,170 t.m.

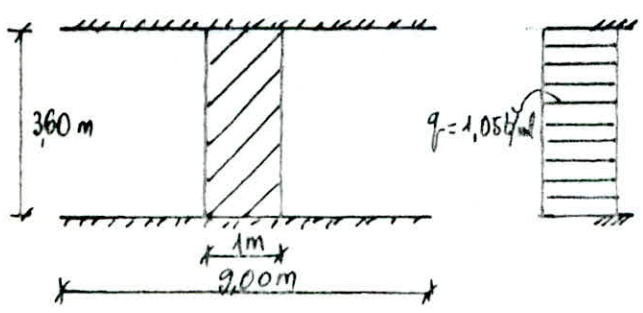
μ = 0,0053 → (ε = 0,9669 ; κ = 136)

⇒ A = $\frac{0,170 \cdot 105}{2800 \cdot 0,9669 \cdot 13} = 0,48 \text{ cm}^2$; σ_b' = $\frac{2800}{136} = 20,58 \text{ kg/cm}^2 \ll \sigma_b'$.

SENS PORTEUR	A _t = 5T8 / ml (2,51 cm ²)	e = 20 cm
	A _a = 5T8 / ml (2,51 cm ²)	
SENS REPARTITEUR	A _t = 4T8 / ml (2,01 cm ²)	e = 25 cm
	A _a = 4T8 / ml (2,01 cm ²)	

Calcul du panneau ① :

D'après la théorie de la ligne de rupture, le panneau ① est assimilé à une poutre écastrée de deux côtés et travaillant dans un seul sens.



q = 1,05 t/ml

G = 0,735 × 100 = 0,735 t/ml

P = 0,175 × 100 = 0,21 t/ml

q = G + 1,2P = 1,05 t/ml

M^t_{max} = $\frac{q \cdot l^2}{10} = \frac{1,05 \cdot 3,60^2}{10} = 1,36 \text{ t.m}$

M^a_{max} = $\frac{q \cdot l^2}{20} = \frac{1,05 \cdot 3,60^2}{20} = 0,68 \text{ t.m}$

T_{max} = $\frac{q \cdot l}{2} = \frac{1,05 \cdot 3,60}{2} = 1,89 \text{ t}$

5o/ Ancrage:

$$\bar{\sigma}_d = 1,25 \psi_d^2 \bar{\sigma}_b = 1,25 \times 1,5^2 \times 5,9 = 16,59 \text{ kg/cm}^2$$

$\bar{\sigma}_d < \bar{\sigma}_d$ c'est vérifié.

6o/ Conditions de non-fragilité:

$$A \geq 0,69 bh \frac{\bar{\sigma}_b}{\bar{\sigma}_{cm}} = 0,69 \times 100 \times 14 \frac{5,9}{4200} = 1,35 \text{ cm}^2$$

or $A > 1,35 \text{ cm}^2$ c'est donc vérifié.

7o/ Fissuration:

$$\sigma_1 = \frac{kx}{\phi} \frac{\omega_f}{1 + 10\omega_f} = 2142 \text{ kg/cm}^2$$

$\Rightarrow \max(\sigma_1, \sigma_2) > \bar{\sigma}_a$

$$\sigma_2 = 2,4 \sqrt{\frac{kx}{\phi} \bar{\sigma}_b} = 3856 \text{ kg/cm}^2$$

c'est vérifié.

8o/ Contraintes:

$$\omega_f = \frac{100A}{bh} = \frac{100 \cdot 3,925}{100 \cdot 14} = 0,2803 \quad ; \quad \varepsilon = 0,164 \quad ; \quad k = 44,8$$

$$\bar{\sigma}_a = \frac{M}{A \varepsilon h} = \frac{1,361 \cdot 10^5}{3,925 \cdot 0,164 \cdot 14} = 1510,25 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_b = \frac{\bar{\sigma}_a}{k} = \frac{1510,25}{44,8} = 33,710 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b = 137 \text{ kg/cm}^2$$

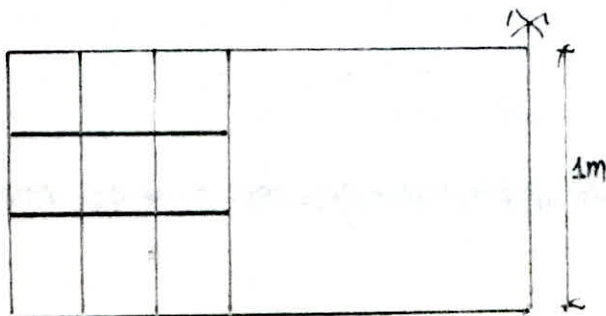
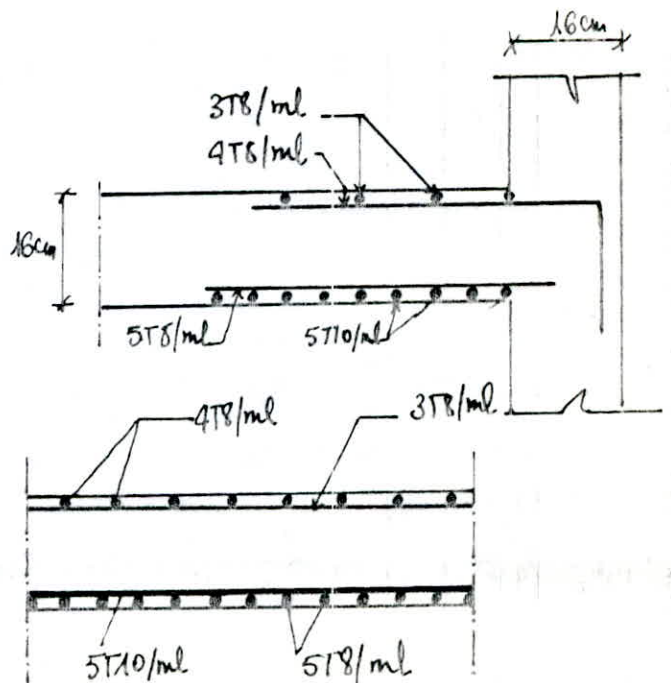
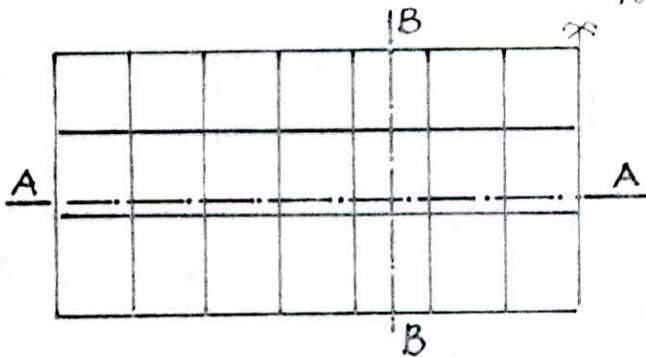


Tableau récapitulatif des valeurs des moments de tous les panneaux de dalles.

Dalles	a(cm)	b(cm)	γ	f(cm)	\bar{f} (cm)	M_{xs} (t.m)	M_{xvs} (t.m)	M_{ys} (t.m)	M_{yas} (t.m)	M_{yvs} (t.m)	M_{yva} (t.m)
2-3-12 13-15-16 19-20	535	300	1,783	0,0387	1,07	0,087	-0,509	0,332	0,382	-0,692	-0,719
4-11-17 21	376	300	1,25	0,0030	0,752	0,106	-0,486	0,284	0,377	-0,632	-0,72
1'-10' 14'-18'	360	180	2,00	0,0034	0,72	0,0257	-0,170	0,124	0,137	-0,250	-0,258
5	330	300	1,10	0,0032	0,66	0,108	-0,487	0,261	0,373	-0,594	-0,721
6	275	160	1,72	0,0032	0,57	0,027	-0,153	0,100	0,114	-0,211	-0,220
7	275	145	1,89	0,0021	0,55	0,020	-0,125	0,085	0,0958	-0,175	-0,180

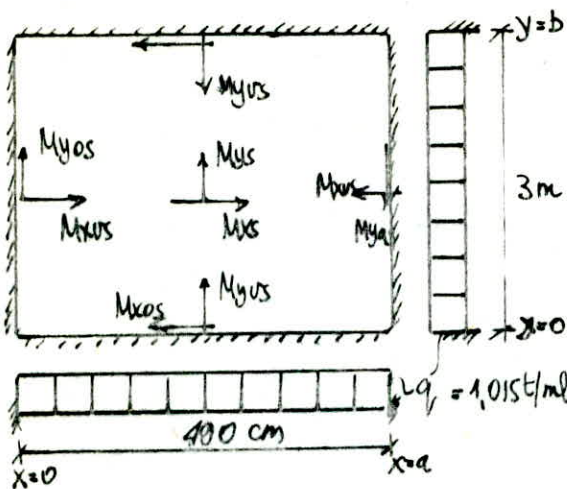
TABLEAU RECAPITULATIF DU FERRAILLAGE

Dalles	$M_{travée}$	$A_{calculé}$	$A_{adap.}$	Mapp.	$A_{calculé}$	$A_{adap.}$	$M_{travée}$	$A_{calculé}$	$A_{adap.}$	Mapp.	$A_{calculé}$	$A_{adap.}$
2-3-12 13-15-16 19-20	0,382	1,02	5T8 P.m e=20cm	-0,719	1,95	5T8 P.m e=20cm	0,087	0,22	5T6 P.m e=20cm	-0,509	1,35	5T8 P.m e=20cm
4-11-17 21	0,377	1,00	5T8 P.m e=20cm	-0,72	1,94	5T8 P.m e=20cm	0,106	0,277	5T6 P.m e=20cm	-0,486	1,30	5T8 P.m e=20cm
1'-10' 14'-18'	0,137	0,36	5T8 P.m e=20cm	-0,258	0,68	5T8 P.m e=20cm	0,0257	0,066	5T6 P.m e=20cm	-0,170	0,44	5T8 P.m e=20cm
5	0,373	0,996	5T8 P.m e=20cm	-0,721	1,96	5T8 P.m e=20cm	0,108	0,282	5T6 P.m e=20cm	-0,487	1,30	5T8 P.m e=20cm
6	0,114	0,30	5T8 P.m e=20cm	-0,220	0,58	5T8 P.m e=20cm	0,027	0,069	5T6 P.m e=20cm	-0,153	0,40	5T8 P.m e=20cm
7	0,0958	0,25	5T8 P.m e=20cm	-0,180	0,47	5T8 P.m e=20cm	0,020	0,051	5T6 P.m e=20cm	-0,125	0,322	5T8 P.m e=20cm

SENS PORTEUR

SENS REPARTITEUR

3- Panneau de dalles ⑧ et ⑨



$$\gamma = \frac{a}{b} = \frac{490}{300} = 1,60$$

$\Rightarrow \frac{1}{\gamma} = 0,62 > 0,5$ la dalle travaille dans les deux sens.

flèche :

$$W_s = 0,0041$$

$$\Rightarrow f = 0,0041 \cdot \frac{1,015 \cdot (490)^4}{2 \cdot 10^9 (16^3)} = 0,020 \text{ cm}$$

$$\bar{f} = \frac{l}{500} = 0,98 \text{ cm. C'est vérifié!}$$

Les valeurs des différents moments sont regroupés dans le tableau suivant

	a(cm)	b(cm)	γ	f_s (cm)	\bar{f} (cm)	M_{xs}	M_{xys}	M_{ys}	M_{yxs}
Dalle ⑧	300	300	1,00	0,0145	0,60	0,268	0,60	0,083	0,272
Dalle ⑨	490	300	1,60	0,0291	0,98	0,129	0,54	0,340	0,710

TABLEAU DE FERRAILLAGE

Dalles	M _{trav.}	SENS PORTEUR					SENS REPARTITEUR					
		A _{calc.}	A _{adop.}	M _{sp.}	A _{calc.}	A _{adop.}	M _{tr.}	A _{calc.}	A _{calc.}	M _{sp.}	A _{calc.}	A _{adop.}
8	0,268	0,71	5T8/ml	0,60	1,62	5T8/ml	0,083	0,22	5T6/ml	0,27	0,72	5T8/ml
9	0,34	0,90	5T8/ml e=20cm	0,71	1,93	5T8/ml e=20cm	0,129	0,39	5T6/ml e=20cm	0,54	1,46	5T8/ml e=20cm

VERIFICATIONS

1°/ Fissuration : $K = 1,5 \cdot 10^6$
 $\gamma = 1,6$
 $\omega_s = \frac{A}{Bf} = \frac{2,51}{2 \times 100 \times 2} = 0,0063 \rightarrow \begin{cases} \sigma_1 = 1778 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_2 = 3166 \text{ kg/cm}^2 \end{cases}$

$\Rightarrow \bar{\sigma}_a < \max(\sigma_1, \sigma_2)$

2°/ contraintes (dalle 2-3.....) :

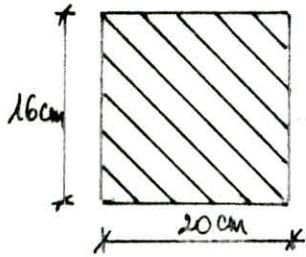
$\omega = \frac{700A}{bh} = \frac{(700 \times 2,51)}{140} = 0,179 \rightarrow \begin{cases} \epsilon = 0,9311 \\ K = 56,6 \end{cases}$

$\Rightarrow \sigma_a = \frac{M}{A \epsilon h} = \frac{0,38 \cdot 10^5}{2,51 \cdot 0,9311 \cdot 14} = 1161,4 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a$

4 BANDES NOYÉES

Aux extrémités libres des dalles on prévoit des bandes renforcées dont le but est de supporter la maçonnerie des façades, ayant pour dimensions : $(16 \times 20) \text{ cm}^2$.

On étudiera la bande la plus chargée et on adoptera le ferrillage ainsi déterminé pour le reste des autres bandes.

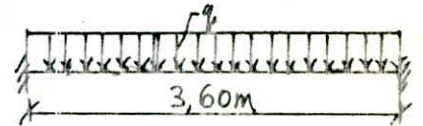


Poids propre : $0,16 \times 0,20 \times 2,5 = 0,081 \text{ t/ml}$

Poids du mur : $0,85 \text{ t/ml}$

$\Leftrightarrow q_f = 0,931 \text{ t/ml}$

$$\begin{aligned} M_t &= \frac{q l^2}{10} = \frac{0,93 \cdot 3,60^2}{10} = 1,20 \text{ t}\cdot\text{m} \\ M_a &= -\frac{q l^2}{2} = -0,60 \text{ t}\cdot\text{m} \\ T_{\text{max}} &= q \frac{l}{2} = 1,67 \text{ t} \end{aligned}$$



FERRAILLAGE

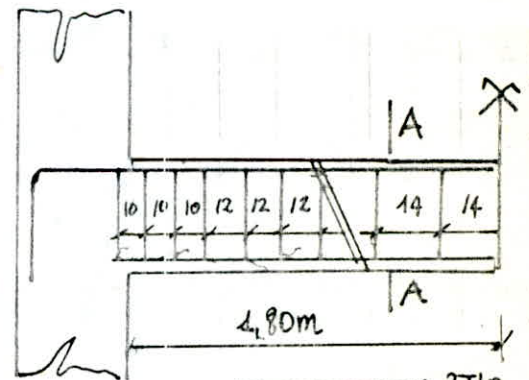
* En travée : ($M_t = 1,20 \text{ t}\cdot\text{m}$)

$\mu = 15 M / \bar{\sigma}_a b h^2 = 0,1256 \rightarrow (\epsilon = 0,8623 ; k = 21,5)$

$\sigma'_b = \frac{\bar{\sigma}_a}{k} = \frac{2800}{21,5} = 131,45 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b$

$A = \frac{M}{\bar{\sigma}_a \epsilon h} = \frac{1,20 \cdot 10^5}{2800 \cdot 0,8623 \cdot 14} = 3,35 \text{ cm}^2$

On prend 3T12 ($3,39 \text{ cm}^2$)

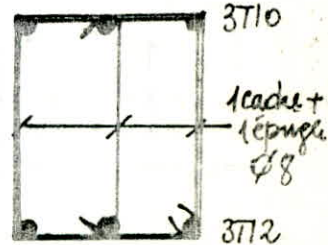


* En appui :

$\mu = 0,0628 \rightarrow (\epsilon = 0,8963 ; k = 33,3)$

$\sigma'_b = \frac{2800}{33,3} = 84,08 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b$

$A = \frac{0,60 \cdot 10^5}{2800 \cdot 0,8963 \cdot 14} = 1,49 \text{ cm}^2$ soit 3T10 (cm^2)



Armatures transversales :

On prend 1 cache + 1 épingle $\varnothing 8$ ($A_t = 1,50 \text{ cm}^2$)

Espacement :

$\bar{t}_1 \leq t \leq \bar{t}_2$ avec $\begin{cases} \bar{t}_1 = 0,2h = 2,8 \text{ cm} \\ \bar{t}_2 = h(1 - 0,3 \frac{\sigma'_b}{\bar{\sigma}'_b}) = 10,06 \text{ cm} \end{cases} \rightarrow t = 10 \text{ cm}$

Coupe A-A

5. CALCUL DE LA POUTRE PALIERE :

Poids propre de la poutre: $- 0,30 \times 0,25 \times 24,5 = 0,187 \text{ t/ml}$

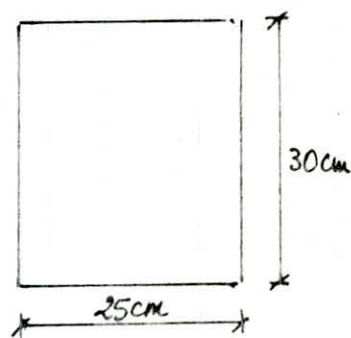
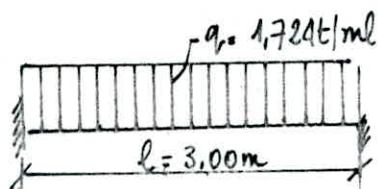
Poids du palier lui revenant $\frac{1}{4}(1,50 \times 0,16 \times 3)24,5 = 0,95 \text{ t/ml}$

Réactifs du vtre $0,910 \text{ t/ml}$

Surcharge d'exploitation (250 kg/m^2)... $0,125 \text{ t/ml}$

$$\Leftrightarrow q = G + 1,2P = 1,574 + 1,2 \times 0,125 = \underline{\underline{1,724 \text{ t/ml}}}$$

$$\begin{cases} M_{\max}^t = 1,55 \text{ t.m} \\ M_{\max}^a = 0,77 \text{ t.m} \\ T_{\max} = 2,586 \text{ t.} \end{cases}$$



Ferrailage:

* Travée: $\mu = 0,04236 \rightarrow (\varepsilon = 0,9129 ; k = 42,4)$

$$\sigma = \frac{\bar{\sigma}_a}{k} = 66,03 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b$$

$$A_c = 2,14 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{\text{adopté}} = 3T12 (3,39 \text{ cm}^2)$$

* Appui: $\mu = 0,0210 \rightarrow (\varepsilon = 0,9363 ; 63,5)$

$$\sigma = \frac{\bar{\sigma}_a}{k} = 44,09 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b$$

$$A_c = 1,04 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{\text{adopté}} = 3T10 (2,35 \text{ cm}^2)$$

Armatures transversales:

$$\bar{\sigma}_b = \frac{T}{b \cdot z} = \frac{2,586 \cdot 10^3}{25 \cdot 24,5} = 4,22 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_b = 3,5 \bar{\sigma}'_b$$

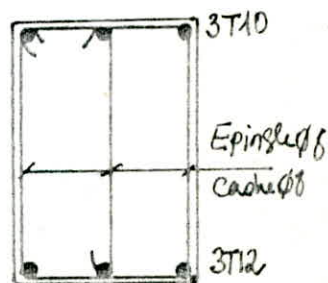
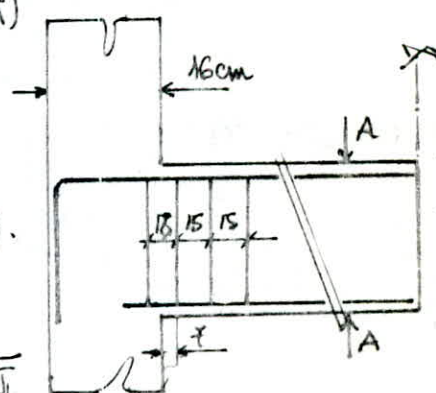
On prend 1 cache $\phi 8$ + 1 étrier $\phi 8$

Espacement:

$$\bar{F}_1 \leq t \leq \bar{F}_2 \quad \text{avec} \quad \bar{F}_1 = 0,2h = 5,6 \text{ cm.}$$

$$\bar{F}_2 = h(1 - 0,3 \frac{\bar{\sigma}_b}{\bar{\sigma}'_b}) = 10,49 \text{ cm.}$$

$$t = \frac{A_t \cdot z \cdot \bar{\sigma}_a}{T} = 30,5 \text{ cm} \quad \Leftrightarrow \quad \underline{\underline{\text{On prend } t = 17 \text{ cm}}}$$

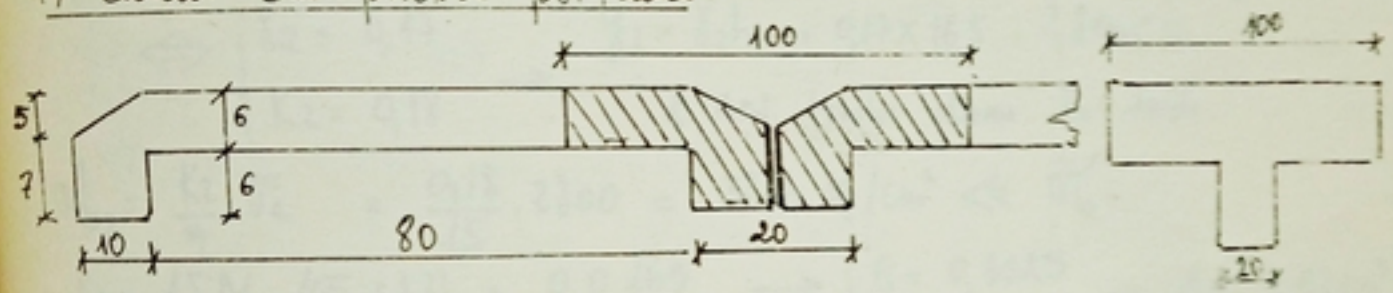


Vu l'impossibilité d'un coffrage tunnel en tôle et lanches pour le plancher haut du vide sanitaire, on adopte un procédé de plancher à predalles préfabriquées. Ce procédé présente plusieurs avantages :

- Temps d'exécution et de livraison très réduit.
- Facilité d'incorporation des canalisations.
- Fabrication soignée de chaque élément.
- Etc...

Dans notre cas, il s'agit d'un seul type de predalles dont les dimensions sont : $(360 + 2 \times 0,10) \times 100$.

1°/ Calcul des poutres portées :



1^{ère} PHASE :

La poutre est soumise uniquement à son propre poids.

$$q_1 = (0,2 \times 0,06 + 1 \times 0,06) \times 2500 = 180 \text{ kg/ml}$$

$$M_1 = \frac{q l^2}{8} = \frac{180 \cdot 360^2}{8} = 291,6 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$\delta = \frac{h_0}{h} = \frac{6}{10,5} = 0,57$$

$$\beta = \frac{b}{(b - b_0)} = \frac{100}{80} = 1,25$$

$$\gamma = \frac{6 \cdot n \cdot M_1 \beta}{b h_0^2 \bar{\sigma}_a} = \frac{6 \times 15 \times 180 \cdot 10^2 \cdot 1,25}{100 (10,5)^2 \cdot 2800} = 0,065$$

$$\Leftrightarrow \gamma_1 = 0,10 ; K_1 = 0,13 \quad (\text{Voir Aid mémoire B-A page 109})$$

$$\gamma_1 = \gamma_1 h_1 = 0,10 \times 10,5 = 1,05 < 6 \text{ cm } (h_0)$$

Slabe soumise toute dans la table \rightarrow voir section et calculée comme une poutre rectangulaire.

$$\sigma_{b1} = \frac{K_1 \bar{\sigma}_a}{\gamma} = \frac{0,13}{15} \times 2800 = 24,3 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_b$$

$$\mu = \frac{15 M_1}{\bar{\sigma}_a b h_1^2} = \frac{15 \cdot 291,6 \cdot 10^2}{2800 \cdot 100 \cdot (10,5)^2} = 0,014 \rightarrow \mu = 0,01471 \rightarrow A = 1027 \text{ cm}^2$$

2^{ème} PHASE :

La poutre reprend en plus de son propre poids les charges dues au poids du béton, le revêtement et les surcharges.

Bous calcul fait on trouve: $G_2 = 229 \text{ kg/ml}$; $P_2 = 250 \text{ kg/ml}$

$$\Leftrightarrow q_{r2} = G_2 + 1,2 P_2 = 529 \text{ kg/ml}$$

$$M_2 = q_{r2} l^2 / 8 = 529 \times \frac{3,60^2}{8} = 857 \text{ kg.m}$$

$$\varepsilon = h_0 / h_2 = 12 / 16,5 = 0,73$$

$$\beta = 100 / (100 - 20) = 1,25$$

$$\rho = 6 \times 15 \times 529 \cdot 10^2 / (100 \cdot 16,5^2 \cdot 2800) = 0,078$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \delta_2 = 0,17 \\ K_2 = 0,18 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} y_2 = \delta_2 h_2 = 0,17 \times 16,5 = 2,8 \text{ cm} < 12. \\ \text{l'AN tombe dans la table.} \end{cases}$$

$$\sigma'_{b2} = \frac{K_2}{\eta} \bar{\sigma}_a = \frac{0,18}{15} \cdot 2800 = 33,6 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b$$

$$\mu = 15 M / (\bar{\sigma}_a b h^2) = 0,0169 \rightarrow \begin{cases} \varepsilon = 0,9425 \\ K = 72,0 \end{cases} \rightarrow \underline{A_2 = 1,97 \text{ cm}^2}$$

On suppose les deux phases, on trouve

$$A = A_1 + A_2 = (1,047 + 1,97) = 3,015 \text{ cm}^2.$$

On adopte 4T10 (3,14 cm²).

