

50376
1966
62

- 4 -

50376
1966
62

UNIVERSITÉ DE LILLE

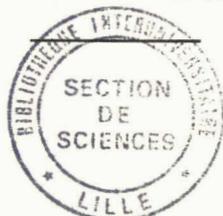
FACULTÉ DES SCIENCES

MÉMOIRE

présenté en vue de l'obtention d'un

Diplôme d'Etudes Supérieures de Mathématiques

(Option Construction et Mécanique)



Etude de la Répartition des Pressions
sur un Appareil d'appui fixe

Soutenu à Lille, le 20 JUIN 1966

par Jacky PAILLEY

JURY *Président : M^r Gontier*

*Examineurs : M^r Decuyper
M^r Bossut*



0300110242

- S O M M A I R E -

- Etude de la répartition des pressions sur un appareil d'appui fixe .

-:-:-

	<u>Pages</u>
<u>-Introduction :</u>	7
 <u>Chapitre premier : Etude théorique</u>	
I - Hypothèses de départ.	8
II - Identification de la courbe de répartition des pressions .	9
III - Détermination des constantes de l'équation de la courbe de répartition	10
IV - Vérification de la section 1.2	10
V - Application numérique	13
VI - Correlations avec les formules empiriques	13
 <u>Chapitre 2 : Essais expérimentaux</u>	
<u>Principe de mesures.</u>	15
 <u>1^{ère} partie : Recherche des directions principales</u>	
I - Caractéristiques de la pièce et montage	16
II - Recherche des directions principales par les jauges de contrainte.	18
III - Recherche des directions principales par la photo - élasticité.	31
IV - Conclusion sur la répartition des directions principales au contact articulation-balancier.	40
V - Remarques	40

- NOTATIONS -

- p : pression
- p_d : pression diamétrale
- P : charge appliquée
- L : longueur de l'articulation
- l : largeur des balanciers
- c' : hauteur du balancier inférieur partie centrale
- c : hauteur du balancier supérieur partie centrale
- r : rayon de l'articulation
- R_c : contrainte de compression
- Δ : dureté
- ϵ_θ : allongement relatif dans une direction quelconque θ
- ϵ_1 et ϵ_2 : allongement dans les directions principales
- γ_θ : déviation angulaire correspondante à ϵ_θ
- σ_θ : contrainte dans la direction
- σ_1 et σ_2 : contrainte dans les directions principales
- τ_θ : glissement dans la direction θ
- ν : coefficient de Poisson
- E : module d'élasticité longitudinale
- Section 1.2 : section critique du balancier
- β : angle de repérage du système Polariseur Analyser
- $\Delta\beta$: erreur absolue sur l'angle de repérage .

- BIBLIOGRAPHIE -

- Techniques de l'Ingénieur
- Cours de la Faculté, de Mécanique des solides réels
- Cours de résistance des matériaux de l'E.N.S.A.M. de Lille
- Photostress: Principles and application by Dr Felix Landman
Tatnall measuring systems company.
- Sexta technique et emploi des jauges à fils résistants.
par R. Brachet.

-:-:-:-:-

- INTRODUCTION -

- Ce mémoire a pour but d'étudier la répartition des pressions sur un appareil d'appui fixe. (Appareil constitué par une Articulation).

Pour se faire, j'ai admis une courbe théorique de Répartition des pressions, qui m'a permis de déterminer les caractéristiques dimensionnelles de la maquette.

Par des essais de compression, sur cette maquette, j'ai déterminé la répartition réelle et les modifications éventuelles à apporter à cette répartition.

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 KERQUIGNAS qui me proposa le sujet et prit la directive de ce mémoire.

Mes remerciements à toutes les personnes du Laboratoire de Mécanique et au personnel des Ateliers qui ont participé à l'élaboration de la maquette.

CHAPITRE 1
=====

ETUDE THEORIQUE

1- HYPOTHESES DE DEPART :

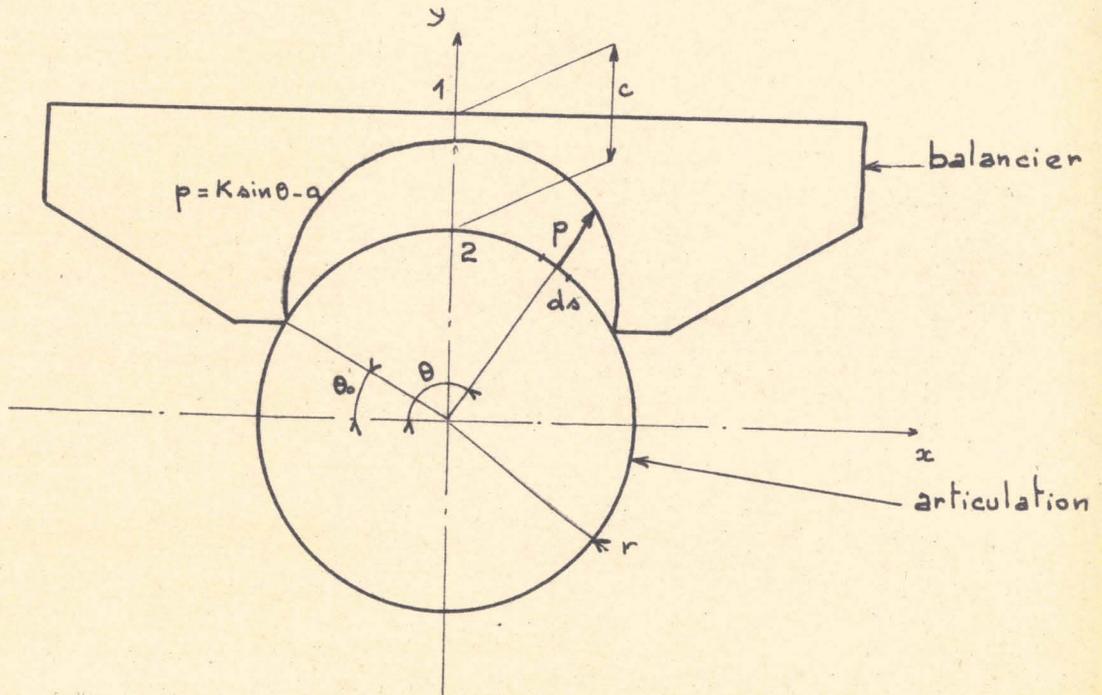
1-1 Choix et justification de l'équation de la courbe de répartition :

1.11 Equation de la courbe théorique

$$p = K \sin \theta - a$$

(k et a des constantes)

avec $p = 0$ pour $\theta = \theta_0 \Rightarrow (a = K \sin \theta_0)$



1.12 Justification :

La pièce étant symétrique par rapport à Oy , j'ai supposé que la pression maximum agirait sur cet axe.

De plus, la pression prise nulle aux points A et B, l'équation de la courbe qui satisfait ces conditions est celle ci-dessus.

1.2 Les hauteurs c et c' des balanciers supérieurs et inférieurs, sont choisies égales.

1.3 Le frottement au contact donne des actions élémentaires tangentielles à l'articulation que j'ai négligées.

11.- IDENTIFICATION DE LA COURBE :

2.1 Tableau de Variations :

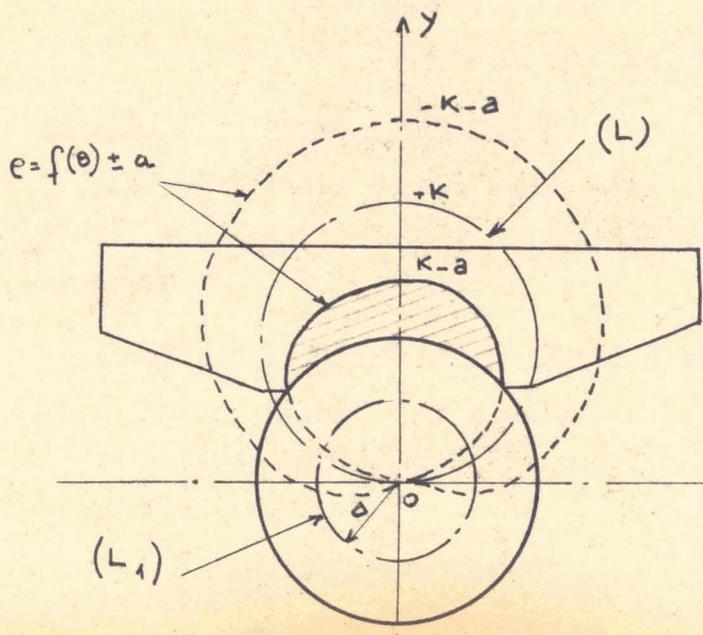
θ	0	θ_0	$\frac{\pi}{2}$	$\pi - \theta_0$	π	$\frac{3\pi}{2}$	2π					
P'	$K +$	hatched	$+$	0	$-$	hatched	$-$	$-K$	$-$	0	$+$	K
P	$-a$	hatched	\nearrow	$K-a$	\searrow	hatched	\searrow	$-a$	\searrow	$-K-a$	\searrow	$-a$

REMARQUE: d'après la définition d'une courbe conchoïde:

Si une courbe (L) d'équation $\rho = f(\theta)$ et un cercle (L_1) centré en O $\rho_1 = \pm b$, la courbe $\rho = f(\theta) \pm b$ est appelée courbe conchoïde de (L)

Dans le cas précédent (L) est un cercle centré sur Oy ϕK , L_1 cercle centré en O $r = a$

La courbe conchoïde : La courbe des pressions qui est un arc de limaçon de Pascal. Comme a toujours $< K$ ($a = K \sin \theta_0$) la courbe a la forme suivante :



Seule la partie hachurée se rapporte au cas étudié

III - DETERMINATION DES CONSTANTES DE L'EQUATION DE LA COURBE DES PRESSIONS :

3.1

$$a = K \sin \theta_0$$

3.2 Détermination de K :

$$2 \int_0^{\pi/2} p \, ds \sin \theta = P/L$$

$$2 \int_0^{\pi/2} (K \sin \theta - a) r \sin \theta \, d\theta = P/L$$

$$2 \left[\frac{Kr}{2} (\theta - \sin^2 \theta) \Big|_{\theta_0}^{\pi/2} + ar (\cos \theta) \Big|_{\theta_0}^{\pi/2} \right] = P/L$$

$$Kr \left(\frac{\pi}{2} - \theta_0 + \frac{\sin 2\theta_0}{2} \right) - ar \cos \theta_0 = P/L$$

$$Kr \left(\frac{\pi}{2} - \theta_0 - \frac{\sin 2\theta_0}{2} \right) = P/L$$

$$K = \frac{P}{\left(\frac{\pi}{2} - \theta_0 - \frac{\sin 2\theta_0}{2} \right) Lr}$$

3.3 Conditions à remplir :

$$P_{mx} < P_{admissible}$$

$$\frac{P(1 - \sin \theta_0)}{Lr \left(\frac{\pi}{2} - \theta_0 - \frac{\sin 2\theta_0}{2} \right)} < P_{ad.}$$

IV - VERIFICATION DE LA SECTION 1.2 :

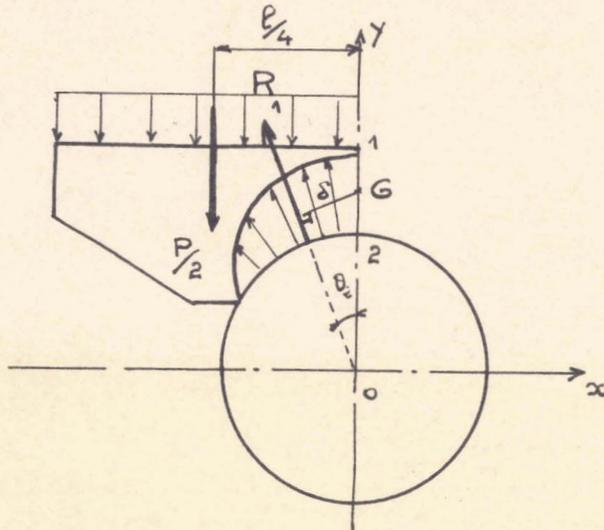
Le système des forces appliquées étant symétrique à Oy, je n'étudie que l'isolement de la moitié du balancier supérieur.

4.1 Forces appliquées au balancier supérieur :

- charge répartie P donnée par la presse.
- actions de contact: Articulation - balancier, ayant pour résultante R_1 .

4.2 Equilibre du balancier supérieur donné par les équations de la statique :

- 2 équations de projections sur Oy, Ox.
- 1 équation de Moment en G.
(centre de gravité du balancier).



$$M_f \text{ en G} = \frac{Pa}{8} - R_1 \delta$$

Calcul de R_1 et δ

Projection sur les axes

$$\begin{cases} \int_{\theta_0}^{\pi/2} p d\theta \sin \theta = \frac{R_1}{L} \cos \theta_2 \\ \int_{\theta_0}^{\pi/2} p d\theta \cos \theta = \frac{R_1}{L} \sin \theta_2 \end{cases}$$

$$\int_{\theta_0}^{\pi/2} p d\theta \sin \theta = \frac{R_1}{L} \cos \theta_2$$

d'après le calcul de K

$$(1) \quad \frac{kr}{2} \left(\frac{\pi}{2} - \theta_0 - \frac{\sin 2\theta_0}{2} \right) = \frac{R_1}{L} \cos \theta_2$$

$$\int_{\theta_0}^{\pi/2} p d\theta \cos \theta = \frac{R_1}{L} \sin \theta_2$$

$$\int_{\theta_0}^{\pi/2} (k \sin \theta - a) r \cos \theta d\theta = \frac{R_1}{L} \sin \theta_2$$

$$\int_{\theta_0}^{\pi/2} \left(\frac{k \sin 2\theta}{2} - a \cos \theta \right) r d\theta = \frac{R_1}{L} \sin \theta_2$$

$$\frac{kr}{4} (1 + \cos 2\theta_0) - ar(1 - \sin \theta_0) = \frac{R_1}{L} \sin \theta_2$$

$$(2) \quad 2kr(1 - \sin \theta_0)^2 = 4 \frac{R_1}{L} \sin \theta_2$$

$$(1) \text{ et } (2) \quad \tan \theta_2 = \frac{(1 - \sin \theta_0)^2}{\frac{\pi}{2} - \theta_0 - \frac{\sin 2\theta_0}{2}}$$

Elevons 1 et 2 au carré et faisons la somme :

$$\frac{K^2 r^2 L^2}{4} \left[\left(\frac{\pi}{2} - \theta_0 - \frac{\sin 2\theta_0}{2} \right)^2 + (1 - \sin \theta_0)^4 \right] = R_1^2$$

Portons le calcul de K :

$$\frac{P^2}{4} \left[1 + \frac{(1 - \sin \theta_0)^4}{\left(\frac{\pi}{2} - \theta_0 - \frac{\sin 2\theta_0}{2} \right)^2} \right] = R_1^2$$

$$R_1 = \frac{P}{2} \sqrt{1 + \frac{(1 - \sin \theta_0)^4}{\left(\frac{\pi}{2} - \theta_0 - \frac{\sin 2\theta_0}{2} \right)^2}}$$

Dans le triangle O G H :

$$\sin \theta_2 = \frac{S}{r + \frac{a}{2}}$$

$$L_g \theta_2 \cos \theta_2 = \sin \theta_2$$

$$\text{Posons } A = (1 - \sin \theta_0)^2 \quad \frac{\pi}{2} - \theta_0 - \frac{\sin 2\theta_0}{2} = B$$

$$\sin \theta_2 = \frac{A}{B} \frac{K L r}{2 R_1} B = \frac{2}{2} \frac{A}{B} \frac{P L r}{B L r P} \frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2}} = \frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2}}$$

$$S = \frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2}} \left(r + \frac{c}{2} \right)$$

$$\mathcal{M}_f = \frac{P a}{8} - \frac{P}{2} \frac{\sqrt{A^2 + B^2}}{B} \frac{A \left(r + \frac{c}{2} \right)}{\sqrt{A^2 + B^2}}$$

$$\mathcal{M}_f = \frac{P a}{8} - \frac{P}{2} \frac{A}{B} \left(r + \frac{c}{2} \right)$$

$$\sigma = \frac{M F}{I/V} \quad I/V = \frac{L c^2}{6}$$

$$\sigma = \frac{3}{4} \frac{P a}{L c^2} - \frac{3 P}{L c^2} \frac{A \left(r + \frac{c}{2} \right)}{B}$$

Pour c donné, on vérifie si la contrainte est acceptable dans la section

1.2.

