



école polytechnique de thiès

GC. 462

PROJET DE FIN D'ETUDES

TITRE: CALCUL D'UN CHATEAU D'EAU
DE CAPACITE 1000m³

Auteur massamba s. SAMB

Génie CIVIL

Date Juin 1978

PROJET DE FIN D'ETUDES

TITRE: CALCUL D'UN CHATEAU D'EAU
DE CAPACITE 1000m³.

DIRECTEUR DE PROJET: M. J. A. TORREALBA

Auteur massamba s. SAMB

Génie CIVIL

Date JUIN 1978

A MA FILLE FATOU S. SAMB

REMERCIEMENTS.



Mes remerciements vont singulièrement
à J. A. TORREALBA pour l'attention
Particulière qu'il a accordée à ce Projet.



SOMMAIRE

Dans les Pages qui suivent, j'essayai de mettre en Pratique les différentes Phases de calcul correspondant au dimensionnement d'un Réservoir élevé en Béton Armé (Capacité 1000m^3).

Le réservoir est de forme tronçônique, l'évacuation étant évidemment situé à la partie Supérieure. Le Principal avantage de ceci est que la plus grande Partie du volume d'eau est stockée à la partie Supérieure de la tour, ce qui fait que pour une grande Consommation, correspond un léger abaissement du niveau d'eau; Ceci voit son importance lors du dimensionnement du Réseau alimenté par le réservoir.

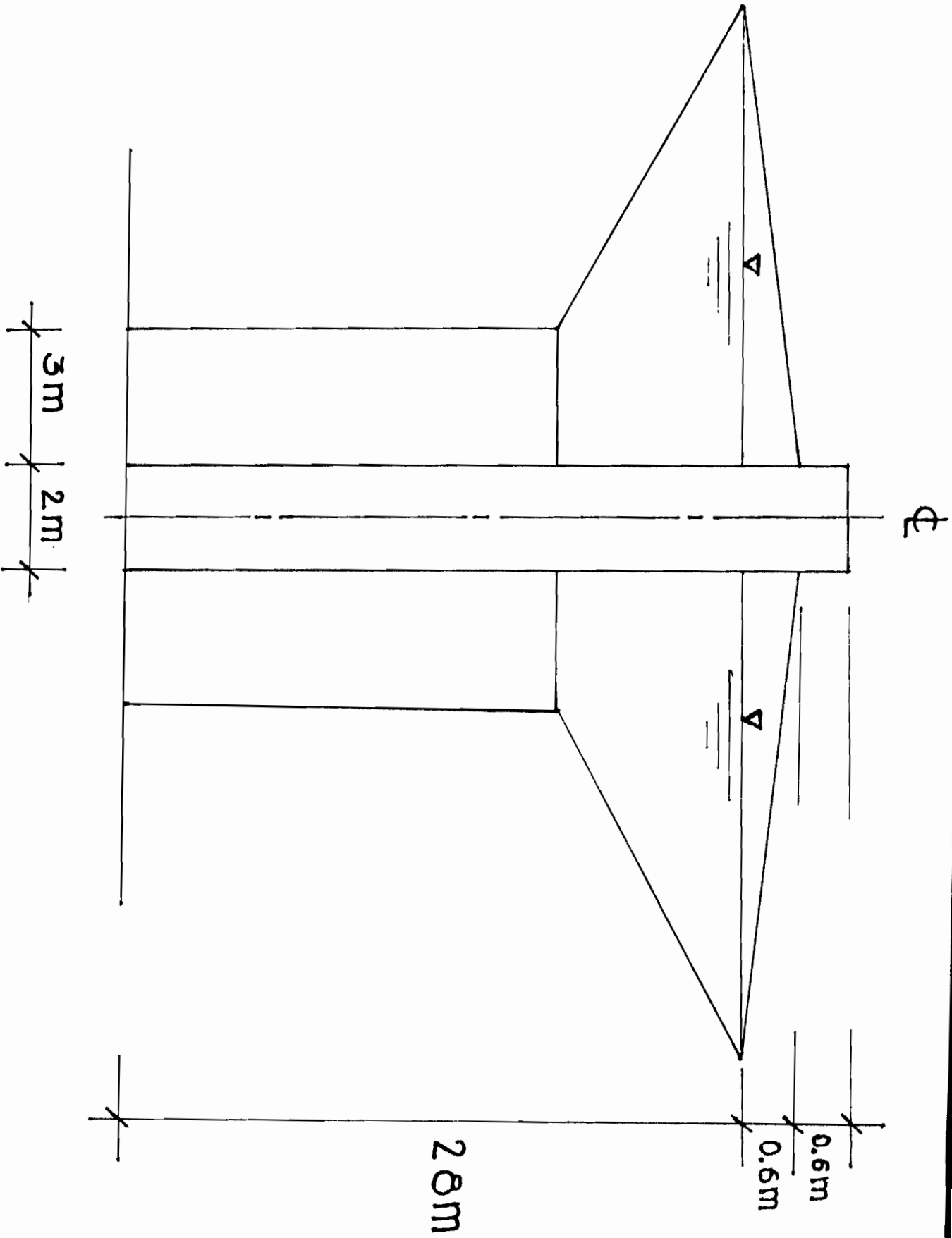


TABLE DES MATIERES

Chapitre I.	INTRODUCTION	P. 1
Chapitre II.	PRELIMINAIRES	P. 2
Chapitre III.	BASE de DESIGN	P. 8
	1. charges	P. 8
	2. Normes des matériaux	P. 10
	3. Références pour calculs	P. 11
Chapitre IV.	AVANT PROJET	P. 12
	1. sollicitations	P. 12
	2. Diagramme des moments de Flexion	P. 19
	3. Diagramme des efforts Tranchants	P. 52
Chapitre V.	CHOIX des MEMBRURES	P. 56
	1. Poteaux	P. 56
	2. Eléments Fléchis	P. 61
Chapitre VI	CONCLUSION	P. 86
	REFERENCES	P. 87
	BIBLIOGRAPHIQUES	

CHAPITRE I

INTRODUCTION

Le corps principal du texte sera précédé d'un bref rappel mathématique permettant de déterminer certaines dimensions optimales de la tour. Ceci sera l'objet du chapitre II.

Dans le chapitre III, on spécifiera toutes les Normes de Chargement et de Calcul qui permettront d'aborder le reste du travail à savoir l'avant projet et le choix des membrures respectivement traités dans les chapitres IV et V.

Dans ce quatrième chapitre, il n'y aura pas de problèmes majeurs liés aux calculs de structure car on saura ramener l'ensemble en un cadre rigide formé de quatre membrures dont trois sont à Inertie Variable. Seule la détermination des facteurs de CROSS (Facteur de Rigidité et Facteur de Répercussion) sera assez longue par suite même de la non constance de l'Inertie.

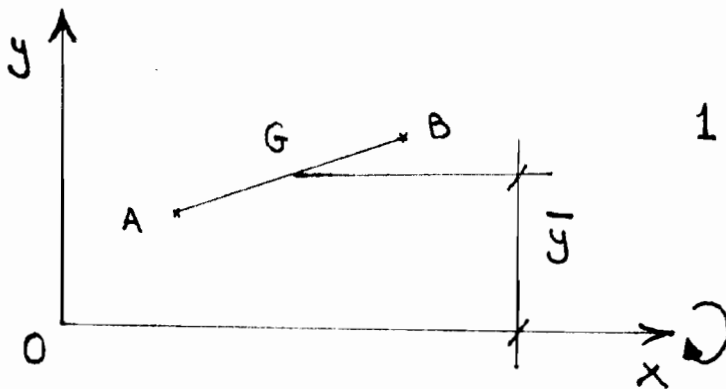
PRELIMINAIRES

Les Parois susceptibles d'être en Contact avec l'eau sont celles pour lesquelles une attention particulière doit être apportée. La raison principale est qu'elles doivent être conçues pour assurer une étanchéité parfaite.

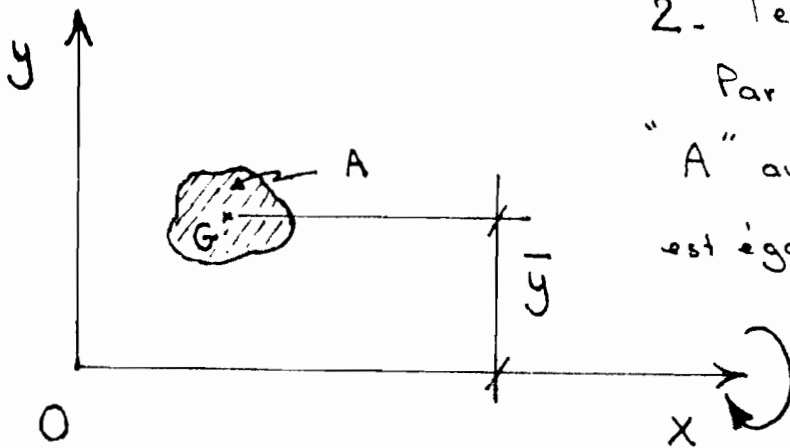
Si nous appelons: "S" la surface Totale qui est en Contact avec l'eau lorsque le château d'eau est plein, nous pouvons déterminer l'inclinaison optimale des Parois (θ_{optimal}) qui Procure un "S" minimal.

Rappels Mathématiques:

- Théorème de Pappus - Guldin.

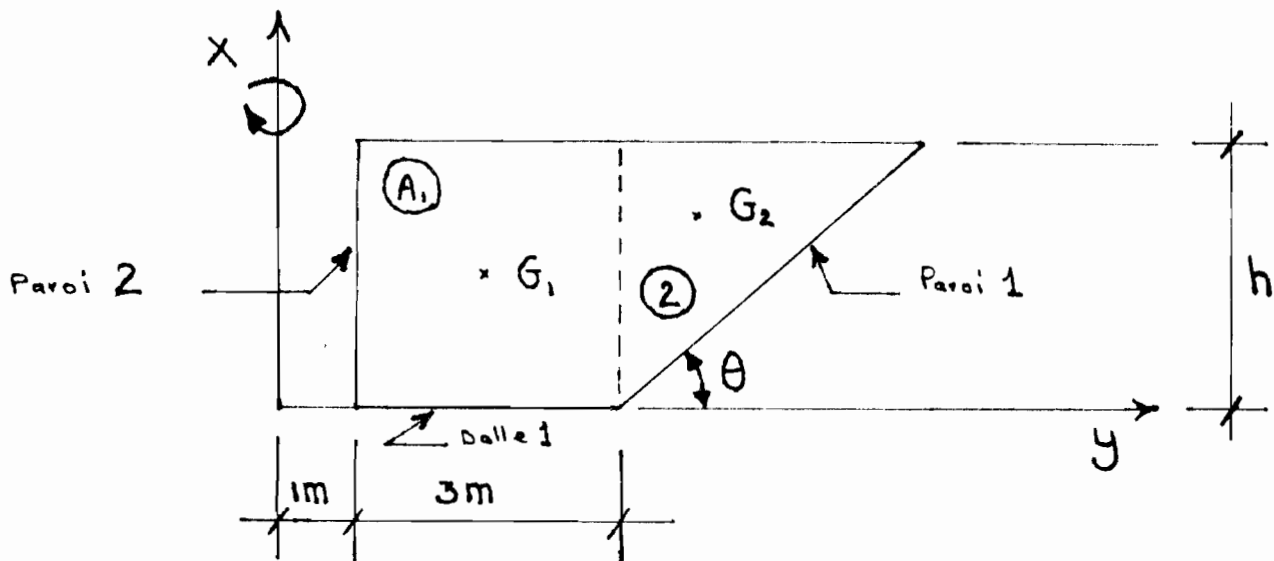


1. la surface engendrée Par la Rotation du segment AB autour de l'axe OX est égal à: $(2\pi \bar{y}) \times \overline{AB}$



2. le volume engendré
Par la rotation de l'aire
"A" autour de l'axe OX
est égal à: $(2\pi \bar{y}) \times A$.

Expression du volume d'eau en fonction
des paramètres θ et h .



$$A_1 = 3h \quad ; \quad A_2 = \frac{1}{2} (h) (h \cotg \theta) = \frac{1}{2} h^2 \cotg \theta.$$

Théorème de Pappus

$$\Rightarrow V = \frac{\pi h}{3} \left[27 + (9 + h \cotg \theta) h \cotg \theta \right]$$

Recherche de θ optimal.

Les Parois 1, 2 et la Dalle 1 sont en contact avec l'eau mais seules les surfaces des Parois 1 et 2 sont influencées par une variation de θ .

$$\text{Soit } S' = S_{\text{paroi 1}} + S_{\text{paroi 2}} = S_1 + S_2.$$

$$S_1 = 2\pi \left(3 + \frac{1}{2} h \cotg \theta \right) \frac{h}{\sin \theta}$$

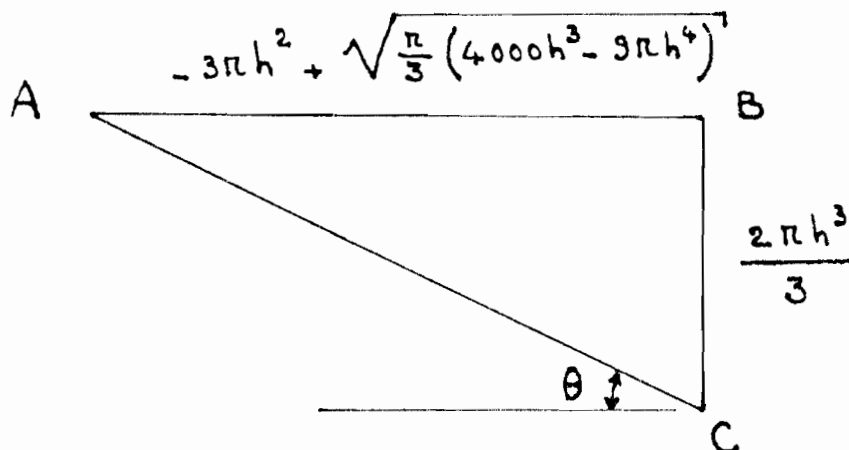
$$S_2 = 2\pi h$$

$$\rightarrow S' = 2\pi h \left[1 + \left(3 + \frac{1}{2} h \cotg \theta \right) \frac{1}{\sin \theta} \right]$$

Pour $V = 1000 \text{ m}^3$, exprimons θ en fonction de h .

$$1000 = \frac{\pi h}{3} \left(27 + 9h \cotg \theta + h^2 \cotg^2 \theta \right)$$

$$\cotg \theta = \frac{-3\pi h^2 + \sqrt{\frac{\pi}{3} (4000h^3 - 9\pi h^4)}}{\frac{2\pi h^3}{3}}$$



$$\sin \theta = \frac{\frac{2\pi h^3}{3}}{\left\{ \left[\frac{2\pi h^3}{3} \right]^2 + \left[\sqrt{\frac{\pi}{3} (4000h^3 - 9\pi h^4)} - 3\pi h^2 \right]^2 \right\}^{1/2}}$$

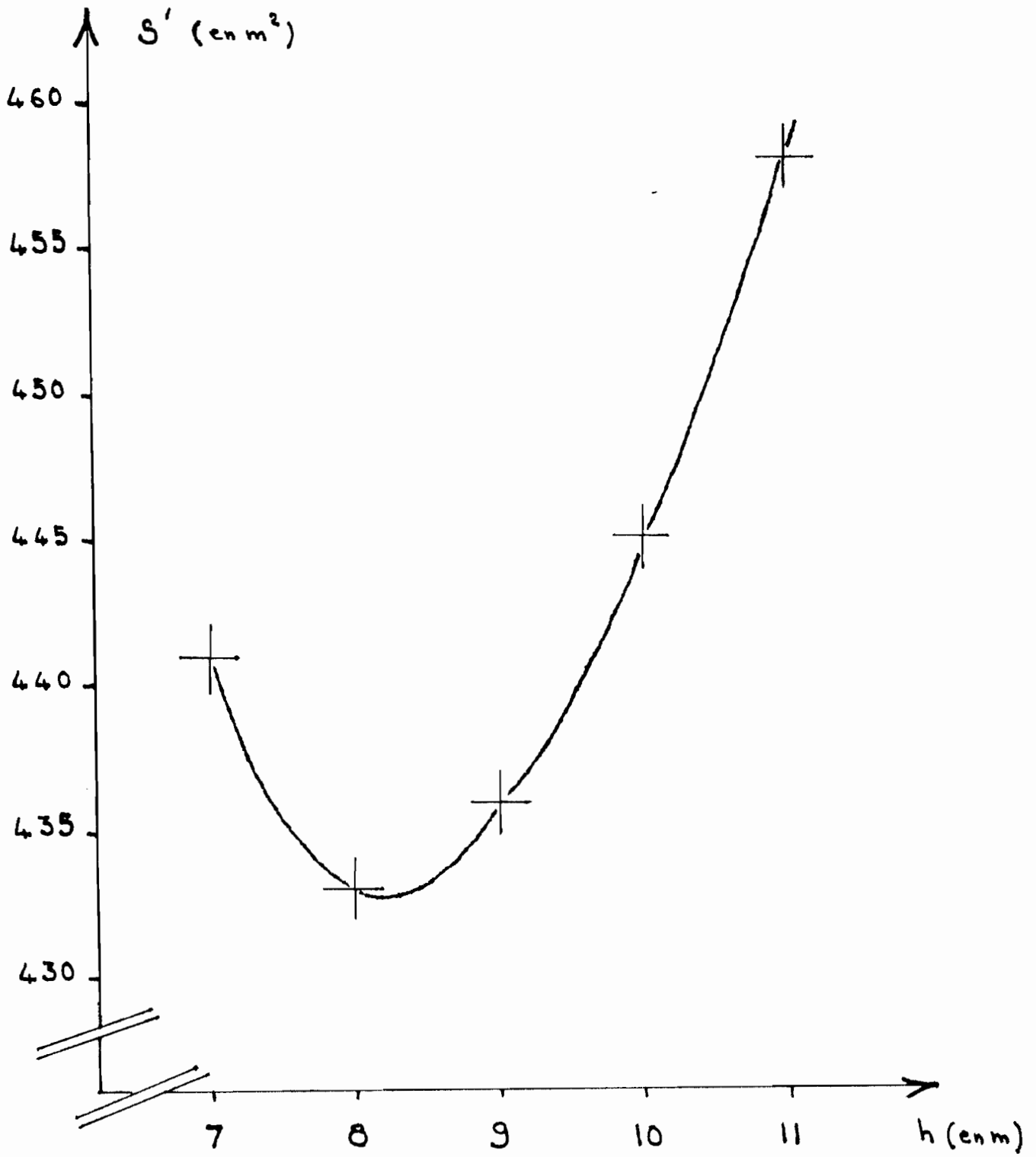
Posons

$$1. \quad \frac{2\pi h^3}{3} = A(h)$$

$$2. \quad \sqrt{\frac{\pi h^3}{3} (4000 - 9\pi h)} - 3\pi h^2 = B(h)$$

$$S' = 2\pi h \left[1 + \left(3 + \frac{1}{2} h \frac{B(h)}{A(h)} \right) \sqrt{1 + \left(\frac{B(h)}{A(h)} \right)^2} \right]$$

h (en m)	$B(h)$	$A(h)$	S' (en m ²)
7	707	718	441.88
8	819	1072	433.33
9	928	1527	436.04
10	1031	2094	445.33
11	1128	2788	458.68



La valeur optimale de "h" est légèrement supérieure à 8m. Mais, la valeur correspondante de S' étant légèrement inférieure à celle correspondant à h = 8m, on adopte donc cette dernière valeur de h. D'ailleurs, cette valeur entière s'avèrera beaucoup plus pratique pour la réalisation.

Substituant cette valeur de h à l'expression de $\cotg \theta$ on aura:

$$\cotg \theta = \frac{\sqrt{\frac{\pi}{3} \cdot 8^3 (4000 - 9R \cdot 8)} - 3\pi \cdot 8^2}{\frac{2\pi \cdot 8^3}{3}}$$

$$= 0.764$$

→

$\theta_{\text{optimal}} = 52.62^\circ$ $h_{\text{optimal}} = 8.00 \text{ m.}$

BASE DE DESIGN

1. CHARGES

Surcharges d'exploitation. (P)

- Coupole. les surcharges sont dues aux diverses circulations lors de réparations quelconques au niveau de la tour.

