

UNIVERSITE D'ALGER
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

G Civil
1975

12/75

1ex



**HALL D'EXPOSITION EN STRUCTURE
TRIDIMENSIONNELLE METALLIQUE**

Proposée par :

M. I. UNGUREANU

Etudiée par :

M. Hadj HAMOU T.

1975

UNIVERSITE D'ALGER
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

THESE DE FIN D'ETUDES

**HALL D'EXPOSITION EN STRUCTURE
TRIDIMENSIONNELLE METALLIQUE**

Proposée par :
M. I. UNGUREANU

Etudiée par :
M. Hadj HAMOU T.

1975

A la fin de mes années d'études ,
je tiens à remercier tous les professeurs
qui ont contribués à ma formation .

A MES PARENTS ET AMIS

/) L A N

- (1) PRESENTATION DU PROJET / PAGE _____
- Caractéristiques géométriques
- (2) METHODE DE CALCUL / PAGE _____
- Structure tridimensionnelle
- Poutres croisées
- Descriptions
- Hypothèses de calcul
- Théorie de calcul
- (3) C A L C U L / PAGE _____
- Equations
- Résolution du système
- (4) EFFORT _____ DANS LES POUTRES / PAGE _____
- Dans le sens X
- Dans le sens Y
- Efforts réels dans les barres
- (5) DETERMINATION DES CHARGES ET SURCHARGES / PAGE _____
- Charges
- Surcharges
- (6) T O I T U R E S / PAGE _____
- (7) DIMENSIONNEMENT DES BARRES / PAGE _____
- Barres supérieurs
- Diagonales
- Tirants
- (8) P O T E A U X / PAGE _____
- (9) F O N D A T I O N S / PAGE _____

RELEMENTATION

III

REJET

-----§-----

CH 1 /

PRESENTATION
DU PROJET

SUJET DE LA THESE DE FIN D'ETUDE /

- ETUDE DE LA THEORIE DES POUTRES CROISEES -
- UTILISATION DE CETTE THEORIE POUR LE CALCUL DE LA TOITURE D'UN HALL D'EXPOSITION
- CALCUL DES POTEAUX
- CALCUL DES FONDATIONS

REGLES UTILISEES : CM 66 N.V. 65

C C B A 68 P.S. 69

SUJET PROPOSE PAR MONSIEUR : I. UNGUREANU
INGENIEUR . DOCTEUR D'ETAT
PROFESSEUR E. N.P. A.

ETUDIE PAR MONSIEUR : T. HADJ - HAMOU

C A R A C T E R I S T I Q U E S

G E O M E T R I Q U E S

-----&-----

Le hall d'exposition est de forme carrée de 43 M de côté sans piliers intérieurs .

Pour pouvoir couvrir une telle surface, nous avons opté pour l'utilisation des poutres croisées.

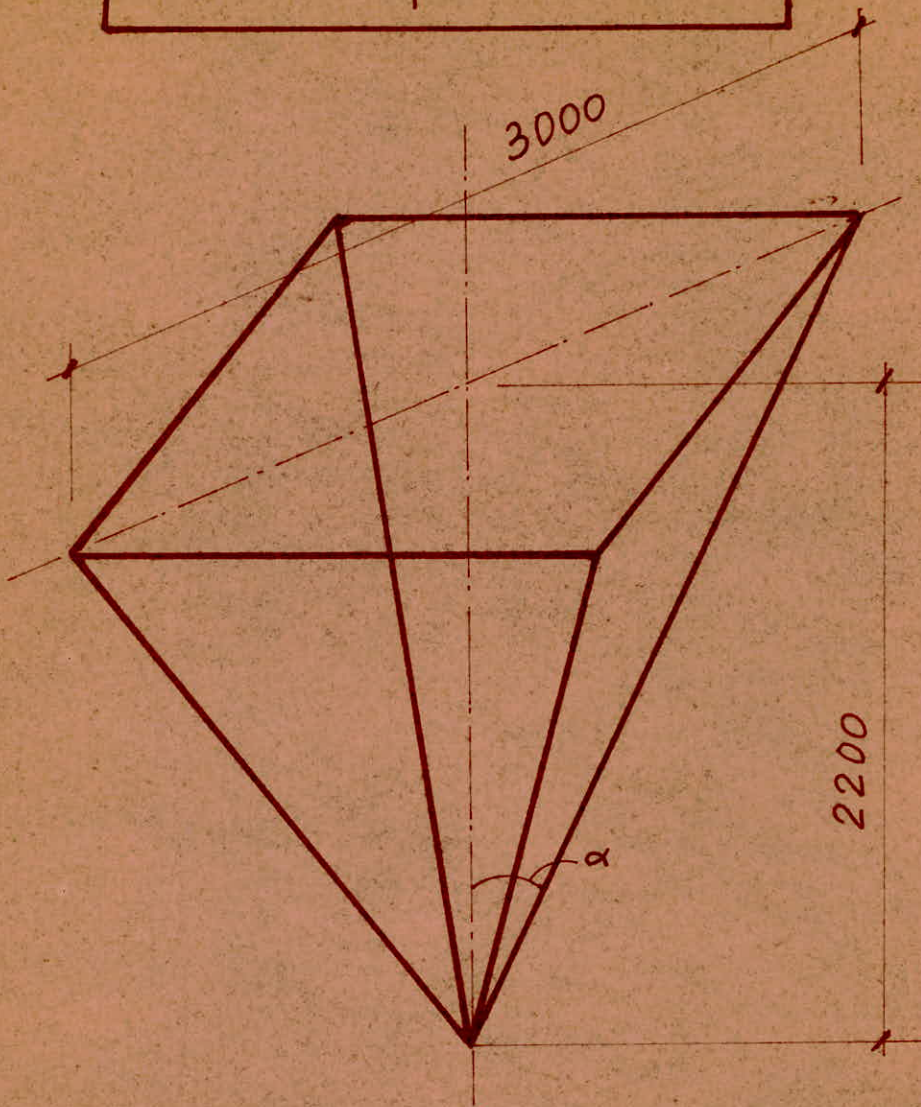
Ces poutres croisées sont constituées de pyramides (modules) préfabriquées puis accolées les unes aux autres .

Les assemblages des éléments se feront par boulons , seul le module étant constitué d'éléments soudés.

Nous étudierons par les ouvertures des façades .

-----&-----

Caractéristiques Du Module



$$\tan \alpha = \frac{1500}{2200} = 0,682$$

$$\cos \alpha = 0,826$$

$$\sin \alpha = 0,563$$

$$\alpha = 34^{\circ}17'$$

longueur du côté : 2120 mm.

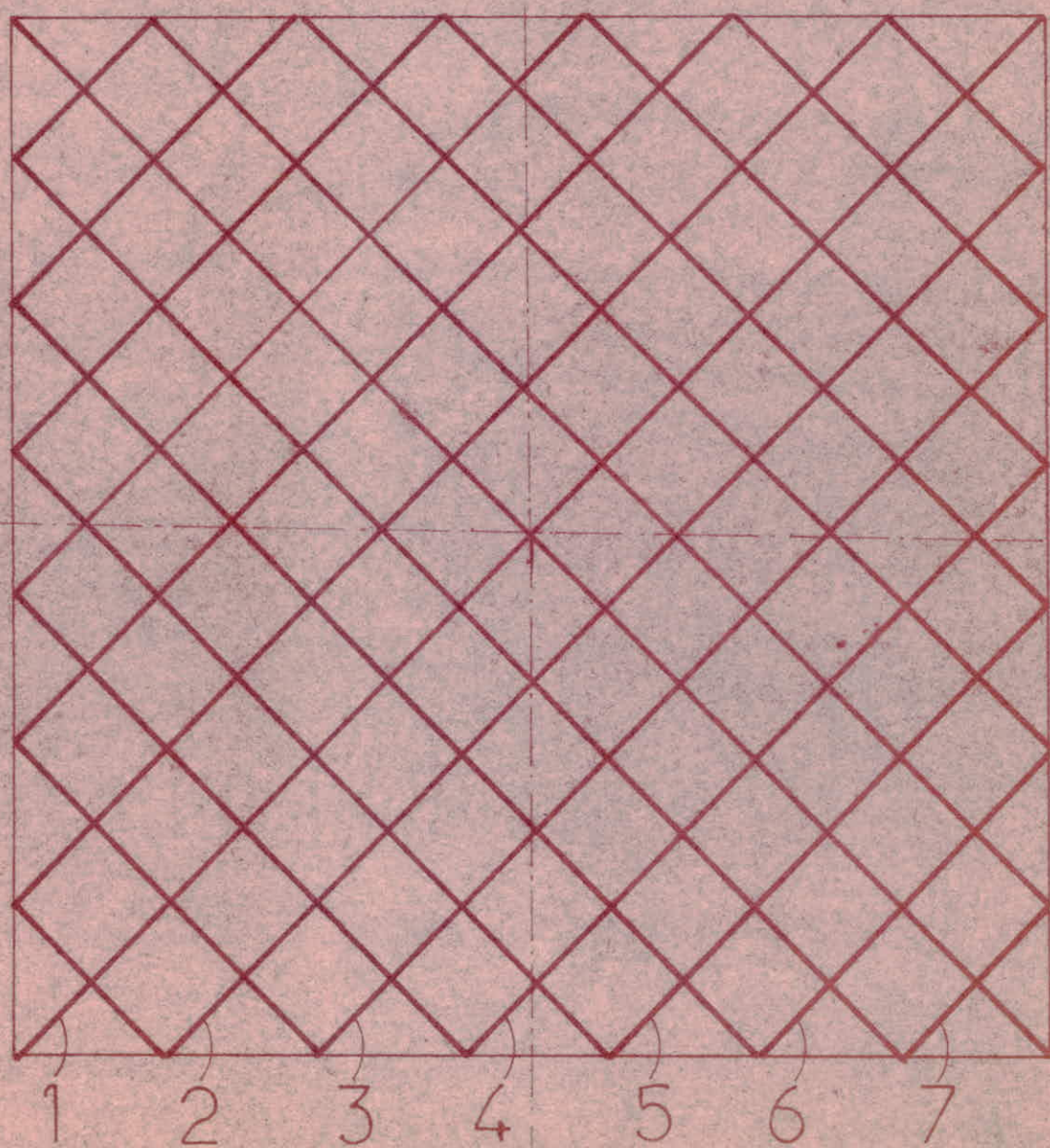
" diagonale : 2660 mm.

М.М. ЕТ П-Л() Д Е

() Е

П П П П П П П П

RESEAU DE POUTRES CROISEES



THEORIE DES POUTRES CROISEES

Nous n'allons ~~pas~~ donner qu'un bref aperçu de la théorie des poutres croisées . Il ne sera traité ici que la partie relative aux calcul de notre structure . Il existent des livres dans lesquels il est possible de trouver cette théorie complètement développée . Nous citerons l'ouvrage de M.^{re} COURBON : " Résistance Des Matériaux -(T.20) " .

I - Généralités

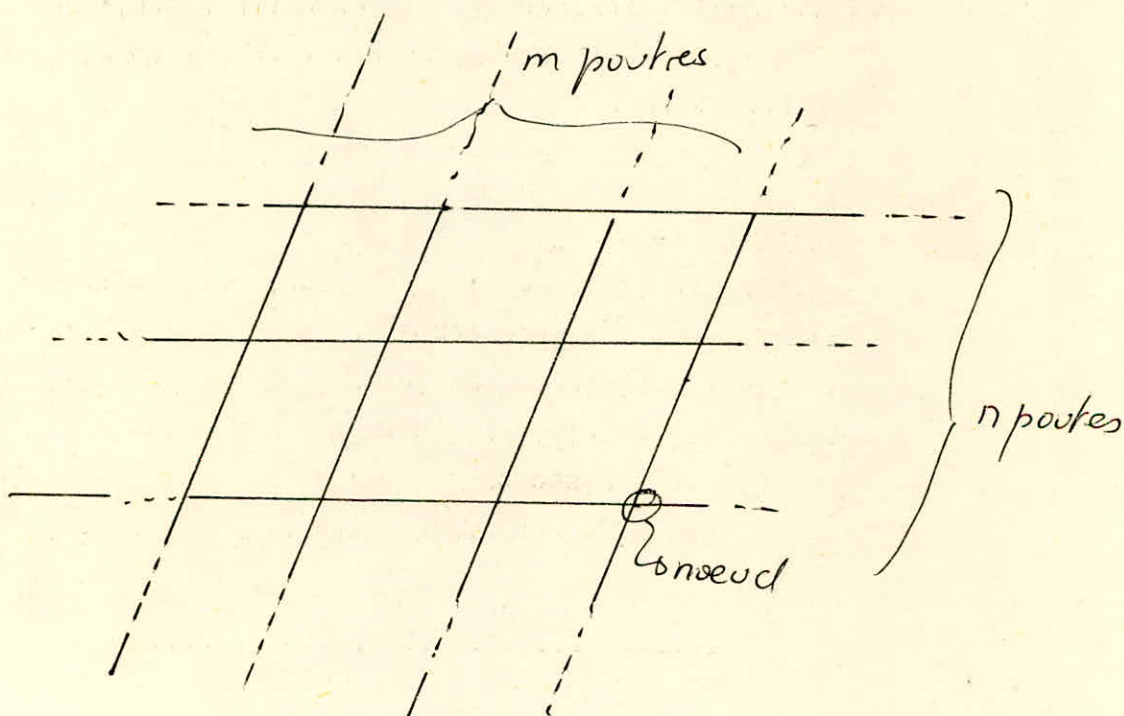
Un réseau de poutres croisées est formé de deux ensembles de poutres parallèles entre elles . Ces deux réseaux se coupent, l'intersection de deux poutres constitue un noeud .

Le choix de ces structures offre plusieurs avantages .

La présence des noeuds qui apporte un gain en résistance .

(~~de~~ d'où une augmentation possible des portés)

La possibilité d'avoir une toiture horizontale .



Les poutres d'une même direction ont mêmes caractéristiques géométriques, mécaniques et ont mêmes liaisons extérieures

Un réseau peut être dit régulier, ce qui suppose :

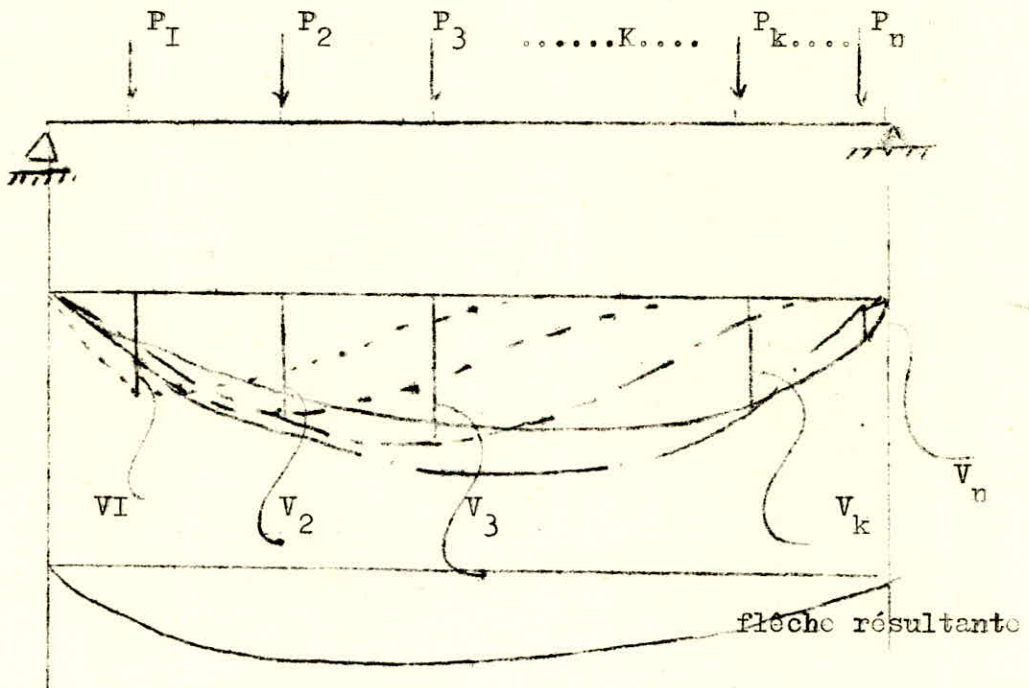
- Deux directions de poutres orthogonales .
- Caractéristiques identiques pour les deux ensembles de poutres orthogonales .
- Ecartements identiques et constants pour les deux directions .

II- Hypothèses de calcul

- 1 - On admet qu'en un noeud les deux poutres ont même flèche.
- 2 - On néglige la torsion des poutres .
- 3 - On ne prend pas en compte l'effort tranchant .
- 4 - Les poutres d'une même direction restent stables si on supprime celles de l'autre .
- 5 - Les charges sont supposées ponctuelles et appliquées au noeud

III- Calcul

a) Considérons une poutre quelconque du réseau, les charges sont constituées par les réactions des poutres de l'autre direction .



En chaque point , la charge va produire une déformation proportionnelle à la charge (loi de Hooke) . En appliquant le principe de superposition on obtient la flèche réelle de la poutre .

$$V_{ik} = a_{ik} \cdot P_k$$

v_{ik} : Flèche au point " i " due à la charge P_k .

a_{ik} : Coefficient de souplesse dépendant des caractéristiques mécaniques de la poutre .

P_k : Charge au point " k " .

On peut donc avoir l'expression de la flèche totale en chaque point de la poutre due à toutes les charges . Il suffit de faire la sommation des flèches élémentaires .

$$V_i = \sum_{k=I}^n a_{ik} \cdot P_k \quad i : I \dots\dots n$$

On écrira pour chaque point de la poutre l'expression de la flèche . En groupant ces expressions sous forme matricielle

$$V = A \cdot P$$

Nota : La matrice " A " est symétrique , en effet le théorème de réciprocité de Maxwell nous permet d'écrire :

$$a_{ik} = a_{ki}$$

b) Prenons une poutre de l'autre direction , un calcul analogue nous amène à une expression semblable à celle trouvée précédemment ::

$$V_j = \sum_{h=I}^m b_{jh} \cdot P_h \quad j : I \dots\dots m$$

$$V = B \cdot P$$

Les poutres étant identiques (réseau régulier) et chaque ensemble comptant un nombre égal de poutres on peut donc simplifier nos écriture

Des remarques précédentes on peut écrire : $m = n$

$$a_{ij} = b_{ij}$$

Ce qui se traduit par l'égalité matricielle :

$$A = B$$

Il faut maintenant calculer les coefficients de souplesses

c) Calcul des coefficients .

Les coefficients sont obtenues par un calcul élémentaire de résistance des matériaux .

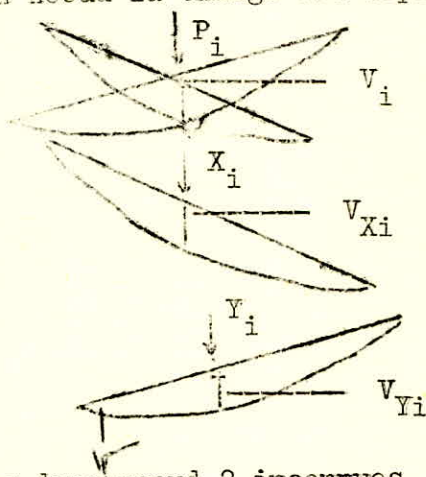
$$a_{ik} = \begin{cases} \frac{I}{K} \frac{i(n+I-k)}{n+I} \left\{ k(2n-k+2) - i^2 \right\} \\ \frac{I}{K} \frac{k(n+I-i)}{n+I} \left\{ i(2n-i+2) \right\} \end{cases}$$

Ces valeurs viennent de l'intégration de l'équation de la ligne élastique .

Nous n'avons pas jugé utile de reproduire ici le tableau de la valeur des coefficients . On peut trouver ces valeurs dans le livre de M^r Courbon : 3 Résistance Des Matériaux - T.2 "

IV- Résolution du problème

En un noeud la charge est reprise par les deux poutres .



Nous avons dans le noeud 2 inconnues : - X_i
- Y_i

D'autre par nous avons admit (c.f. §2) que les deux poutres avaient mêmes flèches au noeud donc :

$$V_{Xi} = V_{Yi}$$

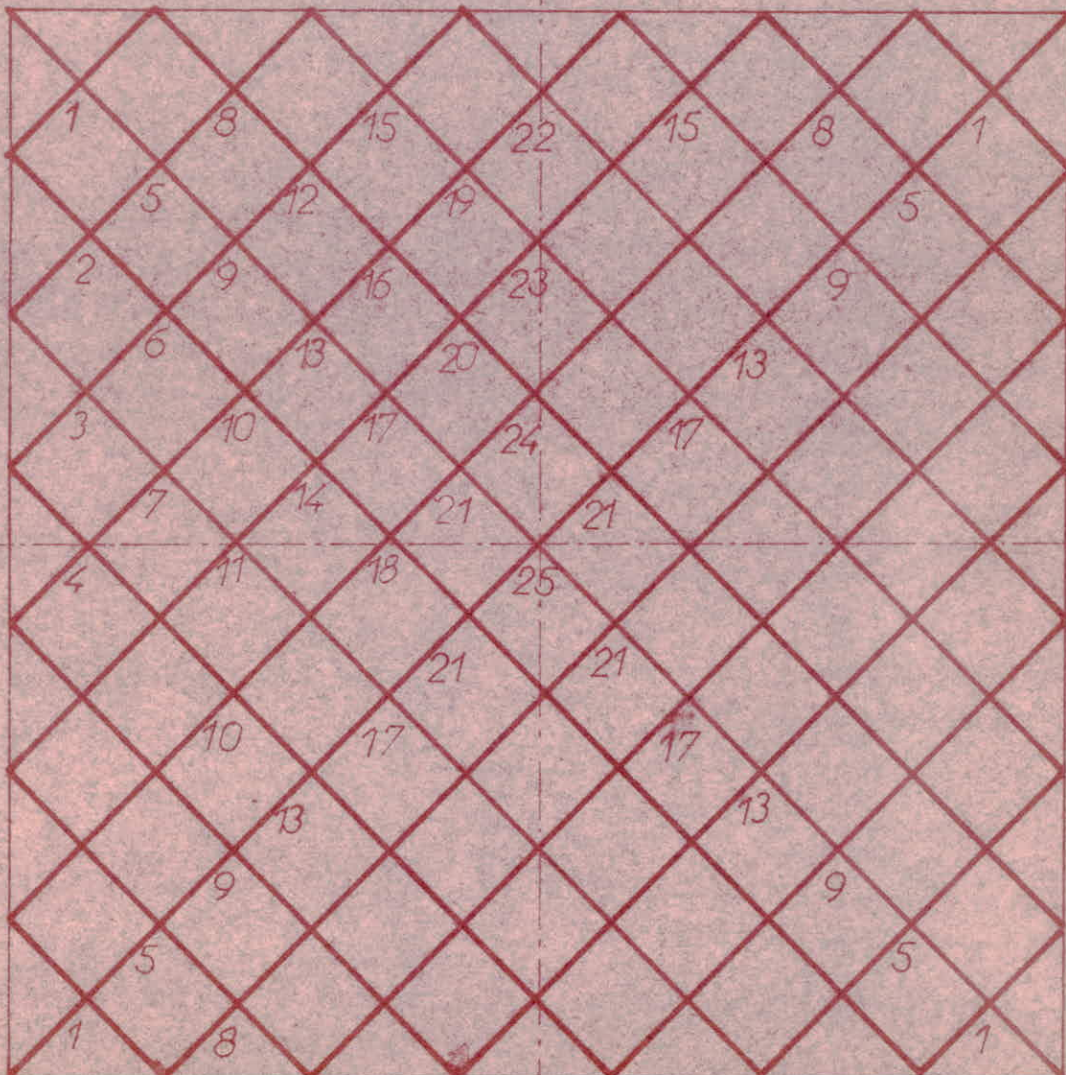
nous avons également : $X_i + Y_i = P_i$

Nous disposons de deux équations à deux inconnues, le problème est donc résolvable .