.../...

V APPLICATION NUMERIQUE :

Pour des conditions de bonne articulation $P_d < 3 \text{ daN/mm}^2$

AN : $p_d = \frac{25000}{220 \times 86,6} = 1,31 \text{ daN/mm}^2$ donc $< 3 \text{ daN/mm}^2$

Pour des considérations de montage sur la presse, j'ai pris :

$\left\{ \begin{array}{l} L = 220 \text{ mm} \\ l = 220 \text{ mm} \end{array} \right.$

Je m'impose $c = 30 \text{ mm}$

Calcul de A : $A = (1 - \sin \theta_0)^2 = \frac{1}{4}$

Calcul de B : $B = \frac{\pi}{2} - \theta_0 - \frac{\sin 2\theta_0}{2} = 0,613$

$\sigma = \frac{3}{4} \frac{Pa}{Lc^2} - \frac{3P}{Lc^2} A \left(\frac{r+c/2}{B} \right)$

$= \frac{3P}{Lc^2} \left\{ \frac{a}{4} - \frac{A}{B} (r + c/2) \right\}$

$\sigma = 12,7 \text{ daN/mm}^2$

la vérification expérimental à l'aide d'une jauge placée sur O_y (Section 1.2) donne $\sigma = 13 \text{ daN/mm}^2$

VI CORRELATIONS AVEC LES FORMULES EMPIRIQUES :

6.1 Calcul avec la formule empirique (Technique de l'Ingénieur)

Hypothèse :

σ contrainte admissible de l'acier moulé $\sigma \text{ kg/mm}^2$

$C = \sqrt{\frac{Pa}{25L}}$

$c = 45,6 \text{ mm.}$

6.2 Simplification de la formule établie :

Dans le calcul du M_f

le terme $\frac{Pa}{8}$ est prépondérant devant le terme $\frac{PA}{2B} (r+c/2)$

$M_f = \frac{Pa}{8}$

$$\sigma = \frac{3}{4} \frac{Pa}{Lc^2} \Rightarrow c = \sqrt{\frac{3}{4} \frac{Pa}{\sigma L}}$$

En prenant une contrainte $\sigma = 16 \text{ daN/mm}^2$ (imposée par les règlements)
l'application numérique donne :

$$c = 34,2 \text{ mm}$$

6.3 Conclusion :

Ce qui prouve que la formule empirique utilisée jusqu'alors est surabondante.

CHAPITRE 11

=====

ESSAIS EXPERIMENTAUX

PRINCIPE DE MESURES :

Pour tracer la répartition des pressions, une méthode directe de mesure nécessiterait pour chaque point de la zone de contact, une jauge de contrainte ^à 3 directions.

Ce procédé est à rejeter pour :

- l'inaccessibilité avec des jauges des points considérés (dimension des jauges).
- prix de revient.

L'étude sera divisée en 2 parties :

- Recherche des directions principales de contrainte dans la zone de Contact :- à l'aide de jauges à 3 directions.
 - à l'aide de la photoélasticité.
- Mesure de l'intensité des pressions.

=====

RECHERCHE DE LA REPARTITION DES DIRECTIONS PRINCIPALES

I : Caractéristiques de la pièce et montage :

1.1 Dessin à l'échelle $\frac{1}{2}$ (Voir p. 17)

1.2 Matériau: Articulation en acier demi dur

$$E = 220.000 \text{ N/mm}^2, \nu = 0,3$$

balancier en fonte Ft 22 $R_c = 32 \text{ daN/mm}^2$

$$\Delta = 220 \text{ HB}$$

1.3 Caractéristique de l'assemblage :

- l'Ajustement est $F7 h7$

- la Vérification de portage a été faite en enduisant les surfaces de craie rouge ()

1.4 Dispositif de charge :

141 - La Machine utilisée est une machine horizontale d'essai (V. pl. 1 Fig

de compression (fabriquée chez Falcot Charpentier & C° Lyon)=

- Le dispositif de mise en charge est un système à vis, manoeuvré à la main.

- L'indication de la charge est réglée sur un fléau, par le déplacement d'un curseur.

- Charge Maximum 30 T.

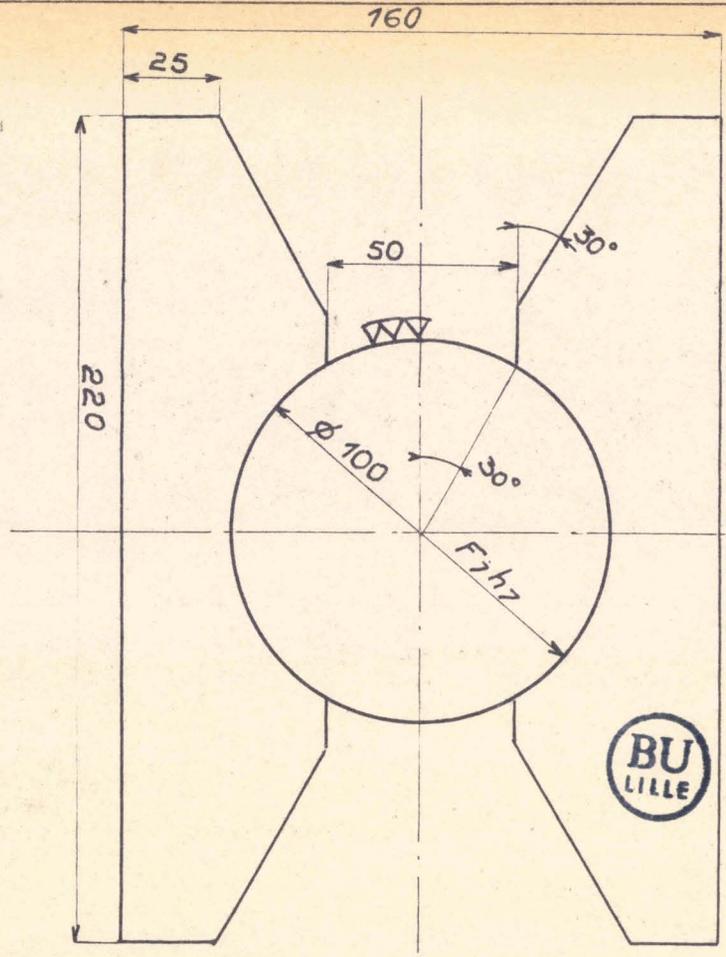
142 - Fidélité.

Il ne m'a pas été possible d'étalonner la machine d'essai, le peson dont je disposais, me donnait que 3 points, donc insuffisant pour tracer la courbe d'étalonnage.

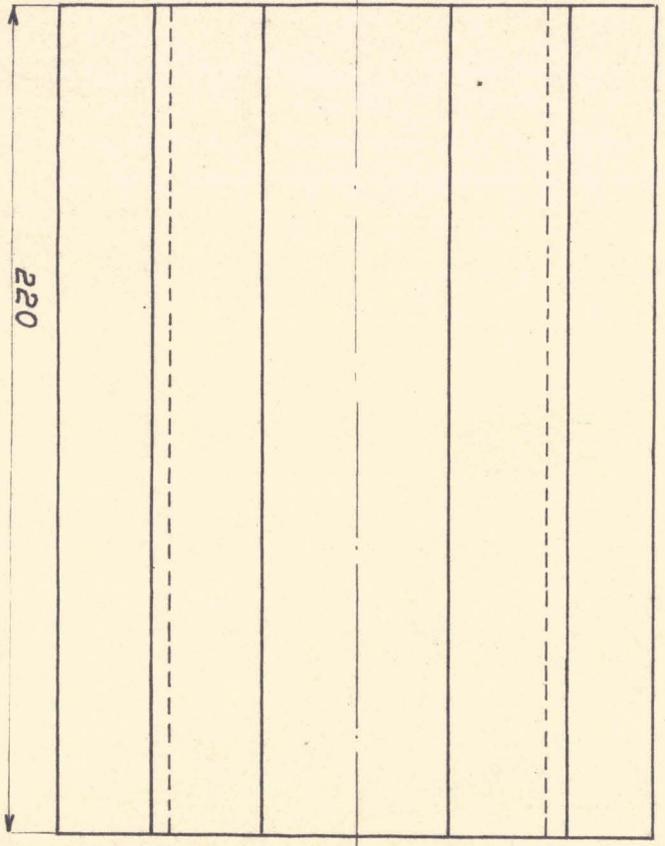
La charge réelle sur la pièce est connue à 10% près de la charge indiquée

1.5 Montage :

15.1 Les balanciers sont maintenus sur le banc de la Machine par 4 tiges de stub emmanchés à force perpendiculairement à l'axe de l'Articulation (Voir pl. I Fig 1)



Vue de face

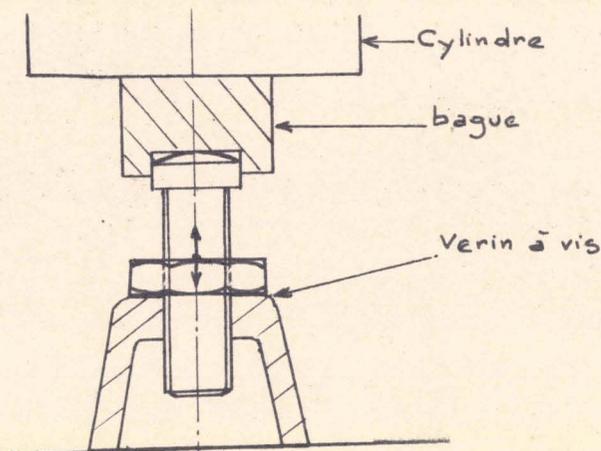


Vue de gauche

Echelle : $\frac{1}{2}$

APPAREIL D'APPUI FIXE

15.2 Le cylindre, avant application de la charge repose sur bague ajustée sur la tête d'un vérin à vis, d'où la possibilité de régler sa position par rapport à celle des balanciers.



II Recherche des directions principales par les jauges de contrainte

(Cours de Mécanique des Solides Réels de la Faculté

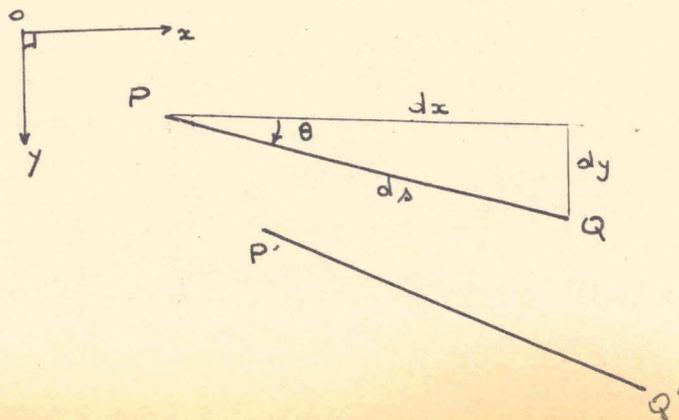
2.1 Rappels { Cours de Résistance des Matériaux de 'L'E.N.S.A.M.

2.1.1 Le problème proposé peut se ramener à un problème d'élasticité plane.

La maquette peut être considérée comme un empilage de n tranches élémentaires identiques, soumises à des actions contenues dans le plan de chacune d'elles.

2.1.2 Dans le cas général, en élasticité plane, une déformation quelconque peut être considérée comme la somme de 3 déformations élémentaires

- 1 translation
- 1 Rotation
- 1 Allongement



Cordonnées : de P u, v

$$: de Q \quad u + \frac{\partial u}{\partial x} dx + \frac{\partial u}{\partial y} dy, \quad v + \frac{\partial v}{\partial x} dx + \frac{\partial v}{\partial y} dy$$

PQ $\xrightarrow{\text{déformation quelconque}}$ P'Q'

21.21 - L'allongement relatif dans une direction quelconque est donné par la formule.

$$\epsilon_{\theta} = \epsilon_x \cos^2 \theta + \gamma_{xy} \sin \theta \cos \theta + \epsilon_y \sin^2 \theta$$

21.22 - La déviation angulaire a pour expression

$$\frac{1}{2} \gamma_{\theta} = \frac{1}{2} \gamma_{xy} (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) + (\epsilon_y - \epsilon_x) \sin \theta \cos \theta$$

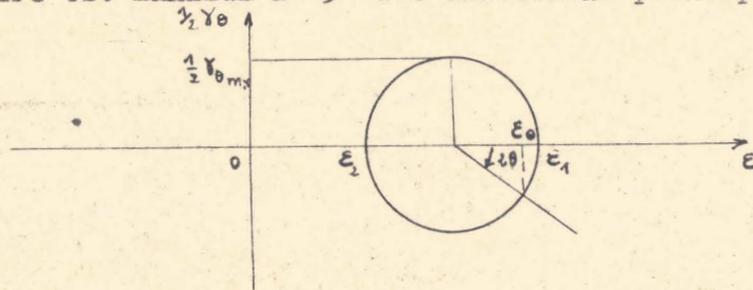
D'après l'étude des relations contraintes. Déformations pour obtenir la contrainte σ et le glissement τ suivant la direction θ , il suffit dans les formules de remplacer :

$$\epsilon_{\theta} \rightarrow \sigma$$

$$\tau \rightarrow \frac{1}{2} \gamma$$

21.23 - Cercles de déformations :

γ_{θ} s'annule pour les directions principales et la déviation angulaire est maximum à 45° des directions principales



$$\gamma_{max} = \epsilon_1 - \epsilon_2$$

En supposant que les axes initiaux sont principaux $(\epsilon_x = \epsilon_1) (\epsilon_y = \epsilon_2)$

$$\begin{aligned} \epsilon_{\theta} &= \epsilon_1 \cos^2 \theta + \epsilon_2 \sin^2 \theta \\ &= \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2}{2} + \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{2} \cos 2\theta \end{aligned}$$

$$\frac{1}{2} \gamma_{\theta} = - \frac{(\epsilon_1 - \epsilon_2)}{2} \sin 2\theta$$

2.1.3 Application à la détermination des directions principales
et des contraintes.

2.1.3.1. On connaît à priori les directions principales

- soit :
- par raison de symétrie
 - par autre méthode.

