

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

37/87

وزارة التعليم و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE CIVIL

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ETUDE D'UN BATIMENT

( R+7 )

EN VOILES PORTEURS

6 PLANCHES

Proposé par :  
sorecal

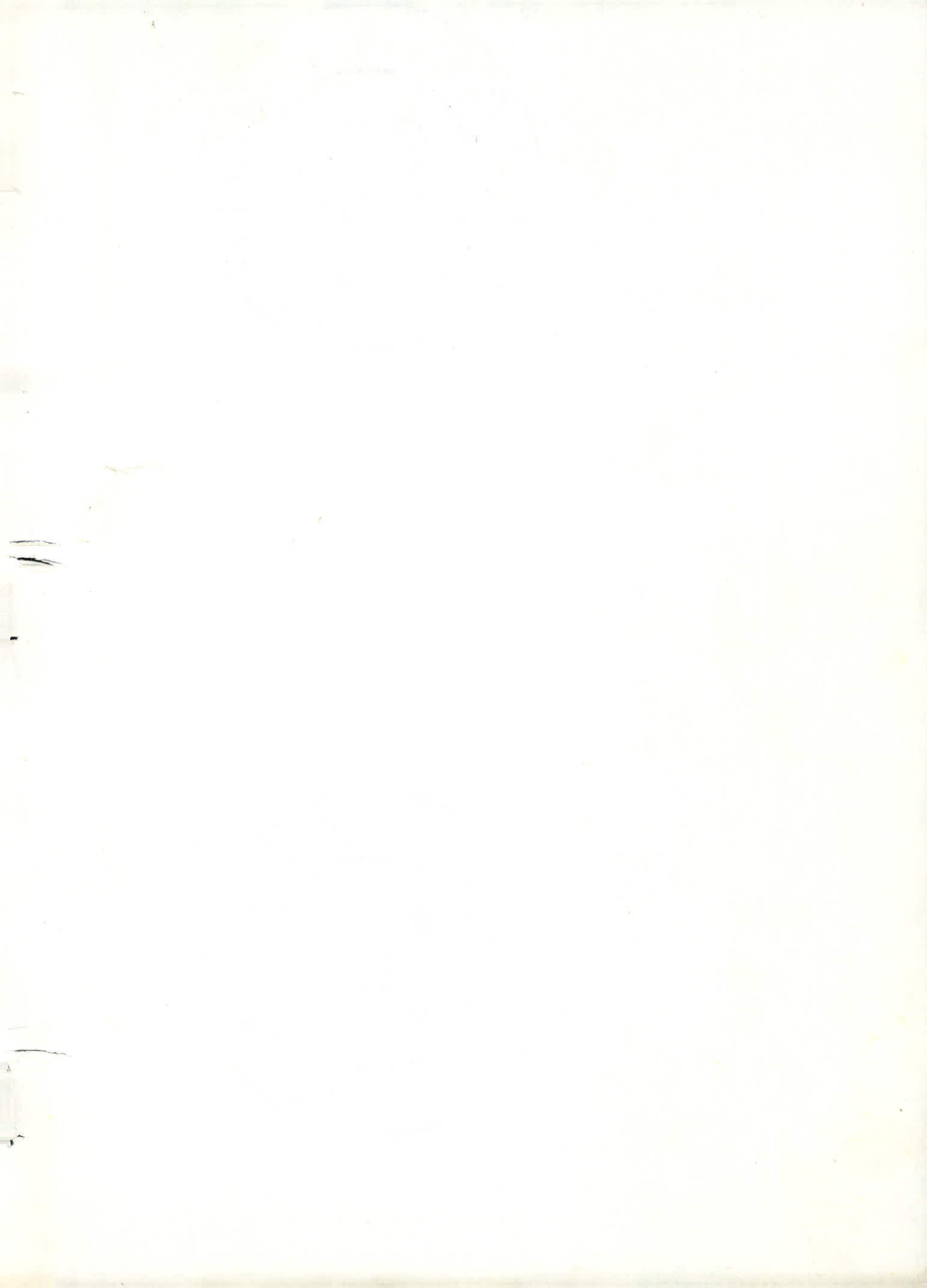
Etudié par :

A. HESSINI  
A. AMER

Dirigé par :

MM. BAUCHE

PROMOTION juin 1987



## REMERCIEMENTS

Nous ABDELKRIM et ABDELAZIZ tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promotrice M<sup>me</sup> BAOUCHE pour son aide et ses conseils qu'elle nous a prodigués le long du semestre.

Nous exprimons notre profonde gratitude à l'ensemble du personnel du bureau d'étude de l'unité de matériaux préfabriqués de SIDI-MOUSSA, en particulier à AMER ALI.

Nos remerciements vont également à tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation.

# DEDICACES



Avec beaucoup de joie je dedie ce travail à :

- mon père
- ma mère
- mon frère SMAÏL
- mes soeurs
- tous mes amis & amies
- tous ceux que j'aime

Abdelkrim Hessini



C'est avec un très grand plaisir que  
je dedie ce travail à :

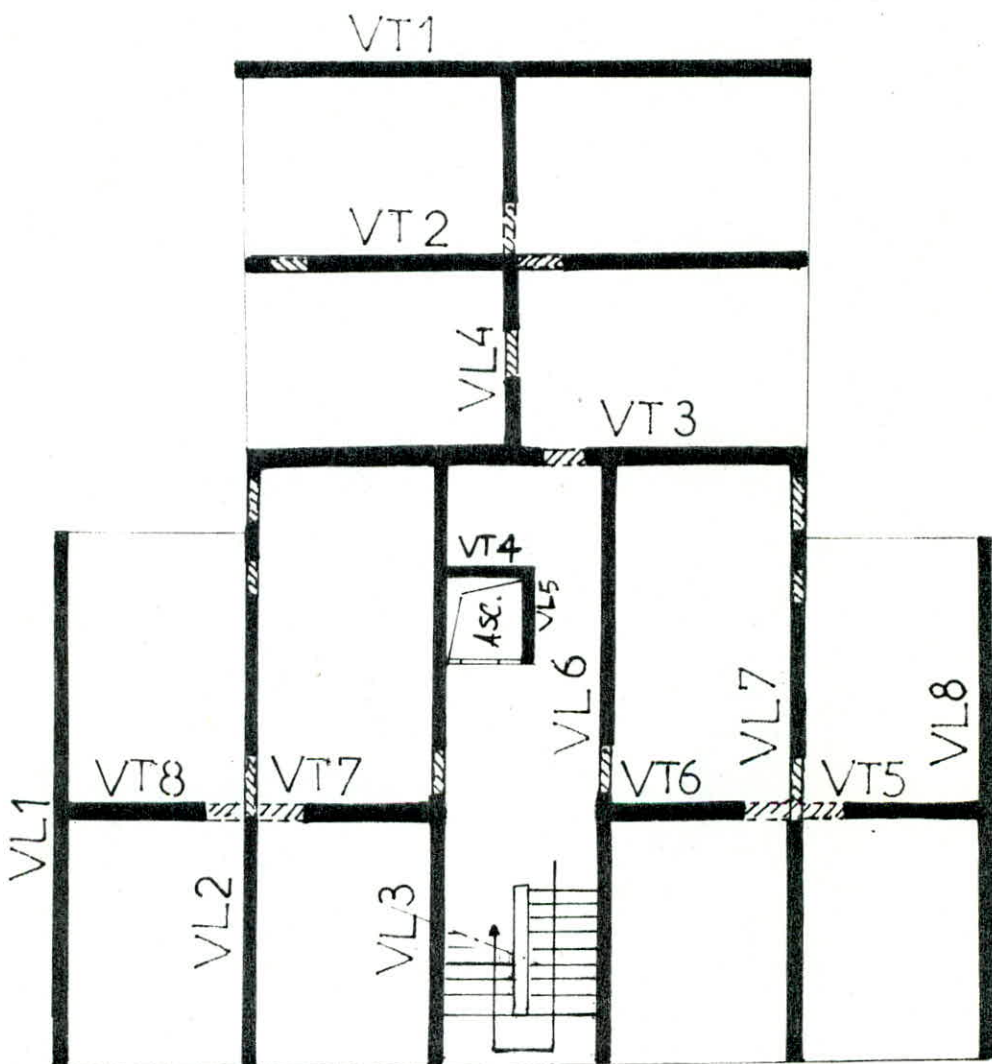
- mon père
- ma mère
- mes soeurs ZAÏNA , FAROUDJA  
FAZIA & NOUNOU
- mes frères ALI , ABDERRAHMANE  
& AMEZIANE
- toute ma famille grands & petits
- tous mes amis.

Amer Abdelaziz

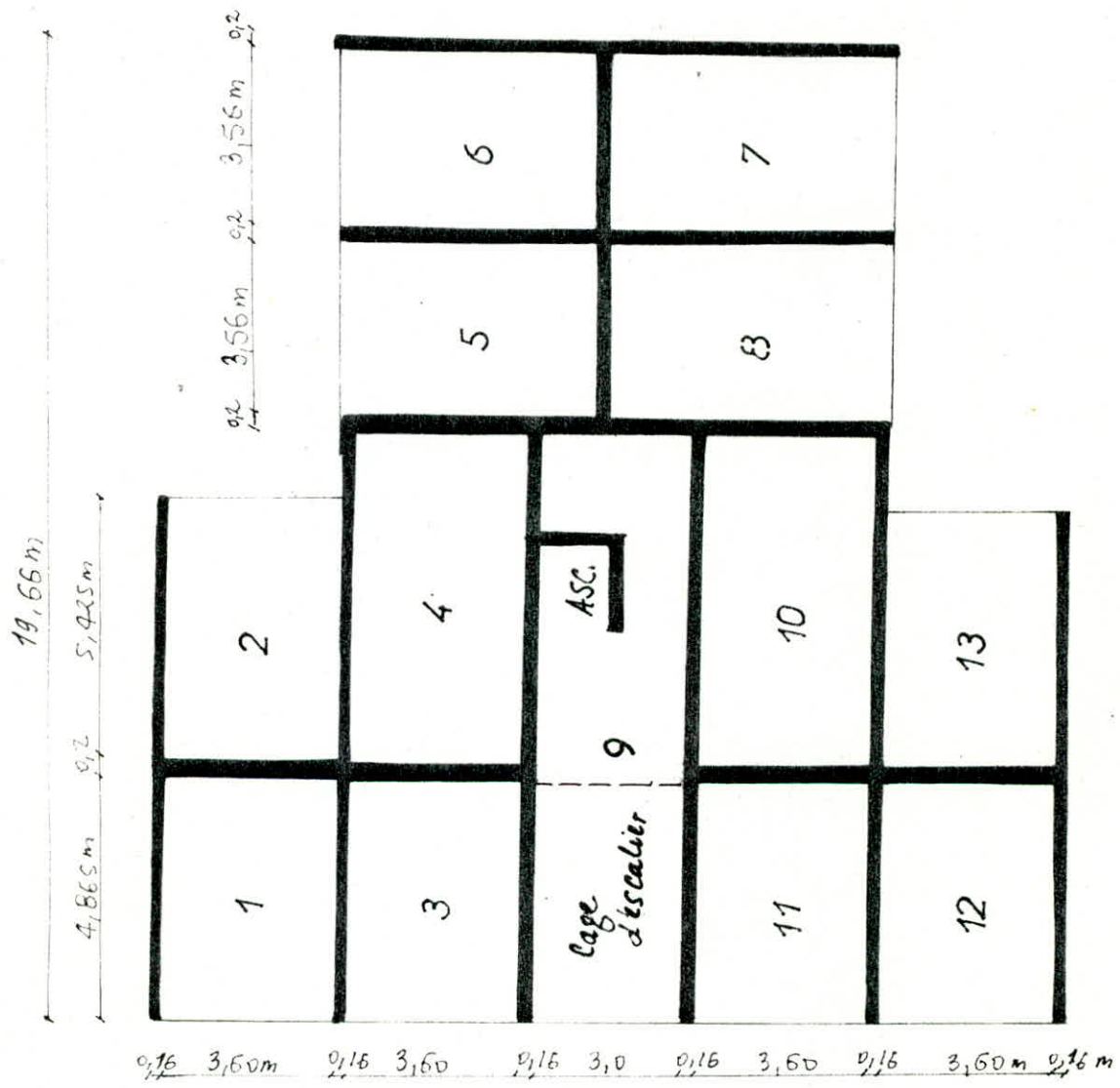
# SOMMAIRE

|   | <i>pages</i> |
|---|--------------|
| <b>1</b> . INTRODUCTION .....             | <b>1</b>     |
| <b>2</b> . ETUDE AU CONTREVENTEMENT ..... | <b>12</b>    |
| <b>3</b> . ETUDE PSEUDO-DYNAMIQUE .....   | <b>26</b>    |
| <b>4</b> . ETUDE AU VENT .....            | <b>47</b>    |
| <b>5</b> . ETUDE DES VOILES .....         | <b>53</b>    |
| <b>6</b> . CALCUL DES DEFORMATIONS .....  | <b>59</b>    |
| <b>7</b> . FERRAILLAGE DES VOILES .....   | <b>62</b>    |
| <b>8</b> . ETUDE DES ELEMENTS .....       | <b>91</b>    |
| <b>9</b> . ETUDE DES FONDATIONS .....     | <b>111</b>   |

 : ouverture  
 : voile plein.



VUE EN PLAN  
D'UN ETAGE COURANT



IDENTIFICATION DES  
 PANNEAUX DE DALLE

## LISTE DES PRINCIPALES NOTATIONS

### Miniscules latines:

- $e$ : excentricité de l'effort normal par rapport au c.d.g de la section du béton seul.
- $h$ : hauteur utile d'une section fléchie = distance de la fibre extrême comprimée au c.d.g des armatures tendues.
- $h_t$ : hauteur totale d'une section fléchie.
- $t$ : espacement des armatures transversales, ou de couture.

### MAJUSCULES LATINES:

- $A'$ : aire de la section droite de l'armature (ensemble) comprimée.
- $A$ : aire de la section droite de l'armature (ensemble) tendue.
- $A_t$ : somme des aires des sections droites d'une rangée d'armatures transversales.
- $B_0$ : aire homogène totale de la section transversale de la pièce.
- $B_f$ : aire de la section d'enrobage.
- $G$ : charge permanente.
- $I$ : moment d'inertie de la section du béton seul par rapport à des axes précis.
- $M$ : Moment fléchissant.
- $N$ : effort normal.
- $P$ : Surcharges.
- $T$ : effort tranchant.

### Miniscules grecques

- |   |  |
|---|--|
| <p><math>\sigma_a</math>: Contrainte de traction de l'acier</p> <p><math>\sigma'_a</math>: Contrainte de compression de l'acier</p> <p><math>\bar{\sigma}_a</math>: Contrainte de traction admissible de l'acier</p> <p><math>\bar{\sigma}'_a</math>: Contrainte de compression admissible de l'acier</p> <p><math>\bar{\sigma}_{at}</math>: Contr. de tract. adm. des arm. tra.</p> <p><math>\sigma_b</math>: Contr. de traction du béton.</p> | <p><math>\sigma'_b</math>: Contr. de compression du béton</p> <p><math>\bar{\sigma}'_b</math>: Contr. de compr. adm. du béton.</p> <p><math>\bar{\sigma}'_{b0}</math>: Contr. de Compr. simple adm. du béton</p> <p><math>\sigma_{en}</math>: limite d'élasticité nominale de l'acier</p> <p><math>\sigma_j</math>: résistance du béton à la tract. à j jours</p> <p><math>\sigma_{28}, \sigma'_{28}</math>: resist. du béton à resp. (tract, compr) à 28 jours</p> <p><math>\tau_b</math>: Contrainte tangente du béton</p> <p><math>\bar{\tau}_b</math>: Contr. tang. admissible du béton.</p> |
|---|--|



**INTRODUCTION  
DESCENTE DE  
CHARGE**

# INTRODUCTION

## 1. PRESENTATION DE L'OUVRAGE :

Le présent projet fait l'objet d'une étude des éléments résistants d'un bâtiment (R.D.C + 7 étages) d'usage d'habitation contreventé par voiles, qui sera implanté à BORDJ-EL KIFFAN (ALGER) classé en zone de moyenne sismicité (ZONE II), et comporte un vide sanitaire et une cage d'ascenseur.

### 1.1 CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DU BATIMENT :

L'ossature du bâtiment est constituée uniquement de voiles porteurs d'épaisseur 16 cm ds le sens longitudinal et 16 et 20 cm ds le sens transversal assurant ainsi le contreventement de la construction dans les deux sens.

Longueur du Bâtiment : 19,66 m

largeur du Bâtiment : 18,36 m

Hauteur du Bâtiment : 22,80 m

hauteur d'étage : 2,80 m

PLANCHER : deux types de planchers sont prévus.

- le plancher du R.D.C qui sera constitué de prédalles
- le plancher d'étage courant et de la terrasse qui sera constituée de dalles pleines d'épaisseur 16 cm

CAGE D'ESCALIER - ASCENSEUR :

d'escalier sera constitué de deux volées adjacentes préfabriquées, appuyées chacune sur les paliers coulés sur place, la cage d'ascenseur sera réalisée en voiles de 16 cm d'épaisseur.

## VIDE SANITAIRE :

La structure comporte un vide sanitaire d'une hauteur de 1.50 m assurant une rigidité de l'infrastructure et une stabilité du sol de fondation [R.P.A. commentaire 2.2]

## DECROCHEMENTS :

de bâtiment présente un décrochement en plan de 3,60 m pour une largeur de 11 m, ce qui représente un pourcentage de 32%, ne vérifiant pas la condition énoncée par le R.P.A (art. 2.3.1.1).

## 1.2 CARACTERISTIQUES DU SOL :

La contrainte admissible du sol est de 1.5 bars à 1.50 m de profondeur (sol meuble).

## 1.3 CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX :

### 1.3.1 béton :

Les contraintes admissibles pour les sollicitations du premier genre sont énoncées dans les articles des C.C.B.A 6B (art. 9 à 12).

$$\sigma_{28}^i = 275 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b^i = \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \delta \cdot \epsilon \cdot \sigma_{28}^i$$

$\alpha$  : dépend de la classe du ciment  $\alpha = 1$  CPA 325

$\beta$  : dépend du contrôle du béton  $\beta = 5/6$  contrôle atténué

$\gamma$  : dépend des dimensions relatives de la section et du plus gros granulat, pour le cas des refends de 16 cm d'épaisseur :  $\frac{h_m}{4c_g} = \frac{16}{4 \cdot 2,5} = 1.6 > 1$  d'où  $\gamma = 1$

$\delta$  : dépend de la nature de la sollicitation

i) Compression simple :  $\delta = 0.3$

ii) flexion simple, ou composée avec traction :  $\delta = 0.6$

iii) flexion composée avec compression :

$$\delta = \min \begin{cases} 0.3 \left(1 + \frac{e_0}{3e_1}\right) \\ 0.6 \end{cases} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} e_0 = M/N \\ e_1 = h/6 \end{cases}$$

$\varepsilon$  : dépend de la forme de la section et de la sollicitation

i) Compression simple, pour toute forme de section :

$$\varepsilon = 1$$

ii) flexion simple ou composée avec traction, et pour une section rectangulaire :  $\varepsilon = 1$

iii) Autre cas :  $\varepsilon$  découle de  $F'/B'_0 = \bar{\varepsilon}'_{b_0}$  ( $\varepsilon \leq 1$ )

\* Pour le cas de section rectangulaires

$$\bar{\varepsilon}'_{b_0} = 1.5 \cdot 1.03 \cdot 1.275 = 69 \text{ Kg/cm}^2 \quad (\text{C.S})$$

flexion simple ou composée avec traction :

$$\bar{\varepsilon}'_b = 1.5 \cdot 1.06 \cdot 1.275 = 2\bar{\varepsilon}'_{b_0} = 137.7 \text{ Kg/cm}^2$$

traction :

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

$$\theta = 0.018 + \frac{2.1}{\sigma'_{28}}$$

$$\bar{\varepsilon}_b = 1.5 \cdot 1.03 \cdot 1.025 \cdot 275 = 5.9 \text{ Kg/cm}^2$$

Sous les sollicitations du second genre (SP2), le règlement impose des contraintes admissibles majorées au plus de 50% par rapport aux contraintes du 1<sup>er</sup> genre (CCBA68)

$$\bar{\varepsilon}'_{b_{0II}} = 1.5 \cdot 69 = 103.5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\bar{\varepsilon}'_{b_{II}} = 1.5 \cdot 137.7 = 206.5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\bar{\varepsilon}_{b_{II}} = 1.5 \cdot 5.9 = 8.8 \text{ Kg/cm}^2$$

### 1.3.2 Acier

art. 10 CCBA68

|                       |                                      | CONTRAINTES NOMINALES |     | CONTRAINTES ADMISSIBLES   |                                       |
|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------|-----|---|---------------------------------------|
| ACIER Doux<br>FE 24.  | $\sigma_{en} = 2400 \text{ Kg/cm}^2$ |                       | SP1 | $\bar{\sigma}'_a = \bar{\sigma}_a = \frac{2}{3} \sigma_{en} = 1600 \text{ Kg/cm}^2$ |                                       |
|                       |                                      |                       | SP2 | $\bar{\sigma}'_a = \bar{\sigma}_a = \sigma_{en} = 2400 \text{ Kg/cm}^2$             |                                       |
| BARRES. H.A<br>FE 40. | $\sigma_{en} = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ | $\phi \leq 20$        | SP1 | $\bar{\sigma}'_a = \bar{\sigma}_a = \frac{2}{3} \sigma_{en}$                        | $2800 \text{ Kg/cm}^2$ $\phi \leq 20$ |
|                       |                                      |                       |     |   | $2667 \text{ Kg/cm}^2$ $\phi > 20$    |
|                       | $\sigma_{en} = 4000 \text{ Kg/cm}^2$ | $\phi > 20$           | SP2 | $\bar{\sigma}'_a = \bar{\sigma}_a = \sigma_{en}$                                    | $4200 \text{ Kg/cm}^2$ $\phi \leq 20$ |
|                       |                                      |                       |     |   | $4000 \text{ Kg/cm}^2$ $\phi > 20$    |

- Fissuration:  $\bar{\sigma}_a = \max(\sigma_1, \sigma_2)$

$$\sigma_1 = \frac{k\eta}{\phi} \cdot \frac{\bar{\omega}_f}{1 + 10\bar{\omega}_f}$$

$$\sigma_2 = 2.4 \sqrt{\frac{k\eta}{\phi} \cdot \bar{\sigma}_b}$$

$$k = 1.5 \cdot 10^6 \text{ bar/mm}$$

fissuration peu nuisible

$$k = 1 \cdot 10^6 \text{ bar/mm}$$

" préjudiciable

$$k = 0.5 \cdot 10^6 \text{ bar/mm}$$

" très nuisible.

$\eta$ : coefficient de fissuration ( $\eta = 1$  A.d.x); ( $\eta = 1.6$  H.A)

- Adhérence:  $\bar{\tau}_d = 1.25 \Psi_d^2 \cdot \bar{\sigma}_b$   $\Psi_d = \begin{cases} 1.5 & \text{HA} \\ 1 & \text{A.d.x} \end{cases}$

$$\bar{\tau}_d = 16.59 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (HA)}$$

$$\bar{\tau}_d = 7.38 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (A.d.x)}$$

ceci est valable pour un ancrage normal (Art 30.21 CCBA68)

- ancrage en pleine masse:

$$\bar{\tau}_d = 2 \Psi_d^2 \bar{\sigma}_b$$

$$\bar{\tau}_d = 26.55 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (HA)}$$

$$\bar{\tau}_d = 11.8 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (A.d.x)}$$

## FACADES:

Les façades seront des panneaux préfabriqués de poids unitaire : 3 tonnes.

## TERRASSE:

La terrasse du bâtiment est inaccessible, l'acrotère ayant une hauteur de 40 cm.

## COFFRAGE:

Le coffrage de la structure sera réalisé avec un système de coffrage 'Tables et banquettes'.

## PREDIMENSIONNEMENT

### 1. PLANCHER

L'épaisseur de la dalle est déterminée à partir de l'aide mémoire DUNOD. « gros œuvre du bâtiment 77 »

La dalle est appuyée sur plusieurs appuis, d'où :

$$e = \frac{l}{35} = \frac{3,60}{35} = 10,2 \text{ cm.}$$

$e = 16 \text{ cm}$ : épaisseur adoptée pour la dalle.

### 2. Voiles:

L'article (4.3.1. R.P.A) fixe l'épaisseur minimale des voiles:

-  $e \geq 15 \text{ cm}$  ( groupe d'usage 2 ; zone II )

-  $e \geq \max \left( \frac{h_e}{20} ; \frac{h_e}{25} ; \frac{h_e}{22} \right) = \frac{2,80}{20} = 14 \text{ cm}$

L'épaisseur adoptée pour :

voiles transversaux :  $e = 20 \text{ cm}$

voiles longitudinaux :  $e = 16 \text{ cm}$

# EVALUATION DES CHARGES

## 1. CHARGES PERMANENTES :

### PLANCHER TERRASSE :

|                          |                |                          |
|--------------------------|----------------|--------------------------|
| - gravier de protection  | : 0.05 x 1.50  | = 0.075 t/m <sup>2</sup> |
| · étanchéité multicouche |                | = 0.010 t/m <sup>2</sup> |
| · Isolation thermique    | : 0.04 x 0.250 | = 0.01 t/m <sup>2</sup>  |
| · béton de pente         | : 0.13 x 2     | = 0.26 t/m <sup>2</sup>  |
| · dalle en béton armé    | : 0.16 x 2.5   | = 0.40 t/m <sup>2</sup>  |
| · enduit de plâtre       | : 0.015 x 1.4  | = 0.021 t/m <sup>2</sup> |

$$G = 0.776 \text{ t/m}^2$$

### PLANCHER COURANT :

|                       |               |                          |
|-----------------------|---------------|--------------------------|
| · Carrelage           | : 0.02 x 2.2  | = 0.044 t/m <sup>2</sup> |
| · Mortier de pose     | : 0.02 x 2    | = 0.040 t/m <sup>2</sup> |
| · Sable               | : 0.02 x 1.8  | = 0.036 t/m <sup>2</sup> |
| · dalle en béton armé | : 0.16 x 2.5  | = 0.40 t/m <sup>2</sup>  |
| · enduit de plâtre    | : 0.015 x 1.4 | = 0.021 t/m <sup>2</sup> |
| · cloisons            |               | = 0.075 t/m <sup>2</sup> |

$$G = 0.616 \text{ t/m}^2$$

### ESCALIER :

dalle inclinée (e = 16 cm ; h = 17,5 cm ; g = 27 cm)  
 $\alpha = 36,5^\circ$ .

|                                |  |           |
|--------------------------------|--|-----------|
| · poids propre de la poutrelle | : $\frac{2500 \times 0,16}{\cos 36,5}$ | = 0,497 t |
| · poids propre des marches     | : $\frac{2,2 \times 0,175}{2}$         | = 0,192 t |
| · mortier de pose              | : 0,02 x 2                             | = 0,04 t  |
| · revêtement                   | : 0,03 x 2,2                           | = 0,066 t |
| · garde corps                  |  | = 0,1 t/m |

$$G = 0.8395 \text{ t/m}^2$$

## PALIER :

|                        |                     |                          |
|------------------------|---------------------|--------------------------|
| <u>Carrelage</u>       | : $0,02 \times 2,2$ | = $0,044 \text{ t/m}^2$  |
| <u>Mortier de pose</u> | : $0,02 \times 2$   | = $0,04 \text{ t/m}^2$   |
| <u>Sable</u>           | : $0,02 \times 1,8$ | = $0,036 \text{ t/m}^2$  |
| <u>dalle pleine</u>    | : $0,16 \times 2,5$ | = $0,40 \text{ t/m}^2$   |
|                        |                     | <hr/>                    |
|                        |                     | $G = 0,52 \text{ t/m}^2$ |

ACROTÈRE :       $e = 10 \text{ cm}$        $h = 40 \text{ cm}$

pois propre de l'acrotère :  $2,5(0,1 \times 0,4) = 0,15 \text{ t/m}$

## 2. SURCHARGES :

|                                    |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| Plancher terrasse (non accessible) | : $0,1 \text{ t/m}^2$   |
| plancher courant (habitation)      | : $0,175 \text{ t/m}^2$ |
| Séchoir et loggia                  | : $0,175 \text{ t/m}^2$ |
| escaliers                          | : $0,250 \text{ t/m}^2$ |
| Acrotère (main courante)           | : $0,10 \text{ t/m}^2$  |



## DESCENTE DE CHARGE :

L'opération consiste à calculer (pour tout élément porteur de la structure) les charges qu'il supporte au niveau de chaque étage jusqu'aux fondations.

La surface revenant à chaque voile sera déterminée par les lignes de rupture des dalles.

Pour chaque voile, les charges à considérer sont :

- le poids propre du voile.
- le poids du plancher
- le pds des éléments (escaliers, façades...)
- les surcharges d'exploitation.

Exemple : VL 6

Niveau terrasse :

$$\text{acrotère} : 0,15 \text{ t/m} \left( \frac{3,6}{2} + \frac{3}{2} + 0,16 \right) = 0,5 \text{ t}$$

$$\text{dalles} : 0,776 \text{ t/m}^2 (31,034 \text{ m}^2) = 24,1 \text{ t}$$

$$\frac{1}{2} \text{ façades (F}_3, \text{F}_4) : \frac{1}{2} \left[ \frac{3}{2} + \frac{3}{2} \right] = 1,5 \text{ t}$$

$$\frac{1}{2} \text{ voile VL 6} : \frac{1}{2} \cdot 12,1 = 6,1 \text{ t}$$

$$\text{Local. abrit. ascenseur} : 0,1 \cdot 2,5 \cdot S_a = 0,25 \cdot 4,305 = 1,1 \text{ t}$$

$$\text{Voile V}_q : 3,4 \text{ t}$$

---

$$G = 33,3 \text{ t}$$

$$P = 0,1 S = 0,1 \times 31,034 = 3,1 \text{ t}$$

Niveau 7 :

$$\text{Dalles} : 0,616 \times 24,629 = 15,2 \text{ t}$$

$$\text{Escaliers} : \text{palier} : 0,52 \cdot (1,5 \cdot 3) = 2,3 \text{ t}$$

$$\frac{1}{2} \text{ volée} : \frac{1}{2} \cdot 0,895 (3 \times 1,89) = 2,6 \text{ t}$$

$$\text{Façades (F}_3, \text{F}_4) : \left( \frac{3}{2} + \frac{3}{2} \right) = 3 \text{ t}$$

Voile VL6 : 12,1 t

$$G = 35.2 t$$

$$P = P_1 + P_2 = 5.6 t$$

$P_1$  : surcharge du plancher terrasse

$P_2$  : " " escaliers.

$$P_1 = 0,175 (24,629) = 4,3 t$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \cdot 0,250 (3 \times 1,89 + 3 \times 1,50) = 1,3 t$$

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 4,3 t \\ P_2 = 1,3 t \end{array} \right\} P = 5,6 t$$

Niveaux 6 → 1

Surface : 24.62 m<sup>2</sup>

dalles : 0,616 · 24,62 = 15.2 t

Voile VL6 : 12,1 t

Escaliers : { palier : 2,3 t

{ Voile E : 0,895 (3 × 1,89) = 5,1 t

Façades (F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub>) : 3 t

$$G = 37.7 t$$

$$P = P_1 + P_2 = 6.8 t$$

$$P_1 = 0,175 (24.62) = 4.3 t \quad (\text{plancher})$$

$$P_2 = 0,250 (10.17) = 2.5 t \quad (\text{escaliers})$$

Niveau RDC

Surface : 31.034 m<sup>2</sup>

dalles : 0,616 · 31,034 = 19,1 t

Voile VL6 : 12,1 t

Façades (F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub>) :  $(\frac{3}{2} + \frac{3}{2}) = 3 t$

$$G = 34.2 t$$

$$P = 0,175 (31,034) = 5.4 t$$

Tableaux reCAPITULATIFS

| Voile Niveau | VL1   |       | VL3   |       | VL4   |       | VL5   |       | VL6   |       |      |     |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-----|
|              | G (t) | P (t) | G (t) | P (t) | G (t) | P (t) | G (t) | P (t) | G (t) | P (t) |      |     |
| T            | 21.6  | 1.6   | 33.9  | 3.3   | 36    | 3.4   | 11.6  | 1.1   | 3.9   | 0.5   | 33.3 | 3.1 |
| 7            | 23.8  | 2.8   | 35.4  | 5.7   | 34.4  | 5.4   | 13.2  | 1.9   | 2.7   | 0.2   | 35.2 | 5.6 |
| 6            | 23.8  | 2.8   | 35.4  | 5.7   | 36.9  | 6.6   | 13.2  | 1.9   | 2.7   | 0.2   | 37.7 | 6.8 |
| 5            | 23.8  | 2.8   | 35.4  | 5.7   | 36.9  | 6.6   | 13.2  | 1.9   | 2.7   | 0.2   | 37.7 | 6.8 |
| 4            | 23.8  | 2.8   | 35.4  | 5.7   | 36.9  | 6.6   | 13.2  | 1.9   | 2.7   | 0.2   | 37.7 | 6.8 |
| 3            | 23.8  | 2.8   | 35.4  | 5.7   | 36.9  | 6.6   | 13.2  | 1.9   | 2.7   | 0.2   | 37.7 | 6.8 |
| 2            | 23.8  | 2.8   | 35.4  | 5.7   | 36.9  | 6.6   | 13.2  | 1.9   | 2.7   | 0.2   | 37.7 | 6.8 |
| 1            | 23.8  | 2.8   | 35.4  | 5.7   | 36.9  | 6.6   | 13.2  | 1.9   | 2.7   | 0.2   | 37.7 | 6.8 |
| RDC          | 23.8  | 2.8   | 35.4  | 5.7   | 33.5  | 5.2   | 13.2  | 1.9   | 2.7   | 0.2   | 34.2 | 5.4 |
| Voile Niveau | VT1   |       | VT2   |       | VT3   |       | VT5   | VT6   | VT7   | VT8   | VT4  |     |
| T            | 23.8  | 1.6   | 34.9  | 3.3   | 27.5  | 2.4   | 6.1   | 0.8   | 3.9   | 0.5   |      |     |
| 7            | 27.7  | 2.9   | 36.8  | 5.8   | 21.3  | 4.2   | 7.1   | 0.9   | 3.8   | 0.5   |      |     |
| 6            | 27.7  | 2.9   | 36.8  | 5.8   | 31.3  | 4.2   | 7.1   | 0.9   | 3.8   | 0.5   |      |     |
| 5            | 27.7  | 2.9   | 36.8  | 5.8   | 31.3  | 4.2   | 7.1   | 0.9   | 3.8   | 0.5   |      |     |
| 4            | 27.7  | 2.9   | 36.8  | 5.8   | 31.3  | 4.2   | 7.1   | 0.9   | 3.8   | 0.5   |      |     |
| 3            | 27.7  | 2.9   | 36.8  | 5.8   | 31.3  | 4.2   | 7.1   | 0.9   | 3.8   | 0.5   |      |     |
| 2            | 27.7  | 2.9   | 36.8  | 5.8   | 31.3  | 4.2   | 7.1   | 0.9   | 3.8   | 0.5   |      |     |
| 1            | 27.7  | 2.9   | 36.8  | 5.8   | 31.3  | 4.2   | 7.1   | 0.9   | 3.8   | 0.5   |      |     |
| RDC          | 27.7  | 2.9   | 36.8  | 5.8   | 31.3  | 4.2   | 7.1   | 0.9   | 3.8   | 0.5   |      |     |

L'opération de descente de charge permet d'évaluer le poids total du bâtiment. Pour le calcul au séisme le poids de la structure comprend la totalité des charges permanentes et 25% de la charge d'exploitation.

PLANCHER TERRASSE :

|       | dalles | dalle. machin | local. asc. | Acrotère | 1/2 voiles | 1/2 façades |
|-------|--------|---------------|-------------|----------|------------|-------------|
| G (t) | 209.8  | 2.7           | 14.1        | 11.9     | 65.91      | 16.5        |
| P (t) | 29.1   | 1             | 0           | 0        | 0          | 0           |

$$\Sigma G = 320.91 \text{ t} \quad \Sigma P = 30.1 \text{ t} \quad \Sigma \left( G + \frac{P}{4} \right)$$

PLANCHER COURANT et R.D.C

|       | dalles | voiles | façades | escaliers |
|-------|--------|--------|---------|-----------|
| G (t) | 158    | 131.82 | 33      | 6.69      |
| P (t) | 25.67  | 0      | 0       | 2.37      |

$$\Sigma G = 329.51 \text{ t} \quad \Sigma P = 28.04 \text{ t} \quad \Sigma \left( G + \frac{P}{4} \right) = 336.15 \text{ t}$$

| NIVEAUX<br>EFFORTS |                   | EFFORTS CUMULÉS |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------|-------------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                    |                   | T               | 7      | 6      | 5      | 4      | 3      | 2      | 1      | RDC    |
| EFFORTS CUMULÉS    | G (t)             | 320.91          | 650.42 | 979.93 | 1309.4 | 1638.9 | 1969   | 2298.5 | 2628   | 2957.6 |
|                    | P (t)             | 30.1            | 58.14  | 86.18  | 114.22 | 142.2  | 170.3  | 198.3  | 226.3  | 254.4  |
|                    | $G + \frac{P}{4}$ | 329.4           | 665.9  | 1002.4 | 1338.9 | 1675.4 | 2011.9 | 2348.4 | 2684.9 | 3021.4 |

**ETUDE  
AU  
CONTRE-  
VENTEMENT**

# ETUDE AU CONTREVENTEMENT

## 1. INTRODUCTION :

L'étude du contreventement constitue en général un des problèmes les plus difficiles posés par le calcul de la structure des bâtiments, cette difficulté est due au fait que la recherche de la solution exacte nécessite le calcul préalable de toutes les forces de liaisons qui existent entre les éléments de contreventement et des planchers.

La présente note n'a pas pour but de permettre une évaluation exacte des contraintes dues à l'action sismique, mais simplement de préciser les opérations qui peuvent être effectuées pour s'assurer que les bâtiments à refends présentent une sécurité suffisante sous l'action des forces horizontales.

## 2. OBJET DE L'ETUDE.

La présente étude concerne la distribution des forces horizontales entre les différents éléments capables, s'ils étaient isolés de véhiculer ces forces jusqu'aux fondations.

## 3. HYPOTHESES DE CALCUL DE DISTRIBUTION DES EFFORTS D'ENSEMBLE

(Méthode de M. ALBIGES et GOULETS).

L'étude des systèmes hyperstatiques est simplifiée en posant les hypothèses suivantes :

\* des planchers sont indéformables horizontalement.

- \* des refends sont parfaitement encastrés à leur base
- \* d'inertie des refends est constante sur toute la hauteur

Dans le cas où les refends comportent des ouvertures, on fera appel à la notion d'inertie équivalente.

#### 4. INERTIE EQUIVALENTE -

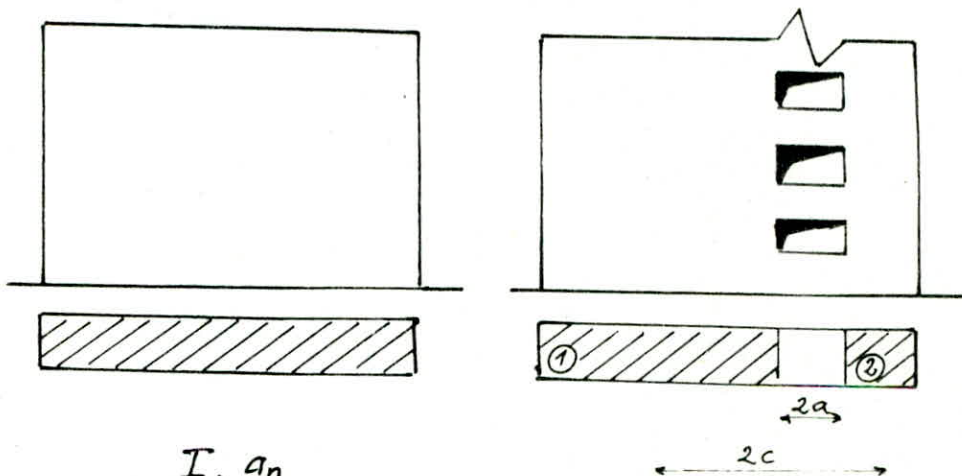
##### 4.1 INTRODUCTION :

L'introduction de la notion d'inertie équivalente permet par un artifice de calcul, d'assimiler les refends avec ouvertures aux refends linéaires pleins.

##### 4.2 DEFINITION :

On appellera "Inertie équivalente"  $I_e$  du refend considéré l'inertie d'un refend linéaire plein fictif, qui soumis au même effort horizontal uniformément réparti sur la hauteur du bâtiment, présenterait à son sommet une flèche égale à celle du refend avec ouvertures.

##### 4.2.1 REFENDS A UNE FILE D'OUVERTURE :



$$I_e = \frac{I \cdot a_n}{\frac{60}{11} \frac{2mc}{I_1 + I_2} \frac{\psi_0}{\alpha^2} + 1}$$

où,  $a_n = \left( \frac{11}{20} + \frac{9}{20n} - \frac{1}{30n^2} - \frac{1}{30n^3} \right) \cdot \frac{20}{11}$  ;  $n$  : nombre d'étage

|       |     |      |      |     |      |      |             |      |      |      |      |
|-------|-----|------|------|-----|------|------|-------------|------|------|------|------|
| $n$   | 1   | 2    | 3    | 4   | 5    | 6    | <b>7</b>    | 8    | 9    | 10   | 11   |
| $a_n$ | 1,7 | 1,39 | 1,27 | 1,2 | 1,16 | 1,14 | <b>1,12</b> | 1,10 | 1,09 | 1,08 | 1,02 |

pour  $n > 11$ , on prend  $a_n = 1$  ( $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 1$ )

$I_1, I_2$  : Moments d'inertie de chaque élément de refend

$I$  : Moment d'inertie total du refend  $I = I_1 + I_2 + 2mc^2$

$m$  : Moment statique de chacun des éléments du refend par rapport au centre de gravité de l'ensemble

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

$c$  : demi-distance entre le c.d.g des deux éléments de refend.

$\Omega_1, \Omega_2$  : Aires des éléments de refend 1 et 2.

$\alpha$  : degrés de monolithisme  $\alpha = \omega \cdot z$

$z$  : Hauteur totale du refend.

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

$i$  : inertie du linteau

$a$  : demi portée de l'ouverture.

$h$  : hauteur d'étage.

$E$  : Coef d'élasticité du matériau constituant le refend

$E'$  : Coef d'élasticité du matériau constituant le linteau. ( $E = E'$ ).



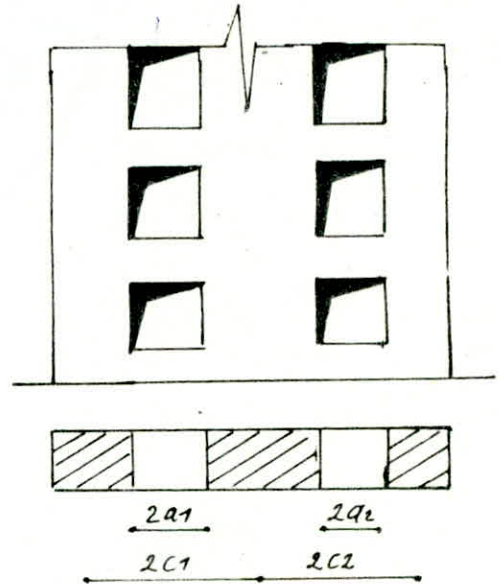
$\psi_0$ : Coéf donné par l'abaque (B.23.b) de l'ouvrage de M. DIVERS.

N.B. Les refends et les linteaux étant constitués du même matériau.

#### 4.2.1 REFENDS A PLUSIEURS FILES D'OUVERTURES :

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

$$w^2 = \frac{6}{(I_1 + I_2 + \dots)h} \cdot \left( \frac{i_1 c_1^2}{a_1^3} + \frac{i_2 c_2^2}{a_2^3} + \dots \right)$$

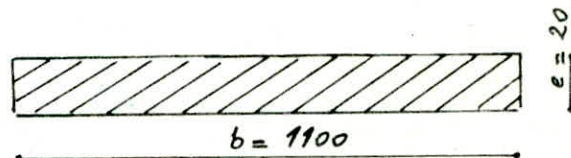


#### REMARQUES :

- Pour l'évaluation de l'inertie équivalente, on supposera que les refends sont encastres au niveau 0.00
- Il ne sera tenu compte que des inerties maximales, c'est à dire par rapport à des axes perpendiculaires aux petits côtés.

#### APPLICATION :

Voile Plein

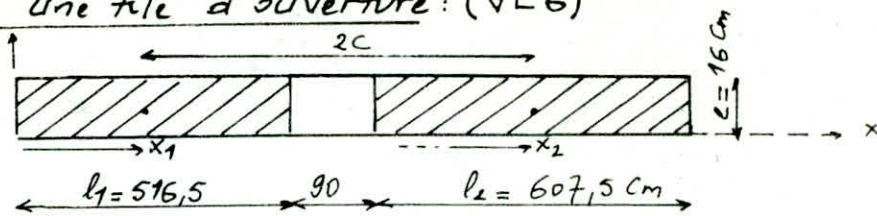


Voile VT1

$$I_e = I = \frac{b^3 \cdot e}{12}$$

$$I_e = 22,18 \text{ m}^4$$

Voile à une file d'ouvertures: (VL6)



$$I_1 = \frac{0,16 \cdot 5,165^3}{12} = 1,837 \text{ m}^4 \quad I_2 = \frac{0,16 \cdot 6,075^3}{12} = 2,99 \text{ m}^4$$

$$I = \sum I_i + e \cdot \sum l_i \cdot d_i^2 \quad \text{avec } d_i = x_g - x_i$$

$$x_g = \frac{\sum l_i x_i}{\sum l_i} = 5,99 \text{ m}$$

$$\Omega_1 = 0,82 \text{ m}^2 \quad \Omega_2 = 0,97 \text{ m}^2 \quad c = 3,26 \text{ m}$$

$$i = \frac{0,71^3 \cdot 0,16}{12} = 0,0047 \text{ m}^4 \quad m = \frac{2c}{\frac{1}{\Omega_1} + \frac{1}{\Omega_2}} = 2,91 \text{ m}^3$$

$$I = I_1 + I_2 + 2mc = 23,8 \text{ m}^4$$

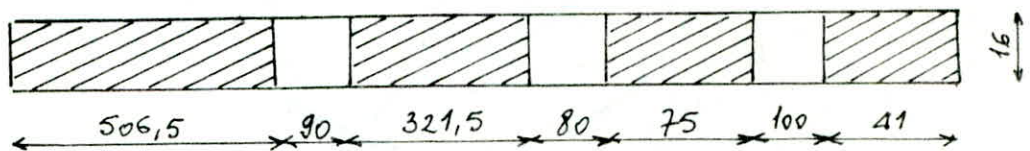
$$Z = 22,76 \text{ m}$$

$$\omega^2 = 0,3099 \rightarrow \omega = 0,5567 \rightarrow d = \omega Z = 12,67$$

$$\psi_0 = 0,66 \quad \sigma_n = 1,12$$

$$I_e = 24,49 \text{ m}^4$$

Voile à 3 Files d'ouvertures (VL2)



$$I_1 = 1,73 \text{ m}^4 \quad I_2 = 0,44 \text{ m}^4 \quad I_3 = 5,6210^3 \text{ m}^4 \quad I_4 = 9,1810^4$$

$$i_1 = i_2 = i_3 = i_4 = 4,77 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4 \quad x_g = \frac{\sum l_i x_i}{\sum l_i} = 5,27 \text{ m}$$

$$d_1 = x_g - x_{G_1} = 5,27 - \frac{5,06}{2} = 2,73 \text{ m} \quad ; \quad d_2 = 2,3 \text{ m}$$

$$d_3 = 5,08 \text{ m} \quad d_4 = 6,66 \text{ m}$$

$$\Omega_1 = 0,81 \text{ m}^2 \quad \Omega_2 = 0,51 \text{ m}^2 \quad \Omega_3 = 0,12 \text{ m}^2 \quad \Omega_4 = 0,06 \text{ m}^2$$

$$I = 16,99 \text{ m}^4$$

$$\omega^2 = 0,4916 \rightarrow \omega = 0,7012 \quad \alpha = \omega Z = 15,95; \quad \psi_0 = 0,66$$

$$I_e = 17,74 \text{ m}^4$$

### TABLEAUX RECAPITULATIFS

REFENDS PLEINS :

$$I = \frac{e \cdot b^3}{12}$$

| Voile       | VT1   | VT2  | VT3  | VT6  | VT7  | VT8  | VL1   | VL8   | VLS  |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|
| $b_{(m)}$   | 11,0  | 1,76 | 2,86 | 2,86 | 2,86 | 2,86 | 10,49 | 10,49 | 1,92 |
| $e_{(m)}$   | 0,20  | 0,16 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,16  | 0,16  | 0,16 |
| $I_{(m^4)}$ | 22,18 | 0,07 | 0,39 | 0,39 | 0,39 | 0,39 | 15,39 | 15,39 | 0,09 |

REFENDS A UNE FILE D'OUVERTURE:

| Voile | m (m) | $\omega$ | $\alpha$ | $\psi_0$ | $I_1 (m^4)$ | $I_2 (m^4)$ | $I (m^4)$ | $I_e (m^4)$ |
|-------|-------|----------|----------|----------|-------------|-------------|-----------|-------------|
| VT3   | 2,86  | 0,59     | 13,4     | 0,66     | 3,01        | 1,31        | 21,1      | 21,9        |
| VL3   | 2,91  | 0,55     | 12,6     | 0,66     | 1,83        | 2,98        | 23,8      | 24,5        |
| VL6   | 2,91  | 0,55     | 12,6     | 0,66     | 1,83        | 2,98        | 23,8      | 24,5        |

REFENDS A DEUX FILES D'OUVERTURES:

|     | $d_i (m)$    | $\omega$ | $\alpha$ | $\psi_0$ | $I_i (m^4)$            | $\Omega_i (m^2)$   | $I (m^4)$ | $I_e (m^4)$ |
|-----|--------------|----------|----------|----------|------------------------|--------------------|-----------|-------------|
| VT2 | $d_1 = 2,61$ | 0,71     | 16,2     | 0,66     | $I_1 = 1,71$           | $\Omega_1 = 0,93$  | 16,69     | 17,72       |
|     | $d_2 = 2,60$ |          |          |          | $I_2 = 1,01$           | $\Omega_2 = 0,78$  |           |             |
|     | $d_3 = 5,55$ |          |          |          | $I_3 = 7,7 \cdot 10^4$ | $\Omega_3 = 0,072$ |           |             |
| VL4 | $d_1 = 3,76$ | 1,03     | 23,4     | 0,66     | $I_1 = 0,05$           | $\Omega_1 = 0,24$  | 5,75      | 6,07        |
|     | $d_2 = 1,33$ |          |          |          | $I_2 = 0,045$          | $\Omega_2 = 0,24$  |           |             |
|     | $d_3 = 1,75$ |          |          |          | $I_3 = 0,312$          | $\Omega_3 = 0,45$  |           |             |

REFENDS A 3 FILES D'OUVERTURES :

|              | $d_i$ (m)                 | $\omega$ | $\alpha$ | $\psi_0$ | $I_i$ (m <sup>4</sup> ) | $\Omega_i$ (m <sup>2</sup> ) | $I$ (m <sup>4</sup> ) | $I_e$ (m <sup>4</sup> ) |
|--------------|---------------------------|----------|----------|----------|-------------------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| VLT<br>77A   | $d_1 = 2,73$              | 0,70     | 15,9     | 0,66     | $I_1 = 1,73$            | $\Omega_1 = 0,87$            | 16,99                 | 17,74                   |
|              | $d_2 = 2,30$              |          |          |          | $I_2 = 0,44$            | $\Omega_2 = 0,51$            |                       |                         |
| $d_3 = 5,08$ | $I_3 = 5,6 \cdot 10^{-3}$ |          |          |          | $\Omega_3 = 0,72$       |                              |                       |                         |
| $d_4 = 6,66$ | $I_4 = 9,1 \cdot 10^{-4}$ |          |          |          | $\Omega_4 = 0,06$       |                              |                       |                         |
| VLT<br>27A   |                           |          |          |          |                         |                              |                       |                         |

b) CENTRE DE MASSE :

$$X_{CM} = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i}$$

$$Y_{CM} = \frac{\sum m_i y_i}{\sum m_i}$$

1. DETERMINATION DES COORDONNÉES DU CENTRE DE TORSION

| VOILES LONGITUDINAUX | Voiles →            | VL1    | VL2   | VL3   | VL4   | VL5  | VL6   | VL7   | VL8   | Σ      |
|----------------------|---------------------|--------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|--------|
|                      | $I_{y_i} (m^4)$     | 15.39  | 5.15  | 24.49 | 6.07  | 0.09 | 24.49 | 5.15  | 15.39 | 96.24  |
|                      | $y_i (m)$           | 18.28  | 14.52 | 10.76 | 9.43  | 9.00 | 7.52  | 3.84  | 0.08  | -      |
|                      | $I_{y_i} \cdot y_i$ | 281.34 | 74.78 | 263.5 | 57.28 | 0.85 | 184.1 | 19.77 | 1.23  | 892.95 |

$$Y_{CT} = 9.17m$$

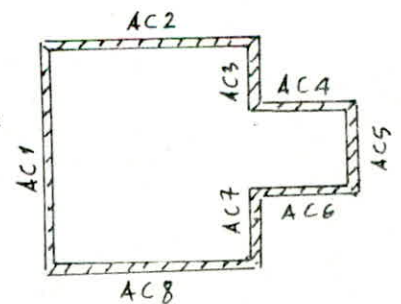
| VOILES TRANSVERSALES | Voiles →            | VT1   | VT2   | VT3   | VT4   | VT5   | VT6   | VT7   | VT8   | Σ      |
|----------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
|                      | $I_{x_i} (m^4)$     | 22.18 | 17.72 | 21.97 | 0.072 | 0.39  | 0.39  | 0.39  | 0.39  | 63.51  |
|                      | $x_i (m)$           | 19.56 | 15.8  | 12.04 | 9.20  | 4.96  | 4.96  | 4.96  | 4.96  | -      |
|                      | $I_{x_i} \cdot x_i$ | 434   | 280   | 264.6 | 0.67  | 1.935 | 1.935 | 1.935 | 1.935 | 987.01 |

$$X_{CT} = 15.50m$$

2. DETERMINATION DES COORDONNÉES DU CENTRE DE MASSE :

le calcul consiste à déterminer le centre de masse de chaque élément existant à chaque niveau, il est le même pour les niveaux courants (y compris le R.D.C) et change au niveau terrasse.

