

50376
1966
73

50376
1966
73

UNIVERSITÉ DE LILLE

FACULTÉ DES SCIENCES

MÉMOIRE

en vue de l'obtention du

Diplôme d'Etudes Supérieures de Mathématiques

(Option Construction Mécanique)

Justification des hypothèses de calcul
d'un ensemble ferme-poteaux



JURY *Président* ; M. MARTINOT-LAGARDE

Examineurs ; M. DECUYPER

M. KERGUIGNAS

Soutenu à Lille, le 20 Juin 1966

par Jean-Claude CORNAILLE

SOMMAIRE

	Pages	
CHAPITRE : 0	Objet du memoire	3
CHAPITRE : 1	Hypothèses simplificatrices, formules générales	5
	1.1 Hypothèses simplificatrices	5
	1.2 Calcul des inconnues	5
CHAPITRE : 2	Structure étudiée, maquette	12
	2.1 Description	12
	2.2 Détermination des éléments	12
	2.3 Construction de la maquette	16
CHAPITRE : 3	Applications numériques	18
	3.1 Effort P sur la ferme	18
	3.2 Effort F sur le poteau n°1	19
CHAPITRE : 4	Mesures et résultats	22
	4.1 Eléments utilisés	22
	4.2 Disposition des jauges	24
	4.3 Tableaux de mesures	25
	4.3.1 Valeur des flèches	27
	4.3.2 Répartition des contraintes	31
	4.3.3 Effort P sur la ferme	32
	4.3.4 Effort F sur le poteau n°1	38
CHAPITRE : 5	Comparaison des résultats	44
	5.1 Effort P sur la ferme	44
	5.2 Effort F sur le poteau n°1	47
CHAPITRE : 6	Conclusion	49
CHAPITRE : 7	Bibliographie	50
DESSIN DE LA MAQUETTE		51
	Vue d'ensemble : échelle 1/10	51
	Encastrement des poteaux : échelle 1	52
	Liaison des poteaux avec le socle : échelle 1	53
	Guidage de la ferme : échelle 1	54
	Dispositifs permettant l'accrochage des charges	55
	Encastrement du poteau porte cables	56
	Fixation des supports de comparateurs	57
	Système de renvoi du cable	57
SECOND SUJET		58

Les structures utilisées dans la conception des bâtiments industriels peuvent se classer en deux groupes principaux;

- Les structures composées d'ensembles ferme-poteaux (fig:1)
- Les structures composées de portiques à âme pleine (fig:2)

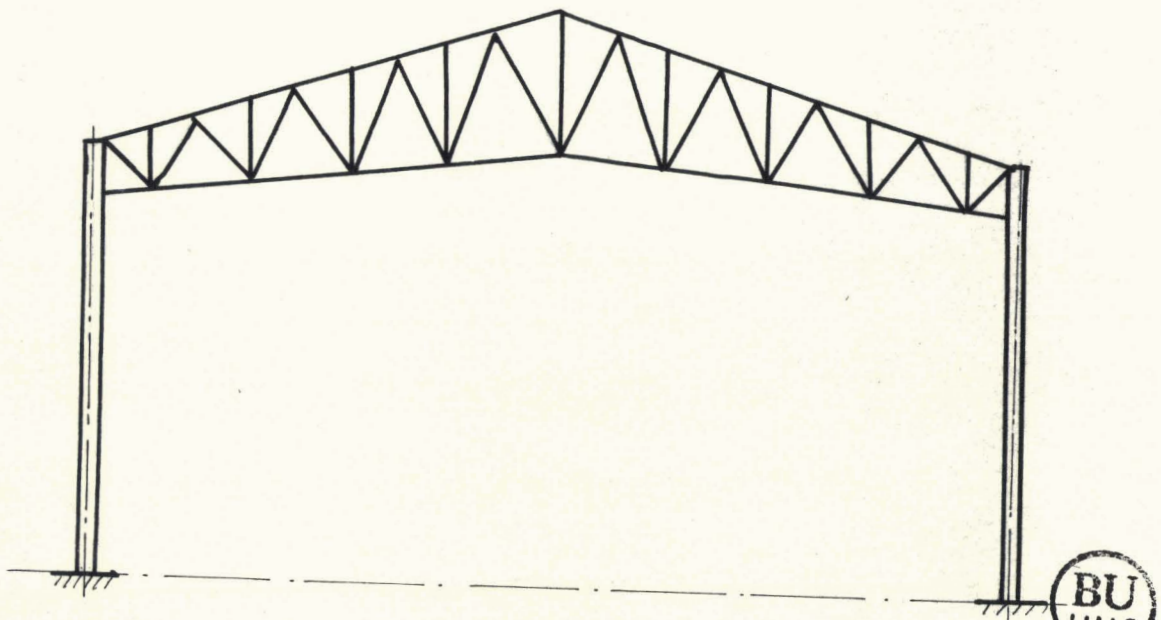


fig:1

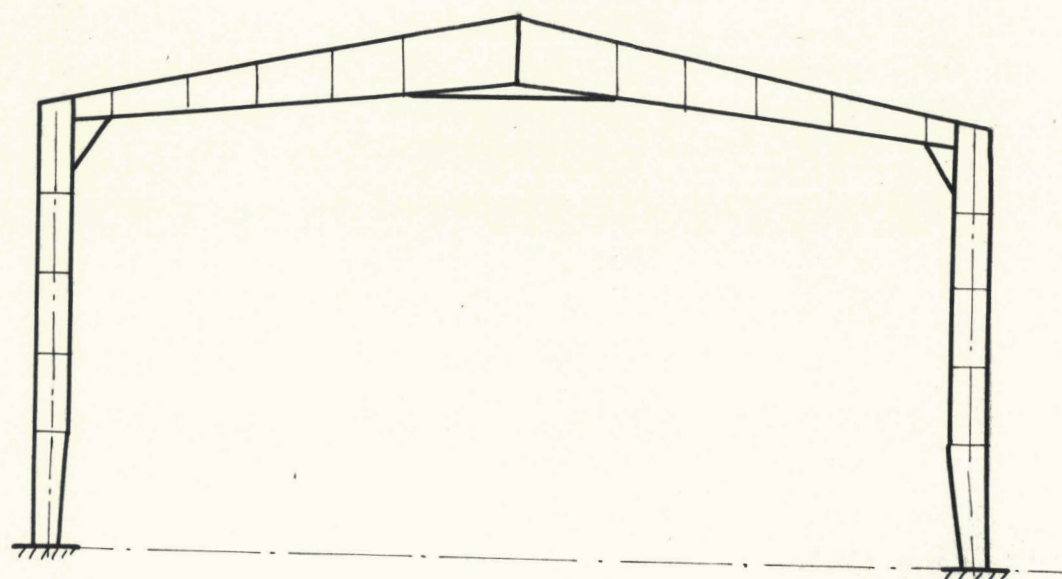


fig:2

Si, pour les portiques, des méthodes de calcul déduites directement des théorèmes de l'énergie permettent de résoudre le problème, il n'en est plus de même pour les ensembles ferme-poteaux.

Pour ceux-ci des hypothèses simplificatrices ont été admises afin d'effectuer un dimensionnement rapide des éléments de la structure. Les hypothèses permettent d'établir des formules générales en fonction des dimensions géométriques des profilés utilisés; cette méthode est longue et fastidieuse. Dans la note de justification des profilés, on utilise également les formules générales citées plus haut.

L'objet de ce mémoire est de justifier les hypothèses de calcul d'un ensemble ferme-poteaux. Nous avons choisi un ensemble de deux éléments contigus car dans ce cas, une indétermination subsiste quant au calcul des réactions verticales.

Je remercie Monsieur BAROUX, Directeur de l' E.N.S.A.M. de Lille, de m'avoir permis de faire les essais au Laboratoire de Mécanique de son établissement.

Je remercie également, Monsieur DECUYPER, Directeur de l'I.P.E.S., qui par son action indirecte, a favorisé l'aboutissement de cette étude.

J'adresse ma gratitude à Monsieur PAILLE qui me conseilla et m'aida au cours des essais et plus particulièrement à Monsieur KERGUIGNAS qui me proposa le sujet et prit la directive de ce mémoire.

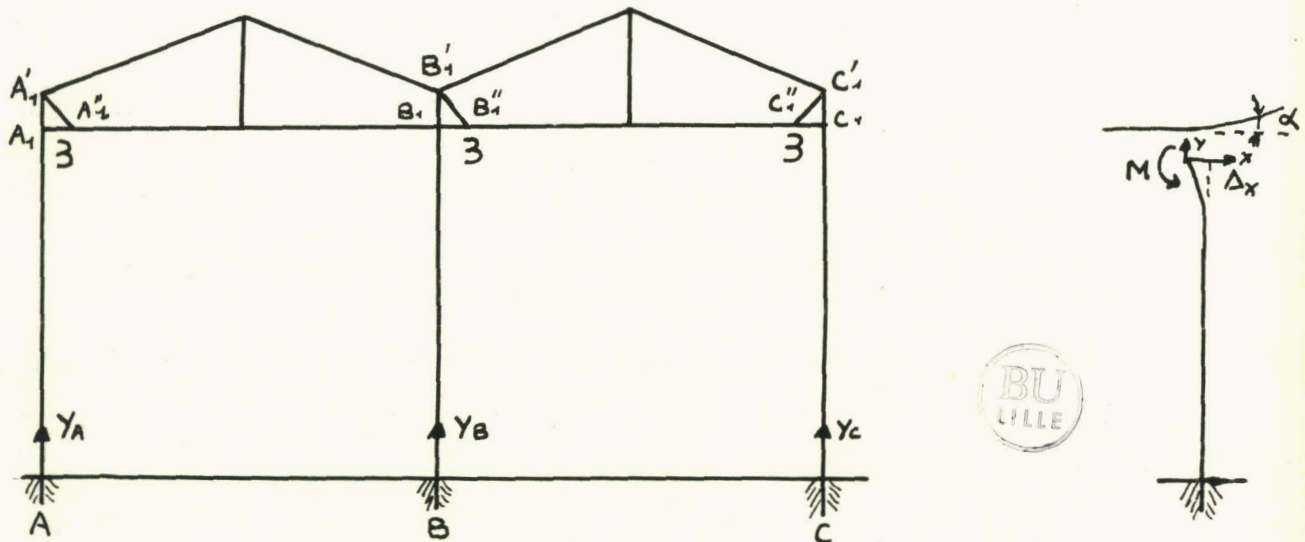
Mes remerciements à toutes les personnes des laboratoires de Mécanique et au personnel des ateliers qui ont participé à l'élaboration du mémoire.

Nous établissons les formules générales dans le cas des charges appliquées utilisées au cours des essais.

1. Hypothèses simplificatrices

- Nous étudierons l'ensemble ferme-poteaux en supposant la ferme indéformable.
- Nous admettrons comme dans certains bureaux d'études un centre instantané de rotation au bas du poteau central.

La détermination rigoureuse des actions de contact, lorsque le système est chargé, est complexe. Dans le cas qui nous intéresse, nous avons un système hyperstatique de degré 3.



En effet nous avons 9 inconnues de liaison. La ferme seule étant isolée nous avons un solide, ce qui nous donne 3 nouvelles équations supplémentaires.

En faisant une coupure dans le haut des poteaux, indiquons les équations de liaison. Nous supposons d'autre part que la ferme reste parallèle au sol, ce qui nous permet d'écrire: $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 0$

Il nous reste donc: $9 - 6 = 3$ équations à trouver.

La ferme étant supposée indéformable vis-à-vis de la déformabilité par flexion des poteaux, sous l'action de charges horizontales appliquées à la ferme ou aux poteaux, les triangles $A_1 A_1' A_1''$, $B_1 B_1' B_1''$, $C_1 C_1' C_1''$ sont invariables de forme et d'orientation, de sorte que les points $A_1 A_1'$, $B_1 B_1'$, $C_1 C_1'$ subissent des déplacements horizontaux égaux.

Cette égalité de flèches nous donne deux nouvelles équations supplémentaires et nous ramenons l'hyperstaticité du système à $3 - 2 = 1$.

En supposant un centre instantané de rotation en B, nous pouvons écrire

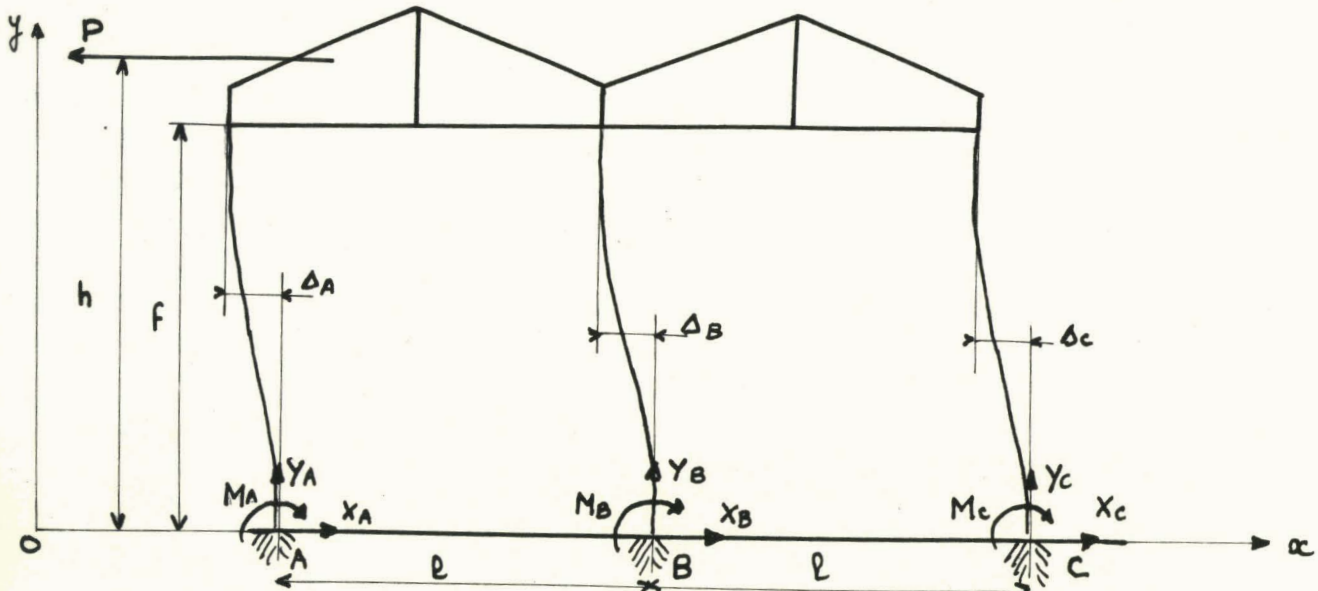
$$Y_A = -Y_C \quad \text{et} \quad Y_B = 0$$

Nous levons ainsi l'hyperstaticité du système.

2. Calcul des inconnues

2.1. Effort $P=F_1$ situé sur la ferme
 =====

Faisons une projection sur Ox , Oy , et une équation de moment par rapport au point C.



proj. sur Ox : $X_A + X_B + X_C - P = 0$

proj. sur Oy : $Y_A + Y_B + Y_C = 0$

Moment / C : $+Ph - (M_A + M_B + M_C) - Y_A \cdot 2l - Y_B \cdot l = 0$

D'après le théorème de castigliano nous pouvons écrire:

$$\Delta_A = \frac{\partial W}{\partial X_A} \quad \Delta_B = \frac{\partial W}{\partial X_B} \quad \Delta_C = \frac{\partial W}{\partial X_C} \quad \text{avec } W = \frac{1}{2} \int_0^f \frac{M^2}{EI} ds \quad \frac{\partial W}{\partial X_A} = \int_0^f \frac{M}{EI} \frac{\partial M}{\partial X} ds$$

$$M_1 = X_A \cdot y - M_A \quad \frac{\partial M_1}{\partial X_A} = y \quad \Delta_A = \frac{1}{EI} \int_0^f (X_A \cdot y - M_A) y dy$$

$$M_2 = X_B \cdot y - M_B \quad \frac{\partial M_2}{\partial X_B} = y \quad \Delta_B = \frac{1}{EI} \int_0^f (X_B \cdot y - M_B) y dy$$

$$M_3 = X_C \cdot y - M_C \quad \frac{\partial M_3}{\partial X_C} = y \quad \Delta_C = \frac{1}{EI} \int_0^f (X_C \cdot y - M_C) y dy$$

D'où les valeurs des flèches en fonction de X_A et M_A

$$\Delta_A = \frac{1}{EI} \left(X_A \cdot \frac{f^3}{3} - M_A \frac{f^2}{2} \right) \quad \Delta_B = \frac{1}{EI} \left(X_B \cdot \frac{f^3}{3} - M_B \frac{f^2}{2} \right) \quad \Delta_C = \frac{1}{EI} \left(X_C \cdot \frac{f^3}{3} - M_C \frac{f^2}{2} \right)$$

D'après la troisième équation de Bresse nous pouvons écrire:

$$\varphi_0 = \varphi_1 - \int_0^f \frac{M}{EI} ds \quad 0 = \int_0^f (X_A \cdot y - M_A) dy$$

Or nous supposons (hypothèses) $\varphi_0 = \varphi_1 = 0$, ce qui nous donne

M_A, M_B, M_C , en fonction de X_A, X_B, X_C

$$M_A = X_A \cdot \frac{f}{2} \quad M_B = X_B \cdot \frac{f}{2} \quad M_C = X_C \cdot \frac{f}{2}$$

En reportant les valeurs des moments dans les équations précédentes, nous trouvons les flèches en fonction de X_A , X_B , X_C .

$$\Delta_A = \frac{1}{EI} \left(X_A \cdot \frac{f^3}{3} - X_A \frac{f^3}{4} \right) = \frac{X_A f^3}{12EI} \quad \Delta_B = \frac{X_B f^3}{12EI} \quad \Delta_C = \frac{X_C f^3}{12EI}$$

Les valeurs des flèches étant égales, ceci entraîne $X_A = X_B = X_C$ et $M_A = M_B = M_C$