→ On adopte: $300 \text{ kgf/m}^2 = 0.03 \text{ daN/cm}^2$

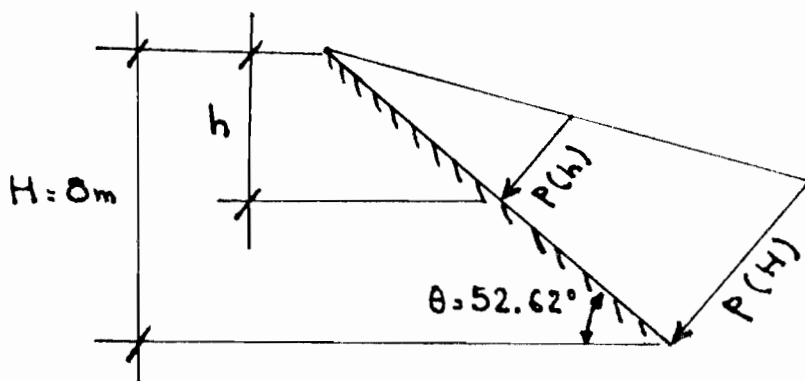
- Radier. les surcharges sont uniquement dues au poids du liquide.

Hauteur d'eau maximum = 8m.

$$P = 8 \times \gamma_e = 8 \times 1000 \text{ kgf/m}^3 = 8000 \text{ kgf/m}^2 = 0.8 \text{ daN/cm}^2$$

- Parois.

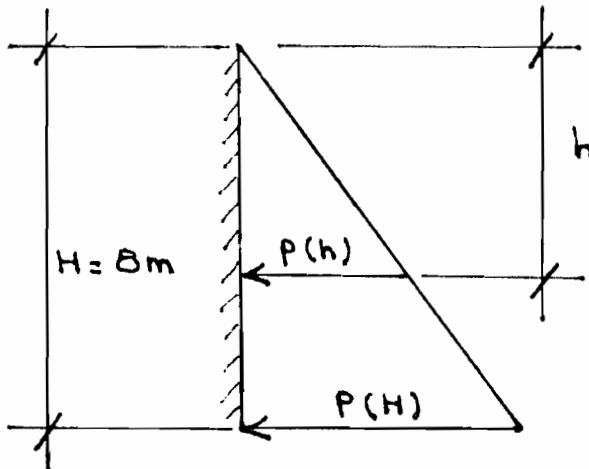
Paroi Inclinée.



$$p(h) = \gamma_e h = 1000h$$

avec: h en m ; $p(h)$ en daN/m².

Paroi Verticale.



Comme précédemment

$$P(h) = 1000h$$

h en m ;

$p(h)$ en daN/m².

Charges Permanentes

— Paroi inclinée, Paroi verticale, Radier.

épaisseur considérée = $e = 15\text{cm}$.

Densité du Béton Armé: $\gamma_{\text{béton}} = 2500\text{kgf/m}^3$.

D'où: Poids par unité de surface

$$= 2500 \times 0.15 = 375\text{kgf/m}^2 = 375\text{daN/m}^2 \\ = 0.0375\text{daN/cm}^2$$

— Coupole.

épaisseur considérée ; $e = 10\text{cm}$.

D'où: Poids par unité de surface

$$= 2500 \times 0.1 = 250\text{kgf/m}^2 = 250\text{daN/m}^2 \\ = 0.0250\text{daN/cm}^2$$

2. NORMES des MATERIAUX

Béton.

ciment de classe 325

dosage en ciment: 400 kg/m^3 .

$$\rightarrow \sigma'_{28} = 300 \text{ bars.}$$

Acier

nuance Fe E 34 $\sigma_{en} = \sigma'_{en} = 3340 \text{ bars.}$

$E_a = 2000000 \text{ bars.}$

3. REFERENCES pour CALCULS

3.1. Règles Techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en Béton Armé.

Règles C.C.B.A. 68

modifiées en 1973.

3.2. Canadian Standards Association.

→ C.S.A. 516.1 (1974)

CHAPITRE IX.

AVANT PROJET

1. SOLLICITATIONS

sollicitation Pondérée du 2^e ordre.

$$S_2 = G + 1.5P + 1.5V + T$$

Température: effet négligeable → Dans la Zone d'implantation, les écarts maxima sont relativement Petits.

Vent: On introduira des contreventements pour en tenir compte.

Notons que les contreventements seront tels qu'ils puissent reprendre les efforts dus à des vents de faible vitesse.

$$S_2 = G + 1.5P$$

EXPOSE du Principe de calcul des efforts.

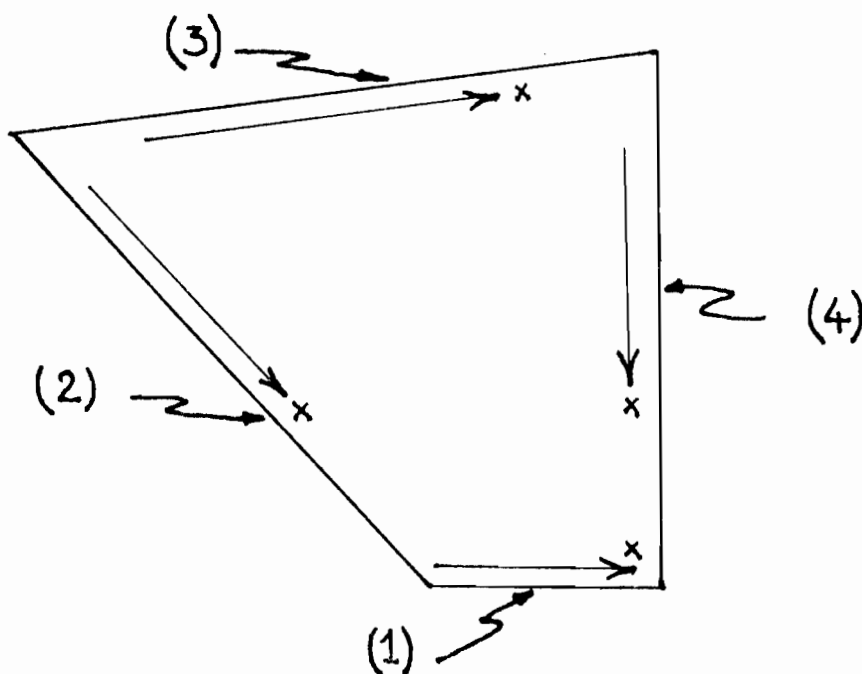
On forme des tranches en faisant passer à travers le réservoir deux plans verticaux faisant entre eux un angle (φ). Cette opération permet d'isoler deux tranches distinctes et l'étude sera faite indifféremment sur l'une ou l'autre.

NOTA: tous les 2 plans contiennent l'axe du Château.

Il est à noter que cette méthode est d'autant plus exacte que (φ) est petit. Cependant, on doit considérer une valeur de (φ) qui soit telle que la largeur de la tranche au niveau de la colonne soit environ égale à celle de la colonne.

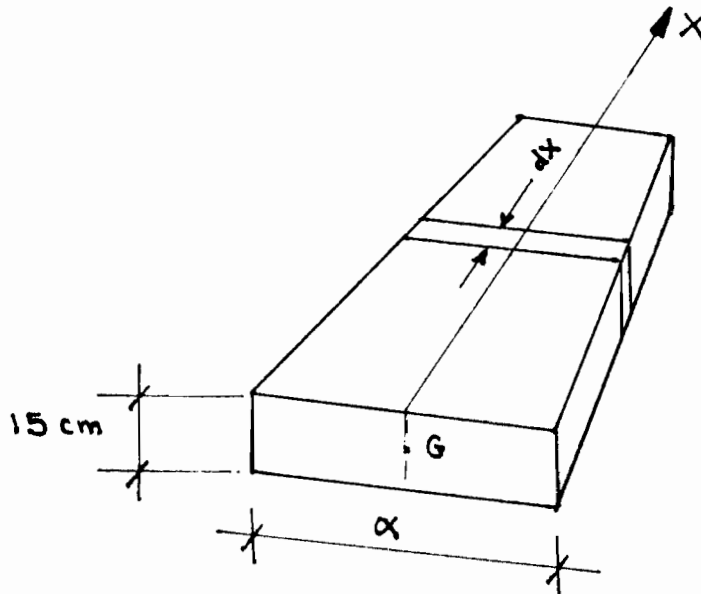
Il est important de noter qu'ici on néglige l'interaction entre deux tranches consécutives et ceci représente une condition supplémentaire de sécurité.

Shématisons la partie décrite ci dessus.



Considérons une valeur de (φ) égale à 4° .

Membrure (1)



$$\alpha(x) = (400 - x) \cdot \varphi^{\text{rd}} \quad ; \quad \varphi^{\text{rd}} = 4\pi/180$$

$\alpha(x)$ en cm ; x en cm.

$$\alpha(x) = 0.07 (400 - x)$$

$$I(x) = \frac{1}{12} \alpha(x) \cdot 15^3 = 19.7 (400 - x).$$

sollicitations.

Je convertis tous les chargements par unité de surface en chargement par unité de longueur : soit $W(x)$.

$$W(x) = G(x) + 1.5 P(x).$$

Charges Permanentes (G)

$$\begin{aligned} G(x) &= \text{Poids Par unité de surface} \times \alpha(x) \\ &= 0.0375 \text{ daN/cm}^2 \times \frac{4\pi}{180} (400-x) \text{ cm} \\ &= 0.00262 (400-x) \text{ daN/cm.} \end{aligned}$$

Surcharges d'exploitation. (P)

$$8000 \text{ daN/m}^2 = 0.8 \text{ daN/cm}^2.$$

$$\text{facteur de Pondération} = 1.5 \Rightarrow 1.5 \times 0.8 = 1.2 \text{ daN/cm}^2.$$

$$1.5P(x) = 1.2 \times \alpha(x) = 0.00314 (400-x) \text{ daN/cm.}$$

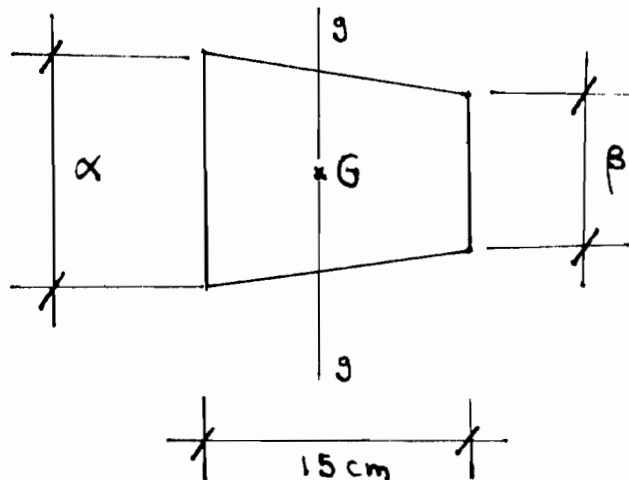
Membrure (2)

Les surfaces internes et externes de la Paroi peuvent être considérées comme planes étant donnée la petite valeur de l'angle ϕ qui a été défini précédemment.

Comme dans le cas de la membrure 1, celle ci sera à Inertie variable étant donné que sa section varie tout le long de la génératrice.

Détermination de I(x).

l'intersection d'un plan Perpendiculaire avec l'axe xx, et ceci à un niveau x, donne un trapèze tel qu'indiqué ci dessous.



A tous les niveaux, la différence entre α et β est:

$$\alpha - \beta = \frac{4\pi}{180} 15 \text{ cm} = 1.0 \text{ cm.}$$

Or, la plus petite valeur de β est: $\frac{4\pi}{180} \cdot 400 = 27.9 \text{ cm.}$

On peut donc confondre cette surface à un rectangle de côtés β et 15 cm.

$$\text{longueur de la membrure} = \frac{800 \text{ cm}}{\sin 52.62^\circ} = 1006 \text{ cm.}$$

$$\begin{aligned} \beta(x) &= \frac{4\pi}{180} \left[(1006 - x) \cos 52.62^\circ + 400 \right] \\ &= 0.042 (1006 - x) + 28 \quad ; \quad x \text{ en cm. } \beta(x) \text{ en cm.} \end{aligned}$$

$$I(x) = \frac{1}{12} \beta(x) \cdot 15^3 = 11.8 (1006 - x) + 7875$$

sollicitations

Charges Permanentes. (G)

$$\begin{aligned} G(x) &= \text{Poids par unité de surface} \times \beta(x) \\ &= 0.0375 \left[0.042 (1006 - x) + 28 \right] \\ &= 2.629 - 0.00157x \end{aligned}$$

Surcharges d'exploitation (P)

$$p'(h) = 0.001h \quad p'(h) \text{ en daN/cm}^2.$$

$$\frac{h}{x} = \sin 52.62^\circ \rightarrow h = x \sin 52.62^\circ = 0.8x$$

$$\rightarrow p'(x) = 0.0008x$$

$$1.5 p'(x) = 0.0012x$$

$$\begin{aligned} 1.5 P(x) &= 1.5 p'(x) \beta(x) = 0.0012x \left[0.042(1006-x) + 28 \right] \\ &= 0.0843x - 5.04 \cdot 10^{-5} x^2. \end{aligned}$$

Membrane (3)

soit " δ " l'angle que fait la membrane avec la surface libre de l'eau.

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{0.6}{3 + 8 \operatorname{cotg} 52.62^\circ} = 0.0658$$

$$\rightarrow \delta = 3.76^\circ.$$

longueur de la membrane: (l)

$$\sin \delta = \frac{60 \text{ cm}}{l} \Rightarrow l = 915 \text{ cm}.$$

$$\alpha(x) = \frac{4\pi}{180} \left[(915-x) \cos 3.76^\circ + 100 \right]$$

$$= 0.070(915-x) + 7$$

avec: $\alpha(x)$ = largeur de la membrane au niveau x.

$$I(x) = \frac{1}{12} \alpha(x) \cdot 10^3 = \frac{1}{12} [0.07(915-x) + 7] \cdot 10^3$$

$$= 5.83(915-x) + 583.$$

sollicitations.

Charges Permanentes (G)

$$G(x) = \text{charge par unite de surface} \times \alpha(x)$$

$$= 0.025 [0.07(915-x) + 7]$$

$$= 1.776 - 0.00175x$$

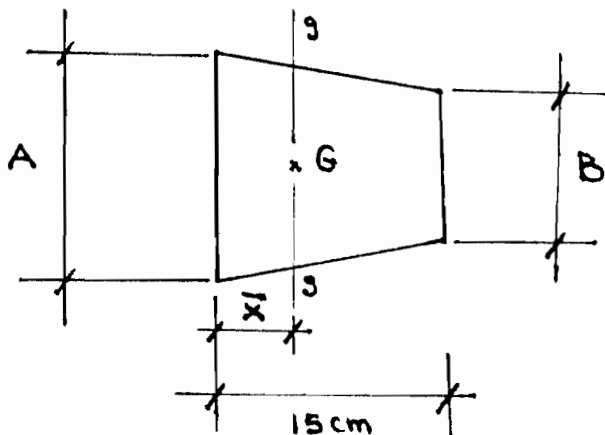
Surcharges d'exploitation (P)

$$1.5P(x) = 1.5 \times 0.03 \times \alpha(x)$$

$$= 3.197 - 0.00315x$$

Membrure (4)

Elle est à section trapézoïdale et constante.



$$A = \frac{4\pi}{180} \times 100 = 7 \text{ cm}$$

$$B = \frac{4\pi}{180} \times 85 = 6 \text{ cm.}$$

$$\bar{x} = \frac{15}{3} \left(\frac{2 \times 6 + 7}{6 + 7} \right) = 7.3 \text{ cm.}$$

$$I_g = \frac{15^3 (A^2 + 4AB + B^2)}{36(A+B)} = 1825 \text{ cm}^4.$$

sollicitations.

$$x < 60 \text{ cm} \rightarrow p(x) = 0$$

$$x \geq 60 \text{ cm} \rightarrow p(x) = 0.001 (x - 60)$$

$$1.5 P(x) = A \times 1.5 \times 0.001 (x - 60)$$

$$= 0.0105 (x - 60)$$

$$= 0.0105x - 0.63.$$

2. DIAGRAMME DES MOMENTS DE FLEXION

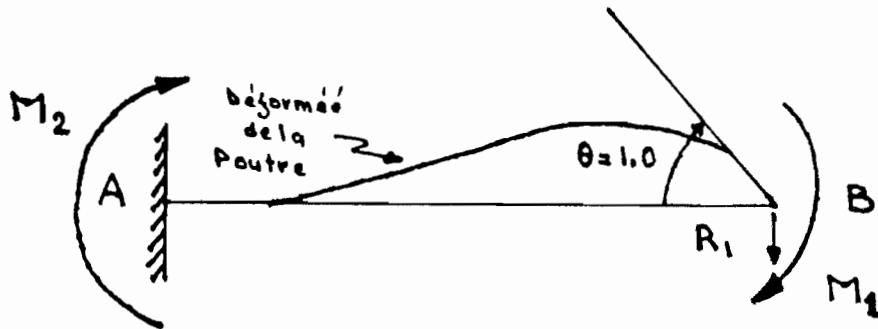
Je vais utiliser la méthode de CROSS

Pour ce faire, il me faut déterminer pour chaque membre deux facteurs:

- Le facteur de Rigidité
- Le facteur de Répercussion.

CALCUL DES FACTEURS de CROSS.

EXPOSÉ de la méthode.



On imprime une rotation unitaire à l'extrémité dont on veut déterminer les facteurs.

Pour l'extrémité B.

Facteur de rigidité = $K_{BA} = M_1$.

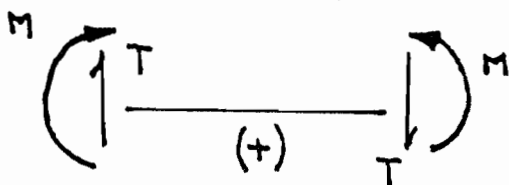
Facteur de Répercussion = F.R. = M_2/M_1 .

Utilisation du théorème de CASTIGLIANO.

$$\Delta = \int_0^l \frac{M}{EI} \frac{\delta M}{\delta R} dx ; \quad \theta = \int_0^l \frac{M}{EI} \frac{\delta M}{\delta M_e} dx$$

$\frac{\delta M}{\delta R}$ et $\frac{\delta M}{\delta M_e}$ fonctions linéaires \Rightarrow la méthode des aires s'applique.

Convention de signe.



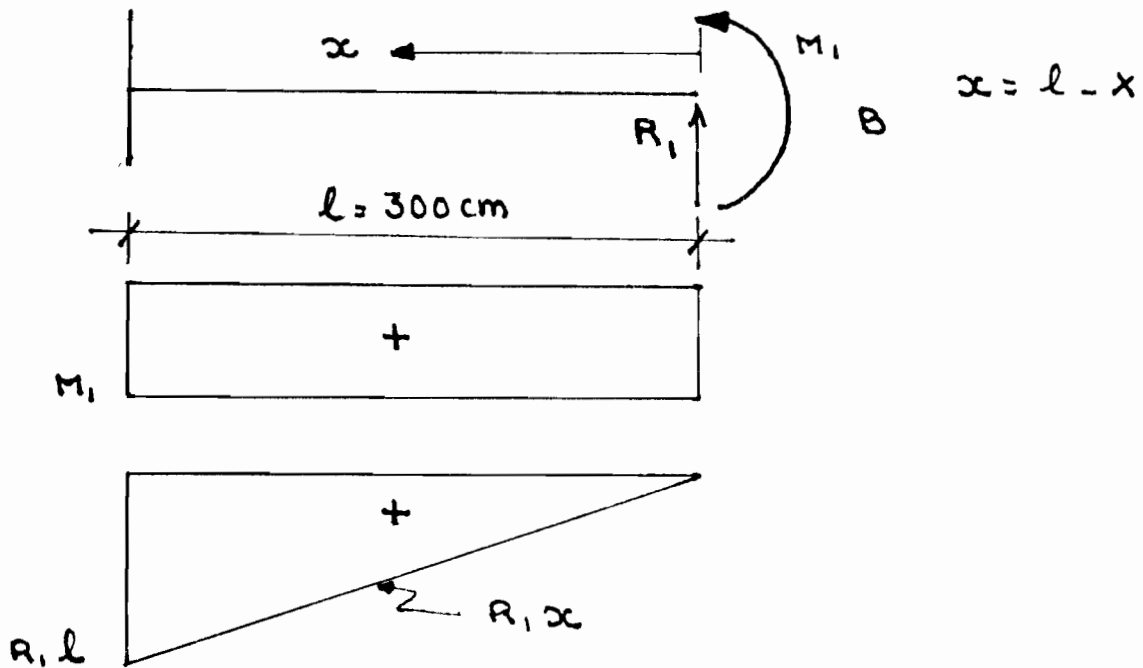
Convention admise
en Résistance des
matériaux

$M (+) \rightarrow$ Fibre inférieure en tension.

