

Ecole Polytechnique de Thiès

Département de : Génie Mécanique

MAI - 80

ETUDE DE LA
RESISTANCE DE LA
HAMPE DE LA KORA
TYPE KEUR MOUSSA

Par Seydina Alioune DIA

sous la direction de DINH VO NGOC.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de cette étude, par leurs conseils et suggestions voire par leur participation directe aux expériences, leur aide matérielle. Il s'agit de :

- M^r Dinh, notre directeur de projet qui a été un exemple dans le travail
- M^r Marois, qui a été un véritable co-équipier lors des expériences et qui a procédé à la réalisation pratique des montages expérimentaux.
- M^r Bertrand pour sa disponibilité lors des diverses modifications sur les montages
- M^r Deslaurier pour l'ordinateur
- M^r Lupien pour ses précieuses suggestions.
- le Monastère de Keur Moussa qui a fourni le matériel expérimental.

SOMMAIRE

On a fait une étude expérimentale en vue de déterminer la résistance à la rupture de la hampe de la Kora type Keur Moussa.

Les résultats montrent qu'il est nécessaire d'utiliser les sections "Haute Résistance" qui assurent une plus longue durée aux hampes.

TABLE des MATIERES

	Pages
Introduction	1
I. Etude théorique	
I.1 - Hypothèses	4
I.2 - Calculs de M_p , V_t et σ	6
II. Etude expérimentale	
II.1. Principe du montage de Keur Moussa	11
II.2. Essai préliminaire	12
II.3. Critique du montage	13
II.4. Description et principe du montage proposé	17
II.5. Essai préliminaire	19
II.6. Montage de mesure de flèches	20
III. Résultats et Discussions	
III.1. Discussion sur le matériau	
III.2. Discussion sur la nature de section	} 21
III.3. Discussion sur la section	22
III.4. Discussion sur la répartition des résultats	23

III.5. Discussion sur l'humidité	24
III.6. Discussion sur les flèches mesurées et théoriques	25
III.7. Discussion avec les normes de Construction Canadiennes	26
III.8. Discussion sur la concentration de contraintes	28
III.9. Discussion sur le fluage	29
III.10. Discussion sur le renfort en fer	31
CONCLUSION	32

ANNEXES

A-1. Calcul des réactions R_A , R_B et du moment M_f	33
A-2. Illustration de la méthode de la charge unitaire	35
A-3. Calcul des quatre conditions de chargement	37
A-4. Calcul des moments d'inertie	42
A-5. Calcul de la capacité du câble	44
TABLEAUX	45 à 55
FIGURES	56 à 72
REFERENCES	73.

Nomenclature

- X, Y : longueurs, cm.
- \bar{x} : position du centre de gravité, cm.
- V_T : effort tranchant, kgf.
- M_f : moment fléchissant, kgf-cm.
- δ_x : deflexion à la distance x , cm. (ou Δ).
- F_i : effort dans la corde numéro i , kgf.
- F_H : résultante horizontale des efforts dans les cordes, kgf.
- F_V : " - " verticale " - " - " - , kgf.
- R_A : réaction à l'appui A, kgf.
- α, β, γ : angles en degré.
- T : tension dans le cable, kgf.
- E : module d'élasticité, kgf/cm².
- I : moment d'inertie, cm⁴.
- Z : module de section, cm³.
- P_{cr} : charge critique d'Euler, kgf.
- M_{max} : moment maximal (à la rupture), kgf-cm

[3] référence N° 3

[T9] tableau N° 9

[fig 5] figure N° 5

LISTE DES FIGURES

	Pages
FIG 1 - Diagrammes de charge, V_f et M_f	56
FIG 2 - Schéma du montage expérimental de Keur Moussa	57
FIG 2b - effort sur la kora	58
FIG 3 - Schéma du montage expérimental proposé	59
FIG 4 Courbes pour le Caïl Circ. Contre Collé	60
FIG 5 " - " - " - Caïl. Circ. Monobloc	61
FIG 6 " - " - " - Vène Circ. Monobloc	62
FIG 7 " - " - " - Vène Ellipt. Mono "Actuel"	63
FIG 8 " - " - " - Caïl. Ellipt. C.C "Actuel"	64
FIG 9 " - " - " - Caïl. Ellipt. Mono "Actuel"	65
FIG 10 " - " - " Caïl Circ C.C (hampe)	66
FIG 11 " - " - " Caïl Ellipt. C.C "Actuel" (hampe)	67
FIG 12 " - " - " Vène Ellipt. C.C. "Fort"	68
FIG 13 " - " - " Vène Ellipt. C.C. "H.R"	69
FIG 14 Courbes de comparaison Vène - Caïl cédant (Monobloc)	70
FIG 15 " - " - " Monobloc - C.C. (caïl cédant)	71
FIG 16 Courbes de flèches mesurées sur Koras en usage	72

C.C : contre collé.

INTRODUCTION.

Il peut apparaître paradoxal voire ridicule pour le néophyte non averti ou le profane, de mener des études sur la Kora, dans une école d'ingénieurs.

N'est-ce pas là un simple instrument de musique millénaire qui de Diali Madi Oulé, le premier qui l'a reçu des diables d'après la légende, à Soundioulou CissoKo, l'actuel virtuose en la matière, a su égayer ou émouvoir, bercer ou enhardir les guerriers par la magie des sons qui s'échappent des cordes au contact de doigts initiés ?

On a eu raison de crier "sacrilège !" en voyant des hommes s'attaquer à coups d'équations d'équilibre, de formules de vibrations et d'acoustique au corps et à l'âme de la Kora. Et quand on sait qu'il aura fallu briser impudemment plusieurs dizaines de hampes pour mener l'étude à terme, le scandale est dépassé.

Cependant violer la Kora permettra de mieux la comprendre dans ses divers organes, d'agir sur ses derniers afin de l'améliorer.

Cette étude a été entreprise à la demande des religieux de Keur Moussa. Elle constitue en fait la suite d'un projet déjà étudié l'année dernière par un étudiant de l'E.P.T, M^r Diakhaté.

On sait qu'un atelier de Keur Moussa est spécialisé dans la fabrication de Koras. Celles-ci sont largement vendues à l'intérieur du pays, aussi bien qu'à l'étranger. Avec l'augmentation accrue de la demande, il a fallu mettre sur pied progressivement des techniques et procédés de fabrication très élaborés pour offrir aux amateurs et aux professionnels des Koras plus résistantes et ayant une meilleure résonance.

De plus, l'atelier se propose de mettre sur pied divers types de Koras (basse, concert...), ce qui entraîne l'utilisation de cordes de gros diamètres par rapport à celles qui étaient employées jusqu'ici. Il s'agit donc de déterminer, pour chaque type de Kora, les caractéristiques de la hampe qui supportera le mieux les efforts induits par les cordes.

La présente étude peut se subdiviser en deux parties:

1. Vérifier (et modifier s'il y a lieu) si le

montage expérimental existant (fourni par l'atelier de Keur Moussa) correspond bien aux conditions de chargement réel de la Kora,

2. déterminer expérimentalement la limite de rupture pour divers types de rampes (sections circulaires, ellipsoïdales contre collées ou non) et différents bois.

Chapitre I

ETUDE THEORIQUE

I-1 Hypothèses

Il a été nécessaire d'élaborer certaines hypothèses simplificatrices afin de conformer l'étude aux résultats théoriques existants. On sait que les formules fondamentales de la flexion et de l'effort tranchant dans les poutres sont établies pour les poutres droites ayant un plan de symétrie passant par l'axe longitudinal. celles-ci seront soumises d'autre part à des forces agissant dans ce plan de symétrie, de telle manière que la déformation de la poutre se fasse dans le plan de symétrie. La déformation de la ligne moyenne de la poutre se fait dans ce plan de symétrie. On considère aussi un matériau isotrope dans le domaine élastique. On aboutit ainsi à l'hypothèse de base dite hypothèse de Bernoulli qui s'énonce :

Toute section droite de la poutre reste plane au cours de la flexion et normale à la déformée de la ligne moyenne.

On a donc assumé que le bois est un matériau homogène. Les hypothèses sur les cordes permettent d'obtenir aisément une résultante des efforts agissant dans le plan de symétrie.

Hypothèses simplificatrices.

En résumé on considère que :

- le bois est homogène.
- la lame neutre est plane et passe par le plan symétrique de la section transversale dans la région critique.
- la hampe est rectiligne.

Et en ce qui concerne le chargement :

- les cordes sont parallèles entre elles.
- les cordes, dans chaque rangée située de part et d'autre de la hampe sont dans un plan perpendiculaire à la hampe. les deux rangées de cordes sont donc parallèles entre elles et au plan de symétrie de la Kora.
- le poids des éléments en bois est négligeable.

I-2 - Calculs de V, M et σ .

I 2.1 - localisation de la résultante des efforts de flexion dans les cordes.



les mesures des longueurs ont été effectuées sur une Kora prise comme référence [KM 259]

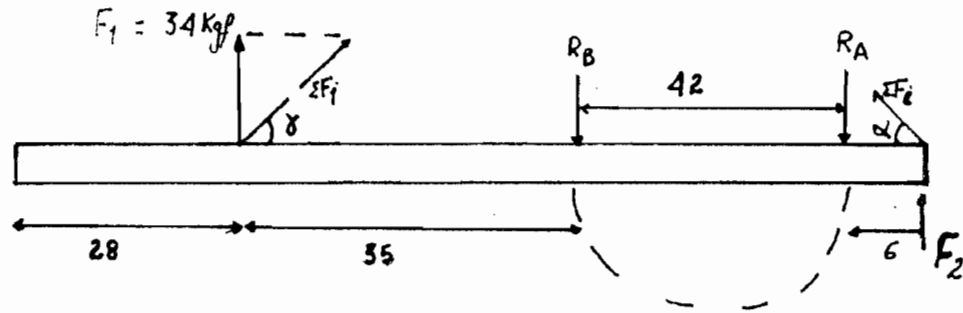
$$\bar{X} = \frac{\sum F_i x_i}{\sum F_i} = \frac{1027}{33,45} = 30,73 \text{ cm}$$

la résultante, corrigée à 34 Kgf se situe à 28 cm de la première corde puisqu'on a 3 cm entre 0 et la première corde.

I 2.2 - diagrammes de l'effort tranchant, V et du moment fléchissant, M.

D'après les calculs et les diagrammes en annexe [A1] on trouve que la section critique se trouve à l'entrée de la cale basse, à un point située à 85 cm de la première corde, sur la Kora de référence. (KM 259) ~~574~~]
le moment maximum a été trouvé égal à 1914 Kgf-cm.

I-23. Calculs préliminaires pour l'établissement des diagrammes V et M.



$$\left. \begin{array}{l} F_1 = \sin \gamma \Sigma F_i \\ F_2 = \sin \alpha \Sigma F_i \end{array} \right\} F_2 = \frac{F_1 \sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{34}{\sin 11,5^\circ} \times \sin 18,43^\circ = 53 \text{ kgf}$$

$$\Sigma F_Y = 0 \quad R_A + R_B = 53 + 34 = 87 \text{ kgf}$$

$$\left(\Sigma M_A = 0 \quad 99 \times 34 - 42 R_B - 6 \times 53 = 0 \right.$$

$$\rightarrow R_B = \frac{99 \times 34 - 6 \times 53}{42} \approx 71 \text{ kgf}$$

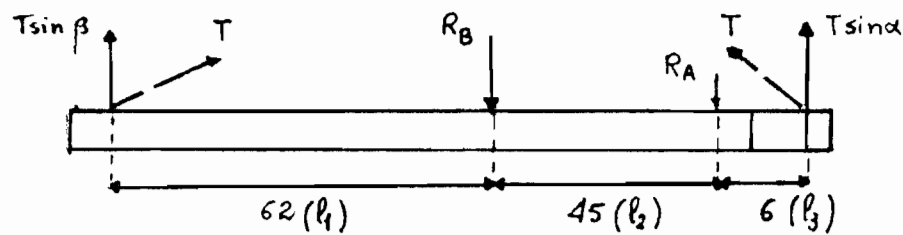
$$\rightarrow R_A = 15 \text{ kgf}$$

Note. les angles γ et α ont été trouvés par mesure sur la Kora de référence.

Ainsi, avec les réactions R_A et R_B trouvées, les diagrammes V et M ont été tracés, en assumant une répartition quasi uniforme des efforts dans les cordes (droite pour V et parabole pour M).

I2.4. Calculs des flèches en fonction de la distance x : $\delta = f(T, x)$.

Ces calculs sont basés évidemment sur le montage proposé. Pour la configuration du chargement montré ci-dessous



avec $\alpha = 16.35^\circ$ et $\beta = 5.68^\circ$ et T étant la tension dans le câble, on arrive aux résultats suivants

Pour $x \leq 62$ cm : ou bien $x \leq l_1$

Moment $M_f = x T \sin \beta$

flèche
$$\delta = \frac{T}{EI} \left[\frac{x^3}{3} \left(1 - \frac{x}{L}\right) \sin \beta + \frac{l_3^3}{3} \frac{x}{L} \sin \alpha + \right.$$

$$\left. \left(1 - \frac{x}{L}\right) \left(2x^2 + 2x l_1 + 2l_1^2\right) \left(\frac{l_1 - x}{6}\right) \sin \beta + \frac{x}{L} \left[3l_1^2 + 2l_1 l_2\right] \sin \beta + \left[3l_3^2 + l_2 l_3\right] \sin \alpha \right] \frac{l_2}{6} \left. \right] - \left[\alpha L = l_1 + l_2 + l_3 \right]$$

Pour $62 < x < 107$ cm : ou bien $l_1 < x \leq l_1 + l_2$

Moment $M_f = x T \sin \beta - R_B (x - 62)$

Flèche

$$\delta = \frac{T}{EI} \left[\frac{l_3^3}{3} \sin \alpha \left(1 - \frac{y}{L}\right) + \frac{l_1^3}{3} \sin \beta \left(\frac{y}{L}\right) + \frac{y - l_3}{6} \left(1 - \frac{y}{L}\right) \left[2l_1^2 - \right. \right.$$

$$\left. \left(R_B l_3 - 2l_1 \sin \alpha \right) y + 2l_1^2 \left(\sin \alpha \right) - R_B l_3^2 \right] + \left[l_1 y \left(\sin \beta \right) + 2y^2 \left(\sin \alpha \right) + 2R_B y^2 - R_B y l_3 + 2l_1 \sin \beta \left(l_2 + l_3 \right) + y \sin \alpha \left(l_2 + l_3 \right) - R_B l_2 l_3 - R_B l_3^2 \right] \left(1 - \frac{y}{L}\right) \frac{l_2 + l_3 - y}{6} \left. \right]$$

Pour $107 < x \leq 113$ ou bien $l_1 + l_2 < x \leq L$

Moment:

$$M_f = T \sin \alpha (113 - x) = y T \sin \alpha$$

Flèche:

$$\delta = \frac{T}{EI} \left[\frac{y^3}{3} \sin \alpha \left(1 - \frac{y}{L}\right) + \frac{l_1^2}{3} \sin \beta \left(\frac{y}{L}\right) + \frac{l_2 - y}{6} \left(1 - \frac{y}{L}\right) \right. \\ \left. [2y^2 + 2l_2 y + 2l_2^2] + [3l_1 l_2 \sin \beta + 3l_2^2 \sin \alpha + 3l_1 l_2 \sin \beta + 2l_2 l_3 \sin \alpha] \frac{(L - y)}{6L} \right]$$

Notes: - les calculs détaillés des flèches se trouvent en annexe A-2.
 - Les équations de flèches ont été établies par la méthode de la charge unitaire. Elles apparaissent assez fastidieuses, on se contentera de les considérer pour des curiosités mathématiques. Ce qui nous intéresse en effet, c'est la flèche maximale, c'est à dire la flèche en B.

En posant dans l'équation :

$$l_1 = 62 \text{ cm} \quad l_2 = 45 \text{ cm} \quad l_3 = 6 \text{ cm} \quad L = 113 \text{ cm} \text{ et}$$

pour $x = 62 \text{ cm}$, on trouve

$$\delta_{\max} = \frac{6718 T}{EI}$$

pour la Kora de référence.

Pour des hampes de longueur différente et pour des diamètres de calabasses différents, il s'agira de remplacer l_1 l_2 l_3 L x par leurs valeurs respectives.

En résumé donc on aura :

Flèche Maximale

$$J_{\max} = \frac{T}{EI} \left[\frac{l_1^3}{3} \left(1 - \frac{l_1}{L}\right) + \frac{l_3^3}{3} \left(\frac{l_1}{L} \sin \alpha\right) + \left[\frac{l_1^2 \sin \beta}{L} (3l_1 + 2l_2) + (3l_1^2 + l_2 l_3) \sin \alpha \right] \frac{l_2}{6} \right] \quad (\text{en cm})$$

Moment Maximal

$$M_{\max} = l_1 T \sin \beta \quad (\text{en Kgf-cm})$$

On rappelle que pour chaque Kora

l_1 : distance entre l'attache de la 1^{ère} corde et l'entrée de la calebasse

l_2 : diamètre de la calebasse

l_3 : distance entre la sortie de la calebasse et le "cordier".

[4]

$$L = l_1 + l_2 + l_3$$

β : angle moyen des cordes.

Chapitre II.

. ETUDE EXPERIMENTALE .

II.1 - Principe du montage de Keur Moussa.

l'appareil à éprouver les hampes comprend :

- un socle chassis
- un répartiteur de pression avec sa glissière
- un bras de levier et son axe
- deux cales de montage
- deux manchons complets.

la figure 2 en annexe montre l'analogie entre la Kora néelle et le montage expérimental de Keur Moussa.

- Principe:

le bras de levier est pivoté en position d'opération (voir schéma 2.1); des masses marquées sont accrochées à son extrémité jusqu'à rupture de la hampe placée sur le socle, maintenue à ses extrémités par les cales et sur laquelle repose le répartiteur de pression.

Le moment de rupture ainsi obtenu peut être traduit en une force s'appliquant directement sur le centre du répartiteur.

II-2. Essai préliminaire avec le montage de Keur Moussa.