L'équation de projection sur Ox nous donne:

$$3 \cdot X = P \quad \text{d'où} \quad X = \frac{P}{3}$$

L'hypothèse d'un centre instantané en B, entraîne : $Y_B = 0$

L'équation de moment par rapport à C nous donne:

$$Y_A \cdot 2l = -3 \cdot M + P \cdot h = -3 \frac{X \cdot f}{2} + P \cdot h$$

$$\text{d'où} \quad Y_A = \frac{Ph - \frac{Pf}{2}}{2 \cdot l}$$

Nous trouvons donc les valeurs suivantes:

$$X_A = X_B = X_C = \frac{P}{3}$$

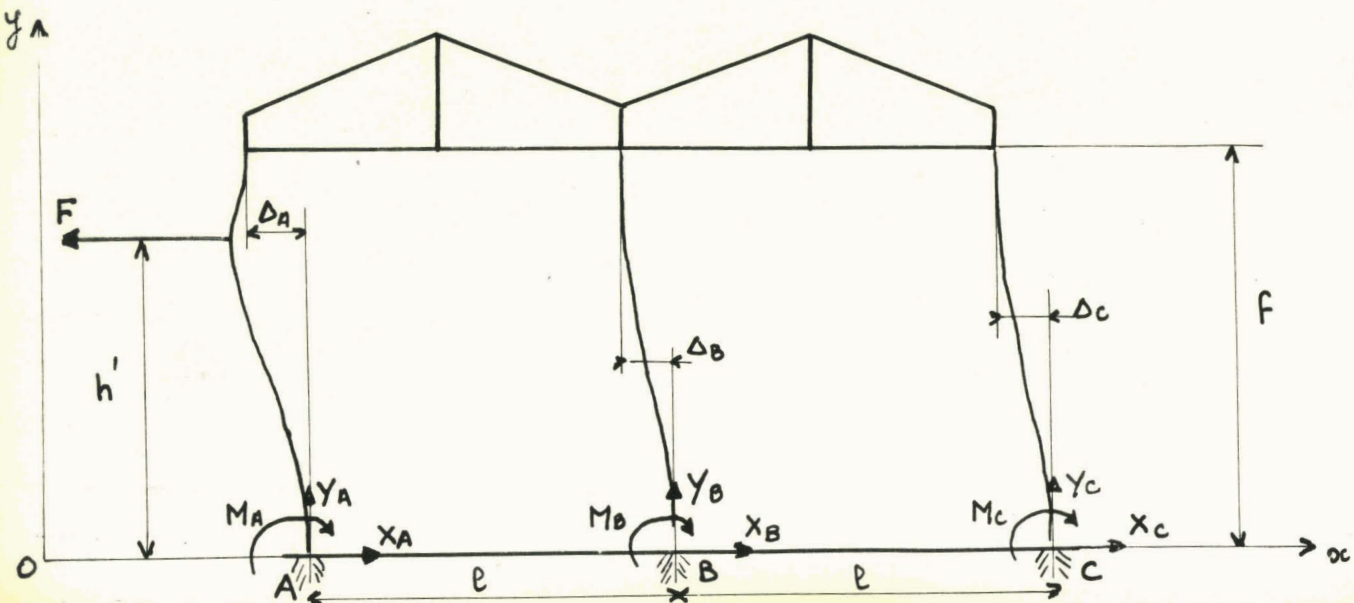
$$Y_A = -Y_C = \frac{P}{2l} \left(h - \frac{f}{2} \right) \quad Y_B = 0$$

$$\Delta_A = \Delta_B = \Delta_C = \frac{P \cdot f^3}{36 \cdot E \cdot I}$$

$$M_A = M_B = M_C = \frac{P \cdot f}{6}$$



2.2. Effort $F = F_2$ situé à une distance h' du sol



Faisons une projection sur Ox, Oy, et une équation de moment par rapport au point C.

$$\text{proj. sur Ox : } X_A + X_B + X_C - F = 0 \quad (1)$$

$$\text{proj. sur Oy : } Y_A + Y_B + Y_C = 0 \quad (2)$$

$$\text{Moment / C : } F \cdot h' - Y_A \cdot 2 \cdot l - Y_B \cdot l - M_A - M_B - M_C = 0 \quad (3)$$

Le théorème de castigliano nous permet d'écrire:

2.2.1.

$$\Delta_A = \frac{\partial W}{\partial X_A} \quad \Delta_B = \frac{\partial W}{\partial X_B} \quad \Delta_C = \frac{\partial W}{\partial X_C} \quad \text{avec } W = \frac{1}{2} \int_{s_0}^{s_1} \frac{M}{EI} ds \quad \frac{\partial W}{\partial X} = \int_{s_0}^{s_1} \frac{M}{EI} \cdot \frac{\partial M}{\partial X} ds$$

2.2.1.1. Flèche sur le poteau 1

$$0 < y < h' \quad M = + X_A \cdot y - M_A \quad \frac{\partial M}{\partial X_A} = y$$

$$h' < y < F \quad M = + X_A \cdot y - M_A - F(y - h') \quad \frac{\partial M}{\partial X_A} = y$$

$$\Delta_A = \frac{1}{EI} \int_0^{h'} (X_A \cdot y - M_A) y dy + \frac{1}{EI} \int_{h'}^F [X_A \cdot y - M_A - F(y - h')] y dy$$

$$\Delta_A = \frac{1}{EI} \left[X_A \frac{y^3}{3} - M_A \frac{y^2}{2} \right]_0^{h'} + \frac{1}{EI} \left[X_A \frac{y^3}{3} - M_A \frac{y^2}{2} - F \frac{y^3}{3} + \frac{F h' y^2}{2} \right]_{h'}^F$$

$$\Delta_A = \frac{1}{EI} \left[X_A \frac{h'^3}{3} - M_A \frac{h'^2}{2} + X_A \frac{F^3}{3} - M_A \frac{F^2}{2} - F \frac{F^3}{3} + F h' \frac{F^2}{2} - X_A \frac{h'^3}{3} + M_A \frac{h'^2}{2} + \frac{F h'^3}{3} - \frac{F h'^3}{2} \right]$$

$$\Delta_A = \frac{1}{EI} \left[X_A \frac{F^3}{3} - M_A \frac{F^2}{2} - \frac{F F^3}{3} + \frac{F h' F^2}{2} - \frac{F h'^3}{6} \right]$$

$$\boxed{\Delta_A = \frac{1}{EI} \left[(X_A - F) \frac{F^3}{3} + (F h' - M_A) \frac{F^2}{2} - \frac{F h'^3}{6} \right]} \quad (4)$$

2.2.2. Flèches sur les poteaux 2 et 3

$$M = + X_B \cdot y - M_B \quad \frac{\partial M}{\partial X_B} = y$$

$$\Delta_B = \frac{1}{EI} \int_0^F (X_B \cdot y - M_B) y dy = \frac{1}{EI} \left(X_B \frac{F^3}{3} - M_B \frac{F^2}{2} \right)$$

$$\boxed{\Delta_B = \frac{1}{EI} F^2 \left(X_B \frac{F}{3} - \frac{M_B}{2} \right)} \quad (5)$$

$$\boxed{\Delta_C = \frac{1}{EI} F^2 \left(X_C \frac{F}{3} - \frac{M_C}{2} \right)} \quad (6)$$

2.2.3. Moment d'encastrement du poteau 1

La troisième équation de Bresse nous permet d'écrire:

$$\varphi_0 = \varphi_1 - \int_{s_0}^{s_1} \frac{M}{EI} ds \quad \text{avec dans ce cas } \varphi_0 = \varphi_1 = 0$$

d'où nous tirons : $\int_{s_0}^{s_1} \frac{M}{EI} ds = 0$ et $\int_{s_0}^{s_1} M ds = 0$

En reportant la valeur de M dans cette équation nous avons:

$$\int_0^{h'} (X_A \cdot y - M_A) dy + \int_{h'}^f [(X_A \cdot y - M_A) - F(y-h')] dy = 0$$

$$\left[X_A \cdot \frac{y^2}{2} - M_A y \right]_0^{h'} + \left[X_A \cdot \frac{y^2}{2} - M_A \cdot y - \frac{Fy^2}{2} + Fh'y \right]_{h'}^f = 0$$

$$\left(X_A \frac{h'^2}{2} - M_A h' + X_A \frac{f^2}{2} - M_A \cdot f - \frac{Ff^2}{2} - Fh'f - X_A \frac{h'^2}{2} + M_A \cdot h' + F \frac{h'^2}{2} - Fh'^2 \right) = 0$$

$$X_A \frac{f^2}{2} - M_A \cdot f - \frac{Ff^2}{2} + Fh'f - \frac{Fh'^2}{2} = 0$$

d'où : $M_A = (X_A - F) \frac{f}{2} + F \cdot h' \left(1 - \frac{h'}{2 \cdot f} \right)$ (7)

2.2.4. Moments d'encastements des poteaux 2 et 3

$$\int_0^f (X_B \cdot y - M_B) dy = 0 \quad X_B \frac{f^2}{2} - M_B f = 0 \quad X_B \cdot \frac{f}{2} - M_B = 0$$

$$M_B = X_B \cdot \frac{f}{2} \quad (8)$$

$$M_C = X_C \cdot \frac{f}{2} \quad (9)$$

2.2.5. Valeurs des flèches en fonction des réactions

Reportons les valeurs de M_A, M_B, M_C dans les équations (4), (5), (6).

$$\Delta_A = \frac{1}{EI} \left(X_A \frac{f^3}{12} - \frac{Ff^3}{12} + \frac{Fh'^2 f}{4} - \frac{Fh'^3}{6} \right) \quad (10)$$

$$\Delta_B = \frac{X_B}{EI} \frac{f^3}{12} \quad (11)$$

$$\Delta_C = \frac{X_C}{EI} \frac{f^3}{12} \quad (12)$$

2.2.6. Valeurs des flèches, des moments, des réactions en fonction de F

Les flèches étant égales nous avons: $\Delta_A = \Delta_B = \Delta_C$

$$X_B f^3 = X_C f^3 = X_A f^3 - Ff^3 + 3Fh'^2 f - 2Fh'^3$$

$$X_B = X_C = X_A - F + \frac{3Fh'^2}{f^2} - \frac{2Fh'^3}{f^3}$$

En reportant X_B et X_C dans l'équation (1) nous avons :

$$X_A + 2 \left(X_A - F + 3 \frac{Fh'^2}{f^2} - 2 \frac{Fh'^3}{f^3} \right) - F = 0$$

$$3X_A = 3F - 6 \frac{Fh'^2}{f^2} + 4 \frac{Fh'^3}{f^3} \Rightarrow X_A = F - 2 \frac{Fh'^2}{f^2} + \frac{4}{3} \frac{Fh'^3}{f^3}$$

$$X_B = X_C = F - 2 \frac{Fh'^2}{f^2} + \frac{4}{3} \frac{Fh'^3}{f^3} - F + 3 \frac{Fh'^2}{f^2} - 2 \frac{Fh'^3}{f^3}$$

$$X_B = X_C = \frac{Fh'^2}{f^2} - \frac{2Fh'^3}{3f^3}$$

Reportons ces valeurs de X_A, X_B, X_C , dans les équations (7), (8), (9)

d'où nous tirons les valeurs de M_A, M_B, M_C .

$$M_A = \frac{Ff}{2} - \frac{Fh'^2}{f} + \frac{2}{3} \frac{Fh'^3}{f^2} - \frac{Ff}{2} + Fh' - \frac{Fh'^2}{2f}$$

$$M_A = -\frac{3Fh'^2}{2f} + Fh' + \frac{2}{3} \frac{Fh'^3}{f^2}$$

$$M_B = M_C = \frac{Fh'^2}{2f} \left(1 - \frac{2h'}{3f} \right)$$

Reportons ces valeurs de M_A, M_B, M_C , dans l'équation (3), d'où Y_A .

$$Fh' - Y_A \cdot 2l - Fh' + \frac{3Fh'^2}{2f} - \frac{2Fh'^3}{3f^2} - \frac{Fh'^2}{f} + \frac{2Fh'^3}{3f^2} = 0$$

$$Y_A = \frac{Fh'^2}{4fl}$$

Reportons les valeurs de X_A, X_B, X_C , dans les équations (10), (11), (12).

D'où les valeurs finales:

$$\underline{X_A} = F \left(1 - 2 \frac{h'^2}{f^2} + \frac{4h'^3}{3f^3} \right) \quad \underline{X_B} = \underline{X_C} = \frac{Fh'^2}{f^2} \left(1 - \frac{2h'}{3f} \right)$$

$$\underline{Y_A} = -\underline{Y_C} = \frac{Fh'^2}{4f.l} \quad \underline{Y_B} = 0$$

$$\underline{\Delta_A} = \underline{\Delta_B} = \underline{\Delta_C} = \frac{Fh'^2}{12.E.I} \left(f - \frac{2h'}{3} \right)$$

$$\underline{M_A} = Fh' \left(1 - \frac{3h'}{2f} + \frac{2h'^2}{3f^2} \right) \quad \underline{M_B} = \underline{M_C} = \frac{Fh'^2}{2f} \left(1 - \frac{2h'}{3f} \right)$$

(13)



BELOW - BE...
 THE... DE...
 ...

1. Description

Se reporter au dessin d'ensemble de la maquette

2. Détermination des éléments

Afin de réaliser une maquette se rapprochant le plus du bâtiment réel nous allons essayer de respecter une similitude de 1/20 sur les longueurs et de respecter le rapport $\frac{\text{Moment d'inertie de la poutre}}{\text{Moment d'inertie du poteau}}$ dans la similitude.

2.1. Similitude des longueurs

pente conservée = 30%

hauteur des poteaux sous l'encastrement : h = 50 cm

hauteur des poteaux au-dessus de l'encastrement : h' = 67 cm

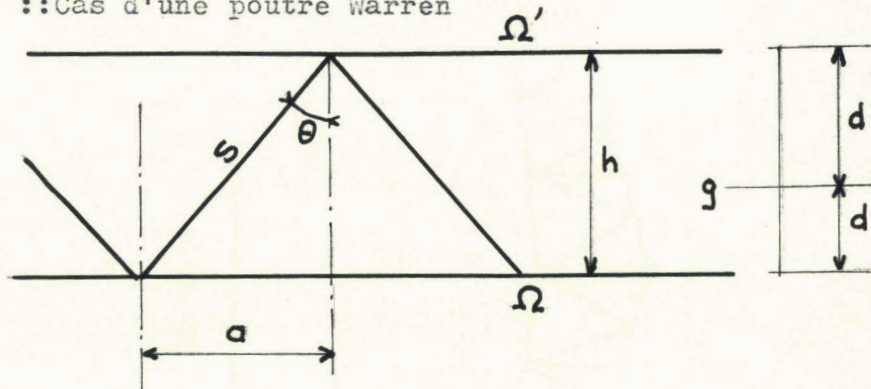
distance entre poteaux : l = 125 cm

2.2. Conservation du rapport $\frac{\text{Moment d'inertie de la poutre}}{\text{Moment d'inertie du poteau}}$

2.2.1. Assimilation d'une poutre triangulée à une poutre à âme pleine en I

Cette assimilation n'est valable que pour une poutre de hauteur constante et ne donne une bonne approximation que lorsque le nombre des panneaux est assez grand (>7) de telle sorte que T et M varient peu le long d'un panneau et puissent être confondus avec leurs valeurs moyennes dans le panneau.

:: Cas d'une poutre Warren



Il s'agit de déterminer le moment d'inertie I et la section de l'âme S_1 d'une poutre à âme pleine ayant les mêmes déformations que la poutre triangulée. Il suffit pour cela d'identifier les potentiels de la poutre triangulée et de la poutre à âme pleine équivalente.

Le potentiel d'un système réticulé est égal à la somme des potentiels des barres.

$$W = \frac{1}{2} \sum \frac{F_i^2 l_i}{E S_i}$$

- F_i = force dans la barre
- l_i = longueur de la barre
- S_i = section de la barre

Nous avons vu en cours de charpente métallique que l'effort tranchant était supporté par l'âme alors que le moment fléchissant était supporté par les semelles. Le potentiel de la poutre à âme pleine pour une longueur a a donc pour valeur:

$$W = \frac{M^2 a}{2EI} + \frac{T^2 a}{2GS_1}$$

L'effort dans une membrure de la poutre réticulée a pour valeur $\pm \frac{M}{h}$ et dans une diagonale $\pm \frac{T}{\cos \theta}$

D'où le potentiel W' du panneau:

$$W' = \frac{M^2 a}{2Eh^2} \left(\frac{1}{\Omega} + \frac{1}{\Omega'} \right) + \frac{T^2}{2ES \cos^2 \theta} \left(\frac{a}{\sin \theta} \right)$$

L'identification de ces deux potentiels nous donne:

$$\frac{1}{I} = \frac{1}{h^2} \left(\frac{1}{\Omega} + \frac{1}{\Omega'} \right)$$

d'où:

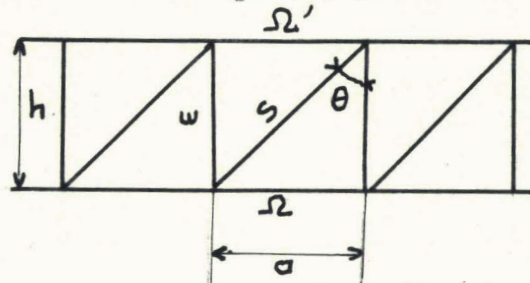
$$I = h^2 \frac{\Omega \Omega'}{\Omega + \Omega'}$$

$$\frac{1}{GS_1} = \frac{1}{ES \cos^2 \theta \sin \theta}$$

d'où:

$$S_1 = \frac{E}{G} \cdot S \sin \theta \cos^2 \theta$$

:: Cas d'une poutre Pratt



Ω, Ω', w, S sont des sections

$$W' = \frac{M^2 a}{2Eh^2} \left(\frac{1}{\Omega} + \frac{1}{\Omega'} \right) + \frac{T^2 a}{2ES \cos^2 \theta \sin \theta} + \frac{T^2 a}{2E w \tan \theta}$$

d'où:

$$I = h^2 \cdot \frac{\Omega \Omega'}{\Omega + \Omega'}$$

$$\frac{1}{S_1} = \frac{G}{E \tan \theta} \left(\frac{1}{w} + \frac{1}{S \cos^3 \theta} \right)$$

2.2.2. Détermination du moment d'inertie de la poutre équivalente

L'assimilation d'une poutre à treillis à une poutre en I n'étant valable que si cette poutre est de hauteur constante nous devons rechercher la hauteur moyenne de la poutre en treillis.