2.1 CENTRE DE MASSE DE L'ACROTÈRE :

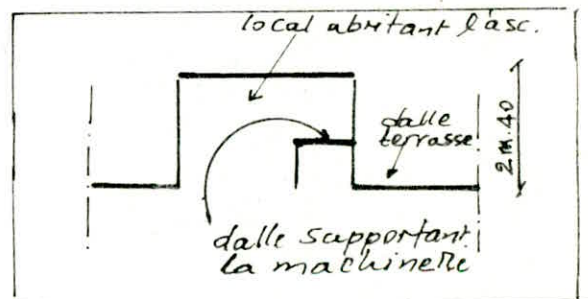


| Acrotère        | AC1   | AC2   | AC3   | AC4   | AC5   | AC6   | AC7   | AC8   | $\Sigma$ |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| $l_i$ (m)       | 18.36 | 12.14 | 3.86  | 9.27  | 11.00 | 9.27  | 3.86  | 12.14 | —        |
| $x_i$ (m)       | 0.1   | 6.07  | 12.09 | 16.67 | 19.67 | 16.67 | 12.09 | 6.07  | —        |
| $y_i$ (m)       | 9.18  | 18.31 | 16.43 | 14.55 | 9.18  | 3.81  | 1.93  | 0.05  | —        |
| $M_i$ (t)       | 2.7   | 1.8   | 0.6   | 1.4   | 1.6   | 1.4   | 0.6   | 1.8   | 11.9     |
| $M_i \cdot x_i$ | 0.27  | 10.93 | 7.25  | 23.34 | 31.37 | 23.34 | 7.25  | 10.93 | 114.67   |
| $M_i \cdot y_i$ | 24.79 | 32.96 | 9.86  | 20.37 | 14.69 | 5.33  | 1.16  | 0.09  | 109.25   |

$$X_G = 9.63m \quad Y_G = 9.18m$$

## 2.2 CENTRE DE MASSE DU LOCAL ABRITANT L'ASCENSEUR:

Le local abritant l'ascenseur sera constitué de trois voiles en béton armé et un voile (mur) en briques creuses ( $\gamma_b = 1,4 t/m^3$ ). Les voiles auront une hauteur de 2.40m et une épaisseur de 16 cm. La dalle du local aura une épaisseur de 10cm.



|          | elems      | volume (m <sup>3</sup> ) | $M_i$ | $X_i$ | $Y_i$  | $M_i X_i$ | $M_i Y_i$ |               |
|----------|------------|--------------------------|-------|-------|--------|-----------|-----------|---------------|
| VOILES   | $V_0$      | 1.35                     | 3.37  | 7.82  | 10.76  | 26.4      | 36.31     | $X_G = 7.87m$ |
|          | $V_p$      | 1.27                     | 3.17  | 9.20  | 9.18   | 29.21     | 26.14     |               |
|          | $V_q$      | 1.35                     | 3.37  | 7.82  | 7.52   | 26.4      | 25.38     |               |
|          | Mur brique | 1.27                     | 1.77  | 6.14  | 9.18   | 10.92     | 16.32     | $Y_G = 9.05m$ |
|          | dalle      | 0.96                     | 2.4   | 7.56  | 9.8    | 18.14     | 23.52     |               |
| $\Sigma$ | —          | 14.10                    | —     | —     | 111.07 | 127.67    |           |               |

## ETUDE DE LA TORSION

Les forces horizontales peuvent engendrer deux effets suivant que :

- \* l'effort appliqué d'un niveau donné passe par le centre de torsion, il y'a alors une translation

- \* l'effort appliqué ne passe pas par le centre de torsion, la translation est alors accompagnée d'une rotation.

Dans ce dernier cas, il faudra évaluer l'excentricité de l'effort horizontal (supposé agir au c.d.g des masses) par rapport au centre de torsion.

Selon le (R.P.A), l'excentricité est définie comme suit

$$"e" = \max \left\{ \begin{array}{l} "e_c": \text{excentricité calculée.} \\ 5\% \text{ de la plus grande dimension} \\ \text{en plan (excentricité accidentelle)} \end{array} \right.$$

### DETERMINATION DU CENTRE DE GRAVITE DES MASSES:

Pour cela, on déterminera le centre de gravité de chaque refend (dalle, acrotère, façades, etc...) au niveau de l'étage par rapport à un système d'axes orthonormés convenablement choisis, Les résultats sont résumés dans les tableaux ci-dessous.

### EXPRESSION DES COORDONNÉES :

#### a) CENTRE DE TORSION

$$X_{CT} = \frac{\sum X_i I_{xx}^e}{\sum I_{xx}^e} ; \quad Y_{CT} = \frac{\sum Y_i I_{yy}^e}{\sum I_{yy}^e}$$

### 2.3 CENTRE DE MASSE DU LOCAL ASCENSEUR Y COMPRIS LA DALLE DES MACHINES.

La charge supportée par la dalle est due aux poids des machines et des usagers de l'ascenseur est de 1 t  
 épaisseur de la dalle : 16 cm -  $q = G + 1.2 P = 1,6 \text{ t/m}^2$ .

| ↓ elements.   | $X_i$ (m) | $Y_i$ (m) | volume (m <sup>3</sup> ) | $M_i$ (t)              | $M_i X_i$              | $M_i Y_i$ |
|---------------|-----------|-----------|--------------------------|------------------------|------------------------|-----------|
| VL 5          | 8.82      | 9.0       | 0.153                    | 1.58                   | 13.97                  | 14.25     |
| dalle ascenc. | 8.74      | 9.88      | 0.45                     | 2.32                   | 20.27                  | 22.92     |
|               |           |           |                          | $X_G = 8.78 \text{ m}$ | $Y_G = 9.53 \text{ m}$ |           |

### 2.4 CENTRE DE MASSE DES FAÇADES :

| FAÇADES   | F1    | F2    | F3    | F4                     | F5                     | F6    | F7    | F8    | F9    | F10   | F11   | $\Sigma$ |
|-----------|-------|-------|-------|------------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| $M_i$ (t) | 3     | 3     | 3     | 3                      | 3                      | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 33t      |
| $X_i$ (m) | -0,07 | -0,07 | -0,07 | -0,07                  | -0,07                  | 10,41 | 10,41 | 14,02 | 17,68 | 17,68 | 17,68 | -        |
| $Y_i$ (m) | 16,4  | 12,64 | 9,18  | 5,72                   | 1,96                   | 16,4  | 1,96  | 14,67 | 14,67 | 3,68  | 3,68  | -        |
| $M_i X_i$ | -0,22 | -0,22 | -0,22 | -0,22                  | -0,22                  | 31,24 | 42,06 | 53,04 | 53,04 | 53,04 | 41,76 | 251,26   |
| $M_i Y_i$ | 49,2  | 37,92 | 27,54 | 17,16                  | 5,88                   | 49,2  | 5,88  | 44,02 | 44,02 | 11,05 | 11,05 | 302,9    |
|           |       |       |       | $X_G = 7.61 \text{ m}$ | $Y_G = 9.18 \text{ m}$ |       |       |       |       |       |       |          |

### 2.5 CENTRE DE MASSE DE L'ESCALIER :

| ↓ elements | $M_i$ (t) | $X_i$ (m) | $Y_i$ (m) | $M_i X_i$              | $M_i Y_i$              |
|------------|-----------|-----------|-----------|------------------------|------------------------|
| Volée      | 6.00      | 3.80      | 9.16      | 22.8                   | 54.9                   |
| Palier     | 3.70      | 2.91      | 9.16      | 7.81                   | 33.89                  |
| $\Sigma$   | 9.70      | /         | /         | 30,61                  | 88,79                  |
|            |           |           |           | $X_G = 3.15 \text{ m}$ | $Y_G = 9.16 \text{ m}$ |



## 2.6 CENTRE DE MASSE DES VOILES :

| SENS LONGITUDINAL |        |       |        |        |       |       |       |       |          |  | Pour les deux directions  |  |
|-------------------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|----------|--|---|--|
| Voiles            | VL1    | VL2   | VL3    | VL4    | VL5   | VL6   | VL7   | VL8   | $\Sigma$ |  | $\Sigma M_i = 131.86$<br>$\Sigma M_i X_i = 1209.8$<br>$\Sigma M_i Y_i = 1151.7$ |  |
| $M_i$ (t)         | 11.1   | 10.6  | 12.1   | 6.6    | 2.0   | 12.1  | 10.6  | 11.1  | 76.2     |  |   |  |
| $X_i$ (m)         | 5.24   | 5.27  | 5.99   | 16.48  | 8.82  | 5.99  | 5.27  | 5.24  | —        |  |   |  |
| $Y_i$ (m)         | 18.28  | 14.52 | 10.76  | 9.43   | 9.00  | 7.52  | 3.84  | 0.08  | —        |  |   |  |
| $M_i X_i$         | 58.16  | 55.96 | 72.48  | 108.76 | 17.64 | 72.48 | 55.86 | 58.16 | 499.4    |  |   |  |
| $M_i Y_i$         | 203    | 154   | 130.2  | 62.23  | 18    | 91    | 40.7  | 0.89  | 700.02   |  |   |  |
| SENS TRANSVERSAL  |        |       |        |        |       |       |       |       |          |  | $X_G = 9.13m$<br>$Y_G = 8.73m$  |  |
| Voiles            | VT1    | VT2   | VT3    | VT4    | VT5   | VT6   | VT7   | VT8   | $\Sigma$ |  |   |  |
| $M_i$ (t)         | 14.52  | 10.50 | 13.40  | 2.00   | 3.80  | 3.80  | 3.80  | 3.80  | 55.62    |  |   |  |
| $X_i$ (m)         | 19.56  | 15.8  | 12.04  | 9.20   | 4.96  | 4.96  | 4.96  | 4.96  | —        |  |   |  |
| $Y_i$ (m)         | 9.26   | 8.72  | 5.78   | 9.48   | 1.43  | 3.76  | 12.11 | 16.93 | —        |  |   |  |
| $M_i X_i$         | 284    | 165.9 | 161.33 | 18.4   | 18.86 | 18.86 | 18.86 | 18.86 | 705.09   |  |   |  |
| $M_i Y_i$         | 134.45 | 91.56 | 77.45  | 18.96  | 5.43  | 14.28 | 46    | 64.33 | 452.46   |  |   |  |

| PLANCHER COURANT $q = 0.826 \text{ t/m}^2$ |      |           |           |           |           |             |           |           |           | PLANCHER TERRASSE $q = 0.896 \text{ t/m}^2$ |           |             |           |           |           |           |           |             |           |       |       |       |       |      |      |      |          |
|--|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|---|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|----------|
| DALLES                                     |      | $X_i$ (m) | $Y_i$ (m) | $M_i X_i$ | $M_i Y_i$ | $S_i (m^2)$ | $M_i (t)$ | $X_i$ (m) | $Y_i$ (m) | $M_i X_i$                                   | $M_i Y_i$ | $S_i (m^2)$ | $M_i (t)$ | $X_i$ (m) | $Y_i$ (m) | $M_i X_i$ | $M_i Y_i$ | $S_i (m^2)$ | $M_i (t)$ |       |       |       |       |      |      |      |          |
| D1   | D2   | D3        | D4        | D5        | D6        | D7          | D8        | D9        | D10       | D11   | D12       | D13         | $\Sigma$  | D1        | D2        | D3        | D4        | D5          | D6        | D7    | D8    | D9    | D10   | D11  | D12  | D13  | $\Sigma$ |
| 2.43                                       | 7.58 | 2.43      | 8.50      | 13.92     | 17.68     | 17.68       | 13.92     | 8.35      | 8.50      | 2.43  | 2.43      | 7.58        | —         | 2.43      | 7.58      | 2.43      | 8.50      | 13.92       | 17.68     | 17.68 | 13.92 | 8.35  | 8.50  | 2.43 | 2.43 | 7.58 | —        |
| 16.4                                       | 16.4 | 12.64     | 12.64     | 12.06     | 12.06     | 6.55        | 6.55      | 9.78      | 5.72      | 5.72  | 1.96      | 1.96        | —         | 16.4      | 16.4      | 12.64     | 12.64     | 12.06       | 12.06     | 6.55  | 6.55  | 9.78  | 5.72  | 5.72 | 1.96 | 1.96 | —        |
| 35.23                                      | 122  | 35.23     | 173.4     | 208.8     | 265.2     | 289.9       | 228.2     | 148.6     | 173.4     | 35.2  | 35.2      | 122         | 1872.5    | 35.23     | 122       | 35.23     | 173.4     | 208.8       | 265.2     | 289.9 | 228.2 | 148.6 | 173.4 | 35.2 | 35.2 | 122  | 1872.5   |
| 237.8                                      | 264  | 183.2     | 257.8     | 180.9     | 180.9     | 107.4       | 107.4     | 163.9     | 116.6     | 82.9  | 28.4      | 31.5        | 1942.6    | 237.8     | 264       | 183.2     | 257.8     | 180.9       | 180.9     | 107.4 | 107.4 | 163.9 | 116.6 | 82.9 | 28.4 | 31.5 | 1942.6   |
| $\Sigma$                                   |      |           |           |           |           |             |           |           |           |   |           |             |           | $\Sigma$  |           |           |           |             |           |       |       |       |       |      |      |      |          |

$$X_G = 8.48 \text{ m}$$

$$Y_G = 9.18 \text{ m}$$

$$X_G = 8.85 \text{ m}$$

$$Y_G = 9.18 \text{ m}$$

CENTRE DE MASSE AU NIVEAU TERRASSE :

| ↓ éléments           | $M_i$ (t) | $X_i$ (m) | $Y_i$ (m) | $M_i \cdot X_i$ | $M_i \cdot Y_i$ |                                    |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|------------------------------------|
| dalles               | 225.9     | 8.48      | 9.18      | 1915.63         | 2073.7          | $X_G = 8.58m$<br><br>$Y_G = 9.09m$ |
| $\frac{1}{2}$ voile  | 65.91     | 9.13      | 8.73      | 601.75          | 575.39          |                                    |
| $\frac{1}{2}$ façade | 16.5      | 7.61      | 9.18      | 125.56          | 151.47          |                                    |
| cage asc             | 3.90      | 8.78      | 9.53      | 34.24           | 37.16           |                                    |
| local asc            | 14.1      | 7.87      | 9.05      | 110.96          | 127.6           |                                    |
| acrotère             | 11.9      | 9.63      | 9.18      | 114.59          | 109.24          |                                    |
| $\Sigma$             | 338.21    |           |           | 2902.73         | 3074.56         |                                    |

CENTRE DE MASSE AU NIVEAU ETAGE COURANT ET R.D.C :

| ↓ éléments | $M_i$ (t) | $X_i$ (m) | $Y_i$ (m) | $M_i \cdot X_i$ | $M_i \cdot Y_i$ |               |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|---------------|
| dalles     | 211.6     | 8.85      | 9.18      | 1872.66         | 1942.48         | $X_G = 8.70m$ |
| façades    | 33        | 7.61      | 9.18      | 251.13          | 302.94          |               |
| voiles     | 131.82    | 9.13      | 8.73      | 1203.5          | 1150.78         | $Y_G = 9.02m$ |
| escalier   | 9.7       | 3.15      | 9.16      | 30.56           | 88.56           |               |

EXCENTRICITÉ A CHAQUE NIVEAU :

l'excentricité est donnée par la relation:

$$e_T = X_T - X_G$$

$$e_L = Y_T - Y_G$$

où  $(X_G, Y_G)$  sont les coordonnées du centre de masse  
 $(X_T, Y_T)$  " " " " " " " " " " " torsion

selon (RPA 81), on prendra

|          | $X_G$ (m) | $Y_G$ (m) | $e_x$ (m) | $e_y$ (m) |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| TERRASSE | 8.58      | 9.09      | 6.92      | 0.08      |
| Etge-RDC | 8.7       | 9.02      | 6.8       | 0.15      |

|           | Terrasse | E.C; RDC |
|-----------|----------|----------|
| $e_x$ (m) | 6.92     | 6.8      |
| $e_y$ (m) | 0.91     | 0.91     |

**ETUDE**

**PSEUDO-**

**DYNAMIQUE**

# ETUDE PSEUDO-DYNAMIQUE

## Preambule:

Le règlement parasismique algérien impose une étude dynamique si une des conditions de l'art 3.2.1.1 n'est pas vérifiée. Le bâtiment étudié ne remplit pas deux conditions.

- i- la distance entre le centre de masse et le centre de torsion dépasse à chaque niveau 20% de la largeur effective du bâtiment et ce dans le sens longitudinal.
- ii- le bâtiment est symétrique dans un sens et dissymétrique dans l'autre, et présente des parties en saillies dépassant 25% des dimensions globales.

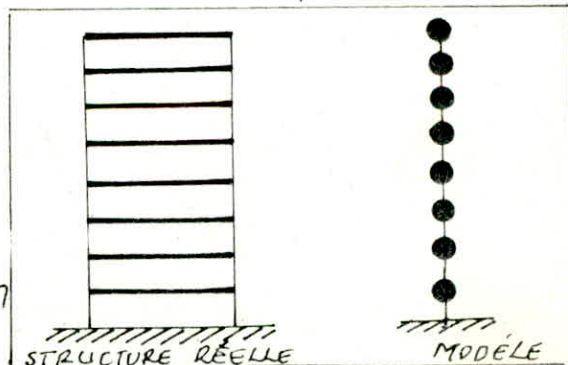
## Introduction:

Sous l'action des forces sismiques, la structure répond par des vibrations, elle effectue tout d'abord, tant que dure l'excitation, une série d'oscillations forcées; Il leur succède des oscillations libres avec un certain degré d'amortissement. L'étude de dynamique consiste à déterminer les pulsations propres et les périodes propres d'oscillation du bâtiment.

## Modélisation:

La modélisation de la structure sera représentée par une console flexible, rigidement encastrée à la base, les masses sont supposées concentrées au niveau des planchers,

elles seront soutenues par un élément élastique de masse négligeable - Chaque masse a un seul degré de liberté: déplacement dans la direction des vibrations.



# CALCUL DES PULSATIONS ET DES FORMES PROPRES

## DE VIBRATION :

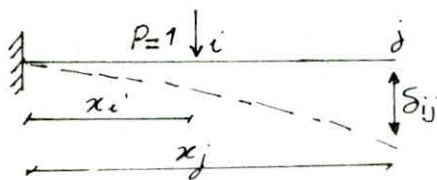
### 1. MÉTHODE DE RAYLEIGH:

La méthode a été développée à partir de la loi de la conservation de l'énergie (des systèmes conservatifs), elle est utilisée pour la détermination de la pulsation fondamentale d'un système oscillant ayant un nombre limité ou infini de degrés de liberté dynamiques.

Application: (pour la détermination du 1<sup>er</sup> mode uniquement).

La structure étant retournée à 90° dans le champs de pesanteur soient  $x_1, x_2, \dots, x_n$  les flèches prises par les diverses masses en supposant que les déformations restent élastiques.

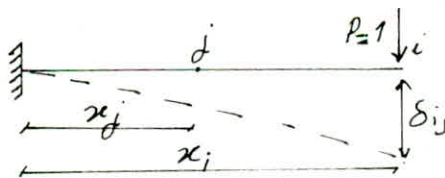
1<sup>o</sup> Cas: la section "i" est à gauche de la section "j"



$$i \leq j$$

$$\delta_{ij} = \frac{1}{EI} \frac{x_i^2}{2} \left( x_j - \frac{1}{3} x_i \right)$$

2<sup>o</sup> Cas: la section "i" est à droite de la section "j"

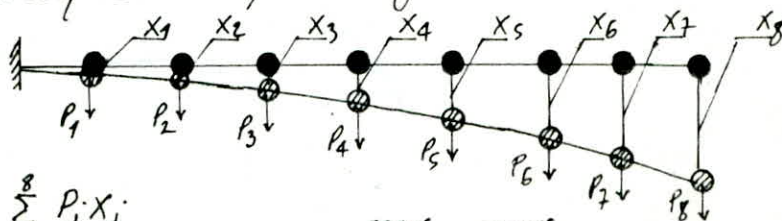


$$i \geq j$$

$$\delta_{ij} = \frac{1}{EI} \frac{x_j^2}{2} \left( x_i - \frac{1}{3} x_j \right)$$

En vertu du théorème de réciprocité de MAXWELL-BETTI:  $\delta_{ij} = \delta_{ji}$

$\delta_{ij}$ : déplacement du point "i" dû à la charge  $P=1t$  appliquée au point "j".



$$E_c^{\max} = \frac{1}{2} \sum_1^8 P_j X_j$$

$$E_p^{\max} = \frac{1}{2} \frac{\omega^2}{g} \sum_1^8 P_j X_j^2$$

$$E_c^{\max} = E_p^{\max}$$

la période du mode fondamental est donnée par la relation:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum m_i x_i^2}{g \sum m_i x_i}}$$

La précision des résultats obtenus avec la méthode de RAYLEIGH dépend du choix de la ligne élastique, cette précision peut être améliorée en utilisant un procédé itératif de "Correction" de la forme choisie.

Procédé itératif:

a) Calculer le coefficient adimensionnel  $e_j$ :  $e_j = \frac{x_j^0}{x_n^0}$   
 $x_n^0$ : flèche au sommet de la console.

$$x_j^0 = \delta_{stat j}$$

b) Corriger les forces:  $F_{ij}^{(1)} = e_j^{(1)} \cdot P_j$   
 l'indice (1) correspond à la première correction.  
 l'indice "j" correspond à la côte à laquelle "F" ou "e" est recherchée.

c) Calculer le coef. adimensionnel "e" de la seconde itération:

$$e_j^{(2)} = \frac{x_j^{(1)}}{x_n^{(1)}}$$

$$x_j^{(1)}: \text{déplacement corrigé} = \sum_{i=1}^n F_{ij} \cdot \delta_{ij}$$

la 2<sup>e</sup> correction consiste à calculer une nouvelle force  $F_{2j}$

$$F_{2j} = e_j^{(2)} \cdot P_j \quad \text{et} \quad x_j^{(2)} = \sum_{i=1}^n F_{2j} \cdot \delta_{ij}$$

Le processus itératif est rapidement convergent, et le nombre d'itération dépend de la précision désirée.

le processus est arrêté lorsque:  $e_j^{(m)} = e_j^{(m-1)}$  alors:

$$F_{mj} = e_j^{(m)} \cdot P_j \quad \text{et} \quad e_j^m = e_j^{(m+1)} = \frac{x_j^{(m)}}{x_n^{(m)}}$$

$$\text{d'où: } x_j^{(m)} = e_j^{(m)} \cdot x_n^{(m)}$$

Exemple de calcul:

Calcul des déplacements du niveau (1).

| $\delta_{ij}$        | $\delta_{i1}$ | $\delta_{i2}$ | $\delta_{i3}$ | $\delta_{i4}$ | $\delta_{i5}$ | $\delta_{i6}$ | $\delta_{i7}$ | $\delta_{i8}$ |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| $EI \delta_{ij}$     | 7.317         | 19.293        | 29.269        | 40.245        | 51.221        | 62.197        | 73.173        | 84.149        |
| $EI \delta_{ij} P_j$ | 2462.2        | 6155.7        | 9849.1        | 13542.5       | 17235.9       | 20929.40      | 24622.82      | 27718.79      |

$$EI X_1 = 122516.67 = \sum EI \delta_{ij} P_j$$

1ère itération :

| NIV | $EI e_j^{(1)} \delta_{ij} P_j$ |
|-----|--------------------------------|
| 1   | $2462,2 \times 0,0278$         |
| 2   | $6155,7 \times 0,1026$         |
| 3   | $9849,1 \times 0,2126$         |
| 4   | $13542,5 \times 0,3419$        |
| 5   | $17235,97 \times 0,5002$       |
| 6   | $20929,40 \times 0,6626$       |
| 7   | $24622,82 \times 0,8303$       |
| 8   | $27718,79 \times 1$            |

$$\rightarrow EI X_1 = \sum e_j^{(1)} EI \delta_{ij} P_j = 78157.78$$

4<sup>e</sup> itération :

| NIV | $EI e_j^{(4)} \delta_{ij} P_j$ |
|-----|--------------------------------|
| 1   | $2462,2 \times 0,0251$         |
| 2   | $6155,7 \times 0,0947$         |
| 3   | $9849,1 \times 0,2002$         |
| 4   | $13542,5 \times 0,3334$        |
| 5   | $17235,97 \times 0,4862$       |
| 6   | $20929,40 \times 0,6520$       |
| 7   | $24622,82 \times 0,8246$       |
| 8   | $27718,79 \times 1$            |

$$\rightarrow EI X_1 = 77180.50$$

déplacement du niveau 1:  $E = 3,78 \cdot 10^6 \text{ t/m}^2$

Sens transversal:  $I_x = 63,51 \text{ m}^4$  :  $X_1 = 0,321 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Sens longitudinal:  $I_y = 121,439 \text{ m}^4$  :  $X_1 = 0,168 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Tableaux récapitulatifs :



| NIVEAUX  | 1         | 2         | 3          | 4          | 5          | 6          | 7          | 8          |
|----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| $P_i(t)$ | 336,5     | 336,5     | 336,5      | 336,5      | 336,5      | 336,5      | 336,5      | 329,4      |
| ETXi     | 112516,67 | 152005,21 | 1936913,55 | 1533076,45 | 2203715,54 | 2979439,28 | 3658242,99 | 4405508,83 |

1<sup>o</sup> itération:  $e^1 = x_i/x_n$  ;  $x_n = x_T = 4405508,83$

| NIVEAUX     | 1        | 2         | 3        | 4          | 5          | 6         | 7         | 8         |
|-------------|----------|-----------|----------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| $e_i^{(1)}$ | 0.0278   | 0.1026    | 0.2126   | 0.3479     | 0.5002     | 0.6626    | 0.8303    | 1.00      |
| $F_i(t)$    | 9.35     | 34.52     | 71.54    | 117.07     | 168.32     | 222.96    | 279.39    | 329.4     |
| ETXi        | 78157,78 | 294627,78 | 622648,3 | 1036262,66 | 1511113,10 | 2025433,4 | 2561164,7 | 3105149,3 |

2<sup>o</sup> itération:  $e^{(2)} = x_i/x_n$  ;  $x_n = 3105149,3$

| NIVEAUX     | 1        | 2        | 3        | 4         | 5         | 6          | 7         | 8          |
|-------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|
| $e_i^{(2)}$ | 0.0251   | 0.0948   | 0.2005   | 0.3337    | 0.4866    | 0.6522     | 0.8248    | 1.00       |
| $F_i(t)$    | 8.45     | 31.90    | 67.47    | 112.29    | 163.74    | 219.46     | 277.54    | 329.4      |
| ETXi        | 77204,14 | 291135,8 | 615498,6 | 1025080,8 | 1494825,8 | 2004205,90 | 2534943,4 | 3073927,53 |

3<sup>o</sup> itération:  $e^3 = x_i/x_n$  ;  $x_n = 3073927,53$

| NIVEAUX     | 1       | 2         | 3        | 4         | 5         | 6         | 7          | 8          |
|-------------|---------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| $e_i^{(3)}$ | 0.0251  | 0.0947    | 0.2002   | 0.3334    | 0.4862    | 0.6520    | 0.8246     | 1.00       |
| $F_i(t)$    | 8.45    | 31,87     | 67,37    | 112,19    | 163,61    | 219,40    | 277,40     | 329,4      |
| ETXi        | 77180,5 | 291048,63 | 615319,0 | 1024449,9 | 1494412,9 | 2003666,0 | 2534274,97 | 3073130,12 |

4<sup>o</sup> itération

| NIVEAUX     | 1       | 2         | 3        | 4         | 5         | 6         | 7          | 8          |
|-------------|---------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| $e_i^{(4)}$ | 0.0251  | 0.0947    | 0.2002   | 0.3334    | 0.4862    | 0.6520    | 0.8246     | 1.00       |
| $F_i(t)$    | 8.45    | 31,87     | 67,37    | 112,19    | 163,61    | 219,40    | 277,40     | 329,4      |
| ETXi        | 77180,5 | 291048,63 | 615319,0 | 1024449,9 | 1494412,9 | 2003666,0 | 2534274,97 | 3073130,12 |

Les itérations sont arrêtées,  $e^{(3)} = e^{(4)}$

Calcul de la période du 1<sup>o</sup> mode :

| SENS LONGITUDINAL             |        |         | $I_y = 121,439 \text{ m}^4$ |         |          | $E = 3,78 \cdot 10^6 \text{ t/m}^2$ |          |         |
|-------------------------------|--------|---------|-----------------------------|---------|----------|-------------------------------------|----------|---------|
| NIVEAUX                       | 1      | 2       | 3                           | 4       | 5        | 6                                   | 7        | 8       |
| $m_k (t)$                     | 336,5  | 336,5   | 336,5                       | 336,5   | 336,5    | 336,5                               | 336,5    | 329,4   |
| $X_{1k} \cdot 10^3 \text{ m}$ | 0,168  | 0,634   | 1,340                       | 2,232   | 3,255    | 4,365                               | 5,521    | 6,695   |
| $m_k X_{1k} \cdot 10^3$       | 56,532 | 213,341 | 450,91                      | 751,068 | 1095,307 | 1468,822                            | 1857,816 | 2205,33 |
| $m_k X_{1k}^2 \cdot 10^6$     | 9,447  | 135,25  | 604,22                      | 1676,38 | 3565,22  | 6411,41                             | 10257,0  | 14764,7 |

Coéf de Contribution:  $\gamma_1$

$$\gamma_1 = \frac{\sum m_k x_{1k}}{\sum m_k x_{1k}^2} = 216,42$$

La période:  $\omega_1$  ,  $\omega_1^2 = g \frac{\sum m_k x_{1k}}{\sum m_k x_{1k}^2} = 2123,08$

$\omega_1 = 46.07$        $T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0.136 \text{ secondes}$

$T_1 = 0.14 \text{ sec}$

Calcul des forces sismiques :

$F_{1k} = m_k \cdot \gamma_1 \cdot S_a(\beta, T_1) X_{1k}$  ou

$S_a(\beta, T_1) = S_a''(\beta, T_1) \cdot Q$  ,  $S_a'' = \frac{A \cdot D}{B^{\sqrt{1,4} - 1}}$

A, B, D, Q : Coéf définis ds (RPA 83. art 3.3)

A = 0.15 (site ALGER, ZONE II, usage 2)

B = 1/3 (structure voiles porteurs).

$T_1 = 0.14 \text{ s}$  } D = 2  
 pol meuble }

$S_a'' = 0.1677$        $Q = 1 + \frac{6}{7} P_q = 1.3$

$P_q$  : valeurs de pénalités (RPA. tableau 3. art 3.3.1.4)

$S_a = 0.218$  ;  $F_{1k} = 0.218 \times 216,42 \cdot m_k \cdot X_{1k}$

$F_{1k} = 47,18 m_k X_{1k}$

## Forces dues au séisme aux différents niveaux:

SENS LONGITUDINAL.

| NIVEAUX  | 8   | 7    | 6    | 5    | 4    | 3    | 2    | 1   |
|----------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|
| $F_k(t)$ | 104 | 87.6 | 69.3 | 51.7 | 35.4 | 21.3 | 10.1 | 2.7 |

Calcul de la période du 1<sup>er</sup> mode:

SENS TRANSVERSAL :  $I_x = 63,51 \text{ m}^4$       $E = 3,78 \cdot 10^6 \text{ t/m}^2$

| NIVEAUX              | 1       | 2      | 3       | 4       | 5        | 6        | 7        | 8        |
|----------------------|---------|--------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|
| $m_k(t)$             | 336,5   | 336,5  | 336,5   | 336,5   | 336,5    | 336,5    | 336,5    | 329,4    |
| $X_{1k} \cdot 10^3$  | 0,321   | 1,212  | 2,563   | 4,267   | 6,224    | 8,346    | 10,556   | 12,801   |
| $m_k \cdot X_{1k}^3$ | 108,016 | 407,83 | 862,45  | 1435,84 | 2094,37  | 2808,43  | 3552,09  | 4216,65  |
| $m_k \cdot X_{1k}^2$ | 34,67   | 494,29 | 2210,45 | 6126,75 | 13035,39 | 23439,14 | 37495,90 | 53977,32 |

La participation du mode I:  $\eta_I = \frac{(\sum m_i \cdot x_i)^2}{\sum m_i \cdot (\sum m_i \cdot x_i^2)} = 65,3\%$

Coeff. de Contribution :  $\gamma_1 = \frac{\sum m_k \cdot x_{1k}}{\sum m_k \cdot x_{1k}^2} = 113,18$

La période :  $\omega_1$  ,  $\omega_1^2 = g \cdot \frac{\sum m_k \cdot x_{1k}}{\sum m_k \cdot x_{1k}^2} = 1109,19$

$$\omega_1 = 33,3 \text{ rad/s}$$

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0,188 \text{ sec}$$

$$T_1 = 0,194$$

Calcul des forces sismiques:  $F_{1k} = m_k \cdot \gamma_1 \cdot S_a'(\beta, T_1) \cdot X_{1k}$

$$A = 0,15 \quad B = \frac{1}{3} \quad D = 2 \quad S_a'' = 0,167 \quad S_a' = 0,2347$$

$$Q = 1,4$$

$$F_{1k} = 113,18 \cdot 0,2347 \cdot m_k \cdot X_{1k} = 26,56 m_k \cdot X_{1k}$$

Forces ( $F_{1k}$ ) dues au séisme aux différents niveaux:

Sens transversal.

| NIVEAUX  | 8   | 7    | 6    | 5    | 4    | 3    | 2    | 1   |
|----------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|
| $F_k(t)$ | 112 | 94.3 | 74.6 | 55.6 | 38.1 | 22.9 | 10.8 | 2.8 |

## b. METHODE DE VIANELLO STODOLA :

Le calcul exact des caractéristiques propres de vibration de la structure est extrêmement laborieux, c'est pour cela qu'il est fait appel à cette méthode pour l'étude du 2<sup>e</sup> mode.

## ETUDE DU 2<sup>e</sup> mode:

- i) Le 1<sup>er</sup> mode de vibration (mode fondamental) est connu.  
ii) Soit  $\bar{x}_{2j}$  une expression approximative pour le 2<sup>e</sup> mode de vibration, elle peut être écrite sous la forme:

$$\bar{x}_{2j} = \bar{x}_{2j} + a_1 \bar{x}_{1j} \quad (1)$$

$\bar{x}_{2j}$ : représente la forme exacte du 2<sup>e</sup> mode (à déterminer)  
 $\bar{x}_{1j}$ : " " " " " 1<sup>er</sup> mode (déjà calculé)

La relation (1) est multipliée par  $P_j \bar{x}_{1j}$  et on fait la somme des produits ainsi obtenus.

$$\sum_{i=1}^n P_i \bar{x}_{2j} \bar{x}_{1j} = \sum_{i=1}^n P_i \bar{x}_{2j} \bar{x}_{1j} + a_1 \sum_{i=1}^n P_i \bar{x}_{1j}^2$$

La propriété d'orthogonalité donne:

$$\sum_{i=1}^n P_i \bar{x}_{1j} \bar{x}_{2j} = 0 \quad \text{d'où} \quad a_1 = \frac{\sum_{j=1}^n P_j \bar{x}_{1j} \bar{x}_{2j}}{\sum_{j=1}^n P_j \bar{x}_{1j}^2}$$

- iii) Calculer ensuite les ordonnées du 2<sup>e</sup> mode:

$$\bar{x}_{2j}^{(1)} = \bar{x}_{2j} - a_1 \bar{x}_{1j}$$

et les forces:  $M_{2j}^{(1)} = M_j \bar{x}_{2j}^{(1)}$

- iv) Calculer les déplacements:  $x_{2j}^{(2)}$

v)  $\bar{\omega}_2^2 = \frac{\bar{x}_{2j}^{(1)}}{\bar{x}_{2j}^{(2)}}$  ou encore  $\bar{\omega}_2^2 = \frac{\sum_{j=1}^n \bar{x}_{2j}^{(1)}}{\sum \bar{x}_{2j}^{(2)}}$

et  $\bar{\omega}_2^2 \leq \omega^2 \leq \bar{\omega}_2^2$

Il est tenu compte d'une expression approximative du 2<sup>e</sup> mode

$$\bar{x}_{2j}^{(0)} = \bar{x}_{2j} + a_1 \bar{x}_{1j}$$

Les valeurs de  $\bar{x}_{1j}$  sont celles déjà calculées par la méthode de RAYLEIGH, au lieu de considérer une déformée arbitraire, il y a lieu de considérer la déformée du 2<sup>e</sup> mode déterminée à un facteur près. Pour cela, les tableaux de M. PETROVICI (voir bibliographie) donnent les ordonnées de la forme réduite du 2<sup>e</sup> mode.

### 3<sup>o</sup> mode de vibration.

- i) Connaissant les ordonnées exactes des deux premiers modes.  
ii) choisir une forme approximative pour le 3<sup>e</sup> mode ( $\bar{x}_{3j}^0$ ) elle peut être écrite en fonction des formes exactes comme

$$\text{soit: } \bar{x}_{3j}^{(0)} = \bar{x}_{3j} + a_2 \bar{x}_{2j} + a_1 \bar{x}_{1j}$$

- iii) orthogonaliser la forme choisie en écrivant successivement

$$\sum_{j=1}^n P_j \bar{x}_{3j}^0 \cdot \bar{x}_{1j} = \sum_{j=1}^n P_j \bar{x}_{3j} \bar{x}_{1j} + a_2 \sum_{j=1}^n \bar{x}_{2j} \bar{x}_{1j} + a_1 \sum_{j=1}^n P_j \bar{x}_{1j}^2$$

$$\sum_{j=1}^n P_j \bar{x}_{3j}^0 \cdot \bar{x}_{2j} = \sum_{j=1}^n P_j \bar{x}_{3j} \bar{x}_{2j} + a_2 \sum_{j=1}^n P_j \bar{x}_{2j}^2 + a_1 \sum_{j=1}^n P_j \bar{x}_{1j} \bar{x}_{2j}$$

$$\text{d'où: } a_1 = \frac{\sum_{j=1}^n P_j \bar{x}_{3j}^0 \bar{x}_{1j}}{\sum_{j=1}^n P_j \bar{x}_{1j}^2}, \quad a_2 = \frac{\sum_{j=1}^n P_j \bar{x}_{3j}^0 \bar{x}_{2j}}{\sum_{j=1}^n P_j \bar{x}_{2j}^2}$$

- iv) Par la suite, calculer  $\bar{x}_{3j}^{(1)} = \bar{x}_{3j}^0 - a_1 \bar{x}_{2j} - a_2 \bar{x}_{1j}$  (2)

- v) Calculer les forces corrigées:  $M_{3j}^{(1)} = M_j \bar{x}_{3j}^{(1)}$

- vi) des déplacements dus aux forces  $M_{3j}^{(1)}$  seront alors:  $x_{3j}^{(2)}$

$$\text{d'où: } \bar{\omega}_3^2 = \frac{x_{3j}^{(1)}}{x_{3j}^{(2)}} \quad \text{ou bien} \quad \bar{\omega}_3^2 = \frac{\sum x_{3j}^{(1)}}{\sum x_{3j}^{(2)}}$$

pour obtenir une approximation satisfaisante de la pulsation du 3<sup>e</sup> mode, il faut répéter au moins encore une fois l'itération

la forme initiale sera alors:

$$\bar{x}_{3j}^{(1)} = \bar{x}_{3j} + a_2 \bar{x}_{2j} + a_1 \bar{x}_{1j}$$

$x_{3j}^{(1)}$  est donnée par la relation (2), ...

Application: (3<sup>e</sup> mode)

$$\omega^2 = \frac{\sum x_{2j}^{(3)}}{\sum x_{3j}^{(4)}}, \quad \omega = 214,8 \text{ rad/s} \quad T = 0,029 \text{ sec.}$$

Tableaux récapitulatif des résultats:

$$\text{pour le 2<sup>e</sup> mode: } a_1 = \frac{\sum P_j \bar{x}_{1j} \bar{x}_{2j}^{(0)}}{\sum P_j \bar{x}_{1j}^2} = -0,2342$$

RESULTATS DES ITERATIONS (2° mode):

| 1° ITERATION |       |                  |                |       |        |                                |                      |                      |             | 2° ITERATION      |       |         |                      |                |        |            |                                    |                      |                      |             |                   |          |
|--------------|-------|------------------|----------------|-------|--------|--------------------------------|----------------------|----------------------|-------------|-------------------|-------|---------|----------------------|----------------|--------|------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|-------------|-------------------|----------|
| Niv.         | $Z_k$ | $\bar{X}_{2j}^0$ | $\bar{X}_{1j}$ | $P_j$ | (t)    | $P_{1j} \bar{X}_{1j} X_{2j}^0$ | $P_j \bar{X}_{1j}^2$ | $\bar{X}_{2j}^{(1)}$ | $M_j^{(1)}$ | $EI X_{2j}^{(2)}$ | Niv.  | $Z_k$   | $\bar{X}_{2j}^{(1)}$ | $\bar{X}_{1j}$ | $P_j$  | (t)        | $P_{1j} \bar{X}_{1j} X_{2j}^{(1)}$ | $P_j \bar{X}_{1j}^2$ | $\bar{X}_{2j}^{(2)}$ | $M_j^{(2)}$ | $EI X_{2j}^{(3)}$ |          |
| T            | 1     | -1               | +1             | 329,4 | -329,4 | 329,4                          | -0,7658              | -252,2               | -60434,96   | T                 | 1     | -0,7658 | 1                    | 329,4          | -252,2 | -15709,605 | 32275,25                           | 10487,545            | 0,125                | 0,1438      | 48,4              | 10487,54 |
| 7            | 0,975 | -0,4068          | 0,8246         | 336,5 | -112,9 | 228,8                          | -0,2136              | -71,9                | -15709,605  | 7                 | 0,875 | -0,2136 | 0,8246               | 336,5          | -71,9  | -15709,605 | 32275,25                           | 10487,54             | 0,125                | 0,1438      | 48,4              | 10487,54 |
| 6            | 0,750 | 0,135            | 0,6520         | 336,5 | 29,6   | 143,0                          | 0,2876               | 96,8                 | 23216,401   | 6                 | 0,750 | 0,2876  | 0,6520               | 336,5          | 96,8   | 23216,40   | 32275,25                           | 10487,54             | 0,125                | 0,1438      | 48,4              | 10487,54 |
| 5            | 0,646 | 0,4808           | 0,4862         | 336,5 | 78,7   | 79,5                           | 0,5946               | 200,1                | 49845,656   | 5                 | 0,646 | 0,5946  | 0,4862               | 336,5          | 200,1  | 49845,65   | 32275,25                           | 10487,54             | 0,125                | 0,1438      | 48,4              | 10487,54 |
| 4            | 0,517 | 0,7034           | 0,3334         | 336,5 | 78,9   | 37,4                           | 0,7814               | 262,9                | 59566,366   | 4                 | 0,517 | 0,7814  | 0,3334               | 336,5          | 262,9  | 59566,36   | 32275,25                           | 10487,54             | 0,125                | 0,1438      | 48,4              | 10487,54 |
| 3            | 0,388 | 0,6703           | 0,2002         | 336,5 | 45,1   | 13,5                           | 0,7171               | 241,3                | 52011,228   | 3                 | 0,388 | 0,7171  | 0,2002               | 336,5          | 241,3  | 52011,22   | 32275,25                           | 10487,54             | 0,125                | 0,1438      | 48,4              | 10487,54 |
| 2            | 0,250 | 0,4173           | 0,0947         | 336,5 | 13,3   | 3,0                            | 0,4394               | 147,8                | 32275,250   | 2                 | 0,250 | 0,4394  | 0,0947               | 336,5          | 147,8  | 32275,25   | 32275,25                           | 10487,54             | 0,125                | 0,1438      | 48,4              | 10487,54 |
| 1            | 0,125 | 0,1380           | 0,0251         | 336,5 | 1,2    | 0,2                            | 0,1438               | 48,4                 | 10487,545   | 1                 | 0,125 | 0,1438  | 0,0251               | 336,5          | 48,4   | 10487,54   | 32275,25                           | 10487,54             | 0,125                | 0,1438      | 48,4              | 10487,54 |

RESULTATS DES ITERATIONS (3° mode)

| 3° ITERAT.       |                      |                      | 2° ITER.         |                      |                      | 1° ITERATION. |         |         |         |         |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------------|----------------------|----------------------|------------------|----------------------|----------------------|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Niv.             | $\bar{X}_{3j}^{(3)}$ | $\bar{X}_{3j}^{(4)}$ | Niv.             | $\bar{X}_{3j}^{(2)}$ | $\bar{X}_{3j}^{(1)}$ | 1             | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     | 16     | 17     | 18     | 19     | 20     |        |
| 8                | 0.6102               | 0.6102               | 8                | 0.6102               | 0.6102               | 0.125         | 0.250   | 0.378   | 0.517   | 0.646   | 0.750   | 0.875  | 0.975  | 1.0503 | 1.1053 | 1.1439 | 1.168  | 1.181  | 1.185  | 1.188  | 1.191  | 1.192  | 1.193  | 1.194  | 1.194  | 1.194  |
| 7                | -0.1705              | -0.1705              | 7                | -0.1705              | -0.1705              | 0.3255        | 0.6447  | 0.9721  | 1.2805  | 1.5897  | 1.8814  | 2.1534 | 2.4062 | 2.6402 | 2.8552 | 3.0517 | 3.2292 | 3.3877 | 3.5272 | 3.6487 | 3.7512 | 3.8357 | 3.9022 | 3.9507 | 3.9814 | 3.9971 |
| 6                | -0.6457              | -0.6457              | 6                | -0.6457              | -0.6457              | 0.0251        | 0.4395  | 0.8722  | 1.3115  | 1.7547  | 2.1922  | 2.6242 | 3.0507 | 3.4717 | 3.8872 | 4.2972 | 4.7017 | 5.1002 | 5.4927 | 5.8792 | 6.2607 | 6.6372 | 7.0097 | 7.3782 | 7.7427 | 8.1032 |
| 5                | -0.5660              | -0.5660              | 5                | -0.5660              | -0.5660              | 2.7           | 15.8    | 38.5    | 69      | 99.7    | 127.5   | 153.9  | 178.5  | 201.5  | 222.8  | 242.5  | 260.7  | 277.2  | 292.7  | 307.2  | 320.7  | 333.2  | 344.7  | 355.2  | 364.7  | 372.2  |
| 4                | 0.0394               | 0.0394               | 4                | 0.0394               | 0.0394               | 15.8          | 107.1   | 138     | 173.1   | 212     | 256.3   | 306    | 361.6  | 421.2  | 485.3  | 553    | 625.3  | 701.6  | 781.7  | 865.2  | 952.2  | 1042.7 | 1136.2 | 1232.7 | 1332.2 | 1434.7 |
| 3                | 0.7038               | 0.7038               | 3                | 0.7038               | 0.7038               | 0.2           | 3.0     | 43.5    | 77.4    | 112     | 143.0   | 181.8  | 228.8  | 283.0  | 344.0  | 411.0  | 484.0  | 563.0  | 648.0  | 739.0  | 836.0  | 939.0  | 1048.0 | 1163.0 | 1284.0 | 1411.0 |
| 2                | 0.8109               | 0.8109               | 2                | 0.8109               | 0.8109               | 7             | 65      | 173.1   | 205.5   | 279.5   | 378.8   | 503.3  | 654.8  | 833.0  | 1038.0 | 1270.0 | 1529.0 | 1815.0 | 2128.0 | 2468.0 | 2935.0 | 3529.0 | 4252.0 | 5114.0 | 6126.0 | 7297.0 |
| 1                | 0.8109               | 0.8109               | 1                | 0.8109               | 0.8109               | 0.3550        | 0.8110  | 0.7039  | 0.0395  | 0.5666  | 0.6458  | 0.7504 | 0.8704 | 1.0058 | 1.1566 | 1.3232 | 1.5057 | 1.7072 | 1.9307 | 2.1772 | 2.4477 | 2.7422 | 3.0617 | 3.4172 | 3.8097 | 4.2392 |
| $M_j^{(3)}$      | 200.9                | 200.9                | $M_j^{(2)}$      | 200.9                | 200.9                | 119.4         | 272.9   | 236.8   | 119     | 190.4   | 153.3   | 119.3  | 86.8   | 55.2   | 27.8   | 11.9   | 4.5    | 1.8    | 0.8    | 0.4    | 0.2    | 0.1    | 0.05   | 0.02   | 0.01   | 0.005  |
| $ETX_{3j}^{(3)}$ | 9193.84              | 9193.84              | $ETX_{3j}^{(2)}$ | 9193.84              | 9193.84              | 6008.24       | 6008.24 | 4572.21 | 4572.21 | 3555.91 | 3555.91 | 329.4  | 329.4  | 228.8  | 143.0  | 79.5   | 43.5   | 21.2   | 12.2   | 6.3    | 3.3    | 1.8    | 0.9    | 0.5    | 0.3    | 0.2    |

1ere iteration:  
 $a_1 = 0.2053$   
 $a_2 = -0.2412$

2e iteration:  
 $a_1 = -1.19 \cdot 10^{-4}$   
 $a_2 = 1.24 \cdot 10^{-4}$

3e iteration:  
 $a_1 = 0$   
 $a_2 = -2,4 \cdot 10^{-4}$

### EXEMPLES DE CALCUL - 2<sup>e</sup> mode :

\* 1<sup>ere</sup> itération :

$$\bar{X}_{11} = \frac{EI X_{11}}{EI X_{18}} = \frac{X_{11}}{X_{18}} = 0,0251$$

$\bar{X}_{21}^{(0)} = 0,1380$  déterminée en fonction de  $\delta/h = \frac{2,80}{22,4} = 0,125$   
de l'ouvrage de M. Petrovici.

$$\bar{X}_{21}^{(0)} = \bar{X}_{21}^{(1)} + a_1 \bar{X}_{11} \quad a_1 = -0,2342$$

$$\bar{X}_{21}^{(1)} = \bar{X}_{21}^{(0)} - a_1 \bar{X}_{11} \rightarrow \bar{X}_{21}^{(1)} = 0,1380 - (-0,2342 \times 0,0251) = 0,1438$$

$$M_{21}^{(1)} = \bar{X}_{21}^{(1)} \cdot M = 0,1438 \cdot 336,5 = 48,4 \text{ t}$$

$$EI X_{21}^{(2)} = \sum_{j=1}^8 \delta_j (M_{21}^{(1)})_j = 10487,545$$

\* 2<sup>e</sup> itération :

la nouvelle valeur approximative sera :  $\bar{X}_{21}^{(0)} = \bar{X}_{21}^{(1)} = 0,1438$

$$\bar{X}_{11} = 0,0251 \quad a_1 = \frac{0,1}{834,8} = 1,19 \cdot 10^{-4}$$

le calcul sera mené de la même façon que pour la première itération.