Cet essai a été réalisé dans le but de vérifier le fonctionnement du montage et aussi pour avoir une idée sur l'ordre de grandeur des forces mises en jeu. On s'est servi d'une éprouvette circulaire monobloc en saillie d'acier

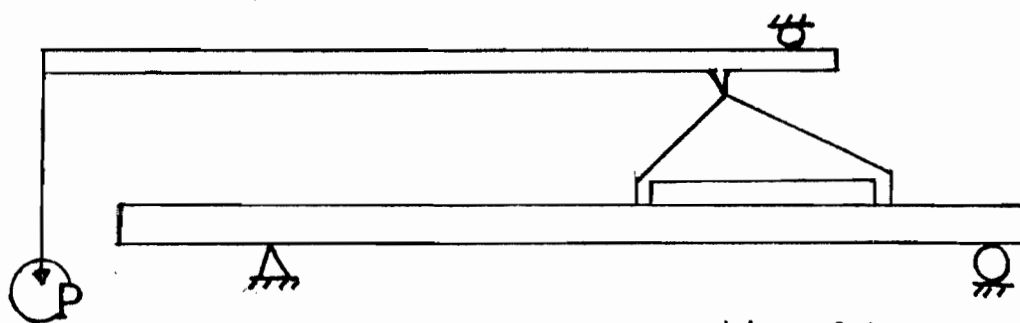


schéma 2.1

On a trouvé $P = 48 \text{ kgf}$.

Cette force rapportée à l'appui du répartiteur donne une force F_s telle que :

$F_s \times 10 = P \times 150$, en prenant l'équilibre des moments par rapport à l'axe 0.

$$\text{Donc } F_s = \frac{48 \times 150}{10} = 720 \text{ kgf}$$

charge nécessaire pour la rupture de l'éprouvette

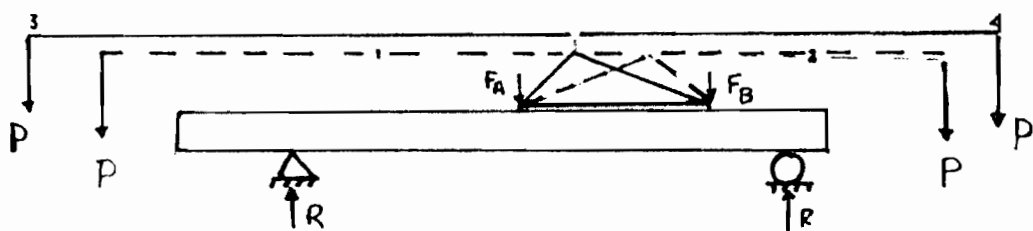
II.3 - Critique du montage de Keur Moussa.

L'étude critique se fera à deux niveaux :

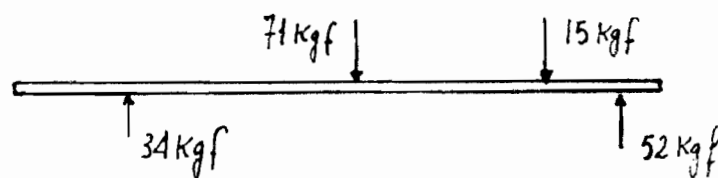
- critique du montage du point de vue purement mécanique
- la non prise en considération de la torsion et de la compression dans le montage.

II.3.1 - Critique du point de vue mécanique.

On se propose d'étudier ici la répartition des charges et les réactions qui en résultent; ceci pour chacune des positions du répartiteur de pression, chaque position étant associée à deux possibilités du chargement externe. Il s'agira de voir la condition qui correspond au chargement réel de la Kora.



Les quatre conditions de chargement possibles du montage



Le chargement réel de la Kora (de référence) page 7.

Pour les calculs en annexe on suppose une force $P = 25 \text{ kgf}$ et un bras de levier de 150 cm . [A-3]

Le poids du répartiteur $F_R = 5,6 \text{ kgf}$ s'applique en son milieu (approximation).

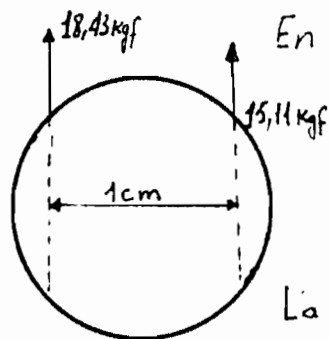
D'après les calculs faits, on trouve que le montage qui décrit la situation réelle correspond à la condition (1) sur le schéma.

Or le montage initialement reçu correspondait au cas (4).

II-3-2 - Evaluation des contraintes dues à la torsion et à la compression.

Le montage de Keur Moussa, tel que conçu ne permet que des efforts de flexion dans l'éprouvette. On sait que l'étude théorique préliminaire a révélé l'existence de contraintes de torsion et de compression dans la hampe. Il s'agit d'étudier l'influence de leur non prise en considération. voir [1]

- Torsion:



En vue latérale de la hampe chargée on a:

le moment de torsion maximal sera:

$$M_t = (18,43 - 15,11) \times 1 = 3,23 \text{ kgf-cm}$$

La torsion a donc une influence négligeable.

- Compression:

Pour notre Kora modèle, la longueur utile sous compression est 113 cm,

Le calcul théorique avait montré que l'effort horizontal sur la hampe est $F_H = 164 \text{ Kg}$, ce qui est considérable comparé aux autres forces en jeu.

Nous étudierons ici essentiellement la charge d'Euler critique et le flambage ainsi que la contrainte limite admissible en compression.

La charge critique d'Euler s'écrit :

$$P_{cr} = \pi^2 \frac{EI}{L^2} \quad [2]$$

E : Kg/cm^2 valeur lue au tableau [T1]

I : moment d'inertie calculé en annexe A.4 (cm^4)

L : longueur de la poutre (cm)

La Kora de référence est en vène contre colle "Actuel"

$$E = 142000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$I = 14,80 \text{ cm}^4$$

$$P_{cr} = \pi^2 \frac{142 \times 14,8 \cdot 10^3}{(113)^2} = 1624 \text{ Kg}$$

$$\text{Soit } P_{cr} \approx 10 F_H.$$

On est donc loin de la charge critique. Cependant vu la grandeur de F_H , la compression influera sur les flèches lors des essais par la loi dite de "P Δ ". En effet une petite flèche initiale entraîne l'excentrement de la force de compression qui crée un moment $M_c = P\Delta$, qui s'ajoute au moment de flexion pour créer une autre deflexion et ainsi de suite.

Puisqu'on a des efforts combinés flexion-compression l'équation de stabilité pour les contraintes s'écrit :

$$\frac{P/A}{\sigma} + \frac{M/S}{f} \leq 1 \quad [3]$$

A : aire de la section (cm^2) (calculé en annexe A.4)

P : charge de compression (Kgf)

M : moment de flexion (Kgf-cm) (diagramme [Fig 4])

S : module de section I/c (cm^3) (calculé en annexe A4)

σ : Contrainte admissible en compression seulement Kgf/cm²

f : contrainte admissible en flexion seulement Kgf/cm²

On obtient

$$\frac{164/14,56}{766} + \frac{1914 \times 2,25}{14,79 \times 1789} =$$

$$0,014 + 0,16 = 0,17 < 1$$

les valeurs de σ et f sont tirées du tableau [T1].

On voit que la condition de stabilité est respectée.

II.3.3 - Conclusion.

On peut dire que le montage de Keur Moussa présente certains inconvénients qui font que son utilisation risque de ne pas représenter la situation réelle de chargement de la Kora. surtout en ce qui concerne l'influence de la compression.

De plus il présente un encombrement certain pour le manipulateur (bras de levier grand et lourd, masses marquées encombrantes.)

Nous avons donc proposé un autre montage qui réponde mieux à la réalité et de maniement plus aisé.

II-4. Description et principe du montage proposé.

Donc, pour tenir compte des efforts de compression non négligeables on a proposé un montage qui se rapproche mieux des conditions de chargement réel de la Kora.

Les cordes sur la Kora sont remplacées par un câble unique de calibre calculée qui va supporter toute la tension résultante. Le câble est attaché de part et d'autre à un manchon. La position du premier manchon correspond au point d'application de la résultante.

te de toutes les tensions individuelles dans les cordes. Le deuxième manchon est placé tel que l'attache du câble correspond au point où se rattachent toutes les cordes sur la Kora, point que nous avons appelé "cordier" par analogie avec le violon.

La tension est créée à l'aide de deux tourillons placés sur le câble et les charges en jeu sont lues sur un anneau dynamométrique étalonné, en série sur le câble.

Un trou aménagé sur le socle châssis, en correspondance avec le point de moment maximum, permet la lecture de la flèche maximale à l'aide d'un pied à coulisse introduit par ce trou.

La figure [3] en annexe montre ce montage ainsi qu'un détail sur l'éprouvette.

On trouvera également en annexe le calcul de la capacité du câble utilisé. [A5]

II-5. Essai préliminaire sur le montage proposé-

Cet essai a été fait dans le même but que le précédent; et pour ce faire on a utilisé une éprouvette de même nature. (éprouvette circulaire monobloc en caillé-drat).

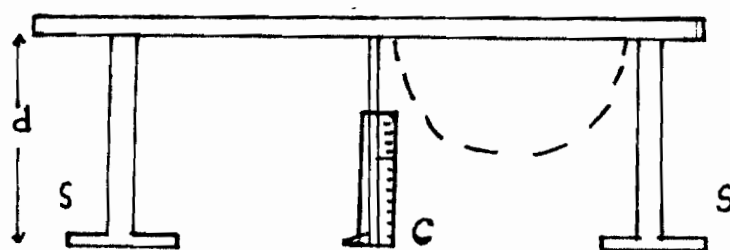
L'anneau dynamométrique a indiqué une force de tension de 440 Kgf, charge à la rupture.

En comparant ce résultat avec celui obtenu avec le montage de Keur Moussa qui est de 720 Kgf, on se rend compte que ce dernier est presque le double de celui donné par le montage proposé.

Ceci est dû au fait que dans le montage de Keur Moussa, la rupture intervient par flexion pure, alors que dans le second cas on a combinaison d'efforts de flexion et de compression. Comme prévu, la compression induit un moment de flexion additionnel entraînant une rupture plus rapide.

II.6 - Montage de mesure de flèches .

Le but de ce montage est de déterminer, par mesure directe, la flèche maximale sur les hampes de plusieurs Koras déjà existantes et ayant différents âges. Il s'agira ensuite de tracer les courbes de la flèche versus la durée de vie pour les divers types de hampes (bois utilisé, section). Les courbes serviront à évaluer la cassure prochaine (c'est à dire la vie restante) uniquement en fonction de la flèche.



Montage de mesures de flèches

(hampe rectiligne sur le dessin)

S: supports de la Kora

C: pied à coulisse (mesure une distance x)

$$\text{flèche} = d - x$$

Chapitre III

RESULTATS ET DISCUSSIONS.

Dans cette troisième partie, on se propose de présenter les résultats expérimentaux afin de les commenter et les discuter, les comparer aux résultats prévus par la théorie.

Les tableaux [T2 à T4] présentent les flèches maximales obtenues en fonction de la charge et donc du moment appliqué. Les résultats sont également présentés sous forme de courbes, [figures 4 à 13]

III-1. Discussion sur le matériau.

Le tableau [T1] montre que pour les caractéristiques physiques et mécaniques fondamentales, le vène présente de meilleures propriétés. Par exemple le rapport du module d'élasticité du vène sur celui du caillécdrat est de l'ordre de 15.

Nos résultats expérimentaux confirment ce fait et la figure [14] regroupant les résultats pour les deux matériaux montre que quelle que soit la section le vène résiste près de deux fois plus que le caillécdrat.

III-2. Discussion sur la nature de la section.

Les sections contre-collées devraient en principe améliorer la résistance de l'éprouvette (et de la hampe). Mais on se rend

compte que les résultats expérimentaux pour ces éprouvettes révèlent des fluctuations extraordinaires pour une même classe. Ainsi pour la classe "Cailcédrat contre colle Actuel" la rupture de l'éprouvette n°11 se produit pour une charge deux fois plus grande que celle de rupture de l'éprouvette n°12 et la flèche dans le premier cas est une fois et demi plus élevée (flèche mesurée juste avant rupture). [T6]

Le fait est beaucoup plus net sur les graphes où on note une grande irrégularité sur les courbes; les sections monobloc sont beaucoup plus régulières.

Il semble cependant que pour les grandes sections "Fort" et "HR", les défauts de contre collage soient inexistant pour les éprouvettes utilisées. [figs 12-13]

III.3 - Discussion sur la section.

Les sections elliptiques, quels que soient le matériau et la nature de la section, résistent plus que les sections circulaires. [fig 4 à 13] et [T2 à T11]

Indépendamment des défauts éventuels dans la fabrication, on sait que (si on fait abstraction du problème de stabilité) pour des poutres faites du même matériau (contrainte maximale admissible identique), celle qui résiste le mieux à la flexion est celle dont le module de section

$Z = I/c$, est le plus élevé.

Cependant il faut noter que ces sections elliptiques présentent certains inconvénients :

- la fabrication (taillage ...) est plus compliquée (raccordements de demi-cercles par des droites).

- Les diverses opérations nécessaires à la réalisation de ces hampes entraînent des pertes de matières.

- de plus ces hampes posent un problème pour les trous de passage dans la calebasse. La forme de ces trous crée des problèmes de stabilité* pour l'ensemble de la Kora.

* au sens de la répartition de contraintes

III.4 - Discussion sur la répartition des résultats.

Cette discussion se base sur les graphes [fig 14-15] où on a rassemblé plusieurs courbes en vue de comparaison.

On y remarque une plus grande régularité pour les sections monoblocs par rapport aux contre-collées. Cela s'explique par le fait que dans les monoblocs il n'y a pas de glissement libre des fibres (ou très peu) par cisaillement; on note que les directions des fibres dans les éléments contre-collés ne sont pas toujours parallèles. Avec un meilleur contre collage, les courbes devraient se redresser et être plus régulières.

III-5. Discussion sur l'humidité.

Certaines éprouvettes ont été gardées dans une chambre d'humidité, à 92%* pendant deux semaines avant d'être passées aux essais.

On se rend compte que ces éprouvettes fléchissent beaucoup plus que les éprouvettes sèches, alors que la charge de rupture demeure sensiblement constante pour les deux cas. [fig 4 à 13]

Le bois humide ploie plus facilement lorsqu'il est humide, ce principe est d'ailleurs beaucoup utilisé dans la technologie du bois.

C'est ainsi que la hampe de la Kora, qui était en réfection à l'atelier et qui était utilisée dans une atmosphère très humide, présentait une très grande flèche, chose à éviter.

Il faut remarquer ici qu'il n'est pas nécessaire de porter l'humidité à de si grandes valeurs pour obtenir les mêmes résultats, car le bois a une limite de saturation beaucoup plus faible (voir Table [1]).

*: humidité mesurée à plusieurs reprises avec un psychromètre.

III-6 - Discussion sur les flèches mesurées et théoriques.

Sur les graphes $\delta = f(T)$, on a porté les courbes des flèches prévues par la théorie. [Figs 4 à 13]

Il apparaît que pour les petites déflexions, la flèche théorique est proche de la flèche mesurée, mais plus la charge et la flèche augmentent, plus la différence s'accroît et la flèche mesurée devient supérieure à celle théorique.

Ceci vient du fait que dans les calculs théoriques on n'a pas tenu compte l'influence de la compression, qui induit un moment additionnel : $P\Delta$. Quand la charge est faible et que la flèche est négligeable ($\Delta \approx 0$), alors $P\Delta \approx 0$ et le moment additionnel n'est pas significatif et on a $\delta_{\text{théorie}} \approx \delta_{\text{mesurée}}$. Plus Δ augmente, plus le moment dû à la compression augmente et la flèche mesurée s'éloigne de plus en plus des prévisions de la théorie.

La flèche théorique aurait pu être corrigée par une formule empirique pour tenir compte de la compression, à savoir

$$\delta = \delta_0 \left(\frac{1}{1 - P/P_E} \right) \quad [6]$$

où

 δ : flèche corrigée δ_0 : flèche non corrigée P : effort de compression P_E : charge d'Euler

Cette correction a été faite, mais n'a pas été introduite dans ce travail. C'est parce que pour certains cas on se rapproche de la réalité et pour d'autres on n'arrive pas à des résultats concluants. La formule est affectée par le fait que dans des efforts combinés comme ici, la flexion agit aussi sur la compression et on ne peut avoir que des approximations sur certaines formules.

III-7 - Discussion avec les normes de Construction Canadiennes.

1. On sait que la contrainte de compression du bois dépend de la direction d'application de la charge par rapport à la direction du grain. La résistance est maximum parallèlement au grain et minimal perpendiculairement, avec des variations intermédiaires pour les différents angles (charge-grain). Pour des angles entre 0 et 90°, la contrainte admissible est corrigée

par la formule de Hankinson

$$N = \frac{PQ}{P \sin^2 \theta + Q \cos^2 \theta} \quad [3]$$

N: charge admissible à l'inclinaison θ par rapport au grain

P: " - " - parallèlement au grain en compression

Q: " - " - perpendiculairement - " - " - " - "

Cependant il s'avère inutile d'utiliser les formules de correction pour les directions des fibres par rapport au chargement car on note que l'usine de Dakar n'oriente pas toujours les fibres dans une même direction en taillant les éprouvettes et en assemblant les parties à contre colle qui doivent être sélectionnées. Ces différences d'orientation de fibres rend la hampe moins résistante.

11 - Le bois peut supporter pour des périodes courtes des chargements beaucoup plus importants que ceux qu'il supporte en service continu. La résistance varie alors avec la durée d'application de la charge.

Nous proposons le tableau ci-dessous qui donne la contrainte admissible en fonction des durées de chargement.

Tableau tiré de [3].

Durée de chargement	Contrainte admissible en % de la contrainte en service normal
Service continu	90
Service normal	100
deux mois	115
Sept jours	125
Impact	200

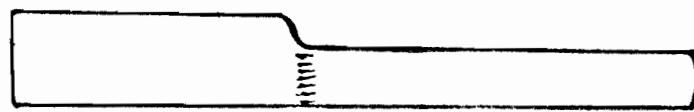
Ce tableau peut être avantageusement utilisé pour la prévision de la faillite des hampes sous différents services (fréquence d'utilisation -etc...).