Armatures transversales :

$$T = (q_1 + q_2) \frac{l}{2} = (180 + 529) \times \frac{3,60}{2} = 1276,2 \text{ kg.}$$

$$\Rightarrow \bar{\sigma}_b = 3,5 \bar{\sigma}'_b = 3,5 \times 5,9 = 20,65 \text{ kg/cm}^2 \text{ (car } \sigma'_b < \bar{\sigma}'_{b0}).$$

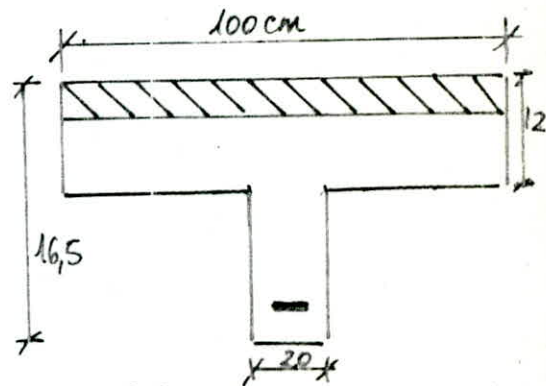
$$\sigma_b = T / b z = 1276,2 / (20 \times \frac{7}{8} \times 10,5) = 6,94 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_b.$$

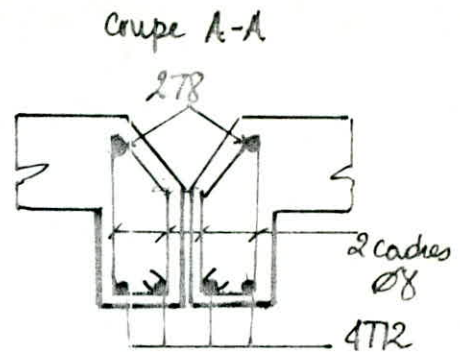
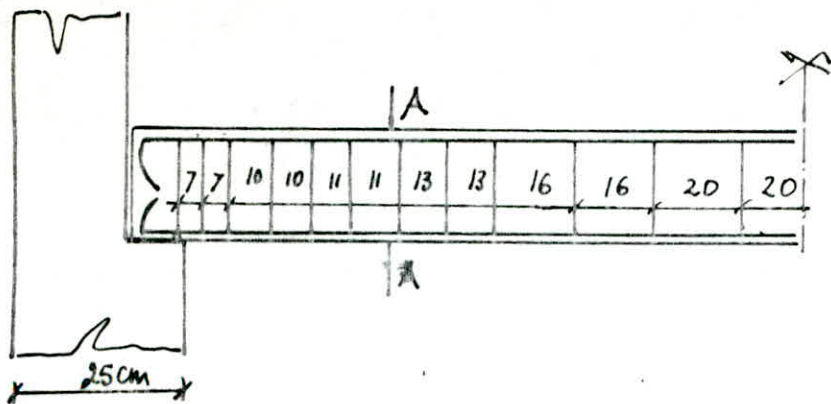
$$\text{Avec } A_t = 2 \text{ cadres } \phi 8 \rightarrow 2 \text{ cm}^2.$$

Espacement :

$$t = (A_t \cdot \bar{\sigma}_a) / T = 30,5 \text{ cm} \text{ avec } \begin{cases} \bar{t}_1 = 0,2 h = 2,1 \text{ cm.} \\ \bar{t}_2 = h (1 - 0,3 \frac{\sigma_b}{\bar{\sigma}_b}) = 7,10 \text{ cm.} \end{cases}$$

$$\bar{t}_1 < t < \bar{t}_2 \rightarrow \text{On prend } \underline{t = 7 \text{ cm}}$$



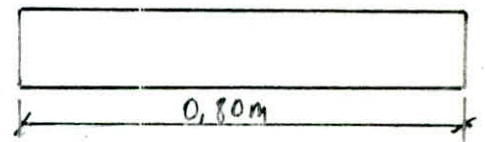


2° Calcul du homogène:

1^{ère} PHASE :

$$q_1 = 0,8 \times 0,06 \times 2500 = 120 \text{ kg/ml}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{En appui : } M_1^a = \frac{q_1 l^2}{20} = 3,84 \text{ kg.m.} \\ \text{En travée : } M_2^a = q_1 l^2 / 10 = 7,68 \text{ kg.m.} \end{array} \right.$$



$$\Leftrightarrow \mu = 0,0016 \rightarrow (\varepsilon = 0,9435 ; k = 73,5)$$

d'où la section d'acier tendue $A = 0,058 \text{ cm}^2$.

2^{ème} PHASE :

$$q_2 = G + 1,2P = (0,8 \times 0,06 \times 2500 + 94) + 1,2(250) = 514 \text{ kg/ml}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} M_2^t = q_2 l^2 / 10 = 32,89 \text{ kg.m.} \\ M_2^a = q_2 l^2 / 20 = 16,44 \text{ kg.m.} \end{array} \right. \rightarrow \mu = 0,0014 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon = 0,9825 \\ k = 270 \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow A_2 = 0,10 \text{ cm}^2$$

D'où $A = A_1 + A_2 = 0,10 + 0,058 = 0,158 \text{ cm}^2$ (Acier très faible)

$$A_{\min} \geq 0,69 \text{ dh } \frac{\sigma_b}{\sigma_{\text{ten}}} = 0,69 \times 100 \times 11 \times \frac{5,9}{4200} = 1,060 \text{ cm}^2$$

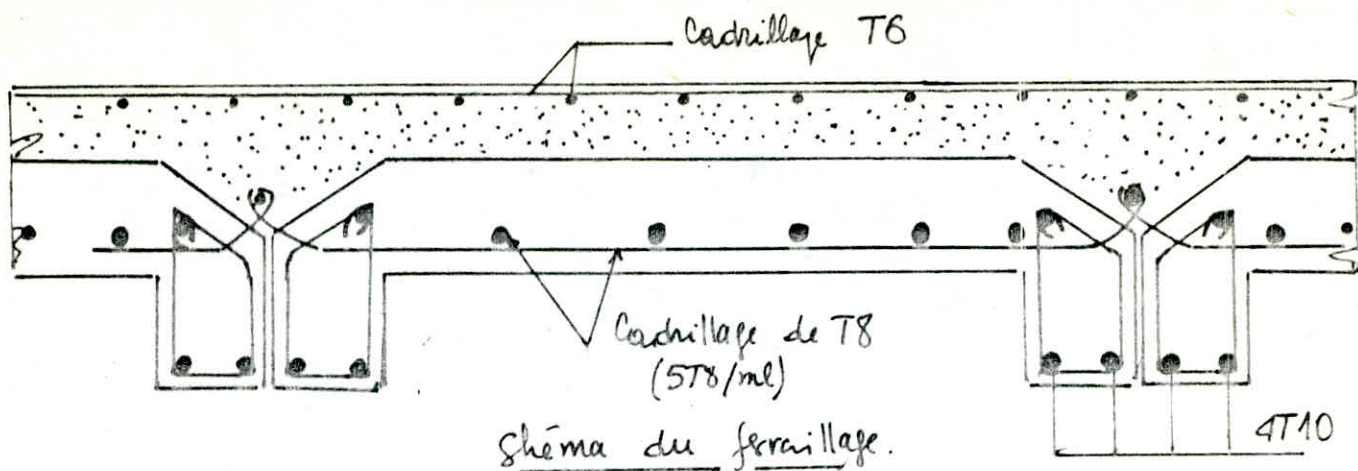
On adoptera alors : 5T8/ml (2,51 cm²)

On prend un caochillage de T8 dans les deux sens de la prédalle.

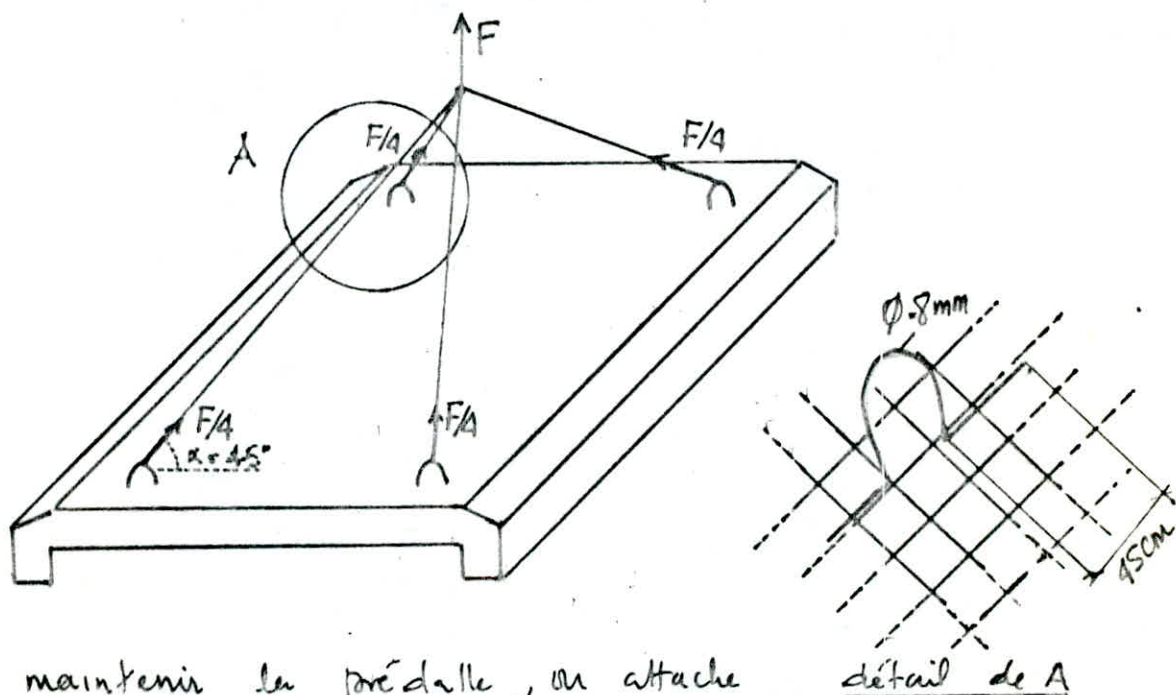
CHAPEAUX : 1^{ère} phase: $\mu_1 = \frac{15M}{\sigma_b b h^2} = 0,00010 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon = 0,9942 \\ k = 150 \end{array} \right. \rightarrow A_{t1} = 0,0130 \text{ cm}^2$

2^{ème} phase: $\mu_2 = 0,00032 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon = 0,9913 \\ k = 560 \end{array} \right. \rightarrow A_{t2} = 0,035 \text{ cm}^2$

$$\Leftrightarrow A = A_1 + A_2 = 0,048 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{\min} = 1,066 \text{ cm}^2 \text{ (caochillage de T6).}$$



CALCUL DES BOUCLES DE LEVAGE



Pour maintenir la prédalle, on attache des boucles en acier torse de $\varnothing 8\text{mm}$

longueur de l'encrage:

$$l_d = \frac{\phi}{4} \frac{\bar{\sigma}_a}{\bar{\sigma}_d} \quad \text{avec} \quad \bar{\sigma}_d = 1,25 \psi_d^2 \bar{\sigma}_b$$

$$\text{on} \quad \psi_d = \frac{1,5}{\sqrt{2}} \chi_d = \frac{1,5 \times 1}{1,41} \approx 1 \quad \chi_d = 1 \quad (\text{FE24})$$

$$\Rightarrow \bar{\sigma}_d = 1,25 \times 1^2 \times 5,9 = 7,37 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Rightarrow l_d = \frac{0,80}{4} \cdot \frac{1600}{7,37} = 43,40 \text{ cm} \quad \text{soit} \quad \underline{l_d = 45 \text{ cm}}$$

CALCUL DES INERTIES
EQUIVALENTES

INERTIES EQUIVALENTES

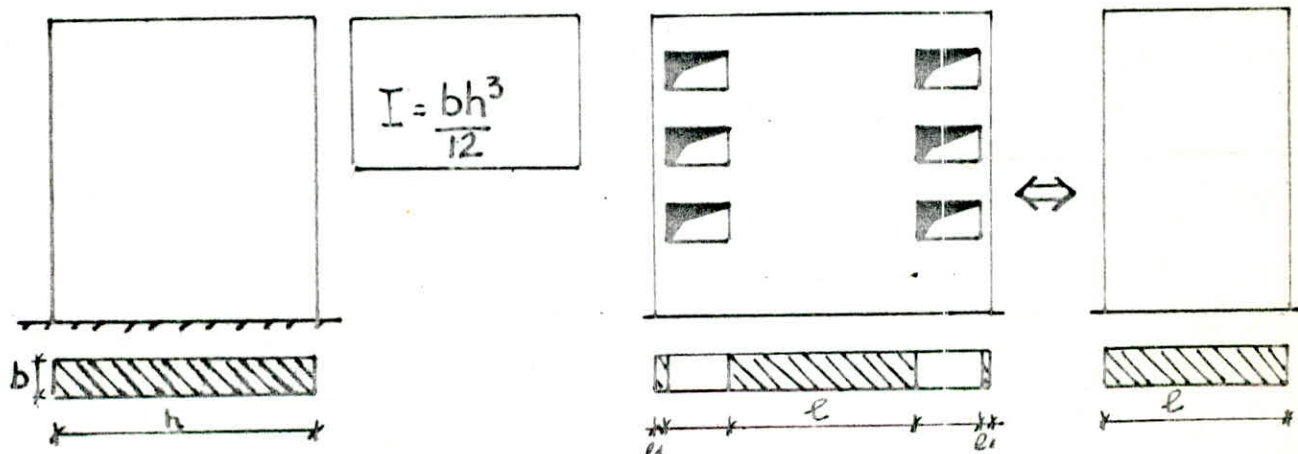
INTRODUCTION:

Lorsque les refends présentent une ou plusieurs files d'ouvertures, la répartition des efforts horizontaux peut encore s'effectuer de la même manière que dans le cas des refends pleins, mais en substituant au refend réel un refend fictif.

CALCUL DES INERTIES:

1°/ Refends pleins:

Remarque: des refends ayant des files d'ouvertures (une ou deux) à leurs extrémités sont considérés comme des refends pleins.

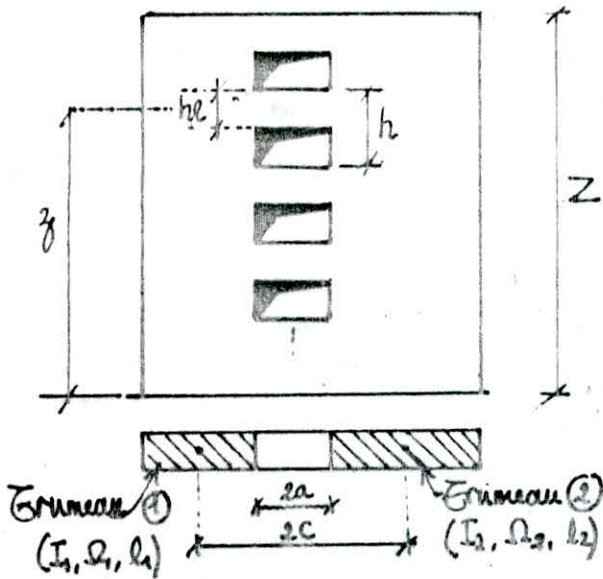


VOILE	VL1*	VL2*	VL5	VL6*	VL8*	VL9*	VL10*	VL11	VT1*	VT2*	VT3	VT4*	VT5*	VT6	VT9	VT10	VT13
h (m)	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
b (m)	4,41	4,41	3,76	2,10	1,89	4,41	4,41	3,76	4,41	4,41	10,27	4,41	4,41	3,76	3,60	5,48	3,76
I (m ⁴)	1,143	1,143	0,708	0,123	0,049	1,143	1,143	0,708	1,143	1,143	10,44	1,143	1,143	0,708	0,29	2,19	0,708

N.B. Les voiles marqués par une astérisque ont chacun une ouverture à son extrémité.

20/ Refends avec une file d'inventure:

(Méthode exposée par M. DIVERS)



La valeur du moment d'inertie équivalente (I_e) se peut être obtenue en égalisant les deux expressions de la flèche pour le refend fictif et le refend avec une file d'inventure; on aura donc:

$$I_e^V = \frac{I}{\frac{16 m c}{I_1 + I_2} \cdot (\psi_0 / \alpha^2) + 1} \quad (\text{vent})$$

$$I_e^S = \frac{\alpha_n I}{\frac{60}{11} \cdot \frac{2 m c}{I_0} \cdot (\psi_0 / \alpha^2) + 1} \quad (\text{deuxième})$$

avec: $I = I_1 + I_2 + 2 m c$
 $\psi_0 = \psi$ à la côte $z/Z = 0$
 tiré de l'abaque B.23b
 M. DIVERS

$E = E'$ (même matériau: Béton)

$\alpha = \omega Z$ avec $\omega^2 = \frac{3 E' i \cdot I \cdot c}{E (I_1 + I_2) \cdot m \cdot a^3 l}$

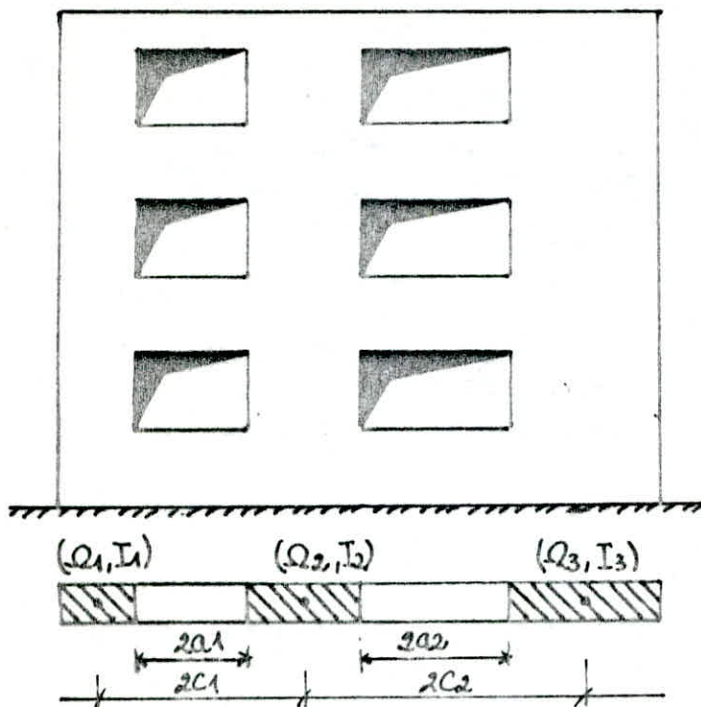
$\alpha_n = 1,08$ (10 niveaux).

i étant le moment d'inertie du lincau ($i = b h^3 / 12$)

$m = \frac{2c}{1/\Omega_1 + 1/\Omega_2}$

	h_1 (m)	h_2 (m)	h_e (m)	$i = \frac{b h^3}{12}$ (m ⁴)	a (m)	c (m)	$\Omega_1 = 64$ (m ³)	$\Omega_2 = 124$ (m ³)	m (m ³)	I_1 (m ⁴)	I_2 (m ⁴)	I (m ⁴)	ω	α	ψ_0 (Vent)	ψ_0 (deuxième)	I_e (Vent)	I_e (deuxième)
VT7 & VT12	7,63	1,71	0,65	$1,58 \cdot 10^{-3}$	0,97	2,80	1,22	0,273	1,251	5,92	0,066	13,00	0,218	9,014	0,400	0,551	12,42	13,45
VT8 & VT11	7,53	1,71	0,65	$1,58 \cdot 10^{-3}$	0,52	2,83	1,204	0,273	1,251	5,69	0,066	12,88	0,250	7,82	0,380	0,480	12,13	13,21
VL7	0,75	0,75	0,51	$5,72 \cdot 10^{-4}$	0,75	1,12	0,120	0,120	0,134	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$5,6 \cdot 10^{-3}$	0,311	0,239	7,48	0,382	0,51	0,12	0,14

30/ Refendo avec deux files d'ouvertures :



on note que :

$$\Omega = bl$$

$$I_i = bl_i^3/12$$

$$I = \sum I_i + \sum \Omega_i d_i^2 \quad (\text{Thm. de H. Steiner}) ; \text{ où } d_i \text{ représente la distance du c.d.g de l'élément (i) au c.d.g de l'ensemble.}$$

L'enceinte équivalente pour ce cas de figures (voile à deux ouvertures) est donnée par la formule suivante :

$$I_e = \frac{I}{\frac{8I}{(I_1+I_2+I_3)} \cdot \frac{\psi_0}{\alpha^2} + 1}$$

avec : $\alpha = \omega Z$

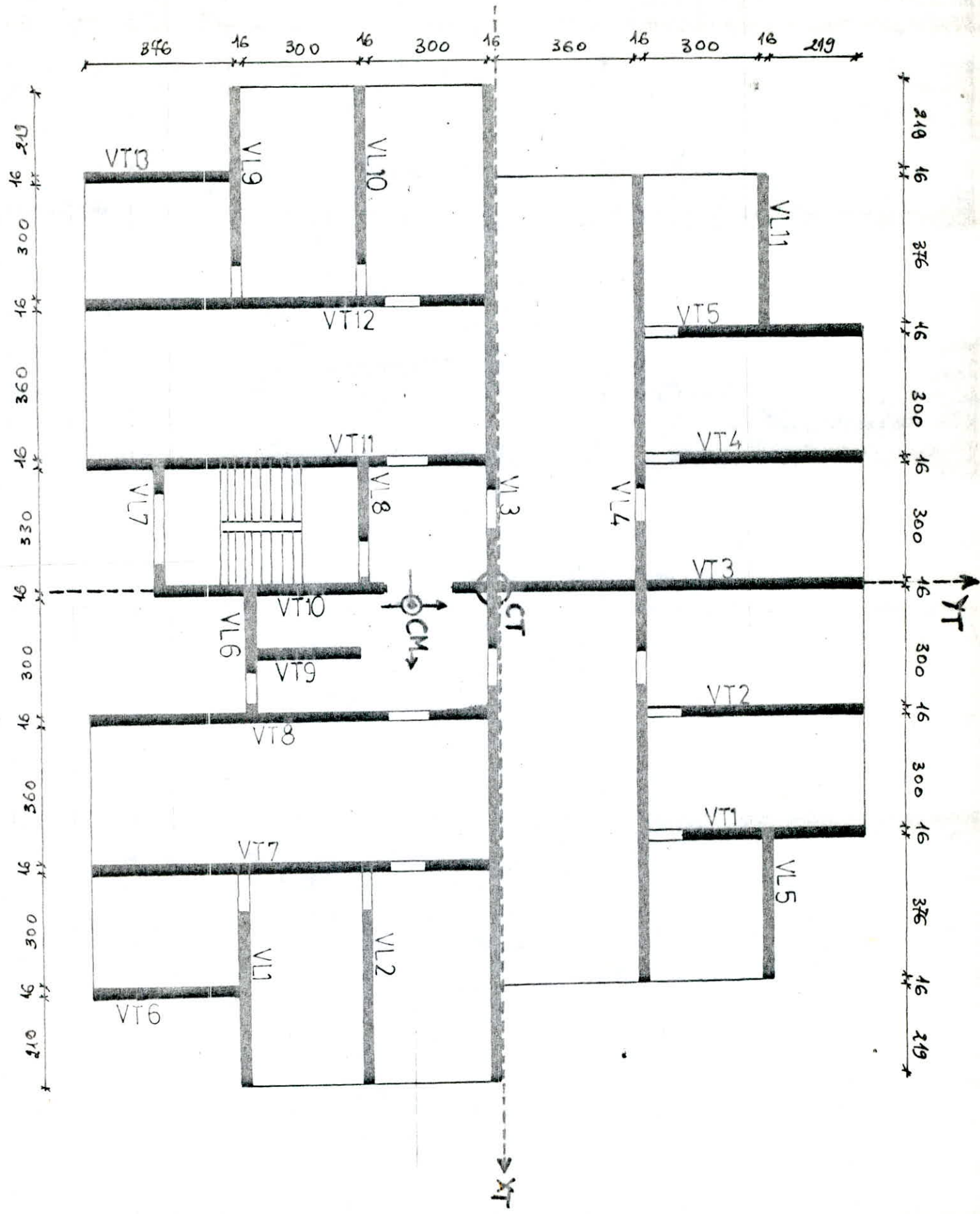
et ;
$$\omega = \sqrt{\frac{6i}{(I_1+I_2+I_3)h} \cdot \left(\frac{G_1^2}{a_1^3} + \frac{G_2^2}{a_2^3}\right)}$$

	l_1	l_2	l_3	h_1	a_1	G_1	a_2	G_2	i	Ω_1	Ω_2	Ω_3	I_1	I_2	I_3	I	ω	α
VL3	8,88	3,57	8,88	0,65	0,52	3,58	0,52	3,58	15,10	1,42	0,57	1,42	9,33	0,60	9,33	165,07	0,13	7,20
VL4	7,13	3,57	7,13	0,65	0,47	3,22	0,47	3,22	15,10	1,18	0,57	1,18	5,46	0,60	5,46	109,41	0,25	7,82

	ψ_s	I_e^s	ψ_v	I_e^v
VL3	0,530	142,26	0,382	109,70
VL4	0,580	91,99	0,388	73,86

ETUDE DE LA TORSION

IDENTIFICATION DES VOILES



l'excentricité

INTRODUCTION

L'excentricité est l'écart entre le centre de masse et le centre de torsion du bâtiment, de RPA exige que pour les structures comportant des planches horizontales rigides dans leur plan une excentricité égale à la plus grande des valeurs suivantes :

- 5% L (L: plus grande dimension du bâtiment)
- l'excentricité théorique.

Et cela tout en ayant une excentricité théorique inférieure à 20% L. d'excentricité est donnée par la relation :

$$e_T = X_T - X_G$$

$$e_L = Y_T - Y_G$$

où (X_G, Y_G) coordonnées du centre de masse

(X_T, Y_T) coordonnées du centre de torsion.

