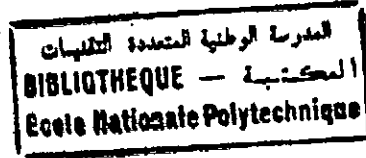


lex

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : G-M



PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

CONTROLE ET MESURE
DES PIÈCES DE GRANDES DIMENSIONS

Étude théorique

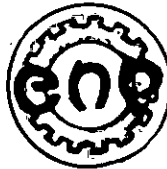
Projet d'Instrument

7 PLANCHES

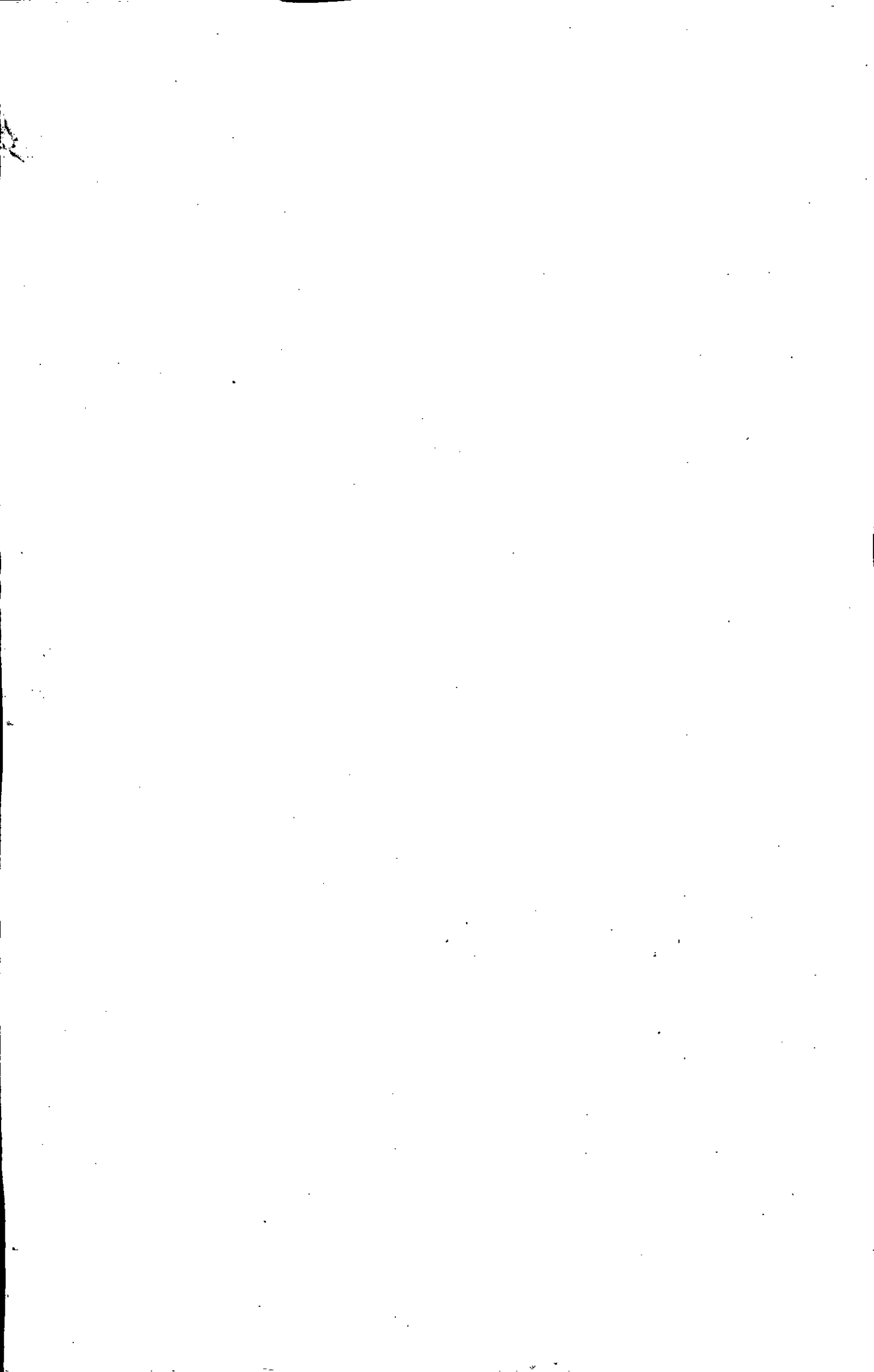
Proposé par :
M^r M. BALAZINSKI

Etudié par :
B. KABACHE

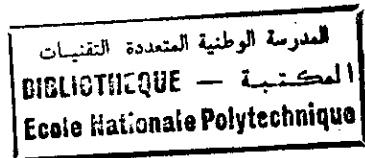
Dirigé par :