II (-) II II II II

SCHEMA DE CALCUL

Numérotation des nœuds du réseau



Ecriture des equations

Connaissant les coefficients de souplesse, il nous est dès lors possible d'établir les equations du système. Pour cela il faut écrire en chaque point l'égalité des flèches prise pour chaque poutre.

Remarque :

Il est possible d'alléger le système en utilisant les symétries de la structure. Nous avons en effet TROIS

- 2 médianes
- 1 diagonale

Mais nous en utilisons que 2 (les 2 médianes) gardant la dernière comme vérification des solutions.

Nous appelons A_{ik} et B_{jh} les coefficients dans les directions X et Y.

Les points situés sur les médianes ont pour raison de symétrie la particularité suivante : $X+Y = P$ et $X=Y$. Donc $X=Y = \frac{P}{2}$.

Equation I pour le point I

$$a_{II} X_I = b_{I2} Y_I + b_{I2} Y_5 + b_{I3} Y_9 + b_{I4} Y_{I3} + b_{I5} Y_{I7} + b_{I6} Y_{2I} + b_{I7} Y_{25} + b_{I8} Y_{2I} + b_{I9} Y_{I7} + b_{I10} Y_{I3} + b_{I11} Y_9 + b_{I12} Y_5 + b_{I13} Y_I$$

Mais nous avons déjà établi que $X_i + Y_i = P_i = P$ en considérant que la charge sur chaque noeud est identique.

$$a_{II} X_I = b_{II} (P - X_I) + b_{I2} (P - X_5) + b_{I3} (P - X_9) + b_{I4} (P - X_{I3}) + b_{I5} (P - X_{I7}) + b_{I6} (P - X_{2I}) + b_{I7} (P - X_{25}) + b_{I8} (P - X_{2I}) + b_{I9} (P - X_{I7}) + b_{I10} (P - X_{I3}) + b_{I11} (P - X_9) + b_{I12} (P - X_5) + b_{I13} (P - X_I)$$

EN groupant les termes et en remplaçant les coefficients par leur valeur on obtient la première équation

$$39 X_I + 71 X_5 + 98 X_9 + 119 X_{I3} + 134 X_{I7} + 143 X_{2I} = 639,5 P$$

Equation 2 au point 2

Calcul analogue :

$$24,6666 X_2 + 5,5 X_5 + 35,8333 X_6 + 15,3333 X_8 + 46,5 X_{10} + 23,1666 X_{12} + 52,6666 X_{14} + 33,5 X_{16} + 42,3333 X_{20} - 53,5 X_{2I} = 318 P$$

Equation 3 au Point 3

$$24,5333 X_3 + 12,6666 X_6 + 28 X_7 + 13 X_9 + 10,3333 X_{12} - 37,8 X_{14} \\ + 15,4666 X_{15} - 37 X_{17} + 19 X_{19} - 33,2 X_{20} = 104 P$$

Equation 4 au Point 4

Point sur une médiane $X_4 = Y_4 = \frac{P}{2}$. Il n'est pas nécessaire e
d'écrire l'équation .

Equation 6 au Point 7

$$28 X_3 + 87,8 X_7 + 43,75 X_{10} + 44 X_{13} - 72 X_{14} + 19 X_{15} + 38,25 X_{16} \\ - 71 X_{17} + 64,8 X_{19} - 64 X_{20} = 176,5 P$$

Equation 5 au Point 5

$$71 X_1 + 5,5 X_2 + 144 X_5 + 5,5 X_8 + 190 X_9 + 232 X_{13} + 262 X_{17} \\ + 280 X_{21} = 1242,5 P$$

Equation 5 au point 6

$$35,8333 X_2 + 12,6666 X_3 + 88 X_6 + 237,1666 X_8 + 23 X_9 + 88,5 X_{10} \\ + 64 X_{12} + 101,3333 X_{14} + 10,3333 X_{15} + 65,5 X_{16} + 82,6666 X_{20} \\ - 104 X_{21} = 610 P$$

Equation 7 au point 8

$$15,3333 X_2 + 5,5 X_5 + 23,1666 X_6 + 33,5 X_{10} + 35,8333 X_{12} \\ + 42,3333 X_{14} + 46,5 X_{16} + 52,6666 X_{20} - 53,5 X_{21} = 318 P$$

Equation 8 au point 9

$$98 X_1 + 13 X_3 + 190 X_5 + 23 X_6 + 297 X_9 + 23 X_{12} + 333 X_{13} \\ + 13 X_{15} + 378 X_{17} + 405 X_{21} = 1777,5 P$$

EQUATION 9 au point 10

$$46,5 X_2 + 88,5 X_6 + 43,75 X_7 + 33,5 X_8 + 177,75 X_{10} + 65,5 X_{12} + \\ 58,5 X_{13} + 142 X_{14} + 146,25 X_{16} + 38,25 X_{19} + 119 X_{20} - 148,5 X_{21} = 833 P$$

Equation 10 au point 12

$$23,1666 X_2 + 10,3333 X_3 + 64 X_6 + 35,8333 X_8 + 23 X_9 + 65,5 X_{10} + 88 X_{12} \\ + 82,6666 X_{14} + 12,6666 X_{15} + 88,5 X_{16} + 101,3333 X_{20} - 104 X_{21} = 610 P$$

Equation II au point I3

$$119 X_I + 232 X_5 + 44 X_7 + 333 X_9 + 50,5 X_{10} + 480 X_{13} + 58,5 X_{16} + 476 X_{17} + 44 X_{19} + 512 X_{21} + 2195,5 P$$

Equation I2 au point I4

$$52,6666 X_2 - 37,8 X_3 + 101,3333 X_6 + - 72 X_7 + 42,3333 X_8 + 142 X_{10} + 82,6666 X_{12} + 285,8666 X_{14} - 33,2 X_{15} + 119 X_{16} + 118 X_{17} - 64 X_{19} + 258,3333 X_{20} - 184 X_{21} = 736,5 P$$

Equation I3 au point I5

$$15,6666 X_3 + 10,3333 X_6 + 19 X_7 + 13 X_{12} + 12,6666 X_{12} - 33,2 X_{14} + 24,5333 X_{15} - 37 X_{17} + 28 X_{19} - 37,8 X_{20} = 104 P$$

Equation I4 au point I6

$$33,5 X_2 + 65,5 X_6 + 38,25 X_7 + 46,5 X_8 + 146,25 X_{10} + 88,5 X_{12} + 58,5 X_{13} + 119 X_{14} + 177,75 X_{16} + 43,75 X_{19} + 142 X_{20} - 148,5 X_{21} = 833 P$$

Equation I5 au point I7

$$134 X_I - 37 X_3 + 262 X_5 - 71 X_7 + 378 X_9 + 476 X_{13} + 118 X_{14} - 37 X_{15} + 675 X_{17} - 71 X_{19} + 118 X_{20} + 595 X_{21} = 2232,5 P$$

Equation I6 au point I9

$$19 X_3 + 64,8 X_7 + 38,25 X_{10} + 44 X_{13} - 64 X_{14} + 28 X_{15} + 43,75 X_{16} - 71 X_{17} + 87,2 X_{19} - 72 X_{20} = 176,5 P$$

Equation I7 au point 20

$$42,3333 X_2 - 33,2 X_3 + 82,6666 X_6 - 64 X_7 + 52,6666 X_8 + 119 X_{10} + 101,3333 X_{12} + 258,1333 X_{14} - 37,8 X_{15} + 142 X_{16} + 118 X_{17} - 72 X_{19} + 285,8666 X_{20} - 184 X_{21} = 736,5 P$$

Equation I8 au point 21

$$143 X_I - 53,5 X_2 + 280 X_5 - 104 X_6 - 53,5 X_8 + 405 X_9 - 148,5 X_{10} - 104 X_{12} + 512 X_{13} - 184 X_{14} - 148,5 X_{16} + 595 X_{17} - 184 X_{20} + 864 X_{21} = 1562 P$$

Nous avons donc obtenu un système de 18 équation à 18 inconnues
 La résolution se fera par ordinateur . On prendra pour P une
 charge unitaire , dans ce cas $X_i + Y_i = I$. La valeur de P
 sera calculée plus loin (cf chapitre : " charge et surcharge "

Dans l'impossibilité d'avoir une résolution par ordinateur
 nous avons du utiliser la dernière symétrie pour réduire le système
 et résoudre à la main .

Nouveau système

Les point suivant sont équivalents :

$$2 = 8 ; 3 = 15 ; 6 = 12 ; 7 = 19 ; 10 = 16 ; 14 = 20 ;$$

Les équations des points 8 . 12 . 15 . 19 . 20 . disparaissent
 et nous n'avons plus que 12 équation à 12 inconnues

Equation 1'

$$39 X_1 + 71 X_5 + 98 X_9 + 119 X_{13} + 134 X_{17} + 143 X_{21} = 639,5 P$$

Equation 2'

$$40 X_2 + 55,5 X_5 + 59 X_6 + 82 X_{10} + 95 X_{14} - 53,5 X_{21} = 318 P$$

Equation 3'

$$40 X_3 + 231 X_6 + 47 X_7 + 13 X_9 - 71 X_{14} - 37 X_{17} = 104 P$$

Equation 4'

$$71 X_1 + 1,1 X_2 + 144 X_5 + 190 X_9 + 232 X_{13} + 262 X_{17} + 280 X_{21} = 1242,5 P$$

Equation 5' au point 6

$$59 X_2 + 23 X_3 + 152 X_6 + 23 X_9 + 154 X_{10} + 184 X_{14} - 104 X_{21} = 610 P$$

Equation 6' au point 7

$$47 X_3 + 152 X_{10} + 82 X_{19} + 44 X_{14} - 136 X_{14} - 71 X_{17} = 176,5 P$$

Equation 7' au point 9

$$98 X_1 + 26 X_3 + 190 X_5 + 46 X_6 + 297 X_9 + 333 X_{13} + 378 X_{17} + 405 X_{21} = 1777,5 P$$

Equation 8' au point 10

$$82 X_2 + 154 X_6 + 82 X_7 + 324 X_{10} + 58,5 X_{13} + 261 X_{14} - 148,5 X_{21} = 833 P$$

=

Equation 9' au point I3

$$119 X_I + 232 X_5 + 88 X_7 + 333 X_9 + 117 X_{10} + 480 X_{13} + \\ 476 X_{17} + 512 X_{2I} = 2195,5 P$$

Equation 10' au point I4

$$95 X_2 - 71 X_3 + 184 X_6 - 136 X_7 + 261 X_{10} + 544 X_{14} + \\ 118 X_{17} - 184 X_{2I} = 736,5 P$$

Equation 11' au point I7

$$134 X_I - 74 X_3 + 262 X_5 + 142 X_7 + 378 X_9 + 476 X_{13} + \\ 236 X_{14} + 675 X_{17} + 595 X_{2I} = 2232,5 P$$

Equation 12' au point 2I

$$143 X_I - 107 X_2 + 280 X_5 + 208 X_6 + 405 X_9 - 297 X_{10} + \\ 512 X_{13} - 368 X_{14} + 595 X_{17} + 864 X_{2I} = 1562 P$$

On trouvera pages suivantes le tableau des résultats
et celui de la vérification

Les calculs ayant été fait à la main ; c'est la
raison pour laquelle nous avons une erreur assez
grande sur 5 équations . Mais il est impossible de
faire mieux .

~ Solutions du Système ~

i	X_i	Y_i
1	13,2347	-12,2347
2	7,1504	-6,1504
3	3,2051	-2,2051
5	-3,0111	4,0111
6	-0,066	1,066
7	0,0069	0,9931
8	7,1504	-6,1504
9	0,4692	0,0308
10	1,1843	-0,1843
12	-0,066	1,066
13	-0,0602	1,0602
14	-0,2951	1,2951
15	3,2051	-2,2051
16	1,1843	0,1843
17	1,5287	0,5287
19	0,0069	0,9931
20	-0,2951	1,2951
21	0,311	0,689

E F F O R T

D E F I N I T E

L E T T E R S

P O S T T R E

EFFORTS DANS LES POUTRES

Ayant déterminé la valeur des charges à chaque noeud, il est dès lors possible de calculer les efforts dans chaque barre .

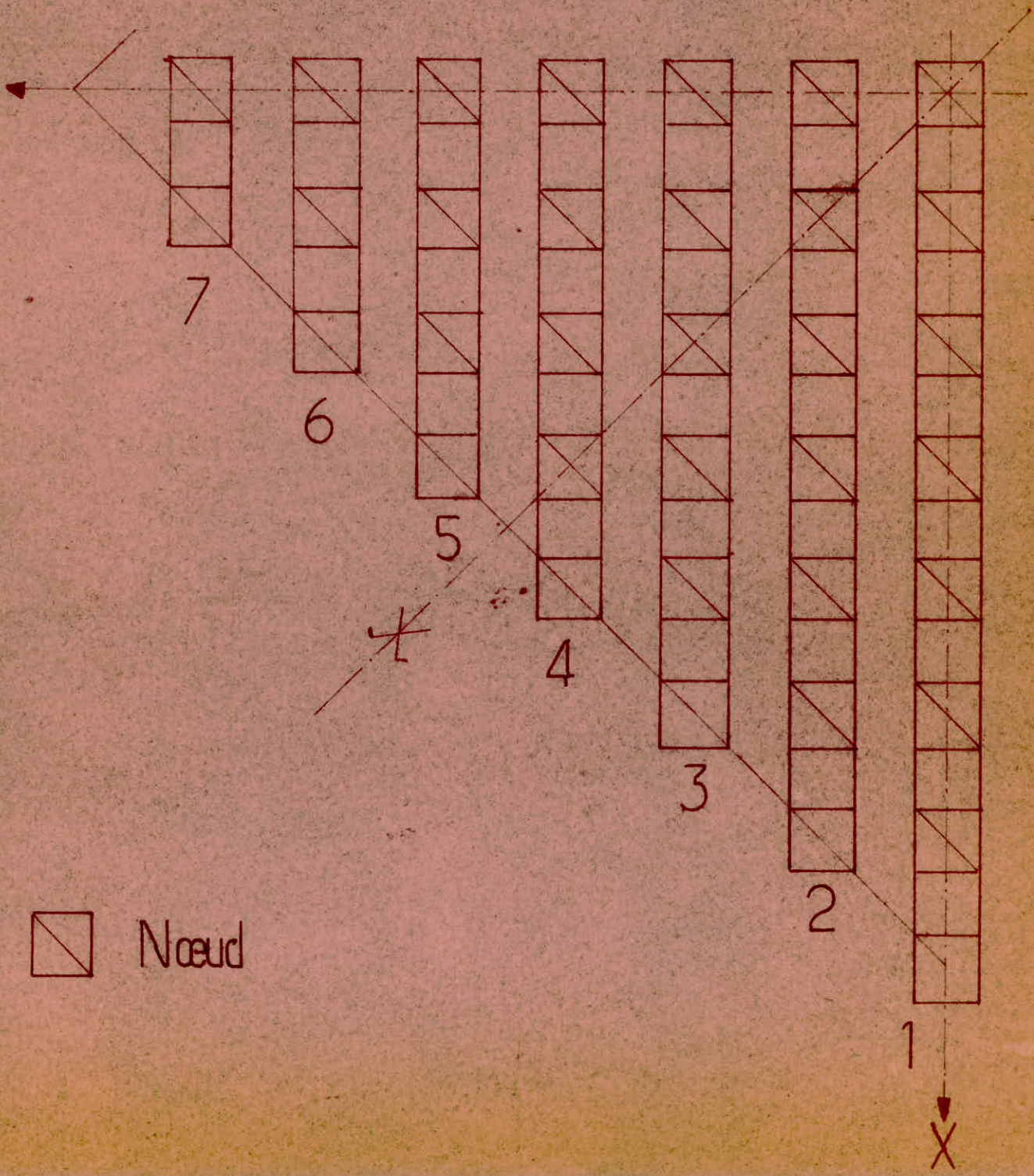
En effet , si dans l'exposé de la théorie nous considérons les poutres comme des poutres à âmes pleines ramenées à leur axes , il n'en est pas ainsi dans la réalité \hat{x} . Nous avons vu dans la présentation que la structure était composée de pyramides accolées les une aux autres.

Nous allons d'abord considérer les poutres dans le sens X - Les symétries nous permettant de ne calculer que des demies poutres.

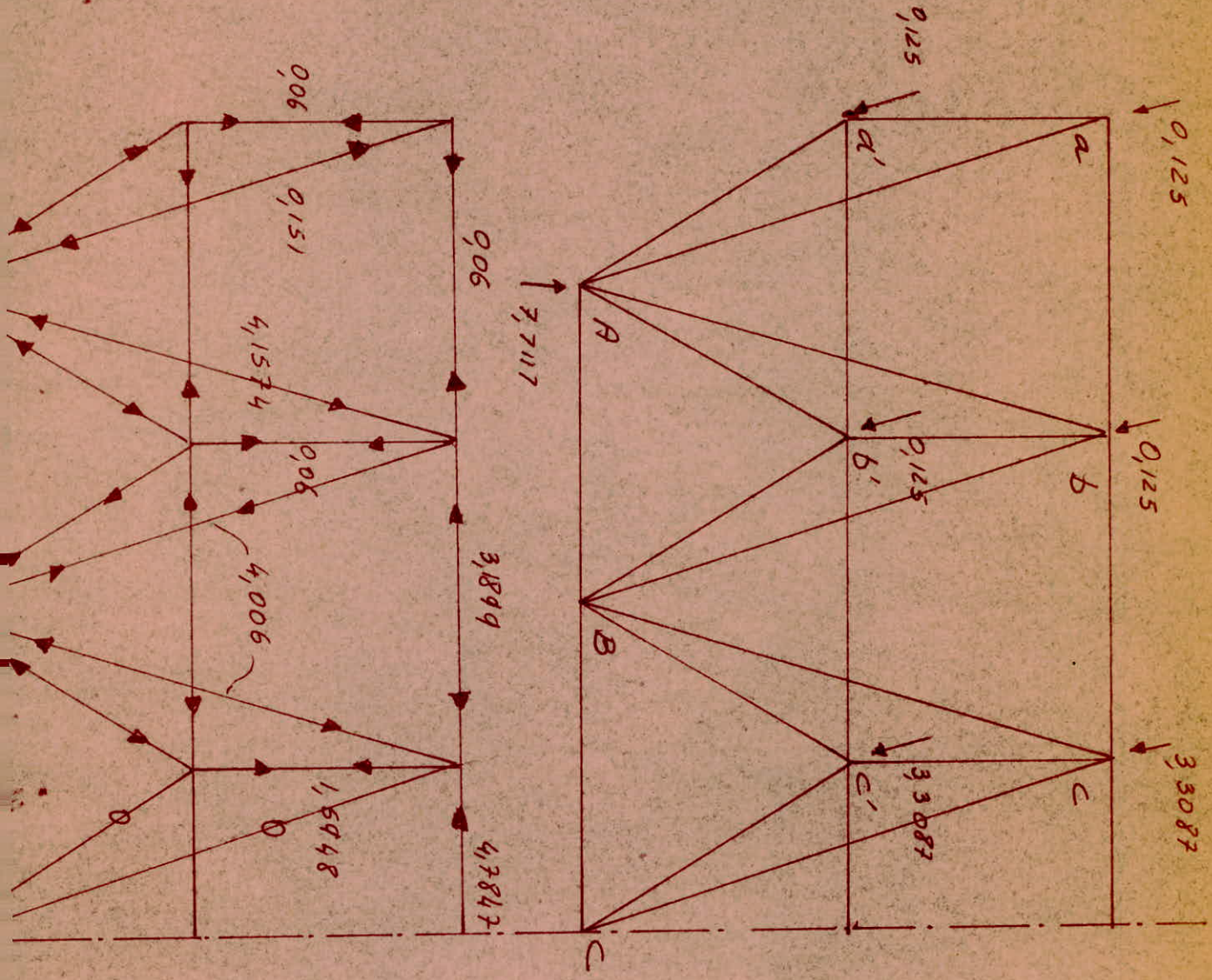
Dans une seconde partie nous ferons le même calcul dans le sens Y . Puis le cumul des résultats , nous donnera les efforts réels dans chaque pyramide ~~de~~ composant les poutres.

Nous avons fait le calcul successivement pour les
I / 2 poutres : 7 - 6 - 5 - 4 - 3 - 2 - I

Demi - Poutres X.