1°/ CALCUL DU CENTRE DE TORSION

$$X_T = \frac{\sum I_x^i \cdot x_i}{\sum I_x^i} ; Y_T = \frac{\sum I_y^i \cdot y_i}{\sum I_y^i}$$

Voiles transversaux :

VOILES	Vt1	Vt2	Vt3	Vt4	Vt5	Vt6	Vt7	Vt8	Vt10	Vt11	Vt12	Vt13	Σ
I_x^i	1,143	1,143	14,14	1,143	1,143	0,708	13,47	13,21	2,19	13,21	13,47	0,708	75,94
x_i	18,71	15,55	12,39	9,23	6,07	22,76	19,57	15,81	12,39	9,23	5,43	2,27	
$I_x^i \cdot x_i$	21,38	17,77	174,00	10,55	6,83	16,11	263,20	208,85	27,18	122,00	73,00	1,60	947,57

$$\underline{\underline{X_T = 12,47 \text{ m}}}$$

Voiles longitudinales :

VOILES	VL1	VL2	VL3	VL4	VL5	VL9	VL10	VL11	Σ
Iy_i	1,143	1,143	142,26	0,99	0,708	1,143	1,143	0,708	240,24
y_i	3,84	7,00	10,16	13,92	17,08	3,84	7,00	17,08	
$Iy_i \cdot y_i$	4,39	8,00	1445,26	1280,52	12,10	4,39	8,00	12,10	2774,86

$$\underline{\underline{Y_T = 11,55m}}$$

2°/ CALCUL DU CENTRE DE MASSE

Le calcul consiste à la détermination du C.d.m de chaque élément existant à chaque niveau; il est le même pour les niveaux courants (y compris le RDC) et change au niveau terrasse.

a) centre de masse des garde-corps :

N°	GC1	GC2	GC3	GC4	GC5	GC6	GC7	GC8	Σ
$M_i(t)$	0,30	0,30	0,36	0,30	0,36	0,36	0,30	0,36	2,64
x_i (m)	14,16	10,85	6,25	0	14,95	17,60	25,00	22,73	
y_i (m)	19,30	19,30	11,85	8,45	0	0	8,45	11,85	
$M_i x_i$	4,25	3,25	1,88	0	4,34	5,28	7,50	6,81	33,32
$M_i y_i$	5,79	5,79	3,56	2,56	0	0	2,54	3,56	23,79

$$X_G = 12,62m \quad ; \quad Y_G = 9,00m.$$

b) Centre de masse des acrotères :

No	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22
Mi (t)	0,96	0,53	0,31	0,91	0,33	0,96	0,53	0,31	1,80	0,31	0,53	0,96	0,31	0,91	0,31	0,53	0,96	0,25	0,99	0,32	0,96	0,60
Xi (m)	19,23	22,73	23,90	25,00	23,90	22,73	20,72	18,79	12,30	5,92	9,00	9,27	1,10	/	1,10	3,27	5,73	9,19	10,85	12,35	19,16	15,81
Yi (m)	/	1,88	3,84	7,00	10,16	13,84	17,08	18,25	19,35	18,25	17,08	13,54	19,16	7,00	3,29	1,88	/	0,90	1,88	9,98	9,16	7,05
Mixi	18,50	13,05	7,91	22,77	7,89	4,12	10,91	5,82	22,14	1,81	9,12	9,18	9,54	/	0,34	1,20	5,50	9,30	9,77	3,95	0,51	9,49
Miyi	/	1,60	1,19	6,73	3,35	13,29	9,05	5,66	39,83	5,66	9,05	13,00	3,15	6,37	1,00	1,00	/	0,23	0,83	0,95	6,57	0,77

13,53

140

123,50

$X_G = 12,56 \text{ m} ; Y_G = 9,13 \text{ m}.$

c) Centre de masse des façades :

No	F1	PF2	PF3	F4	F5	PF6	PF7	F8	F9	PF10	PF11	F12	F13	PF14	PF15	F16
Mi (t)	1,77	1,02	1,02	1,77	1,77	1,49	1,02	1,77	1,77	1,49	1,49	1,77	1,77	1,02	1,49	1,77
Xi (m)	17,00	13,85	10,70	7,55	2,19	3,79	1,50	/	3,77	14,45	17,60	21,00	25,00	13,50	21,23	22,76
Yi (m)	19,35	17,85	17,85	10,35	5,40	4,85	8,45	5,30	/	1,50	1,50	/	5,30	8,45	4,85	5,40
Mixi	31,00	14,12	11,00	11,70	9,05	5,64	1,53	/	6,63	21,53	26,72	37,19	44,75	23,79	21,63	49,28
Miyi	34,25	18,21	18,21	34,25	27,26	17,65	8,62	3,38	/	9,23	2,23	/	9,38	8,62	17,65	27,25

25,70

31072

$X_G = 12,10 \text{ m}$

$Y_G = 9,15 \text{ m}.$

d) Centre de masse des voiles longitudinales:

Voile	VL1	VL2	VL3	VL4	VL5	VL6	VL7	VL8	VL9	VL10	VL11
$M_i(t)$	4,87	4,87	24,96	20,29	4,00	2,91	2,91	2,86	4,87	4,87	4,00
$X_i(m)$	22,32	22,32	12,50	12,50	20,50	14,08	10,75	10,75	2,67	2,67	4,00
$Y_i(m)$	3,84	7,00	10,16	13,92	17,08	4,18	1,88	7,00	3,84	7,00	17,08
$M_i X_i$	108,89	108,89	312,00	253,62	82,00	40,97	31,28	30,74	13,02	13,02	16,00
$M_i Y_i$	18,70	34,10	253,60	282,43	68,32	12,16	5,47	20,02	18,70	34,10	68,32

e) Centre de masse des voiles transversales:

Voile	VT1	VT2	VT3	VT4	VT5	VT6	VT7	VT8	VT9	VT10	VT11	VT12	VT13
$M_i(t)$	4,87	4,87	10,92	4,87	4,87	4,00	9,90	9,90	2,93	2,13	9,90	9,90	4,00
$X_i(m)$	18,71	15,55	12,39	9,23	6,07	22,76	19,57	15,81	14,11	12,39	9,23	5,43	2,27
$Y_i(m)$	16,67	16,67	14,2	16,67	16,67	1,90	5,04	5,04	5,60	4,31	5,04	5,04	1,88
$M_i X_i$	91,17	75,53	135,29	45,00	29,56	91,04	193,74	156,5	41,34	26,90	91,37	53,75	9,08
$M_i Y_i$	81,18	81,18	155,06	81,18	81,18	7,60	49,90	49,90	16,41	9,18	49,90	49,90	7,52

Pour les ^{deux} directions ou traves:

$$\sum M_i = 164,45$$

$$\sum M_i X_i = 2050,02$$

$$\sum M_i Y_i = 1536,01$$

↔

$$X_G = 12,46 \text{ m}$$

$$Y_G = 9,34 \text{ m}$$

f) Centre de masse des dalles:

Dalle	1	1'	2	3	4	5	8	10	10'	11	12	13
$M_i(t)$	29,80	6,48	16,05	16,05	11,28	9,90	9,00	29,90	6,48	11,28	16,05	16,05
$X_i(m)$	17,60	17,60	22,15	22,15	21,00	14,00	10,75	18,30	13,20	20,50	17,00	13,85
$Y_i(m)$	4,10	9,05	8,45	5,30	1,90	8,45	8,45	11,85	11,85	15,40	16,50	16,50
$M_i X_i$	524,48	114,04	355,51	355,51	236,88	138,60	96,84	545,3	85,54	231,24	272,85	272,85
$M_i Y_i$	122,18	58,64	135,62	85,07	21,43	83,66	76,05	353,13	76,79	173,71	266,83	266,83

											Terrasse (Ea, V.O; G-B)		
Dalle	14	14'	15	16	17	18	18'	19	20	21	6	7	9
$M_i(t)$	29,80	6,48	16,05	16,05	11,28	29,90	6,48	16,05	16,05	11,28	4,40	4,00	14,70
$X_i(m)$	6,75	11,25	10,70	7,55	4,00	14,45	14,45	2,69	2,65	3,75	13,15	14,85	10,75
$Y_i(m)$	11,85	11,85	16,50	16,50	15,40	4,10	9,05	8,45	5,30	1,90	5,60	5,60	4,40
$M_i X_i$	186,45	72,90	171,74	121,18	45,12	430,61	93,64	42,53	42,53	42,30	57,86	59,40	158,03
$M_i Y_i$	353,13	76,79	266,83	257,60	178,71	122,18	58,64	135,62	58,07	21,43	24,64	22,40	64,68

Terrasse:

$$\sum M_i = 360,64$$

$$\sum M_i X_i = 4703,22$$

$$\sum M_i Y_i = 3376,66$$

$$X_G = 13,04m$$

$$\Rightarrow Y_G = 9,36m$$

Etage Courant:

$$\sum M_i = 337,54$$

$$\sum M_i X_i = 4427,93$$

$$\sum M_i Y_i = 3264,94$$

$$X_G = 13,11m$$

$$\Rightarrow Y_G = 9,67m$$

Centre de masse au niveau terrasse:

	$M_i(t)$	$X_i(m)$	$Y_i(m)$	$M_i X_i$	$M_i Y_i$
Acrotères	13,53	12,56	9,13	169,94	123,53
$\frac{1}{2}$ Voiles	82,22	12,46	9,34	1024,52	767,9
$\frac{1}{2}$ Facades	12,85	12,10	9,15	155,49	117,58
Plancher terr.	360,64	13,01	9,36	4702,7	4384,6
Σ	469,24	/	/	6082,7	4384,64

$$X_G = 12,89 \text{ m}$$

$$Y_G = 9,34 \text{ m}$$

Centre de masse au niveau étage courant et RDC :

	$M_i(t)$	$X_i(m)$	$Y_i(m)$	$M_i X_i$	$M_i Y_i$
Plancher E.C	337,54	13,11	9,67	4425,15	3264,01
$\frac{1}{2}$ Voiles inf. + $\frac{1}{2}$ Voiles sup.	164,45	12,46	9,34	2049,05	1535,9
$\frac{1}{2}$ Facades inf. + $\frac{1}{2}$ Facades sup.	25,7	12,10	9,15	310,97	235,15
Volée d'escalier	8,16	10,75	4,46	87,72	296,97
Garde de corps	2,64	12,62	9,00	33,32	23,76

$$X_G = 12,82 \text{ m}$$

$$Y_G = 9,94 \text{ m}$$

(*) CALCUL DE L'EXCENTRICITE A CHAQUE NIVEAU

	TERRASSE	E.C et R.DC
$X_G(m)$	12,89	12,82
$Y_G(m)$	9,34	9,94
$e_x(m)$	-0,42	-0,35
$e_y(m)$	2,21	1,41

selon RPA 81 :

\rightarrow Sens long. : $e_x = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,42 \text{ m} \\ 5\% \cdot 25 = 1,25 \text{ m} \end{array} \right.$
 \rightarrow Sens trans. : $e_y = \max \left\{ \begin{array}{l} 2,21 \text{ m} \\ 5\% \cdot 25 = 1,25 \text{ m} \end{array} \right.$

$$e_x = 1,25 \text{ m} ; e_y = 2,21 \text{ m}$$

Distribution des charges horizontales

On admet que:

- des refends sont parfaitement encastrés à leurs bases.
- des produits (EI) de tous ces éléments sont constants le long de la hauteur.
- des planchers sont indéformables.

La déformation en plan d'un bâtiment sous l'action des charges horizontales peut être décomposée en deux:

- * Déformation de translation parallèle à la charge horizontale.
- * Déformation de rotation autour d'un pt fixe (C.T.).

L'effort repris par chaque refend sera la somme des efforts engendrés par la translation et la rotation et est proportionnel à son inertie et au déplacement qu'il subit.

TRANSLATION:

- L'effort est dirigé suivant (y) :

$$R'_y i = \frac{H_y \cdot I_x^i}{\sum I_x^i}$$

- L'effort est dirigé suivant (x) :

$$R'_x i = \frac{H_x \cdot I_y^i}{\sum I_y^i}$$

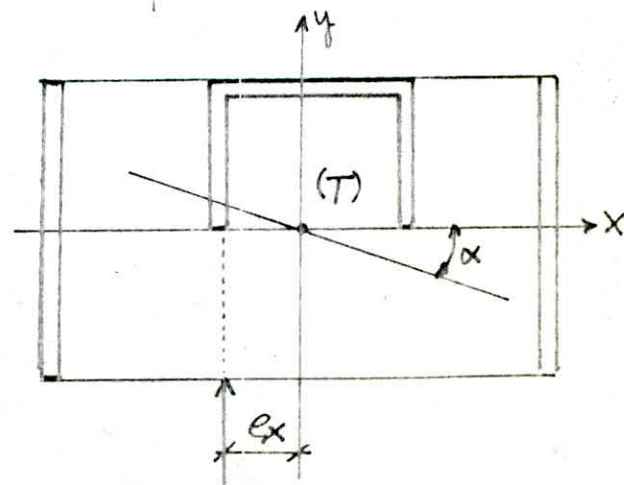
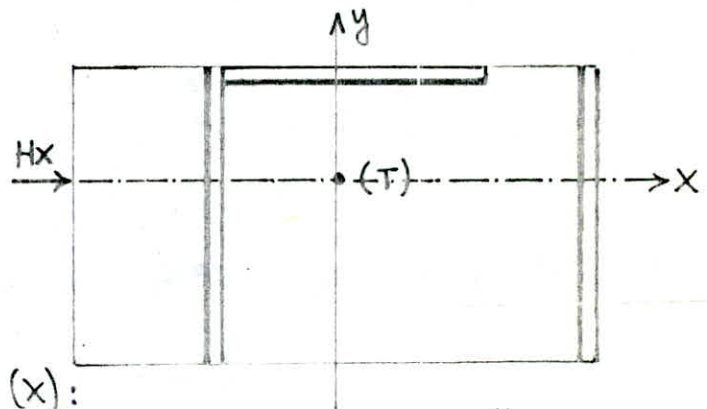
ROTATION:

1° Si la force horizontale agit dans le sens "y"

$$R''_y i = K_\alpha \cdot x_i \cdot I_x i \quad (1)$$

$$R''_x i = K_\alpha \cdot y_i \cdot I_y i \quad (1')$$

$$\text{L'équilibre} \Rightarrow \sum R''_y i + \sum R''_x i = H \cdot e_x \quad (2)$$



$$\Rightarrow K\alpha = \frac{H \cdot ex}{\sum I_x \cdot x_i^2 + \sum I_y \cdot y_i^2}$$

$$\Leftrightarrow R_{y_i}'' = \frac{H \cdot ex \cdot I_x \cdot x_i}{\sum I_x \cdot x_i^2 + \sum I_y \cdot y_i^2} \quad \text{et} \quad R_{x_i}'' = \frac{H \cdot ex \cdot I_y \cdot y_i}{\sum I_x \cdot x_i^2 + \sum I_y \cdot y_i^2}$$

On obtient finalement: $R_{y_i} = R_{y_i}' + R_{y_i}''$; $R_{x_i} = R_{x_i}''$.

2° La force horizontale agit dans le sens "x".

$$R_{x_i}'' = \frac{H \cdot ey \cdot I_y \cdot y_i}{J} ; \quad R_{y_i}'' = \frac{H \cdot ex \cdot I_x \cdot x_i}{J}$$

$$\text{avec : } J = \sum I_x \cdot x_i^2 + \sum I_y \cdot y_i^2$$

On aura finalement:

$$R_{y_i} = R_{y_i}' ; \quad R_{x_i} = R_{x_i}' + R_{x_i}''$$

Notation:

On note par $H = H_L = H_T$ l'effort horizontal total agissant à la base du bâtiment :

$$H_{x_i} = H_{x_i}' + H_{x_i}'' = \frac{H \cdot I_y \cdot y_i}{\sum I_y} + \frac{H \cdot ey \cdot I_y \cdot y_i}{J}$$

$$H_{y_i} = H_{y_i}' + H_{y_i}'' = \underbrace{\frac{H \cdot I_x \cdot x_i}{\sum I_x}}_{\text{translaté}} + \underbrace{\frac{H \cdot ex \cdot I_x \cdot x_i}{J}}_{\text{Rotative}}$$

ETUDE AU VENT

ETUDE AU VENT

Le vent peut engendrer des effets dynamiques qui dependent des caracteristiques aerodynamiques et mecaniques de la construction. Les actions du vent sur les differentes parties de la construction admettent une resultante geometrique \vec{R} qui peut se decomposer en:

- 1° - La traînée (Anivant la direction du vent)
- 2° - La derive (perpendiculaire à la traînée)
- 3° - la portance (Anivant une direction verticale ascendante).

1. L'EFFORT DE LA TRAÎNÉE (T)

Il est donne par la formule : $T = C_t \cdot \beta \cdot q \cdot d \cdot \delta$

avec: - $C_t = 1,3$; $\gamma_0 = 1 \Rightarrow C_t = 1$ (coef. de traînée)
 - $\beta = \theta (1 + \xi \tau) \geq 1$ coef. de majoration dynamique.

pour: $T = 0,08 \frac{h}{\sqrt{l_x}} \sqrt{h/(l_x+h)} = 0,45 \rightarrow \xi = 0,25$
 (NV65. RIII. 1.511)

$\tau = f(H)$ pour $H = 31,3m \rightarrow \tau = 0,329$
 (NV65. RIII. 4. p.83)

$\theta = 0,70 + 0,01 (H - 30) = 0,713$

On a donc $\beta = 0,713 (1 + 0,25 \cdot 0,329) = 0,771 \xrightarrow{\text{on prend}} \beta = 1$

- δ coef de dimensionner : pour $H = 31,3m \rightarrow \delta = 0,77$

Pression du vent:

* Alger est classée en region (II), site expose $\rightarrow K_s = 1,3$

* L'effet de masque : On suppose que notre batiement n'est pas abrite par une autre construction.
 $\rightarrow K_m = 1$

La pression dynamique (q_H) agissant à la hauteur H au dessus du sol et peut être prise du tableau (CIII4 - NV65) $\rightarrow q_H^n = 94,5 \text{ dan/m}^2$

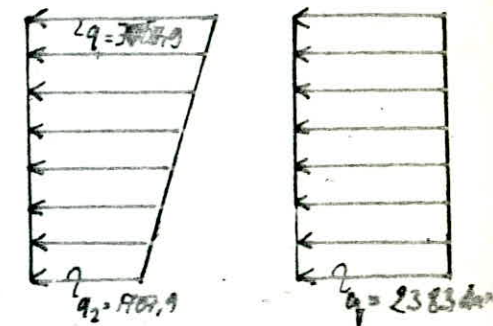
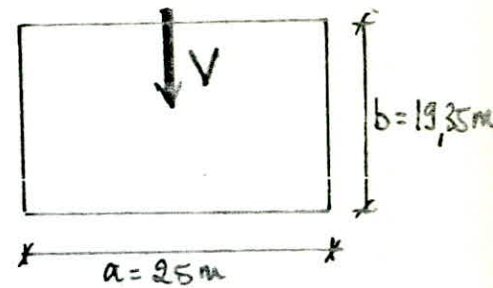
$\Rightarrow q_p = K_s K_m q_H = 1 \times 1,3 \times 94,5 = 122,85 \text{ dan/m}^2$ Vent. H $\rightarrow d = 25m$

- Coef. (C_d): Largeur du maitre couple: \rightarrow

10/ VENT TRANSVERSAL :

(TRAINEE)

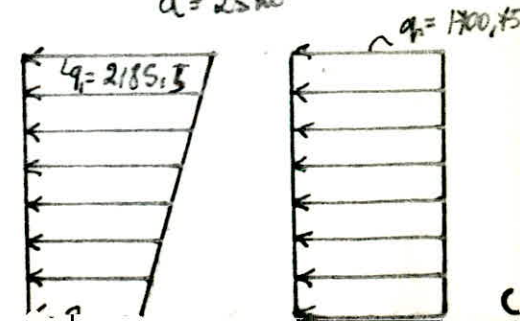
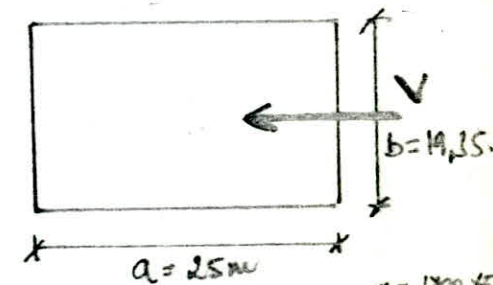
H(m)	C_t	ξ	τ	$1+\xi\tau$	θ	β	δ	q_H (daN/m)	d(m)	$q = K_s k_p q_H$	K_s	K_{m1}	T
0	1,3	0,25	0,36	1,09	0,71	1	0,77	52,50	25	68,15	1,3	1	1707,9
5	1,3	0,25	0,36	1,09	0,71	1	0,77	61,50	25	79,45	1,3	1	2000,75
10	1,3	0,25	0,36	1,09	0,71	1	0,77	70,00	25	91,00	1,3	1	2270,02
15	1,3	0,25	0,358	1,083	0,71	1	0,77	77,50	25	100,75	1,3	1	2521,24
20	1,3	0,25	0,343	1,085	0,71	1	0,77	83,00	25	107,90	1,3	1	2700,20
25	1,3	0,25	0,342	1,085	0,71	1	0,77	88,5	25	115,05	1,3	1	2879,12
31,3	1,3	0,25	0,330	1,082	0,71	1	0,77	94,00	25	122,2	1,3	1	3058,10



20/ VENT LONGITUDINAL :

(TRAINEE)

H(m)	C_t	ξ	τ	$1+\xi\tau$	θ	β	δ	d(m)	q_H	q_v	K_s	K_{m1}	T
0	1,3	0,20	0,36	1,072	0,71	1	0,77	19,35	52,50	68,15	1,3	1	1218,95
5	1,3	0,20	0,36	1,072	0,71	1	0,77	19,35	61,50	79,45	1,3	1	1477,9
10	1,3	0,20	0,36	1,072	0,71	1	0,77	19,35	70,00	91,00	1,3	1	1675,26
15	1,3	0,20	0,358	1,071	0,71	1	0,77	19,35	77,50	100,75	1,3	1	1799,4
20	1,3	0,20	0,343	1,068	0,71	1	0,77	19,35	83,00	107,90	1,3	1	1927,1
25	1,3	0,20	0,342	1,068	0,71	1	0,77	19,35	88,50	115,05	1,3	1	2074,8



CALCUL DES EFFORTS DÙS A LA TRAMÉE

(Calcul donné pour le niveau 9)

10/ VENT TRANSVERSAL : (Voiles transversales)

$H = 1,7 \times 2,66 = 4,5E$; $e_x = 1,25m$; $J = 2645,57 m^6$

Voiles	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	Σ
$X_i (m)$	6,20	3,00	-0,25	-3,35	-6,5	10,15	7,00	3,25	1,55	-0,25	-3,90	-7,20	-10,55	/
$I_x (m^4)$	1,43	1,43	14,44	1,43	1,43	0,708	1,42	1,43	0,30	2,19	1,43	1,42	0,708	72,02
$I_x \cdot x_i$	7,01	8,13	-3,61	-3,82	-7,42	7,18	8,94	3,94	0,46	-0,54	-11,44	-9,94	-7,32	/
$I_x \cdot x_i^2$	43,43	10,78	0,90	12,82	48,5	22,93	60,55	18,72	0,72	0,13	140,22	64,38	75,84	1786,62
$H'_x = \frac{H \cdot I_x}{\Sigma I_x}$	0,071	0,071	0,066	0,071	0,071	0,044	0,078	0,076	0,02	0,127	0,076	0,078	0,044	/
$H''_x = \frac{H \cdot e \cdot I_x}{J}$	0,002	0,005	-0,005	0,006	-0,002	0,008	0,007	0,007	-0,003	0,010	-0,019	0,012	0,012	/
$H_x = H'_x + H''_x$	0,073	0,076	0,061	0,077	0,069	0,052	0,085	0,083	0,017	0,137	0,057	0,090	0,056	4,50

20/ VENT LONGITUDINAL : (Voiles Longitudinales)

$H = 2,38 \times 2,66 = 6,33E$; $e_y = 2,21m$; $J = 2645,57 m^6$

Voiles	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V10	V11	Σ
$y_i (m)$	-7,50	-4,51	-1,50	2,80	5,50	-7,71	-4,51	5,50	/
$I_y (m^4)$	1,143	1,143	100,7	73,86	0,708	1,143	1,143	0,708	189,54
$I_y \cdot y_i$	-8,51	-5,15	-164,5	169,88	3,89	-8,87	-5,15	3,89	/
$I_y \cdot y_i^2$	64,30	23,84	246,75	390,72	21,40	67,92	23,22	21,40	858,92
$H'_y = \frac{H \cdot I_y}{\Sigma I_y}$	0,038	0,038	3,66	3,46	0,023	0,038	0,038	0,023	/
$H''_y = \frac{H \cdot e \cdot I_y}{J}$	-0,004	-0,006	-0,859	0,904	0,019	-0,006	-0,006	0,019	/
$H_y = H'_y + H''_y$	0,038	0,038	3,66	3,364	0,042	0,038	0,038	0,042	6,33

Distribution des efforts (M, N) pour chaque voile et à

1°/ Vent transversal:

Chaque niveau:

(ex = 1,25 m)

NIVEAUX Voiles	9		8		7		6		5		4		3		2		1		RDC	
	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M
VT1	0,083	0,104	0,166	0,31	0,158	0,622	0,332	1,037	0,445	1,556	0,448	2,179	0,581	2,405	0,664	3,735	0,747	4,669	0,83	5,706
VT2	0,076	0,095	0,152	0,310	0,228	0,57	0,304	0,45	0,38	1,428	0,456	1,495	0,532	2,66	0,608	3,42	0,684	4,21	0,76	5,228
VT3	0,906	1,325	1,812	3,341	2,718	6,795	2,624	11,32	4,53	16,48	5,436	23,78	6,342	31,71	7,24	40,77	8,154	50,46	9,06	62,82
VT4	0,071	0,089	0,142	0,266	0,213	0,532	0,284	0,887	0,355	1,33	0,426	1,863	0,407	2,485	0,568	3,145	0,639	3,944	0,71	4,881
VT5	0,071	0,089	0,142	0,266	0,213	0,532	0,284	0,887	0,355	1,33	0,426	1,863	0,407	2,485	0,568	3,145	0,639	3,944	0,71	4,881
VT6	0,056	0,07	0,112	0,21	0,168	0,42	0,224	0,70	0,28	1,05	0,236	1,47	0,342	1,96	0,448	2,52	0,504	3,15	0,56	3,88
VT7	0,998	1,16	1,856	3,48	2,784	6,96	3,74	11,60	4,64	17,4	5,568	24,36	6,496	32,4	7,42	4,76	8,32	52,2	9,28	63,9
VT8	0,827	1,074	1,654	3,101	2,48	6,20	3,308	10,33	4,135	15,50	4,062	21,70	5,789	28,94	6,616	37,28	7,444	46,51	8,24	56,85
VT9	0,020	0,026	0,042	0,078	0,063	0,157	0,084	0,262	0,105	3,39	0,126	0,58	0,147	0,735	0,168	0,945	0,189	1,87	0,21	1,443
VT10	0,137	0,171	0,274	0,514	0,411	1,017	0,548	1,712	0,685	2,09	0,822	3,596	0,599	4,795	1,096	6,165	1,233	7,706	1,37	9,45
VT11	0,760	0,95	1,52	2,85	5,7	3,04	9,50	3,80	14,26	4,52	19,95	5,32	26,6	6,08	34,2	6,82	34,21	7,2	7,6	52,28
VT12	0,780	0,74	1,56	2,92	2,34	5,85	3,12	0,75	3,90	14,62	4,68	20,81	4,46	27,3	6,24	35,1	7,02	13,81	7,8	53,62
VT13	0,044	0,055	0,88	0,165	0,132	0,33	0,176	0,55	0,22	0,88	0,264	1,155	0,368	1,54	0,352	1,85	0,396	2,47	0,44	3,028