N.B. Pour toutes les membrures, on appellera "A" l'extrémité correspondant à $x=0$ et "B" l'extrémité correspondant à $x=l$.

Membrure (1)

1. coefficients de l'extrémité "B"



$$I(x) = 19.7 (100 + x)$$

$$\frac{M_1}{EI} = \frac{M_1}{19.7E (100+x)} = K_1 f_1(x)$$

$$\frac{R_1 x}{EI} = \frac{R_1 x}{19.7E (100+x)} = K_2 f_2(x)$$

$$\text{avec } K_1 = \frac{M_1}{19.7E} \quad ; \quad K_2 = \frac{R_1}{19.7E}$$

$$f_1(x) = \frac{1}{100+x} \quad ; \quad f_2(x) = \frac{x}{100+x}$$

On doit déterminer l'aire entre ces courbes et l'axe xx de $x=0$ à $x=l$.

$$A_1 / K_1 = \int_0^{300} f_1(x) dx = \int_0^{300} \frac{dx}{100+x}$$

$$\int_0^{300} \frac{dx}{ax+b} = \frac{1}{a} \ln(ax+b) \Big|_0^{300}$$

$$a=1 \quad ; \quad b=100$$

$$A_1 / K_1 = \left[1 \ln(x+100) \right]_0^{300} = \ln 400 - \ln 100 = 1.386$$

$$A_1 = 1.386 K_1 \text{ cm}^2 = \frac{1.386}{19.7} \frac{M_1}{E} = 0.07 \frac{M_1}{E}$$

Centre de gravité.

$$\bar{x}_1 \cdot A_1 / K_1 = \int_0^{300} x f_1(x) dx = \int_0^{300} \frac{x dx}{100+x}$$

$$\int_0^{300} \frac{x dx}{ax+b} = \frac{x}{a} - \frac{b}{a^2} \ln(ax+b) \Big|_0^{300}$$

$$a=1 \quad ; \quad b=100$$

$$\int_0^{300} \frac{x dx}{x+100} = \left[x - 100 \ln(x+100) \right]_0^{300}$$

$$= 161.37$$

$$\bar{x}_1 \cdot 1.386 = 161.37 \Rightarrow \bar{x}_1 = 116 \text{ cm.}$$

$$A_1 = 0.07 \frac{\pi_1}{E} \text{ cm}^2 ; \bar{x}_1 = 116 \text{ cm}$$

$$A_2 / K_2 = \int_0^{300} f_2(x) dx = \int_0^{300} \frac{x dx}{100+x} = 161.37$$

$$A_2 = K_2 161.37 = \frac{R}{19.7E} \cdot 161.37 = 0.19 \frac{R}{E} \text{ cm}^2.$$

Centre de gravité.

$$\bar{x}_2 \cdot A_2 / K_2 = \int_0^{300} x \cdot f_2(x) dx = \int_0^{300} \frac{x^2 dx}{100+x}$$

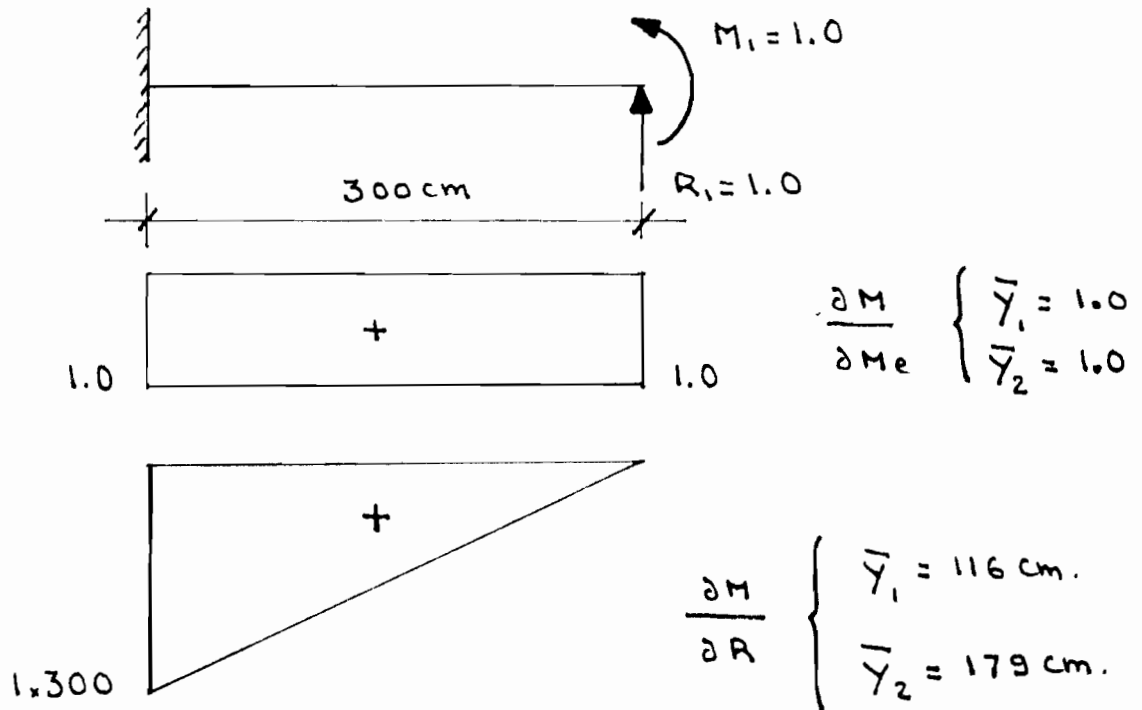
$$\int_0^{300} \frac{x^2 dx}{ax+b} = \frac{1}{a^3} \left[\frac{1}{2} (ax+b)^2 - 2b(ax+b) + b^2 \ln(ax+b) \right] \Big|_0^{300}$$

$$\bar{x}_2 \cdot A_2 / K_2 = 28863$$

$$\bar{x}_2 = \frac{28863}{161.37} = 179 \text{ cm.}$$

$$A_2 = 0.19 \frac{R}{E} \text{ cm}^2 ; \bar{x}_2 = 179 \text{ cm.}$$

moments produits par des sollicitations unitaires



$$\begin{cases} \theta = A_1 \times (1.0) + A_2 \times (1.0) = 0.07 \frac{M_1}{E} + 0.19 \frac{R_1}{E} = 1.0 & (1) \\ \Delta = A_1 \times (116) + A_2 \times (179) = +0.07 \frac{M_1}{E} \times 116 + 0.19 \frac{R_1}{E} \times 179 = 0 & (2) \end{cases}$$

$$(2) \Rightarrow 0.12 M_1 + 1466 R_1 = 0 \quad \text{d'où: } M_1 = -180.54 R_1$$

substituons dans (1)

$$1.0 = -0.07 \times 180.54 \frac{R_1}{E} + 0.19 \frac{R_1}{E} = -4.45 \frac{R_1}{E}$$

$$\rightarrow R_1 = -0.2247 E ; \quad M_1 = 40.570 E$$

1. Facteur de rigidité: $K_{BA} = M_1 = 40.570 E$

Facteur de Répercussion. (F.R.)

$$M_2 + M_1 + R_1 L = 0 \Rightarrow M_2 = -(M_1 + R_1 L)$$

$$M_2 = -(40.570E - 300 \times 0.2247E) / 40.570E \\ = 0.66$$

$$K_{BA} = 40.570E ; \text{ F.R.} = 0.66$$

2. Coefficients de l'extrémité "A".

$$I(x) = 19.7(400 - x)$$

$$K_1 = M_1 / 19.7E ; \quad f_1(x) = 1 / (400 - x)$$

$$K_2 = R_1 / 19.7E ; \quad f_2(x) = x / (400 - x)$$

Par un principe de calcul analogue, on arrive à :

$$A_1 = 0.07 \frac{M_1}{E} ; \quad \bar{x}_1 = 184 \text{ cm.}$$

$$A_2 = 19.7 \frac{R_1}{E} ; \quad \bar{x}_2 = 223 \text{ cm.}$$

en faisant: $\theta = 1.0$ et $\Delta = 0.$, on aura :

$$M_1 = 01.53E ; \quad R_1 = -0.365E ; \quad M_2 = 27.97E .$$

$$K_{AB} = 01.53E ; \quad \text{F.R.} = 0.34$$

Membrure (2).

1. Coefficients de l'extrémité "A"

$$I(x) = 19746 - 11.8x$$

$$K_1 = M_1 / E \quad ; \quad f_1(x) = 1 / (19746 - 11.8x)$$

$$K_2 = R_1 / E \quad ; \quad f_2(x) = x / (19746 - 11.8x)$$

$$A_1 = 0.078 \frac{M_1}{E} \quad ; \quad \bar{x}_1 = 577 \text{ cm.}$$

$$A_2 = 45 \frac{R_1}{E} \quad ; \quad \bar{x}_2 = 724 \text{ cm.}$$

$$M_1 = 63.0E \quad ; \quad R_1 = -0.087E \quad ; \quad M_2 = 24.52E.$$

$$K_{AB} = 63.0E \quad ; \quad F.R. = 0.39$$

2. Coefficients de l'extrémité "B"

$$I(x) = 19746 - 11.8(1006 - x)$$

$$A_1 = 0.078 \frac{M_1}{E} \quad ; \quad \bar{x}_1 = 429 \text{ cm.}$$

$$A_2 = 33.46 \frac{R_1}{E} \quad ; \quad \bar{x}_2 = 618 \text{ cm.}$$

$$M_1 = 42.0E \quad ; \quad R_1 = -0.068E \quad ; \quad M_2 = 26.4E.$$

$$K_{BA} = 42.0E \quad ; \quad F.R. = 0.63$$

Membrane (3).1. coefficients de l'extrémité "A".

$$I(x) = 5917 - 5.83x.$$

$$K_1 = M_1 / E ; \quad f_1(x) = 1 / (5917 - 5.83x)$$

$$K_2 = R_1 / E ; \quad f_2(x) = x / (5917 - 5.83x)$$

$$A_1 = 0.397 \frac{M_1}{E} ; \quad \bar{x}_1 = 620 \text{ cm.}$$

$$A_2 = 246 \frac{R_1}{E} ; \quad \bar{x}_2 = 726 \text{ cm.}$$

$$M_1 = 17.2E ; \quad R_1 = -0.0237E ; \quad M_2 = 4.49E.$$

$K_{AB} = 17.2E ; \quad \text{F.R.} = 0.26.$
--

2. coefficients de l'extrémité "B".

$$I(x) = 5.83(100 + x)$$

$$A_1 = 0.397 \frac{M_1}{E} ; \quad \bar{x}_1 = 295 \text{ cm.}$$

$$A_2 = 117 \frac{R_1}{E} ; \quad \bar{x}_2 = 514 \text{ cm.}$$

$$M_1 = 5.9E ; \quad R_1 = -0.01149E ; \quad M_2 = 4.6E.$$

$K_{BA} = 5.9E ; \quad \text{F.R.} = 0.78$
--

Membrure (4).

Elle est à Inertie constante:

$$K_{AB} = K_{BA} = EI/L$$

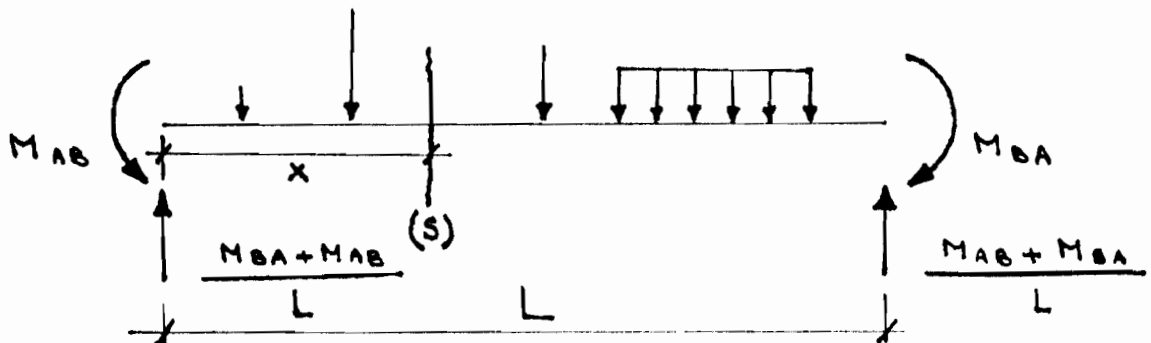
$$I = 1825 \text{ cm}^4 ; L = 860 \text{ cm}$$

$$K_{AB} = K_{BA} = 2.1E ; F.R = 0.5$$

CALCUL DES MOMENTS D'ENCASTREMENT.

Exposé de la Méthode.

soit la poutre suivante.



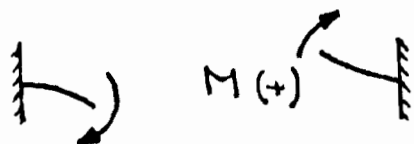
où M_{AB} et M_{BA} sont affectés de leurs signes.

convention de signe.

on adopte la convention de CROSS - GRINTER.

i.e $M(+)$ lorsqu'il tend à faire tourner la

section d'encastrement dans le sens horaire.

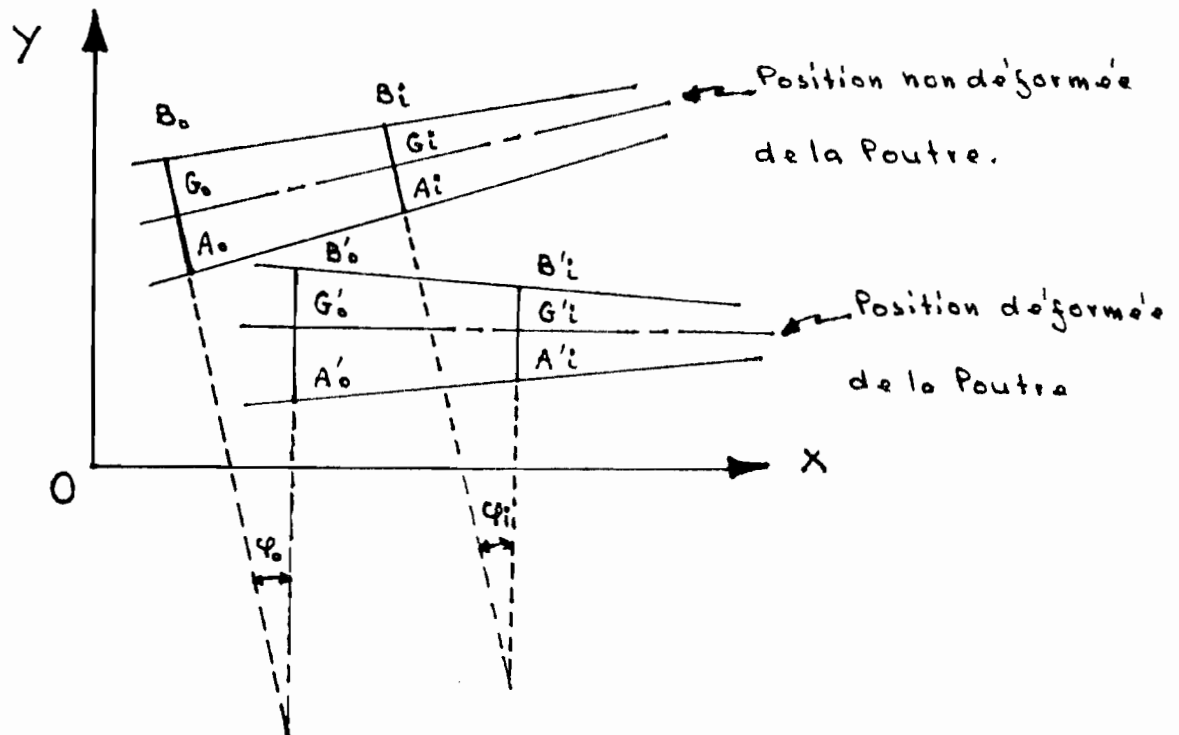


Le moment en (S) peut s'écrire:

$$M = \mu - M_{AB} + \frac{M_{AB} + M_{BA}}{L} \cdot x$$

où μ = moment de flexion dans la section "S"
si la Poutre était supportée sur deux
appuis simples. Il est important de
noter que ce moment obéit à la convention
classique de la Résistance des matériaux.

Formules de Bresse.



u_i et v_i représentent les déplacements du centre de gravité G_i de la section $A_i B_i$ suivant ox et oy .

x_i et y_i représentent les coordonnées de G_i .

Les Formules de BRESSE s'écrivent:

$$(1) u_1 = u_0 + \varphi_0 (Y_1 - Y_0) - Y_1 \int_{s_0}^{s_1} \frac{M}{EI} ds + \int_{s_0}^{s_1} \frac{MY}{EI} ds$$

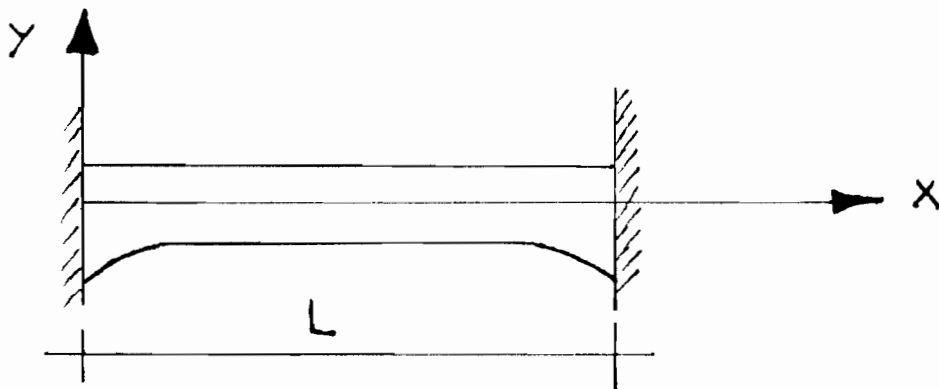
$$(2) v_1 = v_0 - \varphi_0 (X_1 - X_0) + X_1 \int_{s_0}^{s_1} \frac{M}{EI} ds - \int_{s_0}^{s_1} \frac{MX}{EI} ds$$

$$(3) \varphi_1 = \varphi_0 - \int_{s_0}^{s_1} \frac{M}{EI} ds$$

NOTA: ces formules sont valables dans le cas où l'on néglige l'influence des efforts normal et tranchant.

Application à des Poutres Biencastées.

D'abord, on rapporte la Poutre aux axes Ox et Oy .



$$\begin{cases} x_1 = L \\ x_0 = v_0 = v_1 = \varphi_0 = \varphi_1 = 0 \end{cases}$$

L'équation (3) devient: $\int_0^L \frac{M}{I} \cdot dx = 0$ (a)

L'équation (2) devient: $\int_0^L \frac{M}{I} (L-x) \cdot dx = 0$ (b)

(a) et (b) $\Rightarrow \int_0^L \frac{Mx}{I} \cdot dx = 0$ (c)

$$M = \mu - M_{AB} \cdot \frac{L-x}{L} + M_{BA} \cdot \frac{x}{L}$$

Posons:

$$K_{B,1} = \int_0^L \frac{x^2}{I} \cdot dx \quad ; \quad K_{A,1} = \int_0^L \frac{(L-x)^2}{I} \cdot dx$$

$$K = \int_0^L \frac{x(L-x)}{I} \cdot dx ;$$

$$K_B = \int_0^L \frac{\mu x}{I} \cdot dx \quad K_A = \int_0^L \frac{\mu(L-x)}{I} \cdot dx$$

La substitution de ces coefficients dans le système (b) et (c) donne:

$$M_{ab} = \frac{(KK_B - K_A K_{B,1})}{K^2 - K_{A,1} K_{B,1}} \cdot L$$

$$M_{ba} = - \frac{(KK_A - K_B K_{A,1})}{K^2 - K_{A,1} K_{B,1}} \cdot L$$

Donc, la détermination des moments d'encastrement se ramène au calcul des coefficients $K_{B,1}$, $K_{A,1}$, K , K_B et K_A .