III. 8 - Discussion sur la concentration de contraintes.

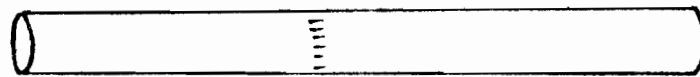
Nous allons comparer ici les résultats obtenus pour les éprouvettes et les hampes faites du même matériau ayant la même section, la différence étant que la hampe présente une discontinuité. Cela se répercute sur la résistance et on note en comparant les tableaux [T6 et T9] que l'éprouvette en

caillédrat elliptique contre celle résiste presque une fois et demi plus que la hampe de même nature.

Cela vient du fait que pour la hampe, à la concentration de contraintes due à l'hétérogénéité du matériau s'ajoute celle provoquée par la géométrie.



hampe



éprouvette

De plus on note que la discontinuité se trouve au voisinage du point le plus chargé.

III-9 - Discussion sur les flèches: Fluage.

Cette discussion est basée sur la mesure de flèches d'une douzaine de Koras en usage. (mesures effectuées avec le montage décrit dans la deuxième partie). Page 20

Sur le graphique [fig 16] on a porté les flèches en fonction du temps de service.

On remarque qu'il y a une limite à la flèche qui semble

se situer aux environs de 4cm.

Le vène atteint la limite de flèche au bout d'une année alors que le caillèdrat peut tenir quarante huit mois avant d'y arriver.

Le phénomène d'augmentation de la flèche avec le temps jusqu'à la ruine du matériau est le fluage. le fluage dépend:

- du type de chargement
- des conditions atmosphériques (température - humidité).
- du matériau
- du pourcentage de charge.

Nous avons déjà étudié l'influence de l'humidité et le point le plus intéressant ici est l'étude du pourcentage de charge.

On sait que la Kora est normalement chargée sous 200 Kgf quel que soit le matériau de la hampe. Lors des essais la rupture se produit pour le vène elliptique monobloc pour une charge de 800 Kgf et pour le caillèdrat circulaire contre celle pour 400 Kgf. le pourcentage de charge est défini comme le rapport de la charge normale sur la charge de rupture. Pour le vène il est donc de 25% et pour le caillèdrat il est de 50%. [Théoriquement le vène devrait mieux résister au fluage].

Pour un même matériau, plus le pourcentage de charge est faible, plus la vie est longue.

III.10. Discussion sur le renfort en fer.

Le renforcement des hampes avec du fer, tel que pratiqué n'entraîne pas une meilleure résistance et peut même créer des perturbations dans le comportement normal du bois. [T9]

Il est souhaitable au cas où on veut réaliser cette opération de ne pas utiliser une barre de fer qui est très exposée à la flexion et de faire ce renforcement sur toute la longueur de la hampe pour éviter les zones de faiblesse.

CONCLUSIONS.

Les discussions et les résultats dans la troisième partie nous mènent aux conclusions suivantes :

1. Pour un contre collage parfait, les sections contre collées résistent autant que les monobloc et même plus dans certains cas.
2. Les sections elliptiques résistent mieux que les circulaires.
3. L'humidité augmente la flèche sans augmenter la charge de rupture.
4. La compression a une influence importante sur la flèche.
5. Le vene résiste plus que le saillce'drat mais d'après les échantillons analysés il est plus sujet au fluage.

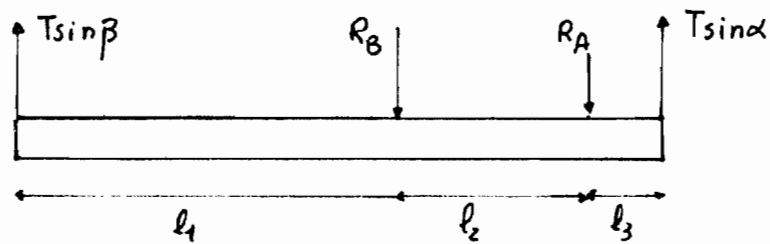
Nous pensons qu'il est souhaitable :

- que les fibres de bois des parties contre collées soient dans une même direction et que la qualité du collage soit améliorée.
- d'éviter d'exposer la Kora dans une atmosphère humide, que ce soit dans les conditions d'utilisation normale ou de remisage.

Les résultats obtenus nous laissent croire que l'on peut utiliser au maximum les sections monoblocs, et que les modèles "Fort" et "H.R" pourront assurer une durée de vie plus longue -/.

Annexe A-1

Calcul des réactions R_A et R_B et du moment M_f (en fonction de la distance), sur le montage proposé.

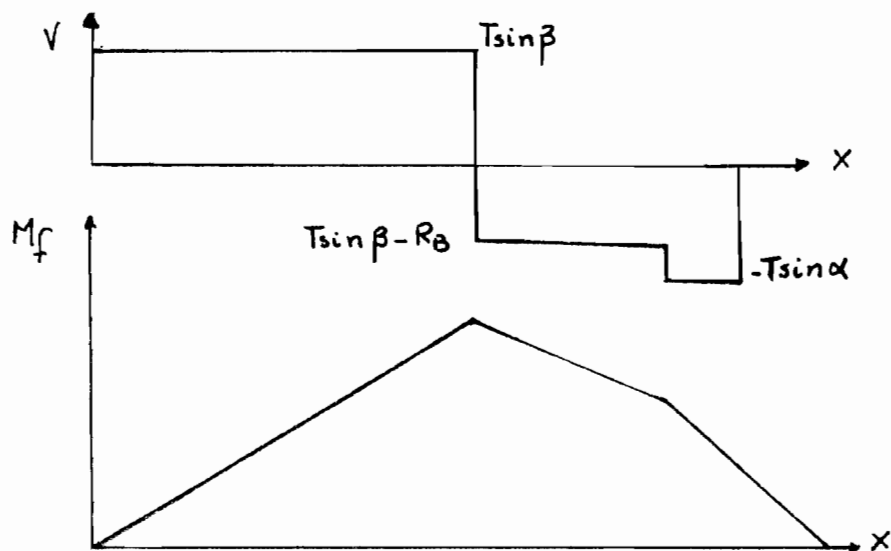


$$\Sigma F_V = 0 \Rightarrow T \sin \beta + T \sin \alpha = R_A + R_B$$

$$(\Sigma M_B = 0 \Rightarrow l_1 T \sin \beta + l_2 R_A = (l_2 + l_3) T \sin \alpha$$

$$R_A = \frac{(l_2 + l_3) T \sin \alpha - l_1 T \sin \beta}{l_2}$$

$$R_B = T \sin \alpha \left[1 - \frac{l_2 + l_3}{l_2} \right] + T \sin \beta \left[1 - \frac{l_1}{l_2} \right]$$



$$x \leq l_1 \quad M_f = x T \sin \beta$$

$$l_1 < x \leq l_1 + l_2 \quad M_f = x T \sin \beta - R_B (x - l_1)$$

$$x > l_1 + l_2 \quad M_f = (L - x) T \sin \alpha \quad L = l_1 + l_2 + l_3$$

A₁

Pour la Kora de référence :

$$l_1 = 62 \text{ cm} \quad l_2 = 45 \text{ cm} \quad l_3 = 6 \text{ cm} \quad L = 113 \text{ cm}$$

On trouve

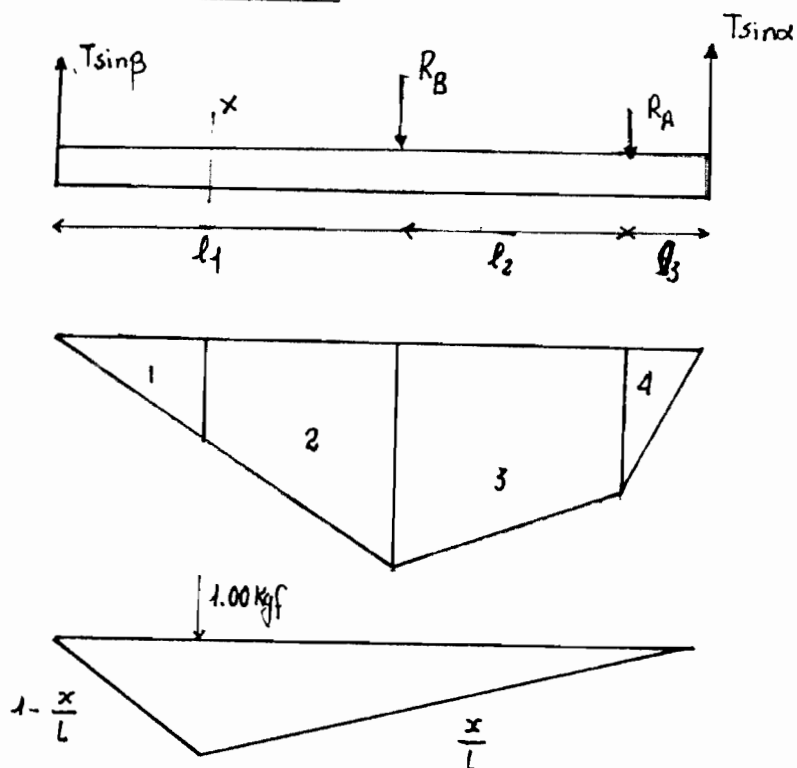
$$R_A = 0,18 T$$

$$R_B = 0,20 T$$

Annexe A-2

Illustration de la méthode de la charge unitaire pour le calcul des flèches.

Cas où $x \leq l_1$



$$\text{On a } \delta EI = \sum_{i=1}^4 A_i y_{G_i}$$

$$A_1 = \frac{x^2}{2} T \sin \beta$$

$$x_{G_1} = \frac{2}{3} x \Rightarrow y_{G_1} = \frac{2}{3} x \left(1 - \frac{x}{L}\right)$$

$$A_2 = (x T \sin \beta + l_1 T \sin \beta) \left(\frac{l_1 - x}{2}\right)$$

$$x_{G_2} = x + \frac{x T \sin \beta + 2 l_1 T \sin \beta}{3(x T \sin \beta + l_1 T \sin \beta)} (l_1 - x) = \frac{x + \left[\frac{(x + 2 l_1)(l_1 - x)}{3(x + l_1)}\right]}$$

$$y_{G_2} = \left(1 - \frac{x}{L}\right) \left[x + \frac{(x + 2 l_1)(l_1 - x)}{3(x + l_1)} \right]$$

$$A_3 = (l_1 T \sin \beta + l_3 T \sin \alpha) \frac{l_2}{2}$$

$$x_{G_3} = l_3 + \frac{2l_1 T \sin \beta + l_3 T \sin \alpha}{3(l_1 T \sin \beta + l_3 T \sin \alpha)} l_2$$

$$y_{G_3} = \frac{x}{L} \left[l_3 + \frac{2l_1 T \sin \beta + l_3 T \sin \alpha}{3(l_1 T \sin \beta + l_3 T \sin \alpha)} l_2 \right]$$

$$A_4 = \frac{l_3^2}{2} T \sin \alpha$$

$$x_{G_4} = \frac{2}{3} l_3 \Rightarrow y_{G_4} = \frac{x}{L} \frac{2}{3} l_3$$

En regroupant on obtient

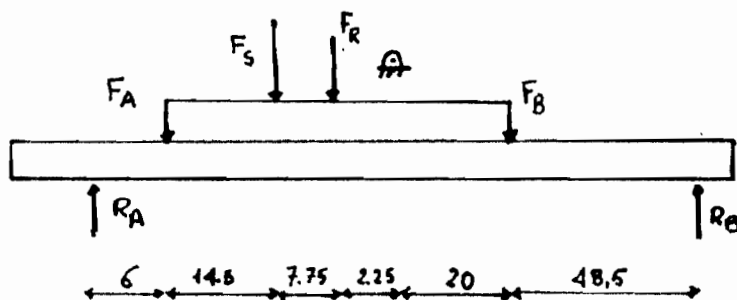
$$\begin{aligned} \sum A_i y_{G_i} &= \frac{x^3}{3} \left(1 - \frac{x}{L}\right) \sin \beta + \frac{l_3^3}{3} \frac{x}{L} \sin \alpha + (1 - \frac{x}{L})(x^2 + x l_1 + l_1^2) \frac{(l_1 - x)}{3} (\sin \beta) \\ &\quad + \left[\frac{x}{L} (\sin \beta) (3l_3 l_1 + 2l_3^2) + (3l_3^2 + l_3^2) \sin \alpha \right] \frac{l_2}{6} . \end{aligned}$$

Ce qui nous donne pour

$$\delta = \frac{\sum A_i y_{G_i}}{EI}, \text{ le r\u00e9sultat mentionn\u00e9.}$$

Annexe A 3

Calcul des chargements correspondant
aux quatre conditions

1^{er} cas

$$\text{On a } F_3 \times 10 = P \times 150$$

$$F_3 = \frac{25 \times 150}{10} = 375 \text{ kgf}$$

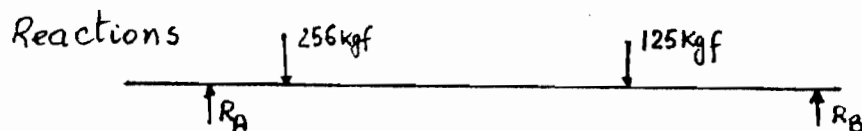
$$\text{de plus } F_R + F_3 = F_A + F_B$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow F_R \times 2,25 + F_3 \times 10 = F_A \times 24,5 - F_B \times 20$$

$$3763 = 24,5 F_A - [(381 - F_A) \times 20]$$

$$F_A = \frac{3763 + 7612}{20 + 24,5} = 256 \text{ kgf}$$

$$F_B = 381 \text{ kgf} - 256 \text{ kgf} = 125 \text{ kgf}$$

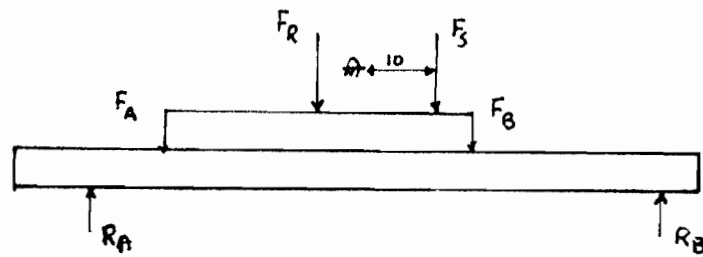


$$\sum F_V = 0 \rightarrow R_A + R_B = 381 \text{ kgf}$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow 99 R_B = (256 \times 6) + (125 \times 50,5)$$

$$R_B = 79 \text{ kgf}$$

$$R_A = 301 \text{ kgf}$$

A₃2^e cas

$$F_S = 375 \text{ kgf}$$

$$F_A + F_B = 381 \text{ kgf}$$

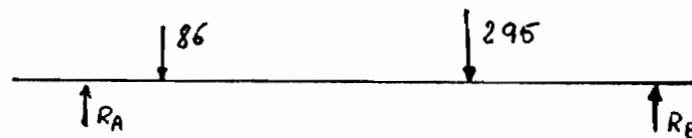
$$\sum M_A = 0 \rightarrow F_S \times 10 - F_R \times 2,25 = F_B \times 20 - F_A \times 24,5$$

$$3737 = [(381 - F_A) \times 20] - F_A \times 24,5$$

$$F_A = 86 \text{ kgf}$$

$$F_B = 295 \text{ kgf}$$

Réactions : le schéma est le même qu'en (1)



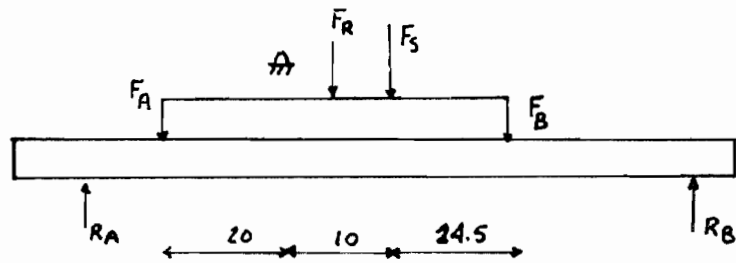
$$R_A + R_B = 381 \text{ kgf}$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow 99 R_B = (86 \times 6) + (295 \times 50,5)$$

$$R_B = 156 \text{ kgf}$$

$$R_A = 225 \text{ kgf}$$

3^e Cas ^{A₃}



$$F_S = 375 \text{ Kgf}$$

$$F_A + F_B = 381 \text{ Kgf}$$

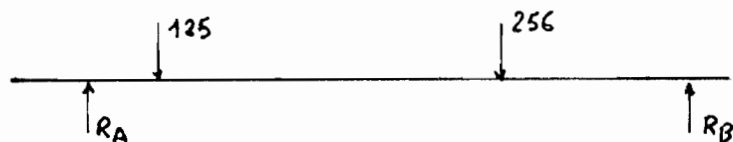
$$\sum M_A = 0 \rightarrow F_S \times 10 + F_R \times 225 = F_B \times 24,5 - F_A \times 20$$

$$3763 = F_B \times 24,5 - [(381 - F_B) \times 20]$$

$$F_B = 256 \text{ Kgf}$$

$$F_A = 125 \text{ Kgf}$$

Réactions



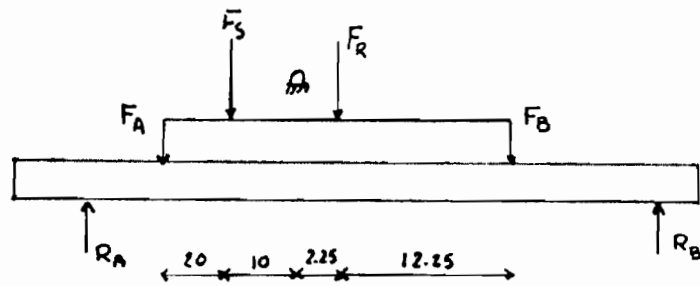
$$R_A + R_B = 381 \text{ Kgf}$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow 99 R_B = (125 \times 6) + (256 \times 50,5)$$

$$R_B = 138 \text{ Kgf}$$

$$R_A = 243 \text{ Kgf}$$

4^e cas A_3



$$F_S = 375 \text{ kgf}$$

$$F_A + F_B = 381 \text{ kgf}$$

$$\Sigma M_{F_A} = 0 \rightarrow F_S \times 10 - F_R \times 2,25 = F_A \times 20 - F_B \times 24,5$$