Afin d'avoir une meilleure précision dans la valeur de cette hauteur, fractionnons une 1/2 ferme en 20 parties égales et faisons la moyenne des valeurs trouvées. Nous obtenons $h = 257,4 \text{ cm}$

Ce calcul étant une approximation, prenons pour hauteur:

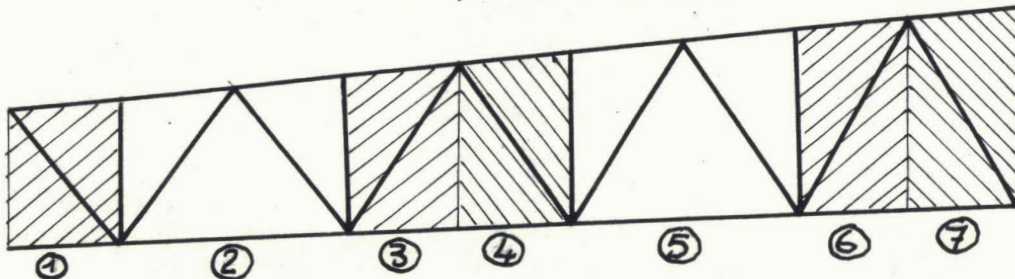
$$h = 260 \text{ cm}$$

De même pour calculer le moment d'inertie moyen, faisons le même mode de fractionnement. Nous obtenons:

$$I_{\text{moyen}} = 40,43 \cdot 10^4 \text{ cm}^4$$

2.2.3. Section de l'âme de la poutre en I équivalente

Fractionnons une 1/2 ferme de la manière suivante:



panneaux 1-3-4-6-7 équivalent à une poutre Pratt
panneaux 2-5 équivalent à une poutre Warren

Pour une poutre Pratt: $\frac{1}{S_1} = \frac{G}{E t g \theta} \left(\frac{1}{w} + \frac{1}{S \cos^2 \theta} \right)$

Pour une poutre Warren: $S_1 = \frac{E}{G} \cdot S \sin \theta \cos^2 \theta$

Le calcul rapporté à une hauteur moyenne dans chaque panneau nous donne une section moyenne de 4,89 cm².

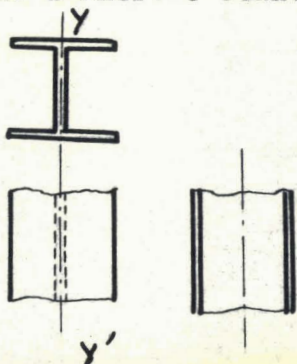
Cette faible section entraîne une faible épaisseur de l'âme et l'influence du moment d'inertie de l'âme sera négligeable, ce qui nous conduit à prendre uniquement deux semelles et supprimer l'âme afin d'avoir une réalisation plus aisée.

2.2.4. Inertie du poteau

Nous reportant à la normalisation (NF.A.45.201) le moment d'inertie du HN 26 est:

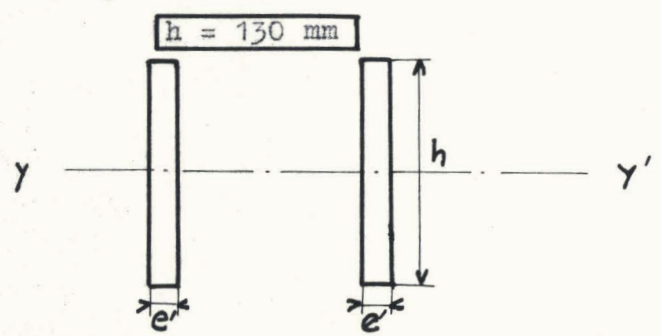
$$I = 5279 \text{ cm}^4$$

ce moment d'inertie étant pris par rapport à yy', axe de flexion.



2.3. Choix des plats équivalents à la poutre en treillis

La similitude de 1/20 sur les longueurs nous impose pour hauteur h de la poutre équivalente:



Choisissons e'

$e' = 4 \text{ mm}$

Nous choisissons cette valeur afin d'avoir une bonne rigidité pour l'ensemble de la maquette.

2.4. Choix du poteau

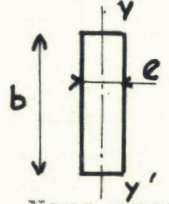
Ecrivons que le rapport des moments d'inertie est conservé dans la similitude

$$\frac{\text{Inertie de la ferme}}{\text{Inertie du HN 26}} = \frac{\text{Inertie de la poutre}}{\text{Inertie du poteau}}$$

$$\frac{404\ 300}{5279} = \frac{\frac{e'h^3}{6}}{\text{Inertie du poteau}}$$

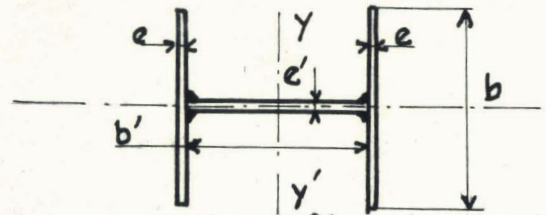
D'où: $\text{Inertie du poteau} = 19160 \text{ mm}^4$

Afin de simplifier la réalisation nous aurions aimé avoir pour poteau un plat (b.e).



Cette solution est à écarter car elle contribuerait à prendre pour b des valeurs incompatibles avec les dimensions de la maquette.

Nous avons donc été conduit à choisir un fer en I soudé dont nous allons vérifier l'inertie.



- $e = e' = 1 \text{ mm}$
- $b = 30 \text{ mm}$
- $b' = 32 \text{ mm}$

Ceci entraîne un moment d'inertie : $I = 19070 \text{ mm}^4$, ce qui nous fait une erreur de 1/200. Mais vu les approximations précédentes, cette valeur peut être considérée comme acceptable.

3; Construction de la maquette

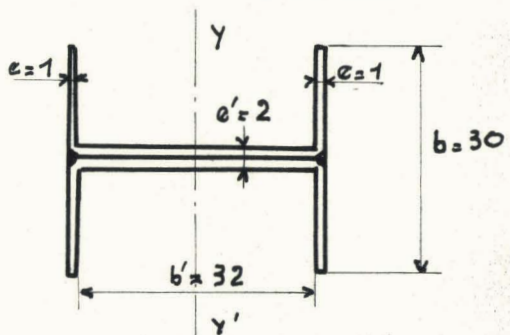
Pour le plan d'ensemble de la construction, se référer au dessin détaillé de la maquette.

3.1. Construction et mise en place des poteaux

Lors de la construction de la maquette, nous nous sommes heurtés à certaines difficultés quant à la réalisation des poteaux et à leur encastrement sur le socle. De même la faible épaisseur des tôles a rendu difficile les côtes à réaliser.

3.1.1. Réalisation des poteaux

En effet, ayant choisi des épaisseurs de tôles de 1 mm, il était pratiquement impossible de réaliser un poteau en I, soudé avec des tôles de cette épaisseur. On a donc, été conduit à réaliser les poteaux de la manière ci-dessous.



Cette nouvelles épaisseur de l'âme nous donne un moment d'inertie $I_{YY'} = 21802 \text{ mm}^4$ au lieu de 19160 mm^4 , ce qui nous fait une erreur de 12%, erreur qui est acceptable vutles hypothèses de départ. D'autre part, la réalisation étant délicate, nous avons remarqué qu'après construction, $b' = 32$ mm pour le poteau 2 et $b' = 30$ mm pour les poteaux 1 et 3, ce qui nous fait pour ces derniers poteaux une erreur de 8%

3.1.2. Réalisation des encastremets

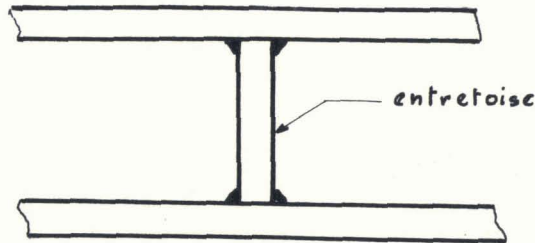
De même pour réaliser les encastremets on ne pouvait pas percer le fer en U support et y encastrent le poteau, vu les faibles épaisseurs de la tôle. On a donc soudé un platine en bas du poteau platine qui est lui-même soudé sur le support.

Quant à l'encastrement du haut du poteau sur la ferme, nous avons rendu plus rigide le poteau en y soudant 2 plats.



3.2. Construction de la ferme

Nous utilisons 2 tôles ayant une forme similaire à la structure réelle mais une hauteur moyenne : $h = 130$ mm. Afin de rendre le système plus rigide nous mettons des entretoises entre les deux tôles, ce qui ne modifie pas le moment d'inertie.



3.3. Dispositif permettant l'application des efforts

Pour supporter les poids en fonte utilisés pour les charges, nous utilisons un câble en acier de diamètre 2 mm.

Vu le frottement très important entre le câble et l'axe de renvoi, nous avons monté le système de renvoi sur roulement à billes, ce qui transforme le frottement de glissement en frottement de roulement.

Pour le dessin de détail de ce dispositif, se reporter au dessin d'ensemble de la maquette.

3.4. Réalisation d'encastements stables

Se reporter au dessin d'ensemble.

3.5. Guidage de la ferme

Se reporter au dessin d'ensemble.

3.6. Conclusion

La réalisation de la maquette a été un des points le plus délicat de ce mémoire; nous voyons donc ici la nécessité d'une collaboration étroite du bureau d'études et du bureau des fabrications dans une usine.

1. Effort P sur la ferme

1.2. Calcul de la flèche

$$\Delta_A = \Delta_B = \Delta_C = \frac{P \cdot f^3}{36 \cdot E \cdot I}$$

$$P=1586,80 \text{ N} \quad f=487 \text{ mm} \quad E=210.000 \text{ N/mm}^2 \quad I=20534,4 \text{ mm}^4$$

$$\text{d'où : } \Delta_A = \Delta_B = \Delta_C = 1,1805 \text{ mm}$$

1.3. Calcul des contraintes dues au moment fléchissant

$$X_A = X_B = X_C \quad M_A = M_B = M_C$$

$$M_F = X_A \cdot y - M_A = \frac{P}{9} \left(y - \frac{f}{2} \right) \quad \sigma_1 = \frac{M_F}{I/v}$$

1.3.1. Haut du poteau n° 1

$$P=1586,80 \text{ N} \quad f=487 \text{ mm} \quad y=31 \text{ mm} \quad \frac{I}{v} = 1232,25 \text{ mm}^3$$

$$\text{d'où : } \sigma_1 = 95,93 \text{ N/mm}^2$$

1.3.2. Bas du poteau n° 1

$$P=1586,80 \text{ N} \quad f=487 \text{ mm} \quad y=31 \text{ mm} \quad \frac{I}{v} = 1232,25 \text{ mm}^3$$

$$\text{d'où : } \sigma_1 = -91,21 \text{ N/mm}^2$$

1.3.3. Haut du poteau n° 2

$$P=1586,80 \text{ N} \quad f=487 \text{ mm} \quad y=469 \text{ mm} \quad \frac{I}{v} = 1266,78 \text{ mm}^3$$

$$\text{d'où : } \sigma_1 = 94,15 \text{ N/mm}^2$$

1.3.4. Bas du poteau n° 2

$$P=1586,80 \text{ N} \quad f=487 \text{ mm} \quad y=40 \text{ mm} \quad \frac{I}{v} = 1266,78 \text{ mm}^3$$

$$\text{d'où : } \sigma_1 = -84,96 \text{ N/mm}^2$$

1.3.5. Haut du poteau n° 3

$$P=1586,80 \text{ N} \quad f=487 \text{ mm} \quad y=462 \text{ mm} \quad \frac{I}{v} = 1203 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_1 = 96,06 \text{ N/mm}^2$$

1.3.6. Bas du poteau n° 3

$$P=1586,80 \text{ N} \quad f=487 \text{ mm} \quad y=46 \text{ mm} \quad \frac{I}{v} = 1203 \text{ mm}^3$$

$$\text{d'où : } \sigma_1 = -86,83 \text{ N/mm}^2$$

1.4. Contraintes dues aux efforts normaux



$$Y_A = -Y_C = \frac{P}{2.1} \left(h - \frac{f}{2} \right) \quad Y_B = 0 \quad \sigma_2 = \frac{Y_A}{S}$$

1.4.1. Poteau n° 1

$$P=1586,80 \text{ N} \quad h=600 \text{ mm} \quad f=487 \text{ mm} \quad S=122 \text{ mm}^2 \quad l=1267 \text{ mm}$$

$$\text{d'où : } \sigma_2 = -1,82 \text{ N/mm}^2$$

1.4.2. Poteau n° 3

$$P=1586,80 \text{ N} \quad h=600 \text{ mm} \quad f=487 \text{ mm} \quad S=120,6 \text{ mm}^2 \quad l=1267 \text{ mm}$$

$$\text{d'où : } \sigma_2 = 1,85 \text{ N/mm}^2$$

1.4.3. Poteau n° 2

$$\sigma_2 = 0 \text{ N/mm}^2$$

2. Effort F appliqué sur le poteau n° 1

2.1. Calcul de la flèche

$$\Delta_A = \Delta_B = \Delta_C = \frac{F \cdot h'^2}{12 \cdot E \cdot I} \left(f - \frac{2 \cdot h'}{3} \right)$$

$$F=1586,80 \text{ N} \quad h'=325,5 \text{ mm} \quad f=487 \text{ mm} \quad E=210.000 \text{ N/mm}^2 \quad I=20534,4 \text{ mm}^4$$

$$\text{d'où : } \Delta_A = \Delta_B = \Delta_C = 87,72 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$$

2.2. Calcul des contraintes dues au moment fléchissant

2.2.1. Formules utilisées

$$X_A = F \left(1 - \frac{2 \cdot h'^2}{f^2} + \frac{4 \cdot h'^3}{3 \cdot f^3} \right) \quad X_B = X_C = \frac{F \cdot h'^2}{f^2} \left(1 - \frac{2 \cdot h'}{3 \cdot f} \right)$$

$$M_A = F \cdot h' \left(1 - \frac{3 \cdot h'}{2 \cdot f} + \frac{2 \cdot h'^2}{3 \cdot f^2} \right) \quad M_B = M_C = \frac{F \cdot h'^2}{2 \cdot f} \left(1 - \frac{2 \cdot h'}{3 \cdot f} \right)$$

2.2.2. Haut du poteau n° 1

$$M_f = X_A \cdot y - M_A - F \cdot (y - h') \quad \sigma_1 = \frac{M_f}{I}$$

$$P=1586,80 \text{ N} \quad h'=325,5 \text{ mm} \quad f=487 \text{ mm} \quad y=467 \text{ mm} \quad \frac{I}{v} = 1232,25 \text{ mm}^3$$

$$X_A = 799,747 \text{ N} \quad M_A = 152.367,709 \text{ N.mm}$$

$$\text{d'où : } \sigma_1 = -2,773 \text{ N/mm}^2$$

2.2.3. Bas du poteau n° 1

$$M_f = X_A \cdot y - M_A$$

$$P=1586,80 \text{ N} \quad h'=325,5 \text{ mm} \quad f=487 \text{ mm} \quad y=51 \text{ mm} \quad \frac{I}{v} = 1232,25 \text{ mm}^3$$

d'où : $\sigma_1 = -103,5305 \text{ N/mm}^2$

2.2.4. Haut du poteau n° 2

$$M_f = X_B \cdot y - M_B \qquad \sigma_1 = \frac{M_f}{I/v} \qquad y=469 \text{ mm} \qquad \frac{I}{v} = 1266,78 \text{ mm}^3$$

$X_B = 393,272 \text{ N}$ $M_B = 95761,9 \text{ N.mm}$

d'où : $\sigma_1 = 70,006 \text{ N/mm}^2$

2.2.5. Bas du poteau n° 2

$F=1586,80 \text{ N}$ $h'=325,5 \text{ mm}$ $f=487 \text{ mm}$ $y=40 \text{ mm}$ $\frac{I}{v} = 1266,78 \text{ mm}^3$

d'où : $\sigma_1 = -63,176 \text{ N/mm}^2$

2.2.6. Haut du poteau n° 3

$$M_f = X_C \cdot y - M_C \qquad \sigma_1 = \frac{M_f}{I/v}$$

$F=1479,80 \text{ N}$ $h'=325,5 \text{ mm}$ $f=487 \text{ mm}$ $y=462 \text{ mm}$ $\frac{I}{v} = 1203 \text{ mm}^3$

$X_C = 366,753 \text{ N}$ $M_C = 89304,549 \text{ N.mm}$

d'où : $\sigma_1 = 66,612 \text{ N/mm}^2$

2.2.7. Bas du poteau n° 3

$F=1479,80 \text{ N}$ $h'=325,5 \text{ mm}$ $f=487 \text{ mm}$ $y=46 \text{ mm}$ $\frac{I}{v} = 1203 \text{ mm}^3$

d'où : $\sigma_1 = -60,211 \text{ N/mm}^2$

2.3. Calcul des contraintes dues aux efforts normaux

2.3.1. Poteau n° 1

$$Y_A = \frac{F \cdot h'^2}{4 \cdot f \cdot l} \qquad \sigma_2 = \frac{Y_A}{S}$$

$F=1586,80 \text{ N}$ $h'=325,5 \text{ mm}$ $f=487 \text{ mm}$ $l=1267 \text{ mm}$ $S=122 \text{ mm}^2$

$Y_A = 68,117 \text{ N}$

d'où : $\sigma_2 = -0,558 \text{ N/mm}^2$

2.3.2. Poteau n° 3

$Y_C = -63,524 \text{ N}$ $S=120,6 \text{ mm}^2$ $F=1479,80 \text{ N}$

d'où : $\sigma_2 = 0,526 \text{ N/mm}^2$

2.3.3. Poteau n° 2

Comme $Y_B = 0$ nous avons

$$\sigma_2 = 0 \text{ N/mm}^2$$



1. Eléments utilisés

1.1. Jauges

1.1.1. Principe

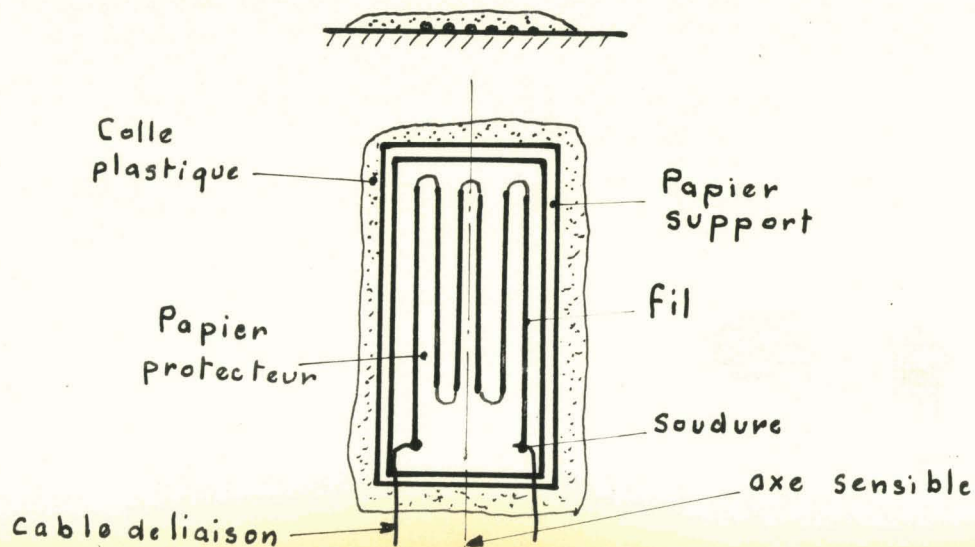
Un tronçon de fil métallique possède au repos une résistance électrique bien déterminée. Cette résistance varie si le fil est soumis à un effort parvenant à l'étirer, ceci en raison à la fois de l'allongement du fil, de la réduction de sa section et aussi d'une légère modification de sa résistivité.