POUTRE 7



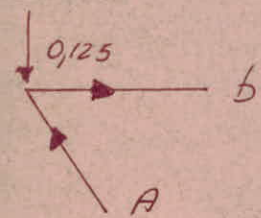
POUTRE 7

reaction d'appui

$$R_a = \sum P_i = 4P(0,125) + 2P(3,3087) = 7,7117P$$

equilibre des noeuds

noeud a



$$- a A \cos \alpha - 0,125P = 0$$

$$\underline{Aa = 0,151P}$$

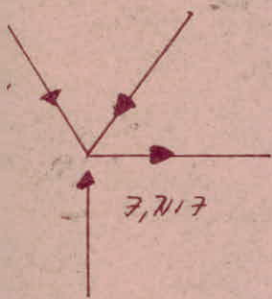
$$- - a A \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} + ab = 0$$

$$\underline{ab = 0,060P}$$

$$- a d' - a A \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

$$\underline{ad' = 0,060P}$$

noeud A



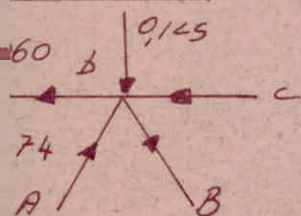
$$- 2A b \cos \alpha + 2 \cdot 0,151P \cos \alpha - 7,7117 = 0$$

$$\underline{Ab = 4,1574P}$$

$$- AB + 2 \cdot 0,151P \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} - 2 \cdot 4,1574 \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

$$\underline{AB = 3,1899P}$$

noeud b



$$- Bb \cos \alpha + 0,125 - 4,1574 \cos \alpha = 0 \quad \underline{Bb = 4,006P}$$

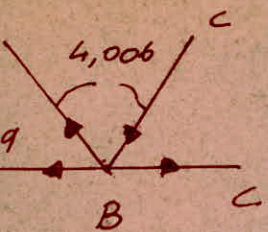
$$- bc + 0,060P [4,1574 + 4,006] \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

$$\underline{bc = 3,1899P}$$

$$- bb' + [4,006 - 4,1574] \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

$$\underline{bb' = 0,060P}$$

noend B



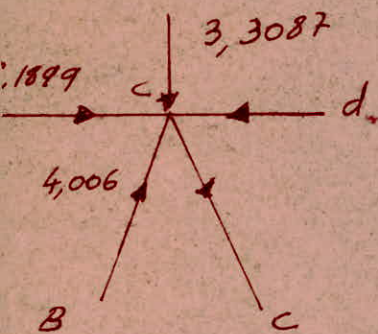
$$- BC \cos \alpha + 4,006 \cos \alpha = 0$$

$$\underline{BC = 4,006 P}$$

$$- BC - 3,1899 P - 2 [4,006 + 4,006] \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

$$\underline{BC = 9,5691 P}$$

noend c



$$- c C \cos \alpha + 3,3087 - 4,006 \cos \alpha = 0$$

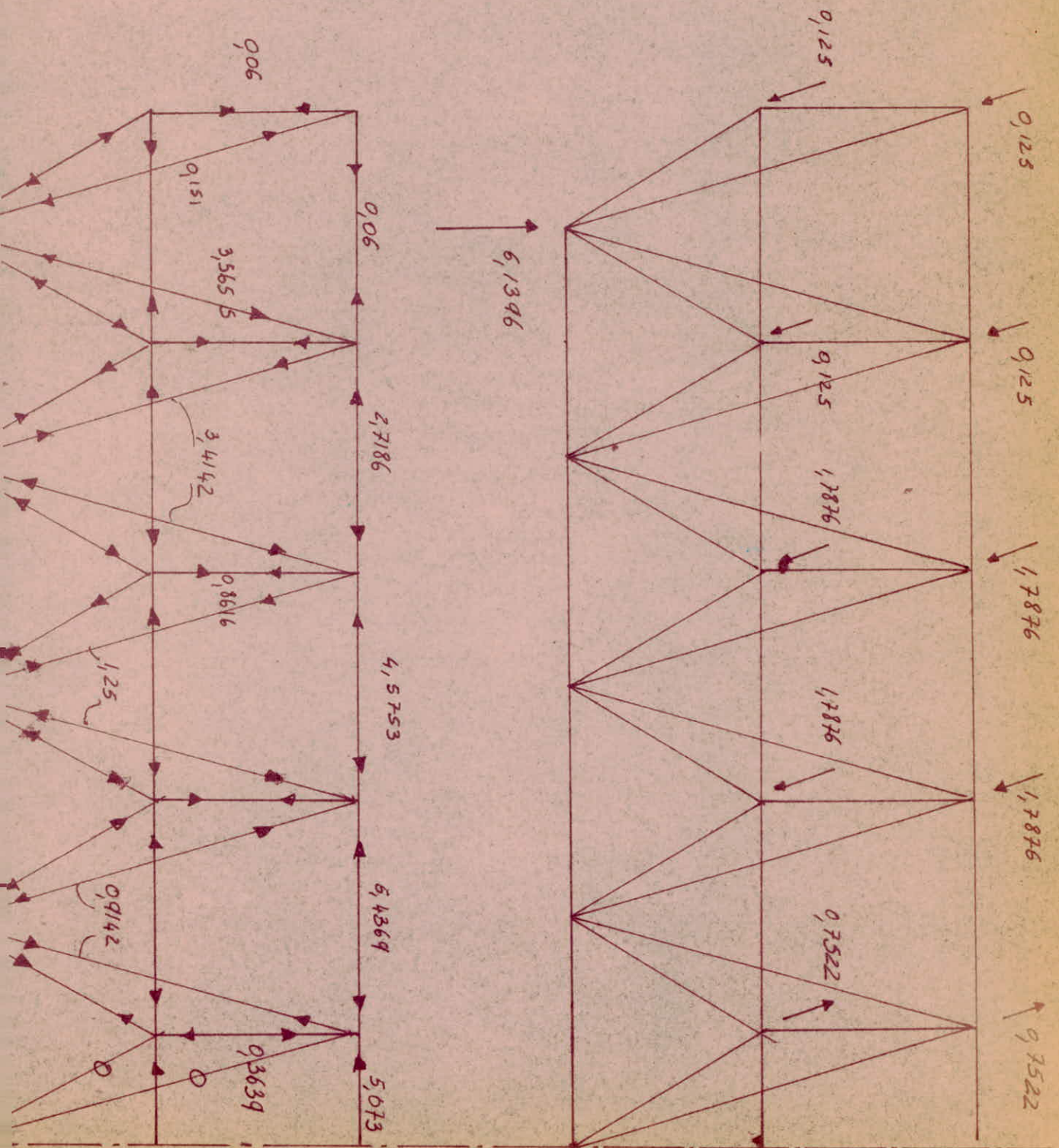
$$\underline{c C = 0,0003 P = 0 \quad c C = 0 P}$$

$$- cd - 3,1899 - 4,006 \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

$$\underline{cd = 4,7847 P}$$

$$- cc' - 4,006 \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} \quad \underline{cc' = 1,5948 P}$$

POUTRE 6



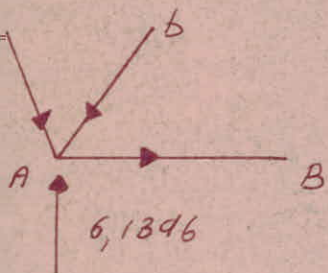
POUTRE 6

Reaction d'appui

$$R_a = \sum P_i = 4P(0,125 + 1,786) - 2P(0,7522) = 6,1346P$$

Equilibre des noeuds

Noeud A



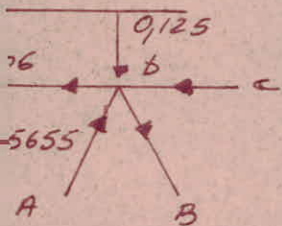
$$- 6,1346P - 2[0,151 + Ab] \cos \alpha = 0$$

$$\underline{Ab = 3,5655P}$$

$$- AB + 2[0,151 - 3,5655] P \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

$$\underline{AB = 2,7186P}$$

Noeud b



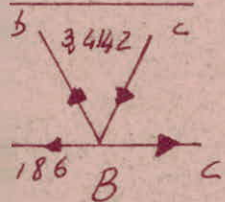
$$- Bb \cos \alpha + 0,125P - 3,5655P \cos \alpha = 0$$

$$\underline{Bb = 3,4142P}$$

$$- bc - 0,06P - [3,5655 + 3,4142] P \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

$$\underline{bc = 2,7186P}$$

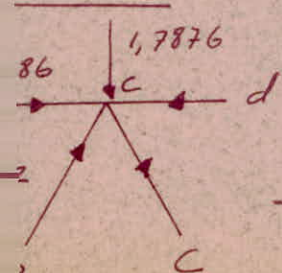
Noeud B



$$- BC - 2,7186P - 2[3,4142 + 3,4142] P \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} \cos \alpha = 0$$

$$\underline{BC = 8,1554P}$$

Noeud c



$$- Cc \cos \alpha - 3,4142 \cos \alpha + 1,7876 = 0$$

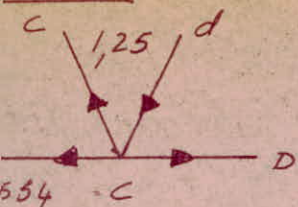
$$\underline{Cc = 1,25P}$$

$$- cd - 2,7186 - [1,25 + 3,4142] P \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

$$\underline{cd = 4,5753P}$$

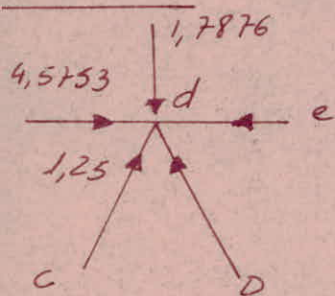
$$- cd' + [1,25 - 3,4142] P \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} \cos \alpha = 0$$

$$cd' = 0,8616P$$

oewd C

$$- CD - 8,1554 - 2 [1,25 + 1,25] \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

$$\underline{CD = 10,1459 P}$$

oewd d

$$- Dd \cos \alpha - 1,7876 + 1,25 \cos \alpha = 0$$

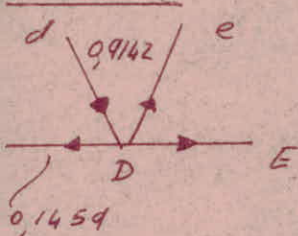
$$\underline{Dd = 0,9142 P}$$

$$- dd' - [1,25 + 0,9142] \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

$$\underline{dd' = 0,8616 P}$$

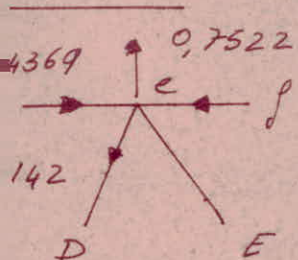
$$- de - 4,5753 - [1,25 + 0,9142] \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

$$\underline{de = 5,4369 P}$$

oewd D

$$- DE - 10,1459 + 2 [0,9142 + 0,9142] \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

$$\underline{DE = 8,69 P}$$

oewd e

$$- Ee \cos \alpha - 0,7522 + 0,9142 \cos \alpha = 0$$

$$\underline{Ee = 0,00007 \Rightarrow Ee = 0}$$

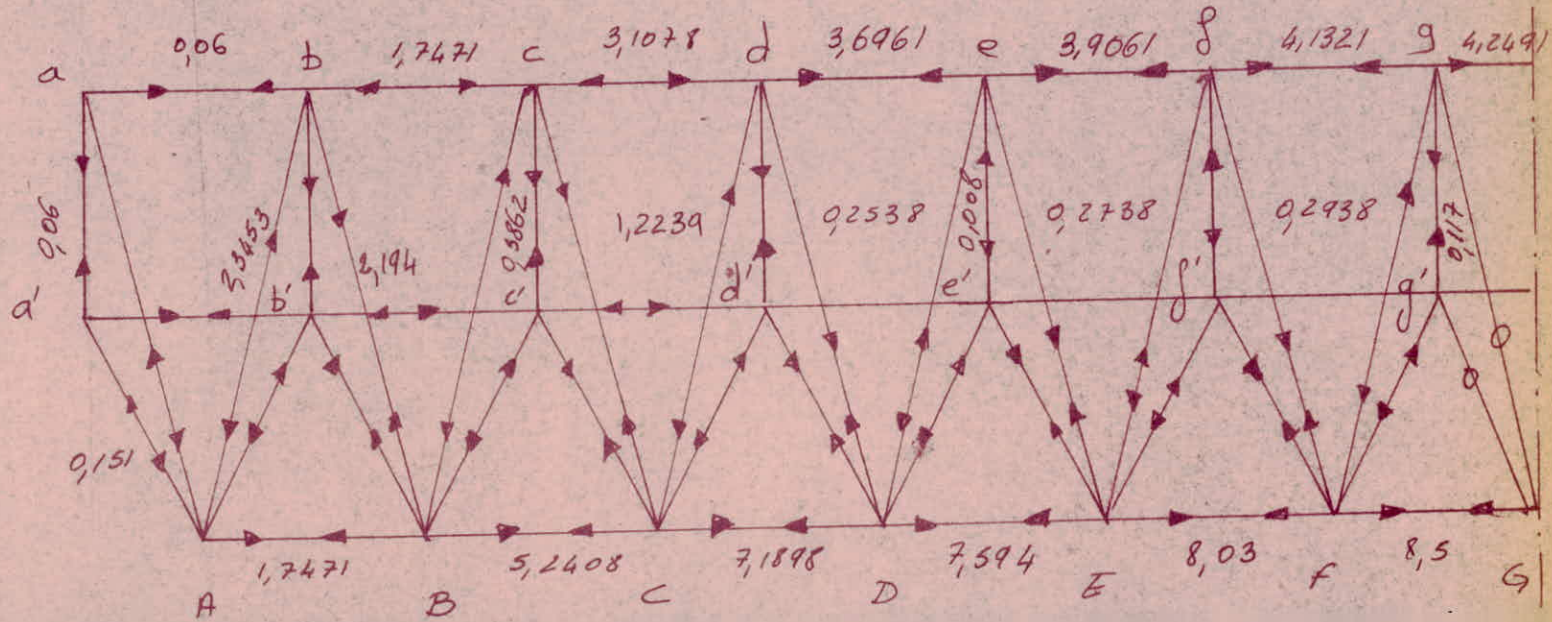
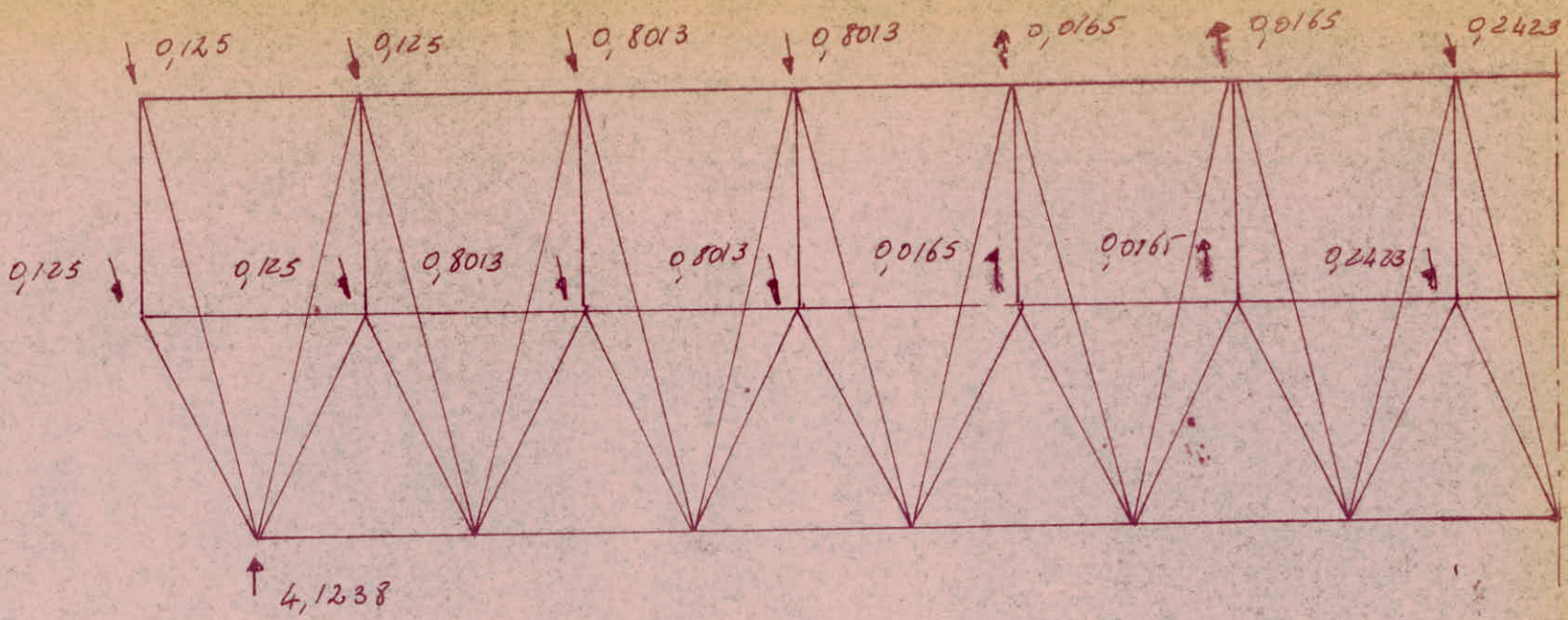
$$- ef - 5,4369 + 0,9142 \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

$$\underline{ef = 5,073 P}$$

$$- ee' - 0,9142 \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

$$\underline{ee' = 0,3639 P}$$

POUTRE 5



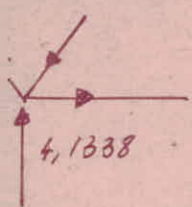
POUTRE 5

reaction d'appui

$$R_a = \sum P_i = 4P(0,125 + 0,8013 - 0,0165) + 2P(0,2423) = 0 \quad \underline{R_a = 4,1338P}$$

loi libre des noeuds

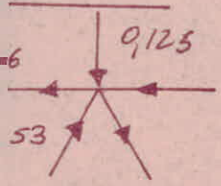
noeud A



$$- 2(Ab + 0,151) \cos \alpha - 4,1238 = 0 \quad \underline{Ab = 2,3453P}$$

$$- AB + 2[0,151 - 2,3453] \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0 \quad \underline{AB = 1,7471P}$$

noeud b

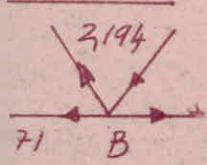


$$- [Bb - 2,3453] \cos \alpha + 0,125 = 0 \quad \underline{Bb = 2,194P}$$

$$- bc - 0,06P + [Bb + 2,194] \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

$$\underline{bc = 1,7471P}$$

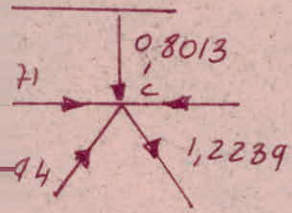
noeud B



$$- BC - 2[2,194 + 2,194] \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0,7471 = 0$$

$$\underline{BC = 5,2408P}$$

noeud c



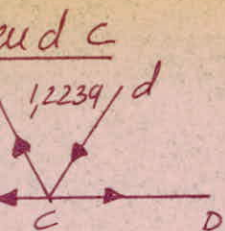
$$- [Cc - 2,194] \cos \alpha + 0,8013 = 0 \quad \underline{Cc = 1,2239P}$$

$$- cd - 1,7471 - [2,194 + 1,2239] \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

$$\underline{cd = 3,1078P}$$

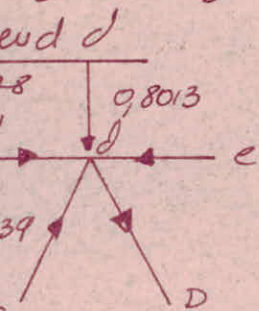
$$- cc' - [2,194 - 1,2239] \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

$$\underline{cc' = 0,3862P}$$



$$- CD - 5,2409 - 2 [1,2239 + 1,2239] \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

$$\underline{CD = 7,1898}$$

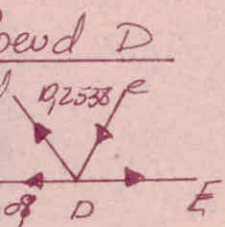


$$- [dE + 1,2239] \cos \alpha + 0,8013 = 0 \quad \underline{dE = 0,2538 P}$$

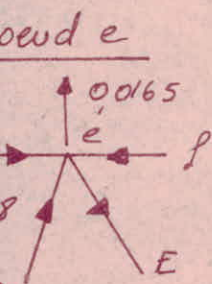
$$- dE - 3,1078 - [0,2538 + 1,2239] \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

$$\underline{dE = 3,6961 P}$$

$$- dd' - [1,2239 - 0,2538] \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0 \quad \underline{dd' = 0,3862 P}$$



$$- DE - 7,1898 - 2 [0,2538 + 1,2239] \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0 \quad \underline{DE = 7,594 P}$$

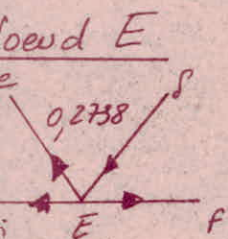


$$- [eE + 0,2538] \cos \alpha + 0,0165 = 0 \quad \underline{eE = 0,2738 P}$$

$$- eE - 3,4061 - [0,2538 + 0,2738] \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

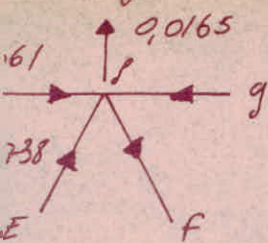
$$\underline{eE = 3,9061 P}$$

$$- ee' + [0,2538 - 0,2738] \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0 \quad \underline{ee' = 0,008 P}$$



$$- EF - 7,594 - 2 [0,2738 + 0,2738] \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0 \quad \underline{EF = 8,03 P}$$

Noeud f

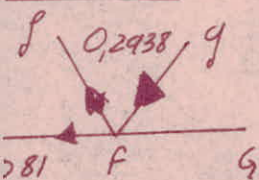


$$- [f f + 0,2738] \cos \alpha + 0,0165 = 0 \quad \underline{f f = 0,2938 P}$$

$$- f g - 3,9061 - [0,2738 + 0,2938] \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

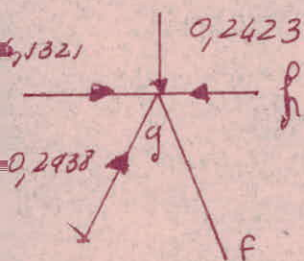
$$\underline{f g = 4,1321 P}$$

Noeud F



$$- F G - 8,031 - 2 [0,2938 + 0,2938] \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0 \quad \underline{F G = 8,571 P}$$

Noeud g



$$- [g f + 0,2938] \cos \alpha + 0,2423 = 0$$

$$\underline{g f = 0,0005 P \Rightarrow g f = 0}$$

$$- g h - 4,1321 - 0,2938 \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

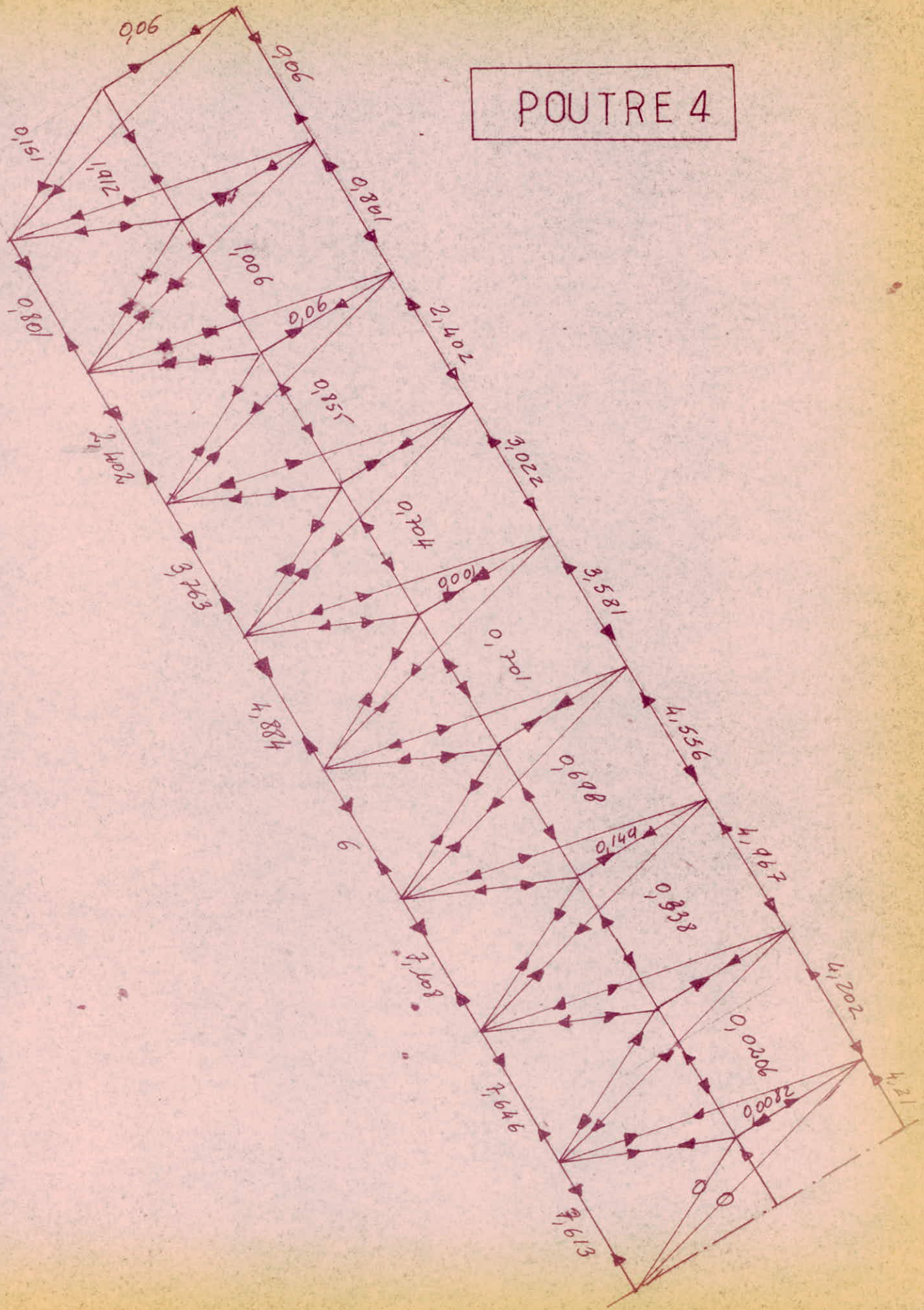
$$\underline{g h = 4,2491}$$

$$- g g' - 0,2938 \sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

$$\underline{g g' = 0,117}$$

$$\sin \alpha \frac{\sqrt{2}}{2} = 0,348$$

POUTRE 4



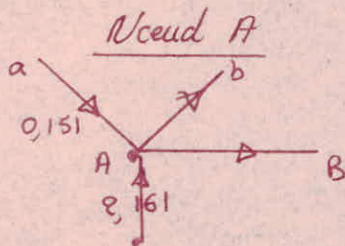
POUTRE 4

Reaction d'appui

$$R_a = \sum P_i = 4P(0,125 + 0,125 + 0,0017 + 0,2361) - 2P(0,0151)$$

$$\underline{R_a = 2,161 P}$$

Equilibre des nœuds

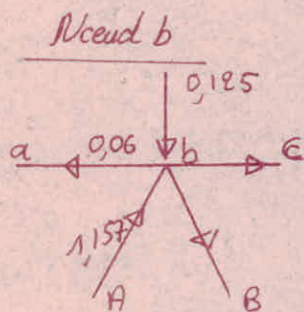


$$2 Ab \cos \alpha - 2 \cdot 0,151 \cdot \cos \alpha + 2,161 = 0$$

$$\underline{Ab = -1,157 P}$$

$$AB - 1,157 \sin \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 2 + 0,151 \cdot \sin \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 2 = 0$$

$$\underline{AB = 0,801 P}$$

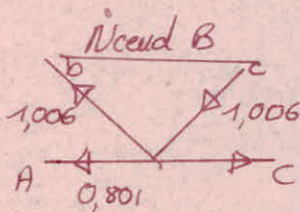


$$Bb \cos \alpha - 1,157 \cos \alpha + 0,125 = 0$$

$$\underline{Bb = 1,006 P}$$

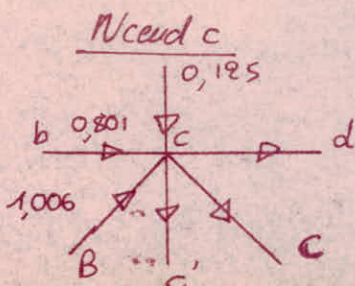
$$bc - 0,06 + 1,157 \sin \frac{\sqrt{2}}{2} + 1,006 \sin \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

$$\underline{bc = 0,801 P}$$



$$BC - 0,801 - 1,006 \cdot \sin \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 2 = 0$$

$$\underline{BC = 2,402 P}$$



$$Cc \cos \alpha - 1,006 \cos \alpha + 0,125 = 0$$

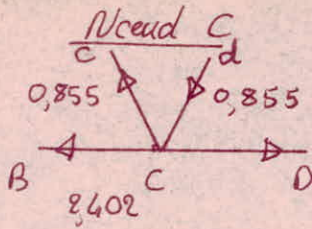
$$\underline{Cc = 0,855 P}$$

$$cd + 0,801 + 0,855 \cdot 0,398 + 1,006 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{cd = -1,541 P}$$