$$3737 = F_A \times 20 - [(381 - F_A) \times 24,5]$$

$$F_A = 294 \text{ kgf}$$

$$F_B = 87 \text{ kgf}$$

Reactions



$$R_A + R_B = 381 \text{ kgf}$$

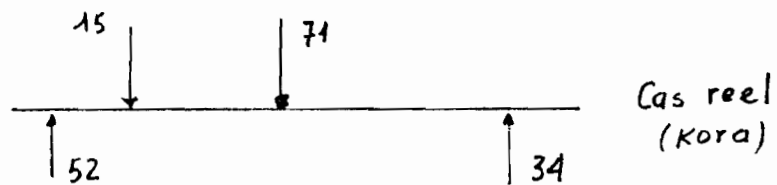
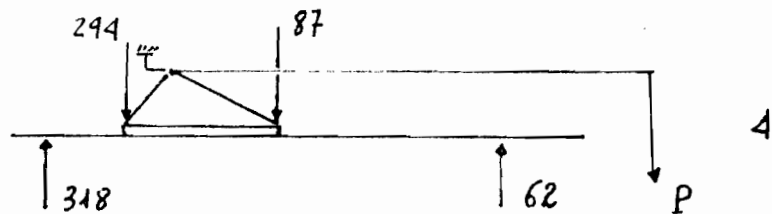
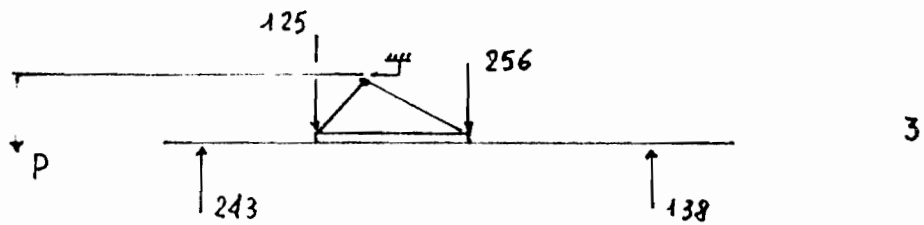
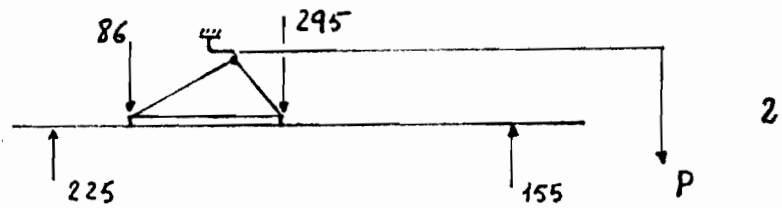
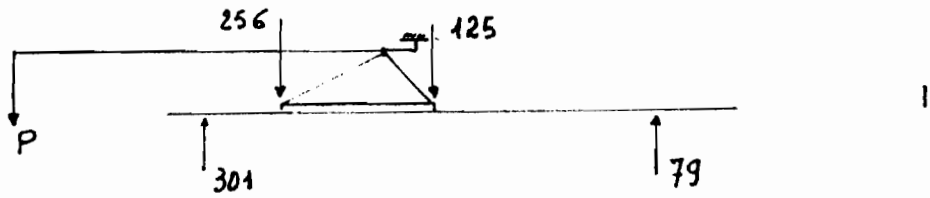
$$\Sigma M_A = 0 \rightarrow 99 R_B = (294 \times 6) + (87 \times 50,5)$$

$$R_B = 62 \text{ kgf}$$

$$R_A = 319 \text{ kgf}$$

A₃

Récapitulation des quatre cas.



Cas réel
(Kora)


Par comparaison, on trouve que le montage qui décrit la situation réelle correspond au cas 2.

Annexe A-4

Calcul des moments d'inertie des
différentes sections.

On admet un contre-collage parfait, de sorte que l'on puisse traiter ici les sections contre-collées comme les monoblocs.

Les moments d'inertie calculés ici sont pris par rapport à l'axe perpendiculaire au plan d'application du moment de flexion.

Les calculs sont faits à partir des figures du schéma :  représentant les éprouvettes d'essai.

Modèle "Primitif"

$$I = \frac{\pi (40)^4}{64} = 125\,660 \text{ mm}^4 = 12,566 \text{ cm}^4$$

Modèle "Actuel"

$$I = \frac{2 \cdot \pi (40)^4}{128} + \frac{2 \cdot \pi (40)^2}{4} \times (2,5)^2 + 40 \times \frac{5^3}{12} = 14,790 \text{ cm}^4$$

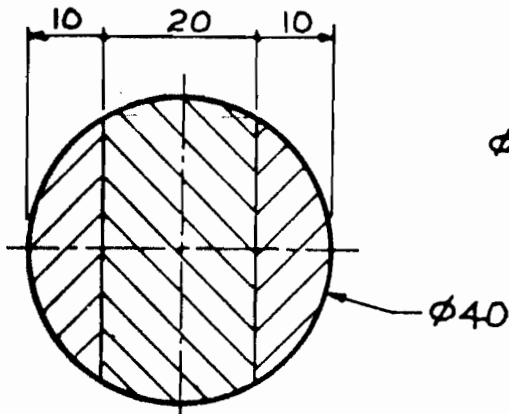
Modèle "Fort"

$$I = 42 \times \frac{5^3}{12} + \frac{2 \cdot \pi (42)^4}{128} + \frac{2 \cdot \pi (42)^2}{8} \times (2,5)^2 = 17,000 \text{ cm}^4$$

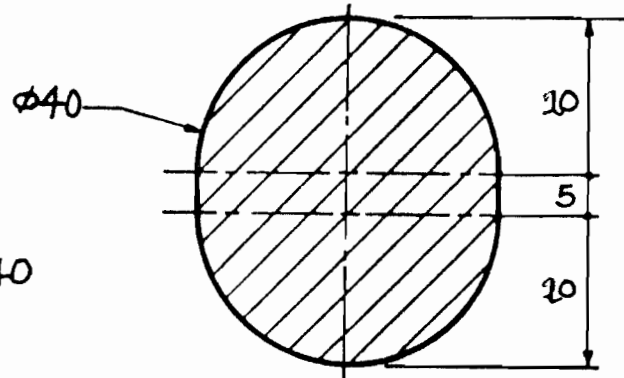
Modèle "H R"

$$I = 42 \times \frac{10^3}{12} + \frac{2 \cdot \pi (42)^4}{128} + \frac{2 \cdot \pi (42)^2}{8} \times (2,5)^2 = 17,356 \text{ cm}^4$$

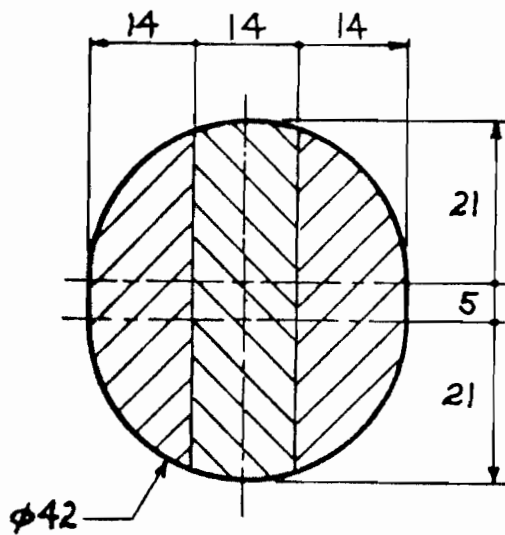
EPROUVETTES D'ESSAIS



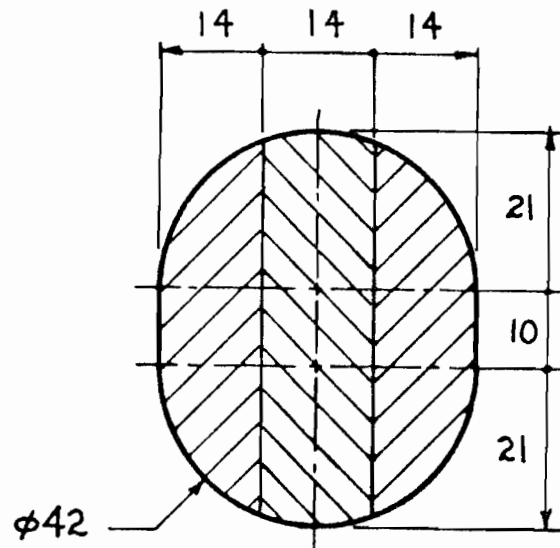
Modèle "PRIMITIF"



Modèle "ACTUEL"



Modèle "FORT"



Modèle "HAUTE RESISTANCE"

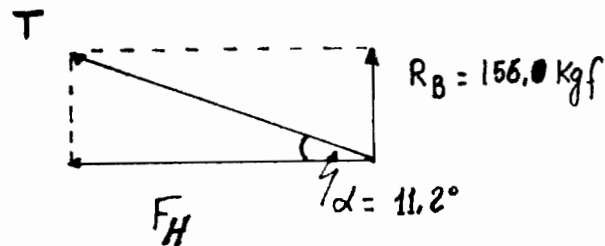
Matériaux : Vêne , Caïl cédrat

Sections : contre-collées ou non

Annexe A-5

Capacité du câble pour le montage proposé.

Dans le montage (2) retenu on a trouvé une force $R_B = 156 \text{ Kgf}$ qui correspond à la composante verticale de la résultante des tensions dans les cordes



La résultante des tensions des cordes sera donc

$$T = \frac{156}{\sin(11,2^\circ)} = 800 \text{ Kgf}$$

En appliquant un facteur de sécurité pour tenir compte des surcharges, on peut retenir un câble de capacité

$$F = 2000 \text{ Kgf.}$$

N.B. Avant le début des essais, le câble a été éprouvé à 1500 Kgf sur une machine à traction.

T1

**CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET MECANIQUES
DE TROIS BOIS PROVENANT DU SENEGAL**

(Laboratoires des Essais des BOIS CTFT/NOGENT)

<u>CARACTERISTIQUES BOTANIQUES</u>	<u>VENE</u>	<u>DIMB</u>	<u>CAILCEDRAT</u>
Nom local	<u>Ptercarpus</u>	<u>Cordyla</u>	<u>Khaya</u>
Nom scientifique	<u>erinaceus</u>	<u>pinnata</u>	<u>Senegalens</u>
<u>CARACTERISTIQUES PHYSIQUES</u>			
Dureté en flanc (N)	11.2	10.2	5.1
Poids spécifique moyen à 12% d'eau (D)	0.85	0.87	0.81
Correction en + pour 1% d'eau en + (d)	0.0060	0.0040	0.0060
<u>Rétractibilité</u>			
Point de saturation à l'air (S %)	28	28	62
Rétractibilité totale du volume (B %)	8.8	12.5	12.4
Variation pour 1% d'eau (V %)	0.32	0.56	0.25
Rétractibilité linéaire tangentielle (T%)	7.4	6.6	6.5
Rétractibilité totale radiale (R %)	3.5	4.7	5.8
<u>CARACTERISTIQUES MECANIQUES</u>			
<u>COHESION TRANSVERSALE</u>			
<u>Résistance moyenne</u>			
Fendage (Kg/cm)	20.2	19.1	28.7
Traction (Kg/cm ²)	28.3	26.5	32.8
Cisaillement (Kg/cm ²)	73	100	-
<u>COHESION AXIALE</u>			
<u>Compression à 12% d'eau</u>			
Moyenne en Kg/cm ² (C)	766	729	532
Correction en - pour 1% d'eau en +	4.1	4.1	3.5
Cote $\frac{C}{100 D}$	9.0	8.3	6.6
<u>Flexion statique à 12% d'eau</u>			
Résistance moyenne en Kg/cm ² (F)	1789	1418	1250
Cote F/100 D	21.8	16.2	15.4
Cote L/P	28	36	39
Module d'élasticité apparent en Kg/cm ² (E)	142,000	130,000	100,000
<u>Choc</u>			
Résistance moyenne en Kg/cm ² (K)	0.47	0.34	0.38
Cote K/D ²	0.70	0.47	0.57

CHARGE	MESURE DE LA FLECHE			
	EPROUVETTES SECHES			HUMIDE
	N°1	N°2	N°3	N°16
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21.97	0.11	0.07	0.14	0.13
43.94	0.31	0.20	0.31	0.33
65.91	0.45	0.30	0.48	0.47
87.87	0.61	0.42	0.65	0.60
109.84	0.78	0.53	0.84	0.78
131.81	0.97	0.65	1.02	0.97
153.78	1.16	0.77	1.23	1.15
175.75	1.38	0.88	1.44	1.34
197.72	1.57	1.01	1.70	1.55
219.69	1.77	1.15	1.93	1.79
241.65	2.01	1.29	2.19	2.10
263.62		1.42	2.50	2.39
285.59		1.60	2.84	2.78
307.56		1.74	3.19	3.37
329.53		1.92	3.68	
351.50		2.10		
373.46		2.28		
395.43		2.47		
417.40		2.72		
439.37		3.00		
461.34		3.42		
483.31		3.72		
$F_{H_{max}}$	240 Kyf	480	328	306
$F_{V_{max}}$	24 Kyf	48	32	30
M_{max}	1480 Kyf-cm	2964	2020	1886

MESURE DE LA FLECHE			
EPROUVETTES		SECHES	HUMIDE
CHARGE	N°3A	N°3B	N°18
0.0	0.0	0.0	0.0
21.97	0.20	0.11	0.09
43.94	0.33	0.22	0.18
65.91	0.42	0.35	0.29
87.87	0.51	0.46	0.38
109.84	0.60	0.62	0.51
131.81	0.72	0.77	0.65
153.78	0.81	0.90	0.78
175.75	0.91	1.04	0.90
197.72	1.02	1.19	1.06
219.69	1.13	1.34	1.23
241.65	1.26	1.50	1.41
263.62	1.35	1.67	1.68
285.59	1.55	1.85	1.86
307.56	1.70	2.03	2.07
329.53	1.80	2.20	2.58
351.50	1.96	2.33	2.88
373.46	2.11	2.61	3.49
395.43	2.28	2.85	
417.40	2.46	3.15	
439.37	3.95	3.45	
F_{Hmax} (kgf)	437	437	371
F_{Vmax} (kgf)	43	43	37
M_{max} (kgf-cm)	2694	2694	2290

T4

MATERIAU = VENE MONOBLOC
SECTION = CIRCULAIRE

48

CHARGE	MESURE DE LA FLECHE			
	EPROUVETTES SECHES			HUMIDE
	N°4	N°5	N°6	N°20
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21.97	0.06	0.04	0.06	0.07
43.94	0.13	0.14	0.11	0.14
65.91	0.22	0.24	0.19	0.22
87.87	0.29	0.30	0.24	0.29
109.84	0.38	0.39	0.34	0.37
131.81	0.47	0.47	0.42	0.46
153.78	0.51	0.53	0.51	0.52
175.75	0.59	0.64	0.58	0.60
197.72	0.69	0.72	0.67	0.70
219.69	0.77	0.82	0.77	0.76
241.65	0.87	0.91	0.81	0.86
263.62	0.96	0.98	0.92	0.96
285.59	1.01	1.09	1.00	1.06
307.56	1.12	1.17	1.11	1.15
329.53	1.24	1.28	1.19	1.25
351.50	1.32	1.38	1.31	1.35
373.46	1.42	1.47	1.41	1.43
395.43	1.53	1.55	1.47	1.53
417.40	1.63	1.68	1.58	1.65
439.37	1.71	1.79	1.71	1.76
461.34	1.83	1.88	1.80	1.89
483.31	1.93	1.99	1.90	2.03
505.28	2.05	2.10	2.05	2.16
527.24	2.12	2.22	2.16	2.32
549.21	2.27	2.36	2.31	2.46
571.18	2.40	2.50	2.45	2.65
593.15	2.49	2.66	2.57	2.88
615.12	2.73	2.79	2.75	3.18
637.09	2.88	2.96	2.96	3.50
659.06	3.01	3.12	3.12	
681.02	3.22	3.36	3.31	
702.99	3.35	3.68	3.57	
724.96	3.51	3.76		
746.93		3.98		
768.90		4.08		
$F_{H_{max}}$ (Kgf)	721	765	700	634
$F_{V_{max}}$ (Kgf)	71	76	69	63
M_{max} (Kgf-cm)	4445	4715	4310	3906

CHARGE	MESURE DE LA FLECHE			
	EPROUVETTES SECHES			HUMIDE
	N°7	N°8	N°9	N°21
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21.97	0.04	0.03	0.06	0.05
43.94	0.08	0.10	0.10	0.09
65.91	0.12	0.15	0.14	0.14
87.87	0.20	0.17	0.21	0.20
109.84	0.25	0.25	0.25	0.26
131.81	0.31	0.30	0.32	0.32
153.78	0.38	0.35	0.35	0.38
175.75	0.44	0.41	0.42	0.43
197.72	0.45	0.48	0.50	0.48
219.69	0.54	0.51	0.56	0.55
241.65	0.61	0.55	0.64	0.62
263.62	0.66	0.63	0.69	0.68
285.59	0.72	0.67	0.75	0.75
307.56	0.76	0.73	0.82	0.81
329.53	0.84	0.79	0.90	0.86
351.50	0.91	0.85	0.96	0.94
373.46	0.97	0.91	1.02	1.01
395.43	1.04	0.95	1.06	1.07
417.40	1.10	1.01	1.14	1.13
439.37	1.17	1.09	1.20	1.21
461.34	1.24	1.13	1.28	1.29
483.31	1.31	1.19	1.34	1.35
505.28	1.40	1.25	1.44	1.43
527.24	1.44	1.33	1.51	1.51
549.21	1.54	1.39	1.58	1.60
571.18	1.59	1.47	1.66	1.68
593.15	1.66	1.52	1.76	1.77
615.12	1.80	1.60	1.84	1.87
637.09	1.88	1.65	1.94	1.99
659.06	1.94	1.75	2.04	2.11
681.02	2.01	1.82	2.12	2.22
702.99	2.10	1.87	2.24	2.35
724.96	2.17	1.99	2.36	2.53
746.93	2.28	2.05	2.45	2.68
768.90	2.36	2.15	2.55	2.87
790.87	2.44	2.25	2.64	3.11
812.83	2.54	2.35	2.81	3.30
834.80	2.68	2.45	2.94	3.59
856.77	2.82	2.55	3.09	3.88
878.74	2.94	2.67	3.25	4.30
900.71	3.00	2.83	3.39	4.57
922.68	3.32	2.96	3.84	4.95
944.65		3.05	4.06	
966.61		3.25	4.34	
988.58		3.45		
1010.55		3.60		
F_{Hmax} (kyf)	918	1005	962	918
F_{Vmax} (kyf)	91	100	96	91
M_{max} (Kgf-cm)	5657	6200	5927	5657