PROMOTION :
Janvier 84



- 1) Summary
- 2) littérature (bibliographie) - est donnée dans la manière au moins possible.
- 3) Comment on trouve la précision d'un instrument de mesure
- 4) Les erreurs dues à cause de l'abstraction théorique
- 5) ~~Archives - - - - - espace étendu.~~
~~possibilités de mesure~~
- 5) Laquelle est dépendance entre erreur est diamètre mesuré
- 6) Quelqu'un de nouveau!



CONTROLE ET MESURE DES PIÈCES DE GRANDES DIMENSIONS

Étude théorique
Projet d'Instrument

M^r M. BALAZINSKI

B. KABACHE

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier vivement, Monsieur
M. BALAZINSKI, Maître assistant à
l'école nationale polytechnique d'ALGER
pour ses conseils et son aide précieuse
qu'il m'a prodigué tout au long du
Semestre.

Je tiens aussi à remercier tout le
corps enseignant du département de
MECANIQUE.

DEDICACES

Je dédie cette étude :

- à mes parents
- à mes frères et sœurs
- à tous mes amis.

Boualem.

RESUME

Le sujet comporte deux parties :

La première est une étude théorique des instruments de mesure pour pièces de grandes dimensions ainsi que le contrôle.

La deuxième partie est une conception d'un instrument de mesure pour des roues dont les dimensions sont entre 3000 et 4000 (mm).

SOMMURY



ملخص

الموضوع بحري جزئين :
الجزء الاول عبارة عن دراسة نظرية تتعلق بأجهزة القياس القطع ذات الأبعاد الكبيرة. ومراقبتها أيضاً.
الجزء الثاني عبارة عن تصميم لجهاز قياس دواليب ضخمة تتراوح أبعادها بين 3000 و 4000 مم.

Chapitre 1

INTRODUCTION

- Dans le but de mesurer des pièces à grandes dimensions il est possible de procéder par différentes méthodes et avec une grande variété d'instruments de mesure.

A - Méthodes de mesurage :

- On distingue deux façon fondamentales de mesurage : la mesure directe et la mesure indirecte.

1- La mesure directe :

Cette méthode est la plus répandue ; elle consiste à déterminer directement la dimension réelle de la pièce au moyen de calibres à traits (règles graduées ; pieds à coulisse, palmes ; jauges de profondeur, micromètres d'extérieur ; jauges de diamètres, ... etc).

2- La mesure indirecte :

Ce genre de mesure détermine la grandeur d'une pièce (dimension) par comparaison à celle d'un étalon de dimension voisine, ou déduction de l'une des dimensions d'une pièce donnée à partir d'une autre dimension de la même pièce. Pour illustrer ce cas, on donne l'exemple suivant :

Proposons nous de déterminer le diamètre d'une arbre donné : (soit D). Utilisons un instrument de mesure qui nous indiquerait, en même temps, la valeur C de la corde et la flèche F correspondante. : Le diamètre D, la corde C la flèche F sont lié par l'expression :

$$D = \frac{C^2}{4F} + F$$

Les instruments qui permettent les mesurages par comparaison sont surtout les cales étalon ; et références écart.

Il est à noter que la méthode directe introduit plus d'erreurs que la méthode indirecte

Les instruments de mesure à option directe (jauge de diamètre; règle) sont étalonnés à l'aide de machines à mesurer qui sont basées sur un principe opto-mécanique. (exemple: Machine à mesurer type MUL-1000)

B-Classification des instruments de mesure:

1- Instruments dits de contrôle:

On sait qu'il est impossible de donner (de déterminer) la valeur exacte d'une dimension ou de réaliser une. Alors au lieu de s'aventurer à faire la mesure de la valeur exacte on se contente de fixer deux limites et on a pour tâche d'assurer uniquement que la cote en question est comprise entre ces deux limites. (Ces deux matérialisées par deux calibres fixes. On remarque que cette méthode est simple et est sûre aussi. Exemples: Bagues, tampons, calibres, mâchoires à fourches; Jauges plates, broches, ... etc.

2- Instruments de mesure doté d'un dispositif de lecture:

Exemples: pied à coulisse, reglet, jauge micrométrique, ... etc.