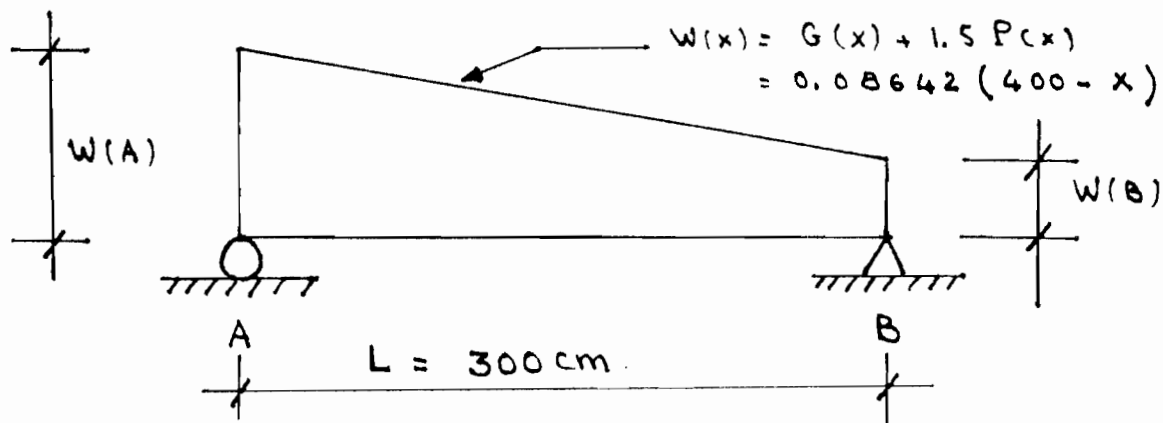
Membrane (1)

$$K_{B,1} = \int_0^{300} \frac{x^2}{19.7(400-x)} \cdot dx = 56806$$

$$K = \int_0^{300} \frac{x(300-x)}{19.7(400-x)} \cdot dx = 19544$$

$$K_{A,1} = \int_0^{300} \frac{(300-x)^2}{19.7(400-x)} \cdot dx = 28846.$$

Détermination de $\mu(x)$ et des coefficients K_A et K_B .

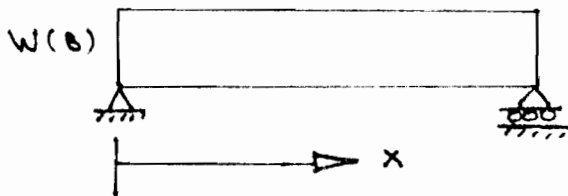


Par suite du principe de superposition, le chargement équivaut à:

- 1) un chargement constant $W = W(B)$, Plus

2) Un chargement linéaire variant de $W(A) - W(B)$ à 0.

Chargement 1.

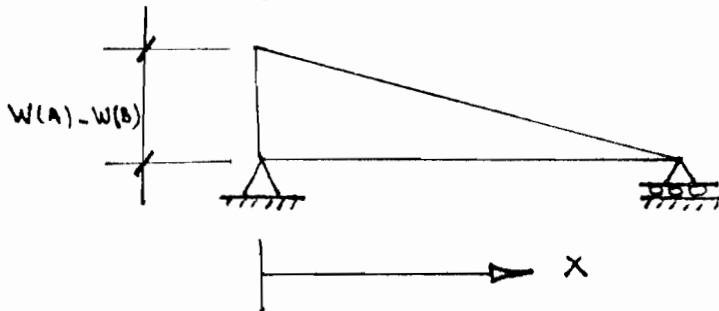


$$M_1(x) = \frac{W(B) \cdot L \cdot x}{2} - \frac{W(B) \cdot x^2}{2}$$

$$W(B) = 0.08642 (400 - 300) = 8.642.$$

$$M_1(x) = 4.321 (300x - x^2)$$

Chargement 2.



si on appelle W la charge totale,

$$\text{on a: } M_2(x) = \frac{W}{3} (L-x) \left(1 - \left(\frac{L-x}{L} \right)^2 \right)$$

$$W = \frac{W(A) - W(B)}{2} \cdot 300 = \frac{34.568 - 8.642}{2} \cdot 300$$

$$\rightarrow M_2(x) = 4.321 (300 - x) \left(\frac{600x - x^2}{300} \right)$$

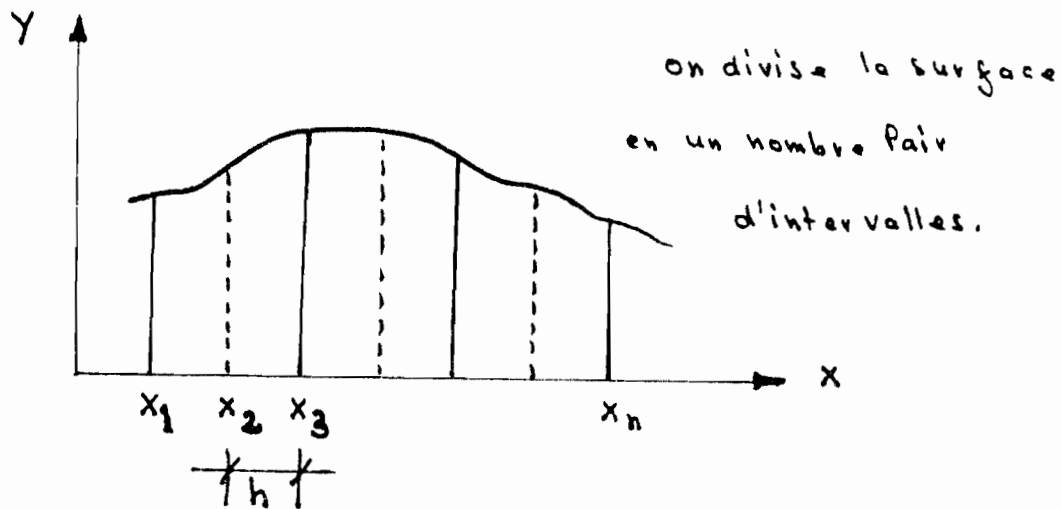
$$\begin{aligned} \mu(x) &= M_1(x) + M_2(x) \\ &= 0.0144 (270000x - 1200x^2 + x^3) \end{aligned}$$

$$K_B = \int_0^{300} \frac{\mu x}{I} \cdot dx \quad ; \quad K_A = \int_0^{300} \frac{(300-x)}{I} \mu \cdot dx.$$

$$\frac{\mu x}{I} = \frac{0.0144 x}{19.7} \left(\frac{270000x - 1200x^2 + x^3}{400 - x} \right)$$

$$\frac{(300-x)\mu}{I} = \frac{0.0144}{19.7} (300-x) \left(\frac{270000x - 1200x^2 + x^3}{400-x} \right)$$

Je calcule les intégrales par utilisation de la méthode de Simpson.



$$\int_{x_1}^{x_n} y \, dx = \frac{h}{3} (Y_1 + 4Y_2 + 2Y_3 + 4Y_4 + \dots + Y_n)$$

$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \dots \quad \downarrow$
 $1 \quad 4 \quad 2 \quad 4 \quad \dots \quad 1$

Divisons notre surface en 10 intervalles égaux de 30 cm chacun. $\Rightarrow h = 30 \text{ cm}$.

X	F (*)	$Y_1 = \frac{4x}{I}$	$\alpha \cdot Y_1^{(1)}$	$Y_2 = \frac{(300-x)^4}{I}$	$\alpha \cdot Y_2$
0	0	0	0	0	0
30	26100	417	1668	3759	15036
60	50400	1560	3120	6241	12482
90	72900	3249	12996	7580	30320
120	93600	5278	10556	7917	15834
150	112500	7401	29604	7401	29604
180	129600	9301	18602	6200	12400
210	144900	10536	42144	4516	18064
240	158400	10420	20840	2605	5210
270	170100	7747	30988	860	3440
300	-	-	-	-	-
			<u>170518</u>		<u>142390</u>

$$(*) F = \frac{270000X - 1200X^2 + X^3}{400 - X}$$

(1) $\alpha = 1, 2 \text{ ou } 4.$

$$K_B = 10 \times 170518 = 1705180.$$

$$K_A = 10 \times 142390 = 1423900.$$

$$M_{ab} = \frac{19544 \times 1705180 - 1423900 \times 56806}{(19544)^2 - 28846 \times 56806} \times 300$$

$$= + 11400 \text{ daN.cm.}$$

$$M_{ba} = - \frac{19544 \times 1423900 - 1705180 \times 28846}{(19544)^2 - 28846 \times 56806} \times 300$$

$$= - 5100 \text{ daN.cm.}$$

Membrane (2).

$$K_{B,1} = \int_0^{1006} \frac{x^2}{19746 - 11.8x} \cdot dx = 32587$$

$$K = \int_0^{1006} \frac{x(1006-x)}{19746 - 11.8x} \cdot dx = 12683$$

$$K_{A,1} = \int_0^{1006} \frac{(1006-x)^2}{19746 - 11.8x} \cdot dx = 20986.$$

Détermination de $f(x)$ et des coefficients K_A et K_B .

Ici, les charges doivent être multipliées par $\cos 52.62^\circ$ pour ne tenir compte que des composantes perpendiculaires à l'axe de la membrane dans la détermination de $f(x)$.

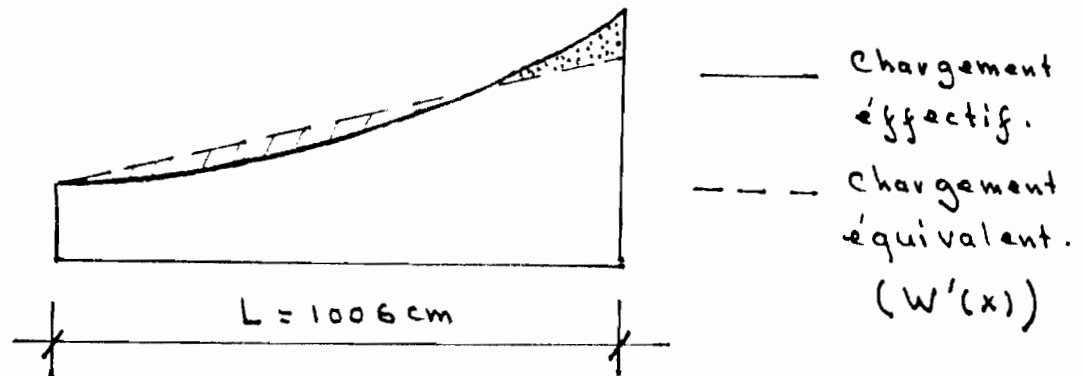
$$\begin{aligned} \cos 52.62^\circ \times G(x) &= 0.607 (2.629 - 0.00157x) \\ &= 1.596 - 0.000953x = G'(x) \end{aligned}$$

A ces charges permanentes, on ajoute les surcharges d'exploitation qui sont perpendiculaires aux parois et majorées par le facteur 1.5.

$$1.5P(x) = 0.0843x - 0.0000504x^2.$$

$$W(x) = G'(x) + 1.5P(x) = 1.596 + 0.0833x - 0.0000504x^2.$$

Approximons par une droite de telle sorte que l'aire sous la courbe des charges soit la même.



$$\int_0^{1006} (0.0833x - 0.0000504x^2) dx = 25047.$$

$$\alpha \times \frac{1006}{2} = 25047 \Rightarrow \alpha = 49.8$$

$$\frac{\alpha}{1006} = 0.0495$$

$$\text{d'où: } W'(x) = 1.596 + 0.0495x.$$

$$W'(B) = W'(1006) = 51.39.$$

$$W'(A) = W'(0) = 1.596.$$

$$\begin{aligned} M_1(x) &= \frac{W'(A) \cdot L \cdot x}{2} - \frac{W'(A) \cdot x^2}{2} \\ &= \frac{1.596 \times 1006 x}{2} - \frac{1.596 x^2}{2} \\ &= 803x - 0.8x^2. \end{aligned}$$

$$M_2(x) = \frac{W}{3} x \left(1 - \frac{x^2}{1006^2} \right)$$

$$\begin{aligned} W &= \frac{W'(B) - W'(A)}{2} \times 1006 = \frac{51.39 - 1.596}{2} \times 1006 \\ &= 25046. \end{aligned}$$

$$M_2(x) = 8349x - 0.00825x^3.$$

$$\mu(x) = M_1(x) + M_2(x) = 9152x - 0.8x^2 - 0.00825x^3.$$

$$\frac{\mu(x)}{I} = \frac{9152x^2 - 0.8x^3 - 0.00825x^4}{11.8(1006 - x) + 7875}.$$

$$\frac{(1006 - x)\mu}{I} = \frac{(1006 - x)(9152x - 0.8x^2 - 0.00825x^3)}{11.8(1006 - x) + 7875}$$

On intègre par la méthode de Simpson en divisant en 10 intervalles égaux.

$$\frac{h}{3} = \frac{1006}{3} = 33.53 \text{ cm.}$$

X	$Y_1 = \frac{\mu x}{I}$	$\alpha \cdot Y_1$	$Y_2 = \frac{(1006-x)\mu}{I}$	$\alpha \cdot Y_2$
0.	0	0	0	0
100.6	4901	19604	44109	176436
201.2	20173	40346	80692	161384
301.8	45917	183668	107140	428560
402.4	80914	161828	121370	242740
503.	122055	488220	122055	488220
603.6	163461	326922	108974	217948
704.2	195023	780092	83581	334324
804.8	199997.	399994	49999	99998
905.4	150599	602396	16752	67008
1006.	-	-	-	-
		<u>3003070</u>		<u>2216618</u>

$$K_B = 33.53 \times 3003070 = 1.0069 \cdot 10^8.$$

$$K_A = 33.53 \times 2216618 = 74323201.$$

$$M_{ab} = \frac{12683 \times 1.0069 \cdot 10^8 - 74323201 \times 32587}{(12683)^2 - 20986 \times 32587} \times 1006$$

$$= + 2202200 \text{ daN}\cdot\text{cm}.$$

$$M_{ba} = - \frac{12683 \times 74323201 - 1.0069 \cdot 10^8 \times 20986}{(12683)^2 - 20986 \times 32587} \times 1006$$

$$= 2251300 \text{ daN}\cdot\text{cm}.$$

Membrure (3).

$$K_{B,1} = \int_0^{915} \frac{x^2}{5.83(915-x) + 583} \cdot dx = 178521.$$

$$K = \int_0^{915} \frac{x(915-x)}{5.83(915-x) + 583} \cdot dx = 46569.$$

$$K_{A,1} = \int_0^{915} \frac{(915-x)^2}{5.83(915-x) + 583} \cdot dx = 60719.$$

Détermination de $\mu(x)$ et des coefficients K_A et K_B .

Ici toutes les charges doivent être multipliées par $\cos 3.76^\circ$

Mais : $\cos 3.76^\circ = 0.997848 \approx 1.$

$$G(x) = 1.776 - 0.00175x.$$

$$1.5 P(x) = 3.197 - 0.00315x.$$

$$W(x) = G(x) + 1.5 P(x) = 4.973 - 0.0049x.$$

$$W(A) = W(0) = 4.973.$$

$$W(B) = W(915) = 0.49.$$

$$W(A) - W(B) = 4.483.$$

$$\Pi_1(x) = 224.175x - 0.245x^2.$$

$$\Pi_2(x) = 1367x - 2.241x^2 + 8.16 \cdot 10^{-4} x^3.$$

$$\mu(x) = \Pi_1(x) + \Pi_2(x) = 1591x - 2.486x^2 + 8.16 \cdot 10^{-4} x^3.$$

$$\frac{\mu x}{I} = \frac{x^2(1591 - 2.486x + 8.16 \cdot 10^{-4}x^2)}{5.83(915 - x) + 583}$$

$$\frac{(915 - x)\mu}{I} = \frac{x(915 - x)(1591 - 2.486x + 8.16 \cdot 10^{-4}x^2)}{5.83(915 - x) + 583}$$

Posons: $F = \frac{1591 - 2.486x + 8.16 \cdot 10^{-4}x^2}{5.83(915 - x) + 583}$

Intégrons par la méthode de Simpson en divisant en 10 intervalles égaux.

$$\frac{h}{3} = \frac{91.5}{3} = 30.5 \text{ cm.}$$

X	F	$Y_1 = \frac{\mu x}{I}$	$\alpha \cdot Y_1$	$Y_2 = \frac{(915-x)\mu}{I}$	$\alpha \cdot Y_2$
0.	-	-	-	-	-
91.5	0.2545	2130	8520	19176	76704
183.	0.2398	8030	16060	32122	64244
274.5	0.2247	16931	67724	39506	158024
366.	0.1997	26751	53502	42319	84638
457.5	0.1921	40207	160828	40207	160828
549.	0.1565	52465	104930	33164	66328
640.5	0.1527	62643	250572	26847	107388
732.	0.1264	67728	135456	16932	33864
823.5	0.08702	59012	236048	6557	26228
			<u>1033640</u>		<u>778246</u>

$$K_B = 30.5 \times 1033640 = 31526020.$$

$$K_A = 30.5 \times 778246 = 23736503.$$

$$M_{ab} = \frac{46569 \times 31526020 - 23736503 \times 178521}{(46569)^2 - 60719 \times 178521} \times 915$$

$$= + 292200 \text{ daN.cm.}$$

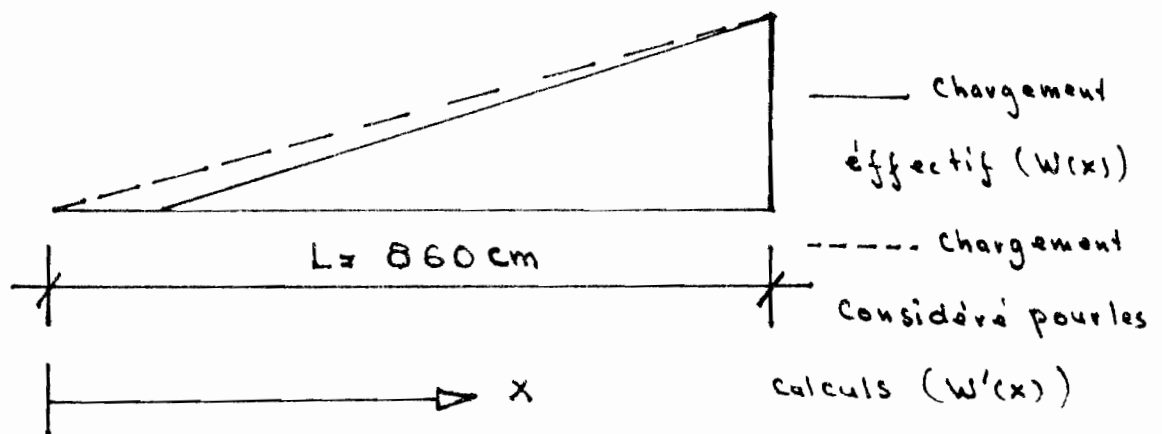
$$M_{ba} = - \frac{46569 \times 23736503 - 31526020 \times 60719}{(46569)^2 - 60719 \times 178521} \times 915$$

$$= - 85400 \text{ daN.cm.}$$

Membrane (4).

$$0 < x \leq 60 \rightarrow W(x) = 0$$

$$x \geq 60 \rightarrow W(x) = 0.0105x - 0.63$$



La différence qu'il y'aura en faisant le calcul des efforts à partir des chargements $W(x)$ ou $W'(x)$ ne sera pas importante étant donné la Proportion entre les longueurs chargées et non chargées.

$$\frac{W(860)}{L} = \frac{8.4}{860} = W'(x) / x$$

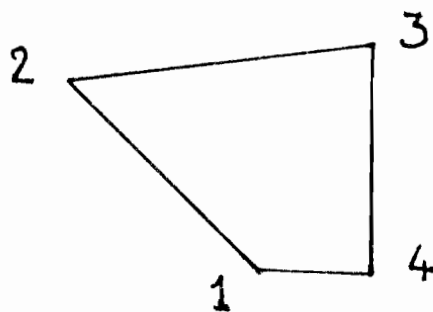
$$\rightarrow W'(x) = -0.00977 x$$

$W'(x)$ est négatif car les charges sont en réalité indiquées dans le sens contraire à celui qui est mentionné ci dessus.

$$M_{ab} = + \frac{(W'(860))(860)^2}{20} = - 310 600 \text{ daN.cm.}$$

$$M_{ba} = - \frac{(W'(860))(860)^2}{30} = + 207 100 \text{ daN.cm.}$$

calcul des facteurs de Distribution (r_{ij}).



noeud 1.