CHARGE	MESURE DE LA FLECHE			
	EPROUVETTES SECHES		HUMIDE	
	N°10	N°11	N°12	N°17
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21.97	0.13	0.07	0.10	0.06
43.94	0.25	0.14	0.21	0.13
65.91	0.37	0.22	0.29	0.18
87.87	0.47	0.27	0.41	0.27
109.84	0.56	0.37	0.51	0.34
131.81	0.73	0.42	0.63	0.40
153.78	0.85	0.49	0.74	0.50
175.75	0.96	0.57	0.86	0.60
197.72	1.09	0.61	0.96	0.68
219.69	1.23	0.72	1.10	0.76
241.65	1.37	0.77	1.24	0.85
263.62	1.52	0.87	1.37	0.92
285.59	1.68	0.95	1.49	1.02
307.56	1.85	1.03	1.65	1.11
329.53	2.00	1.13	1.79	1.21
351.50	2.21	1.19	1.95	1.29
373.46	2.41	1.37	2.17	1.40
395.43	2.63	1.42		1.50
417.40	2.93	1.50		1.63
439.37	3.20	1.58		1.73
461.34		1.69		1.87
483.31		1.80		2.02
505.28		1.94		2.18
527.24		2.04		2.37
549.21		2.16		2.58
571.18		2.32		2.85
593.15		2.47		3.37
615.12		2.67		3.90
637.09		2.87		
659.06		3.05		
681.02		3.32		
702.99		3.53		
724.96		3.97		
F_{Hmax} (kgf)	437	721	371	612
F_{Vmax} (kgf)	43	72	37	61
M_{max} (kgf-cm)	2694	4445	2290	3772

MESURE DE LA FLECHE				
CHARGE	EPROUVETTES SECHES			HUMIDE
	N°13	N°14	N°15	N°19
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21.97	0.10	0.04	0.12	0.08
43.94	0.20	0.13	0.22	0.16
65.91	0.31	0.20	0.33	0.26
87.87	0.41	0.28	0.43	0.36
109.84	0.53	0.35	0.55	0.46
131.81	0.65	0.43	0.67	0.54
153.78	0.75	0.53	0.78	0.64
175.75	0.89	0.57	0.91	0.77
197.72	1.02	0.65	1.03	0.87
219.69	1.17	0.76	1.17	0.98
241.65	1.30	0.82	1.31	1.09
263.62	1.47	0.92	1.46	1.22
285.59	1.61	1.01	1.61	1.36
307.56	1.81	1.10	1.78	1.46
329.53	1.98	1.20	1.92	1.63
351.50	2.16	1.30	2.12	1.82
373.46	2.37	1.40	2.30	2.03
395.43		1.50	2.56	2.19
417.40		1.59		2.51
439.37		1.69		2.91
461.34		1.83		
483.31		1.95		
505.28		2.11		
527.24		2.21		
549.21		2.41		
571.18		2.58		
593.15		2.83		
F_{Hmax} (kgf)	371	590	393	437
F_{Vmax} (kgf)	37	58	39	43
M_{max} (kgf·cm)	2290	3637	2424	2694

T8

MATERIAU = CAILCEDRAT CONTRE COLLE
SECTION = CIRCULAIRE

hampe

52

CHARGE	MESURE DE LA FLECHE		
	EPROUVETTES SECHES		HUMIDE
	N°22	N°23	N°27
0.0	0.0	0.0	0.0
21.97	0.04	0.16	0.16
43.94	0.26	0.31	0.30
65.91	0.36	0.44	0.44
87.87	0.49	0.56	0.61
109.84	0.63	0.74	0.76
131.81	0.77	0.91	0.94
153.78	0.92	1.07	1.13
175.75	1.10	1.25	1.37
197.72	1.25	1.44	1.57
219.69	1.43	1.67	1.85
241.65	1.64	1.93	2.23
263.62	1.82	2.42	2.72
285.59	2.01		3.40
307.56	2.24		
329.53	2.52		
351.50	2.82		
373.46	3.37		
F_{Hmax} (Kgf)	371	262	284
F_{Vmax} (Kgf)	37	26	28
M_{max} (kgf-cm)	2290	1616	1751

MESURE DE LA FLECHE					
CHARGE	EPROUVETTES SECHES			HUMIDE	RENFORCEE
	N°24	N°25	N°26	N°28	N°29
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21.97	0.09	0.11	0.10	0.10	0.10
43.94	0.19	0.21	0.19	0.21	0.16
65.91	0.29	0.29	0.24	0.29	0.22
87.87	0.38	0.41	0.34	0.38	0.29
109.84	0.48	0.51	0.44	0.50	0.37
131.81	0.56	0.64	0.56	0.59	0.45
153.78	0.67	0.74	0.68	0.68	0.53
175.75	0.76	0.87	0.77	0.80	0.61
197.72	0.87	0.97	0.87	0.91	0.69
219.69	0.98	1.12	0.96	1.04	0.77
241.65	1.10	1.26	1.08	1.14	0.86
263.62	1.22	1.39	1.18	1.29	0.94
285.59	1.35	1.54	1.29	1.42	1.04
307.56	1.46	1.69	1.42	1.58	1.12
329.53	1.63	1.84	1.55	1.75	1.22
351.50	1.79	1.99	1.68	1.94	1.32
373.46	1.92	2.31	1.84	2.21	
395.43	2.08	2.45	1.99	2.51	
417.40	2.27	2.72	2.18		
439.37		3.01	2.36		

NOTE : L'EPROUVETTE N°29 ETAIT FABRIQUEE AVEC UN RENFORT EN FER AU POINT CRITIQUE.

F_{Hmax} (kgf)	415	437	437	393	350
F_{Vmax} (kgf)	41	43	43	39	35
M_{max} (kgf-cm)	2560	2694	2694	2424	2155

MESURE DE LA FLECHE				
CHARGE	EPROUVETTES SECHES			HUMIDE
	N°34	N°35	N°36	N°37
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21.97	0.05	0.05	0.07	0.07
43.94	0.10	0.11	0.12	0.12
65.91	0.19	0.16	0.17	0.19
87.87	0.24	0.21	0.22	0.26
109.84	0.29	0.27	0.29	0.33
131.81	0.35	0.33	0.35	0.39
153.78	0.41	0.39	0.41	0.45
175.75	0.47	0.45	0.47	0.52
197.72	0.53	0.51	0.54	0.60
219.69	0.59	0.56	0.60	0.67
241.65	0.65	0.61	0.66	0.74
263.62	0.70	0.69	0.71	0.81
285.59	0.76	0.75	0.76	0.90
307.56	0.83	0.81	0.83	0.97
329.53	0.90	0.87	0.90	1.05
351.50	0.98	0.95	0.97	1.14
373.46	1.05	1.01	1.03	1.21
395.43	1.11	1.07	1.10	1.30
417.40	1.19	1.14	1.17	1.39
439.37	1.27	1.22	1.25	1.47
461.34	1.33	1.29	1.32	1.55
483.31	1.40	1.36	1.39	1.65
505.28	1.47	1.44	1.46	1.75
527.24	1.54	1.50	1.53	1.85
549.21	1.62	1.59	1.60	1.94
571.18	1.70	1.66	1.68	2.05
593.15	1.79	1.75	1.80	2.19
615.12	1.87	1.83	1.91	2.30
637.09	1.97	1.93	2.01	2.45
659.06	2.07	2.00	2.11	2.62
681.02	2.15	2.10	2.21	2.82
702.99	2.27	2.20	2.30	3.05
724.96	2.39	2.30	2.41	
746.93	2.49	2.41	2.53	
768.90	2.61		2.64	
790.87			2.79	
812.83			2.98	
F_{Hmax} (kgf)	765	743	809	700
F_{Vmax} (kgf)	76	74	80	69
M_{max} (kgf.cm)	4715	4580	4984	4310

T4

MATERIAU = VENE CONTRE COLLE
SECTION = ELLIPTIQUE "HAUTE RESISTANCE"

55

MESURE DE LA FLECHE					
EPROUVETTES SECHES					HUMIDE
CHARGE	N°30	N°31	N°32	N°38	N°33
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21.97	0.05	0.04	0.05	0.06	0.04
43.94	0.09	0.06	0.10	0.10	0.08
65.91	0.12	0.11	0.14	0.14	0.13
87.87	0.16	0.14	0.18	0.19	0.17
109.84	0.21	0.17	0.23	0.23	0.21
131.81	0.25	0.22	0.27	0.28	0.28
153.78	0.29	0.25	0.31	0.32	0.32
175.75	0.33	0.29	0.36	0.36	0.38
197.72	0.37	0.34	0.41	0.41	0.42
219.69	0.42	0.39	0.46	0.45	0.48
241.65	0.46	0.43	0.50	0.50	0.52
263.62	0.50	0.48	0.54	0.52	0.56
285.59	0.54	0.52	0.58	0.58	0.62
307.56	0.58	0.57	0.61	0.62	0.67
329.53	0.63	0.62	0.68	0.66	0.71
351.50	0.67	0.65	0.74	0.70	0.76
373.46	0.72	0.70	0.78	0.74	0.81
395.43	0.76	0.75	0.82	0.79	0.87
417.40	0.80	0.80	0.87	0.84	0.91
439.37	0.85	0.84	0.91	0.88	0.95
461.34	0.90	0.90	0.97	0.92	1.01
483.31	0.94	0.95	1.00	0.97	1.07
505.28	0.99	1.00	1.06	1.02	1.11
527.24	1.03	1.04	1.09	1.07	1.17
549.21	1.08	1.07	1.16	1.12	1.23
571.18	1.12	1.12	1.20	1.17	1.28
593.15	1.16	1.19	1.26	1.22	1.32
615.12	1.21	1.24	1.30	1.26	1.39
637.09	1.26	1.29	1.35	1.32	1.44
659.06	1.31	1.34	1.40	1.37	1.51
681.02	1.37	1.39	1.45	1.42	1.57
702.99	1.43	1.44	1.50	1.49	1.65
724.96	1.48	1.50	1.55	1.53	1.72
746.93	1.53	1.53	1.63	1.59	1.80
768.90	1.60	1.59	1.68	1.63	1.89
790.87	1.64	1.63	1.75	1.70	1.98
812.83	1.71	1.69	1.82	1.76	2.07
834.80	1.79	1.76	1.89	1.82	2.16
856.77	1.83	1.83	1.96	1.89	2.28
878.74	1.91	1.92	2.06	1.95	2.43
900.71	2.01	1.99	2.15	2.02	2.57
922.68	2.05	2.08	2.22	2.10	2.71
944.65	2.14	2.13	2.35	2.17	2.81
966.61	2.21	2.18	2.46	2.28	2.98
988.58		2.27		2.40	3.16
1010.55		2.37			3.49
F_{Hmax} (Kgf)	962	1005	962	983	1005
F_{Vmax} (Kgf)	95	100	95	98	100
M_{max} (Kgf.cm)	5927	6200	5927	6076	6200

FIG.1

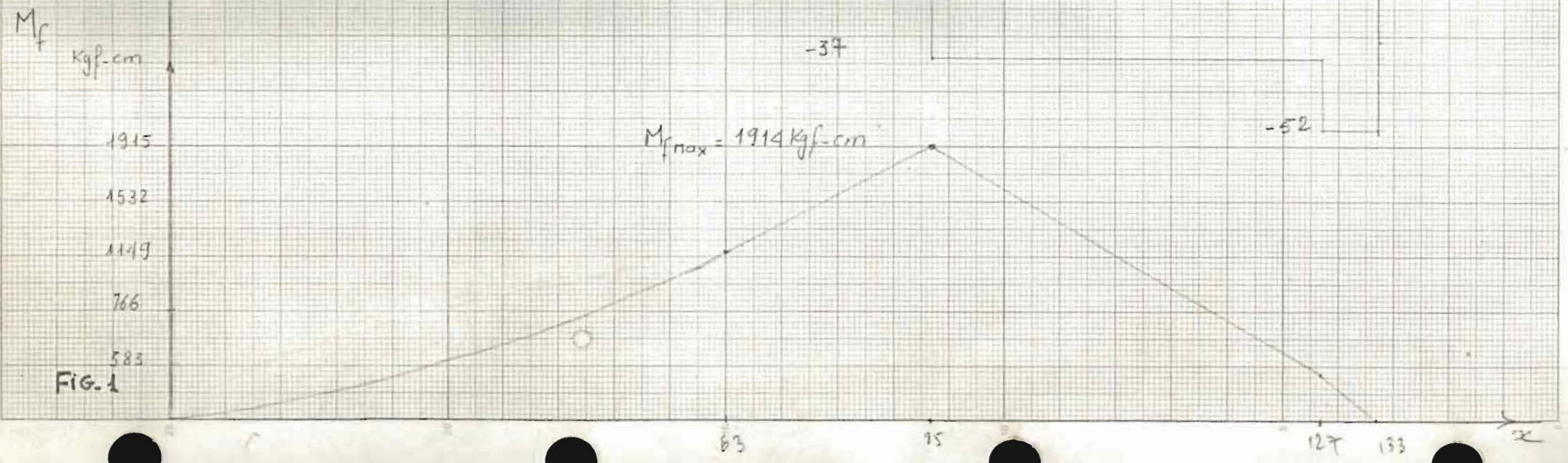
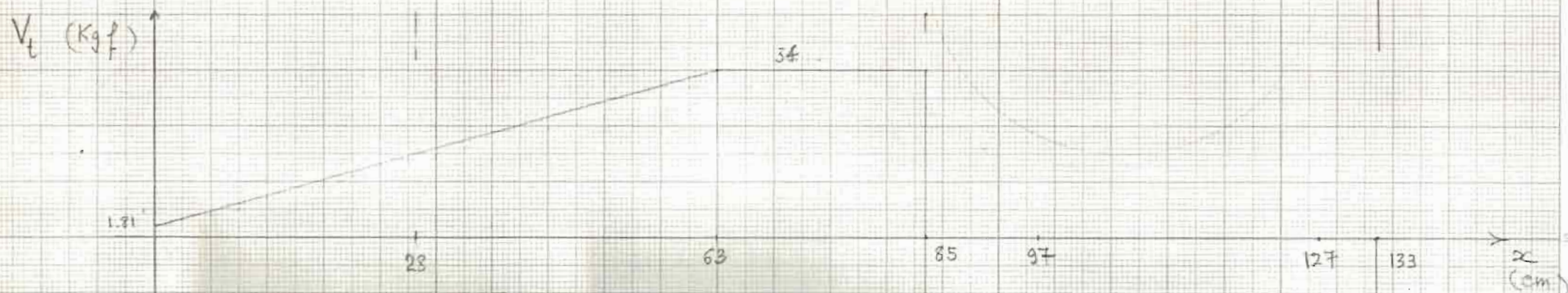
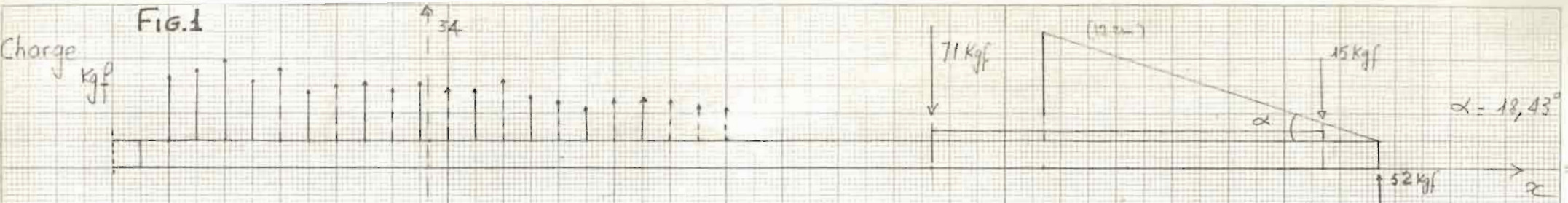