201 Vent Amplitudinal

($\sigma_y = 2,21m$)

NIVEAUX	EFF	Voie	VL1	VL2	VL3	VL4	VL5	VL9	VL10	VL11
9	H		0,038	0,038	3,28	3,364	0,042	0,038	0,038	0,042
	M		0,084	0,084	8,089	7,434	0,093	0,084	0,084	0,093
8	H		0,076	0,076	7,322	6,728	0,084	0,076	0,076	0,084
	M		0,452	0,282	24,261	22,303	0,258	0,252	0,152	0,258
7	H		0,124	0,124	10,97	10,09	0,126	0,114	0,114	0,126
	M		0,504	0,504	48,53	44,60	0,556	0,504	0,504	0,556
6	H		0,152	0,152	14,64	13,45	0,168	0,152	0,152	0,168
	M		0,839	0,839	80,86	74,34	0,898	0,839	0,839	0,928
5	H		0,190	0,190	18,30	16,82	0,21	0,190	0,190	0,21
	M		1,258	1,258	121,32	111,21	1,392	1,258	1,258	1,392
4	H		0,228	0,228	21,96	20,18	0,222	0,228	0,228	0,252
	M		1,763	1,763	164,86	156,12	1,404	1,763	1,763	1,494
3	H		0,266	0,266	25,62	23,54	0,294	0,266	0,266	0,294
	M		2,351	2,351	226,4	208,16	2,598	2,351	2,351	2,595
2	H		0,304	0,304	29,28	26,918	0,336	0,304	0,304	0,336
	M		3,023	3,023	291,18	267,6	3,341	3,023	3,023	3,341
1	H		0,342	0,342	32,94	30,27	0,378	0,342	0,342	0,378
	M		3,779	3,779	363,98	334,54	4,174	3,779	3,779	4,127
RDC	H		0,38	0,38	36,6	33,64	0,42	0,38	0,38	0,42
	M		4,618	4,618	444,86	408,89	5,105	4,618	4,618	5,105

2. L'EFFORT DE LA DERIVE: (L)

(Action dans la direction perpendiculaire à celle du vent)
 La derive tient compte de l'action des tourbillons de KARMAN qui provoquent les vibrations dans la direction perpendiculaire à celle du vent. Le phénomène de résonance se produit lorsque $(T_k = T)$ (periode propre), les vibrations apparaissent lorsque la vitesse du vent est inférieure à 25m/s

soit $T_k = \frac{d}{SV}$ (periode des tourbillons) ; $S = 0,25$ (NV65)

$\Rightarrow V_{cr} = \frac{d}{ST}$

$T_L = 0,375 A ; (d=a=25,00m) \longrightarrow V_{cr}^L = \frac{25}{0,25 \times 0,375} = 266,6 m/A.$

$T_T = 0,450 A ; (d=b=19,35m) \longrightarrow V_{cr}^T = \frac{19,35}{0,25 \times 0,450} = 172 m/A.$

Resultat:

$(V_{cr}^L, V_{cr}^T) \gg 25m/A \Rightarrow$ Il est inutile donc de faire un calcul à la résonance.

3. LA FORCE DE PORTANCE: (L)

La valeur de la force de portance est donnée par la formule:

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

avec: C_u : coef de portance $C_u = C_e - C_i = 0,5 + 0,3 = 0,8$

$(\alpha=0, \delta_0=1 \rightarrow C_i = 0,6(1,8 - 1,3\delta_0) = 0,3$ NV65. III. 2.141)

S_u : surface de la terrasse ... $S_u = 401,46m^2$

$\Rightarrow L_N = 0,8 \cdot 0,77 \cdot 94,5 \cdot 401,46 = 23369,78 daN = 23,369 t$

La valeur extrême pour cette valeur est $C_u = 1,75$ LN

$\Rightarrow L_{extreme} = 40,89 t$

Inutile de faire un calcul de la

CALCUL PSEUDO-DYNAMIQUE

Etude pseudo-dynamique

Lorsque une structure se trouve soumise à une excitation variable dans le temps elle présente une réponse correspondant aux modes de vibration de celle-ci. La structure effectue tout d'abord et tant que dure l'excitation une série d'oscillations forcées régies par des lois assez complexes, pour cela une analyse dynamique est nécessaire pour connaître le comportement de la structure.

Au point de vue dynamique, notre structure peut être assimilée à un oscillateur multiple avec les masses concentrées aux nœuds et qui présentent plusieurs degrés de liberté.

EVALUATION DE LA PERIODE PROPRE D'OSCILLATION :

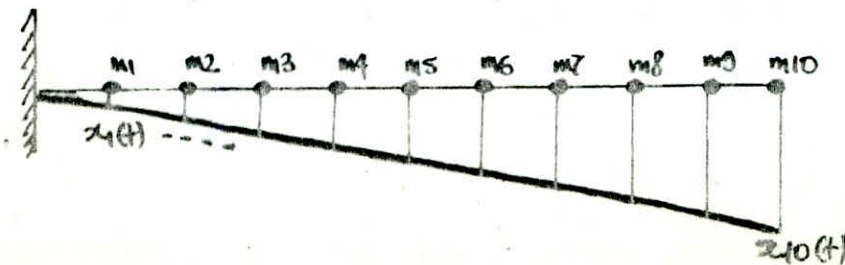
Analyse modale :

On utilise la méthode énergétique de RAYLEIGH, cette méthode approchée ramène l'étude de la structure réelle à une structure ne possédant qu'un seul degré de liberté, elle est utilisée seulement pour trouver la première pulsation propre. Cette méthode repose sur le principe de la conservation d'énergie ; l'énergie totale d'un système non amorti et libre de mouvoir est constante.

$$\bar{E}_{tot.} = \bar{E}_c(t) + \bar{E}_p(t) = \text{cste.} \quad (1)$$

avec $E_c(t)$: énergie cinétique fonction de temps.

et $E_p(t)$: énergie potentielle fonction de temps.



$$E_c(t) = \frac{1}{2} \sum_j W_j \dot{x}_j^2 \quad (2)$$

$$E_p(t) = \frac{1}{2} \sum_j G_j W_j x_j^2 \quad (3)$$

avec W_j : masse du niveau (j)

$G_j = W_j \cdot g$ charge gravitationnelle correspondante au niveau (j)

Sans le cas du mode fondamental les solutions sont des harmoniques

$$x_j(t) = x_j \sin(\omega_1 t + \varphi_1) \dots (4) \quad j = 1, 2, \dots, 10$$

avec x_j : l'amplitude maximale

ω_1 : pulsation fondamentale ; φ_1 : déphasage du 1^{er} mode.

$$\Leftrightarrow \begin{cases} E_c(t) = \frac{1}{2} \omega_1^2 \cos^2(\omega_1 t + \varphi_1) \sum_{j=1}^{10} W_j x_j^2 = E_c^{\max} \cos^2(\omega_1 t + \varphi_1) \quad (5) \\ E_p(t) = \frac{1}{2} \sin^2(\omega_1 t + \varphi_1) \sum_{j=1}^{10} G_j x_j^2 = E_p^{\max} \sin^2(\omega_1 t + \varphi_1) \quad (6) \end{cases}$$

On constate que pendant le mouvement le système passe par deux positions extrêmes :

$$E_c = 0 \text{ car } \dot{x}(t) = 0 \text{ et } E_p = \max.$$

et $\left\{ \begin{array}{l} \text{d'équilibre statique : } E_c = E_c^{\max} \text{ et } E_p = 0 \end{array} \right.$

$$\Leftrightarrow E_t = 0 + E_c^{\max} = E_p^{\max} + 0 \Rightarrow E_c^{\max} = E_p^{\max}$$

D'où : $\frac{1}{2} \omega_1^2 \sum_{j=1}^{10} W_j x_j^2 = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{10} G_j x_j^2 \Rightarrow \omega_1^2 = \frac{\sum_{j=1}^{10} G_j x_j^2}{\sum_{j=1}^{10} W_j x_j^2}$

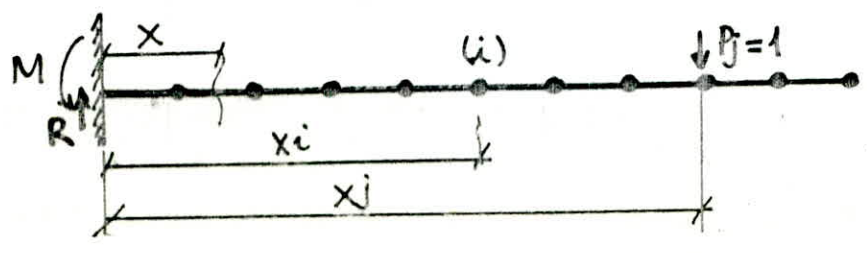
Or $T = \frac{2\pi}{\omega} \Rightarrow T = 2\pi \left(\frac{\sum W_j x_j^2}{\sum G_j x_j^2} \right)^{\frac{1}{2}}$

ou alors :

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

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Évaluation des déplacements unitaires :



$(M = P_j x_j ; R = P_j)$

$$M(x) = -P_j x_j + P_j x \Rightarrow M(x) = x - x_j \quad (P_j = 1)$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{M(x)}{EI} = (x_j - x) \frac{1}{EI} \Rightarrow \frac{dy}{dx} = \frac{1}{EI} \left(x_j x - \frac{x^2}{2} \right) + C_0$$

d'où $y(x) = \frac{1}{EI} \left(x_j \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{6} \right) + C_1$ $C_0 = C_1 = 0$ conditions aux limites.

$$\Rightarrow X_i = \Delta_i = \delta_{ij} = \frac{1}{EI} \left[\frac{X_i^2}{2} \left(X_j - \frac{X_i}{3} \right) \right] \text{ avec } j \geq i$$

D'après le théorème de MAXWELL BETTI ou $\delta_{ij} = \delta_{ji}$

i \ j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,69.10 ⁻⁶	1,76.10 ⁻⁶	2,83.10 ⁻⁶	3,9.10 ⁻⁶	4,9.10 ⁻⁶	5,9.10 ⁻⁶	7,10.10 ⁻⁶	8,18.10 ⁻⁶	9,25.10 ⁻⁶	10,3.10 ⁻⁶
2		5,7.10 ⁻⁶	1,2.10 ⁻⁶	1,4.10 ⁻⁶	1,8.10 ⁻⁶	2,3.10 ⁻⁶	2,7.10 ⁻⁶	3,2.10 ⁻⁶	3,6.10 ⁻⁶	4,1.10 ⁻⁶
3			1,7.10 ⁻⁶	2,9.10 ⁻⁶	3,9.10 ⁻⁶	4,9.10 ⁻⁶	5,9.10 ⁻⁶	6,9.10 ⁻⁶	7,4.10 ⁻⁶	8,9.10 ⁻⁶
4				4,7.10 ⁻⁶	6,5.10 ⁻⁶	8,3.10 ⁻⁶	1,1.10 ⁻⁶	1,18.10 ⁻⁶	1,26.10 ⁻⁶	1,34.10 ⁻⁶
5					9,8.10 ⁻⁶	1,2.10 ⁻⁶	1,48.10 ⁻⁶	1,7.10 ⁻⁶	2,0.10 ⁻⁶	2,3.10 ⁻⁶
6						1,6.10 ⁻⁶	2,0.10 ⁻⁶	2,4.10 ⁻⁶	2,8.10 ⁻⁶	3,1.10 ⁻⁶
7							2,5.10 ⁻⁶	3,1.10 ⁻⁶	3,6.10 ⁻⁶	4,2.10 ⁻⁶
8								3,8.10 ⁻⁶	4,5.10 ⁻⁶	5,2.10 ⁻⁶
9									5,6.10 ⁻⁶	6,3.10 ⁻⁶
10										7,5.10 ⁻⁶

NIV	W _i (t)
1	480,2
2	480,2
3	480,2
4	480,2
5	480,2
6	480,2
7	480,2
8	480,2
9	480,2
10	480,61

$$\Delta X_j = \sum W_j \delta_{ij}$$

$$E = 387 \cdot 10^4 \text{ t/m}^2$$

$$\sum I_x = 258,15 \text{ m}^4$$

$$\Delta Y_j = \sum W_j \delta_{ij}$$

$$E = 387 \cdot 10^4 \text{ t/m}^2$$

$$\sum I_y = 79,00 \text{ m}^4$$

On calcule les déplacements réels pour chaque niveau et pour les deux sens :

Niv.	W _i	X _i (m)	W _i X _i	W _i X _i ²
10	430,61	0,047	6,33	0,093
9	480,2	0,0127	6,098	0,077
8	480,2	0,0107	5,516	0,054
7	480,2	0,0088	4,22	0,037
6	480,2	0,0069	3,31	0,022
5	480,2	0,0051	2,45	0,012
4	480,2	0,0028	1,32	3,76 · 10 ⁻³
3	480,2	0,0018	0,86	1,55 · 10 ⁻³
2	480,2	0,0009	0,43	3,88 · 10 ⁻⁴
1	480,2	0,0003	0,124	4,32 · 10 ⁻⁵

SENS LONGITUDINAL
E I X = 90904 · 10⁴ t · m²

$$\Delta x_j = \sum W_j \delta_{ij}$$

$$E = 387 \cdot 10^9 \text{ t/m}^2$$

$$\sum I_x = 258,15 \text{ m}^4$$

$$T_L = 2\pi \left(\frac{\sum W_i X_i^2}{g \sum W_i X_i} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\Rightarrow T_L = 0,30 \text{ s}$$

$$\gamma = \frac{(\sum m_i X_i)^2}{\sum m_i \sum m_i X_i^2}$$

$$= 91\%$$

Niv.	W _j	X _j (m)	W _j X _j	W _j X _j ²
10	430,61	0,048	20,66	0,992
9	480,2	0,042	20,16	0,847
8	480,2	0,035	16,80	0,588
7	480,2	0,028	13,44	0,376
6	480,2	0,023	11,04	0,254
5	480,2	0,017	8,16	0,138
4	480,2	0,0093	4,46	0,041
3	480,2	0,006	2,88	0,017
2	480,2	0,0032	1,53	4,9 · 10 ⁻³
1	480,2	0,008	0,38	3,1 · 10 ⁻⁴

SENS TRANSVERSAL
E I Y = 30573 · 10⁴ t · m²

$$\Delta y_j = X_j = \sum W_j \delta_{ij}$$

$$E = 387 \cdot 10^9 \text{ t/m}^2$$

$$\sum I_y = 79 \text{ m}^4$$

$$T_T = 2\pi \left(\frac{\sum W_i X_i^2}{g \sum W_i X_i} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\Rightarrow T_T = 0,36 \text{ s}$$

Remarque:
des périodes étant inférieures à 0,50 s.
Le premier mode est donc le mode prépondérant.

ETUDE AU SEISME

ETUDE AU SEISME

(Règles parasismiques Algériennes RPA 81)

INTRODUCTION :

Le but du RPA 81 est de prévoir les mesures nécessaires à l'exécution des constructions de façon à fournir un degré de protection acceptable aux vies humaines et aux biens matériels.

Suivant le RPA les forces réelles dynamiques qui se développent dans la construction sont remplacées par un système de forces statiques fictives dont les efforts sont considérés équivalents aux efforts de l'action sismique.

Le mouvement du sol peut se faire dans une direction quelconque dans le plan horizontal, les forces sismiques horizontales seront considérées appliquées successivement suivant deux directions orthogonales caractéristiques données par les axes principaux du plan principal de la structure en fournissant une énergie minimale.

CALCUL DES FORCES SISMIQUES :

Le RPA permet sous les conditions de calculer la structure par une méthode pseudo-dynamique qui consiste à considérer la structure comme soumise à un effort tranchant (V) à la base. La valeur de cet effort est donné par la formule suivante:

$$V = A \cdot B \cdot D \cdot Q \cdot W$$

CALCUL DES COEF. :

1° A : étant le coef. d'accélération de zone (Art: 3.3.11)
 groupe d'usage 2
 Zone II $\Leftrightarrow A = 0,15$

20/ D: Facteur d'amplification dynamique (Art. 3.3.12), il est fonction de la période de la structure, la nature du sol et de l'amortissement de la structure:

2-1 calcul de la période (T)

D'après les résultats de l'analyse dynamique:

$$\begin{cases} T_L = 0,30 \text{ s} \rightarrow D = 1,92 \\ T_t = 0,36 \text{ s} \rightarrow D = 1,84. \end{cases}$$

30/ B: Facteur de comportement de la structure (Art.: 3.3.13), il dépend du type de la structure et de la nature de ces entreversements

$$B = 1/3.$$

40/ Q: Facteur de qualité (Art. 3.3.14), il est fonction de la surabondance du système de son asymétrie en plan, de sa régularité en élévation et de la qualité des contrôles pendant la construction.

q	Critères	Observations	Par
1	Condition minim. des files porteuses	$\frac{h(\text{étage})}{L(\text{trum.})} = \frac{2,66}{4,41} = 0,60 < 0,67$	0
2	Surabondance en plan.	Il existe plus de 4 fils de voiles de chaque direction	0
3	Symétrie en plan	$(e_x, e_y) \ll 15\% H$ (4,60 m)	0
4	Régularité en élévation	la régularité est la même de long de la ha.	0
5	Contrôle de la qualité des constructions	non	0,5
6	Contrôle de la qualité des matériaux	non	0,5

$$Q = 1 + \sum_1^6 P_q$$

$$Q = 1,2$$

50/ W: est le poids de la structure, on prend dans note

$$\text{Cas } W = G + 0,25 P$$

$$G = 4987,52 \text{ t}$$

$$P = 626,45 \text{ t}$$

$$\Rightarrow \underline{W = 5112,81 \text{ t}}$$

EVALUATION DE L'EFFORT V :

- Sens transversal : $0,15 \times \frac{1}{3} \times 1,84 \times 1,2 \times 5112,81 = 564t$
- Sens Longitudinal : $0,15 \times \frac{1}{3} \times 1,42 \times 1,2 \times 5112,81 = 589t$

DISTRIBUTION DES FORCES LATÉRALES :

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

$$V = F_t + \sum_{i=1}^n F_i \quad \text{où } F_t = 0,07 TV$$

F_t : étant la force concentrée au sommet de la structure

Dans notre cas $F_t = 0$ (car $T < 0,40A$) $\Rightarrow V = \sum_{i=1}^n F_i$

EFFORT HORIZONTAL AU NIVEAU "K" :

Il est donné par l'expression suivante

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

Sens transversal ($V^t = 564t$)

sens longitudinal ($V^l = 589t$)

NIV	W _k	K	W _k · K	F _k	F _{k cum.}
T	430,61	10	4306,1	95,56	95,56
9	480,2	9	4321,8	95,91	191,47
8	480,2	8	3841,6	85,25	276,72
7	480,2	7	3361,4	74,60	351,32
6	480,2	6	2881,2	63,95	415,27
5	480,2	5	2401,0	53,28	468,55
4	480,2	4	1920,8	42,63	511,18
3	480,2	3	1440,6	32,00	523,18
2	480,2	2	960,4	21,31	554,5
1	480,2	1	480,2	10,65	564,15
TOT	930,7	0	0	0	564,15

NIV	W _k	K	W _k · K	F _k	F _{k cum.}
T	430,61	10	4306,1	99,23	99,23
9	480,2	9	4321,6	99,60	198,83
8	480,2	8	3841,6	88,54	287,37
7	480,2	7	3361,4	77,95	364,8
6	480,2	6	2881,2	66,40	431,22
5	480,2	5	2401	55,32	486,5
4	480,2	4	1920,8	44,26	530,8
3	480,2	3	1440,6	33,30	554,1
2	480,2	2	960,4	22,13	569,2
1	480,2	1	480,2	11,00	588,2
TOT	930,7	0	0	0	588,2

REPARTITION DES EFFORTS DANS LES VOILES

10/ Section longitudinal :

$J_0 = 2943,3 \text{ m}^6$; $H \text{ (factif)} = 100t$; $e_y = 2,21m$

	VL1	VL2	VL3	VL4	VL5	VL9	VL10	VL11
$y_i \text{ (m)}$	-7,50	-4,51	-1,50	2,30	5,50	-7,71	-4,51	5,50
$I_y \text{ (m}^4)$	1,143	1,143	142,3	91,99	0,708	1,143	1,143	0,708
$I_y \cdot y_i$	-8,53	-5,15	-213,3	211,5	3,94	-8,81	-5,15	3,89
$I_y \cdot y_i^2$	64,3	23,24	319,9	486,6	21,4	67,92	23,22	21,40
H'_y	1,47	1,47	50,78	30,7	1,29	1,47	1,47	1,43
H''_y	-0,59	-0,35	-15,29	15,20	2,03	-0,59	-0,35	2,03
$H_y = H'_y + H''_y$	1,47	1,47	50,78	45,9	4,46	1,47	1,47	4,61

20/ Section transversal :

$J_0 = 2943,3 \text{ m}^6$; $H \text{ (factif)} = 100t$; $e_x = 1,25m$.

	VT1	VT2	VT3	VT4	VT5	VT6	VT7	VT8	VT9	VT10	VT11	VT12	VT13
$x_i \text{ (m)}$	6,2	3,0	-0,25	-3,35	-6,5	10,15	7,0	3,25	1,55	-0,25	-3,4	-7,2	-10,35
$I_x \text{ (m}^4)$	1,143	1,143	14,44	1,143	1,143	0,708	13,45	13,21	0,30	2,2	13,21	13,45	0,708
$I_x \cdot x_i$	7,08	3,43	-3,61	-3,82	-7,42	7,18	94,15	42,9	0,46	-0,54	-44,9	-96,8	-7,3
$I_x \cdot x_i^2$	43,9	10,3	0,30	12,82	48,3	72,93	659,0	139,5	0,72	0,13	152,7	697,2	75,94
H'_x	1,49	1,49	18,85	1,49	1,49	0,92	17,60	17,23	0,40	2,87	17,23	17,6	0,92
H''_x	0,29	0,14	-0,15	-0,16	-0,32	-0,30	0,30	3,95	1,80	0,016	-0,47	4,29	-0,32
$H_x = H'_x + H''_x$	1,78	1,63	18,83	1,50	1,50	1,00	17,50	21,2	2,2	2,9	17,20	17,50	0,50

Distribution des efforts (M,N) pour chaque voile
et à chaque niveau:

101 section transversal:

(e_x = 1,25m)

NIVEAUX VOILES	9		8		7		6		5		4		3		2		1		RDC	
	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M
VT1	3,38	2,2	4,9	10,3	6,23	18	7,4	27,2	8,2	37,4	9	48,6	9,2	60,1	9,8	72,3	9,96	84,7	9,96	97,15
VT2	3,11	2,88	4,5	9,5	5,7	16,6	6,7	24,9	7,5	34,2	8,4	44,7	8,4	55,2	8,9	66,3	9,12	77,7	9,12	89,1
VT3	35,7	20,6	54,8	109,3	65,8	191,5	78,1	234,2	86,6	260,4	96	403,9	97,9	426,7	103,5	655	105,4	786,7	105,4	918,4
VT4	2,86	3,5	4,14	8,6	5,25	15,1	6,2	22,8	6,4	30,8	7,6	40,3	7,8	50	8,2	60,2	8,4	70,7	8,4	81,2
VT5	2,86	3,5	4,14	8,6	5,25	15,1	6,2	22,8	6,4	30,8	7,6	40,3	7,8	50	8,2	60,2	8,4	70,7	8,4	81,2
VT6	4,91	2,3	3,76	5,7	3,51	10	4,15	15,18	4,6	20,9	5,1	27,24	5,2	33,7	5,5	40,5	5,6	47,5	5,6	54,5
VT7	33,4	21,7	48,3	102	61,2	178,5	73,6	209,2	80,5	269,8	89,2	401,3	91	595	96,2	715	97,4	836	97,4	957
VT8	40,4	50,5	58,5	123,6	74,2	216,3	87,9	261	47,5	385,4	108,1	520,5	110,2	658,9	116,6	803	118,7	951,3	118,7	1099,6
VT9	4,2	5,2	6,07	12,7	7,7	22,32	9,13	33,7	10,12	46,3	11,2	60,3	11,4	74,5	12,1	89,6	12,32	109,4	12,32	149,8
VT10	5,53	6,9	8,10	16,9	14,5	29,5	12	44,5	13,34	61,2	14,7	74,5	15	89,2	15,9	103	16,2	128,9	16,2	149,4
VT11	32,8	21	47,4	100,2	69,2	195,4	71,4	204,6	74,2	217,7	87,7	466,6	89,4	588,3	94,6	696,9	96,3	110,5	96,2	990,7
VT12	33,4	21,7	48,3	102	61,2	178,5	73,6	209,2	80,5	269,8	89,2	400,7	91	593	96,2	716,9	98	838	98	960,5
VT13	0,95	1,2	1,38	2,9	1,75	5,1	2	7,6	2,3	10,4	3,5	13,52	3,6	16,7	2,75	20,9	2,8	23,7	2,8	66,26

(ey = 2,21m)

Niveaux	Efforts		VL11	VL10	VL9	VL5	VL4	VL3	VL2	VL1	Voies	
	H	M										
9	H	M	9,12	2,80	2,80	8,83	90,88	100,5	2,8	2,8		
			20,15	6,18	6,18	19,54	200,8	222,1	6,18	6,18		
8	H	M	13,25	4,21	4,21	12,8	131,7	145,7	4,21	4,21		
			49,43	15,48	15,48	47,8	491,9	544,1	15,48	15,48		
7	H	M	16,7	5,35	5,35	16,23	167,0	184,8	5,35	5,35		
			86,3	27,3	27,3	83,67	860,9	952,5	27,3	27,3		
6	H	M	19,82	6,32	6,32	19,17	197,8	218,3	6,32	6,32		
			130,12	41,2	41,2	126,0	1298,1	1434,2	41,2	41,2		
5	H	M	22,4	7,00	7,00	21,6	223,0	246,7	7,00	7,00		
			179,6	56,7	56,7	173,7	1790,9	1977	56,7	56,7		
4	H	M	24,4	7,79	7,79	23,63	243,1	269,1	7,79	7,79		
			233,5	73,9	73,9	225,9	2328,1	2572,6	73,9	73,9		
3	H	M	25,3	8,00	8,00	24,53	252,4	279,3	8,00	8,00		
			289,4	91,6	91,6	280,2	2885,9	3189,9	91,6	91,6		
2	H	M	25,8	8,23	8,23	24,9	257,0	284,3	8,23	8,23		
			346,4	109,8	109,8	335,2	3453,9	3819	109,8	109,8		
1	H	M	27,10	8,64	8,64	26,22	269,5	298,5	8,64	8,64		
			406,3	128,9	128,9	393,1	4029,6	4477,8	128,9	128,9		
RDC	H	M	27,10	8,64	8,64	26,22	269,5	298,5	8,64	8,64		
			466,2	148,0	148,0	451,1	4625,2	5137,4	148,0	148,0		

CALCUL DES DEFORMATIONS

DEFORMATION

Deplacements relatifs RPA81 Art. 3.371 page 44.

