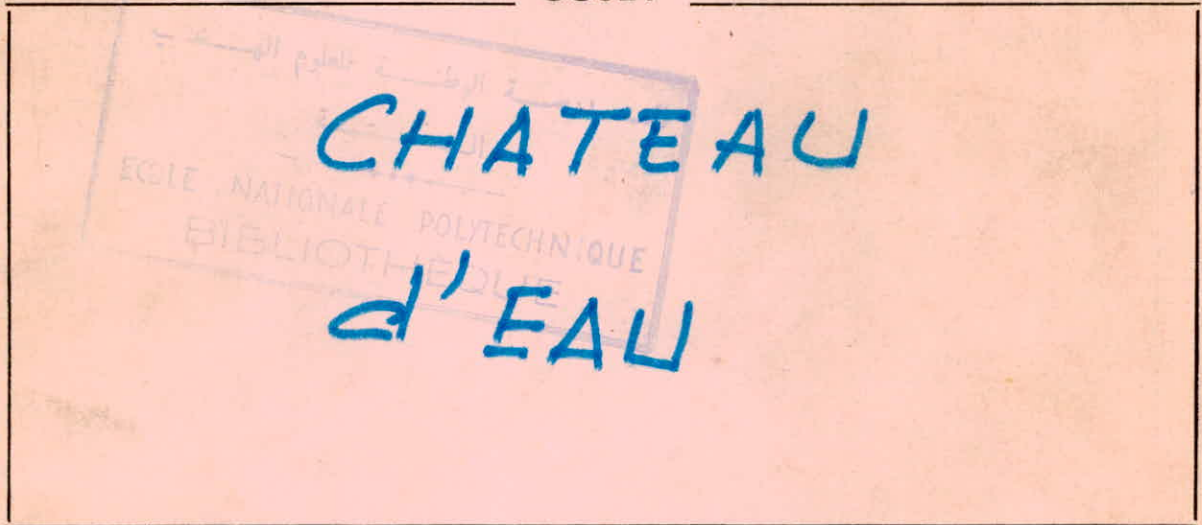


ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE - CIVIL

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET



Proposé par :

M<sup>r</sup> CRAINIC

Etudié par :

METHIA  
+ OUARZIDINI



Dirigé par :

M<sup>r</sup> CRAINIC

PROMOTION :

juin 84

ministere de l'enseignement superieur et de la  
recherche scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT :

GENIE CIVIL

projet de fin d'etude

sujet

CHATEAU D'EAU

proposé par :

m<sup>r</sup> craïnic

etudié par :

ouarzidini ahmed  
methia mustapha

dirigé par :

m<sup>r</sup> craïnic

promotion :

juin 84

## TABLE DES MATIERES

.chapitre 1:	presentation du projet	
.chapitre 2:	avant metré	
.chapitre 3:	-contraintes admissibles	1
	-matériaux utilisés	3
.chapitre 4:	etude au seïsme r.p.a 83	15
.chapitre 5:	fondation	19
.chapitre 6:	etude au vent :	30
	-action d'ensemble	
	-action locale	
.chapitre 7:	ferraillage de la tour	44
.Chapitre 8:	determination des efforts :	50
	plaques - membranes	
.chapitre 9:	calcul des elements du reservoir	74
.chapitre 10:	etude au sol	96

# DEDICACES

je dedie ce modeste  
travail

A MON PERE A QUI JE SOUHAITE UN  
PROMPT RETABLISSEMENT

A MA MERE

A MA JOLIE PETITE SOEUR SOUAD

A TOUTE MA FAMILLE

A TOUS MES AMIS

pour leur soutien moral  
et materiel et pour  
leur encouragement

ahmed

remerciements

M<sup>r</sup>

CRAINIC

NOS VIFS REMERCIEMENTS A  
TOUS LES ENSEIGNANTS QUI  
ONT CONTRIBUE A NOTRE  
FORMATION

# DEDICACES

- À mon jeune frère Abdelmajid qui a été un support moral et matériel, sans égal.
- À tous ceux qui aspirent aux études et font preuve de bonne volonté.
- et enfin à tous les amis (es) dont je ne cite pas les noms, sans éfleurer l'idée d'oublier ME:

- TAHAR IDRISOU
- BACHIR DAUD
- Mohamed Hamlaoui
- OMAR } Amrani
- NADJAT }
- Saïd mouni

Mustapha

*chapitre I*

PRESENTATION  
DU CHATEAU  
D'EAU

# Caractéristiques de l'OUVRAGE

- capacité  $1000 \text{ m}^3$
- hauteur : (tour + cuve)  
à partir du sol  $51,5 \text{ m}$
- site Zone II
- matériaux utilisés Béton A.
- taux de travail du sol  $\bar{\sigma}_s =$

## FORME GEOMETRIQUE

- cuve : tronconique
- tour cylindrique
- Poutres de toiture : en T  
(préfabriquées)
- dalles de repos

## EXECUTION

- la tour est réalisée à l'aide de coffrage glissant.
- la cuve est réalisée au sol (à la base de la tour) et est soulevée à l'aide de poulies et treuil après avoir vérifié son étanchéité et les réparations éventuelles.



## Chapitre 2

AVANT METRE

- TOT :

$$R = 4,00 \text{ m}$$

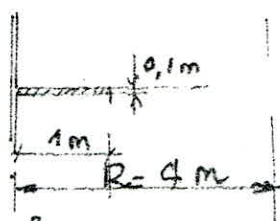
$$h = 3,9 \text{ m}$$

$$e_{pr} = 30 \text{ cm}$$

$$V = 294 \text{ m}^3$$

$$m = 2,5 \cdot 39 \cdot \pi [(4,15)^2 - (3,85)^2] = 735 \text{ t.}$$

- dalles



1 dalle :  $V_1 = 2,1 \text{ m}^3$

$$m_1 = 2,5 \pi \cdot 0,1 \cdot [(3,85)^2 - (2,85)^2] = 5,3 \text{ t.}$$

4 dalles :  $V = 8,4 \text{ m}^3$

$m = 21 \text{ t.}$

la 5<sup>ème</sup> dalle :

$$m_5 = 2,5 \pi \cdot 0,1 [(3,85)^2 - (1,85)^2] = 8,95 \text{ t.}$$

$$V_5 = 3,58 \text{ m}^3$$

toutes les dalles :

$$V \approx 12 \text{ m}^3$$

$M \approx 30 \text{ t}$

- Tronc de cône extérieur

$$V = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + r^2 + Rr)$$

$$= 88,72 \text{ m}^3 ;$$

$m = 221,8 \text{ t.}$

- Tronc de cône intérieur

$$V = 10 \text{ m}^3$$

$m = 25 \text{ t.}$

- Partie de la tour (intérieure à la cuve)

$$V = 65,6 \text{ m}^3 ; m = 2,5 \pi \cdot 8,7 [(4,15)^2 - (3,85)^2] = 164 \text{ t}$$

- dalle supérieure (niveau du biterneau)

$$m = 2,5 \cdot \pi \cdot 0,15 [(3,85)^2 - (1,5)^2] = 14,8 \text{ t}$$

$$V = 5,83 \text{ m}^3$$

- lanterneau :

$$V = 2,36 \text{ m}^3 ; m = (2,5) \cdot 17 \cdot 2 \cdot [(1,62)^2 - (1,5)^2] = 5,9 \text{ t}$$

- Poutres de toiture

$$\left. \begin{array}{l} V_1 = 0,912 \text{ m}^3 \\ m_1 = 2,28 \text{ t} \end{array} \right\} 1 \text{ poutre}$$

$$83 \text{ poutres} : V = 45,7 \text{ m}^3 ; m = 189,24 \text{ t}$$

- Fût intérieur

$$V = 2,1 \text{ m}^3 \quad m = 5,2 \text{ t}$$

- appui inférieur

$$V = 104,3 \text{ t} \quad m = 41,72 \text{ t}$$

### Descente de charge

lanterneau	5,9 t
dalle supérieure	14,8
tour (partie intérieure à la cuve)	164
poutres de toiture	189,3
fût intérieur à la cuve	5,2
tronc de cône intérieur	25
tronc de cône extérieur	221,8
ciment inférieur (appui)	104,3
Tour (partie inférieure à la cuve)	755
dalles de repos	30
(cuve vide)	= 1474
(cuve pleine)	= 2474 t

## chapitre 3

- CONTRAINTE S  
ADMISSIBLE S

- MATERIAUX  
UTILISE S

- Matériaux utilisés

- contraintes admissibles

1°) - béton

le ciment de classe 325 étant très utilisé en Algérie, il sera donc adopté dans ce qui suit.

le béton pris en considération est strictement contrôlé, ayant un dosage de  $350 \text{ kg/m}^3$ .

2°) contrainte de compression admissible  
(CCBA 68 art. 9,4)

- la contrainte de compression admissible est désignée par  $\bar{\sigma}'_b$ . Elle représente une fraction de la résistance nominale du béton  $\sigma'_n$  ou ( $\sigma'_{28}$ ) à 28 jours, soit :  $\bar{\sigma}'_b = f'_b \sigma'_n$

pour un dosage de  $350 \text{ kg/m}^3$  :  $\sigma'_n = 270 \text{ bars}$   
 $= 275,4 \text{ kg/cm}^2$

la fraction  $f'_b$  est définie comme un produit de cinq facteurs sans dimension :  $f'_b = \alpha \beta \gamma \delta \epsilon$

- Définition et détermination des facteurs :

$\alpha$  ;  $\beta$  ;  $\gamma$  ;  $\delta$  ;  $\epsilon$

$\alpha$  : facteur tenant compte de la vitesse de durcissement du béton, donc de la classe du ciment constitutif

$\beta$  : facteur dépendant du contrôle du béton ;  
 $\beta = 1$  pour un béton strictement contrôlé

$\gamma$ : Facteur dépendant du plus gros diamètre des granulats utilisés et de l'épaisseur minimale de l'élément considéré ( $h_m$ ),  
 $\gamma = 1$  si  $h_m \geq 4 e_g$  (ce qui est notre cas),  
dans un cas contraire  $\Rightarrow \delta = \frac{h_m}{4 e_g}$ .

$\delta$ : Facteur qui dépend de la distribution de contraintes dans la section considérée c'est-à-dire de la sollicitation.

- Compression simple :

-  $\delta = 0,3$  (sollicitation du 1<sup>er</sup> genre)

-  $\delta = 0,3 \cdot 1,5$  ( " " 2<sup>ème</sup> genre)

- cas de Flexion simple ou composée lorsque l'effort normal est une traction :

$\delta = 0,6$  (sollicitation du 1<sup>er</sup> genre)

$\delta = 0,6 \cdot 1,5$  ( " " 2<sup>ème</sup> genre)

- Flexion composée lorsque l'effort normal est une compression :

$$\delta = \min \begin{cases} 0,3 \left(1 + \frac{e_o}{3e_1}\right) \\ 0,6 \end{cases}$$

(pour une sollicitation du 1<sup>er</sup> genre)

$$\delta = \min \begin{cases} 0,3 \left(1 + \frac{e_o}{3e_1}\right) \cdot 1,5 \\ 0,6 \cdot 1,5 \end{cases}$$

(pour une sollicitation du 2<sup>ème</sup> genre)

$e_1$ : Rayon vecteur du tiers central (noyau central), ayant même signe que " $e_0$ " et passant par le centre de pression, dans un même plan radial.

$e_0$ : excentricité de la Force extérieure dans le plan radial passant par le centre de gravité de la section du béton seul.

Dans le cas d'une section circulaire (pleine)

$$: e_1 = R/4 ; R: \text{rayon de la section circulaire}$$

$\epsilon$ : Facteur qui dépend à la fois de la nature de la sollicitation ainsi que de la forme de la section :

- Compression simple :

$\epsilon = 1$  quelque soit la forme de la section

- Flexion simple ou composée :

$\epsilon = 1$  pour une section rectangulaire le coefficient  $\epsilon$  est toujours tel que :

$$0,5 < \epsilon \leq 1$$

- Pour les autres cas,  $\epsilon$  est déterminé par :

$$F'_b / B' \leq \bar{\sigma}'_{b_0}$$

où :

$F'_b$ : résultante des forces de compression

$B'$ : section de béton comprimé

$\bar{\sigma}'_{b_0}$ : contrainte admissible en compression simple

- Compression simple :

$$\bar{\sigma}'_b = \rho'_b \sigma'_n = \bar{\sigma}'_{b_0}$$

$$- \bar{\sigma}'_{b_0} = 1.1.1.0,3.1.270 = 81 \text{ bars} = 82,6 \text{ kg/cm}^2$$

(pour le 1<sup>er</sup> genre)

$$- \bar{\sigma}'_{b_0} = 81.1,5 = 121,5 \text{ bars} = 123,9 \text{ kg/cm}^2$$

(pour le second genre)

- Flexion simple (ou composée avec traction)  
pour une section rectangulaire :

$$\bar{\sigma}'_b = 1.1.1.0,6.1.270 = 162 \text{ bars} = 165,24 \text{ kg/cm}^2$$

(1<sup>er</sup> genre)

$$\bar{\sigma}'_b = 162.1,5 = 243 \text{ bars} = 247,86 \text{ kg/cm}^2$$

(second genre)

- contrainte de traction : CC8468 art. 9,5  
c'est la contrainte de référence de béton,  
représentant une fraction de la  
résistance nominale de ce dernier

soit :  $\bar{\sigma}'_b = \rho'_b \sigma'_n$

$\sigma'_n$  : constitue la base technique de  
justification de la sécurité  
(art. 9,3 - CCBA 68)

avec :

$$\rho'_b = \alpha \beta \gamma \theta$$

( $\alpha, \beta, \gamma$  étant définis précédemment)

$\theta$  : Facteur lié à la résistance nominale  
du béton, et défini ainsi :



$$\theta = 0,018 + \frac{2,1}{\sigma'_n} \quad : \text{ sollicit. du 1er genre}$$

$$\theta = \left( 0,018 + \frac{2,1}{\sigma'_n} \right) \cdot 1,5 \quad : \text{ " " 2eme genre}$$

$\sigma'_n$  exprimé en bars

soit alors:

$$\theta = 0,02578 \quad : (1er \text{ genre})$$

$$\theta = 0,03867 \quad : (2eme \text{ genre})$$

la contrainte de référence de traction de béton  
aura donc pour valeur:

$$\bar{\sigma}_b = 6,36 \text{ bars} = 7,1 \text{ kg/cm}^2 \quad (1er \text{ genre})$$

$$\bar{\sigma}_b = 10,44 \text{ bars} = 10,65 \text{ kg/cm}^2 \quad (2eme \text{ genre})$$

Déformation : (art. 9,6) c.c. 84.68

- pour des charges rapidement variables (séisme) dont la durée d'application ne dépasse pas 24h :

$$- E_i = 21000 \sqrt{\sigma_j'} \quad (\text{bars})$$

$E_i$  : module de déformation instantanée

$\sigma_j'$  : représente la résistance du béton à l'âge de  $j$  jours (exprimé en bars)

- pour les contraintes permanentes ou de longue durée d'application :

$$E_v = 7000 \sqrt{\sigma_j'} \quad (\text{bars})$$

$E_v$  : module de déformation différée.

on admettra que pour les grandes valeurs de  $j$ , on a sensiblement (art. 9,63) :

-  $\sigma_j' = 1,2 \cdot \sigma_{28}'$  pour les bétons à base de ciment de classe 325.

-  $\sigma_j' = 1,1 \sigma_{28}'$  pour les bétons à base de ciment de classe supérieure.

soit :

$$E_i = 21000 \sqrt{\sigma_j'} = 21000 \sqrt{\sigma_{28}'}$$

$$\sigma_{28}' = 270 \text{ bars} = 275,4 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_i = 3,45 \cdot 10^5 \text{ bars} = 3,52 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_v = 1,15 \cdot 10^5 \text{ bars} = 1,173 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

- Noyau central

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{s'} \pm \frac{M}{\left(\frac{I}{v}\right)}$$

$$I/v = \pi R_m^2 h_0$$

$$s' = 2\pi R_m h_0$$

$R_m$  : rayon moyen de l'anneau circulaire

$h_0$  : épaisseur " " "

$$\text{pour } \sigma_2 = 0 \Rightarrow \frac{N}{s'} = \frac{M}{\left(\frac{I}{v}\right)} \Leftrightarrow \frac{N}{2\pi R_m h_0} = \frac{N e_0}{\pi R_m^2 h_0}$$

$$\Rightarrow e_0 = R_m/2 = \frac{D_m}{4} \quad \text{comme } e_0 = e_1 \text{ qd } \sigma_2 = 0$$

$$\text{alors } e_1 = D_m/4$$

$D_m$  : diamètre moyen de l'anneau circulaire

sollicitation du 1<sup>er</sup> genre

$$\delta = \min \begin{cases} 0,3 \left(1 + 1,33 \frac{e_0}{D_m}\right) \\ 0,6 \end{cases}$$

sollicit. du 2<sup>eme</sup> genre:  $\delta = \min \begin{cases} 0,3 \left(1 + 1,33 \frac{e_0}{D_m}\right) 1,5 \\ 0,6 \cdot 1,5 \end{cases}$

- Calcul des contraintes admissibles de compression en Flexion composée pour différents niveaux de section de la tour (cas du seisme)

1°) au niveau de la base (niveau zéro m)

-  $M = VH = 376 \cdot 42,385 = 15936,76 \text{ t.m}$

$N = 2474 \text{ t}$

$V = 376 \text{ t}$ : Force sismique (horizontale)

$H = 42,385$

$\Rightarrow e_0 = M/N = \frac{15936,76}{2474} = 6,44 \text{ m}$

$\delta = \min (0,6 \cdot 1,5 ; 0,62 \cdot 1,5) = 0,6 \cdot 1,5 = 0,9$  (2<sup>eme</sup> genre)

$\alpha = 1 ; \beta = 1 ; \gamma = 1 ; \epsilon = 1 ;$

$\bar{\sigma}'_n = 270 \text{ bars} = 275,4 \text{ kg/cm}^2$

$\Rightarrow \bar{\sigma}'_6 = 243 \text{ bars} = 247,86 \text{ kg/cm}^2$   
(sollicit. du 2<sup>eme</sup> genre)

2°/ NIVEAU 10 m

$$M = 376 \cdot 32,385 = 12176,76 \text{ tm}$$

$$N = 2280,92 \text{ t}$$

$$S = 0,57 \cdot 1,5 = 0,85 \quad (\text{2<sup>ème</sup> genre})$$

$$\Rightarrow \bar{\sigma}'_b = 230,85 \text{ bars} = 235,47 \text{ kg/cm}^2$$

3°/

NIVEAU 20 m

$$M = 376 \cdot 22,385 = 8416,76 \text{ tm}$$

$$N = 2087,92 \text{ t}$$

$$S = 0,5 \cdot 1,5 = 0,75$$

$$\bar{\sigma}'_b = 202,5 \text{ bars} \\ = 206,55 \text{ kg/cm}^2$$

} 2<sup>ème</sup> genre

contraintes admissibles de l'acier:

aciers utilisés : haute résistance

$$\begin{aligned} \sigma_{en} &= 4120 \text{ bars} = 4200 \text{ kg/cm}^2 ; \phi \leq 20 \\ \sigma_{en} &= 3920 \text{ bars} = 4000 \text{ kg/cm}^2 ; \phi > 20 \end{aligned}$$

contrainte adm. de traction

$$\bar{\sigma}_a = \min \left\{ \begin{array}{l} \bar{\sigma}_a = 2/3 \sigma_{en} \\ \max(\sigma_1, \sigma_2) \end{array} \right. \quad (\text{cc BA 68})$$

$\sigma_1$  et  $\sigma_2$  seront définis ultérieurement.

1°) éléments non en contact permanent :

(contraintes de fissuration) :

$$\sigma_1 = k \frac{h}{\phi} \frac{\tilde{w}_f}{(1 + 10 \tilde{w}_f)}$$

$$\sigma_2 = 2,4 \sqrt{\frac{k h \bar{\sigma}_b}{\phi}}$$

$k, h$  : seront définis plus bas :

2°) éléments en contact permanent avec l'eau :

Dans ce cas ces éléments gonflent et ainsi la fissuration diminue (en milieu humide il y a une prise normale de bétonnage).

$$\text{ainsi : } \sigma_1 = k \frac{h}{\phi} \frac{\hat{w}_f}{(1 + 10 \hat{w}_f)} + 300 h$$

$$\sigma_2 = 2,4 \sqrt{\frac{k h \bar{\sigma}_b}{\phi}} + 300 h$$

(cc BA. 68 art. 49,32)

$\phi$  : diamètre nominal (en mm) de la plus grosse barre

$h$  : coeff. de fissuration

$h = 1$  pour les ronds lisses

$h = 1,6$  pour les H. A.

$k = 1,5 \cdot 10^6$  fissuration peu nuisible

$k = 10^6$  " nuisible

$k = 0,5 \cdot 10^6$  " très nuisible

$w_f$  : pourcentage de fissuration  $w_f = A/B_f$ .

A = section totale de barres tendues

$B_f$  = section de béton

$$\bar{\sigma}_a = \frac{2}{3} \bar{\sigma}_s \Rightarrow \begin{cases} 2800 \text{ kg/cm}^2 & \text{pour } \phi \leq 20 \text{ mm} \\ 2670 \text{ kg/cm}^2 & \phi > 20 \text{ mm} \end{cases}$$

no/ les contraintes  $\sigma_1$  sont inférieures aux contraintes  $\sigma_2$ .  
Elles ne seront donc pas prises en compte dans ce cas.

cas d'une fissuration très préjudiciable :

$k = 0,5 \cdot 10^6$        $\bar{\sigma}_b = 6,96 \text{ bars}$        $\eta = 1,6$

Tableau A

$\phi$ mm	8	10	12	14	16	20
$\bar{\sigma}_s$ (bars)	2002,23	1790,86	1624,82	1513,55	1415,8	1266,33
$\bar{\sigma}_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )	2042,28	1826,68	1669,52	1543,8	1444,12	1291,65
$\bar{\sigma}_a$ (kg/cm <sup>2</sup> )	2042,28					

ici  $\bar{\sigma}_a = \bar{\sigma}_s$ .

Pour une fissuration nuisible on a:  $k = 10^6$   
 $\eta = 1,6$

Tableau B

$\phi$ mm	8	10	12	14	16	20
$\bar{\sigma}_s$ (bars)	2831,6	2582,68	2312	2140,5	2002,24	1790,86
$\bar{\sigma}_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )	2888,2	2583,3	2358,23	2183,3	2042,3	1826,67
$\bar{\sigma}_a$ (kg/cm <sup>2</sup> )	2800	2583,3	2358,23	2183,3	2042,3	1826,67

2°) elements en contact permanent avec l'eau  
( fissuration très nuisible  $k = 0,5 \cdot 10^6$   
 $h = 1,6$

Tableau C

$\sigma \quad \phi \text{ mm}$	8	10	12	14	16	20
$\sigma_2 \text{ (bars)}$	2489,23	2270,86	2114,8	1983,5	1895,8	1746,33
$\sigma_2 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	2531,87	2316,28	2157,12	2033,42	1933,7	1781,26



chapitre 4

ETUDE AU  
SEISME

RPA 83

### Calcul des Efforts sismiques :

Formule de base  $V = ADBQW$  (RPA)

où  $V$  : force minimale horizontale agissant suivant les deux axes principaux

### Definition et determination des Parametres :

1°)  $A$  : coefficient d'acceleration des zones le chateau d'eau etant un ouvrage d'intérêt vital et important  $\Rightarrow$  groupe d'usage "1" (annexe RPA) soit  $A = 0,25$  pour une zone II (RPA p. 16)

2°)

$D$  : coefficient d'amplification moyen

$D = 2\sqrt{\frac{0,3}{T}}$  pour un sol ferme avec un amortissement de 10%

3°)

$B$  : facteur de comportement de la structure

$B = 2/3$  chateau d'eau : "categorie 6"

4°)  $Q$  : Facteur de qualité

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

$P_q$  : penalité dépendant de l'observation de  $q$  (voir RPA p. 24)

On considère que toutes les qualités sont observées  $\Rightarrow q_i = 0$   $i = 1, 2, \dots, 6$

d'où  $Q = 1$

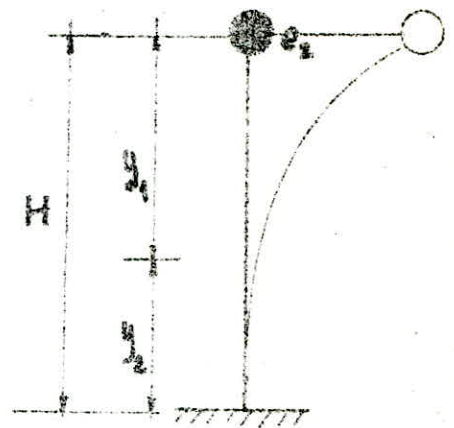
Inf. ...

Notre ouvrage sera assimilé à un système d'un seul degré de liberté encastré au niveau de la fondation (la masse de la moitié inférieure du support sera supposée négligeable)

$$H = y_1 + y_2$$

avec  $y_2 = 20 \text{ m}$

$e_2$  : représente le c.d.g. de la masse considérée



- Détermination de  $y_1$

$$\text{on a } y_1 = \frac{\sum y_i m_i}{\sum m_i}$$

deux cas se présentent :

- cuve vide  $\rightarrow y_1 = 20,164 \text{ m} \Rightarrow H = 40,164 \text{ m}$

- cuve pleine  $\rightarrow y_1 = 22,385 \text{ m} \Rightarrow H = 42,385 \text{ m}$

le volume d'eau étant  $V = 1000 \text{ m}^3$

de masse  $m_v = 1000 \text{ t}$

- Détermination de la période (T) d'oscillations et de la masse (W)

soient :  $m_1 =$  masse de la cuve

$m_2 =$  masse de l'eau

$m_3 =$  masse de la partie supérieure de la tour

$$m = m_1 + m_2 + m_3$$

deux cas se présentent :

- cuve vide  $m_2 = 0 \Rightarrow W_1 = 1087,9 \text{ t}$

- cuve pleine  $m_2 = 1000 \text{ t} \Rightarrow W_2 = 2087,9 \text{ t}$

l'expression de la période est donnée par la formule de M<sup>r</sup> RAYLEIGH :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum P_i f_i^2}{g \sum k_i}} \quad (\text{formule approchée})$$

où :  $P_i$  : poids supposé concentré au centre de gravité de chaque tronçon

$f_i$  : la flèche prise par la structure au niveau de chaque tronçon sous l'action d'une force horizontale unitaire appliquée au sommet de l'ouvrage

$g$  : accélération de la pesanteur

Dans l'expression de la période, les forces de frottement ne sont pas prises en compte puisque l'amortissement est en moyenne égale à 10% dans notre cas.

soit alors

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gk}} \quad \text{avec } k = \frac{3EI}{H^3}$$

$E$  : module d'élasticité longitudinal du matériau considéré

$I$  : moment d'inertie

Pour une plaque circulaire :  $I_{xx} = I_{yy} = \frac{\pi D^4}{64}$

où  $D$  : diamètre de la plaque  
dans notre cas il s'agit d'un anneau

circulaire  $\Rightarrow I_{xx} = I_{yy} = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$

avec :

$$D = D_m + \delta \quad \delta = 0,3 \text{ m}$$

$$d = D_m - \delta \quad D_m = 8 \text{ m}$$

$\delta$  : épaisseur de l'anneau

$D_m$  : diamètre moyen de l'anneau

ainsi :

$$I_{xx} = I_{yy} = \frac{\pi}{64} [(8,3)^4 - (7,7)^4] = 60,4 \text{ m}^4$$

- pour le cas de :

- la cuve vide  $\Rightarrow T = 0,67 \text{ s} \Rightarrow 1,34 = D^*$

- la cuve pleine  $T = 1,002 \text{ s} \Rightarrow 1,09 = D^*$

( $D^*$  : coeff. d'amplification moyen)

la Force sismique (horizontale)

$V = ADBQ W$  vaudra pour la :

- cuve vide :  $V = 0,22 W_1 = 239,4 \text{ t}$

- cuve pleine :  $V = 0,18 W_2 = 376 \text{ t}$

le cas défavorable étant celui de la  
cuve pleine on retiendra la valeur

$$V = 0,18 W_2 = 376 \text{ t}$$

*chapitre 5*

**FONDATION**

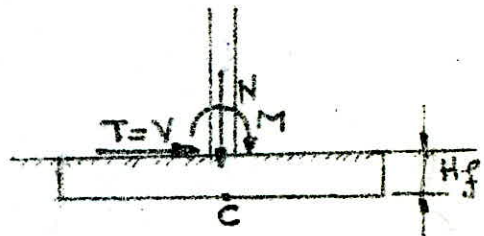
### Prédimensionnement du Radier :

$N = 2474 \text{ t}$  : effort vertical au niveau de la base

$T = V = 376 \text{ t}$  : effort tranchant d'origine sismique

$H_f = 4 \text{ m}$

$$M = VH = 42,385 \cdot 376 = TH$$



$N_f = \text{pois du radier circulaire} = \pi D^2 \cdot 4 \cdot 2,5 = 2,5\pi D^2$

$H = 42,385 \text{ m}$  : du niveau sup. du radier au c.d.g. de la masse oscillante

$$M_c = M + TH_f = TH + TH_f = T(H + H_f) = 376(42,385 + 4) = 17440,76 \text{ t.m}$$

le rayon du noyau central est :

$$e_1 = D/8$$

$$N_c = N + N_f = 2474 + 2,5\pi D^2 ; M_c = 17440,76 \text{ t.m}$$

la stabilité au renversement sera obtenue en ayant la résultante des efforts verticaux à l'intérieur du noyau central ( sous face de la fondation entièrement comprimée ), c'est à dire :

$$e_0 = M_c/N_c \leq D/8 \Leftrightarrow 2,5\pi D^3 + 2474D - 8 \cdot 17440,76 \geq 0$$

$$\Leftrightarrow D^3 + 315D - 17765 \geq 0$$

Pour  $D = 24 \text{ m}$  <sup>sup</sup>  $\Rightarrow e_1 = D/8 = 3 \text{ m} \Rightarrow N_c = 6937,9 \text{ t}$   
 $M_c = 17440,76 \text{ t.m}$

$$e_0 = M_c/N_c = 2,40 \text{ m} < D/8 = 3 \text{ m} \Rightarrow \text{la sous face de la fondation est entièrement comprimée}$$

soit :

$$\sigma_{1,2} = \frac{N_c}{S} \pm \frac{M_c V}{I}$$

$$S = \pi D^2/4 = 452,4 \text{ m}^2$$

$$V = 12 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \sigma_1 = 2,33 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = \pi D^4/64 = 16286 \text{ m}^4$$

$$\sigma_2 = 0,62 \text{ kg/cm}^2$$



verification de contraintes dans le sol

On prendra :  $\bar{\sigma}_s = 2,5 \text{ kg/cm}^2$

$\Rightarrow \sigma_1 \leq 1,33 \cdot 2,5 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \text{sol. du 2eme genre}$

$\frac{3\sigma_1 + \sigma_2}{4} \leq 1,33 \bar{\sigma}_s$

Dans le diagramme de contraintes (réaction du sol) établi précédemment sous  $M_c$  et  $N_c$ , une partie de contraintes s'opposera au poids de la fondation, tandis que l'autre partie sera reprise par les armatures la constituant.

a) contrainte revenant au poids du radier:

$N = \rho V = \rho \pi R^2 h_f = 2,5 \pi (12)^2 \cdot 4 = 4253,89 \text{ t}$

$\rho = 2,5 \text{ t/m}^3$  ;  $h_f = 4 \text{ m}$  ;  $R = 12 \text{ m}$ .