### EXEMPLES DE CALCUL - 3<sup>e</sup> mode :

\* 1<sup>ere</sup> itération :  $\bar{X}_{31}^{(0)} = 0,3255$  (abaque de M. Petrovici)

$$\bar{X}_{21} = 0,143 \quad \bar{X}_{11} = 0,0251$$

$$\bar{X}_{31}^{(0)} = \bar{X}_{31}^{(1)} + a_1 \bar{X}_{11} + a_2 \bar{X}_{21}$$

$$a_1 = 0,2053 \quad a_2 = -0,2412$$

$$\bar{X}_{31}^{(1)} = \bar{X}_{31}^{(0)} - a_1 \bar{X}_{11} - a_2 \bar{X}_{21} = 0,3255 - 0,2053 \times 0,0251 - (-0,2412 \times 0,143)$$
$$\bar{X}_{31}^{(1)} = 0,355$$

$$M_{31}^{(1)} = \bar{X}_{31}^{(1)} \cdot M = 0,355 \times 336,5 = 119,4 \text{ t}$$

$$EI X_{31}^{(2)} = \sum \delta_{1j} (M_{31}^{(1)})_j = 2776,9153$$

\* 2<sup>e</sup> itération : la nouvelle valeur approximative de la forme du 1<sup>er</sup> niveau sera :

$$\bar{X}_{31}^{(0)} = \bar{X}_{31}^{(1)} = 0,355$$

$$\bar{X}_{11} = 0,0251 \quad \bar{X}_{21} = 0,143$$

$$\left\{ \begin{array}{l} a_1 = -1,19 \cdot 10^{-4} \\ a_2 = 1,24 \cdot 10^{-4} \end{array} \right.$$



## CALCUL DE LA PERIODE DU 2<sup>o</sup> MODE :

SENS TRANSVERSAL :

$$I_x = 63,51 \text{ m}^4 \quad E = 3,78 \cdot 10^6 \text{ t/m}^2$$

| NIVEAUX                   | 1      | 2      | 3       | 4       | 5       | 6      | 7       | 8       |
|---------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|
| $m_k (t)$                 | 336,5  | 336,5  | 336,5   | 336,5   | 336,5   | 336,5  | 336,5   | 329,4   |
| $X_{2k} \cdot 10^4$       | 0,4368 | 1,344  | 2,166   | 2,481   | 2,076   | 0,967  | -0,654  | -2,517  |
| $m_k X_{2k} \cdot 10^4$   | 146,98 | 452,39 | 729,02  | 834,92  | 698,67  | 325,39 | -220,17 | -829,23 |
| $m_k X_{2k}^2 \cdot 10^8$ | 64,20  | 608,19 | 1579,43 | 2071,61 | 1450,65 | 314,65 | 144,05  | 2087,55 |

Participation du mode :  $\eta_{II} (\%) = \frac{(\sum m_k X_k^2)^2}{\sum m_k (\sum m_k X_k^2)} = 20,06\%$

Coef de contribution :  $\gamma_2$

$$\gamma_2 = \frac{\sum m_k \cdot X_{2k}}{\sum m_k \cdot X_{2k}^2} = 2569,599$$

calcul de la periode :  $\omega_2$

$$\omega_2^2 = \frac{\sum X_{2j}^{-1}}{\sum X_{2j}^{(2)}} = \frac{1,9845}{6,300 \cdot 10^4}$$

$$\omega_2^2 = 3149,75 ; \quad \omega_2 = 56,12 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$T_2^{\text{transv}} = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0,112 \text{ sec.}$$

calcul des forces sismiques aux différents niveaux :

| NIVEAUX      | 8   | 7     | 6    | 5    | 4    | 3    | 2    | 1   |
|--------------|-----|-------|------|------|------|------|------|-----|
| $F_{2k} (t)$ | -50 | -13,3 | 19,6 | 42,1 | 50,3 | 43,9 | 27,3 | 8,8 |

$$F_{2k} = 603,08 m_k \cdot X_{2k}$$

SENS LONGITUDINAL :

$$I_y = 121,439 \text{ m}^4 \quad E = 3,78 \cdot 10^6 \text{ t/m}^2$$

| NIVEAUX                   | 1      | 2       | 3      | 4      | 5      | 6      | 7       | 8       |
|---------------------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| $m_k (t)$                 | 336,5  | 336,5   | 336,5  | 336,5  | 336,5  | 336,5  | 336,5   | 329,4   |
| $X_{2k} \cdot 10^4$       | 0,2285 | 0,7031  | 1,133  | 1,297  | 1,086  | 0,505  | -0,342  | -1,316  |
| $m_k X_{2k} \cdot 10^4$   | 76,89  | 236,59  | 381,25 | 436,64 | 365,40 | 170,16 | -115,15 | -433,65 |
| $m_k X_{2k}^2 \cdot 10^8$ | 17,569 | 166,349 | 431,96 | 566,58 | 396,79 | 86,054 | 39,404  | 570,907 |

Coef de contribution :  $\gamma_2 = 4913,58$

periode :  $\omega_2^2 = \frac{\sum X_{2j}^{-1}}{\sum X_{2j}^{(2)}} = \frac{1,9845}{3,29 \cdot 10^4} = 6022,57$

$$\omega_2 = 77,6 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0,081 \text{ seconds}$$

calcul des forces sismiques aux différents niveaux :

$$F_{zk} = 1071,16 \cdot m_k \cdot x_{zk}$$

| NIVEAUX     | 8     | 7      | 6    | 5    | 4    | 3    | 2    | 1   |
|-------------|-------|--------|------|------|------|------|------|-----|
| $F_{zk}(t)$ | -46,4 | -12,33 | 18,2 | 39,1 | 46,8 | 40,8 | 25,3 | 8,2 |

En ne tenant compte que des deux premiers modes de vibration, des forces sismiques sont obtenues après combinaison des deux modes

$$F_k = \sqrt{\sum_i F_{ik}^2} \quad (\text{somme quadratique})$$

| NIVEAUX              | 8     | 7    | 6    | 5    | 4    | 3    | 2    | 1   |
|----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|-----|
| S. TRANS<br>$F_k(t)$ | 122,6 | 95,2 | 77,1 | 69,7 | 63,1 | 49,5 | 29,3 | 9,2 |
| S. LONG.<br>$F_k(t)$ | 113,9 | 88,5 | 71,6 | 64,8 | 58,7 | 46,0 | 27,2 | 8,6 |

Méthode statique :

force sismique ( formule de base R.P.A art. 3.3.1)

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

$$W = 329,4 + 8 \times 336,5 = 3021,4 \text{ t}$$

Sens transversal :  $A = 0,15$      $B = 1/3$      $D = 2$      $Q = 1,4$

$$T = \frac{0,08H}{\sqrt{L_x}} \sqrt{\frac{H}{L_x + H}} = 0,316 \text{ s} \quad \begin{array}{l} L_x = 18,36 \text{ m} \\ H = 22,76 \text{ m} \end{array}$$

$$T = 0,316 \text{ s} \rightarrow D = 2 \text{ (sol meuble)}$$

$$V = 0,15 \times 1/3 \times 2 \times 1,4 \times 3021,4 = 422,996 \text{ t}$$

$V$  : effort total à la base du bâtiment.

la distribution des forces sismiques aux différents niveaux se fait par la formule :

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

$$\sum_{i=1}^8 W_i \cdot h_i = 33760,16$$

$$F_8 = \frac{422,996 \times 329,4 \times 8 \times 2,8}{33760,16} = 92,4 \text{ t}$$

$F_8$  : force sismique au niveau 8.

| SENS TRANSVERSAL |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| NIVEAUX          | 8    | 7    | 6    | 5    | 4    | 3    | 2    | 1    |
| $F_k(t)$         | 92,4 | 82,6 | 70,8 | 59,0 | 47,2 | 35,4 | 23,6 | 11,8 |

sens longitudinal:

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

$$T = 0,3 \text{ s} \quad V = 362,568 \text{ t}$$

$$F_k = \frac{362,568 \times W_k \cdot h_k}{33760,16}$$

| NIVEAUX  | 8    | 7    | 6    | 5    | 4    | 3    | 2    | 1    |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $F_k(t)$ | 79,2 | 70,8 | 60,7 | 50,6 | 40,5 | 30,4 | 20,2 | 10,1 |

la méthode statique donne des forces sismiques plus faibles que celles déterminées par l'étude dynamique.

### DISTRIBUTION DES CHARGES HORIZONTALES

la déformation en plan du bâtiment sous l'action des charges horizontales peut être décomposée comme suit:

- une déformation de translation parallèlement à la charge horizontale
- une déformation de rotation autour d'un point fixe qui est le centre de torsion.

hypothèses de base:

- des refends sont parfaitement eucastés à la base
- le produit EI est constant sur toute la hauteur du bâtiment.

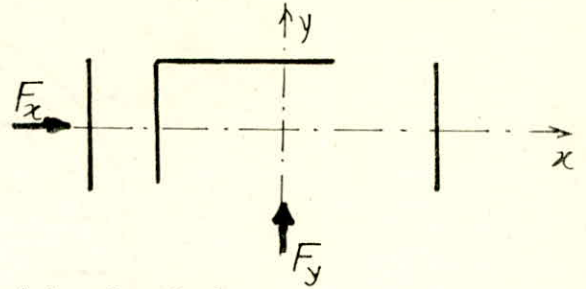
De ce fait, l'effort repris par chaque refend est proportionnel à son inertie ainsi qu'au déplacement qu'il subit. Cet effort est la somme des efforts engendrés par la rotation et la translation.

### I - EFFORTS ENGENDRÉS PAR LA TRANSLATION:

l'effort que reprendrait un voile quelconque "i" est donné par la formule suivante :

$$F'_{y_i} = \frac{F_y \cdot I_{x_i}}{\sum I_{x_i}} \text{ suivant l'axe } x$$

$$F'_{x_i} = \frac{F_x \cdot I_{y_i}}{\sum I_{y_i}} \text{ suivant l'axe } y$$



## II. EFFORTS ENGENDRÉS PAR LA ROTATION:

le couple de torsion est égal à:  $M = F \cdot e_x$

$F$ : l'effort horizontal

$e_x$ : distance du centre de torsion.

l'effort qui reprendrait un refend "i" est donné par:

$$F''_{y_i} = K \cdot \alpha \cdot x_i \cdot I_{x_i} \quad (\text{suivant } y) \quad \alpha: \text{ angle de rotation du plancher.}$$

$$F''_{x_i} = K \cdot \alpha \cdot y_i \cdot I_{y_i} \quad (\text{suivant } x)$$

l'équilibre de l'ensemble donne:  $\sum F''_{y_i} \cdot x_i + \sum F''_{x_i} \cdot y_i = F \cdot e_x$

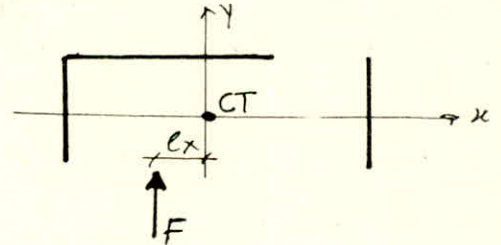
En remplaçant  $F''_{x_i}$  et  $F''_{y_i}$  par leur expressions:

$$\sum K \alpha x_i^2 I_{x_i} + \sum K \alpha y_i^2 I_{y_i} = F \cdot e_x \quad \text{d'où}$$

$$K \alpha = \frac{F \cdot e_x}{\sum I_{x_i} \cdot x_i^2 + \sum I_{y_i} \cdot y_i^2}$$

$$F''_{y_i} = \frac{F \cdot e_x \cdot I_{x_i} \cdot x_i}{\sum I_{x_i} \cdot x_i^2 + \sum I_{y_i} \cdot y_i^2}$$

$$F''_{x_i} = \frac{F \cdot e_x \cdot I_{y_i} \cdot y_i}{\sum I_{x_i} \cdot x_i^2 + \sum I_{y_i} \cdot y_i^2}$$



l'effort global qui reprendrait un refend (i) est:

$$F_{y_i} = F'_{y_i} + F''_{y_i}$$

$$F_{x_i} = F'_{x_i} + F''_{x_i}$$

si la force agit ds le sens "x", les efforts de rotation deviennent:

$$F''_{x_i} = \frac{F \cdot e_y \cdot I_{y_i} \cdot y_i}{J}$$

$$F''_{y_i} = \frac{F \cdot e_x \cdot I_{x_i} \cdot x_i}{J}$$

avec  $J = \sum I_{x_i} \cdot X_i^2 + \sum I_{y_i} \cdot Y_i^2$

EFFORTS SISMQUES HORIZONTAUX A CHAQUE NIVEAU:

DISTRIBUTION DES EFFORTS TRANCHANTS (jus à la translation).

SEISME TRANSVERSAL

|          |       |      |      |      |      |      |      |     |
|----------|-------|------|------|------|------|------|------|-----|
| NIVEAUX  | 8     | 7    | 6    | 5    | 4    | 3    | 2    | 1   |
| $F_k(t)$ | 122.6 | 95.6 | 77.1 | 69.7 | 63.1 | 49.5 | 29.3 | 9.2 |

$\sum I_x = 63.91$

| Voile | Niv | $I_x (m^4)$ | $F'_{(U)} = \frac{F_k \cdot I_x}{\sum I_x}$ | Voile | Niv | $I_x (m^4)$ | $F'_{(U)} = \frac{F_k \cdot I_x}{\sum I_x}$ |
|-------|-----|-------------|---|-------|-----|-------------|---|
| VT 1  | 8   | 22.18       | 42.8  | VT 2  | 8   | 17.72       | 34.2  |
|       | 7   | 22.18       | 33.2  |       | 7   | 17.72       | 26.5  |
|       | 6   | 22.18       | 26.9  |       | 6   | 17.72       | 21.5  |
|       | 5   | 22.18       | 24.3  |       | 5   | 17.72       | 19.4  |
|       | 4   | 22.18       | 22.0  |       | 4   | 17.72       | 17.6  |
|       | 3   | 22.18       | 17.3  |       | 3   | 17.72       | 13.8  |
|       | 2   | 22.18       | 10.2  |       | 2   | 17.72       | 8.2   |
|       | 1   | 22.18       | 3.2   |       | 1   | 17.72       | 2.5   |
| VT 3  | 8   | 21.97       | 42.4  | VT 4  | 8   | 0.0727      | 0.14  |
|       | 7   | 21.97       | 32.9  |       | 7   | 0.0727      | 0.11  |
|       | 6   | 21.97       | 26.6  |       | 6   | 0.0727      | 0.08  |
|       | 5   | 21.97       | 24.1  |       | 5   | 0.0727      | 0.07  |
|       | 4   | 21.97       | 21.8  |       | 4   | 0.0727      | 0.07  |
|       | 3   | 21.97       | 17.1  |       | 3   | 0.0727      | 0.05  |
|       | 2   | 21.97       | 10.1  |       | 2   | 0.0727      | 0.03  |
|       | 1   | 21.97       | 3.2   |       | 1   | 0.0727      | 0.01  |

| Voile           | Niv | $I_x (m^4)$ | $F'_{(U)} = \frac{F_k \cdot I_x}{\sum I_x}$ |
|-----------------|-----|-------------|---|
| VT5 VT6 VT7 VT8 | 8   | 0.3898      | 0.75  |
|                 | 7   | 0.3898      | 0.58  |
|                 | 6   | 0.3898      | 0.47  |
|                 | 5   | 0.3898      | 0.42  |
|                 | 4   | 0.3898      | 0.39  |
|                 | 3   | 0.3898      | 0.30  |
|                 | 2   | 0.3898      | 0.18  |
|                 | 1   | 0.3898      | 0.05  |

SEISME LONGITUDINAL

|           |       |      |      |      |      |      |      |     |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|------|-----|
| NIVEAUX   | 8     | 7    | 6    | 5    | 4    | 3    | 2    | 1   |
| $F_{(t)}$ | 113.9 | 88.5 | 71.6 | 64.8 | 58.7 | 46.0 | 27.2 | 8.6 |

$$\Sigma I_y = 121,439 \text{ m}^4$$

| Voile | Niv. | $I_y \text{ (m}^4)$ | $F'_{(t)} = \frac{F_k I_y}{\Sigma I_y}$ | Voile | Niv | $I_y \text{ (m}^4)$ | $F'_{(t)} = \frac{F_k I_y}{\Sigma I_y}$ |
|-------|------|---------------------|---|-------|-----|---------------------|---|
| VL1   | 8    | 15.39               | 14.4                                    | VL2   | 8   | 17.74               | 16.6                                    |
|       | 7    | 15.39               | 11.2                                    |       | 7   | 17.74               | 12.9                                    |
|       | 6    | 15.39               | 9.1                                     |       | 6   | 17.74               | 10.5                                    |
|       | 5    | 15.39               | 8.2                                     |       | 5   | 17.74               | 9.5                                     |
|       | 4    | 15.39               | 7.4                                     |       | 4   | 17.74               | 8.6                                     |
|       | 3    | 15.39               | 5.8                                     |       | 3   | 17.74               | 6.7                                     |
|       | 2    | 15.39               | 3.4                                     |       | 2   | 17.74               | 4.0                                     |
|       | 1    | 15.39               | 1.1                                     |       | 1   | 17.74               | 1.2                                     |
| VL3   | 8    | 24.495              | 22.9                                    | VL5   | 8   | 0.0944              | 0.09                                    |
|       | 7    | 24.495              | 17.8                                    |       | 7   | 0.0944              | 0.07                                    |
|       | 6    | 24.495              | 14.4                                    |       | 6   | 0.0944              | 0.06                                    |
|       | 5    | 24.495              | 13.1                                    |       | 5   | 0.0944              | 0.05                                    |
|       | 4    | 24.495              | 11.8                                    |       | 4   | 0.0944              | 0.04                                    |
|       | 3    | 24.495              | 9.3                                     |       | 3   | 0.0944              | 0.03                                    |
|       | 2    | 24.495              | 5.5                                     |       | 2   | 0.0944              | 0.02                                    |
|       | 1    | 24.495              | 1.7                                     |       | 1   | 0.0944              | 0.01                                    |

| Voile | Niv | $I_y \text{ (m}^4)$ | $F'_{(t)} = \frac{F_k I_y}{\Sigma I_y}$ |
|-------|-----|---------------------|---|
| VL4   | 8   | 6.074               | 5.7                                     |
|       | 7   | 6.074               | 4.4                                     |
|       | 6   | 6.074               | 3.4                                     |
|       | 5   | 6.074               | 3.2                                     |
|       | 4   | 6.074               | 2.9                                     |
|       | 3   | 6.074               | 2.3                                     |
|       | 2   | 6.074               | 1.4                                     |
|       | 1   | 6.074               | 0.4                                     |

## CALCUL DES EFFORTS DÙS A LA ROTATION :

Sens transversal :

| VOILES            | VT1    | VT2   | VT3    | VT4   | VT5    | VT6    | VT7    | VT8    |
|-------------------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| $I_{x_i} (m^4)$   | 22.18  | 17.72 | 21.97  | 0.072 | 0.389  | 0.389  | 0.389  | 0.389  |
| $X_i (m)$         | 4.06   | 0.3   | -3.46  | -6.3  | -10.53 | -10.53 | -10.53 | -10.53 |
| $I_i \cdot X_i$   | 90.06  | 5.31  | -76.04 | -0.45 | -4.20  | -4.20  | -4.20  | -4.20  |
| $I_i \cdot X_i^2$ | 365.66 | 1.59  | 263.12 | 2.88  | 44.23  | 44.23  | 44.23  | 44.23  |

Sens longitudinal :

| voiles            | VL1     | VL2    | VL3   | VL4   | VL5    | VL6    | VL7    | VL8     |
|-------------------|---------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|
| $I_{y_i}$         | 15.39   | 17.74  | 24.49 | 6.07  | 0.09   | 24.49  | 17.74  | 15.39   |
| $Y_i$             | 9.11    | 5.39   | 1.59  | 0.26  | -0.17  | -1.65  | -5.33  | -9.09   |
| $I_i \cdot Y_i$   | 140.21  | 94.95  | 38.94 | 1.57  | -0.016 | -40.41 | -94.60 | -139.90 |
| $I_i \cdot Y_i^2$ | 1277.33 | 508.01 | 61.92 | 0.411 | 0.003  | 66.69  | 504.22 | 1271.77 |

$$J = \sum I_{x_i} \cdot X_i^2 + \sum I_{y_i} \cdot Y_i^2 = 4500,50$$

DISTRIBUTION DES EFFORTS DÙS A LA ROTATION 
 $\left\{ \begin{array}{l} e_x = 6,92m \text{ (terrasse)} \\ e_x = 6,80m \text{ (et. Cour.)} \end{array} \right.$ 
  
 $e_y = 0,918m$

|                   | NIV  | VT1    | VT2    |        | VT3                   | VT4                   | VT5    | VT6    | VT7    | VT8 |
|-------------------|------|--------|--------|--------|-----------------------|-----------------------|--------|--------|--------|-----|
|                   |      | F" (t) | F" (t) |        | F" (t)                | F" (t)                | F" (t) | F" (t) | F" (t) |     |
| SENS TRANSVERSAL  | 83   | 16.9   | 1.0    |        | -14,33                | -0,086                |        |        | -0,76  |     |
|                   | 7    | 12.9   | 0.76   |        | -10,93                | -0,066                |        |        | -0,60  |     |
|                   | 6    | 10.5   | 0.62   |        | -8,85                 | -0,053                |        |        | -0,49  |     |
|                   | 5    | 9.5    | 0.56   |        | -8,00                 | -0,048                |        |        | -0,44  |     |
|                   | 4    | 8.6    | 0.51   |        | -7,25                 | -0,044                |        |        | -0,40  |     |
|                   | 3    | 6.7    | 0.39   |        | -5,69                 | -0,034                |        |        | -0,31  |     |
|                   | 2    | 3.9    | 0.23   |        | -3,36                 | -0,020                |        |        | -0,18  |     |
|                   | 1    | 1.2    | 0.07   |        | -1,06                 | -0,006                |        |        | -0,05  |     |
| SENS LONGITUDINAL | NIV  | VL1    | VL2    | VL3    | VL4                   | VL5                   | VL6    | VL7    | VL8    |     |
|                   |      | F" (t) | F" (t) | F" (t) | F" (t)                | F" (t)                | F" (t) | F" (t) | F" (t) |     |
|                   | 83   | 3.25   | 2.20   | 0.90   | 0.036                 | -3,7 10 <sup>-4</sup> | -0,038 | -2,39  | -3,25  |     |
|                   | 7    | 2.53   | 1.71   | 0.70   | 0.028                 | -2,8 10 <sup>-4</sup> | -0,029 | -1,70  | -2,52  |     |
|                   | 6    | 2.04   | 1.38   | 0.57   | 0.023                 | -2,3 10 <sup>-4</sup> | -0,024 | -1,38  | -2,04  |     |
|                   | 5    | 1.85   | 1.25   | 0.51   | 0.020                 | -2,1 10 <sup>-4</sup> | -0,021 | -1,25  | -1,85  |     |
|                   | 4    | 1.67   | 1.13   | 0.46   | 0.018                 | -1,9 10 <sup>-4</sup> | -0,019 | -1,13  | -1,67  |     |
|                   | 3    | 1.31   | 0.89   | 0.36   | 0.014                 | -1,5 10 <sup>-4</sup> | -0,015 | -0,88  | -1,31  |     |
|                   | 2    | 0.77   | 0.52   | 0.22   | 0.009                 | -0,8 10 <sup>-4</sup> | -0,009 | -0,52  | -0,77  |     |
| 1                 | 0.24 | 0.16   | 0.07   | 0.003  | -0,2 10 <sup>-4</sup> | -0,003                | -0,16  | -0,24  |        |     |

# DISTRIBUTION DES EFFORTS (M, T) dans les piles :

T : effort tranchant  
 M : moment flechissant

|             | T           |        |        |        |      |        |        |        |        |        | M      |      |        |     |     |     |     |  |  |  |
|-------------|-------------|--------|--------|--------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|--------|-----|-----|-----|-----|--|--|--|
|             | Voie<br>N°1 | VL1    | VL2    | VL3    | VL4  | VL5    | VL6    | VL7    | VL8    | VT1    | VT2    | VT3  | VT4    | VT5 | VT6 | VT7 | VT8 |  |  |  |
| 8           | 17,6        | 18,8   | 23,8   | 5,7    | 0,09 | 22,94  | 18,99  | 17,65  | 59,17  | 35,2   | 28,07  | 0,05 | -0,04  |     |     |     |     |  |  |  |
| 7           | 31,3        | 33,4   | 42,3   | 10,1   | 0,16 | 40,77  | 33,59  | 31,37  | 105,8  | 62,5   | 50,04  | 0,09 | -0,06  |     |     |     |     |  |  |  |
| 6           | 42,4        | 45,3   | 57,3   | 13,5   | 0,22 | 55,19  | 45,47  | 42,57  | 143,2  | 84,6   | 67,79  | 0,12 | -0,08  |     |     |     |     |  |  |  |
| 5           | 52,4        | 56,0   | 70,9   | 16,7   | 0,27 | 68,31  | 56,22  | 52,56  | 177    | 104,7  | 83,89  | 0,15 | -0,10  |     |     |     |     |  |  |  |
| 4           | 61,5        | 65,7   | 83,2   | 19,6   | 0,31 | 80,13  | 65,95  | 61,63  | 207,6  | 122,8  | 98,44  | 0,18 | -0,11  |     |     |     |     |  |  |  |
| 3           | 68,6        | 73,3   | 92,9   | 21,9   | 0,34 | 89,44  | 73,53  | 68,74  | 231,6  | 137,0  | 109,85 | 0,20 | -0,12  |     |     |     |     |  |  |  |
| 2           | 72,8        | 77,8   | 98,6   | 23,3   | 0,36 | 94,95  | 78,05  | 72,94  | 245,7  | 145,4  | 116,59 | 0,21 | -0,12  |     |     |     |     |  |  |  |
| 1           | 74,1        | 79,2   | 100,4  | 23,1   | 0,37 | 96,65  | 79,41  | 74,25  | 250,1  | 148    | 119,3  | 0,22 | -0,12  |     |     |     |     |  |  |  |
| RDC         | 74,1        | 79,2   | 100,4  | 23,1   | 0,37 | 96,65  | 79,41  | 74,25  | 250,1  | 148    | 119,3  | 0,22 | -0,12  |     |     |     |     |  |  |  |
| Voie<br>N°2 | VL1         | VL2    | VL3    | VL4    | VL5  | VL6    | VL7    | VL8    | VT1    | VT2    | VT3    | VT4  | VT5    | VT6 | VT7 | VT8 |     |  |  |  |
| 8           | 0,0         | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0  | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0  | 0,0    | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |  |  |  |
| 7           | 49,28       | 52,64  | 66,64  | 15,96  | 0,25 | 64,29  | 53,17  | 48,42  | 167,16 | 98,58  | 78,59  | 0,14 | -0,112 |     |     |     |     |  |  |  |
| 6           | 136,9       | 93,52  | 185,0  | 44,24  | 0,70 | 178,4  | 147,2  | 137,2  | 463,42 | 273,5  | 218,71 | 0,39 | -0,280 |     |     |     |     |  |  |  |
| 5           | 255,6       | 220,3  | 345,5  | 82,04  | 1,31 | 332,9  | 274,5  | 256,2  | 864,3  | 510,4  | 408,5  | 0,72 | -0,504 |     |     |     |     |  |  |  |
| 4           | 402,3       | 377,1  | 544,0  | 128,8  | 2,07 | 524,2  | 431,9  | 403,4  | 1359,9 | 803,6  | 643,4  | 1,14 | -0,784 |     |     |     |     |  |  |  |
| 3           | 574,5       | 561,1  | 777    | 183,68 | 2,94 | 748,6  | 616,6  | 576,0  | 1941,2 | 1197,4 | 919    | 1,65 | -1,092 |     |     |     |     |  |  |  |
| 2           | 766,6       | 766,3  | 1037,1 | 245,0  | 3,89 | 998    | 822,5  | 768,5  | 2589,7 | 1537,0 | 1226,6 | 2,21 | -1,428 |     |     |     |     |  |  |  |
| 1           | 970,4       | 984,2  | 1313,1 | 310,24 | 4,90 | 1264,9 | 1041,0 | 976,4  | 3277,6 | 1988,1 | 1553   | 2,8  | -1,764 |     |     |     |     |  |  |  |
| RDC         | 1111,9      | 1205,9 | 1594,8 | 376,6  | 5,93 | 1535,5 | 1263,3 | 1184,3 | 3977,6 | 2352,5 | 1887,2 | 3,4  | -2,10  |     |     |     |     |  |  |  |



DISTRIBUTION DES EFFORTS TRANCHANTS DS LES TRUQUEUX

$$T_i = T \frac{I_i}{I}$$

$I_i$  : inertie du trumeau

$I$  : inertie du voile.

unité : [tonne]

| Voiles | Trum | $\frac{I_i}{I}$   | T     | 7     | 6     | 5     | 4     | 3     | 2     | 1     | R <sub>DC</sub> |
|--------|------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| VT3    | 1    | 0,695             | 41,5  | 73,5  | 99,5  | 123   | 144,2 | 160,9 | 170,7 | 173,8 | 173,8           |
|        | 2    | 0,304             | 18,1  | 32,1  | 43,5  | 53,8  | 63,1  | 70,4  | 74,7  | 76,0  | 76,0            |
| VL6    | 1    | 0,380             | 9,0   | 16,1  | 21,7  | 26,9  | 31,6  | 35,3  | 37,4  | 38,1  | 39,1            |
|        | 2    | 0,619             | 14,7  | 26,2  | 35,4  | 43,8  | 51,5  | 57,5  | 61    | 62,1  | 62,1            |
| VT2    | 1    | 0,123             | 4,33  | 7,68  | 10,4  | 12,87 | 15,1  | 16,85 | 17,88 | 18,2  | 18,2            |
|        | 2    | 0,07              | 2,46  | 4,37  | 5,92  | 7,32  | 8,6   | 9,6   | 10,17 | 10,36 | 10,36           |
| VL4    | 1    | 0,122             | 0,69  | 1,23  | 1,65  | 2,03  | 2,39  | 2,67  | 2,84  | 2,89  | 2,89            |
|        | 2    | 0,112             | 0,64  | 1,13  | 1,51  | 1,87  | 2,19  | 2,45  | 2,61  | 2,65  | 2,65            |
|        | 3    | 0,765             | 4,31  | 7,63  | 10,2  | 12,62 | 14,82 | 16,55 | 17,6  | 17,91 | 17,91           |
| VL7    | 1    | 0,794             | 15,0  | 26,6  | 36,1  | 44,6  | 52,3  | 58,3  | 61,9  | 63,0  | 63,0            |
|        | 2    | 0,203             | 3,8   | 6,8   | 9,2   | 11,4  | 13,4  | 14,9  | 15,8  | 16,1  | 16,1            |
| VL2    | 3    | 0,0026            | 0,05  | 0,087 | 0,118 | 0,146 | 0,17  | 0,19  | 0,203 | 0,206 | 0,206           |
|        | 4    | $4 \cdot 10^{-4}$ | 0,007 | 0,013 | 0,018 | 0,022 | 0,026 | 0,029 | 0,031 | 0,032 | 0,032           |

**ETUDE  
AU  
VENT**

# ETUDE AU VENT

## INTRODUCTION:

Les actions du vent sur les différentes parois d'une structure admettent une résultante géométrique  $\vec{R}$  dont la direction diffère généralement de celle du vent. Cette résultante est la somme de trois forces:  $\vec{R} = \vec{T} + \vec{L} + \vec{U}$

i) Force de traînée: T

Composante de la force du vent dans la direction parallèle à celle du vent, produisant un effet d'entraînement et de renversement.

ii) Force de dérive: L

Composante de la force du vent dont la direction est perpendiculaire à celle du vent.

iii) Force de portance: U

Composante de la force du vent dont la direction est verticale et qui peut entraîner un soulèvement ou un écrasement.

1. Détermination de la force de Traînée:  $T = C_t \beta S q d$

$C_t$ : Coef. de traînée, lié aux effets aérodynamiques et à l'éloignement de l'ouvrage.

$\delta_0$ : Coef. dépendant des dimensions de l'ouvrage. (R.III.NV65)

$$C_t = 1,3 \delta_0$$

Vent normal à la grande face:

$$\left. \begin{aligned} \lambda a &= h/a = 22,8/19,65 = 1,16 \\ b/a &= 18,36/19,65 = 0,93 \end{aligned} \right\} \delta_0 = 1 \quad C_t = 1,3$$

Vent normal à la petite face:

$$\left. \begin{aligned} \lambda b &= h/b = 22,8/18,36 = 1,24 \\ b/a &= 0,93 \end{aligned} \right\} \delta_0 = 1 \quad C_t = 1,3$$

$\beta$ : Coef. de majoration dynamique, lié aux effets de résonance provoqués par les oscillations de l'ouvrage et à la période propre de vibration de la construction.

$$\beta = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \theta (1 + \tau \xi) \end{array} \right. \quad [\text{art 1,511. NV65}]$$

$\xi$ : Coëf. de réponse donné en fonction de la période.  
[R.III. NV65]

Sens transversal:  $T_y = 0,08 \frac{H}{\sqrt{l_y}} \sqrt{\frac{H}{l_y + H}} = 0,08 \frac{22,8}{\sqrt{18,36}} \sqrt{\frac{22,8}{19,36 + 22,8}} = 0,311$

$$T_y = 0,311 \rightarrow \xi = 0,2$$

Sens longitudinal:  $T_x = 0,08 \frac{H}{\sqrt{l_x}} \sqrt{\frac{H}{l_x + H}} = 0,08 \frac{22,8}{\sqrt{19,66}} \sqrt{\frac{22,8}{19,66 + 22,8}} = 0,301$

$$T_x = 0,301 \rightarrow \xi = 0,2$$

$\tau$ : Coëf. de pulsation donné en fonction de la hauteur (H) du niveau considéré. [R.III.4. NV65].

$\theta$ : Coëf. global qui dépend du type de construction. [NV art 1,511]

$$H_{\text{pommet}} < 30 \text{ m} \rightarrow \theta = 0,70$$

dans les sens transversal et longitudinal:

$$\beta = 0,7 (1 + 0,2 \tau)$$

$\delta$ : Coëf. de dimension, il est fonction de la plus grande dimension de la surface exposée au vent et de la hauteur du niveau considéré. [III.2 NV.65]

$$\left. \begin{array}{l} H = 22,8 \text{ m} < 30 \text{ m} \\ a = 19,66 \end{array} \right\} \rightarrow \delta = 0,79 \text{ (sens transversal)}$$

$$\left. \begin{array}{l} H = 22,8 \text{ m} < 30 \text{ m} \\ b = 18,36 \text{ m} \end{array} \right\} \rightarrow \delta = 0,79 \text{ (sens longitudinal)}$$

$q$ : pression du vent, la pression normale due au vent dépend de la région où est implanté le bâtiment, du site et de la hauteur au dessus du sol du niveau considéré

$$q = K_s \cdot K_m \cdot q_H$$

$K_s$ : Coëf. de site, zone II, site normal :  $K_s = 1$

$K_m$ : Coëf. de masque (non protégé) :  $K_m = 1$

$q_H$ : pression dynamique donnée par :

$$q_H = 2,5 q_{10} \frac{H+18}{H+60}$$

$q_{10}$ : pression qui s'exerce à une hauteur de 10 mètres pour la zone II :  $q_{10} = 70 \text{ daN/m}^2 = 70 \text{ kg/m}^2$

$d$ : longueur du maître couple. [art 1,13 NVGS]

sens transversal :  $d = a = 19,66 \text{ m}$

sens longitudinal :  $d = b = 18,36 \text{ m}$

la valeur du produit ( $S \cdot q$ ) doit demeurer entre 30 et 170  $\text{daN/m}^2$ . [art. 1,246 NVGS].

2. Détermination de la force de dérive =  $L = \delta \cdot C_L \cdot \beta \cdot q_{cr} \cdot d \cdot \frac{H}{h}$

La force  $L$  tient compte de l'action des tourbillons de KARMEN, qui provoquent des vibrations dans la direction perpendiculaire au vent, sa valeur max est donnée à chaque niveau par l'expression ci-dessus.

Les règles (NVGS) admettent qu'à partir d'une vitesse de 25 m/s, il serait inutile de faire un calcul à la résonance.

$T_K$ : période de vibration des tourbillons de KARMEN.

$$T_K = \frac{d}{S \cdot v}$$

$d$ : hauteur du maître couple

$S$ : nombre de STROUHAL

$v$ : vitesse du fluide.

$T$  étant la période de vibration propre de la structure il y a résonance lorsque  $T = T_K$   $v_{cr} = \frac{d}{S T}$

$v_{cr}$ : vitesse critique

Application:

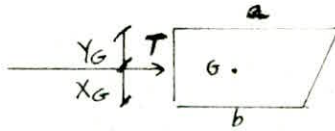
sens longitudinal : x-x  $T_{xe} = 0,30 \text{ s}$

$S = [0,25 \div 0,30]$  ;  $d = 18,36 \text{ m}$

$$v_{cr} = \frac{18,36}{0,3 \times 0,30} = 203,32 \text{ m/s}$$

$T_i$ : Effort tranchant

$x_{Gi}, y_{Gi}$ : Coordonnées du Centre de Gravité du trapèze par rapport aux côtés du trapèze.



| HAUTEUR (m) | Ct  | Σ trans |                     | Σ   | θ | β    | S    | Z     | S.Z   | d trans             |                          | T <sub>n</sub> (kg) | T <sub>n</sub> (kg) | T <sub>long</sub> (kg/m) | T <sub>long</sub> (kg/m) |
|-------------|-----|---------|---------------------|-----|---|------|------|-------|-------|---------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
|             |     | d long  | T <sub>n</sub> (kg) |     |   |      |      |       |       | T <sub>n</sub> (kg) | T <sub>long</sub> (kg/m) |                     |                     |                          |                          |
| 22,4        | 1,3 | 0,2     | 0,342               | 0,7 | 1 | 0,79 | 85,8 | 67,78 | 19,66 | 1732,3              | 1617,8                   | 2834,1              | 3034,5              |                          |                          |
| 19,6        | 1,3 | 0,2     | 0,345               | 0,7 | 1 | 0,79 | 82,7 | 65,33 | 19,66 | 1669,7              | 1559,3                   | 2728,8              | 2921,9              |                          |                          |
| 16,8        | 1,3 | 0,2     | 0,348               | 0,7 | 1 | 0,79 | 79,3 | 62,65 | 19,66 | 1601,2              | 1495,3                   | 2616,8              | 2802,1              |                          |                          |
| 14,0        | 1,3 | 0,2     | 0,352               | 0,7 | 1 | 0,79 | 75,7 | 59,80 | 19,66 | 1528,4              | 1427,3                   | 2497,8              | 2674,5              |                          |                          |
| 11,2        | 1,3 | 0,2     | 0,358               | 0,7 | 1 | 0,79 | 71,7 | 56,64 | 19,66 | 1447,6              | 1351,9                   | 2365,8              | 2533,3              |                          |                          |
| 8,4         | 1,3 | 0,2     | 0,360               | 0,7 | 1 | 0,79 | 67,5 | 53,32 | 19,66 | 1362,7              | 1272,6                   | 2227,0              | 2384,7              |                          |                          |
| 5,6         | 1,3 | 0,2     | 0,360               | 0,7 | 1 | 0,79 | 62,9 | 49,69 | 19,66 | 1269,9              | 1186,0                   | 2075,5              | 2222,3              |                          |                          |
| 2,8         | 1,3 | 0,2     | 0,360               | 0,7 | 1 | 0,79 | 57,9 | 45,74 | 19,66 | 1169,0              | 1094,7                   | 1910,5              | 2045,7              |                          |                          |
| 0,0         | 1,3 | 0,2     | 0,360               | 0,7 | 1 | 0,79 | 52,5 | 41,47 | 19,66 | 1059,9              | 989,8                    | 1732,1              | 1854,8              |                          |                          |

Temp transversal:  $4-4$ :  $T_y = 0,31A$

$$S = [0,25 - 0,30] ; d = 19,66 \text{ m}$$

$$V_{cr} = \frac{19,66}{0,3 \times 0,31} = 207,38 \text{ mlp.}$$

$V_{cr} > 25 \text{ mlp}$ : le calcul à la résonance est inutile.  
ainsi que le calcul de la force de dérive  $\vec{L}$ .

3. Détermination de la force de Portance:  $U = C_u \cdot S \cdot q \cdot S_u$

$C_u$ : Coef. de portance donné par:  $C_u = C_i - C_e$

$C_i$ : Coef de surpression intérieur sur la terrasse.

$$\left. \begin{array}{l} \text{construction fermée} \\ \mu \leq 5\% \\ \delta_0 = 1 \end{array} \right\} C_i = 0,6 (1,8 - 1,3 \delta_0) = 0,3 \quad (\text{art. 2,141 NV65})$$

$C_e$ : Coef. de surpression extérieur sur la terrasse:

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = 0 \\ \delta_0 = 1 \\ \mu \leq 5\% \end{array} \right\} C_e = -0,5 \quad (\text{R III.6 NV65})$$

soit  $C_u = |C_e - C_i| = 0,8$

$S$ : Coef. de dimensions de la toiture:  $S = 0,79$

$q$ : pression du vent; pour  $H = 22,4 \text{ m} \rightarrow q = 85,8 \text{ Kg/m}^2$

$S_u$ : aire de la toiture terrasse:  $S_u = 293,47 \text{ m}^2$

$$U = 15,91 \text{ t}$$

sous vent extrême:  $U_e = 1,75 U = 27,84 \text{ t}$

$U_e \ll G$  vérifié.

$G$ : pds total à vide de l'ouvrage.

### CALCUL DES EFFORTS:

Effort tranchant: donné par la surface du trapèze pour le niveau considéré, appliqué à son C.d.g

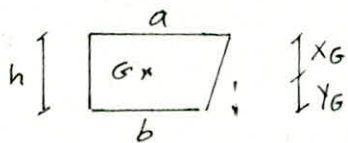
$$T = \frac{a+b}{2} \cdot h$$

Moment fléchissant: calculé à partir de l'expression:

$$M_i = T_i \times \delta_i + T_{i+1} (X_{G_{i+1}} + Y_{G_i})$$

| NIVEAUX            | T | 7     | 6     | 5      | 4      | 3      | 2      | 1      | RDC    | SENS              |
|--------------------|---|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------------|
| T (t)              | 0 | 8,33  | 16,34 | 24,01  | 31,3   | 38,78  | 44,63  | 50,60  | 56,06  | SENS TRANSVERSAL  |
| X <sub>G</sub> (m) | 0 | 1,41  | 1,41  | 1,41   | 1,41   | 1,41   | 1,41   | 1,42   | 1,42   |                   |
| Y <sub>G</sub> (m) | 0 | 1,39  | 1,39  | 1,39   | 1,39   | 1,39   | 1,39   | 1,38   | 1,38   |                   |
| M (t.m)            | 0 | 11,58 | 46,19 | 102,76 | 180,27 | 277,61 | 393,61 | 527,05 | 674,48 |                   |
| T (t)              | 0 | 7,78  | 15,26 | 22,42  | 29,23  | 35,66  | 41,68  | 47,26  | 52,36  | SENS LONGITUDINAL |
| X <sub>G</sub> (m) | 0 | 1,40  | 1,41  | 1,41   | 1,41   | 1,41   | 1,42   | 1,42   | 1,42   |                   |
| Y <sub>G</sub> (m) | 0 | 1,40  | 1,39  | 1,39   | 1,39   | 1,39   | 1,38   | 1,38   | 1,38   |                   |
| M (t.m)            | 0 | 10,89 | 43,22 | 95,59  | 167,97 | 258,88 | 367,28 | 491,91 | 631,48 |                   |

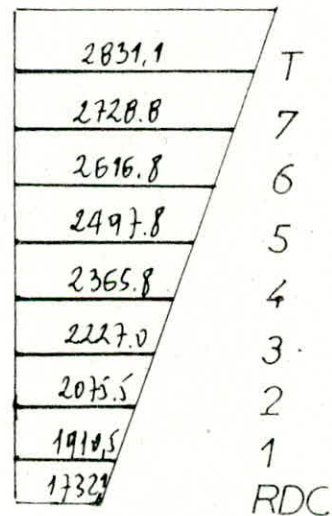
exemple : sens longitudinal



$$x_G = \frac{2a+b}{a+b} \cdot \frac{h}{3} ; \quad y_G = h - x_G$$

$$M_T = 0 \quad T_7 = 7,78 \text{ t}$$

$$M_7 = 0 + 7,78 \times 1,40 = 10,89 \text{ tm}$$



Conclusion :

Les efforts engendrés par les actions sismiques sont plus défavorables.