La mesure de cette variation de résistance permet ainsi d'en déduire la mesure de l'allongement correspondant.

Il suffit donc de rendre ce fil bien solidaire d'une pièce métallique pour pouvoir mesurer les variations de longueur que cette pièce subit et transmet au fil.

1.1.2. Réalisation des jauges

Le fil de jauge est très fin (20 à 30 microns) et est replié plusieurs fois sur lui-même pour présenter une longueur utile importante sur une petite surface. Il est collé sur une feuille de papier spécial mince et résistant. L'extrémité de chacun des plis est en outre ancrée dans le papier par un procédé spécial. Cet ancrage rend le fil parfaitement solidaire du support.



1.1.3. Caractéristiques des jauges

Les jauges employées sont des jauges à une direction PL-10
-Résistance de la jauge au repos

$$R = 120 \pm 0,3 \Omega$$

-Coefficient de jauge : K

La variation de résistance de la jauge est reliée à la variation de longueur par la relation:

$$\frac{dR}{R} = K \cdot \frac{dL}{L} \quad K = 2,06$$

Ce coefficient a une valeur constante et sa valeur dépend du fil employé.

-Plage de mesure

La limite extrême décelable de la variation de résistance est de 10^{-6} ce qui correspond pour l'acier à une variation de contrainte de 10 g/mm^2 . Dans le cas présent, la nature des connexions nous occasionne une erreur maximum de 2 N/mm^2 .

-Coefficient de température

La résistance des jauges varie également avec la température. Pour éliminer cette variation de résistance, on emploie une jauge témoin collée sur une pièce à la même température mais ne travaillant pas. Les deux jauges sont alors disposées dans le pont de mesure, pour que l'indication fournie soit indépendante de la température.

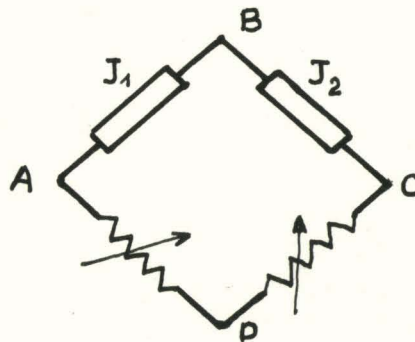
1.2. Pont de mesures

Utilisation du pont P.352 qui après un réglage tenant compte du coefficient de jauge K nous fournit directement $\frac{dL}{L}$ en faisant une méthode de zéro.



1.2.1. Montage à 2 jauges

Ce dispositif nous donne l'influence de l'effort normal et du moment fléchissant.



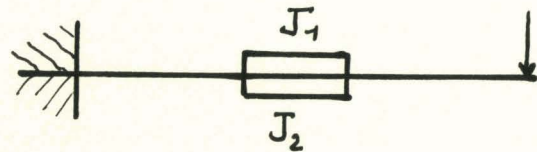
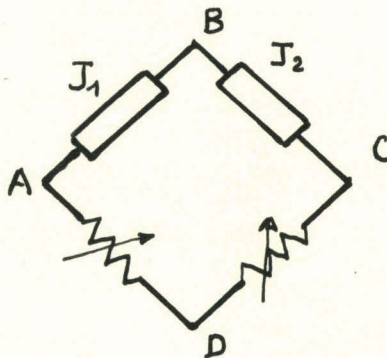
La jauge active J_1 et la jauge témoin J_2 forment les deux branches d'un pont de Wheatstone dont la diagonale BD est alimentée par une source extérieure et la diagonale AC reliée à l'appareil de lecture. Le déséquilibre total indiqué par le pont est :

$$\frac{dR}{R} = \left(\frac{dR}{R} \right)_{J_1} - \left(\frac{dR}{R} \right)_{J_2}$$

On remarque qu'il y a compensation thermique.

1.2.2. Montage à 2 jauges

Ce dispositif nous donne l'influence du moment fléchissant seul. La sensibilité de la mesure est doublée car J_1 et J_2 sont alors deux jauges actives opposées, ce qui nous permet d'éliminer l'influence de l'effort normal.



1.3. Comparateurs

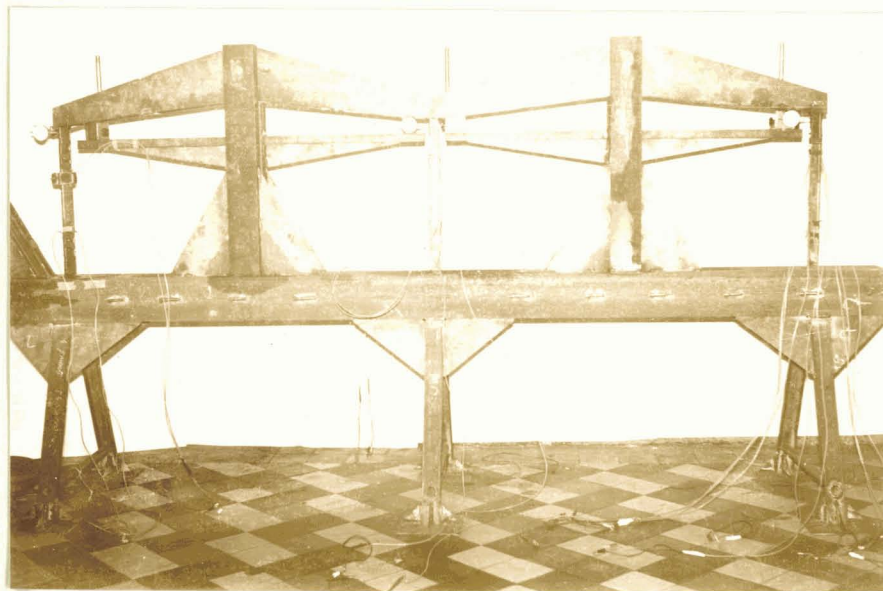
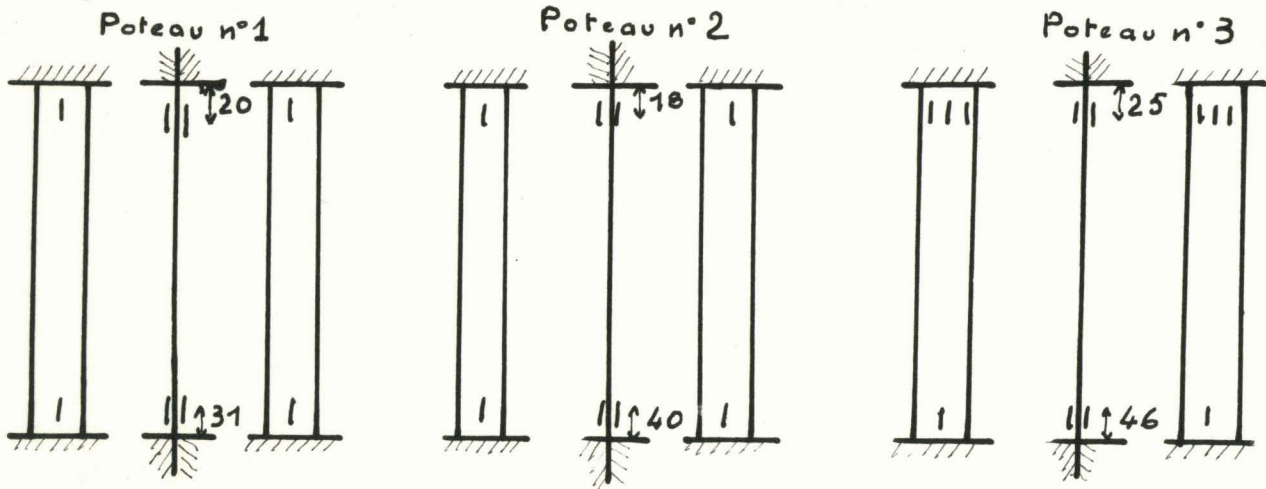
Les comparateurs utilisés sont des comparateurs au 1/100 et nous mesurons la flèche à l'encastrement des poteaux.

2. Disposition des jauges

Afin de réduire le nombre de jauges à utiliser, sur chaque poteau, nous nous proposons d'étudier la répartition des contraintes dans une section quelconque.

Pour cela dans une section quelconque trois jauges identiques et effectuons

les mesures. Pour toutes les autres mesures une seule jauge sera nécessaire si nous avons une répartition des contraintes constante dans une section. Nous aurons donc le dispositif suivant:



3. Tableaux de mesures

Toutes les mesures sont effectuées deux fois; dans le cas où l'effort est appliqué sur la ferme et dans le cas où l'effort est appliqué sur le poteau n° 1.

3.1. Valeur des flèches

Nous avons mesuré les flèches sur chaque poteau pour les différentes mesures. Les valeurs trouvées étant sensiblement constantes (aux erreurs de mesures près) nous avons fait tout d'abord une moyenne des flèches pour chaque poteau, ce qui nous donne trois valeurs en fonction des charges. Ces trois valeurs étant sensiblement identiques, la flèche indiquée est la moyenne de ces trois valeurs. Nous chercherons à prouver la proportionalité des flèches aux charges.

3.2. Répartition des contraintes dans une section

La répartition des contraintes est liée directement à la répartition des allongements. D'après les mesures nous remarquons que les contraintes sont sensiblement constantes dans une section ce qui nous permet de n'utiliser qu'une seule jauge au lieu de trois pour les autres poteaux.

3.3. Valeur des contraintes

La loi de Hooke nous permet d'écrire : $\sigma = E \cdot \frac{dL}{L}$

La mesure du pont nous indique directement $\frac{dL}{L}$ en 10^{-6} mm.

Exemple: Effort P sur la ferme; haut du poteau n° 1 à gauche; influence de l'effort normal et du moment fléchissant; charge de 84,880 Kgs

équilibre du pont à vide : 27194,5

équilibre du pont en charge: 27453,5

d'où : $\frac{dL}{L} = 259 \cdot 10^{-6}$ mm

nous en tirons: $\sigma = 54,39$ N/mm²

3.4. Calcul de la contrainte due à l'effort normal

Les valeurs mesurées nous donne les contraintes :

$\sigma_1 = \frac{M_f}{\frac{I}{v}}$ $\sigma = \frac{M_f}{\frac{I}{v}} + \frac{N}{S}$ $\sigma' = -\frac{M_f}{\frac{I}{v}} + \frac{N}{S}$

La contrainte due à l'effort normal est $\sigma_2 = \frac{N}{S}$

$\sigma + \sigma' = 2 \sigma_2$

Nous avons trois possibilités de calcul : $\sigma - \sigma_1 = \sigma_2$

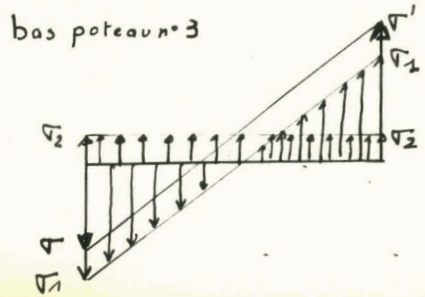
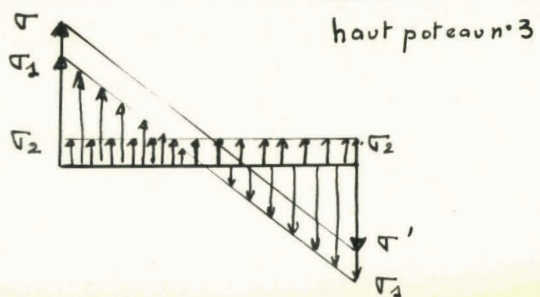
$\sigma' + \sigma_1 = \sigma_2$

Exemple: Effort P sur la ferme; haut du poteau n° 1; charge de 116,640 Kgs

$\sigma = 74,86$ N/mm ²	$\sigma + \sigma' = -2,10$ N/mm ²	$\sigma_2 = -1,05$ N/mm ²
$\sigma' = -76,96$ N/mm ²	$\sigma - \sigma_1 = -1,16$ N/mm ²	$\sigma_2 = -1,16$ N/mm ²
$\sigma_1 = 76,02$ N/mm ²	$\sigma' + \sigma_1 = -0,94$ N/mm ²	$\sigma_2 = -0,94$ N/mm ²

Les valeurs indiquées dans les tableaux sont les valeurs de $\frac{\sigma + \sigma'}{2}$, qui est une valeur moyenne de la contrainte.

3.5. Obtention graphique des contraintes



EFFORT: P SUR LA FERME

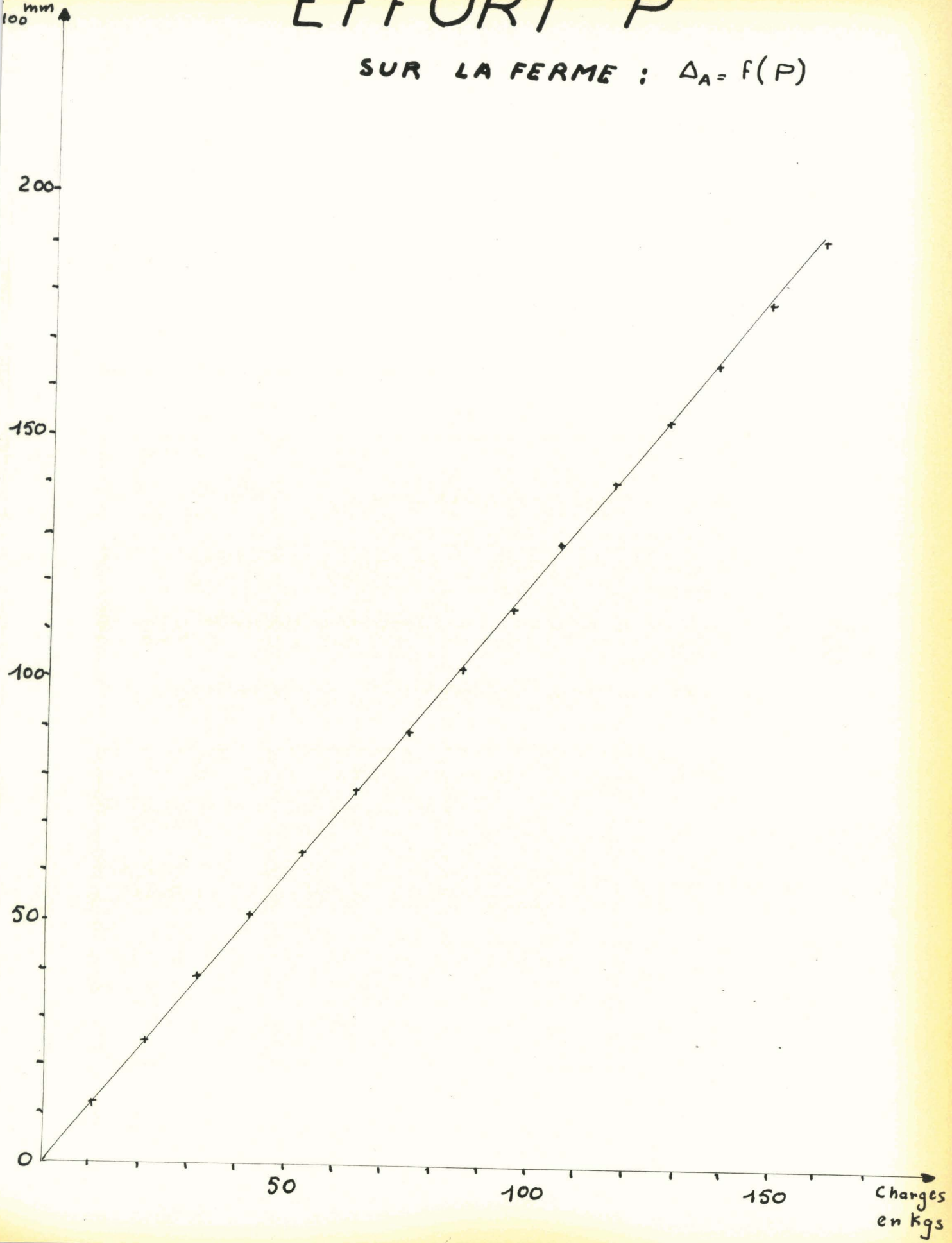
Valeur des flèches en $\frac{1}{100}$ mm

flèche sur le Poteau n°1	flèche sur le Poteau n°2	flèche sur le Poteau n°3	Moyenne des flèches	Charges en Kgs
12,8	12	12,1	12,3	10,400
25,6	24,8	24,7	25	20,860
38,9	39,1	37,5	38,5	31,620
51,8	52,8	50,1	51,5	42,360
64,6	65,8	62,9	64,4	53,140
77,5	78,5	75,7	77,2	63,760
89,8	90,2	88,1	89,3	74,160
102,9	103,1	101,2	102,4	84,880
115,8	116,8	113,9	115,5	95,480
129,1	131,2	126,3	128,8	106,160
142	144,1	138,8	141,6	116,640
154,8	156,4	151,8	154,3	127,240
166,9	167,8	164,2	166,3	137,340
179,7	180,4	177,2	179,1	147,980
192,5	193,6	190,1	192	158,680