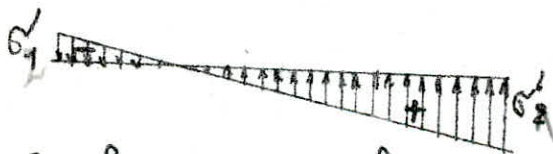
$\Rightarrow N/S = 10 \text{ t/m}^2 = 1 \text{ kg/cm}^2 = \sigma_{\text{fondation}} = \sigma_f$

b) Contraintes reprises par les armatures du radier

$\sigma_2' = \sigma_2 - \sigma_f = -0,38 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_1' = \sigma_1 - \sigma_f = +1,83 \text{ kg/cm}^2$

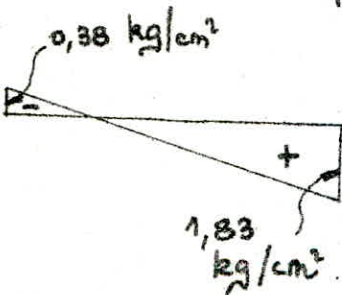
soit :



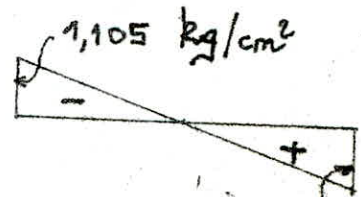
$\sigma_1 = -0,38 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_2 = +1,83 \text{ kg/cm}^2$

Afin d'être conforme aux formules découlant de la Théorie de M<sup>r</sup> TIMOSHENKO (Théorie des plaques et coques), ce diagramme de contraintes sera décomposé comme suit :



$0,725 \text{ kg/cm}^2$   
(Cas I)



(Cas II)  $1,105 \text{ kg/cm}^2$



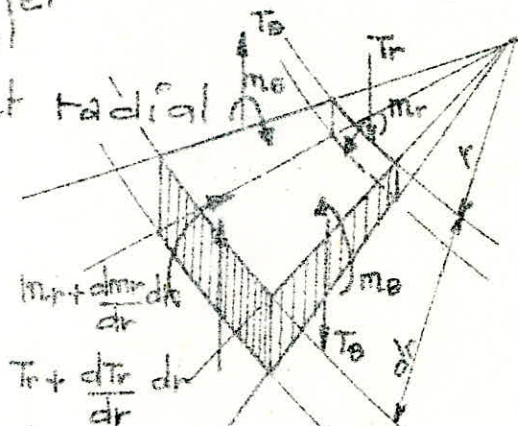
s'inspirant sur la théorie de METIMOSHENKO (pl. et C.)  
les auteurs :

ont établi dans leur ouvrage  
s'intitulant « CONSTR. II industrielle spéciale »  
( DIN BETON ARMÉ ) les graphes donnant  
les valeurs de moments ( $M_r, M_\theta$ ) et d'efforts  
tranchants ( $T_r$ ).

$M_\theta$  = moment tangentiel

$M_r$  = moment radial

$T_r$  = effort tranchant radial



Par raison de symétrie les  
efforts tranchants  $T_\theta$  s'annulent, ils ne seront  
donc pas pris en considération dans les calculs  
qui suivent

Nous reprendrons les valeurs de moments et  
d'efforts tranchants dans les graphes cités  
ci-dessus.

- Efforts tranchants Pour différents chargements :

1°) Cas de chargement uniforme (rectangulaire)

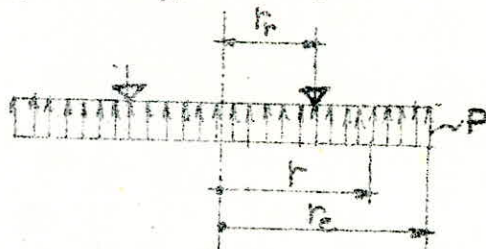
ou pose :

$P = 0,925 \text{ kg/cm}^2$

$\alpha = \frac{r_i}{r_e} = 0,33 \approx 0,3$

$r_e = R = 12$  rayon du radier

$r_i = 4 \text{ m} =$  rayon moyen de la tour



la courbe correspondant à  $\alpha = 0,3$  nous donnera  
les valeurs d'efforts tranchants

soit :  $r_e/N = r_e / \pi r_e^2 P = 1 / \pi r_e P = 3,66 \cdot 10^{-4} \text{ cm/kg}$   
 $= 3,66 \cdot 10^3 \text{ m/E}$

$t_r$ : effort tranchant radial défini précédemment  
(tableau pour le cas de charge rectangulaire)

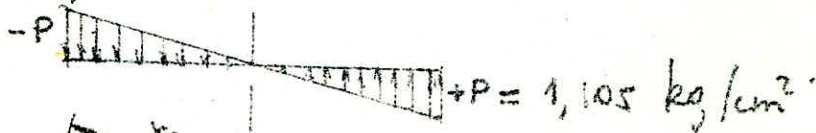
$r/r_e$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$t_r$	0	-3,9	-7,8	-11,7	-15,6	-19,5	-23,4	-27,3	-31,2	-35,1	-39,0

20)

$r/r_e$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$t_r$	-141,3	-128,7	-116,1	-103,5	-90,9	-78,3	-65,7	-53,1	-40,5	-27,9	-15,3

(t/ml)

ce tableau pour le cas de charge triangulaire



Cas défavorable  $\theta = 0^\circ$

on pose  $M = \frac{\pi}{4} r_e^3 P$

$$\frac{r_e^2}{M \cos \theta} = \frac{r_e^2}{\frac{\pi}{4} r_e^3 P \cos \theta} = 4 / \pi r_e P \text{ soit :}$$

$$4 / \pi r_e P = 9,6 \cdot 10^4 \text{ cm/kg} = 9,6 \cdot 10^{-3} \text{ m/t} ; \alpha = 0,3$$

voir tableau ci-dessus pour les efforts tranchants.

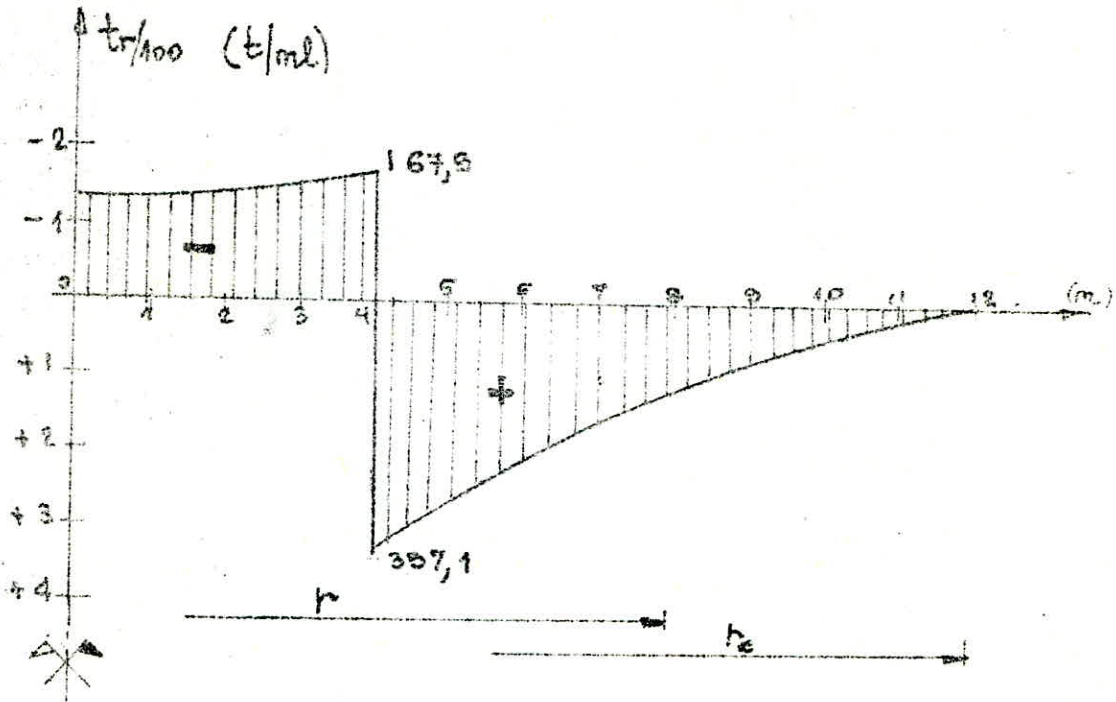
le tableau qui suit résulte de la combinaison des deux cas de charges ( [rectangle] + [triangle] )

Tableau résultant pour  $T_r$  (effort tranchant radial)

$r/r_e$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$T_r$	-141,3	-152,68	-160,3	-167,5	-173,9	-179,2	-183,3	-186,7	-189,5	-191,7	-193,0

t/ml

voir le diagramme de  $t_r$  sur page suivante :



Dimensionnement de la hauteur du radier selon les valeurs de l'effort tranchant

le cas défavorable sera assuré par l'étude au cisaillement pur.

$$\sigma_1 = \sigma = Tr/bz \quad \text{on prendra } \sigma_1 = \sigma = \bar{\sigma}_b = \bar{\sigma}_b$$

$$\sigma \leq \bar{\sigma}_b \Rightarrow z \geq Tr/b\bar{\sigma}_b \quad ; \quad \bar{\sigma}_b = \bar{\sigma}_b = 10,44 \text{ bars} = 10,65 \text{ kg/cm}^2$$

$$z = 0,854 h \quad ; \quad b = 100 \text{ cm} \quad (\text{cas défavorable})$$

$h$  : hauteur utile } de circonférence

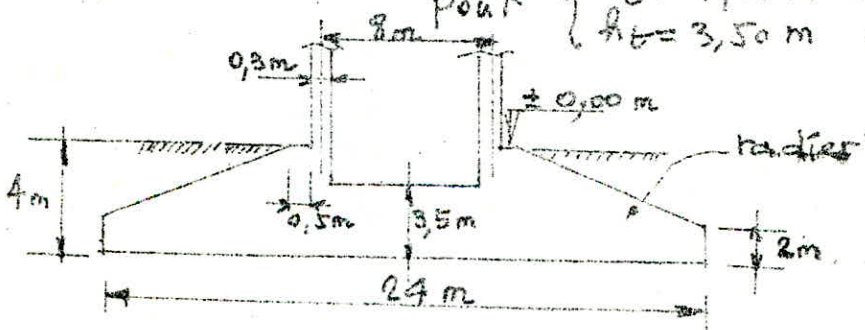
ie: ①  $Tr = 337,1 \text{ t/ml} \Rightarrow z = 316,53 \text{ cm} \Rightarrow h = 369,3 \approx 370 \text{ cm}$

2°  $Tr = 167,5 \text{ t/ml} \Rightarrow z = 157,65 \text{ cm} \Rightarrow h = 185 \text{ cm}$

on prendra  $d = 15 \text{ cm}$

$$h_t = h + d$$

pour  $\begin{cases} h_t = 4,00 \text{ m} \Rightarrow h = 385 \text{ cm} \\ h_t = 3,50 \text{ m} \Rightarrow h = 335 \text{ cm} \end{cases}$



- moment radial ( $M_r$ )

a) cas de charge rectangulaire

on pose:

$$N = \pi r_e^2 P = 327982 \cdot 2,73 \text{ kg/cm/cm} = 3279,8 \text{ tm/ml}$$

$$P = 1,105 \text{ kg/cm}^2$$

$$d = 0,3$$



r/re	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
tm/ml $M_r$	-253	-257,7	-262,4	-268,9	-268,7	-24	-66	-18,7	-9,4	-4,6	0,0

b) cas de charge triangulaire

r/re	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
tm/ml $M_r$	0	-151,8	-285,7	-428,6	-241	-160,7	-80,4	-35,7	-17,9	-8,9	0,00

on pose  $M = \pi/4 r_e^3 P$

$$r_e / M \cos \theta = r_e / \frac{\pi}{4} r_e^3 P = 4 / \pi r_e^2 P = 8 \cdot 10^7 \text{ cm/kg cm}$$

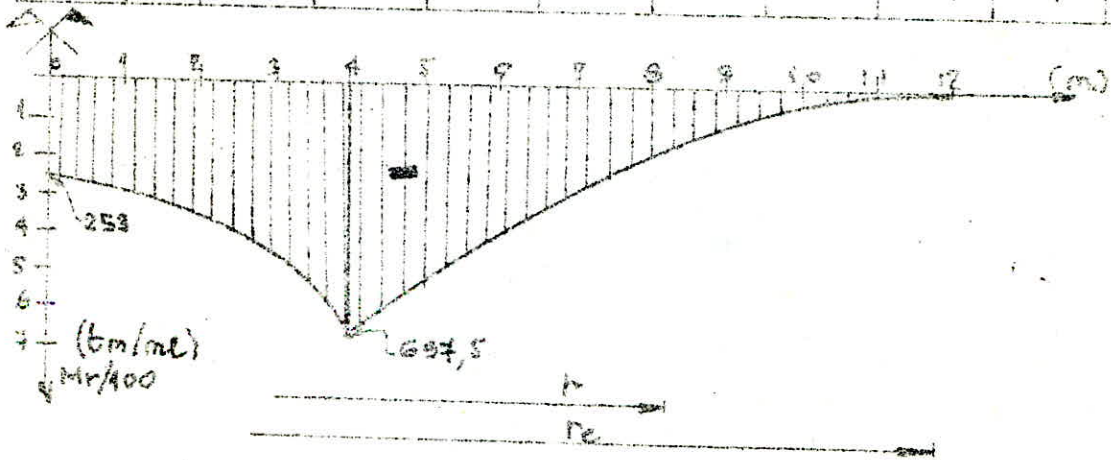


pour  $\theta = 0^\circ \Rightarrow r_e / M \cos \theta = 8 \cdot 10^4 \text{ m/tm}$

le tableau résultant des 2 cas de charges sera le suivant :



r/re	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
tm/ml $M_r$	-253	-409,5	-548,1	-697,5	-409,7	-259,7	-146,7	-59,4	-27,3	-13,5	0,00



- moment tangentiel (M<sub>θ</sub>)

a) cas de charge rectangulaire

On pose:  $N = \pi r_e^2 P = 3279,8 \text{ t/m/ml}$   
 $\alpha = 0,3$   
 $P = 1,05 \text{ kg/cm}^2$



r/r <sub>e</sub>	0,0	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1
t <sub>m/ml</sub> M <sub>θ</sub>	-243,6	-253	-258	-262,4	-264,3	-186,8	-178	-150	-121,8	-112,5	-94

b) cas de charge triangulaire

On pose  $M = \pi r_e^3 P \quad \theta = 0^\circ$

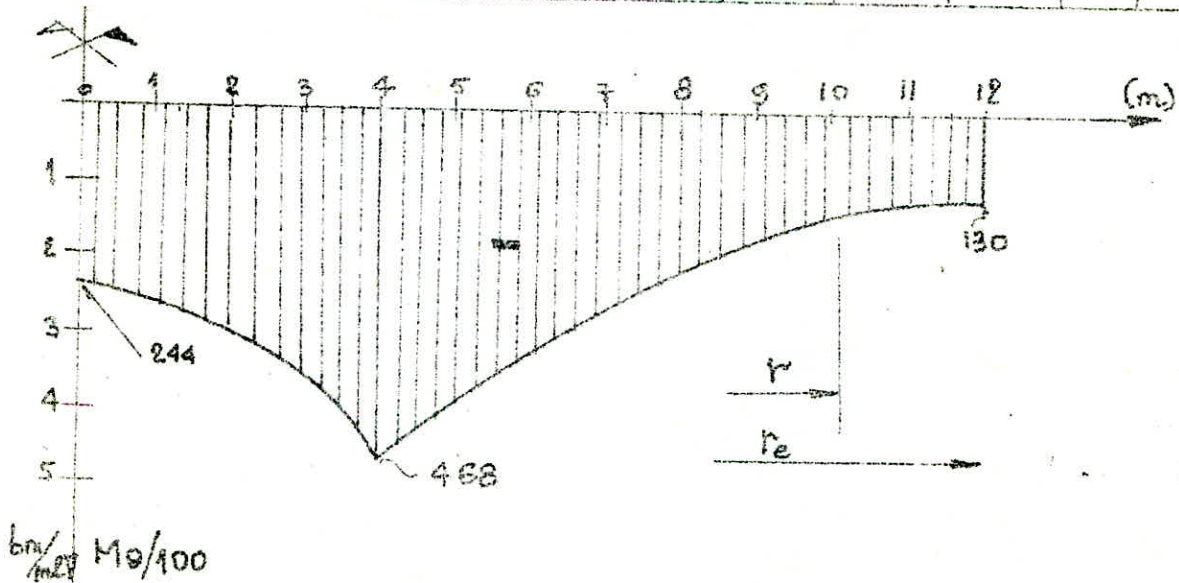


$\Rightarrow r_e / M \cos \theta = r_e / \frac{\pi}{4} r_e^3 P \cos \theta = 4 / \pi r_e^2 P = 810^4 \text{ m/tm}$

r/r <sub>e</sub>	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
t <sub>m/ml</sub> M <sub>θ</sub>	0	-71,43	-147,3	-205,4	-178,6	-142,9	-107	-80,4	-62,5	-49,2	-35,7

Valeurs de moment M<sub>θ</sub> résultant des 2 cas de charges (rectangulaires + triangulaire)

r/r <sub>e</sub>	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
t <sub>m/ml</sub> M <sub>θ</sub>	-244	-324,4	-405,3	-467,8	-413	-340	-285	-240,4	-184,3	-158,7	-130



## Ferraillage du radier

$M_R$  = moment résistant du B.A.

$h_t = 4 \text{ m} = 400 \text{ cm}$

$\bar{\sigma}_a = \bar{\sigma}_{en}$  (second genre : STI)

$d = 15 \text{ cm}$

$M_R = \bar{k} b h^2$

$h = 385 \text{ cm}$

$\bar{k} = 1/2 \bar{\alpha} \bar{\sigma}_b (1 - \bar{\alpha}/3)$

$\bar{\sigma}_b \rightarrow$  flexion simple

$b = 100 \text{ cm}$

$\bar{\alpha} = m \bar{\sigma}_b / (m \bar{\sigma}_b + \bar{\sigma}_a)$

$\bar{\sigma}_a = \bar{\sigma}_{en} = 4000 \text{ kg/cm}^2$

pour  $\phi \geq 20 \text{ mm}$

$\bar{k} = 50,11$

$\bar{\sigma}_b = 247,86 \text{ kg/cm}^2$  (second genre)

$\Rightarrow M_R = 7428,1 \text{ tm}$

$M_{ext} = M_R = 697,5 \text{ tm} = \max(M_\theta, M_R) \quad \bar{a} r = 4 \text{ m}$

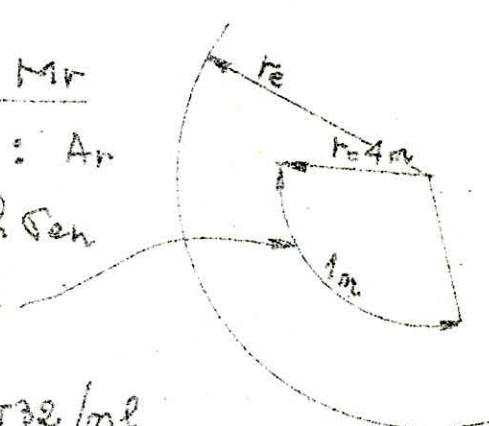
$M_R > M_{ext} \Rightarrow$  Aciers comprimés non nécessaires ( $A' = 0$ ).

### Calcul des aciers tendus sous $M_R$

(armatures radiales) :  $A_r$

$A_r = M_R / z \bar{\sigma}_{en} = M_R / 9,857 \cdot h \bar{\sigma}_{en}$

$\bar{a} r = 4 \text{ m} \Rightarrow M_R = 697,5 \text{ tm/ml}$   
 $h = 305 \text{ cm}$

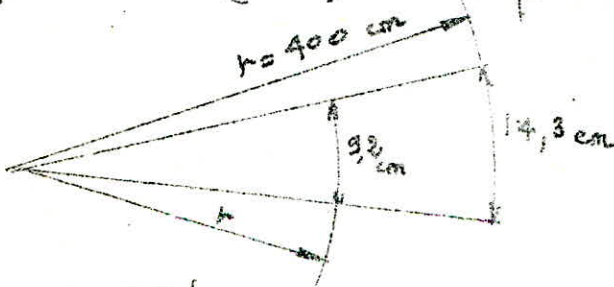


$\Rightarrow A_r = 52,85 \text{ cm}^2/\text{ml} \Rightarrow A_r = 4732/\text{ml}$

$= 56,29 \text{ cm}^2/\text{ml}$

on laisse un espacement minimal de 6 cm entre armatures dans la zone de convergence, afin que le béton puisse pénétrer entre elles.

les armatures seront arrêtées pour  $r < 4 \text{ m}$ , lorsque cet espacement (6cm) n'est plus respecté.



$6 + 3,2 = 9,2 \text{ cm}$

$P_1 = 2 \pi R$

$P_2 = 2 \pi r$

$14,3 / 2 \pi R = 9,2 / 2 \pi r = \theta / 360^\circ \Rightarrow r = 9,2 R / 14,3 = 2,55 \text{ m}$

les barres T32 seront arrêtées à  $r = 2,55 \text{ m}$

$l_d$  : longueur d'ancrage nécessaire

$$l_d = \frac{\sigma_{en}}{\bar{\sigma}_d} \cdot \frac{\phi}{4} \quad \bar{\sigma}_d = 1,25 \psi_d^2 \bar{\sigma}_b$$

$$\psi_d = 1,5 \quad (\text{H.A}) \quad ; \quad \bar{\sigma}_b = 10,44 \text{ bars} = 10,65 \text{ kg/cm}^2$$

(2eme genre)

$\Rightarrow l_d = 106,83 \text{ cm}$  ( $\phi = 32 \text{ mm}$ )  
on acceptera une longueur d'ancrage  $l_d = 105 \text{ cm}$

$$\text{soit alors } r = 255 + 105 = 360 \text{ cm} = 3,6 \text{ m}$$

le quadrillage débutera alors à partir de  
 $r = 0 \div 3,6 \text{ m}$  (symétriquement).

$$\text{soit } d = 0,3 \Rightarrow r = 12(0,3) = 3,6 \text{ m}$$
$$M_r = 607,5 \text{ tm/ml}$$
$$M_\theta = 468 \text{ tm/ml}$$

on calculera le quadrillage seulement dans une seule direction en prenant pour moment

$$M_1 = \max \{ M_r, M_\theta \}$$

Par conséquent la résistance des aciers est assurée dans l'autre direction.

avec :  $M_1 = 607,5 \text{ tm/ml}$  (supposé sollicitant séparément les 2 directions).

$$A_1 = M_1 / 26en = M_1 / 0,857 \cdot h \cdot 6en \quad \left\{ \begin{array}{l} h = 335 \text{ cm} \\ M_1 = 607,5 \text{ tm/ml} \end{array} \right.$$

$$A_1 = 60,74 \text{ cm}^2/\text{ml} \quad (\text{dans les 2 directions}).$$

$$\text{soit } A_1 = 8T32/\text{ml} = 64,34 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

espacement  $\rightarrow 12,5 \text{ cm}$

$$l_d = 1 \text{ m}$$

armatures radiales Pour différents rayons ( $\theta=0^\circ$ )

armatures Prévue (nécessaires)

$r ; d$	$M_r$ (tm/ml)	$h$ (cm)	$A_s$ (cm <sup>2</sup> ) acier
$d_1 = 0,4$ $r_1 = 4,8$ m	409,7	3,685	32,43
$d_2 = 0,5$ $r_2 = 6$ m	254,7	3,4375	21,61
$d_3 = 0,7$ $r_3 = 8,4$ m	54,4	2,9425	5,4
$d_4 = 0,9$ $r_4 = 10,8$ m	13,5	2,4475	1,61

armatures existantes

$r$ (m)	$P$ (cm) Péri-mètre	nbre total de barres	$A$ (cm <sup>2</sup> /ml) acier
4,8	30,16	176 T32	46,96
6	37,7	"	37,57
8,4	52,8	"	26,77
10,8	67,9	"	20,9

Ferrailage sous  $M_\theta$  (cerces)

$M_\theta = 468$  tm/ml pour  $d = 0,3 \div 0,6$  ;  $r = 3,6 \div 7,2$  m

$M_\theta = 285$  tm/ml pour  $d = 0,6 \div 1,0$  ;  $r = 7,2 \div 12$  m

$r$ (m)	$M_\theta$ tm/ml	$h_c$ (cm)	$A_c$ (cm <sup>2</sup> /ml)	Acier Choisi	espacement (cm)
$3,6 \div 7,2$	468	381,6	35,78	8T25/ml	12,5
$7,2 \div 12$	2,85	315,6	26,34	6T25/ml	16,67

$h_1 = 385 - 3,2 - 2(0,1) = 381,6$  cm

$h_2 = 319 - 3,2 - 2(0,1) = 315,6$  cm



- Ferraillage du lit supérieur (du radier)

On adoptera un ferraillage forfaitaire

- quadrillage supérieur

la hauteur du massif de la fondation étant considérable. on prendra un pourcentage d'acier de 0,12%.

soit  $h_f = 3,50 \text{ m} = 350 \text{ cm} \Rightarrow \frac{A}{b h_f} = w = 0,12\% \Rightarrow A = \frac{0,12 \cdot 100 \cdot 350}{100}$

$\Rightarrow A = 42 \text{ cm}^2$  armatures qu'on disposera identiquement dans les deux directions.

soit  $A = 6 \text{ T } 32 = 48,25 \text{ cm}^2$

- barres et cerces

on se limitera à un pourcentage d'acier = 0,1% pour  $r = 4 \text{ m} \Rightarrow h_f = 4,00 \text{ m} \Rightarrow A \geq 40 \text{ cm}^2$

$r$ (m)	$h_f$ (m)	Aciers nécessaires (cm <sup>2</sup> )
4,00	4,00	40
4,80	3,69	36,9
6,00	3,43	34,3
8,40	2,95	29,5
10,80	2,45	24,5

• lit supérieur  $\rightarrow A = 5 \text{ T } 32 / \text{ml}$  pour  $r = 4 \text{ m}$  avec un prolongement jusqu'à  $r = 12 \text{ m}$ .