**ETUDE  
DES  
VOILES**

# ETUDE DES VOILES

## 1. INTRODUCTION:

Parmi les refends ayant participé au contreventement, il y'a lieu de distinguer les refends pleins et les refends avec ouvertures.

Le calcul des efforts sollicitant chaque élément de refend sera fait par la méthode de M. DIVERS

## 2. SOLLICITATIONS HORIZONTALES:

### 2.1 REFENDS A UNE FILE D'OUVERTURE

a. hypothèses: Les efforts localisés transmis par les linteaux peuvent être considérés comme répartis le long de la fibre moyenne de chaque refend.

Les éléments de refend subissent le même déplacement au niveau de chaque étage.

b. Etude des linteaux : étapes de calcul.

Etablir:  $\xi = \frac{z}{Z}$  où  $z$ : cote du niveau considéré  
 $Z$ : hauteur du bâtiment.

Ayant  $\alpha$  et  $\xi$ , la valeur de  $\phi$  est obtenue à partir de l'abaque B.23a. en fonction de  $(\alpha, \xi)$ .

L'effort tranchant à la section d'encastrement du linteau est obtenu à partir de la formule

$$\pi = H_0 \cdot \frac{m \cdot l}{I} \phi(\alpha, \xi) \quad ; \quad H_0: \text{Effort tranchant d'ensemble à la base du refend.}$$

Le dimensionnement du linteau se fait en le considérant comme une poutre encastree à ses extrémités avec des moments d'encastrement:  $M = \pi a$ .

### c. ETUDE DES ELEMENTS DE REFENDS:

Le calcul sera fait au droit de chaque linteau.

Ayant  $\alpha$  et  $\xi$ , détermine la valeur de  $\psi$  à partir de l'abaque B.23b - et calculer les moments ds les éléments de refend

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

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

calculer les forces axiales dans les éléments des refends engendrés par l'action sismique, à chaque niveau l'effort normal  $N$  est donné par :

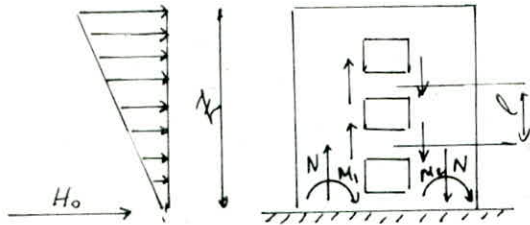
$$N = \sum \pi$$

où  $\sum \pi$  est la somme des efforts à partir du sommet jusqu'à l'étage considéré.

L'équilibre extérieur à la base du refend est donné par

$$M = M_1 + M_2 + 2NC \quad \text{ou} \quad M: \text{moment d'ensemble}$$

$M_1, M_2, N$ : effort à la base



## 2.2 REFENDS A PLUSIEURS FILE D'OUVERTURES :

En négligeant la déformation due aux efforts normaux dans les éléments de refends, le calcul des refends à une file d'ouverture peut être généralisé dans ce cas.

L'effort tranchant dans les linteaux (première série) est :

$$\pi_1 = H_0 \cdot l \cdot \frac{i_1 c_1}{2a_1^3 \left( \frac{i_1 c_1^3}{a_1^3} + \frac{i_2 c_2^3}{a_2^3} + \dots \right)} \phi(\alpha, \xi)$$

$\phi(\alpha, \xi)$  est lu à partir de l'abaque (B.23a) M.DIVERS. pour les autres séries de linteaux; on calcule  $\pi_2, \pi_3, \dots$ . Les forces axiales (efforts normaux) de chaque élément de refend sont calculées par :

$$N_1 = \sum \pi_1 ; N_2 = \sum \pi_2 - \sum \pi_1 ; N_3 = \sum \pi_3 - \sum \pi_2 \dots \text{etc}$$

Les moments dans les éléments de refends sont évalués par :

$$M_1 = \frac{I_1}{I_1 + I_2 + \dots} H_0 z \left[ \frac{(1-\xi)^2(2+\xi)}{3} - \psi \right] ; M_2 = \frac{I_2}{I_1 + I_2 + \dots} H_0 z \left[ \frac{(1-\xi)^2(2+\xi)}{3} - \psi \right], \dots$$

d'équilibre extérieur à la base du refend est vérifié par :

$$M = M_1 + M_2 + \dots + 2N_1(c_1 + c_2 + \dots) + 2N_2(c_2 + c_3 + \dots) + \dots$$

$$A = \frac{1}{3}(1-\xi)^2(2+\xi)$$

| VT3      | $H_0 = 119.33 \text{ t}$ |       |        |       |        |        |                                |                  |        |        |                  |           |  |
|----------|--------------------------|-------|--------|-------|--------|--------|--------------------------------|------------------|--------|--------|------------------|-----------|--|
|          | ETAGE                    | $\xi$ | $\phi$ | $\pi$ | A      | $\psi$ | $\frac{2mc \cdot \psi}{T} = B$ | $\Delta = A - B$ | $M_1$  | $M_2$  | $N = \Sigma \pi$ | Equilibre |  |
|          | T                        | 1     | 0      | 0     | 0      | 0      | 0                              | 0                | 0      | 0      | 0                | 0         | $M_1 + M_2 + 2N = 1941.2 \text{ tm}$<br>$M_{ext} = 1887.2 \text{ tm (21)}$ |
|          | 7                        | 0.875 | 0.24   | 10.86 | 0.0149 | 0.015  | 0.012                          | 0.0029           | 5.38   | 2.35   | 10.86            |           |  |
|          | 6                        | 0.750 | 0.44   | 19.91 | 0.0573 | 0.055  | 0.043                          | 0.0143           | 26.56  | 11.62  | 30.77            |           |  |
|          | 5                        | 0.625 | 0.62   | 28.06 | 0.1230 | 0.12   | 0.095                          | 0.028            | 52.01  | 22.75  | 58.83            |           |  |
|          | 4                        | 0.500 | 0.75   | 33.94 | 0.2083 | 0.23   | 0.182                          | 0.026            | 48.30  | 21.12  | 92.77            |           |  |
|          | 3                        | 0.375 | 0.86   | 38.92 | 0.3092 | 0.34   | 0.270                          | 0.039            | 72.45  | 31.69  | 131.69           |           |  |
|          | 2                        | 0.250 | 0.94   | 42.54 | 0.4218 | 0.42   | 0.333                          | 0.088            | 163.48 | 71.50  | 174.23           |           |  |
|          | 1                        | 0.125 | 0.99   | 44.80 | 0.5423 | 0.54   | 0.429                          | 0.113            | 209.92 | 91.82  | 219.03           |           |  |
| $R_{DC}$ | 0.00                     | 1     | 45.26  | 0.67  | 0.66   | 0.524  | 0.146                          | 271.22           | 118.63 | 264.29 |                  |           |  |

| VL4      | $H_0 = 23.7 \text{ t}$ |       |        |        |         |                  |         |         |             |             |        |       |        |        |       |   |
|----------|------------------------|-------|--------|--------|---------|------------------|---------|---------|-------------|-------------|--------|-------|--------|--------|-------|---|
|          | ETAGE                  | $\xi$ | $\phi$ | $\psi$ | A       | $A - \xi$        | $\pi_1$ | $\pi_2$ | $M_1$       | $M_2$       | $M_3$  | $N_1$ | $N_2$  | $N_3$  | $e_9$ |   |
|          | T                      | 1     | 0      | 0      | 0       | 0                | 0       | 0       | 0           | 0           | 0      | 0     | 0      | 0      | 0     | $2M_1 + 2M_2 + 2N_1 + 2N_2 = 394.9$<br>$M_{ext} = 376.6$ (51) |
|          | 7                      | 0.875 | 0.24   | 0.015  | 0.0149  | $-1.10^4$        | 2.53    | 3.20    | $-6.3710^3$ | $-5.8310^3$ | -0.04  | 2.53  | 0.67   | -3.20  |       |   |
|          | 6                      | 0.750 | 0.44   | 0.055  | 0.0573  | $2.3 \cdot 10^3$ | 4.64    | 5.86    | 0.146       | 0.134       | 0.92   | 7.17  | 1.89   | -9.06  |       |   |
|          | 5                      | 0.625 | 0.62   | 0.12   | 0.1230  | $3 \cdot 10^3$   | 6.54    | 8.26    | 0.191       | 0.175       | 1.21   | 13.71 | 3.61   | -17.32 |       |   |
|          | 4                      | 0.500 | 0.75   | 0.23   | 0.2083  | $-0.0217$        | 7.91    | 9.99    | -1.38       | -1.267      | -8.75  | 21.62 | 5.69   | -27.31 |       |   |
|          | 3                      | 0.375 | 0.86   | 0.34   | 0.3092  | $-0.030$         | 9.07    | 11.46   | -1.96       | -1.79       | -12.42 | 30.69 | 8.08   | -38.77 |       |   |
|          | 2                      | 0.250 | 0.94   | 0.42   | 0.4218  | $1.8 \cdot 10^3$ | 9.91    | 12.53   | 0.114       | 0.105       | 0.726  | 40.6  | 10.7   | -51.30 |       |   |
|          | 1                      | 0.125 | 0.99   | 0.54   | 0.5483  | $8.3 \cdot 10^3$ | 10.44   | 13.19   | 0.520       | 0.484       | 3.34   | 57.04 | 13.45  | -64.49 |       |   |
| $R_{DC}$ | 0.00                   | 1     | 0.66   | 0.670  | $-0.01$ | 10.55            | 13.33   | 0.637   | 0.584       | 4.03        | 61.59  | 16.23 | -77.82 |        |       |   |

|                                | ETAGE                          | $\xi$ | $\phi$ | $\psi$ | A     | A- $\psi$           | M <sub>1</sub> | M <sub>2</sub> | M <sub>3</sub>       | M <sub>4</sub>       | $\pi_1$ | $\pi_2$ | $\pi_3$ | N <sub>1</sub> | N <sub>2</sub> | N <sub>3</sub> | N <sub>4</sub> |
|--------------------------------|--------------------------------|-------|--------|--------|-------|---------------------|----------------|----------------|----------------------|----------------------|---------|---------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                                | VL2<br>H <sub>0</sub> = 79.2 t | T     | 1      | 0      | 0     | 0                   | 0              | 0              | 0                    | 0                    | 0,0     | 0       | 0       | 0              | 0              | 0              | 0              |
| 7.                             |                                | 0.875 | 0.24   | 0.015  | 0.014 | -1.10 <sup>-4</sup> | -0.14          | -50,4          | -4.10 <sup>-4</sup>  | 0,0                  | 7.07    | 5.53    | 1.61    | 7.07           | -1.54          | -3.91          | -1,61          |
| 6.                             |                                | 0.750 | 0.44   | 0.055  | 0.057 | 2,310 <sup>-3</sup> | 3,23           | 0,82           | 0,01                 | 0,0                  | 12.47   | 10.14   | 2.96    | 20.04          | -4.37          | -11.1          | -4,58          |
| 5                              |                                | 0.625 | 0.62   | 0.12   | 0.123 | 3.10 <sup>-3</sup>  | 4,22           | 1,08           | 0,01                 | 0,0                  | 18.28   | 14.29   | 4.17    | 38.32          | -8.36          | -21.2          | -8,78          |
| 4.                             |                                | 0.500 | 0.75   | 0.23   | 0.208 | -0.021              | -30,53         | -7,81          | -0,09                | 0,016                | 22.11   | 17.29   | 5.05    | 60.43          | -13.18         | -33.4          | -13,85         |
| 3.                             |                                | 0.375 | 0.86   | 0.34   | 0.309 | -0.030              | -43,34         | -11,1          | -0,14                | -0,02                | 25.36   | 19.83   | 5.79    | 85.79          | -18.7          | -47.4          | -19,66         |
| 2                              |                                | 0.250 | 0.94   | 0.42   | 0.421 | 1,810 <sup>-3</sup> | 2,53           | 0,64           | 0,008                | 0,00                 | 27.72   | 21.67   | 6.33    | 113.51         | -24.7          | -62.8          | -26,0          |
| 1                              |                                | 0.125 | 0.99   | 0.54   | 0.542 | 8,310 <sup>-3</sup> | 11,68          | 2,9            | 0,037                | 0,00                 | 29.19   | 22.83   | 6.67    | 142.7          | -31.12         | -79            | -32,6          |
| RDC                            |                                | 0.00  | 1      | 0.66   | 0.670 | 0.01                | 14,07          | 3,60           | 0,0456               | 0,00                 | 29.49   | 23.06   | 6.74    | 172.2          | -37.5          | -95.3          | -39,45         |
| VL7<br>H <sub>0</sub> = 79,4 t | T                              | 1     | 0      | 0      | 0     | 0                   | 0              | 0              | 0                    | 0                    | 0       | 0       | 0       | 0              | 0              | 0              | 0              |
|                                | 7                              | 0.875 | 0.24   | 0.015  | 0.014 | -10 <sup>-4</sup>   | -0.141         | -0.03          | -4,710 <sup>-4</sup> | -7,510 <sup>-5</sup> | 7.09    | 5.54    | 1.62    | 7.09           | -1.55          | -3.9           | -1.62          |
|                                | 6                              | 0.750 | 0.44   | 0.055  | 0.057 | 2,310 <sup>-3</sup> | 3.24           | 0.83           | 0.011                | 1,710 <sup>-3</sup>  | 13.01   | 10.17   | 2.97    | 20.10          | -4.39          | -11.1          | -4.59          |
|                                | 5                              | 0.625 | 0.62   | 0.12   | 0.123 | 3.10 <sup>-3</sup>  | 4.23           | 1.08           | 0.014                | 2.210 <sup>-3</sup>  | 18.33   | 14.33   | 4.19    | 38.43          | -8.39          | -21.2          | -8.78          |
|                                | 4.                             | 0.500 | 0.75   | 0.23   | 0.208 | -0.021              | -30.64         | -7.83          | -0.103               | -0.016               | 22.17   | 17.34   | 5.07    | 60.6           | -13.2          | -33.5          | -13.85         |
|                                | 3.                             | 0.375 | 0.86   | 0.34   | 0.309 | -0.03               | -43.49         | -11.12         | -0.146               | -0.023               | 25.43   | 19.88   | 5.81    | 86.03          | -18.7          | -47.6          | -19.66         |
|                                | 2                              | 0.250 | 0.94   | 0.42   | 0.421 | 1,810 <sup>-3</sup> | 2.541          | 0.65           | 8,510 <sup>-3</sup>  | 1.3510 <sup>-3</sup> | 27.79   | 21.73   | 6.35    | 113.8          | -24.8          | -62.9          | -26.01         |
|                                | 1                              | 0.125 | 0.99   | 0.54   | 0.542 | 8,310 <sup>-3</sup> | 11.72          | 2.99           | 0.039                | 6.2210 <sup>-3</sup> | 29.27   | 22.88   | 6.69    | 143.1          | -31.2          | -79.1          | -32.7          |
|                                | RDC                            | 0.00  | 1      | 0.66   | 0.670 | 0.01                | 14.12          | 3.61           | 0.045                | 7.510 <sup>-3</sup>  | 29.57   | 23.12   | 6.76    | 172.6          | -37.6          | -95.5          | -39.46         |

TABCEAUX RECAPITULATIF : Notation:  $\frac{1}{3}(1-\xi)^2(2+\xi) = A$

|     | EMAGE | $\xi$          | $\phi$ | $\pi$ | A      | $\psi$ | $\frac{2mc}{I} \cdot \psi = B$ | $\Delta = A - B$ | $M_1$  | $M_2$  | $N = \sum \pi$ | Equilibre  |
|-----|-------|----------------|--------|-------|--------|--------|--------------------------------|------------------|--------|--------|----------------|--|
| VL6 |       | $H_0 = 96.65t$ |        |       |        |        |                                |                  |        |        |                |  |
|     | T     | 1              | 0      | 0     | 0      | 0      | 0                              | 0                | 0      | 0      | 0              | $M_1 + M_2 + 2NC = 1568.47 \text{ tm}$<br>$M_{ex} = 1535.52 \text{ tm}$ (2%) |
|     | 7     | 0.875          | 0.24   | 7.92  | 0.0149 | 0.015  | 0.012                          | 0.0029           | 2.385  | 3.89   | 7.92           |  |
|     | 6     | 0.750          | 0.44   | 14.52 | 0.0573 | 0.055  | 0.043                          | 0.0143           | 11.76  | 19.19  | 22.44          |  |
|     | 5     | 0.625          | 0.62   | 20.46 | 0.1230 | 0.120  | 0.095                          | 0.028            | 23.03  | 37.58  | 47.90          |  |
|     | 4     | 0.500          | 0.75   | 24.75 | 0.2083 | 0.230  | 0.183                          | 0.0253           | 20.81  | 33.96  | 67.65          |  |
|     | 3     | 0.375          | 0.86   | 28.38 | 0.3092 | 0.340  | 0.270                          | 0.0392           | 32.25  | 52.61  | 96.03          |  |
|     | 2     | 0.250          | 0.94   | 31.03 | 0.4218 | 0.420  | 0.334                          | 0.0878           | 72.23  | 117.85 | 127.06         |  |
|     | 1     | 0.125          | 0.99   | 32.68 | 0.5423 | 0.540  | 0.430                          | 0.1123           | 92.38  | 150.73 | 159.74         |  |
|     | RDC   | 0.00           | 1.00   | 33.01 | 0.670  | 0.66   | 0.526                          | 0.144            | 118.46 | 193.28 | 192.75         |  |
|     |       |                |        |       |        |        |                                |                  |        |        |                |  |
| VL3 |       | $H_0 = 100.4t$ |        |       |        |        |                                |                  |        |        |                |  |
|     | T     | 1              | 0      | 0     | 0      | 0      | 0                              | 0                | 0      | 0      | 0              | $M_1 + M_2 + 2NC = 1632.27 \text{ tm}$<br>$M_{ext} = 1594.32$ (2%)           |
|     | 7     | 0.875          | 0.24   | 8.24  | 0.0149 | 0.015  | 0.012                          | 0.0029           | 2.47   | 4.04   | 8.24           |  |
|     | 6     | 0.750          | 0.44   | 15.12 | 0.0573 | 0.055  | 0.043                          | 0.0143           | 12.22  | 19.94  | 23.36          |  |
|     | 5     | 0.625          | 0.62   | 21.31 | 0.1230 | 0.12   | 0.095                          | 0.028            | 23.92  | 39.04  | 44.67          |  |
|     | 4     | 0.500          | 0.75   | 25.77 | 0.2083 | 0.23   | 0.183                          | 0.0253           | 21.62  | 35.27  | 70.44          |  |
|     | 3     | 0.375          | 0.86   | 29.55 | 0.3092 | 0.34   | 0.270                          | 0.0392           | 33.58  | 54.65  | 99.99          |  |
|     | 2     | 0.250          | 0.94   | 32.30 | 0.4218 | 0.42   | 0.334                          | 0.0878           | 75.03  | 122.42 | 132.29         |  |
|     | 1     | 0.125          | 0.99   | 34.02 | 0.5423 | 0.54   | 0.430                          | 0.1123           | 95.97  | 156.58 | 166.31         |  |
|     | RDC   | 0.00           | 1      | 34.37 | 0.670  | 0.66   | 0.526                          | 0.144            | 123.06 | 200.78 | 200.68         |  |
|     |       |                |        |       |        |        |                                |                  |        |        |                |  |

| VT2<br>$H_0 = 1483t$ | ETAGE    | $\xi$ | $\phi$ | $\pi$ | A      | $\psi$ | $\frac{2ms}{T} \psi = B$ | $\Delta = A - B$   | $M_1$  | $M_2$  | $N = \Sigma \pi$ | Equation  |
|----------------------|----------|-------|--------|-------|--------|--------|--------------------------|--------------------|--------|--------|------------------|---|
|                      | T        | 1     | 0.0    | 0.0   | 0.0    | 0.0    | 0.00                     | 0.00               | 0.0    | 0.0    | 0                | $M_1 + M_2 + 2NC = 2619 \text{ tm}$<br>$M_{ext} = 2352 \text{ tm} \quad (10\%)$ |
|                      | 7        | 0.875 | 0.24   | 15.16 | 0.0149 | 0.015  | 0.0119                   | $3 \cdot 10^3$     | 5.96   | 3.97   | 15.16            |   |
|                      | 6        | 0.750 | 0.44   | 27.79 | 0.0573 | 0.055  | 0.0437                   | $13.6 \cdot 10^3$  | 27.05  | 18.03  | 42.95            |   |
|                      | 5        | 0.625 | 0.62   | 39.17 | 0.1230 | 0.12   | 0.0954                   | $27.6 \cdot 10^3$  | 54.89  | 36.59  | 82.12            |   |
|                      | 4        | 0.500 | 0.75   | 47.38 | 0.2083 | 0.23   | 0.1828                   | $25.5 \cdot 10^3$  | 50.72  | 33.81  | 129.50           |   |
|                      | 3        | 0.375 | 0.86   | 54.33 | 0.3092 | 0.34   | 0.270                    | $39.2 \cdot 10^3$  | 77.97  | 51.98  | 183.83           |   |
|                      | 2        | 0.250 | 0.94   | 59.39 | 0.4218 | 0.42   | 0.3339                   | $87.9 \cdot 10^3$  | 174.84 | 116.56 | 243.22           |   |
|                      | 1        | 0.125 | 0.99   | 62.54 | 0.5423 | 0.54   | 0.4293                   | $113 \cdot 10^3$   | 224.77 | 149.84 | 305.76           |   |
|                      | $R_{DC}$ | 0.00  | 1.00   | 63.18 | 0.670  | 0.66   | 0.5247                   | $145.3 \cdot 10^3$ | 289.01 | 192.67 | 368.94           |   |

**CALCUL  
DES  
DEFORMATIONS**



# CALCUL DES DEFORMATIONS

## Introduction:

Le bâtiment étant contreventé par voiles, une vérification de la stabilité vis à vis des forces sismiques (horizontales) est nécessaire. Ces forces sismiques engendrent des déformations horizontales qui risquent de déstabiliser l'ouvrage.

A partir des forces sismiques agissant à chaque niveau, le calcul des déformations élastiques est fait conformément au règlement (R.P.A art. 3.3.7.1) Les déplacements relatifs dans le plan horizontal sont déterminés à l'aide de la formule suivante:

$$\Delta_{rel} = \frac{X_i - X_{i-1}}{2B}$$

$\frac{1}{2B}$  devant être supérieur à 1, pour tenir compte de la ductilité de la structure.

$$X_j = [S] \cdot [F_j]$$

$[S]$ : matrice de souplesse.

$F_j$ : Force sismique appliquée à chaque niveau (pour un voile).

Le déplacement admissible est donné par:

$$\bar{\Delta} = 0,0075 h \quad h = 2,80 \text{ m}$$

$$\bar{\Delta} = 0,021 \text{ m} = 2,1 \text{ cm}$$

la flèche au niveau "i" sera:

$$X_i = \frac{1}{EI} \sum_{j=1}^i S_{ij} F_j$$

$I$ : inertie du voile étudié

$$E = 21000 \sqrt{1,2528} = 3,78 \cdot 10^6 \text{ t/m}^2$$

TABLEAU RÉCAPITULATIF

| Voie<br>↓ NIVEAU | VL 1                 |                               | VL 2                 |                               | VL 3                 |                               | VL 4                 |                               |
|------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------------|
|                  | $X_i$ (m)            | $\Delta_{rel}$ ( $10^{-4}$ m) | $X_i$ ( $10^{-4}$ m) | $\Delta_{rel}$ ( $10^{-4}$ m) | $X_i$ ( $10^{-4}$ m) | $\Delta_{rel}$ ( $10^{-4}$ m) | $X_i$ ( $10^{-4}$ m) | $\Delta_{rel}$ ( $10^{-4}$ m) |
| RDC              | 0                    | 0                             | 0                    | 0                             | 0                    | 0                             | 0                    | 0                             |
| 1                | $7.48 \cdot 10^5$    | 1.12                          | 0.51                 | 0.76                          | 0.63                 | 0.95                          | 0.61                 | 0.91                          |
| 2                | $2.81 \cdot 10^4$    | 3.09                          | 2.59                 | 3.13                          | 1.55                 | 1.37                          | 2.28                 | 2.86                          |
| 3                | $5.90 \cdot 10^4$    | 4.63                          | 5.49                 | 4.30                          | 5.00                 | 5.17                          | 5.63                 | 5.02                          |
| 4                | $9.78 \cdot 10^4$    | 5.82                          | 9.05                 | 5.38                          | 8.39                 | 5.08                          | 7.95                 | 3.48                          |
| 5                | $1.42 \cdot 10^3$    | 6.60                          | 13.00                | 5.90                          | 12.00                | 5.40                          | 10.70                | 4.10                          |
| 6                | $1.89 \cdot 10^3$    | 7.00                          | 17.60                | 6.90                          | 16.10                | 6.10                          | 15.40                | 7.00                          |
| 7                | $2.39 \cdot 10^3$    | 5.00                          | 22.20                | 6.90                          | 20.30                | 6.30                          | 19.50                | 6.10                          |
| T                | $2.90 \cdot 10^3$    | 7.6                           | 26.80                | 6.90                          | 24.60                | 6.40                          | 23.60                | 6.20                          |
| Voie<br>↓ NIVEAU | VL 5                 |                               | VL 6                 |                               | VL 7                 |                               | VL 8                 |                               |
|                  | $X_i$ ( $10^{-4}$ m) | $\Delta_{rel}$ ( $10^{-4}$ m) | $X_i$ ( $10^{-4}$ m) | $\Delta_{rel}$ ( $10^{-4}$ m) | $X_i$ ( $10^{-4}$ m) | $\Delta_{rel}$ ( $10^{-4}$ m) | $X_i$ ( $10^{-4}$ m) | $\Delta_{rel}$ ( $10^{-4}$ m) |
| RDC              | 0                    | 0                             | 0                    | 0                             | 0                    | 0                             | 0                    | 0                             |
| 1                | 0.33                 | 0.50                          | 0.34                 | 0.51                          | 0.39                 | 0.58                          | 0.42                 | 0.63                          |
| 2                | 1.66                 | 1.99                          | 1.23                 | 1.34                          | 1.39                 | 1.50                          | 1.5                  | 1.62                          |
| 3                | 2.41                 | 1.12                          | 2.75                 | 2.28                          | 2.80                 | 2.11                          | 3.02                 | 2.28                          |
| 4                | 3.84                 | 2.14                          | 3.96                 | 1.81                          | 4.47                 | 2.50                          | 4.83                 | 2.71                          |
| 5                | 5.40                 | 2.34                          | 5.57                 | 2.41                          | 6.30                 | 2.74                          | 6.80                 | 2.95                          |
| 6                | 7.03                 | 2.44                          | 7.25                 | 2.52                          | 8.19                 | 2.83                          | 8.85                 | 3.07                          |
| 7                | 8.68                 | 2.47                          | 10.10                | 4.30                          | 10.10                | 2.90                          | 10.90                | 3.10                          |
| T                | 10.30                | 2.40                          | 10.6                 | 0.80                          | 12.00                | 2.90                          | 13.00                | 3.20                          |

| voiles   |  | VT1                |                             | VT2                |                             | VT3                |                             | VT4                |                             |
|----------|--|--------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|
| niv ↓    |  | $X_i \cdot 10^4 m$ | $\Delta_{rel} \cdot 10^4 m$ | $X_i \cdot 10^4 m$ | $\Delta_{rel} \cdot 10^4 m$ | $X_i \cdot 10^4 m$ | $\Delta_{rel} \cdot 10^4 m$ | $X_i \cdot 10^4 m$ | $\Delta_{rel} \cdot 10^4 m$ |
| $R_{DC}$ |  | 0                  | 0                           | 0                  | 0                           | 0                  | 0                           | 0                  | 0                           |
| 1        |  | 0.59               | 0.89                        | 1.29               | 1.93                        | 0.84               | 1.26                        | 0.45               | 0.67                        |
| 2        |  | 6.56               | 9.00                        | 4.85               | 5.34                        | 3.15               | 3.47                        | 1.83               | 2.07                        |
| 3        |  | 13.80              | 10.90                       | 10.10              | 7.90                        | 6.60               | 5.17                        | 3.55               | 2.58                        |
| 4        |  | 22.90              | 13.60                       | 14.80              | 7.10                        | 10.90              | 6.50                        | 5.89               | 3.51                        |
| 5        |  | 33.20              | 15.50                       | 24.50              | 14.5                        | 15.80              | 7.40                        | 8.57               | 4.02                        |
| 6        |  | 44.4               | 16.80                       | 32.80              | 12.4                        | 21.20              | 8.10                        | 11.50              | 4.40                        |
| 7        |  | 56.00              | 17.40                       | 41.40              | 12.9                        | 26.80              | 8.40                        | 14.50              | 4.50                        |
| T        |  | 67.80              | 17.70                       | 50.10              | 13.10                       | 32.40              | 8.40                        | 17.60              | 4.70                        |

| voile    | VT5                | VT6                         | VT7 | VT8 |
|----------|--------------------|-----------------------------|-----|-----|
| niv ↓    | $X_i \cdot 10^5 m$ | $\Delta_{rel} \cdot 10^5 m$ |     |     |
| $R_{DC}$ | 0                  | 0                           |     |     |
| 1        | -0.52              | -0.78                       |     |     |
| 2        | -1.99              | -2.21                       |     |     |
| 3        | -3.88              | -2.84                       |     |     |
| 4        | -6.83              | -4.43                       |     |     |
| 5        | -10.20             | -5.10                       |     |     |
| 6        | -13.70             | -5.20                       |     |     |
| 7        | -17.40             | -5.60                       |     |     |
| T        | -21.10             | -5.60                       |     |     |

- Tous les déplacements relatifs (à chaque niveau et de chaque voile) sont inférieurs au déplacement admissible  $\bar{\Delta} = 2.1 \text{ cm}$ .

**FERRAILLAGE  
DES  
VOILES**

# FERRAILLAGE DES VOILES

## 1 INTRODUCTION:

Le ferrailage des voiles sera calculé à partir de la combinaison des sollicitations dues aux charges verticales et horizontales sous l'action des forces verticales (charges permanentes, et surcharges) et des forces horizontales (séisme, vent). Le voile est sollicité en flexion composée, il doit être dimensionné pour les combinaisons de charges sur la base des règlements (RPA 81).

$$G + P \pm E \quad (\text{art. 3.3.2 RPA})$$

$$0.8G \pm E$$

## 2. PRESCRIPTIONS RELATIVES AU FERRAILLAGE:

Le ferrailage des voiles est composé de trois types d'armatures: armatures verticales, armatures horizontales, armatures transversales.

### Pourcentages minimums:

des pourcentages minimums sont donnés par les diverses réglementations définies par le (R.P.A). Le pourcentage minimum des armatures longitudinales est de 0,15% pour les zones tendues (R.P.A art. 4.3.3).

### Ferrailage horizontal:

Selon le R.P.A (art 4.3.3.1), des armatures horizontales résistantes à l'effort tranchant doivent être calculées par la formule suivante:

$$\bar{\omega}_t = \frac{\tau - B}{\sigma_{su}} \cdot 100 \quad \text{avec } \tau = 1,4 \frac{T}{b \cdot z}$$

T: effort tranchant de calcul.

des pourcentages minimums sont (art. 4.3.3.2)

$$\bar{\omega}_h = \begin{cases} 0,15\% & \text{si } \tau_b \leq 0,025 \sigma'_{28} \\ 0,25\% & \text{si } 0,025 \sigma'_{28} < \tau_b \leq 0,12 \sigma'_{28} \end{cases} \quad \begin{matrix} (\text{ds chaque}) \\ (\text{direction}) \end{matrix}$$

- Le diamètre des barres horizontales et verticales des voiles (à l'exception des zones d'abouts) ne doivent pas dépasser le dixième (1/10) de l'épaisseur du voile

$$\phi \leq \frac{1}{10} \cdot e = \frac{20}{10} = 2 \text{ cm} \quad (\text{art. 4.3.3.6 RPA})$$

- Les barres horizontales doivent être munies de crochets à 135° ayant une longueur de  $10\phi$ .
- Les barres verticales du dernier niveau doivent être munies de crochets à la partie supérieure - Pour les autres niveaux la jonction est assurée par recouvrement (art. 4.3.3.10 R.P.A).
- Pour les zones extrêmes des voiles, les barres verticales doivent être ligaturées avec des cadres horizontaux pour former un poteau incorporé à l'extrémité du voile.

### Ferraillage des voiles:

Vu la hauteur du bâtiment, et le nombre d'étages (07); il y a à remarquer une variation sensible des efforts suivant la hauteur du bâtiment qui sera divisée en trois (03) niveaux

Niveau I : RDC , NIV1 , NIV2

Niveau II : NIV3 , NIV4 , NIV5

Niveau III : NIV6 , NIV7

A partir des combinaisons données par le R.P.A , pour chaque niveau il faut considérer  $N_{min}$ ,  $N_{max}$ ,  $M_{max}$  le ferraillage sera calculé pour la combinaison  $(N_{min}, M_{max})$ , la vérification sera faite pour  $(N_{max}, M_{max})$

Le long des joints de reprise de coulage, la section d'acier horizontale sera augmentée de  $A_{vj}$ .

$$A_{vj} = 1,1 \frac{\bar{T}}{s_{en}} \quad \bar{T} = 1,4T$$

La section  $A_{vj}$  ainsi calculée sera répartie sur toute la longueur du voile, cette quantité d'acier joue le rôle de couture pour les armatures verticales, et ce sur la longueur de recouvrement de ces dernières (art. 4.3.3.12. RPA).

des longueurs de recouvrement sont égales à :

$50\phi$  : pour les barres situées dans la zone où le changement du signe des efforts est possible

$20\phi$  : pour les barres situées dans les zones comprimées sous l'action de toutes les combinaisons.

### Ferraillage transversal :

des deux nappes d'armatures doivent être reliées avec au moins quatre (04) épingles au mètre carré. des barres horizontales doivent être disposées vers l'extérieur. (art. 4.3.3.5 RPA).

Dispositions des ferraillages :

- d'espacement des barres horizontales et verticales est

$$s = \text{Min} \begin{cases} 1,5t \\ 30\text{cm} \end{cases} \quad (\text{art 4.3.3.4 RPA})$$

- A chaque extrémité du voile, l'espacement des barres sera réduit de moitié sur le dixième ( $1/10^e$ ) de la longueur du voile (art. 4.3.3.7 RPA).

| Voile           | NIV.<br>COMB. | T     | 7    | 6    | 5     | 4     | 3     | 2     | 1     | RDC   |
|-----------------|---------------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| VT1             | G             | 23.8  | 51.5 | 79.2 | 106.9 | 134.6 | 162.3 | 190   | 217.7 | 245.4 |
|                 | P             | 1.6   | 4.5  | 7.4  | 10.3  | 13.2  | 16.1  | 19    | 21.9  | 24.8  |
|                 | G+P           | 25.4  | 56.0 | 86.6 | 117.2 | 147.8 | 178.4 | 209   | 239.6 | 270.2 |
|                 | 0.8G          | 19.04 | 41.2 | 63.4 | 85.5  | 107.7 | 129.8 | 152   | 174.2 | 196.3 |
| VT4             | G             | 3.9   | 7.7  | 11.5 | 15.3  | 19.1  | 22.9  | 26.7  | 30.5  | 34.3  |
|                 | P             | 0.5   | 1    | 1.5  | 2.0   | 2.5   | 3.0   | 3.5   | 4.0   | 4.5   |
|                 | G+P           | 4.4   | 8.7  | 13.0 | 17.3  | 21.6  | 25.9  | 30.2  | 34.5  | 38.8  |
|                 | 0.8G          | 3.1   | 6.1  | 9.2  | 12.2  | 15.3  | 18.3  | 21.4  | 24.4  | 27.4  |
| VT5 VT6 VT7 VT8 | G             | 6.1   | 13.2 | 20.3 | 27.4  | 34.5  | 41.6  | 48.7  | 55.8  | 62.9  |
|                 | P             | 0.8   | 1.7  | 2.6  | 3.5   | 4.4   | 5.3   | 6.2   | 7.1   | 8.0   |
|                 | G+P           | 6.9   | 14.9 | 22.9 | 30.9  | 38.9  | 46.9  | 54.9  | 62.9  | 70.9  |
|                 | 0.8G          | 4.9   | 10.6 | 16.2 | 21.9  | 27.6  | 33.3  | 38.9  | 44.6  | 50.3  |
| VL8<br>VL1      | G             | 21.6  | 45.4 | 69.2 | 93.0  | 116.8 | 140.6 | 164.4 | 188.2 | 212   |
|                 | P             | 1.6   | 4.4  | 7.2  | 10.0  | 12.8  | 15.6  | 18.4  | 21.2  | 24    |
|                 | G+P           | 23.2  | 49.8 | 76.4 | 103   | 129.6 | 156.2 | 182.8 | 209.4 | 236   |
|                 | 0.8G          | 17.3  | 36.3 | 55.4 | 74.4  | 93.4  | 112.5 | 131.5 | 150.6 | 169.6 |
| VL5             | G             | 3.9   | 6.6  | 9.3  | 12    | 14.7  | 17.4  | 20.1  | 22.8  | 25.5  |
|                 | P             | 0.5   | 0.7  | 0.9  | 1.1   | 1.3   | 1.5   | 1.7   | 1.9   | 2.1   |
|                 | G+P           | 4.4   | 7.3  | 10.2 | 13.1  | 16.0  | 18.9  | 21.8  | 24.7  | 27.6  |
|                 | 0.8G          | 3.1   | 5.3  | 7.4  | 9.6   | 11.8  | 13.9  | 16.1  | 18.2  | 20.4  |



| VL3       | NIVEAU →  | T    | 7    | 6    | 5     | 4     | 3     | 2     | 1     | RDC   |
|-----------|-----------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TRUMEAU ① | G         | 16.6 | 32.5 | 49.5 | 66.5  | 83.5  | 100.5 | 117.5 | 134.5 | 150   |
|           | P         | 1.6  | 4.6  | 7.6  | 10.6  | 13.6  | 16.6  | 18.9  | 21.2  | 23.6  |
|           | E         | 0    | 8.2  | 23.3 | 44.7  | 70.4  | 100   | 132.3 | 166.3 | 200.7 |
|           | G + P + E | 18.2 | 45.3 | 80.4 | 121.8 | 167.5 | 217.1 | 268.7 | 322   | 374.3 |
|           | G + P - E | 18.2 | 28.9 | 33.8 | 32.4  | 26.7  | 17.1  | 4.1   | -10.6 | -27.1 |
|           | 0.8G + E  | 13.3 | 34.2 | 62.9 | 97.9  | 137.2 | 180.4 | 226.3 | 273.9 | 320.7 |
|           | 0.8G - E  | 13.3 | 17.8 | 16.3 | 8.5   | -3.6  | -19.6 | -38.3 | -58.7 | -80.7 |
| TRUMEAU ② | G         | 19.3 | 37.8 | 57.6 | 77.4  | 97.2  | 117   | 136.8 | 156.6 | 174.6 |
|           | P         | 1.8  | 4.7  | 8.2  | 11.7  | 15.2  | 18.7  | 22.2  | 25.7  | 29.5  |
|           | E         | 0    | 8.2  | 23.3 | 44.7  | 70.4  | 100   | 132.3 | 166.3 | 200.7 |
|           | G + P + E | 21.1 | 50.7 | 89.1 | 133.8 | 182.8 | 235.7 | 291.3 | 348.6 | 403.8 |
|           | G + P - E | 21.1 | 34.3 | 42.5 | 44.4  | 42    | 35.7  | 26.7  | 16    | 2.4   |
|           | 0.8G + E  | 15.4 | 38.4 | 49.4 | 106.6 | 148.1 | 193.6 | 241.7 | 291.6 | 340.4 |
|           | 0.8G - E  | 15.4 | 22   | 22.8 | 17.2  | 7.3   | -6.4  | -22.8 | -41   | -61   |

| VT3       | NIVEAUX → | T    | 7     | 6     | 5     | 4     | 3      | 2      | 1      | RDC    |
|-----------|-----------|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| TRUMEAU ① | G         | 15.5 | 33.1  | 50.7  | 68.3  | 85.9  | 103.5  | 121    | 138.6  | 156.2  |
|           | P         | 1.3  | 3.6   | 5.9   | 8.2   | 10.5  | 12.8   | 15.1   | 17.4   | 19.7   |
|           | E         | 0    | 10.8  | 30.8  | 58.8  | 92.8  | 131.7  | 174.2  | 219    | 264.3  |
|           | G + P + E | 16.8 | 47.5  | 87.4  | 135.3 | 189.2 | 248    | 310.3  | 375    | 440.2  |
|           | G + P - E | 16.8 | 25.9  | 25.8  | 17.7  | 3.6   | -15.4  | -38.1  | -63    | -88.4  |
|           | 0.8G + E  | 12.4 | 37.3  | 71.3  | 113.4 | 161.5 | 214.5  | 271    | 329.9  | 389.2  |
|           | 0.8G - E  | 12.4 | 15.6  | 9.7   | -4.1  | -24.1 | -48.9  | -77.4  | -108.1 | -139.3 |
| TRUMEAU ② | G         | 12   | 25.7  | 39.4  | 53.1  | 66.8  | 80.5   | 94.2   | 107.9  | 121.6  |
|           | P         | 1.0  | 2.8   | 4.6   | 6.4   | 8.2   | 10     | 11.8   | 13.6   | 15.4   |
|           | E         | 0    | -10.8 | -30.8 | -58.8 | -92.8 | -131.7 | -174.2 | -219   | -264.3 |
|           | G + P + E | 13.0 | 17.7  | 13.2  | 0.7   | -17.8 | -41.2  | -68.2  | -97.5  | -127.3 |
|           | G + P - E | 13.0 | 39.3  | 74.8  | 118.3 | 167.8 | 222.2  | 280.2  | 340.5  | 401.3  |
|           | 0.8G + E  | 9.6  | 9.7   | 0.7   | -16.3 | -39.3 | -67.3  | -98.8  | -132.7 | -167   |
|           | 0.8G - E  | 9.6  | 31.36 | 62.3  | 101.3 | 146.2 | 196.1  | 249.5  | 305.3  | 361.6  |

| VL6       | NIVEAUX → | T    | 7    | 6    | 5     | 4     | 3     | 2     | 1     | RDC   |
|-----------|-----------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TRUMEAU ① | G         | 15.4 | 31.7 | 49.1 | 66.5  | 83.9  | 101.3 | 118.7 | 136.1 | 151.9 |
|           | P         | 1.4  | 4    | 7.1  | 10.2  | 13.3  | 16.4  | 19.5  | 22.6  | 25.1  |
|           | E         | 0    | 7.9  | 22.4 | 42.9  | 67.6  | 96    | 127.1 | 159.7 | 192.7 |
|           | G + P + E | 16.8 | 43.6 | 78.6 | 119.6 | 164.8 | 213.7 | 265.3 | 318.4 | 369.7 |
|           | G + P - E | 16.8 | 27.8 | 33.8 | 33.8  | 29.6  | 21.7  | 11.1  | -1    | -15.7 |
|           | 0.8G + E  | 12.3 | 33.2 | 61.7 | 96.1  | 134.7 | 177   | 222   | 268.6 | 314.2 |
|           | 0.8G - E  | 12.3 | 17.4 | 16.9 | 10.3  | -0.5  | -14.9 | -32.1 | -50.8 | -71.2 |
| TRUMEAU ② | G         | 17.9 | 36.8 | 57.1 | 77.4  | 97.7  | 118   | 138.3 | 158.6 | 177   |
|           | P         | 1.6  | 4.6  | 8.2  | 11.8  | 15.4  | 19    | 22.6  | 26.2  | 29.1  |
|           | E         | 0    | 7.9  | 22.4 | 42.9  | 67.6  | 96    | 127.1 | 159.7 | 192.7 |
|           | G + P + E | 19.5 | 49.3 | 87.7 | 132.1 | 180.7 | 233   | 288   | 344.5 | 398.8 |
|           | G + P - E | 19.5 | 33.5 | 42.9 | 46.3  | 45.5  | 41    | 33.8  | 25.1  | 13.4  |
|           | 0.8G + E  | 14.3 | 37.3 | 68.1 | 104.8 | 145.7 | 190.4 | 237.7 | 286.6 | 334.3 |
|           | 0.8G - E  | 14.3 | 21.5 | 23.3 | 19    | 10.5  | -1.6  | -16.4 | -32.8 | -51.1 |

| VL4       | NIVEAUX → | T   | 7    | 6    | 5     | 4     | 3     | 2     | 1     | RDC   |
|-----------|-----------|-----|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TRUMEAU ① | G         | 3   | 6.4  | 9.8  | 13.2  | 16.6  | 20    | 23.4  | 26.8  | 30.2  |
|           | P         | 0.3 | 0.8  | 1.3  | 1.8   | 2.3   | 2.8   | 3.3   | 3.8   | 4.3   |
|           | E         | 0   | 2.5  | 7.2  | 13.7  | 21.6  | 30.7  | 40.6  | 51    | 61.6  |
|           | G + P + E | 3.3 | 7.7  | 18.3 | 28.7  | 40.5  | 53.5  | 67.3  | 81.6  | 96.1  |
|           | G + P - E | 3.3 | 4.7  | 3.9  | 1.3   | -2.7  | -7.9  | -13.9 | -20.4 | -27.1 |
|           | 0.8G + E  | 2.4 | 7.6  | 15   | 24.2  | 34.9  | 46.7  | 59.3  | 72.4  | 85.7  |
|           | 0.8G - E  | 2.4 | 2.6  | 0.6  | -3.14 | -8.3  | -14.7 | -21.9 | -29.5 | -37.4 |
| TRUMEAU ② | G         | 3.6 | 7.7  | 11.8 | 15.9  | 20    | 24.1  | 28.2  | 32.3  | 36.4  |
|           | P         | 0.3 | 0.9  | 1.5  | 2.1   | 2.7   | 3.3   | 3.9   | 4.5   | 5.1   |
|           | E         | 0   | 0.7  | 1.9  | 3.6   | 5.7   | 8.1   | 10.7  | 13.4  | 16.2  |
|           | G + P + E | 3.9 | 9.3  | 15.2 | 21.6  | 28.4  | 35.5  | 42.8  | 50.2  | 57.7  |
|           | G + P - E | 3.9 | 7.9  | 11.4 | 14.4  | 17    | 19.3  | 21.4  | 23.4  | 25.3  |
|           | 0.8G + E  | 2.9 | 6.8  | 11.3 | 16.3  | 21.7  | 27.4  | 33.8  | 39.2  | 45.3  |
|           | 0.8G - E  | 2.9 | 5.4  | 7.5  | 9.1   | 10.3  | 11.2  | 11.8  | 12.4  | 12.9  |
| TRUMEAU ③ | G         | 4.9 | 10.5 | 16.1 | 21.7  | 27.3  | 32.9  | 38.5  | 44.1  | 49.7  |
|           | P         | 0.5 | 1.3  | 2.1  | 2.9   | 3.7   | 4.5   | 5.3   | 6.1   | 6.9   |
|           | E         | 0   | -3.2 | -9.1 | -17.3 | -27.3 | -38.8 | -51.3 | -64.5 | -77.8 |
|           | G + P + E | 5.4 | 8.6  | 9.1  | 7.3   | 3.7   | -1.4  | -7.5  | -14.3 | -21.2 |
|           | G + P - E | 5.4 | 15   | 27.3 | 41.9  | 58.3  | 76.2  | 95.1  | 114.7 | 134.4 |
|           | 0.8G + E  | 3.9 | 5.2  | 3.8  | 0     | -5.4  | -12.5 | -20.5 | -29.2 | -38   |
|           | 0.8G - E  | 3.9 | 11.6 | 22   | 34.7  | 49.1  | 65.1  | 82.1  | 99.8  | 117.5 |

| VLS<br>VLS   | NIVEAUX   | T     | 7    | 6     | 5     | 4     | 3     | 2     | 1     | RDC   |
|--------------|-----------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ①<br>TRUMEAU | G         | 15.4  | 31.5 | 47.6  | 63.7  | 79.8  | 95.9  | 112   | 128.1 | 144.2 |
|              | P         | 1.5   | 4.1  | 6.7   | 9.3   | 11.9  | 14.5  | 17.1  | 19.7  | 22.3  |
|              | E         | 0     | 7.1  | 20.1  | 38.4  | 60.6  | 86    | 113.8 | 143.1 | 172.6 |
|              | G + P + E | 16.9  | 42.7 | 74.4  | 111.4 | 152.3 | 196.4 | 242.9 | 290.9 | 339.1 |
|              | G + P - E | 16.9  | 28.5 | 34.2  | 34.6  | 31.1  | 24.4  | 15.3  | 4.7   | -6.1  |
|              | 0.8G + E  | 12.32 | 32.3 | 58.2  | 89.3  | 124.4 | 162.7 | 203.4 | 245.6 | 287.9 |
|              | 0.8G - E  | 12.32 | 18.1 | 17.9  | 12.5  | 3.24  | 16.1  | -24.2 | -40.6 | -57.2 |
| ②<br>TRUMEAU | G         | 11.3  | 23.1 | 34.9  | 46.7  | 58.5  | 70.3  | 82.1  | 93.9  | 105.7 |
|              | P         | 1.1   | 3.0  | 4.9   | 6.8   | 8.7   | 10.6  | 12.5  | 14.4  | 16.3  |
|              | E         | 0     | -1.5 | -4.4  | -8.4  | -13.2 | -18.8 | -24.8 | -31.2 | -37.7 |
|              | G + P + E | 12.4  | 24.6 | 35.4  | 45.1  | 54.0  | 62.1  | 69.8  | 77.1  | 84.3  |
|              | G + P - E | 12.4  | 27.6 | 44.2  | 61.9  | 80.4  | 99.7  | 119.2 | 139.5 | 159.7 |
|              | 0.8G + E  | 9.0   | 16.9 | 23.5  | 28.9  | 33.6  | 37.4  | 46.9  | 43.9  | 46.8  |
|              | 0.8G - E  | 9.0   | 19.9 | 32.3  | 45.7  | 60.0  | 75.0  | 84.5  | 106.3 | 122.3 |
| ③<br>TRUMEAU | G         | 4.6   | 9.4  | 14.2  | 19.0  | 23.8  | 28.6  | 33.4  | 38.2  | 43    |
|              | P         | 0.4   | 1.2  | 2.0   | 2.8   | 3.6   | 4.4   | 5.2   | 6.0   | 6.8   |
|              | E         | 0     | -3.9 | -11.1 | -21.2 | -33.5 | -47.6 | -63   | -79.2 | -95.5 |
|              | G + P + E | 5.0   | 6.7  | 5.1   | 0.6   | -6.1  | -14.6 | -24.4 | -35   | -45.7 |
|              | G + P - E | 5.0   | 14.5 | 27.3  | 43.0  | 60.9  | 80.6  | 101.6 | 123.4 | 145.3 |
|              | 0.8G + E  | 3.7   | 3.6  | 0.26  | -6    | -14.4 | -24.7 | -36.3 | -48.6 | -61.1 |
|              | 0.8G - E  | 3.7   | 11.4 | 22.46 | 36.4  | 52.5  | 70.5  | 89.7  | 109.7 | 129.9 |
| ④<br>TRUMEAU | G         | 2.5   | 5.1  | 7.7   | 10.3  | 12.9  | 15.5  | 18.1  | 20.7  | 23.3  |
|              | P         | 0.2   | 0.6  | 1.0   | 1.4   | 1.8   | 2.2   | 2.6   | 3     | 3.4   |
|              | E         | 0     | -1.6 | -4.6  | -8.8  | -13.8 | -19.6 | -26   | -32.7 | -39.4 |
|              | G + P + E | 2.7   | 4.1  | 4.1   | 2.9   | 0.9   | -1.9  | -5.3  | -9    | -13   |
|              | G + P - E | 2.7   | 7.3  | 13.3  | 20.5  | 28.5  | 37.3  | 46.7  | 56.4  | 66.1  |
|              | 0.8G + E  | 2.0   | 2.5  | 1.6   | -0.6  | -3.5  | -7.2  | -11.5 | -16.1 | -20.8 |
|              | 0.8G - E  | 2.0   | 5.7  | 10.7  | 17.0  | 24.1  | 32    | 40.5  | 49.3  | 58    |

| VT2       | NIVEAUX → | T    | 7     | 6      | 5      | 4      | 3       | 2       | 1       | RDC     |
|-----------|-----------|------|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| TRUMEAU ① | G         | 16.8 | 34.5  | 52.2   | 69.9   | 87.6   | 105.3   | 123     | 140.7   | 158.4   |
|           | P         | 1.6  | 4.4   | 7.2    | 10     | 12.8   | 15.6    | 18.4    | 21.2    | 24      |
|           | E         | 0    | 13.1  | 37.1   | 70.9   | 111.9  | 158.8   | 210.1   | 264.1   | 318.7   |
|           | G + P + E | 18.4 | 52    | 96.5   | 150.8  | 212.3  | 279.7   | 351.5   | 426     | 501.1   |
|           | G + P - E | 18.4 | 25.8  | 22.3   | 9      | -11.5  | -37.9   | -68.7   | -102.2  | -136.3  |
|           | 083G + E  | 13.4 | 40.7  | 78.8   | 126.8  | 182    | 243     | 308.5   | 376.7   | 445.4   |
|           | 083G - E  | 13.4 | 14.5  | 4.7    | -15    | -41.8  | -74.5   | -111.7  | -151.5  | -192    |
| TRUMEAU ② | G         | 15.3 | 31.5  | 47.7   | 63.9   | 80.1   | 96.3    | 112.5   | 128.7   | 144.9   |
|           | P         | 1.4  | 3.9   | 6.4    | 8.9    | 11.4   | 13.9    | 16.4    | 18.9    | 21.4    |
|           | E         | 0    | -2.5  | -7.2   | 13.8   | -21.8  | -30.9   | -41     | -51.5   | -62.2   |
|           | G + P + E | 16.7 | 32.9  | 46.9   | 59     | 69.7   | 79.3    | 87.9    | 96.1    | 104.1   |
|           | G + P - E | 16.7 | 37.9  | 61.3   | 86.6   | 113.3  | 141.1   | 169.9   | 199.1   | 228.5   |
|           | 083G + E  | 12.2 | 22.7  | 31     | 37.3   | 42.3   | 46.1    | 49      | 51.4    | 53.7    |
|           | 083G - E  | 12.2 | 27.7  | 45.3   | 64.9   | 85.9   | 107.9   | 131     | 154.4   | 178.1   |
| TRUMEAU ③ | G         | 24.8 | 5.1   | 7.72   | 10.34  | 12.96  | 15.58   | 18.2    | 20.82   | 23.44   |
|           | P         | 0,23 | 0.64  | 1.05   | 1.46   | 1.87   | 2.28    | 2.69    | 3.1     | 3.51    |
|           | E         | 0    | -10.5 | -29.9  | -57.1  | -90    | -127.8  | -169.1  | -212.6  | -256.5  |
|           | G + P + E | 27.1 | -4.76 | -21.13 | -45.3  | -75.17 | -109.94 | -148.2  | -188.68 | -229.55 |
|           | G + P - E | 27.1 | 16.24 | 38.67  | 68.9   | 104.83 | 145.66  | 190     | 236.52  | 283.45  |
|           | 083G + E  | 19.8 | -6.42 | -23.72 | -48.82 | -79.63 | -115.33 | -154.54 | -195.94 | -237.74 |
|           | 083G - E  | 19.8 | 14.58 | 36.07  | 65.37  | 100.36 | 140.26  | 183.66  | 229.25  | 275.25  |