On colle 2 jauges dans les directions principales. On mesure ϵ_1 et ϵ_2 par extensométrie

d'après la loi de Hooke :

$$\epsilon_1 = \frac{1}{E} (\sigma_1 - \nu \sigma_2) \quad (\nu = 0,3 \text{ pour l'acier})$$

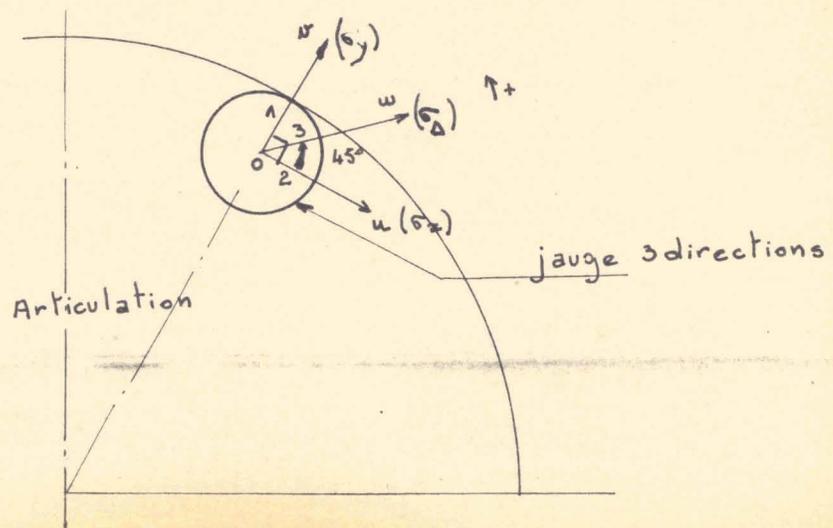
$$\epsilon_2 = \frac{1}{E} (\sigma_2 - \nu \sigma_1) \quad E = 220000 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{cases} \sigma_1 = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_1 + \nu \epsilon_2) \\ \sigma_2 = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_2 + \nu \epsilon_1) \end{cases}$$

2.1.3.2. Les directions principales sont inconnues

La mesure de σ_x et σ_y dans 2 directions \perp quelconques ne suffit pas à déterminer le problème. Expérimentalement on ne sait pas mesurer τ_{xy}

On mesure l'allongement dans une troisième direction (à 45° des 2 précédentes)



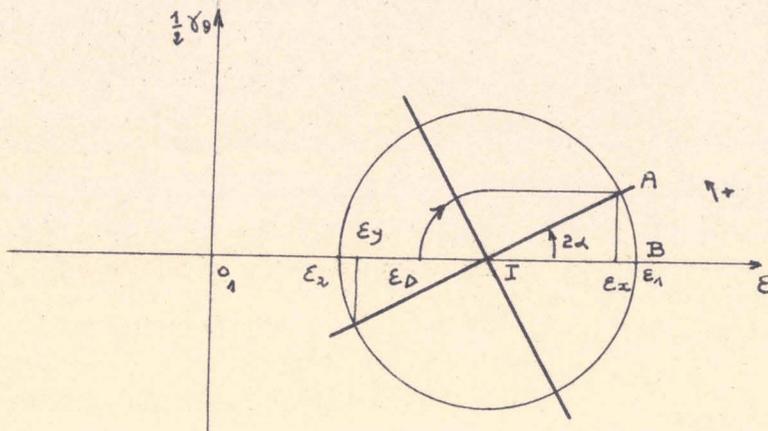
Pour $\theta = 45^\circ$

La déviation angulaire vaut

$$\frac{1}{2} \gamma_{\Delta} = \frac{1}{2} (\epsilon_y - \epsilon_x)$$

Obtention des directions principales

et contraintes p. cas d'1 Extension.



On considère $\epsilon_x > \epsilon_y$
(Valeur Algébrique)

L'angle $(\vec{OI}, \vec{OA}) = -\frac{\pi}{4}$

A est obtenu par une rotation
centre I rayon IE_0 et de

$$\alpha = (\vec{OI}, \vec{OA})$$

2.2. Appareillage utilisé et disposition des jauges

2.21 Jauges (Sexta . Technique et emploi des jauges à fil résistant par R. Brachet)

Pour la recherche des directions principales nous sommes
dans le cas 2132 : directions principales inconnues.

A cet effet, j'ai utilisé des jauges à 3 directions

- jauges actives : TYPE P R 5 Strain Gage

V. pl. 2 Fig 1) Diamètre du disque portant les 3 jauges 12 mm

Résistance $120 \pm 0,35 \Omega$

Coefficient de la jauge 1 $K = 2,04$

- - 2 $K = 2,06$

- - 3 $K = 2,08$

Après vérification j'ai admis, pour les mesures un coefficient

moyen $K_m = 2,05$

Jauge Témoin de même type

Les jauges actives et témoin sont montées en demi-pont/

Le rôle de la jauge témoin est d'annuler l'effet de Température.

22.2 Appareil de Mesures: Les mesures sont faites par Extensométrie : la variation de résistance étant proportionnelle à la variation d'allongement.

$$\frac{\Delta R}{R} = C_1 \frac{\Delta L}{L} \quad (C_1 = C^t)$$

L'appareil employé est un Pont Hottinger- Baldwin (V. pl. 1. Fig 3) P 352

Il comporte 4 voies.

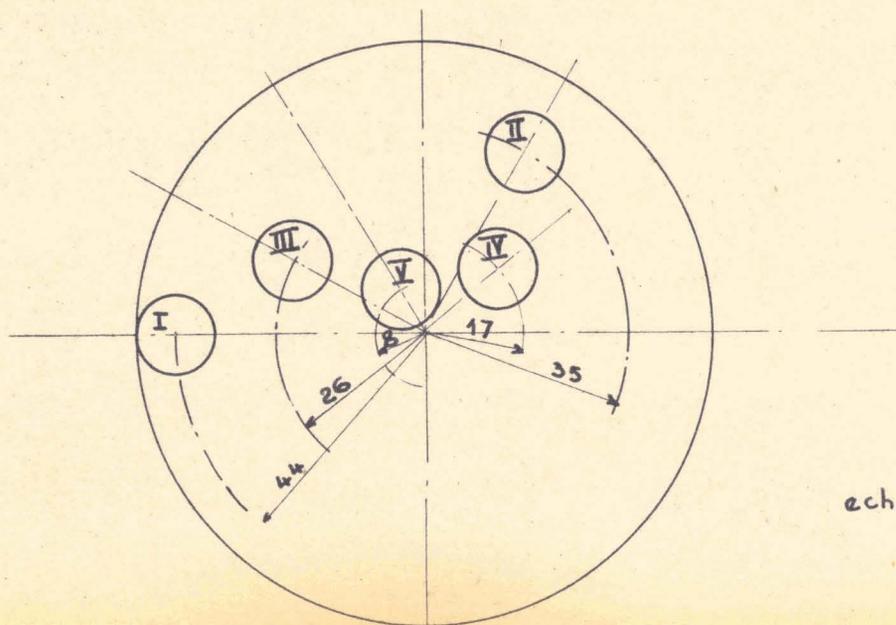
Les résultats lus sont exprimés en 10^{-6} mm.

REMARQUE : Faire attention que le coefficient de jauge affiché correspond à celui de la jauge utilisée pour les mesures.

22.3 Disposition des jauges (Voir pl. 2 Fig 1)

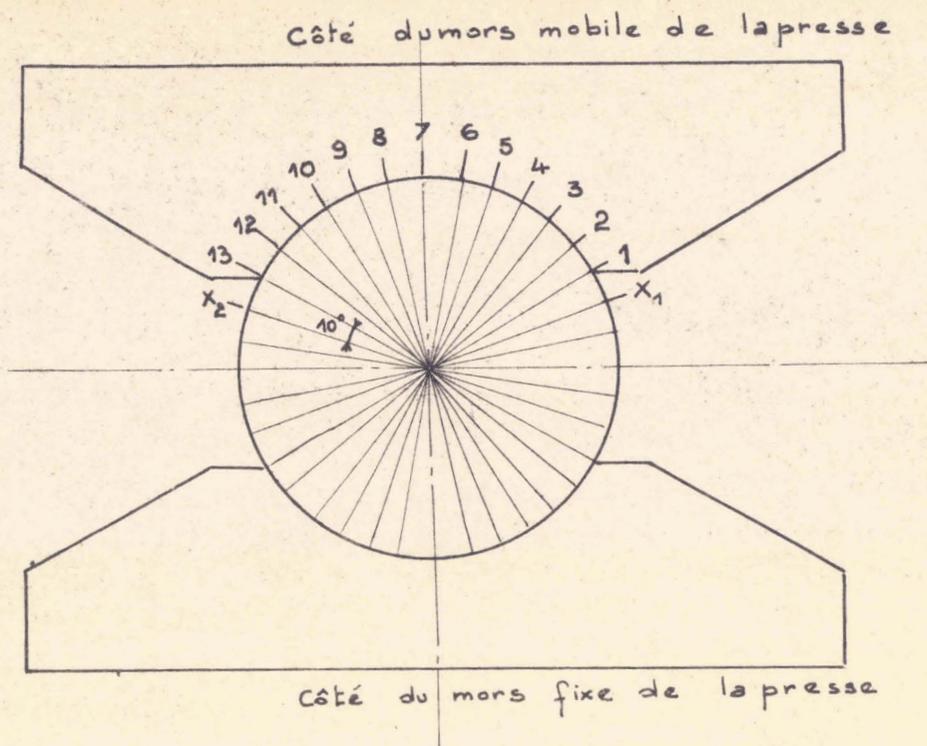
Les Mesures ont été effectuées à l'aide de 5 jauges P R 5 disposées en haut de l'articulation sur des cercles concentriques. (Schéma ci-dessous).

Les dimensions du disque portant les jauges étant de 12 mm, la lère série de mesure n'a pu être faite que sur un cercle situé à 6mm de la zone de contact Articulation-balancier.



echelle: 0,75

2.2.4 DISPOSITION DE LA PIECE MONTEE ET REPERAGE :



MESURES :

2.31 Principe :

Les mesures sont effectuées en faisant tourner l'articulation dans les 15 positions indiquées sur le schéma ci-dessus.

Pour 1 jauge donnée repérée (I V) et pour une position déterminée de la rotule .

- A vide : l'équilibrage du pont pour les 3 jauges d'un \hat{m} disque m'a donné 3 nombres.

Ce sont les zéros des tableaux (voir p. 25 à 29)

- Sous charge (15 t.) l'équilibrage du pont pour les 3 jauges d'un \hat{m} disque m'a donné 3 nombres.

Ce sont les mesures des tableaux.

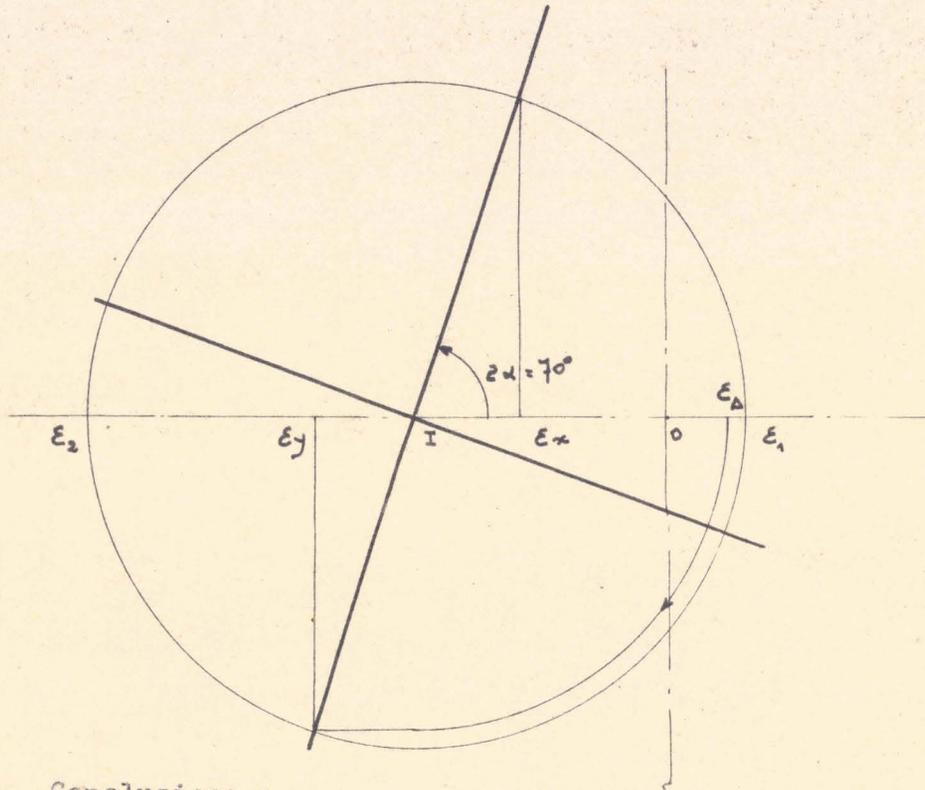
Les différences respectives pour une \hat{m} jauge donnent les $\frac{\Delta e}{e}$.

Pour les 5 jauges j'ai relevé 450 mesures.