$$r_{12} = \frac{K_{12}}{K_{12} + K_{14}} = \frac{42E}{42E + 81.53E} = 0.34.$$

$$r_{14} = 1 - r_{12} = 0.66.$$

noeud 2.

$$r_{21} = \frac{K_{21}}{K_{21} + K_{23}} = \frac{63E}{63E + 17.2E} = 0.79$$

$$r_{23} = 1 - r_{21} = 0.21$$

noeud 3.

$$r_{32} = \frac{K_{32}}{K_{32} + K_{34}} = \frac{5.9E}{5.9E + 2.1E} = 0.74$$

$$r_{34} = 1 - r_{32} = 0.26$$

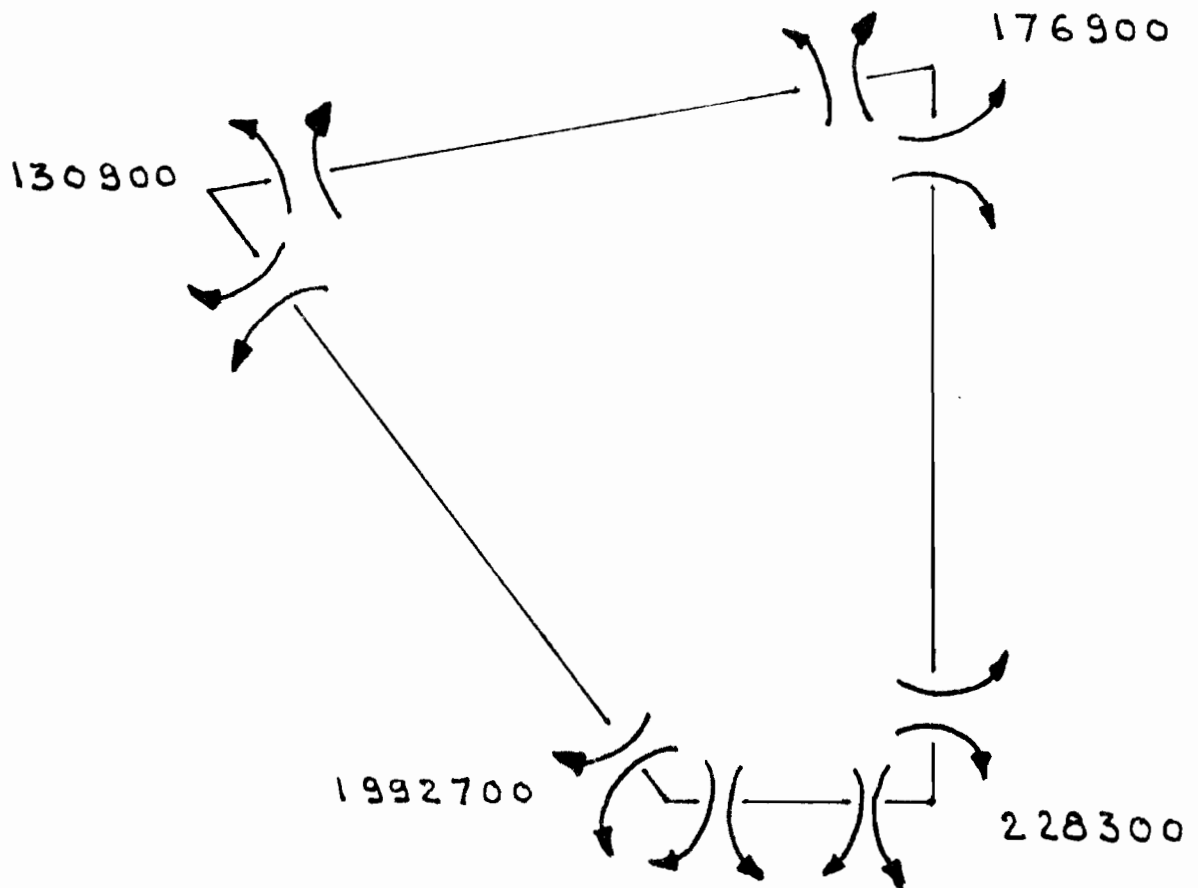
noeud 4

$$r_{43} = \frac{K_{43}}{K_{43} + K_{41}} = \frac{2.1E}{2.1E + 40.57E} = 0.05$$

$$r_{41} = 1 - r_{43} = 0.95$$

1		2		3		4	
14	12	21	23	32	34	43	41
$\begin{array}{r} \leftarrow 0.34 \\ 0.66 \\ \leftarrow 0.66 \end{array}$	$\begin{array}{r} \leftarrow 0.39 \\ 0.34 \\ \leftarrow 0.63 \end{array}$	$\begin{array}{r} \leftarrow 0.48 \\ 0.79 \\ \leftarrow 0.26 \end{array}$	$\begin{array}{r} \leftarrow 0.50 \\ 0.21 \\ \leftarrow 0.50 \end{array}$	$\begin{array}{r} \leftarrow 0.34 \\ 0.74 \\ \leftarrow 0.56 \end{array}$	$\begin{array}{r} \leftarrow 0.34 \\ 0.05 \\ \leftarrow 0.56 \end{array}$	$\begin{array}{r} \leftarrow 0.34 \\ 0.95 \\ \leftarrow 0.56 \end{array}$	
$\begin{array}{r} +11600 \\ -2251300 \\ -768524 \\ +1985560 +1022864 \\ -549940 \end{array}$	$\begin{array}{r} +2202200 \\ +292200 \\ -1970576 \\ -523824 \\ +644404 \end{array}$	$\begin{array}{r} -85400 \\ -310600 \\ -136194 \end{array}$	$\begin{array}{r} +207100 \\ -5100 \end{array}$	$\begin{array}{r} +410050 \\ +144071 \\ -21927 \\ -43855 \end{array}$	$\begin{array}{r} +72036 \\ -833235 \\ +675090 \end{array}$	$\begin{array}{r} -297083 \\ +181432 \\ -761752 \\ -202491 \\ +319839 \end{array}$	$\begin{array}{r} -49422 \\ +190972 \\ -249003 \end{array}$
$\begin{array}{r} +559035 \\ +287988 \\ -164342 \\ -55899 \end{array}$	$\begin{array}{r} +181432 \\ -143331 \\ -38101 \end{array}$	$\begin{array}{r} -9906 \\ -6553 \end{array}$	$\begin{array}{r} -13105 \end{array}$	$\begin{array}{r} +72036 \\ -43855 \end{array}$	$\begin{array}{r} +675090 \\ -833235 \end{array}$	$\begin{array}{r} -297083 \\ +181432 \\ -761752 \\ -202491 \\ +319839 \end{array}$	$\begin{array}{r} +49422 \\ +190972 \\ -249003 \end{array}$
$\begin{array}{r} +145359 \\ +74882 \end{array}$	$\begin{array}{r} +47176 \\ +39889 \end{array}$	$\begin{array}{r} +51139 \\ +17968 \end{array}$	$\begin{array}{r} +8984 \end{array}$	$\begin{array}{r} +72036 \\ -43855 \end{array}$	$\begin{array}{r} +675090 \\ -833235 \end{array}$	$\begin{array}{r} -297083 \\ +181432 \\ -761752 \\ -202491 \\ +319839 \end{array}$	$\begin{array}{r} +49422 \\ +190972 \\ -249003 \end{array}$
		$\begin{array}{r} \text{à suivre} \end{array}$					

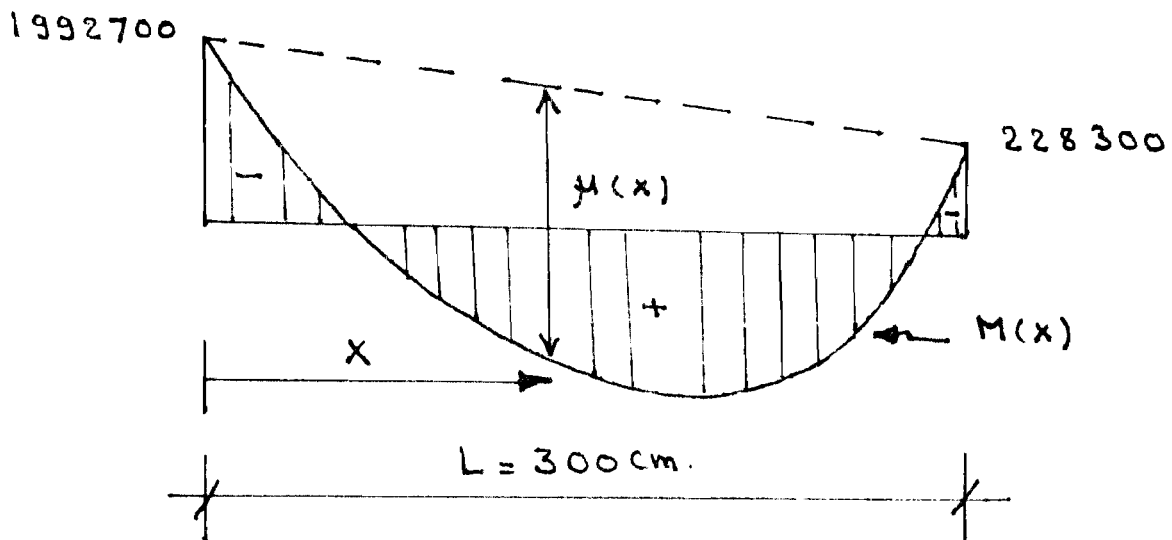
Diagramme des moments. (en daN. Cm).



Il nous faut déterminer M^+ max pour chaque membrure.

Membrure (1)

$$M(x) = 0.0144 (270000x - 1200x^2 + x^3)$$



$$M(x) = y(x) + \frac{1992700 - 228300}{300} \cdot x - 1992700$$

$$= 0.0144 (678403x - 1200x^2 + x^3) - 1992700$$

$$\frac{dM}{dx} = 0 \Rightarrow 3x^2 - 2400x + 678403 = 0$$

Pas de Racines Réelles.

→ Pas de Traction à la fibre inférieure.

Membrane (2)

Par une même Procédure, on trouvera que:

$$M(x) = 7302x - 0.8x^2 - 0.00825x^3 - 130900$$

$$\frac{dM}{dx} = 0 \Rightarrow x = 511 \text{ cm.}$$

$$\text{et } M(511) = 2290700 \text{ daN.cm.}$$

Membrane (3).

$$M(x) = 130900 - 1541x + 2.486x^2 - 8.16 \cdot 10^{-4}x^3.$$

$$\frac{dM}{dx} = 0 \Rightarrow x = 382 \text{ cm.}$$

$$M(382) = -140500 \text{ daN.cm.}$$

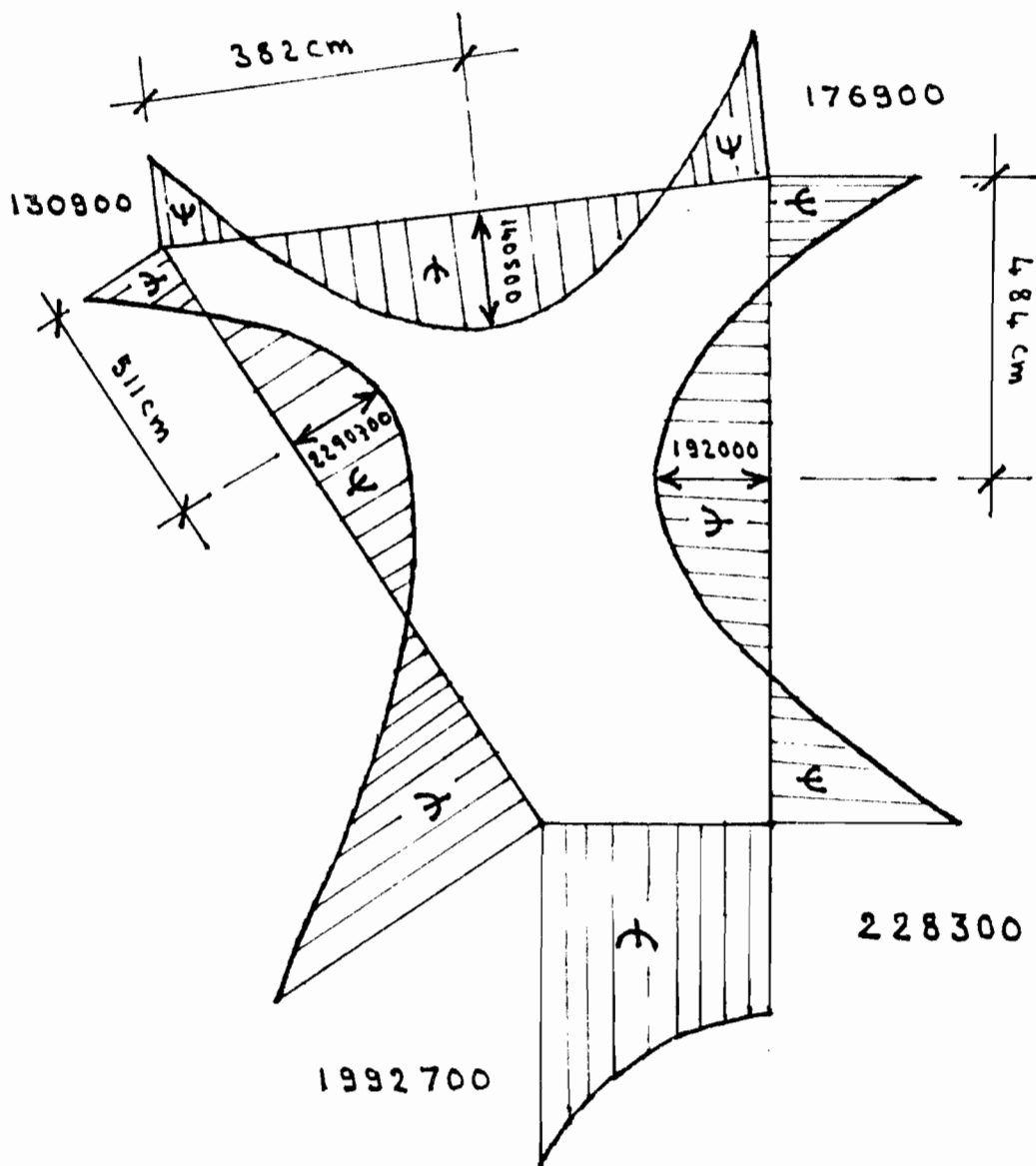
Membrane (4).

$$M(x) = 176900 - 1144x + 0.00163x^3.$$

$$\frac{dM}{dx} = 0 \Rightarrow x = 484 \text{ cm.}$$

$$M(484) = -192000 \text{ daN.cm.}$$

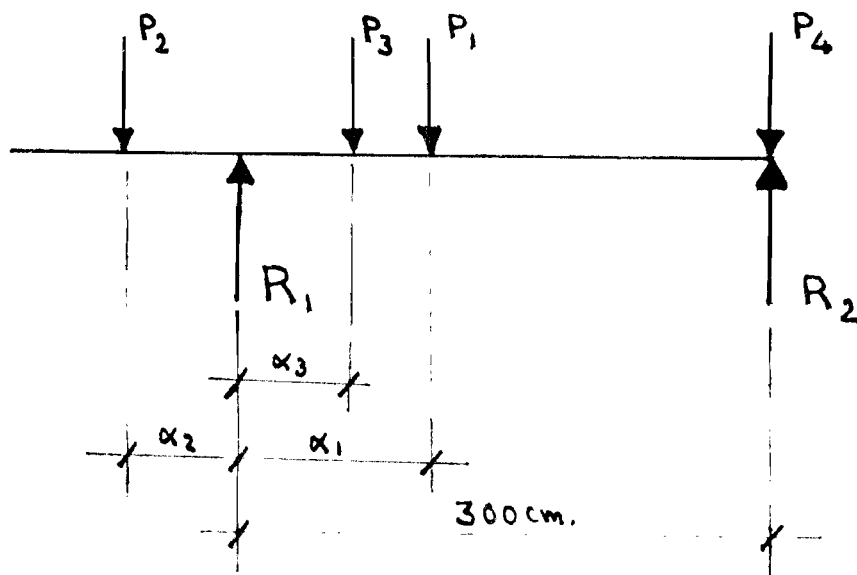
On peut donc tracer le diagramme des moments de flexion.



3. DIAGRAMME des EFFORTS TRANCHANTS.

Ce diagramme sera fait uniquement pour la Poutre circulaire qui supporte la tour.

Pour ce faire, il nous faudra déterminer les charges sur cette Poutre.



P_i = l'ensemble des sollicitations agissant sur la membrure "i"

$$P_1 = \left[\left(\frac{28+7}{2} \right) \cdot 300 \right] \cdot [1.2 + 0.0375] \approx 6500 \text{ daN.}$$

$$\alpha_1 = \frac{300}{3} \cdot \frac{(2 \cdot 7 + 28)}{(7 + 28)} = 120 \text{ cm.}$$

$$P_2 = \frac{(70.3 + 28)}{2} \cdot 1006 \times 0.0375$$

$$+ \int_0^{1006} (0.0843x - 5.04 \cdot 10^{-5} x^2) \cdot dx$$

$$= 27400 \text{ daN.}$$

Determination de α_2 .

$$\frac{1006}{3} \cdot \frac{(2 \times 70.3 + 28)}{(70.3 + 28)} \cdot \cos 52.62^\circ = 349 \text{ cm.}$$

$$1006 \cos 52.62^\circ = 611 \text{ cm.}$$

$$\alpha_2 = \frac{1854 \times 349 + (27400 - 1854) \times 611 / 3}{27400}$$

$$= 213 \text{ cm.}$$

$$P_3 = \frac{(70.3 + 7)}{2} \times 915 \times (0.025 + 0.03)$$

$$= 1950 \text{ daN.}$$

$$\frac{\alpha'_3}{\cos 3.76^\circ} = \frac{915}{3} \cdot \frac{(2 \times 7 + 70.3)}{(7 + 70.3)} \Rightarrow \alpha'_3 = 332 \text{ cm.}$$

$$\alpha_3 = 611 - \alpha'_3 = 279 \text{ cm.}$$

$$P_4 = \frac{1}{2} \cdot 15 (7 + 6) \times 860 \times 0.0025 = 210 \text{ daN.}$$

$$R_1 = 27400 \left(1 + \frac{213}{300}\right) + 1950 \left(1 + \frac{279}{300}\right) \\ + 6500 \left(1 - \frac{120}{300}\right) \approx 54520 \text{ daN.}$$

$$R_2 = 210 + 6500 \times \frac{120}{300} - 27400 \times \frac{213}{300} \\ - 1950 \times \frac{279}{300} \approx -18460 \text{ daN.}$$

{ Pas de colonnes
il y'aura des
Tirants.

Chargement par unité de longueur.

$$\frac{54520 \text{ daN}}{400 \times \frac{4\pi}{180}} = 1952 \text{ daN/cm.} = W(x).$$

$$\text{Longueur } (L) = \frac{\pi \times 30}{180} \times 400 = 209 \text{ cm.}$$

Longueur droite entre 2 colonnes.

$$2 \times 400 \times \sin 15^\circ = 207 \text{ cm.}$$

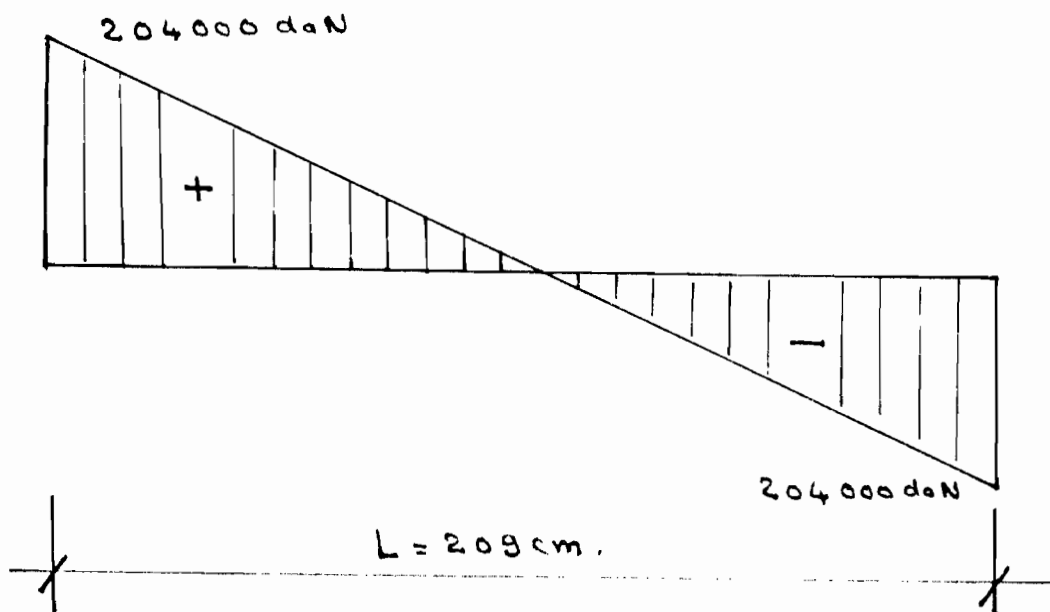
→ On peut assumer que les poutres sont droites.

$$\frac{W(x) L^2}{12} = \frac{1952 \times 209^2}{12} = 7105442 \text{ daN.cm.} \\ \approx 7105500 \text{ daN.cm.}$$

$$\frac{W(x) L^2}{24} \approx 3552800 \text{ daN.cm.}$$

$$M_{\max}^- = 7105500 \text{ daN.cm.} ; M_{\max}^+ = 3552800 \text{ daN.cm.}$$

$$\frac{W(x)L}{2} = \frac{1952 \times 209}{2} \approx 204000 \text{ daN.}$$



CHOIX DES MEMBRURES

1. POTEAUX.

On assume qu'il y'a 24 poteaux situés sur une circonférence de 8 m de diamètre et symétriquement disposés.