71

| VT2       | NIVEAUX   | T    | 7      | 6      | 5      | 4      | 3      | 2      | 1      | RDC     |
|-----------|-----------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| TRUMEAU 1 | G         | 16,8 | 34,5   | 52,2   | 69,9   | 87,6   | 105,3  | 123,0  | 140,7  | 158,4   |
|           | P         | 1,6  | 4,4    | 7,2    | 10,0   | 12,8   | 15,6   | 18,4   | 21,2   | 24,0    |
|           | E         | 0    | 15,16  | 42,95  | 82,12  | 129,5  | 183,83 | 243,2  | 305,76 | 368,94  |
|           | G + P + E | 18,4 | 54,1   | 102,3  | 162,0  | 229,9  | 304,7  | 384,6  | 467,6  | 551,3   |
|           | G + P - E | 18,4 | 23,7   | 16,4   | -2,22  | -29,1  | -62,9  | -101,8 | -143,8 | -186,5  |
|           | 0.8G + E  | 13,4 | 42,76  | 84,7   | 138,0  | 199,6  | 268,1  | 341,6  | 418,3  | 495,6   |
|           | 0.8G - E  | 13,4 | 12,4   | -1,2   | -26,2  | -59,4  | -99,6  | -144,8 | -193,2 | -242,2  |
| TRUMEAU 2 | G         | 15,6 | 32,1   | 48,6   | 65,1   | 81,6   | 98,1   | 114,6  | 131,1  | 147,6   |
|           | P         | 1,5  | 3,8    | 6,1    | 8,4    | 10,7   | 13,0   | 15,3   | 17,6   | 19,9    |
|           | E         | 0    | -15,16 | -42,95 | -82,12 | -129,5 | -183,8 | -243,2 | -305,7 | -368,94 |
|           | G + P + E | 17,1 | 20,7   | 11,7   | -8,62  | -37,2  | -72,7  | -113,3 | -157,1 | -201,4  |
|           | G + P - E | 17,1 | 51,1   | 97,6   | 155,6  | 221,8  | 294,9  | 373,1  | 454,4  | 536,4   |
|           | 0.8G + E  | 12,5 | 10,5   | -4,1   | -30    | -58,2  | -105,3 | -151,5 | -200,9 | -250,8  |
|           | 0.8G - E  | 12,5 | 40,8   | 81,8   | 134,2  | 194,8  | 262,3  | 334,9  | 410,6  | 487,0   |
| POTEAU    | G         | 2,5  | 5,1    | 7,7    | 10,3   | 12,9   | 15,5   | 18,1   | 20,7   | 23,3    |
|           | P         | 0,2  | 0,6    | 1,0    | 1,4    | 1,8    | 2,2    | 2,6    | 3,0    | 3,4     |
|           | G + P     | 2,7  | 5,7    | 8,7    | 11,7   | 14,7   | 17,7   | 20,7   | 23,7   | 26,7    |
|           | 0.8G      | 2,0  | 4,1    | 6,2    | 8,2    | 10,3   | 12,4   | 14,5   | 16,6   | 18,6    |

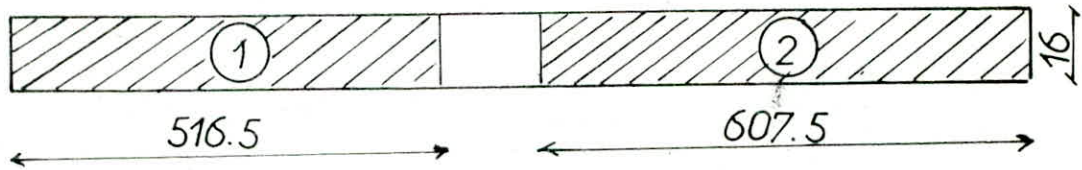
N.B. la valeur de G et P pour chaque trumeau est calculée à partir de la formule :

$$V_i = V \cdot \frac{l_i}{L}$$

$l_i$  : longueur du trumeau augmentée de la demi ouverture

$L$  : longueur totale du voile

## EXEMPLE DE CALCUL : voiles VL3 - VL6



TRUMEAU 1 :  
 - NIVEAUX I (RDC; 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> étage) :  $N_{min} = -80,7t$   $M_{max} = 123,06 tm$   
 $N_{max} = 374,3t$

### Ferraillage Vertical :

$$N_{min} = -80,7t \quad M_{max} = 123,06 tm.$$

$$\text{éxcentricité : } e_0 = \frac{M}{N} = \frac{123,06}{80,7} = 1,52m = 152 cm.$$

l'effort  $N_{min}$  est un effort de traction, il faut comparer  $e_0$  à  $\frac{z}{2} = \frac{1}{2}[h_t - 2d] = \frac{1}{2}[516,5 - 2 \times 52] = 412,5 cm/2$

$$h_t = 516,5 cm; \quad d = 51,65 \approx 52 cm; \quad h = h_t - d = 464,5 cm.$$

$$\frac{z}{2} = 206,25 cm > e_0$$

$e_0 < z/2$  l'effort  $N$  passe entre les traces des armatures la section est entièrement tendue (S.E.T).

$$z = l_1 + l_2 = 412,5 cm$$

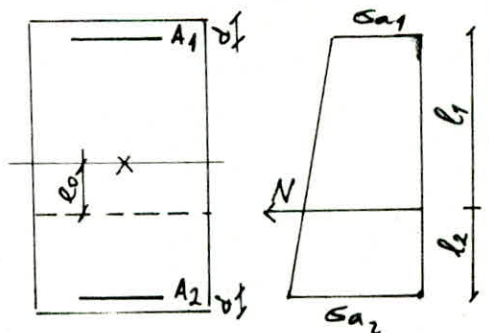
$$l_1 = e_0 + z/2 = 358,25 cm$$

$$l_2 = z - l_1 = 54,25 cm$$

$$A_1 = \frac{N \cdot l_1}{z \cdot \sigma_{en}} \quad A_2 = \frac{N \cdot l_2}{z \cdot \sigma_{en}}$$

le ferraillage sera fait avec la section  $A_1$  ( $l_1 > l_2$ ).

$$A_T = A_1 = \frac{80,7 \cdot 10^3 \cdot 358,25}{412,5 \times 4200} = 16,68 cm^2$$





Calcul des armatures minimale:  $A_{min} = \frac{0,5}{100} \cdot b h_f = 33 \text{ cm}^2$   
 $A_{min} = 33 \text{ cm}^2$

le ferrailage sera symétrique:  $A_1 = A_2 = \frac{A_{min}}{2} = 16,5 \text{ cm}^2$

choix de la section:

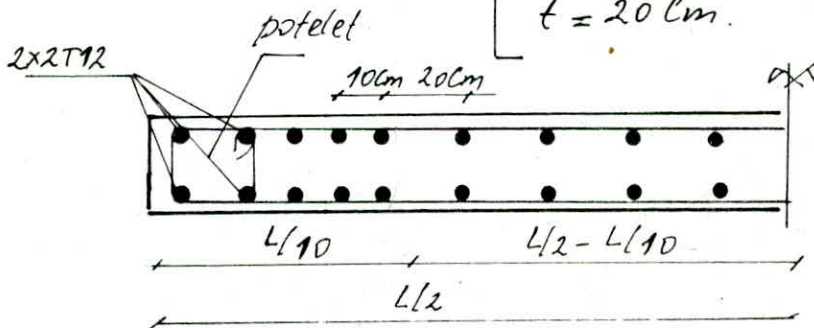
pour le potelet:  $4T12 = 4,52 \text{ cm}^2$

pour la zone courante:  $2(16,5 - 4,52) = 23,96 \text{ cm}^2$

en considérant un demi voile:

sur une longueur de  $\frac{L}{10}$  [ potelet :  $2 \times 2T12 = 4,52 \text{ cm}^2$   
 reste :  $2 \times 3T8 = 3,01 \text{ cm}^2$   
 $t = 10 \text{ cm}$ .

sur une longueur de  $\frac{L}{2} - \frac{L}{10}$  [  $2 \times 11T8 = 12,04 \text{ cm}^2$   
 $t = 20 \text{ cm}$ .



$A_1 = A_2 = 19,57 \text{ cm}^2$

Vérification des contraintes:

$d = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i} = \frac{4,52 \times 12 + 37 \times 3,01 + 12,04 \times 15,7}{19,57} = 105 \text{ cm}$

$M = 123,06 \text{ tm}$      $N_{max} = 374,3 \text{ t} = \text{effort de compression}$ .

$e_0 = \frac{123,06}{374,3} = 33 \text{ cm}$      $e_1 = \frac{h_t}{6} = 86,08 \text{ cm}$      $e_0 < e_1$

la section est entièrement comprimée (S.E.C).

$\bar{\sigma}'_b = \sigma'_{b0II} \left(1 + \frac{e_0}{3e_1}\right) = 116,7 \text{ kg/cm}^2$

$B'_0 = b h_t + 2 n A = 516,5 \times 16 + 2 \times 15 \times 19,57 = 8851 \text{ cm}^2$

$I = \frac{b h_t^3}{12} + 2 \cdot n \cdot A \left(\frac{h_t}{2} - d\right) = 197505533 \text{ cm}^4$

$\sigma'_{b1,2} = \left(\frac{N}{B_0} \pm \frac{M}{I} \cdot \frac{h_t}{2}\right) = \begin{cases} 58,4 \text{ kg/cm}^2 \\ 26,2 \text{ kg/cm}^2 \end{cases}$

$$\sigma'_{a,1,2} = 15 \left( \frac{N}{B'_0} \pm \frac{M}{I} \left( \frac{h_t}{2} - d \right) \right) = \begin{cases} 777,5 \text{ Kg/cm}^2 = \sigma'_{a1} \\ 491,1 \text{ Kg/cm}^2 = \sigma'_{a2} \end{cases}$$

NIVEAU II (3<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup> étage):

$$N_{\min} = -19,6 \text{ t} \quad N_{\max} = 217 \text{ t} \quad M_{\max} = 33,5 \text{ t.m}$$

$$\begin{cases} M = 33,5 \text{ t.m} \\ N_{\min} = -19,6 \text{ t} \end{cases} \quad \begin{aligned} h_t &= 516,5 \text{ cm} \quad d = 52 \text{ cm} \quad h = 464,5 \text{ cm} \\ e_0 &= \frac{M}{N} = 1,7 \text{ m} = 170 \text{ cm} > e_1 \end{aligned}$$

$$z = h_t - 2d = 412,5 \text{ cm} \quad \frac{z}{2} = 206,25 \text{ cm} > e_0 \text{ (SET)}$$

l'effort normal passe entre les traces de armatures.

$$l_1 = \frac{z}{2} + e_0 = 376,25 \text{ cm} ; \quad l_2 = z - l_1 = 36,25 \text{ cm}$$

$$A_1 = \frac{l_1 \cdot N}{z \sigma_a} = 4,25 \text{ cm}^2$$

$$A_{\min} = \frac{0,5 \cdot 412,5 \cdot 16}{100} = 33 \text{ cm}^2$$

le ferrailage a adopte:  $A_1 = A_2 = \frac{A_{\min}}{2} = 16,5 \text{ cm}^2$

$$\text{sur } \frac{L}{10} \begin{cases} 2 \times 2T12 \\ 2 \times 3T8 \\ t = 10 \text{ cm} \end{cases}$$

$$\text{sur } \frac{L}{2} - \frac{L}{10} = 206,60 \text{ cm} \begin{cases} 2 \times 11T8 \\ t = 20 \text{ cm} \end{cases}$$

$$A_1 = A_2 = 19,57 \text{ cm}^2$$

NIVEAU III (6<sup>e</sup>, 7<sup>e</sup> étage):

$$N_{\min} = 16,3 \text{ t} \quad M_{\max} = 12,22 \text{ t.m} \quad N_{\max} = 80,4 \text{ t}$$

$$\begin{cases} N_{\min} \\ M \end{cases} \quad e_0 = 75 \text{ cm} > e_1 \quad \text{(SEC)}$$

$$\sigma'_{b,1,2} = \frac{N}{B'_0} \pm \frac{M}{I} \cdot v = \frac{16,3 \cdot 10^3}{516,5 \times 16} \pm \frac{12,22 \cdot 10^5}{16 \cdot \frac{516,5^3}{12}} \cdot \frac{516,5}{2}$$

$$\sigma'_{b1} = 3,7 \text{ Kg/cm}^2 \quad \sigma'_{b2} = 0,3 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F'_{\text{moy}} = \frac{\sigma'_{b1} + \sigma'_{b2}}{2} \cdot S = \frac{3,7 + 0,3}{2} \cdot 16 \cdot 516,5 = 16528 \text{ Kg}$$

la force de compression moyenne que doivent reprendre les armatures.

$$A' = \frac{F_m'}{\bar{\sigma}_a} = \frac{16528}{4200} = 3,93 \text{ cm}^2$$

pourcentage minimal:

$$T = 21,7t \text{ au niveau Comptôire}$$

$$\tau = \frac{1,4T}{b \cdot z} = \frac{1,4 \cdot 21,7 \cdot 10^3}{16 \cdot \frac{7}{8} \cdot 411,5} = 5,27 \text{ kg/cm}^2 < 0,028 \sigma_{28} = 7,7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\bar{\omega}' = 0,15\% \text{ (zone courante)}$$

potelet  :  $A_{\text{min}} = \frac{1 \cdot 16 \cdot 24}{100} = 3,84 \text{ cm}^2$  soit  $2 \times 2T12$  ( $4,52 \text{ cm}^2$ )

zone entre potelets :  $l = 516,5 - 2 \times 24 = 468,5$

les dimensions des potelets étant:  $b = 16 \text{ cm}$

$$A = \frac{0,15 \times 468,5 \times 16}{100} = 11,24 \text{ cm}^2 \quad 1,5b = 24 \text{ cm}$$

Ferrailage de la moitié du voile :

sur une longueur de

$$\frac{L}{10} = 52 \text{ cm}$$

$$\left| \begin{array}{l} 2 \times 2T12 \\ 2 \times 3T8 \end{array} \right. \quad t = 10 \text{ cm}$$

sur une longueur de

$$\frac{L}{2} - \frac{L}{10} = 206,5 \text{ cm}$$

$$\left| \begin{array}{l} 2 \times 11T8 \end{array} \right. = 12,04 \text{ cm}^2$$

$$A_1 = A_2 = 19,57 \text{ cm}^2$$

Vérification des contraintes: sous  $(N_{\text{max}}, M)$  les sections des niveaux II et III étant sollicitées en compression (S.E.T) les contraintes sont récapitulées dans les tableaux.

### Ferrailage horizontal

la distribution de l'effort tranchant sur les frumeaux étant faite selon leurs inerties.

contrainte de cisaillement:  $\tau = \frac{1,4T}{b \cdot \frac{7}{8} \cdot h}$

$$\bar{\omega}_t \% = \frac{\tau - B}{\bar{\sigma}_{\text{en}}} \cdot 100$$

NIVEAU I :

$$\tau_b = \frac{1,4 \cdot 38,1 \cdot 10^3}{16 \cdot 7/8 \cdot 464,5} = 8,2 \text{ Kg/cm}^2 \quad \bar{w}_t = \frac{8,20 - 8}{\text{Sen}} \cdot 100 = 0,004$$

$$0,12 \sigma'_{28} = 0,12 \cdot 275 = 33 \text{ Kg/cm}^2$$

$$0,025 \sigma'_{28} = 0,025 \cdot 275 = 6,87 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\tau_b < 0,025 \sigma'_{28} \quad ; \quad \text{alors } w_{\min} (\%) = 0,15\%$$

le ferrailage horizontal se fait par  $A_{\min}$  :

$$A_c = \frac{0,15}{100} \cdot 100 \cdot 16 = 2,4 \text{ cm}^2 \quad \text{soit } 6\text{TB/ml par nappe.}$$
$$t = 16 \text{ cm}$$

sur la longueur de recouvrement des barres verticales, une section d'armature (notée  $A_{vj}$ ) due à la reprise de coulage sera répartie sur toute la longueur du trameau.

$$A_{vj} = 1,1 \frac{\bar{T}}{\text{Sen} \cdot l} = 1,1 \cdot \frac{1,4 \cdot 38,1 \cdot 10^3}{4200 \cdot 5,165} = 2,7 \text{ cm}^2 \text{ p.m.l}$$

Pour ce trameau, la longueur de recouvrement est :

$$l_r = 50\phi \quad ; \quad \phi: \text{diamètre des barres.}$$

sur cette longueur ( $l_r = 50\phi$ ), le ferrailage sera

$$A = A_c + A_{vj} = 2,4 + 2,7 = 5,1 \text{ cm}^2$$

soit 6TB/ml par nappe

$$t = 16 \text{ cm.}$$

Armatures transversales :

4 épingles TB par  $\text{m}^2$  pour maintenir les deux nappes d'armatures, et 1 cadre TB pour le poteau incorporé constituent l'ensemble des armatures transversales.

### TRUMEAU 2 :

$$h_t = 607,5 \text{ cm} \quad d = 61 \text{ cm} \quad h = 546,5 \text{ cm}$$

$$\text{NIVEAU I : } N_{\min} = -61 \text{ t} \quad N_{\max} = 403,8 \text{ t} \quad M = 200,7 \text{ tm}$$

### Ferraillage vertical:

$$N_{\min} = -61 \text{ t} ; M = 200,7 ; e_0 = \frac{M}{N} = 329 \text{ cm} ; e_1 = \frac{h_t}{6} = 101,25$$

$$e_0 < e_1 \quad N = \text{effort de traction}$$

$$Z = h_t - 2d = 486,5 \text{ cm} \quad \frac{Z}{2} = 243,2 \text{ cm}$$

$e_0 > \frac{Z}{2}$ , l'effort normal  $N$  ne passe pas entre les traces des armatures.

la section est partiellement comprimée (S.P.C)

$$e_0 > \frac{h_t}{2} : \bar{\sigma}'_b = 2\bar{\sigma}'_{b0II} = 206,5 \text{ kg/cm}^2$$

### Méthode du moment fictif (PIERRE CHARON)

$$M_f = N \cdot f$$

$$f = e_0 - \frac{h_t}{2} + d = 85,25 \text{ cm}$$

$$M_f = 51,97 \text{ tm.}$$

$$\mu = \frac{15 \cdot M_f}{\bar{\sigma}_a \cdot b \cdot h^2} = 0,0038$$

$$\alpha = 0,0847 \quad \epsilon = 0,9718 \quad K = 162$$

$$\bar{\sigma}'_b = \frac{\bar{\sigma}_a}{K} = \frac{4200}{162} = 25,92 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_{b0II} \quad \text{alors } A' = 0$$

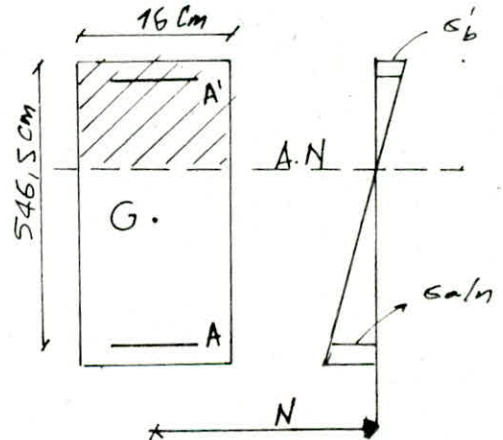
$$A = \frac{M_f}{\bar{\sigma}_a \cdot \epsilon \cdot h} + \frac{N}{\bar{\sigma}_a} = 16,85 \text{ cm}^2$$

Zone comprimée :  $l_c = \alpha h = 0,0847 \times 546,5 = 46,3 \text{ cm}$

Zone tendue :  $l_t = h - l_c = 546,5 - 46,3 = 500,2 \text{ cm}$

$$A_{\min} = \frac{0,5}{100} \cdot 16 \cdot 546,5 = 43,72 \text{ cm}^2 > A$$

le trumeau sera ferrailé par :  $A = A' = A_{\min} = 43,72 \text{ cm}^2$



pour la moitié du voile:  $A = A' = \frac{A_{\min}}{2} = 21,86 \text{ cm}^2$

Potelet: dimensions ( $b = 16 \text{ cm}$ ;  $1,5b = 24 \text{ cm}$ )

$$A = \frac{1}{100} \cdot 16 \cdot 24 = 3,84 \text{ cm}^2 \text{ soit } 2 \times 2T14 (6,15 \text{ cm}^2)$$

entre potelets:  $l = \frac{607,5 - 2 \times 24}{2} = 279,75 \text{ cm}$

$$A = 21,86 - 6,15 = 15,71 \text{ cm}^2$$

Sur une longueur de  $\frac{L}{10} = 61 \text{ cm}$ : Sur une longueur de  $\frac{L}{2} - \frac{L}{10} = \frac{2L}{5}$

$$2 \times 2T14 = 6,15 \text{ cm}^2$$

$$t = 10 \text{ cm}$$

$$2 \times 5T8 = 5,02 \text{ cm}^2$$

$$2 \times 13T8 = 13,04 \text{ cm}^2$$

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

$$A = A' = 24,21 \text{ cm}^2 \text{ (moitié du voile)}$$

Vérification des Contraintes:  $N_{\max} = 403,8 \text{ t}$ ;  $M = 200,7 \text{ t.m}$

$$e_0 = 49,7 \text{ cm} \quad N \text{ effort de compression} \quad e_0 < e_1$$

la section est entièrement comprimée. (S.E.C).

$$\bar{\sigma}'_b = \left(1 + \frac{e_0}{3e_1}\right) \bar{\sigma}'_{b_0 \Pi} = 120,4 \text{ kg/cm}^2 \quad d = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i} = 113,5 \text{ cm}$$

$$B'_0 = b \cdot h_f + 2nA = 10446,3 \text{ cm}^2$$

$$I = \frac{b h_f^3}{12} + 2nA \left(\frac{h_f}{2} - d\right)^2 = 325224033,8 \text{ cm}^4$$

$$\sigma'_{b1,2} = \frac{N}{B'_0} \pm \frac{M}{I} \cdot \frac{h_f}{2} = \begin{cases} \sigma'_{b1} = 57,39 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma'_{b2} = 19,91 \text{ kg/cm}^2 \end{cases}$$

$$\sigma'_{a1,2} = 15 \left( \frac{N}{B'_0} \pm \frac{M}{I} \left(\frac{h_f}{2} - d\right) \right) = \begin{cases} \sigma'_{a1} = 756 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma'_{a2} = 404 \text{ kg/cm}^2 \end{cases}$$

Ferraillage horizontal:

$$\tau_b = \frac{1,4 \cdot 62,1 \cdot 10^3}{16 \cdot 7/8 \cdot 54615} = 10,2 \text{ kg/cm}^2; \quad \bar{\omega}_f = \frac{\tau - B}{\sigma_{en}} = 0,005\%$$

$$0,025 \sigma'_{28} < \tau_b < 0,12 \sigma'_{28} \text{ alors } \omega_{\min} = 0,25\%$$

le ferraillage horizontal sera fait par  $A_{\min}$

$$A_c = \frac{0,25}{100} \cdot 100 \cdot 16 = 4 \text{ cm}^2$$

Soit 6 T8 / ml par nappe  $t = 16 \text{ cm}$ .

sur la longueur de recouvrement des barres verticales,  
la section d'armatures  $A_{Vj}$  est :

$$A_{Vj} = 1,1 \frac{1,4 \times 52,1 \cdot 10^3}{4200 \times 5075} = 3,75 \text{ cm}^2 \text{ p.m.l}$$

sur la longueur de recouvrement ( $l_r = 50 \phi$ )  
le ferrailage horizontal est :

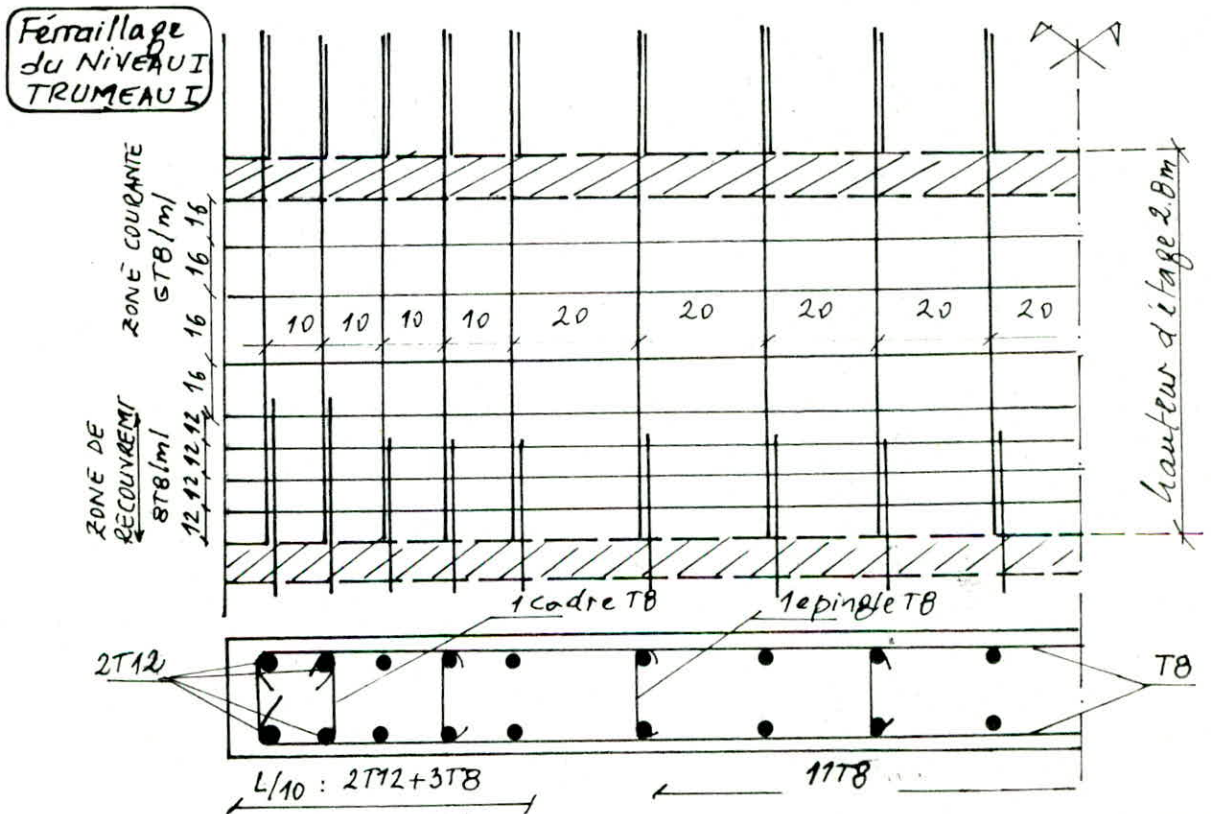
$$A = A_c + A_{Vj} = 7,75 \text{ cm}^2$$

soit 8 T8 / ml pour chaque nappe.  $t = 12 \text{ cm}$ .

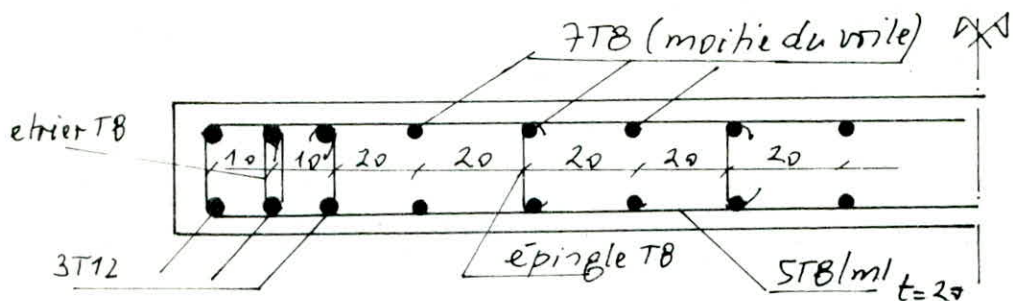
Armatures transversales :

4 épingle T8 + 1 cadre T8 par  $\text{m}^2$ .

Remarque : Pour le ferrailage des niveaux (II et III),  
l'ensemble des résultats est donné dans les  
tableaux ci-dessous.



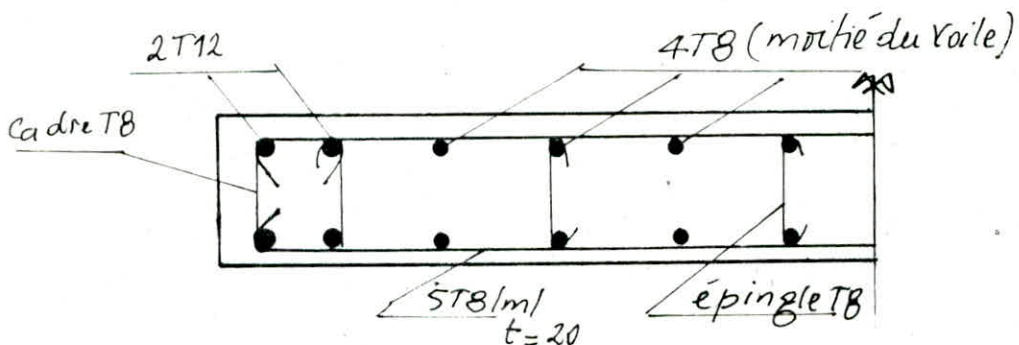
| Voiles pleins          | VT 5-6-7-8                 |                            |                            | VT1                        | VL1                        | VL8                        |                    |
|------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|
|                        | NIV I                      | NIV II                     | NIV III                    | NIV I                      | NIV II                     | NIV III                    |                    |
| Nmin (t)               | 38,9                       | 21,9                       | 10,6                       | 152                        | 85,5                       | 41,2                       |                    |
| Nmax (t)               | 54,9                       | 30,9                       | 14,9                       | 209                        | 117,2                      | 56,0                       |                    |
| M (t.m)                | 1,428                      | 0,504                      | 0,112                      | 2589,72                    | 864,36                     | 167,16                     |                    |
| $e_0(N_{min}, M)_{cm}$ | 3,6                        | 2,3                        | 1,0                        | 1703                       | 1010                       | 405                        |                    |
| $e_1(cm)$              | 47,6                       | 47,6                       | 47,6                       | 183                        | 183                        | 183                        |                    |
| Sollicitations         | S.E.C                      | S.E.C                      | S.E.C                      | S.P.C                      | S.P.C                      | S.P.C                      |                    |
| Armat. Verticales      | $A_{Tot} (cm^2)$           | 9,26                       | 0                          | 0                          | 50,95                      | 11,55                      | 0,0                |
|                        | $A_{min} (cm^2)$           | 20,34                      | 20,34                      | 20,34                      | 69,0                       | 79,58                      | 88,32              |
| Armat. Horiz.          | potelet                    | 2x3T12<br>t=10             | 2x3T12<br>t=10             | 2x3T12<br>t=10             | 2x3T14<br>t=10             | 2x3T14<br>t=10             | 2x3T14<br>t=10     |
|                        | Zone Courante              | 2x14T8<br>t=20             | 2x14T8<br>t=20             | 2x14T8<br>t=20             | 2x24T14<br>2x46T8          | 2x24T14<br>2x46T10         | 2x30T14<br>2x40T10 |
| Armat. Horiz.          | Zone Courante              | 2x5T8/m<br>t=20            | 2x5T8/m<br>t=20            | 2x5T8/m<br>t=20            | 2x5T8/m<br>t=20            | 2x5T8/m<br>t=20            | 2x5T8/m<br>t=20    |
|                        | Zone de recourant          | 2x5T8/m<br>t=20            | 2x5T8/m<br>t=20            | 2x5T8/m<br>t=20            | 2x7T10/m<br>t=12           | 2x7T10/m<br>t=15           | 2x9T8/m<br>t=12    |
| Armat. transvers.      | 1 card + 1 et<br>4 épi. T8 | 1 card + 1 et<br>4 épi. T8 | 1 card + 1 et<br>4 épi. T8 | 1 card + 1 et<br>4 épi. T8 | 1 card + 1 et<br>4 épi. T8 | 1 card + 1 et<br>4 épi. T8 |                    |
| $e_0(N_{max}, M)$      | 2,6                        | 0                          | 0                          | 1239                       | 737,5                      | 298,5                      |                    |
| Sollicitat.            | S.E.C                      | S.E.C                      | S.E.C                      | S.P.C                      | S.P.C                      | S.P.C                      |                    |
| Vérification           | $\bar{\sigma}_b$           | 105,4                      | 103,5                      | 103,5                      | 206,5                      | 206,5                      | 159,7              |
|                        | $\sigma_{b1}$              | 9,4                        | 5,03                       | 2,4                        | 105,29                     | 34,38                      | 5,8                |
|                        | $\sigma_{b2}$              | 8,5                        | -                          | -                          | -                          | -                          | -                  |
|                        | $\sigma_{a1}$              | 138,5                      | 75,45                      | 36,4                       | 816,3                      | 277,3                      | 74,7               |
|                        | $\sigma_{a2}$              | 129,9                      | -                          | -                          | $\sigma_a=2986$            | $\sigma_a=648,3$           | $\sigma_a=10,7$    |



Ferrailage du voile VT5

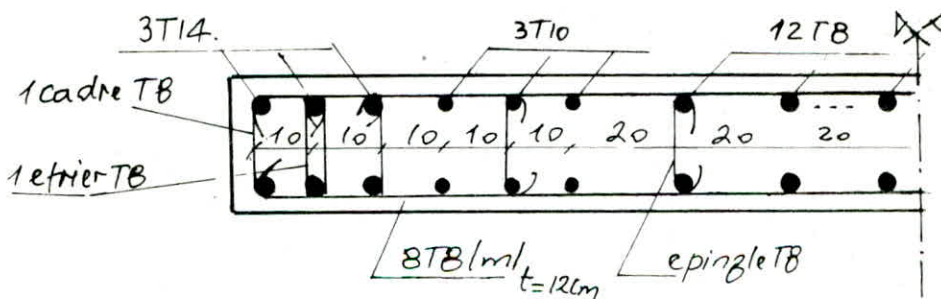


| Voiles pleins                         |                                     | VT4               |                   |                   | VL5               |                   |                   |
|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                       |                                     | NIV I             | NIV II            | NIV III           | NIV I             | NIV II            | NIV III           |
| N <sub>min</sub> (t)                  |                                     | 152               | 12,2              | 6,1               | 16,1              | 9,6               | 5,3               |
| N <sub>max</sub> (t)                  |                                     | 209               | 17,3              | 8,7               | 21,8              | 13,1              | 7,3               |
| M (t.m)                               |                                     | 2,8               | 0,728             | 0,14              | 3,89              | 1,31              | 0,25              |
| e <sub>0</sub> (N <sub>min</sub> , M) |                                     | 0                 | 0                 | 0                 | 24                | 13,6              | 0                 |
| e <sub>1</sub> (cm)                   |                                     | 29,3              | 29,3              | 29,3              | 32                | 32                | 32                |
| Solicitation                          |                                     | S.E.C             | S.E.C             | S.E.C             | S.E.C             | S.E.C             | S.E.C             |
| Arm. Verticales                       | A <sub>Tot</sub> (cm <sup>2</sup> ) | 0                 | 0                 | 0                 | 0                 | 0                 | 0                 |
|                                       | A <sub>min</sub> (cm <sup>2</sup> ) | 3,36              | 3,36              | 3,36              | 3,46              | 3,46              | 3,46              |
|                                       | prof. let                           | 2x2T12<br>t=10    | 2x2T12<br>t=10    | 2x2T12<br>t=10    | 2x2T12<br>t=10    | 2x2T12<br>t=10    | 2x2T12<br>t=10    |
|                                       | zone courbe                         | 2x8TB<br>t=20     | 2x8TB<br>t=20     | 2x8TB<br>t=20     | 2x10TB<br>t=20    | 2x10TB<br>t=20    | 2x10TB<br>t=20    |
| Arm. Hoiz. Zone                       | Zone courbe                         | 2xSTB/ml<br>t=20  | 2xSTB/ml<br>t=20  | 2xSTB/ml<br>t=20  | 2xSTB/ml<br>t=20  | 2xSTB/ml<br>t=20  | 2xSTB/ml<br>t=20  |
|                                       | Zone de recouvre                    | 2xSTB/ml<br>t=20  | 2xSTB/ml<br>t=20  | 2xSTB/ml<br>t=20  | 2xSTB/ml<br>t=20  | 2xSTB/ml<br>t=20  | 2xSTB/ml<br>t=20  |
| ARMATURES transvers.                  |                                     | 4ép.<br>1cadre TB | 4ép.<br>1cadre TB | 4ép.<br>1cadre TB | 4ép.<br>1cadre TB | 4ép.<br>1cadre TB | 4ép.<br>1cadre TB |
| e <sub>0</sub> (N <sub>max</sub> , M) |                                     | 0                 | 0                 | 0                 | 17,8              | 10                | 0                 |
| Solicitat.                            |                                     | S.E.C             | S.E.C             | S.E.C             | S.E.C             | S.E.C             | S.E.C             |
| VENI / cations                        | s <sub>b</sub> (t/cm)               | 103,5             | 103,5             | 103,5             | 122,7             | 114,3             | 103,5             |
|                                       | s <sub>b1</sub> "                   | 68,0              | 5,6               | 2,8               | 6,52              | 5,12              | 2,2               |
|                                       | s <sub>b2</sub> "                   | /                 | /                 | /                 | 6,45              | 2,68              | /                 |
|                                       | s <sub>a1</sub> "                   | 1020              | 85,9              | 42,0              | 97,7              | 69,0              | 33,0              |
|                                       | s <sub>a2</sub> "                   | /                 | /                 | /                 | 97,1              | 48,0              | /                 |



Ferrailage du voile VT4.

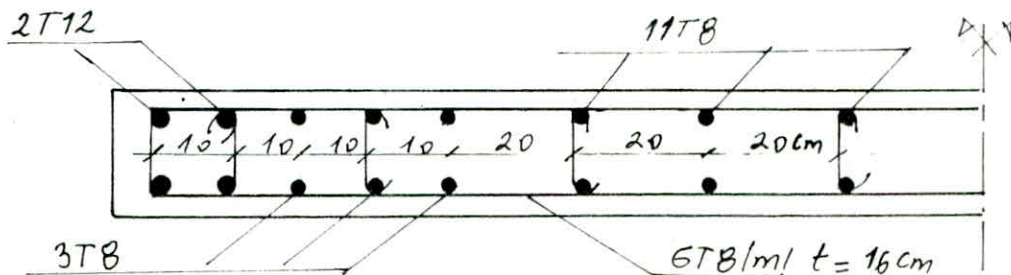
| VT3                | TRUMEAU 1                  |                     |                     | TRUMEAU 2           |                     |                     |
|--------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                    | NIV I                      | NIV II              | NIV III             | NIV I               | NIV II              | NIV III             |
| $N_{min} (t)$      | -139,3                     | -48,9               | 9,70                | -167,0              | -39,3               | 0,7                 |
| $N_{max} (t)$      | 440,0                      | 248,0               | 87,4                | 401,3               | 167,8               | 74,8                |
| $M (t.m)$          | 271,22                     | 72,45               | 26,56               | 118,63              | 21,12               | 11,62               |
| $e_0(N_{min}, M)$  | 149,70                     | 148,16              | 273,80              | 71                  | 53,74               | 1660                |
| $e_1 (cm)$         | 94,16                      | 94,16               | 94,16               | 71,5                | 71,5                | 71,5                |
| Sollicitation      | S.E.T                      | S.E.T               | S.P.C               | S.E.T               | S.E.T               | S.P.C               |
| Armat. Verticales  | $A_{Tot} (cm^2)$           | 30,87               | 19,26               | 0,02                | 56,20               | 12,28               |
|                    | $A_{min} (cm^2)$           | 45,20               | 22,60               | 52,46               | 34,32               | 38,60               |
|                    | potelet                    | 2x3T14<br>$t=10$    | 2x3T14<br>$t=10$    | 2x3T14<br>$t=10$    | 2x3T14<br>$t=10$    | 2x3T14<br>$t=10$    |
| Zone Courante      |                            | 2x6T10              | 2x6T10              | 2x4T14              | 2x4T10              | 2x4T10              |
|                    |                            | 2x24TB              | 2x24TB              | 2x10T14             | 2x10T10             | 2x10T10             |
| Armat. Horizont.   | Zone Courante              | 2x8TB/ml<br>$t=12$  | 2x8TB/ml<br>$t=12$  | 2x6TB/ml<br>$t=15$  | 2x6TB/ml<br>$t=15$  | 2x6TB/ml<br>$t=15$  |
|                    | Zone de Recouvrement       | 2x8T12/ml<br>$t=12$ | 2x8T12<br>$t=12$    | 2x6T12<br>$t=15$    | 2x6T12/ml<br>$t=15$ | 2x6TB/ml<br>$t=15$  |
| Armat. Persv. (TB) | 1cadre<br>1etr+4ép.        | 1cadre<br>1etr+4ép. | 1cadre<br>1etr+4ép. | 1cadre<br>1etr+4ép. | 1cadre<br>1etr+4ép. | 1cadre<br>1etr+4ép. |
| $e_0(N_{max}, M)$  | 61,6                       | 29,20               | 30,38               | 29,50               | 12,58               | 15,50               |
| Sollicitation      | S.E.C                      | S.E.C               | S.E.C               | S.E.C               | S.E.C               | S.E.C               |
| Verification       | $\bar{\sigma}_b (kg/cm^2)$ | 126,0               | 114,20              | 114,6               | 117,7               | 104,5               |
|                    | $\sigma_{b1} (kg/cm^2)$    | 53,26               | 25,06               | 7,02                | 52,03               | 20,5                |
|                    | $\sigma_{b2} (kg/cm^2)$    | 19,86               | 16,14               | 3,95                | 32,40               | 16,2                |
|                    | $\sigma_{s1} (kg/cm^2)$    | 709,65              | 352,0               | 95,72               | 743,27              | 299,5               |
|                    | $\sigma_{s2} (kg/cm^2)$    | 387,15              | 266,0               | 68,86               | 523,53              | 251,0               |



Ferrailage du voile (VT3) TRUMEAU 1  
niveaux I et II.