2.32 Dépouillement :

D'après 2132 les $\frac{\Delta L}{L}$ m'ont permis de construire les cercles de Mohr, donc les directions principales en 75 points répartis sur les 5 cercles concentriques. (Voir tableau p. 30)

Exemple : jauge II position 5



24 . Conclusions :

D'après le tableau récapitulatif des directions principales je n'ai pas pu conclure directement sur la disposition des directions principales au niveau de la zone de contact, sauf sur l'axe de symétrie où elles sont pratiquement portées par un rayon et la tangente correspondante.

Il faudrait avec les points trouvés tracer les lignes, enveloppes des directions principales et les extrapoler jusqu'au bord. Or, le nombre de points nécessaires pour faire cette construction serait trop important, c'est pourquoi j'ai été amené à utiliser le procédé par photoélasticité.

Jauge N°1



Jauge

à 45°

Positions

X₁ 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 X₂

Zéros

27339 27340 27340 27340 27342 27338 27338 27338 27339 27338 27344 27342 27342 27342

Mes.

27338 27339 27340 27341 27342 27338 27316 27303 27273 27262 27230 27263 27297 27306 27316

$\frac{\Delta P}{P}$

-1 +1 +2 +1 +2 -4 -22 -35 -65 -77 -108 -77 -47 -36 -24

Zéros

26099 26101 26099 26102 26100 26100 26100 26102 26099 26100 26100 26099 26100 26100 26100

Mes.

26091 26092 26088 26083 26081 26089 26083 26089 26080 26081 26062 26050 26056 26056 26060

Jauge

à

90° (u_x)

$\frac{\Delta P}{P}$

-8 -9 -11 -19 -19 -11 -17 -13 -19 -18 -38 -50 -44 -44 -40

Zéros

26811 26817 26811 26809 26812 26812 26810 26809 26813 26811 26817 26812 26810 26811 26810

Jauge

à

90° (u_y)

Mes.

26813 26813 26814 26812 26800 26776 26756 26736 26728 26725 26753 26794 26823 26825 26823

$\frac{\Delta L}{L}$

+2 +3 +3 +3 -12 -36 -54 -73 -85 -86 -54 -18 +13 +14 +13

25



jauge N°2	Positions														
	X ₁	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	X ₂

jauge	à 45°																			
	Zéros	27346	27347	27347	27347	27347	27347	27347	27345	27346	27346	27346	27344	27345	27345	27346	27346	27346	27346	27347
	Mes.	27348	27351	27357	27364	27362	27353	27349	27352	27291	27250	27213	27210	27236	27272	27296				
	$\frac{\Delta l}{l}$	+2	+4	+10	+17	+15	+8	+3	-14	-53	-95	-132	-136	-110	-64	-51				

jauge	à 90° (uX)																			
	Zéros	27056	27056	27056	27054	27061	27045	27035	27035	27050	27041	27036	27037	27037	27039	27034				
	Mes.	27057	27037	27022	27022	27042	27029	27034	27047	27074	27065	27040	27004	26968	26961	26971				
	$\frac{\Delta l}{l}$	-19	-19	-34	-32	-19	-16	-1	+12	+24	+24	+4	-33	-71	-78	-63				

jauge	à 90° (uX)																			
	Zéros	26438	26437	26437	26436	26436	26434	26423	26425	26480	26422	26422	26422	26422	26422	26421	26421			
	Mes.	26446	26446	26441	26429	26409	26387	26350	26370	26282	26284	26310	26367	26414	26439	26444				
	$\frac{\Delta l}{l}$	+8	+9	+4	-7	-27	-47	-73	-110	-123	-138	-112	-55	-7	+18	+23				

Jauge N°3	Positions														
	X ₁	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	X ₂

Jauge	Zéros	26677	26676	26676	26680	26677	26675	26674	26674	26675	26689	26689	26690	26697	26694	26698
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

à 45°	Mes.	26681	26686	26693	26704	26707	26702	26686	26658	26628	26604	26580	26568	26584	26601	26675
-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------



(2)	$\frac{\Delta l}{l}$	+4	+10	+17	+24	+30	+27	+12	-16	-47	-85	-109	-122	-113	-93	-83
-----	----------------------	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	-----	-----

Jauge	Zéros	26953	26952	26952	26955	26952	26952	26949	26945	26943	26943	26942	26942	26942	26941	26942
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

à 90° (Mx)	Mes.	26911	26914	26916	26926	26931	26949	26967	26980	26987	26977	26958	26928	26900	26881	26862
------------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

	$\frac{\Delta l}{l}$	-42	-38	-36	-29	-21	-8	+18	+35	+44	+34	+4	-14	-42	-60	-80
--	----------------------	-----	-----	-----	-----	-----	----	-----	-----	-----	-----	----	-----	-----	-----	-----

Jauge	Zéros	26788	26788	26789	26789	26787	26787	26787	26786	26787	26787	26787	26787	26787	26787	26787
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

à 90° (Mx)	Mes.	26800	26797	26791	26780	26761	26733	26704	26696	26670	26670	26697	26733	26766	26793	26812
------------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

	Δl	+12	+9	+2	-19	-26	-54	-83	-110	-117	-111	-90	-54	-21	+6	+25
--	------------	-----	----	----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	-----	-----	-----	----	-----

jauge N°4

positions

X₁ 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 X₂

Zéros 27219 27228 27228 27228 27228 27228 27228 27227 27228 27227 27227 27227 27227 27227

jauge à 45°

Mes. 27240 27254 27267 27271 27271 27264 27246 27216 27280 27145 27117 27101 27101 27111 27183

$\frac{\Delta l}{l}$ +11 +26 +39 +43 +43 +36 +18 -12 -47 -83 -110 -117 -110 -110 -85

90°

jauge à 90° (Mx)

Zéros 26200 26214 26196 26181 26167 26168 26168 26167 26221 26211 26200 26209 26204 26200 26193

Mes. 26128 26141 26142 26153 26187 26179 26203 26216 26277 26256 26225 26198 26164 26128 26093

$\frac{\Delta l}{l}$ -72 -73 -54 -28 -10 +11 +45 +101 +56 +45 +25 -7 -40 -72 -102

jauge à 90° (My)

Zéros 26423 26422 26423 26421 26422 26423 26422 26421 26421 26423 26424 26424 26423 26426 26426

Mes. 26448 26436 26422 26401 26378 26353 26326 26304 26297 26308 26329 26360 26339 26435 26461

$\frac{\Delta l}{l}$ +25 +14 -1 -20 -44 -70 -96 -117 -124 -115 -95 -64 -24 +7 +35

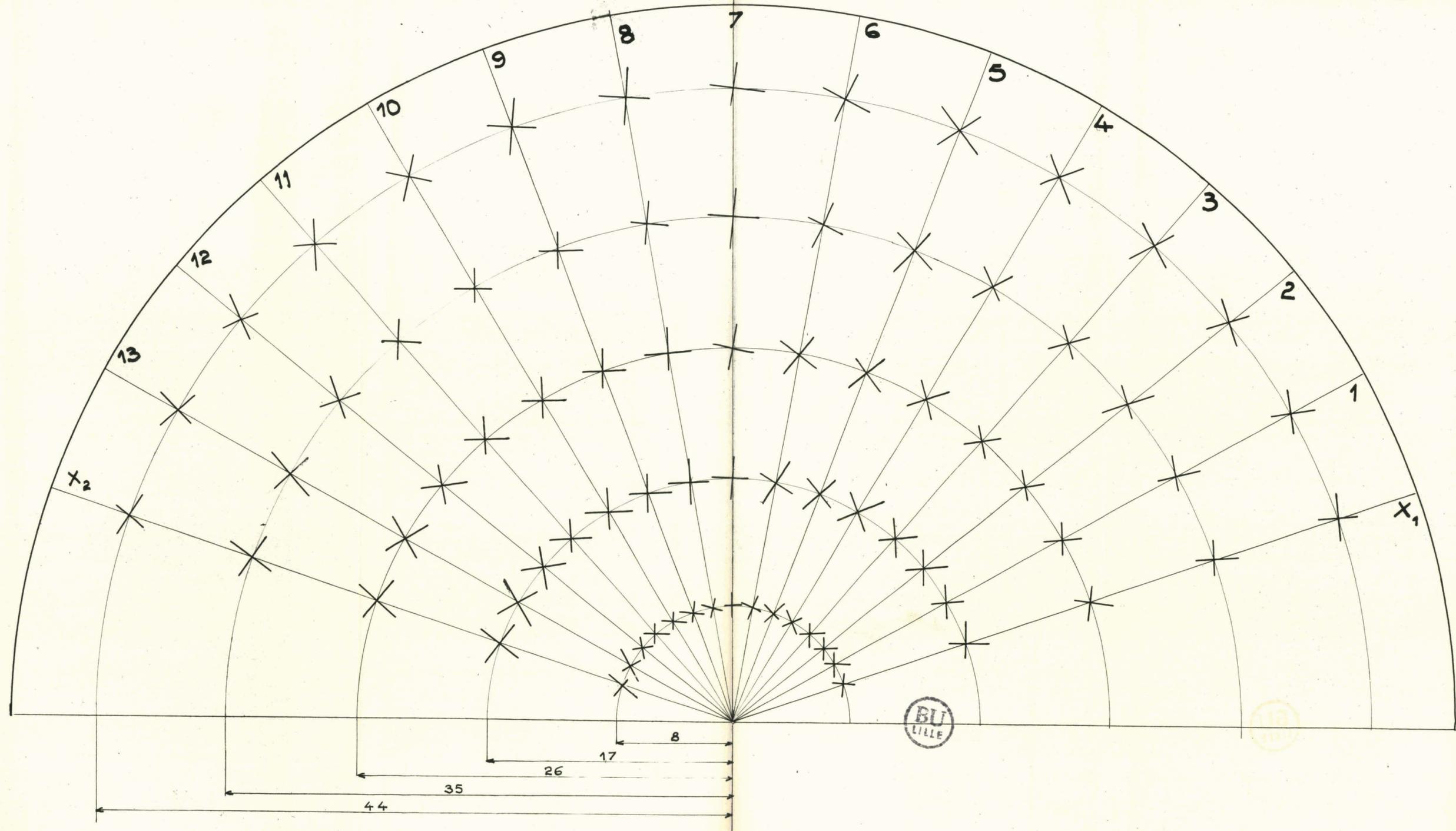
Jauge N°5	Positions														
	X ₁	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	X ₂

Jauge	à 45°														
Mes.	28371	28387	28399	28397	28389	28375	28348	28319	28189	28261	28239	28223	28221	28236	28339
Zéros	28347	28347	28349	28346	28344	28344	28343	28342	28345	28348	28347	28343	28345	28353	28335
$\frac{\Delta L}{l}$	+24	+40	+50	+51	+45	+23	+5	-23	-56	-87	-108	-120	-124	-117	-96

Jauge	à 90° (μx)														
Mes.	28340	28360	28385	28410	28432	28455	28471	28478	28477	28464	28444	28416	28485	28350	28423
Zéros	28428	28428	28428	28427	28428	28427	28427	28427	28427	28427	28427	28426	28426	28426	28426
$\frac{\Delta L}{l}$	-88	-68	-43	-17	+4	+28	+44	+51	+50	+37	+17	-10	-39	-76	-103

Jauge	à 90° (μy)														
Mes.	27254	27236	27215	27195	27171	27149	27137	27130	27131	27140	27158	27183	27210	27237	27261
Zéros	27229	27229	27230	27230	27230	27229	27229	27228	27228	27228	27228	27228	27228	27227	27227
$\frac{\Delta L}{l}$	+25	+7	-15	-37	-59	-80	-92	-98	-87	-88	-70	-45	-18	+10	+34

RÉPARTITION DES DIRECTIONS PRINCIPALES

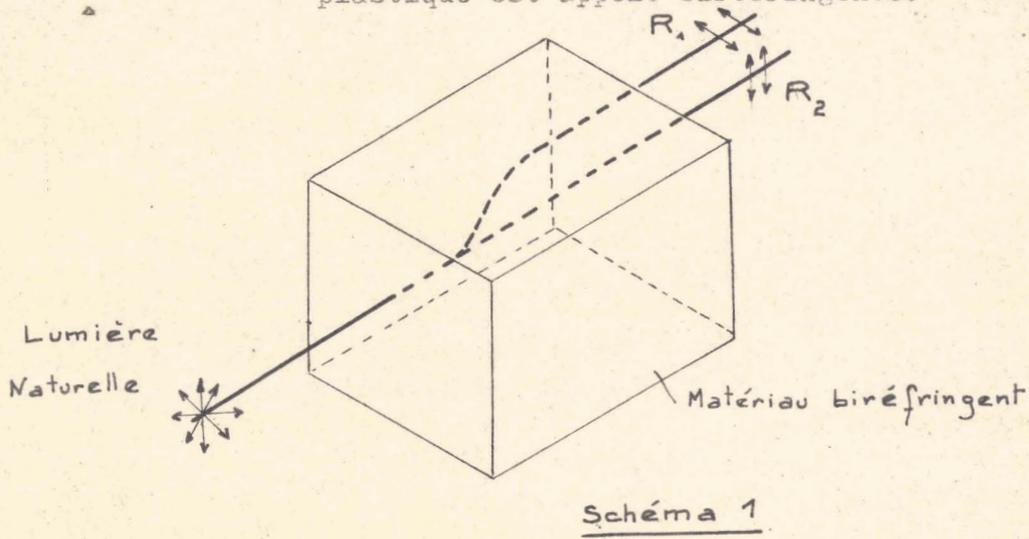


III Recherche des directions principales par la photoélasticité

3.1. Principe de la photoélasticité : (Photostress. Principes and Applications by Docteur Félix Zandman).

Certains corps transparents comme les cristaux de calcite et de mica ou certains plastiques déformés présentent le phénomène de biréfringence.