Ce genre d'instruments peuvent être classés en trois catégories:

Première catégorie: Appareils à traits et verniers. Exemples: Reglet gradué, pied à coulisse, pied de module, ...

Deuxième catégorie: Appareils à vis micrométriques. Exemples: Micromètre d'extérieur; Micromètre d'intérieur, ...

Troisième catégorie: L'instrument de mesure ici est doté d'un comparateur. Un comparateur est un amplificateur. En effet; à un faible déplacement de la touche de mesure doit correspondre un mouvement assez important de l'aiguille sur le cadran.

Chapitre 2

INSTRUMENTS DE MESURES ET METHODES DE MESURAGE.

A Les instruments de mesure:

1/ Les cales étalons:

1.1* Principes: Les cales étalons sont des solides d'acier traités, exécuté avec une grande précision et dont les surfaces utiles finement polie permettent de définir une dimension linéaire ou angulaire. fig(1)

Les dimensions des étalons s'entendent pour une température bien définie (20°C est la température d'étalonnage du système ISØ).

Les cales étalon pour les grandes dimensions sont d'une section rectangulaire; et elles se trouvent par dimensions de 500, 1000, et 2000 (mm).

NB: La norme Allemande (DIN 861) atteint même les 3000 (mm)

1.2* Procédés de mesurage:

Pour des dimensions supérieures à 2000 (mm) ou pour des dimensions intermédiaires; on utilise des blocs de cales étalon. L'assemblage de deux cales s'effectue aisément, après avoir essuyé les surfaces grasses, par glissement de l'une sur l'autre, de manière à chasser la couche (lamelle) d'air qui les sépare.

Ce procédé n'est pas utilisé dans le mesurage des grandes dimensions vu le poids considérable des cales étalons à cette échelle.

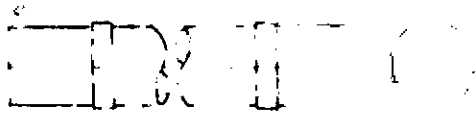
Les figures (2) et (3) illustre les solutions technologiques souvent utilisés dans le cas de mesurage des grandes dimensions.

Pour éviter l'usure des cales étalons, on utilise souvent des cales protectrices fig (2-b)

Avec le nombre de cales étalons dont dispose la norme DIN

()