Charge supportée par chaque poteau. (S_1)

$$S_1 = \frac{54520 \times 15^\circ}{4^\circ} \approx 204500 \text{ daN.}$$

$$\bar{\sigma}'_{b0} = 0.3 \sigma'_{28} = 0.3 \times 300 = 90 \text{ bars.}$$

$$1 \text{ bar} \approx 1.02 \text{ daN/cm}^2.$$

$$\rightarrow \bar{\sigma}'_{b0} = 90 \times 1.02 = 91.8 \text{ daN/cm}^2.$$

assumons des colonnes carrées $a \times a$.

1. soit $a = 30 \text{ cm}$.

Vérification du flambage.

$$l_c = l_0 = 400 \text{ cm.}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} a^4}{a^2}} = \frac{30}{3.464}.$$

$$\lambda = \frac{l_c}{i} = \frac{400 \times 3.464}{30} = 46.18 < 50 \left\{ \begin{array}{l} \text{le flambage} \\ \text{n'est pas} \\ \text{à craindre.} \end{array} \right.$$

Armatures longitudinales.

$$\sigma'_m = \frac{S_1}{B'} = \frac{204500}{900} = 227.22 \text{ daN/cm}^2.$$

$$\theta_1 = 1.0 \quad (\text{excentricité pratiquement constante.})$$

$$\theta_2 = 1 + \frac{l_c}{4e - 2c} = 1 + \frac{400}{4 \times 30 - 2 \times 3} = 4.50$$

$$\theta_3 = 1 + \frac{2160}{\sigma_{en}} = 1 + \frac{2160}{3340} = 1.65.$$

$$\bar{\omega}'_l(\text{min}) = \frac{1.25}{1000} \theta_1 \theta_2 \theta_3 \frac{\sigma'_m}{\sigma'_{b_0}} = 0.0229 = 2.29\%.$$

$$S_1 = \sigma'_{b_0} B' (1 + n \bar{\omega}'_l) = 91.8 B' (1 + n \bar{\omega}'_l)$$

$$204500 = 91.8 \cdot 900 (1 + 15 \bar{\omega}'_l)$$

$$\Rightarrow \bar{\omega}'_l = 0.098 = 9.8\% > 5\%.$$

D'où On augmente les dimensions des colonnes.

$$2. \quad \underline{a = 37 \text{ cm.}}$$

$$\theta_2 = 1 + \frac{400}{4 \times 37 - 2 \times 3} = 3.81.$$

$$\bar{\omega}'_l(\text{min}) = \frac{1.25}{1000} \times 1 \times 3.81 \times 1.65 \times \frac{227.22}{91.8} = 0.0194 = 1.94\%.$$

$$\bar{\omega}'_l = \left(\frac{204500}{(37)^2 \times 91.8} - 1 \right) \frac{1}{15} = 0.0418 = 4.18\%.$$

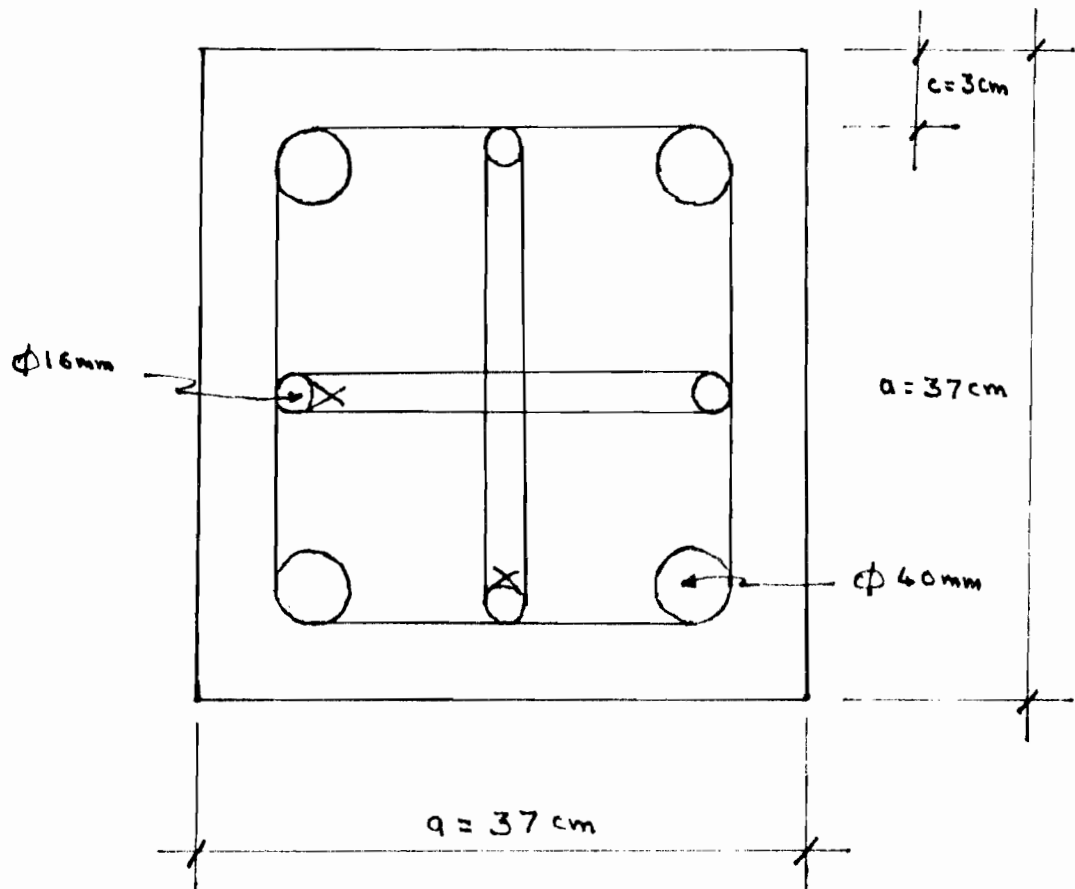
$$\frac{A'}{B'} = \frac{A'}{(37)^2} = 0.0418 \Rightarrow A' = 57.23 \text{ cm}^2.$$

$$4 \phi 40 = 50.26 \text{ cm}^2.$$

$$4 \phi 16 = 8.04 \text{ cm}^2.$$

$$50.26 + 8.04 = 58.3 \text{ cm}^2.$$

donc : disposition des Armatures longitudinales.



Armatures Transversales.

- espacement maximum des cours d'armatures transversales.

(on assume que la proportion des armatures longitudinales présentant des jonctions par recouvrement est inférieure à un demi).

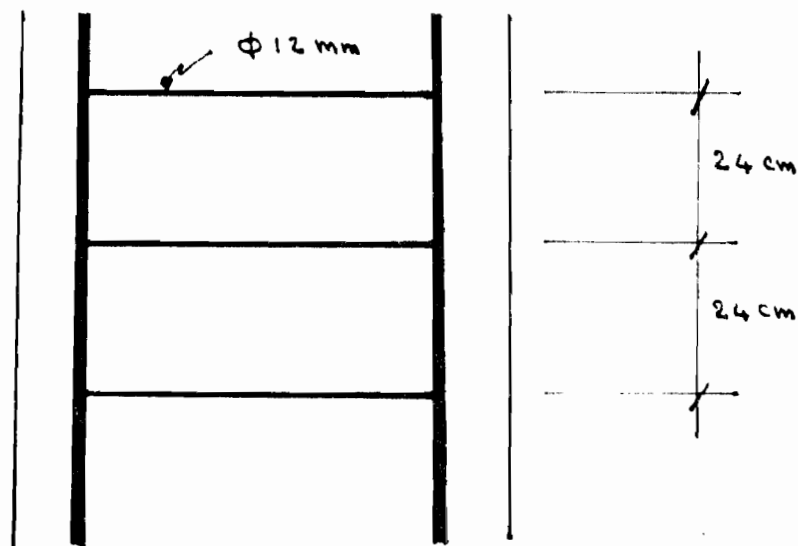
Considérons des Barres de $\phi 12 \text{ mm}$.

$$t_1 = (100 \phi_t - 15 \phi_{l, \max}) \left(2 - \frac{\sigma'_b}{\sigma_{b0}} \right)$$

$$= (100 \times 12 - 15 \times 40) (2 - 1) = 600 \text{ mm}.$$

$$t_2 = 15 \left(2 - \frac{\sigma'_b}{\sigma_{b0}} \right) \phi_{l, \min} = 15 (2 - 1) \times 16 = 240 \text{ mm}.$$

d'où: $\bar{t} = 24 \text{ cm}$.



Tirant intérieur.

$$S_1 = 69300 \text{ daN.}$$

c'est un élément tendu.

Admettant l'hypothèse que le béton ne reprendra aucun effort de traction ; S_1 sera entièrement repris par l'acier.

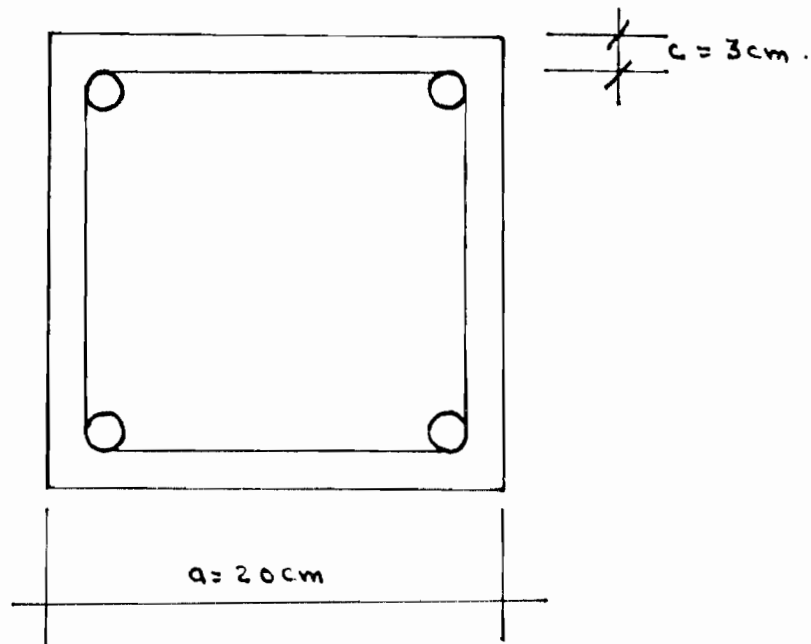
$$S_1 = \bar{\sigma}'_a A'$$

$$\bar{\sigma}'_a = \frac{2}{3} \sigma'_{ex} = \frac{2}{3} \cdot 3340 = 2226 \text{ bars} = 2270 \text{ daN/cm}^2.$$

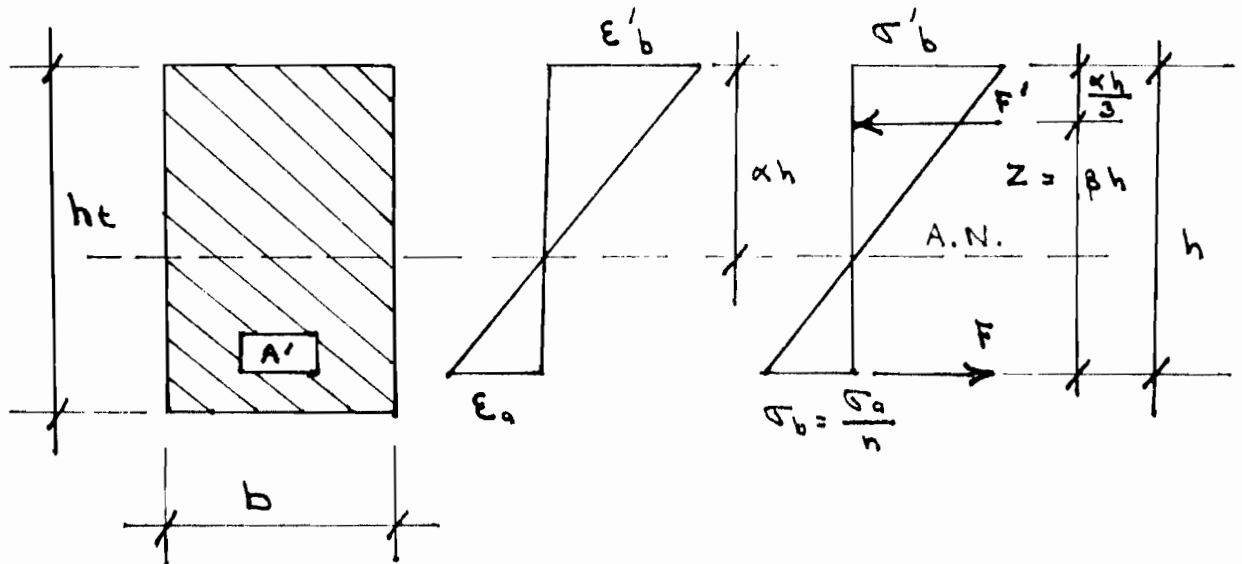
$$A' = \frac{69300}{2270} = 30.53 \text{ cm}^2.$$

$$4 \phi 32 = 32.17 \text{ cm}^2.$$

Adopter des éléments de dimension 20×20 .



2. ELEMENTS FLECHIS.



$$F' = \frac{\sigma'_b}{2} \cdot b \cdot \alpha h.$$

$$F = \sigma_0 \cdot A.$$

$$M_b = F'_b \cdot \beta h = \frac{1}{2} \sigma'_b \alpha \beta h^2.$$

$$M_a = \sigma_0 A \beta h.$$

Position de l'A.N.

$$\frac{\epsilon'_b}{\alpha h} = \frac{\epsilon_0}{h - \alpha h} \rightarrow \frac{\epsilon'_b}{\epsilon_0} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

$$\frac{\sigma'_b / E_b}{\sigma_0 / E_0} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = \frac{\sigma'_b}{\sigma_0} \cdot n \quad (n = \frac{E_0}{E_b} \approx 15)$$

$$\rightarrow \sigma_0 = \frac{\sigma'_b}{\alpha} \cdot n (1 - \alpha)$$

$$\beta h = h - \frac{\alpha h}{3} = h(1 - \alpha/3) \Rightarrow \beta = 1 - \frac{\alpha}{3}.$$

Paroi inclinée.

1. Extrémité inférieure.

$$M_b = \frac{1}{2} \bar{\sigma}'_b \alpha (1 - \alpha/3) b h^2.$$

$$M_b = 1992700 \text{ daN.cm.}$$

$$b = 28 \text{ cm.} \quad h_t = 15 \text{ cm}$$

$$h = 15 - 4 = 11 \text{ cm.}$$

$$1992700 = \frac{1}{2} \times 91.8 \alpha (1 - 0.33\alpha) 28 \times 11^2.$$

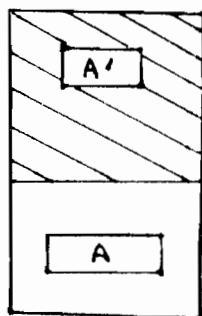
$$\alpha (1 - 0.33\alpha) = 12.8.$$

$$-0.33\alpha^2 + \alpha - 12.8 = 0$$

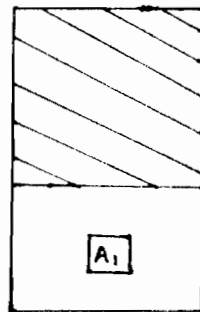
$$\Delta = 1^2 - 4 \times 12.8 \times 0.33 < 0.$$

→ Je vais utiliser des armatures de Compression.

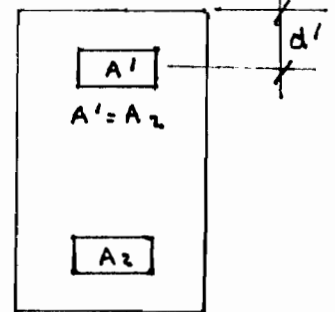
Principe:



=



+



M

=

M₁

+

M₂

$$M_1 = \frac{1}{2} \bar{\sigma}'_b \alpha \beta b h^2$$

$$\alpha = \frac{\eta}{\eta + \kappa} \quad h = 15.$$

$$\beta = \frac{\bar{\sigma}'_a}{\bar{\sigma}'_b} = \frac{2/3 \times 3340}{90} = 24.7.$$

$$\rightarrow \alpha = 0.378. \quad \beta = 1 - \alpha/3 = 0.874.$$

$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot 91.8 \cdot 0.378 \times 0.874 \times 28 \times 12^2$$

$$= 61142 \text{ daN.cm.}$$

$$M_1 = \bar{\sigma}_0 \beta h A_1 \Rightarrow A_1 = \frac{M_1}{\bar{\sigma}_0 \beta h}$$

$$A_1 = \frac{61142}{\frac{2}{3} \times 3340 \times 1.02 \times 0.874 \times 12} = 2.57 \text{ cm}^2.$$

$$M_2 = 1992700 - 61142 = 1931558 \text{ daN.cm.}$$

$$A_2 = \frac{M_2}{\bar{\sigma}_0 (h - d')} = 94.50 \text{ cm}^2.$$

Avec ce pourcentage d'armatures, les clauses sur les fissurations (qui, soulignons-le, sont très préjudiciables) ne seront pas satisfaites.

Les épaisseurs de parois choisies se sont avérées très petites.

Modifions les dimensions des parois et dalles de manière à ce que leur poids propre soit environ le double.

L'augmentation de poids sera donc:

$$286531 \text{ daN.}$$

L'augmentation des sollicitations pondérées sera donc de:

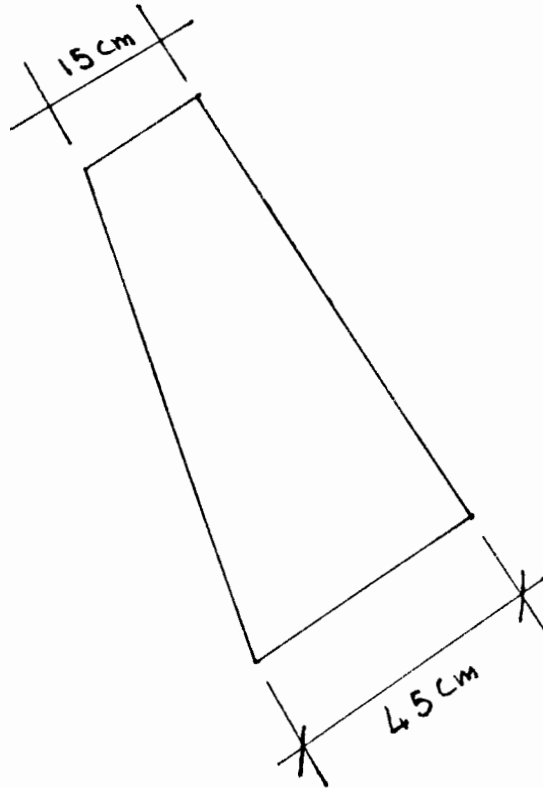
$$\frac{286531}{1643976} = 0,17 = 17\%.$$

On assume que l'effet des sollicitations pondérées va augmenter d'autant.

Correction des moments.