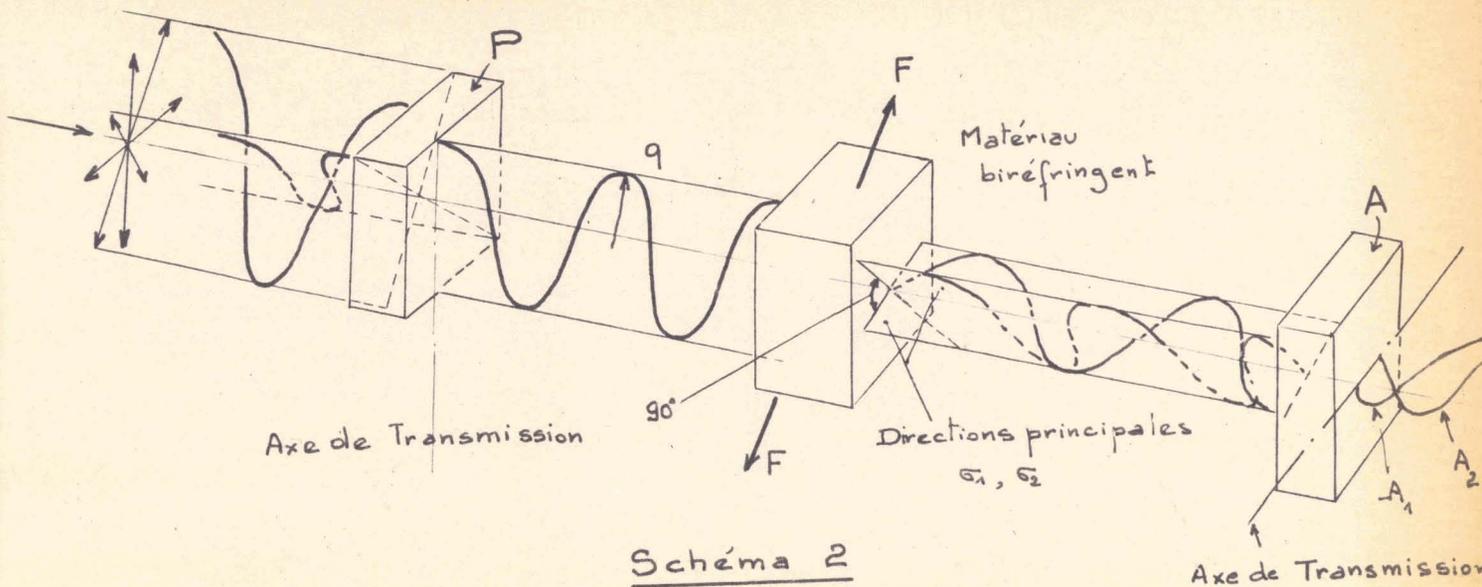
Ils diffractent le rayon incident de la lumière en 2 composantes R_1 et R_2 , qui traversent le corps à des vitesses différentes (schéma 1). Ceci fait qu'un des rayons est retardé par rapport à l'autre pendant la traversée. Ce retard relatif induit par l'épaisseur du cristal ou du plastique est appelé biréfringence.



En fait, les deux rayons transmis à travers le matériau biréfringent, sont polarisés à angle droit l'un par rapport à l'autre. (Schémas 1 et 2).

La direction de polarisation correspond à la direction principale de contrainte dans le matériau biréfringent.

Le schéma 2, montre comment un rayon polarisé est décomposé en deux au passage du matériau biréfringent.



Le schéma 3, montre comment ces 2 rayons sont analysés par un polaroïde analyseur. Comme on le voit sur le schéma 2, la lumière naturelle devient polarisée dans un plan après passage à travers le polariseur P.

La vibration incidente polarisée dans un plan, est divisée en deux vibrations composantes dans les directions principales de contrainte : ϵ_1, ϵ_2 pour le matériau biréfringent sous l'action de la force F.

Seules les composantes A_1 et A_2 parallèles à l'axe de transmission de l'analyseur passe à travers l'analyseur.

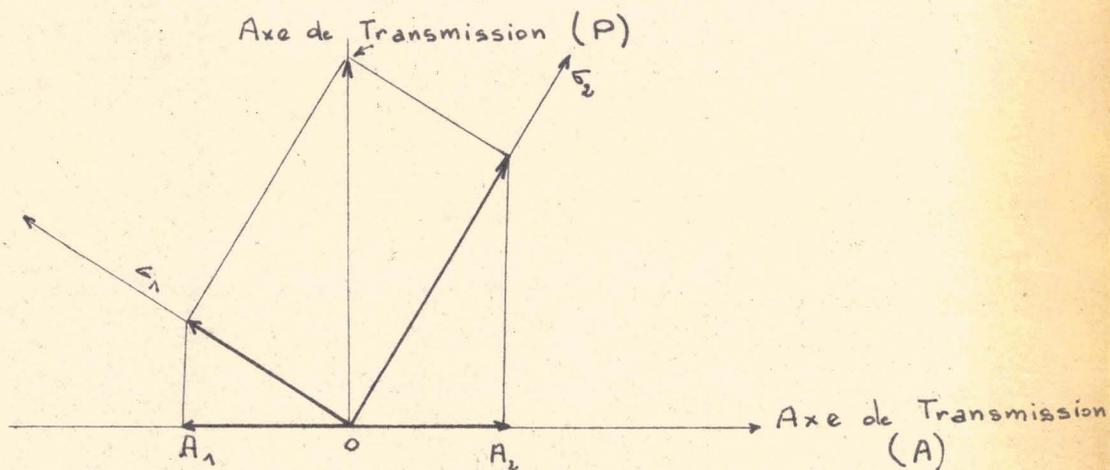


Schéma 3

Le schéma 3 montre la décomposition du vecteur q en deux vecteurs n_1 et n_2 portés respectivement par les directions de ϵ_1, ϵ_2 du schéma 2 ou du schéma 4.

Le schéma 3 montre aussi la résolution de n_1 et n_2 en A_1 et A_2 à travers l'analyseur.

P et A sont respectivement un polarisateur et un analyseur (schéma 4) G est un miroir à 45° . La pièce comprimée est le plastique PC.

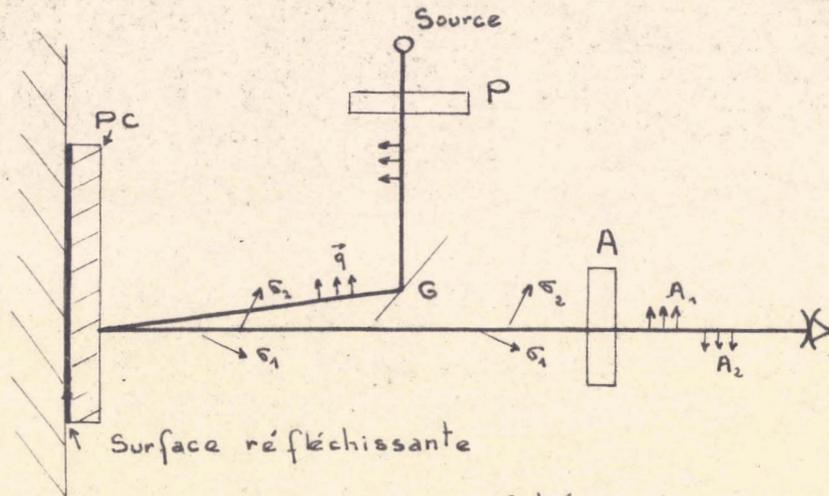


Schéma 4

Dans l'analyse des contraintes par la photoélasticité, la lumière polarisée est utilisée pour relever la présence de contrainte, dans un matériau spécial tel que le Photostress.

Ces substances normalement ne sont pas biréfringentes, mais le deviennent lorsqu'elles sont soumises à des actions extérieures.

Deux séries de franges sont visibles lorsqu'on regarde au polariscope.

Les lignes isoclines indiquent la direction d'action des contraintes principales. Les lignes isochromatiques renseignent sur l'intensité de ces contraintes principales.

3.11 Les lignes isoclines : (lignes d'extinction)

Quand le plan d'incidence de la lumière (vecteur \vec{q} schémas 3 et 4) coïncide avec la direction de l'une des contraintes principales, la lumière passe librement à travers le plastique. Si l'analyseur et le polariseur sont croisés, aucune lumière n'est visible en ce point :

Une ligne d'extinction, lieu de ces points est une isocline.

A chaque point d'une isocline les directions principales

sont constantes et sont les mêmes que les directions des axes du système Polariseur- Analyseur croisé dans le polariscope.

A l'aide des isoclines, il est possible d'obtenir par construction, les isostatiques : enveloppes des directions de contraintes. Elles sont tangentes à σ_1 et σ_2 en chaque point.

3.12 Les lignes isochromatiques :

Ce sont des franges colorées que l'on observe, en adjoignant au système Polariseur Analyseur, les deux quarts d'onde . Seules les franges de passage d'entre les diverses couleurs renseignent assez précisément sur l'intensité des contraintes.

3.2 Caractéristiques et description de l'appareil :

3.21 Caractéristiques :

L'appareil LF/Z (Société Budd) est destiné à la mesure à distance des différences des déformations principales ainsi qu'à l'évaluation de leurs directions.

Observations :

Pour l'analyse qualitative le LF/Z peut être utilisé:

- pour observer les isoclines, lieux des points d'égale direction de contraintes principales.
- pour observer les isochromatiques lieux des points d'égale valeur de la différence des déformations principales.
- pour localiser les zones de concentration de contrainte (nombre élevé de franges)
- pour déterminer les points singuliers (zones noires).

Mesures :

En analyse quantitative, il permet de déterminer la direction des contraintes principales avec une précision de $\pm 3^\circ$, et la grandeur des différences de déformations principales avec une précision de $\pm 20 \cdot 10^{-6}$.

Remarque :

De telles précisions nécessitent une grande expérience dans l'emploi de l'appareil.

Enregistrement :

Soit par tracé au crayon gras, soit par photographie, le LF/Z permet le relevé:

- des isoclines, desquelles on déduit les isostatiques (Enveloppes des directions principales parallèles).
- les isochromatiques dont on déduit les déformations et par le calcul, les contraintes.

3.22 Description du LF/Z : (voir pl 2 Fig) 3)

L'appareil comprend un ensemble optique ajustable monté sur un trépied réglable.

Le système optique se compose de 2 polariseurs (polaroïd circulaires situés dans un même plan .

L'un d'eux sert de polariseur d'une source de lumière incluse, l'autre d'analyseur.

La rotation du polariseur et celle de l'analyseur peut être soit couplée soit indépendante.

L'instrument comprend 2 feuilles quart d'onde pouvant être rabattues respectivement sur chacun des 2 polaroïdes (pour l'observation des isochromatiques).

3.3 Essais : Caractéristique du "plastique" utilisé :

Type S $e = 2,82 \text{ mm} \pm 0,17$.

Ce plastique est collé en bout des balanciers et de l'articulation, en retrait de 0,5 mm dans la zone de contact pour éviter de briser le plastique lors de l'application de la charge.

- Ce collage a été réalisé avec de la colle Araldite.

Pour l'obtention de bons résultats, il est nécessaire qu'il n'y ait pas d'air entre la pièce et le plastique lors du collage.

3.4 Essais :

La pièce a été coupée dans le sens longitudinal pour essayer de voir les franges de passage afin de déterminer l'intensité des contraintes. Ce découpage a été fait car la variation des contraintes est faible entre 2 charges voisines.

L'essai a été effectué sur la machine d'essai TINIUS OLSEN de L'E.N.P. d'Armentières (voir pl 1 Fig 4)

Cette dernière présentant l'avantage d'être verticale ce qui m'a permis de disposer correctement le LF/Z par rapport à la pièce.

3.41 Mise au point du LF/Z :

L'appareil placé à 100 cm de la pièce à étudier, est orienté de façon que la lumière tombe normalement sur cette surface.

Remarque :

Eviter le reflet sur la surface du plastique lorsqu'on regarde à travers l'analyseur.

Le plan des 2 polaroïdes doit être parallèle à la surface étudiée.

- Régler le faisceau lumineux pour avoir l'éclairage le plus favorable .
- Relever les quarts d'onde hors du champ.
- tourner l'analyseur et placer le repère de la graduation intérieure au zéro (flèche rouge).

Cette position doit correspondre au minimum de l'intensité lumineuse sur les surfaces brillantes non recouvertes de plastique.

3.42 Relevé des directions principales de contraintes :

Suite des opérations à effectuer :

- charger la pièce (charge appliquée 75T)
- les quarts d'onde étant hors du champ et le repère du cadran intérieur au zéro, déplacer solidairement les 2 systèmes optiques à l'aide du levier. Mettre le repère de l'échelle des rotations au zéro (flèche jaune).
- observer au travers de l'analyseur, l'isocline, la relever au crayon gras en la traçant sur la surface elle même ou par photographie. Repérer qu'il s'agit de l'isocline 0°.
- tourner l'ensemble P + A de 10° et répéter la même opération ainsi jusque 90°.

L'isocline 90° est identique à l'isocline 0° .

- Par construction, si nécessaire, déduire les isostatiques.

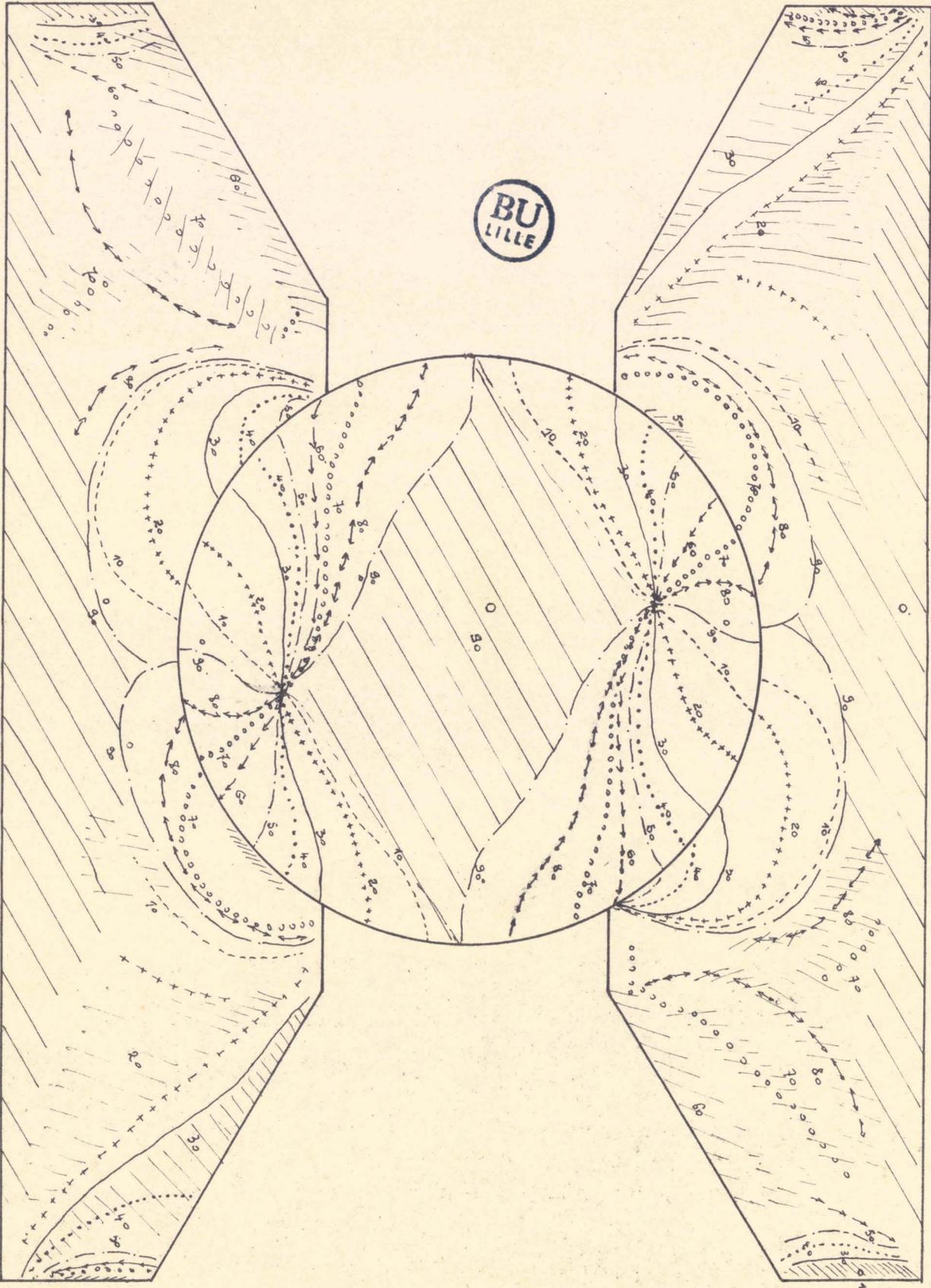
Une série de photos prises en noir et blanc, auraient pu être utilisées pour le dépouillement. Toutefois celui-ci, aurait été plus difficile, en raison des contenus dues aux effets de bords ou à des contraintes résiduelles qui n'apparaissent qu'en noir ou en zones sombres (voir pl. 3).