Le deplacement calculé à partir des forces laterales specifiques doit etre multiplie par (1/2B) pour obtenir le deplacement relatif, le rapport (1/2B) ne doit pas etre inferieur a 1.

Des deplacements relatifs lateraux d'un etage par rapport aux etages qui lui sont adjacents ne doivent pas depasser 0,0075 fois la hauteur de l'etage, a moins qu'il ne puisse etre prouve qu'un plus grand deplacement relatif peut etre tolere.

Calcul des deplacements sous forces laterales:

a) Sens longitudinal:

$$\delta = [K]^{-1} V^L \quad \text{ou}$$

δ : deplacement de niveau.
 V^L : force laterale semiqua Sens (x-x')
 $[K]^{-1}$: matrice de souplesse.

$0,69 \cdot 10^8$	$176 \cdot 10^8$	$282 \cdot 10^8$	$39 \cdot 10^8$	$49 \cdot 10^8$	$553 \cdot 10^8$	$71 \cdot 10^8$	$818 \cdot 10^8$	$925 \cdot 10^8$	$103 \cdot 10^8$
$176 \cdot 10^8$	$579 \cdot 10^8$	$1,2 \cdot 10^9$	$1,4 \cdot 10^8$	$1,6 \cdot 10^8$	$43 \cdot 10^8$	$27 \cdot 10^8$	$3,2 \cdot 10^8$	$3,6 \cdot 10^8$	$4,10 \cdot 10^8$
$433 \cdot 10^8$	$1,2 \cdot 10^9$	$1,7 \cdot 10^9$	$2,4 \cdot 10^8$	$3,9 \cdot 10^8$	$4,9 \cdot 10^8$	$5,4 \cdot 10^8$	$6,9 \cdot 10^8$	$7,4 \cdot 10^8$	$8,9 \cdot 10^8$
$39 \cdot 10^8$	$1,4 \cdot 10^8$	$2,96 \cdot 10^8$	$4,7 \cdot 10^8$	$6,5 \cdot 10^8$	$83 \cdot 10^8$	$1,1 \cdot 10^9$	$1,18 \cdot 10^9$	$136 \cdot 10^8$	$15 \cdot 10^8$
$49 \cdot 10^8$	$1,6 \cdot 10^8$	$3,9 \cdot 10^8$	$6,52 \cdot 10^8$	$9,2 \cdot 10^8$	$1,2 \cdot 10^9$	$1,4 \cdot 10^9$	$1,7 \cdot 10^9$	$2,04 \cdot 10^9$	$23 \cdot 10^8$
$553 \cdot 10^8$	$43 \cdot 10^8$	$4,9 \cdot 10^8$	$8,3 \cdot 10^8$	$1,7 \cdot 10^9$	$1,6 \cdot 10^9$	$2,1 \cdot 10^9$	$2,4 \cdot 10^9$	$2,8 \cdot 10^9$	$3,7 \cdot 10^9$
$71 \cdot 10^8$	$27 \cdot 10^8$	$5,4 \cdot 10^8$	$1,09 \cdot 10^9$	$1,4 \cdot 10^9$	$4,1 \cdot 10^9$	$4,5 \cdot 10^9$	$3,1 \cdot 10^9$	$3,6 \cdot 10^9$	$4,21 \cdot 10^9$
$818 \cdot 10^8$	$3,2 \cdot 10^8$	$6,9 \cdot 10^8$	$1,18 \cdot 10^9$	$1,7 \cdot 10^9$	$2,4 \cdot 10^9$	$3,1 \cdot 10^9$	$3,2 \cdot 10^9$	$4,5 \cdot 10^9$	$5,26 \cdot 10^9$
$925 \cdot 10^8$	$3,6 \cdot 10^8$	$7,4 \cdot 10^8$	$1,36 \cdot 10^9$	$2,04 \cdot 10^9$	$2,8 \cdot 10^9$	$3,66 \cdot 10^9$	$4,5 \cdot 10^9$	$5,4 \cdot 10^9$	$6,36 \cdot 10^9$
$103 \cdot 10^8$	$4,10 \cdot 10^8$	$8,9 \cdot 10^8$	$1,54 \cdot 10^9$	$2,37 \cdot 10^9$	$3,4 \cdot 10^9$	$4,21 \cdot 10^9$	$5,26 \cdot 10^9$	$6,3 \cdot 10^9$	$7,5 \cdot 10^9$

Le deplacement relatif donne par le RPA :

$$\delta_{\text{relatif}} = \delta \times \frac{1}{2B} = 1,5 \delta$$

$$\begin{matrix}
 V = \\
 \left[\begin{array}{c}
 99,23 \\
 99,60 \\
 88,54 \\
 77,45 \\
 66,40 \\
 55,32 \\
 44,26 \\
 33,30 \\
 22,13 \\
 11,00
 \end{array} \right]
 \end{matrix}
 \Rightarrow \delta = [K]^{-1} V =
 \begin{matrix}
 \left[\begin{array}{c}
 0,23 \cdot 10^{-9} \\
 0,88 \cdot 10^{-9} \\
 1,80 \cdot 10^{-9} \\
 3,046 \cdot 10^{-9} \\
 4,31 \cdot 10^{-9} \\
 5,70 \cdot 10^{-9} \\
 7,17 \cdot 10^{-9} \\
 8,65 \cdot 10^{-9} \\
 10,1 \cdot 10^{-9} \\
 11,52 \cdot 10^{-9}
 \end{array} \right]
 \end{matrix}
 \Rightarrow \delta^{(n)} =
 \begin{matrix}
 \left[\begin{array}{c}
 0,35 \cdot 10^{-4} \\
 1,32 \cdot 10^{-4} \\
 2,70 \cdot 10^{-4} \\
 4,56 \cdot 10^{-4} \\
 6,47 \cdot 10^{-4} \\
 8,55 \cdot 10^{-4} \\
 1,07 \cdot 10^{-3} \\
 1,29 \cdot 10^{-3} \\
 1,52 \cdot 10^{-3} \\
 1,72 \cdot 10^{-3}
 \end{array} \right]
 \end{matrix}$$

D'après le RPA 81 (Art. 3.371) : $\delta^{(total)} = 0,0075h = 1,99 \cdot 10^{-2} m$
 Cette condition est largement vérifiée.

b) Sens transversal :

La matrice de raideur $[K]^{-1}$ est donnée par :

$2,25 \cdot 10^8$	$572 \cdot 10^8$	$9,19 \cdot 10^8$	$1,76 \cdot 10^7$	$1,61 \cdot 10^7$	$1,79 \cdot 10^7$	$2,30 \cdot 10^7$	$2,25 \cdot 10^7$	$3,0140$	$3,34 \cdot 10^7$
	$1,17 \cdot 10^7$	$3,30 \cdot 10^7$	$4,72 \cdot 10^7$	$6,16 \cdot 10^7$	$7,19 \cdot 10^7$	$9,02 \cdot 10^7$	$1,09 \cdot 10^8$	$1,18 \cdot 10^8$	$1,32 \cdot 10^8$
		$6,43 \cdot 10^7$	$9,6 \cdot 10^7$	$1,30 \cdot 10^8$	$1,61 \cdot 10^8$	$1,94 \cdot 10^8$	$2,16 \cdot 10^8$	$2,42 \cdot 10^8$	$2,91 \cdot 10^8$
			$1,5 \cdot 10^8$	$2,11 \cdot 10^8$	$2,7 \cdot 10^8$	$3,11 \cdot 10^8$	$3,8 \cdot 10^8$	$4,4 \cdot 10^8$	$5,0 \cdot 10^8$
				$3,01 \cdot 10^8$	$3,92 \cdot 10^8$	$4,83 \cdot 10^8$	$5,7 \cdot 10^8$	$6,6 \cdot 10^8$	$7,5 \cdot 10^8$
					$5,7 \cdot 10^8$	$6,5 \cdot 10^8$	$7,8 \cdot 10^8$	$9,15 \cdot 10^8$	$1,00 \cdot 10^9$
						$8,3 \cdot 10^8$	$1,0 \cdot 10^9$	$1,1 \cdot 10^9$	$1,36 \cdot 10^9$
							$1,28 \cdot 10^9$	$1,4 \cdot 10^9$	$1,7 \cdot 10^9$
								$1,7 \cdot 10^9$	$2,06 \cdot 10^9$
									$2,43 \cdot 10^9$

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

$$\begin{aligned}
 V^T = & \begin{bmatrix} 95,56 \\ 95,91 \\ 85,26 \\ 71,60 \\ 63,90 \\ 53,28 \\ 42,63 \\ 32,00 \\ 21,31 \\ 10,65 \end{bmatrix} \Rightarrow \delta^T = [K]^{-1} V^T = \begin{bmatrix} 0,71 \cdot 10^{-4} \\ 2,06 \cdot 10^{-4} \\ 5,74 \cdot 10^{-4} \\ 9,31 \cdot 10^{-4} \\ 1,35 \cdot 10^{-3} \\ 1,78 \cdot 10^{-3} \\ 2,23 \cdot 10^{-3} \\ 2,64 \cdot 10^{-3} \\ 3,16 \cdot 10^{-3} \\ 3,60 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix} \Rightarrow \delta^{\text{relatif}} = \begin{bmatrix} 1,065 \cdot 10^{-4} \\ 3,90 \cdot 10^{-4} \\ 8,61 \cdot 10^{-4} \\ 1,39 \cdot 10^{-3} \\ 2,02 \cdot 10^{-3} \\ 2,67 \cdot 10^{-3} \\ 3,55 \cdot 10^{-3} \\ 3,96 \cdot 10^{-3} \\ 4,74 \cdot 10^{-3} \\ 5,40 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\delta(\text{RPA}) = 0,0075 h = 0,0075 * 2,66 = 1,99 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\delta_{\text{max}}^{\text{relatif}} = 5,40 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \delta_{\text{max}}^{(r)} \ll \delta^{\text{réel}}$$

Conclusion : Cette condition est encore largement vérifiée.

CALCUL DES REFENDS

Efforts dans les éléments de refends

La méthode utilisée pour calculer les efforts sollicitants chaque élément de refend est celle proposée par MM. ALBIGES et GOUGET fournissant des abaques pour le calcul pratique de la structure.

REFENDS A UNE FILE D'OUVERTURES

Cas d'une charge triangulaire due au vent

a) d'effort tranchant (π)
de la linéaire :

$$\pi(\xi) = H_0 \cdot \frac{ml}{I} \Phi(\alpha, \xi)$$

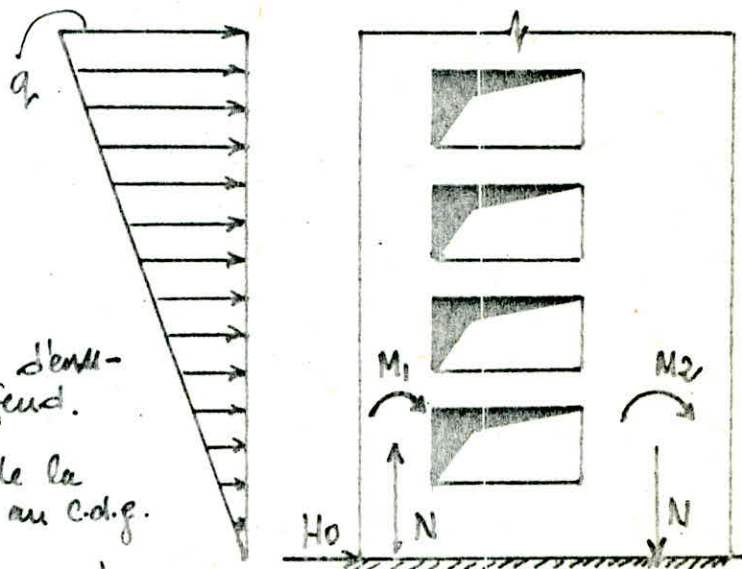
Avec;

H_0 : Effort tranchant d'ensemble à la base du refend.

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

l : Hauteur d'étage (2,66m).

I : moment d'inertie de la section.



b) Moment de flexion dans les trumeaux :

- Dans le trumeau (1) le moment est donné par :

$$M_1(\xi) = \frac{I_1}{I_1 + I_2} H_0 Z \left(\frac{(1-\xi)^2(2+\xi)}{3} - \frac{2mc}{I} \psi \right)$$

- Dans le trumeau (2), la valeur du moment est donnée par :

$$M_2(\xi) = \frac{I_2}{I_1 + I_2} H_0 Z \left(\frac{(1-\xi)^2(2+\xi)}{3} - \frac{2mc}{I} \psi \right).$$

c) d'effort normal dans les trumeaux (N) :

$$N = \sum \pi_i$$

Verification: Après avoir calculé les effort précédents on doit

vérifier qu'à la base du refend on a toujours $M_{ext} = M_{int}$.

$M_{int} = M_1 + M_2 + 2NC$, M_{ext} = Moment obtenu après la distribution

REFENDS A PLUSIEURS FILES D'OUVERTURES

a) L'effort tranchant dans les linteaux :

$$\pi_i(\xi) = H_0 l_i \frac{C_i}{\sum a_i^3 \left(\frac{l_i C_i^2}{a_i^3} + \frac{l_2 C_2^2}{a_2^3} + \dots \right)} \bar{\Phi}(\xi)$$

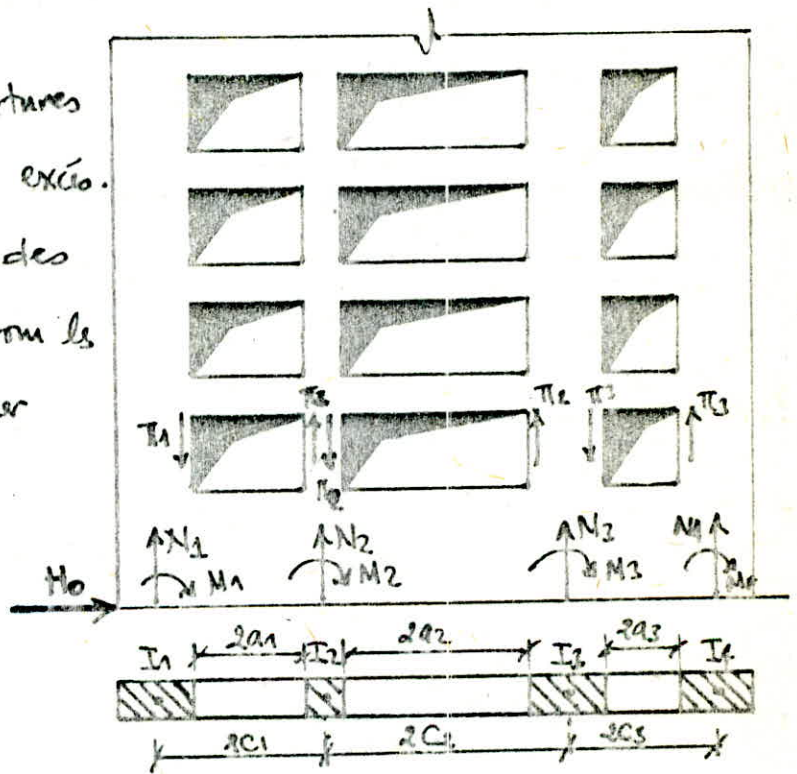
Quand les ouvertures sont assez petites les valeurs de l'effort tranchant deviennent peu précises à cause des approximations effectuées.

des formules de (π)

pour plusieurs files d'ouvertures donnent des valeurs par excès.

Pour les ouvertures proches des extrémités et par défaut, pour les ouvertures centrales sans donner d'indications précises.

Pour cela, il est conseillé pour les petites ouvertures d'effectuer deux évaluations de (π).



Cas de petites ouvertures dont le rapport $S_{ouv.}/S_{tot} < 25\%$.

pour cela il est conseillé d'effectuer des évaluations de (π).

$$\pi_i = \pi_i' + \pi_i'' \quad \text{avec} \quad \pi_i' = H_0 l_i \left[\frac{C_i}{\sum a_i^3 \left(\frac{l_i a_1^3}{a_i^3} + \frac{l_2 a_2^3}{a_2^3} + \dots \right)} \right] \bar{\Phi}(\xi)$$

$$\pi_i'' = \frac{H_0 l_i m}{I} \bar{\Phi}(\alpha, \xi)$$

b) Calcul des moments dans les trumeaux :

La valeur du moment dans le trumeau est donnée par :

$$M_i(\xi) = \frac{I_i}{\sum I_i} H_0 Z \left[\frac{(1-\xi)^2 (2+\frac{2}{\xi})}{3} - \psi(\frac{a}{\xi}) \right]$$

c) Calcul de l'effort normal dans les trumeaux:

$$N_1 = \sum \pi_1$$

$$N_2 = \sum \pi_2 - \sum \pi_1 ; N_3 = \sum \pi_3 - \sum \pi_2 ; N_4 = \sum \pi_4 \dots$$

Vérification: on doit vérifier l'équilibre extérieur

$$\Leftrightarrow M_{int} \approx M_{ext.}$$

avec:

$$M_{int} = N_1 + M_2 + M_3 + \dots + dN_1(C_1 + C_2 + C_3) + dN_2(C_2 + C_3 + \dots) + dN_3(C_3 + \dots)$$

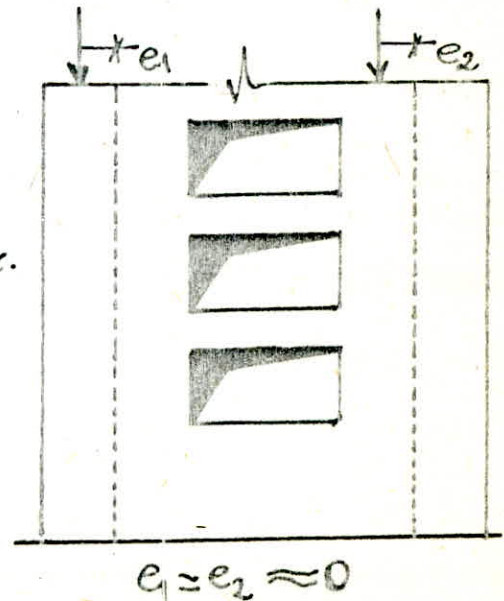
M_{ext} = moment ext. obtenu après la distribution des efforts horizontaux dans les refends.

CAS DES CHARGES VERTICALES:

D'après M^r DAVIDOVICI, si les ouvertures sont disposées d'une façon symétrique par rapport à leur axe, alors les charges verticales (G, P) sont excentrées, de plus la redistribution des efforts dans les éléments engendre des moments et des efforts normaux, or ces moments sont négligeables devant les moments dus au piston.

On pourra négliger cette excentricité et on tiendra compte que de l'effort normal de compression dans les trumeaux.

Les valeurs de M, N et π sont données dans les tableaux suivants:



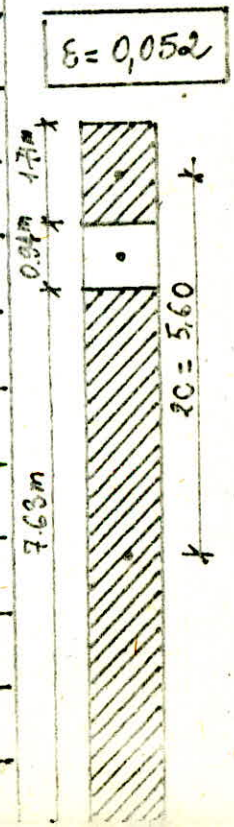
(VOILE VT12) : $H_{ext} = 94,7t$; $M_{ext} = 960,5t.m$

NIV.	ξ	Φ	ψ	$\pi(t)$	$M_1(t.m)$	$M_2(t.m)$	$N(t)$
T	1,00	0,22	0,00	2,841	0	0	2,841
9	0,90	0,27	0,020	3,305	-2,031	-0,022	6,146
8	0,82	0,35	0,051	3,966	9,276	0,096	10,112
7	0,70	0,50	0,100	5,107	79,137	0,887	15,22
6	0,60	0,61	0,151	5,915	151,32	1,685	21,13
5	0,50	0,70	0,250	7,441	242,16	2,704	28,57
4	0,40	0,78	0,290	9,140	374,61	4,189	37,71
3	0,30	0,79	0,370	12,867	420,42	5,600	50,58
2	0,20	0,76	0,460	14,414	498,39	7,032	64,99
1	0,10	0,51	0,53	16,273	504,35	8,74	81,27
RDC	0	0	0,55	0	545,12	9,30	81,27



(VOILE VT7) : $H_{ext} = 97,4t$; $M_{ext} = 957 t.m$

NIV.	ξ	Φ	ψ	$\pi(t)$	$M_1(t.m)$	$M_2(t.m)$	$N(t)$
T	1,00	0,22	0,00	2,77	0	0	2,77
9	0,90	0,27	0,020	3,260	-2,018	-0,021	6,037
8	0,82	0,35	0,051	4,006	9,218	0,103	10,94
7	0,70	0,50	0,100	5,046	64,515	0,721	15,98
6	0,60	0,61	0,151	7,311	152,58	1,647	23,30
5	0,50	0,70	0,250	8,371	240,72	2,648	31,67
4	0,40	0,78	0,290	12,20	372,36	4,118	43,87
3	0,30	0,79	0,370	14,91	397,29	5,56	58,78
2	0,20	0,76	0,460	15,40	424,5	7,00	74,18
1	0,10	0,51	0,53	13,72	426,83	8,70	87,81
RDC	0	0	0,55	0	505,09	9,90	87,91

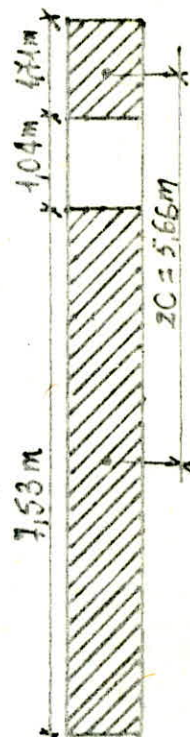


(VOILE VT11) : $H_{ext} = 96,2t$; $M_{ext} = 930,7 t.m$

59

NIV	ξ	Φ	Ψ	$\pi(t)$	$M_1(t.m)$	$M_2(t.m)$	$N(t)$
T	1,00	0,22	0,00	2,36	0	0	2,36
9	0,90	0,27	0,020	2,54	-3,03	-0,032	4,9
8	0,82	0,35	0,051	3,08	7,85	0,091	7,97
7	0,70	0,50	0,100	4,92	72,52	0,84	12,89
6	0,60	0,61	0,151	5,17	154,86	1,79	18,06
5	0,50	0,70	0,250	7,92	196,9	1,886	25,98
4	0,40	0,78	0,290	9,91	252,87	2,098	35,89
3	0,30	0,79	0,370	12,62	297,32	3,39	48,41
2	0,20	0,76	0,460	16,42	323,31	4,08	64,83
1	0,10	0,51	0,53	14,35	384,06	4,74	79,18
RDC	0	0	0,55	0	511,66	6,518	79,18

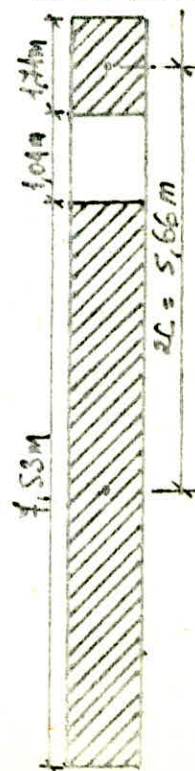
$E = 0,038$



(VOILE VT8) : $H_{ext} = 118,7t$; $M_{ext} = 1099,66.t.m$

NIV	ξ	Φ	Ψ	$\pi(t)$	$M_1(t.m)$	$M_2(t.m)$	$N(t)$
T	1,00	0,22	0,00	3,62	0	0	3,62
9	0,90	0,27	0,020	4,12	-3,26	-0,038	7,746
8	0,82	0,35	0,051	5,53	9,66	0,114	13,29
7	0,70	0,50	0,100	9,06	89,38	1,038	22,33
6	0,60	0,61	0,151	12,06	190,91	2,21	34,40
5	0,50	0,70	0,250	15,98	242,7	2,820	50,38
4	0,40	0,78	0,290	17,49	304,88	5,039	67,877
3	0,30	0,79	0,370	16,78	382,09	6,754	74,66
2	0,20	0,76	0,460	15,89	403,30	8,47	80,123
1	0,10	0,51	0,53	14,35	509,79	8,58	94,48
RDC	0	0	0,55	0	619,19	9,10	94,48