# TABLEAUX RECAPITULATIF DES FERRAILLAGES DES VOILES:

| VL3 VL6                               |                                       | TRUMEAU 1           |                     |                     | TRUMEAU 2           |                     |                     |
|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                                       |                                       | NIV I               | NIV II              | NIV III             | NIV I               | NIV II              | NIV III             |
| N <sub>min</sub> (t)                  |                                       | -80,7               | -19,6               | 16,3                | -61                 | -6,4                | 22,0                |
| N <sub>max</sub> (t)                  |                                       | 374,3               | 217                 | 80,4                | 403,8               | 235,7               | 50,7                |
| M (t.m)                               |                                       | 123,06              | 33,5                | 12,22               | 200,7               | 54,65               | 4,04                |
| e <sub>o</sub> (N <sub>min</sub> , m) |                                       | 152                 | 170                 | 75                  | 329                 | 853,9               | 18,3                |
| e <sub>1</sub> (cm)                   |                                       | 86,08               | 86,08               | 86,08               | 101,25              | 101,25              | 101,25              |
| Solicitation                          |                                       | S.E.T               | S.E.T               | S.E.C               | S.P.C               | S.P.C               | S.E.C               |
| Arma. forces Verticales.              | (cm) A <sub>tot</sub>                 | 16,68               | 4,25                | 3,93                | 16,85               | 3,27                | 5,23                |
|                                       | A <sub>min</sub> (cm <sup>2</sup> )   | 33,0                | 33                  | 11,24               | 43,72               | 43,72               | 13,43               |
|                                       | potelet                               | 4T12                | 4T12                | 4T12                | 4T14                | 4T14                | 4T14                |
|                                       | t=                                    | 10 cm               | t=10                | t=10                | t=10                | t=10                | t=10                |
| Zone Constante                        |                                       | 2x6TB t=10          | 2x6TB t=10          | 2x6TB               | 2x10TB t=10         | 2x10TB              | 2x10TB              |
|                                       |                                       | 2x22TB t=20         | 2x22TB t=20         | 2x22TB              | 2x26TB t=20         | 2x26TB              | 2x26TB              |
| Arma. h <sub>orig.</sub>              | Zone constante                        | 2x6TB/ml t=16       | 2x6TB/ml t=16       | 2x6TB/ml t=16       | 2x6TB/ml t=16       | 2x6TB/ml t=16       | 2x6TB/ml t=16       |
|                                       | Zone de recouvrement.                 | 2x6TB/ml t=16       | 2x6TB/ml t=16       | 2x6TB/ml t=16       | 2x6TB/ml t=16       | 2x6TB/ml t=16       | 2x6TB/ml t=16       |
| Armat. transv. (TB)                   |                                       | 1 cadre + 4 épingle | 1 cadre + 4 épingle | 1 cadre + 4 épingle | 1 cadre + 4 épingle | 1 cadre + 4 épingle | 1 cadre + 4 épingle |
| e <sub>o</sub> (N <sub>max</sub> , m) |                                       | 33                  | 15                  | 15                  | 49,7                | 23,2                | 7,9                 |
| Solicitation                          |                                       | S.E.C               | S.E.C               | S.E.C               | S.E.C               | S.E.C               | S.E.C               |
| Vérification                          | σ <sub>b</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )  | 116,7               | 109,5               | 109,5               | 120,4               | 206,5               | 206,5               |
|                                       | σ <sub>b1</sub> (kg/cm <sup>2</sup> ) | 58,4                | 28,9                | 10,7                | 57,4                | 27,7                | 5,23                |
|                                       | σ <sub>b2</sub> (kg/cm <sup>2</sup> ) | 26,2                | 20,1                | 7,48                | 19,9                | 17,4                | 4,47                |
|                                       | σ <sub>a1</sub> (kg/cm <sup>2</sup> ) | 777,5               | 373,5               | 150,5               | 756                 | 386,4               | 76,3                |
|                                       | σ <sub>a2</sub> (kg/cm <sup>2</sup> ) | 491,1               | 361,9               | 122                 | 404                 | 290,5               | 69,2                |



Ferrailage du voile (VL3) (TRUMEAU 1).

| VL 4                     | TRUMEAU 1                            |                     |                     | TRUMEAU 2           |                     |                         |                  |
|--------------------------|--------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|------------------|
|                          | NIV I                                | NIV II              | NIV III             | NIV I               | NIV II              | NIV III                 |                  |
| Nmin (t)                 | -37,4                                | -14,7               | 0,6                 | 11,8                | 9,1                 | 5,4                     |                  |
| Nmax (t)                 | 96,1                                 | 53,5                | 18,3                | 42,8                | 21,6                | 9,3                     |                  |
| M (t.m)                  | 0,637                                | -1,96               | 0,146               | 0,105               | 0,175               | 5,83 · 10 <sup>-3</sup> |                  |
| e <sub>0</sub> (Nmin, M) | 1,7                                  | 13,3                | 24,33               | 0,89                | 1,92                | 0,1                     |                  |
| e <sub>1</sub> (cm)      | 25,83                                | 25,83               | 25,83               | 25,16               | 25,16               | 25,16                   |                  |
| Sollicitation            | S.E.T                                | S.E.T               | S.E.C               | S.E.C               | S.E.C               | S.E.C                   |                  |
| Armat. verticales        | (cm) A <sub>Tot</sub>                | 9,14                | 4,24                | 0,1                 | 2,8                 | 2,16                    | 0                |
|                          | (cm <sup>2</sup> ) A <sub>min</sub>  | 9,92                | 9,92                | 2,57                | 2,47                | 2,47                    | 2,47             |
|                          | potelet                              | 4T14<br>t=10        | 4T14<br>t=10        | 4T12<br>t=10        | 4T12<br>t=10        | 4T12<br>t=10            | 4T12<br>t=10     |
| Armat. Horiz.            | Zone Courante                        | 2x8T12<br>t=20cm    | 2x8T12<br>t=20cm    | 2x8T8<br>t=20cm     | 2x8T8<br>t=20cm     | 2x8T8<br>t=20cm         | 2x8T8<br>t=20cm  |
|                          | Zone Courante                        | 2x5T8/ml<br>t=20cm  | 2x5T8/ml<br>t=20cm  | 2x5T8/ml<br>t=20cm  | 2x5T8/ml<br>t=20    | 2x5T8/ml<br>t=20        | 2x5T8/ml<br>t=20 |
|                          | Zone de recouvert                    | 2x5T8<br>t=20       | 2x5T8<br>t=20       | 2x5T8<br>t=20       | 2x5T8/ml<br>t=20    | 2x5T8/ml<br>t=20        | 2x5T8/ml<br>t=20 |
| Armat. transv            | (T8)<br>1cadre<br>4épingles          | 1cadre<br>4épingles | 1cadre<br>4épingles | 1cadre<br>4épingles | 1cadre<br>4épingles | 1cadre<br>4épingles     |                  |
| e <sub>0</sub> (Nmax, M) | 0,66                                 | 3,6                 | 0,8                 | 0,24                | 0,81                | 0                       |                  |
| Sollicitation            | S.E.C                                | S.E.C               | S.E.C               | S.E.C               | S.E.C               | S.E.C                   |                  |
| Vérification             | σ <sub>b</sub> (kg/cm <sup>2</sup> ) | 104,4               | 108,3               | 104,5               | 103,8               | 104,6                   | 103,5            |
|                          | σ <sub>b1</sub> "                    | 33,17               | 19,58               | 6,89                | 16,1                | 8,24                    | 3,48             |
|                          | σ <sub>b2</sub> "                    | 32,28               | 16,86               | 6,47                | 15,9                | 7,92                    | -                |
|                          | σ <sub>a1</sub> "                    | 494,2               | 283,5               | 102                 | 241,0               | 122,5                   | 52,2             |
|                          | σ <sub>a2</sub> "                    | 487,6               | 263,1               | 98,4                | 239,3               | 119,8                   | -                |

| Vérification    | Sollicitation | e <sub>0</sub> (Nmax, M) | ARMAT. HORIZONTALES |                   |                     | Sollicitat. | e <sub>1</sub> (cm) | e <sub>0</sub> (Nmin, M) | M (t.m) | Nmax (t) | Nmin (t) | VL 4  | TRUMEAU 3 |        |         |         |
|-----------------|---------------|--------------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------|---------------------|--------------------------|---------|----------|----------|-------|-----------|--------|---------|---------|
|                 |               |                          | Zone Courante       | Zone de recouvert | Armat. Transv (T8)  |             |                     |                          |         |          |          |       | NIV I     | NIV II | NIV III |         |
| σ <sub>b</sub>  | S.E.C         | 3,0                      | 2x5T8/ml<br>t=20    | 2x5T8/ml<br>t=20  | 1cadre<br>4épingles | S.E.T       | 41,67               | 10,6                     | 4,03    | 134,4    | -38      | NIV I | 76,2      | NIV II | 3,8     | NIV III |
| σ <sub>b1</sub> | S.E.C         | 16,3                     | 2x5T8/ml<br>t=20    | 2x5T8/ml<br>t=20  | 1cadre<br>4épingles | S.E.T       | 41,67               | 9,9                      | 12,42   | 76,2     | -12,5    | NIV I | 76,2      | NIV II | 27,3    | NIV III |
| σ <sub>b2</sub> | S.E.C         | 145,3                    | 2x5T8/ml<br>t=20    | 2x5T8/ml<br>t=20  | 1cadre<br>4épingles | S.E.T       | 41,67               | 18,24                    | 0,92    | 27,3     | 3,8      | NIV I | 76,2      | NIV II | 27,3    | NIV III |
| σ <sub>a1</sub> | S.E.C         | 145,3                    | 2x5T8/ml<br>t=20    | 2x5T8/ml<br>t=20  | 1cadre<br>4épingles | S.E.T       | 41,67               | 18,24                    | 0,92    | 27,3     | 3,8      | NIV I | 76,2      | NIV II | 27,3    | NIV III |
| σ <sub>a2</sub> | S.E.C         | 3,3                      | 2x5T8/ml<br>t=20    | 2x5T8/ml<br>t=20  | 1cadre<br>4épingles | S.E.C       | 41,67               | 18,24                    | 0,92    | 27,3     | 3,8      | NIV I | 76,2      | NIV II | 27,3    | NIV III |

| VL 2                     |  | TRUMEAU 1           |                    |                    | TRUMEAU 2          |                    |                    | TRUMEAU 3         |                   |                   |
|--------------------------|--|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| VL 7                     |  | NIV I               | NIV II             | NIV III            | NIV I              | NIV II             | NIV III            | NIV I             | NIV II            | NIV III           |
| Nmin (t)                 |  | -57,2               | 3,24               | 17,9               | 43,9               | 28,9               | 16,9               | -61,1             | -24,7             | 0,26              |
| Nmax (t)                 |  | 339,1               | 152,3              | 74,4               | 139,5              | 61,9               | 27,6               | 145,3             | 80,6              | 27,3              |
| M (t.m)                  |  | 14,12               | 30,64              | 3,25               | 2,99               | 1,083              | 0,036              | 0,0457            | 0,146             | 0,011             |
| e <sub>0</sub> (Nmin, M) |  | 246,8               | 9,45               | 18                 | 6,82               | 3,7                | 0,2                | 0,07              | 0,6               | 4,2               |
| e <sub>1</sub> (cm)      |  | 84,4                | 84,4               | 84,4               | 53,58              | 53,58              | 53,58              | 12,5              | 12,5              | 12,5              |
| Solicitation             |  | S.P.C               | S.P.C              | S.E.C              | S.E.C              | S.E.C              | S.E.C              | S.E.T             | S.E.T             | S.E.C             |
| Armat. Verticales        | A <sub>Tot</sub> (cm <sup>2</sup> )          | 14,97               | 0,77               | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 14,57             | 5,88              | 0                 |
|                          | A <sub>min</sub> (cm <sup>2</sup> )          | 33,87               | 33,34              | 18,34              | 6,56               | 6,56               | 6,56               | 12,0              | 12,0              | 12,0              |
|                          | potelet                                      | 4T14<br>t=10        | 4T14<br>t=10       | 4T12<br>t=10       | 4T12<br>t=10       | 4T12<br>t=10       | 4T12<br>t=10       | 2x5T14            | 2x5T12            | 2x5T12            |
|                          | Zone Couverte                                | 2x8T14              | 2x8T14             | 2x8T8              | 2x4T8              | 2x4T8              | 2x4T8              | t=16              | t=16              | t=16              |
| Armat. Horizont.         | Zone Couverte                                | 2x6T8/m<br>t=16     | 2x6T8/m<br>t=16    | 2x6T8/m<br>t=16    | 2x6T8/m<br>t=16    | 2x6T8/m<br>t=16    | 2x6T8/m<br>t=16    | 2x6T8/m<br>t=16   | 2x6T8/m<br>t=16   | 2x6T8/m<br>t=16   |
|                          | Zone de Recouvre                             | 2x9T8/m<br>t=12     | 2x9T8/m<br>t=12    | 2x6T8<br>t=16      | 2x6T8/m<br>t=16    | 2x6T8/m<br>t=16    | 2x6T8/m<br>t=16    | 2x6T8/m<br>t=16   | 2x6T8/m<br>t=16   | 2x6T8/m<br>t=16   |
| ARMATURES transvers.     |  | 1cadre<br>4 epin TB | 1cadre<br>4 ep. TB | 1cadre<br>4 ep. TB | 1cadre<br>4 ep. TB | 1cadre<br>4 ep. TB | 1cadre<br>4 ep. TB | 1cadre<br>4 ep TB | 1cadre<br>4 ep TB | 1cadre<br>4 ep TB |
| e <sub>0</sub> (Nmax, M) |  | 4,16                | 20                 | 4,3                | 2,1                | 1,7                | 0,13               | 0                 | 0                 | 0                 |
| Solicitat.               |  | S.E.C               | S.E.C              | S.E.C              | S.E.C              | S.E.C              | S.E.C              | S.E.C             | S.E.C             | S.E.C             |
| Verifications            | σ <sub>b</sub> K <sub>1</sub> K <sub>2</sub> | 105,2               | 206,5              | 105,2              | 104,8              | 104,6              | 103,5              | 103,5             | 103,5             | 103,5             |
|                          | σ <sub>b1</sub> "                            | 38,96               | 20,6               | 9,39               | 26,1               | 11,5               | 5,0                | 101,3             | 61,1              | 17,7              |
|                          | σ <sub>b2</sub> "                            | 35,33               | 12,74              | 7,78               | 24,1               | 10,8               | 4,9                | /                 | /                 | /                 |
|                          | σ <sub>as</sub> "                            | 573,5               | 285,7              | 136,1              | 385,7              | 170,4              | 74,6               | 1519,9            | 917,5             | 341,2             |
|                          | σ <sub>az</sub> "                            | 540,8               | 214,8              | 121,6              | 368,3              | 164,1              | 74,5               | /                 | /                 | /                 |

| Verification                        | VL 2                |                     |                     | TRUMEAU 4           |                     |                     |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                                     | SOLICIT.            | NIV I               | NIV II              | NIV I               | NIV II              | NIV III             |
| σ <sub>b</sub>                      | S.E.C               | 103,5               | 103,5               | 103,5               | 103,5               | 103,5               |
| σ <sub>b1</sub>                     | S.E.C               | 87,23               | 49,2                | 17,55               |                     |                     |
| σ <sub>b2</sub>                     | /                   | /                   | /                   | /                   | /                   | /                   |
| σ <sub>as</sub>                     | /                   | 1308,4              | 738,4               | 263,3               |                     |                     |
| σ <sub>az</sub>                     | /                   | /                   | /                   | /                   | /                   | /                   |
| e <sub>0</sub> (cm)                 | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   |
| Armat. transvers.                   | 1cadre<br>4 epin TB | 1cadre<br>4 epin TB | 1cadre<br>4 epin TB | 1cadre<br>4 epin TB | 1cadre<br>4 epin TB | 1cadre<br>4 epin TB |
| Armat. Horizont.                    | Zone Couverte       | 2x6T8/m<br>t=16     | 2x6T8/m<br>t=16     | 2x6T8/m<br>t=16     | 2x6T8/m<br>t=16     | 2x6T8/m<br>t=16     |
| Armat. Verticales                   | Potelet             | 2x3T12<br>t=15      | 2x3T12<br>t=15      | 2x3T12<br>t=15      | 2x3T12<br>t=15      | 2x3T12<br>t=15      |
| Sollicit.                           | S.E.T               | S.E.T               | S.E.T               | S.E.C               | S.E.C               | S.E.C               |
| e <sub>1</sub> (cm)                 | 6,8                 | 6,8                 | 6,8                 | 6,8                 | 6,8                 | 6,8                 |
| e <sub>0</sub> (Nmin, M)            | 0                   | 0,32                | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   |
| M (t.m)                             | 7,5.10 <sup>3</sup> | 0,023               | 1,7.10 <sup>3</sup> |                     |                     |                     |
| Nmax (t)                            | 66,1                | 37,3                | 13,3                |                     |                     |                     |
| Nmin (t)                            | -20,8               | -7,2                | 1,6                 |                     |                     |                     |
| A <sub>Tot</sub> (cm <sup>2</sup> ) | 4,95                | 1,7                 | 0                   |                     |                     |                     |
| A <sub>min</sub> (cm <sup>2</sup> ) | 6,56                | 6,56                | 6,56                |                     |                     |                     |

## Voile périphérique

Au niveau du sous-sol, il est prévu un voile périphérique, ce dernier assurera le chaînage ainsi que la stabilité de l'ensemble.

Dimensions: épaisseur : 20 cm. = b

hauteur : 150 cm = h<sub>t</sub>

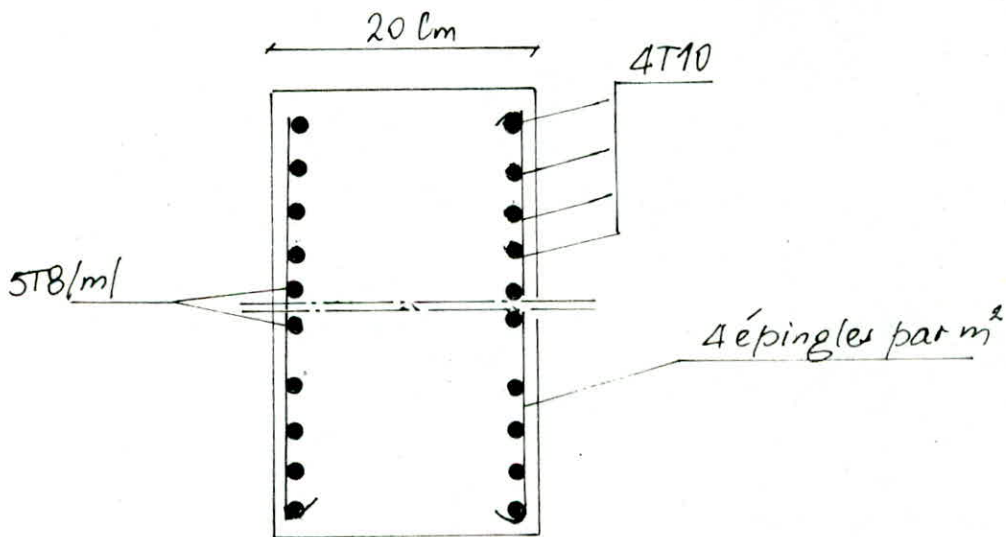
de voile périphérique sera ferrailé d'après (R.P.A.81 art. 3.3.8.5) :

$$A \geq 20\% b \cdot h_t = 6 \text{ cm}^2$$

soit 8T10/ml (armatures longitudinales sup. et inf.)  
armatures longitudinales de peau:

$A \geq 2 \text{ cm}^2$  par face et par mètre linéaire de hauteur.

soit  $A = 5T8/\text{ml}$ .



Ferrailage du voile périphérique

## FERRAILLAGE DES LINTEAUX

Sous l'action du moment fléchissant ( $M$ ) et de l'effort tranchant ( $T$ ) les linteaux seront calculés en flexion simple [R.P.A art. 4.3.2.4]

Comme des poutres encastrees à leurs extremités. Ils doivent être capables de reprendre les moments fléchissants et les efforts tranchants dus aux charges permanentes, aux surcharges d'exploitation et au seisme. Il convient, cependant de tenir compte du fait que les actions horizontales (seisme) pouvant alterner, les moments fléchissants dans les linteaux peuvent alors changer de sens. Il sera donc procédé à un ferrailage symétrique de la section transversale des linteaux. Des sections d'acier seront évaluées à partir des combinaisons du 2<sup>nd</sup> genre (SPE).

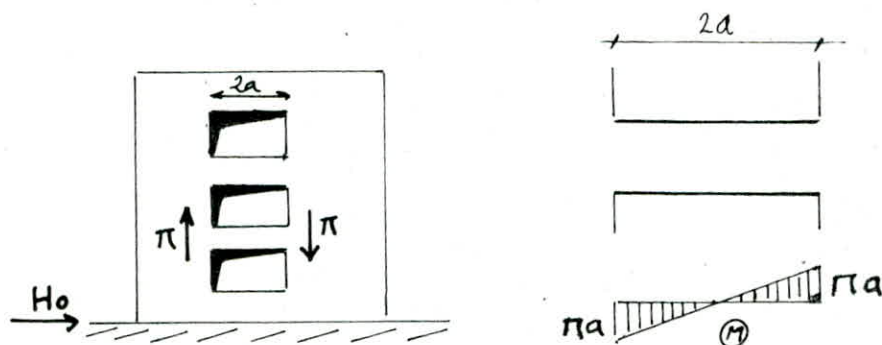
LES CONTRAINTES DE REFERENCE [RPA art. 4.3.2.5]

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

$$\bar{\sigma}_a = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}'_b = 0,75 \sigma'_{28} = 206,25 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_{at} = 4200 \text{ kg/cm}^2$$



$\pi$ : effort tranchant sollicitant le linteau

EXEMPLE DE CALCUL: linteau du voile VL7 au niveau R.D.C.

d'effort tranchant dû au fûisme :  $T = \pi = 29,57 t$

dimensions du linteau :  $h_f = 71 \text{ cm}$ ,  $b = 16 \text{ cm}$ .

Etant donné que la portée du linteau est faible, les efforts dûs aux charges permanentes peuvent être négligés devant ceux dûs au fûisme.  
Le ferraillement des linteaux se fera sous l'effet du fûisme.

$$\pi = 29,57 t \quad M = \pm \bar{T} \cdot a \quad \bar{T} = 1,4 \pi$$

$$a = 0,45 m \quad M = 1,4 \times 29,57 \times 0,45 = 18,62 tm.$$

Armatures longitudinales :  $M = 18,62 tm$  ;  $h = 66 cm$

$$\mu = \frac{15M}{\bar{\sigma}_a b h^2} = 0,0944 \quad \alpha = 0,368 \quad \epsilon = 0,877 \quad K = 25,7$$

$$\sigma'_b = \frac{\bar{\sigma}_a}{K} = 163 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_{bII} \quad \text{alors, } A' = 0$$

$$A = \frac{M}{\bar{\sigma}_a \cdot \epsilon \cdot h} = 7,57 \text{ cm}^2 \quad \text{soit } 6T14 (9,23 \text{ cm}^2)$$

Le ferraillement de la section sera symétrique :  $A_s = A_i = 6T14$

armatures minimales : calculées selon (R.P.A)

$$A_s, A_i \geq 0,0015 b h_f = 0,0015 \cdot 16 \cdot 71 =$$

$$A_s \geq 0,0020 b \cdot h_f = 0,0020 \cdot 16 \cdot 71 = 2,27 \text{ cm}^2$$

$A_s$  : arm. supérieures -  $A_i$  : arm. inférieures -  $A_r$  : arm. répart.

Vérification des contraintes :

$$w = \frac{A}{b \cdot h_f} \cdot 100 = 0,813 \rightarrow \begin{cases} \epsilon = 0,877 \\ K = 23,8 \end{cases}$$

$$\sigma_a = \frac{M}{\epsilon \cdot h \cdot A} = 3900 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a ; \sigma'_b = \frac{\sigma_a}{K} = 163,9 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_{bII}$$

armatures de répartition :  $A_r = 2 \times 3T8 (3,01 \text{ cm}^2)$

la longueur d'ancrage est :  $l_d \geq \frac{h_f}{4} + 50\phi = 57 \text{ cm}$

soit  $l_d = 60 \text{ cm}$  (R.P.A).



Armatures transversales:  $A_t$

$$A_t^{min} = 0,0025 \cdot b \cdot t$$

$$\frac{A_t}{t} \geq \frac{\bar{T}}{3 \bar{\sigma}_{at}} = \frac{1,4 \cdot 29,57 \cdot 10^3}{7/8 \cdot 66 \cdot 4200} = 0,17$$

l'espacement des  $A_t$  est limité par le (R.P.A 81)

$$t \leq \frac{h}{4} = 17,75 \text{ cm} \quad A_t = 4T8 = 2 \text{ cm}^2$$

$$t \leq \frac{A_t}{0,17} = \frac{2}{0,17} = 11,76 \text{ cm}$$

Aux extrémités des linteaux, l'espacement des  $A_t$  est:  $t = 7 \text{ cm}$

en travée:  $t = 11 \text{ cm}$ .  $A_t^{min} = 0,0025 \cdot b \cdot t = 0,71 \text{ cm}^2$

$A_t > A_t^{min}$  vérifiée.

Vérification à l'effort tranchant:

$$\tau = \frac{T}{b \cdot z} = \frac{41,4 \cdot 10^3}{7/8 \cdot 66 \cdot 16} = 44,8 \text{ Kg/cm}^2$$

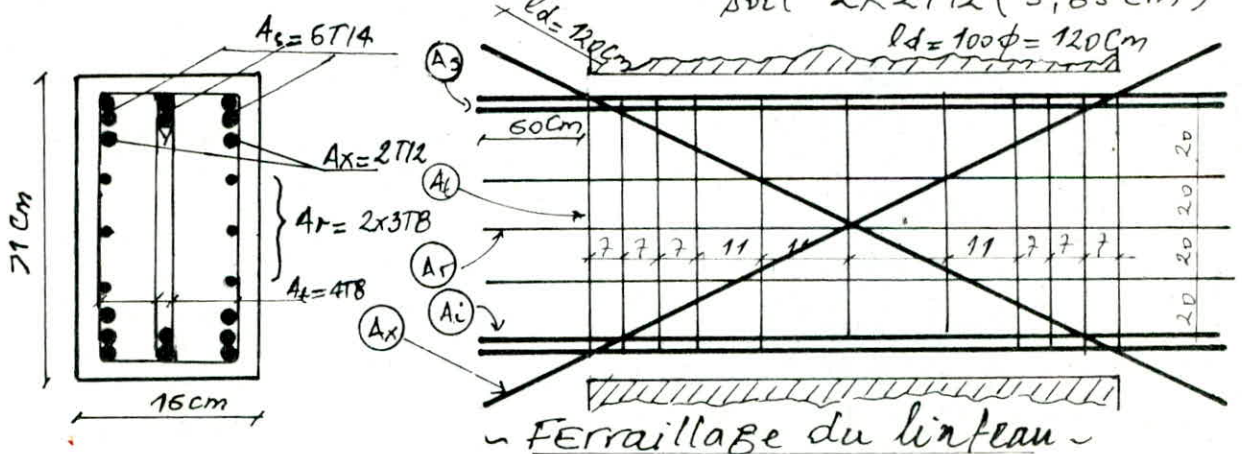
$$0,05 \leq \tau \leq 28 = 16,5 \text{ Kg/cm}^2; \quad 0,12 \leq \tau \leq 28 = 33 \text{ Kg/cm}^2$$

$\tau > 0,12 \leq 28$ , la section transversale du linteau doit être frettée de façon à ce que l'effort tranchant soit repris totalement par les armatures transversales, cela revient à réduire l'espacement des armatures transversales en particulier aux appuis, et à ajouter des armatures diagonales.

Armatures diagonales:  $A_x$

$$A_x^{min} = 0,0015 b h_t = 1,7 \text{ cm}^2$$

soit  $2 \times 2T12 (5,65 \text{ cm}^2)$



**ETUDE  
DES  
ELEMENTS'**

# CALCUL DES DALLES

## 1. GENERALITÉS :

Les planchers du bâtiment sont constitués de dalles pleines dont la largeur est nettement supérieure à l'épaisseur, ces dalles sont planes (horizontales) limitent les étages et sont destinées à supporter :

- les charges permanentes et les surcharges d'exploitation
- transmettre les efforts verticaux et horizontaux aux éléments porteurs (voiles) qui à leur tour les transmettent aux fondations.
- assurer une isolation thermique et acoustique pour les différents étages.

## 2. CALCUL DES DALLES

Les dalles sont considérées uniformément chargées et se calculent selon leur mode d'appui, on néglige les ouvertures destinées aux passages des gaines et autres..

Selon le mode d'appui, on distingue trois types de dalles :

- dalles encastrées sur deux cotés
- dalles encastrées sur trois cotés et libre sur le 4
- dalles encastrées sur quatre cotés

### 2.1 DALLES ENCASTREES SUR TROIS COTÉS

La méthode de calcul adoptée pour ce type de dalles est celle de R. BARES. le calcul dépend du Coéf de Poisson  $\mu$

et du rapport  $\gamma = \frac{a}{b}$  ; Connaissant ces deux valeurs  $(\mu, \gamma)$  on tire à partir des tables les coefficients suivants :

$w_{bs}$  : Coefficient de flèche .

$M_{xs}$  : Coef. de moment ds la direction  $x$  ( $x=a/2$  ;  $y=b/2$ )

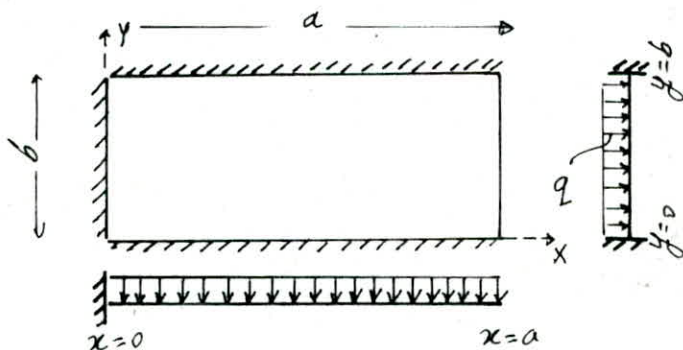
$M_{ys}$  : " " " " " " "  $y$  ( $x=a/2$  ;  $y=b/2$ )

$M_{xas}$  : " " " " " " "  $y$  ( $x=a$  ;  $y=b/2$ )

$M_{xvs}$  : " " " " " " "  $x$  ( $x=0$  ;  $y=b/2$ )

$M_{yrs}$  : " " " " " " "  $y$  ( $x=a/2$  ;  $y=0$ )

$M_{yra}$  : " " " " " " "  $y$  ( $x=a$  ;  $y=0$ )



Ces coef. seront multipliés par :

\*  $\frac{qa^4}{Eh^3}$  pour avoir la flèche

\*  $qa^2$  pour avoir le moment suivant  $x$ .

\*  $qb^2$  pour avoir le moment suivant  $y$ .

APPLICATION

$\mu = 0,15$  (matériau béton armé)

$\gamma = a/b$  ; pour des valeurs de  $\gamma$  ne figurant pas sur les tables , on procède par interpolation.

$q = G + 1,2P = 0,896 \text{ t/m}^2$  (Pour étage courant)

$q = 0,896 \text{ t/ml}$  - le calcul sera fait pour un mètre linéaire en profondeur.

## DALLES D7 & D8 identiques :

$$a = 5,59 \text{ m} \quad b = 3,56 \text{ m} \quad \gamma = 1,57.$$

$$\frac{1}{\gamma} = 0,63 > 0,5 \rightarrow \text{la dalle travaille ds les 2 sens}$$

$$\delta_1 = 1,5 \dots w_{bs_1} = 0,0066 \dots w_{s1} = 0,0055$$

$$\delta_2 = 2,0 \dots w_{bs_2} = 0,0021 \dots w_{s2} = 0,0018$$

$$w_{bs} = \frac{\delta - \delta_2}{\delta_1 - \delta_2} \cdot w_{bs_1} + \frac{\delta - \delta_1}{\delta_2 - \delta_1} \cdot w_{bs_2} = 0,0059.$$

les flèches :  $f_s = w_s \cdot \frac{qa^4}{Eh^3} = 0,0049 \cdot \frac{0,896 \cdot 559^4}{1,2 \cdot 10^6 \cdot 14^3} = 0,13 \text{ cm}$

( $w_s$  déterminée par interpolation.)

$$f_{bs} = w_{bs} \cdot \frac{qa^4}{Eh^3} = 0,15 \text{ cm}$$

DETERMINATION DES MOMENTS.

$$qa^2 = 28 \text{ tm} \quad qb^2 = 11,35 \text{ tm}$$

| $\delta_1$    | $\delta_2$    | $M_x = \frac{\delta - \delta_2}{\delta_1 - \delta_2} \cdot M_{x1} + \frac{\delta - \delta_1}{\delta_2 - \delta_1} \cdot M_{x2}$ | $M_x = qa^2 M_{x1}$<br>$M_y = qb^2 M_{y1}$ |
|---------------|---------------|---|--|
| 1,5           | 2,0           |   |  |
| $M_{x_{s1}}$  | $M_{x_{s2}}$  | $M_{x_s} = 0,00433$   | $M_{x_s} = 0,12$<br>tm                     |
| 0,0047        | 0,0021        |   |  |
| $M_{y_{s1}}$  | $M_{y_{s2}}$  | $M_{y_s} = 0,0375$  | $M_{y_s} = 0,42$<br>tm                     |
| 0,0370        | 0,0406        |   |  |
| $M_{x_{vs1}}$ | $M_{x_{vs2}}$ | $M_{x_{vs}} = -0,0232$  | $M_{x_{vs}} = -0,65$<br>tm                 |
| -0,0248       | -0,0139       |   |  |
| $M_{y_{vs1}}$ | $M_{y_{vs2}}$ | $M_{y_{vs}} = -0,0798$  | $M_{y_{vs}} = -0,90$<br>tm                 |
| -0,0793       | -0,0830       |   |  |
| $M_{y_{as1}}$ | $M_{y_{as2}}$ | $M_{y_{as}} = 0,0449$   | $M_{y_{as}} = 0,51$<br>tm                  |
| 0,0449        | 0,0450        |   |  |
| $M_{y_{va1}}$ | $M_{y_{va2}}$ | $M_{y_{va}} = -0,0845$  | $M_{y_{va}} = -0,96$<br>tm                 |
| -0,0846       | -0,0845       |   |  |

## FERRAILLAGE :

Le calcul du ferrailage se fait pour une bande de 1m de longueur sollicitée en flexion simple.

DONNÉES :

Diamètre des barres :  $\phi < \frac{h_t}{10} = 16 \text{ mm}$

Épaisseur de la dalle :  $h_t = 18 \text{ cm}$  ( $h = 14 \text{ cm}$ ).

Les moments pris en compte dans les calculs sont les moments maximums dans les deux sens (sens porteur; sens répartisseur).

a. Sens porteur : y-y

• En travée :  $M_y^t = 0.51 \text{ tm}$ .

$$A_y^t = \frac{M^t}{3\bar{\sigma}_a} = \frac{0.51 \cdot 10^5}{\frac{7}{8} \cdot 14 \cdot 2800} = 1.48 \text{ cm}^2$$

soit 6TG ( $1.69 \text{ cm}^2$ ) / ml  $t = 16 \text{ cm}$

• Sur appui :  $M_y^a = 0.96 \text{ tm}$

$$A_y^a = \frac{M^a}{3\bar{\sigma}_a} = \frac{0.96 \cdot 10^5}{\frac{7}{8} \cdot 14 \cdot 2800} = 2.79 \text{ cm}^2$$

soit 10TG ( $2.82 \text{ cm}^2$ ) / ml  $t = 10 \text{ cm}$ .

b. Sens répartisseur : x-x.

• En travée :  $M_x^t = 0.12 \text{ tm}$

$$A_x^t = \frac{M^t}{3\bar{\sigma}_a} = \frac{0.12 \cdot 10^5}{\frac{7}{8} \cdot 14 \cdot 2800} = 0.35 \text{ cm}^2$$

soit 6TG ( $1.69 \text{ cm}^2$ ) / ml  $t = 16 \text{ cm}$

• Sur appui :  $M_x^a = 0.65 \text{ tm}$ .

$$A_x^a = \frac{M^a}{3\bar{\sigma}_a} = \frac{0.65 \cdot 10^5}{\frac{7}{8} \cdot 14 \cdot 2800} = 1.89 \text{ cm}^2$$

soit 7TG / ml  $t = 14 \text{ cm}$ .

VERIFICATIONS:

i) Condition de non fragilité:

$$A \geq 0,69 \cdot b \cdot h \cdot \frac{\bar{\sigma}_b}{\bar{\sigma}_{su}} = 0,69 \cdot 14 \cdot \frac{5,9}{4200} \cdot 100 = 1,35 \text{ cm}^2 \quad \text{vérifié}$$

ii) Vérification de la fissuration:

$$K = 1,5 \cdot 10^6 \quad \eta = 1,6$$

$$\sigma_2 = 2,4 \sqrt{\frac{1,5 \cdot 1,6 \cdot 10^6 \cdot 5,9}{6}} = 3687 \text{ Kg/cm}^2 > \bar{\sigma}_a$$

iii) Espacements:

$$\text{sens } x : t = \text{Min} \begin{cases} 4h = 56 \text{ cm} \\ 45 \text{ cm} \end{cases} \rightarrow 45 \text{ cm}$$

$$\text{sens } y : t = \text{Min} \begin{cases} 3h = 42 \text{ cm} \\ 33 \text{ cm} \end{cases} \rightarrow 33 \text{ cm}$$

des espacements sont vérifiés.

iv) flèche:

$$\bar{f} = \frac{l}{500} = \frac{559}{500} = 1,11 \text{ cm} > f_{bs} = 0,75 \text{ cm}$$

DALLES ENCASTRÉES SUR 3 CÔTÉS - Tableau récapitulatif

| Dalles        | D7             | D8    | D1   | D3    | D11 | D12 | D5    | D6 | D2 | D13 |
|---------------|----------------|-------|------|-------|-----|-----|-------|----|----|-----|
| a (m)         | 5.59           |       | 4.86 |       |     |     | 5.25  |    |    |     |
| b (m)         | 3.56           |       | 3.60 |       |     |     | 3.60  |    |    |     |
| $\gamma$      | 1.57           |       | 1.35 |       |     |     | 1.50  |    |    |     |
| $f_{bs}$ (cm) | 0.15           |       | 0.24 |       |     |     | 0.13  |    |    |     |
| $f_s$ (cm)    |                |       |      |       |     |     |       |    |    |     |
| EFFORTS       | $M_{xs}$ (tm)  | 0.12  |      | 0.14  |     |     | 0.11  |    |    |     |
|               | $M_{xvs}$ (tm) | -0.65 |      | -0.67 |     |     | -0.61 |    |    |     |
|               | $M_{ys}$ (tm)  | 0.42  |      | 0.40  |     |     | 0.43  |    |    |     |
|               | $M_{yas}$ (tm) | 0.51  |      | 0.51  |     |     | 0.52  |    |    |     |
|               | $M_{yvs}$ (tm) | -0.90 |      | -0.88 |     |     | -0.92 |    |    |     |
|               | $M_{yva}$ (tm) | -0.96 |      | -0.98 |     |     | -0.98 |    |    |     |

**FERRAILLAGE**

|                     |                              | D7             | D8 | D1            | D3 | D11 | D12 | D5            | D6 | D2 | D13 |
|---------------------|------------------------------|----------------|----|---------------|----|-----|-----|---------------|----|----|-----|
| SENS PORTEUR        | $M_t$ (tm)                   | 0.51           |    | 0.51          |    |     |     | 0.52          |    |    |     |
|                     | $A_{cal}$ (cm <sup>2</sup> ) | 1.48           |    | 1.48          |    |     |     | 1.51          |    |    |     |
|                     | $A_{ad}$ (cm <sup>2</sup> )  | 6T6/ml t=16cm  |    | 6T6/ml t=16cm |    |     |     | 6T6/ml t=16cm |    |    |     |
|                     | $M_a$ (tm)                   | 0.96           |    | 0.98          |    |     |     | 0.98          |    |    |     |
|                     | $A_{cal}$ (cm <sup>2</sup> ) | 2.79           |    | 2.85          |    |     |     | 2.85          |    |    |     |
|                     | $A_{ad}$ (cm <sup>2</sup> )  | 10T6/ml t=10cm |    | 11T6/ml t=9cm |    |     |     | 11T6/ml t=9cm |    |    |     |
| SENS DE REPARTITION | $M_t$ (tm)                   | 0.12           |    | 0.14          |    |     |     | 0.11          |    |    |     |
|                     | $A_{ca}$ (cm <sup>2</sup> )  | 0.35           |    | 0.40          |    |     |     | 0.32          |    |    |     |
|                     | $A_{ad}$ (cm <sup>2</sup> )  | 6T6/ml t=16cm  |    | 6T6/ml t=16   |    |     |     | 6T6/ml t=16cm |    |    |     |
|                     | $M_a$ (tm)                   | 0.65           |    | 0.67          |    |     |     | 0.61          |    |    |     |
|                     | $A_{ca}$ (cm <sup>2</sup> )  | 1.89           |    | 1.95          |    |     |     | 1.77          |    |    |     |
|                     | $A_{ad}$ (cm <sup>2</sup> )  | 7T6/ml t=14cm  |    | 7T6/ml t=15   |    |     |     | 7T6/ml t=15cm |    |    |     |

2.2 DALLES ENCASTREES SUR 4 COTES: D4 - D10

| a (m) | b (m) | $\gamma$ | $f_s$ (cm) | EFFORTS       |                |               |                |                |                |
|-------|-------|----------|------------|---------------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
|       |       |          |            | $M_{xs}$ (tm) | $M_{xys}$ (tm) | $M_{ys}$ (tm) | $M_{yas}$ (tm) | $M_{yvs}$ (tm) | $M_{yva}$ (tm) |
| 3.6   | 6.87  | 0.52     | 0.13       | 0.46          | 0.96           | 0.11          | -              | 0.65           | -              |

**FERRAILLAGE**

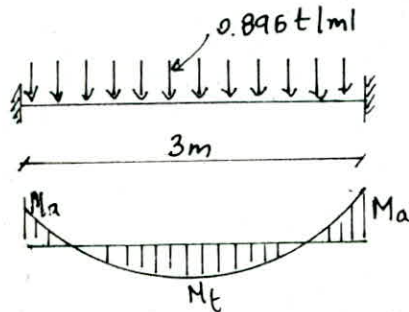
|                     |                              |               |  |                              |                |  |
|---------------------|------------------------------|---------------|--|------------------------------|----------------|--|
| SENS PORTEUR        | $M_t$ (tm)                   | 0.46          |  | $M_a$ (tm)                   | 0.95           |  |
|                     | $A_{cal}$ (cm <sup>2</sup> ) | 1.34          |  | $A_{cal}$ (cm <sup>2</sup> ) | 2.77           |  |
|                     | $A_{ad}$                     | 5T6/ml t=20cm |  | $A_{ad}$                     | 10T6/ml t=10cm |  |
| SENS DE REPARTITION | $M_t$ (tm)                   | 0.11          |  | $M_a$ (tm)                   | 0.65           |  |
|                     | $A_{cal}$ (cm <sup>2</sup> ) | 0.32          |  | $A_{cal}$ (cm <sup>2</sup> ) | 1.89           |  |
|                     | $A_{ad}$                     | 4T6/ml t=25cm |  | $A_{ad}$                     | 7T6/ml t=15cm  |  |



## 2.3 DALLES ENCASTRÉES SUR DEUX COTÉS : D9

$$a = 3 \text{ m} \quad b = \quad \gamma = \frac{a}{b}$$

Cette dalle est encastrée de deux côtés, elle sera étudiée comme une poutre encastrée. le ferrailage sera calculé pour une bande de 1m de largeur. ( $b = 100 \text{ cm}$ ).



$$M_a = -\frac{q l^2}{12} = 0.896 \cdot \frac{3^2}{12} = -0.672 \text{ tm}$$

$$M_t = \frac{q l^2}{24} = 0.896 \cdot \frac{3^2}{24} = 0.336 \text{ tm}$$

Ferraille :  $A^t = \frac{M_t}{3 \bar{\sigma}_a} = \frac{0.336 \cdot 10^5 \cdot 8}{7 \cdot 14 \cdot 2800} = 0.98 \text{ cm}^2$

soit 5T6 / ml  $t = 20 \text{ cm}$ . (5T6 = 1.41 cm<sup>2</sup>)

$$A^a = \frac{M_a}{3 \bar{\sigma}_a} = \frac{0.672 \cdot 10^5 \cdot 8}{7 \cdot 14 \cdot 2800} = 1.96 \text{ cm}^2$$

soit 8T6 / ml  $t = 12 \text{ cm}$ . (8T6 = 2.25 cm<sup>2</sup>)

Armatures de répartition :  $A_r = \frac{A}{4} = 0.27 \text{ cm}^2$

soit 5T6 / ml  $t = 20 \text{ cm}$

Fissuration :  $\sigma_2 = 2,4 \sqrt{\frac{1,5 \cdot 10^6 \cdot 1,5 \cdot 5,9}{t}} = 3886,9 \text{ kg/cm}^2 > \bar{\sigma}_a$

Condition de non fragilité :

$$A \geq 0,69 \cdot 14 \cdot 100 \cdot \frac{5,9}{4200} = 1,35 \text{ cm}^2 \quad \text{vérifié.}$$

Cisaillement :

$$T^{\max} = \frac{q l}{2} = 0.896 \cdot \frac{3}{2} = 1.34 \text{ t}$$

$$\tau_b = \frac{T}{b z} = \frac{1.34 \cdot 10^3}{7 \cdot 14 \cdot 100} = 1.1 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\tau}_b = 5.8 \text{ kg/cm}^2$$

vérifié

de ferrailage adopté:

sens longitudinal : travée : 5T6/ml ; appui : 5T8/ml

sens transversal : travée : 5T6/ml ; appui : 5T8/ml

Ferrailage de la dalle d'appui:

la dalle a pour dimensions:  $a = 1,76 \text{ Cm}$   
 $b = 1,60 \text{ Cm}$ .

| (m)  | (m)  | $\gamma$ | $f_{bs} \text{ Cm}$ | $f_s \text{ Cm}$ | $M_{xs} \text{ Cm}$ | $M_{xys} \text{ Cm}$ | $M_{ys} \text{ Cm}$ | $M_{yas} \text{ Cm}$ | $M_{yxs} \text{ Cm}$ | $M_{yxa} \text{ Cm}$ |
|------|------|----------|---------------------|------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1,76 | 1,60 | 1,1      | 0,005               | 0,004            | 0,027               | -0,121               | 0,065               | 0,093                | -0,147               | -0,179               |

| ferrailage.            |                                  |            |                                       |
|------------------------|----------------------------------|------------|---------------------------------------|
| SENS<br>porteur        | $M_t \text{ (tm)}$               | 0,093      | $M_a \text{ (tm)}$ - 0,179            |
|                        | $A_{cal.} \text{ (cm}^2\text{)}$ | 0,27       | $A_{cal.} \text{ (cm}^2\text{)}$ 0,52 |
|                        | $A_{adopt}$                      | 5T8 $t=20$ | $A_{adopt}$ 5T8 $t=20 \text{ cm}$     |
| SENS<br>de répartition | $M_t \text{ (tm)}$               | 0,027      | $M_a$ - 0,121                         |
|                        | $A_{cal.} \text{ (cm}^2\text{)}$ | 0,08       | $A_{cal}$ 0,35                        |
|                        | $A_{adopt}$                      | 5T8 $t=20$ | $A_{adopt}$ 5T8 $t=20$                |

Vérifications:

i) flèche:  $\bar{f} = \frac{l}{500} = \frac{176}{500} = 0,35 \text{ Cm} > f_{bs}$

ii) non fragilité:  $A \geq 0,69 \cdot b \cdot h \cdot \frac{\bar{\sigma}_b}{\sigma_{en}} = 1,357 \text{ cm}$  vérifiée

iii) flexuration:  $\sigma_2 = 2,4 \sqrt{\frac{1,5 \cdot 1,6 \cdot 10^6 \cdot 5,9}{6}} = 3684,9 \text{ kg/cm}^2 > \bar{\sigma}_a$

## CALCUL DES PREDALLES DU PLANCHER BAS DU R.D.C

le choix est porté sur les prédalles, vu l'impossibilité d'un coffrage tunnel pour ce plancher et afin d'éviter la solution d'un coffrage perdu.

DEFINITION: des prédalles sont des plaques préfabriquées en béton armé ou précontraint destinées à former la partie inférieure d'un plancher type dalle pleine.

### DIMENSIONNEMENT:

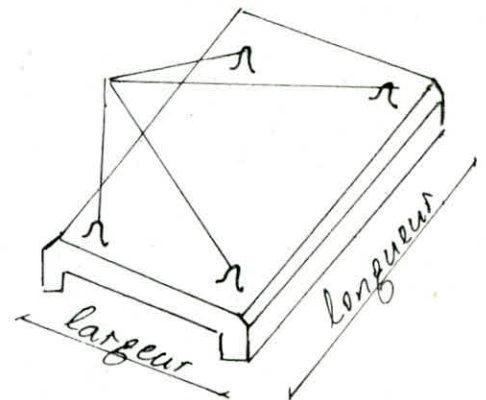
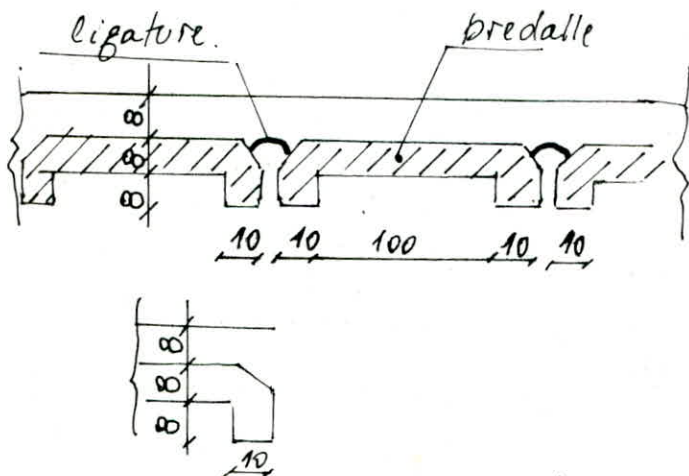
La longueur d'une prédalle sera prise égale à la petite portée du panneau augmentée de 10 cm qui doit servir comme appui de la dite prédalle sur les voiles du vide sanitaire, la longueur sera prise égale à 1 m. d'étude sera faite pour les prédalles du panneau N° 9. et sera similaire à tous les autres panneaux.

CALCUL: 3 phases seront considérées.

1° phase: la prédalle est soumise à son poids propre

2° phase: la prédalle est soumise à son poids propre plus une surcharge constituée de béton frais, et une charge de chantier ( $100 \text{ kg/m}^2$ )

3° phase: prédalle à pleine résistance sous ( $G + 1,2 P$ )



Longueur de la prédalle :  $L_x = 3,00\text{m}$   
 portée libre :  $l = 3,00 - 0,16 = 2,84\text{m}$

Des armatures de ligatures sont prévues au niveau de la jonction de deux prédalles consécutives, ce qui permet d'adopter comme section transversale de calcul une section en T.