Le relevé des isoclines a été effectué sur papier calque, par projections des diapositives (voir pl 4) prises pour chaque position de 0 à 80° du système polariseur - analyseur croisé, (le repérage se faisant à partir de l'axe de symétrie vertical Oy de la pièce.

Ainsi, j'ai obtenu le réseau des isoclines (voir p 38): ce réseau est très net sur l'articulation, seul point qui nous intéresse, mais plus incertain sur les balanciers. Il présente une symétrie par rapport au centre de l'articulation.

Il comporte 2 points isotropes (points où convergent toutes les isoclines et où $\sigma_1 = \sigma_2$) situés sur un cercle concentrique à l'articulation de 33 mm de rayon et à 10° de l'axe vertical Oy dans le sens trigonométrique.

A partir de ce réseau, j'ai retracé sur calque, les parties des isoclines aboutissant sur la périphérie de l'articulation (voir p 39 fig 1). J'ai divisé de 10° en 10° , l'articulation qui m'ont donné pour chaque position du système P + A, les directions principales; directions que j'ai tracé au point de contact de l'isocline correspondante avec le grand cercle de l'articulation. (voir p 19 fig 2, tracé des directions principales à partir de l'isocline 30°).

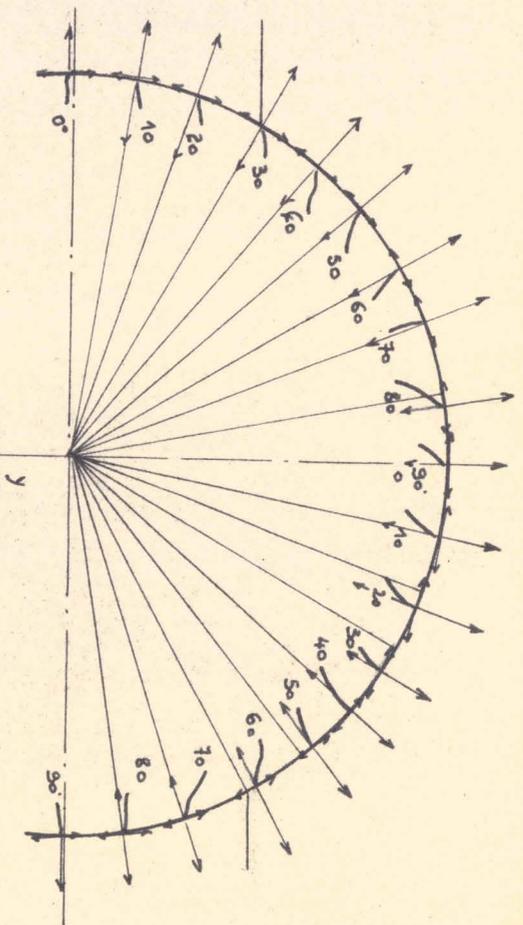


RÉSEAU des ISOCLINES

Tracé des directions principales dans la zone de contact

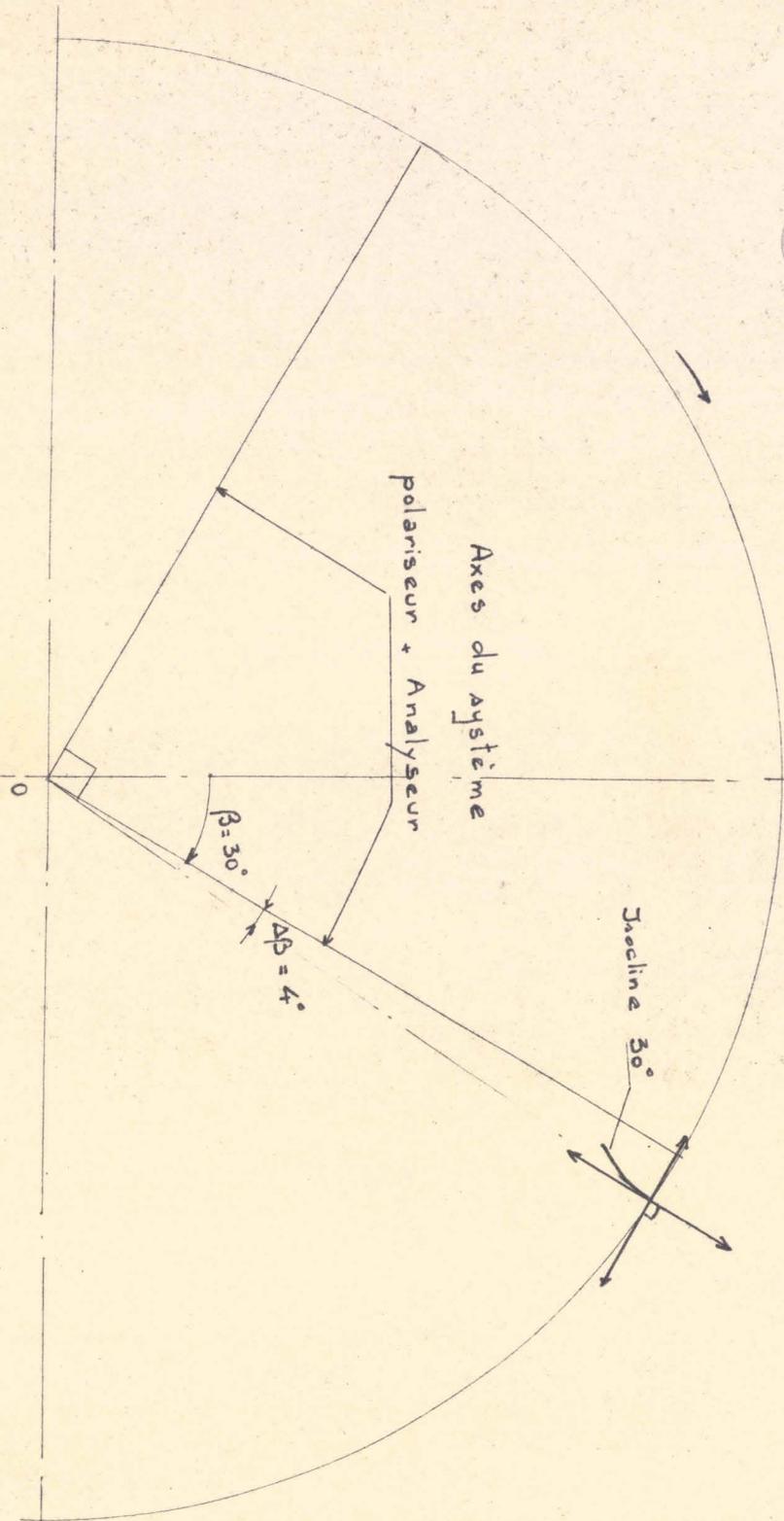


Fig 1



échelle 1

Fig 2



échelle 2

IV Conclusion :

En 4 points, sur 19, les directions principales ne correspondent pas exactement au rayon et à la tangente.

L'erreur maximum est pour l'isocline 30° : $\Delta \beta = 4^\circ$, donc assez faible.

Ce résultat prouve que les directions principales dans la zone de contact sont normales et tangentes en tous points.

V Remarques :

5.1 Jusqu'alors aucune étude quantitative n'a été faite.

Par l'étude théorique, on peut connaître, pour une charge déterminée, la pression en tout point de la zone de contact.

Par l'étude avec les jauges, la pression \equiv contrainte, n'est connue que sur un cercle de rayon 44 mm.

J'ai tracé la répartition des contraintes en fonction du rayon; pour la position 7, charge 15 T, j'ai obtenu une courbe avec maxi à $r = 35$ (voir p. 42)

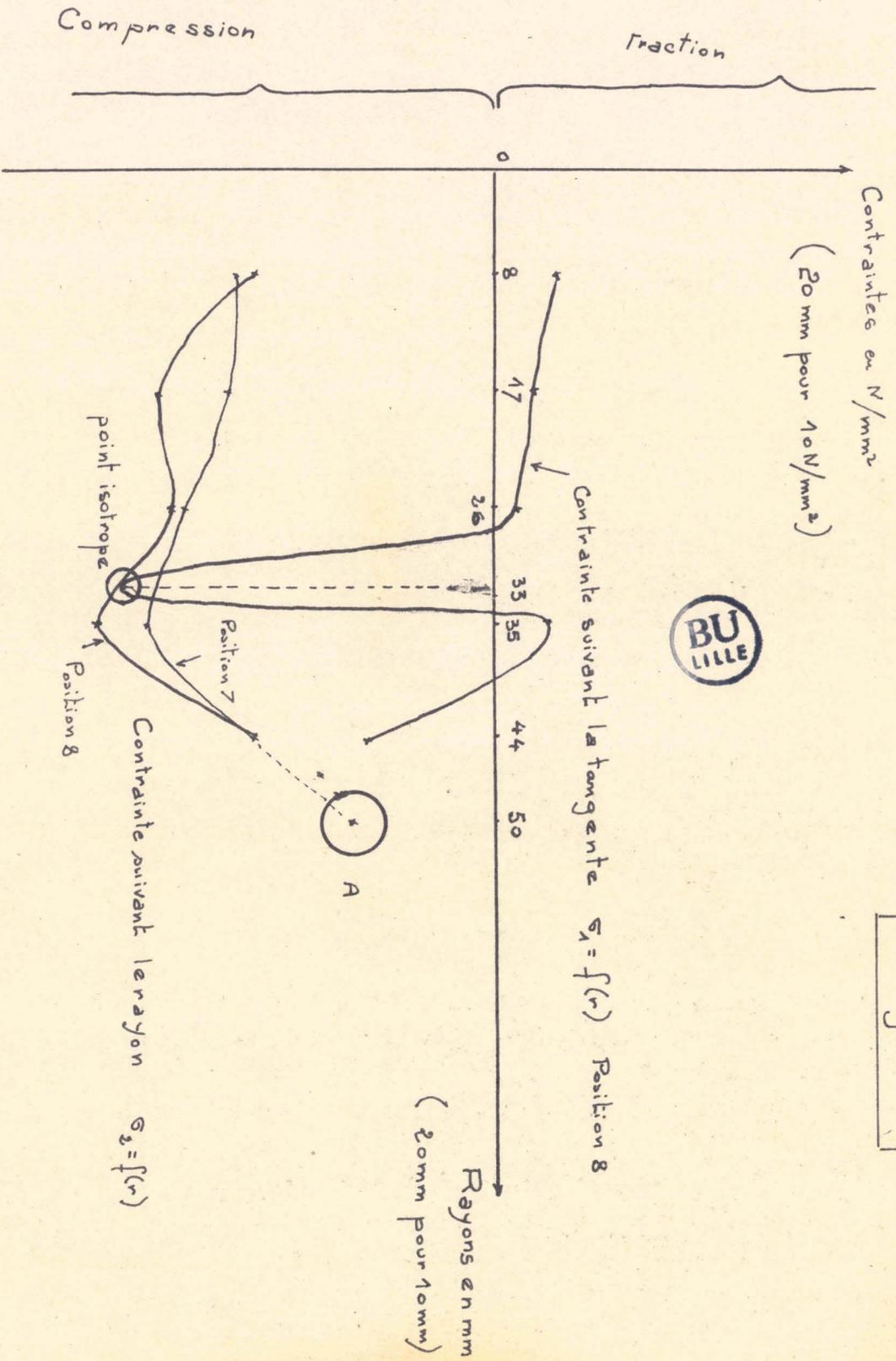
J'ai calculé d'après ma formule théorique pour $r = 50$ et une charge de 15 T, position 7 (p_{mx}) la pression. J'ai reporté ce point sur le graphique (point A), il se trouve sur ma courbe extrapolée obtenue précédemment.

5.2 Puisque le point isotrope déterminé par la photoélasticité, se trouve sur la position 8, j'ai tracé $\sigma_1 = f(r)$ $\sigma_2 = g(r)$. (v. p 42)

Au point isotrope, les contraintes σ_1 et σ_2 sont égales.

Avec les 5 points sur le rayon, considérés dans les mesures par jauges, et l'obtention du point isotrope déterminé par la photoélasticité; j'ai tracé la courbe $\sigma_2 = g(r)$. Cette dernière montre la variation brusque de contrainte, d'où la nécessité d'un grand nombre de points de mesure.

Charge 15T



Remarque : la pression maximum obtenue par la courbe théorique (Position 7 charge 15T) $P = -11,1 N/mm^2$ (Voir point A)

2^{ème} Partie : Détermination de la répartition réelle des pressions

I Moyens utilisés pour la mesure des pressions.

(d'après l'étude faite dans la 1^{ère} partie, les mesures sont possibles avec des jauges 1 direction).