• Cerces :

$A = 3 \text{ T } 25 / \text{ml}$  pour  $r = (4,00 \div 6,00) \text{ m}$

$A = 4 \text{ T } 25 / \text{ml}$  pour  $r = (6,00 \div 8,50) \text{ m}$

$A = 6 \text{ T } 25 / \text{ml}$  pour  $r = (8,50 \div 12,00) \text{ m}$

## chapitre 6

### ETUDE AU VENT

- action d'ensemble
- action locale

# ACTION d'Ensemble Comportement de l'ouvrage

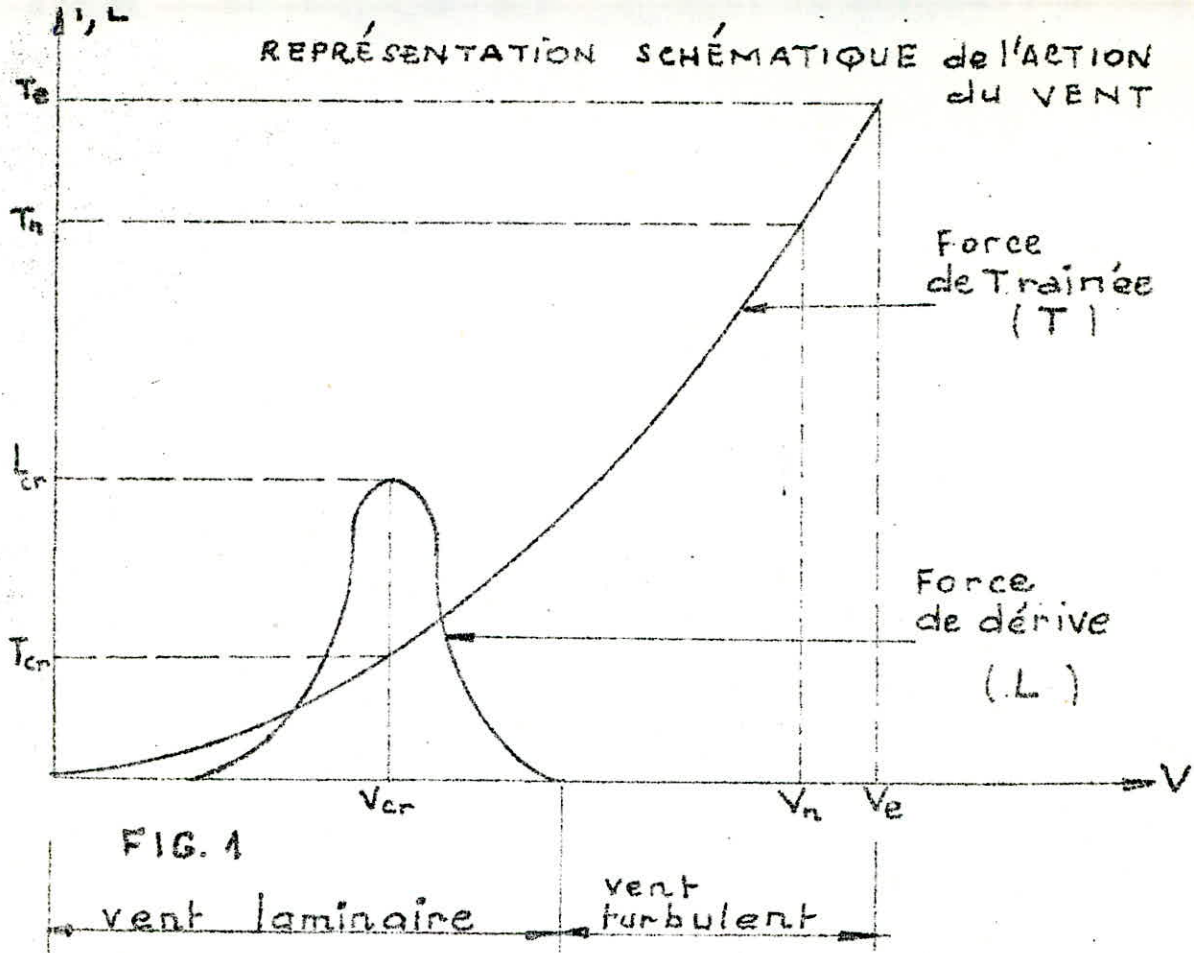
## a) Direction Parallèle à l'action du Vent

Dans la direction Parallèle à l'action du vent, le comportement de l'ouvrage est celui d'une console verticale encastree dans le sol, soumise à une pression répartie sur sa hauteur. A de faibles vitesses, le régime du vent est généralement laminaire, les effets sur les constructions ayant un caractère statique. Un calcul à ce stade ne présente pas d'intérêt. Pour des vitesses plus élevées, le vent devient turbulent et agit par rafales successives. Ces rafales sont d'autant plus dangereuses qu'elles présentent un caractère périodique, et que leur période est plus voisine de la période propre de vibration de l'ouvrage (risque de résonance). Les effets du vent deviennent dynamiques.

## b) Direction Perpendiculaire à l'action du Vent

M. Marius DIVER énonce que de nombreuses observations ont mis en évidence le phénomène de vibration des constructions élancées dans la direction Perpendiculaire à l'action du vent. Ces vibrations apparaissent pour une vitesse du vent relativement faible et uniquement en régime laminaire. La vitesse du vent correspondant aux vibrations maximales est appelée "vitesse critique".

Si par un calcul théorique on trouve une vitesse critique supérieure à 25 m/s, les règles NV 65 proposent de considérer les oscillations latérales comme négligeables. La figure 1 illustre à une certaine mesure ce qui vient d'être énoncé ci-dessus.



Vent laminaire = vent dont l'effet sur l'ouvrage est statique.

Vent turbulent = vent dont l'effet sur l'ouvrage présente un caractère dynamique (vent agissant par rafales successives).

T : force de traînée par mètre linéaire

L : force de dérive par unité de longueur

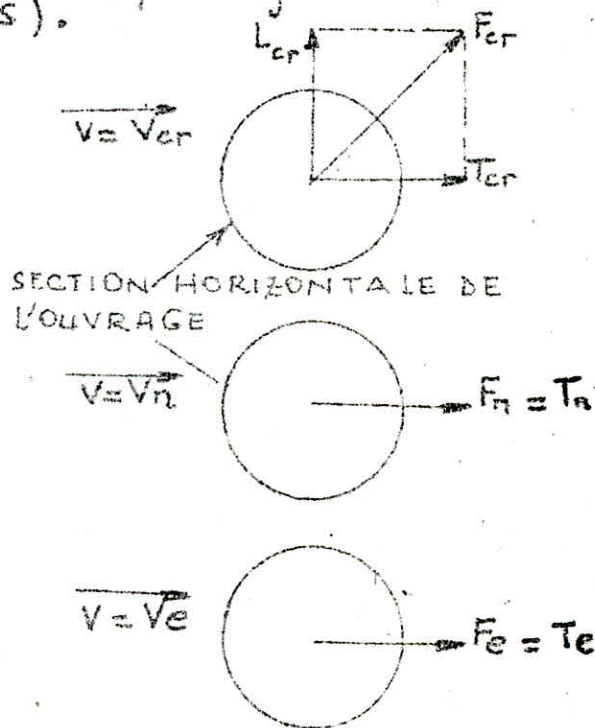
V : vitesse du vent (m/s)

$V_n$  : vitesse normale

$V_{cr}$  : vitesse critique

$V_e$  : vitesse extrême

$$F = \sqrt{L^2 + T^2}$$



Etude dans la direction Parallele à celle du Vent  
( Force de Trainée )

$T = C_t \cdot \beta \cdot \delta \cdot q \cdot D_e$  ( Force de trainée par mètre )

Définition et valeurs des coefficients :

$( T_n = C_b \cdot \beta \cdot \delta \cdot q_n \cdot D_e )$

$T_e = 1,75 T_n$

$\beta = \theta (1 + \xi \zeta)$  : coefficient de majoration dynamique -  $Ue^2$  ( voir NV65 p. 88 )

$\theta = 1$  pour une section circulaire

$\xi$  : coefficient de réponse ( NV65 R-III-3 p. 83 )

$\xi = \xi(T)$  : T étant la période d'oscillations de la structure

$\zeta$  : coefficient de pulsation ( NV65 p. 83 )  
dépendant de la hauteur H ( variable )

$\zeta = \zeta(H)$

$C_t$  : coefficient global de Trainée  
 $= 1,2$  ( voir MARIUS DIVER p. 11 )

$\delta$  : coefficient de réduction des Pressions dynamiques ( voir abaque R-III-2 p. 83 NV65 )

$\delta = \delta(H)$

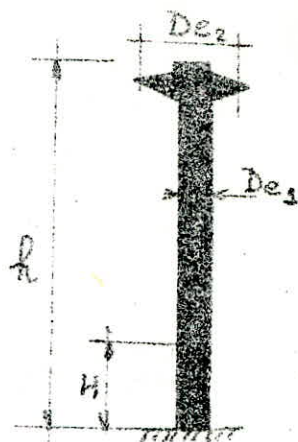
$q_n = q_H \cdot K_s$        $K_s$  : coefficient de site  
 $= 1,3$  ( Region II : site normal NV65 p. 53 )

$q_H$  : Pression dynamique agissant à la hauteur H au dessus du sol

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

$q_{10} = 70 \text{ kg/m}^2$  en Algérie ( Pression = Pression dynamique de base à 10m de hauteur ( NV65 p. 55 )

$D_e$  : largeur du maître couple variant le long de la hauteur H

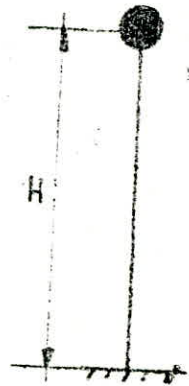


Calcul de la Période :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{g \cdot k}}$$

$$k = 3EI/H^3$$

H : hauteur du centre de gravité de la masse considérée.  
 I : moment d'inertie de la section annulaire par rapport à un axe passant par son centre et ne la traversant pas.



m : masse (kg)

E : module de Young

g : accélération de la pesanteur

T : Période d'oscillations de l'ouvrage

-cuve vide :

$$m_1 = 1087,9 \text{ (t)} \Rightarrow T_1 = 0,67 \text{ (s)} \Rightarrow \xi_1 = 0,5$$

$$H = 40,164 \text{ m}$$

cuve pleine :

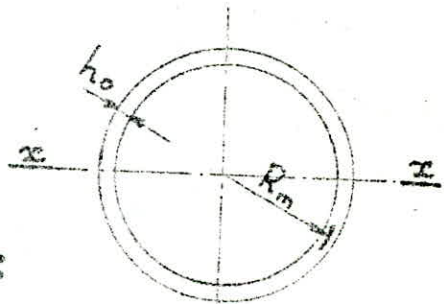
$$m_2 = 2087,3 \text{ (t)} \Rightarrow T_2 \approx 1 \text{ (s)} \Rightarrow \xi_2 \approx 1$$

$$H = 42,385 \text{ m}$$

$$I = I_{xx} = 60,4 \text{ m}^4$$

$$R_m = 4 \text{ m}$$

$$h_o = 0,3 \text{ m}$$



Calcul de la vitesse critique :

$$V_{cr} = D_e / S^d T$$

$D_e = 15 \text{ m}$  (largeur du maître couple)

$S^d = 0,20$  (Nombre de Strouhal voir M.DIVER p.70UNV65)

Pour :

$$T_1 = 0,67 \text{ (s)} \Rightarrow V_{cr} = \frac{15}{0,2 \cdot (0,67)} \approx 112 \text{ m/s} > 25 \text{ m/s}$$

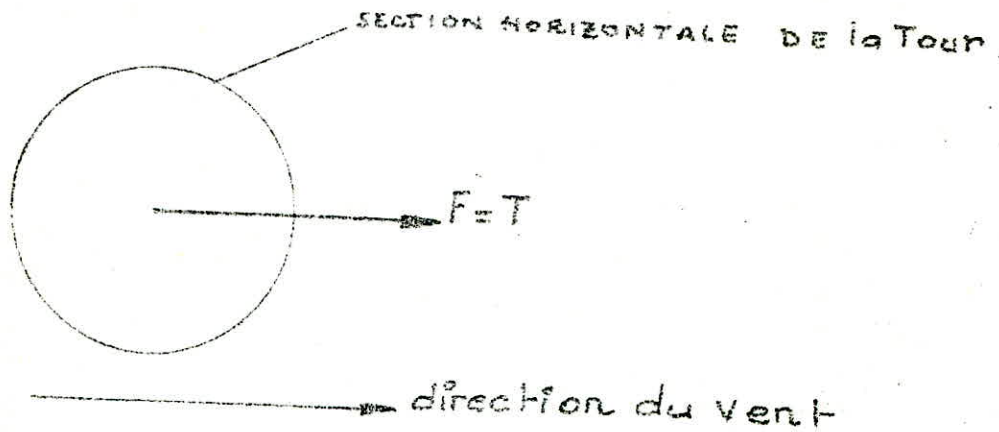
$$T_2 = 1 \text{ (s)} \Rightarrow V_{cr} = 15 / 0,2 \cdot 1 = 75 \text{ m/s} > 25 \text{ m/s}$$

Dans les deux cas  $V_{cr} > 25 \text{ m/s} \Rightarrow$  pas de résonance

On a donc  $V_{cr} > 25 \text{ m/s}$  (vitesse de référence voir R. NV 65)  
Dans ce cas la dérive devient négligeable conformément à ce qui a été énoncé précédemment (voir R. NV 65).

Ainsi la Force résultante (par mètre) :

$$F = \sqrt{T^2 + L^2} \approx \sqrt{T^2 + 0^2} = T$$



L'étude dans la direction perpendiculaire à celle du vent ne sera donc pas prise en considération.

Seule donc l'étude dans la direction parallèle à celle du vent sera présentée dans notre ouvrage.

H	$\zeta$	$\beta$	$\delta$	$\frac{\text{kg/ml}}{T_n}$	$\frac{\text{kg/ml}}{T_e = 1,75 T_n}$
0	0,36	1,189	0,74	504,4	882,7
2	0,36	1,189	0,74	542,4	949,2
4	0,36	1,189	0,74	578	1011,5
6	0,36	1,189	0,74	611,4	1070
8	0,36	1,189	0,74	643	1125
10	0,36	1,189	0,74	672,6	1177
12	0,358	1,188	0,74	700	1225
14	0,356	1,187	0,74	726	1270
16	0,354	1,186	0,74	750	1313
18	0,352	1,185	0,74	773,3	1353,3
20	0,350	1,184	0,74	795	1391,5
22	0,348	1,183	0,74	815,9	1427,7
24	0,346	1,182	0,74	835,5	1462
26	0,344	1,181	0,74	854	1495
28	0,342	1,180	0,74	872	1526
30	0,340	1,179	0,74	889	1555
32	0,338	1,177	0,76	929,4	1626,4
34	0,336	1,176	0,76	945	1654
36	0,334	1,175	0,80	1011	1769
38	0,332	1,174	0,80	1026	1795
40	0,330	1,173	0,80	1040,3	1820,6
42	0,328	1,172	0,85	2320	4060
44	0,326	1,171	0,85	2349	4111
46	0,324	1,170	0,90	2517	4404,6
48	0,322	1,169	0,90	2545	4454
50	0,320	1,168	0,90	2572	4501

$\zeta = 0,52$

curve  
wide



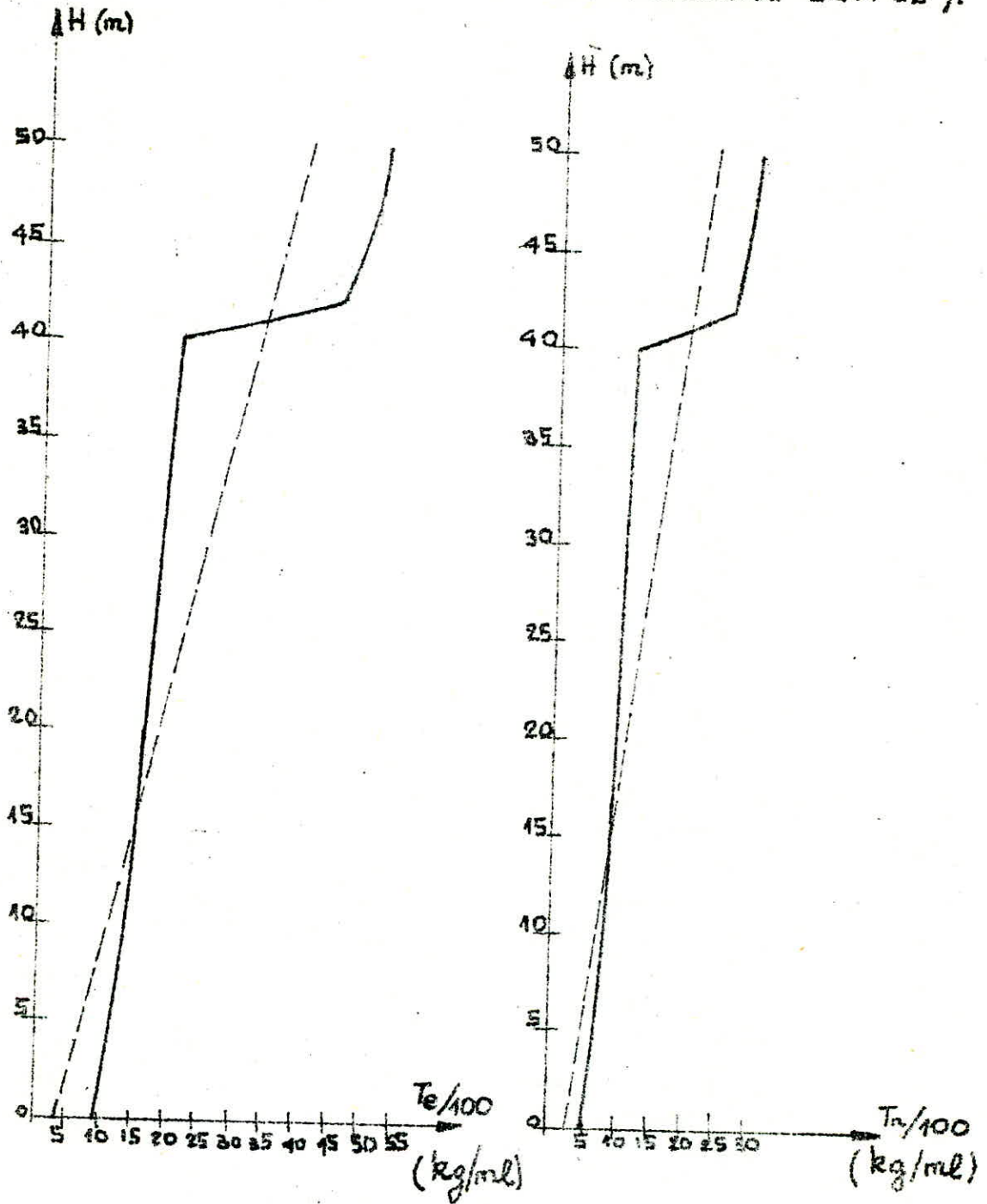
(m) H	$\xi$	$\beta$	$\delta$	kg/ml $T_n$	kg/ml $T_e = 1,75 T_n$
0	0,36	1,396	0,74	592,2	1036,4
2	0,36	1,396	0,74	636,8	1114,4
4	0,36	1,396	0,74	678,6	1187,6
6	0,36	1,396	0,74	718	1256,3
8	0,36	1,396	0,74	755	1321
10	0,36	1,396	0,74	789,6	1382
12	0,358	1,394	0,74	821,3	1437,2
14	0,356	1,392	0,74	851	1489,2
16	0,354	1,389	0,74	879	1538,2
18	0,352	1,387	0,74	905,4	1584,4
20	0,350	1,385	0,74	930,3	1628
22	0,348	1,383	0,74	954	1669
24	0,346	1,381	0,74	976,2	1708,3
26	0,344	1,378	0,74	997,3	1745,3
28	0,342	1,376	0,74	1017,3	1780,3
30	0,340	1,374	0,74	1036,3	1813,5
32	0,338	1,372	0,76	1083	1895
34	0,336	1,370	0,76	1100,4	1925,7
36	0,334	1,367	0,80	1175,9	2058
38	0,332	1,365	0,80	1192,6	2087
40	0,330	1,363	0,80	1208,6	2115
42	0,328	1,361	0,85	2693,4	4713,4
44	0,326	1,359	0,85	2725	4769
46	0,324	1,356	0,90	2917,7	5106
48	0,322	1,354	0,90	2948,3	5159,6
50	0,320	1,352	0,90	2977,6	5210,8

$\xi = 1,1$

curve  
pleine

— : courbe réelle .

- - - : courbe approchée (ajustée par la méthode des moindres carrés).



Nous ferons l'approximation suivante :

- les courbes respectives de  $T_n$  et  $T_e$  seront ajustées à des droites par la méthode des moindres carrés.

Elles seront de la forme :

$$T = AH + B$$

soit en posant :

$$T = y \quad \text{et} \quad H = x \quad , \quad \text{on a :}$$

$$A = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$B = \frac{\sum Y \sum X^2 - \sum X \sum XY}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

a)  $T_e$  :

$$\begin{aligned} \sum X &= 650 \\ \sum X^2 &= 22100 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum Y &= 58\,730,7 \\ \sum Y^2 &= 181\,145\,992,7 \end{aligned}$$

$$\sum XY = 1905\,022,138$$

$$n = 26$$

$$A = 74,659$$

$$\Rightarrow B = 392,395$$

$$T_e = 74,659 H + 392,395$$

b)  $T_n$  :

$$\begin{aligned} \sum X &= 650 \\ \sum X^2 &= 22100 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum Y &= 33\,560,38 \\ \sum Y^2 &= 59\,149\,704,25 \end{aligned}$$

$$\sum XY = 1\,088\,584,048$$

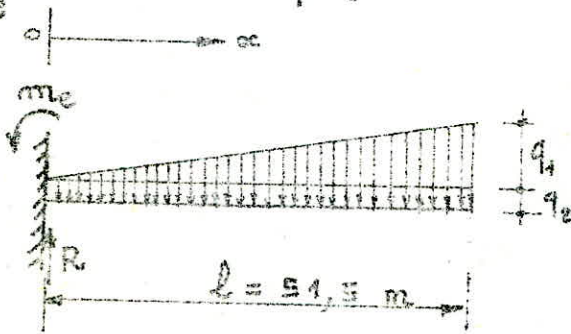
$$A = 42,662$$

$$\Rightarrow B = 224,226$$

$$T_n = 42,662 H + 224,226$$

On reliera les valeurs des moments fléchissants donnés par les graphes de  $T_e$  et  $T_n$ .

Notre ouvrage sera donc assimilé à une console encastree au sol soumise à un chargement trapézoïdal d'après respectivement à  $T_e$  et  $T_n$ :



on pose :  $F_1 = q_1 l / 2$      $F_2 = q_2 l$      $\Rightarrow me = l^2 (q_1 / 3 + q_2 / 2)$   
 $R = l (q_1 / 2 + q_2)$

Equation des moments :

$$M = -l^2 (q_1 / 3 + q_2 / 2) + l (q_1 / 2 + q_2) x - q_2 x^2 / 2 - q_1 x^3 / 6 l$$

On obtient pour :

- a)  $T_n$  :

$q_1 = 2,190 \text{ t/ml}$	$\Rightarrow$	$x = 0$	$M = -2238,4 \text{ tm}$
$q_2 = 7,224 \text{ t/ml}$	$\Rightarrow$	$x = 10$	$M = -1575,9 \text{ tm}$
		$x = 20$	$M = -978,5 \text{ tm}$

- b)  $T_e$  :

$q_1 = 3,84 \text{ t/ml}$	$\Rightarrow$	$x = 0$	$M = -3925,3 \text{ tm}$
$q_2 = 0,4 \text{ t/ml}$	$\Rightarrow$	$x = 10$	$M = -2762,9 \text{ tm}$
		$x = 20$	$M = -1715,1 \text{ tm}$

moments d'encastrement :

$T_n \longrightarrow me = 2238,4 \text{ tm}$

$T_e \longrightarrow me = 3925,3 \text{ tm}$

### Sollicitations locales :

- (MOMENTS D'OVALISATION)

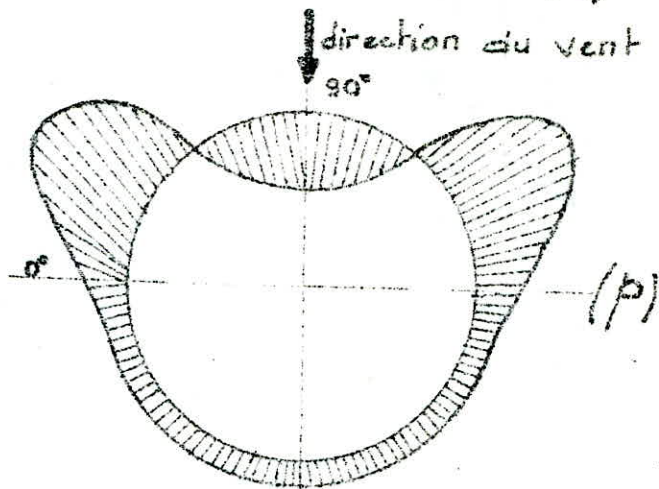


Diagramme des actions extérieures sur la paroi

$p$ : pression unitaire en chaque point de la paroi  
- le moment flechissant d'ovalisation est défini par la relation suivante :

$$M_o = k q \delta_o D_m^2$$

$k = k_e$  si  $M_o = M_{oe}$  et  $k = k_i$  si  $M_o = M_{oi}$   
( $M_{oe}$  et  $M_{oi}$  sont les moments qui sollicitent en traction respectivement les fibres extérieures et intérieures de la paroi annulaire).

la pression  $q$  peut prendre les valeurs  $q_n$  et  $q_e$ .

$$q_n = q_H k_s \quad ; \quad q_H = q_{10} \cdot 2,5 \left( \frac{H+18}{H+60} \right)$$

$$k_s = 1,3 \text{ (région II)} \quad ; \quad q_e = 1,75 q_n$$

= coefficient de site voir N V 65 page 59

$q_{10}$  = pression dynamique de base à 10 m de hauteur

= 70 kg/m<sup>2</sup> en Algérie

$$M_{oi} = k_i \delta_0 q_n D_m^2$$

$$M_{oe} = k_e \delta_0 q_n D_m^2$$

$\delta_0$  : coefficient de réduction des pressions dynamiques  
(donné par l'abaque R-III-2 NV 65)

$D_m$  : largeur du maître couple de la structure

Détermination des coefficients  $k_i$  et  $k_e$  :

MS MARCUS DIVER (page 8) recommande conformément  
au NV 65 pour les ouvrages tronconiques  
et cylindriques :

$$A = L^2 / S_t$$

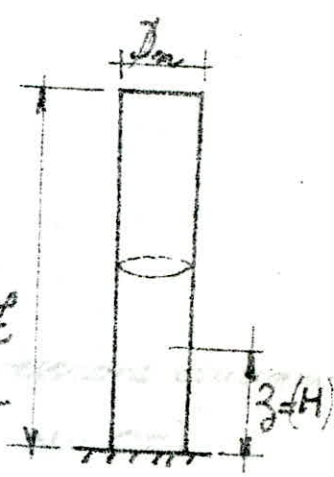
$S_t$  : surface du maître couple

pour un ouvrage cylindrique :

$$A = L / D_c = 40 / 8 = 5$$

MD page 8  $\Rightarrow$  tableau  $\Rightarrow \delta_0 = 1,1 \approx 1$   
(pour une région II)

à la page 22 (MD) on obtient  $(h) = L$   
sur le graphique les coefficients



$k_i$  et  $k_e$  :

- Face au vent ( $90^\circ$ ) fibres intérieures tendues:  
 $k_i = 0,061$

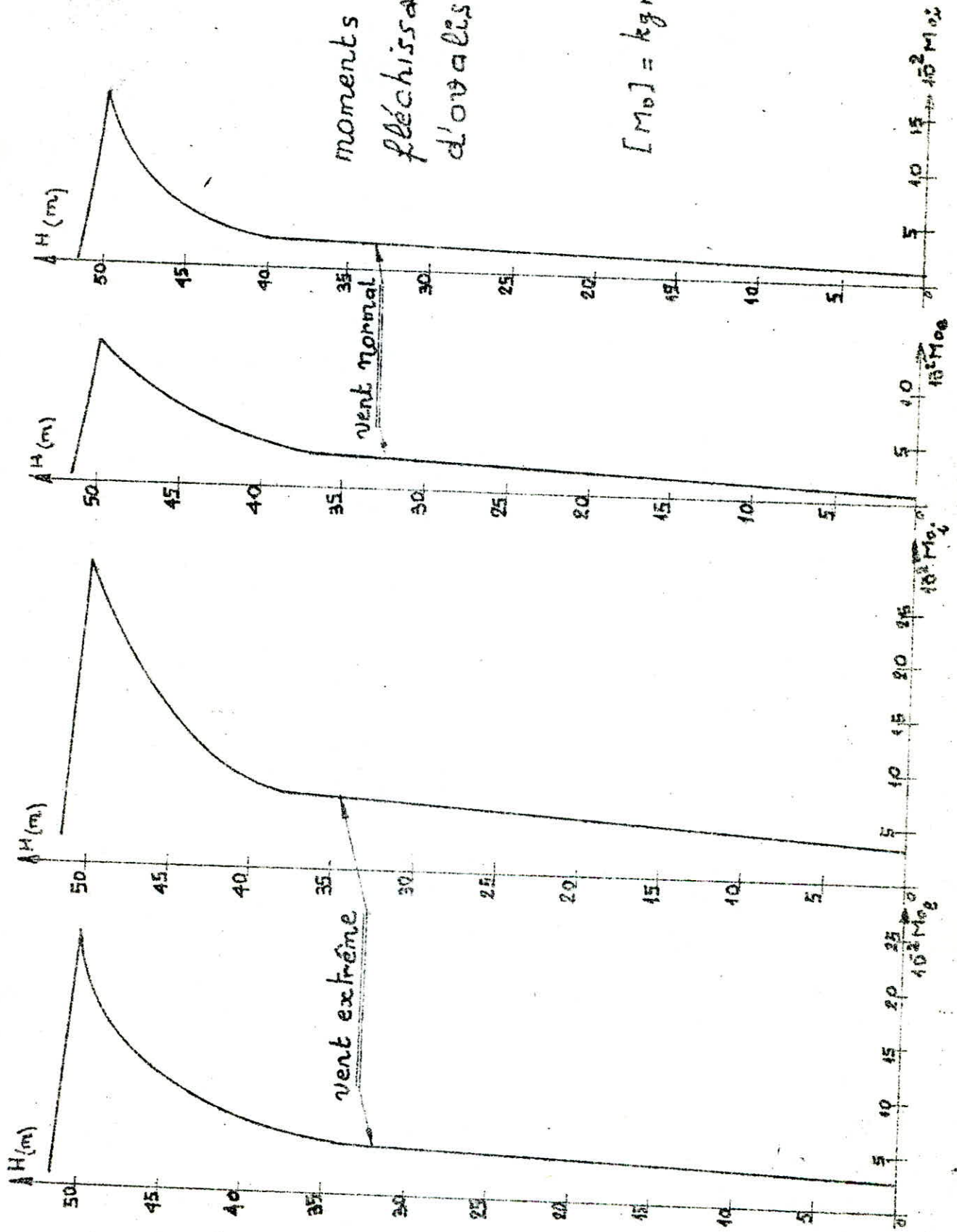
- Face latérale ( $\approx 0^\circ$ ) fibres extérieures tendues:  
 $k_e = 0,050$

$$\Rightarrow \left[ \begin{array}{l} M_{oi} = 0,061 \delta_0 q_n D_m^2 \\ M_{oe} = 0,050 \delta_0 q_n D_m^2 \end{array} \right]$$