B



Machou

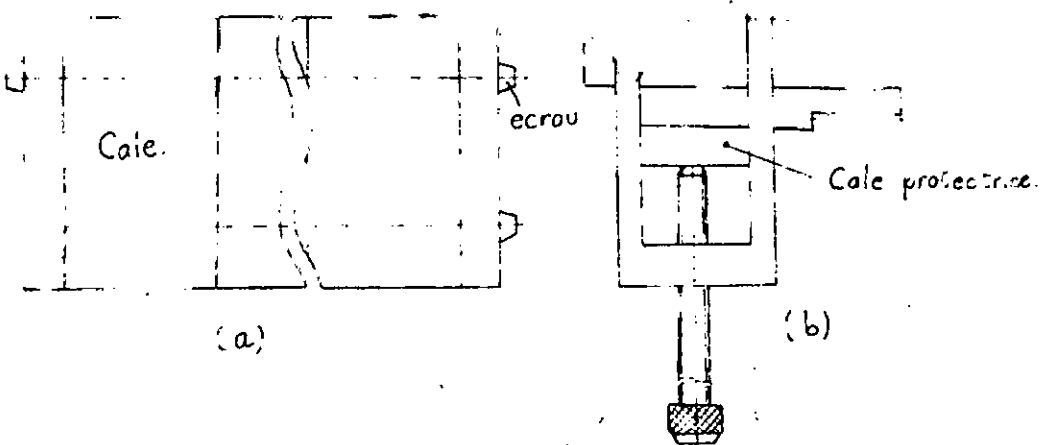


fig:2 Blocs calibres

a) MANURHI: mesures extérieures

b) JOHANSSON: mesures extérieures - erreurs

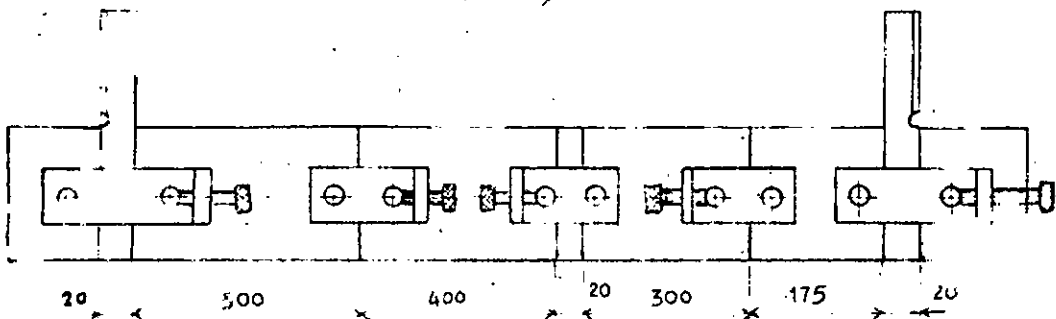


fig:3 alaire pour grandes d

0

On peut faire des mesures allant jusqu'à 15000 (mm).

La cote nominale à mesurer est égale à la somme des côtes des cales assemblées. (fig-3)

$$1435 = 20 + 500 + 400 + 20 + 300 + 175 + 20$$

1.3 Qualité des cales étalons

- Les cales étalons sont travaillées de façons différentes au point de vue précision; tout dépend de leur destinations ultérieures

La norme russe (OCT 85000-39) définit cinq (5) classes de précision qui s'étendent de zéro à quatre.

- classe 0 : Les cales étalon de cette classe sont destinées pour l'étalonnage des machines à mesurer

- classes 1 et 2 : Les cales de classe 1 et 2 sont destinées à l'étalonnage des calibres à mâchoires.

- classe 3 et 4 : les cales de classe 3 et 4 sont destinées à la mesure des côtes des pièces mécaniques

2 Jauges micrométriques (ou comparateurs endodiamétriques).

L'appellation jauge de diamètre sera souvent utilisée dans la suite de ce manuel au lieu de jauge micrométrique.

Les jauges micrométriques (jauge de diamètre) sont des appa-

-reils de mesure de diamètres intérieurs. On distingue 2 catégories

a - jauges de diamètre sans dispositif de lecture.

b - jauges de diamètre avec dispositif de lecture.

2.1 La catégorie (a) (fig 4) est utilisée dans le but de contrôler les côtes. Dans cette catégorie on trouve des réglables et des non réglables. Quelques types de jauges réglables sont données par la (fig 4)

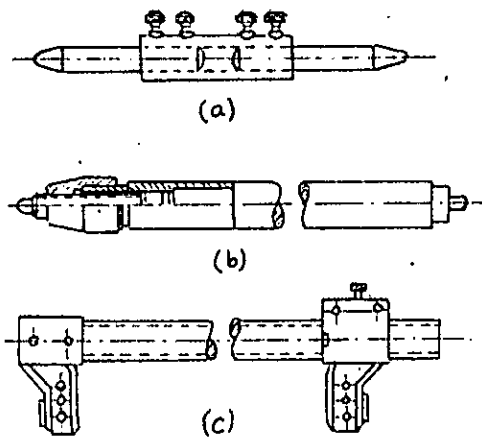


fig-4- Jauges de diamètres
 sans dispositif de lecture
 a- à rallonges interchangeables.
 b- à tête réglable
 c- réglable à mâchoires

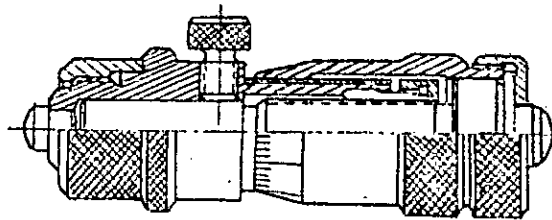


fig-5- Jauge de diamètre
 avec dispositif de lecture.