1.1 Jauges : (voir pl. 2 Fig 1)

Strain Gage Pl 3, 1 direction

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

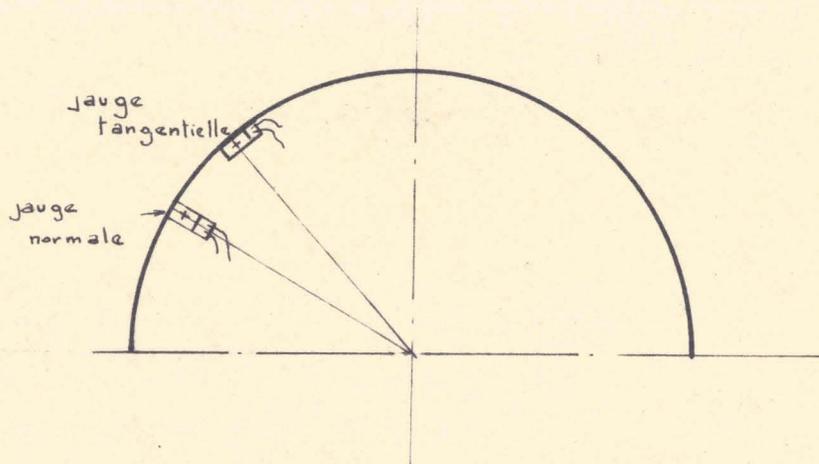
$$K = 1,92$$

Dimensions de la partie active (3 x 3).

1.2 Disposition des jauges :

Les jauges utilisées ont été collées sur l'articulation suivant un rayon et une tangente.

Le point actif se trouve, à 1,5 mm de la zone de contact.



1.3 Pont de mesure :

le même qu'au II ,1^{ère} partie; P 352

1.4 Machine d'essai : (Falcot et Charpentier)

II Mesures et interprétation :

2.1 Principe :

les mesures ont été faites en tournant l'articulation dans 17 positions (X₀ X₁ 1..... 13 X₂ X₃).

Pour chaque position, j'ai appliqué successivement : 5 T, 10 T, 15 T, 20 T, 25 T, et j'ai relevé les mesures correspondantes (voir tableaux p.45) et calculé les $\frac{\Delta l}{l}$

2.2 Tracé de la courbe :

Pour la charge de 25 T, j'ai déterminé pour chaque position, la contrainte σ_y suivant le rayon donné par la formule:

$$\sigma_y = \left(\frac{E}{1-\nu^2} \right) (\epsilon_y + 0,3 \epsilon_x)$$

charge 25T

Positions	X ₀	X ₁	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	X ₂	X ₃
$\epsilon_y + 0,3 \epsilon_x$	-0,8	-2,6	+8	+12,3	-12,2	+22,2	+1,8	-69,7	-130	-51	+2,2	+44	+3	-94,2	-15	+0,7	+4
σ_y N/mm ²	-0,984	-0,63	+1,94	+2,98	-2,95	-5,6	+9,43	-16,9	-31,4	-12,3	+0,53	+1,06	0,72	-22,8	-3,63	+0,17	-0,34

J'ai reporté les valeurs de ces pressions en coordonnées polaires. La ligne joignant ces points m'a donné la courbe de répartition réelle des pressions (voir p.48).

2.3 Vérification de cette répartition :

La somme de pressions réelles obtenues, appliquées au balancier supérieur, doit être égale à la charge considérée. lors des mesures avec les jauges, soit ici 25 T.

Jauge normale

charges

Positions

X₀ X₁ 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 X₂ X₃



Zéros

27679 27679 27680 27683 27685 27692 27698 27712 27760 27805 27840 27808 27810 27816 27819 27819 27822

5T

Mes.

27685 27686 27686 27693 27685 27679 27705 27650 27635 27763 27822 27818 27818 27810 27823 27824 27826

Δ1

+6 +7 +6 +10 0 -13 -18 -62 -125 -42 +12 +10 +8 -6 +4 +5 +4

10T

Mes.

27687 27688 27692 27698 27680 27679 27707 27650 27620 27769 27823 27821 27821 27792 27822 27821 27827

Δ1

+8 19 +12 +15 -5 -13 +9 -62 -130 -46 +13 +13 +11 -24 +3 +2 +5

15T

Mes.

27687 27690 27694 27701 27678 27679 27710 27653 27634 27763 27824 27823 27824 27776 27819 27827 27827

Δ1

+8 +10 +14 +18 -7 -13 +2 -59 -126 -42 +14 +15 +14 -40 0 +8 +5

20T

Mes.

27687 27690 27698 27704 27677 27680 27711 27653 27634 27759 27826 27824 27825 27761 27826 27819 27819

Δ1

+8 +13 +18 +18 -6 -14 +13 -59 -126 -46 +16 +16 +15 -53 +7 +10 +7

25T

Mes.

27687 27690 27699 27701 27677 27682 27713 27654 27637 27761 27826 27825 27828 27741 27822 27823 27825

Δ1

+8 +12 +19 +18 -8 -10 +15 -58 -123 -44 +16 +17 +18 -75 +3 +10 +7

Jauge
Tangentielle

Charges

Positions

X₀ X₁ 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 X₂ X₃



Zéros

26834 26838 26840 26836 26841 26842 26848 26844 26840 26833 26840 26870 26864 26871 26891 26835 2682

5 T

Mes.

26822 26826 26825 26819 26828 26822 26825 26823 26828 26812 26813 26843 26836 26878 26853 26816 26814

Δ₁

-12 -15 -15 -17 -13 -20 -23 -21 -7 -21 -27 -27 -28 +7 -38 -19 -24

10 T

Mes.

26819 26821 26818 26817 26828 26814 26814 26815 26830 26810 26802 26830 26834 26871 26855 26808 26800

Δ₁

-15 -17 -18 -18 -13 -28 -34 -29 -10 -23 -38 -40 -43 0 -38 -27 -28

(9)

15 T

Mes.

26815 26817 26815 26820 26828 26808 26810 26808 26826 26811 26797 26830 26814 26883 26841 26803 26800

Δ₁

-19 -21 -25 -16 -13 -34 -38 -36 -14 -22 -43 -40 -50 +8 -50 -32 -29

20 T

Mes.

26813 26815 26810 26819 26826 26800 26806 26807 26825 26805 26794 26824 26813 26809 26833 26803 26800

Δ₁

-21 -23 -30 -17 -15 -42 -42 -37 -15 -24 -46 -41 -51 -62 -38 -32 -29

25 T

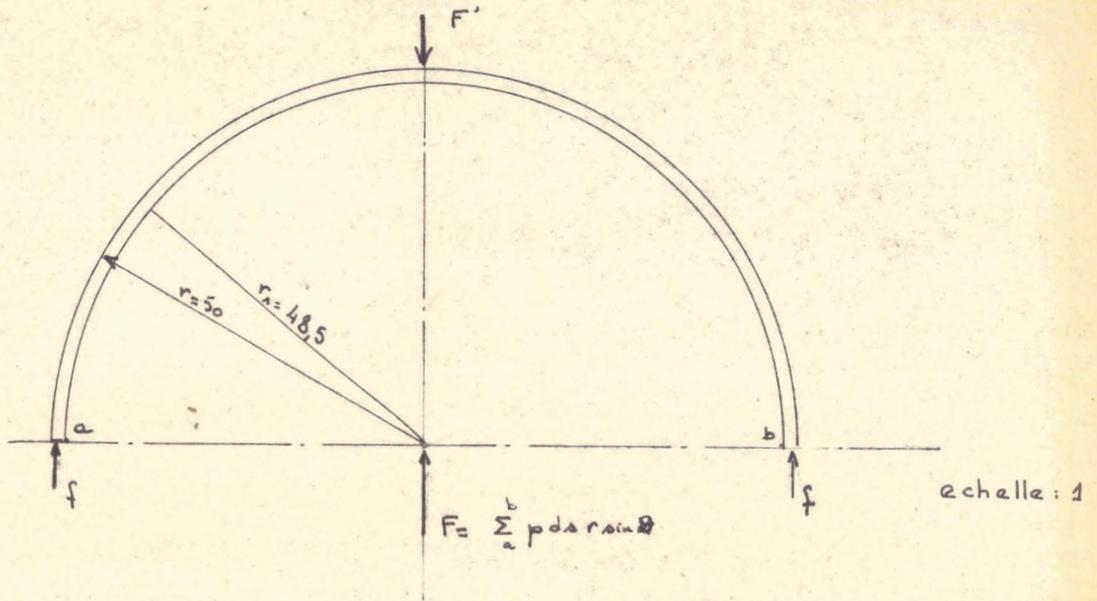
Mes.

26810 26810 26803 26817 26825 26758 26804 26805 26817 26810 26794 26822 26814 26807 26830 26804 26800

Δ₁

-24 -28 -37 -19 -14 -44 -44 -39 -23 -23 -46 -42 -50 -64 -61 -31 -28

Ce qui revient à isoler l'articulation comme suit :



J'ai écrit que la somme des projections des pressions sur l'axe vertical est égale à F . (voir p 49)

Le planimétrage de la courbe, projection de $P/oy = \int p da r \sin \theta$ m'a donné 2400 mm^2 .

$$1 \text{ mm}^2 \quad 10/30 \text{ N/mm}^2$$

Charge totale projetée :

$$2400 \times \frac{10}{30} \times 22\phi = 1,76 \cdot 10^5 \text{ N soit } 17,6 \text{ T.}$$

longueur de l'articulation

La charge appliquée est de 25 T. Cette différence est due :

- au fait que les mesures ne sont pas effectuées exactement sur la zone de contact donc à F , il faut ajouter $2f$.

$$f = 2 \text{ e x p}$$

en supposant la charge de 25 T uniformément répartie.

$$f = 750 \text{ kg} \quad F' = F + 2f = 18,35 \text{ T.}$$

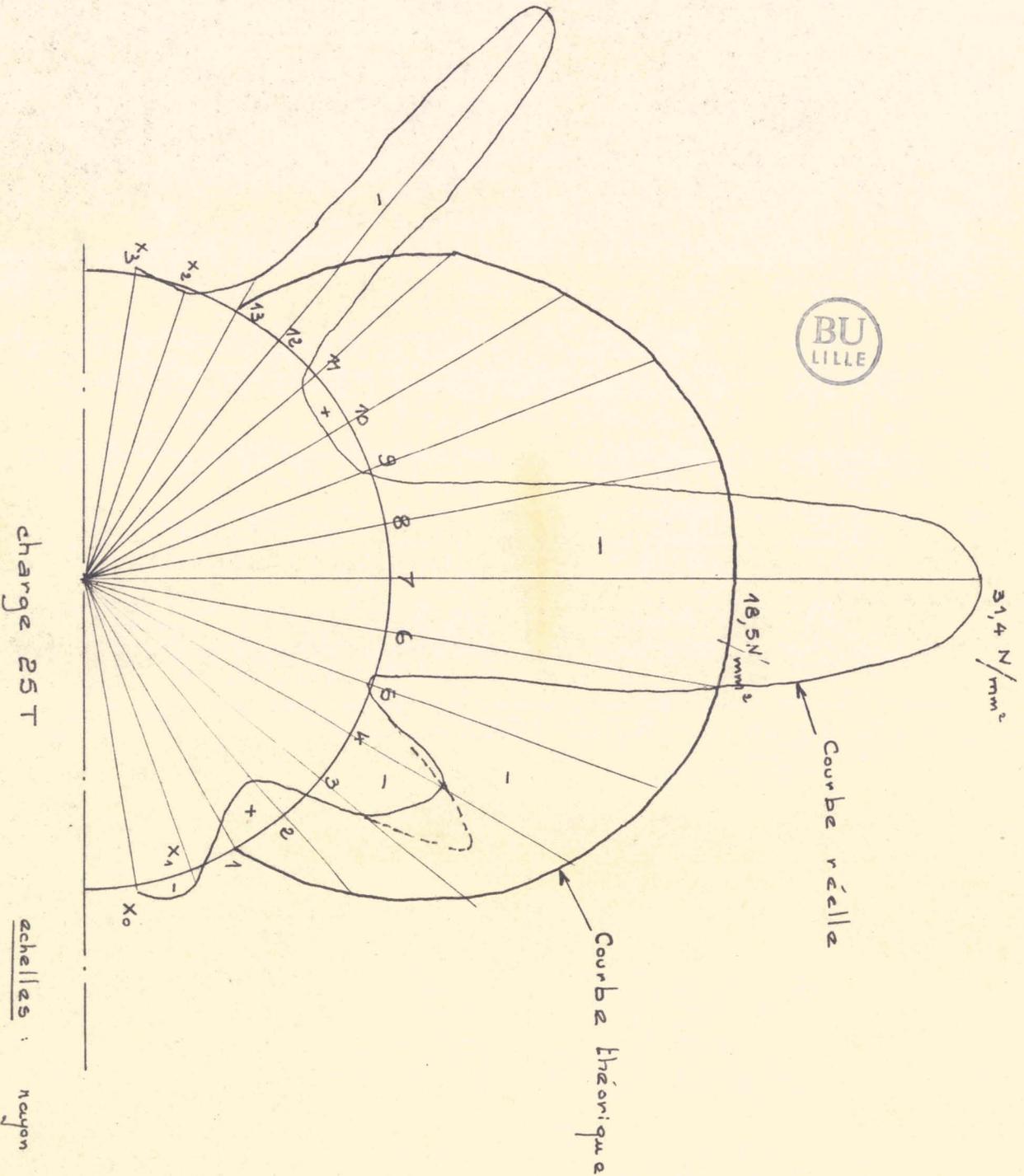
- au fait que la courbe obtenue doit représenter des variations entre les points de mesure (voir p 48).

En pointillé, j'ai tracé ces incertitudes.

- au fait que la répartition dans le sens longitudinal ne doit pas être uniforme.