(m)	$S_0$	(m)	VENT NORMAL			VENT EXTRÊME		
			$q_n$ $\frac{kg}{m^2}$	$Moi$ $\frac{kgm}{m}$	$Moe$ $\frac{kgm}{m}$	$q_e$ $\frac{kg}{m^2}$	$Moi$ $\frac{kgm}{m}$	$Moe$ $\frac{kgm}{m}$
0	0,74	8	68,250	197,172	161,681	119,438	345,050	282,341
4	"	"	78,203	225,926	185,259	136,855	395,370	324,203
8	"	"	86,985	251,297	206,064	152,224	439,770	350,611
12	"	"	94,792	273,849	224,556	165,885	479,236	392,924
16	"	"	101,776	294,028	241,103	178,109	514,548	421,930
20	"	"	108,063	312,188	255,994	189,109	546,329	447,990
24	"	"	113,750	328,619	269,468	199,063	575,084	471,569
28	0,74	"	118,920	343,556	281,716	208,111	601,224	493,003
32	0,76	"	123,641	366,849	300,816	216,372	641,985	526,428
36	0,8	"	127,969	399,672	327,731	223,945	699,426	579,529
40	0,8	8	131,950	412,106	337,927	230,913	721,186	591,372
50	0,9	15	140,636	563,490	1282,061	246,114	2736,000	2243,520
51,5	0,9	3	141,805	90,066	57,454	248,159	122,615	100,544

moments  
fléchissants  
d'ovalisation

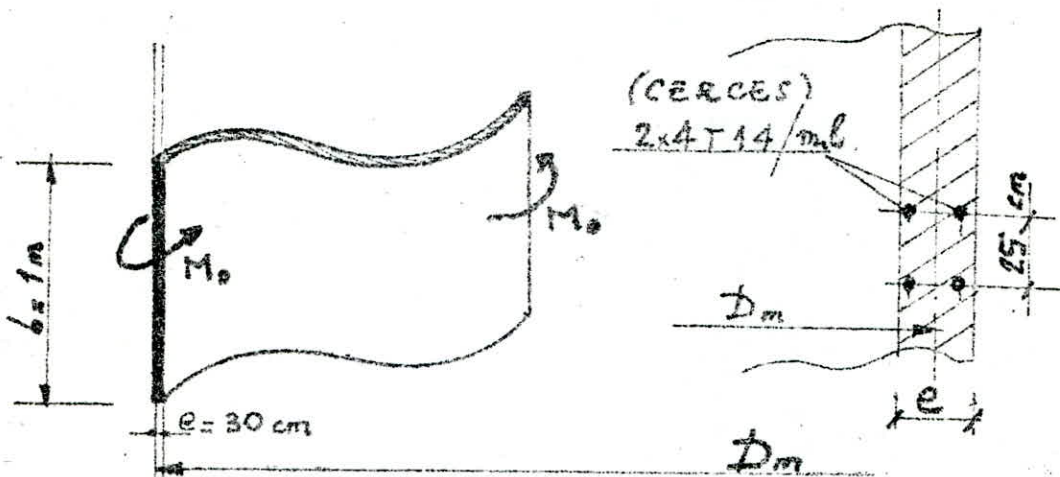
$$[M_0] = \text{kgm/m}$$





chapitre 7

FERRAILLAGE DE  
LA TOUR



$D_m$ : diamètre moyen de la tour

$$M = \max(M_{0a}, M_{0e}) = 2736 \text{ kgm/m}$$

$$\bar{\sigma}_b = 165 \text{ kg/cm}^2 ; \bar{\sigma}_a = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

en adoptant les coefficients de M<sup>E</sup> Charon on a :

$$\mu = \frac{15 M}{\bar{\sigma}_a b h^2} = \frac{15 \cdot 2736 \cdot 10^2}{2800 \cdot 100 \cdot 26^2} \approx 0,02$$

$$\Rightarrow \epsilon = 0,9408 \Rightarrow A = \frac{M}{\bar{\sigma}_a \epsilon h} = \frac{2736 \cdot 10^2}{2800 \cdot 0,9408 \cdot 26} = 3,99 \approx 4 \text{ cm}^2$$

$$d = 4 \text{ cm}$$

$$e = h_c = 30 \text{ cm}$$

section minimale d'acier :

$$A/B \geq 0,2\% \Rightarrow A \geq 0,2\% \cdot B = \frac{0,2 \cdot 30 \cdot 100}{100} = 6 \text{ cm}^2$$

On adoptera donc un ferrailage forfaitaire (section minimale d'acier) pour les cercles de la tour.

$$\text{Soit : } A = 2 \times 4T14 / \text{ml} = 6,16 \text{ cm}^2 / \text{ml}$$

espacement  $t = 25 \text{ cm}$  (voir figure ci-dessus)

sollicitations	M (t.m)	N (t)	M/N (m)	H (m)	sollicitations
G+1,2P+T G+P+V+T	2238	2474	0,905	0	premier genre
	1576	2281	0,691	10	
	978,5	2087,9	0,469	20	
G+1,5P+1,5V+T	3357	2474	1,357	0	second genre
	2364	2281	1,036	10	
	1467,7	2088	0,703	20	
G+P+Y,W+T	3925	2474	1,586	0	second genre
	2763	2281	1,211	10	
	1715	2088	0,821	20	
G+P+T+S <sub>I</sub>	15937	2474	6,442	0	second genre
	12177	2281	5,339	10	
	8417	2088	4,031	20	

ME MARIUS DIVER,  
a établi un tableau évaluant les contraintes  
du béton en fonction des paramètres :

$$a = M/N.R_m ; w , \text{ où :}$$

M : moment fléchissant sollicitant la tour  
(de section annulaire)

w : pourcentage d'acier

N : effort vertical

R<sub>m</sub> : rayon moyen de la tour.

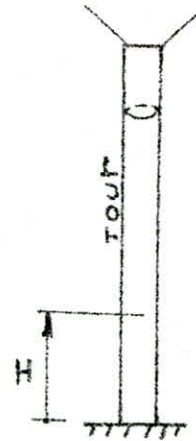
une relation de proportionnalité entre  
w et le rapport M/N y est mise en évidence,

donc pour obtenir le pourcentage d'acier (w)  
le plus élevé on considère la sollicitation  
qui avalue la plus grande valeur du rapport M/N  
c'est-à-dire celle du second genre : (G+P+T+S<sub>I</sub>),

conformément au tableau de calcul dressé précédemment;

c'est - à - dire :

Sollicitation	M/N (m)	H (m)	$\bar{\sigma}'_b$ kg/cm <sup>2</sup>	N (t)
G+P+T + S <sub>z</sub>	6,442	0	249,86	2474
	5,339	10	235,47	2281
	4,031	20	206,55	2088



Nous utiliserons dans ce qui suit, les formules et tableau de M<sup>E</sup> MARIUS DIVER :

$$a = M / N R_m ; \quad \sigma'_{bm} = N \cdot b / R_m h_o ; \quad \sigma_{am} = 15 \sigma'_{bm}$$

$b$  } paramètres donnés par le tableau

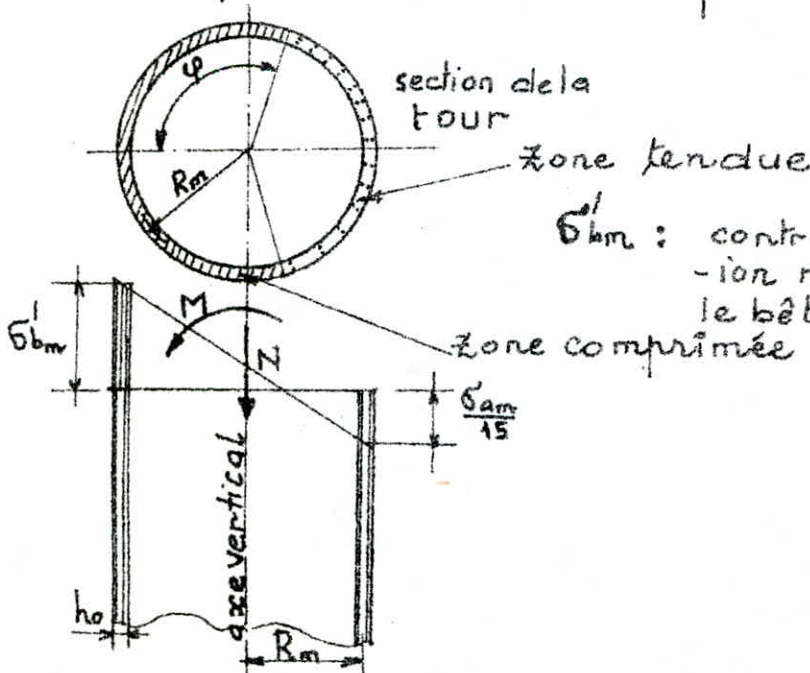
N: effort vertical

M: moment fléchissant d'ensemble

R<sub>m</sub>: rayon moyen de la tour

h<sub>o</sub>: épaisseur de la paroi de la tour

} sollicitant la tour



$\sigma'_{bm}$ : contrainte de compression maximale dans le béton.

## Calcul des armatures longitudinales de la tour

- Dans ce qui suit, les coefficients  $b$  et  $s'$  sont donnés par le tableau de M<sup>r</sup> MARIUS DIVER (page 196), ainsi que le pourcentage d'acier  $w$ .

$$a = M / NR_m \quad \sigma'_{bm} = Nb / R_m h_o \quad \sigma_{am} = 15 s' \sigma'_{bm}$$

$H, M, N, R_m, h_o$  : sont définis précédemment.

$$R_m = 4 \text{ m} ; h_o = 30 \text{ cm}$$

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

1°) pour :  $H = 0 \text{ (m)}$  :

$$M/N = 6,442 \text{ m} ; N = 2474 \text{ (t)} ; \bar{\sigma}'_b = 247,86 \text{ kg/cm}^2$$

$$a = 6,442 / 4 = 1,611 \Rightarrow b = 0,761 \quad s' = 1,761 \quad \bar{w} = 1\%$$

$$\sigma'_{bm} = \frac{2474 \cdot 0,761 \cdot 10^3}{400 \cdot 30} = 156,9 < \bar{\sigma}'_b \text{ (kg/cm}^2)$$

$$\sigma_a = 15 (1,761) \sigma'_{bm} = 4144 < 4200 = \bar{\sigma}_a$$

$$\bar{w} = 1\% = \frac{A}{B} \Rightarrow A = \bar{w} B = (0,01) (3000) = 30 \text{ cm}^2/\text{ml de cir conférence}$$

$$\text{soit } A = 2 \times 5 \text{ T } 20 / \text{ml} = 31,41 \text{ cm}^2$$

longueur de recouvrement ( $l_r$ ) :

$$l_r = 50 \phi \text{ max} = 50 \times 2 = 100 \text{ cm}$$

2°) pour :  $H = 10 \text{ m}$  :

$$M/N = 5,339 \text{ m} ; N = 2281 \text{ (t)} ; \bar{\sigma}'_b = 235,47 \text{ kg/cm}^2$$

$$a = 5,339 / 4 = 1,335 \Rightarrow b = 0,726 ; s' = 1,894 ; \bar{w} = 0,6\%$$

$$\sigma'_{bm} = \frac{2281 \cdot 0,726 \cdot 10^3}{400 \cdot 30} = 138 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b$$

$$\sigma_{am} = 15 \cdot 1,894 \cdot \sigma'_{bm} = 3920,6 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a$$

$$A = \bar{w} (3000) = 18,84 \text{ cm}^2/\text{ml} \Rightarrow A = 2 \times 5 \text{ T } 16 / \text{ml} = 20 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

$$l_r = 100 \text{ cm}$$

3°) pour H=20m :

$$M/N = 4,031 \text{ m} ; N = 2088 \text{ (t)} ; \bar{\sigma}_b' = 206,55 \text{ kg/cm}^2$$

$$a = 4,031/4 = 1,008 \Rightarrow b = 0,616 ; d = 1,638 ; \bar{w} = 0,3\%$$

$$\sigma_{bm}' = \frac{2088 \cdot 0,616 \cdot 10^3}{400 \cdot 30} = 107,18 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_b'$$

$$\sigma_{am} = 15 \cdot 1,638 \cdot \sigma_{bm}' = 2634 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_a$$

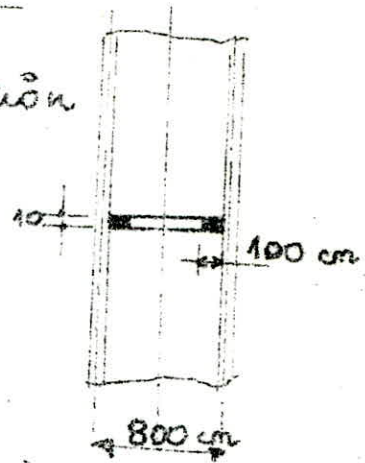
$$A = \bar{w} (3000) = 0,9 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

On adoptera  $A = 2 \times 4 \text{ T14} / \text{ml} = 12,32 \text{ cm}^2/\text{ml}$

## - Ferrailage des dalles de Repos

la dalle est sollicitée à son poids propre + la surcharge d'exploitation soit  $100 \text{ kg/m}^2 = p$

$$G = \underbrace{2500}_{p \text{ (B.A.)}} \cdot \underbrace{0,1}_{\text{ep. de la dalle}}$$



$G$  : poids propre

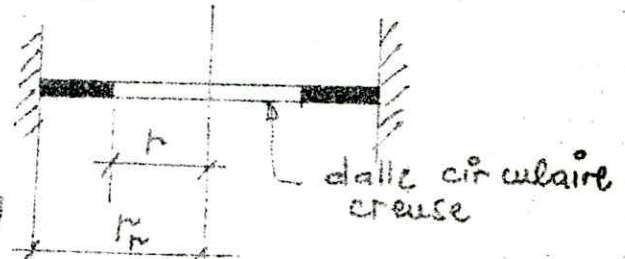
$$G = 250 \text{ kg/m}^2 ; p = 100 \text{ kg/m}^2$$

Sollicitation du 1<sup>er</sup> genre  $\Rightarrow P = G + 1,2 p = 370 \text{ kg/m}^2$

on pose:  $r_n = 4,00 \text{ m}$   
 $r = 4 - 1 = 3 \text{ m}$

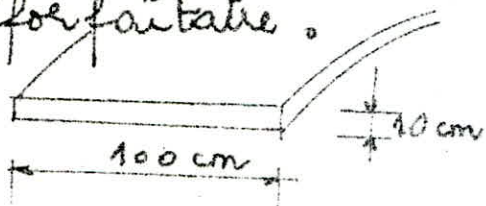
$$\beta = r/r_n = 3/4 = 0,75$$

$$P r_n^2 = 370 \cdot (4,00)^2 = 5920 \text{ kgm/ml}$$



les valeurs de  $M_r$  et  $M_\theta$  (respectivement moment radial et tangentiel) découlent de la théorie de M. E. TIMOSHENKO, dont les formules sont reprises sur un aide mémoire béton armé. Les moments donnés par le graphique de l'ouvrage cité ci-dessus, sont pratiquement faibles.

Par conséquent on adoptera un ferrailage forfaitaire.



$$b h_e = 100 \times 10 = 1000 \text{ cm}^2$$

$$A/b h_e \geq 0,2\% \Rightarrow A \geq 2 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

on disposera  $2 \times 4 \text{ T14/ml}$  pour  $\left\{ \begin{array}{l} \text{— les cerces} \\ \text{— les barres radiales} \end{array} \right.$   
 symétrique (lit inférieur et lit supérieur)

*chapitre 8*

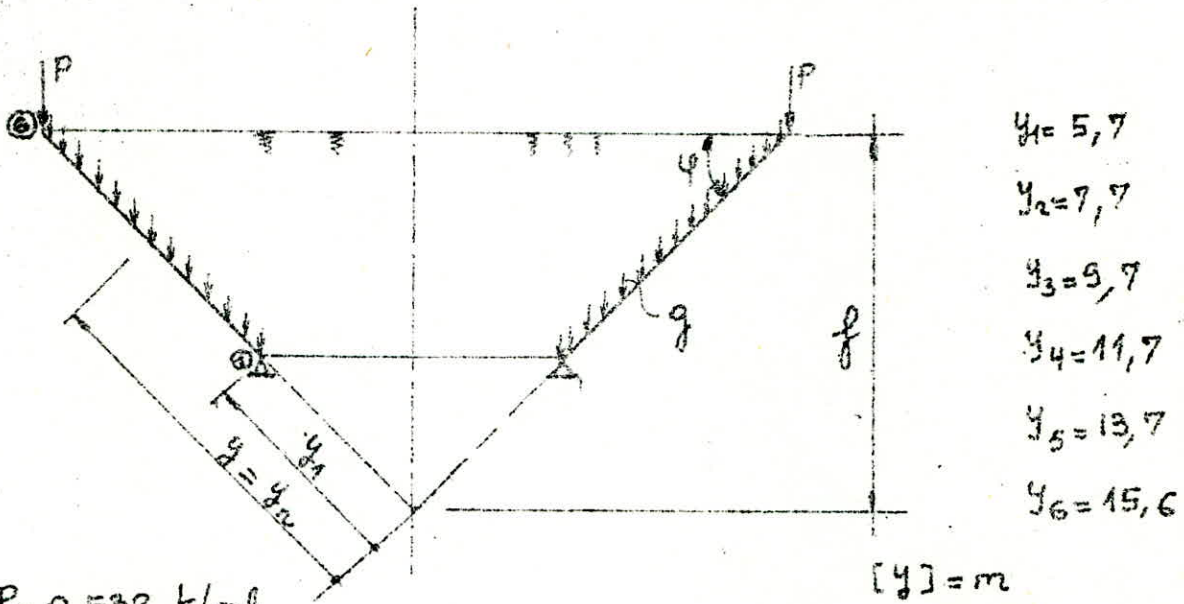
*DETERMINATION*

*DES EFFORTS*

*plaques-membranes*



Tronc de cône extérieure



$P = 0,532 \text{ t/ml}$

$\delta = 0,21 \text{ m}$

$\varphi = 45^\circ$

$\mu = 1/6$

$q = 0,525 \text{ t/m}^2$

$f = 11 \text{ m} \quad (f = y_2 \sin \varphi)$

$\gamma = 1 \text{ t/m}^3$

$\delta = \text{ep. moyenne du voile}$

$\mu = \text{coefficient de Poisson}$

$q = \text{poids propre / unité de surface}$

$$\eta_{y_0} = - \underbrace{\frac{y_0 P}{y \sin \varphi}}_P + \underbrace{\frac{q y}{2 \sin \varphi} \left(1 - \frac{y_0^2}{y^2}\right)}_q - \underbrace{\frac{\gamma}{2 y} \left[ f (y_0^2 - y^2) - \frac{2}{3} (y_0^3 - y^3) \sin \varphi \right] \cot \varphi}_{e \text{ du}}$$

$$\eta_{y_0} = - \frac{11,707}{y} + 0,371 \left(1 - \frac{242,11}{y^2}\right) + \frac{0,5}{y} \left[ 11 (242,11 - y^2) - 0,471 (3767,3 - y^3) \right]$$

$$\eta_{\theta_0} = q y \sin \varphi \cot^2 \varphi + \gamma y \left( \frac{f}{\sin \varphi} - y \right) \cos \varphi$$

$$= 0,371 y + 0,709 y (15,56 - y)$$

$y_n$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$	$y_6$
$h_{y_0}$	-59,41	-32,42	-16,67	-11,5	-2,32	-0,135

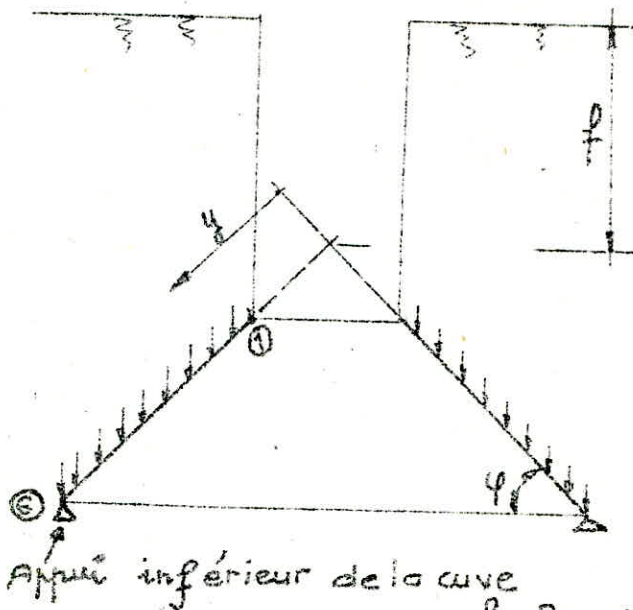
$y_n$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$	$y_6$
$h_{z_0}$	41,7	45,62	49,83	36,99	23,44	5,78

$\left. \begin{array}{l} h_{y_0} \\ h_{z_0} \end{array} \right\} \text{ en t/ml}$

Au bord ①  $\rightarrow E\Delta_0 = 1792,64 \text{ t/ml}$

$\downarrow$   
 $E\chi_0 = -450 \text{ t/m}^2$   
 (au niveau de l'appui inférieur de la cuve)

tronc de cône intérieur (calculs à l'appui : bord ⑥)



- $\varphi = 45^\circ$
- $\delta = 0,2 \text{ m}$
- $y_1 = 0,71 \text{ m}$
- $y_2 = 1,71 \text{ m}$
- $y_3 = 2,71 \text{ m}$
- $y_4 = 3,71 \text{ m}$
- $y_5 = 4,71 \text{ m}$
- $y_6 = 5,66 \text{ m}$

Appui inférieur de la cuve

$$f = 3 \text{ m} \gg y_1 \sin \varphi = 0,502 \text{ m}$$

$$q = 0,75 \text{ t/m}^2$$

$$P = 1,425 \text{ t/ml}$$

$$N_{y_0} = -\frac{qy}{2\sin\varphi} \left(1 - \frac{y_1^2}{y^2}\right) - \frac{y_1 P}{y \sin\varphi} - \frac{\gamma}{2y} \left[ f(y^2 - y_1^2) + \frac{2}{3}(y^3 - y_1^3) \sin\varphi \right] \cot\varphi$$

$$= -0,53 y \left(1 - \frac{0,504}{y^2}\right) - \frac{1,43}{y} - \frac{0,5}{y} \left[ 3(y^2 - 0,504) + 0,47(y^3 - 0,358) \right]$$

$$N_{\theta_0} = -qy \sin\varphi \cot^2\varphi - \gamma y \left( y + \frac{f}{\sin\varphi} \right) \cos\varphi$$

$$= -0,53 y - 0,707 y (y + 4,24)$$

$y_0$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$	$y_6$
$N_{y_0}$	-2,015	-4,35	-7,35	-10,85	-14,84	-18,58

$y_0$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$	$y_6$
$N_{\theta_0}$	-2,39	-8,1	-14,75	-22,92	-32,3	-51,12

$$E \Delta_0 = -1697,98 \text{ t/ml}$$

$$E \chi_0 = 293,84 \text{ t/ml}$$

$N_{y_0}$   
 $N_{\theta_0}$  } en t/ml

voile  $\Phi$  (cylindre supérieur)

$$n_{x_0} = -96,41 \text{ t/ml} = -P$$

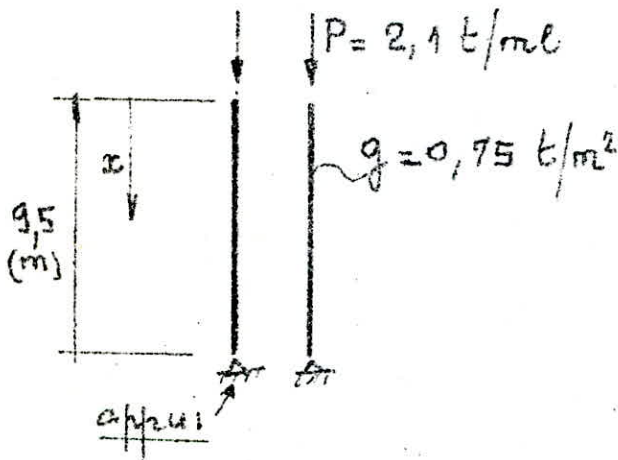
$$n_{\theta_0} = 0$$

$$E\Delta_0 = 214,24 \text{ t/ml}$$

$$E\chi_0 = 0$$

$S = 0,3 \text{ m}$   
 = ep. du voile  
 cylindrique  
 $R = 4 \text{ m}$  (son rayon)

Voile  $\Psi$  (cylindre supérieur)



$$x_1 = 0 \text{ m}$$

$$x_2 = 2 \text{ m}$$

$$x_3 = 4 \text{ m}$$

$$x_4 = 6 \text{ m}$$

$$x_5 = 8 \text{ m}$$

$$x_6 = 9,5 \text{ m}$$

$$n_{x_0} = -qx - P$$

$$n_{\theta_0} = 0$$

$$E\Delta_0 = 280,98 \text{ t/ml}$$

$$E\chi_0 = -1,67 \text{ t/m}^2$$

$x_i$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$
$n_{x_0}$	-2,1	-3,6	-5,1	-6,6	-8,1	-9,225

$n_{x_0}$  en t/ml

Effet de perturbation de l'état de membrane

A : coefficient d'amortissement

k : " de rigidité

I) tronc de cône extérieur

$$A_n = \sqrt[3]{3(1-\mu^2)} \cdot \sqrt{\frac{t g \varphi}{y_n \delta}}$$

↑ ep. moy. du voile

$$\delta = 0,21 \text{ m}$$

$$\mu = 1/6$$

↓ coeff. de Poisson

$$y_1 = y_n = 5,657 \text{ m} ; \varphi = 45^\circ \quad A_n = 1,2$$

$$k_n = 2\delta^2 A_n = 0,02221$$

II) tronc de cône intérieur

$$A_n = \sqrt[3]{3(1-\mu^2)} \cdot \sqrt{\frac{t g \varphi}{y_n \delta}}$$

$$\delta = 0,2 \text{ m}$$

$$\mu = 1/6$$

$$y_n = y_2 = 5,66 \text{ m}$$

$$A_n = 1,228 ; \quad k_n = 2\delta^3 A_n = 0,01965$$

III) Cylindres (supérieur et inférieur)

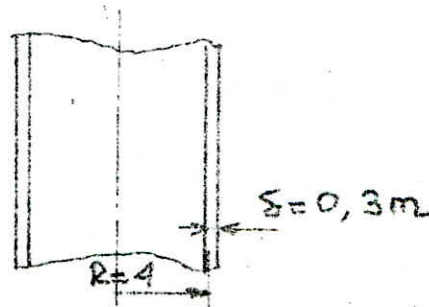
$$A = \sqrt[4]{3(1-\mu^2)} \sqrt{\frac{1}{R \cdot \delta}}$$

$$\delta = 0,3 \text{ m}$$

$$R = 4 \text{ m}$$

$$A = 1,307$$

$$k = 0,071$$



$$\Sigma k_i = 0,02221 + 0,01965 + 2 \cdot 0,071 = 0,18386$$

coefficients de répartition :

$$r_I = k_I / \sum k_i = \frac{0,02221}{0,18386} = 0,121 \text{ (cône extérieur)}$$

$$r_{III} = k_{III} / \sum k_i = 0,107 \rightarrow \text{cône intérieur}$$

$$r_{II} = r_{IV} = 0,386 \rightarrow \text{cylindres}$$

$$(\sum r_i = 1)$$

moments d'encastrement parfaits :

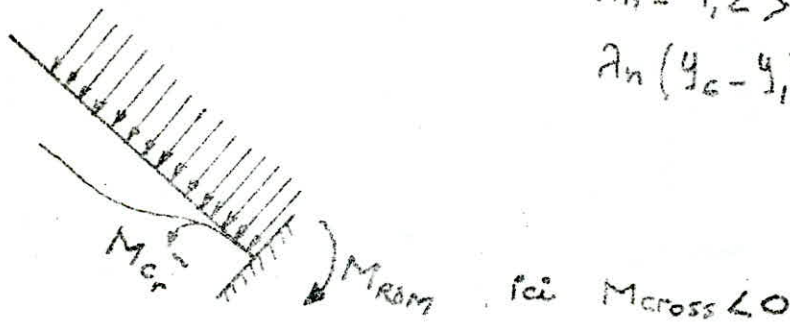
le cylindre inférieur et supérieur (ce dernier étant troué sur les parois latérales afin de permettre le passage de l'eau entre les deux compartiments) sont sollicités par une compression, seuls donc le tronç de cône, extérieur et intérieur seront sollicités aux moments de flexion.