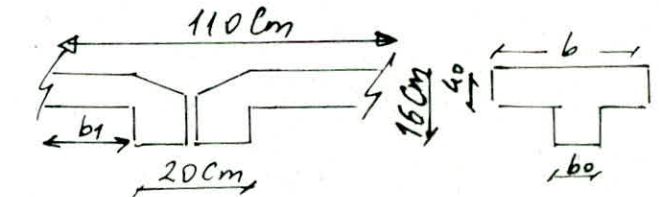
1<sup>ère</sup> phase:

la largeur de la table:

$$b_1 \leq \frac{100}{2} = 50\text{cm}$$

$$b_1 \leq \frac{l}{10} = \frac{300}{10} = 30\text{cm}$$

$$b_1 = (6 \div 8) h_0 =$$



soit  $b_1 = 45\text{cm}$

$$b = 2b_1 + b_0 = 110\text{cm}$$

charge par mètre linéaire :  $q = (0,2 \times 0,08 + 1,1 \times 0,08) 2,5$   
 $q = 260\text{kg/ml.}$

2<sup>o</sup> phase:

pois propre:  $q_1 = 260\text{kg/ml}$

Béton frais:  $q_2 = 1,2 \times 0,08 \times 1,10 \times 2500 = 264\text{kg/ml}$

surcharge:  $q_3 = 1,2 \times 1,10 \times 100 = 132\text{kg/ml.}$

$$q = \sum q_i = 656\text{kg/ml.}$$

3<sup>o</sup> phase:

G { poids propre:  $(0,08 \times 0,2 + 1,10 \times 0,16) 2500 = 480\text{kg/ml}$   
 Carrelage:  $0,02 \times 2200 = 44\text{kg/ml}$   
 mortier de pose:  $0,02 \times 2000 = 40\text{kg/ml}$

P: surcharge  $1,2 P = 1,2 \times 175 = 210\text{kg/ml.}$

$$q = 774\text{kg/ml.}$$

la comparaison des résultats des ferraillements des 3 phases montre que la 2<sup>e</sup> phase est le cas le plus défavorable.

Moment :  $M = \frac{q l^2}{8} = 656 \cdot \frac{2,84^2}{8} = 0,661 \text{ t.m}$

$$\mu = \frac{15M}{\bar{\sigma}_a \cdot b \cdot h^2} = \frac{15 \cdot 0,661 \cdot 10^5}{2800 \cdot 110 \cdot 14^2} = 0,016$$

$$\alpha = 0,1675 \quad \epsilon = 0,9442 \quad k = 74,5$$

$x = \alpha \cdot h = 0,1675 \cdot 14 = 2,34 \text{ cm} < h_0 = 16 \text{ cm}$ , l'axe neutre tombe dans la table, le calcul sera fait pour une section rectangulaire (b, h)

$$A = \frac{M}{\bar{\sigma}_a \epsilon h} = \frac{0,661 \cdot 10^5}{2800 \cdot 0,9442 \cdot 14} = 1,78 \text{ cm}^2$$

soit 4TB (2,01 cm<sup>2</sup>)

Vérifications:

i) Contraintes:  $\bar{\omega} = \frac{A}{b \cdot h} \cdot 100 = \frac{2,01}{110 \cdot 14} \cdot 100 = 0,13$

$$\epsilon = 0,9405 \quad k = 69$$

$$\sigma_a = \frac{M}{A \epsilon h} = 2497,5 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a$$

$$\sigma'_b = \frac{\sigma_a}{k} = 36,2 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b$$

ii) non fragilité:  $A_{\min} = 0,69 \cdot b \cdot h \cdot \frac{\bar{\sigma}_b}{\bar{\sigma}_{en}} = 1,48 \text{ cm}^2 < A$

ii) fissuration:  $\bar{\omega}_f = \frac{A}{2 \cdot b \cdot d} = \frac{2,01}{2 \cdot 20 \cdot 2} = 0,025$

$$\sigma_1 = \frac{k n}{\phi} \frac{\omega_f}{1 + 10 \omega_f} = \frac{1,5 \cdot 10^6 \cdot 1,6}{8} \frac{0,025}{1,25} = 6030 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_1 > \bar{\sigma}_a$$

iii) Cisaillement:  $T^{\max} = \frac{q l}{2} = 774 \cdot \frac{2,84}{2} = 1,099 \text{ t}$

sous la charge de la 3<sup>e</sup> phase:

$$\tau_b = \frac{T}{b \cdot z} = \frac{1,099 \cdot 10^3}{20 \cdot \frac{7}{8} \cdot 14} = 4,48 \text{ kg/cm}^2 ; \quad \bar{\tau}_b = 3,5 \bar{\sigma}_b = 20,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_b < \bar{\tau}_b \text{ vérifié.}$$

l'écartement des cadres est donné par:

$$t_0 \leq \frac{A_t \cdot \bar{\sigma}_a \cdot \gamma}{T} \quad ; \quad A_t = 2 \text{ cadres } \phi 6 = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$t_0 \leq \frac{1,13 \times 2169 \times 7/8 \cdot 14}{1,099 \cdot 10^3} = 27 \text{ cm}$$

$$0,2h < t < (1 - 0,13 \frac{\bar{\sigma}_b}{\bar{\sigma}_a}) h$$

$$t_1 = 2,8 < t < 10,8 = t_2$$

$$t \leq \inf \left\{ \begin{array}{l} t_0 \\ \max(t_1, t_2) \end{array} \right. \quad t_0 = t = 27 \text{ cm}$$

à l'appui, prendre  $t = 10 \text{ cm}$ .

Calcul des armatures longitudinales:

3<sup>e</sup> phase :  $M_t = q \frac{l^2}{10} = 774 \cdot \frac{1,00^2}{10} = 77,4 \text{ Kg}\cdot\text{m}$

$$\mu = \frac{15M}{\bar{\sigma}_a b h^2} = \frac{15 \times 0,774 \cdot 10^4}{2800 \times 100 \times 7^2} = 0,0084$$

$$\epsilon = 0,8829 \quad \kappa = 27,7$$

$$A = \frac{M}{\bar{\sigma}_a \cdot \epsilon \cdot h} = \frac{0,774 \cdot 10^5}{2800 \times 0,8829 \times 7} = 0,44 \text{ cm}^2$$

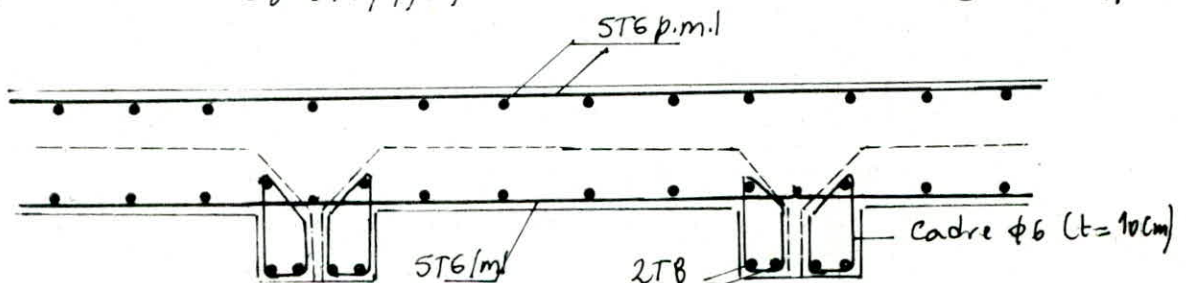
soit  $A = 5T6 (1,41 \text{ cm}^2) \text{ p.m.l}$   $t = 20 \text{ cm}$

$A_{rep} = \frac{A}{4}$  soit  $5T6 \text{ p.m.l}$  (pour commodité d'exécution)

chapeaux : 3<sup>o</sup> phase :  $M_a = q \cdot \frac{l^2}{20} = 38,7 \text{ Kg}\cdot\text{m}$

$$\mu = 0,0042 \quad \epsilon = 0,9704 \quad \kappa = 154$$

$$A = \frac{38,7 \cdot 10^2}{2800 \cdot 0,97 \cdot 7} = 0,2 \text{ cm}^2 \text{ soit } 5T6 \text{ p.m.l} \quad e = 20 \text{ cm}$$



# CALCUL DES ESCALIERS

## INTRODUCTION:

La Cage d'escalier est située à l'intérieur du bâtiment, elle-ci est limitée de part et d'autre par des voiles appelés murs d'échiffre. des escaliers étudiés sont en béton armé à paillasse préfabriquée, alors que les paliers sont coulés sur place - des paliers s'encastrent dans les refends tandis que la volée repose simplement sur les deux paliers

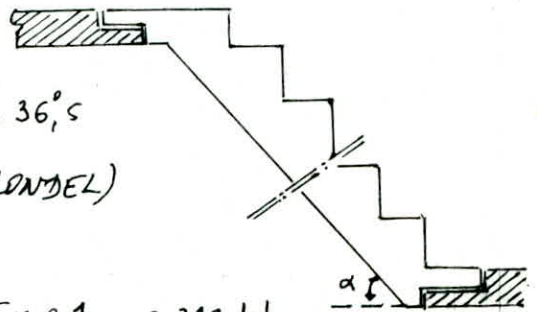
## Caractéristiques géométriques:

largeur des marches :  $27 \text{ cm} = g$

hauteur des contre-marche :  $17,5 \text{ cm} = h$

nombre de marche :  $n = 7$       $\alpha = 36,5^\circ$

$$60 \leq 2h + g \leq 64 \text{ cm (formule de BLONDEL)}$$



## Charges et surcharges:

pois propre de la paillasse :  $\frac{2,5 \times 0,1}{\cos \alpha} = 0,312 \text{ t/m}$

pois propre des marches :  $\frac{2,2 \times 0,175}{2} = 0,192 \text{ t/m}$

pois du revêtement (3cm) :  $2,2 \times 0,03 = 0,066 \text{ t/m}$

garde corps :  $0,1 \text{ t/m}$

$$G = 0,670 \text{ t/m}$$

escaliers d'habitation :  $P = 250 \text{ kg/ml}$

$$q = G + 1,2 P = 0,970 \text{ t/m}$$

## Etude de la paillasse:

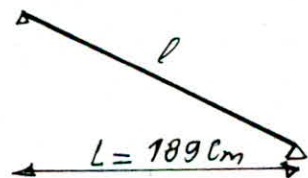
d'après les recommandations du C.T.C, la paillasse sera calculée en flexion simple. l'épaisseur à prendre est

eq:  $\frac{l}{20} < e < \frac{l}{30}$       $l$ : portée entre appuis

$$l = \frac{L}{\cos \alpha} = \frac{189}{0,803} = 236 \text{ cm}$$

$$7,8 < e < 11,8 \text{ cm}$$

$$e = 10 \text{ cm.}$$



## DETERMINATION DES EFFORTS :

$$T = R_A = R_B = q \frac{l}{2} = 0,917 \text{ t}$$

$$M = q \frac{l^2}{8} = 0,433 \text{ t.m.}$$

## Ferraillage :

(Méthode de P. CHARON).

$$M = 0,433 \text{ tm} ; h = 8 \text{ cm} ; d = 2 \text{ cm}$$

$$\mu = \frac{15M}{\bar{\sigma}_a b h^2} = \frac{15 \times 0,433 \cdot 10^5}{2800 \cdot 100 \cdot 8^2} = 0,0363$$

$$K = 46,4 \quad E = 0,918$$

Section d'acier :  $A = \frac{M}{\bar{\sigma}_a E \cdot h}$

$$A = \frac{0,433 \cdot 10^5}{2800 \cdot 0,918 \cdot 8} = 2,10 \text{ cm}^2 \text{ soit } 6T8 (3,01 \text{ cm}^2) / \text{ml } e = 1,6 \text{ cm}$$

armatures de répartition :

$$\frac{A}{4} < A_r < \frac{A}{2}$$

$$A_r = 0,75 \text{ cm}^2 \text{ soit } 5T6 / \text{ml } e = 20 \text{ cm.}$$

## Vérifications :

i) non fissuration :

$$w_f = \frac{A}{2bd} = 0,0098$$

$$\left\{ \begin{array}{l} K = 1,5 \cdot 10^6 \\ \eta = 1,6 \\ \phi = 10 \end{array} \right.$$

$$\sigma_1 = \frac{K \eta}{\phi} \frac{w_f}{1 + 10 w_f} ; \quad \sigma_2 = 2,4 \sqrt{\frac{K \eta}{\phi} \bar{\sigma}_b}$$

$$\sigma_f = \max(\sigma_1, \sigma_2) = 3091,6 \text{ Kg/cm}^2 > \bar{\sigma}_a = 2800 \text{ Kg/cm}^2$$

ii) Contraintes :

$$A = 3,01 \text{ cm}^2$$

$$\bar{w} = 0,3762$$

$$\left\{ \begin{array}{l} K = 37,8 \\ E = 0,9053 \end{array} \right.$$

$$\sigma_a = \frac{M}{A E h} = \frac{0,433 \cdot 10^5}{3,01 \cdot 0,9053 \cdot 8} = 1986 \text{ Kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a$$

$$\sigma'_b = \frac{\sigma_a}{k} = \frac{1986}{37,8} = 52,54 \text{ Kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b$$

iii) Cisaillement :

$$\tau_b = \frac{T}{b \cdot z} = \frac{917}{100 \cdot \frac{7}{8} \cdot 8} = 1,31 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\bar{\tau}_b = 1,15 \bar{\sigma}_b = 6,7 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_b < \bar{\tau}_b$$

iv) non fragilité :

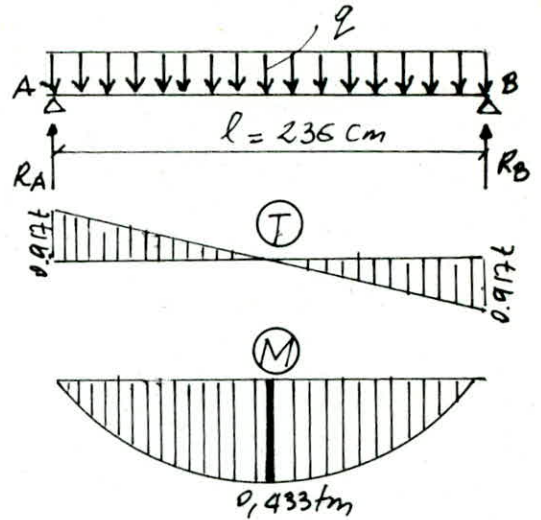
$$A = 3,01 \text{ cm}^2$$

$$A \geq 0,69 b h \cdot \frac{\sigma_b}{\sigma_{en}} = 1,16 \text{ cm}^2 \text{ vérifiée.}$$

v) flèche :

$$f = \frac{5}{384} \frac{q l^4}{E I} ; \quad E = 7000 \sqrt{\sigma_s} = 7000 \sqrt{270} \text{ Kg/cm}^2$$

$$f = 0,16 \text{ cm} ; \quad \bar{f} = l/300 = 0,63 \text{ cm} ; \quad f < \bar{f}$$





### CALCUL DES BEQUETS:

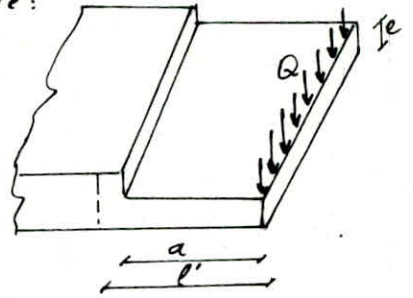
D'après les recommandations techniques du C.T.C, l'épaisseur des béquets ne doit pas être inférieure à 7 cm, aussi bien dans la section d'encastrement que dans la section d'extrémité - choix:  $e = 8 \text{ cm}$ .

la longueur des bequets ne devra pas être inférieure à 10 cm. choix:  $a = 13 \text{ cm}$   $l' = 15 \text{ cm}$

Il s'agit de calculer sous une charge linéaire:

$$Q = \gamma_g \cdot q \cdot l$$

$\gamma_g$ : coef de comportement ( $\gamma_g = 1,4$ )  
 $q$ : charge de calcul de la poutre

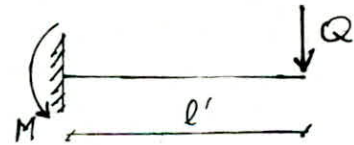


$$Q = 2567 \text{ Kg/m}$$

des armatures en boucles des bequets, des poutres, et des piliers seront calculés en flexion simple avec une portée  $l' = 15 \text{ cm}$ , et fera tenu compte du cas le plus défavorable où la charge  $Q$  est appliquée à l'extrémité:

$$M = Q \cdot l' = 2567 \cdot 0,15 = 385 \text{ Kg} \cdot \text{m}$$

$$\mu = \frac{M}{\sigma_a b h^2} = \frac{15 \cdot 385 \cdot 10^2}{2800 \cdot 100 \cdot 6^2} = 0,0573$$



$$K = 35,2 \quad E = 0,9004$$

$$A = \frac{M}{\sigma_a \cdot E \cdot h} = \frac{38500}{2800 \cdot 0,9004 \cdot 6} = 2,54 \text{ cm}^2 \text{ soit } 6T8/\text{ml}$$

espacement:  $t < 2e$  (CTC)  $t = 14 \text{ cm}$   
 $t < 2 \cdot 8 = 16 \text{ cm}$

$e$ : épaisseur du béquet

$t$ : espacement entre les armatures longitudinales.

Armature de répartition:

$$A_2 = \frac{A}{4} = \frac{3,01}{4} = 0,75 \text{ cm}^2 \text{ soit } 5T6/\text{ml}$$

Vérification au cisaillement:

$$\tau_b = \frac{T}{b_z} = \frac{2567}{100 \cdot \frac{7}{8} \cdot 6} = 4,89 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\bar{\tau}_b = 6,78 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\tau_b < \bar{\tau}_b$$

### LIAISON PALIER-PAILLASSE:

Afin d'assurer une garantie contre tout risque d'effondrement de la paillasse au tri bien sous les charges verticales normales que pour l'action du feuisme, il doit obligatoirement être prévu une liaison systématique des paillasses et des paliers par des armatures partant des extrémités de la paillasse préfabriquée et pcellées dans son chaînage coulé après pose de la volée sur toute la longueur de l'appui.

### calcul du ferrailage:

Le calcul de la liaison (volée-palier) sera effectuée pour une charge égale à  $(\frac{7}{10})^{\text{ème}}$  du poids propre total de la paillasse préfabriquée

$$q = 0,7 \times 1,89 \times 970 = 1283,3 \text{ Kg/ml}$$

des liaisons (paillasse-palier) sont considérées comme de semi-encastrement.

$$M_a = - q \frac{l^2}{20} = - \frac{1283,3 \cdot 1,89^2}{20} = - 229,2 \text{ Kg/ml}$$

$$A_a = \frac{M}{\bar{\sigma}_a \epsilon_h} = \frac{229,2 \cdot 10^2}{2800 \cdot 0,991 \cdot 12} = 0,69 \text{ cm}^2$$

$$\text{soit } A = 4T8/\text{ml} \quad e = 20 \text{ cm}$$

$$l_d = 50 \phi = 40 \text{ cm. (long. de recourt)}$$

## CALCUL DU PALIER intermédiaire :

le palier intermédiaire sera calculé comme une dalle encastrée sur les deux côtés et libre sur les deux autres. Il sera soumis à :

- son poids propre :  $q_{pp} = 1,50 \times 0,16 \times 2,5 = 0,6 \text{ t/m}$
  - sa surcharge :  $q_p = 1,2 \times 1,50 \times 0,250 = 0,45 \text{ t/m}$
  - la réaction transmise par la poutre :  $0,917 \times 1,89 = 1,73 \text{ t}$
- $$q = \sum q_i = 2,78 \text{ t/m}$$

schéma statique de calcul :

$$M_a = -\frac{q l^2}{12} = -2,78 \frac{3^2}{12} = -2,08 \text{ tm}$$

$$M_f = \frac{q l^2}{24} = 0,5 M_a = 1,04 \text{ tm}$$

Calcul du ferrailage :

i) En travée :

$$M_{rb} = K b l^2$$

$$K = \frac{1}{2} \bar{\sigma}_b' (1 - \frac{\bar{\alpha}}{3}) \cdot \bar{\alpha} ; \bar{\alpha} = \frac{n \bar{\sigma}_b'}{n \bar{\sigma}_b' + \sigma_a}$$

$$M_{rb} = 24,89 \times 100 \times 13^2 ; K = 24,89$$

$$M_{rb} = 4,22 \text{ tm} > M_f \text{ d'où } A' = 0$$

$$A = \frac{M}{\gamma \bar{\sigma}_a} = \frac{1,04 \cdot 10^5}{0,86 \cdot 13 \cdot 2800} = 3,32 \text{ cm}^2$$

$$\text{soit } 6T10 (4,71 \text{ cm}^2) \text{ p.m.l } e = 16 \text{ cm}$$

$$\text{armatures de répartition : } A_r = \frac{A}{4} = 0,83 \text{ cm}^2$$

$$\text{soit } 4T6 \text{ p.m.l } t = 25 \text{ cm}$$

ii) Sur appui :

$$A = \frac{M}{\gamma \bar{\sigma}_a} = \frac{2,08 \cdot 10^5}{0,86 \cdot 13 \cdot 2800} = 6,66 \text{ cm}^2$$

$$\text{soit } 10T10 (7,85 \text{ cm}^2) \text{ p.m.l } e = 10 \text{ cm}$$

$$A_{rep} = \frac{A}{4} = 1,66 \text{ cm}^2 \text{ soit } 4T8 \text{ p.m.l } e = 25 \text{ cm}$$

Vérifications:

i) fissuration:  $\bar{\omega}_f = \frac{A}{B_f} = \frac{A}{2 \cdot b \cdot d} = \frac{7,85}{2 \cdot 100 \cdot 3} = 0,013$   
 $\phi = 10$      $K = 1,5 \cdot 10^6$      $\eta = 1,6$

$$\sigma_1 = \frac{K \eta}{\phi} \frac{\bar{\omega}_f}{1 + 10 \bar{\omega}_f} = 2778 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_2 = 2,4 \sqrt{\frac{K \eta}{\phi} \bar{\sigma}_b} = 2855 \text{ Kg/cm}^2 > \bar{\sigma}_a$$

ii) Cisaillement:  $T_{\max} = q \cdot \frac{l}{2} = 2,78 \cdot \frac{3}{2} = 4,17 \text{ t}$

$$\tau = \frac{T_{\max}}{b \cdot z} = \frac{4,17 \cdot 10^3}{100 \cdot \frac{7}{8} \cdot 13} = 3,66 \text{ Kg/cm}^2 < \bar{\tau}_b = 6,8 \text{ Kg/cm}^2$$

### CALCUL DE LA POUTRE PALIÈRE :

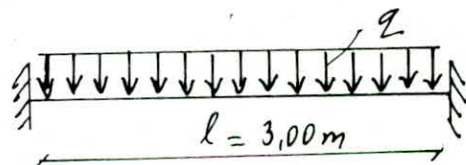
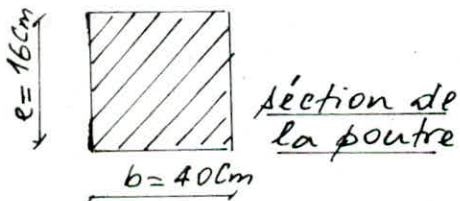
La poutre palière supporte les charges transmises par la paillasse, la charge supportée est la somme de:

- La charge de la volée transmise au palier:  $q_1$
- Du poids propre de la poutre:  $q_2$

$$q_1 = 2,78 \text{ t/ml}$$

$$q_2 = 2,5 \times 0,16 \times 0,40 = 0,16 \text{ t/ml}$$

$$q = q_1 + q_2 = 2,94 \text{ t/ml}$$



sur appuis:  $M_a = - q l^2 / 12 = 2,94 \cdot 3^2 / 12 = 2,2 \text{ tm}$

en travée:  $M_t = q l^2 / 24 = 2,94 \cdot 3^2 / 24 = 1,1 \text{ tm}$

Ferraillage:  $d = d' = 2 \text{ cm}$      $h = 14 \text{ cm}$

$$M_{rb} = K \cdot b \cdot h^2 = 24,89 \cdot 40 \cdot 14^2 = 19,51 \text{ tm} > M_t \rightarrow A^1 = 0$$

$$A = \frac{M}{z \bar{\sigma}_a} = \frac{1,1 \cdot 10^5}{7/8 \cdot 14 \cdot 2800} = 3,20 \text{ cm}^2$$

soit 5T10 (3,92 cm<sup>2</sup>)

aux appuis:  $A = \frac{M_a}{z \bar{\sigma}_a} = 6,4 \text{ cm}^2$  soit 4T16 (6,16 cm<sup>2</sup>)

Vérifications: i) Contraintes

en travée:  $A = 3,92 \text{ cm}^2$

position de l'axe neutre:  $\frac{bx^2}{2} - nA(h-x) = 0 \quad x = 5,11 \text{ cm}$

moment d'inertie:  $I = \frac{bh^3}{3} + nA(h-x)^2 = 22950,8 \text{ cm}^4$

$$K = \frac{M}{I} = \frac{1,1 \cdot 10^5}{22950,8} = 4,79$$

$$\sigma_b' = K \cdot x = 4,79 \times 5,11 = 24,5 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_b'$$

$$\sigma_a = nK(h-x) = 15 \times 4,79(14 - 5,11) = 638,7 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a$$

ii) fibruration:  $\omega_f = \frac{A}{2 \cdot b \cdot d} = \frac{3,92}{2 \cdot 40 \cdot 2} = 0,0245$

$$\sigma_1 = \frac{K n}{\phi} \cdot \frac{\bar{\omega}_f}{1 + 10 \bar{\omega}_f} = 4723 \text{ kg/cm}^2 > \bar{\sigma}_a$$

iii) Cisaillement:  $T_{\max} = q \frac{l}{2} = 2,94 \cdot \frac{3}{2} = 4,41 \text{ t}$

$$\tau_b = \frac{T}{b \cdot z} = \frac{4,41 \cdot 10^3}{40 \cdot \frac{7}{8} \cdot 14} = 9 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\tau}_b = 3,5 \bar{\sigma}_b = 20,6 \text{ kg/cm}^2$$

le ferrailage transversal est donné par:

$$A_t = 1 \text{ cadre } T8 + 1 \text{ étrier } T8 = 4T8 = 2,01 \text{ cm}^2$$

l'espacement des  $A_t$ :  $t \leq \frac{A_t \sigma_{at} \cdot z}{T}$

$$\sigma_{at} = \frac{2}{3} \sigma_{en} \quad (\text{sans reprise de bétonnage})$$

$$\sigma_{at} = \frac{2}{3} \cdot 4200 = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

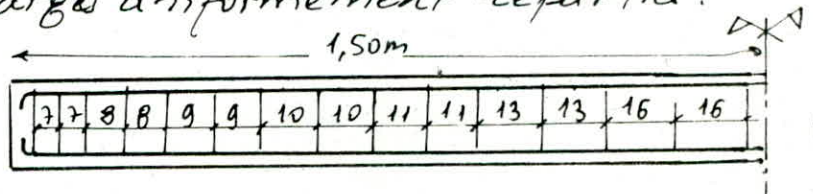
$$t \leq \frac{2,01 \cdot 2800 \cdot \frac{7}{8} \cdot 14}{4,41 \cdot 10^3} = 15,6 \text{ cm}, \quad t = 15 \text{ cm}$$

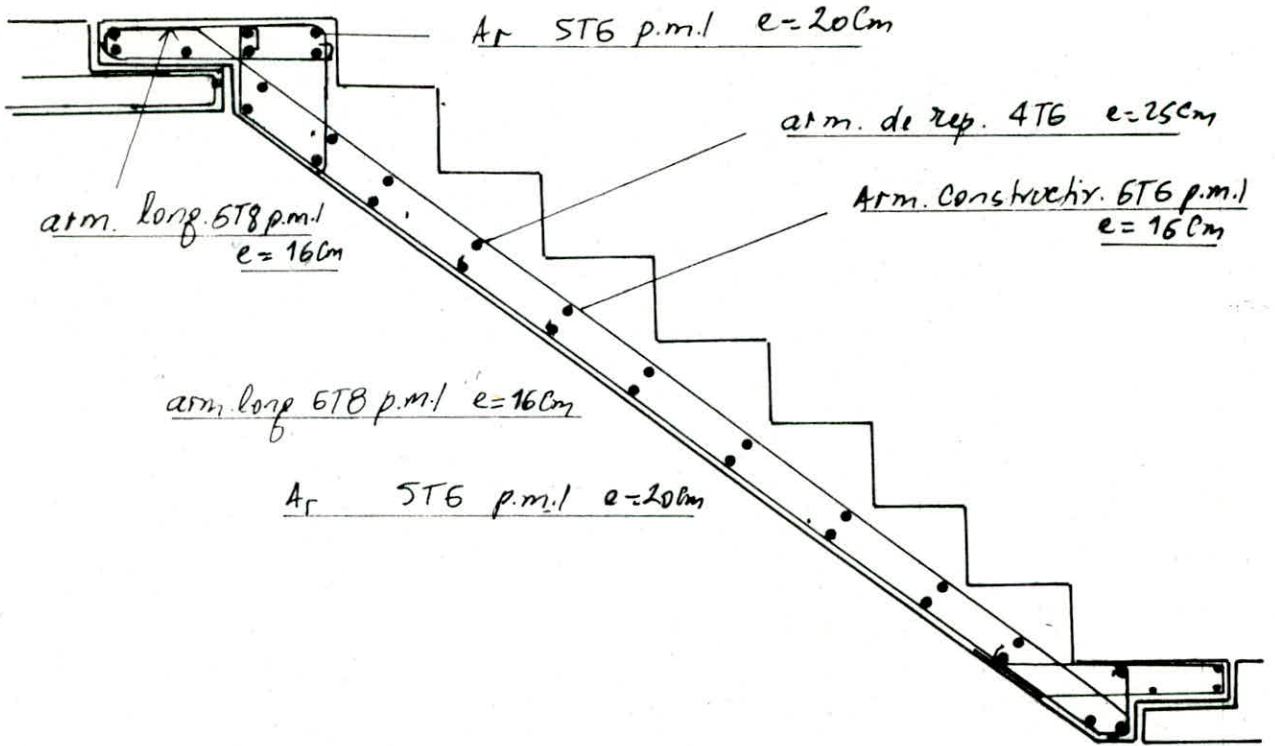
$$0,2h < t < (1 - 0,3 \frac{\tau_b}{\bar{\sigma}_b}) h \quad 2,8 < t < 7,5 \text{ cm}$$

d'où  $t = 7 \text{ cm}$  à l'appui.

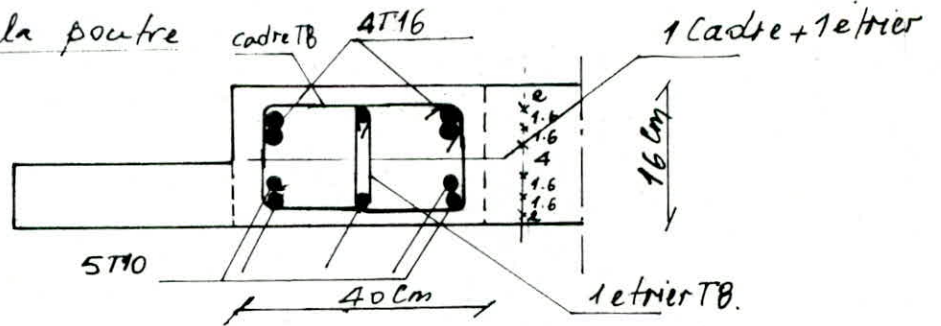
Pour la répartition des armatures transversales perpendiculaires à la ligne moyenne, il sera fait appel à la méthode de CAQUOT applicable aux cas des poutres supportant des charges uniformément réparties.

demi-portée = 1,5 m

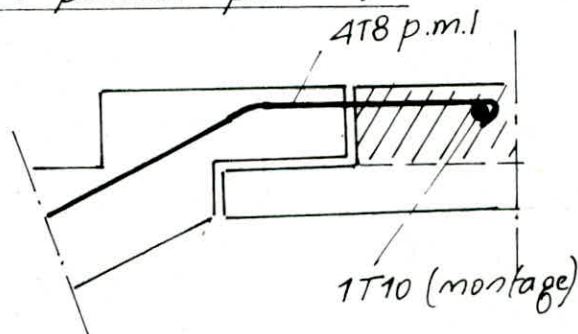




Ferrailage de la poutre palier.



Acier de liaison palier-paillasse.



**ETUDE  
DES  
FONDATEMENTS**

# CALCUL DES FONDATIONS

## 1. INTRODUCTION

Le choix du type de fondation dépend de la charge apportée par le bâtiment et des caractéristiques mécaniques du sol supportant ces charges.

Le rapport du sol a donné :  $\bar{\sigma}_{sol} = 1.5 \text{ bars}$

à une profondeur de 1.50m

Le choix a été porté sur un radier général du fait que :

- les charges transmises par la superstructure sont importantes et font que la distance entre tranchées des semelles filantes est trop faible pour faciliter les travaux.
- les tassements seront réduits.
- les travaux d'exécution du coffrage et du ferrailage seront facilités.

Ce radier général, qui est chargé par les réactions du sol, fonctionne comme un plancher renversé. La dalle prend appui sur les nervures qui prennent elles-mêmes appui sur les murs de l'ossature (voiles).

## 2. CHARGE DE CALCUL :

La charge de calcul est donnée par :  $N = G + 1.2P$

$$G = 2957.6 \text{ t} , \quad P = 254.42 \text{ t} \quad N = 3262.9 \text{ t}$$

## 3. SURFACE NECESSAIRE DU RADIER :

elle est déterminée par la condition :  $\frac{N}{S_n} \leq \bar{\sigma}_s$

$$S_n \geq \frac{N}{\bar{\sigma}_s} \quad S_n \geq \frac{3262,9}{15} = 217,5 \text{ m}^2$$

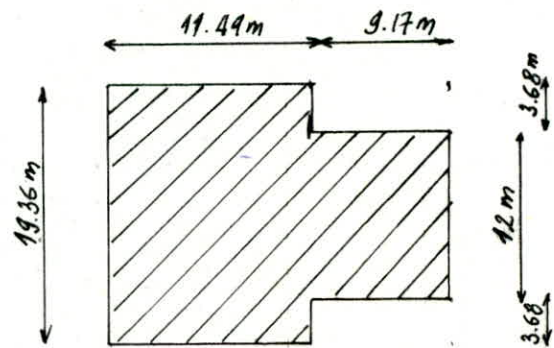
$$S_n \geq 217,5 \text{ m}^2$$



#### 4. SURFACE TOTALE DU RADIER

Le radier sera constitué d'une dalle d'épaisseur constante avec un débord de 0,50 m du voile périphérique.

$$S_r = 332,48 \text{ m}^2$$



#### 5. PRESSION SOUS LE RADIER

En ne tenant pas compte du poids du radier :

$$p = \frac{N}{S_r} = \frac{3262,9}{332,48} = 9,87 \text{ t/m}^2$$

#### 6. PREDIMENSIONNEMENT DU RADIER

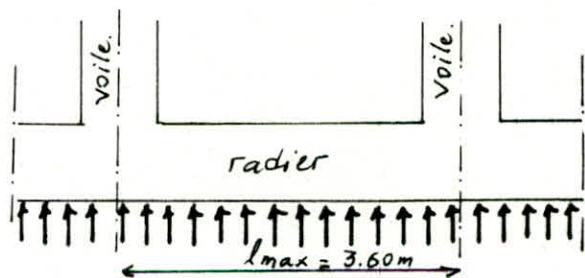
Comme il n'est pas commode de mettre des étriers dans une dalle, l'épaisseur du radier sera déterminée en fonction de la contrainte de cisaillement.

$$\tau_b = \frac{T}{b \cdot z} \leq \bar{\tau}_b = 1,15 \bar{\sigma}_b = 1,15 \cdot 5,9 = 6,78 \text{ kg/cm}^2$$

$T = T_{\max}$  : effort tranchant max. développé entre deux voiles parallèles voisins distants d'une longueur max ( $l_{\max}$ )

$$T = \frac{p \cdot l_{\max}}{2}$$

le calcul se fait pour une bande de 1 m ( $b = 100 \text{ cm}$ ).



$$T = 9,87 \frac{3,6}{2} = 17,76 \text{ t}$$

$$z \geq \frac{T}{b \bar{\tau}_b} = \frac{17,76 \cdot 10^3}{6,78 \cdot 100} = 26,19 \text{ cm}$$

$$h = \frac{8}{7} z = 29,93 \text{ cm}$$

et la condition forfaitaire donne:

$$h_t > \frac{l_{\max}}{10} = \frac{360}{10} = 36 \text{ cm.}$$

on adoptera

une hauteur totale :  $h_t = 45 \text{ cm}$

une hauteur utile :  $h = 40 \text{ cm}$  ,  $d = 5 \text{ cm}$

### 7. Vérification de la contrainte du sol:

en tenant compte du poids propre du radier

$$G_r = 2,5 \times 0,45 \times 332,48 = 374 \text{ t}$$

$$N_t = N + G_r = 3636,9 \text{ t}$$

la pression  $p' = \frac{N_t}{S_r} = \frac{3636,9}{332,48} = 10,9 \frac{\text{t}}{\text{m}^2} < \bar{\sigma}_s$

### 8. VÉRIFICATION AU POINÇONNEMENT :

La vérification sera faite pour le voile le plus sollicité.

(VL6) :  $G = 324,6 \text{ t}$        $P = 52,1 \text{ t}$

$$\frac{1,5 q}{P_c \cdot h_t} < 1,15 \bar{\sigma}_b$$

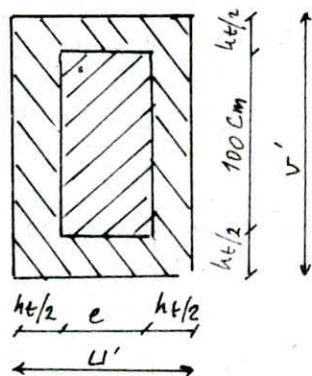
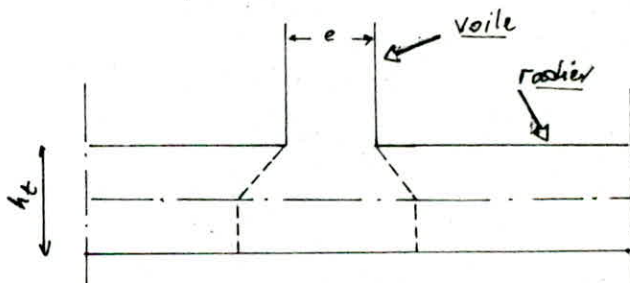
$$q = q_G + 1,2 q_p = 387,12 \text{ t}$$

$$q_{\text{ml}} = \frac{387,12}{12,4} = 31,88 \text{ t/ml}$$

$P_c$ : Périmètre du Contour Cisailé sur le plan moyen du radier.

$$P_c = 2(u' + v') = 2(61 + 145) = 412 \text{ cm.}$$

$$\frac{1,5 \cdot 31,88 \cdot 10^3}{412 \cdot 45} = 2,58 \text{ Kg/cm}^2 < 1,15 \bar{\sigma}_b$$



### 9. STABILITÉ DU RADIER SOUS LES SOLLICITATIONS DU 2<sup>o</sup> GENRE

on vérifie la stabilité du radier en calculant les contraintes dues au moment de renversement  $M_0$  et de

l'effort normal  $N$  (y compris le pds propre du radier).

$$N = G_t + G_r + P$$

$$G_t = 2957,6 \text{ t} \quad G_r = 374 \text{ t} \quad P = 254,42 \text{ t}$$

$$N = 3586,1 \text{ t}$$

le moment de renversement  $M_0$  au niveau des fondations est:

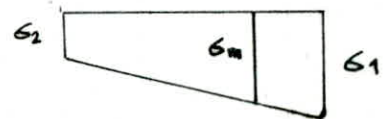
$$M_0 = M + H_0 \cdot h$$

$H_0$ : effort tranchant au niveau du R.D.C. ( $H_0 = T_{x,y}$ )

$M$ : Moment au niveau du R.D.C.

$h$ : ancrage du bâtiment (1,50 m).

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{S} \pm \frac{M \cdot v}{I}$$



des coordonnées du c.d.g du radier par rapport à des axes  $(x,y)$  passant par ses bords:

$$X_G = 9,16 \text{ m} \quad ; \quad Y_G = 9,68 \text{ m}$$

$$I_{X_G} = 8268,4 \text{ m}^4 \quad ; \quad I_{Y_G} = 9687,8 \text{ m}^4$$

\* Sens transversal:

$$M_y = 8218,75 \text{ tm} \quad ; \quad T_y = 517,53 \text{ t} = \sum F_k \quad ; \quad M_0 = 8995,04 \text{ tm}$$

$$v = 9,68 \quad ; \quad I_{xx} = 8268,4 \text{ m}^4$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{3586,10}{332,48} \pm \frac{8995,04 \cdot 9,68}{8268,4} = \begin{cases} \sigma_1 = 21,3 \text{ t/m}^2 \\ \sigma_2 = 0,25 \text{ t/m}^2 \end{cases}$$

$$\sigma_m = \frac{3\sigma_1 + \sigma_2}{4} = 16,04 \text{ t/m}^2 \leq 1,30 \bar{\sigma}_s = 19,5 \text{ t/m}^2$$

\* Sens longitudinal:

$$M_x = 8343,92 \text{ tm} \quad ; \quad T_x = 528,08 \text{ t} = \sum F_k \quad ; \quad M_0 = 9136,04 \text{ tm}$$

$$v = 11,50 \text{ m} \quad ; \quad I_{yy} = 9687,8 \text{ m}^4$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{3586,10}{332,48} \pm \frac{9136,04 \cdot 11,50}{9687,8} = \begin{cases} \sigma_1 = 21,6 \text{ t/m}^2 \\ \sigma_2 = 0,0 \text{ t/m}^2 \end{cases}$$

$$s_m = \frac{361 + 6e}{4} = 15,2 \text{ t/m}^2 < 1,30 \bar{G}_s = 19,95 \text{ t/m}^2$$

Remarque : le taux de travail du sol est majoré de  
(RPA art. 4.1.3.1) 30% pour le calcul du radier sous l'action  
du séisme (solllicitations du 2<sup>nd</sup> genre)

## 10. DETERMINATION DE LA SOLLICITATION LA PLUS DEFAVORABLE

a. Solllicitation du 1<sup>er</sup> genre :  $q(SP1) = 10,3 \text{ t/m}^2$

b. Solllicitation du 2<sup>o</sup> genre :

i) Sens transversal:

$$q_1(SP2) = s_1 - \frac{G_r}{S_r} = 21,3 - \frac{374}{332,48} = 20,2 \text{ t/m}^2$$

ii) Sens longitudinal:

$$q_2(SP2) = s_1 - \frac{G_r}{S_r} = 21,6 - \frac{374}{332,48} = 20,5 \text{ t/m}^2$$

$$q = q_{\max} = q_2(SP2) = 20,5 \text{ t/m}^2$$

les solllicitations du 2<sup>nd</sup> genre étant les plus défavorables.

## FERRAILLAGE DU RADIER :

Le calcul du ferrailage est fait par la méthode des C.C.B.A 68 exposée dans l'annexe A2 -

### EXPOSÉ DE LA MÉTHODE :

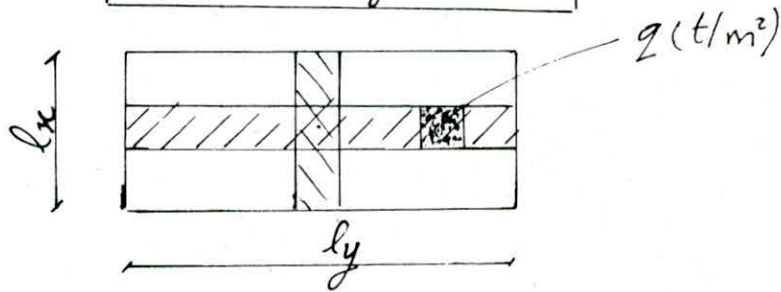
La méthode consiste à l'étude des panneaux uniformément chargés reposant sur quatre (04) côtés et de dimension entre nus d'appuis (voiles)  $l_x$  et  $l_y$  ( $l_x \leq l_y$ ).

Il sera considéré au milieu de chaque portée une bande de 1m de largeur. Les moments développés au centre du panneau dans la direction des deux bandes ont pour expressions :

$$M_x = \frac{q \cdot l_y^2}{8} \cdot \frac{1}{K}$$

$$M_y = \frac{q \cdot l_x^2}{8} \cdot \frac{1}{K}$$

$$K = 1 + \left(\frac{l_x}{l_y}\right)^2 + \left(\frac{l_y}{l_x}\right)^2$$



Il y'a lieu de remarquer la continuité des panneaux, le calcul des moments dans les panneaux sera fait d'abord comme s'il était librement appuyé soit  $M_{0x}$  et  $M_{0y}$  les moments en travées et  $M_{tx}$  et  $M_{ty}$  sont des fractions de  $M_{0x}$  et  $M_{0y}$  qui peuvent être ainsi réduits de 15 à 25% selon les conditions d'encastrement. des moments sont choisis avec l'inégalité:

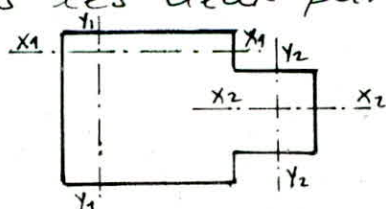
$$M_t + \frac{M_w + M_e}{2} \geq 1,25 M_0 \quad (\text{dans les deux sens}).$$

$M_e, M_w$ : moments aux appuis du panneau considéré.

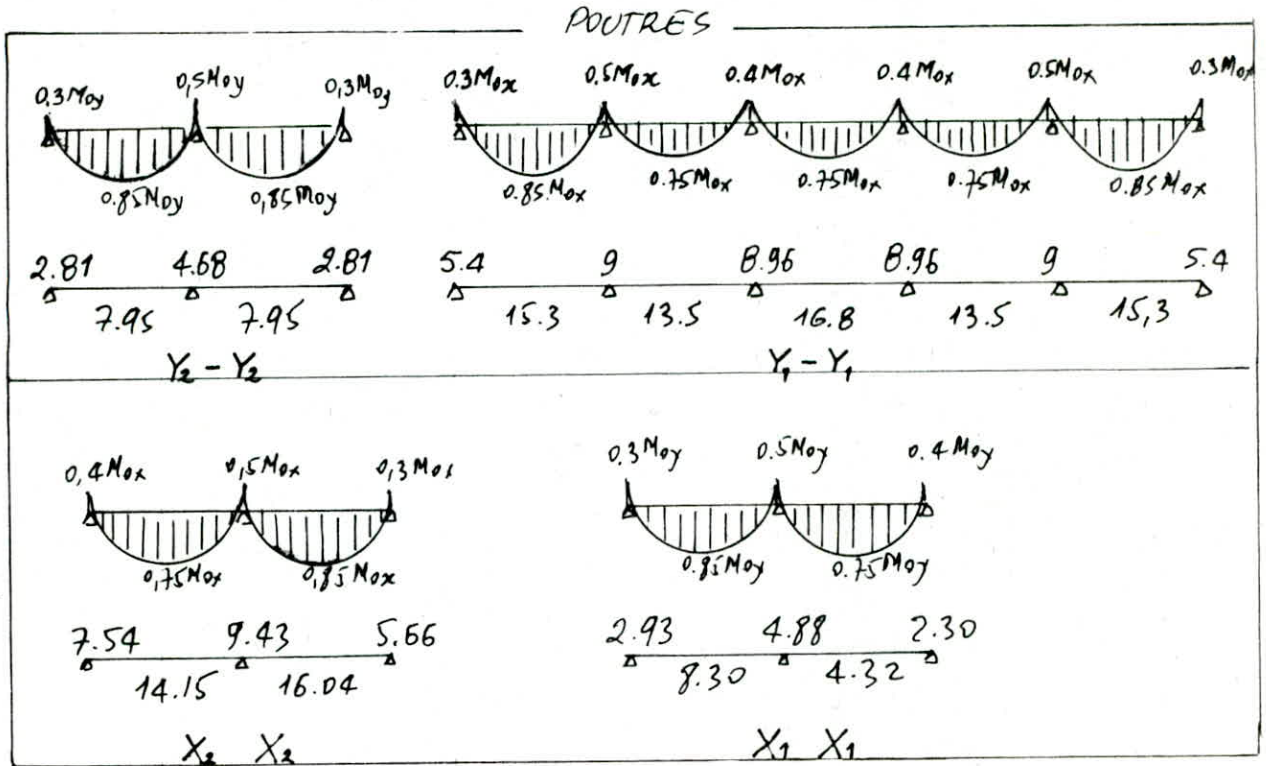
#### DIMENSIONS DES PANNEAUX:

| PANNEAUX  | 1-12 | 2    | 3-11 | 4-10 | 5-8  | 6-7  | 9    |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| $l_x$ (m) | 3.60 | 3.60 | 3.60 | 3.60 | 3.56 | 3.56 | 3.00 |
| $l_y$ (m) | 4.86 | 5.42 | 4.86 | 7.67 | 5.10 | 5.10 | 8.06 |
| K         | 3.37 | 3,73 | 3.37 | 5.74 | 3.54 | 3.54 | 7.41 |

La dalle sera calculée comme une poutre continue et ce dans les deux parties du plancher.



Evaluation des moments: unité: [t.m]



Le ferrailage des poutres de radier sera fait avec le moment maximum et ce pour chaque bent.

Poutre Y<sub>1</sub>-Y<sub>1</sub>:

$$M_t = 16,8 \text{ t.m} \quad \mu = \frac{15M}{\bar{\sigma}_a \cdot b h^2} = \frac{15 \cdot 16,8 \cdot 10^5}{4200 \cdot 100 \cdot 40^2} = 0,0376 \quad \left\{ \begin{array}{l} \alpha = 0,248 \\ E = 0,917 \\ K = 45,4 \end{array} \right.$$

$$\sigma'_b = \frac{\bar{\sigma}_a}{K} = \frac{4200}{45,4} = 92,5 \text{ Kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_{bII} = 206,5 \text{ Kg/cm}^2$$

des armatures comprimées sont inutiles.

$$A = \frac{M}{\bar{\sigma}_a \cdot E \cdot h} = \frac{16,8 \cdot 10^5}{4200 \cdot 0,917 \cdot 40} = 10,9 \text{ cm}^2 \text{ p.m.l}$$

soit 6T6 p.m.l e = 16 cm.