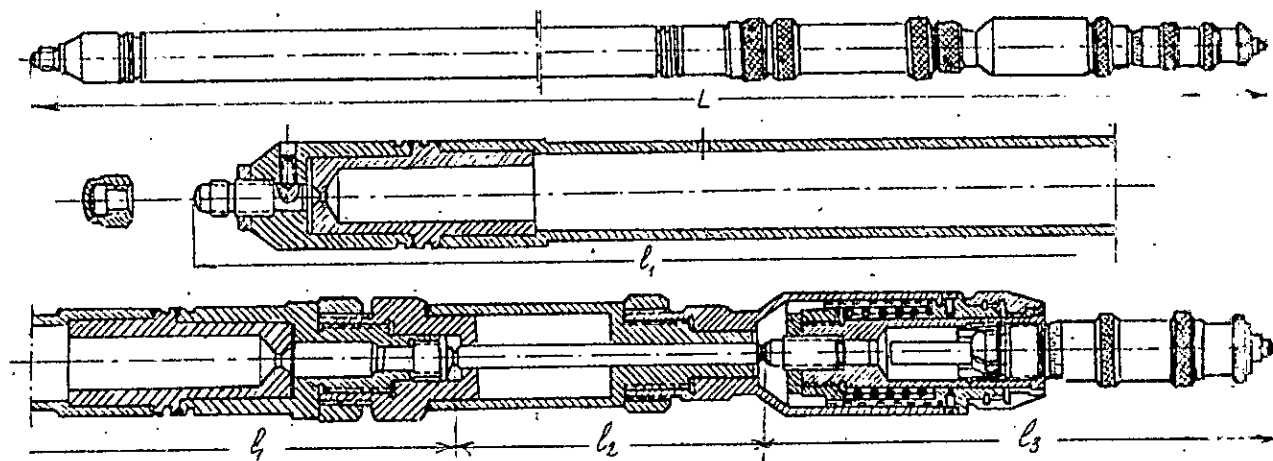


fig-6-

Jauge de diamètre en tuyau

Les jauges de diamètre non réglables sont de simples tige, ~~ou~~ monobloc; elles existent en plusieurs gammes : 25, 50, 100 (mm)

2-2 La catégorie (b) sont basées sur le principe d'une vis micrométrique. Elles sont souvent dotées d'un comparateur. (fig-5)

Les jauges de cette catégorie; les plus répandues sont à tête micrométriques remplaçables. (fig 6)

Les jauges de diamètre sont composées essentiellement de deux éléments :

- tête micrométrique
- de rallonges de longueurs 13, 25, 50, 100, 150, 200, 600 (les valeurs sont en (mm).

Les défauts de ce genre de jauges est leur faibles rigidité pour des longueurs supérieures à 900 (mm) et les usures prématurées des rallonges

Vu les grands pas faits par la technologie de la métallurgie des poudres; le problème d'usure des touches est quasiment contrôlé. Actuellement des touches bombées sont fabriquées en carbure fretté; ainsi leur durée de vie est améliorée.

Les fig 6 et 7 donnent des solutions constructives différentes.

Pour pallier au problème de rigidité des jauges de diamètre sont fabriquées en forme de cigare ou pontées (fig 8 et fig 9)

Dans la page 11 les tableaux 1 et 2 sont respectivement relatifs à la fig 6 et la fig. 7.

En page 13; le tableau 3 donne les différents renseignements sur les jauges de diamètre en forme de cigare.

Pour une jauge de diamètre donnée; la plage de mesure est de 400 (mm) et la valeur de 1000 (mm) est atteinte parfois surtout dans le cas des grandes dimensions. (Cf. Tableau 3)

Long. nominale L (mm)	Long tuyau l_1 (mm)	Rallonge l_2 (mm)	Long. tête micro- mèt. l_3 (mm)	\varnothing tuyau d (mm)
800 ÷ 1000	630	25 ÷ 175	170	24
1000 ÷ 1200	830	25 ÷ 175	170	24
1200 ÷ 1400	1030	25 ÷ 175	170	24
1400 ÷ 1700	1230	25 ÷ 175	170	29
1700 ÷ 2000	1530	25 ÷ 175	170	29

Tableau - 1 - [fig-6]

Longueur no- minale L (mm)	Longueur tuyau l_1 (mm)	Rallonge l_2 (mm)	Longueur des rallonges l_3 (mm)	\varnothing du tuyau	
				exterieur de	interieur di
1000 ÷ 1500	800	125	75 ÷ 575	20	15
1500 ÷ 2000	1300	125	75 ÷ 575	25	20
2000 ÷ 2500	1800	125	75 ÷ 575	25	20
2500 ÷ 3000	2300	125	75 ÷ 575	25	20

Tableau - 2 - [fig-7]