$1992700 \times 17\%$	$=$	2331500	daN.cm.
$130900 \times 17\%$	$=$	153200	"
$176900 \times 17\%$	$=$	207000	"
$228300 \times 17\%$	$=$	267100	"
$2290700 \times 17\%$	$=$	2680100	"
$140500 \times 17\%$	$=$	164400	"
$192000 \times 17\%$	$=$	224700	"

Paroi inclinée.



1. Extrémité inférieure.

$$M = 2331500 \text{ daN.Cm.}$$

J'utilise des armatures de Compression.

$$\begin{aligned} M_1 &= \frac{1}{2} \times 91.8 \times 0.378 \times 0.874 \times 28 \times 38^2. \\ &= 613114 \text{ daN.Cm.} \end{aligned}$$

$$A_1 = \frac{M_1}{\sigma_a \beta h} = \frac{613114}{2271 \times 0.874 \times 38} = 8.13 \text{ cm}^2.$$

$$M_2 = 2331500 - 613114 \approx 1718360 \text{ daN.cm.}$$

$$A_2 = \frac{M_2}{\overline{\sigma}_a (h - d')} = \frac{1718360}{2271 \times 31} = 24.41 \text{ cm}^2.$$

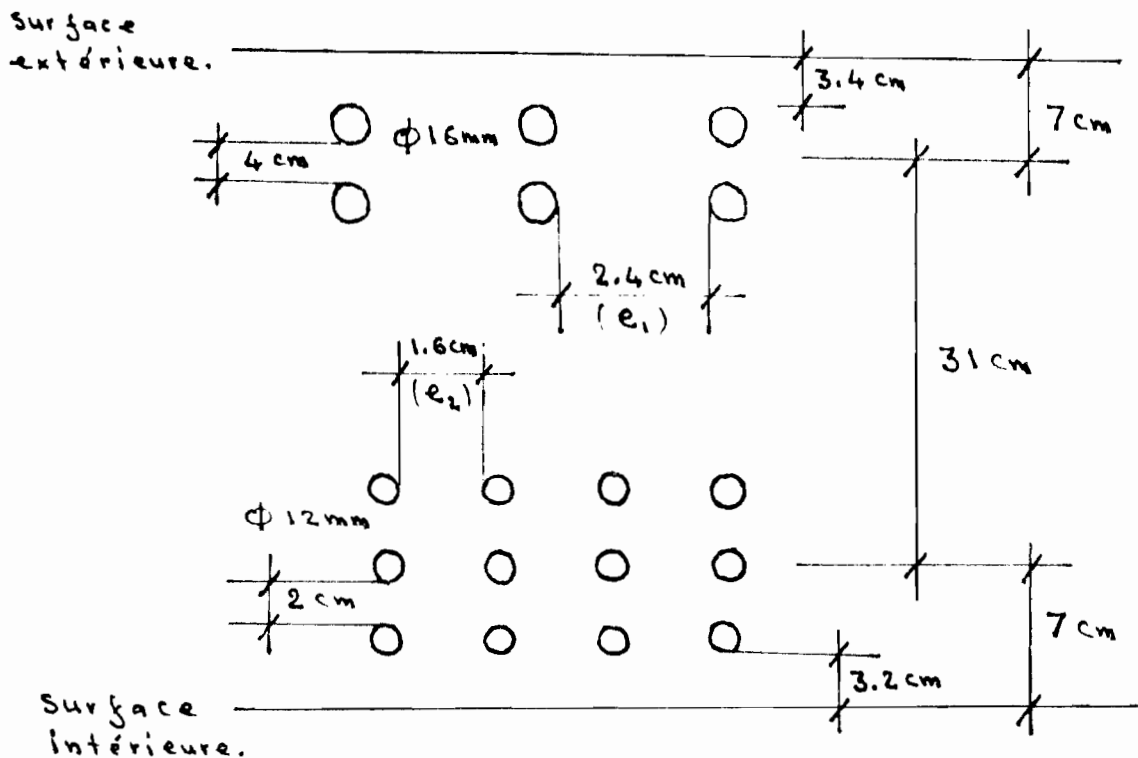
$$A = 24.41 + 8.13 = 32.54 \text{ cm}^2.$$

→

$$A' = 24.41 \text{ cm}^2.$$

$$30 \phi 12 = 33.93 \text{ cm}^2$$

$$14 \phi 16 = 28.14 \text{ cm}^2.$$



$$e_1 = \frac{28 - 7 \times 1.6}{7} = 2.4 \text{ cm.} ; \quad e_2 = \frac{28 - 10 \times 1.2}{10} = 1.6 \text{ cm.}$$

Vérification des fissures.

$$\bar{\omega}_f = \frac{A}{B_f}$$

$$B_f = 28 [2 (0.6 + 2 + 1.2 + 3.2)] = 392 \text{ cm}^2.$$

$$A = 33.93 \text{ cm}^2.$$

$$\rightarrow \bar{\omega}_f = 0.0865$$

$$\eta = 1.0 ; \phi = 12 \text{ mm} ; \bar{\sigma}_b = 7.5 \text{ bars.}$$

l'ouverture des fissure est très préjudiciable

d'où: $K = 0.5 \cdot 10^6$.

$$\sigma_1 = K \frac{\eta}{\phi} \frac{\bar{\omega}_f}{1 + 10\bar{\omega}_f} = 1932 \text{ bars.}$$

$$\sigma_2 = 2.4 \sqrt{\frac{\eta}{\phi} K \bar{\sigma}_b} = 1341 \text{ Bars.}$$

$$\sigma_{\text{max}} = 1932 + 300\eta = 2232 \text{ Bars.}$$

$$\bar{\sigma}_a = \frac{2}{3} \times 3340 = 2226 \text{ Bars} < 2232 \text{ Bars.}$$

d'où: la condition de non fissuration est satisfaite.

2. Partie médiane de la travée.

$$M = 2680100 \text{ daN.cm.}$$

$$M_1 = \frac{1}{2} \bar{\sigma}_b \alpha \beta b h^2.$$

$$\alpha = 0.378 ; \quad \beta = 0.874.$$

$$h_t = 15 \text{ cm} + \frac{30}{1006} \times 511 = 30.2 \text{ cm.}$$

$$\text{Soit } h = h_t - 4 \text{ cm} = 26.2 \text{ cm.}$$

$$\begin{aligned} M_1 &= \frac{1}{2} \times 91.8 \times 0.378 \times 0.874 \times 49 \times 22.2^2 \\ &= 366200 \text{ daN.cm.} \end{aligned}$$

$$A_1 = \frac{366200}{2271 \times 0.874 \times 26.2} = 7.05 \text{ cm}^2.$$

$$M_2 = 2680100 - 366200 = 2313900 \text{ daN.cm.}$$

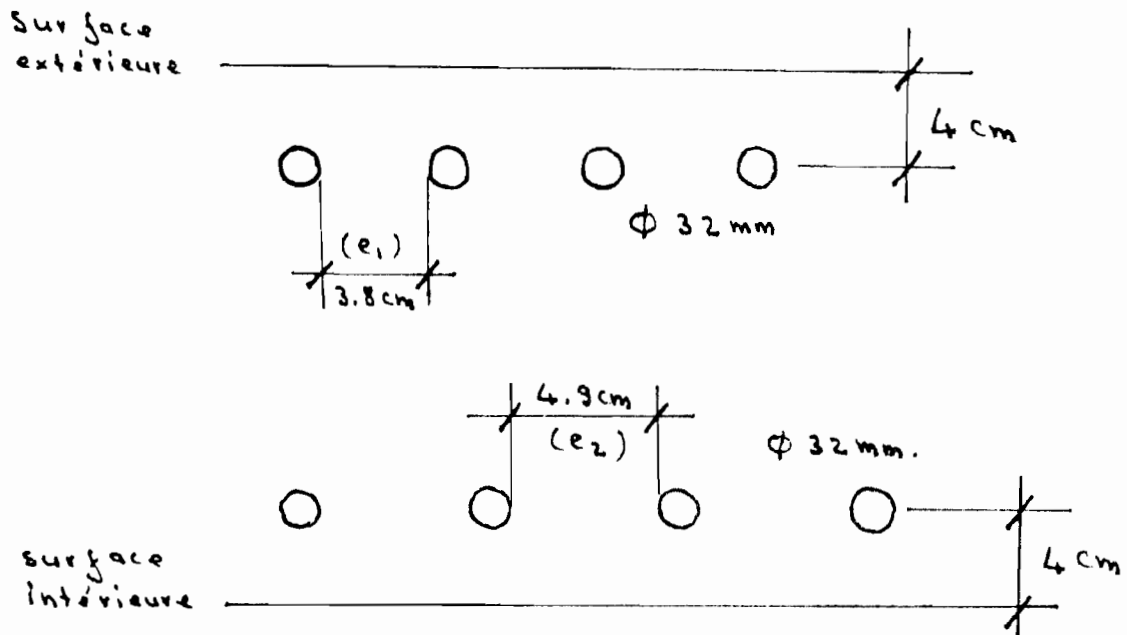
$$A_2 = \frac{2313900}{2271 \times 22.2} = 45.90 \text{ cm}^2.$$

$$A' = 45.90 \text{ cm}^2.$$

$$A = A_1 + A_2 = 52.95 \text{ cm}^2.$$

$$6 \phi 32 = 48.25 \text{ cm}^2 ; \quad 7 \phi 32 = 56.29 \text{ cm}^2.$$

Nota: Pour cette Partie, la fissuration n'est pas à craindre.



$$e_1 = \frac{49 - 7 \times 3.2}{7} = 3.8 \text{ cm} \quad ; \quad e_2 = \frac{49 - 6 \times 3.2}{6} \approx 4.9 \text{ cm.}$$

3. Partie supérieure.

$$b = 0.0422 \times 1006 + 28 = 70 \text{ cm.}$$

$$h_t = 15 \text{ cm.}$$

Je raisonne comme si le béton comprimé était pleinement utilisé.

$$\alpha = 0.378 \quad ; \quad \beta = 0.874.$$

$$h = 15 - 4 = 11 \text{ cm.}$$

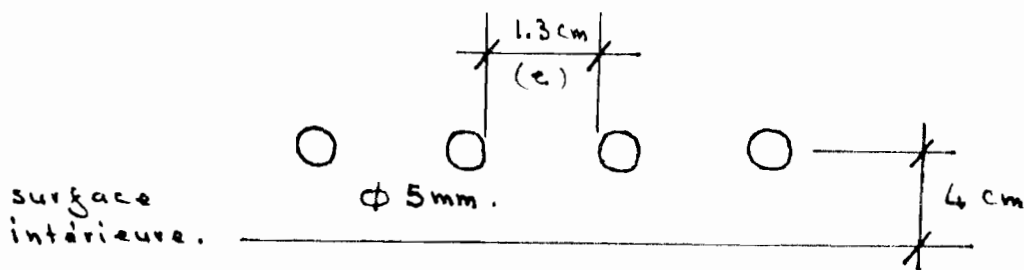
$$A = \frac{M}{\bar{\sigma}_a \beta h} = \frac{153200}{2271 \times 0.874 \times 11} = 7.02 \text{ cm}^2.$$

$$37 \phi 5 = 7.25 \text{ cm}^2.$$

$$\text{espacement (e)} = \frac{70 - 37 \times 0.5}{37} = 1.3 \text{ cm.}$$

Surface
extérieure. _____

Armatures de Répartition.



Vérification de la fissuration.

$$\bar{\omega}_f = \frac{7.25}{70 \times 8} = 0.0129$$

$$K = 0.5 \cdot 10^6 ; \eta = 1.0 ; \phi = 5 ; \bar{\sigma}_b = 7.5 \text{ bars.}$$

$$\sigma_1 = 0.5 \cdot 10^6 \times \frac{1}{5} \times \frac{0.0129}{1 + 10 \times 0.0129} = 1142. \text{ bars.}$$

$$\sigma_2 = 2.4 \sqrt{\frac{1}{5} \times 0.5 \cdot 10^6 \times 7.5} = 2078 \text{ bars.}$$

$$2078 + 300\eta = 2378 \text{ bars} > 2226 \text{ bars.}$$

⇒ la condition de Non Fissuration est satisfaite.

coupole.

on double l'épaisseur
d'où $ht = 20 \text{ cm}$.

1. Partie supérieure.

$$M = 207000 \text{ daN.cm.}$$

$$b = 7.0 \text{ cm.}$$

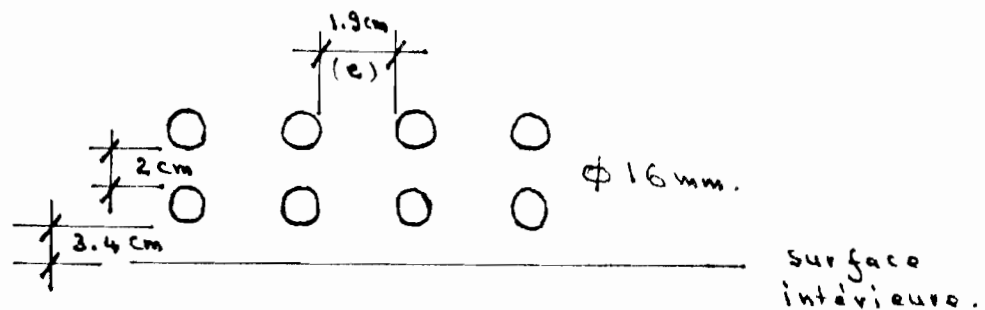
$$h = 20 - 6 = 14 \text{ cm.}$$

$$\alpha = 0.378 \text{ cm} ; \quad \beta = 0.874 \text{ cm.}$$

$$A = \frac{207000}{2271 \times 0.874 \times 14} = 7.45 \text{ cm}^2.$$

$$4 \Phi 16 = 8.04 \text{ cm}^2$$

$$\text{espacement } (e) = \frac{7 - 2 \times 1.6}{2} = 1.9 \text{ cm.}$$



2. Partie médiane de la Travée.

$$M = 164\,400 \text{ daN.cm.}$$

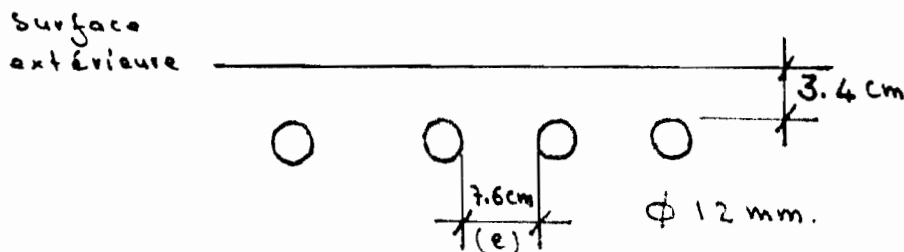
$$b = 0.07(915 - 382) + 7 = 44 \text{ cm.}$$

$$h = 20 - 4 = 16 \text{ cm.}$$

$$A = \frac{164\,400}{22\,71 \times 0.874 \times 16} = 5.18 \text{ cm}^2.$$

$$5 \phi 12 = 5.65 \text{ cm}^2.$$

$$\text{espacement (e)} = \frac{44 - 5 \times 1.2}{5} = 7.6 \text{ cm.}$$



surface
intérieure.

3. Partie inférieure.

elle sera armée exactement comme la
partie supérieure de la Paroi inclinée.

Paroi verticale.1. Fibres tendues en contact avec l'eau.

$$M = 267100 \text{ daN.cm.}$$

$$b = 7 \text{ cm.}$$

$$h_t = 30 \text{ cm. (on a doublé l'épaisseur).}$$

$$h = h_t - 6 = 24 \text{ cm.}$$

$$\alpha = 0.378 \quad ; \quad \beta = 0.874.$$

$$A = \frac{267100}{2271 \times 0.874 \times 24} = 5.61 \text{ cm}^2.$$

$$9 \phi 10 = 7.06 \text{ cm}^2.$$

$$e = \frac{7 - 3 \times 1.0}{3} = 1.3 \text{ cm.}$$

Fissuration.

$$\bar{\omega}_g = \frac{7.06}{12 \times 7} = 0.084.$$

$$\eta = 1.0 \quad ; \quad \phi = 10 \quad ; \quad K = 0.5 \cdot 10^6 \quad ; \quad \bar{\sigma}_b = 7.5 \text{ bars.}$$

$$\sigma_1 = 0.5 \cdot 10^6 \frac{1}{10} \frac{0.084}{1 + 10 \times 0.084} = 2282 \text{ Bars.}$$

$$2282 > 2226 \Rightarrow \text{Condition de Non}$$

Fissuration Satisfaite.

2. Fibres comprimées en contact avec l'eau.

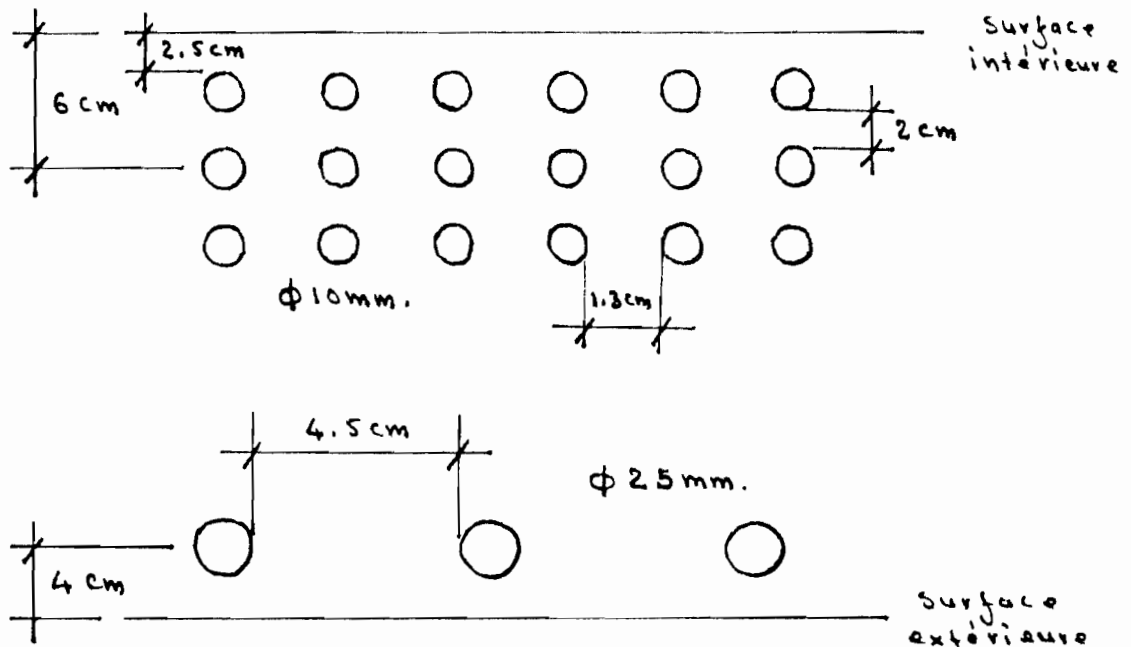
$$M = 224\,700 \text{ daN} \cdot \text{cm}.$$

$$h = 30 - 4 = 26 \text{ cm}.$$

$$A = \frac{224\,700}{22\,71 \times 0.874 \times 26} = 4.36 \text{ cm}^2.$$

$$1 \text{ } \phi 25 = 4.91 \text{ cm}^2.$$

$$\text{espacement} = e' = 7 - 2.5 = 4.5 \text{ cm}.$$



Radier de la tour.

$$M_1 = 2331500 \text{ daN.cm.}$$

$$M_2 = 267100 \text{ daN.cm.}$$

Ici, on adopte une épaisseur uniforme de 45 cm (épaisseur pour laquelle le dimensionnement de la partie inférieure de la Poutre inclinée a été fait).

L'extrémité où agit M_1 sera armée exactement comme la partie inférieure de la Poutre inclinée.

30 $\phi 12$ réparties sur 3 lits, pour une largeur de 28 cm. (cf Anté).