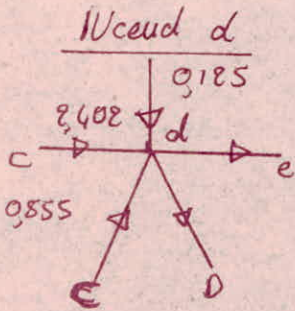
$$cc' - 1,006 \cdot 0,398 + 0,855 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{cc' = 0,06P}$$



$$CD - 2,402 - 0,855 \cdot 0,398 \cdot 2,2 = 0$$

$$\underline{CD = +3,763P}$$

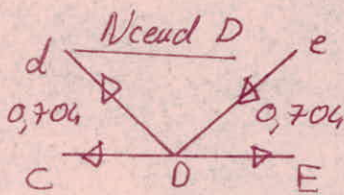


$$0,125 + Dd \cos \alpha - 0,855 \cos \alpha = 0$$

$$\underline{Dd = 0,704P}$$

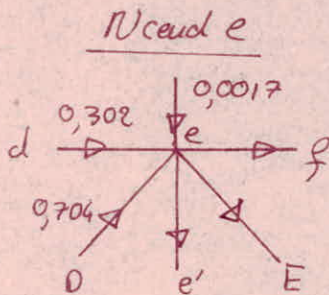
$$de + 1,541 + 0,704 \cdot 0,398 + 0,855 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{de = -2,161P}$$



$$DE - 3,763 - 0,704 \cdot 0,398 \cdot 2,2 = 0$$

$$\underline{DE = +4,884P}$$



$$0,0017 + Ee \cos \alpha - 0,704 \cos \alpha = 0$$

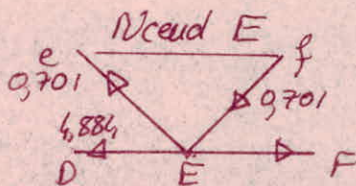
$$\underline{Ee = 0,701P}$$

$$ef + 2,161 + 0,704 \cdot 0,398 + 0,701 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{ef = -2,72P}$$

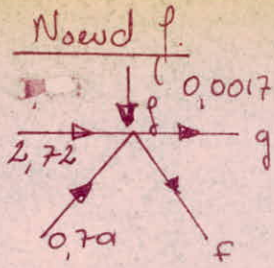
$$ee' - 0,704 \cdot 0,398 + 0,701 \cdot 0,398 = 0$$

$$ee' = 0,001 \Rightarrow 0$$



$$EF - 4,884 - 0,701 \cdot 0,398 \cdot 2,2 = 0$$

$$\underline{EF = 6,00P}$$

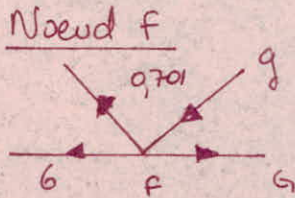


$$0,0017 + 0,826 \cdot f_f - 0,701 \cdot 0,826 = 0$$

$$\underline{f_f = 0,696P}$$

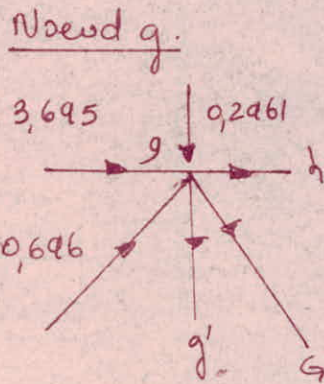
$$f_g + 2,72 + [0,696 + 0,701] \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{f_g = -3,695P}$$



$$f_g - 6 - 0,696 \cdot 4 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{f_g = 7,108P}$$



$$0,2961 + G_g \cdot 0,826 - 0,696 \cdot 0,826 = 0$$

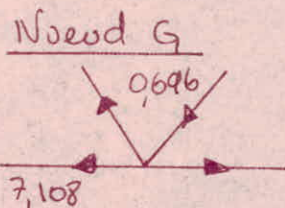
$$\underline{G_g = 0,338P}$$

$$g_h + 3,695 + [0,338 + 0,696] \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{g_h = -4,106P}$$

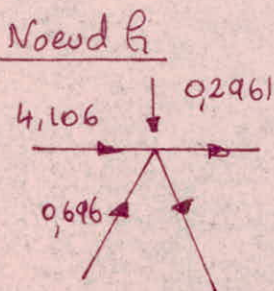
$$g g' - 0,696 \cdot 0,398 + 0,338 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{g g' = 0,149P}$$



$$G_H - 7,108 - 4 \cdot 0,338 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{G_H = 7,646P}$$



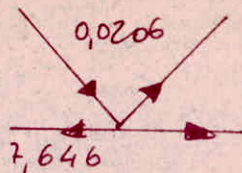
$$0,2961 - 0,338 \cdot 0,826 + H_h \cdot 0,826 = 0$$

$$\underline{H_h = -0,0206P}$$

$$h_i + 4,106 - 0,0206 \cdot 0,398 + 0,338 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{h_i = -4,202P}$$

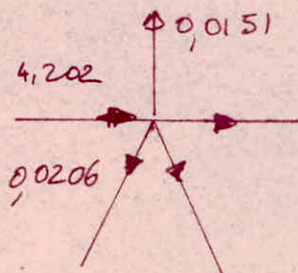
Noerd H



$$HI - 7,646 + 4 \cdot 0,398 \cdot 0,0206 = 0$$

$$\underline{HI = 7,613 P}$$

Noerd i



$$0,0206 \cdot 0,826 - 0,0151 + I_i \cdot 0,826 = 0$$

$$\underline{I_i = 0,002 P} \Rightarrow \underline{I_i = 0}$$

$$i_j + 4,202 - 0,0206 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{i_j = -4,20 P}$$

$$i_i - 0,0206 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{i_i = 0,0082 P}$$

POUTRE 3

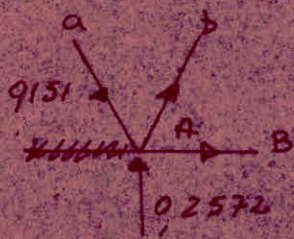
Reaction d'appui

$$R_a = \sum P_i = 4P(0,125 - 0,5513 + 0,2483 + 0,125 - 0,0738) + 2P(0,3882)$$

$$\underline{R_a = 0,2572 \cdot P}$$

Equilibre des noeuds

Noeud A



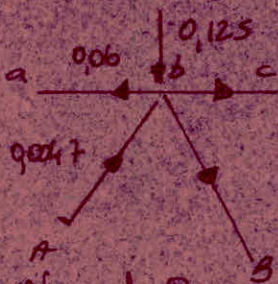
$$0,2572 + 2 \cdot AB \cos \alpha - 2 \cdot 0,151 \cdot \cos \alpha = 0$$

$$\underline{AB = -0,0047 \cdot P}$$

$$AB + 2 \cdot 0,151 \cdot 0,398 + (-0,0047) \cdot 2 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{AB = 0,116 \cdot P}$$

Noeud b



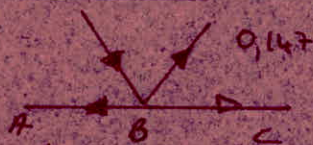
$$0,125 + B_b \cdot 0,826 - 0,0047 \cdot 0,826 = 0$$

$$\underline{B_b = -0,147 \cdot P}$$

$$bc - 0,06 + 0,0047 \cdot 0,398 - 0,147 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{bc = 0,116 \cdot P}$$

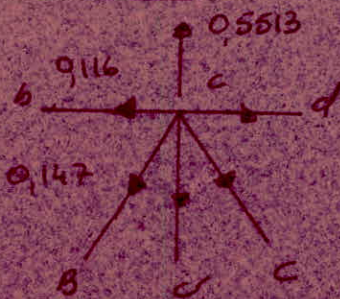
Noeud B



$$BC - 0,116 + 4 \cdot 0,147 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{BC = -0,118 \cdot P}$$

Noeud c



$$0,147 \cdot 0,826 + C_c \cdot 0,826 - 0,5513 = 0$$

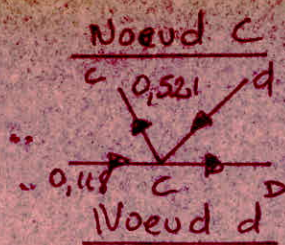
$$\underline{C_c = 0,521 \cdot P}$$

$$cd - 0,116 - 0,147 \cdot 0,398 + 0,521 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{cd = -0,0325 \cdot P}$$

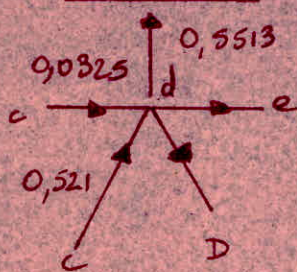
$$cc' = [0,521 + 0,147] \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{cc' = 0,266 \cdot P}$$



$$CD + 0,148 - 4 \cdot 0,398 \cdot 0,521 = 0$$

$$\underline{CD = 0,711 P}$$

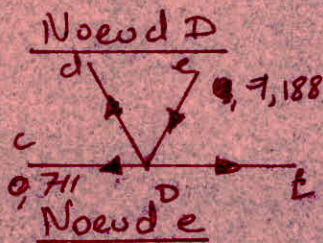


$$Dd \cdot 0,826 - 0,5513 - 0,521 \cdot 0,826 = 0$$

$$\underline{Dd = 1,188 P}$$

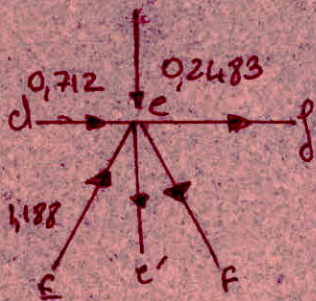
$$de + 0,0325 + [0,521 + 1,188] \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{de = -0,712 P}$$



$$DE - 4 \cdot 1,188 \cdot 0,398 - 0,711 = 0$$

$$\underline{DE = 2,602 P}$$



$$0,2483 + fe \cdot 0,826 - 1,188 \cdot 0,826 = 0$$

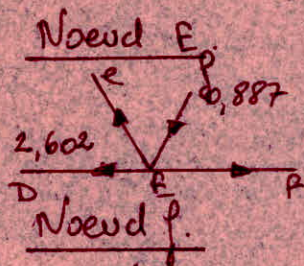
$$\underline{fe = 0,887 P}$$

$$ef + 0,712 + [1,188 + 0,887] \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{ef = -1,538}$$

$$ee' - 1,188 \cdot 0,398 + 0,887 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{ee' = 0,12 P}$$



$$PE - 2,602 - 4 \cdot 0,887 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{EF = 4,014 P}$$



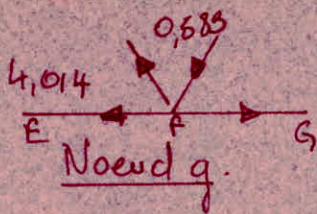
$$0,2483 + fg \cdot 0,826 - 0,887 \cdot 0,826 = 0$$

$$\underline{fg = 0,583 P}$$

$$fg + 1,538 + [0,583 + 0,887] \cdot 0,398 = 0$$

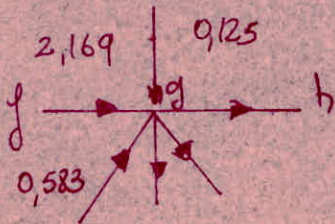
$$\underline{fg = -2,169 P}$$

Noeud F



$$FG - 4,014 - 4 \cdot 0,398 \cdot 0,583 = 0$$

$$\underline{FG = 4,942 P}$$



$$0,125 + Gg \cdot 0,826 - 0,583 \cdot 0,826 = 0$$

$$\underline{Gg = 0,432 P}$$

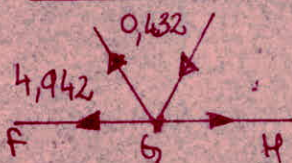
$$gh + 2,169 + [0,432 + 0,583] \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{gh = -2,573 P}$$

$$gg' - 0,583 \cdot 0,398 + 0,432 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{gg' = 0,06 P}$$

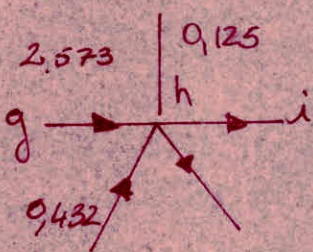
Noeud G



$$GH - 4,942 - 4 \cdot 0,432 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{GH = 5,63 P}$$

Noeud h



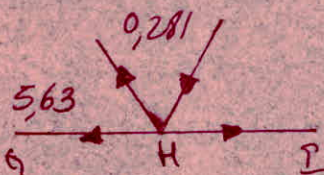
$$0,125 + Hh \cdot 0,826 - 0,432 \cdot 0,826 = 0$$

$$\underline{Hh = 0,281 P}$$

$$hi + 2,573 + [0,432 + 0,281] \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{hi = -2,857 P}$$

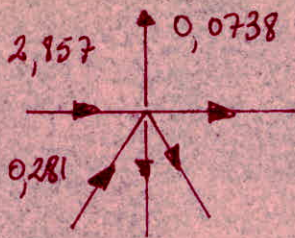
Noeud H



$$HI - 5,63 - 4 \cdot 0,281 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{HI = 6,077 P}$$

Noeud i



$$I_i: 0,826 - 0,0738 - 0,281 = 0$$

$$\underline{I_i = 0,370.P}$$

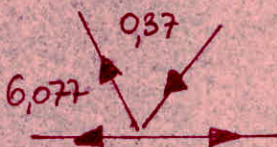
$$i_j + 2,957 + (0,281 + 0,37) \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{i_j = -3,116.P}$$

$$i_i' - 0,37 \cdot 0,398 + 0,281 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{i_j = 0,035.P}$$

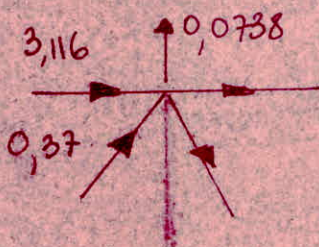
Noeud I



$$I_{II} - 6,077 - 4 \cdot 0,398 \cdot 0,37 = 0$$

$$\underline{I_{II} = 6,666.P}$$

Noeud j



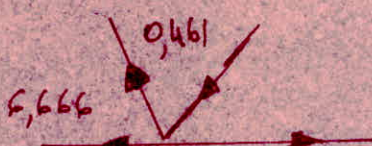
$$j_{II} - 0,0738 - 0,281 \cdot 0,826 = 0$$

$$\underline{j_{II} = 0,461.P}$$

$$j_k + 3,116 + [0,461 + 0,37] \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{j_k = -3,446.P}$$

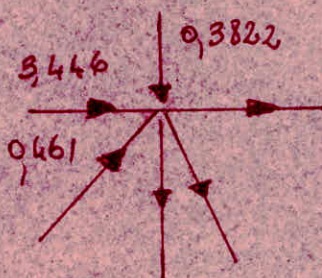
Noeud J



$$J_{II} - 6,666 - 4 \cdot 0,461 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{J_{II} = 7,4.P}$$

Noeud k



$$0,3822 + K_k \cdot 0,826 - 0,461 \cdot 0,826 = 0$$

$$\underline{K_k = 0,001.P \Rightarrow K_k = 0}$$

$$k_l + 3,446 + 0,461 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{k_l = -3,63.P}$$

$$k_k' - 4,61 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{k_k' = 0,184.P}$$

POUTRE 2

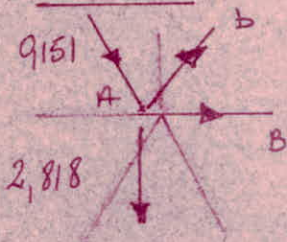
Reaction d'appui

$$R_a = \sum P_i = 4P(0,125 - 1,5376 + 0,2665 - 0,0461 + 0,3828 + 0,125) + 2P(0,0778)$$

$$\underline{R_a = -2,818.}$$

Equilibre des noeuds.

Noeud A.



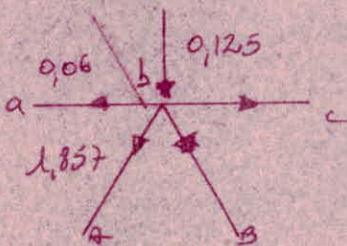
$$2. A_a. 0,826 - 2,818 - 2. 0,151. 0,826 = 0$$

$$\underline{A_a = 1,857 P}$$

$$A_b + 2. 0,151. 0,398 + 2. 1,857. 0,398 = 0$$

$$\underline{A_b = -1,598 P}$$

Noeud b



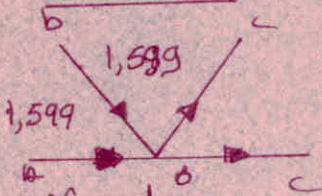
$$0,125 + 1,857. 0,826 + 0,826. b_b = 0$$

$$\underline{b_b = -2,009 P}$$

$$b_c - 0,06 - 1,857. 0,398 - 2,009. 0,398 = 0$$

$$\underline{b_c = 1,599 P}$$

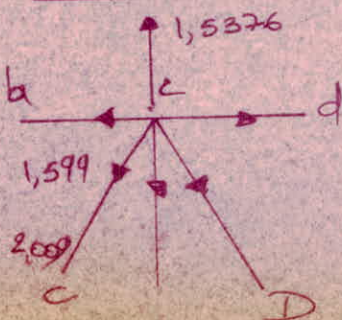
Noeud B.



$$B_c + 1,598. + 4. 2,009. 0,398 = 0$$

$$\underline{B_c = 4,746 P}$$

Noeud c



$$2,009. 0,826 + C_c. 0,826 - 1,5376 = 0$$

$$\underline{C_c = -0,148.}$$

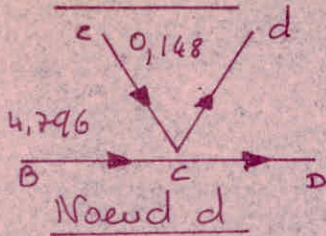
$$c_d - 1,599 - [2,009 + 0,148]. 0,398$$

$$\underline{c_d = 2,458}$$

$$c_c' + 2,009. 0,398 - 0,148. 0,398 = 0$$

$$\underline{c_c' = -0,74.}$$

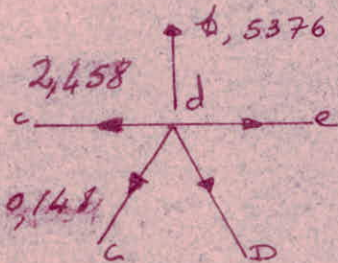
Noeud C



$$CD = 4,796 + 4 \cdot 0,398 \cdot 0,148 = 0$$

$$\underline{CD = -5,032 P}$$

Noeud d



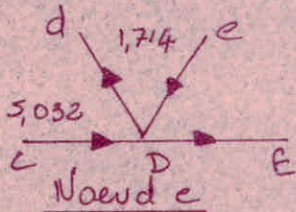
$$-1,5376 + 0,148 \cdot 0,826 + Dd \cdot 0,826 = 0$$

$$\underline{Dd = 1,714 P}$$

$$de = -2,458 - [0,148 - 1,714] \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{de = 1,835 P}$$

Noeud D



$$DE + 5,032 - 4 \cdot 1,714 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{DE = -2,303 P}$$

$$Ee \cdot 0,826 + 0,2665 - 1,714 \cdot 0,826 = 0$$

$$\underline{Ee = 1,391 P}$$

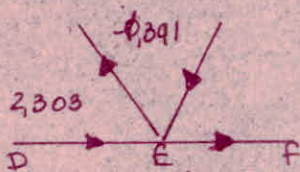
$$ef = -1,835 + [1,391 + 1,714] \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{ef = 0,599 P}$$

$$ee' + [1,391 - 1,714] \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{ee' = 0,128 P}$$

Noeud E



$$EF + 2,303 - 4 \cdot 1,391 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{EF = -2,089 P}$$

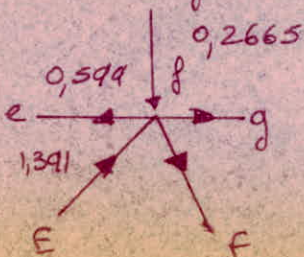
$$0,2665 + 1,391 \cdot 0,826 + ef \cdot 0,826 = 0$$

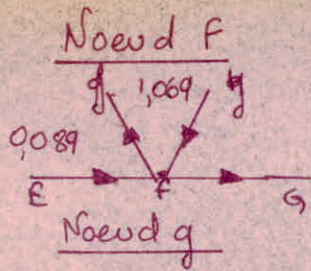
$$\underline{ef = 1,069 P}$$

$$fg = 0,599 + [1,069 + 1,391] \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{fg = -0,38 P}$$