$E = 0,052$

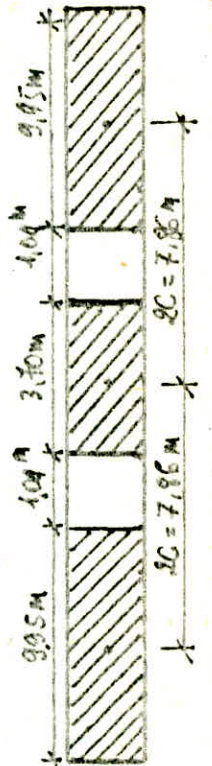


(VOILE VL3) : Hext = 208,5t ; Mex = 5137,4 t.m

60

NIV	ξ	Φ	Ψ	π_1	π_2	M_1	M_2	M_3	N_1	N_2	N_3
T	1,00	0,22	0,00	12,87	12,87	0	0	0	12,837	0	-12,837
9	0,90	0,27	0,020	14,06	14,06	-42,10	-2,7	-43,10	26,905	0	-26,905
8	0,82	0,35	0,051	17,98	17,98	-87,82	-5,73	-87,8	44,891	0	-44,891
7	0,70	0,50	0,100	18,03	18,03	-77,48	-5,03	-77,4	62,921	0	-62,921
6	0,60	0,61	0,151	20,28	20,28	-50,23	-3,23	-50,2	83,203	0	-83,203
5	0,50	0,70	0,250	22,15	22,15	-160,7	-10,97	-160,7	106,05	0	-106,05
4	0,40	0,78	0,270	22,72	22,72	-8,15	-9,605	-8,15	128,77	0	-128,77
3	0,30	0,79	0,370	23,86	23,86	116,88	74,56	116,88	152,64	0	-152,64
2	0,20	0,76	0,460	22,30	22,30	226,5	72,46	226,5	175,04	0	-175,04
1	0,10	0,51	0,53	21,01	21,01	640,15	83,79	640,15	196,05	0	-196,05
RDC	0	0	0,55	0	0	1161,3	255,8	1161,3	196,05	0	-196,05

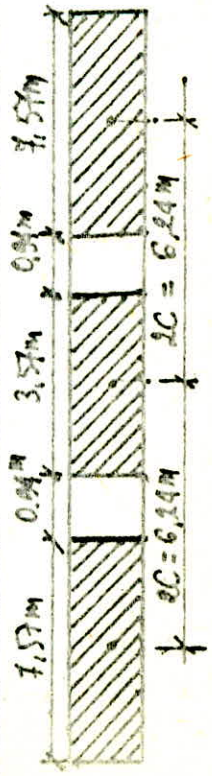
$\epsilon = 0,039$



(VOILE VL4) : Hext = 269,5t ; Mex = 4625,2 t.m

NN	ξ	Φ	Ψ	π_1	π_2	M_1	M_2	M_3	N_1	N_2	N_3
T	1,00	0,22	0,00	10,8	10,8	0	0	0	10,8	0	-10,28
9	0,90	0,27	0,020	15,36	15,36	-37,1	-4,23	-37,1	26,16	0	-26,16
8	0,82	0,35	0,051	19,25	19,25	-87,46	-9,55	-87,46	45,42	0	-45,42
7	0,70	0,50	0,100	20,60	20,60	-120,2	-15,54	-120,2	66,02	0	-66,02
6	0,60	0,61	0,151	21,01	21,01	-56,7	-8,39	-56,7	87,08	0	-87,08
5	0,50	0,70	0,250	21,49	21,49	-21,95	-4,64	-21,95	108,55	0	-108,55
4	0,40	0,78	0,27	22,21	22,21	-7,17	-9,79	-7,17	130,76	0	130,76
3	0,30	0,79	0,35	23,09	23,09	77,4	12,50	77,4	153,86	0	-153,86
2	0,20	0,76	0,46	21,28	21,28	227,8	24,5	227,8	175,14	0	-175,14
1	0,10	0,51	0,53	19,22	19,22	659,7	22,6	659,7	194,37	0	-194,37
RDC	0	0	0,55	0	0	985,1	15,1	985,1	194,37	0	-194,37

$\epsilon = 0,061$



SUPERPOSITION DES
SOLLICITATIONS.

Superposition des sollicitations

Base de calcul des éléments structuraux:

Les éléments structuraux doivent être dimensionnés par la combinaison des charges verticales et des charges horizontales données ci-dessous sur la base du RPA 81.

La combinaison des charges et surcharges dans les voiles à chaque niveau du bâtiment doit se faire en respectant les deux formules suivantes:

$$\begin{cases} G + Q + E \\ 0,8G \pm E \end{cases} \quad \text{ou} \quad \begin{cases} G : \text{charge permanente} \\ Q : \text{surcharge d'exploitation non-permanente} \\ E : \text{Effet du séisme.} \end{cases}$$

N. B: Pour les voiles pleins aucune difficulté ne se pose mais pour les voiles avec une ou plusieurs fils d'ouvertures la distribution des charges verticales sur les trumeaux se fait proportionnellement à leurs longueurs.

$$\boxed{V_i = V \cdot \frac{l_i}{L}} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} V : \text{charge verticale qui s'applique sur le voile.} \\ V_i : \text{charge verticale venant au trumeau (i)} \\ l_i : \text{long. du trumeau (i)} + \frac{1}{2} \text{ long. du lint.} \\ L : \text{long. totale du voile.} \end{cases}$$

Les résultats sont regroupés dans les tableaux suivants:

A - VOILES PLEINS

(VOILE VT1)

SUPERPOSITION	9	8	7	6	5	4	3	2	1	RDC
G (t)	13,01	24,6	36,24	74,8	59,5	71,14	82,78	94,4	106,0	117,64
Q (t)	2,99	5,65	8,33	10,99	13,68	16,36	19,03	21,71	24,38	27,05
G + Q + E (t)	16,00	30,25	44,56	85,79	73,18	87,5	101,81	116,11	130,4	144,7
0,8G ± E (t)	10,40	19,66	28,99	59,84	47,60	56,91	66,22	75,52	84,8	94,11
M (tm)	3,5	8,6	15,1	22,8	30,8	40,3	50,00	60,2	70,7	81,2

(VOILE VT13 , VT6)

SUPERPOSITION	9	8	7	6	5	4	3	2	1	RDC
G (+)	8,00	15,28	22,56	29,84	37,12	44,40	51,68	58,96	66,2	73,50
Q (+)	1,84	3,51	5,18	6,86	8,53	10,21	11,88	13,56	15,22	16,90
G+Q+E (+)	9,84	18,79	27,74	36,70	45,65	54,61	63,56	72,52	81,42	90,4
0,8G ± E (+)	6,40	12,22	18,05	23,87	29,69	35,52	41,34	47,17	52,96	58,8
M (t.m)	1,20	2,40	3,60	4,80	6,00	7,20	8,40	9,60	10,8	12,0

(VOILE VL1 , VL9)

SUPERPOSITION	9	8	7	6	5	4	3	2	1	RDC
G (+)	13,01	24,6	36,24	47,8	59,5	71,14	82,78	94,4	106	117,4
Q (+)	2,99	5,65	8,33	10,99	13,68	16,36	19,03	21,71	24,3	27,00
G+Q+E (+)	16,00	30,25	44,56	58,79	73,18	87,5	101,81	116,11	130,4	144,7
0,8G ± E (+)	10,40	19,66	28,99	38,34	47,6	56,91	66,22	75,52	84,8	94,11
M (t.m)	6,18	15,48	24,30	33,20	42,70	51,90	61,60	70,8	80,9	90,0

(VOILE VL11)

SUPERPOSITION	9	8	7	6	5	4	3	2	1	RDC
G (+)	8,00	15,28	22,56	29,84	37,12	44,40	51,68	58,96	66,2	73,50
Q (+)	1,84	3,51	5,18	6,86	8,53	10,21	11,88	13,56	15,22	16,90
G+Q+E (+)	9,84	18,79	27,74	36,70	45,65	54,61	63,56	72,52	81,42	90,4
0,8G ± E (+)	6,40	12,22	18,05	23,87	29,69	35,52	41,34	47,17	52,96	58,8
M (t.m)	30,15	49,43	68,3	86,12	103,6	120,5	137,4	153,4	169,3	185,2

(VOILE VT3)

SUPERPOSITION	9	8	7	6	5	4	3	2	1	RDC
G(t)	31,21	58,55	86,33	113,8	141,4	169,01	196,6	224,16	251,72	279,3
Q(t)	7,17	13,46	19,85	26,17	32,5	38,87	45,21	51,55	57,89	64,24
G+Q+E (t)	38,38	72,01	106,18	139,97	173,9	207,88	241,37	275,7	309,61	343,54
0,86 ± E (t)	24,97	46,84	69,06	91,04	113,12	135,21	156,93	179,33	201,38	223,44
M(t.m)	44,60	109,3	191,5	288,2	396,4	403,9	526,2	655,0	786,7	918,4

(VOILE VT4)

SUPERPOSITION	9	8	7	6	5	4	3	2	1	RDC
G(t)	17,15	32,09	47,03	61,97	76,91	91,85	106,8	121,74	136,68	151,6
Q(t)	3,94	7,38	10,83	14,25	17,68	21,12	24,56	28,00	31,44	34,86
G+Q+E (t)	21,10	39,47	57,87	76,22	94,9	112,97	131,36	149,74	168,01	186,46
0,86 ± E (t)	13,72	25,67	37,62	49,57	61,62	73,48	85,14	97,40	109,28	121,28
M(t.m)	3,5	8,6	15,1	22,8	30,8	40,3	50,00	60,2	70,7	81,20

(VOILE VT9)

SUPERPOSITION	9	8	7	6	5	4	3	2	1	RDC
G(t)	5,16	9,36	13,56	17,76	21,96	26,16	30,36	34,56	38,76	42,96
Q(t)	1,18	2,15	3,11	4,08	5,05	6,01	6,98	7,94	8,91	9,87
G+Q+E (t)	6,34	11,51	16,67	21,84	27,01	32,17	37,34	42,5	47,67	52,84
0,86 ± E (t)	4,12	7,49	10,85	14,21	17,57	20,92	24,29	27,65	31,00	34,36
M(t.m)	5,2	12,7	22,3	33,7	46,3	60,3	75,5	89,6	104,4	119,8

(VOILE VL5)

SUPERPOSITION	9	8	7	6	5	4	3	2	1	RDC
G(t)	8,00	15,28	22,56	29,84	37,12	44,4	51,68	58,96	66,2	73,50
Q(t)	1,84	3,51	5,18	6,86	8,53	10,21	11,83	13,56	15,22	16,90
G+Q+E (t)	9,84	18,79	27,74	36,70	45,65	54,61	63,65	72,52	81,82	90,4
0,8G ± E (t)	6,40	12,22	18,05	23,87	29,69	35,62	41,43	47,17	52,96	58,8
M (t.m)	19,51	47,8	83,67	126,0	173,7	225,9	280,2	335,2	393,1	451,1

(VOILE VT2)

SUPERPOSITION	9	8	7	6	5	4	3	2	1	RDC
G(t)	13,15	32,09	47,03	64,97	76,91	91,85	106,8	121,74	136,6	151,6
Q(t)	3,94	7,88	10,28	14,16	17,68	21,12	24,56	28,00	31,41	34,86
G+Q+E (t)	21,1	39,97	57,31	76,13	94,5	112,97	131,36	149,74	168,01	186,46
0,8G ± E (t)	10,52	25,67	37,62	47,57	61,52	73,48	85,44	97,4	109,28	121,28
M (t.m)	3,88	9,50	16,60	24,90	34,2	44,7	55,20	66,3	77,7	89,10

(VOILE VT5)

SUPERPOSITION	9	8	7	6	5	4	3	2	1	RDC
G(t)	13,01	24,6	36,24	47,8	59,5	71,14	82,78	94,4	106,0	117,64
Q(t)	2,99	5,65	8,33	10,99	13,68	16,36	19,03	21,71	24,38	27,05
G+Q+E (t)	16,00	30,25	44,66	58,79	73,18	87,5	101,81	116,11	130,4	144,7
0,8G ± E (t)	10,40	19,66	28,99	39,84	47,60	56,91	64,22	71,52	78,8	86,1
M (t.m)	3,50	8,60	15,40	22,80	30,80	40,3	50,0	60,20	70,70	81,20

(VOILE VT10)

SUPERPOSITION	9	8	7	6	5	4	3	2	1	RDC
G (+)	10,18	21,50	32,82	44,14	55,46	66,78	78,10	89,42	100,74	112,06
Q (+)	2,34	4,64	7,54	10,15	12,75	15,35	17,96	20,56	23,17	25,77
G+Q+E (+)	12,52	26,14	40,36	54,29	68,21	82,13	96,06	109,9	123,91	137,83
0,8G ± E (+)	8,14	17,20	26,25	35,31	44,35	53,42	62,48	71,54	80,59	89,64
N (+.m)	6,0	16,0	29,5	44,5	61,2	79,5	89,2	109	129,2	149,4

(VOILE VL2, VL10)

SUPERPOSITION	9	8	7	6	5	4	3	2	1	RDC
G (+)	17,15	32,09	47,03	61,97	76,91	91,85	106,8	121,74	136,6	151,6
Q (+)	3,94	7,38	10,83	14,25	17,68	21,12	24,56	28,00	31,44	34,86
G+Q+E (+)	21,10	39,47	57,87	76,22	94,5	112,87	131,36	149,74	168,04	186,46
0,8G ± E (+)	13,72	25,67	37,62	49,57	61,52	73,48	85,44	97,40	109,28	121,28
N (+.m)	6,18	15,48	27,30	41,20	56,70	73,90	91,60	109,86	128,9	148,00

(VOILE VT10)

SUPERPOSITION	9	8	7	6	5	4	3	2	1	RDC
G (+)	10,18	21,50	32,82	44,14	55,46	66,78	78,10	89,42	100,74	112,06
Q (+)	2,34	4,68	7,02	9,36	11,70	14,04	16,38	18,72	21,06	23,40
G+Q+E (+)	12,52	26,18	39,84	53,50	67,16	80,82	94,48	108,14	121,80	135,46
0,8G ± E (+)	8,14	16,28	24,42	32,56	40,70	48,84	56,98	65,12	73,26	81,40
N (t.m)	6,9	13,8	20,7	27,6	34,5	41,4	48,3	55,2	62,1	69,0

(VOILE VL2, VL10)

SUPERPOSITION	9	8	7	6	5	4	3	2	1	RDC
G (+)	17,15	34,30	51,45	68,60	85,75	102,90	120,05	137,20	154,35	171,50
Q (+)	3,94	7,88	11,82	15,76	19,70	23,64	27,58	31,52	35,46	39,40
G+Q+E (+)	21,10	42,18	63,27	84,36	105,45	126,54	147,63	168,72	189,81	210,90
0,8G ± E (+)	13,72	27,44	41,16	54,88	68,60	82,32	96,04	109,76	123,48	137,20
N (t.m)	6,18	12,36	18,54	24,72	30,90	37,08	43,26	49,44	55,62	61,80

(VOILE VT7)

SUPERPOSITION		9	8	7	6	5	4	3	2	1	RDC
TRUMEAU (I)	G(H)	24,22	45,42	66,62	87,82	109,02	130,22	151,4	172,6	193,8	215,02
	Q(H)	5,57	10,44	15,32	20,19	25,02	29,45	34,82	39,7	44,57	49,45
	E(H)	6,037	10,94	15,98	23,30	31,67	43,87	58,78	74,18	87,91	87,91
	G+Q+E	35,79	66,8	97,9	131,3	165,7	203,54	245	286,5	326,3	347,3
	0,8G+E	25,37	47,27	69,26	93,55	118,88	148,1	179,9	212,26	242,9	259,9
	0,8G-E	13,37	25,40	37,33	46,95	55,54	60,30	62,34	63,90	67,13	84,10
	M(t.m)	-2,018	9,218	64,51	152,58	240,7	372,3	397,3	429,5	476,8	505,09
TRUMEAU (II)	G(H)	5,23	9,83	14,43	19,03	23,63	28,23	32,83	37,43	42,03	46,64
	Q(H)	1,20	2,26	3,31	4,37	5,43	6,50	7,55	8,60	9,66	10,72
	E(H)	6,037	10,94	15,98	23,30	31,67	43,87	58,78	74,18	87,91	87,91
	G+Q+E	12,43	23,03	33,72	46,7	60,7	78,6	99,16	120,2	139,6	145,3
	0,8G+E	10,18	18,80	27,52	38,52	50,57	66,45	85,04	104,12	121,5	125,22
	0,8G-E	-1,81	-3,07	-4,44	-8,07	-12,76	-21,3	-32,51	-44,2	-54,3	-50,6
	M(t.m)	-0,021	0,103	0,721	1,64	2,69	4,01	5,56	7,00	8,70	9,90

(VOILE VT8)

SUPERPOSIZIONE		9	8	7	6	5	4	3	2	1	PDC
TRAMEAU (I)	G(t)	20,36	38,36	56,36	74,36	92,36	110,36	128,36	146,36	164,36	182,36
	Q(t)	4,68	8,82	12,96	17,10	21,24	25,38	29,50	33,66	37,02	4,94
	E(t)	-7,74	13,27	22,33	34,90	50,38	67,87	74,66	80,12	94,48	94,48
	G+Q+E	17,3	60,45	91,65	125,8	163,98	203,61	232,5	260,14	295,86	281,7
	0,8G+E	8,55	43,95	67,41	93,88	124,26	156,15	177,3	197,2	225,47	240,3
	0,8G-E	24,03	17,42	22,75	25,08	23,50	20,41	28,03	36,96	37,0	51,40
	M(t.m)	-3,26	9,66	89,38	190,91	242,7	304,18	382,1	403,3	509,4	610,9
TRAMEAU (II)	G(t)	4,46	8,36	12,26	16,16	20,06	23,96	27,87	31,76	35,66	39,56
	Q(t)	1,02	1,92	2,81	3,71	4,61	5,51	6,41	7,30	8,20	9,09
	E(t)	-7,74	13,27	22,33	34,4	50,38	67,87	74,66	80,12	94,48	94,48
	G+Q+E	-2,26	23,55	37,4	54,27	75,05	97,34	108,94	119,18	138,34	143,13
	0,8G+E	-4,17	19,96	32,14	47,32	66,43	87,04	86,96	105,53	128,01	126,13
	0,8G-E	11,31	-6,58	-12,52	-21,27	-34,23	-48,70	-52,36	-54,71	-65,95	-62,83
	M(t.m)	-0,038	0,124	1,038	2,21	4,82	5,039	6,754	8,47	8,58	9,19

B - VOILES AVEC UNE FILE D'OUVERTURES

(VOILE VTII)

SUPERPOS ^{TIOS}	9	8	7	6	5	4	3	2	1	RDC	
TRUPEAU (I)	G(t)	22,92	47,27	71,72	96,17	120,6	145,07	169,5	193,9	216,1	242,4
	Q(t)	5,27	10,87	14,49	22,11	27,73	33,82	38,98	44,52	49,7	55,7
	E(t)	4,9	7,97	12,89	18,06	25,98	35,89	48,41	69,8	79,18	79,18
	G+Q+E	33,09	66,11	99,10	136,34	174,31	214,77	256,9	308,22	345	377,3
	0,8G+E	23,24	45,79	70,27	94,99	122,46	151,94	184,01	224,92	252,08	273,10
	0,8G-E	13,44	29,85	44,49	58,88	70,5	80,16	85,19	85,32	93,68	114,74
	M(t.m)	-3,03	7,85	72,52	159,8	196,9	252,8	297,3	523,3	384,06	511,66
TRUPEAU (II)	G(t)	5,00	10,36	15,72	21,08	26,41	31,8	37,16	42,52	47,79	53,24
	Q(t)	1,15	2,38	3,61	4,84	6,07	7,31	8,54	9,77	11,01	12,24
	E(t)	4,9	7,97	12,89	18,06	25,98	35,89	48,41	69,8	79,18	79,18
	G+Q+E	11,05	20,71	32,22	43,98	58,45	74,99	94,11	122,09	135,9	126,66
	0,8G+E	8,9	16,26	25,46	34,92	47,10	61,33	78,14	103,82	115,71	107,37
	0,8G-E	-0,9	0,81	-3,13	-1,19	-4,86	-10,45	-18,68	-35,78	-42,31	-50,99
	M(t.m)	-0,032	0,091	0,84	1,79	1,89	2,09	8,39	4,08	4,74	6,51

(VOILE VT12)

SUPERPOSITION		9	8	7	6	5	4	3	2	1	RDC
TRU MEAU (I)	G(H)	24,22	45,42	66,62	87,82	109,02	130,22	151,42	172,62	193,8	215,02
	Q(H)	5,57	10,44	15,32	20,19	25,02	29,95	34,82	39,7	44,57	49,45
	E(H)	6,14	10,11	15,22	21,13	28,57	37,71	50,58	64,99	81,27	81,27
	G+Q+E	35,93	65,97	97,16	129,14	162,61	197,3	236,52	277,3	319,6	345,7
	0,8G+E	25,52	46,45	68,52	91,39	115,7	141,8	171,4	203,08	236,3	253,3
	0,6-E	13,24	46,23	38,08	49,13	58,65	66,47	70,32	73,10	73,77	90,74
	M(y.m)	-2,03	9,276	79,13	151,31	242,16	374,61	480,92	498,4	509,35	545,12
TRU MEAU (II)	G(H)	5,23	9,83	14,43	19,03	23,63	28,23	32,83	37,43	42,03	46,63
	Q(H)	1,20	2,26	3,31	4,37	5,43	6,50	7,55	8,60	9,66	10,72
	E(H)	6,14	10,11	15,22	21,13	28,57	37,71	50,58	64,99	81,27	81,27
	G+Q+E	12,57	22,5	32,96	44,5	57,63	72,44	90,96	111,02	133,2	138,6
	0,8G+E	10,32	18,26	26,76	36,3	47,47	60,29	76,84	94,93	115,11	118,5
	0,8G-E	-1,95	-2,54	-3,68	-5,90	-9,66	-15,13	-24,31	-35,04	-47,4	-43,97
	M(y.m)	-9,022	0,096	0,889	1,68	2,70	4,18	5,60	7,03	8,74	9,30

C - VOILES AVEC DEUX FILES D'OUVERTURES (VOILE VL3)

SUPERPOSITION		9	8	7	6	5	4	3	2	1	RDC
TRUPEAU (I)	G(+)	30,10	56,55	83,00	109,45	135,9	162,35	188,8	215,25	241,7	268,15
	Q(+)	6,92	13,00	19,01	24,10	31,25	37,34	43,42	49,50	55,60	61,67
	E(+)	26,91	44,89	62,72	83,20	106,0	128,77	152,60	175,10	196,10	196,10
	G+Q+E	63,93	114,44	164,7	216,75	273,15	328,46	384,82	439,8	493,4	525,9
	0,8G+E	50,99	90,13	129,12	170,76	214,72	256,65	303,64	347,3	384,4	410,6
	0,8G-E	-2,83	0,35	3,68	4,36	2,72	1,11	-1,86	-2,90	-2,74	18,42
	M(t.m)	-42,1	-87,82	-77,4	-50,2	-169,7	-8,15	116,86	286,5	690,15	1161,30
TRUPEAU (II)	G(+)	10,8	20,10	29,80	39,30	48,80	58,30	67,80	77,30	86,80	96,30
	Q(+)	2,48	4,67	6,854	9,03	11,22	13,41	15,60	17,80	19,96	22,15
	E(+)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	G+Q+E	13,28	24,97	36,65	48,33	60,02	71,71	83,4	95,10	106,7	118,45
	0,8G+E	8,64	16,24	23,84	31,44	39,04	46,64	54,24	56,24	69,44	77,44
	0,8G-E	8,64	16,24	23,84	31,44	39,04	46,64	54,24	56,24	69,44	77,44
	M(t.m)	-2,70	-5,73	-5,10	-3,23	-10,5	-0,60	71,50	72,46	113,70	255,80
TRUPEAU (III)	G(+)	30,10	56,55	83,00	109,45	135,90	162,35	188,8	215,2	241,70	268,15
	Q(+)	6,92	13,00	19,01	24,10	31,25	37,34	43,42	49,50	55,60	61,67
	E(+)	26,91	44,89	62,72	83,20	106,0	128,7	152,6	175,1	196,1	196,10
	G+Q+E	10,11	24,66	39,22	50,35	61,15	70,99	79,62	89,60	101,2	133,72
	0,8G+E	-2,83	0,34	3,61	4,36	2,72	1,18	-1,56	-2,94	-2,74	18,42
	0,8G-E	50,99	90,13	129,19	170,76	214,72	258,58	303,64	347,26	389,46	410,62
	M(t.m)	-42,10	-87,82	-77,4	-50,20	-169,7	-8,15	+116,86	286,5	690,1	1161,3

(NOILE VL4)

SUPERPOSITION		9	8	7	6	5	4	3	2	1	RDC
TRU MEAU (I)	G(+)	24,40	38,28	52,16	66,04	79,92	93,80	107,68	121,56	135,44	149,33
	Q(+)	5,61	7,65	11,90	15,18	18,38	21,57	24,76	27,95	30,93	34,33
	E(+)	26,16	45,42	66,10	87,10	108,55	130,26	153,8	175,20	194,4	194,4
	G+Q+E	56,17	91,38	130,16	168,32	206,86	246,13	286,24	324,71	360,23	378,03
	0,8G+E	45,68	76,07	107,83	139,93	172,47	205,40	239,94	272,44	302,72	313,84
	0,8G-E	-6,64	-14,82	-24,37	-34,27	-44,61	-55,22	-67,06	-77,95	-86,08	-74,96
	M(+.m)	-37,10	-27,40	-120,2	-56,7	-21,9	-7,2	77,4	227,8	659,7	851,1
TRU MEAU (II)	G(+)	11,21	17,58	23,95	30,32	36,69	43,06	49,43	55,80	62,17	68,54
	Q(+)	2,57	4,04	5,50	6,97	8,50	10,02	11,36	12,83	14,29	15,76
	E(+)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	G+Q+E	13,78	21,62	29,45	37,29	45,19	53,08	60,79	68,63	76,46	84,30
	0,8G+E	8,97	14,06	19,16	24,26	29,35	34,45	39,54	44,64	49,74	54,83
	0,8G-E	8,97	14,06	19,16	24,26	29,35	34,45	39,54	44,64	49,74	54,83
	M(+.m)	-1,23	-9,55	-15,54	-8,4	-4,64	-0,79	12,5	24,50	34,60	45,20
TRU MEAU (III)	G(+)	24,40	38,28	52,16	66,04	79,92	93,80	107,68	121,56	135,44	149,33
	Q(+)	5,61	7,65	11,90	15,18	18,38	21,57	24,76	27,95	30,93	34,33
	E(+)	-26,16	-45,42	-66,10	-87,10	-108,55	-130,26	-153,8	-175,20	-194,4	-194,4
	G+Q+E	3,84	0,48	-2,04	-5,88	-10,20	-15,33	-21,36	-25,75	-28,07	-10,77
	0,8G+E	-6,64	-14,80	-24,37	-34,27	-44,56	-55,66	-67,67	-78,0	-86,08	-74,96
	0,8G-E	45,68	76,04	107,83	139,93	172,44	205,44	239,94	272,40	302,72	313,84
	M(+.m)	-37,10	-27,4	-120,2	-56,7	-21,9	-7,20	+77,4	227,8	659,7	851,1

FERRAILLAGE DES VOILES
ET DES LINTEAUX

Ferrailage des voiles

INTRODUCTION :

des voiles sont sollicités par un effort normal et un moment de flexion, donc ils sont ferrailés en flexion composée, à partir des combinaisons données par le RPA 81.