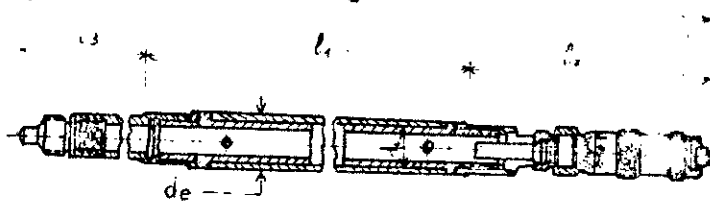


fig-7. Jauge de diamètre pliable

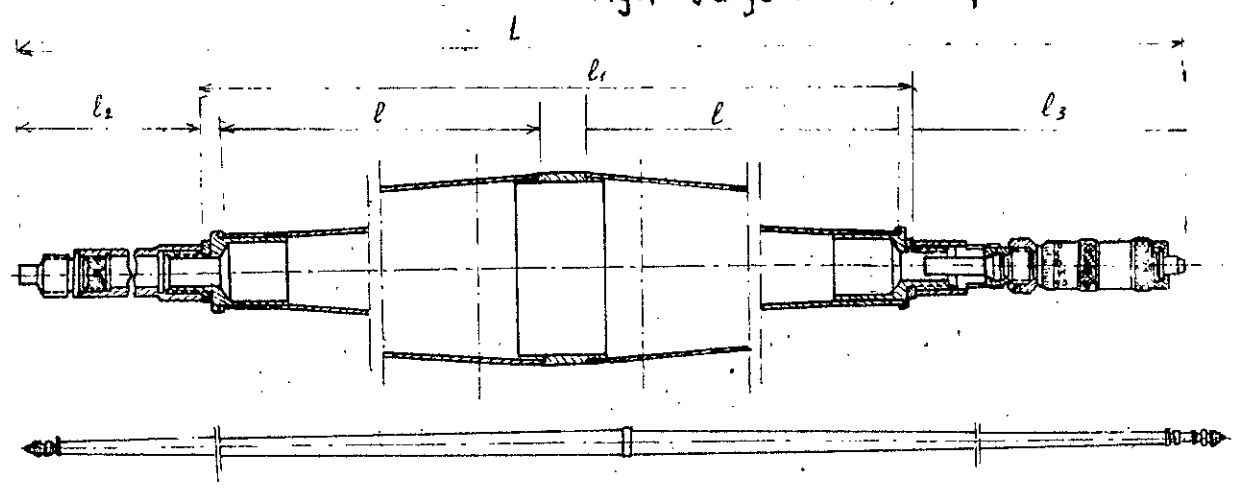


fig-8. Jauge de diamètre en cigare.

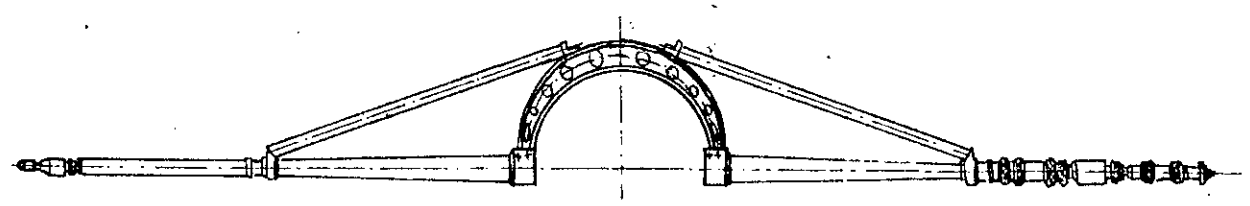


fig-9. Jauge de diamètre pontée.

Longueur nominale L (mm)	Long. des cônes l (mm)	longueur totale du "Cigare" l ₁ (mm)	Long. tête micrométrique: l ₂ (mm)	Long. de la rallonge l ₃ (mm)	diamètre des cônes (mm)	
					D _{max}	D _{min}
1500 ÷ 2000	630	1300	125	75 ÷ 575	48	30
2000 ÷ 2500	880	1800	∥	∥	56	∥
2500 ÷ 3000	1130	2300	∥	∥	64	∥
3000 ÷ 3500	1380	2800	∥	∥	72	∥
3500 ÷ 4000	1630	3300	∥	∥	80	∥
4000 ÷ 4500	1830	3800	∥	∥	88	∥
4500 ÷ 5000	2130	4300	∥	∥	96	∥
5000 ÷ 5500	2380	4800	∥	∥	104	∥
5500 ÷ 6000	2630	5300	∥	∥	112	∥
6000 ÷ 7000	2880	5800	∥	75 ÷ 1075	120	∥
7000 ÷ 8000	3380	6800	∥	∥	136	∥
8000 ÷ 9000	3880	7800	∥	∥	152	∥
9000 ÷ 10000	4380	8800	∥	∥	168	∥

Table 3 (Fig-8)

On trouve aussi des jauges de diamètre dites télescopiques; elles trouvent leur champ d'utilisation pour les dimensions allant de 1000 jusqu'à 10000 (mm). Fig 10 et 11.