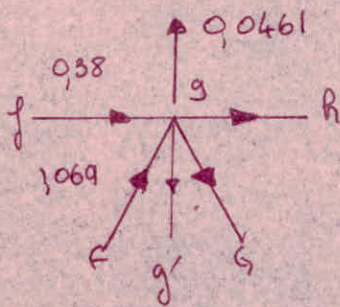
Noeud f





$$FG + 0,089 - G \cdot 0,398 - 1,069 = 0$$

$$\underline{FG = 1,613 P}$$



$$Gg \cdot 0,826 - 0,0461 - 1,069 \cdot 0,826 = 0$$

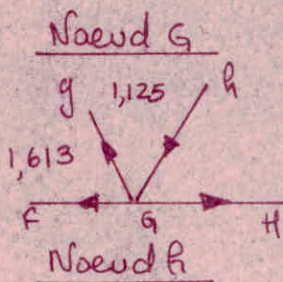
$$\underline{Gg = 1,125 P}$$

$$gh + 0,38 + [-1,125 + 1,069] \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{gh = -1,253 P}$$

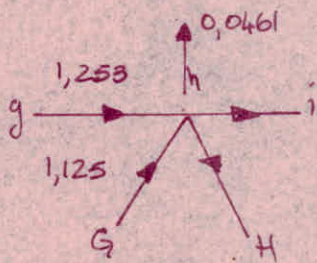
$$gg' - 1,069 \cdot 0,398 + 1,125 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{gg' = -0,046 P}$$



$$GH - 1,613 - G \cdot 1,125 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{GH = 3,404 P}$$

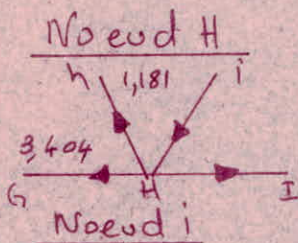


$$Hh \cdot 0,826 - 0,0461 - 0,826 \cdot 1,125 = 0$$

$$\underline{Hh = 1,181 P}$$

$$hi + 1,253 + [1,181 + 1,125] \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{hi = -2,171 P}$$



$$HG - 3,404 - G \cdot 1,181 \cdot 0,398 = 0$$

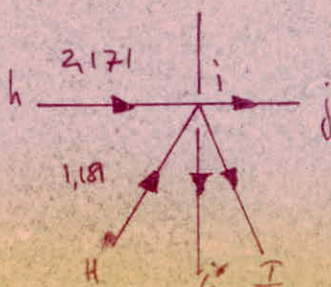
$$\underline{HG = 5,284 P}$$

$$Ii \cdot 0,826 + 0,398 + 1,181 \cdot 0,826 = 0$$

$$\underline{Ii = 0,788 P}$$

$$ij + 2,171 + [0,788 + 1,181] \cdot 0,398 = 0$$

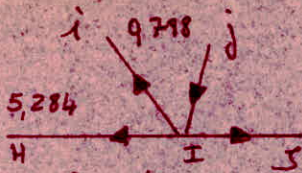
$$\underline{ij = -2,955 P}$$



$$ii' - 1,181 \cdot 0,398 + 0,788 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{ii' = 0,156 P}$$

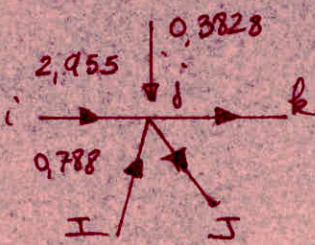
Noerd I



$$IS - 5,284 - 4 \cdot 0,788 \cdot 0,348 = 0$$

$$\underline{IS = 6,354P}$$

Noerd j



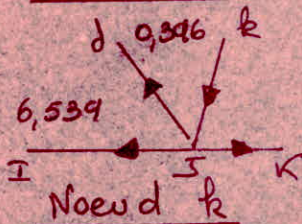
$$0,3208 + jJ \cdot 0,826 - 0,788 \cdot 0,826 = 0$$

$$\underline{jJ = 0,396P}$$

$$jk + 2,955 - [0,346 + 0,788] \cdot 0,348 = 0$$

$$\underline{jk = -3,426P}$$

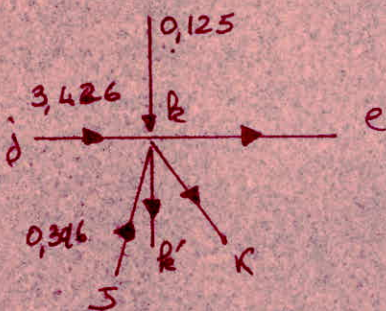
Noerd J



$$JK - 6,354 - 4 \cdot 0,346 \cdot 0,826 = 0$$

$$\underline{JK = 7,164P}$$

Noerd k



$$0,125 + kK \cdot 0,826 - 0,346 \cdot 0,348 = 0$$

$$\underline{kK = 0,245P}$$

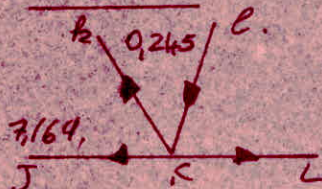
$$ke + 3,426 + [0,245 + 0,346] \cdot 0,348 = 0$$

$$\underline{kK = 3,681P}$$

$$kk' + 0,245 \cdot 0,348 - 0,346 \cdot 0,348 = 0$$

$$\underline{kk' = 0,06P}$$

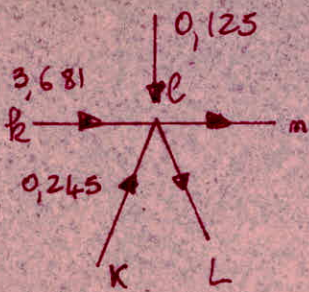
Noerd K



$$KL - 7,164 - 4 \cdot 0,348 \cdot 0,245 = 0$$

$$\underline{KL = 7,554P}$$

Noeud e.



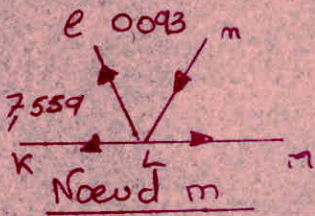
$$0,125 + 0,826 eL - 0,826 \cdot 0,245 = 0$$

$$\underline{eL = 0,093 P}$$

$$e_m + 3,681 + [0,093 + 0,245] \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{e_m = 3,816 P}$$

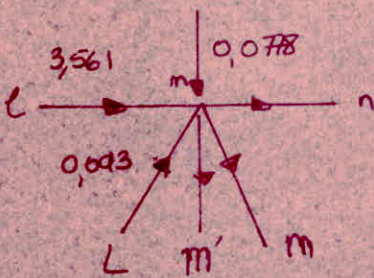
Noeud L



$$L_m - 7,559 - 4 \cdot 0,398 \cdot 0,093 = 0$$

$$\underline{L_m = 7,707 P}$$

Noeud m



$$0,0778 - 0,093 \cdot 0,826 + m_m \cdot 0,826 = 0$$

$$\underline{m_m = 0,0009 P \Rightarrow m_m = 0}$$

$$m_n + 3,816 + 0,093 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{m_n = 3,853 P}$$

$$m m' - 0,093 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{m m' = 0,037 P}$$

POUTRE I

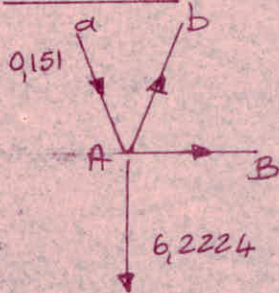
Reaction d'appui

$$R_a = \sum P_i = 4P (0,125 - 3,0587 + 1,0028 + 0,0077 + 0,265 - 0,1322 + 0,1723) + 2P \cdot 0,125$$

$$\underline{R_a = -6,2224 P}$$

Equilibre des noeuds

Noeud A



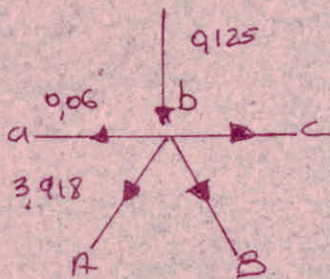
$$6,2224 + 2 \cdot 0,151 \cdot 0,826 - 2 \cdot Ab \cdot 0,826 = 0$$

$$\underline{Ab = 3,918 P}$$

$$AB + 2 \cdot 0,151 \cdot 0,348 + 2 \cdot 3,918 \cdot 0,348 = 0$$

$$\underline{AB = -3,239 P}$$

Noeud b



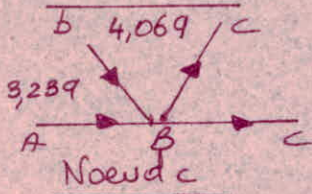
$$0,125 + 3,918 \cdot 0,826 + Bb \cdot 0,826 = 0$$

$$\underline{Bb = -4,069 P}$$

$$bc - 0,06 - [3,918 + 4,069] \cdot 0,348 = 0$$

$$\underline{bc = 3,239 P}$$

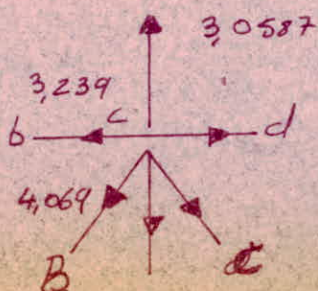
Noeud B



$$BC + 3,239 + 4 \cdot 0,348 \cdot 4,069 = 0$$

$$\underline{BC = -9,77 P}$$

Noeud c



$$4,069 \cdot 0,826 - 3,0587 + 0,826 \cdot Cc = 0$$

$$\underline{Cc = 0,366 P}$$

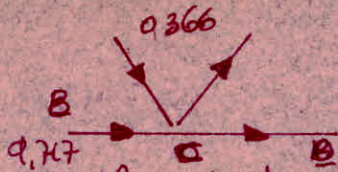
$$cd - 3,239 + [4,069 + 0,366] \cdot 0,348 = 0$$

$$\underline{cd = 5,004 P}$$

$$cc' + 4,069 \cdot 0,348 - 0,366 \cdot 0,348 = 0$$

$$\underline{cc' = -1,474 P}$$

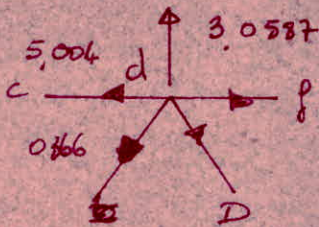
Noeud C



$$CD + 9,717 + 4 \cdot 0,366 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{CD = -10,3 P}$$

Noeud d



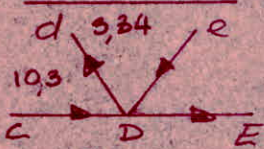
$$Dd \cdot 0,826 + 0,366 \cdot 0,826 - 3,0587 = 0$$

$$\underline{Dd = 3,34 P}$$

$$de - 5,004 - 0,366 \cdot 0,398 + 3,34 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{de = 3,822 P}$$

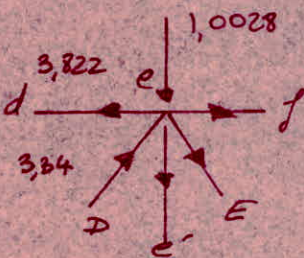
Noeud D



$$DE + 10,3 - 4 \cdot 0,34 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{DE = -4,983 P}$$

Noeud e



$$1,0028 - 3,34 \cdot 0,826 + Ee \cdot 0,826 = 0$$

$$\underline{Ee = 2,123 P}$$

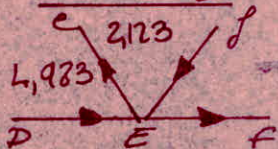
$$ef - 3,822 + [3,34 + 2,123] \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{ef = 1,648 P}$$

$$ee' - 3,34 \cdot 0,398 + 2,123 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{ee' = 0,484 P}$$

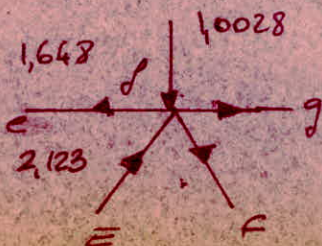
Noeud F



$$EF + 4,983 - 4 \cdot 2,123 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{EF = -1,603 P}$$

Noeud f

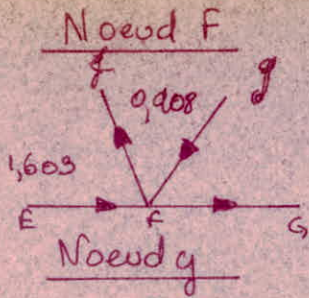


$$1,0028 + fg \cdot 0,826 - 2,123 \cdot 0,826 = 0$$

$$\underline{fg = 0,408 P}$$

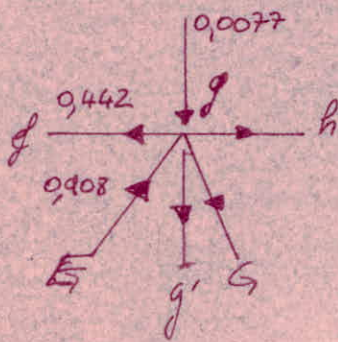
$$fg - 1,648 + [2,123 + 0,408] \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{fg = 0,442 P}$$



$$FG + 1,603 - 4 \cdot 0,408 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{FG = -0,158 P}$$



$$0,0077 - 0,408 \cdot 0,826 + Gg \cdot 0,826 = 0$$

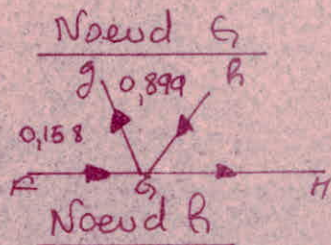
$$\underline{Gg = 0,899 P}$$

$$gh - 0,442 + [0,899 + 0,408] \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{gh = -0,158 P}$$

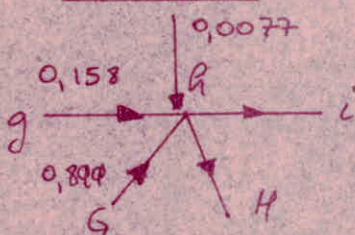
$$gg' - 0,408 \cdot 0,398 + 0,899 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{gg' = 0,004 P}$$



$$GH + 0,158 - 4 \cdot 0,899 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{GH = 1,273 P}$$

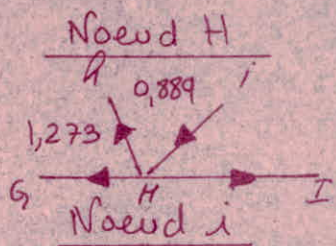


$$0,0077 - 0,899 \cdot 0,398 + 0,826 Hh = 0$$

$$\underline{Hh = 0,889 P}$$

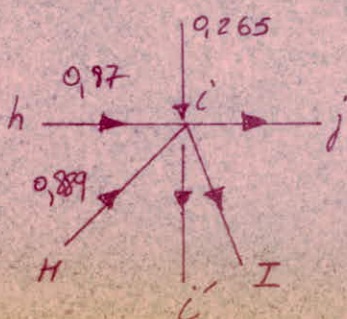
$$hi + 0,158 + [0,899 + 0,889] \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{hi = -0,87 P}$$



$$HI - 1,273 - 0,889 \cdot 0,398 \cdot 4 = 0$$

$$\underline{HI = 2,688 P}$$



$$0,265 - 0,889 \cdot 0,826 + Ii \cdot 0,826 = 0$$

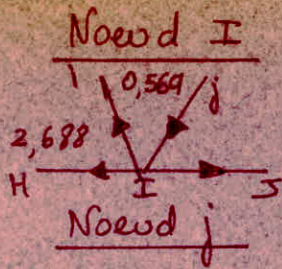
$$\underline{Ii = 0,569 P}$$

$$ij + 0,87 + [0,569 + 0,889] \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{ij = -1,45 P}$$

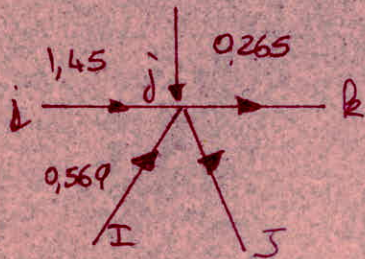
$$ii' - 0,889 \cdot 0,398 + 0,569 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{ii' = 0,128 P}$$



$$IJ - 2,688 - 4 \cdot 0,569 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{IJ = 3,594 P}$$

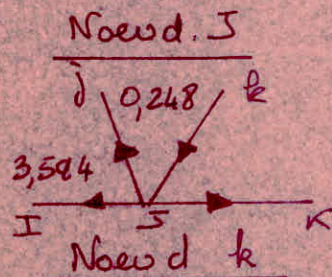


$$0,265 + 0,826 Jj - 0,826 \cdot 0,569 = 0$$

$$\underline{jJ = 0,248 P}$$

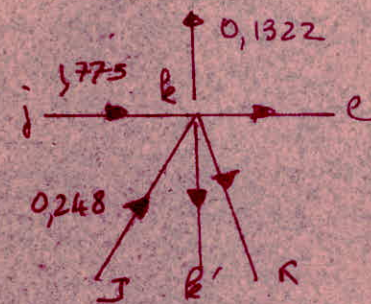
$$jk + 1,45 + [0,248 + 0,569] \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{jk = -1,775 P}$$



$$JK - 3,594 - 4 \cdot 0,248 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{JK = 3,489 P}$$



$$0,826 Kk - 0,826 \cdot 0,248 - 0,1322 = 0$$

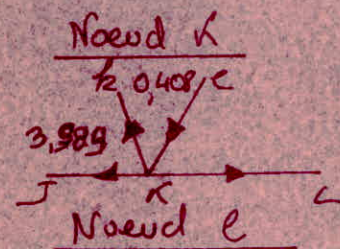
$$\underline{Kk = 0,408 P}$$

$$kl + 1,775 + [0,408 + 0,248] \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{kl = -2,036 P}$$

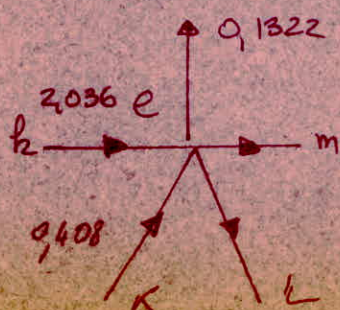
$$kk' - 0,248 \cdot 0,398 + 0,408 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{kk' = -0,064 P}$$



$$KL - 3,989 - 4 \cdot 0,408 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{KL = 4,639 P}$$

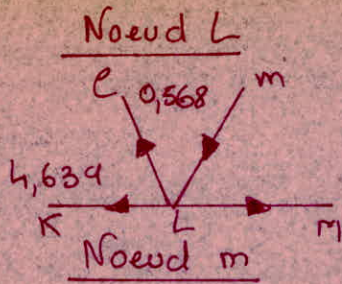


$$el \cdot 0,826 - 0,1322 - 0,408 \cdot 0,826 = 0$$

$$\underline{el = 0,568 P}$$

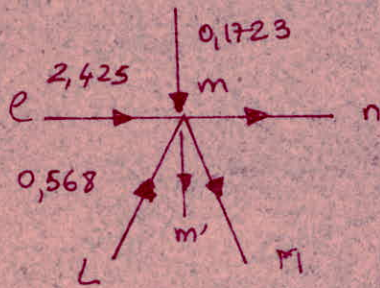
$$em + 2,036 + [0,568 + 0,408] \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{em = -2,425 P}$$



$$LM - 4,634 + 4 \cdot 0,568 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{LM = 5,543 P}$$



$$0,1723 + 0,826 Mm - 0,826 \cdot 0,568 = 0$$

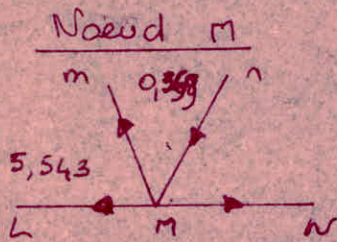
$$\underline{Mm = 0,359 P}$$

$$mn + 2,425 + [0,359 + 0,568] \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{mn = -2,794 P}$$

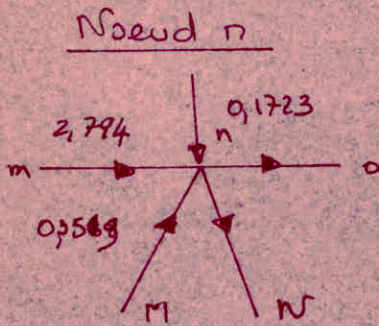
$$mm' - 0,568 \cdot 0,398 + 0,359 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{mm' = 0,083 P}$$



$$MN - 5,543 - 4 \cdot 0,359 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{MN = 6,115 P}$$

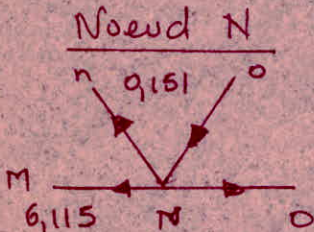


$$0,1723 + 0,826 Nn - 0,826 \cdot 0,359 = 0$$

$$\underline{Nn = 0,151 P}$$

$$no + 2,794 + [0,151 + 0,359] \cdot 0,398 = 0$$

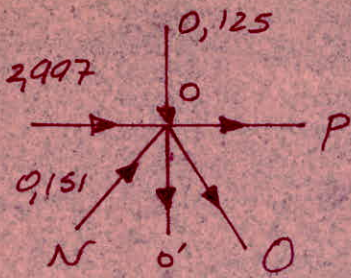
$$\underline{no = -2,997 P}$$



$$NO - 6,115 - 4 \cdot 0,151 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{NO = 6,355 P}$$

Noerd 0



$$0,125 + 0,826 \cdot 0,151 + 0 \cdot 0,826 = 0$$

$$\underline{0_0 = 0,0002 P \Rightarrow 0_0 = 0}$$

$$0_P + 2,997 + 0,151 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{0_P = -3,057 P}$$

$$0_0' - 0,151 \cdot 0,398 = 0$$

$$\underline{0_0' = 0,06 P}$$

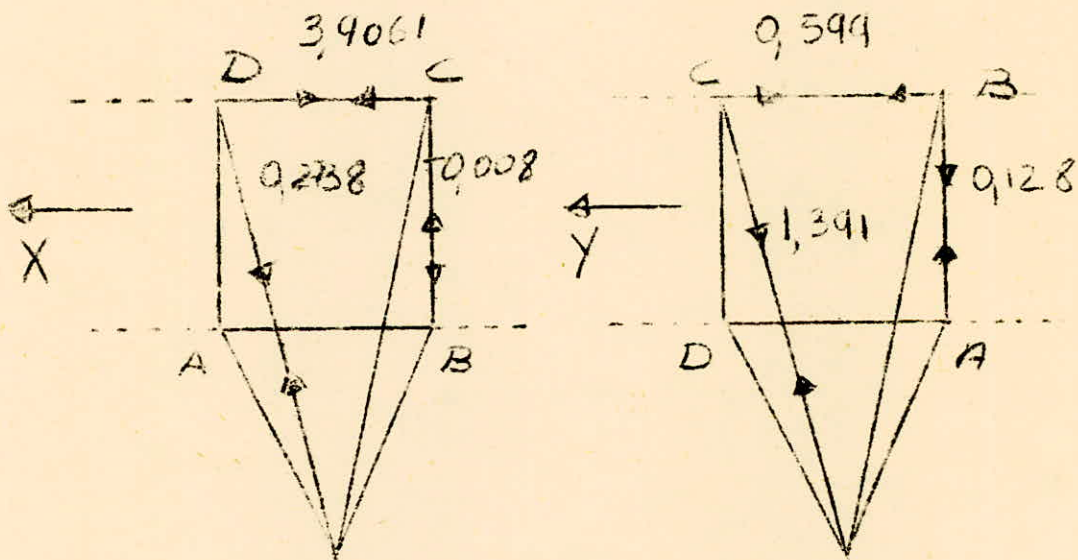
Détermination des efforts réels

Les efforts que nous venons de calculer, ne sont pas les efforts réels dans les barres. En effet nous n'avons pris en considération que les poutres dans le sens X. Il faudrait donc faire un calcul dans le sens Y, mais la symétrie de la structure nous permet d'éviter cela.