- Tronc de cône extérieur :

selon la RDM : 
$$m_I = \frac{E S t_3^2 \varphi}{24 n^2 \lambda_n^2} \left( \frac{\Delta n_2}{\sin \varphi} - \frac{1}{\lambda_n} \chi_{no} \right)$$
  
 (à l'appui inférieur de la cuve ou bord ⊕)

$$\lambda_n = 1,2 > 1$$

$$\lambda_n (y_c - y_1) = 11,9 > 6$$



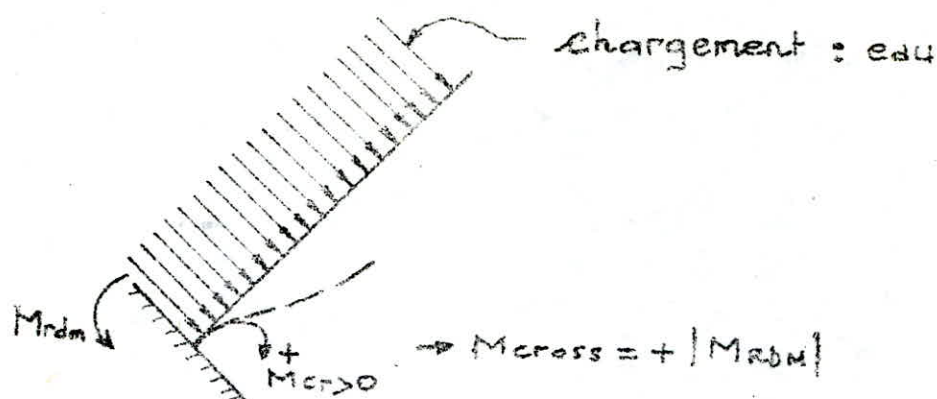
$$M_{CR} = - |M_{RDM}|$$

$$m_I = - \frac{S t_3^2 \varphi}{24 n^2 \lambda_n^2} \left( \frac{E \Delta n_2}{\sin \varphi} - \frac{E \chi_{no}}{\lambda_n} \right) = - \frac{0,21}{2(5,657)^2 (1,2)^2 \sin \varphi} \left( \frac{4792,64}{1,2} - (-450) \right)$$

$$= -6,57 \text{ tm/ml}$$

$$\Rightarrow \text{Cross } m^* = -6,57 \text{ tm/ml}$$

trone de cône intérieur



$$m_{III} = - \frac{5 \tan^2 \varphi}{24 \eta^2 \Delta^2} \left( \frac{E \Delta r_0}{\sin \varphi} + \frac{E \lambda_0}{\Delta r} \right) : M_{RDm}$$

(ceci à l'appui inférieur de la cuve : bord ©)

$$m_{III} = - \frac{0,2}{2 (5,66)^2 (1,228)^2} \left( \frac{1697,98}{\sin \varphi} + \frac{293,89}{1,228} \right) = -5,47 \text{ tm/ml}$$

selon R.D.M.

selon cross :  $M_{Cr} = + |M_{RDm}| \rightarrow m_{III}^* = + 5,47 \text{ tm/ml}$

Calcul du moment non équilibré : (M<sub>neg</sub>)

$$M_{neg} = \sum m_{ic}^* = m_I^* + m_{III}^* = -6,57 + 5,47 = -1,1 \text{ m/ml}$$

moments répartis (sur les 4 voiles) :

$$m_r^I = -\eta_I M_{neg} = -0,121 (-1,1) = 0,1331 \text{ t/ml}$$

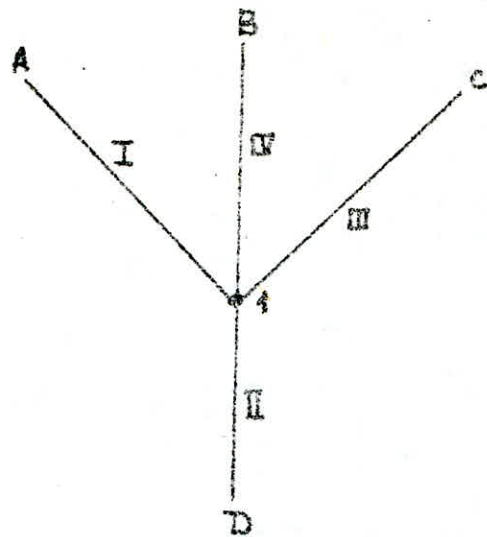
$$m_r^{III} = -\eta_{III} M_{neg} = -0,107 (-1,1) = 0,1177 \text{ m/ml}$$

$$m_r^{IV} = m_r^{II} = -\eta_{II} M_{neg} = -0,386 (-1,1) = 0,4246 \text{ m/ml}$$

Calcul des moments équilibrés

respectivement sur chacun des 4 voiles :

(voir page suivante)



les calculs se feront en 2 étapes :

(a) : le Noeud 1 fixe .

(b) : le Noeud 1 se déplace .

1<sup>er</sup>) cas (a) :

$$m_{1A}^{(a)} = m_r^I + m_r^*I = 0,1331 - 6,57 = -6,4369$$

$$m_{1C}^{(a)} = m_r^{III} + m_r^*III = 0,1177 + 5,47 = +5,5877$$

$$m_{1B}^{(a)} = m_{1D}^{(a)} = m_r^{II} = m_r^{IV} = 0,4246 \text{ tm/ml} \checkmark$$

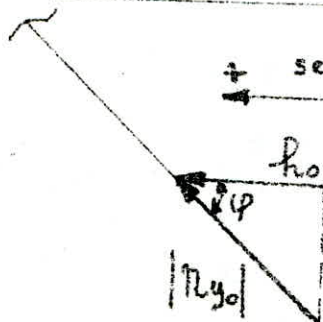
vérification :

$$m_{1A}^{(a)} + m_{1C}^{(a)} + m_{1B}^{(a)} + m_{1D}^{(a)} = 0 \Rightarrow \text{Noeud 1 équilibré}$$

Détermination de la Force de Fixation

au niveau du Noeud 1 (Cas : (a))

- Tronc de cône extérieur 1-A



+ sens positif

$$|N_{y_0}| = 59,44 \text{ t/ml}$$

$$R_0 = |N_{y_0}| \cos \varphi = 59,44 \cos 45^\circ$$

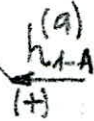
$$= 42,03 \text{ t/ml}$$



$$h_{1-A}^{(a)} = h_0 - \frac{ES \Delta_0}{2y_c^2 A \cos^2 \varphi} - \frac{A}{\sin \varphi} m_{1A}^{(a)}$$

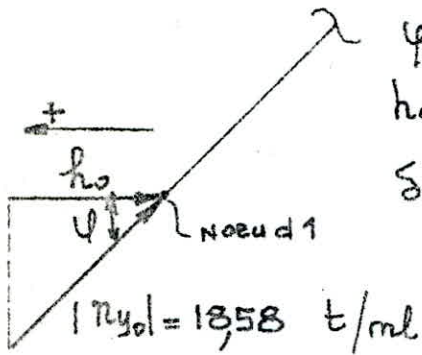
$$= 42,03 - \frac{1772,64 \cdot 0,21}{2 (5,657)^2 \cdot 12 \cdot 0,5} + \frac{1,2 \cdot 6,4369}{0,707}$$

$$h_{1-A}^{(a)} = 45,45 \text{ t/ml}$$



Tronc de cône intérieur

$$h_{1-c}^{(a)} = h_0 - \frac{ES \Delta_0}{2y_c^2 A \cos^2 \varphi} - \frac{A}{\sin \varphi} m_{1c}^{(a)}$$



$$\varphi = 45^\circ$$

$$h_0 = -18,58 \cos 45^\circ = -13,138 \text{ t/ml}$$

$$y_c = 0,2 \text{ m (ep. du voile)}$$

$$E \Delta_0 = -1697,98 \text{ t/ml}$$

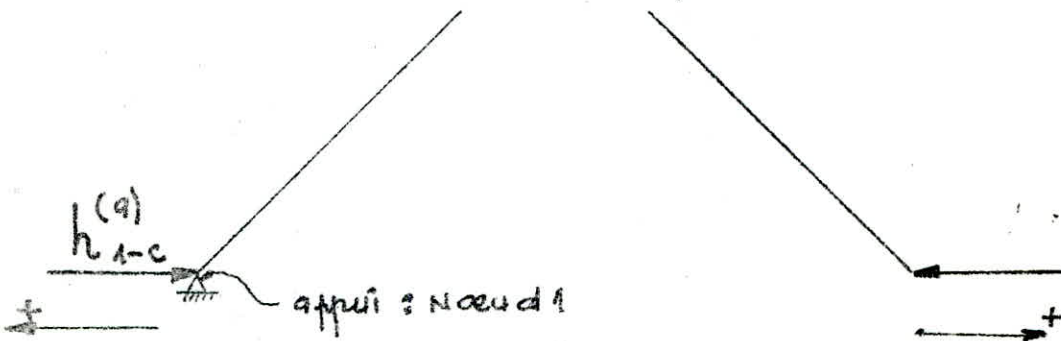
$$A = 1,228$$

$$y_c = 5,66 \text{ m}$$

$$m_{1c}^{(a)} = +5,5877$$

$$h_{1-c}^{(a)} = -13,138 + \frac{1697,98 \cdot 0,2}{2 (5,66)^2 \cdot 1,228 \cdot 0,5} - \frac{1,228}{\sin \varphi} \cdot 5,5877$$

$$h_{1-c}^{(a)} = -14,21 \text{ t/ml}$$



cyllindre inférieur :

$$h_{1-D}^{(a)} = - \frac{E \delta \Delta_0}{2 R^2 \lambda} - \lambda m_{1-D}^{(a)}$$

$$= - \frac{214,24 \cdot 0,3}{2 \cdot (4)^2 \cdot 1,307} - 1,307 \cdot 0,4246$$

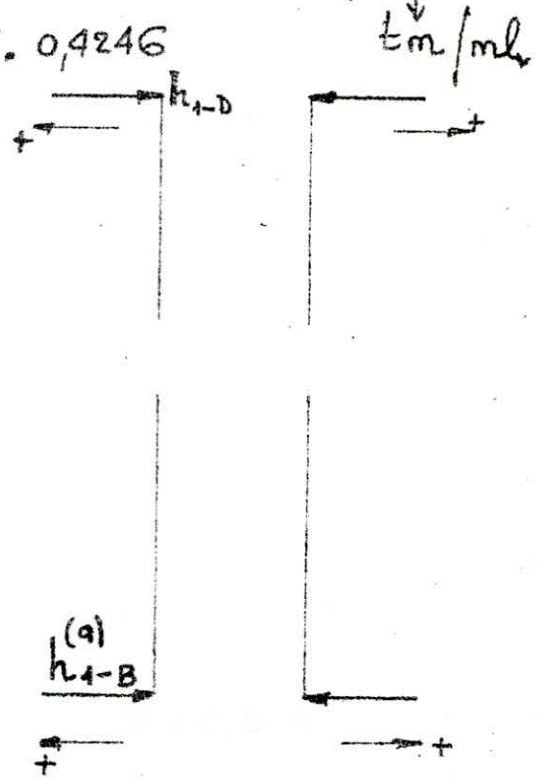
$$h_{1-D}^{(a)} = - 2,1 \text{ t/ml}$$

$$\delta = 0,3 \text{ m}$$

$$E \Delta_0 = 214,24 \text{ t/ml}$$

$$\lambda = 1,307$$

$$m_{1-D}^{(a)} = + 0,4246$$



cyllindre supérieur

$$h_{1-B}^{(a)} = - \frac{E \delta \Delta_0}{2 R^2 \lambda} - \lambda m_{1-B}^{(a)}$$

$$= - 2,57 \text{ t/ml}$$

$$E \Delta_0 = 280,93 \text{ t/ml}$$

- Force de Fixation Resultante - cas (a)

$$\begin{aligned} \sum h^{(a)} &= h_{1-A}^{(a)} + h_{1-C}^{(a)} + h_{1-B}^{(a)} + h_{1-D}^{(a)} \\ &= 45,45 - 14,21 - 2,57 - 2,1 \\ &= 26,57 \text{ t/ml} \end{aligned}$$

2°) cas du Noeud I qui se déplace : Cas (b)

moments d'encastrement parfaits :

- tronc de cône extérieur

(suite à la page suivante)

$$m_I = - \frac{E S t g^2 \varphi}{2 y_n^2 \lambda_n^2 \sin \varphi} \Delta \quad (RDM)$$

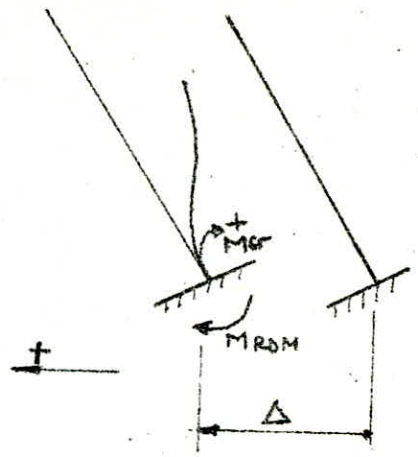
$$\delta = 0,21 \text{ m}$$

$$y_1 = 5,657$$

$$\lambda_n = 1,2$$

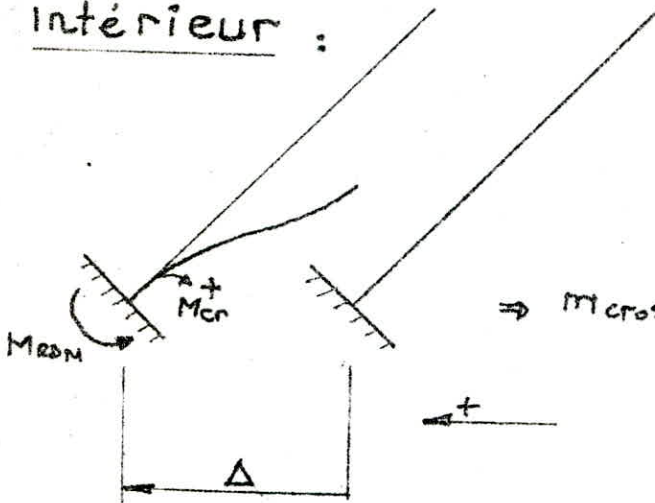
$$m_I = -3,222 \cdot 10^3 E \Delta \quad (RDM)$$

$$m_I^* = +3,222 \cdot 10^3 E \Delta \rightarrow \text{cross}$$



$$M_{\text{cross}} = + |M_{RDM}| > 0$$

- tronc de cone  
intérieur :



$$\Rightarrow M_{\text{cross}} > 0 \Leftrightarrow M_{\text{Cr}} = + |M_{RDM}|$$

$$\delta = 0,2 \text{ m}$$

$$y_2 = 5,66 \text{ m}$$

$$\lambda = 1,228$$

$$m_{III} = - \frac{E S t g^2 \varphi}{2 y_n^2 \lambda_n^2 \sin \varphi} \Delta$$

$$= 2,927 \cdot 10^3 E \Delta \quad (RDM) \Rightarrow \text{cross} \rightarrow m_{III}^* = 2,927 \cdot 10^3 E \Delta$$

- Cylindres :

$$m_I = m_{IV} = - \frac{E S \delta}{2 R^2 \lambda^2} \Delta = -5,488 \cdot 10^3 E \Delta \quad (M_{RDM}^{\downarrow})$$

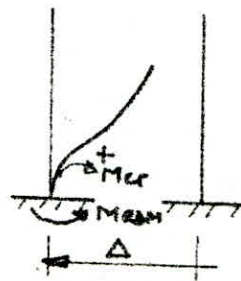
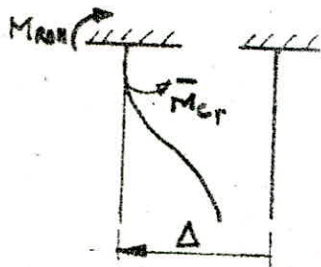
$$\delta = 0,3 \text{ m}$$

$$R = 4 \text{ m}$$

$$\text{cross} : m_{II}^* = - |M_{RDM}| = -5,488 \cdot 10^3 E \Delta$$

$$\lambda = 1,307$$

$$m_{IV}^* = + |M_{RDM}| = 5,488 \cdot 10^3 E \Delta$$



- moment non équilibré au noeud

$$M_{\text{req}} = \sum m_i^* = (3,222 + 2,927) 10^3 E \Delta$$

$$= 6,3 10^3 E \Delta$$

- moments répartis respectivement sur les 4 voiles :

$$M_r^I = -\Gamma_I M_{\text{req}} = -0,121 (6,3) 10^3 E \Delta = -7,623 10^4 E \Delta$$

$$M_r^{III} = -0,107 \cdot 6,3 10^3 E \Delta = -6,741 10^4 E \Delta \quad \text{tm/ml}$$

$$M_r^{IV} = M_r^{II} = -0,386 (6,3) 10^3 E \Delta = -24,318 10^4 E \Delta$$

- moments équilibrés :

tm/ml

$$m_{1A}^{(b)} = M_r^I + m_I^* = 2,4 10^3 E \Delta$$

$$m_{1C}^{(b)} = M_r^{III} + m_{III}^* = 2,4 10^3 E \Delta$$

$$m_{1D}^{(b)} = M_r^{II} + m_{II}^* = -7,9 10^3 E \Delta$$

tm/ml

$$m_{1B}^{(b)} = M_r^{IV} + m_{IV}^* = 3,1 10^3 E \Delta$$

- Vérification :

$$\sum m_i^* = 0 \Rightarrow \text{Noeud équilibré .}$$

- Détermination de la Force de Fixation (h) au noeuds  
(appui inférieur de la cuve) - Cas (b)

- tronc de cône extérieur

$$h_{1-A}^{(b)} = \frac{E \delta \Delta}{2y_n^2 \lambda_n^2 \cos \varphi} - \frac{\lambda_n}{\sin \varphi} \cdot m_{1-A}^{(b)}$$

$$y = 5,657 \text{ m}$$

$$\lambda = 1,2$$

$$= 1,4 10^3 E \Delta \quad \text{t/ml}$$

- tronc de cône intérieur

$$\delta = 0,2 \text{ m}$$

$$h_{1-c}^{(b)} = \frac{E \Delta \delta}{24_n^2 \cos^3 \varphi r_n} - \frac{r_n}{\sin \varphi} \cdot m_{1-c}^{(b)}$$

$$r = 1,228 \text{ m}$$

$$y = 5,66 \text{ m}$$

$$= 9,16 \cdot 10^4 E \Delta \text{ t/ml} = 0,92 \cdot 10^3 E \Delta \text{ t/ml}$$

- cylindre supérieur :

$$h_{1-B}^{(b)} = \frac{E \delta \Delta}{2R^2 \lambda} - \lambda m_{1-B}^{(b)}$$

$$\delta = 0,3 \text{ m}$$

$$r = 1,307 \text{ m}$$

$$R = 4 \text{ m}$$

$$= 3,12 \cdot 10^3 E \Delta \text{ t/ml}$$

- cylindre inférieur :

$$h_{1-D}^{(b)} = \frac{E \delta \Delta}{2R^2 \lambda} - \lambda m_{1-D}^{(b)} = 17,5 \cdot 10^3 E \Delta \text{ t/ml}$$

Force de Fixation Résultante :

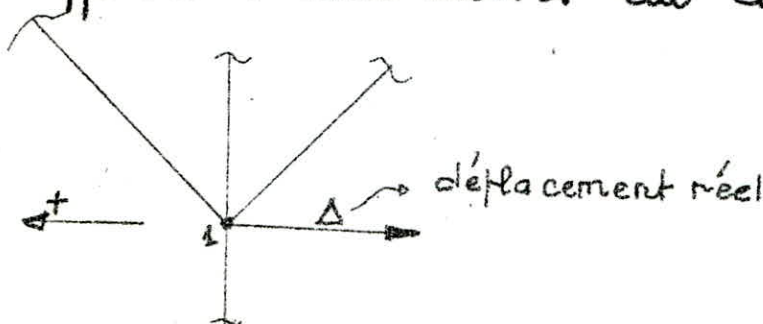
$$\Sigma h_i^{(b)} = 22,9 \cdot 10^3 E \Delta \text{ t/ml}$$

Equilibre du Noeud :

$$\Sigma h^{(a)} + \Sigma h^{(b)} = 0 = 26,57 + 22,9 \cdot 10^3 E \Delta$$

$$\Rightarrow E \Delta = - \frac{26,57 \cdot 10^3}{22,9} = -1160,26 \text{ t/ml}$$

le déplacement étant négatif, il s'effectue dans le sens opposé à celui choisi au départ.



moment équilibrés résultant des 2 cas

(a) et (b) :

$$m_{1-A} = m_{1-A}^{(a)} + m_{1-A}^{(b)}$$
$$= -9,22 \text{ tm/ml}$$

$$m_{1-A} = -6,4369 + (2,4 \cdot 10^3)(-1160,26)$$
$$= -9,22 \text{ tm/ml}$$

$$m_{1-C} = 5,5877 + (2,4 \cdot 10^3)(-1160,26) = 2,8 \text{ tm/ml}$$

$$m_{1-B} = 0,4246 + (3,1 \cdot 10^3)(-1160,26) = -3,17 \text{ tm/ml}$$

$$m_{1-D} = 0,4246 + (-7,9)10^3(-1160,26) = 5,59 \text{ tm/ml}$$

Résultats :

$$m_{1-A} = -9,22$$

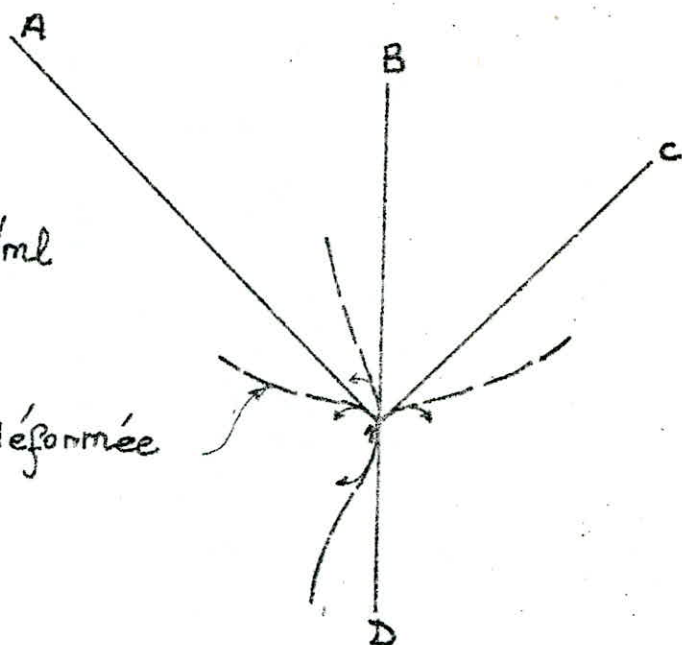
$$m_{1-C} = 2,8$$

$$m_{1-B} = -3,17$$

$$m_{1-D} = 5,59$$

tm/ml

ligne déformée



Elements de réduction respectivement de chaque voile

- Voile 1-A - tronconique extérieure (bord 1)

$$n_y = n_{y_0} + \lambda_n \cotg \varphi m_{1-A} h_3 - \frac{E S}{2 y_n^2 \lambda_n \cos \varphi} (\Delta - \Delta_0) h_4$$

$$S = 0,21 \text{ m} ; \lambda_n = 1,2 \text{ m} ; y_n = y_1 = 5,657 \text{ m} ; \varphi = 45^\circ$$

$$m_{1-A} = -9,22 \text{ t/m/ml}$$

$$E \Delta = -1160,26 \text{ t/ml} \quad E \Delta_0 = 1772,64 \text{ t/ml}$$

$$n_y = n_{y_0} + 1,2 (-9,22) h_3 - \frac{0,21}{2 (5,657)^2 \cdot 1,2 \cdot 0,707} h_4 (-1160,26 - 1772,64)$$

$$n_y = n_{y_0} - 11,064 h_3 + 11,343 h_4$$

$$n_\theta = n_{\theta_0} - \frac{2 y \lambda_n^2}{t g \varphi} m_{1-A} h_2 + \frac{E S y}{y_n^2 \cos \varphi} (\Delta - \Delta_0) h_1$$

$$= n_{\theta_0} - \frac{2 y (1,2)^2}{t g \varphi} (-9,22) h_2 + \frac{0,21 y h_1}{(5,657)^2 \cdot 0,707} (-1160,26 - 1772,64)$$

$$n_\theta = n_{\theta_0} + 26,55 y h_2 - 27,22 y h_1$$

$$m_y = m_{1-A} h_1 + \frac{E S \sin^2 \varphi}{2 y_n^2 \lambda_n^2 \cos^3 \varphi} (\Delta - \Delta_0) h_2$$

$$= -9,22 h_1 + \frac{0,21 \cdot 0,707}{2 (5,657)^2 (1,2)^2 \cdot 0,5} (-1160,26 - 1772,64) h_2$$

$$m_y = -9,22 h_1 - 9,45 h_2$$

Tronc de cône intérieur - Voile 1-C (bord 2)

$$S = 0,2 \text{ m} ; A = 1,228 ; y_1 = y_2 = 5,66 \text{ m} ; \varphi = 45^\circ$$

$$m_{1-c} = 2,8 \text{ t/m/ml}$$

$$E\Delta = -1160,26 \text{ t/ml} ; E\Delta_0 = -1697,98 \text{ t/ml}$$

$$\begin{aligned} m_y &= m_{y_0} + A_n \cot \varphi m_{1-c} h_3 - \frac{E S}{2 y_n^2 A_n \cos \varphi} (\Delta - \Delta_0) h_4 \\ &= m_{y_0} + 1,228 \cdot 2,8 h_3 - \frac{0,2}{2 (5,66)^2 \cdot 1,228 \cdot 0,707} h_4 (-1160,26 - 1697,98) \\ &\qquad\qquad\qquad \text{t/ml} \end{aligned}$$

$$\underline{m_y = m_{y_0} + 3,44 h_3 - 1,93 h_4}$$

$$m_0 = m_{0_0} - \frac{2 y A_n^2}{t g \varphi} m_{1-c} h_2 + \frac{E S y}{y_n^2 \cos \varphi} (\Delta - \Delta_0) h_1$$

$$= m_{0_0} - 2 y (1,228)^2 \cdot 2,8 h_2 + \frac{0,2 y}{(5,66)^2 \cdot 0,707} h_1 (-1160,26 + 1697,98)$$

$$\underline{m_0 = m_{0_0} - 8,45 y h_2 + 4,75 h_1 y}$$

$$m_y = m_{1-c} h_1 + \frac{E S \sin \varphi}{2 y_n^2 A_n^2 \cos^2 \varphi} (\Delta - \Delta_0) h_2$$

$$= 2,8 h_1 + \frac{0,2 \cdot 0,707}{2 (1,228)^2 (5,66)^2 \cdot 0,5} h_2 (-1160,26 + 1697,98)$$

$$\underline{m_y = 2,8 h_1 + 1,574 h_2}$$



Cylindre supérieur - voile 1-B (IV)

$$R = 4m ; m_{1-B} = -3,17 \text{ t/m} ; S = 0,3m ; \lambda = 1,307$$

$$E\Delta = -1160,26 \text{ t/ml} ; E\Delta_0 = 280,93 \text{ t/ml}$$

$$m_x = m_{x_0}$$

$$\begin{aligned} \eta_\theta &= \eta_{\theta_0} - 2R\lambda^2 m_{1-B} \eta_2 + \frac{ES}{R} (\Delta - \Delta_0) \eta_1 \\ &= 0 - 2 \cdot 4 (1,307)^2 (-3,17) \eta_2 + \frac{0,3}{4} \eta_1 (-1160,26 - 280,93) \end{aligned}$$

---

$$\eta_\theta = 43,32 \eta_2 - 108,1 \eta_1$$

---

$$\begin{aligned} m_x &= m_{1-B} \eta_1 + \frac{ES}{2R^2\lambda^2} (\Delta - \Delta_0) \eta_2 \\ &= -3,17 \eta_1 + \frac{0,3}{2 \cdot 16} (-1160,26 - 280,93) \eta_2 \end{aligned}$$

---

$$m_x = -3,17 \eta_1 - 7,91 \eta_2$$

---

Cylindre inférieur - voile II (ou 1-D)

$$m_{1-D} = 5,59 \text{ t/ml} \quad R = 4 \text{ m} \quad S = 0,3 \text{ m} \quad A = 1,307$$

$$E\Delta_0 = 214,24 \text{ t/ml} \quad E\Delta = -1160,26 \text{ t/ml}$$

$$n_{\theta_0} = 0 \quad n_{x_0} = -96,41 \text{ t/ml}$$

$$n_x = n_{x_0} = -96,41 \text{ t/ml}$$

$$n_{\theta} = n_{\theta_0} - 2RA^2 m_{1-D} \cdot n_2 + \frac{ES}{R} (\Delta - \Delta_0) n_1$$

$$= -2 \cdot 4 \cdot (1,307)^2 \cdot 5,59 \cdot n_2 + \frac{0,3}{4} (-1160,26 - 214,24) n_1$$

---

$$n_{\theta} = -76,4 n_2 - 103,1 n_1$$

---

$$m_x = m_{1-D} n_1 + \frac{ES}{2R^2 A^2} (\Delta - \Delta_0) n_2$$

$$= 5,59 n_1 + \frac{0,3}{2 \cdot 16 \cdot (1,307)^2} (-1160,26 - 214,24) n_2$$

---

$$m_x = 5,59 n_1 - 7,54 n_2$$

---

valeurs permettant le tracé des diagrammes

- tronc de cône extérieur - voile I (bord 1)

$y_1 = 5,657 \text{ m}; d_n = d_1 = 1,2$

$y_i$	5,7	7,7	9,7	11,7	13,7	15,6
$d_n = d_1 = y - y_1$	0	2	4	6	8	9,903
$\lambda_n \cdot d_n$	0	2,4	4,8	7,2	9,6	11,884
$h_1$	1	-0,0669	0,0007	0,0005	$-6,669 \cdot 10^{-5}$	$0,54 \cdot 10^{-5}$
$h_2$	0	0,0613	-0,0082	0,0006	$-1,18 \cdot 10^{-5}$	$-0,44 \cdot 10^{-5}$
$h_3 = h_1 + h_2$	1	-0,0056	-0,0075	0,0011	$-7,85 \cdot 10^{-5}$	$0,1 \cdot 10^{-5}$
$h_4 = h_1 - h_2$	1	-0,1282	0,0089	-0,0001	$-5,49 \cdot 10^{-5}$	$0,98 \cdot 10^{-5}$
$n_{y_0}$	-59,44	-32,42	-16,67	-11,5	-2,32	-0,135
$n_y$	-59,2	-33,81	-16,49	-11,51	-2,32	-0,135
$n_{\theta_0}$	41,7	45,62	43,89	36,49	23,44	5,78
$n_{\theta}$	-112,13	72,03	41,6	36,52	23,46	5,78
$m_y$	-9,22	0,0375	0,071	-0,01	+0,00073	$-0,82 \cdot 10^{-5}$

$y_2 = 8,657 \text{ m} \Rightarrow d_n d_2 = 3,6$  ;  $h_1 = -0,0245$  }  $m_y = +0,53 \text{ t/m/m}$   
 $h_3 = -0,0366$  ;  $h_4 = -0,0124$  }  $h_2 = -0,121$