EFFORT P

SUR LA FERME ; $\Delta_A = f(P)$

Flèches en
mm



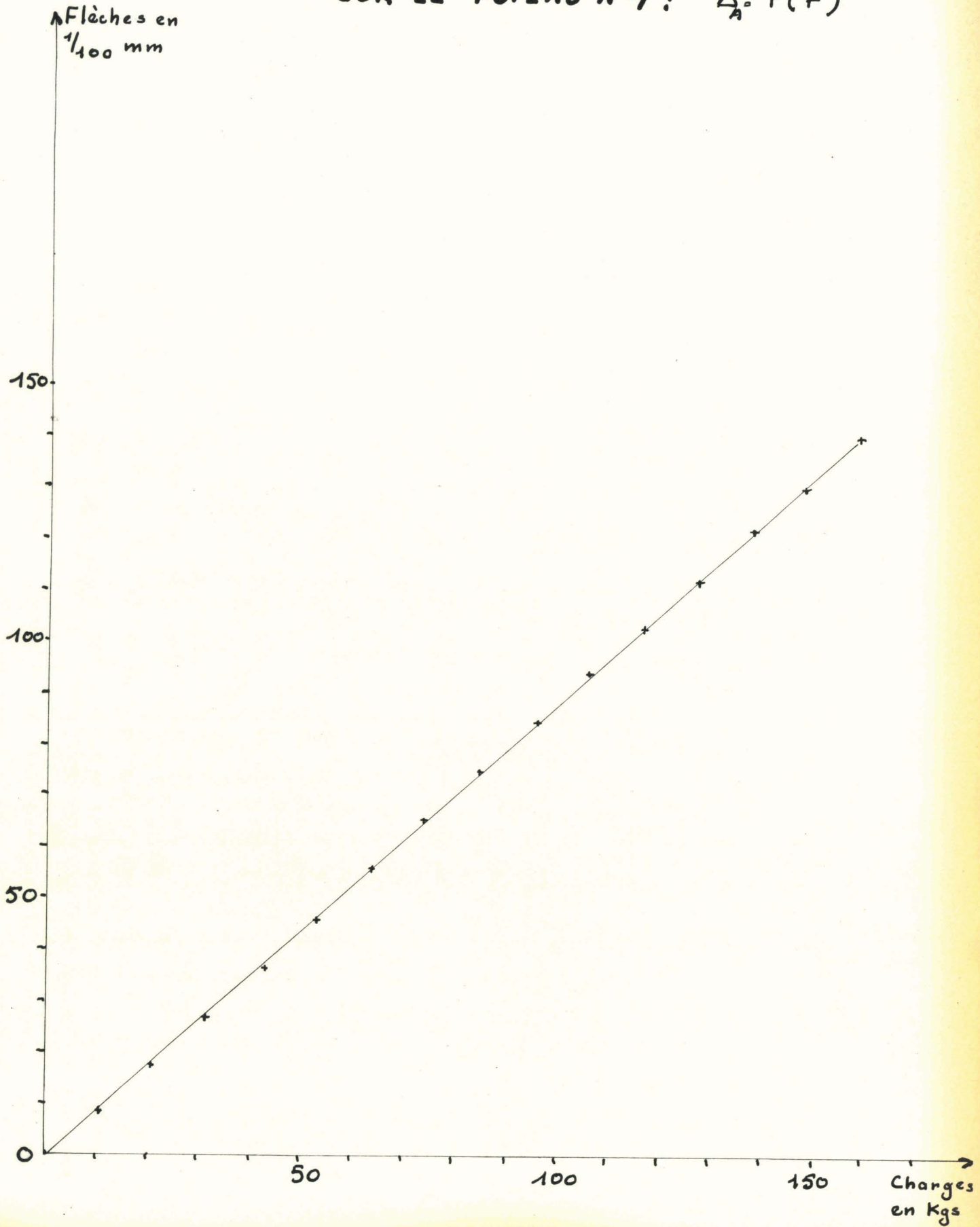
EFFORT : F SUR LE POTEAU N°1

Valeur des flèches en $\frac{1}{100}$ mm

Flèche sur le Poteau n°1	Flèche sur le Poteau n°2	Flèche sur le Poteau n°3	Moyenne des flèches	Charges en Kgs
8,8	9	9	8,9	10,400
17,5	18,1	18	17,8	20,860
26,9	27,7	27,4	27,3	31,620
36,4	37,2	36,9	36,8	42,360
46,7	47,1	46,2	46,6	53,140
56,5	56,3	55,3	56	63,760
67,2	65,9	64,4	65,8	74,160
76,9	75,4	73,8	75,3	84,880
86,4	84,9	83,1	84,8	95,480
95,4	94,3	92,3	94	106,160
104,2	103,5	101,6	103,1	116,640
113,5	113	111	112,5	127,240
122,7	124,7	119,9	122,4	137,340
133	132	129,1	131,3	147,980
144	141,2	138,1	141,1	158,680

EFFORT F

SUR LE POTEAU N°1 : $\Delta_A = f(F)$



Répartition des contraintes dans une section : haut poteau n°3

Contraintes dues à M_f seul						Charges en Kgs	Contraintes dues à Net M_f à droite					
Lectures de pont			Valeurs des contraintes				Valeurs des contraintes			Lectures de pont		
N°1	N°2	N°3	en N/mm^2				en N/mm^2			N°1	N°2	N°3
25165	26595,5	26172,5	0	0	0	Vide	0	0	0	29053	26979	26171
25227,5	26661,5	26237,5	6,56	6,93	6,82	10,400	-5,88	-6,30	-6,30	29025	26949	26141
25287	26725	26303	12,81	13,59	13,70	20,860	-11,76	-12,60	-12,39	28897	26919	26112
25351	26791	26369,5	19,53	20,52	20,68	31,620	-17,95	-19,32	-18,90	28967,5	26887	26081
25412,5	26856,5	26435,5	25,98	27,40	27,61	42,360	-23,62	-25,83	-25,20	28940,5	26856	26051
25476	26923	26502	32,65	34,38	34,59	53,140	-29,82	-32,44	-31,50	28911	26824,5	26021
25537	26988	26567	39,06	41,20	41,42	63,760	-35,80	-39,37	-38,22	28882,5	26791,5	25989
25598	27051	26631	45,46	47,82	48,14	74,160	-41,37	-45,67	-44,31	28856	26761,5	25960
25660	27115,5	26698	51,97	54,60	55,17	84,880	-47,46	-52,60	-51,03	28827	26728,5	25928
25722	27180	26761,5	58,48	61,37	61,84	95,480	-53,55	-59,22	-57,12	28798	26697	25899
25784	27244,5	26828	64,99	66,04	68,82	106,160	-59,64	-66,04	-63,73	28769	26664,5	25867,5
25846	27310,5	26893,5	71,50	75,07	75,70	116,640	-65,73	-72,55	-70,03	28740	26633,5	25837,5
25905,5	27373,5	26956	77,75	81,69	82,26	127,240	-72,03	-79,27	-76,44	28710	26601,5	25807
25966	27437,5	27019,5	84,10	88,41	88,93	137,340	-77,38	-85,68	-82,32	28684,5	26571	25779
26026	27501	27082,5	90,40	95,07	95,55	147,980	-85,05	-92,61	-89,04	28648	26538	25747
26089	27567	27148	97,02	102	102,42	158,680	-89,67	-99,22	-95,44	28626	26506,5	25716,5

Effort P sur la ferme: haut du poteau n° 1

Lectures du pont $\frac{\Delta l}{l}$ en 10^{-6} mm		Calcul des contraintes en N/mm^2					Charges en Kg	Flèche moyenne en $\frac{1}{100}$ mm
Influence N et Mf		Influence Mf seul	$\sigma = \frac{M_f}{\frac{I}{v}} + \frac{N}{S}$	$\sigma' = -\frac{M_f}{\frac{I}{v}} + \frac{N}{S}$	$\sigma_1 = \frac{M_f}{\frac{I}{v}}$	$\sigma_2 = \frac{N}{S}$		
gauche	droite							
27194,5	27310,5	24891,5	0	0	0	0	vide	0
27227,5	27277,5	24957	6,93	-6,93	6,87	0	10,400	12,3
27259	27243,5	25022,5	13,54	-14,07	13,75	-0,26	20,860	25,0
27291	27209	25088	20,26	-21,31	20,63	-0,52	31,620	38,5
27324	27175	25154	27,19	-28,45	27,56	-0,63	42,360	51,5
27356,5	27141	25221	34,02	-35,59	34,59	-0,78	53,140	64,4
27389	27108,5	25286,5	40,84	-42,42	41,47	-0,79	63,760	77,2
27421,5	27077	25351,5	47,67	-49,03	48,30	-0,68	74,160	89,3
27453,5	27044	25419	54,39	-55,96	55,38	-0,78	84,880	102,4
27487,5	27011	25487	61,53	-62,89	62,52	-0,68	95,480	115,5
27520	26977,5	25550	68,35	-69,93	69,14	-0,79	106,160	128,8
27551	26944	25615,5	74,86	-76,96	76,02	-1,05	116,640	141,6
27585,5	26910,5	25682	82,11	-84,00	83,00	-0,94	127,240	154,3
27615	26878	25743	88,30	-90,82	89,40	-1,26	137,340	166,3
27647,5	26846	25810	95,13	-97,54	96,44	-1,20	147,980	179,1
27680,5	26811	25875,5	102,06	-104,89	103,32	-1,41	158,680	192

Effort P sur la ferme: bos du poteau n° 1



Lectures du pont $\frac{\Delta l}{P}$ en 10^{-6} mm			Calcul des contraintes en N/mm ²				Charges en Kg	Flèche moyenn en $\frac{1}{100}$ mm
Influence Nat M _f		Influence M _f seul	$\sigma_1 = \frac{M_f}{I} + \frac{N}{S}$	$\sigma_2 = -\frac{M_f}{I} + \frac{N}{S}$	$\sigma_3 = \frac{M_f}{I}$	$\sigma_4 = \frac{N}{S}$		
gauche	droite							
26667,5	25578	25953	0	0	0	0	vide	0
26640,5	25606	25897,5	-5,67	5,88	-5,82	0,10	10,400	12,3
26612	25632	25843	-11,65	11,34	-11,55	-0,15	20,860	25,0
26584	25659	25788	-17,53	17,01	-17,32	-0,26	31,620	38,5
26554,5	25685,5	25733	-23,73	22,57	-23,10	-1,16	42,360	51,5
26525	25712,5	25674,5	-29,92	28,24	-29,24	-0,84	53,140	64,4
26497	25738,5	25620	-35,80	33,70	-34,96	-1,05	63,760	77,2
26470	25765	25567	-41,47	39,27	-40,53	-1,10	74,160	89,3
26446	25791	25511	-46,51	44,73	-46,41	-0,89	84,880	102,4
26413	25820	25457	-53,44	50,82	-52,08	-1,31	95,480	115,5
26384	25847	25401,5	-59,53	56,49	-57,90	-1,52	106,160	128,8
26356,5	25873	25347	-65,31	61,95	-63,63	-1,68	116,640	141,6
26327,5	25900	25292,5	-71,40	67,62	-69,35	-1,89	127,240	154,3
26302	25925	25242,5	-76,75	72,87	-74,60	-1,94	137,340	166,3
26274	25951	25186	-82,63	78,33	-80,53	-2,15	147,980	179,1
26246	25978	25133	-88,51	84	-86,10	-2,25	158,680	192

Effort P sur la ferme : haut du poteau n: 2

Lectures du pont $\frac{\Delta L}{L}$ en 10^{-6} mm		Calcul des contraintes en N/mm^2					Charges en Kg	Flèche moyenne en $\frac{1}{100}$ mm
Influence gauche	Net M_f droite	Influence M_f seul	$\sigma = \frac{M_f}{I} + \frac{N}{S}$	$\sigma' = -\frac{M_f}{I} + \frac{N}{S}$	$\sigma_1 = \frac{M_f}{I}$	$\sigma_2 = \frac{N}{S}$		
26463	27484	25191	0	0	0	0	vide	0
26499	27448	25263	7,56	-8,12	7,56	-0,28	10,400	-12,3
26534	27412	25333	14,91	-15,12	14,91	-0,10	20,860	25,0
26570,5	27375,5	25406	22,57	-22,78	22,57	-0,10	31,620	38,5
26606	27340	25478,5	30,03	-30,24	30,18	-0,10	42,360	51,5
26643	27303,5	25556	37,80	-37,90	38,32	-0,05	53,140	64,4
26677,5	27268	25622	45,04	-45,36	45,25	-0,16	63,760	77,2
26712	27233	25692,5	52,29	-54,81	52,65	-1,26	74,160	89,3
26747,5	27196,5	25764,5	59,74	-60,37	60,21	-0,31	84,880	102,4
26783	27162	25835,5	67,20	-67,62	67,67	-0,21	95,480	115,5
26819,5	27126	25907,5	74,86	-75,18	75,23	-0,16	106,160	128,8
26855	27091	25978	82,32	-82,53	82,63	-0,10	116,640	141,6
26890	27055	26050	89,67	-90,09	90,19	-0,21	127,240	154,3
26924,5	27021,5	26117,5	96,91	-97,12	97,28	-0,10	137,340	166,3
26959	26986	26188	104,16	-104,58	104,68	-0,21	147,980	179,1
26995	26950	26259	111,72	-112,14	112,14	-0,21	158,680	192

Effort P sur la ferme : bas du poteau n° 2



Lectures du pont $\frac{\Delta P}{P}$ en 10^{-6} mm			Calcul des contraintes en N/mm^2				Charges - en Kg	Flèche moyenn en $\frac{1}{100}$ m
Influence Net M_f		Influence M_f seul	$\sigma = \frac{M_f}{I} + \frac{N}{S}$	$\sigma' = -\frac{M_f}{I} + \frac{N}{S}$	$\sigma_1 = \frac{M_f}{I}$	$\sigma_2 = \frac{N}{S}$		
gauche	droite							
27842	26613	26177	0	0	0	0	vide	0
27814,5	26642	26119	-5,77	6,09	-6,09	0,16	10,400	12,3
27785,5	26671	26061,5	-11,86	12,18	-12,12	0,16	20,860	25,0
27757	26701	26002,5	-17,85	18,48	-18,32	0,31	31,620	38,5
27729	26730,5	25944	-23,73	24,67	-24,46	0,47	42,360	51,5
27699	26760,5	25885	-30,03	30,97	-30,66	0,47	53,140	64,4
27671	26789	25828,5	-35,91	36,96	-36,59	0,52	63,760	77,2
27644	26818,5	25772,5	-41,58	43,15	-42,47	0,73	74,160	89,3
27616	26847	25715	-47,46	49,14	-48,51	0,94	84,880	102,4
27588,5	26876	25658	-53,23	55,23	-54,49	1,00	95,480	115,5
27560	26905	25601	-59,24	61,32	-60,48	1,05	106,160	128,8
27533	26934	25543	-64,89	67,41	-66,57	1,26	116,640	141,6
27504,5	26962,5	25486,5	-70,87	73,39	-72,50	1,26	127,240	154,3
27478,5	26991	25433	-76,33	79,38	-78,12	1,52	137,340	166,3
27450,5	27020	25374	-82,21	85,47	-84,31	1,63	147,980	179,1
27423	27050	25316	-87,99	91,77	-90,40	1,99	158,680	192

Effort P sur la ferme: haut du poteau n° 3

Lectures du pont $\frac{\Delta P}{L}$ en 10^{-6} mm		Calcul des contraintes en N/mm ²					Charges en Kg	Flèche moyenne en $\frac{1}{100}$ mm
Influence Net M_f		Influence M_f seul	$\sigma_3 = \frac{M_f}{I} + \frac{N}{S}$	$\sigma_2 = -\frac{M_f}{I} + \frac{N}{S}$	$\sigma_1 = \frac{M_f}{I}$	$\sigma_4 = \frac{N}{S}$		
gauche	droite							
27573	26979	26,585,5	0	0	0	0	vide	0
27606,5	26949	26661,5	7,20	-6,16	6,77	0,52	10,400	12,3
27638	26919	26725	14,07	-12,25	13,36	0,91	20,860	25,0
27672,5	26887	26791	21,34	-18,72	20,24	1,31	31,620	38,5
27706	26856	26856,5	28,49	-24,88	26,99	1,80	42,360	51,5
27738,5	26824,5	26923	35,62	-31,25	33,87	2,18	53,140	64,4
27773	26791,5	26988	42,80	-37,79	40,56	2,05	63,760	77,2
27806	26761,5	27051	49,87	-43,78	47,14	3,04	74,160	89,3
27838,5	26728,5	27115,5	56,94	-50,36	53,91	3,29	84,880	102,4
27872	26697	27180	64,01	-56,63	60,56	3,69	95,480	115,5
27906	26664,5	27244,5	71,22	-63,13	66,61	4,04	106,160	128,8
27938,5	26633,5	27310,5	78,18	-69,43	74,09	4,37	116,640	141,6
27971,5	26601,5	27373,5	85,32	-75,91	80,56	4,70	127,240	154,3
28004	26571	27437,5	92,08	-81,79	87,14	5,14	137,340	166,3
28038	26538	27501	99,18	-88,90	93,67	5,14	147,980	179,1
28071,5	26506,5	27567	106,39	-94,77	100,48	5,81	158,680	192

Effort P sur la ferme : bas du poteau n° 3



Lectures du pont $\frac{\Delta P}{L}$ en 10^{-6} mm		Calcul des contraintes en N/mm^2					Charges en Kg	Flèche moyenne en $\frac{1}{100}$ m
Influence Nettes		Influence M_f seul	$\sigma_1 = \frac{M_f}{I} + \frac{N}{S}$	$\sigma_2 = -\frac{M_f}{I} + \frac{N}{S}$	$\sigma_3 = \frac{M_f}{I}$	$\sigma_4 = \frac{N}{S}$		
gauche	droite							
26592	28203	25455,5	0	0	0	0	vide	0
26566,5	28229,5	25404	-5,35	5,56	-5,40	0,10	10,400	12,3
26540,5	28257	25351	-10,81	11,34	-10,97	0,26	20,860	25,0
26514,5	28285	25297,5	-16,27	17,22	-16,59	0,47	31,620	38,5
26489	28312	25245	-21,63	22,89	-22,10	0,63	42,360	51,5
26463	28339,5	25192,5	-27,09	28,66	-27,61	0,78	53,140	64,4
26436,5	28366,5	25140	-32,65	34,33	-33,12	0,89	63,760	77,2
26412	28394,5	25089	-37,80	40,21	-38,48	1,20	74,160	89,3
26385,5	28423,5	25036	-43,36	46,30	-44,04	1,47	84,880	102,4
26360	28449	24982,5	-48,72	51,66	-49,66	1,47	95,480	115,5
26333,5	28477,5	24929	-54,28	57,64	-55,28	1,68	106,160	128,8
26308	28503,5	24876,5	-59,64	63,10	-60,79	1,73	116,640	141,6
26282	28531	24822,5	-65,10	68,88	-66,46	1,89	127,240	154,3
26258	28557,5	24774,5	-70,14	74,44	-71,50	2,15	137,340	166,3
26231,5	28585,5	24717,5	-75,70	80,32	-77,49	2,31	147,980	179,1
26205,5	28613	24665	-81,16	86,10	-83	2,47	158,680	192

Effort F sur le poteau n°1 : haut du poteau n°1

Lectures du pont ΔL en 10^{-6} mm		Calcul des contraintes en N/mm^2			Charges en Kgs	Flèche moyenne en $\frac{1}{100}$ mm
Influence Net M_f		$\sigma = \frac{M_f}{I} + \frac{N}{S}$	$\sigma' = -\frac{M_f}{I} + \frac{N}{S}$	$\sigma_2 = \frac{N}{S}$		
gauche	droite					
25 958,5	26253	0	0	0	Vide	0
25961	26250	0,52	-0,63	-0,05	10,400	8,8
25965,5	26245	1,47	-1,68	-0,10	20,860	17,5
25972	26240	2,83	-2,73	+0,05	31,620	26,9
25976,5	26235,5	3,78	-3,67	+0,05	42,360	36,4
25981	26230	4,72	-4,83	-0,05	53,140	46,7
25986	26226,5	5,77	-5,56	+0,10	63,760	56,5
25990,5	26221,5	6,72	-6,61	+0,05	74,160	67,2
25995,5	26217	7,77	-7,56	+0,10	84,880	76,9
26000	26210,5	8,71	-8,92	-0,10	95,480	86,4
26005	26206	9,76	-9,87	-0,05	106,160	95,4
26010,5	26202	10,92	-10,71	+0,10	116,640	104,2
26014	26197,5	11,65	-11,65	0,00	127,240	113,5
26018	26192,5	12,49	-12,70	-0,10	137,340	122,7
26022,5	26184	13,44	-14,49	-0,52	147,980	133
26027	26178	14,38	-15,75	-0,68	158,680	144