Elles se composent:

d'un tuyau extérieur et des dents à tourillons coulissants avec possibilité d'allongement de 500 à 1000 (mm); le tuyau est doté d'un vernier et le tourillon d'une douille graduée.

Pour éviter les erreurs dues à la charge de contact, des comparateurs sont fournis avec la jauge de diamètre, mais ces derniers temps ces comparateurs font partie intégrante de la jauge de diamètre. (fig 12, fig 13). Plage de mesure:

400 ÷ 700 (mm) et de 700 ÷ 1000 (mm)

Jauge 23 Autres types de jauges de diamètre

Aux USA, la firme WESTINGHOUSE (construction des wagons de train) construit des jauges de diamètre dites à câbles. Les câbles sont utilisés dans le but d'augmenter la rigidité de l'instrument sans augmenter son poids.

La jauge de diamètre en question se compose d'un tuyau avec 4 disques liés entre eux par câbles réglables (fig 14)

Cet instrument est léger mais son inconvénient réside dans la difficulté d'obtenir la même tension dans les câbles, et ceci a des repercussions non négligeables sur la précision de l'instrument.

Pour minimiser les effets de variations de température, auxquelles sont exposés les jauges de diamètre en métal, l'usine SKODA (Tchécoslovaquie) construit des jauges de diamètre en bois collé; elles ont presque le même poids que les alliages légers mais elles ont un très faible coefficient de dilatation; donc une précision meilleure.

La figure 15 en page 17 illustre un appareil dit mesureur de longueur à câble (à fil). Il se compose de deux électro-aimants (6) d'un tendeur de fil (3), d'un dispositif de lecture micrométrique (11) et d'un fil en INVARI (2) de diamètre $1 \div 1,5$

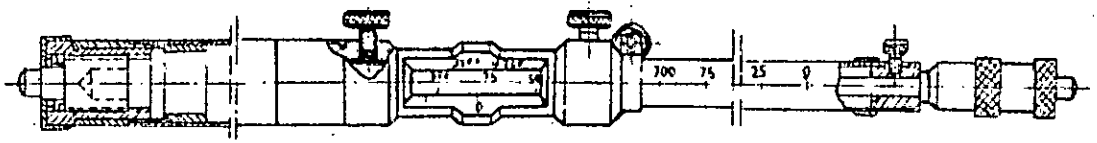


fig.10- Jauge de diamètre télescopique en tuyau

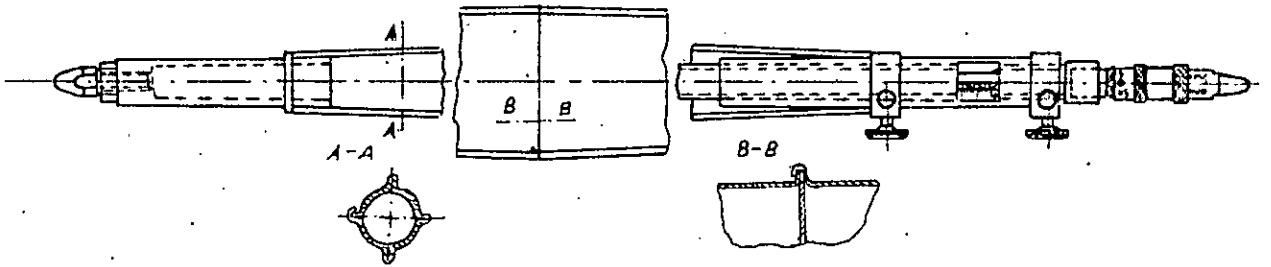


fig.11- Jauge de diamètre télescopique en cigare.

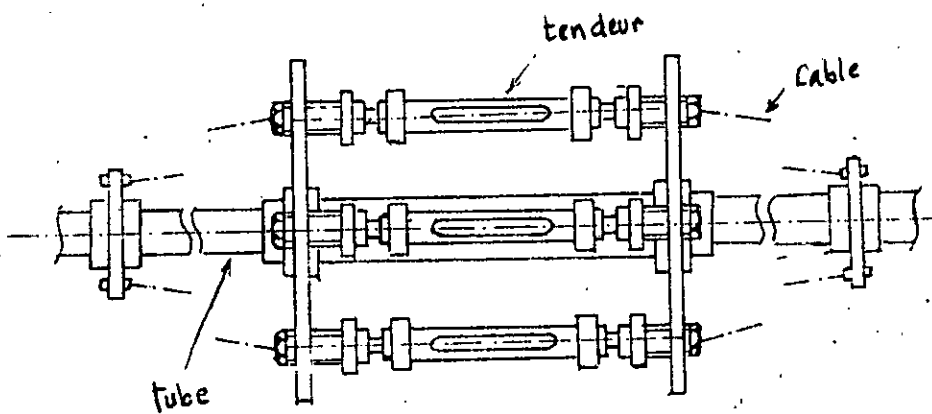


fig 14 - Jauge de diamètre à cables tendus.