FIG.1

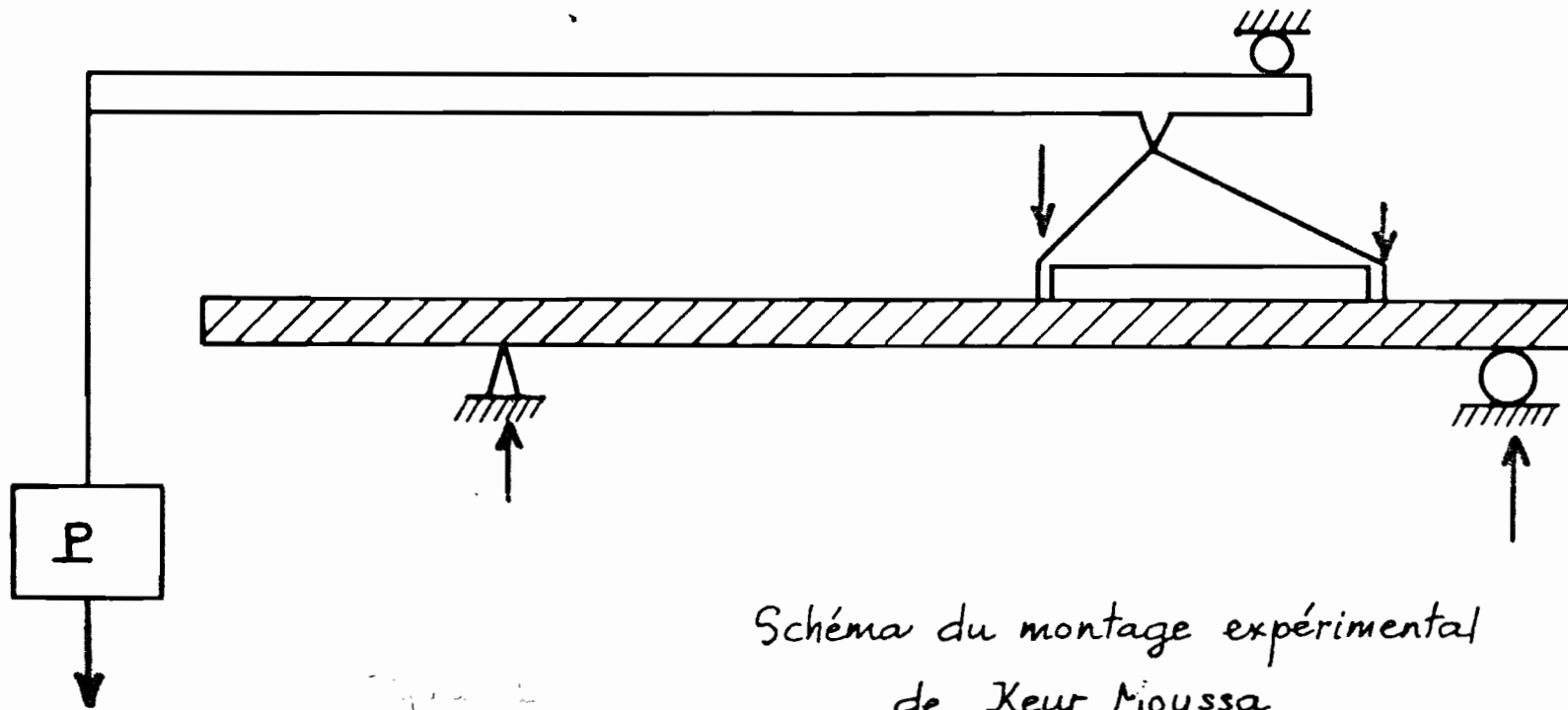
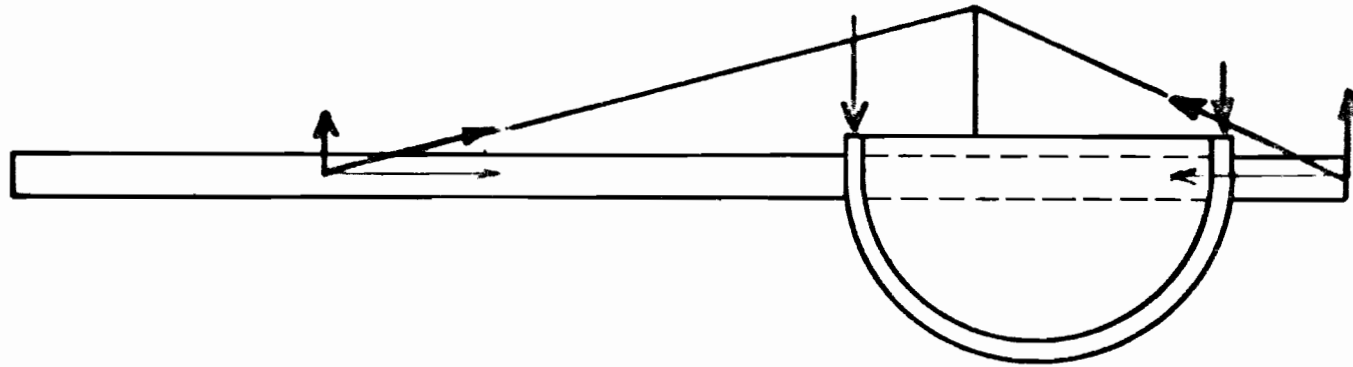
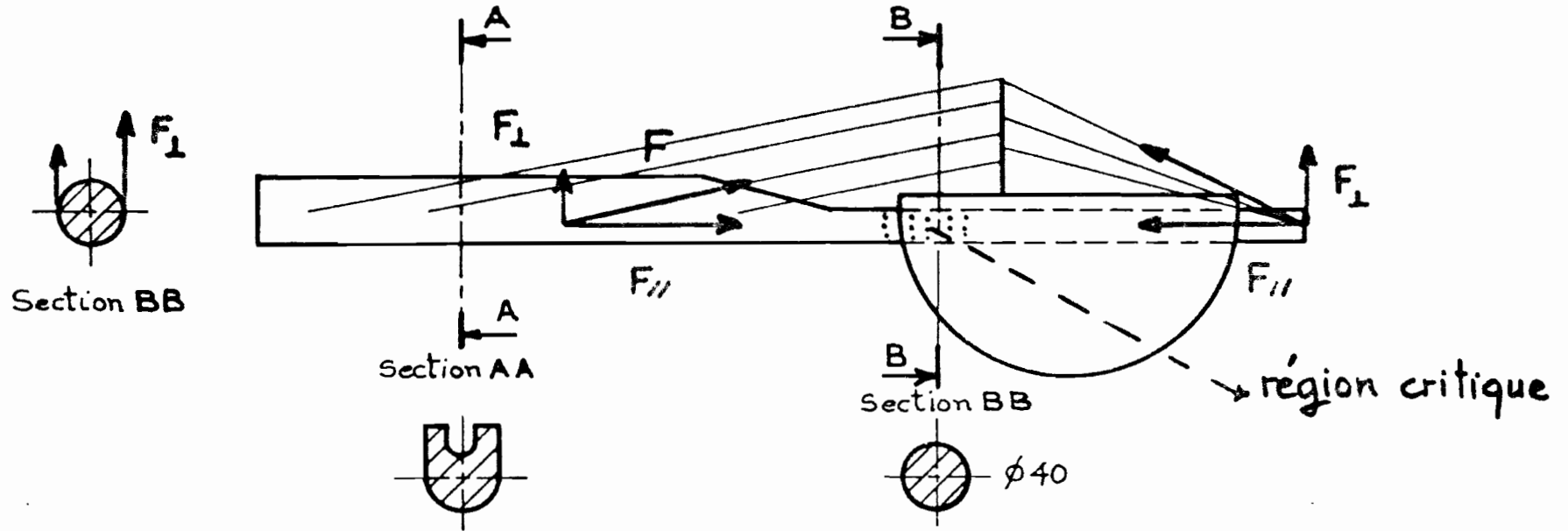


Schéma du montage expérimental
de Keur Moussa

Fig 2



Fig. 2b-



Efforts combinés

$$\sigma_{\max} = - \left[\frac{M_f}{Z} + \frac{\sum F_y}{A} \right]$$

$$\tau_{\max} = \frac{4}{3} \frac{V}{A} + \frac{16 M_t}{\pi D^3}$$

$$n = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F}{m}}$$

Formule de Brook Taylor (1715)

L : Longueur de la corde vibrante

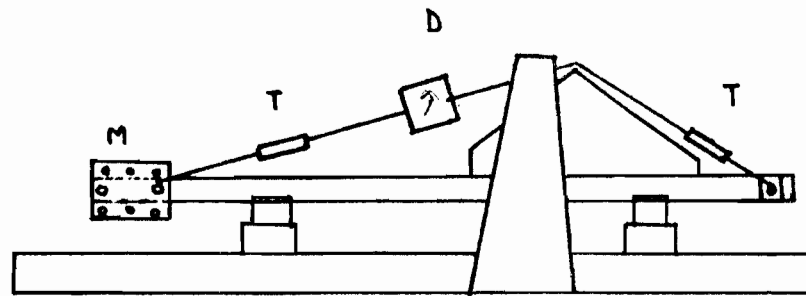
n : Fréquence de vibration fondamentale

m : Densité linéaire

F : Tension de la corde

Fig 2b

Fig 3

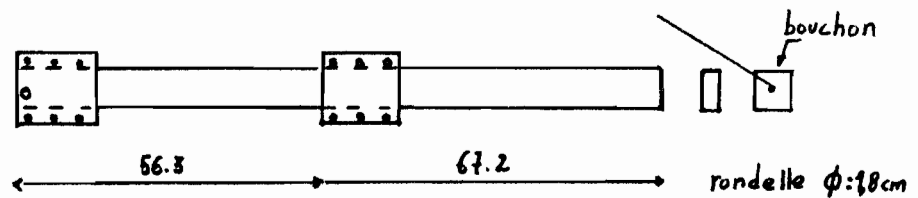


Montage expérimental proposé.

M : manchon

D : anneau dynamométrique.

T : tourillon



Détail de montage de l'éprouvette.



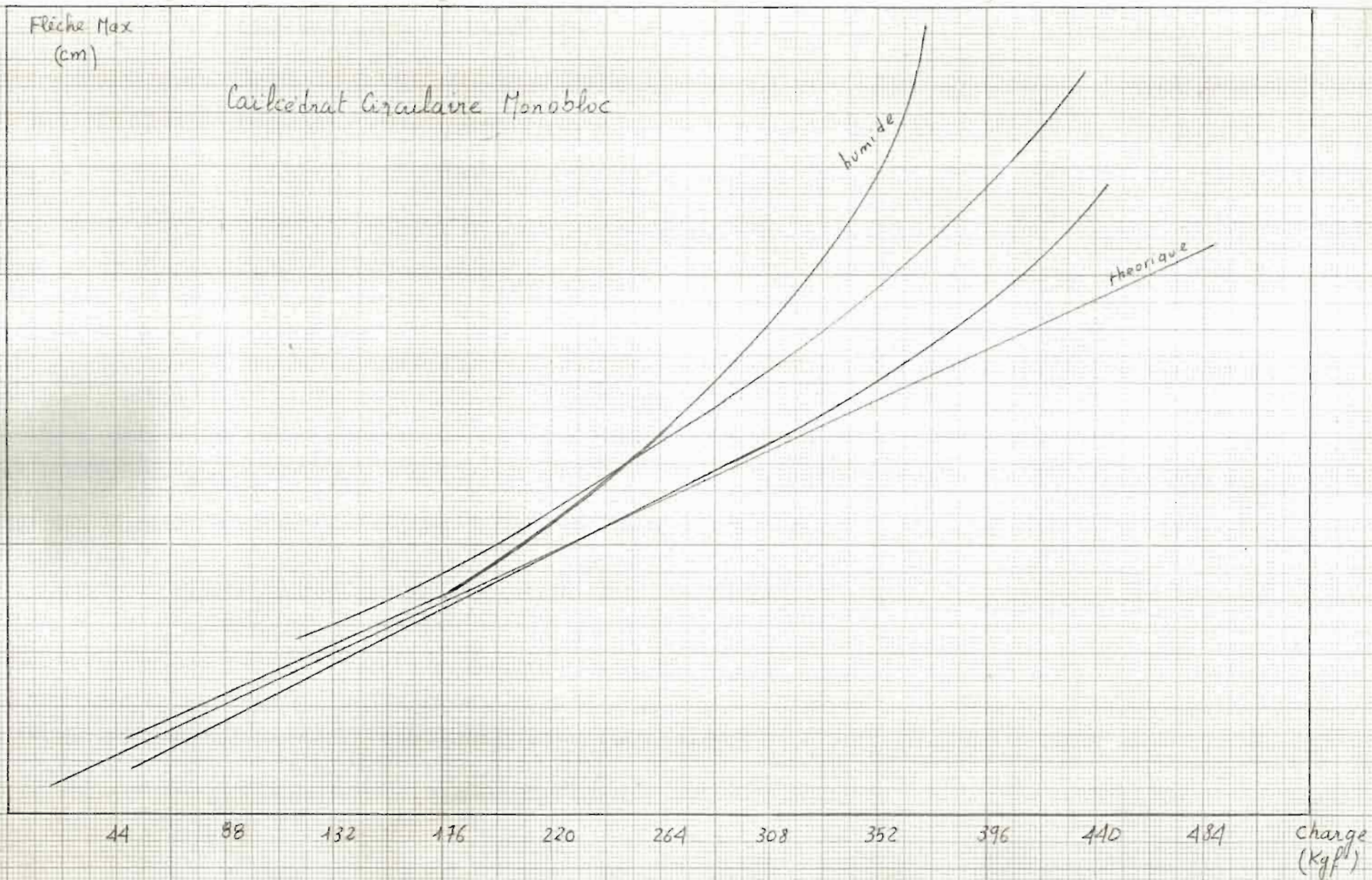


Fig 5

Flèche Max
(cm)

Vène Monobloc Circulaire

3

2

1

humide

theorique

88

176

264

352

440

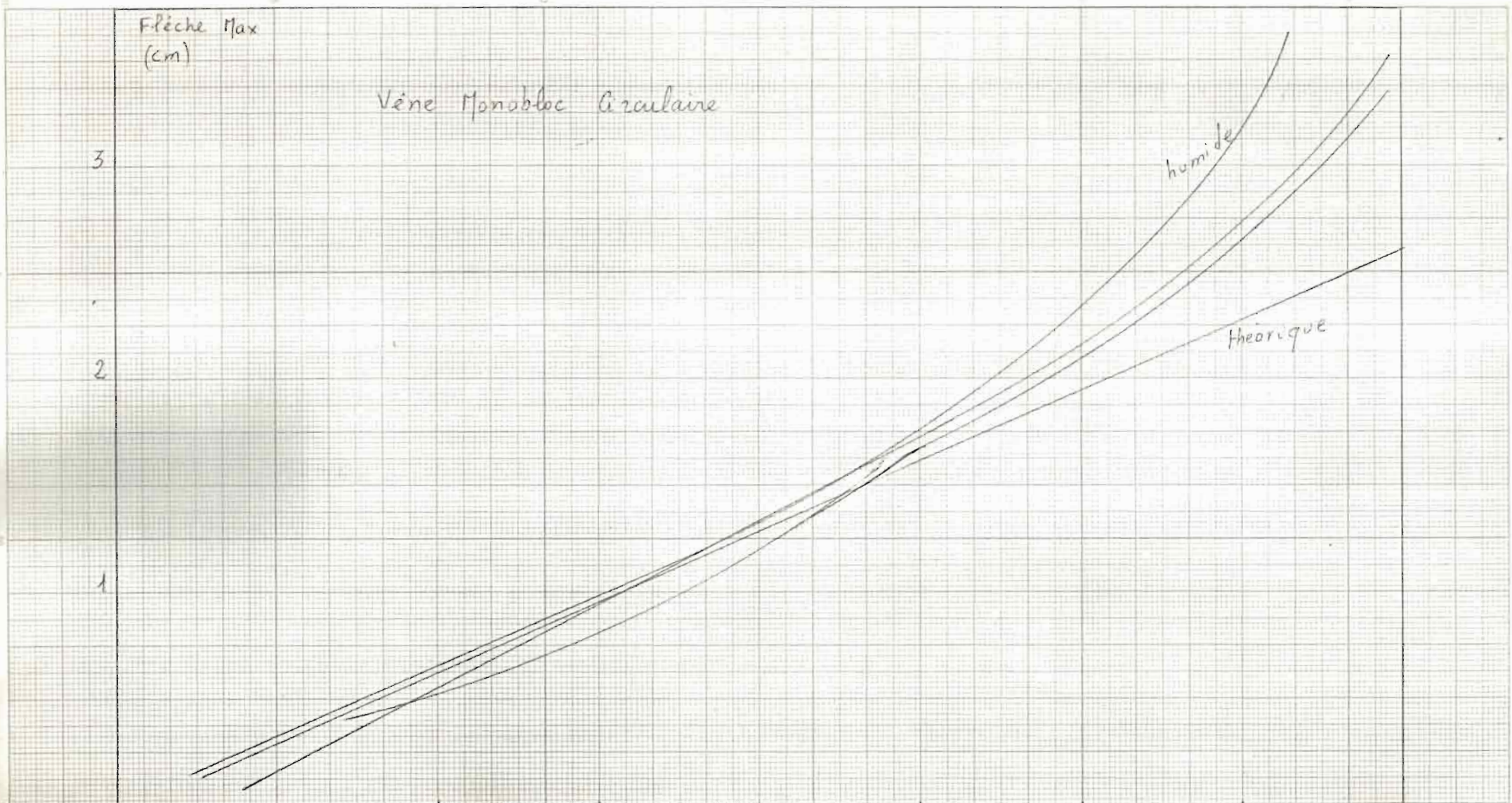
528

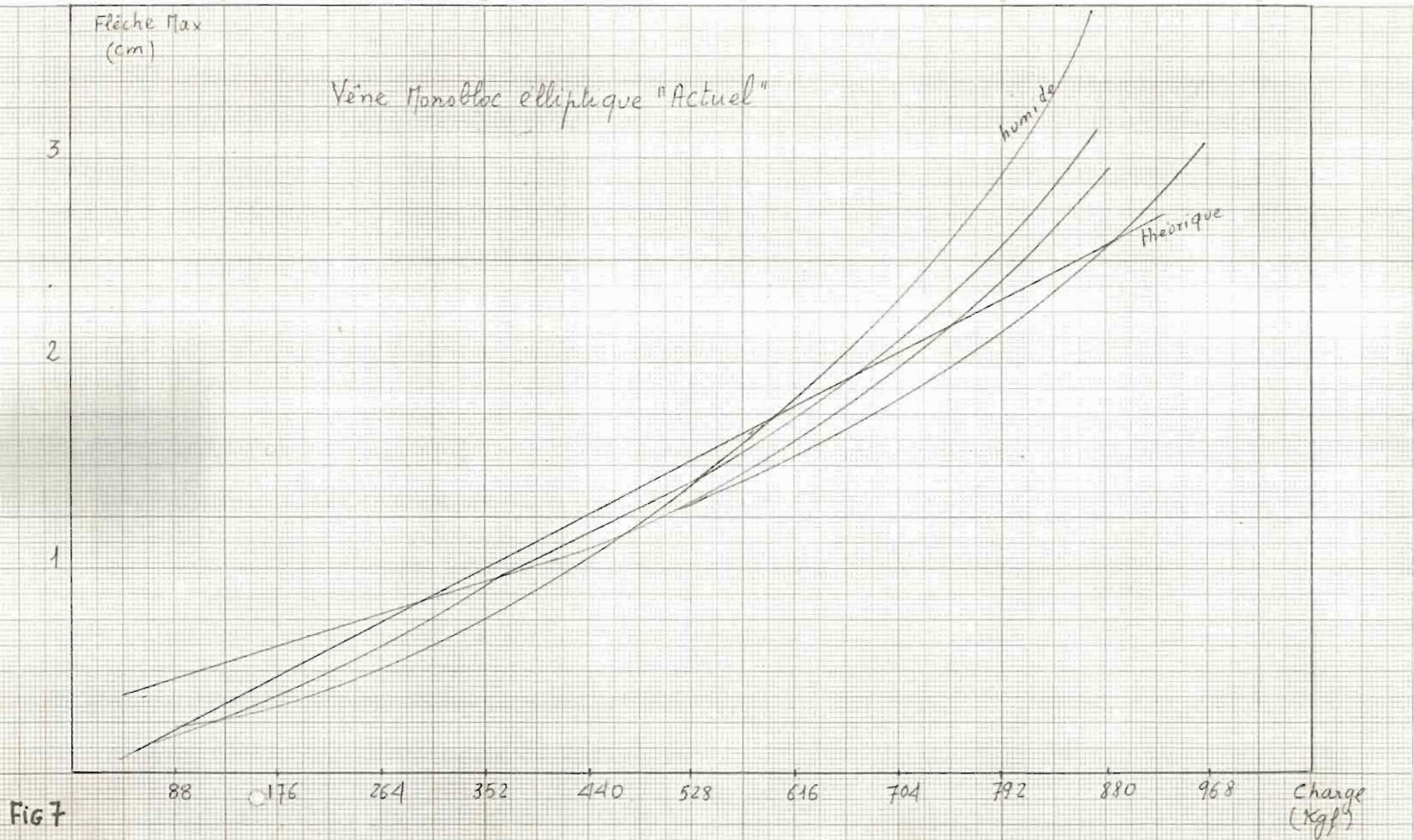
616

704

Charge (Kgf)