Vérifications:

$$w = \frac{A}{b \cdot h} \cdot 100 = 0,268 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} E = 0,917 \\ K = 45,8 \end{array} \right.$$

$$\sigma_a = \frac{M}{A \cdot E \cdot h} = 3794,5 \text{ Kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a = 4200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma'_b = \frac{\sigma_a}{K} = 82,85 \text{ Kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_{bII} = 206,5 \text{ Kg/cm}^2$$

## Tableau récapitulatif des ferrailrages:

| POUTRE      | PANNEAUX                 | TRAVÉE  |                                     |                                       |        | APPUI   |                      |                      |        |
|-------------|--------------------------|---------|-------------------------------------|---------------------------------------|--------|---------|----------------------|----------------------|--------|
|             |                          | M (t.m) | A <sub>cal</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>adopt</sub> (cm <sup>2</sup> ) | t (cm) | M (t.m) | A (cm <sup>2</sup> ) | A (cm <sup>2</sup> ) | t (cm) |
| $Y_1 - Y_1$ | 1-2-3-4-9<br>10-11-12-13 | 16.8    | 10.9                                | 6T6                                   | 16     | 8.96    | 5.99                 | 6T12                 | 16     |
| $Y_2 - Y_2$ | 5 - 6<br>7 - 8           | 7.95    | 5.03                                | 6T12                                  | 16     | 4.68    | 5.99                 | 6T12                 | 16     |
| $X_1 - X_1$ | 1-2-3-4-9<br>10-11-12-13 | 8.3     | 5.25                                | 6T12                                  | 16     | 4.88    | 5.99                 | 6T12                 | 16     |
| $X_2 - X_2$ | 5 - 6<br>7 - 8           | 16.04   | 10.38                               | 6T16                                  | 16     | 9.43    | 5.99                 | 6T12                 | 16     |

N.B. - des sections d'acier sont données par mètre linéaire.  
- toutes les vérifications sont effectuées.

Remarque:

Au niveau des appuis, le ferrailage sera calculé à partir du moment le plus défavorable, et les armatures seront identiques à tous les niveaux.

$$M_a^{\max} = 9,43 \text{ tm.} \quad \mu = 0,0211 \quad \begin{cases} \alpha = 0,1911 \\ \epsilon = 0,9363 \\ K = 63,5 \end{cases}$$

$$\sigma'_b = \frac{\bar{\sigma}_a}{K} = \frac{4200}{63,5} = 66,14 \text{ Kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_{bII} \rightarrow A' = 0$$

$$A = \frac{M}{\bar{\sigma}_a \cdot \epsilon \cdot h} = \frac{9,43 \cdot 10^5}{4200 \cdot 0,9363 \cdot 40} = 5,99 \text{ cm}^2$$

soit 6T12 . pml  $t = 16 \text{ cm.}$

Vérification:

$$w = \frac{6,78}{100 \times 45} \cdot 100 = 0,150 \quad \epsilon = 0,9363 \quad K = 63,5$$

$$\sigma_a = \frac{M}{A \cdot \epsilon \cdot h} = \frac{9,43 \cdot 10^5}{6,78 \cdot 0,9363 \cdot 40} = 3713,7 \text{ Kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_{aII}$$

$$\sigma'_b = \frac{\sigma_a}{K} = \frac{3713,7}{63,5} = 58,48 \text{ Kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_{bII}$$

$$A_{\min} = 0,69 bh \bar{\sigma}_b / \sigma_{en} = 6,54 \text{ cm}^2 < A \text{ vérifiées.}$$

## Stabilité générale de l'ouvrage:

des efforts totaux sollicitant l'ouvrage sont:

sens longitudinal:  $N = 3586,1t$   $M = 8343,92tm$   
sens transversal:  $N = 3586,1t$   $M = 8218,75tm$

des positions de la résultante par rapport au centre de gravité:

$$e_x = \frac{8343,92}{3586,1} = 2,32m < \frac{1}{6} \cdot 19,66 = 3,27m \quad (R.P.A)$$

$$e_y = \frac{8218,75}{3586,1} = 2,29m < \frac{1}{6} \cdot 18,36 = 3,06m$$

la stabilité est vérifiée.

## Vérification au glissement:

sens transversal:  $\tan \varphi = \frac{V}{N} = 0,14$   $\varphi = 8^\circ$

sens longitudinal:  $\tan \varphi = \frac{V}{N} = 0,15$   $\varphi = 8^\circ$

la sécurité au glissement est vérifiée.

Renversement d'ensemble:  $M_{renv}^{tot} = 8343,92tm$ .

moment des forces stabilisatrices:  $M = (20,66 - 9,16)N = 95955t \cdot m$

la sécurité au renversement est de:  $\frac{41240}{8343,9} = 4,95 \approx 5$



## BIBLIOGRAPHIE

- BELAZOUGUI — Cours de béton armé.
- M. DAUDI — Conception et calcul des structures soumises aux séismes.
- M. DIVERS — Calcul pratique des tours en béton armé.
- P. CHARON — Calcul et vérification des ouvrages en béton armé.
- R. BARES — Tables pour le calcul des dalles et des poutres.
- N. PETROVICI — Structures résistantes au séisme.

### REGLEMENTS :

R.P.A. 81

C.C.B.A. 68

NEIGE & VENT N.V 65



PB03902  
- 1 -

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE CIVIL

PLAN



PLANCHER ETAGE COURANT

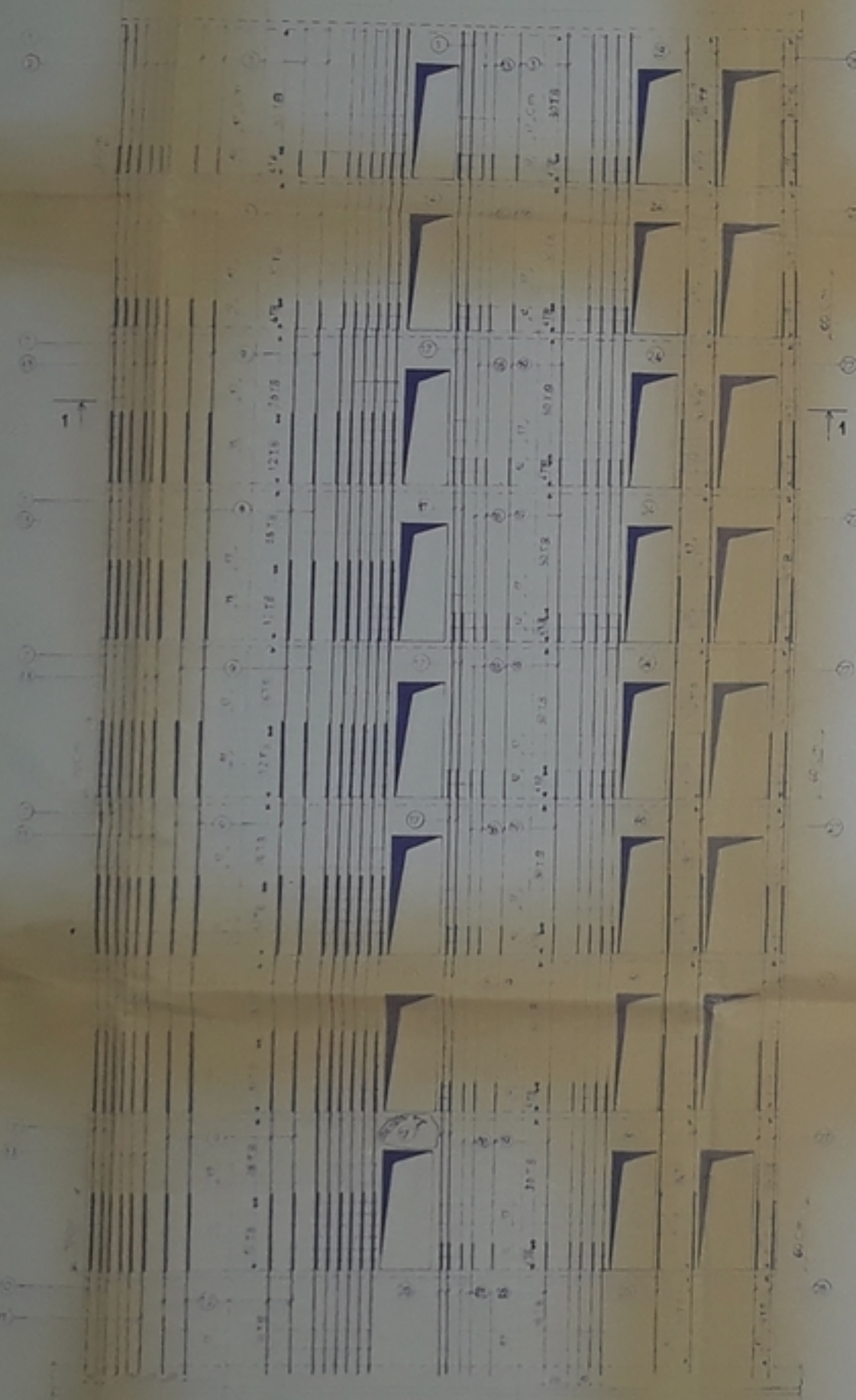
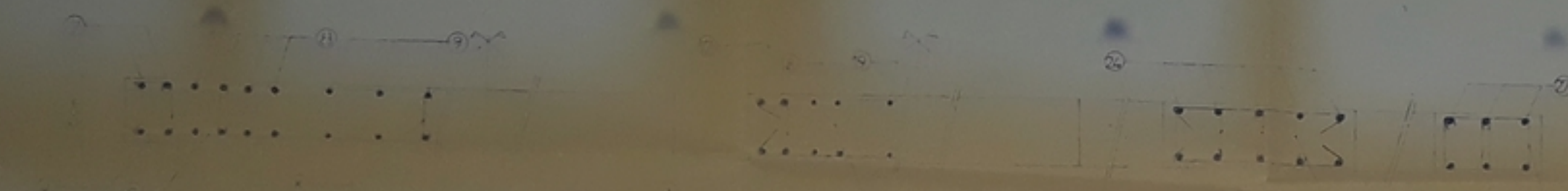
DESSINE PAR :  
AMER ABDELAZIZ  
HESSINI ABDELKRIM

ANNEE UNIVERSITAIRE 1986 / 1987

SEMESTRE 2

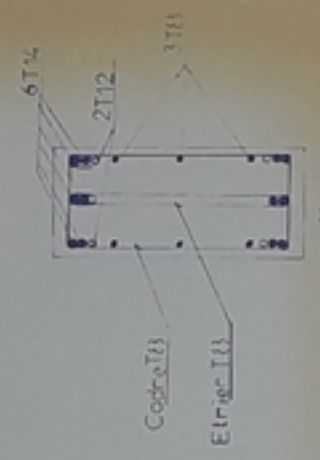
PROJET FIN D'ETUDE

COUPE 1.1

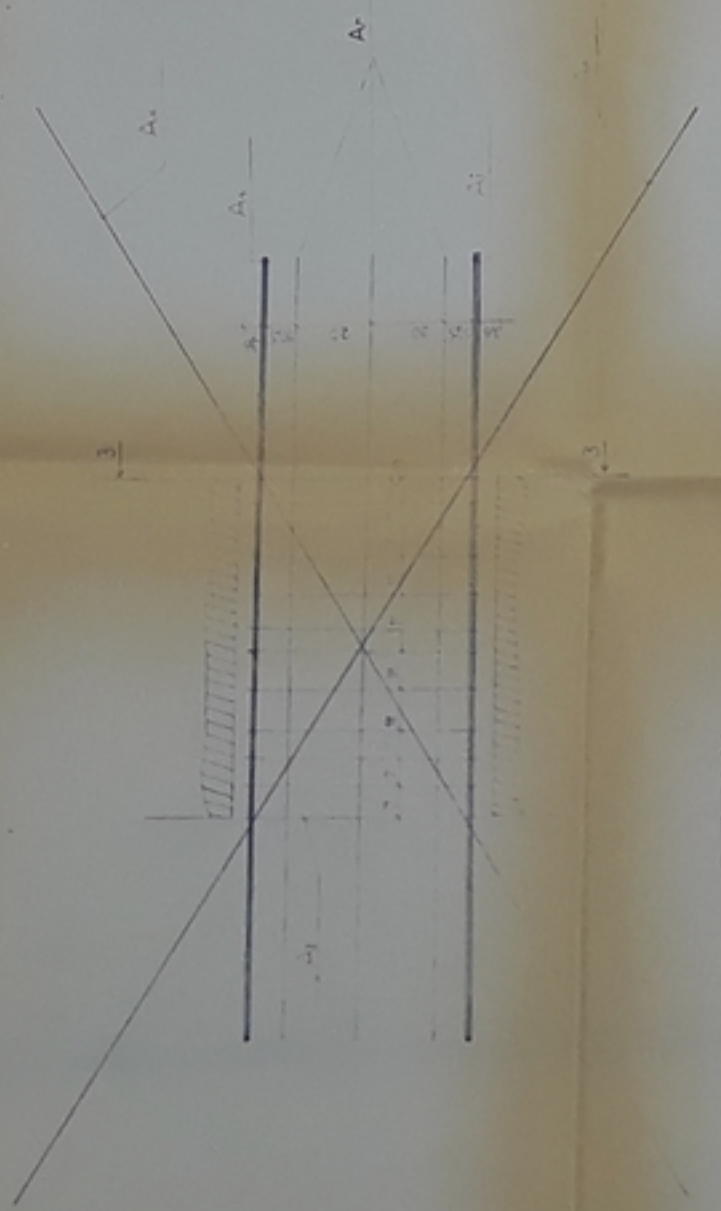


VOILE LONGITUDINAL N°2

COUPE 3.3

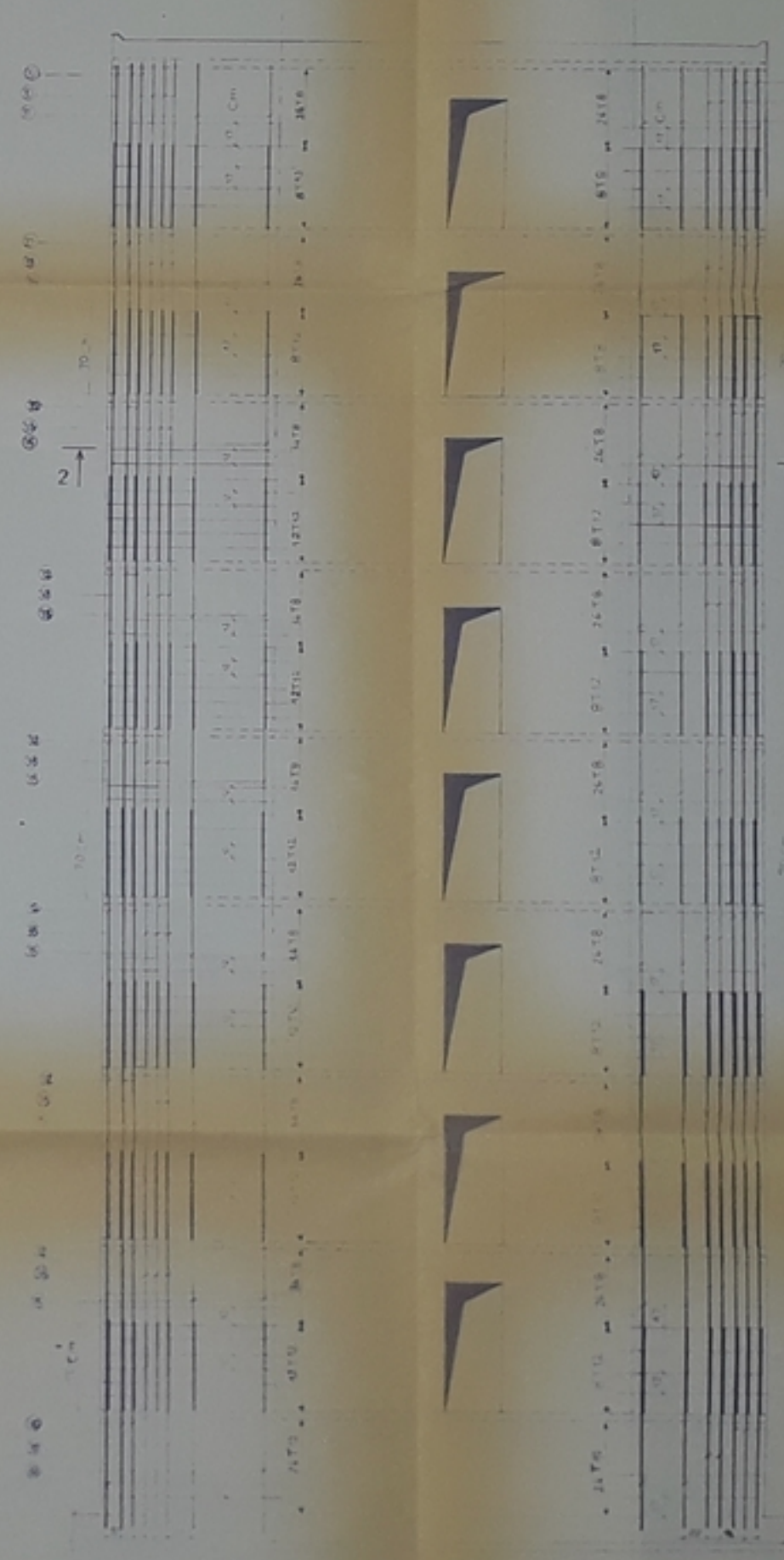
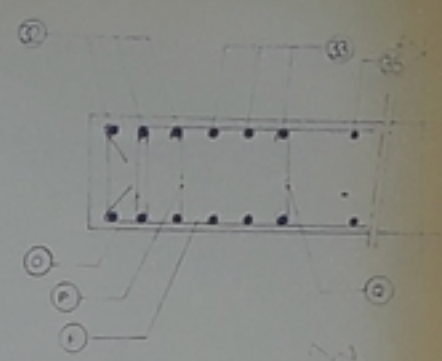


COUPE 3.3



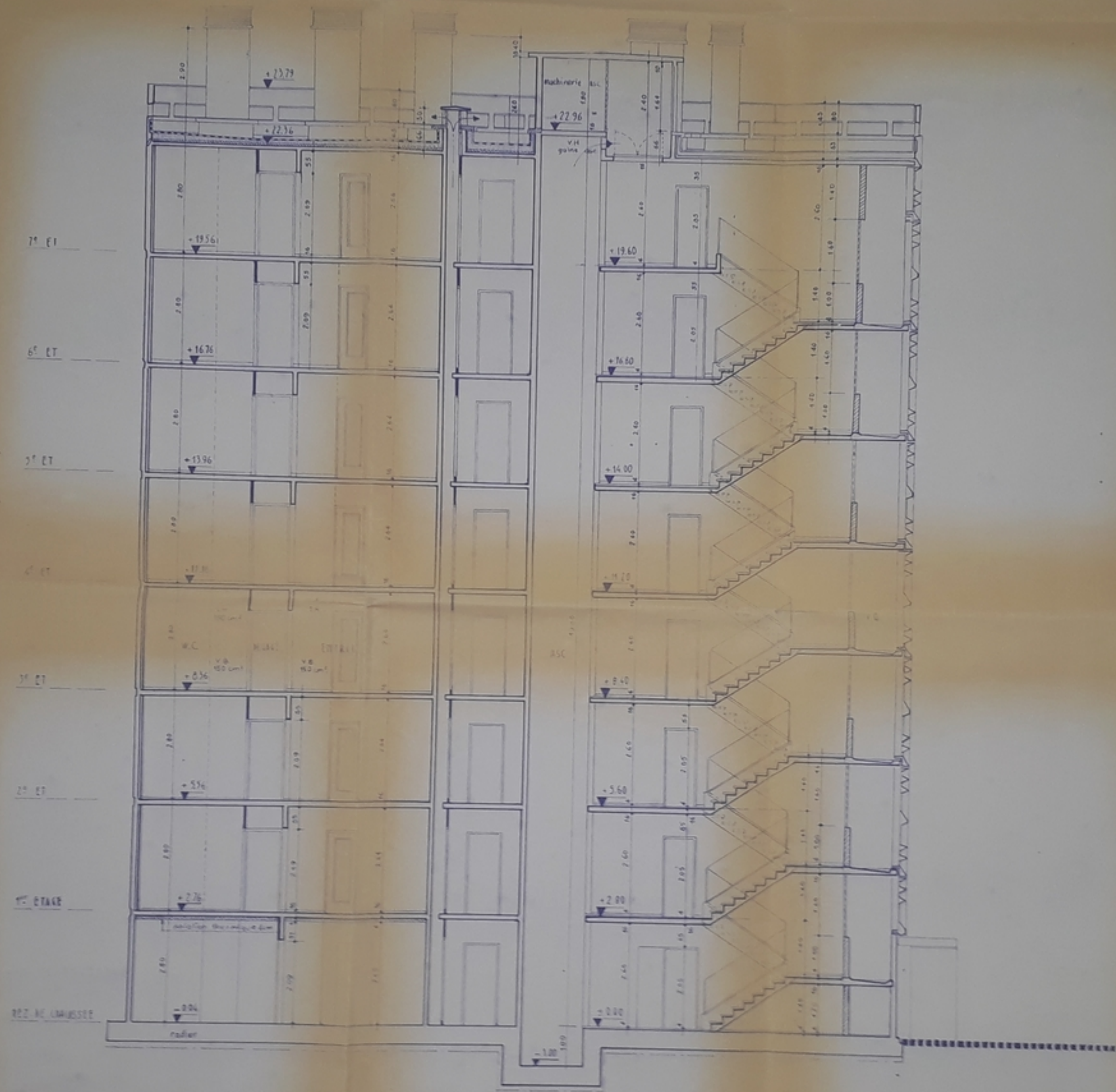
DETAIL A AGE DU Linteau

COUPE 2.2



VOILE TRANSVERSALE N°3

Table with multiple columns and rows, likely a reinforcement schedule or calculation table. The title is partially visible as 'Tableau de calcul de la section'. The table contains numerical data and some text.



1203787  
- 3 -

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE CIVIL

PLAN  
COUPE A-A



DESSINE PAR  
AMER ABDELAZIZ  
HESSINI ABDELKRIM

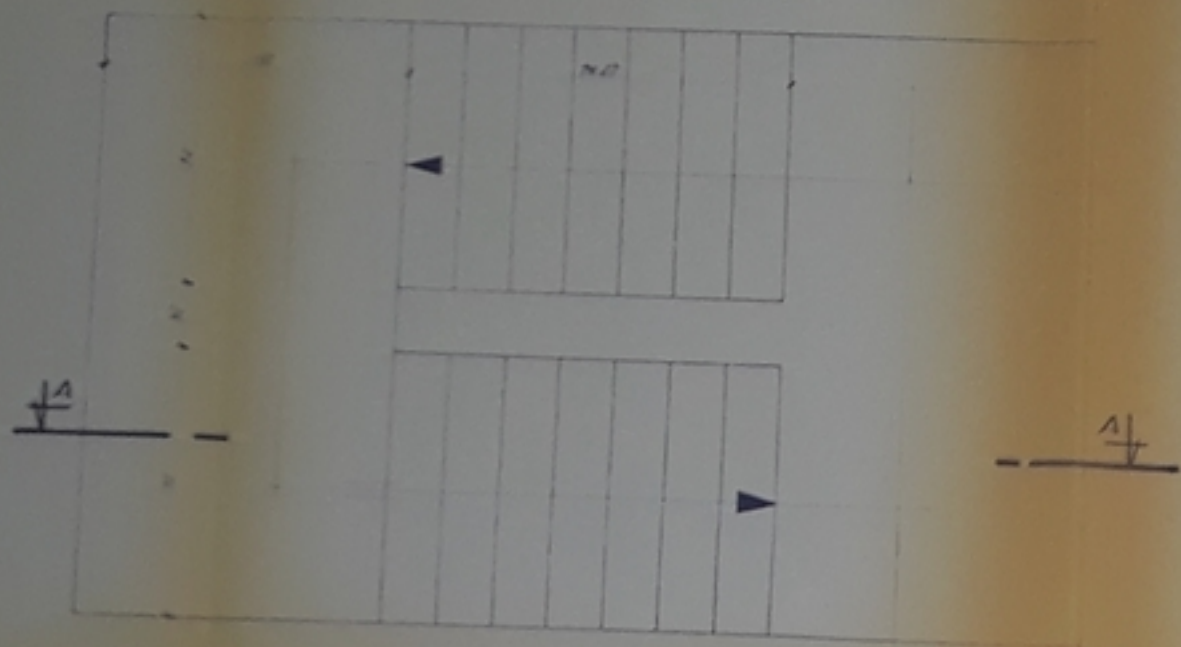
ech. 1/50

ANNEE UNIVERSITAIRE : 1986 / 1987

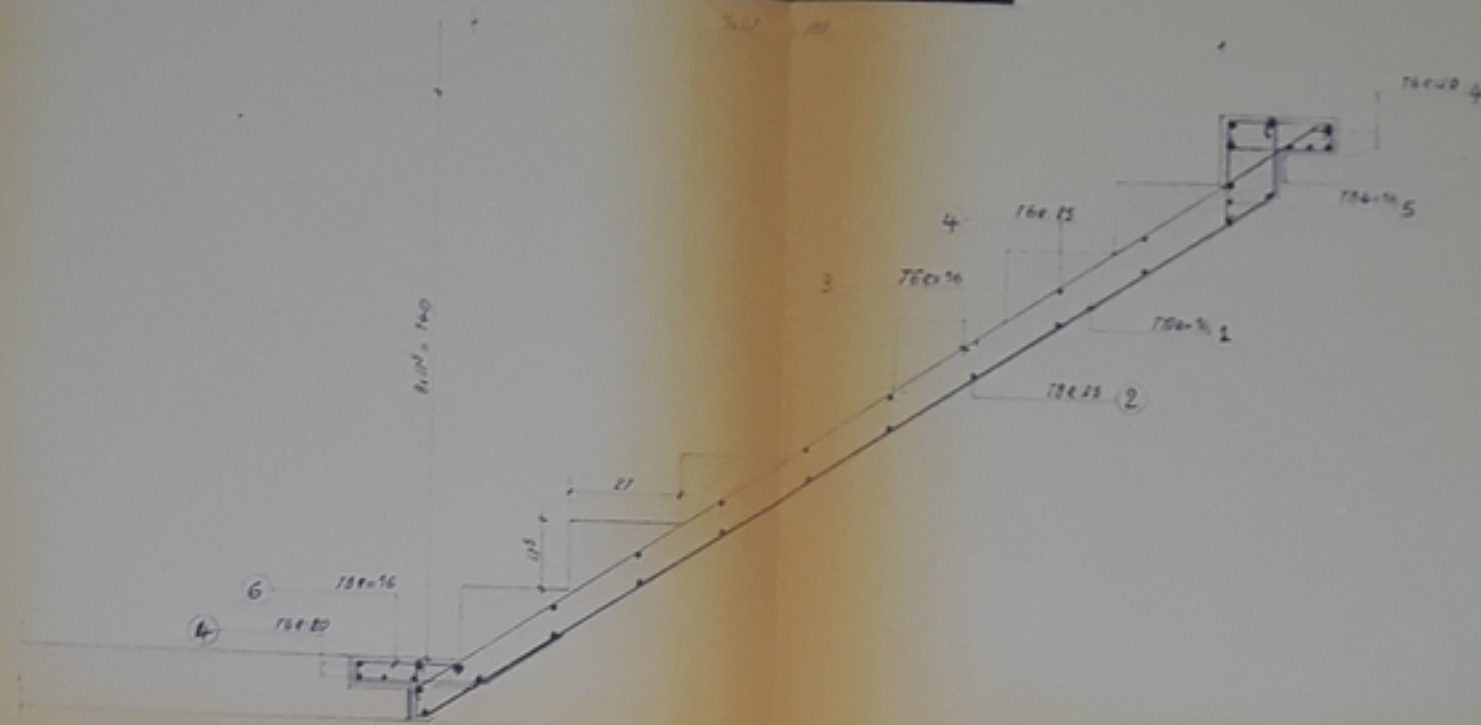
SEMESTRE 2

PROJET FIN D'ETUDES

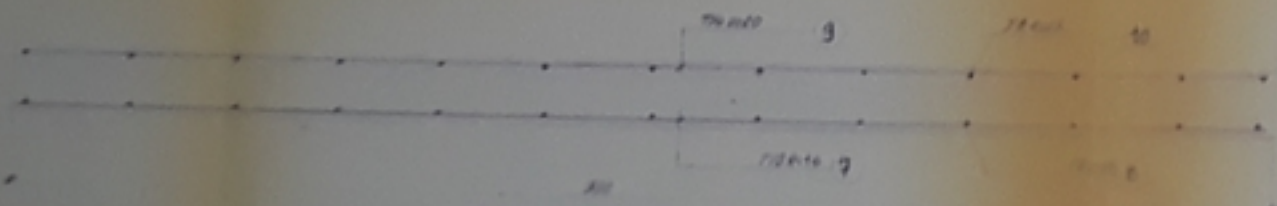
VUE EN PLAN "CAGE DESCALIER" Ech 1/20



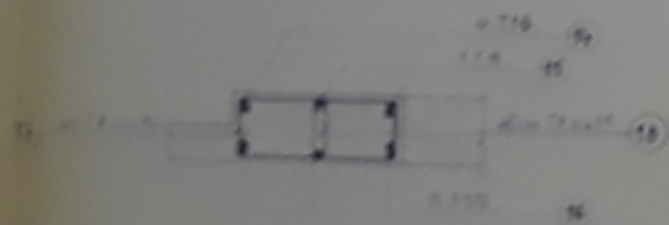
COUPE A.A



PALIER INTERMEDIAIRE



POUTRE PALIERE



LIASON PALIER - PAILLASSE

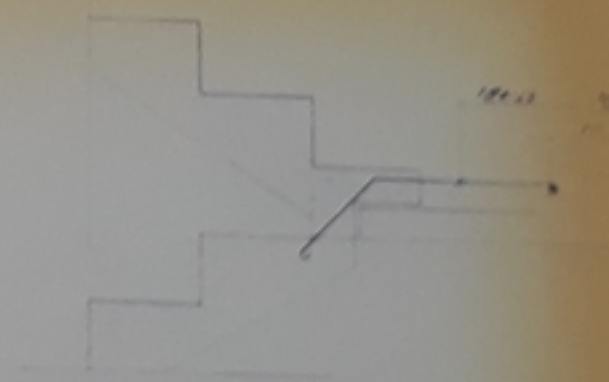


Tableau de commande des barres

| N° | Longueur<br>Totale | Poids |             |
|----|--------------------|-------|-------------|
|    |                    | Metal | Metal + Ad. |
| 6  | 58.45              | 28.58 | 34.48       |
| 8  | 171.45             | 63.77 | 76.75       |
| 40 | 125.50             | 78.45 | 94.47       |
| 14 | 48.00              | 53.74 | 64.48       |
| 16 | 27.80              | 65.49 | 78.43       |

NOTA

- Coffrage min 2,5 cm
- Béton Classe CPA 20/25 sur 80 kg/m³ (selon norme)
- Aciers sans adhérence (sauf 14 et 16)

TABLEAU RECAPITULATIF DES BARRES

| N°  | Longueur<br>Totale | Poids<br>Metal | Poids<br>Metal + Ad. |
|-----|--------------------|----------------|----------------------|
| 1   | 10                 | 9              | 10                   |
| 2   | 8                  | 12             | 14                   |
| 3   | 6                  | 9              | 10                   |
| 4   | 6                  | 20             | 24                   |
| 5   | 8                  | 9              | 10                   |
| 6   | 8                  | 9              | 10                   |
| 7   | 10                 | 9              | 10                   |
| 8   | 6                  | 13             | 15                   |
| 9   | 4                  | 16             | 19                   |
| 10  | 8                  | 13             | 15                   |
| 11  | 8                  | 13             | 15                   |
| 12  | 10                 | 2              | 2                    |
| 13  | 6                  | 13             | 15                   |
| 14  | 6                  | 8              | 9                    |
| 15  | 6                  | 2              | 2                    |
| 16  | 6                  | 5              | 6                    |
| 17  | 6                  | 5              | 6                    |
| 18  | 6                  | 5              | 6                    |
| 19  | 6                  | 5              | 6                    |
| 20  | 6                  | 5              | 6                    |
| 21  | 6                  | 5              | 6                    |
| 22  | 6                  | 5              | 6                    |
| 23  | 6                  | 5              | 6                    |
| 24  | 6                  | 5              | 6                    |
| 25  | 6                  | 5              | 6                    |
| 26  | 6                  | 5              | 6                    |
| 27  | 6                  | 5              | 6                    |
| 28  | 6                  | 5              | 6                    |
| 29  | 6                  | 5              | 6                    |
| 30  | 6                  | 5              | 6                    |
| 31  | 6                  | 5              | 6                    |
| 32  | 6                  | 5              | 6                    |
| 33  | 6                  | 5              | 6                    |
| 34  | 6                  | 5              | 6                    |
| 35  | 6                  | 5              | 6                    |
| 36  | 6                  | 5              | 6                    |
| 37  | 6                  | 5              | 6                    |
| 38  | 6                  | 5              | 6                    |
| 39  | 6                  | 5              | 6                    |
| 40  | 6                  | 5              | 6                    |
| 41  | 6                  | 5              | 6                    |
| 42  | 6                  | 5              | 6                    |
| 43  | 6                  | 5              | 6                    |
| 44  | 6                  | 5              | 6                    |
| 45  | 6                  | 5              | 6                    |
| 46  | 6                  | 5              | 6                    |
| 47  | 6                  | 5              | 6                    |
| 48  | 6                  | 5              | 6                    |
| 49  | 6                  | 5              | 6                    |
| 50  | 6                  | 5              | 6                    |
| 51  | 6                  | 5              | 6                    |
| 52  | 6                  | 5              | 6                    |
| 53  | 6                  | 5              | 6                    |
| 54  | 6                  | 5              | 6                    |
| 55  | 6                  | 5              | 6                    |
| 56  | 6                  | 5              | 6                    |
| 57  | 6                  | 5              | 6                    |
| 58  | 6                  | 5              | 6                    |
| 59  | 6                  | 5              | 6                    |
| 60  | 6                  | 5              | 6                    |
| 61  | 6                  | 5              | 6                    |
| 62  | 6                  | 5              | 6                    |
| 63  | 6                  | 5              | 6                    |
| 64  | 6                  | 5              | 6                    |
| 65  | 6                  | 5              | 6                    |
| 66  | 6                  | 5              | 6                    |
| 67  | 6                  | 5              | 6                    |
| 68  | 6                  | 5              | 6                    |
| 69  | 6                  | 5              | 6                    |
| 70  | 6                  | 5              | 6                    |
| 71  | 6                  | 5              | 6                    |
| 72  | 6                  | 5              | 6                    |
| 73  | 6                  | 5              | 6                    |
| 74  | 6                  | 5              | 6                    |
| 75  | 6                  | 5              | 6                    |
| 76  | 6                  | 5              | 6                    |
| 77  | 6                  | 5              | 6                    |
| 78  | 6                  | 5              | 6                    |
| 79  | 6                  | 5              | 6                    |
| 80  | 6                  | 5              | 6                    |
| 81  | 6                  | 5              | 6                    |
| 82  | 6                  | 5              | 6                    |
| 83  | 6                  | 5              | 6                    |
| 84  | 6                  | 5              | 6                    |
| 85  | 6                  | 5              | 6                    |
| 86  | 6                  | 5              | 6                    |
| 87  | 6                  | 5              | 6                    |
| 88  | 6                  | 5              | 6                    |
| 89  | 6                  | 5              | 6                    |
| 90  | 6                  | 5              | 6                    |
| 91  | 6                  | 5              | 6                    |
| 92  | 6                  | 5              | 6                    |
| 93  | 6                  | 5              | 6                    |
| 94  | 6                  | 5              | 6                    |
| 95  | 6                  | 5              | 6                    |
| 96  | 6                  | 5              | 6                    |
| 97  | 6                  | 5              | 6                    |
| 98  | 6                  | 5              | 6                    |
| 99  | 6                  | 5              | 6                    |
| 100 | 6                  | 5              | 6                    |

FB03737  
-4-

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE CIVIL

PLAN  
COFFRAGE FERRAILLAGE  
ESCALIER

PROFESSEUR  
MAÎTRE ASSISTANT  
MAÎTRE DE TRAVAUX

Ech 1/20  
1/10

ANNEE UNIVERSITAIRE 1986/1987  
SEMESTRE 2

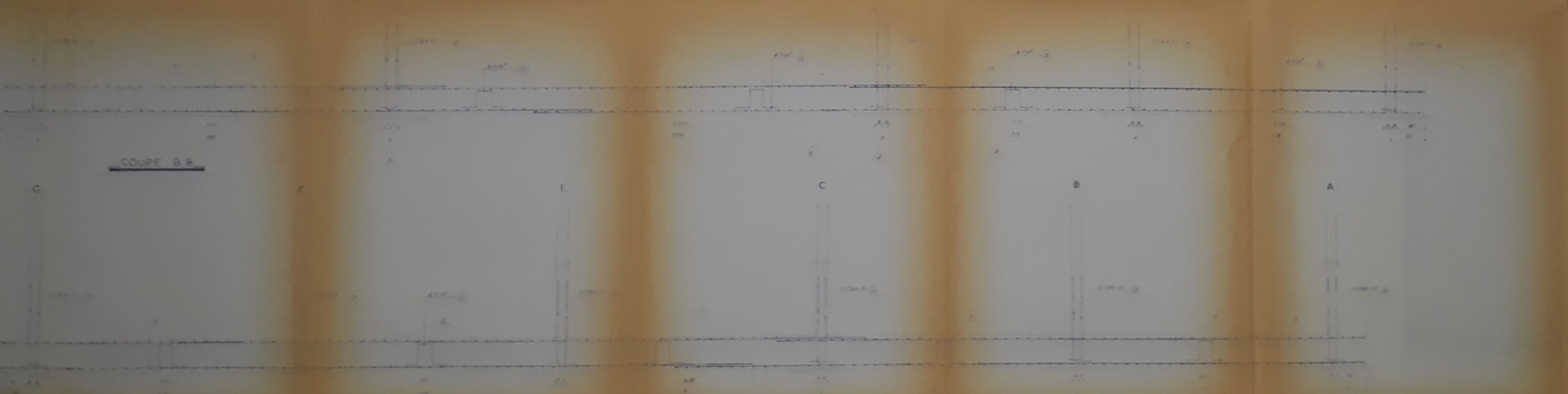
PROJET FIN D'ETUDE



VUE EN PLAN RADIER



COUPE C.C.



COUPE B.B.

Tableau des caractéristiques des Aciers

| Ordre | Designation | Quantite | Volume |
|-------|-------------|----------|--------|
| 1     | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 2     | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 3     | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 4     | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 5     | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 6     | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 7     | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 8     | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 9     | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 10    | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 11    | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 12    | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 13    | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 14    | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 15    | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 16    | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 17    | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 18    | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 19    | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 20    | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 21    | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 22    | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 23    | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 24    | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 25    | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 26    | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 27    | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 28    | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 29    | A3          | 1.20     | 0.0012 |
| 30    | A3          | 1.20     | 0.0012 |

Tableau des caractéristiques des Bétons

| Ordre | Designation | Volume | Poids |
|-------|-------------|--------|-------|
| 1     | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 2     | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 3     | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 4     | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 5     | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 6     | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 7     | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 8     | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 9     | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 10    | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 11    | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 12    | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 13    | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 14    | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 15    | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 16    | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 17    | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 18    | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 19    | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 20    | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 21    | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 22    | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 23    | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 24    | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 25    | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 26    | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 27    | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 28    | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 29    | B20         | 1.20   | 3.00  |
| 30    | B20         | 1.20   | 3.00  |

Remarques  
 1. Les dimensions sont en mètres.  
 2. Les aciers sont en A3.  
 3. Le béton est en B20.  
 4. Les espacements sont en centimètres.  
 5. Les hauteurs sont en mètres.  
 6. Les longueurs sont en mètres.  
 7. Les surfaces sont en mètres carrés.  
 8. Les volumes sont en mètres cubes.  
 9. Les poids sont en tonnes.  
 10. Les quantités sont en tonnes.

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE-CIVIL

PLAN  
 FERRAILLAGE RADIER

DESINE PAR  
 AMER ABDELAZIZ  
 DESINE ABDELKRIM

ANNEE UNIVERSITAIRE 1985/1987  
 SEMESTRE 2

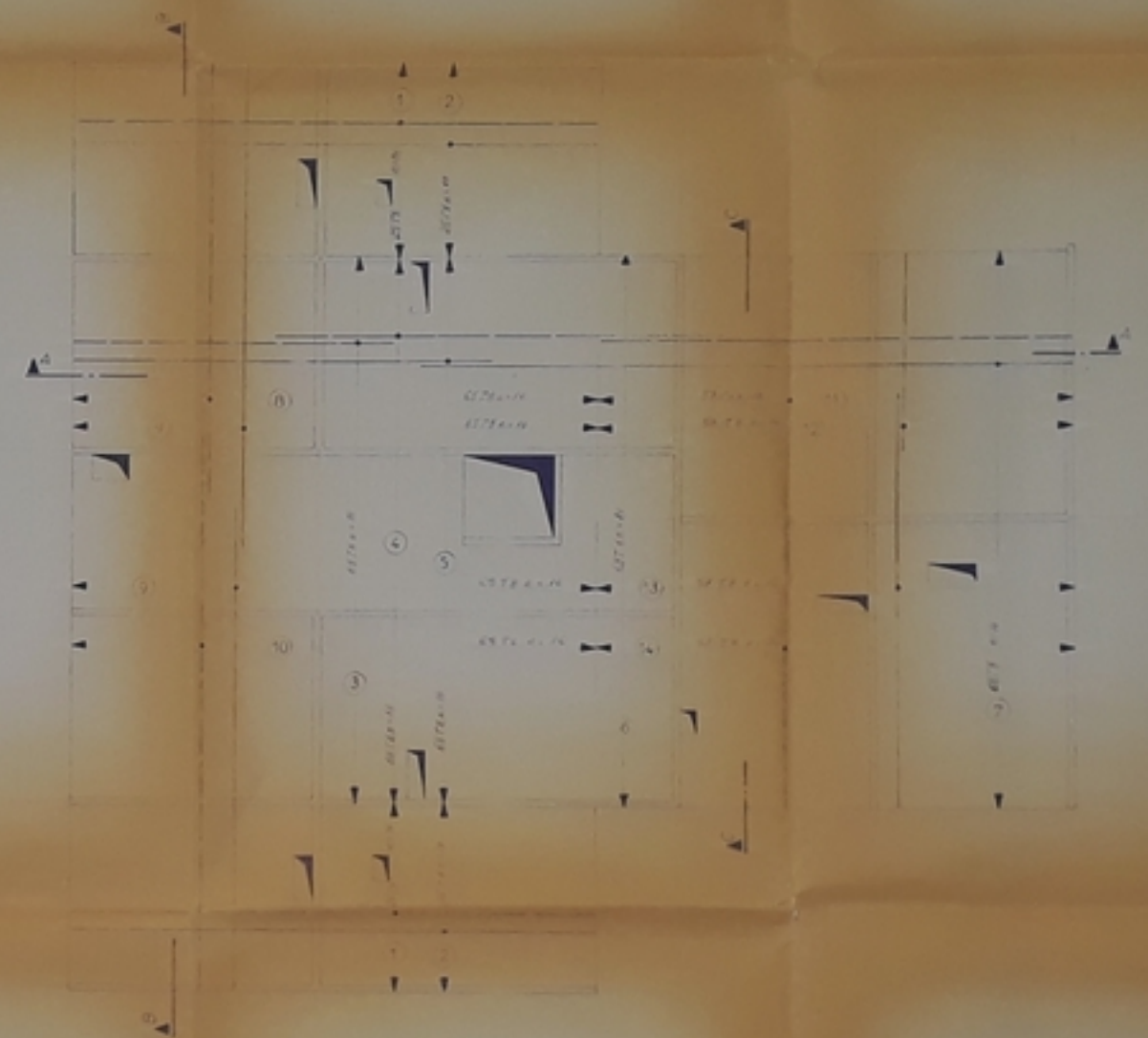
PROJET FIN D'ETUDE

*Tableau Récapitulatif des Aciers*

| Travaux | Quantité | Unité | Volume |
|---------|----------|-------|--------|
| 1       | ...      | ...   | ...    |
| 2       | ...      | ...   | ...    |
| 3       | ...      | ...   | ...    |
| 4       | ...      | ...   | ...    |
| 5       | ...      | ...   | ...    |
| 6       | ...      | ...   | ...    |
| 7       | ...      | ...   | ...    |
| 8       | ...      | ...   | ...    |
| 9       | ...      | ...   | ...    |
| 10      | ...      | ...   | ...    |
| 11      | ...      | ...   | ...    |
| 12      | ...      | ...   | ...    |
| 13      | ...      | ...   | ...    |
| 14      | ...      | ...   | ...    |
| 15      | ...      | ...   | ...    |
| 16      | ...      | ...   | ...    |
| 17      | ...      | ...   | ...    |
| 18      | ...      | ...   | ...    |
| 19      | ...      | ...   | ...    |
| 20      | ...      | ...   | ...    |
| 21      | ...      | ...   | ...    |
| 22      | ...      | ...   | ...    |
| 23      | ...      | ...   | ...    |
| 24      | ...      | ...   | ...    |
| 25      | ...      | ...   | ...    |
| 26      | ...      | ...   | ...    |
| 27      | ...      | ...   | ...    |
| 28      | ...      | ...   | ...    |
| 29      | ...      | ...   | ...    |
| 30      | ...      | ...   | ...    |
| 31      | ...      | ...   | ...    |
| 32      | ...      | ...   | ...    |
| 33      | ...      | ...   | ...    |
| 34      | ...      | ...   | ...    |
| 35      | ...      | ...   | ...    |
| 36      | ...      | ...   | ...    |
| 37      | ...      | ...   | ...    |
| 38      | ...      | ...   | ...    |
| 39      | ...      | ...   | ...    |
| 40      | ...      | ...   | ...    |
| 41      | ...      | ...   | ...    |
| 42      | ...      | ...   | ...    |
| 43      | ...      | ...   | ...    |
| 44      | ...      | ...   | ...    |
| 45      | ...      | ...   | ...    |
| 46      | ...      | ...   | ...    |
| 47      | ...      | ...   | ...    |
| 48      | ...      | ...   | ...    |
| 49      | ...      | ...   | ...    |
| 50      | ...      | ...   | ...    |

*Tableau Récapitulatif des Bétons*

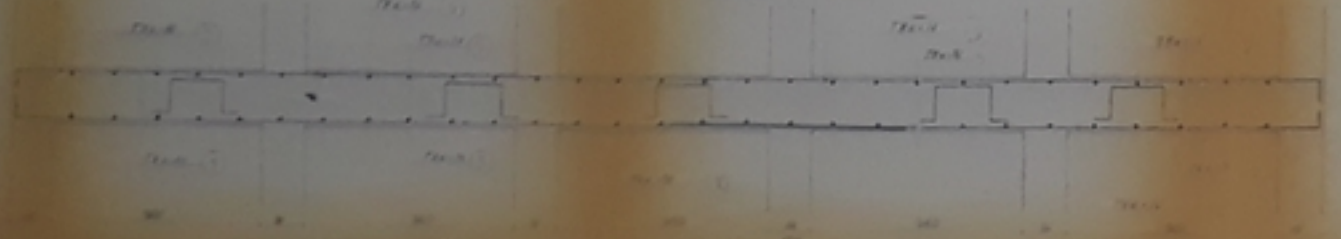
| Travaux | Quantité | Unité | Volume |
|---------|----------|-------|--------|
| 1       | ...      | ...   | ...    |
| 2       | ...      | ...   | ...    |
| 3       | ...      | ...   | ...    |
| 4       | ...      | ...   | ...    |
| 5       | ...      | ...   | ...    |
| 6       | ...      | ...   | ...    |
| 7       | ...      | ...   | ...    |
| 8       | ...      | ...   | ...    |
| 9       | ...      | ...   | ...    |
| 10      | ...      | ...   | ...    |
| 11      | ...      | ...   | ...    |
| 12      | ...      | ...   | ...    |
| 13      | ...      | ...   | ...    |
| 14      | ...      | ...   | ...    |
| 15      | ...      | ...   | ...    |
| 16      | ...      | ...   | ...    |
| 17      | ...      | ...   | ...    |
| 18      | ...      | ...   | ...    |
| 19      | ...      | ...   | ...    |
| 20      | ...      | ...   | ...    |
| 21      | ...      | ...   | ...    |
| 22      | ...      | ...   | ...    |
| 23      | ...      | ...   | ...    |
| 24      | ...      | ...   | ...    |
| 25      | ...      | ...   | ...    |
| 26      | ...      | ...   | ...    |
| 27      | ...      | ...   | ...    |
| 28      | ...      | ...   | ...    |
| 29      | ...      | ...   | ...    |
| 30      | ...      | ...   | ...    |
| 31      | ...      | ...   | ...    |
| 32      | ...      | ...   | ...    |
| 33      | ...      | ...   | ...    |
| 34      | ...      | ...   | ...    |
| 35      | ...      | ...   | ...    |
| 36      | ...      | ...   | ...    |
| 37      | ...      | ...   | ...    |
| 38      | ...      | ...   | ...    |
| 39      | ...      | ...   | ...    |
| 40      | ...      | ...   | ...    |
| 41      | ...      | ...   | ...    |
| 42      | ...      | ...   | ...    |
| 43      | ...      | ...   | ...    |
| 44      | ...      | ...   | ...    |
| 45      | ...      | ...   | ...    |
| 46      | ...      | ...   | ...    |
| 47      | ...      | ...   | ...    |
| 48      | ...      | ...   | ...    |
| 49      | ...      | ...   | ...    |
| 50      | ...      | ...   | ...    |



COUPE A-A



COUPE B-B



COUPE C-C



**H.C.T.A.**

- et supérieur
- et inférieur
- Carroyé en 20m
- dans les angles et aux appuis
- Armer dans les poteaux les colonnes

**H.F.**

- Les barres sont coupées au niveau des nervures qui sont reprises par des barres de liaison

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DÉPARTEMENT GENIE CIVIL

PLAN

CLIFFRAGE FERRAILLAGE

PLANCHER ETAGE COURANT

ÉCRITURE PAR

DATE DE DÉLIVRÉ

DATE DE RÉVISION

UNIVERSITÉ N° 1

SEMESTRE 2

PROJET FIN D'ÉTUDE