Effort F sur le poteau n°1: bas du poteau n°1



Lectures du pont $\frac{M}{L}$ en 10^{-6} mm		Calcul des contraintes en N/mm^2			Charges en Kgs	Flèche moyenne en $\frac{1}{100}$ mm
Influence Net M_F		$\sigma = \frac{M_t}{\frac{H}{r}} + \frac{N}{S}$	$\sigma' = -\frac{M_t}{\frac{H}{r}} + \frac{N}{S}$	$\sigma_2 = \frac{N}{S}$		
gauche	droite					
25428	25718	0	0	0	Vide	0
25396,5	25749	-6,61	6,51	-0,05	10,400	8,8
25365,5	25780	-13,12	13,02	-0,05	20,860	17,5
25333,5	25810	-19,84	19,32	-0,26	31,620	26,9
25302,5	25841,5	-26,35	25,93	-0,21	42,360	36,4
25270,5	25872,5	-33,07	32,44	-0,31	53,140	46,7
25240	25902	-39,48	38,64	-0,42	63,760	56,5
25209,5	25932	-45,88	44,94	-0,47	74,160	67,2
25178,5	25961,5	-52,39	51,13	-0,63	84,880	76,9
25149,5	25992,5	-58,48	57,64	-0,42	95,480	86,4
25117,5	26023	-65,20	64,05	-0,57	106,160	95,4
25087,5	26051,5	-71,50	70,03	-0,72	116,640	104,2
25059	26081,5	-77,49	76,33	-0,58	127,240	113,5
25028	26109,5	-84,00	82,21	-0,89	137,340	122,7
24993,5	26134	-91,24	87,36	-1,94	147,980	133
24964	26182	-97,44	97,44	0,00	158,680	144

Effort F sur le poteau n°1 : haut du poteau n°2

Lectures du pont $\frac{Q_p}{L}$ en 10^{-6} mm		Calcul des contraintes en N/mm^2			Charges en Kgs	fleche moyenne en $1/100$ mm
Influence Net M_f		$\sigma_1 = \frac{M_f}{I} + \frac{N}{S}$	$\sigma_2 = -\frac{M_f}{I} + \frac{N}{S}$	$\sigma_3 = \frac{N}{S}$		
gauche	droite					
26604	26431	0	0	0	Vide	0
26628,5	26405	5,14	-5,46	-0,16	10,400	8,8
26651	26378	9,87	-11,13	-0,63	20,860	17,5
26678,5	26357	15,64	-15,54	+0,05	31,620	26,9
26700	26326	20,16	-22,05	-0,94	42,360	36,4
26727,5	26300	25,93	-27,51	-0,79	53,140	46,7
26756	26273,5	31,92	-33,07	-0,57	63,760	56,5
26777	26248	36,33	-38,48	-1,07	74,160	67,2
26802,5	26222	41,68	-43,89	-1,10	84,880	76,9
26825,5	26196,5	46,51	-49,24	-1,36	95,480	86,4
26851	26170,5	51,87	-54,70	-1,41	106,160	95,4
26875,5	26146	57,01	-59,85	-1,42	116,640	104,2
26900	26119	62,16	-65,52	-1,68	127,240	113,5
26924	26096,5	67,20	-70,24	-1,52	137,340	122,7
26948	26071,5	72,24	-75,49	-1,62	147,980	133
26971,5	26046	77,97	-80,85	-1,44	158,680	144

Effort F sur le poteau n°1 : bas du poteau n°2



Lectures du pont $\frac{\Delta p}{p}$ en 10^{-6} mm		Calcul des contraintes en N/mm^2			Charges en Kgs	Flèche moyenne en $1/100$ mm
Influence Net M_p		$\sigma_1 = \frac{M_f}{I} + \frac{N}{S}$	$\sigma_2 = -\frac{M_f}{I} + \frac{N}{S}$	$\sigma_3 = \frac{N}{S}$		
gauche	droite					
26610	26752	0	0	0	Vide	0
26586,5	26772	-4,93	4,20	-0,36	10,400	8,8
26565	26791,5	-9,45	8,29	-0,58	20,860	17,5
26544,5	26813,5	-13,75	12,91	-0,42	31,620	26,9
26523,5	26833	-18,16	17,01	-0,57	42,360	36,4
26501	26854	-22,89	21,42	-0,73	53,140	46,7
26481	26874	-27,09	25,62	-0,73	63,760	56,5
26460,5	26894,5	-31,39	29,92	-0,73	74,160	67,2
26440	26915,5	-35,70	34,33	-0,68	84,880	76,9
26419	26934,5	-40,11	38,32	-0,89	95,480	86,4
26398,5	26956,5	-44,41	42,94	-0,73	106,160	95,4
26376,5	26974	-49,03	46,62	-1,20	116,640	104,2
26356,5	26996,5	-53,23	51,34	-0,94	127,240	113,5
26338	27015,5	-57,12	55,33	-0,89	137,340	122,7
26318	27033,5	-61,32	59,11	-1,10	147,980	133
26296,5	27053,5	-65,83	63,31	-1,26	158,680	144

Effort F sur le poteau n°1: haut du poteau n°3

Lectures du pont $\frac{D_L}{L}$ en 10^{-6} mm		Calcul des contraintes en N/mm^2			Charges en Kgs	Flèche moyenne en $\frac{1}{100}$ mm
Influence Net Me		$\sigma = \frac{M_L}{I} + \frac{N}{S}$	$\sigma' = -\frac{M_L}{I} + \frac{N}{S}$	$\sigma_2 = \frac{N}{S}$		
gauche	droite					
27574	25917,5	0	0	0	Vide	0
27598,5	25893,5	5,14	-5,04	+0,05	10,400	8,8
27620	25871	9,66	-9,76	-0,05	20,860	17,5
27643	25846,5	14,49	-14,91	-0,21	31,620	26,9
27669,5	25823,5	20,05	-19,74	+0,16	42,360	36,4
27691	25800,5	24,57	-24,57	0,00	53,140	46,7
27712,5	25778,5	29,08	-29,19	-0,05	63,760	56,5
27737	25750,5	34,23	-35,07	-0,42	74,160	67,2
27762,5	25726	39,58	-40,21	-0,31	84,880	76,9
27785	25703	44,31	-45,04	-0,36	95,480	86,4
27809	25680,5	49,35	-49,77	-0,21	106,160	95,4
27833	25658	54,39	-54,49	-0,05	116,640	104,2
27858,5	25634	59,74	-59,53	+0,10	127,240	113,5
27879	25612,5	64,05	-64,05	0,00	137,340	122,7
27902,5	25589	68,98	-68,98	0,00	147,980	133
					158,680	144

Effort F sur le poteau n°1: bas du poteau n° 3



Lectures du pont $\frac{Q_L}{L}$ en 10^{-6} mm		Calcul des contraintes en N/mm^2			Charges en Kgs	Fleche moyenne en $\frac{1}{100}$ mm
Influence Net M_f		$\sigma = \frac{M_f}{I} + \frac{N}{S}$	$\sigma' = -\frac{M_f}{I} + \frac{N}{S}$	$\sigma_2 = \frac{N}{S}$		
gauche	droite					
25534,5	26963,5	0	0	0	Vide	0
25514,5	26982,5	-4,20	3,99	-0,10	10,400	8,8
25496,5	27001,5	-7,98	7,98	0,00	20,860	17,5
25478,5	27019,5	-11,76	11,76	0,00	31,620	26,9
25460	27040,5	-15,64	16,17	+0,26	42,360	36,4
25441,5	27058,5	-19,53	19,95	+0,21	53,140	46,7
25422,5	27075,5	-23,52	23,52	0,00	63,760	56,5
25404	27095,5	-27,40	27,72	+0,16	74,160	67,2
25384,5	27113,5	-31,50	31,50	0,00	84,880	76,9
25366,5	27135,5	-35,28	36,12	+0,42	95,480	86,4
25347	27154	-39,37	40,00	+0,31	106,160	95,4
25330	27174	-42,94	44,20	+0,63	116,640	104,2
25311	27191	-46,93	47,77	+0,42	127,240	113,5
25295	27211	-50,29	51,97	+0,84	137,340	122,7
25276	27231	-54,28	56,17	+0,94	147,980	133
25257,5	27251	-58,70	60,37	+0,83	158,680	144

CHAPITRE V : COMPARAISON DES RESULTATS

1. Effort P sur la ferme

1.1. Valeur de la flèche, des réactions et des moments d'encastements

Valeur mesurée : P=1586,80 N

f= 1,92 mm

Valeur calculée: P=1586,80 N

f= 1,1805 mm

Les valeurs des flèches calculées et mesurées sont nettement différentes et ne sont donc pas dues aux erreurs de mesure. Nous en déduisons donc que, pour la structure étudiée, nos hypothèses de départ sont inexactes. Nous sommes donc conduits à faire de nouvelles hypothèses, à savoir que les rotations φ_0 et φ_1 aux encastements ne sont pas nulles. Effectuons une nouvelle étude nous permettant de calculer φ_0 et φ_1 à l'aide des formules de bresse, et calculons la flèche. Une vérification de celle-ci sera à faire en un point quelconque du poteau.

En un point situé à $\delta = 31$ mm de l'encastement, la valeur de la contrainte due au moment de flexion est : $\sigma_1 = -86,10$ N/mm². D'où la valeur du moment de flexion : $M_f = \sigma_1 \cdot \frac{I}{v} = -107,818$ N.mm

En un point situé à $\lambda = 467$ mm de l'encastement, la valeur de la contrainte due au moment de flexion est : $\sigma'_1 = 103,32$ N/mm². D'où la valeur du moment de flexion : $M'_f = \sigma'_1 \cdot \frac{I}{v} = 129.382$ N.mm.

Or $M_f = \delta \cdot X_A - M_A$

$M'_f = \lambda \cdot X_A - M_A$

De ces deux équations nous tirons :

$X_A = \frac{M'_f - M_f}{\lambda - \delta}$

$M_A = \delta \cdot X_A - M_f = \lambda \cdot X_A - M'_f$

Nous en tirons donc : $X_A = 544$ N et $M_A = 124.700$ N.mm

Les valeurs calculées nous donnent :

$X_A = 529$ N et $M_A = 128.900$ N.mm

Ces valeurs sont sensiblement égales aux valeurs trouvées par le calcul.

Calculons de même X_B et M_B ; X_C et M_C

$M_{fD} = -114.200$ N.mm

$M'_{fL} = 143.200$ N.mm

$\lambda - \delta = 429$ mm

D'où : $X_B = 598$ N et $M_B = 138.000$ N.mm

$M_{fC} = -99800$ N.mm

$M'_{fC} = 121.000$ N.mm

$\lambda - \delta = 416$ mm

D'où : $X_C = 532$ N et $M_C = 123.500$ N.mm

$$X_A + X_B + X_C = 1674 \text{ N} \quad \text{et} \quad P = 1586,80 \text{ N}$$

Cette différence entre ces deux valeurs (qui devraient être identiques) est certainement due à une erreur dans l'une des mesures.

$$\frac{M_A + M_B + M_C}{3} = 128.700 \text{ N.mm} \quad \text{et} \quad M = 128.900 \text{ N.mm}$$

Nous voyons donc qu'en tenant compte des erreurs dues aux mesures, les valeurs trouvées correspondent aux valeurs calculées.

La première équation de Bresse nous permet d'écrire :

$$u_1 = u_0 - (y_1 - y_0) \cdot \varphi_0 + \int_0^f \frac{M}{E \cdot I} (y_1 - y) \cdot dy$$

Or $u_1 = 1,92 \text{ mm}$ $u_0 = 0 \text{ mm}$ $y_1 = 487 \text{ mm}$ $y_0 = 0 \text{ mm}$ $M = X_A \cdot y - M_A$

Nous tirons de cette équation : $\varphi_0 = 0,0019$

La troisième équation de Bresse nous permet d'écrire :

$$\varphi_1 = \varphi_0 - \int_0^f \frac{M}{E \cdot I} \cdot dy$$

Nous tirons de cette équation : $\varphi_1 = 0,00104$

Vérifions la flèche à une distance $e = 265 \text{ mm}$

En appliquant la première équation de Bresse

$$u_1 = -e \cdot \varphi_0 + \frac{1}{E \cdot I} \int_0^f (-M_A + X_A \cdot e)(e - y) \cdot dy$$

D'où : $u_1 = 1,141 \text{ mm}$

La valeur mesurée de la flèche à une hauteur $e = 265 \text{ mm}$ à pour mesure $1,12 \text{ mm}$, ce qui nous indique qu'effectivement, dans la structure étudiée nous avons une rotation φ_0 et une rotation φ_1 . Etant pris par le temps, nous n'avons pu effectuer d'autres mesures de flèches, ceci afin de vérifier les rotations, mesures qui seraient nécessaires pour être assuré de la valeur des rotations. D'autre part, afin de vérifier toutes les valeurs, nous devrions calculer les valeurs des rotations sur les autres poteaux, et vérifier qu'elles sont identiques à celle trouvée sur le poteau n°1.

1.2. Contraintes dues au moment de flexion

1.2.1. Haut du poteau n°1

Valeur calculée : $95,93 \text{ N/mm}^2$

Valeur mesurée : $103,52 \text{ N/mm}^2$

1.2.2. Bas du poteau n°1

Valeur calculée : $-91,21 \text{ N/mm}^2$

Valeur mesurée : $-88,10 \text{ N/mm}^2$

46

1.2.3. Haut du poteau n°2

Valeur calculée : 94,15 N/mm²

Valeur mesurée : 112,14 N/mm²

1.2.4. Bas du poteau n°2

Valeur calculée : -84,96 N/mm²

Valeur mesurée : -90,40 N/mm²

1.2.5. Haut du poteau n°3

Valeur calculée : 96,06 N/mm²

Valeur mesurée : 100,48 N/mm²

1.2.6. Bas du poteau n°3

Valeur calculée : -86,83 N/mm²

Valeur mesurée : -83,00 N/mm²

Les valeurs calculées et mesurées sont sensiblement identiques
La faible différence qui existe entre ces résultats est due aux
erreurs de mesure sur la valeur des contraintes.

1.3. Contraintes dues aux efforts normaux

Les valeurs calculées sont les contraintes dues aux actions du sol
sur les poteaux. C'est pourquoi Y_A calculée est dirigée dans le sens positif
alors que Y_A mesurée est trouvée avec une valeur négative.

1.3.1. Valeurs mesurées

Contrainte en A : -1,83 N/mm²

Contrainte en B : +0,89 N/mm²

Contrainte en C : +4,14 N/mm²

1.3.2. Valeurs calculées d'après les hypothèses de départ (rotations nulles)

Contrainte en A : -1,82 N/mm²

Contrainte en B : 0 N/mm²

Contrainte en C : +1,85 N/mm²

1.3.3. Valeurs calculées d'après les mesures des moments d'encastements

Contrainte en A : -2,10 N/mm²

Contrainte en B : 0 N/mm²

Contrainte en C : +2,25 N/mm²

Ces valeurs des contraintes étant faibles (de l'ordre de l'erreur de mesure), elles ne permettent pas de déterminer avec précision le point de contrainte nul. Nous pouvons simplement dire qu'il existe et qu'il est situé au voisinage du poteau central. Il semblerait même que sa position se trouve dans la première travée.

2. Effort F sur le poteau n°1

2.1. Valeur de la flèche, des réactions et des moments d'encastremets

Valeur mesurée : P=1586,80 N f = 1,44 mm

Valeur calculée : P=1586,80 N f = 0,8772 mm

Un calcul analogue au précédent nous donne :

$$\psi_0 = 0,00185$$

$$\psi_1 = 0,00164$$

Contrôlons les valeurs de X_A ET M_A , X_B et M_B , X_C et M_C

$$M_{fA} = \mathcal{J} \cdot X_A - M_A \quad M'_{fA} = \lambda \cdot X_A - M_A - F (y-h')$$

$$M_{fB} = \mathcal{J} \cdot X_B - M_B \quad M'_{fB} = \lambda \cdot X_B - M_B$$

$$M_{fC} = \mathcal{J} \cdot X_C - M_C \quad M'_{fC} = \lambda \cdot X_C - M_C$$

D'où les valeurs des réactions et des moments :

$$X_A = 827 \text{ N} \quad X_B = 428 \text{ N} \quad X_C = 373 \text{ N}$$

$$M_A = 147600 \text{ N.mm} \quad M_B = 99620 \text{ N.mm} \quad M_C = 89350 \text{ N.mm}$$



Les valeurs calculées sont :

$$X_A = 800 \text{ N} \quad X_B = 393 \text{ N} \quad X_C = 393 \text{ N}$$

$$M_A = 152368 \text{ N.mm} \quad M_B = 95763 \text{ N.mm} \quad M_C = 89305 \text{ N.mm}$$

$$X_A + X_B + X_C = 1620 \text{ N} \quad \text{et} \quad F = 1586,80 \text{ N}$$

Nous remarquons que les valeurs calculées et les valeurs mesurées sont , aux erreurs de mesure près , sensiblement identiques

2.2. Contraintes dues au moment de flexion

2.2.1. Haut du poteau n°1

Valeur calculée : +15,06 N/mm²

Valeur mesurée : -2,773 N/mm²

Cette différence entre ces deux valeurs peut s'expliquer du fait que nous avons fait la mesure dans la zone où le moment de flexion était nul. D'autre part la détermination de la position moyenne de la jauge par rapport à l'encastrement étant mal définie, une faible erreur sur la mesure de la hauteur de la jauge par rapport à l'encastrement, entraîne une variation importante de la mesure de la contrainte.

2.2.2. Bas du poteau n°1

Valeur calculée : -97,44 N/mm²

Valeur mesurée : -103,53 N/mm²

2.2.3. Haut du poteau n°2

Valeur calculée : 79,41 N/mm²

Valeur mesurée : 70,006 N/mm²

2.2.4. Bas du poteau n°2

Valeur calculée : -64,57 N/mm²

Valeur mesurée : -63,176 N/mm²

2.2.5. Haut du poteau n°3

Valeur calculée : 68,98 N/mm²

Valeur mesurée : 66,112 N/mm²

2.2.6. Bas du poteau n°3

Valeur calculée : -59,53 N/mm²

Valeur mesurée : -60,211 N/mm²

A part pour le haut du poteau n°1 , les valeurs calculées et les valeurs trouvées sont identiques (aux erreurs d'expérience près)

2.3. Contraintes dues aux efforts normaux

2.3.1. Valeurs mesurées

Contrainte en A : 60,35 N/mm²

Contrainte en B : -1,35 N/mm²

Contrainte en C : +0,41 N/mm²

2.3.2. Valeurs calculées d'après les hypothèses de départ (rotations nulles)

Contrainte en A : -0,558 N/mm²

Contrainte en B : 0 N/mm²

Contrainte en C : +0,526 N/mm²

Les valeurs indiquées ici n'ont plus aucune signification car nous sommes à l'intérieur même de la zone d'erreur sur les valeurs mesurées.