FIG 6





Flèche Max
(cm)

Carré elliptique "Actuel" Contre Collé

3

2

1

théorique

humide

Fig 8

43.94

88

132

176

220

264

308

352

396

440

484

528

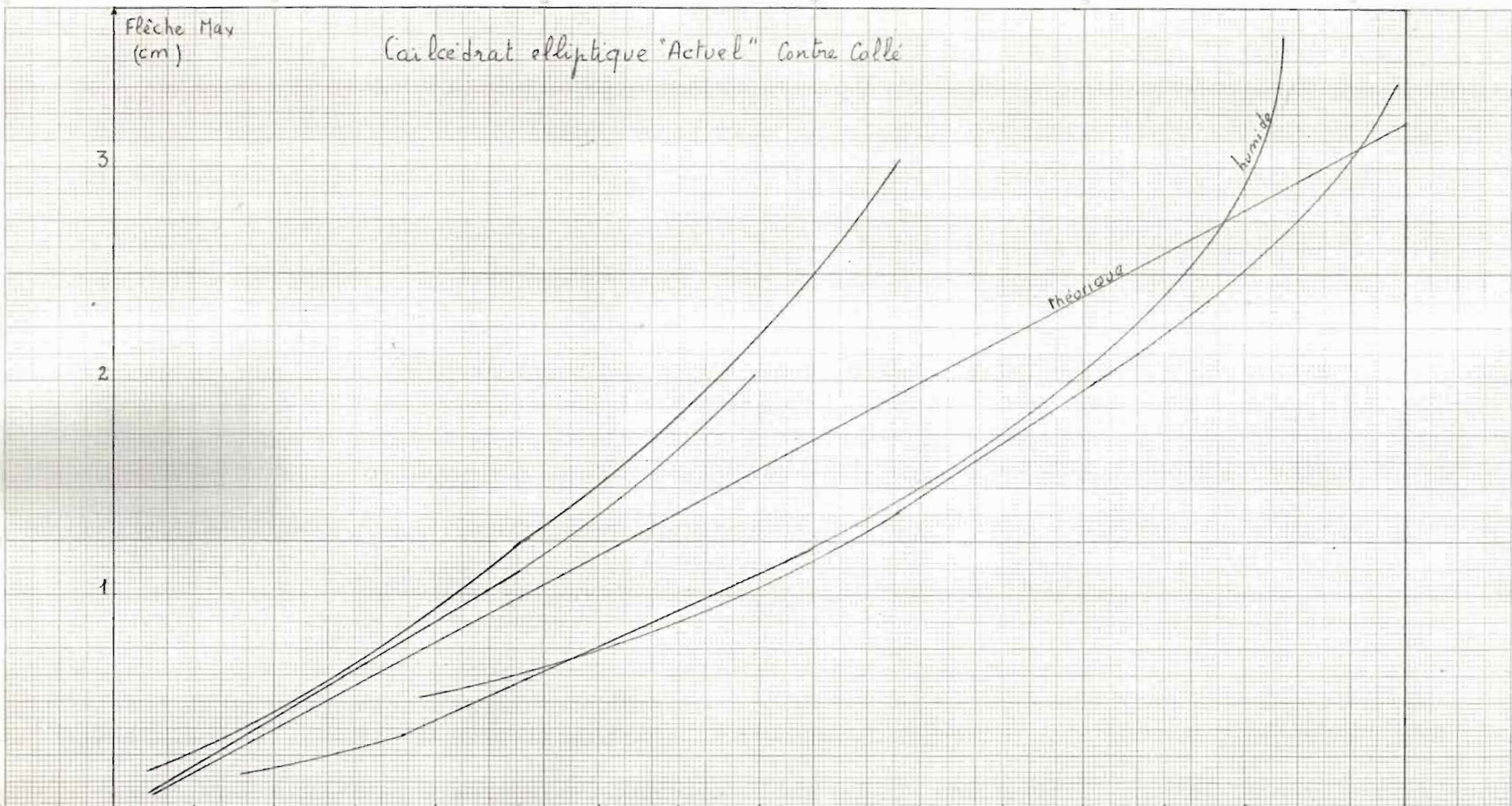
572

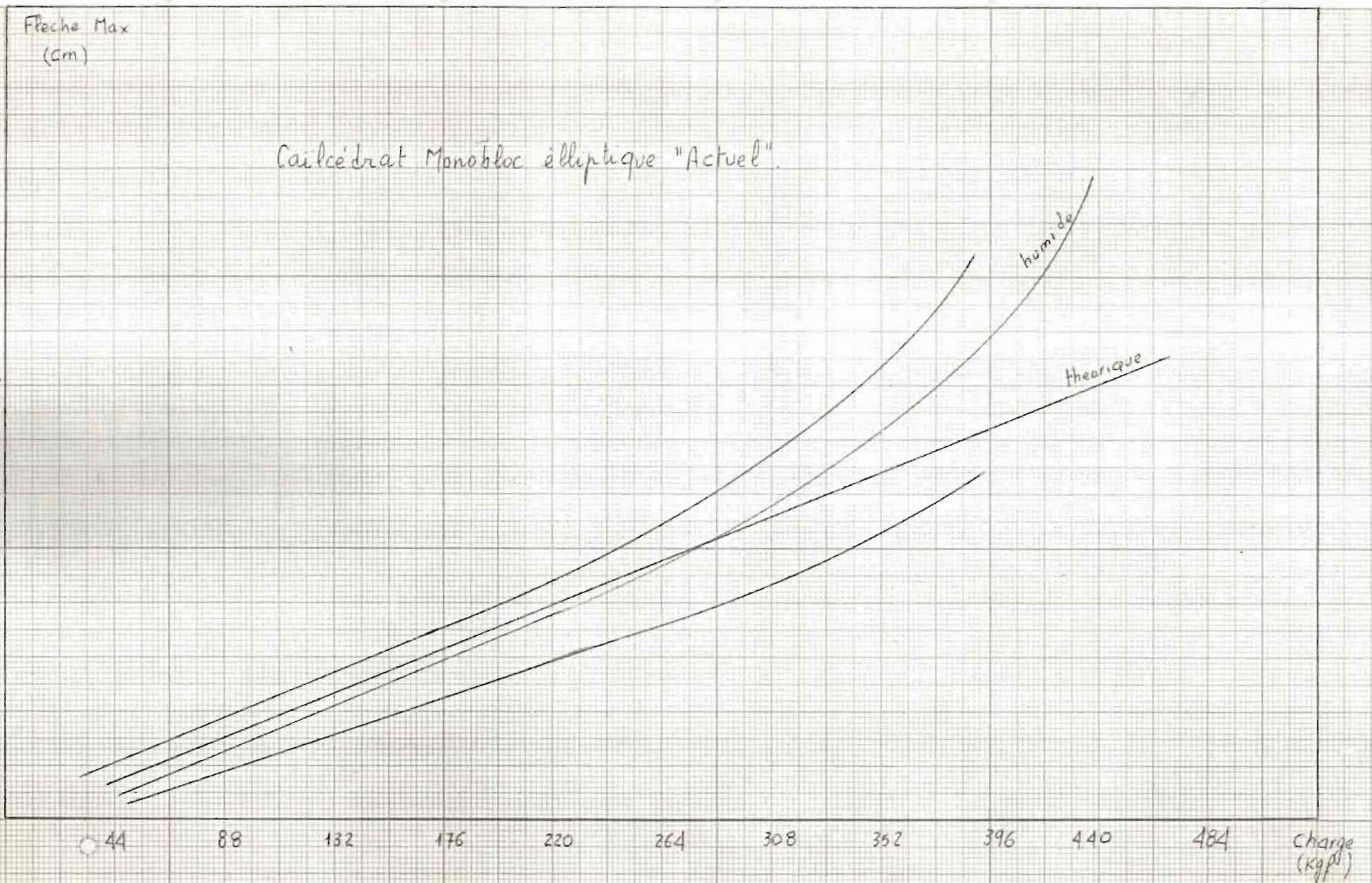
616

660

704

charge (kgf)





Fleche Max
(cm)