- tronc de cone intérieur voile III (bord 2)

$$y_n = y_e = y_c = 5,66 \text{ m}$$

$$a_n = 1,228$$

$y_i \text{ (m)}$	0,71	1,71	2,71	3,71	4,71	5,66
$a_n = y_e - y_i$	4,95	3,95	2,95	1,95	0,95	0
$A_n a_n \text{ (m)}$	6,1	4,9	3,62	2,4	1,17	0
$n_1$	0,0022	0,0014	-0,0238	-0,0669	0,1241	1
$n_2$	-0,0004	-0,0073	-0,0123	0,0613	0,2858	0
$n_3 = n_1 + n_2$	$1,810^3$	$-5,910^3$	-0,0361	$-5,610^3$	0,4099	1
$n_4 = n_1 - n_2$	$2,610^3$	$8,7 \cdot 10^3$	-0,0115	-0,1282	-0,1617	1
$n_{y_0} \text{ t/ml}$	-2,015	-4,35	-7,35	-10,85	-14,84	-18,58
$n_y \text{ t/ml}$	-2	-4,4	-7,7	-10,6	-13,11	-17,1
$n_{\theta_0} \text{ t/ml}$	-2,87	-8,1	-14,75	-22,92	-32,3	-51,2
$n_{\theta} \text{ t/ml}$	-2,86	-8	-14,8	-26	-40,9	-54,24
$m_y \text{ tm/ml}$	0,006	-0,008	-0,086	-0,09	+0,8	2,8

- Cylindre supérieur - voile IV (bord e)

$l = x_n = x_2 = x_6 = 9,5 \text{ m}$

$A_n = 1,307$

$n_0 = 49,32 h_2 - 108,1 h_1$

$m_x = -3,17 h_1 - 7,91 h_2$

$x_i$ (m)	0	2	4	6	8	9,5
$d_n = l - x$ (m)	9,5	7,5	5,5	3,5	1,5	0
$A_n d_n$ (m)	12,42	9,8	7,188	4,575	1,961	0
$h_1$	$3,99 \cdot 10^{-6}$	$-5,16 \cdot 10^{-5}$	0,0005	-0,0012	-0,0595	1
$h_2$	$-5,88 \cdot 10^{-7}$	$-2 \cdot 10^{-5}$	0,0006	-0,0100	0,1304	0
$n_0$ t/ml	-0,00046	0,0047	-0,028	-0,303	11,43	-108,1
$m_x$ tm/ml	-0,000008	$16 \cdot 10^{-5}$	-0,0063	0,083	-0,86	-3,17
$n_x$ t/ml	-2,1	-3,6	-5,1	-6,6	-8,1	-9,225

$n_x = n_{x0}$

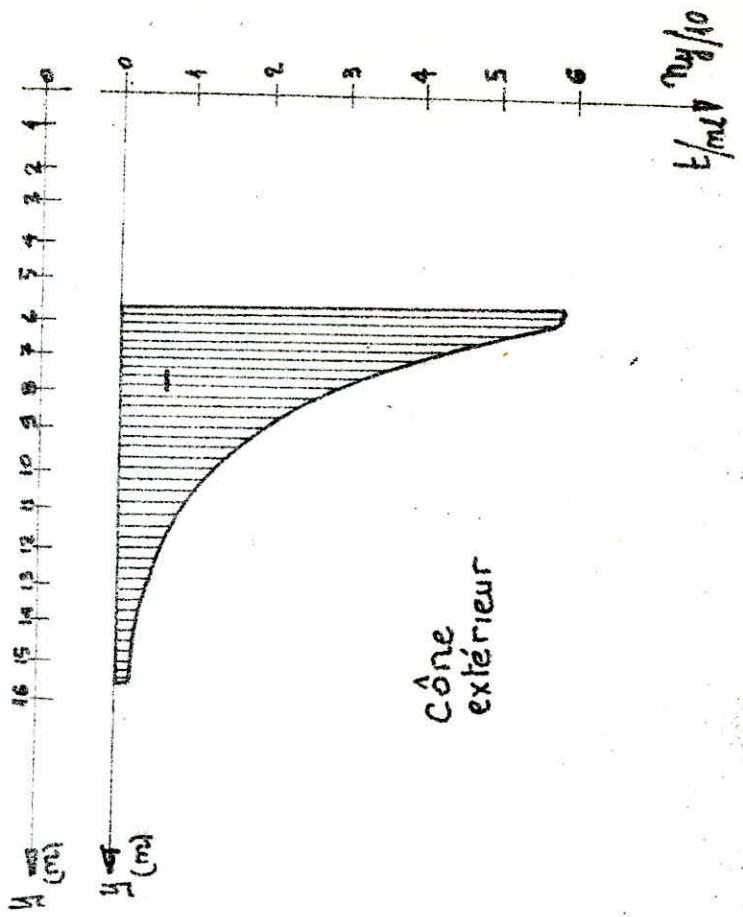
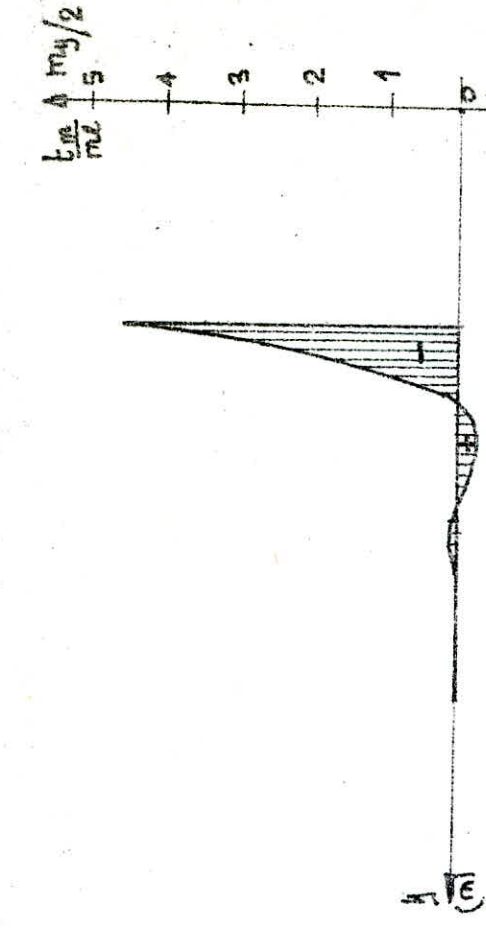
- cylindre inférieur (tour) - (bord 1)

$$\eta_x = \eta_{x_0} = -96,41 \text{ t/ml}$$

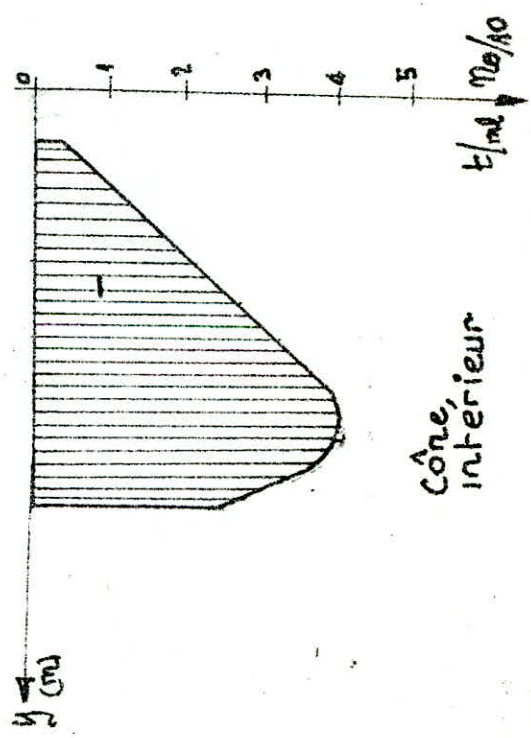
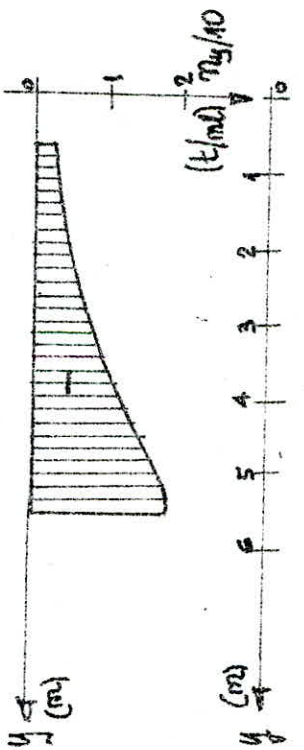
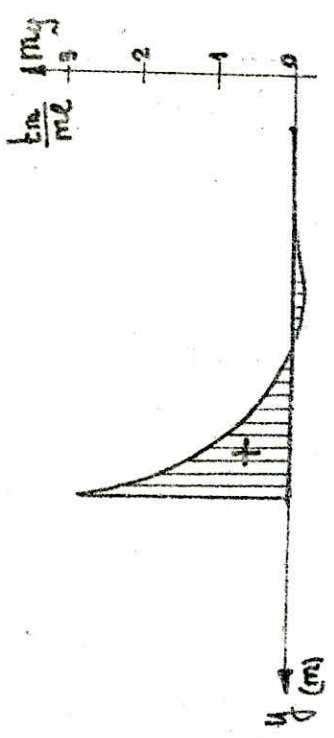
$x \text{ (m)}$ $x^2$	0	1	2	3	4	5	8	10
$x \text{ (m)}$ $\sin x$	0	1	2	3	4	5	8	10
$x \text{ (m)}$ $\lambda_n \sin$	0	1,307	2,614	3,92	5,23	6,535	10,456	13,09
$h_1$	1	0,0696	-0,0634	-0,0148	0,0026	0,0018	$-1,48 \cdot 10^{-5}$	$1,85 \cdot 10^{-6}$
$h_2$	0	0,2607	0,0373	-0,014	-0,0049	0,0003	$-2,469 \cdot 10^{-5}$	$1,09 \cdot 10^{-6}$
$t \text{ (ml)}$ $\eta_\theta$	-103,1	3,69	2,52	0,11	-0,2	0,0034	+0,0034	$-29 \cdot 10^{-5}$
$t \text{ (ml)}$ $m_x$	5,59	-1,58	-0,64	0,027	0,05	0,0078	0,0001	$3 \cdot 10^{-6}$

$$\eta_\theta = -76,4 h_2 - 103,1 h_1$$

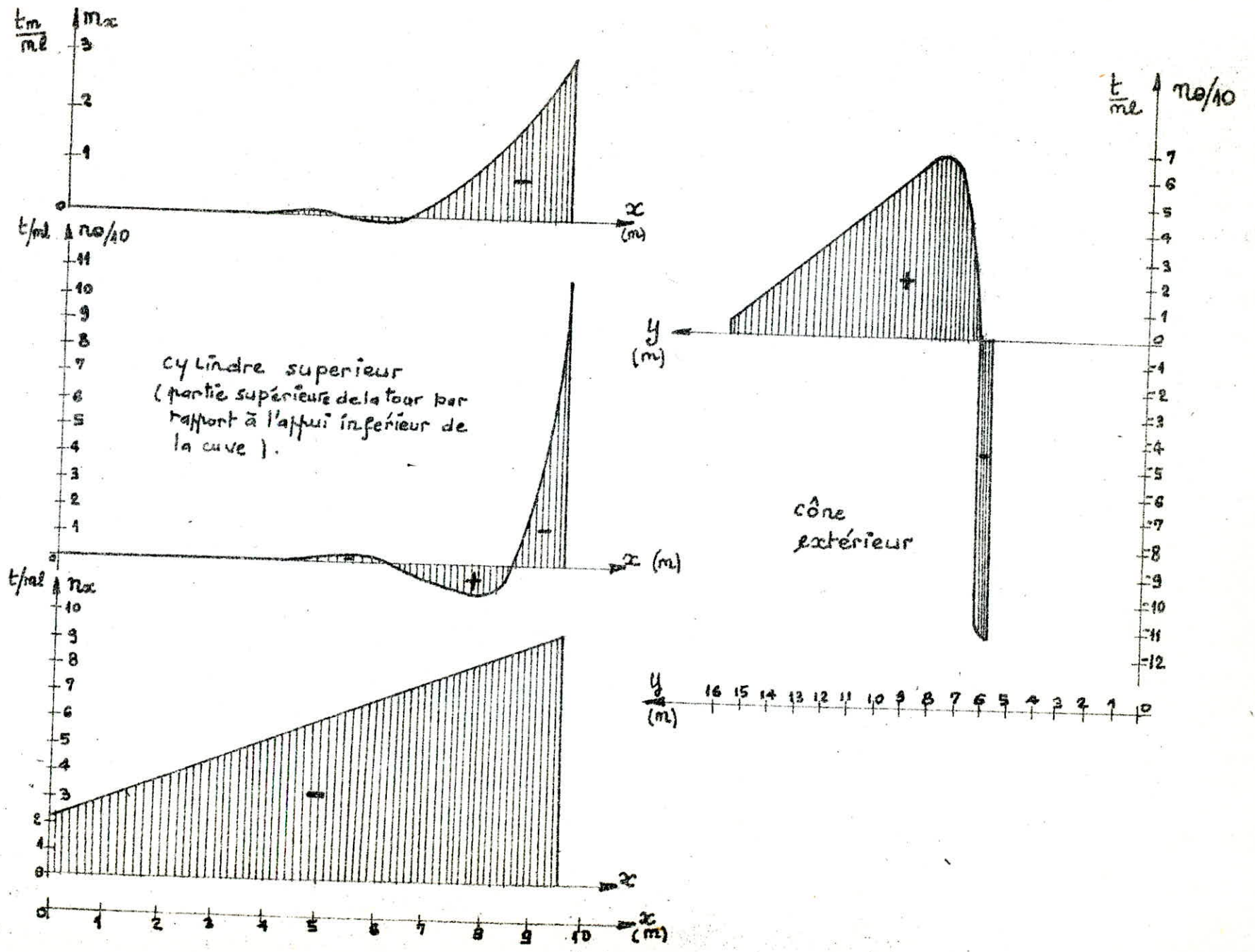
$$m_x = 5,59 h_1 - 7,54 h_2$$



Cône extérieur



Cône intérieur





*chapitre 9*

CALCUL DES  
ELEMENTS DU  
RESERVOIR

### Ferraillage du cône intérieur

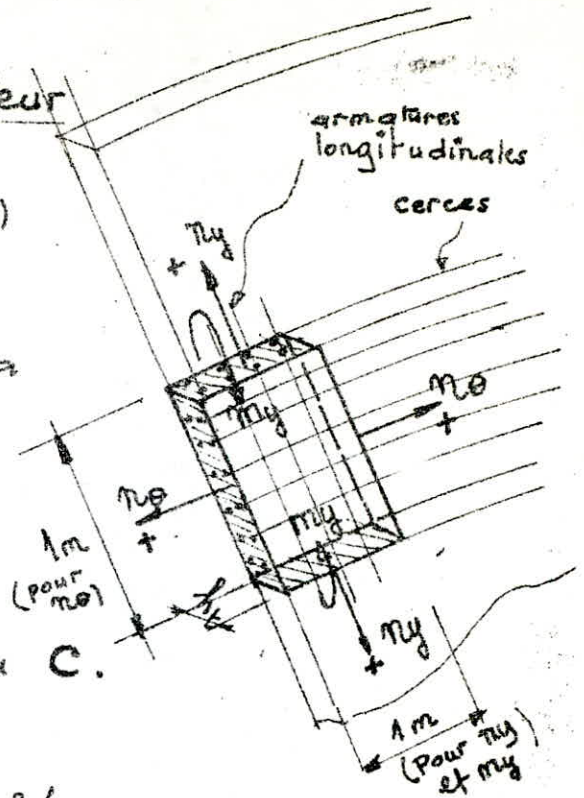
Ferraillage reprenant l'effort  $N_0$  (Cerces)

on a 1 traction simple :

$$A = \frac{N_0}{\bar{\sigma}_a}$$

Après calculs nous constatons que la Fissuration n'est pas vérifiée. Ainsi le Ferraillage se fera avec la Fissuration :

soit  $\bar{\sigma}_a = 1933,7 \text{ kg/cm}^2$  pour un  $\phi = 16 \text{ mm}$  (Fissuration très préjudiciable : milieu humide) voir tableau C.



#### section 6 :

$$N_0 = 24,24 \text{ t/ml} \Rightarrow A = 12,53 \text{ cm}^2/\text{ml} \Rightarrow A = 8T16/\text{ml} = 16,08 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

#### section 5 :

$$N_0 = 41 \text{ t/ml} \Rightarrow A = 21,2 \text{ cm}^2/\text{ml} \Rightarrow A = 12T16/\text{ml} = 24,12 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

on adoptera entre les sections 6 et 4 :

$$A = 12T16/\text{ml} \text{ symétriquement}$$

#### section 4 :

$$N_0 = 26 \text{ t/ml} \Rightarrow A = 13,44 \text{ cm}^2/\text{ml} \Rightarrow A = 10T14/\text{ml} = 15,39 \frac{\text{cm}^2}{\text{ml}}$$

#### section 3 :

$$N_0 = 15 \text{ t/ml} \Rightarrow A = 7,4 \text{ cm}^2/\text{ml} \Rightarrow A = 10T10/\text{ml} = 7,85 \frac{\text{cm}^2}{\text{ml}}$$

### Ferraillage sous $m_y$ et $N_y$ :

Après calculs (que nous jugeons inutiles de montrer) nous avons constaté que la Fissuration n'est pas vérifiée. On adoptera  $\phi = 14 \text{ mm}$ ,  $\bar{\sigma}_a = 2033,42 \text{ kg/cm}^2$  (fissuration très préjudiciable : milieu humide) voir Tableau de Contraintes : C

#### section 6 :

$$m_y = 2,8 \text{ tm/ml}$$

$$N_y = 17,1 \text{ t/ml}$$

$$e_0 = M/N = 16,4 \text{ cm}$$

$$e_1 = h/6 = 20/6 = 3,33 \text{ cm}$$

$e_0 > e_1 \Rightarrow$  section partiellement comprimée

$$f = e_0 + \left(\frac{h_b}{2} - d\right) = 16,4 + (10 - 1,5) = 24,9 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow M_b = Nf = 4,26 \text{ tm/ml} ; \mu = 0,0318 \Rightarrow \begin{cases} k = 26,1 \\ \varepsilon = 0,8783 \end{cases}$$

$$\sigma_b = \bar{\sigma}_a / k = 77,9 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_b$$

$$A'_1 = 0 ; A_1 = M / \bar{\sigma}_a \varepsilon h = 12,9 \text{ cm}^2/\text{ml} \} \text{ ce qui } \Rightarrow \text{ flexion simple}$$

$$A'_1 = 0$$

$$A = A_1 - N / \bar{\sigma}_a = 4,5 \text{ cm}^2/\text{ml} \} \Rightarrow \text{ flexion composée}$$

on adoptera  $A = A' = 4 \text{ T14 / ml} = 6,16 \text{ cm}^2/\text{ml}$ .

section 5 :

$$m_y = 0,8 \text{ tm/ml}$$

$$N_y = 13,1 \text{ t/ml}$$

$$e_0 = 6,1 \text{ cm} > e_1 = 3,33 \text{ cm} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} \text{s. partiellement} \\ \text{comprimée} \end{array} \right\}$$

on trouve une quantité d'acier négligeable (le béton à lui seul résiste aux efforts qui le sollicitent).

le Ferrailage sera donc Forfaitaire :

$$\frac{A}{b h_e} \geq 0,2\% \text{ (Pourcentage minimal d'acier)}$$

$$\Rightarrow A > 4 \text{ cm}^2/\text{ml} \text{ soit } 4 \text{ T14 / ml} = 6,16 \frac{\text{cm}^2}{\text{ml}}$$

rayon (m)	y <sub>2</sub> (m)	Périmètre (m)	nbre de barres	Nbre de barres/ml
4	5,66	25,13	102 T14	4 T14
3,33	4,71	20,92	102 T14	(7,5 $\frac{\text{cm}^2}{\text{ml}}$ )
2,62	3,71	16,46	102 T14	(9,53 $\frac{\text{cm}^2}{\text{ml}}$ )
1,92	2,71	12,1	102 T14	8 T14
1,21	1,71	7,6	102 T14	13 T14
0,5	0,71	3,14	102 T14	32 T14

Tronc de cône extérieur :

- Calcul des cerces (sous l'effort  $N_0$ )  
 Ces dernières sont sollicitées à la traction (sous  $N_0$ )

soit  $A = N_0 / \bar{\sigma}_a$

section 1 :

$N_0 = 112,13 \text{ t/ml}$  ;  $\Rightarrow A = 40,05 \text{ cm}^2/\text{ml}$

$\bar{\sigma}_a = \frac{2}{3} \bar{\sigma}_{en} = 2800 \text{ kg/cm}^2$  } soit  $A = 14T20/\text{ml} = 43,97 \frac{\text{cm}^2}{\text{ml}}$

Fissuration :

on a dans notre cas, une fissuration très préjudiciable

$\sigma_1 = k \frac{h}{\phi} \frac{\bar{w}_f}{1+10\bar{w}_f} + 800h = 991,37 \text{ bars}$   
 $= 1011,2 \text{ kg/cm}^2$

$\bar{\sigma}_2 = 1781,21 \text{ kg/cm}^2$

$\Rightarrow \bar{\sigma}_a = 1781,21 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow A = 62,95 \text{ cm}^2/\text{ml}$

on prendra 20T20/ml

section 2 :

$N_0 = 72,03 \text{ t/ml}$

$A = 40,44 \text{ cm}^2/\text{ml}$

$\bar{\sigma}_a = 1781,21 \text{ kg/cm}^2$

soit  $A = 14T20/\text{ml} = 43,97 \text{ cm}^2/\text{ml}$

section 3

$N_0 = 41,6 \text{ t/ml}$

$\bar{\sigma}_a = 1781,21 \text{ kg/cm}^2$

$\Rightarrow A = 12T16/\text{ml} = 24,12 \text{ cm}^2/\text{ml}$

section 4 :

$N_0 = 36,5 \text{ t/ml}$

$\bar{\sigma}_a = 1781,21 \text{ kg/cm}^2$

$\Rightarrow A = 12T16/\text{ml} = 24,12 \text{ cm}^2/\text{ml}$

section 5

$N_0 = 23,5 \text{ t/ml}$

$A = 13,2 \text{ cm}^2/\text{ml}$

soit  $A = 10T14/\text{ml} = 15,39 \text{ cm}^2/\text{ml}$

Ferraillage selon  $N_y$  et  $M_y$  (armatures longitudinales)  
de la cuve

Pour  $\bar{\sigma}_a = 2800 \text{ kg/cm}^2$  et un diamètre  $\phi 14$ , la fissuration n'est pas vérifiée (calculs jugés inutiles d'être montrés).

soient:  $\bar{\sigma}_a = \min \left\{ \bar{\sigma}_a; \max(\sigma_1; \sigma_2) \right\}$

avec  $\sigma_1 = \frac{k \eta \bar{\omega}_f}{\phi (1 + 10 \bar{\omega}_f)}$  ;  $\sigma_2 = 2,4 \sqrt{\frac{\eta k \bar{\sigma}_b}{\phi}}$

$\Rightarrow \bar{\sigma}_a = \sigma_2 = 2033,42 \text{ kg/cm}^2$  (voir tableau C de contraintes)

Section 1

$m_y = 9,22 \text{ t/m/ml}$  ;  $h_t = 30 \text{ cm}$  ;  $e_0 = \frac{m_y}{\eta_y} = 15,6 \text{ cm}$

$\eta_y = 59,2 \text{ t/ml}$  ;  $b = 100 \text{ cm}$  ;  $e_1 = \frac{h_t}{6} = \frac{30}{6} = 5 \text{ cm}$

$e_0 > e_1 \Rightarrow$  section partiellement comprimée...

en adoptant  $d = 1,5 \text{ cm}$  :

$\Rightarrow f = e_0 + \left( \frac{h_t}{2} - d \right) = 15,6 + (15 - 1,5) = 29,1 \text{ cm}$

soit le moment fictif  $M_b = \eta_y f = 19,23 \text{ t/m/ml}$

Calcul en flexion simple:

$\mu = 0,1565 \Rightarrow \begin{cases} k = 18,3 \\ \epsilon = 0,8499 \end{cases}$  (coeff. de PIERRE CHARON)

$\sigma'_b = \bar{\sigma}_a / k = 111,12 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b = 165 \text{ kg/cm}^2$

$\Rightarrow$  armatures comprimées non nécessaires

flexion simple :  $\begin{cases} A_1 = M / \bar{\sigma}_a \epsilon h = \frac{17,23 \cdot 10^5}{2033,42 \cdot 28,5 \cdot 0,8499} \\ = 35 \text{ cm}^2 / \text{ml} \\ A' = 0 \end{cases}$

retour en flexion composée :  $\begin{cases} A = A_1 - \frac{N_y}{\bar{\sigma}_a} = 5,8 \text{ cm}^2 / \text{ml} \\ A' = 0 \end{cases}$  faible

un ferraillage forfaitaire s'impose donc.

soit  $A \geq \frac{0,2 b h}{100} = 6 \text{ cm}^2 / \text{ml}$

Pour la section où :  $m_y = 0,53 \text{ t/ml}$  et  $h_y = 23,74 \text{ t/ml}$   
 $\Rightarrow e_0 = 2,23 \text{ cm}$   $\angle e_1 = 5 \text{ cm}$   $\Rightarrow$  section partiellement comp.  
 on prendra  $A = A'$

$$\sigma'_b = \frac{N_y}{b h t} \left( 1 + \frac{G e_0}{h t} \right) = 11,44 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}'_b = \bar{\sigma}'_{b0} \left( 1 + \frac{e_0}{3 e_1} \right) = 95 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \sigma'_b < \bar{\sigma}'_b$$

$\Rightarrow$  le béton seul suffit pour résister à l'effort le sollicitant  $\Rightarrow$  un ferrailage forfaitaire s'impose.

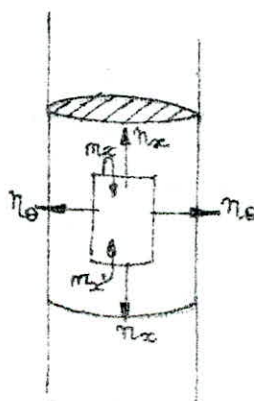
au niveau de la section n° 6  $\Rightarrow A = A' = 2T14 / \text{ml}$

section n°	Périmètre (m)	nbre de barres	nbre de barres/ml	$y_2$ (cm)	Rayon (cm)
1	25,13	276	11T14	5,7	4
2	33,93	276	(12,52 $\frac{\text{cm}^2}{\text{ml}}$ )	7,7	5,4
3	42,93	276	(10,01 $\frac{\text{cm}^2}{\text{ml}}$ )	9,7	6,8
4	51,59	276	(8,3 $\frac{\text{cm}^2}{\text{ml}}$ )	11,7	8,21
5	60,4	276	(7,1 $\frac{\text{cm}^2}{\text{ml}}$ )	13,7	9,61
6	68,8	276	4T14/ml	15,6	10,95

les armatures seront disposées symétriquement

- cylindre supérieur

épaisseur  $e = 30 \text{ cm}$   
 $R_m = 4 \text{ m}$



Calcul des cerces sous  $N_0$  :

nous constatons après calculs que la fissuration n'est pas vérifiée.

Nous prendrons donc :

fissuration très préjudiciable (milieu humide)  
 $\sigma'_a = \sigma'_a = 1981,26 \text{ kg/cm}^2$  (Tableau C)

$\phi = 20 \text{ mm}$

• au niveau de  $x = l = 9,5 \text{ m}$  ( $N_0 = 108,1 \text{ t/ml}$ )  
 $\Rightarrow A = 60,7 \text{ cm}^2 / \text{ml} \Rightarrow A = 20T20 / \text{ml} = 62,82 \text{ cm}^2 / \text{ml}$

• Pour  $x = 8 \text{ m}$ ,  $N_0 = 11,4 \text{ t/ml}$  et  $\phi = 14 \text{ mm}$  (choisi)  $\Rightarrow$   
 $\sigma'_a = \sigma'_a = 2033,42 \text{ kg/cm}^2$  (Tableau C)  $\Rightarrow A = 5,6 \text{ cm}^2 / \text{ml} < 0,2 \phi$   
 $\Rightarrow$  Ferrailage forfaitaire  $\Rightarrow A = 10T10 / \text{ml}^B$  (symétriquement)

Ferraillage sous  $m_x$  et  $N_x$  : (cylindre sup.)

le calcul se fera avec la fissuration ( $\bar{\sigma}_2$ ) en choisissant  $\phi = 14 \text{ mm} \Rightarrow \bar{\sigma}_2 = \bar{\sigma}_1 = 2033,42 \text{ kg/cm}^2$  (fissur. très préjudiciable à milieu humide).