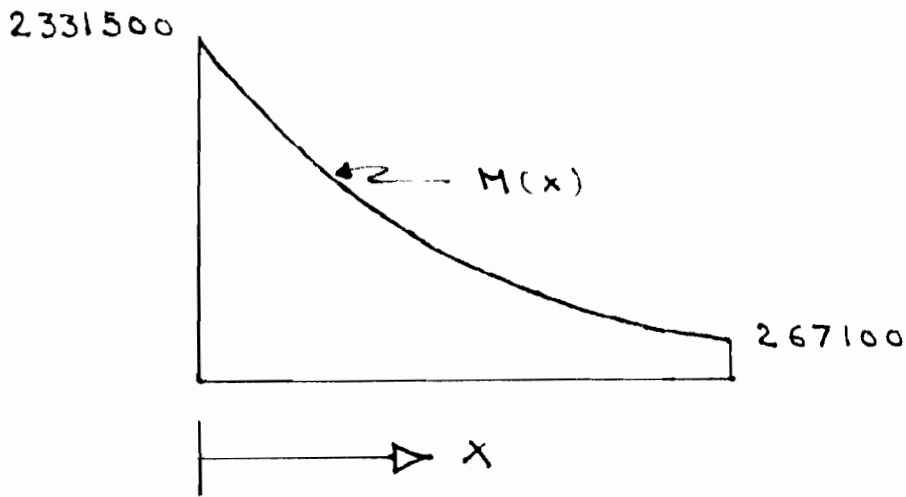
Extrémité où agit M_2 .

$$A = \frac{267100}{2271 \times 0.674 \times 41} = 3.28 \text{ cm}^2.$$

$$3 \phi 12 = 3.39 \text{ cm}^2.$$

Épure d'arrêt des armatures.

D'abord, calculons $\Pi(x)$.



en faisant la même dérivation Mathématique que pour la détermination des moments Maximum à la Partie médiane des Travées, On auro que:

$$M(x) = -0.01527 (720622x - 1200x^2 + x^3) + 2331500$$

On se propose d'arrêter 6 barres de Traction à tous les 50 cm (2 barres à chaque lit) et 3 barres de Compression à tous les 50 cm (Alternativement "1 au lit interne - 2 au lit externe" et "1 au lit externe - 2 au lit interne")

X (cm)	M (daN.cm)	$\frac{\Delta M}{M} \times 100$	$\frac{\Delta A}{A} \times 100$	$\frac{\Delta A'}{A'} \times 100$
0	2331500			
50	1825200	21.7	20	21.4
100	1399000	23.5	"	"
150	1041700	25.5	"	"
200	741500	28.8	"	"
250	488000	34.2	"	"
300	267100	45.2	"	"

Le Tableau montre que les sections d'armatures diminuent moins vite que les moments.

en Considérant que la hauteur utile est sensiblement la même tout le long de la dalle, on peut comprendre que cette façon d'arrêter les barres est largement sûre. De plus, elle nous permet de pouvoir assurer tout le long de la membrure des espacements (entre les barres) supérieurs à 1.2 cm.

Poutre circulaire.

$$M_{\max}^+ = 7105500 \text{ daN.cm.}$$

$$M_{\max}^- = 3552800 \text{ daN.cm.}$$

$$M_b = \frac{1}{2} \bar{\sigma}_b' \alpha \beta b h^2.$$

$$\alpha = 0.377.$$

$$\beta = 0.874.$$

$$M_{\max}^- = 7105500 = 15.12 b h^2.$$

Condition supplémentaire:

$$b = \frac{1}{2} h \Rightarrow h = 97.8 \text{ cm.}$$

J'en fixe des dimensions plus petites et
je vais introduire des armatures de compression.

$$\text{soit } h - d' = 30 \text{ cm.}$$

$$d' = 9 \text{ cm.}$$

$$b = 30 \text{ cm.}$$

$$M_1 = \frac{1}{2} \times 21.8 \times 0.377 \times 0.874 \times 30 \times 39^2$$

$$= 690106 \text{ daN.cm.}$$

$$A_1 = \frac{M_1}{\bar{\sigma}_a \beta h} = \frac{690106}{2226 \times 0.874 \times 39} = 9.10 \text{ cm}^2.$$

$$M_2 = 7105500 - 690106 = 6415394 \text{ daN.cm.}$$

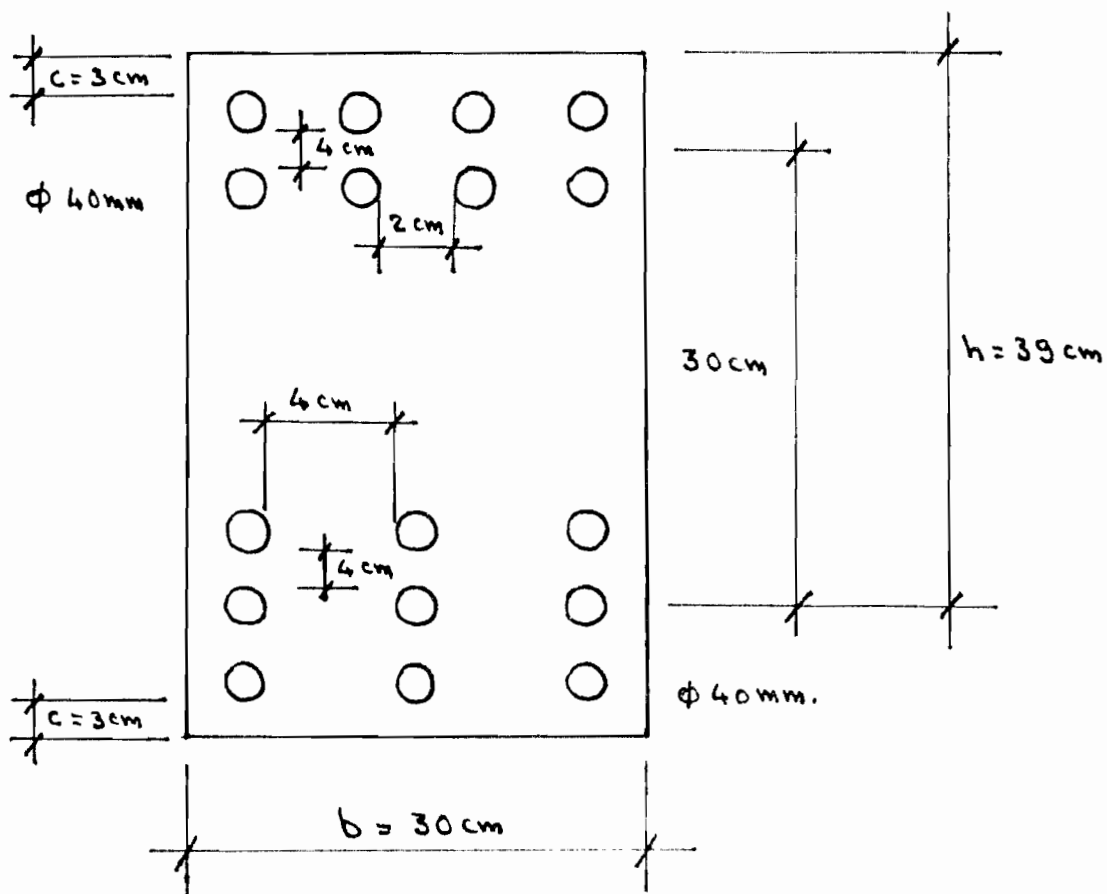
$$A_2 = \frac{M_2}{\bar{\sigma}_a (h - d')} = 96.07 \text{ cm}^2.$$

$$A = A_1 + A_2 = 105.17 \text{ cm}^2.$$

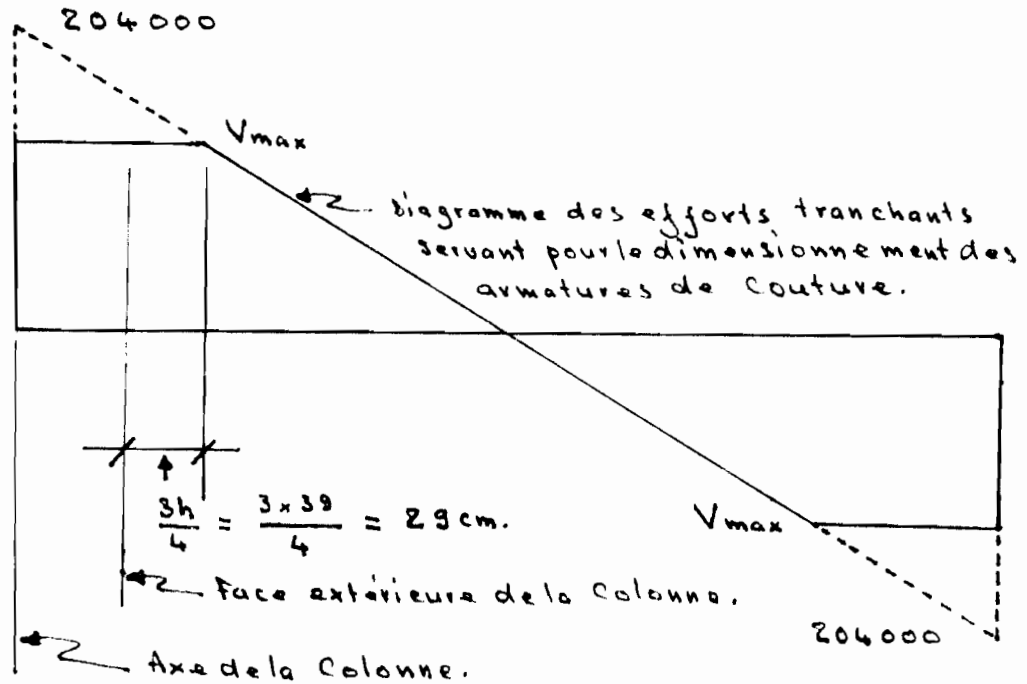
$$A' = 96.07 \text{ cm}^2.$$

$$8 \phi 40 = 100.53 \text{ cm}^2 = A'$$

$$9 \phi 40 = 113.09 \text{ cm}^2 = A.$$



Armatures de couture.



$$V_{max} = \frac{204000}{104.5} \times (104.5 - 29) = 147390 \text{ daN.}$$

$$\tau_b = \frac{V_{max}}{b \cdot z} = \frac{147390}{30 \left(\frac{7}{8} \times 39\right)} = 143.97 \text{ daN/cm}^2.$$

$$\rho_b = \rho_b \sigma'_n \quad ; \quad \rho_b = \alpha \beta \gamma \theta$$

$$\alpha = 9/10$$

$$\beta = 1.0 \quad (\text{contrôle strict})$$

$$\gamma = 1.0$$

$$\theta = 0.018 + \frac{2.1}{\sigma'_n} = 0.018 + \frac{2.1}{300} = 0.025.$$

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}'_b &= 9110 \times 1 \times 1 \times 0.025 \times 300 = 6.75 \text{ bars} \\ &= 6.75 \times 1.02 = 6.885 \text{ daN/cm}^2. \end{aligned}$$

$$\bar{\sigma}'_b \leq \bar{\sigma}'_{b0} \quad \text{d'où} \quad \bar{\tau}_b = 3.5 \bar{\sigma}'_b = 24.09 \text{ daN/cm}^2.$$

$$\bar{\tau}_b > \tau_b.$$

Donc, les sollicitations imposées à la Poutre sont trop grandes. Deux façons de faire face à ce problème sont:

- soit d'augmenter les dimensions (Pour moi, cette solution ne semble pas être la plus indiquée car elle requiert de très grosses dimensions)
- soit d'augmenter le nombre de colonnes.

CONTREVENTEMENTS

Ce sont des tirants en Acier, envelopés en béton pour palier aux effets de la corrosion.

leur calcul sera guidé par la rupture qu'il pourrait y'avoir par instabilité.

la Condition de Non Rupture par instabilité des éléments tendus est:

$$\frac{KL}{r} \leq 300.$$

Biencastrement sans déplacement latéral

$$\rightarrow k = 0.65$$

$$\frac{0.65 \times 300}{r} \leq 300 \Rightarrow r \geq 0.65$$

$$r = \sqrt{\frac{I_g}{A}} = 0.65. \text{ (condition limite)}$$

Barre circulaire $\Rightarrow I_g = \frac{\pi D^4}{64}$

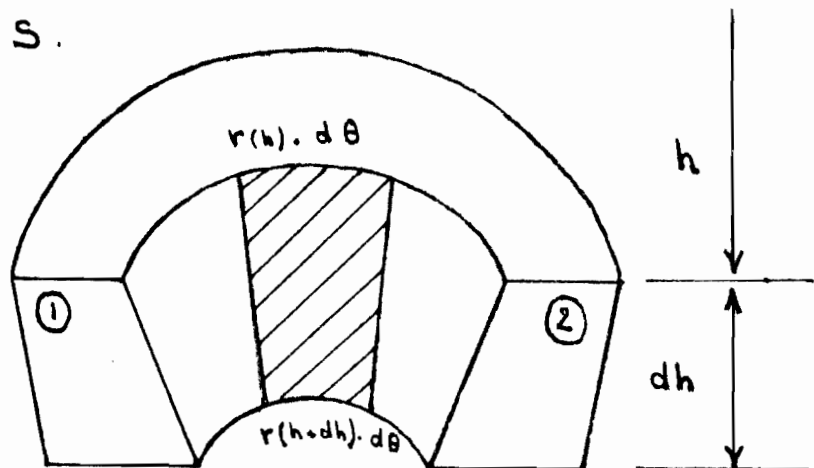
$$\frac{I_g}{A} = \frac{D^2}{16} \Rightarrow r = \frac{D}{4} = 0.65$$

$$\rightarrow D = 2.6 \text{ cm.}$$

On considère le diamètre Normalisé immédiatement supérieur.

$$\rightarrow \phi 32 \text{ mm.}$$

CERCES.



Calcul des Forces agissant sur les Facettes

① et ②

$$F_1 = F_2 = F(h)$$

On suppose que $p(h+dh)$ agit sur toute la surface comprise entre "h" et "h+dh".

(Ceci constitue une sécurité supplémentaire)

$$\frac{dh}{\sin 52.62^\circ} = 1.258 dh.$$

$$2F(h) = \int_0^{\pi} p(h+dh) \times (1.258 dh) \times (r(h)) \times \sin \theta d\theta.$$

$$r(h) = 1011 - h \cotg 52.62^\circ = 1011 - 0.764h.$$

$$p(h+dh) = 0.001(h+dh).$$

$$\rightarrow F(h) = 0.001258(1011 - 0.764h)(h+dh) dh.$$

Pour éviter aux fissures qui sont très préjudiciables, on est obligé de limiter la contrainte de traction sur l'acier à une petite valeur. Or ceci requiert une section d'armatures non conforme aux Normes de disposition. (Car cette valeur est $15\overline{\sigma}_b = 114.75 \text{ daN/cm}^2$).

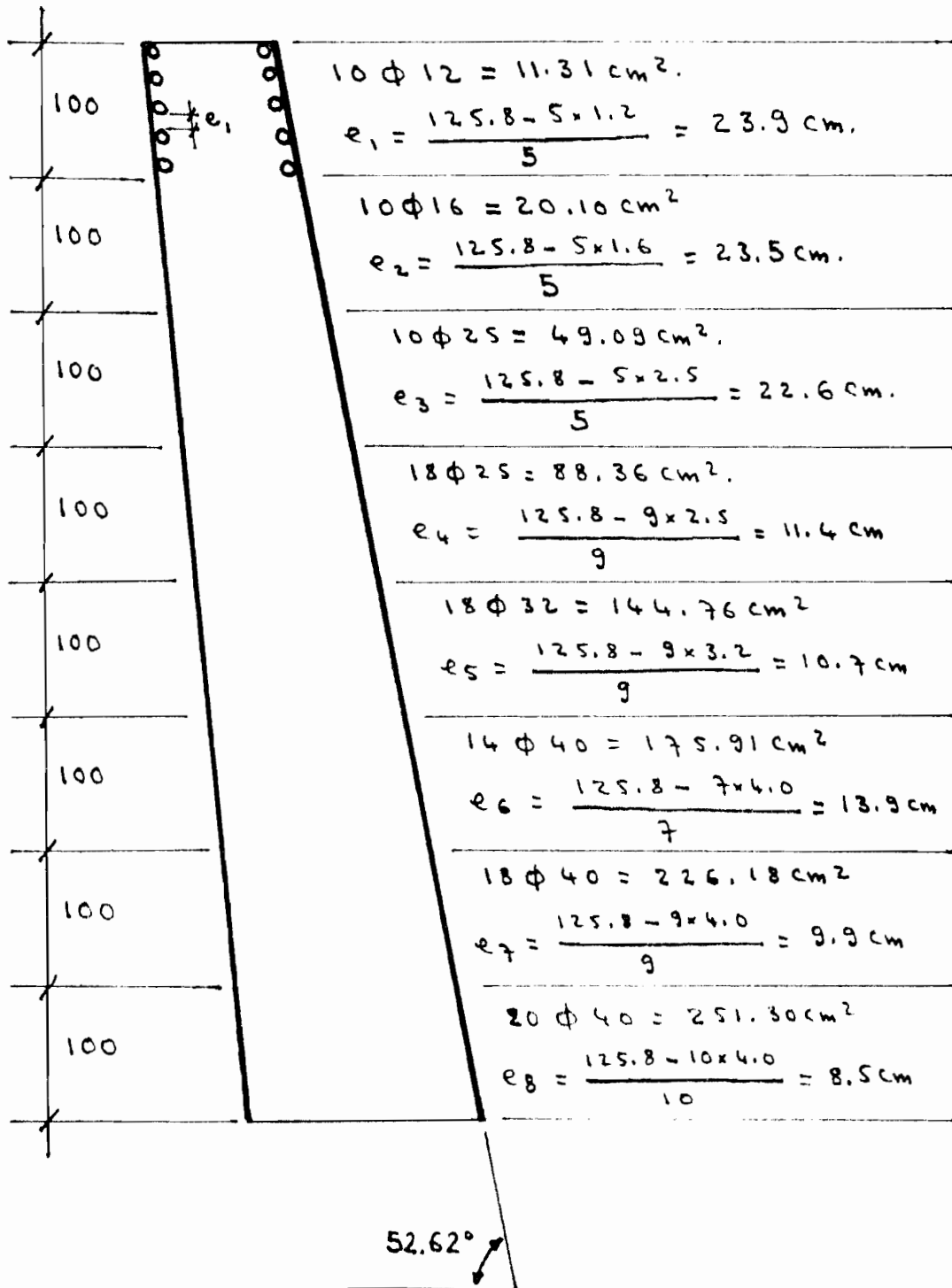
D'où nécessité de faire recours aux Précontraintes.

$$A(h) = \frac{F(h)}{\sigma_a} ;$$

On envisage d'imprimer une précontrainte qui soit telle que l'acier puisse reprendre, sans risque de fissuration, un effort de traction égal à 1350 daN/cm^2 .

$$A(h) = 9.3185 \cdot 10^{-7} (1011 - 0.764h)(h + dh) \cdot dh.$$

h (cm)	A(h) (cm ²)
0	9.42
100	17.42
200	47.98
300	87.42
400	131.47
500	175.84
600	216.27
700	248.50



CHAPITRE VI.

CONCLUSION

Comme précédemment mentionné, mon objectif était de dégager les différentes phases de calcul correspondant au dimensionnement d'un Réservoir élevé en Béton Armé. Les calculs ont été faits avec l'Hypothèse qu'on est dans une Région à vents très faibles d'où la simplicité apportée au calcul des Contreventements.

Pour parler de l'avant projet dans son ensemble, disons qu'il a été abordé sur la base d'hypothèses qui finalement ont été modifiées parce qu'elles ne satisfaisant pas aux Normes de Résistance de la structure. C'est ainsi que toutes les dimensions de parois initialement considérées ont presque été modifiées.

Pour ce qui est des calculs, presque à tous les niveaux, ils ont été répétitifs et seraient donc grandement facilités par l'utilisation d'un ordinateur.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES



1. Traité de BETON ARME
Par A. Guerrin
Tome VI.
Réservoirs - Châteaux d'eau - Piscines.
DUNOD.
2. Règles Pour le calcul et l'exécution
des constructions en BETON ARME.
Document Technique Unifié.
Edité Par
La Documentation Technique du Bâtiment
et des Travaux Publics.
3. Méthodes classiques et modernes de
l'analyse des structures.
LIVRE I.
Par H.P. Boulianne.
Ecole Polytechnique de MONTREAL
4. The Engineer's Companion
A concise Handbook of engineering
Fundamentals. MOTT SOUDERS

5. Le calcul Pratique des constructions
à Inertie Variable

(Théorie et Applications)

PIERRE CHARON

Editions EYROLLES.

6. Handbook of Concrete Engineering.

Edited by MARK FINTEL

Van Nostrand Reinhold Company.

7. Calcul Pratique des Tours en
BETON ARME.

MARIUS DIVER

DUNOD