Dispositions générales pour le ferrailage: (RPA 81)

10/ La vérification de la résistance au sollicitations normales de flexion composée les plus défavorables doivent être effectuées avec la contrainte admissible du béton du 1^{er} genre majorée au plus de 50% de la contrainte de traction des aciers au plus égale à σ_{en} ; (RPA 81 Art. 43.2.1 page 64).

$$- \text{Si } e_0 < \frac{ht}{6} \rightarrow \bar{\sigma}'_b = \left(1 + \frac{2e_0}{ht}\right) \bar{\sigma}'_{b0}$$

$$- \text{Si } e_0 > \frac{ht}{6} \rightarrow \bar{\sigma}'_b = 2\bar{\sigma}'_{b0} \rightarrow \bar{\sigma}'_b (SP1) = 2\bar{\sigma}'_{b0}$$

$$\bar{\sigma}'_a (SP2) = \sigma_{en} (4200 \text{ bars}); \bar{\sigma}'_b (SP2) = 1,5\bar{\sigma}'_b (SP1)$$

20/ Les armatures de la section transversale résistent à l'effort tranchant doivent être calculées avec les formules:

$$\bar{\omega}_t = \frac{\tau - 8}{\sigma_{en}} \times 100 ; \text{ avec } \tau_b = \frac{1,4T}{b^2} \quad (z = \frac{7}{8}h)$$

$$(RPA 81.433) \rightarrow (\bar{\omega}_t \geq \bar{\omega}_{min})$$

30/ Les parties enrautes doivent être armées par un cadillage d'armatures en double nappe dont le pourcentage minimal est donné par :

Dans chaque direction :

$$\begin{cases} \rightarrow 0,15\% \text{ pour } \tau_b \leq 0,025 \sigma'_{28} = 6,88 \text{ kg/cm}^2 \\ \rightarrow 0,25\% \text{ pour } 0,025 \sigma'_{28} \leq \tau_b \leq 0,12 \sigma'_{28} = 33 \text{ kg/cm}^2 \end{cases}$$

(RPA 81. Art. 4.33.2 page 66).

49/ lorsqu'une partie du voile est tendue sous l'action des forces verticales et horizontales, l'effort de traction doit être pris en totalité par les armatures, le pourcentage minimum des armatures verticales sur cette zone tendue est de 0,50% (Art. 4.3.3.3 RPA81)

50/ l'épacement des barres horizontales et verticales doit être inférieur à la plus petite des deux valeurs:

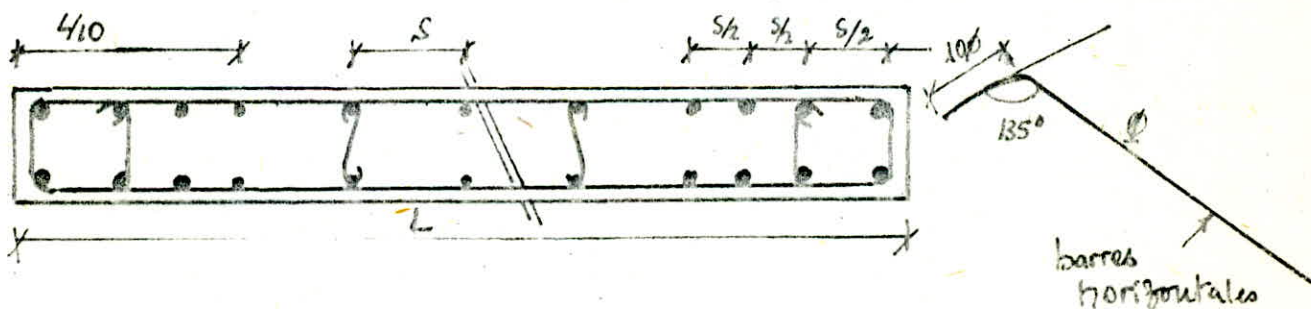
$$S \leq \min(1,5t; 30 \text{ cm}) \rightarrow t = 16 \text{ cm} \Rightarrow S \leq (24 \text{ cm}, 30 \text{ cm})$$

$$\Leftrightarrow S \leq 24 \text{ cm.}$$

60/ les deux nappes d'armatures doivent être reliées avec au moins 4 épingle/m². les barres horizontales doivent être disposées à l'ext.

70/ le diamètre des barres verticales et horizontales (excepté la zone d'about) ne devrait pas dépasser $t/10$; t : ép. du voile.

80/ A chaque extrémité du voile l'épacement du voile doit être réduit à $S/2$ sur le $1/10$ de la longueur du voile.



VERIFICATION AU CISAILLEMENT

D'après l'article (4.3.3.1 RPA81); la contrainte de cisaillement est donnée par la formule suivante:

$$\tau_{ob_i} = \frac{1,4 T_i}{b z} \leq \bar{\tau}_{ob}$$

$$T = H: \text{l'effort tranchant en tonnes} \rightarrow T_i = \frac{I_i}{\sum I_i} T_{\text{total.}}$$

b : l'épaisseur du voile. (16 cm)

z : bras de levier = $7/8 h$

h : longueur du trumeau.

Toutes les vérifications ont été réunies dans le tableau ci-dessous:

	Voiles	Trumeaux	T (t)	$T_i = \frac{T_i}{\sum T_i} \cdot T$	Z_{bi} (kg/cm ²)	ω_t %	ω_t % min
VOILES PLEINS	VT1/VT5	4,41 m	9,96/8,4	9,96/8,4	2,25/1,90	-0,13/-0,14	0,15
	VT6/VT13	3,76 m	5,6/2,8	9,96/8,4	1,49/0,74	-0,15/-0,17	0,15
	VL1/VL9	4,41 m	8,64/8,64	8,64/8,64	1,95/1,95	-0,14/-0,14	0,15
	VL5/VL11	3,76 m	26,22/27,10	26,22/27,10	6,97/7,21	-0,02/-0,018	0,25
	VT3	10,28 m	105,4	105,4	10,25	0,05	0,25
	VT2/VT4	4,41 m	9,12/8,4	9,12/8,4	2,06/1,90	-0,14/-0,14	0,15
	VT9	2,80 m	12,32	12,32	4,40	-0,085	0,15
	VT10	5,48 m	16,20	16,20	2,95	-0,12	0,15
	VL2/VL10	4,41 m	8,64/8,64	8,64/8,64	1,95/1,95	-0,14/-0,14	0,15
	V. AVEC LINE FILE D'OUV.	VT11	7,53 m	96,2	96,07	11,43	0,08
1,71 m			96,2	10,12	5,9	-0,05	0,15
VT8		7,53 m	118,7	106,22	14,11	0,145	0,25
		1,71 m	118,7	12,48	7,80	-0,016	0,25
VT12		7,63 m	98	87,74	11,50	0,083	0,25
		1,71 m	98	10,25	5,99	-0,05	0,15
VT7		7,63 m	97,4	87,00	11,40	0,080	0,25
		1,71 m	97,4	10,39	6,07	-0,46	0,15
V. AVEC 2 FILES D'OUV.	VL3	9,95 m	298,5	128,35	12,90	0,12	0,25
		3,70 m	298,5	41,79	11,35	0,080	0,25
		9,95 m	298,5	128,35	12,90	0,117	0,25
	VL4	7,57 m	269,5	126,60	16,72	0,20	0,25
		3,57 m	269,5	16,17	4,52	-0,083	0,15
		7,57 m	269,5	126,60	16,72	0,20	0,25

VOILES	Longueur (cm)	M (t.m)	N _{max} (±)	e ₀ (cm)	e ₁ (cm)	$\bar{\sigma}'_0$ (kg/cm ²)	Nature
VL1 - VL9	441	148,0	144,7	102,28	73,5	205,5	SPC
VL2 - VL10	441	148,0	186,5	79,02	73,5	205,5	SPC
VL11	376	466,2	90,4	515,7	62,66	205,5	SPC
VL5	376	451,1	90,4	499,0	62,66	205,5	SPC
VT1	441	81,2	144,7	56,12	73,5	85,93	SEC
VT4	441	81,20	186,4	43,56	73,5	82,03	SEC
VT3	1028	918,4	343,5	39,19	171,33	73,72	SEC
VT6 - VT13	376	66,30	90,4	73,34	62,66	205,5	SPC
VT9	280	119,8	52,9	226,47	46,67	205,5	SPC
VT10	848	146,4	837,8	106,46	141,33	85,69	SEC
VT2	441	89,6	186,46	48,01	73,5	83,41	SEC
VT5	441	81,20	144,7	56,12	73,5	85,95	SEC

Voiles	Long.	M(+m)	N (+) ^{max}	e ₀ (cm)	e ₁ (cm)	$\bar{\sigma}_0$ (kg/cm ²)	Nature
VT7	763	505,09	347,3	145,43	127,77	205,5	SPC
	171	9,9	145,3	6,81	28,5	73,95	SEC
VT12	763	545,12	345,7	157,68	127,16	205,5	SPC
	171	9,30	138,6	6,70	28,50	73,87	SEC
VT8	753	619,9	281,70	220,05	125,5	205,5	SPC
	171	9,19	143,13	6,42	28,5	73,64	SEC
VT11	753	511,66	377,30	135,46	125,5	205,5	SPC
	171	6,51	126,6	5,14	28,5	72,61	SEC
VL3	995	1161,3	410,6	282,83	165,83	205,5	SPC
	370	255,8	118,4	216,77	61,66	205,5	SPC
	995	1161,3	410,6	282,83	165,83	205,5	SPC
VL4	757	851,1	313,8	271,22	126,16	205,5	SPC
	357	45,2	84,30	53,61	59,5	89,07	SEC
	757	851,1	313,8	271,2	126,16	205,5	SPC

EXEMPLE DE CALCUL:

Le calcul se fait pour (M, Nmin), les contraintes pour (M, Nmax) ont été vérifiées dans le tableau précédent.

Soit le voile (VL1 - ou VL9):

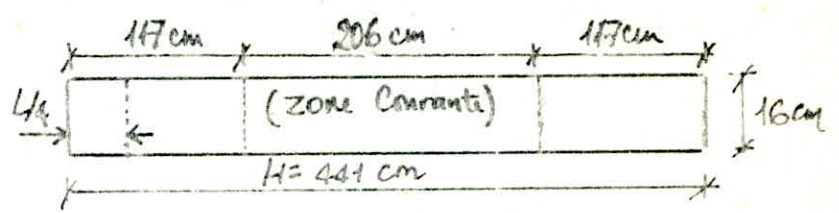
$L \equiv H = 441 \text{ cm}$

$M = 148 \cdot 10^5 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$

$N_{\text{min}} = 94,11 \cdot 10^3 \text{ Kg}$

$N_{\text{max}} = 144,7 \cdot 10^3 \text{ Kg}$

$b = 16 \text{ cm}$



Calcul des contraintes:

$$W = \frac{I}{v} = \left(\frac{bH^3}{12} \right) / \left(\frac{H}{2} \right) = \left(\frac{1,14 \cdot 10^8}{220,5} \right) = 6,09 \cdot 10^5 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{S} \pm \frac{M}{W} \Rightarrow \left\{ \begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{N}{S} + \frac{M}{W} = \frac{94,11 \cdot 10^3}{(16 \times 441)} + \frac{148 \cdot 10^5}{6,09 \cdot 10^5} = 41,8 \text{ Kg/cm}^2 \\ \sigma_2 &= \frac{N}{S} - \frac{M}{W} = \frac{94,11 \cdot 10^3}{(16 \times 441)} - \frac{148 \cdot 10^5}{6,09 \cdot 10^5} = -15,2 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned} \right.$$

longueur tendue:

$$\frac{\sigma_2}{x} = \frac{\sigma_1}{(H-x)} \Rightarrow \sigma_2 (H) = (\sigma_1 + \sigma_2) x$$

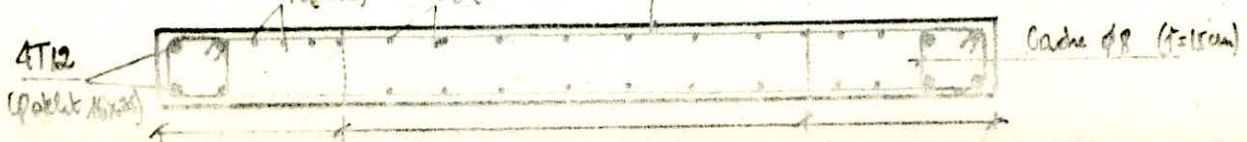
$$x \equiv l_t = \frac{\sigma_2}{(\sigma_1 + \sigma_2)} H = \frac{14,6}{(14,6 + 42)} \times 441 = 117,44 \text{ cm} \dots$$

Armatures tendues:

$$A = \frac{N}{\sigma_a} ; \text{ ou } N = \sigma_2 \cdot \frac{x}{2} = \frac{14,6 \times 113,75}{2} = 830 \text{ Kg}$$

$$A = \frac{\sigma_2^2 \cdot l_t}{2(\sigma_1 + \sigma_2) \sigma_a} = \frac{(14,6)^2 \cdot 113,75}{2 \cdot 4800 \cdot (56,6)} = 0,0992 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{min}} = \frac{0,50}{100} \times 16 \times l_t = \frac{0,50}{100} \times 16 \times 113,75 = 9,39 \text{ cm}^2$$



27

VOIES	Long. (cm)	M(t.m)	N(t) min.	O ₂	O ₁	L(t/cm)	ZONE DE TRACTION					ZONE COURANTE				
							A _{cat.} (cat)	A _{min.} (cat)	Pot _{cat}	A _{acc} le pot _{cat}	E _{sp.} (cat)	ω _{min}	A _{min} (cat)	A _{acc}	A _{Hor.} A _{Hor.}	A _{trans.} A _{Hor.}
VL1-VL9	441	148	94,11	-15,19	41,87	117,44	0,099	9,39	4T12	10T8	e=24	0,15	2,4	5T8 P.m	5T8 P.m	//
VL2-VL6	441	148	121,3	-11,34	45,72	87,67	0,041	7,01	4T12	8T8	e=24	0,15	2,40	5T8 P.m	5T8 P.m	//
VL11	376	466,2	58,8	-113,88	133,43	173,14	1,89	13,85	6T14	12T8	e=24	0,25	4,00	5T8 P.m	8T8 P.m	//
VL5	376	451,1	58,8	-109,84	129,42	172,64	1,81	13,81	6T14	12T8	e=24	0,25	✓	5T8 P.m	8T8 P.m	//
VT1	441	81,2	94,11	-2,31	28,99	32,66	1,16	2,61	4T12	2T8	e=24	0,15	2,40	5T8 P.m	5T8 P.m	//
VT4	441	81,2	121,3	1,53	32,84	/	/	2,4/ml	4T12	5T8 P.m	e=24	0,15	2,40	5T8 P.m	5T8 P.m	//
VT3	1028	918,4	223,4	-145,42	208,74	181,07	2,25	14,48	4T14	12T8	e=24	0,15	✓	5T8 P.m	5T8 P.m	//
VT6-VT8	376	66,30	58,8	-7,81	27,36	83,51	0,030	6,68	4T12	10T8	e=24	0,15	✓	5T8 P.m	5T8 P.m	//
VT9	280	1198	34,36	-49,6	64,97	121,26	0,54	9,70	4T14	4T8	e=24	0,15	✓	5T8 P.m	5T8 P.m	//
VT10	848	146,7	89,64	-1,04	14,25	57,83	8,5.10 ⁻³	4,62	4T12	6T12	e=24	0,15	✓	5T8 P.m	5T8 P.m	//
VT2	441	81,2	121,3	-8,5.10 ⁻³	31,39	0,110	4,9.10 ⁻⁴	0,008	4T12	2T8	e=24	0,15	2,4	5T8 P.m	5T8 P.m	//
VT5	441	81,2	94,11	-2,31	28,99	32,66	1,16	2,61	4T12	2T8	e=24	0,15	2,4	5T8 P.m	5T8 P.m	//
VT7	763	505,1	84,10	-25,6	39,42	300,7	0,63	24,05	8T16	12T8	e=24	0,25	4,0	5T8 P.m	8T8 P.m	//
	171	9,90	-50,6	-31,19	-5,79	171	1,67	13,68	4T14 + 2T12	12T8	e=24	0,15	✓	5T8 P.m	5T8 P.m	//
VT12	763	547,1	90,74	-27,80	42,67	301,03	0,68	24,08	8T16	12T8	e=24	0,25	4,0	5T8 P.m	8T8 P.m	//
	171	9,30	-43,47	-27,81	-3,96	171	1,34	13,68	4T14 + 2T12	12T8	e=24	0,15	✓	5T8 P.m	5T8 P.m	//

VOILES	Long. (cm)	M (t.m)	N (H) min.	σ_2	σ_1	lt (cm)	ZONE DE TRACTION					ZONE COLIRANTE				
							A _{calc} (cm)	A _{min}	Pot _{del}	A _{del} par le pot _{del}	Esp. (cm)	ω_{min} %	A _{min} (cm ²)	A _{adp}	A _{Horiz} adp.	A _{trans} adp.
VT8	753	619,9	51,10	-36,73	45,26	337,3	1,15	26,98	5T16	25T8	e=24	0,25	4,0	5T8 P.m	8T8 P.m	16P.m Ø8/m ²
	171	9,19	-62,23	-34,74	-11,17	171	2,69	13,68	4T14 + 2T12	12T8	e=24	0,25	"	"	8T8 P.m	"
VTW	753	511,6	114,74	-24,31	43,35	270,5	0,49	21,64	4T12	18T8	e=24	0,25	"	"	8T8 P.m	"
	171	6,51	-50,99	-26,98	-10,3	171	2,51	13,68	4T14 + 2T12	12T8	e=24	0,15	2,4	"	5T8 P.m	"
VL3	995	1161,3	18,42	-42,83	45,14	484,41	2,10	38,75	4T20 + 4T14	36T8	e=24	0,25	4,0	"	8T8 P.m	"
	370	255,8	77,44	-56,98	83,15	150,46	0,72	12,03	4T14	12T8	e=24	0,25	"	"	8T8 P.m	"
	995	1161,3	18,42	-42,83	45,14	484,41	2,10	38,75	4T20 + 4T14	36T8	e=24	0,25	"	"	8T8 P.m	"
VL4	757	851,1	74,96	-61,88	49,50	420,5	3,01	33,64	6T20	30T8	e=24	0,25	"	"	8T8 P.m	"
	357	45,2	54,83	-3,70	22,89	49,66	5,32	3,97	4T12	4T8	e=24	0,15	2,4	"	5T8 P.m	"
	757	851,1	74,96	-61,88	49,50	420,5	3,01	33,64	6T20	30T8	e=24	0,25	4,0	"	8T8 P.m	"

FERRAILLAGE DU VOILE PERIPHERIQUE

(RPA81)

D'après le (RPA81) les armatures au niveau de la base doivent comporter un voile periphérique entre le niveau de fondation et le niveau de base. Ce voile scinture la superstructure et assure un bon chaînage et par conséquent il crée un système d'infrastructure très rigide.

DIMENSIONS ET FERRAILLAGE:

L'épaisseur $b = 25\text{cm}$, la hauteur totale $h = 2,66\text{m}$.

Il sera ferrillé forfaitairement d'après le RPA 81 Art. 3385.

10/ Armatures longitudinales filantes (supérieures et inférieures):

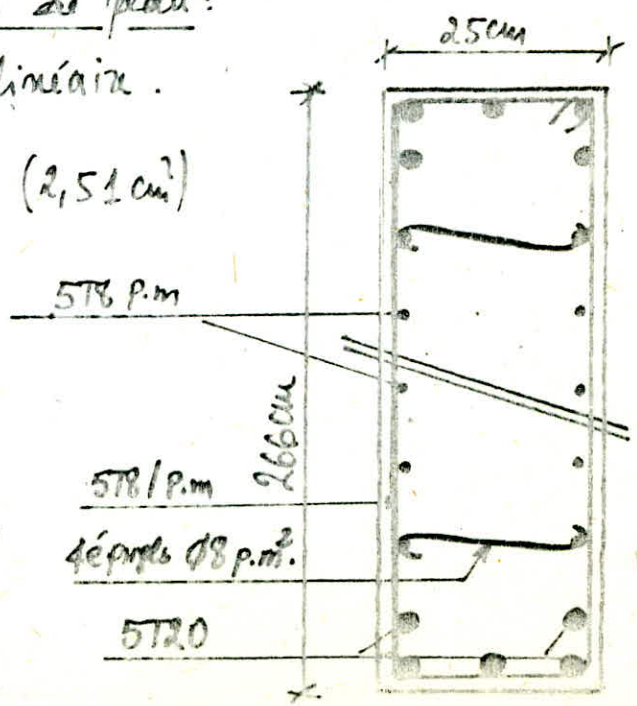
$$A \geq \frac{0,20}{100} * b * h = \frac{0,20}{100} * 25 * 266 = 13,30\text{cm}^2.$$

On adoptera 5T20 / parti (inférieure et supérieure).

29/ Armatures longitudinales de peau:

$$A \geq 2\text{cm}^2 / \text{face} / \text{mètre linéaire}.$$

Adopt : 5T8 / face / ml ($2,51\text{cm}^2$)



Ferraillage des linteaux

Les linteaux sont étudiés comme des poutres encastrées à leurs extrémités. Ils doivent être conçus de façon à éviter leur rupture fragile et être capables de prendre l'effort tranchant et le moment fléchissant dont les sens d'action peuvent alterner.

Ils sont ferrillés conformément aux règlements RPA81. Art. 3426.

Contraintes admissibles et efforts pris en compte:

(Art. 4.3.2.5 RPA81)

$$\bar{T} = 1,4T \quad (T: \text{l'effort horizontal déjà calculé})$$

M: calcul à partir des valeurs de (T).

$$\bar{\sigma}_b = 0,12 \sigma_{28} = 33 \text{ kg/cm}^2 : \text{contrainte de cisaillement.}$$

$$\bar{\sigma}_b = 0,45 \sigma_{28} = 202,5 \text{ kg/cm}^2 : \text{ " du béton en flexion (SP2)}$$

$$\bar{\sigma}_a = \bar{\sigma}_{at} = 4200 \text{ kg/cm}^2. \quad (\text{Ten}).$$

Charges sollicitant les linteaux:

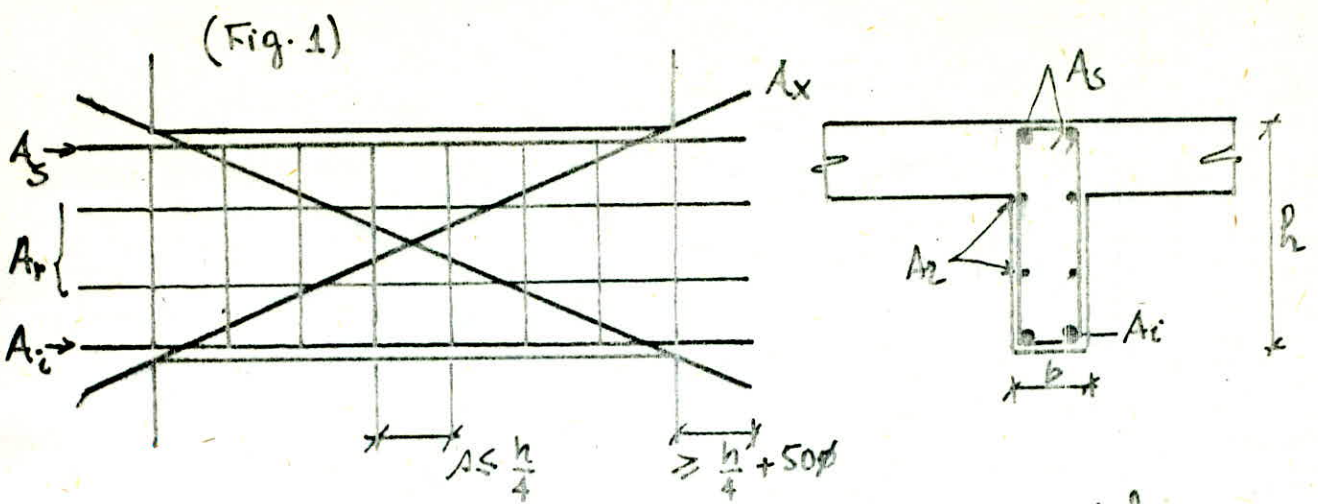
Les charges prises en compte pour le ferraillage des linteaux sont:

- charges et surcharges revenant aux linteaux.
- poids propre des linteaux.
- charges minimales.

Ferraillage:

(Art. 4.3.3.14 RPA81)

Les armatures doivent être disposées et encrées dans les trumeaux suivant la figure (A).