Pour  $x = 9,5 \text{ m}$  (au niveau du Nœud 1)

$$m_x = 3,17 \text{ t/ml} ; N_x = 9,925 \text{ t/ml} ; e_0 = \frac{m_x}{N_x} = 34,4 \text{ cm}$$

$e_0 > e_1 \Rightarrow$  section partiellement comprimée.  $e_1 = \frac{h}{6} = \frac{30}{6} = 5 \text{ cm}$

on calcule  $f = e_0 + \left(\frac{h}{2} - d\right) = 34,4 + (15 - 1,5) = 47,9 \text{ cm}$

$$M_b = N_x f = 4,42 \text{ tm/ml} \text{ (moment / aux aciers tendus)}$$

$$\mu = 0,04 \Rightarrow \begin{cases} k = 43,8 \\ \epsilon = 0,915 \end{cases} \text{ (coeff. de charon)}$$

$$\bar{\sigma}'_b = \frac{\bar{\sigma}_a}{k} = 46,43 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b \Rightarrow A'_1 = 0$$

$$A_1 = M / \bar{\sigma}_a \epsilon h = 8,33 \text{ cm}^2/\text{ml} \quad \text{[flexion simple]}$$

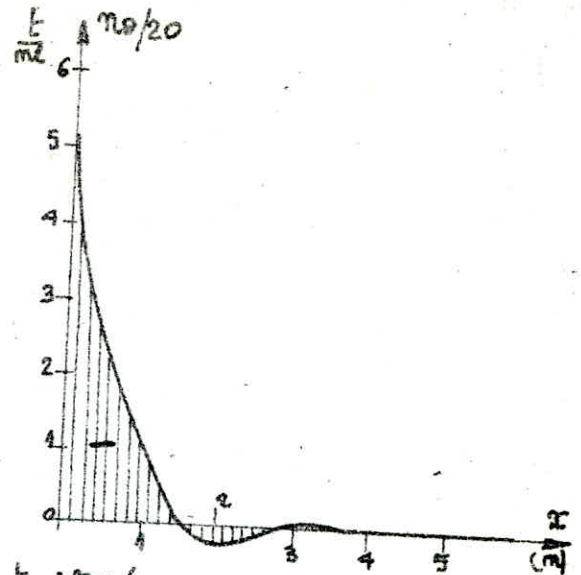
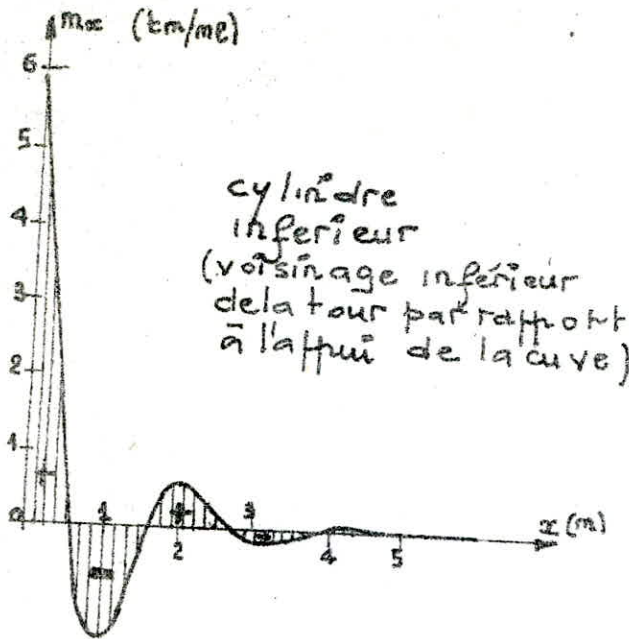
retour en flexion composée :

$$A'_1 = 0 ; A = A_1 - \frac{N_x}{\bar{\sigma}_a} = 3,8 \text{ cm}^2 \text{ (faible)}$$

$\Rightarrow$  ferraillage forfaitaire :  $\frac{A}{B h t} \geq 0,2\%$

$\Rightarrow A \geq 6 \text{ cm}^2/\text{ml}$ , soit  $A = 10 \text{ T}10 / \text{ml}$  armat. disposées symétriquement.

Pour  $x = 8 \text{ m}$  on a  $A \approx 0 \Rightarrow$  Ferraillage forfaitaire :  $A = 10 \text{ T}10 / \text{ml}$ .



Ferraillage :

a) selon N<sub>0</sub> : (cerces) (x=0)

le calcul se fera suivant

$\sigma_s = \bar{\sigma}_a = 1826,67 \text{ kg/cm}^2$  (calcul à la fissuration)

(Fissuration très nuisible : milieu humide)  
en choisissant  $\phi = 20 \text{ mm}$

section 1 :

$N_0 = 103,1 \text{ t/ml} \Rightarrow A = 56,44 \text{ cm}^2/\text{ml} \Rightarrow A = 18T20/\text{ml}$   
disposées symétriquement  $= 56,54 \text{ cm}^2/\text{ml}$

x=1m : section 2

$N_0 = 27,1 \text{ t/ml} \Rightarrow A = 14,84 \text{ cm}^2/\text{ml} \Rightarrow A = 10T14/\text{ml}$   
 $= 15,39 \text{ cm}^2/\text{ml}$

x=2m : section 3

$N_0 = 3,69 \text{ t/ml} \Rightarrow A = 2 \text{ cm}^2/\text{ml}$  (faible)

$\Rightarrow$  ferraillage forfaitaire :  $A/bht = w \geq 0,2\% \Rightarrow A = 6 \text{ cm}^2/\text{ml}$

$\Rightarrow 5T14/\text{ml} = 7,7 \text{ cm}^2/\text{ml}$  à partir de  $x=1\text{m}$  (symétrique)  
jusqu'à la base de la tour soit :

$2 \times 5T14/\text{ml} = 10T14/\text{ml} = 15,39 \text{ cm}^2/\text{ml}$



Ferraillage sous  $M_x$  et  $N_x$  (cylindre inf.)

la fissuration n'est pas vérifiée après les calculs (non montrés ici), le ferraillage se calculera donc à la fissuration en prenant :

$$\bar{\sigma}_a = \bar{\sigma}_2 = 2183,3 \text{ kg/cm}^2 \text{ avec } \phi = 14 \text{ mm}$$

Section à l'affût de la cuve (où  $x = 0 \text{ m}$ )

$$M_x = 5,59 \text{ tm/ml} ; N_x = 96,41 \text{ t/ml} ; h_t = 30 \text{ cm} ; b = 100 \text{ cm}$$

$$e_0 = M_x / N_x = 5,6 \text{ cm} > e_1 = h_t / 6 = 5 \text{ cm} \Rightarrow \text{section partiellement comprimée en flexion composée}$$

$$\text{on calcule } f = e_0 + \left( \frac{h_t}{2} - d \right) = 5,6 + (15 - 1,5) = 19,1 \text{ cm}$$

$$M_b = N_x f = 18,41 \text{ tm/ml} ; \mu = 0,156 \Rightarrow \begin{cases} k = 18,4 \\ \epsilon = 0,8503 \end{cases}$$

$$\sigma'_b = \bar{\sigma}_a / k = 118,66 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}'_b = 164,2 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow A'_1 = 0$$

$$A_1 = M_x / \bar{\sigma}_a \epsilon k = 34,8 \text{ cm}^2 \quad \left. \vphantom{A_1} \right\} \text{ en flexion simple}$$

$$A'_1 = 0$$

$$A = A_1 - N_x / \bar{\sigma}_a = 9,2 \text{ cm}^2 / \text{ml} \Rightarrow A = A' = 6 \text{ T14/ml}$$

$$\underline{x = 1 \text{ m}} : \begin{matrix} M_x = 1,58 \text{ tm/ml} \\ N_x = 96,41 \text{ t/ml} \end{matrix} \quad \begin{matrix} \bar{\sigma}_a = 2183,3 \text{ kg/cm}^2 \\ = \bar{\sigma}_2 \end{matrix}$$

$$e_0 = 1,64 \text{ cm} < e_1 = h_t / 6 = 5 \text{ cm} \Rightarrow \text{sect. entièrement comprimée}$$

$$\text{on prendra } A = A'$$

$$\sigma'_b = \frac{N_x}{b h_t} \left( 1 + 6 e_0 / h_t \right) = 42,68 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}'_b = \sigma'_b \left( 1 + e_0 / 3 e_1 \right) = 50,96 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma'_b < \bar{\sigma}'_b \Rightarrow$  le béton seul résiste à l'effort qui le sollicite

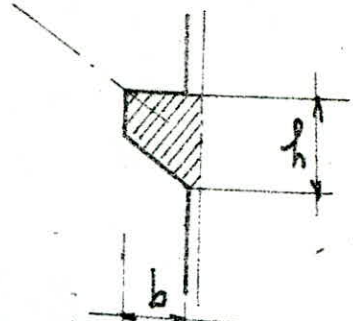
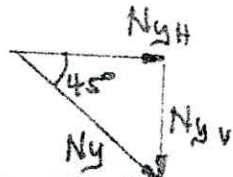
on adoptera donc un ferraillage forfaitaire

$$\Rightarrow 2 \times 4 \text{ T14/ml}$$



## Prédimensionnement de la ceinture inférieure

L'affût sera considéré comme une console supportant les poids, respectivement de la cure, de l'eau ainsi que celui des poutres de toitures.



Ces poids sont inclus dans  $N_y$ .

la hauteur  $h$  sera déterminée à partir de la valeur  $N_{y_v}$  qui sollicite la console principalement au cisaillement

$$N_y = 59,2 \text{ t/ml} \quad ; \quad N_{y_v} = N_y \cos 45^\circ = 59,2 \cos 45^\circ$$

$$\tau/\sigma = N_{y_v} / bh = N_{y_v} / 100h \leq \bar{\sigma}_b = 4,9 \text{ t/ml}$$

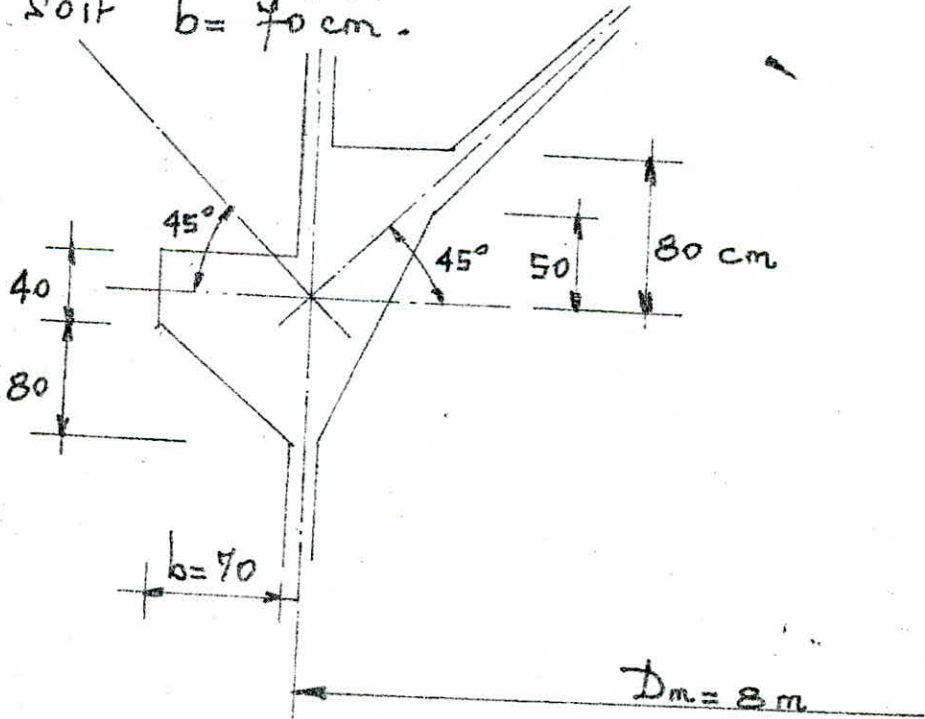
$$\Rightarrow h \geq N_{y_v} / 100 \bar{\sigma}_b \Rightarrow h \geq 59 \text{ cm} \approx 60 \text{ cm}$$

avec  $\bar{\sigma}_b = 4,1 \text{ kg/cm}^2$ .

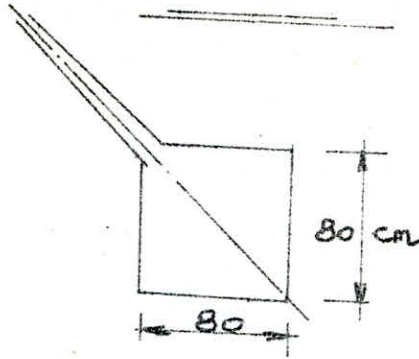
on prendra :  $h = 120 \text{ cm}$

la dimension "b" sera déterminée selon la structure de la partie inférieure du voile extérieur de la cure.

soit  $b = 70 \text{ cm}$ .

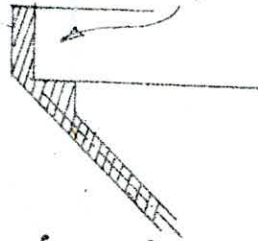


Ferrailage de la ceinture inférieure du tronc de cône extérieur

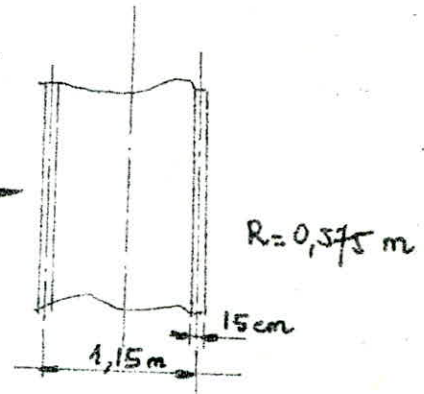


on disposera 20T20/ml (d'acier) dans la partie inférieure du voile (voir figure).

- Acier nécessaire :  $20 \cdot 0,8\sqrt{2} \Rightarrow$  soit  $71 \text{ cm}^2$   
 on aura  $24 \text{ T}20 = 75,38 \text{ cm}^2$   
 en ce qui concerne la disposition de ces armatures se référer aux planches de dessin.
- on choisit un cadre  $\phi=10/25 \text{ cm}$  d'une manière forfaitaire
  - la partie supérieure du voile (appui inférieur des poutres de toiture) sera armée forfaitairement.



Cylindre intérieur (ou fût) :  
 (ferrailage forfaitaire)



$$w = \frac{A}{s} \geq 0,2\% \Rightarrow A = 0,2\% \cdot s$$

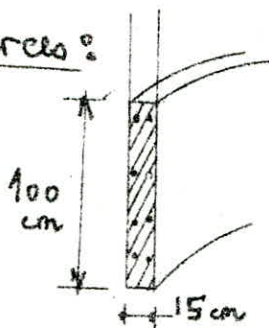
$$s = 0,47 \text{ cm}^2$$

$$(A \geq 0)$$

$$= \frac{0,2}{100} \cdot s$$

on prendra 10T10/ml =  $7,85 \text{ cm}^2/\text{ml}$   
 en ce qui concerne les barres

Cercles :



$$w = A/s \geq 0,2\% \Rightarrow A \geq \frac{0,2}{100} \cdot 100 \cdot 15 = \frac{3 \text{ cm}^2}{\text{ml}}$$

on adoptera  $\rightarrow$  10T10/ml =  $7,85 \text{ cm}^2/\text{ml}$   
 (le mètre linéaire de hauteur)

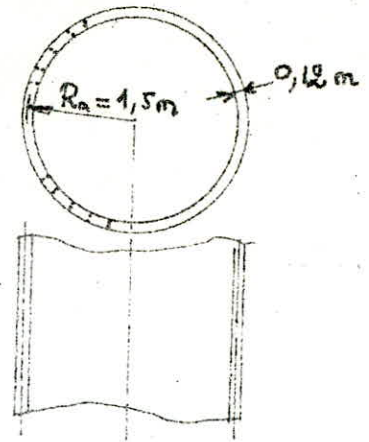
- lanterneau (Ferrailage)

ferrailage forfaitaire selon le pourcentage minimal d'acier :

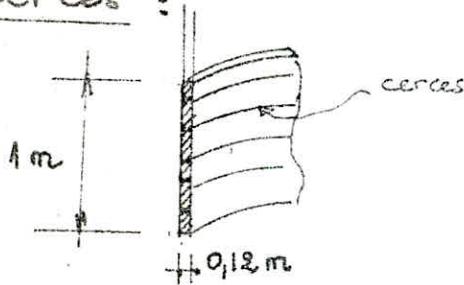
$$w = \frac{A}{S} \geq 0,2\% \Rightarrow A = 10T8/ml$$

$$S = 1,13 \text{ cm}^2 \Rightarrow A = 5,02 \text{ cm}^2/ml$$

barres de circonférence  
verticales



Cercles :

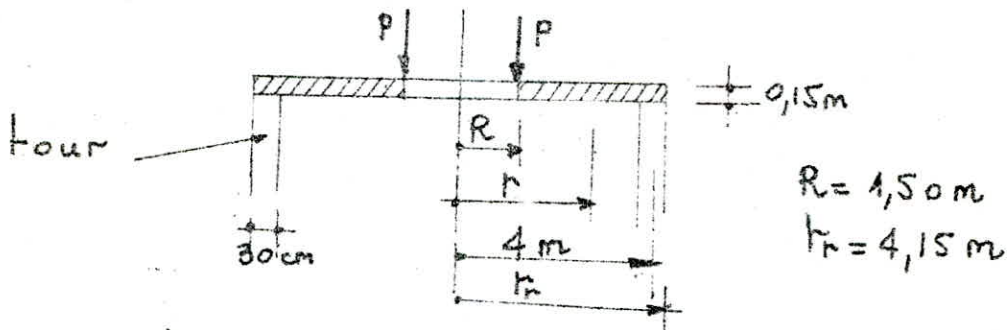


$$S = 1200 \text{ cm}^2$$

$$A = 2,4 \text{ cm}^2/ml \Rightarrow A = 10T8/ml = 5,02 \text{ cm}^2/ml$$

(le mètre linéaire de circonférence)

- dalle supportant le lanterneau :



2 cas de charge se présentent pour le calcul des moments fléchissants :

1er cas

$$Q = 2,5 \cdot 0,15 = 0,375 \text{ t/m}^2 = 3,75 \cdot 10^2 \text{ kg/cm}^2$$

$Q$  : poids propre /  $m^2$

(on suppose que la dalle est simplement appuyée).

2eme cas :

$$P = 2,5 \cdot 0,12 \cdot 2 \Rightarrow P = 6 \cdot 10^2 \text{ kg/cm}^2$$

$P$  = charge du lanterneau

on utilisera les formules de l'ouvrage : « construction spéciale de béton armé », qui découlent de la théorie de TIMOSHENKO (théorie des plaques).

on a donc les résultats suivants:

$\beta = R/r = 1,5/4,15 = 0,36 \approx 0,4$  coeff. qui détermine la courbe des moments.

moments  $M_\theta$  et  $M_r$

Cas 1:

$$\frac{M_{\theta \max}}{P r^2} = 0,274 \text{ évalué sur la courbe}$$

$$\text{pour } r=R \Rightarrow R/r = 0,36 \approx 0,4$$

$$\Rightarrow M_{\theta \max} = 0,274 \cdot 375 \cdot 10^2 (4,15)^2 = 1,769 \text{ tm/ml}$$

Cas 2:

$$\frac{M_{\theta \max}}{P r} = 0,417$$

$$\text{soit } M_{\theta \max} = 6 \cdot 10^2 \cdot 0,417 \cdot 415 = 17,86 \text{ kg cm/cm}$$

notre cas résulte de la superposition des 2 cas de charges:  $= 0,02 \text{ tm/ml}$

$$\text{c'est à dire: } M_{\theta \max} = \sum_{i=1}^2 M_{\theta i \max} = 1,789 \text{ tm/ml}$$

$$= 1,79 \text{ tm/ml} \rightarrow \text{moment tangentiel}$$

moment  $M_\theta$  mini

pour  $r=r_r = 415 \text{ cm} \Rightarrow r/r = 1 \Rightarrow$  deter. la courbe de moments sur le graphe.

Cas 1:

$$\frac{M_{\theta \min}}{P r^2} = 0,117 \Rightarrow M_{\theta \min} = 3,75 \cdot 10^2 \cdot 0,117 \cdot (415)^2$$

$$= 755,64 \text{ kg cm/cm}$$

$$= 0,755 \text{ tm/ml}$$

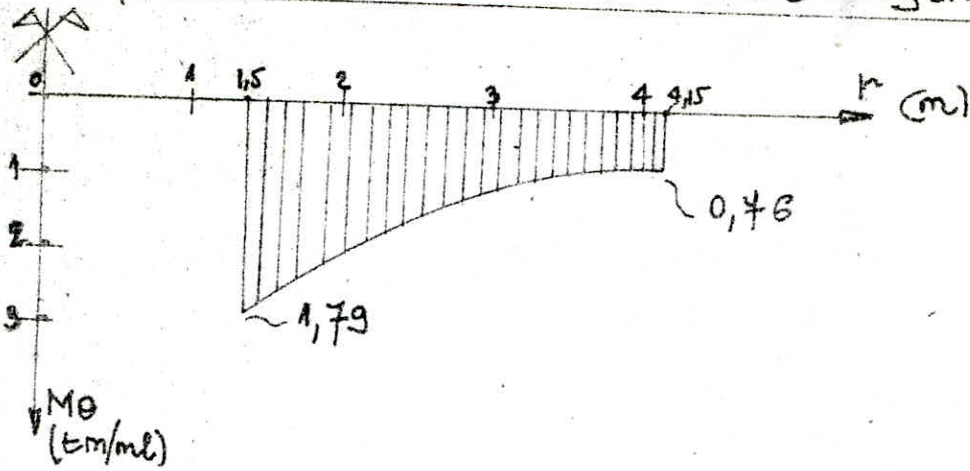
Cas 2:

$$\frac{M_{\theta \min}}{P r} = 0,193 \Rightarrow M_{\theta \min} = 6 \cdot 10^2 \cdot 415 \cdot 0,193$$

$$= 4,8 \text{ kg cm/cm} = 0,005 \text{ kg m/ml}$$

$$\Rightarrow M_{\theta \min} \sum_{i=1}^2 m_{\theta i \min} = 0,76 \text{ tm/ml} \rightarrow \text{résulte de 2 cas.}$$

Diagramme de moments  $M_\theta$  (tangential)



moment  $M_r$  (radial) :

$\beta = 0,4$

$r = 1,5 + 1,325 = 2,825 \text{ m}$   
 $r_r = 4,15 \text{ m}$  }  $r/r_r \approx 0,7$

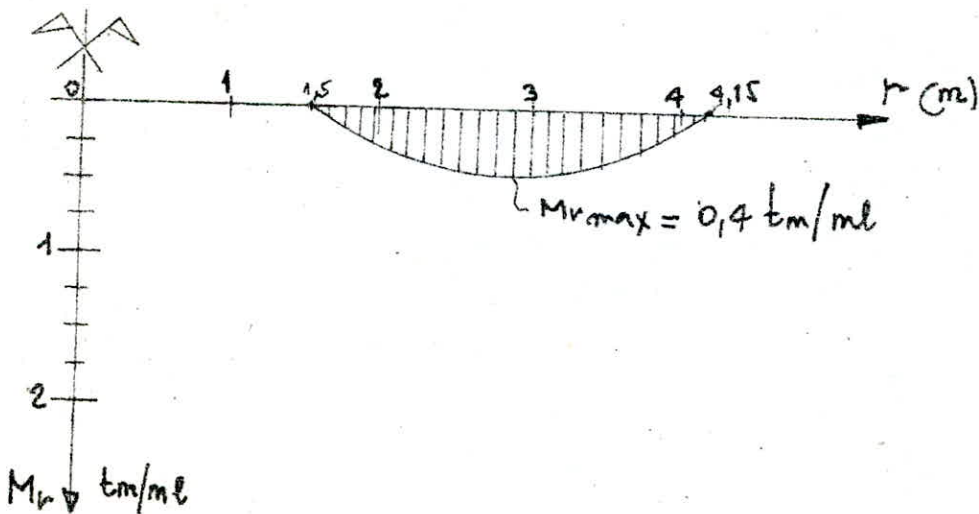
cas 1  
 $M_{r \max} / \rho (r)^2 = 0,06 \Rightarrow M_{r \max} = 0,06 \cdot 375 \cdot 10^2 (415)^2$   
 $= 384,5 \text{ kg cm/cm} = 0,3875 \text{ tm/ml}$

cas 2  
 $r/r_r = 0,4 \quad M_{r \max} / P \cdot r = 0,04 \Rightarrow M_{r \max} = 10^3 \text{ tm/ml}$

cas 1 + cas 2  $\Rightarrow M_{r \max} = \sum M_{r_i} = 0,4 \text{ tm/ml}$

$M_{r \min} = 0$

diagramme de  $M_r$  :



## Ferraillage de la dalle supportant le lanterneau

$M_R = \bar{k} b h^2$  : moment résistant de béton

$b = 100 \text{ cm}$  ;  $h = 15 - 1,5 = 13,5 \text{ cm}$  ;  $\bar{\sigma}'_b = 16500 \text{ kg/cm}^2$   
 en flexion simple

$\bar{k} = \frac{1}{2} \bar{\alpha} \bar{\sigma}'_b (1 - \frac{\bar{\alpha}}{3})$

$\bar{\alpha} = 15 \bar{\sigma}'_b / (15 \bar{\sigma}'_b + \bar{\sigma}_a) = 0,47$

$\bar{\sigma}_a = 2800 \text{ kg/cm}^2$

$\bar{k} = 32,75 \Rightarrow M_R = 3,275 \text{ tm}$

pour  $M_R \gg M_{ext} = M_r$  (afin d'éviter les armatures comprimées).

$\Rightarrow \bar{k} b h^2 \geq M_r \Rightarrow h \geq \sqrt{\frac{M_r}{\bar{k} b}} = 3,5 \text{ cm}$

pour  $h = 10 \text{ cm} \Rightarrow$  armatures comprimées non nécessaires

### Aciers tendus

armatures radiales sous  $M_r$  ( $d = 1,5 \text{ cm}$ )

$A_r = 0,4 \cdot 10^5 / (0,875 \cdot 13,5 \cdot 2800) = 1,24 \text{ cm}^2/\text{ml}$   
 ↓ faible

$\Rightarrow$  section minimale d'acier :

$A_r / b h_t \geq 0,2\% \Rightarrow A_r \geq \frac{0,2}{100} \cdot 100 \cdot 15 \Rightarrow A_r \geq 3 \text{ cm}^2/\text{ml}$

$b = 100 \text{ cm}$  ;  $h_t = 15 \text{ cm}$

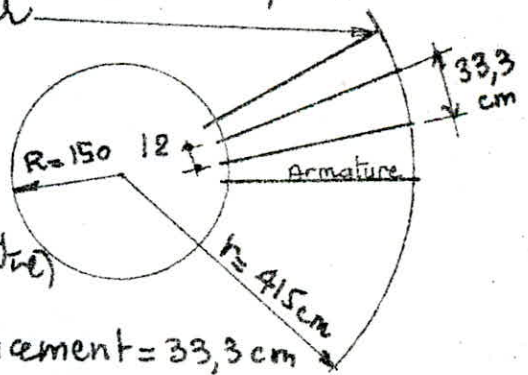
on prendra  $A_r = 3 \text{ T}12/\text{ml} = 3,39 \text{ cm}^2/\text{ml}$   
 à partir du bord extérieur

Périmètre ext =  $2\pi \cdot 4,15 = 26,1 \text{ m}$

$\Rightarrow$  nbre de barres  $78 \text{ T}12$

Périmètre int =  $2\pi \cdot 1,5 = 9,43 \text{ m}$

$\Rightarrow 48 \text{ T}12$  (autour du périmètre)

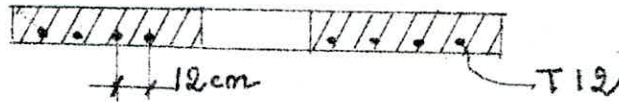


bord ext  $\Rightarrow A = 3 \text{ T}12/\text{ml}$  ; espacement =  $33,3 \text{ cm}$

bord int  $\Rightarrow A = 1,13 \text{ cm}^2/\text{ml}$  ; espacement =  $12 \text{ cm}$

### Ferraillage sous $M_{\theta}$ (moment tangentiel)

bord intérieur de la dalle  $\Rightarrow M_{\theta \max} = 1,49 \text{ tm/ml}$   
 $h = 15 - 1,5 - 2(0,6) = 12,3 \text{ cm}$ ;  $A = 1,49 \cdot 10^5 / 0,875 \cdot 12,3 \cdot 2800$   
 $A = 6 \text{ cm}^2/\text{ml}$  soit  $A = 8 \text{ T}12/\text{ml} = 9,04 \text{ cm}^2/\text{ml}$   
 tout le ferraillage se fera avec  $M_{\theta \max}$  (cerces)



### Fissuration :

$\sigma_1 = 1131,8 \text{ bars} = 1154,4 \text{ kg/cm}^2$   
 $\sigma_2 = 2831,6 \text{ bars} = 2888,22 \text{ kg/cm}^2$

} fissuration très peu préjudiciable  
 $\phi = 12 \text{ mm}$

$\Rightarrow \bar{\sigma}_a = 2800 \text{ kg/cm}^2 < \min \{ \max \{ \sigma_1, \sigma_2 \} \}$   
 $2800 \text{ kg/cm}^2$  est acceptée comme valeur de contrainte admissible.