Considérons la pyramide N° 17

Dans le sens X, c'est la 5^{ième} de la poutre 2

Dans le sens Y, c'est la 5^{ième} de la poutre 5



$$AB = CD = 3,9061 + 0,128 = 4,0341$$

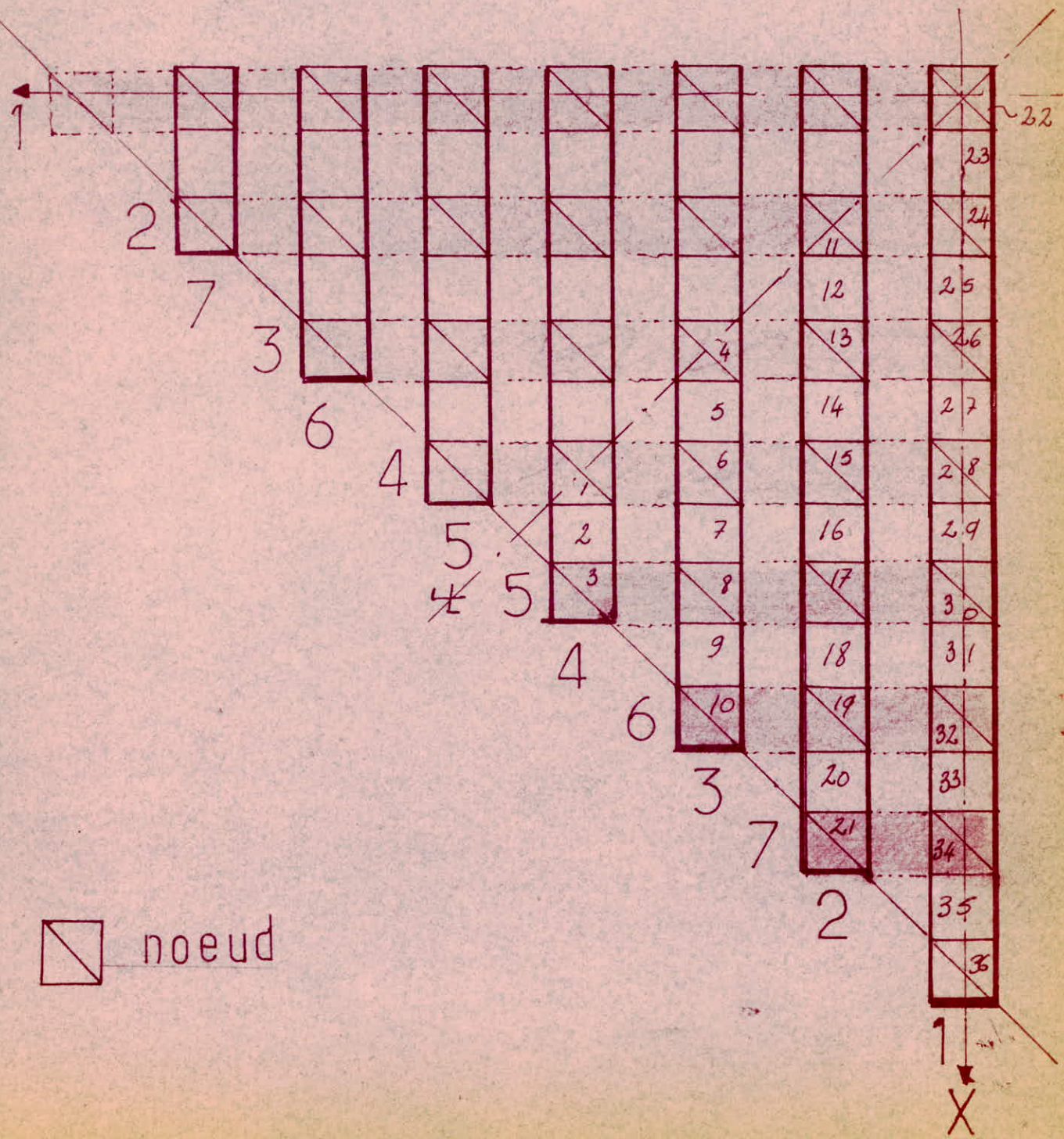
$$AD = BC = 0,599 - 0,0008 = 0,591$$

$$\text{Diagonales} = 1,391 + 0,2738 = 1,665$$

↳ Efforts réels dans la pyramide N° 17

numérotation des pyramides

- En traits pleins : Sens X
- En pointillés et ombré : Sens Y



noeud

On fera de même pour toute les autres pyramides néanmoins bénéficient une fois de plus de la symétrie (par rapport à une médiane) il ne sera pas nécessaire de calculer toutes les ~~symétriques~~ pyramides mais seulement la moitié comme indiqué page suivante .

Les résultats sont consignés dans la planche intitulée " EFFORTS REELS DANS LES PYRAMIDES "

Efforts needs Dans les pyramides.

No	Bornes Superieures	Diagonales
1	-2,342	-2,342
2	0,801	-2,342
3	0,12	0,12
4	-2,513	-2,513
5	-2,169	-2,513
6	-1,534	-5,119
7	-0,712	-5,119
8	0,3537	-3,374
9	0,116	-3,374
10	0,16	0,16
11	-3,621	-3,621
12	-3,426	-3,621
13	-2,99	-2,96
14	2,171	-2,96
15	-1,104	-5,013
16	-0,38	-5,013
17	0,591	4,0341
18	1,835	4,0341

Efforts reels dans les pyramides - suite -

N ^o	Borres supérieures	Diagonales	
19	-2,117	0,1416	-1,398
20	1,599	0,1416	-2,009
21	-0,12	-0,12	-4,1574
22	-2,997	-2,997	0
23	-2,997	-2,997	-0,151
24	-2,354	-3,77	-0,359
25	-2,425	-3,77	-0,568
26	-2,22	-3,684	-0,408
27	-1,775	-3,684	-0,248
28	-1,458	-4,082	-0,569
29	0,87	-4,082	-0,889
30	-0,041	4,377	-0,899
31	0,442	4,377	-0,908
32	1,284	-4,579	-2,123
33	3,822	-4,589 0,1208	-3,34
34	0,219	0,1208	-0,366
35	3,239	0,1208	-0,151
36	+0,06	0,06	-3,918

□ E T E \overline{R}) () () $\overset{\circ}{\Pi}$ () () F T $\overset{\circ}{\Pi}$ () ()

□ E \overline{R}

□ () F T \overline{R} □ E \overline{R}

$\overline{E T}$
 \overline{R} () F T \overline{R} □ E \overline{R}

I- Charges permanentes

Structure : 50 kg/m^2

Toiture : 20 "

Total : 70 kg/m^2

2- Neige

Depend de la region : Alger : Zone I

Altitude 200m

$N_s = 35$

$N_e = 60$

3- Vents

3I Caracteristiques geometriques

Toiture : pente : 2%

flèche: 43 cm

Hall : hauteur sans plafond : 12 m L Longueur : 43 m

hauteur totale : 14,63 m

On prendra 15 m pour les efforts du vent

32 Pressions dynamique de base

Region 2

$$V_n = 77,5 \text{ kg/m}^2$$

Site normal

) \Rightarrow

$$V_o = 136 \text{ kg/m}^2$$

b = 15 m

$$a = b = \frac{h}{b} = \frac{15}{43} = 0,349 \text{ donc } s_0 = 0,915$$

33 Coefficients de pressions

33I Construction fermée

Vent normal aux generatrice de la toiture

33II Actions exterieurs

Parois verticales : au vent : $C_e = 0,8$

$$\text{SS vent : } C_e = - (1,380 - 0,8) = -0,39$$

Toiture : Au vent : $C_e = -0,32$

$$\text{SS vent : } C_e = -0,30$$

Actions interieurs

$$\text{Depression : } C_i = -0,6 (1,380 - 0,8) = -0,23$$

$$\text{Surpression : } C_i = -0,6 (1,380 - 1,380) = 0,57$$

33I2 Vent parallèle Aux génératrices de la toiture

Actions extérieures

Parois aux vent : $C_e = 0,8$

Parois SS vent : $C_e = - 0,39$

Toiture : $C_e = - 0,30$

Actions intérieures

Parois aux vent : $C_i = 0,37$

Parois SS vent : $C_i = - 0,23$

332 Construction ouverte

332I Parois ouvertes au vent

Actions extérieures

Parois aux vent : $C_e = 0,8$

Parois SS vent : $C_e = - 0,39$

Actions intérieures

Parois aux vent : $C_i = 0,8$ (sur les parois fermée et toiture)

Parois SS vent : $C_i = - 0,2$ (sur la paroi ouverte)

3322 Parois ouverte SS vent

Actions extérieures

Parois aux vent : $C_e = 0,8$

Parois SS VENT : $C_e = - 0,39$

Actions intérieures

Dépression : $C_i = - (1,380 - 0,8) = - 0,39$

Surpression : $C_i = 0,6 (1,8 - 1,380) = 0,37$

Action sur la toiture

Nous sommes dans le cas : Construction ouverte avec parois ouvertes au vent qui donne la plus grande action (seulement) $C = 0,8 + 0,3 = 1,10$

$V_n = 1,1 \cdot 77,5 = 85,5 \text{ kg/m}^2$ $V_e = 1,1 \cdot 136 = 149,6 \text{ kg/m}^2$

Dans le sens descendant nous avons $C = 0,39 - 0,3 + 0,09$

$$V_n = 0,09 \cdot 77,5 = 6,975 \text{ kg/m}^2$$

$$V_e = 0,09 \cdot 136 = 12,24 \text{ kg/m}^2$$

34 Charge de la toiture

Surcharges normales

$$\text{Neige} : \frac{1}{2} \frac{3}{2} N_m + \frac{4}{3} C_p = 146 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Vent} : \frac{3}{2} V_n + \frac{4}{3} C_p = 35 \text{ kg/m}^2$$

Surcharges exterieures

$$\text{Neige} : N_e + C_p = 130 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Vent} : V_e + C_p = 79,6 \text{ kg/m}^2$$

Donc la charge maximum est $q = 146 \text{ kg/m}^2$

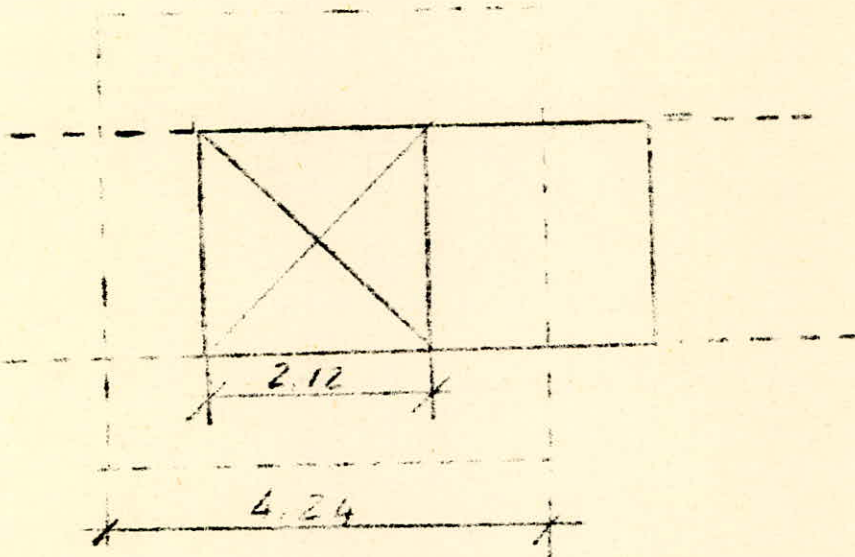
Surface revenant à un noeud

$$S = (2d)^2 \quad d : \text{côté du carré} : 2,12 \text{ m}$$

$$S = 18 \text{ m}^2$$

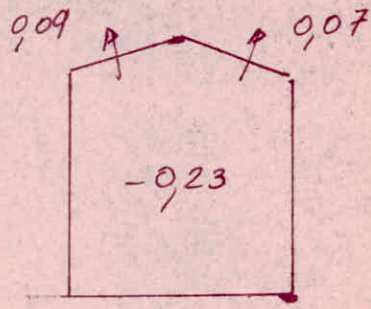
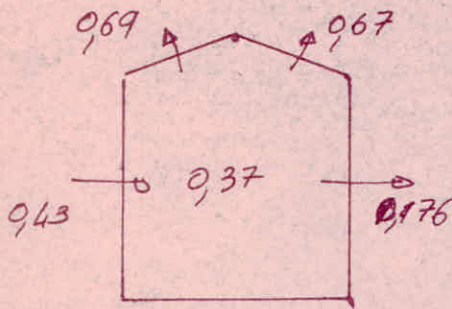
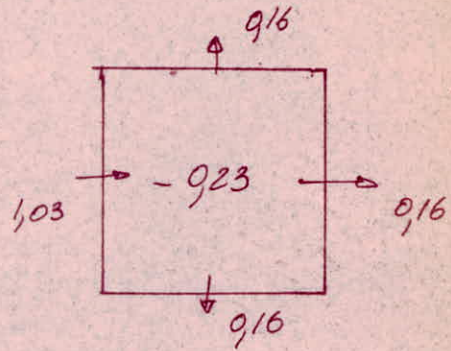
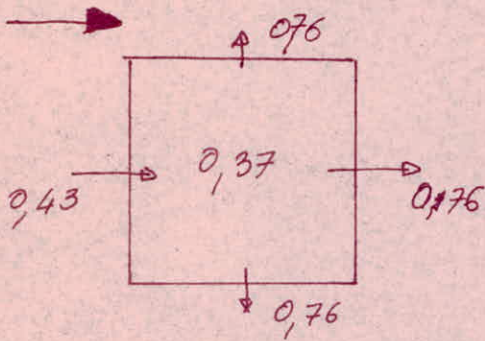
$$P = qS \quad P = 18 \cdot 146 = 2,628 \text{ t}$$

$$P = 2,63 \text{ t}$$

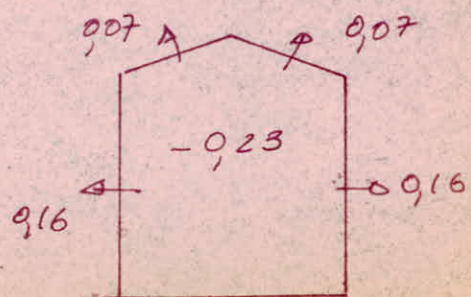
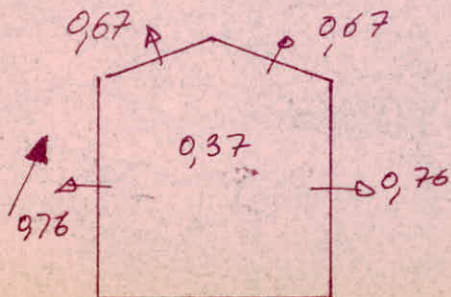
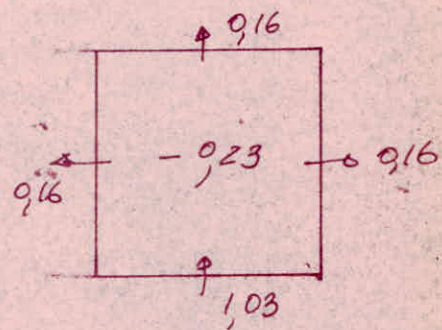
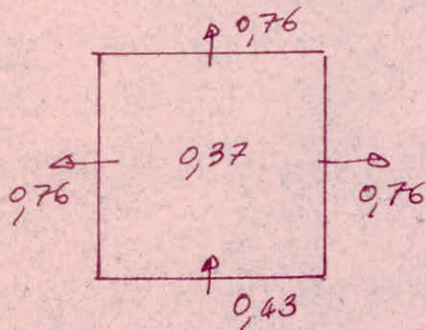


Construction fermée

Vent normal aux génératrices

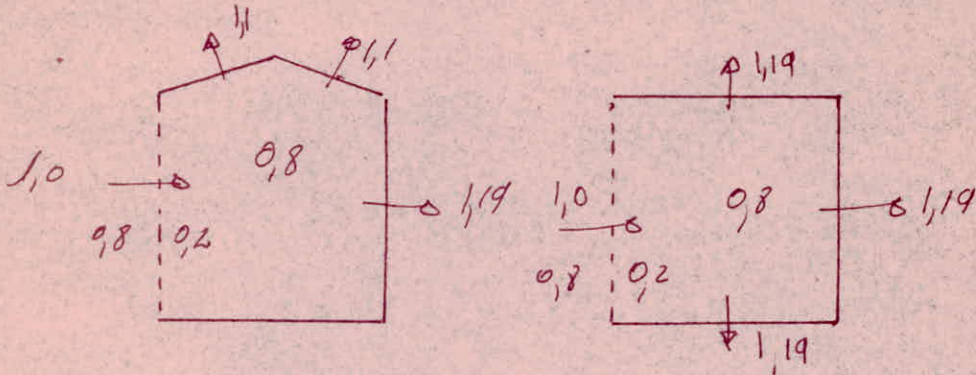


Vent parallèle aux génératrices



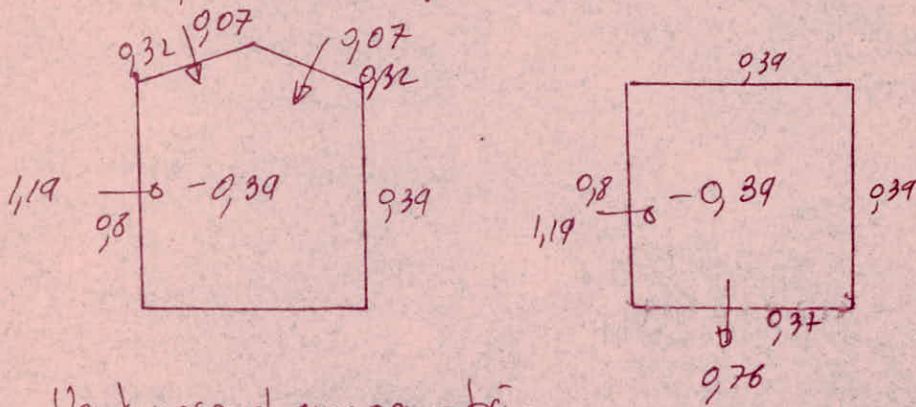
Construction Ouverte

Côté ouvert au vent

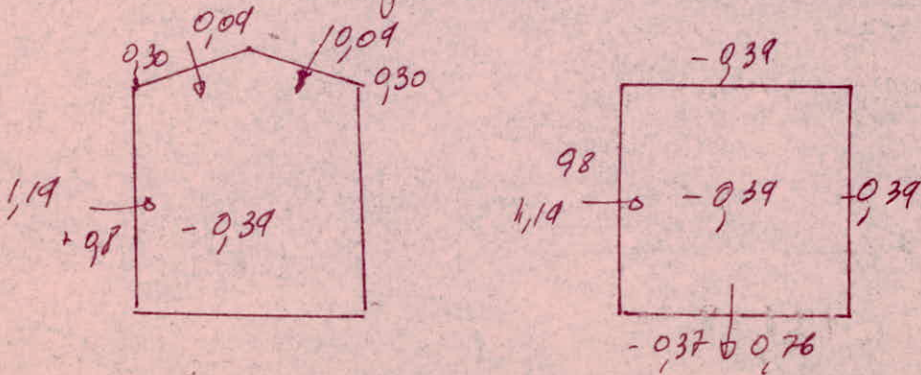


Côté ouvert dans le vent.

Vent parallèle aux génératrices.



Vent normal aux génératrices.



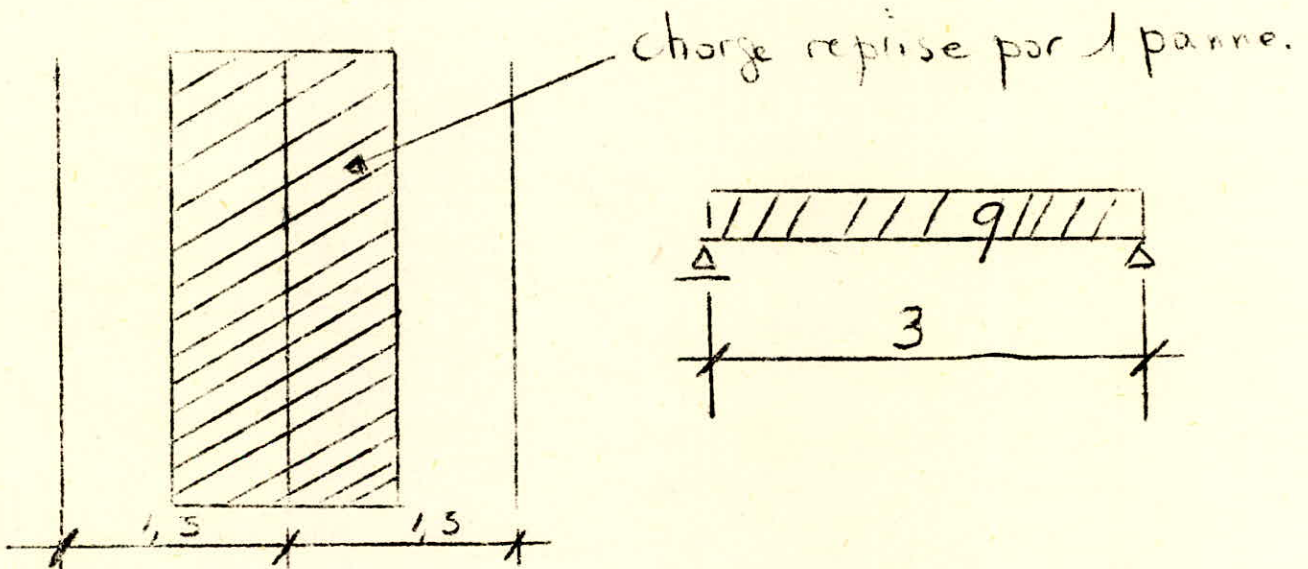
T () ^o T W R E _

Toiture

Elle se composera de plaques de tole Galvanisée **TN40**
d'épaisseur **4/10**, les pannes seront disposées tout
les Im50 (valeur de la demi diagonale). Ce qui
nous permet de charger la tole jusqu'a 77 kg/m^2

$$Q = C_p + N_e = 4 + 60 = 64 \text{ kg/m}^2$$

Les pannes seront en bois ce qui est plus pratique
pour donner la forme de pente .