CHAPITRE VI : CONCLUSION

L'examen de la maquette nous a montré la difficulté de réalisation des poteaux et la quasi impossibilité d'avoir ces derniers identiques du fait de la faible épaisseur des tôles constituant ces poteaux.

L'examen des résultats nous a montré que dans le domaine des charges appliquées, nous nous trouvons dans la zone de déformations élastiques; les flèches étant directement proportionnelles aux charges.

Par contre pour la structure étudiée, nous avons constaté des rotations aux encastremets . Ces rotations ne sont pas négligeables car sans en tenir compte, les valeurs des flèches calculées et mesurées sont différentes. Par contre en tenant compte de ces rotations, les hypothèses de la résistance des matériaux s'appliquent parfaitement dans le cas présent.

Quant à la détermination des efforts normaux, les mesures ne nous permettent pas de conclure. Les contraintes dues à ces efforts sont très faibles et de l'ordre de l'erreur de mesure. Nous pouvons néanmoins déterminer le sens de ces efforts normaux et nous constatons qu'il existe un point où l'effort normal est nul. Ce point est situé près du poteau central, mais la détermination exacte de sa position est impossible sur la structure étudiée, car même pour des charges de 160 Kgs , la valeur des contraintes est trop faible pour ne pas tenir compte des erreurs dues aux mesures.

Si une nouvelle étude devait être faite , il faudrait veiller d'une part à la réalisation de la maquette, et d'autre part à utiliser des charges plus importantes afin de pouvoir déterminer la valeur de ces efforts normaux. De même, nous pourrions rechercher la position de la ligne neutre sur chacun des poteaux en mettant des jauges sur l'âme de ces poteaux.

La conclusion de ce travail nous montre que dans la détermination des éléments de l'ossature d'un bâtiment industriel, nous pouvons négliger l'influence des efforts normaux.

Nota

Dans la vérification de ces éléments, l'application des théorèmes de l'énergie, appliqués à la structure, nous permet de calculer les efforts normaux, et d'en tenir compte dans les calculs de vérifications.

CHAPITRE VII : BIBLIOGRAPHIE

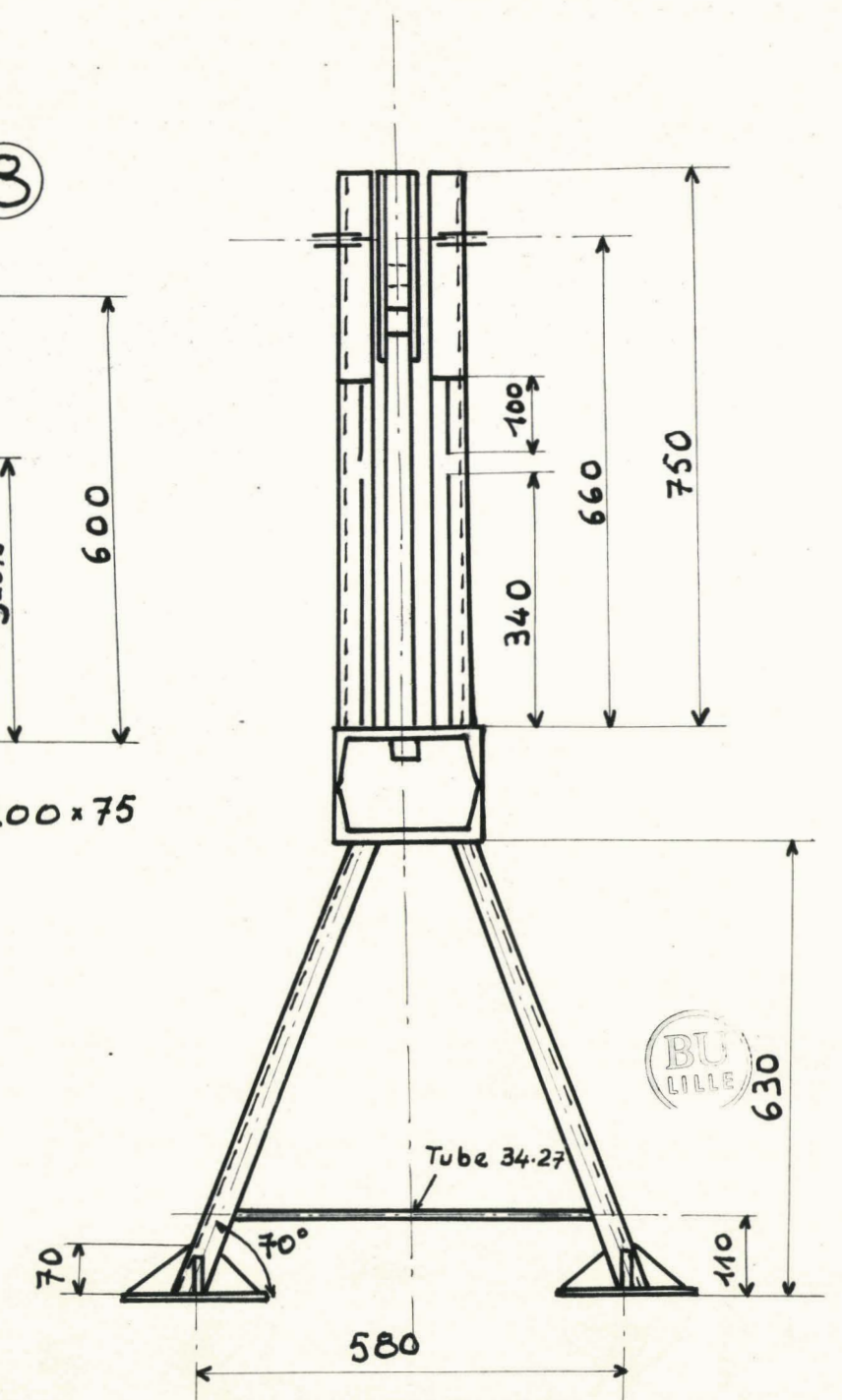
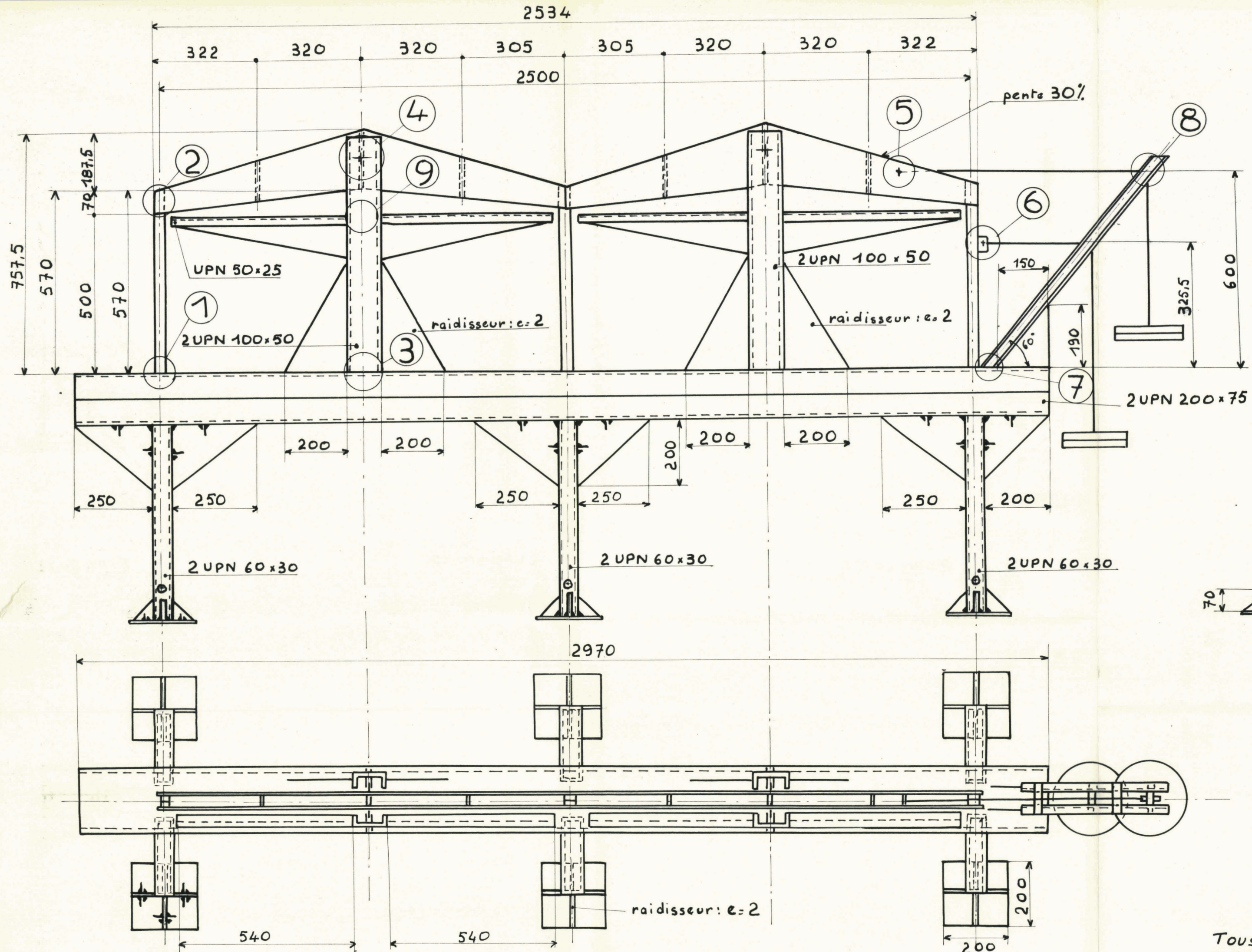
Cours de charpente métallique de Monsieur KERGUIGNAS

Cours de résistance de matériaux de Monsieur OUZIAUX

Cours de mécanique des solides réels de Monsieur BOSSUT

Eléments de construction à l'usage de l'ingénieur:Tome 1
par F.BERNARD et A.L.TOURANCHEAU
(Dunod)

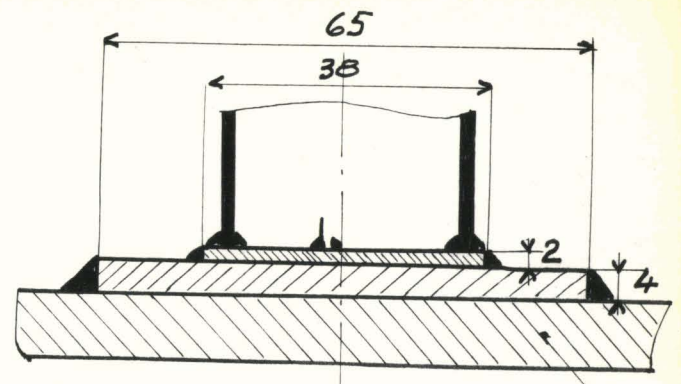
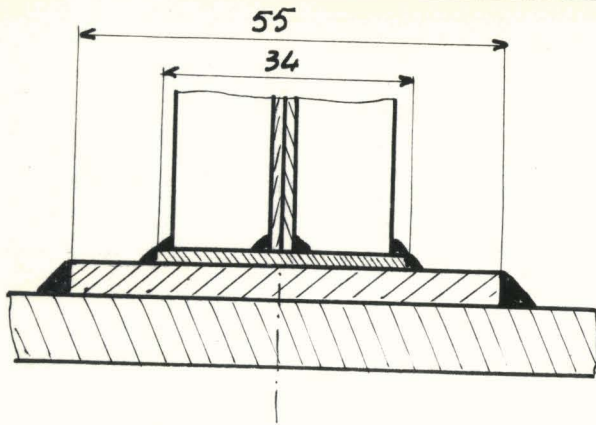
Résistance des matériaux
par R.BASQUIN et G.LEMASSON
(Delagrave)



Vue d'ensemble: ech: 1/10

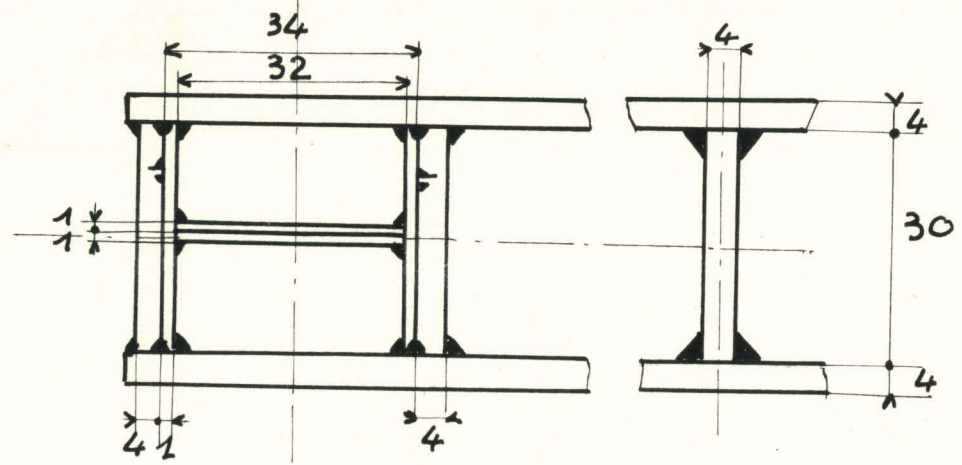
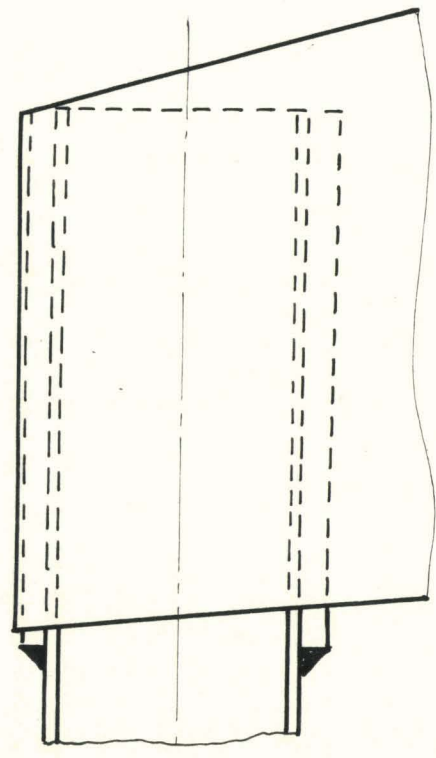
Tous les détails: ech: 1
Cordons de soudure: a=3