### Ferraillage du lit supérieur (forfaitaire)

$w = A / b h_c \geq 0,2\% \Rightarrow A \geq 3 \text{ cm}^2/\text{ml}$

$b = 100 \text{ cm}$   
 $h_c = 15 \text{ cm}$

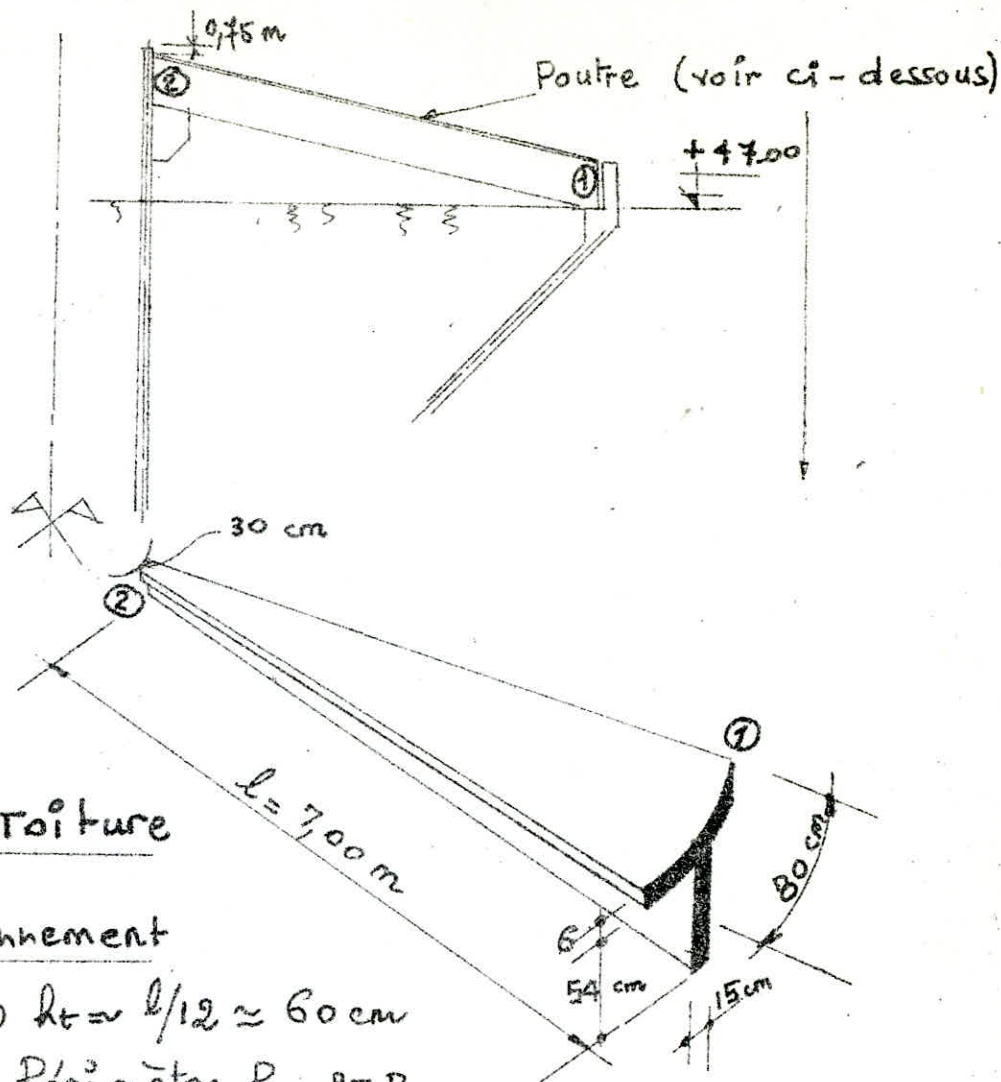
• barres :

$A_r = 3 \text{ T}12/\text{ml} = 3,39 \text{ cm}^2/\text{ml}$   
 armatures radiales.

• Cerces :

$A_c = 8 \text{ T}10/\text{ml} = 6,28 \text{ cm}^2/\text{ml}$





Ferraillage des poutres de Toiture

Prédimensionnement

$l = 4,00 \text{ m} \Rightarrow h_t \approx l/12 \approx 60 \text{ cm}$

bord ①  $\Rightarrow$  Périmètre  $P_1 = 2\pi R_1$   
 $= 2\pi \cdot 11 = 69,115 \text{ m}$  ( $R_1 = 11 \text{ m}$ )

bord ②  $P_2 = 2\pi R_2 = 2\pi \cdot 4 = 25,133 \text{ m}$  ( $R_2 = 4 \text{ m}$ )

on choisira 83 poutres

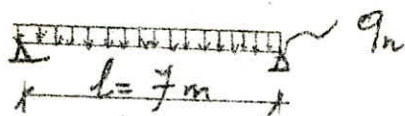
en considère un jeu entre poutres de 3,3 cm pour le bord ② et un jeu de 3 mm pour le bord ①

la pente de la toiture étant faible on supposera que la poutre est appuyée sur un plan horizontal.

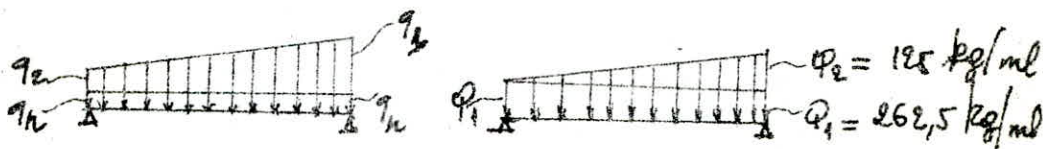
Elle sera soumise donc à une flexion simple (on ne tiendra pas compte des courbures).

détermination de la charge : (p. suivante)

$q_m = 0,1875 \text{ t/ml} = 187,5 \text{ kg/ml}$  : nervure



la table etant de charge variable  $q_1 = 200 \text{ kg/ml}$   
 $q_2 = 75 \text{ kg/ml}$



$Q_1 \rightarrow Mx_1 = 905,625 x - 131,25 x^2$

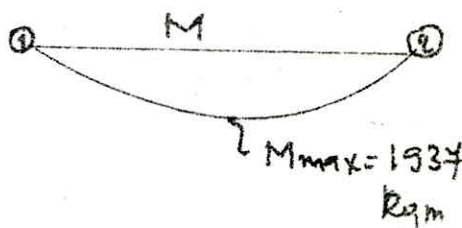
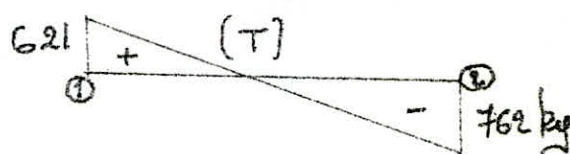
$Q_2 \Rightarrow Mx_2 = 143,75 x - 3x^2$

$\Rightarrow Mx = \sum Mx_i = 1049,4 x - 131,25 x^2 - 3x^3$

$\frac{dMx}{dx} = 0 \Rightarrow x = 3,56 \text{ m} \Rightarrow M_{max} = 1937 \text{ kgm}$

$T(7 \text{ m}) = 621 \text{ kg}$

$T(0,00 \text{ m}) = -761,875 \text{ kg}$



Ferraillage

section en T sollicitée par

$M = 1,937 \text{ tm}$

$\bar{\sigma}'_b = 165,24 \text{ kg/cm}^2$

$\bar{\sigma}'_a = 2800 \text{ kg/cm}^2$

$d = 2 \text{ cm}$

$h = 60 \text{ cm}$

$h_0 = 6 \text{ cm}$

$h = 58 \text{ cm}$

$b_0 = 15 \text{ cm}$

$\bar{\alpha}_1 = \bar{\sigma}'_b / \bar{\sigma}'_b + \bar{\sigma}'_a / 15 = 0,4096$

$\bar{\alpha}_1 = 1 - \bar{\alpha}_1 / 3 = 0,8435$

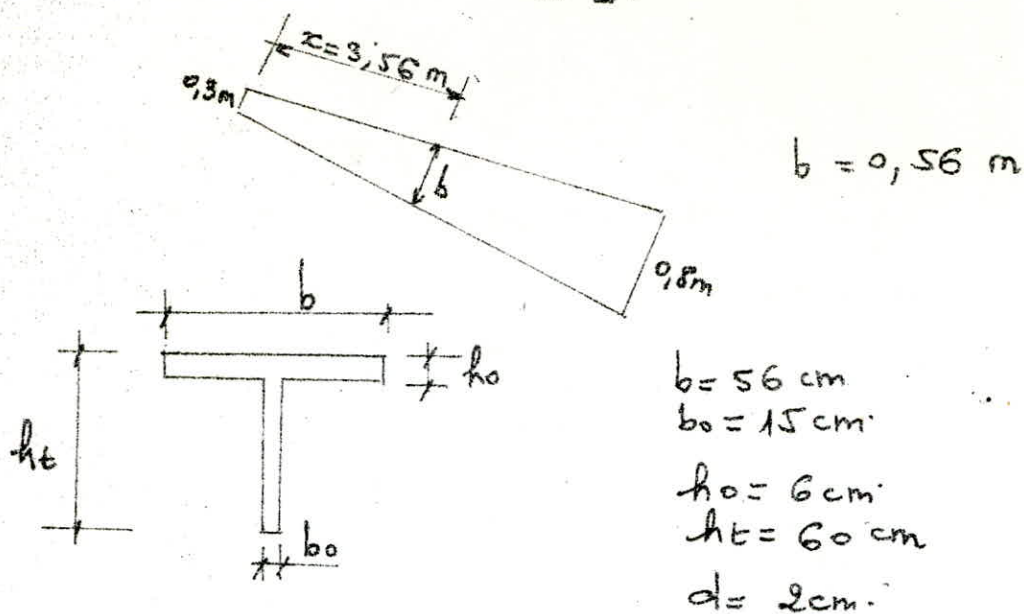
$k_1 = \frac{1}{2} \bar{\sigma}'_b \bar{\alpha}_1 \bar{\gamma}_1 = 32,73$

$MR_1 = k_1 b h^2$

$\bar{\sigma}'_b = \bar{\sigma}'_b \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) = 94,9 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\bar{\alpha}_2 = \bar{\sigma}'_b / \bar{\sigma}'_b + \frac{\bar{\sigma}'_a}{15}$

$\bar{\alpha}_2 = 0,337$  ;  $\bar{\gamma}_2 = 0,8877$  ;  $k_2 = \frac{1}{2} \bar{\sigma}'_b \bar{\alpha}_2 \bar{\gamma}_2 = 14,115$

$MR_2 = k_2 [(b - b_0) (h - h_0)^2]$



$M_{R1} = 45,822 \text{ tm}$  ;  $M_{R2} = 9,31 \text{ tm}$  ;  $M_{ext} = 1,934 \text{ tm}$   
 $M_{RB} = \text{moment résistant du béton}$

$M_{RB} > M_{ext} \Rightarrow$  Aciers comprimés non nécessaires ( $A' = 0$ )

Aciers tendus :

$N'_1 = \frac{1}{2} \bar{\sigma}_b b y_1 = 108,64 \text{ t}$        $N'_2 = \frac{1}{2} \bar{\sigma}'_1 (b - b_0) (d_1 h - h_0)$   
 $= 26,23 \text{ t}$

$N'_B = N'_1 - N'_2 = 82,41 \text{ t}$

$A_0 = N'_B / \bar{\sigma}_a = 29,43 \text{ cm}^2 \Rightarrow A = A_0 \frac{M_{ext}}{M_{RB}} = 1,562 \text{ cm}^2$

soit  $S' = 1310 \text{ cm}^2$  section de la poutre

on a  $1,562 \cdot 100 / 1310 = 0,12 < 0,2$

$\Rightarrow$  on adoptera un ferrailage forfaitaire

tel que  $w = A / S' \geq 0,2\%$   $\Rightarrow A \geq 2,62 \text{ cm}^2$

$\Rightarrow A = 2T14 = 3,08 \text{ cm}^2$

Ferrailage transversal

$T = 0,762 \text{ t}$        $\bar{\sigma}_b = T / b z \leq \bar{\sigma}_b = (4,5 - \bar{\sigma}'_1 / \bar{\sigma}_{b0}) \bar{\sigma}_b$

car  $\bar{\sigma}'_1 < \bar{\sigma}'_1 \leq 2 \bar{\sigma}'_1$  ;  $\bar{\sigma}_b = 0,3 \text{ kg/cm}^2$

$$\bar{\sigma}_{at} = \rho_{at} \cdot \bar{\sigma}_{en} \quad \rho_{at} \approx 1 > 2/3 \Rightarrow \bar{\sigma}_{at} = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_b = 0,3 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_b = 26,62 \text{ kg/cm}^2$$

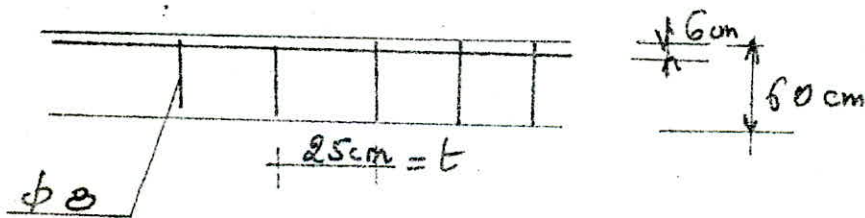
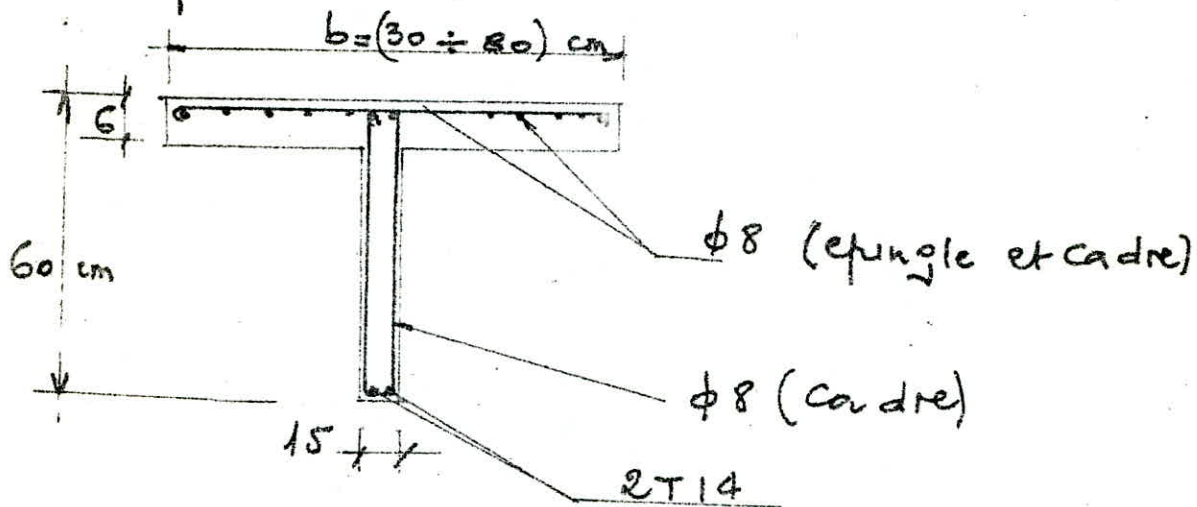
t : renforcement

$$t < \max \left\{ \bar{E} = h \left( 1 - \frac{0,3 \bar{\sigma}_b}{\bar{\sigma}_b} \right) ; \bar{E} = 0,2 h \right\}$$

$$\left. \begin{array}{l} \bar{E}_1 = 50 \text{ cm} \\ \bar{E}_2 = 10 \text{ cm} \end{array} \right\} \Rightarrow \bar{E} = 50 \text{ cm}$$

$$t = A_t \cdot \bar{\sigma}_{at} / T \quad \text{on choisit un cadre } \phi = 8 \text{ mm}$$

$$\text{On prendra } t = 25 \text{ cm} \quad \Rightarrow 2 \phi 8 = 1 \text{ cm}^2$$



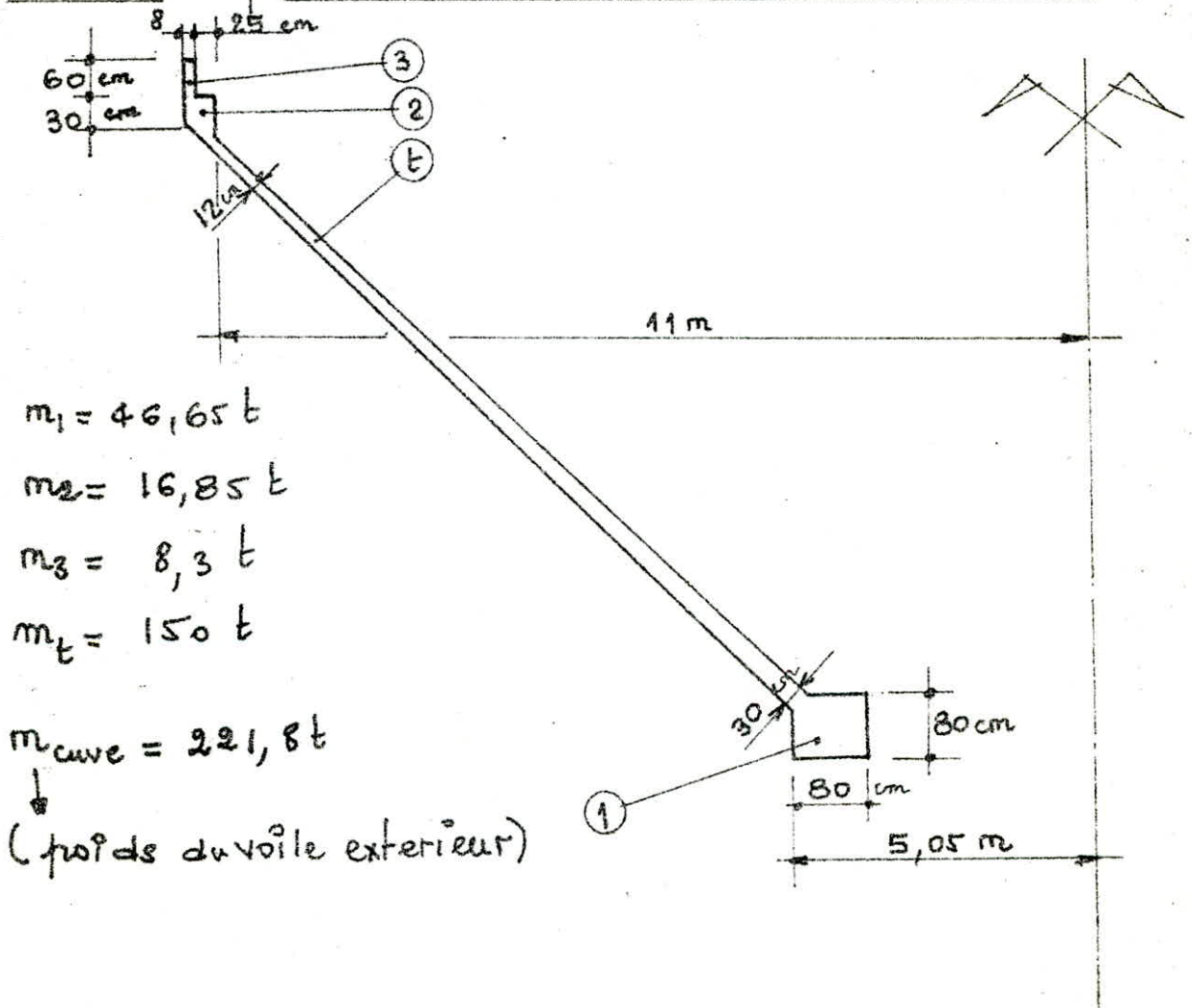
### Prédimensionnement de l'appui des Poutres (Toiture)

cet appui aura pour rôle de reprendre toutes les efforts provenant :

- a) du poids du voile extérieur de la cuve (vide) dont le schéma sera représenté ci-dessous
- b) du système permettant le soulèvement de celle-ci (poutres, câbles).

On supposera que le poids des poutres et câbles est négligeable relativement au poids du voile de la cuve (cité ci-dessus)

#### calcul du poids du voile extérieur de la cuve



$$m_1 = 46,65 \text{ t}$$

$$m_2 = 16,85 \text{ t}$$

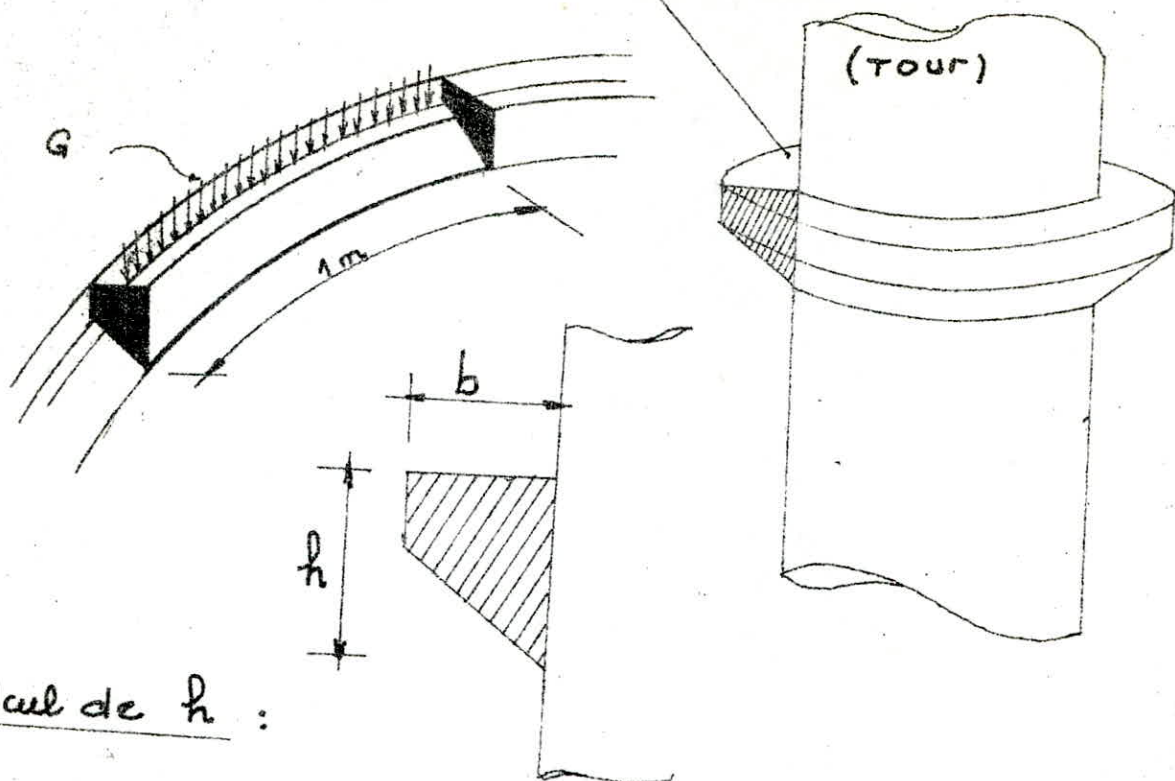
$$m_3 = 8,3 \text{ t}$$

$$m_t = 150 \text{ t}$$

$$m_{\text{cuve}} = 221,8 \text{ t}$$

(poids du voile extérieur)

appui de Poutres de Toiture



- calcul de h :

$$G = m/p$$

$m$ : poids du voile extérieur de la cuve.

$$p = 2\pi R = 2(4)\pi = 25,13\text{ m}$$

$$G = 8,83\text{ t/ml}$$

$$\Rightarrow G/100 \cdot h \leq \bar{\sigma}_b \Rightarrow h \geq G/100 \bar{\sigma}_b$$

(cisaillement pur : cas défavorable)

$\bar{\sigma}_b$  : contrainte de traction du béton (de référence)

$$\bar{\sigma}_b = 4,1\text{ kg/cm}^2 \Rightarrow h \geq 8880/100 \cdot 4,1 = 12,5\text{ cm}$$

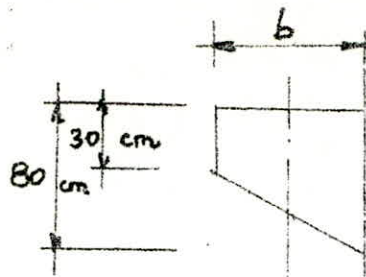
On adoptera la valeur suivante :

$$h = 80\text{ cm}$$

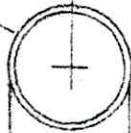
- détermination de b

cette largeur ( $b$ ) est imposée par la condition géométrique du système de soulèvement du voile extérieur de la cuve (vide).

(voir schéma sur page suivante)



poulie



voile exterieur  
de la cuve  
 $m = 221,8 t$   
( $N = 221,8 t$ )

$\phi$  : diametre de la poulie

$$\phi = 35 + 10 - 5 = 40 \text{ cm}$$

l'axe de la poulie passera

$$\bar{a} = b/2 :$$

$$b/2 = \phi/2 + 5 = 20 + 5 = 25 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow b = 50 \text{ cm}$$

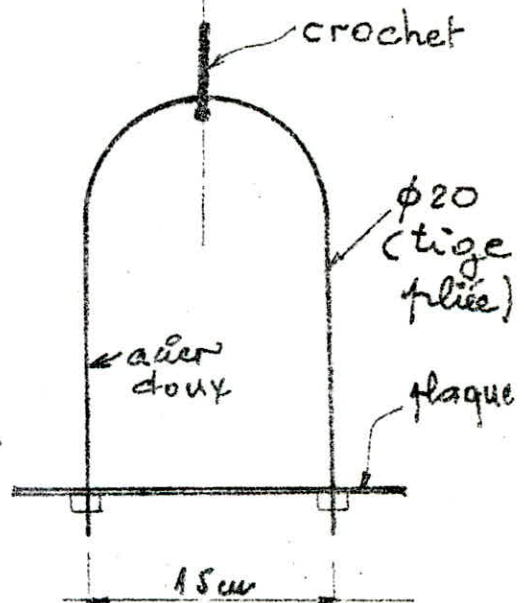
Nombre de tiges (pliees)

en choisissant un  $\phi = 20 \text{ mm}$   
et  $\bar{\sigma}_a = 1600 \text{ kg/cm}^2$  (c. du laier)  
S: section d'une tige.

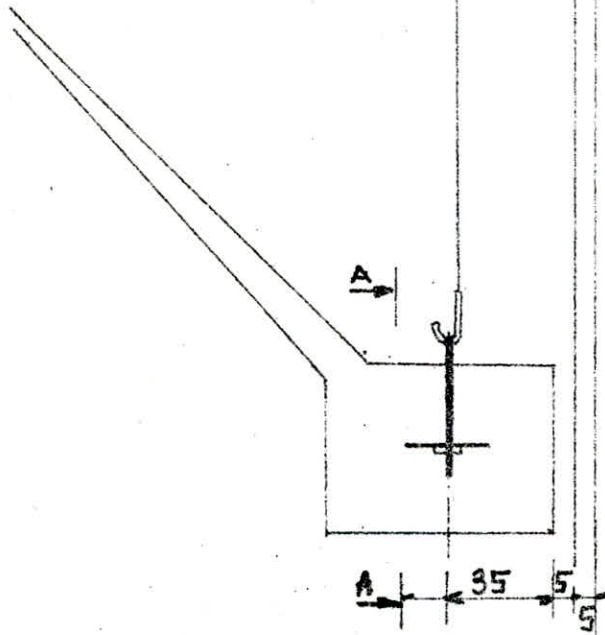
$$\frac{N}{x(25)} \leq \bar{\sigma}_a \Rightarrow x = 35 \begin{matrix} \text{tiges} \\ \text{pliees} \end{matrix}$$

cable

vue S1 AA



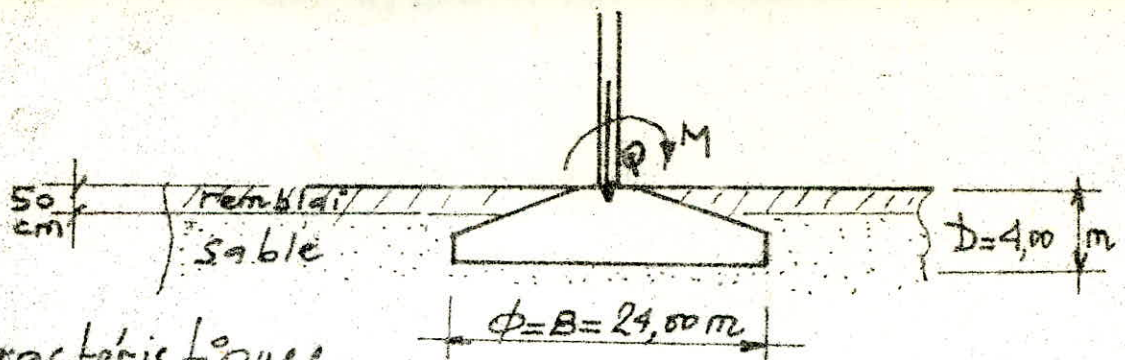
on a : 35 tiges pliees (cm)



*chapitre 10*

**ETUDE AU SOL**





Caractéristiques du sol:

50 cm de remblai :  $\gamma_1 = 1,8 \text{ t/m}^3$   
 sable :  $c = 0$   
 $\varphi = 30^\circ$   
 $\gamma_2 = 1,76 \text{ t/m}^3$

contrainte limite élastique ( $q_L$ ) Pour une fondation circulaire (selon ME TERZAGHI)

$$\phi = B \Rightarrow q_L = 0,3 \gamma_2 B N_\gamma + \gamma_1 D N_q + 1,3 C N_c$$

on supposera que le sol est homogène ( $\gamma_1 \approx \gamma_2 = 1,76$ )

on a une charge excentrée à cause du moment M (séisme)  $\text{t/m}^3$

$$\phi = 2474 \text{ t}$$

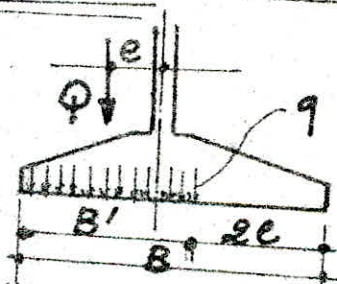
$$M = 376,42,385 \text{ tm} \Rightarrow e = M/\phi = 6,44 \text{ m}$$

Nous aurons donc un diamètre fictif de la fondation :

$$\underline{B' = B - 2e} \quad (\text{MEYERHOFF})$$

$$\text{soit } B' = 11,12 \text{ m}$$

$N_\gamma$ : terme de surface  
 $N_q$ : " profondeur  
 $N_c$ : " cohésion



$$\text{Pour } \varphi = 30^\circ \Rightarrow N_\gamma = 21,8 \text{ t} ; N_q = 18,4 ; N_c = 30,1$$

$$D = 4,00 \text{ m} ; c = 0 ; \gamma_1 \approx \gamma_2 = 1,76 \text{ t/m}^3$$

$$\Rightarrow q_L = 0,3 \cdot 1,76 \cdot 11,12 \cdot 21,8 + 1,76 \cdot 4 \cdot 18,4 = 257,53 \text{ t/m}^2$$

$$\Rightarrow \text{Contrainte admissible: } = 25,75 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_a = q_L / F_s ; F_s = 3 (\text{TERZAGHI}) \Rightarrow q_a = 8,6 \text{ kg/cm}^2 : (\sigma_0)$$