Surface de charge reprise par une panne : $1,5 \cdot 3 = 4,5 \text{ m}^2$

$$q = 1,5 Q = 96 \text{ kg/m}^2$$

$$M = q \frac{l^2}{8} = 108 \text{ kg/m}$$

$$W = \frac{M}{\sigma} = \frac{10800}{100} = 108 \text{ cm}^3$$

$$W = \frac{bh^2}{6} = 108 \text{ cm}^3$$

En prenant $h = 8 \text{ cm}$ on trouve $b = 9,5 \text{ cm}$ soit $b = 10 \text{ cm}$

□) $\overset{\circ}{\Gamma} \Gamma \Gamma \Gamma \Gamma \Gamma \Gamma \overset{\circ}{\Gamma} \Gamma \Gamma \Gamma \Gamma \Gamma \Gamma$

□) $\Gamma \Gamma \Gamma$

$\overline{\Gamma \Gamma} \Gamma \overline{\Gamma \Gamma} \overline{\Gamma \Gamma} \Gamma \Gamma$

DIMENSIONNEMENT DES BARRES SUPERIEURES

X Barres en traction

L'effort maximum que nous ayons est

$$4,38 P = 4,38 \cdot 2,63 = 11,6 \text{ t}$$

Essayons le profil : 2 . (50 . 50 . 5) JL

Caractéristiques géométriques d'une cornière : $A_I = 4,8 \text{ cm}^2$

$$A = 2 A_I = 9,6 \text{ cm}^2$$

En enlevant le trou des 2 rivets ($\phi 14$) (CM. I4-IOI)

$$A_{\text{net}} = 960 - 2 \cdot 5 \cdot 14 = 820 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{11600}{820} = 14,2 < 24$$

Nous garderons ce profil, qui est certainement très sécuritaire, pour des raisons de montage. Il est en effet déconseillé d'utiliser des profils trop petits. Toutes les barres supérieures travaillant en traction seront donc le profil : 2 (50 . 50 . 5) JL

X Barres en compressions

Nous supposons les barres biarticulées

$$l_f = l_0 = 2,12 \text{ m}$$

L'effort maximum est : $5 \cdot 119 \cdot 2,63 = 13,5 \text{ t}$

Essayons : 2 (60 . 60 . 6)

* Caractéristique d'une cornière :

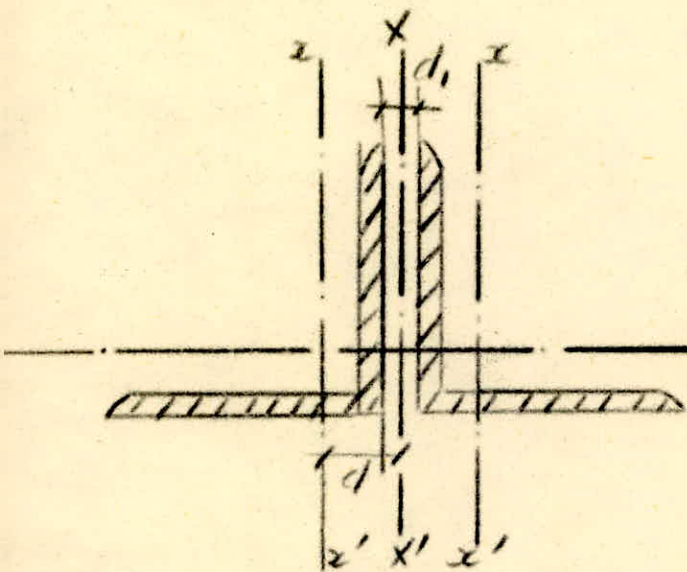
$$A_I = 6,91 \text{ cm}^2$$

$$I = 22,8 \text{ cm}^4$$

$$d = 1,69 \text{ cm}$$

* Caractéristique du profil :

$$A = 2 \cdot A_I = 13,82 \text{ cm}^2 \quad I_y = 2I_I = 45,6 \text{ cm}^4$$



d_I : épaisseur du gousset

$$d_I = 5 \text{ mm}$$

$$e = d + \frac{d_I}{2} = 1,94 \text{ cm}$$

$$I_X = 2 \cdot (A_I e^2 + I_I)$$

$$I_X = 97,6 \text{ cm}^4$$

$$i_X = 2,66 \text{ cm}^3$$

$$r_X = \frac{l}{i_X} = \frac{212}{2,66} = 79,7$$

$$\rightarrow K = 2,351$$

$$r_Y = \frac{l}{i_Y} = \frac{212}{182} = 116,5$$

Vérification de la contrainte de compression

$$K \leq 22,99 < 24$$

Un calcul analogue nous permet d'établir les sections correspondantes aux efforts dans les barres. Néanmoins pour des raisons pratiques, nous n'utilisons pas des profils inférieurs à $2 \cdot (50 \cdot 50 \cdot 5)$

BARRES SUPERIEURES

Barres en Traction.

0,06	0,1416
0,801	1,599
0,354	0,87
0,116	4,377
0,16	1,284
2,171	0,442
0,59	3,822
4,0341	0,2143
1,835	0,1208
	3,239

Section I

Barres en compression.

0,041
0,12
0,38
0,712
1,104
1,458
1,534
1,775
2,117
2,169
2,222
2,342
2,425

Section I

2,513
2,754
2,96
2,99
2,997
3,374
3,426
3,621
3,634
3,77
4,584
5,013
5,119

Section II

Sections

I :  2 . [50 . 50 . 5]

II :  2 [60 . 60 . 6]

DIAGONALES

Les diagonales seront constituées par une corniche .

Exemple :

Considérons la barre la plus chargée

$$N_{\max} = 2,63 \cdot 4;257 = 11200 \text{ kg}$$

Essayons le profil (100 . 100 . 10) $\Lambda = 19,2$

$$i = 1,95$$

$$\Lambda = \frac{266}{1,95} = 136,4 \quad \rightarrow \quad K = 3,107$$

$$K = 3,107 \cdot \frac{11200}{19,2} = 18,2 < 24$$

Donc cela convient . Pour les autres diagonales nous feront un calcul analogue .

Les résultats sont consignés dans la planche intitulée "diagonale"

DIAGONALES

0,151
0,248
0,294
0,359
0,396
0,408
0,49

Section III

0,568
0,569
0,583
0,864
0,889
0,894
0,908
1,006
1,069
1,158
1,181
1,187

Section IV

1,348
1,403
1,588
1,65
1,71
1,714
1,75
2,009
2,123

Section V

3,34
3,76
3,918
4,157
4,257

Section VI

Sections

III L 60.60.6

V L 80.90.9

IV L 70.70.7

VI L 100.100.10

TIRANTS

pour
Nous utilisons les barres inférieures (tirants)
des profilés en tubes . L'avantage des tubes est
leur section circulaire offrant une grande inertie
et une symétrie axiale .

Tirants comprimés

Prenons le plus chargé : $F_{\max} = 10,3 \cdot 26,3 = 27,1 \text{ t}$

$$lf = l = 2,12 \text{ m}$$

Essayons le tube I33 - 4

$$\Delta = 16,21 \text{ cm}^2$$

$$I = 337,2 \text{ cm}^2$$

$$i = 4,561 \quad \lambda = \frac{2l}{i} = \frac{2 \cdot 2,12}{4,561} = 46,5 \rightarrow K = 1,098$$

$$K \checkmark = 1,098 \cdot \frac{27100}{16,21} = 1835,6 < 2400$$

Tirants tendus

Prenons également le plus chargé : $N = 2630 \cdot 8,5 = 22,36 \text{ t}$

Essayons le tube IOI,6 - 3,6

$$\Delta = 11,08 \text{ cm}^2$$

$$\checkmark = \frac{N}{\Delta} = \frac{22300}{11,08} = 2018 < 2400$$

On trouvera page suivante le tableau des
tirants avec leur profil respectif . Nous avons
groupé les tirants autour d'un effort moyen afin
de réduire au maximum le nombre de profils à utiliser .

TABLEAU DES TIRANTS

Compression

0,089	C _I	2,303	C ₂
0,118		3,259	
0,58		4,796	
1,599		4,983	
1,603		5,032	

Traction

0,116	T _I	4,639	T ₂
0,711		4,884	
0,801		4,942	
1,273		5,241	
1,613		5,284	
1,747		5,543	
2,402			
2,602			
2,68			
3,404			
3,594			
3,763			
3,989			
4,014			

Tableau des tirants suite

5,63	7,64	}	T ₃
6	7,707		
6,077	8,03		
6,III5			
6,355			
6,539			
6,666			
7,108			
7,169			
7,1898	8,5	}	T ₄
7,4			
7,559			
7,613			

Nomination des tubes

$$C_1 - T_1 = 54 - 2,6$$

$$C_2 - T_3 = 76,1 \text{ } 4$$

$$T_2 = 70 - 2,9$$

$$C_3 = 133 - 4$$

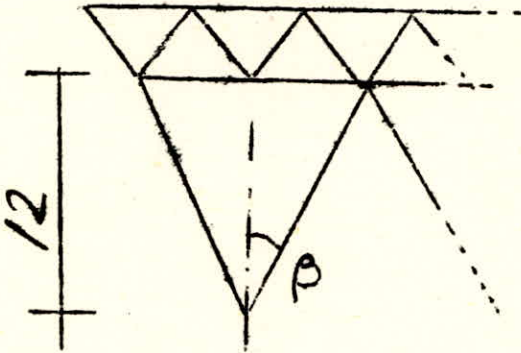
$$T_4 = 101,6 - 3,6$$

PO T E R W X

POTEAUX

Les poteaux sont comme les tirants constitués de tubes. Ils sont articulés en haut et en bas

Disposition des poteaux



$$\sin \beta = 0,243$$

$$\cos \beta = 0,947$$

$$\text{Tg } \beta = 0,25$$

Cette disposition a pour avantage d'assurer également la stabilité du bâtiment dans les sens longitudinal et transversal. Il n'y aura donc pas besoin de placer de contreventement.

Nous avons 14 poteaux par façade.

Efforts exercé sur 1 poteau

- Réaction de la poutre (verticale)
- Effort du vent dans le plan du poteau (horizontale)
- Moment fléchissant créé par le vent normal au plan du poteau.

Dimensionnement

Nous allons calculer le poteau le plus chargé et prendre la même section pour tous les autres.

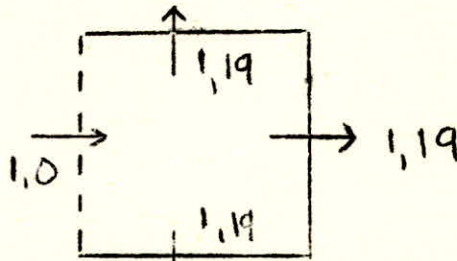
Il s'agit du poteau 6 - 7

$$N_{\max} = 6,3968 \cdot 2,63 = 17 \text{ t}$$

Vent horizontal

Vent horizontal

Le cas le plus défavorable est le cas "construction ouverte - paroi ouverte au vent "



Surface d'une paroi

$$S = 649,125 \text{ m}^2$$

En supposant $N = 35\%$, nous pouvons calculer l'effort du vent sur un poteau.

$$F_h = \frac{136}{14} \cdot \left(1 \cdot 0,65 + \frac{1,19}{2} \right) 649,125 = 7,86 \text{ t}$$

Moment fléchissant

Dans ce cas l'action du vent porte sur le panneau comportant le poteau

$$M = q \frac{l^2}{8} = (136 \cdot 1,19 \cdot 3) \cdot \frac{12^2}{8} = 8,739 \text{ t m}$$

$$M = 8,739 \text{ t m}$$

L'effort de compression réel est donné par la projection de N et F_h sur le poteau .

$$\begin{aligned} N &= N \cos \beta + F_h \sin \beta \\ &= 17 \cdot 0,97 + 7,86 \cdot 0,243 = 18,5 \text{ t} \end{aligned}$$

Essayons le tube 244,5 - I6

$$A = 114,83 \text{ cm}^2$$

$$I = 7533 \text{ cm}^4$$

$$i = 8,1 \text{ cm}$$

$$P_p = 90,2 \text{ kg/m}$$

$$v = 11,425 \text{ cm}$$

$$w = 659,4 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_f = \frac{873900}{659,4} = 1326 \text{ da N/cm}^2$$

$$\sigma_n = \frac{18500}{114,83} = 161 \text{ da N/cm}^2$$

$$\alpha = \frac{1200}{0,97 \cdot 8,1} = 153 \text{ d'où } \sigma_k = 885 \text{ da N/cm}^2$$

$$\mu = \frac{k}{n} = \frac{885}{161,1} = 5,494$$

$$K_I = 1,305$$

$$K_f = 1,37$$

$$\begin{aligned} \sigma &= K_I \sigma_n + K_f \sigma_p \\ &= 210,1 + 1816 = 2026 < 2400 \end{aligned}$$

Tous les poteaux seront donc constitués
par un tube de section 244,5 - I6

II () N T O T T II () N T T

I - Attache du poteau à la fondation

Le système d'attache prévu est l'articulation.

Pour le réaliser on fixera des plats au bout des tubes que l'on percera. Le tout sera fixé par un boulon à des flasques soudés à une platine.

L'effort maximum est $F_{\max} = 20,3 \text{ t}$

Mais pour plus de sécurité nous allons dimensionner les plaques et le boulon en utilisant $\sigma_k = 865 \text{ kg/m}^2$

$$\sigma_k \cdot A = 865 \cdot 114,83 = 99,4 \text{ t}$$

$$N = 2 N_k \cdot \cos \beta \\ = 2 \cdot 99,4 \cdot 0,947 = 193 \text{ t}$$

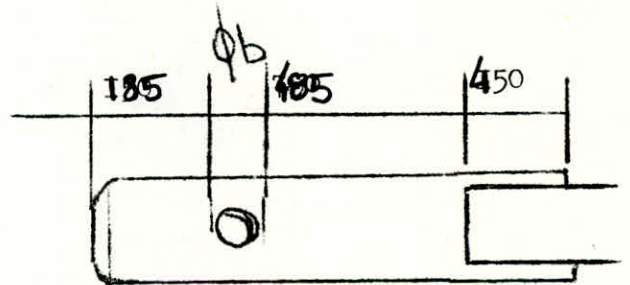
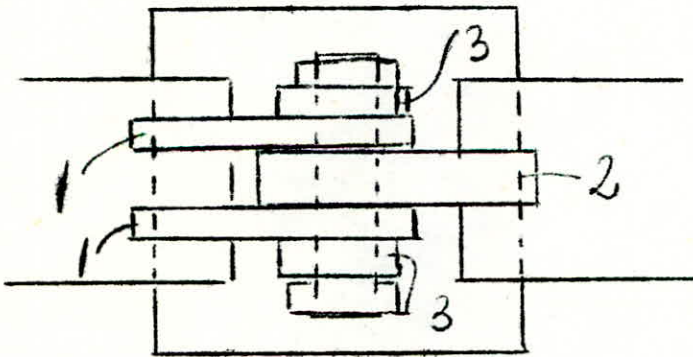
Le boulon utilisé va travailler en cisaillement

donc $1,54 \frac{T}{A} < \sigma_e$ d'où A

$$A = \frac{1,54 \cdot 193000}{2400} = 12,3 \rightarrow A = 13 \text{ cm}^2$$

$$\phi_b = 13 \text{ cm}$$

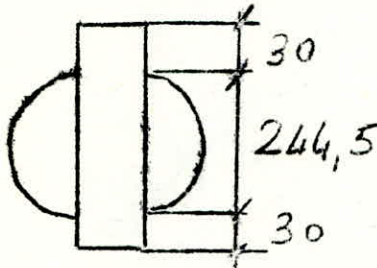
Dimensionnement des plaques



Longueur des plaques (I,2) $\cancel{11250} + 450 + 485 + 195$

$$L = \cancel{11250} \text{ mm } 1250 \text{ mm}$$

Largeur des plaques : (I,2)



$$l = 244,5 + 30 + 30 = 304,5 \text{ mm}$$

$$l = 305 \text{ mm}$$

Epaisseur des plaques : $\sigma_e = \frac{N}{A} = \frac{N}{e \cdot l}$

$$e = \frac{N}{\sigma_e \cdot l} = \frac{994000}{2400 \cdot 30,5} = 1,36 \text{ cm}$$

$$e = 14 \text{ mm}$$

Donc on aura pour cotes des plaques :

Plaque 1 : $5 \cdot 305 \cdot \cancel{11250} 1250$

Plaque 2 : $30 \cdot 305 \cdot \cancel{11250} 1250$

Plaque 3 : $50 \cdot 700 \cdot 700$

Vérifions les plaques au niveau du boulon

$$A_b = b \cdot e \quad A_{net} = A - A_b$$

$$\text{Plaque 1 : } A_{net} = (1,5 \cdot 30,5 - 13 \cdot 1,5) = 25,5 \text{ cm}^2$$

$$\frac{N}{A_{net}} = \frac{99400}{25,5 \cdot 2} = 1949 < 2400$$

$$\text{Plaque 2 : } A_{net} = 3 \cdot 30,5 - 13,3 = 51 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = \frac{99400}{51} = 1949 < 2400$$

$$\text{Plaque 3 : } A_{net} = 5 \cdot 60 - 5 \cdot 13 = 235 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = \frac{99400}{235} = 423 < 2400$$

Dimensionnement de la platine : $L = 1 \text{ m}$

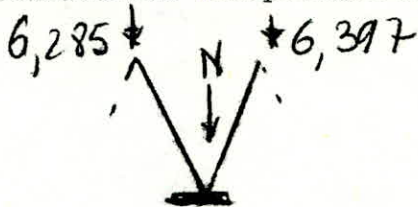
$$l = 0,50 \text{ m}$$

II - Calcul du massif

En béton armé il doit satisfaire aux recommandations du CCBA 68 c'est-à-dire la résistance aux charges pondérées du 1^{ier} et 2^{ième} genre.

I- Répartition des efforts

Considérons les 2 poteaux les plus chargés 6-7 5-6



$$N = (6,397 + 6,285) P \cos \beta$$

Sur la fondation s'exerce :

- Un effort de compression
- Un effort horizontal du au normal au plan du poteau

Vérifions successivement selon les sollicitations du 1^{ier} et 2^{ième} genre.

2- Sollicitation, du 1^{ier} genre

$$S_I = G + 1,2 P + T \quad S_I' = G + P + V + T$$

$$= 70 + 135 = 105 \text{ kg/m}^2$$

La charge P à donc pour valeur

$$P_I = S_I' \cdot A \quad A: \text{Aire du noeud}$$

$$P_I = 105 \cdot 18 = 1890 \text{ kg} \quad P_I = 1,89 \text{ t}$$

Les efforts du au vent

$$\text{- effort horizontal} \quad F_{hI} = \frac{77,5}{14} \left(1 \cdot 0,65 + \frac{1,19}{2} \right) \cdot 649,125$$

$$= 4,47 \text{ t}$$

$$\text{e effort normal} \quad T_I = 77,5 \cdot 1,19 \cdot 3 \cdot 12 = 3320 \text{ kg}$$

3- Sollicitation du 2^{ième} genre

$$\text{Le} \quad S_2 = G + 1,5 P + 1,5 V + T$$

$$S'_2 = G + P + W + T$$

$$S''_2 = G + P + T + S I$$

$$\gamma_w = 1,10 - 0,5 \frac{P_{\max}}{G} \quad P = 0 \rightarrow \gamma_w = 1,1$$

$$S'_2 = 70 + 1,1 \cdot 60 = 136 \text{ kg/m}^2$$

$$P_2 = S'_2 \cdot A = 136 \cdot 18 = 2448 \text{ kg}$$

Vent : Les effets climatiques sont pondérés. On reprend les valeurs trouvés précédement, majorées par 1,75

$$F_{h2} = 7,85 \text{ t}$$

$$T_2 = 5,81 \text{ t}$$

4- Dimensionnement du massif

Les efforts T_1 et T_2 Créent à la base du massif un moment que celui ci doit équilibrer . De même dans le "C H . V (§ 3322) nous avons calculer la force de soulèvement , celle ci doit être reprise par le massif

Cet effort est égal à :

$$F_s = V_e - C_p \\ = 149,6 - 70 = 79,6 \text{ kg/m}^2$$

$$P_s = 79,6 \cdot A_{\text{noeud}} = 79,6 \cdot 18 = 1440 \text{ kg} = 1,44 \text{ t}$$

L'effort de soulèvement a donc par valeur

$$N_s = P_s \cdot 12,682 - C_p \text{ (poteau)} \\ = 1,44 \cdot 12,682 - 0,0902 \cdot 12 \cdot 2 = 16,03 \text{ t}$$

Nous donnerons au massif une forme cubique de 2 m d'arête

$$(P = 2^3 \cdot 2,5 = 20 \text{ t})$$

5 - Verification des contraintes

1^{ier} Genre

$$N = 24 + 20 = 44 \text{ t}$$

$$M = F_h \cdot a = 4,47 \cdot 2 = 8,94 \text{ t m}$$

$$\sigma_s = \frac{44000}{200^2} + \frac{894000}{200^3}$$

$$\sigma_s = \begin{matrix} 1,1 \\ 0,881 \end{matrix} < 2b$$

2^{ième} genre

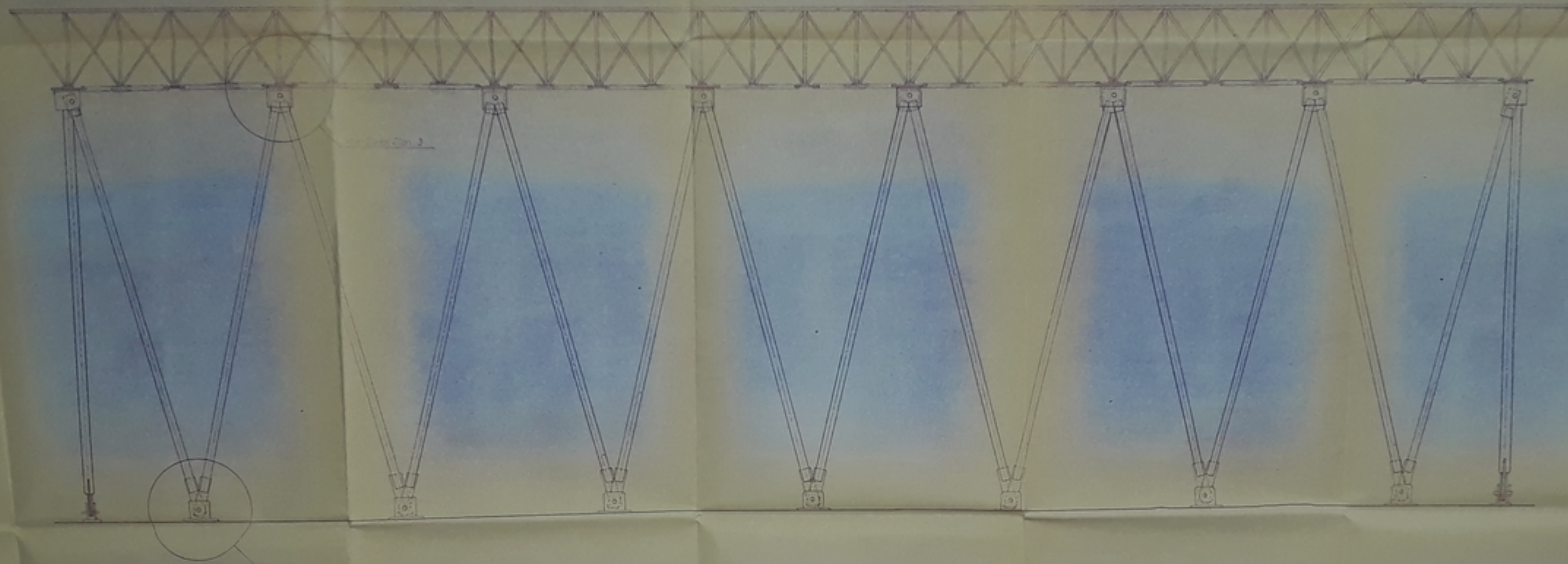
$$N = 31,1 + 20 = 51,1 \text{ t}$$

$$M = 5,81 \cdot 2 = 11,62 \text{ t m}$$

$$\sigma_s = \frac{51100}{200^2} + \frac{1620000}{200^3}$$

$$\sigma_s = \begin{matrix} 1,49 \\ 1,07 \end{matrix} < 2b$$

Il faudra ancrer les boulons de fixation de la platine.