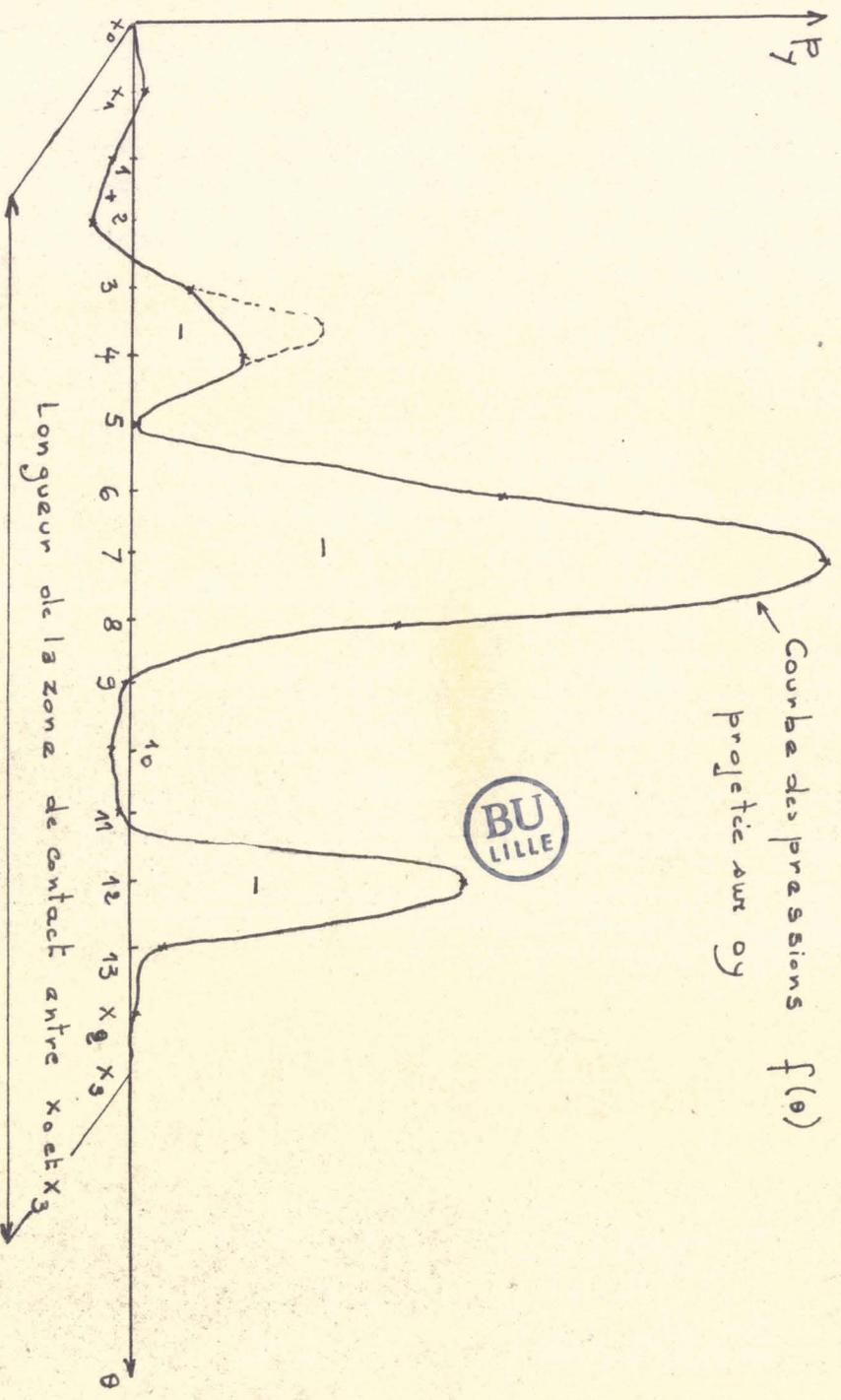
COURBE des PRESSIONS

Comparaison avec la courbe théorique.



échelles : rayon 4cm pour 4cm
 pressions 3cm pour 10 N/mm²

Vérification de la charge par la sommation des pressions
obtenues par les mesures.



échelles : longueur 1cm pour 1cm
pressions 3cm pour 10N/mm²

III Conclusion :

Il a été montré, au cours de cette étude :

- que la courbe réelle de répartition des pressions ne présente pas de symétrie.
- que la formule théorique de départ a permis la coïncidence du calcul de la contrainte et sa vérification par les mesures, à l'aide de jauges dans la section 1.2.
- que l'hypothèse des pressions nulles, aux positions 1 et 13, est acceptable aux erreurs de mesure près.

L'explication de l'apparition des points de pressions, ne peut être donnée par cette étude, toutefois, j'admets les hypothèses suivantes :

- la qualité de l'usinage de l'articulation et du balancier doit modifier très certainement la répartition.
- la photoélasticité me donnant seulement une symétrie points, me laisse penser que le mode d'application de la charge peut apporter des modifications.

Remarque :

Sur la machine d'essai de L'E.N.S.A.M, les 2 mors sont montés sur rotule, d'où la difficulté d'obtenir une charge dans l'axe de la pièce, malgré les précautions prises.

- la déformation du cylindre peut se faire suivant une courbe elliptique.

En tenant compte de ces hypothèses, il serait souhaitable de poursuivre cette étude, ce qui aurait dépassé l'objet de ce mémoire.

Je fais remarquer, que l'étude aurait été facilitée, en commençant les essais par ceux de photoélasticité, et en précisant les points intéressants par des mesures à l'aide des jauges.

-:-:-:-:-

- PLANCHE 1 -

Figure 1

La maquette, échelle grandeur

Figure 2

La machine d'essai de L'E N S A M

Figure 3

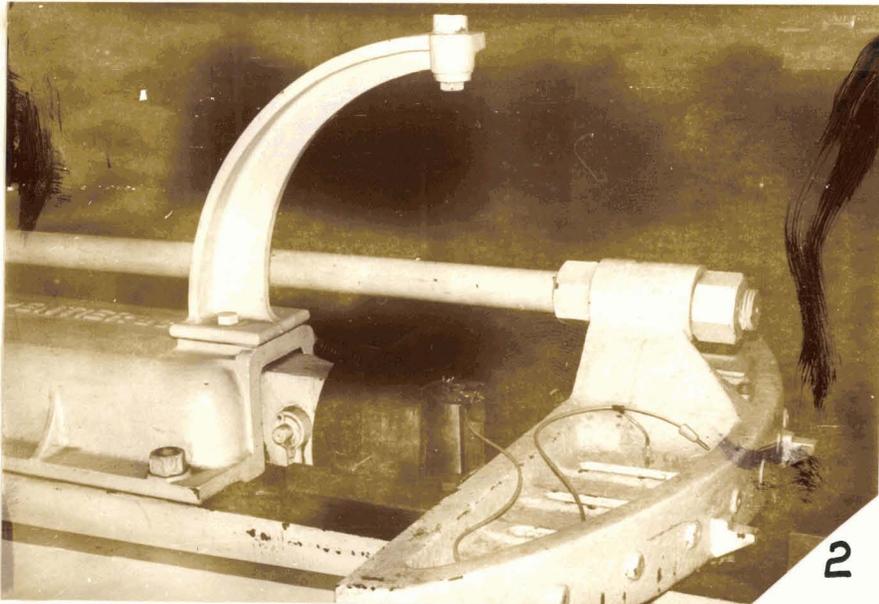
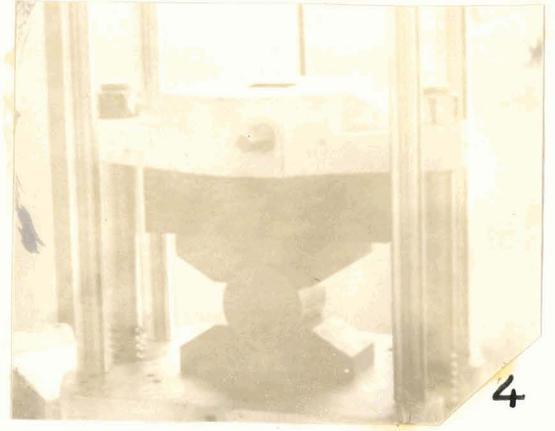
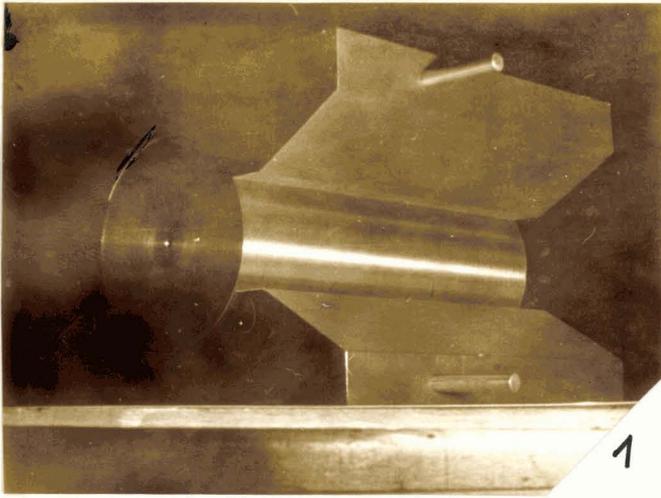
Le pont de mesure P 352

Figure 4

La machine d'essai de L'E.N.P.d'Armentières

-:-:-:-:-

Planche 1



- PLANCHE 2 -

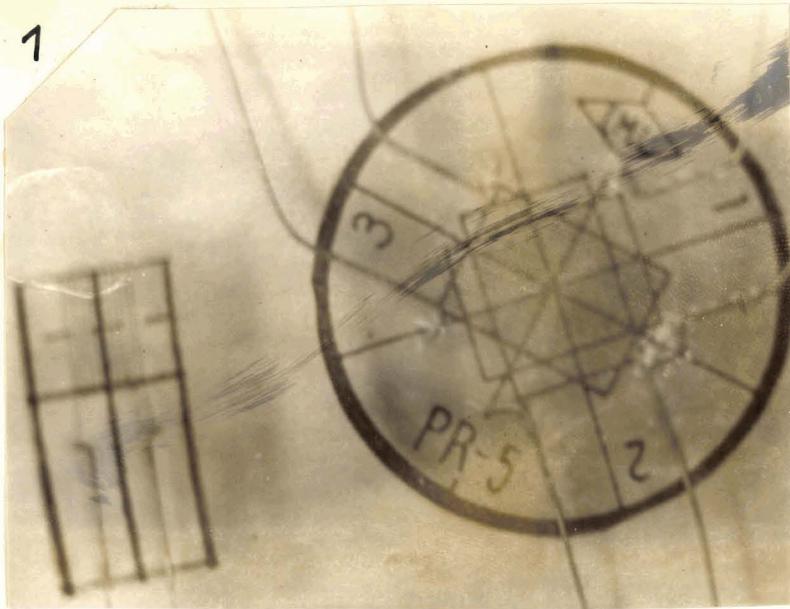
Figure 1 Jauges de contraintes : type PR 5 (3 directions)

Figure 2 Disposition des 3 jauges PR 5 (I, III, V) sur
l'articulation

Figure 3 Polariscope du laboratoire de Mécanique de
L'E N S A M de Lille

-:~::~:~::~:~::~:~::~:~::~:-

1



2



3

- PLANCHE 3 -

Figure 1 Isocline 0°

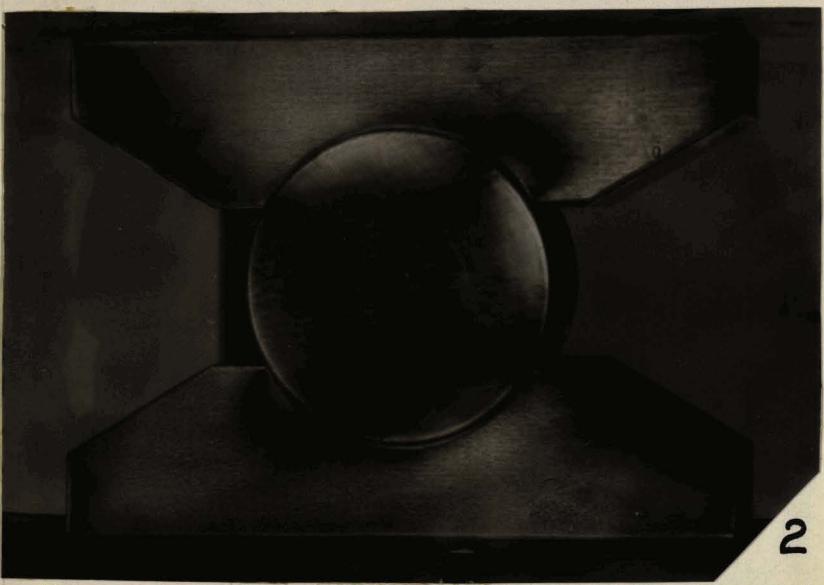
Figure 2 Isocline 30°

Figure 3 Isocline 60°

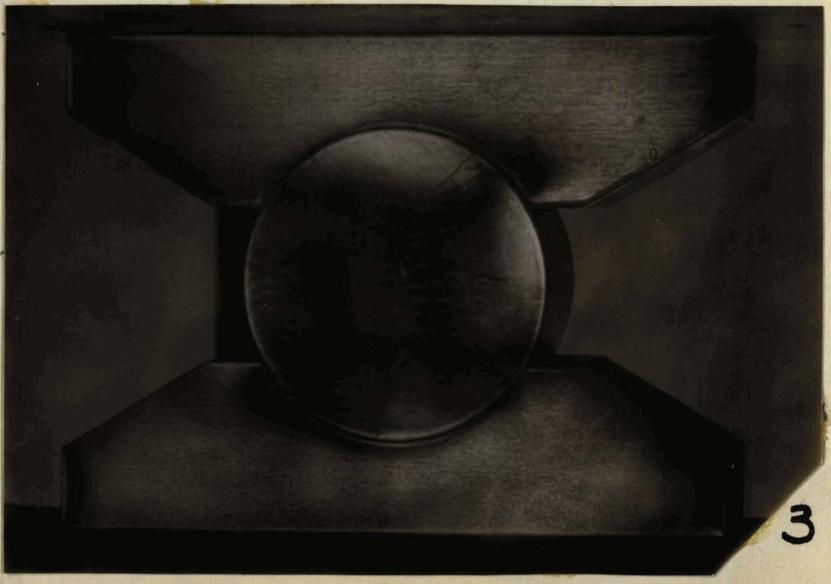
-:~::~:~::~:~::~:~::~:-



1



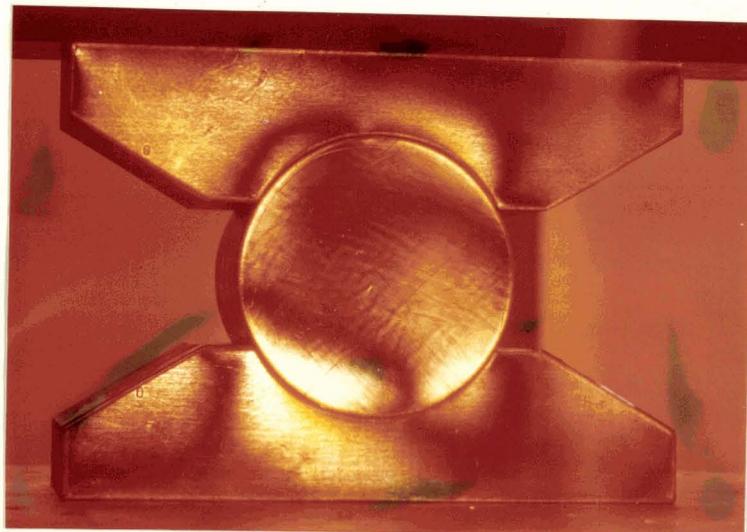
2



3

- PLANCHE 4 -

L'Isocline 90°



Deuxième question :

Application des formules de Bresse aux
calculs des pontiques sur deux rotules dénivellées.