Hampe Calcedrat Circulaire Contre Collé

3

humide

2

theorique

1

44

88

132

176

220

264

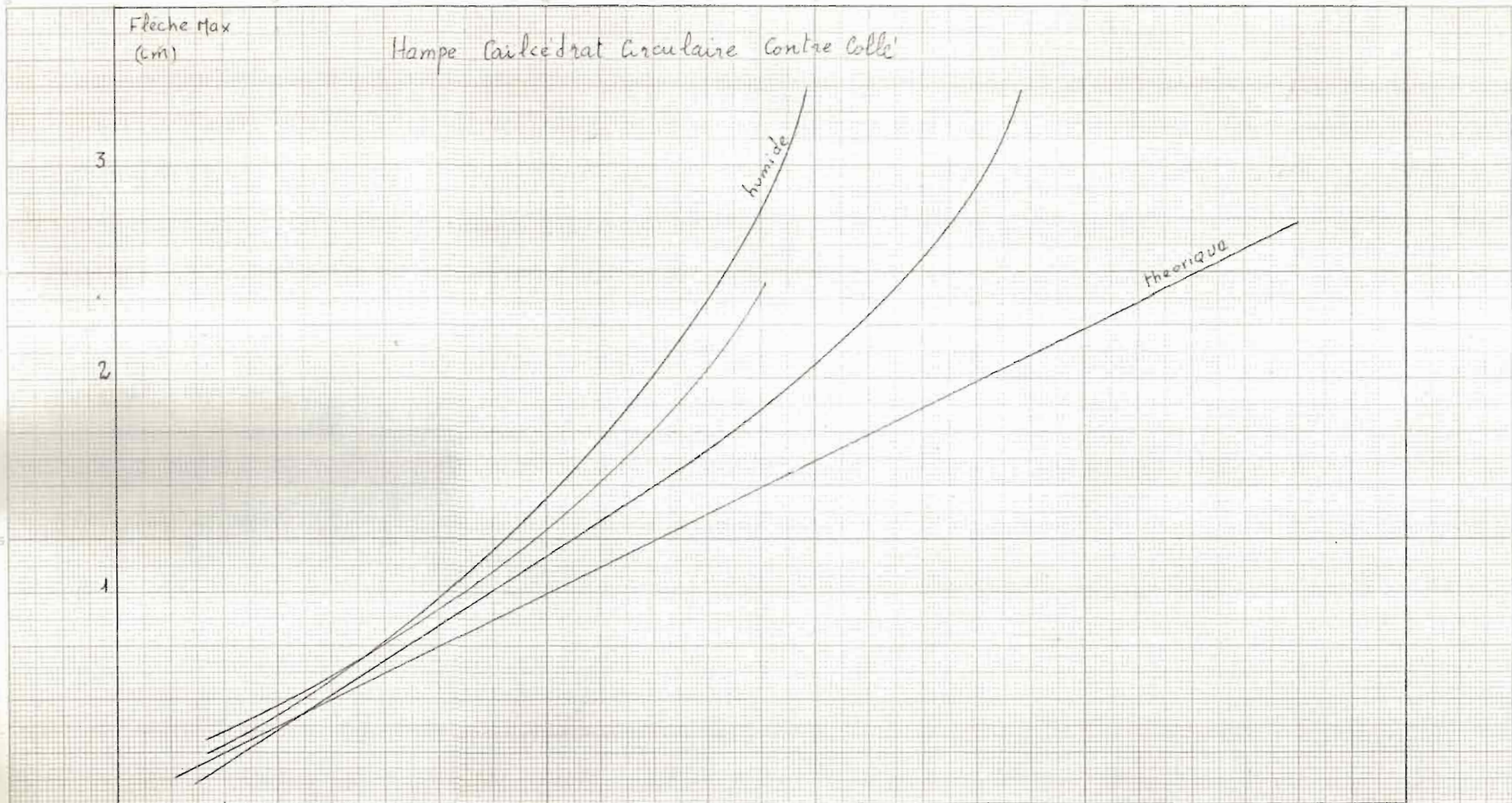
308

352

396

Charge
kgf

Fig 10



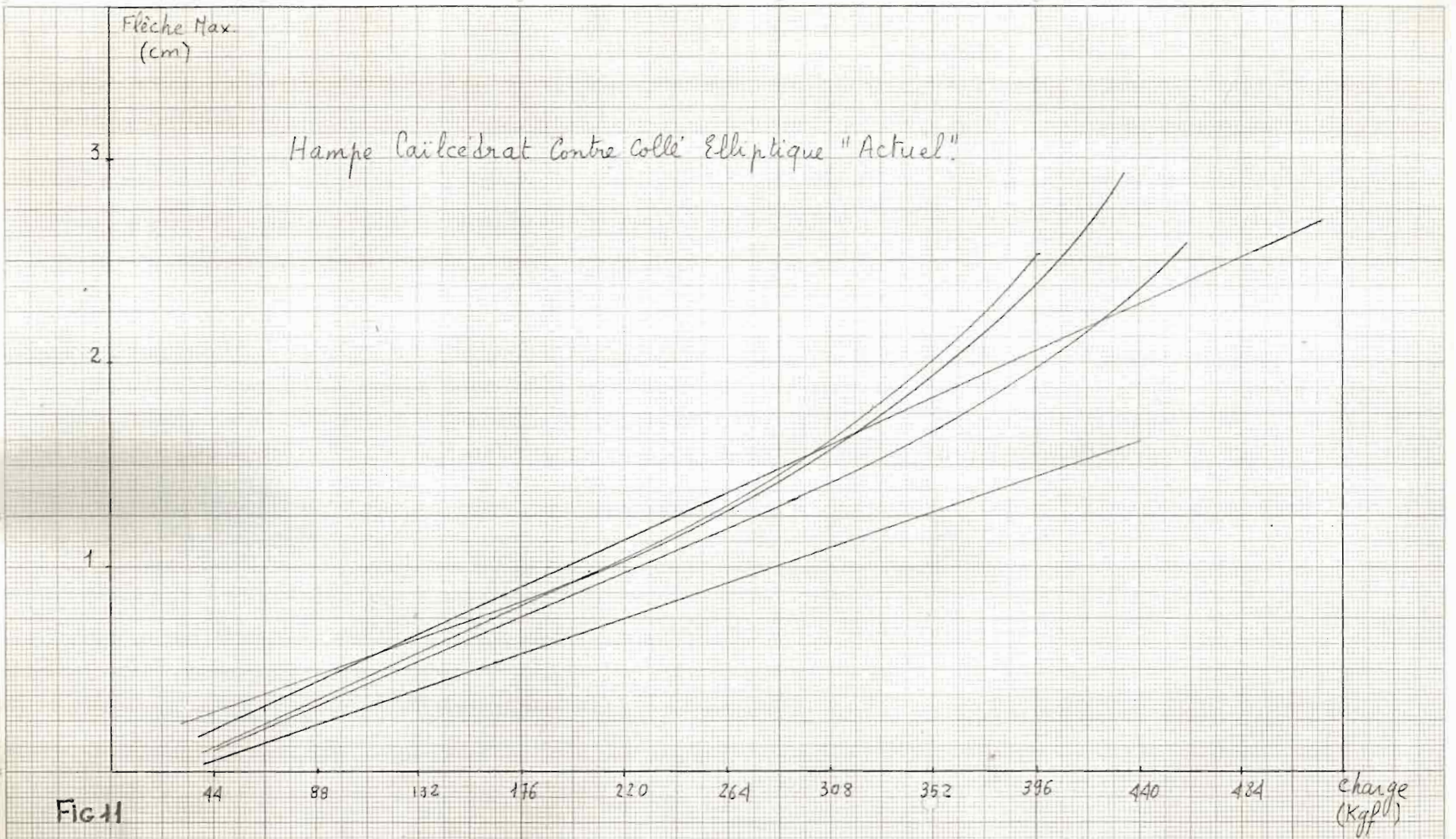


Fig 11

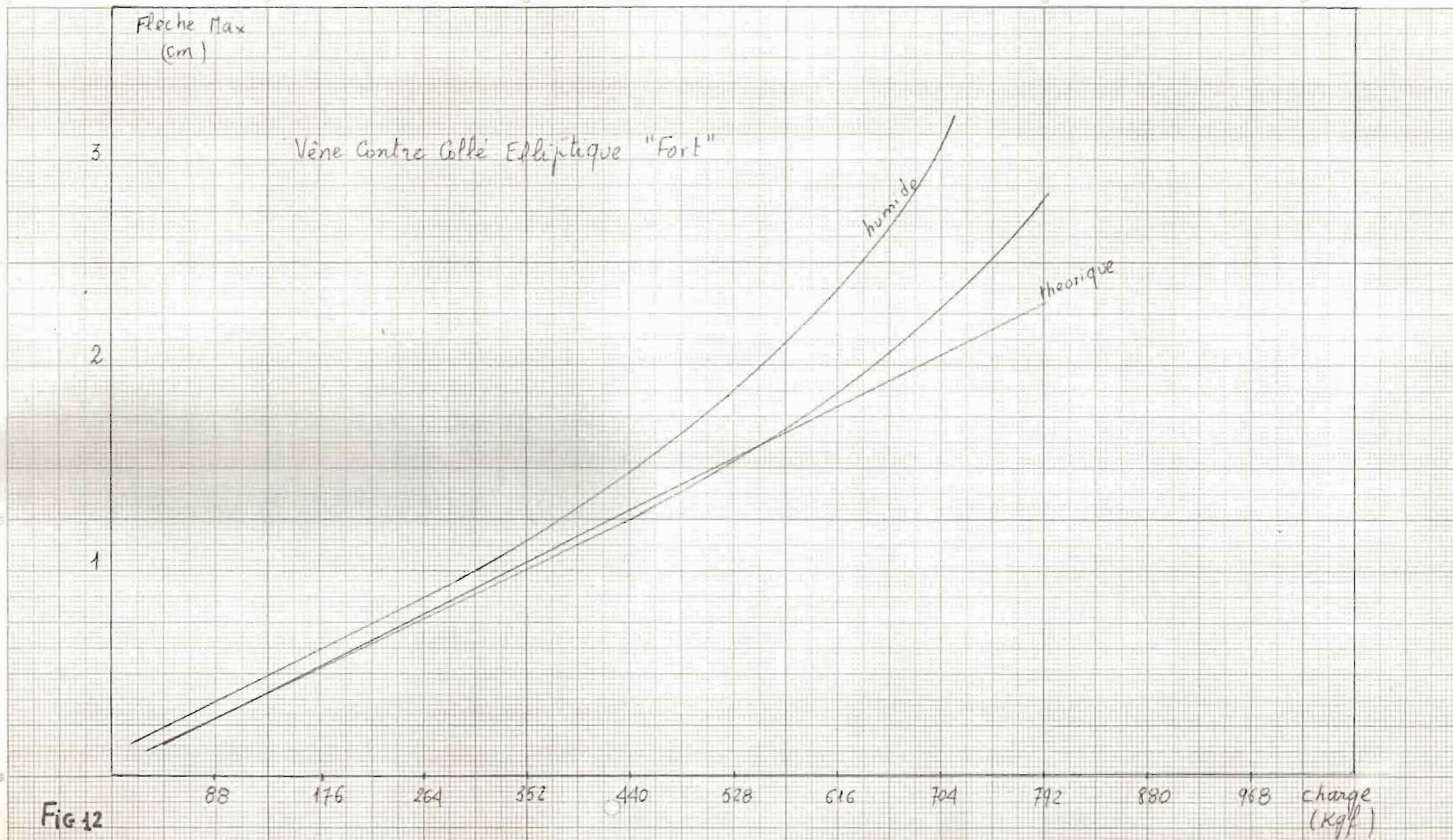


Fig 12

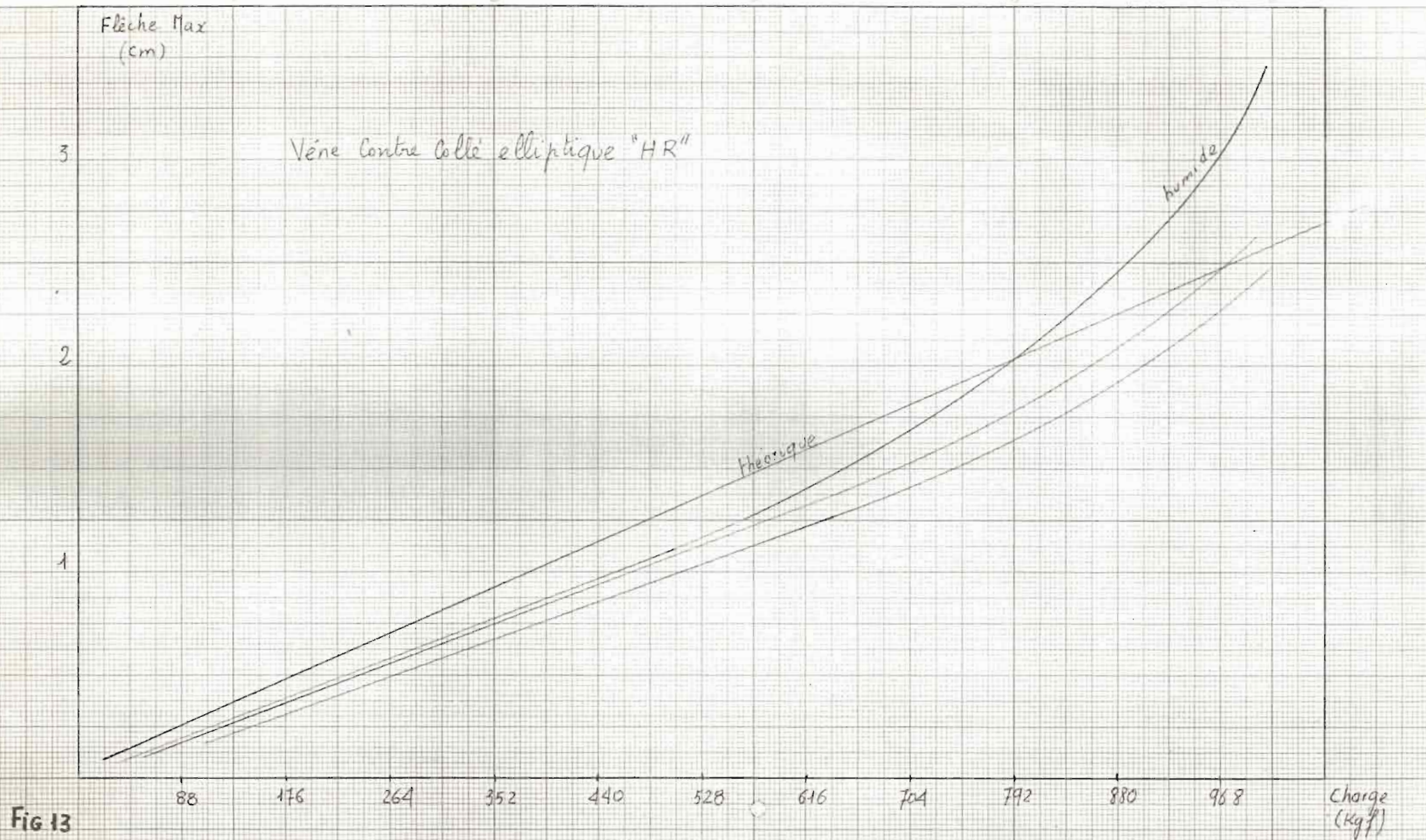


FIG 14

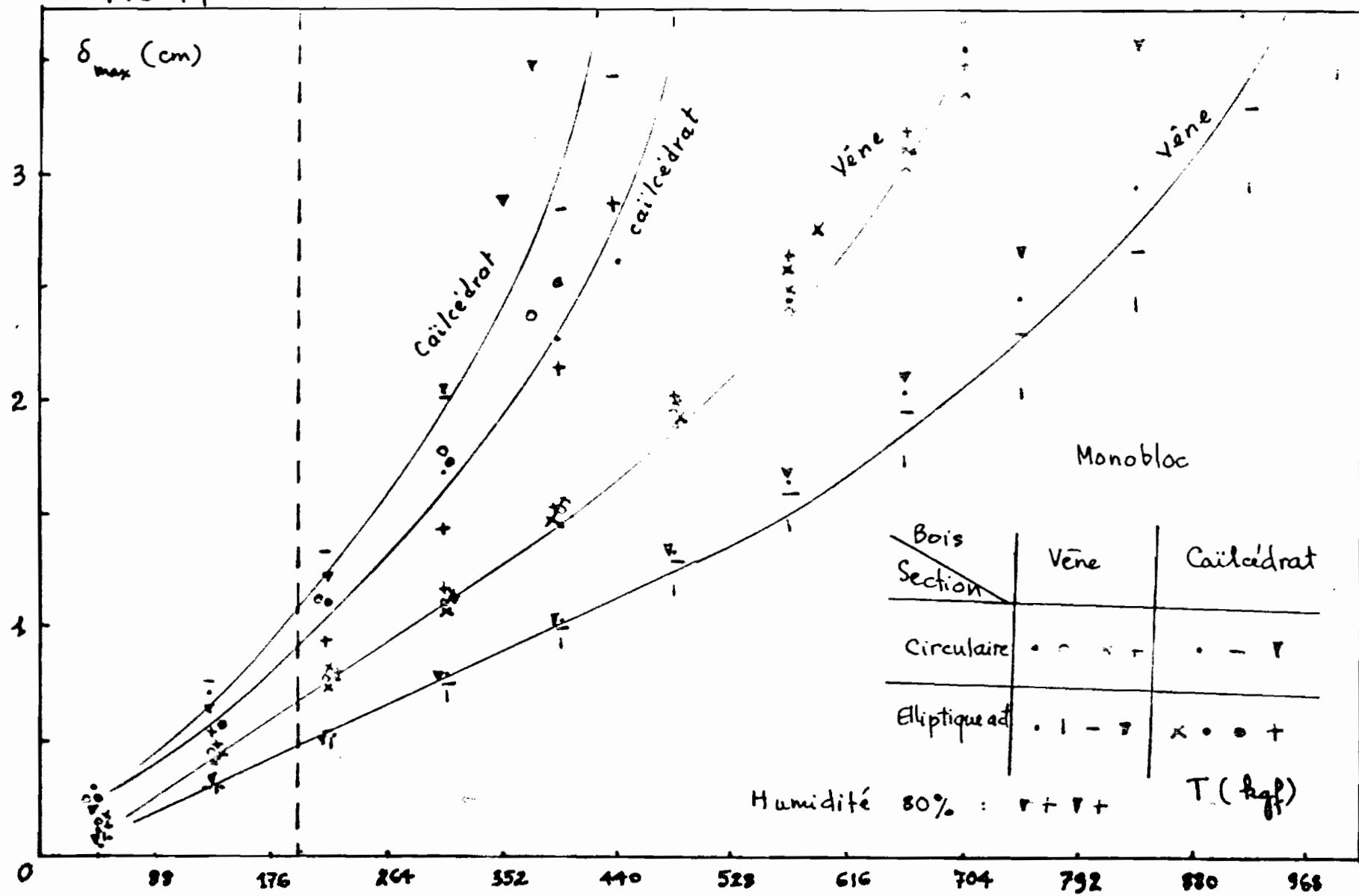


FIG 14

FIG 15

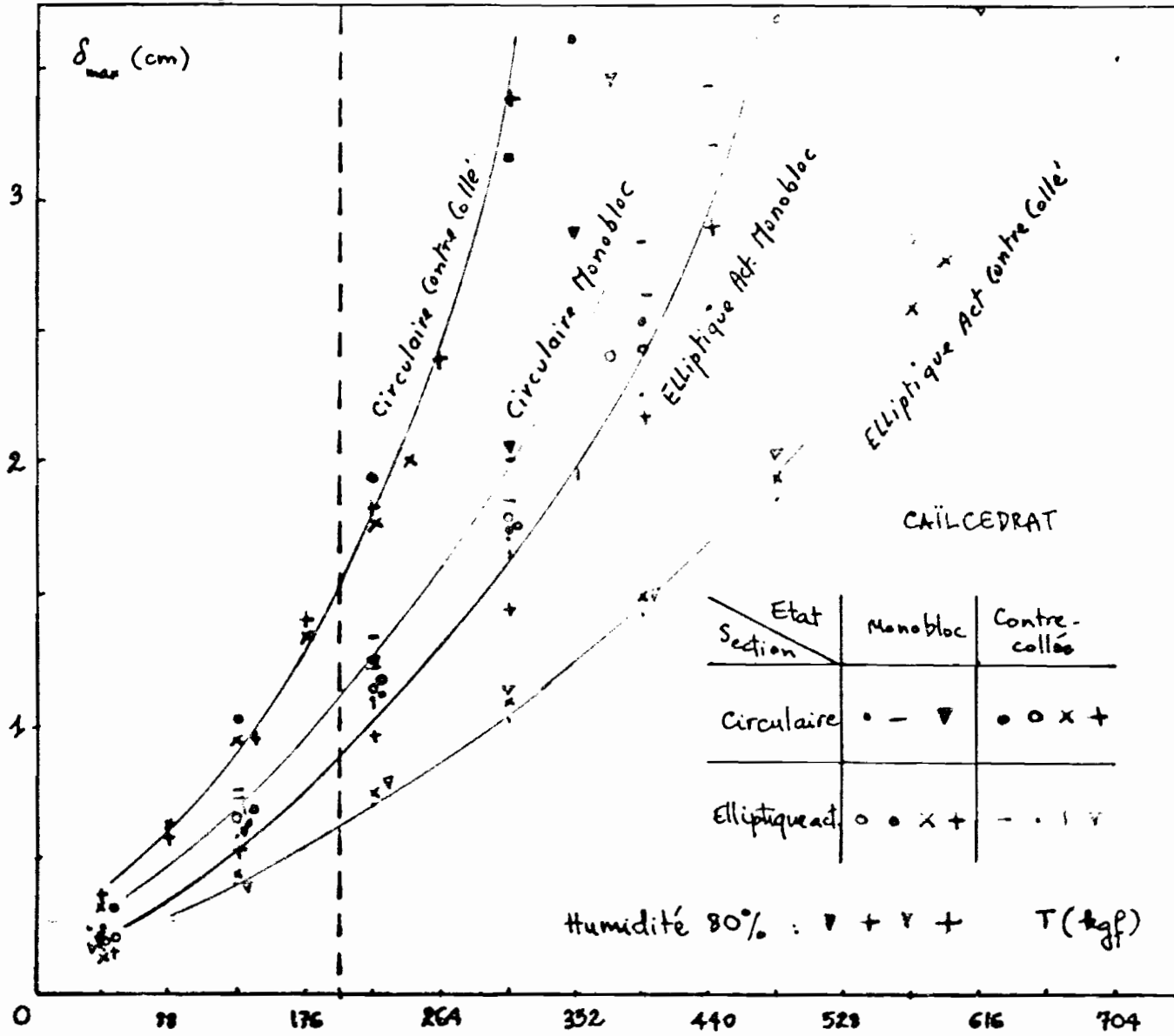


Fig 15

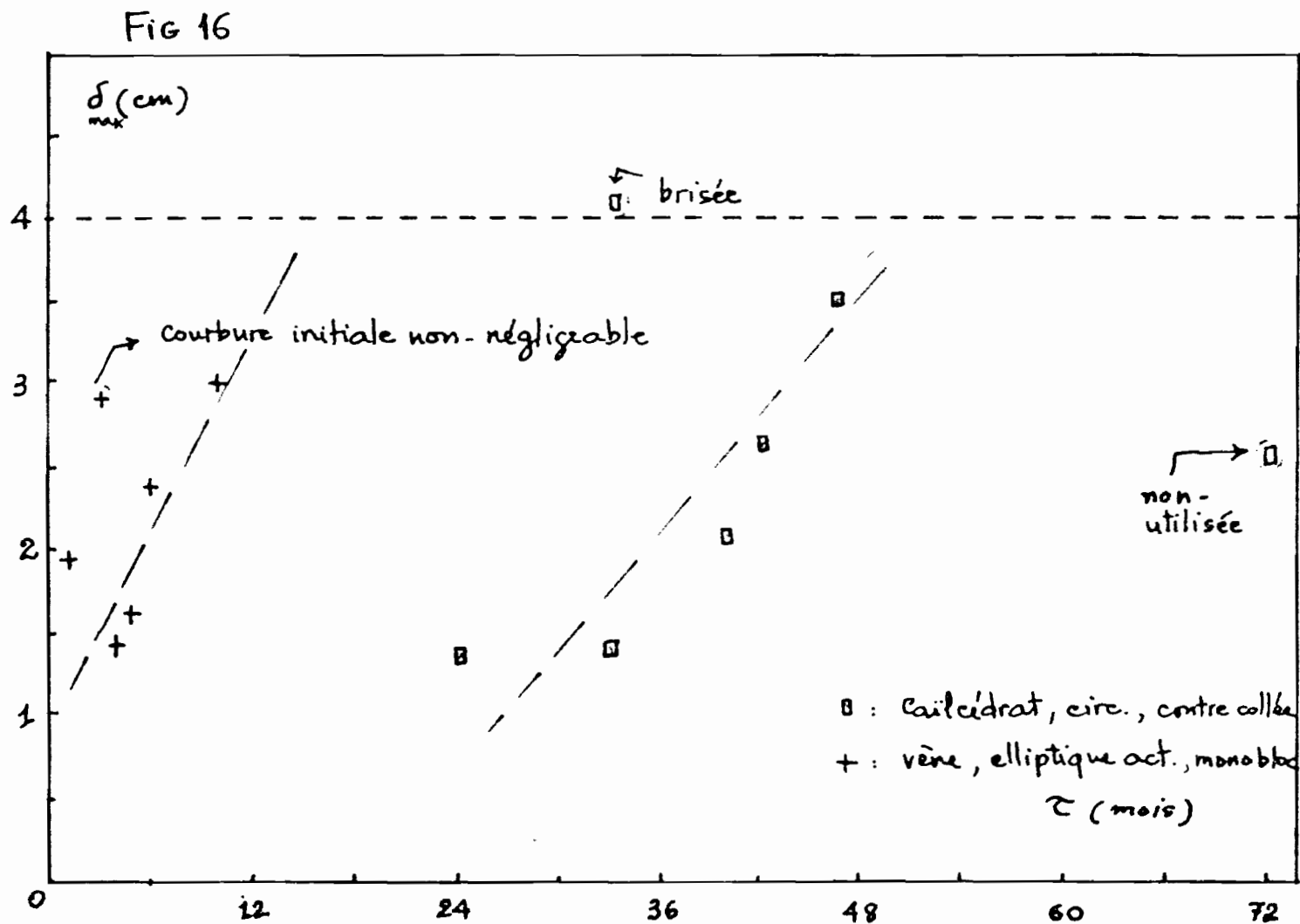


Fig 16

Mesure des flèches des KORAS en usage

REFERENCES

- [1]. Diakhatei M. "Kora de Keur Moussa, rapport EPT, 1979."
- [2]. Dinh Vo Ngoc. Notes de Cours de R d M, EPT, 1976.
- [3] C.I.T.C. Timber Construction Manual
- [4] Science et Vie N° 737
- [5] Wang C. K. Statically Indeterminate Structures
- [6] Document sur "Fundamentals of member performance"