PROJET 75
-1-

SETIO 30

UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

FACADE

DU

HALL

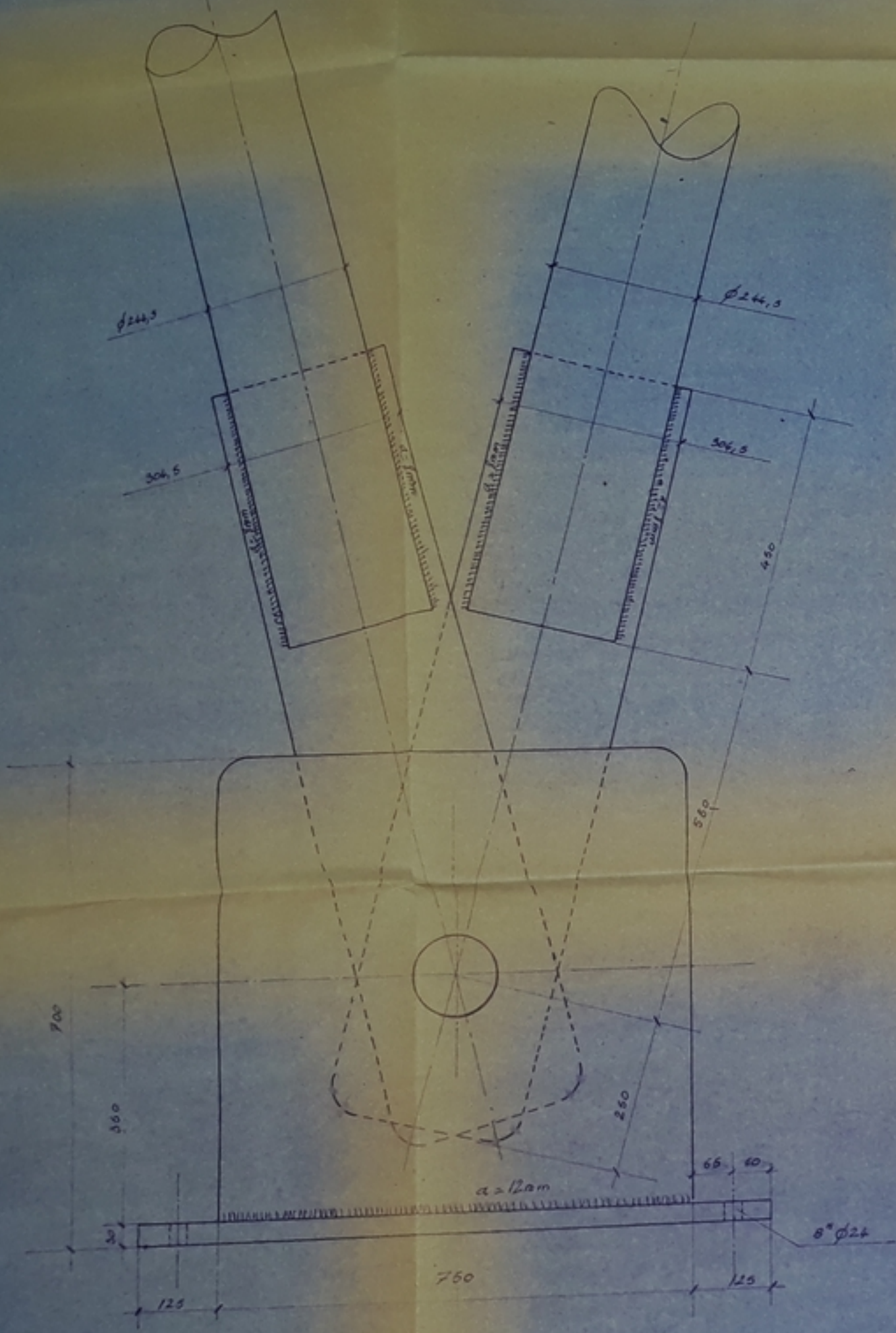
PROJET: Méthode en structure
indépendante métallique

Echelle 1/50

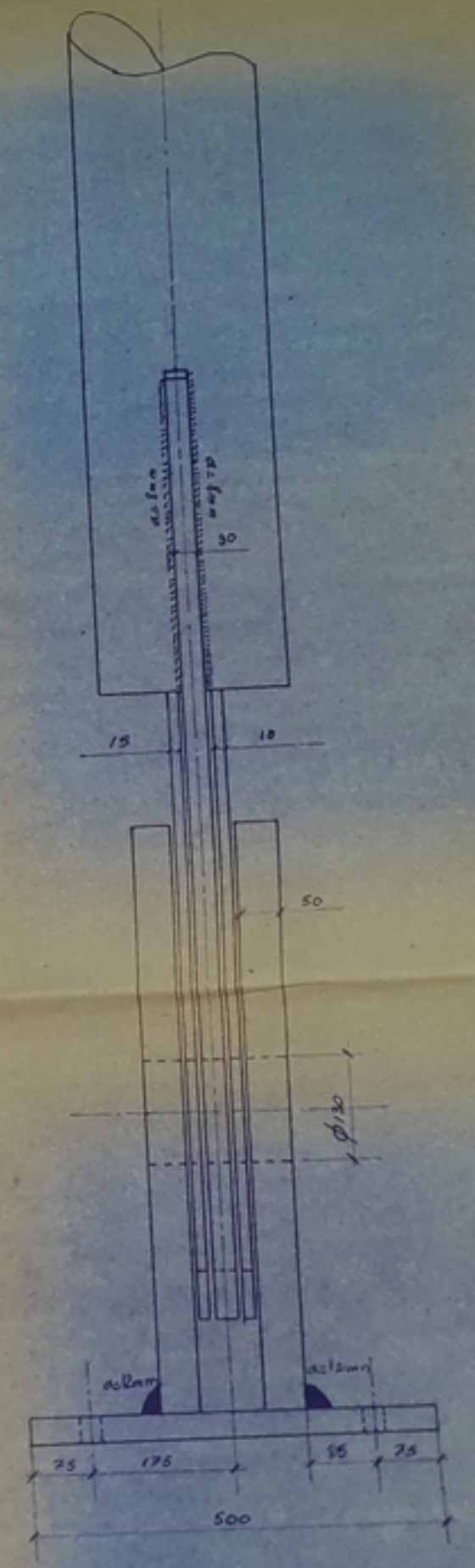
PLAN N°1

Aut. Hany

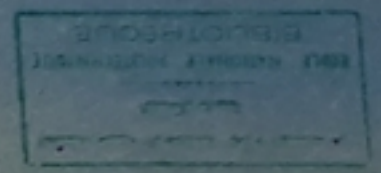
Date 1975



VUE DE FACE



VUE A-A



PB01275
-2-

2
PB 01275

UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DETAIL ATTACHE
DU POTEAU A LA
FONDATION

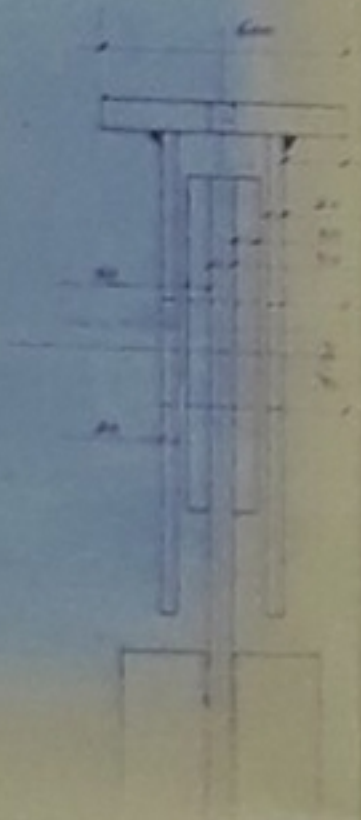
PROJET: Hall d'exposition en structure tridimensionnelle métallique

Echelle 1/5

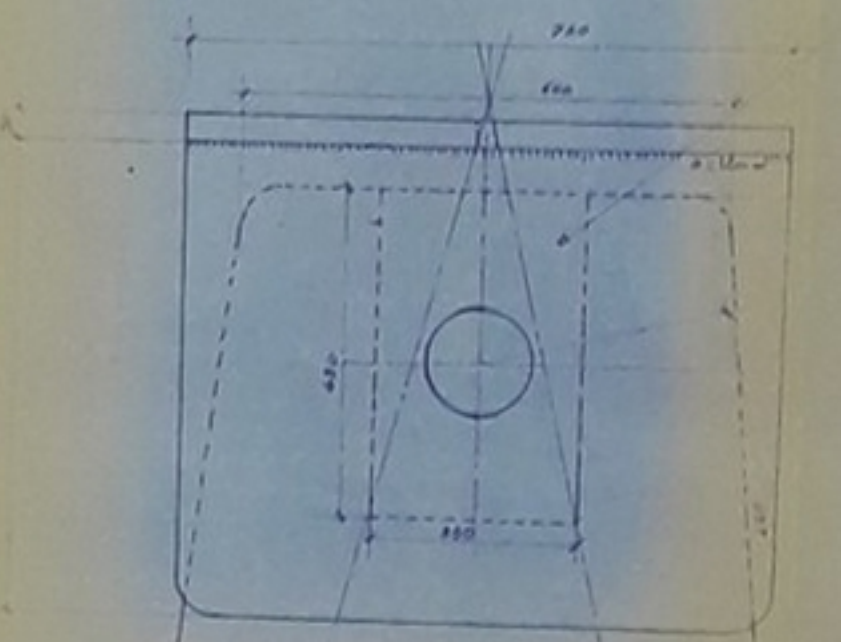
PLAN N° 2

Hadj Hamou

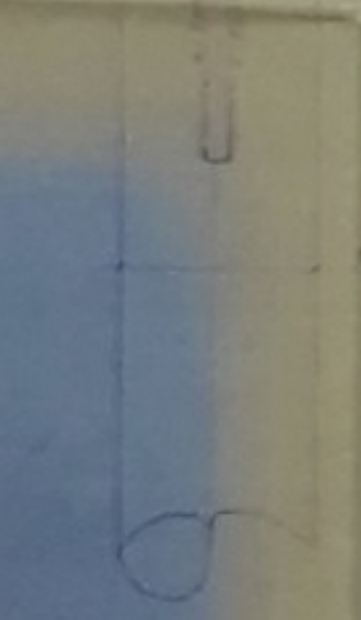
Année 1975



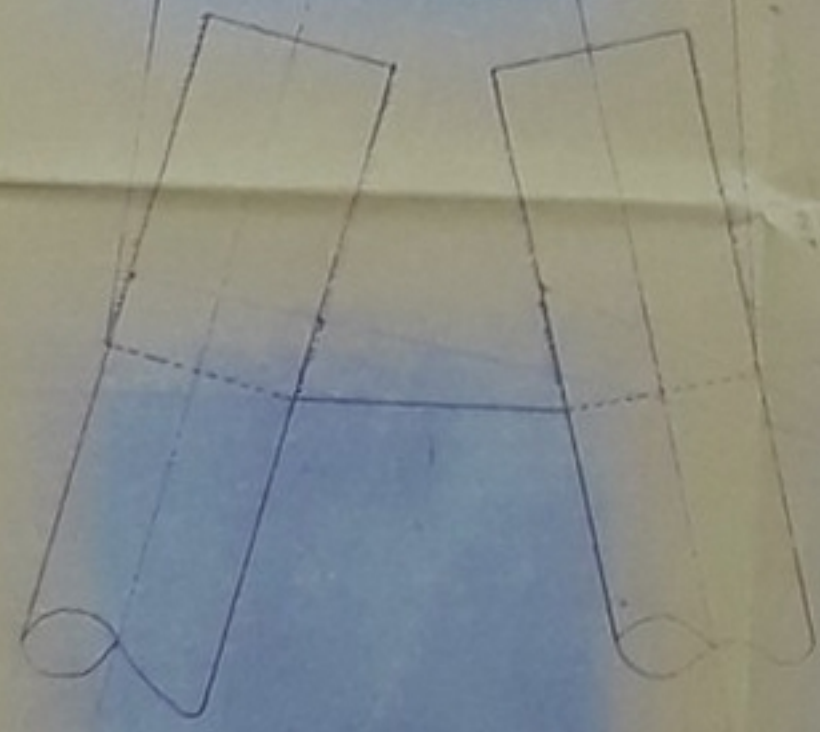
A



Has vu de profil et de face pour vérifier la section



A



Carbone a - lam

PROJET
5
ST 100 91

UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DETAIL ATTACHE
DES POTEAUX
A LA TOITURE

PROJET: Hal d'exposition en structure
treillis métallique

Fait le 15

PLAN N° 3

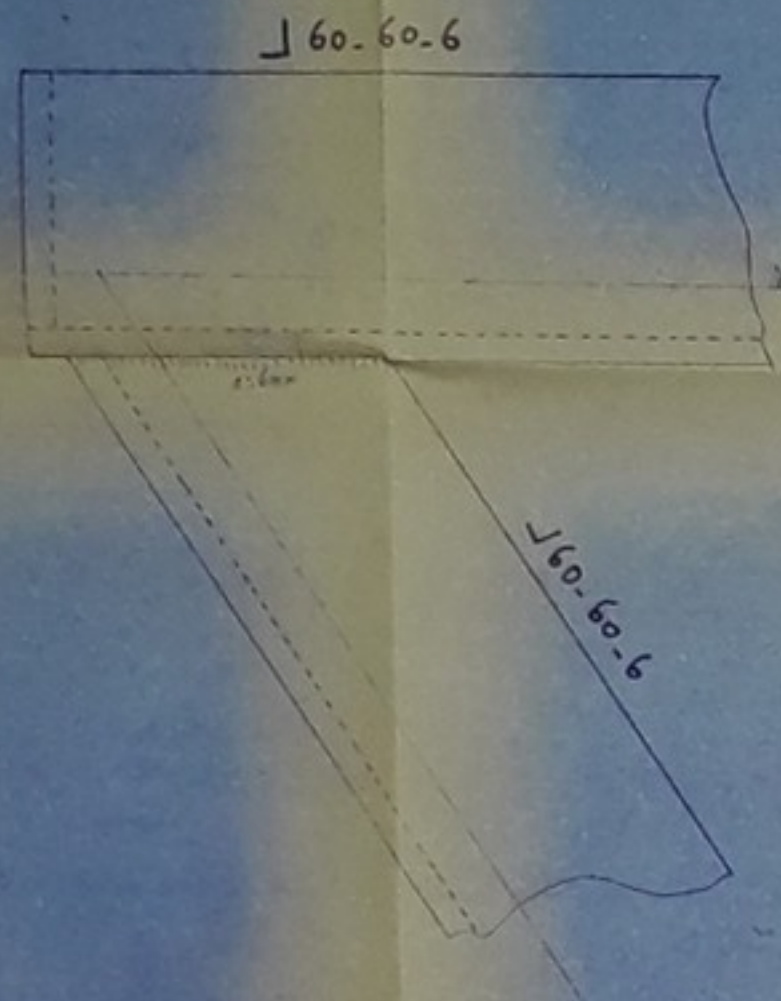
Fait: Hama

Date: 10/5

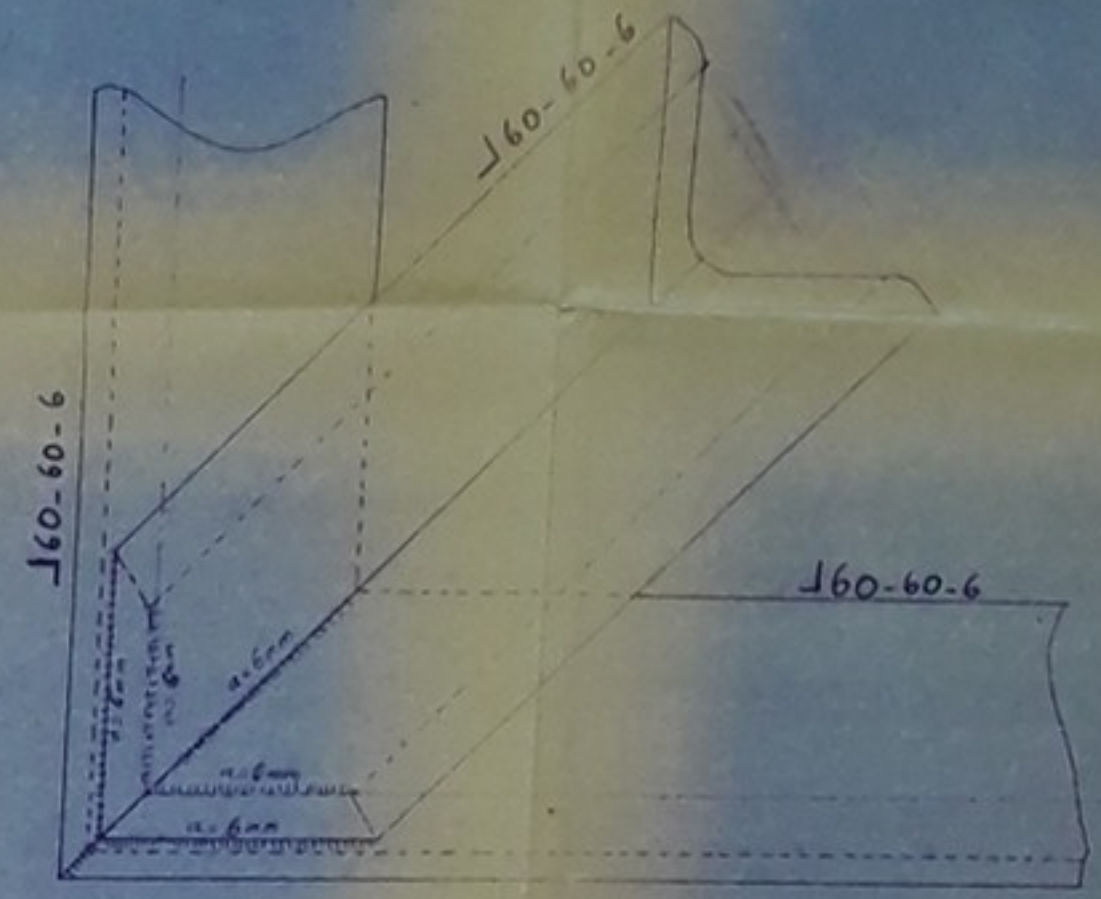
VUE A-A

VUE DE FACE

ATTACHE SUPERIEURE

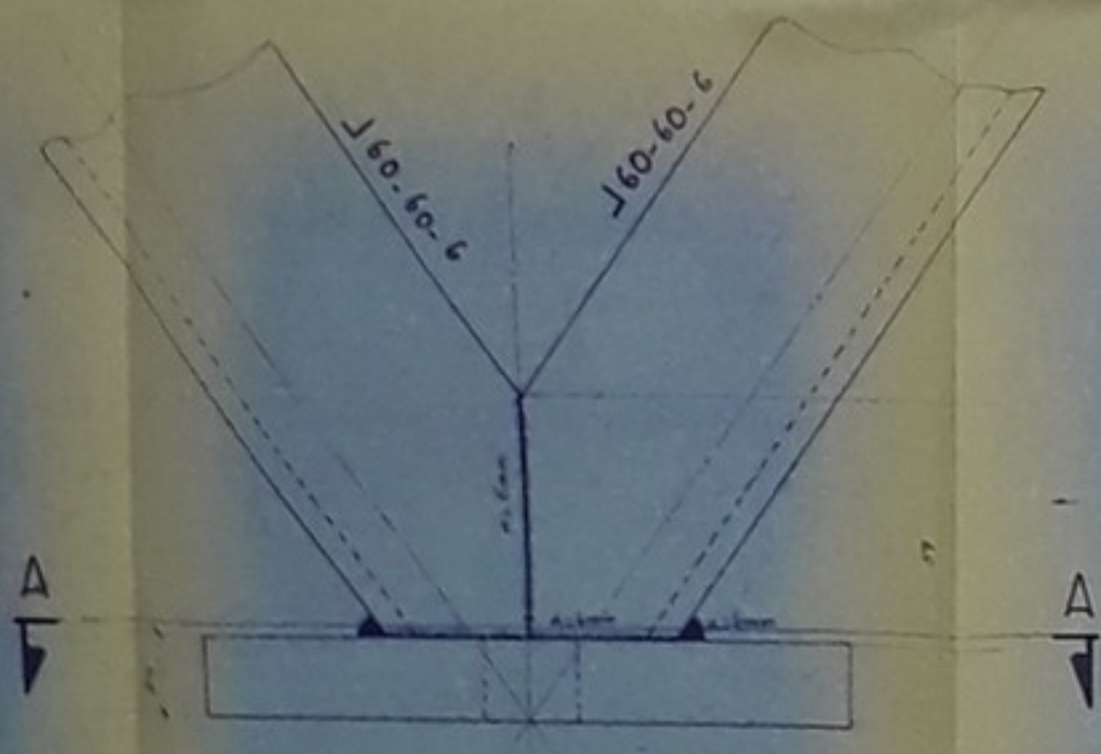


VUE DE FACE



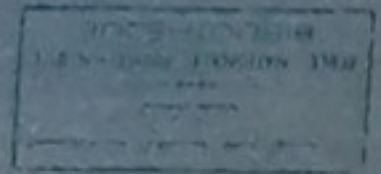
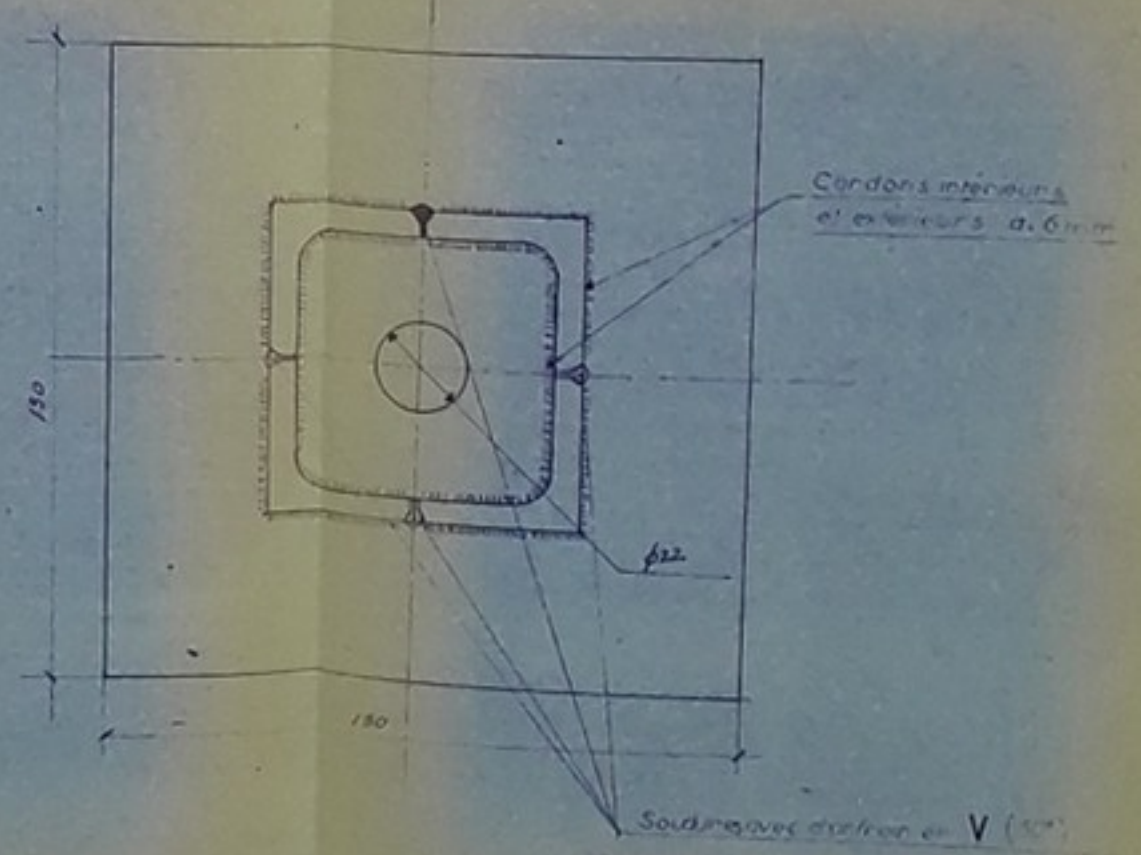
VUE DE DESSOUS

ATTACHE INFERIEURE



VUE DE FACE

COUPE A-A



PE0127
-4-

-4-
STVO 86

UNIVERSITE D'ALGER	
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE	
DETAILS ASSEMBLAGE DES DIAGONALES	
AUX BARRES SUPERIEURES ET AUX	
TIRANTS - PYRAMIDES 13 -	
PROJET: Hall d'exposition en structure tridimensionnelle métallique	
Echelle 1/1	PLAN N° 4
Hadj Hamou	Année 1975