Encastrements des poteaux



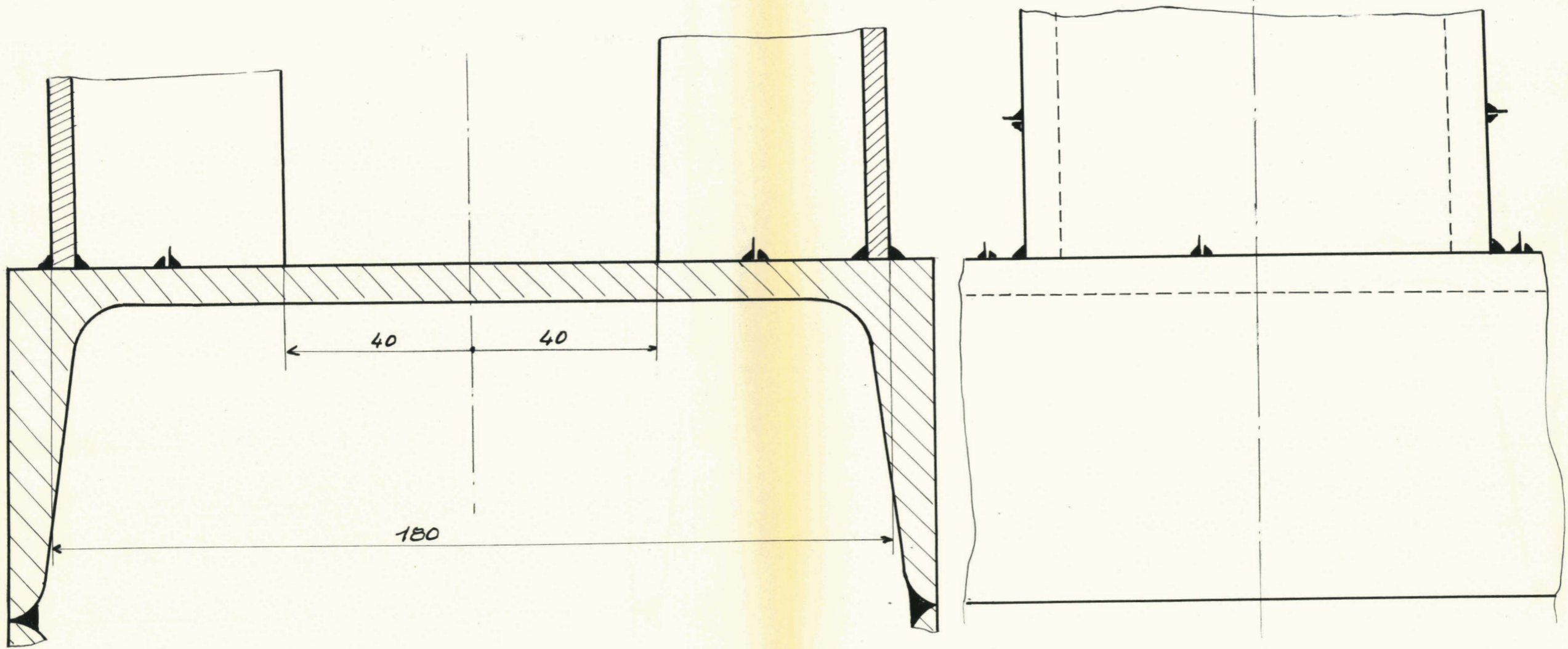
UPN 200x75

Détail 1

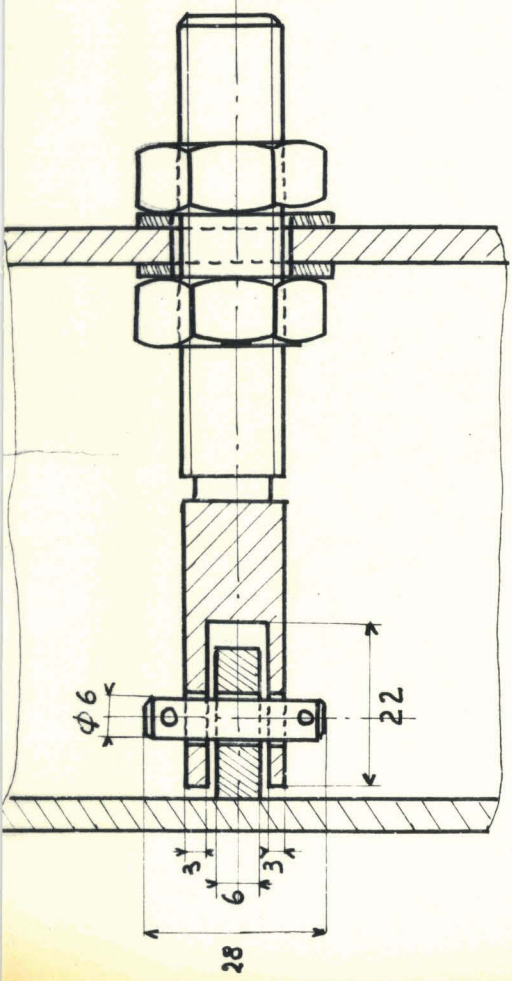
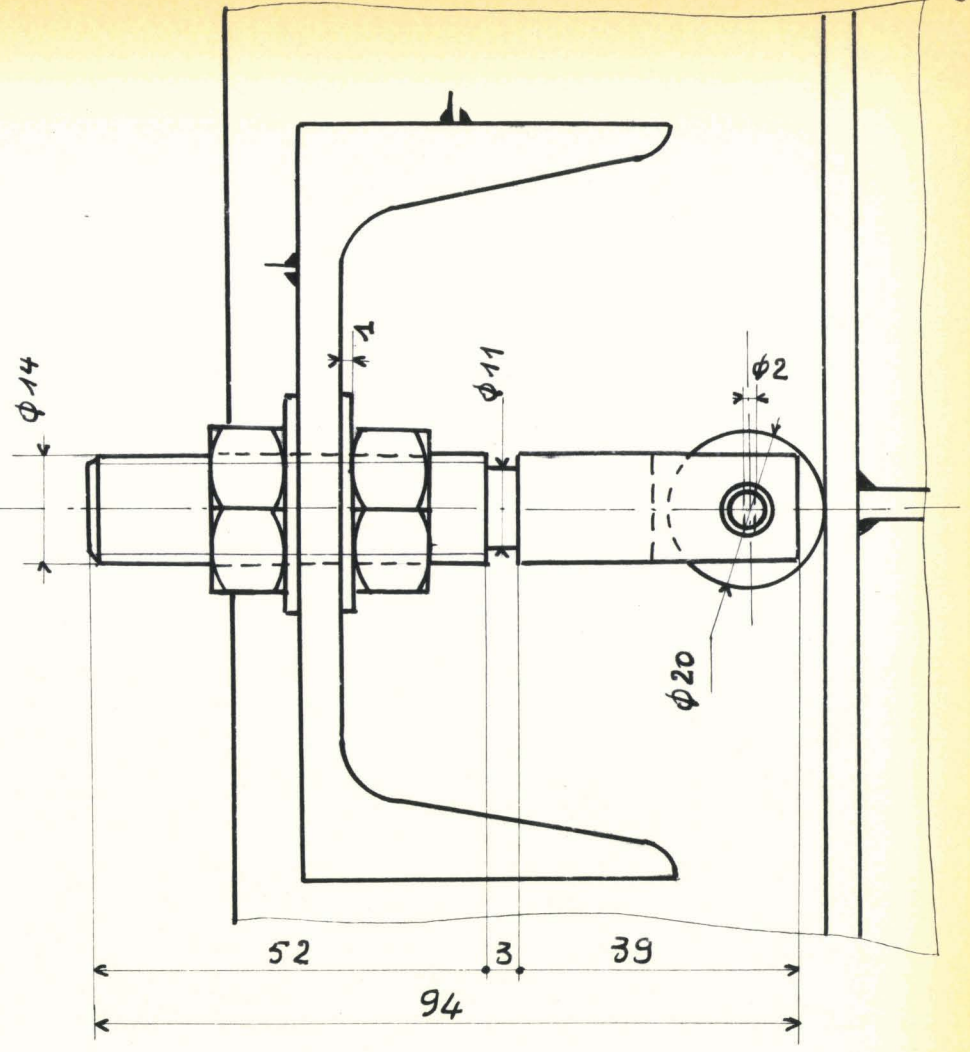
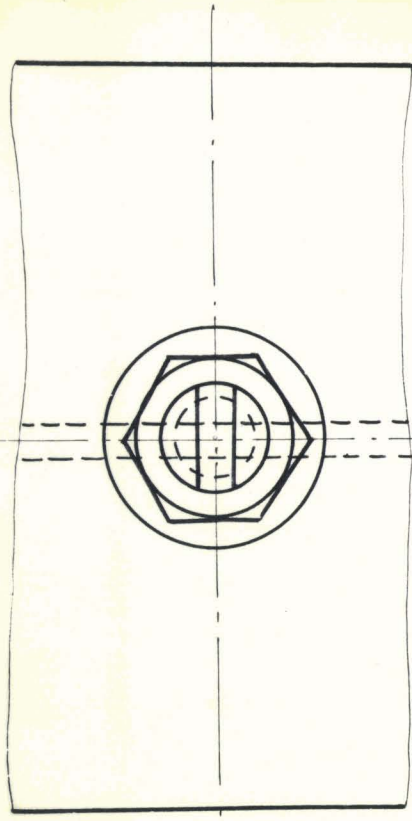


Détail 2

Liaison des poteaux guides avec le socle



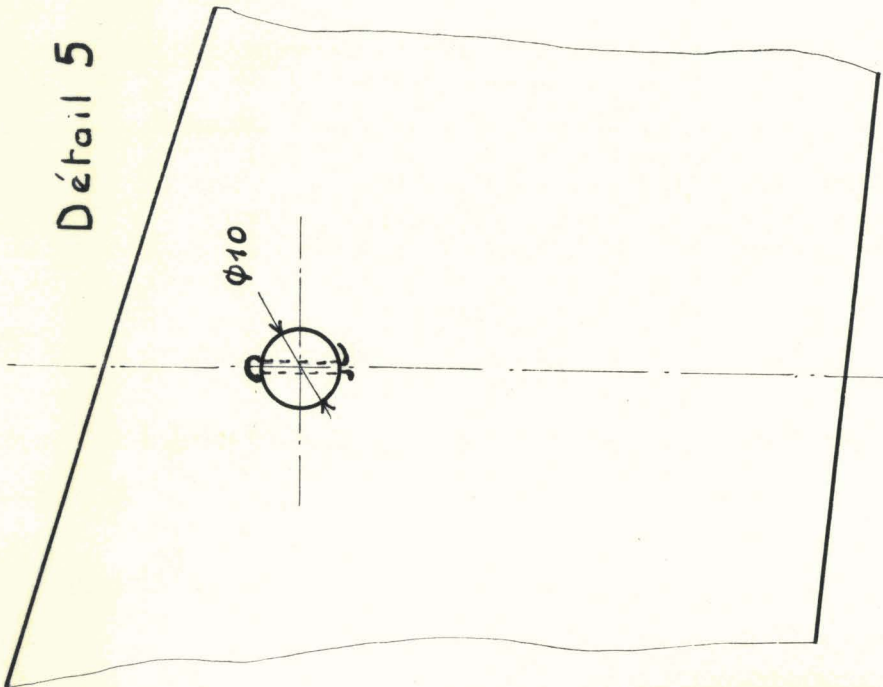
Détail 3



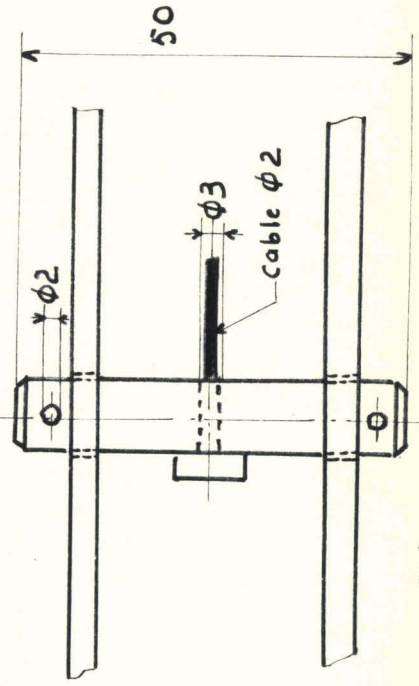
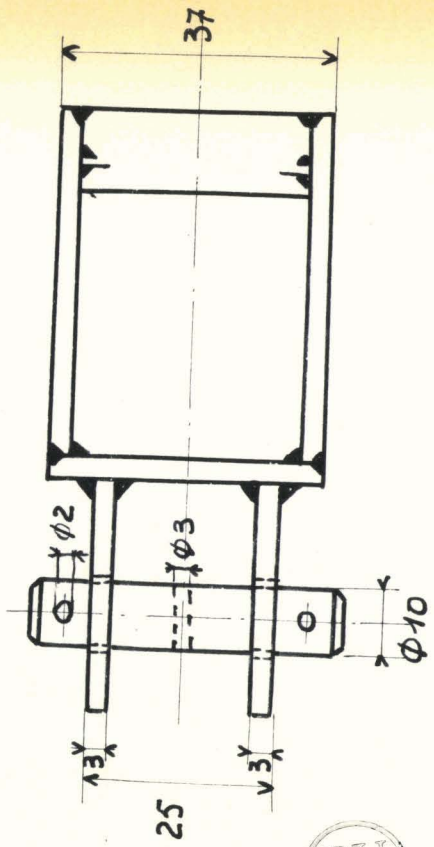
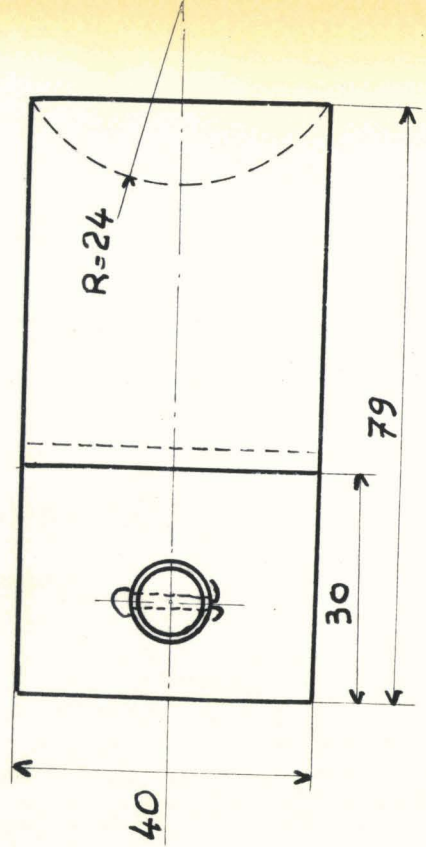
Détail 4

Guidage de la ferme

Détail 5

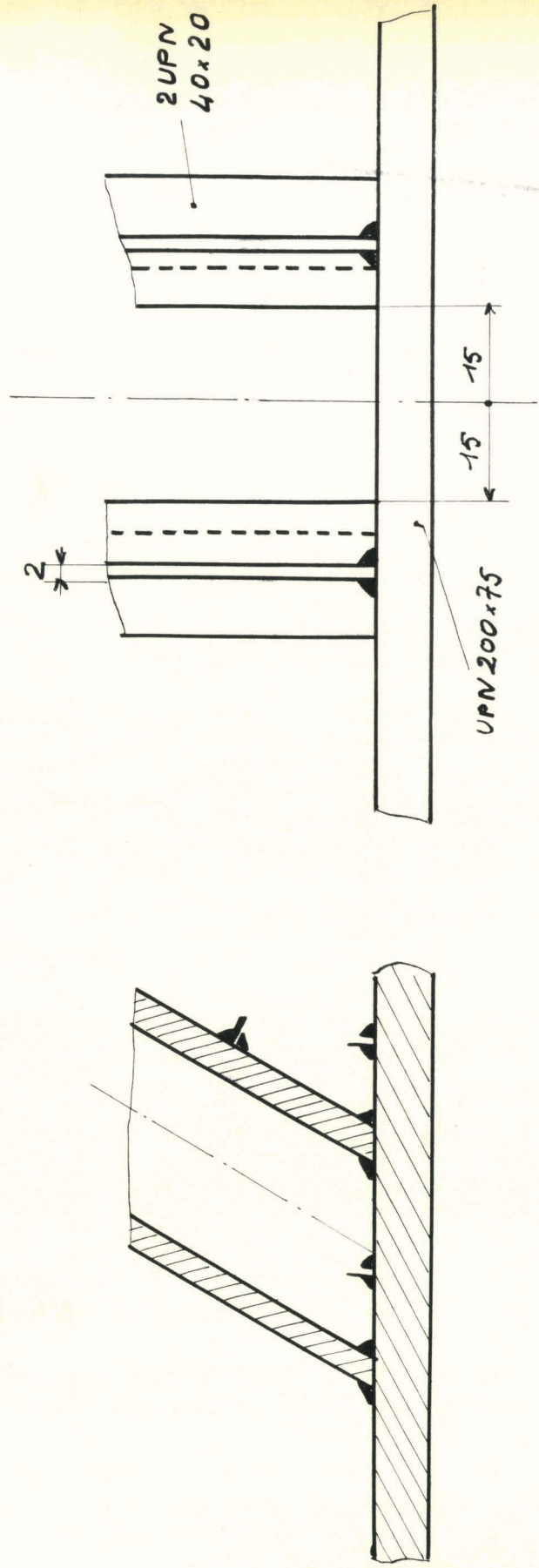


Détail 6



Dispositifs permettant l'accrochage des charges

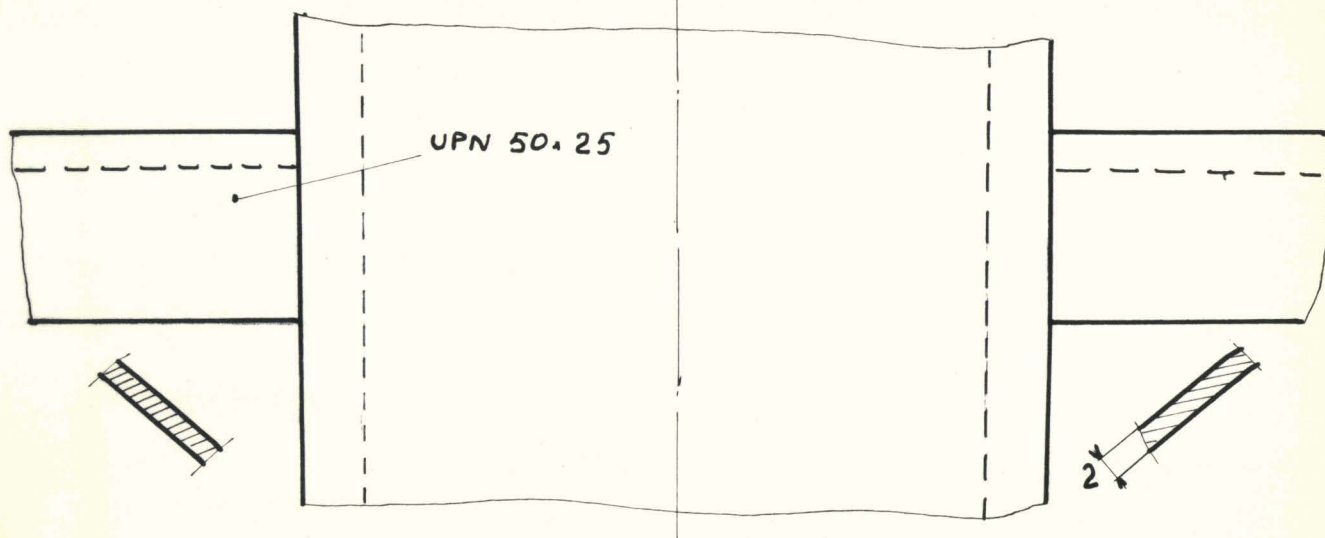
Encastrement du poteau porte câbles



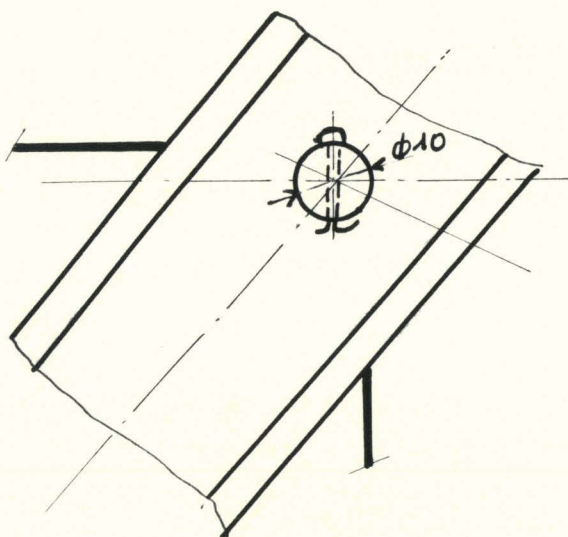
Détail 7

Fixation des supports de comparateurs : 9

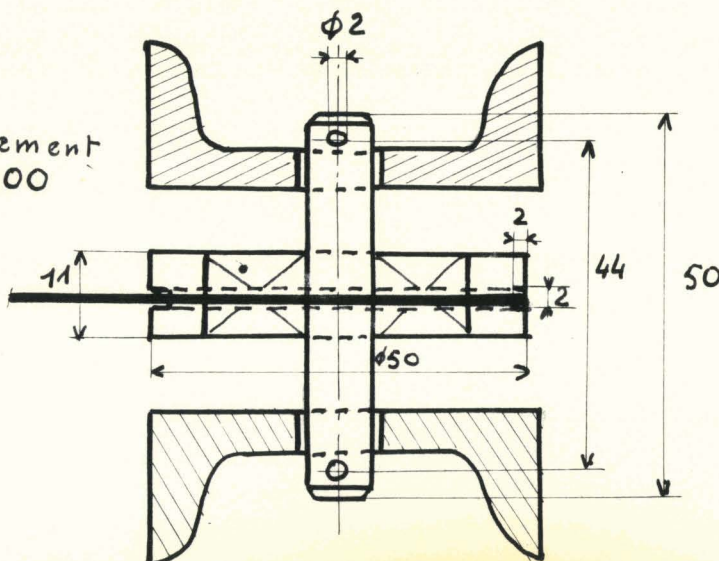
Système de renvoi du câble : 8



Détail 9



Roulement
n° 6200



Détail 8

Second sujet :

Les lignes d'influence.

Application aux poutres continues droites à moment
quadratique constant