$A_x \geq 0,00 h.a$

si $\sigma_b \geq 0,06 \sigma_{28}$

$A_i, A_s \geq 0,0015 b h$

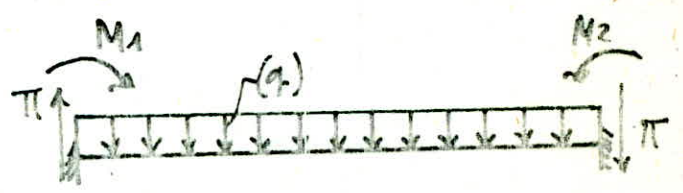
$A_r \geq 0,0020 b h$

$A_t \geq 0,0025 b x.$

Remarque: si $\sigma_b \geq 0,006 \sigma_{28}$ On prévoit de armatures supplémentaires (A_x) qui doivent être déposées dans les angles.

Méthode de Calcul:

Les linteaux sont calculés comme des pontons encastrés à ses extrémités et ils sont ferrailés sous la sollicitation la plus défavorable.



Le moment pris en compte dans le calcul du ferrailage est $M_{max} = M_1$; c'est du fait que le vent agit aussi bien dans un sens que dans l'autre.

Remarque:

Le linteau appartenant au voile (VL7), et les linteaux appartenant aux voiles dont les ouvertures se trouvent aux extrémités de ceux-ci seront ferrailés sous (SPA); Car par hypothèse ils ont été négligés vis à vis au entrecroisement.

(Rappel: (SPA) $\rightarrow q = G + 1,2 P$; $\sigma_a = 2800 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_b = 139 \text{ kg/cm}^2$)

Exemple de calcul:

Soit le linteau sous voile (VT8):

$$l = 2a = 1,04 \text{ m}$$

$$h_t = (2,66 - 2,17 + 0,16) = 0,65 \text{ cm}$$

$$q_r = (P_p + G) + 1,2 P$$

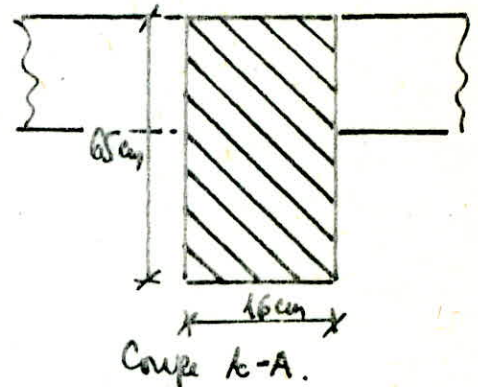
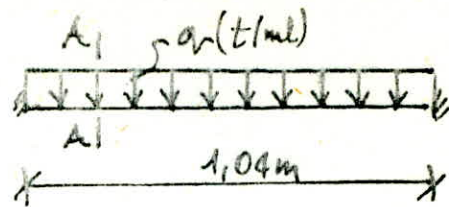
$$= 0,26 + 2,81 + 0,24 = 3,31 \text{ t}$$

$$\Leftrightarrow q_r (\text{t/ml}) = \frac{3,31}{1,04} = 3,18 \text{ t/ml}$$

$$M_t = \frac{q_r l^2}{24} = \frac{3,18 \times 1,04^2}{24} = 0,143 \text{ t.m}$$

$$M_a = -\frac{q_r l^2}{12} = \frac{-3,18 \times 1,04^2}{12} = 0,28 \text{ t.m}$$

$$T = q_r l / 2 = (3,18 \times 1,04) / 2 = 1,65 \text{ t}$$



$T_{\max} = 17,49 \text{ t}$. (Voir chapitre: Étude des refends).

$$M(\text{axe}) = T \times a = 17,49 \times \frac{1,04}{2} = 9,09 \text{ t.m}$$

$$T(\text{total}) = 1,4 \cdot 17,49 + 1,65 = 26,13 \text{ t}$$

$$M(\text{total}) = 1,4 \times 17,49 \times 0,52 + 0,28 = 13,01 \text{ t.m}$$

1°/ Vérification au cisaillement:

$$\sigma_b = \frac{26,13 \cdot 10^3}{\frac{7}{8} (f_s) \cdot 16} = 29,61 \text{ kg/cm}^2 \quad (\sigma_b = \frac{T}{b \cdot z})$$

$$\sigma_b = 29,61 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_b = 33 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{le cisaillement est vérifié.}$$

2°/ Acier longitudinal aux:

$$\mu = \frac{15 M}{\bar{\sigma}_a b h^2} = \frac{15 \cdot 13,01 \cdot 10^5}{4200 \cdot 16 \cdot (65)^2} = 0,073 \rightarrow \begin{cases} \varepsilon = 0,8913 \\ k = 31,0 \end{cases}$$

$$\sigma_b = \frac{\bar{\sigma}_a}{k} = \frac{4200}{31,0} = 135,48 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b = 205,5 \text{ kg/cm}^2 \text{ (SP2)}$$

$$\Rightarrow A_s = M / (\bar{\sigma}_a \cdot \varepsilon \cdot h) = \frac{13,01 \cdot 10^5}{4200 \cdot 0,8913 \cdot 65} = 5,82 \text{ cm}^2$$

$$A_{ci, ds} = 0,0015 b h_t = 0,0015 \times 16 \times 65 = 1,56 \text{ cm}^2$$

On prend donc le ferrailage calculé $A_{ad} = 3T16 (6,03 \text{ cm}^2)$.

30/ Condition de non-fraîblité:

$$A^{\max} \geq 0,69 bh \frac{\bar{\sigma}_b}{\sigma_{\text{en}}} = 0,69 \times 16 \times 63 \times \frac{5,9}{4200} = 0,69 \text{ cm}^2.$$

or $A = 3T16 (6,03 \text{ cm}^2) \gg 0,69 \text{ cm}^2$ condition largement vérifiée.

40/ Acier de répartition (A_r):

$$A_r \geq \frac{20}{10000} bh_t = \frac{20}{10000} \times 16 \times 65 = 2,08 \text{ cm}^2.$$

On prend 5T8 ($2,51 \text{ cm}^2$, $e = 13 \text{ cm}$).

50/ Acier transversaux:

On prend (1 cadre + 1 épingle) $\phi 8 = 2,01 \text{ cm}^2$.

$$t^c = \frac{3 \cdot \sigma_{\text{at}} \cdot A^t}{T} = \frac{7 \cdot 4200 \cdot 2,01}{8 \cdot 26,13 \cdot 10^3} = 17,81 \text{ cm}.$$

$$S \leq \frac{h_t}{4} = \frac{65}{4} = 16,25 \text{ cm}.$$

On prend $t = 15 \text{ cm}$.

60/ Armatures d'angle (A_x):

$$\left. \begin{aligned} \bar{\sigma}_b &= 29,61 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots \\ 0,06 \bar{\sigma}_{28} &= 0,06 \times 270 = 16,20 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots \end{aligned} \right\} \Leftrightarrow \bar{\sigma}_b > 0,06 \bar{\sigma}_{28}$$

$$\Rightarrow A_x \geq 0,0015 bh = 0,0015 \cdot 16 \times 63 = 1,512 \text{ cm}^2$$

On prend $A_{\text{adop}} = 2 (T14)$.

70/ Vérification des contraintes:

$$\bar{\omega} = \frac{100A}{bh} = \frac{100 \times 6,03}{16 \times 65} = 0,57 \rightarrow \left\{ \begin{aligned} \epsilon &= 0,8876 \\ k &= 29,5. \end{aligned} \right.$$

$$\sigma'_b = \frac{\bar{\sigma}_a}{k} = \frac{4200}{29,5} = 142,37 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_b.$$

$$\bar{\sigma}_a = \frac{M}{A \cdot e \cdot h} = \frac{13,01 \cdot 10^5}{6,03 \cdot 0,8876 \cdot 63} = 4027,4 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a$$

80/ Longueur de recouvrement:

$$l_c \leq \frac{h}{4} + 50 \phi = \frac{63}{4} + 50 \times 16 = 95 \text{ cm}.$$

On prend $l_c = 100 \text{ cm}$.

Caractéristiques	VL3 (2 lit.)	VL4 (2 lit.)	VT12	VT11	VT8	VT7-VT2 VT4-VT5 VL9-VL10 VL1-VL2	VT7	VL7
Long. (m)	1,04	0,94	0,94	1,04	1,04	0,94	0,94	1,45
Surface (m ²)	2,86	2,80	2,80	2,86	3,64	0,94	2,80	2,25
Mode	SP2	SP2	SP2	SP2	SP2	SP1	SP2	SP1
G(t)	2,15	2,10	2,10	2,45	2,73	0,70	2,10	1,70
P(t)	0,50	0,49	0,49	0,50	0,63	0,16	0,49	0,39
Pp(t)	0,27	0,24	0,24	0,27	0,27	0,94	0,24	0,45
q _r (t)	2,92	2,83	2,83	2,92	3,63	1,80	2,83	2,54
σ _r (t/ml)	2,80	3,01	3,01	2,80	3,49	1,91	3,01	1,45
Ma (t.m)	0,25	0,22	0,22	0,25	0,31	0,14	0,22	0,37
Me (t.m)	0,125	0,110	0,110	0,125	0,150	0,07	0,11	0,18
κ _{max} (t)	23,86	23,09	16,27	16,42	17,49	/	15,40	/
T (t)	1,47	1,33	1,33	1,51	1,81	0,89	1,41	1,26
M (total)	17,62	15,41	12,03	12,20	13,04	0,14	10,35	0,37
T (total)	34,87	33,65	24,10	24,49	26,29	/	22,97	/

FERRAILLAGE

A _s , A _i (mm ²)	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56
A calculée	7,61	6,61	5,09	5,17	5,54	1,56	4,35	1,56
A adopté	5T14 (7,10cm ²)	6T12 (6,78cm ²)	5T12 (5,65cm ²)	5T12 (5,65cm ²)	5T12 (5,65cm ²)	3T12 (3,39)	4T12 (4,52cm ²)	3T12 (3,39)
A _r (adopté)	5T8 e=13cm	5T8 e=13cm	5T8 e=13cm	5T8 e=13cm	5T8 e=13cm	5T8 e=13cm	5T8 e=13cm	5T8 e=13cm
A _t (adopté)	1cable + 1ép. φ8	1cable + 1ép. φ8	1cable + 1ép. φ8	1cable + 1ép. φ8	1cable + 1ép. φ8	1cable + 1ép. φ8	1cable + 1ép. φ8	1cable + 1ép. φ8
A _x adopté	2T14	2T14	2T14	2T14	2T14	/	2T14	/

VERIFICATION DES CONTRAINTES

σ _b	168,67	155,5	132,9	134,6	139,07	57,53	120,34	57,53
σ _a	4152,5	4095,02	3785,9	3842,9	4118,9	65,57	4029,3	65,57
σ _b	35,16	34,81	27,20	27,6	29,6	0,910	25,9	0,910

CALCUL DES FONDATIONS

FONDATION

INTRODUCTION:

Un calcul préliminaire a montré que l'adoption d'un système de semelles filantes comme fondation pour notre cas conduira à l'occupation de tout l'espace constitué par la zone inter-axe des voiles ou au mieux des cas à un espace trop faible.

La descente de charges de l'ensemble de la structure au niveau des fondations a donné les résultats suivants:

$$G = 5112t ; P = 672,43t$$

Le sol sur lequel repose notre structure a une contrainte admissible de $1,5 \text{ kg/cm}^2$.

Vu l'importance de la charge totale transmise au sol par les différents éléments de la structure, le nombre élevé des voiles dans les deux sens, le rapprochement de la plupart des voiles, la portance assez faible du sol ($\bar{\sigma}_s = 1,5 \text{ kg/cm}^2$) et enfin pour éviter le problème des tassements différentiels nous avons adopté alors un radier général comme type de fondation. Il sera constitué d'une dalle d'épaisseur constante (assimilé du point de vue calcul à un plancher renversé soumis à la réaction du sol agissant du bas vers le haut d'une manière uniforme. Il sera considéré comme infiniment rigide.

PREDIMENSIONNEMENT DU RADIER

* Poids de la structure au niveau de la fondation
 Ann (SP1): $N = G + 1,2P = 5112 + 1,2 \cdot 672,43$

$$\Rightarrow \underline{\underline{N = 5918,76t}}$$

* Surface minimale du radier :

$$S_{\text{ress.}} \geq \frac{N}{\bar{\sigma}_s} = \frac{5918,76}{15} = 394,58 \text{ m}^2$$

* Surface de la construction est $S_0 = 401,46 \text{ m}^2$.

On prend un débord de 50cm de chaque côté : (S_d)

$$S_d = 42,81 \text{ m}^2 \Rightarrow S_{\text{radier}} = S_0 + S_d = \underline{444,27 \text{ m}^2}$$

L'EPAISSEUR DU RADIER :

* Condition forfaitaire : $h_t \geq \frac{l_{\text{max}}}{10} = \frac{376}{10} = 37,6 \text{ cm}$.

* Condition de cisaillement :

$$\bar{\sigma}_b = T_{\text{max}} / bz \leq 1,15 \bar{\sigma}_b \text{ avec } T_{\text{max}} = \frac{qz}{2} \text{ et } q = \frac{N}{S}$$

$$\Rightarrow q = \frac{5918,76}{444,27} = 13,32 \text{ t/ml} ; z = \frac{7}{8} h ; b = 100 \text{ cm}$$

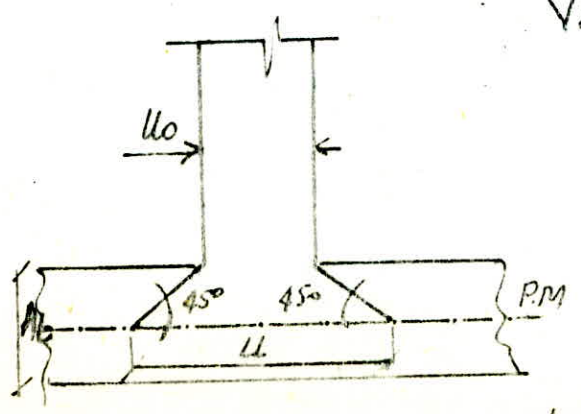
$$\Leftrightarrow h \geq \frac{8 \cdot T_{\text{max}}}{7 \cdot b \cdot \bar{\sigma}_b} = \frac{8 \times 25,04 \times 10^3}{7 \times 100 \times 5,9 \times 1,15} = 42 \text{ cm}$$

On prend donc $h = 45 \text{ cm} \rightarrow h_t = 50 \text{ cm}$ ($d = 5 \text{ cm}$)

VERIFICATION AU POINÇONNEMENT

Conformément aux règles (CCBA 68 - Art. 39/54), on fera une vérification au poinçonnement, on la fera sous le voile le plus chargé. Dans notre cas c'est le voile VL3 ($l = 25 \text{ m}$).

$$\text{VL3} \rightarrow G = 632,6 \text{ t} \\ Q = 88,66 \text{ t} \Leftrightarrow N = 738,9 \text{ t}$$



$$\begin{cases} u = u_0 + h_t = 25 + 0,50 = 25,50 \text{ m} \\ v = v_0 + h_t = 0,16 + 0,16 = 0,66 \text{ m} \end{cases}$$

La condition de non-poinçonnement sous mur est donnée par : $1,5 \frac{N}{P_c \cdot h_t} \leq \bar{\sigma}_b$ (1, .../...)

avec : P_c : périmètre du contour cisailé
 h_t : hauteur totale du radier
 $\bar{\sigma}_a$: contrainte de référence de traction.

A.N: $P_c = 2(u+v) = 2(25,50 + 0,66) = 52,32 \text{ m.}$

(1) $\Rightarrow 1,5 \frac{738,9 \cdot 10^3}{5232 \cdot 50} = 4,23 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_b = 5,9 \text{ kg/cm}^2$

La condition de non poinçonnement est donc vérifiée.

VERIFICATION DE LA STABILITE DU RADIER:

1°/ Sous (SP1):

$N = (G + Grad.) + 1,2P = (5112 + 555,12) + 1,2 \times 672,4 = \underline{6474 \text{ t}}$

$\sigma = \frac{N}{S} = \frac{6474}{444,27} = 14,57 \text{ t/m}^2 < \bar{\sigma}_s = 15 \text{ t/m}^2.$

2°/ Sous (SP2):

Sous les sollicitations introduisant un moment de renversement nous devons vérifier que les extrémités du radier ne sont pas sujettes à la traction (Arrachement), le cas est très probable sous la sollicitation $(0,86 \pm E)$ donnée par le RPA; d'autre part nous devons vérifier les fortes compressions sous la sollicitation $(G+P+E)$.

* Sous $0,86 \pm E$:

$$\begin{cases} M = M_0 + Th & \text{avec } M_0 = \frac{2}{3} V \cdot H & \begin{matrix} M_x = 12639,25 \text{ t.m} \\ M_y = 12103,44 \text{ t.m} \end{matrix} \\ N = 0,8G = 0,8(5112 + 555,12) = 4533,6 \text{ t} \end{cases}$$

a) Suivant le sens longitudinal:

$V^l = 589 \text{ t}$ (voir chap. du séisme)

$\Leftrightarrow M^l = \frac{2}{3} H \cdot V^l + V^l \cdot h = (\frac{2}{3} \cdot 589 \cdot 28,2 + 589 \cdot 26) = 12639,2 \text{ t.m}$

$I_y = 20619,31 \text{ m}^4$; $V_x = 13,00 \text{ m.}$

$\sigma_{1,2} = \frac{N}{S} \pm \frac{M_y}{I_y} V_x = \frac{4533,6}{444,27} \pm \frac{12103,44}{20619,3} \cdot 13 = 10,2 \pm 7,6$

$\Rightarrow (\sigma_1 = 1,48 \text{ kg/cm}^2 ; \sigma_2 = 0,26 \text{ kg/cm}^2) < 1,5 \bar{\sigma}_s = 2,25 \text{ kg/cm}^2 \text{ OK!}$

$$\sigma_m = \frac{3\sigma_1 + \sigma_2}{4} = \frac{3 \times 1,78 + 0,26}{4} = 1,4 \text{ kg/cm}^2 < 1,33 \bar{\sigma}_s \quad (1,015 \text{ kg/cm}^2)$$

b) Suivant le sens transversal:

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{S} \pm \frac{M_x}{I_x} v_y \quad ; \quad I_x = 14781,78 \text{ m}^4 \quad ; \quad v_y = 10,17 \text{ m}$$

$$\sigma_{1,2} = 10,2 \pm \frac{12639,25}{14781,78} \times 10,17 = 702 \pm 8,60 \rightarrow \begin{cases} \sigma_1 = 18,80 \text{ t/m}^2 \\ \sigma_2 = 1,51 \text{ t/m}^2 \end{cases}$$

$$\max(\sigma_1, \sigma_2) = 18,80 \text{ t/m}^2 < 1,5 \bar{\sigma}_s = 22,5 \text{ t/m}^2 \text{ est verifie!}$$

$$\sigma_m = \frac{3\sigma_1 + \sigma_2}{4} = \frac{56,67 + 1,51}{4} = 14,54 \text{ t/m}^2 < 1,33 \bar{\sigma}_s.$$

DETERMINATION DE LA SOLLICITATION LA PLUS DEFAVORABLE

10) 1^{er} genre: (SP1)

$$N_1 = G + 1,2P = 5112 + 1,2 \times 672,4 = 5918,76 \text{ t}$$

$$q = \frac{N_1}{S} = \frac{5918,76}{444,27} = 13,32 \text{ t/m}^2.$$

20) 2^{em} genre; (SP2): Dans ce cas on peut determiner un effort normal N_2 dont l'effet sera de produire la meme contrainte moyenne que dans le cas de la sollicitation la plus defavorable du 2^{em} genre soit $(G+P+E)$; pour lequel:

$$\sigma_m = 18,80 - \frac{555,12}{444,27} = 17,64 \text{ t/m}^2$$

Conclusion:

$$\frac{\bar{\sigma}_a (SP2)}{\bar{\sigma}_a (SP1)} = \frac{4200}{2800} = 1,5$$

$$\Rightarrow 1,32 < 1,50$$

$$\frac{q (SP2)}{q (SP1)} = \frac{17,64}{13,32} = 1,32$$

Le radier sera donc calcule sous l'effet de sollicitations du 1^{er} genre, avec:

$$q = 13,32 \text{ t/m}^2 \quad ; \quad \bar{\sigma}_a = 2800 \text{ kg/cm}^2 \quad ; \quad \bar{\sigma}_b = 137 \text{ kg/cm}^2.$$

CALCUL DES MOMENTS:

On calculera les panneaux du radier (solicités par une charge uniformément répartie) par la méthode de PIGEAND; avec:

- $M_{0x} = P(M_1 + \nu M_2)$ moment dans le sens de la plus petite portée.
 - $M_{0y} = P(M_2 + \nu M_1)$ moment dans le sens de la plus grande portée.
- (M_1 et M_2 étant des moments unitaires, P la charge appliquée à la dalle et $\nu = 0,15$: Coef de POISSON).

Sur appui: $M_{ax} = 0,50 M_{0x}$, $M_{ay} = 0,50 M_{0y}$
En travée: $M_{tx} = 0,85 M_{0x}$, $M_{ty} = 0,85 M_{0y}$.

Exemple de calcul: (Panneau ②)

$$l_x = 3,50 \text{ m}; \quad l_y = 4,26 \text{ m} \quad \rightarrow \quad \beta = \frac{l_x}{l_y} = 0,82 \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{\beta} = 1,22 \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} M_1 = 0,043 \\ M_2 = 0,027 \end{cases}$$

$$P = q \cdot l_x \cdot l_y = 13,32 \times 3,50 \times 4,26 = 198,60 \text{ t}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} M_{0x} = 9,34 \text{ t.m} \rightarrow M_{ax} = 4,67 \text{ t.m} \text{ et } M_{tx} = 7,94 \text{ t.m} \\ M_{0y} = 6,64 \text{ t.m} \rightarrow M_{ay} = 3,32 \text{ t.m} \text{ et } M_{ty} = 5,65 \text{ t.m} \end{cases}$$

Ferrailage: (Méthode de CHARON)

1°/ Sens X-X':

$$\text{— En travée: } M_{tx} = 7,94 \text{ t.m/m} \rightarrow \mu = 0,020 \rightarrow \begin{cases} \beta = 0,9375 \\ \gamma = 65,0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} A_c = 6,72 \text{ cm}^2 \\ (6712/\text{ml}) \end{cases}$$

$$\text{— En appui: } M_{ax} = 4,67 \text{ t.m/m} \rightarrow \mu = 0,012 \rightarrow \begin{cases} \beta = 0,9510 \\ \gamma = 87,0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} A_c = 3,90 \text{ cm}^2 \\ (5710/\text{ml}) \end{cases}$$

• Tous les contraintes sont vérifiées.

2°/ Sens Y-Y':

$$\text{— En travée: } M_{ty} = 5,65 \text{ t.m/ml} \rightarrow \mu = 0,014 \rightarrow \begin{cases} \beta = 0,9465 \\ \gamma = 78,5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} A_c = 4,73 \text{ cm}^2 \\ (5712/\text{ml}) \end{cases}$$

$$\text{— En appui: } M_{ay} = 3,32 \text{ t.m/ml} \rightarrow \mu = 0,0085 \rightarrow \begin{cases} \beta = 0,9583 \\ \gamma = 105 \end{cases}$$

$$\Rightarrow A_c = 2,75 \text{ cm}^2/\text{ml} \\ (4710/\text{ml}).$$

• Tous les contraintes sont vérifiées.

$$(v = 0,15)$$

Panne.	ly (m)	lx (m)	P(t)	$\beta = \frac{lx}{ly}$	M1	M2	Mox	Moy	Max	Max	Max	Max	Max
Panneau 1	5,85	3,66	285,2	0,62	0,048	1,60	0,016	14,37	6,61	7,18	12,22	3,30	5,62
Panneau 2	4,26	3,50	148,6	0,823	0,093	1,21	0,027	9,34	6,64	4,67	7,94	3,32	5,65
Panneau 3	10,58	3,60	507,3	0,34	0,090	2,93	0,008	20,52	1,56	10,26	17,44	2,28	3,88
Panneau 4	5,66	3,50	268,8	0,618	0,098	1,61	0,016	13,99	6,12	6,65	11,30	3,06	5,20
Panneau 5	3,50	3,50	163,17	1,00	0,035	1,00	0,035	6,56	6,56	3,28	5,58	3,28	5,58
Panneau 6	3,40	1,75	79,25	0,514	0,047	1,94	0,010	3,84	1,35	1,82	3,26	0,67	1,14

TABLEAU RECAPITULATIF DE FERRAILLAGE
(Toutes les vérifications de contraintes sont satisfaisantes)

Panne	A_x^t calculé	A_x^t adopté	t (cm)	A_y^t calculé	A_y^t adopté	t (cm)	A_x^c calculé	A_x^c adopté	t (cm)	A_y^c calculé	A_y^c adopté	t (cm)
Panneau 1	10,46	7T14 (10,48)	15	6,03	6T12 (6,03)	17	4,69	5T12 (5,65)	20	2,72	6T10 (4,71)	17
Panneau 2	6,72	6T12 (6,78)	17	3,90	6T10 (4,71)	17	4,73	5T12 (5,65)	20	2,75	6T10 (4,71)	17
Panneau 3	15,13	10T14 (15,34)	10	8,72	6T14 (9,24)	17	3,20	6T10 (4,71)	17	1,96	6T10 (4,71)	17
Panneau 4	9,65	7T14 (10,78)	15	5,57	5T12 (5,65)	20	4,32	6T10 (4,71)	17	2,51	6T10 (4,71)	17
Panneau 5	4,66	5T12 (5,65)	20	2,70	6T10 (4,71)	17	4,66	5T12 (5,65)	20	2,70	6T10 (4,71)	17
Panneau 6	2,68	6T10 (4,71)	17	1,48	6T10 (4,71)	17	0,92	6T10 (4,71)	17	0,53	6T10 (4,71)	17

$$A_{min} \geq 0,69 bh \frac{\sigma_a}{\sigma_s} = 0,69 \cdot 100 \cdot 95 \cdot \frac{57,9}{4900} = 4,26 \text{ cm}^2$$

bibliographie

AIDE MEMOIRE BETON ARME

AIDE MEMOIRE R·D·M

CALCUL DES TOURS EN B·A (M. DIVERS)

CALCUL ET VERIFICATION DES OUVRAGES EN B·A
(M^r. P. CHARON)

COURS DE BETON ARME (M^r. BELAZOUGUI)

RECOMMANDATIONS TECHNIQUES (C·T·C)

REGLES NV 65

REGLES TECHNIQUES (C·C·B·A·68/70)

R·P·A 81 VERSION 83

TABLES DE BARRES .