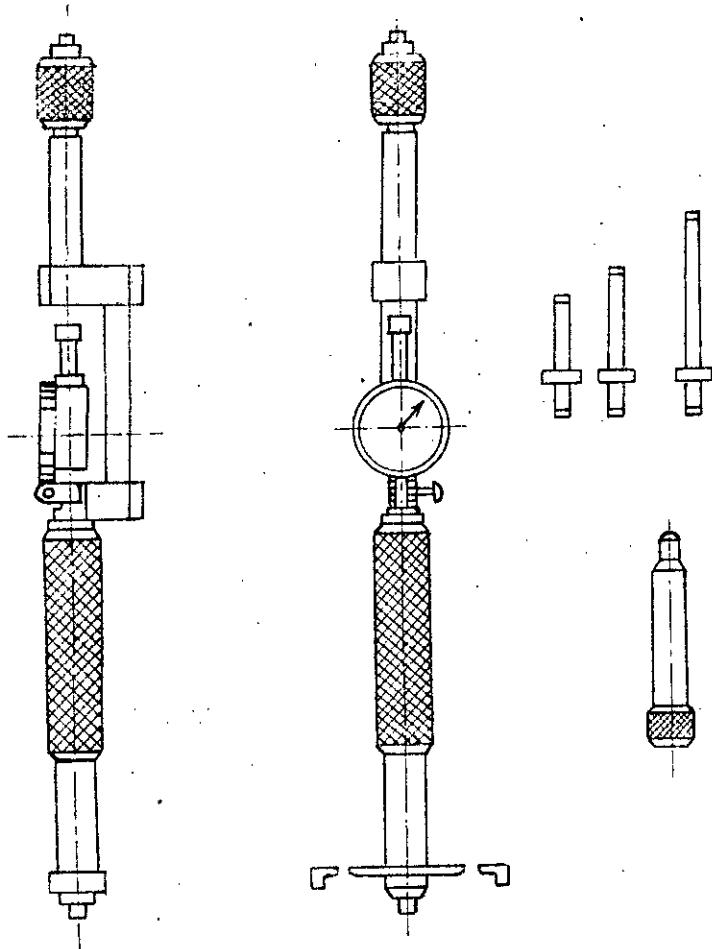


fig-12- Jauge de diamètre a comparateur

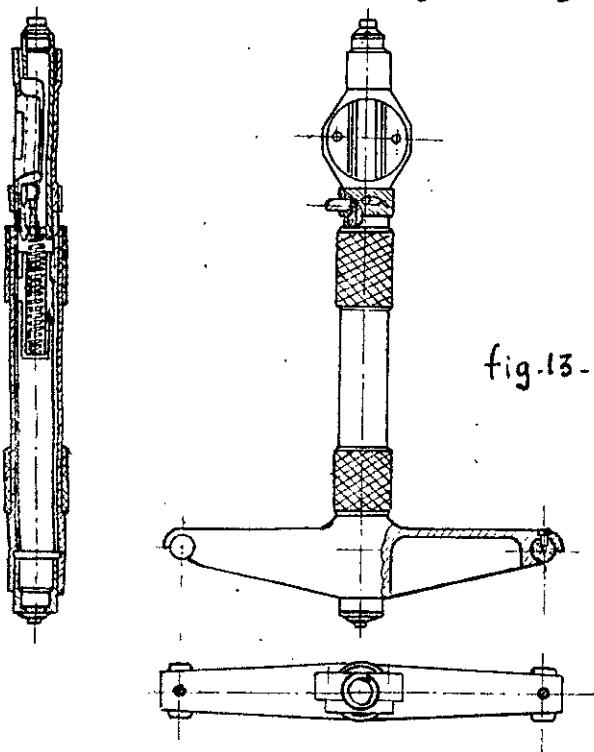


fig-13- Instrument de mesure à 3 touches
Comparateur incorporé.

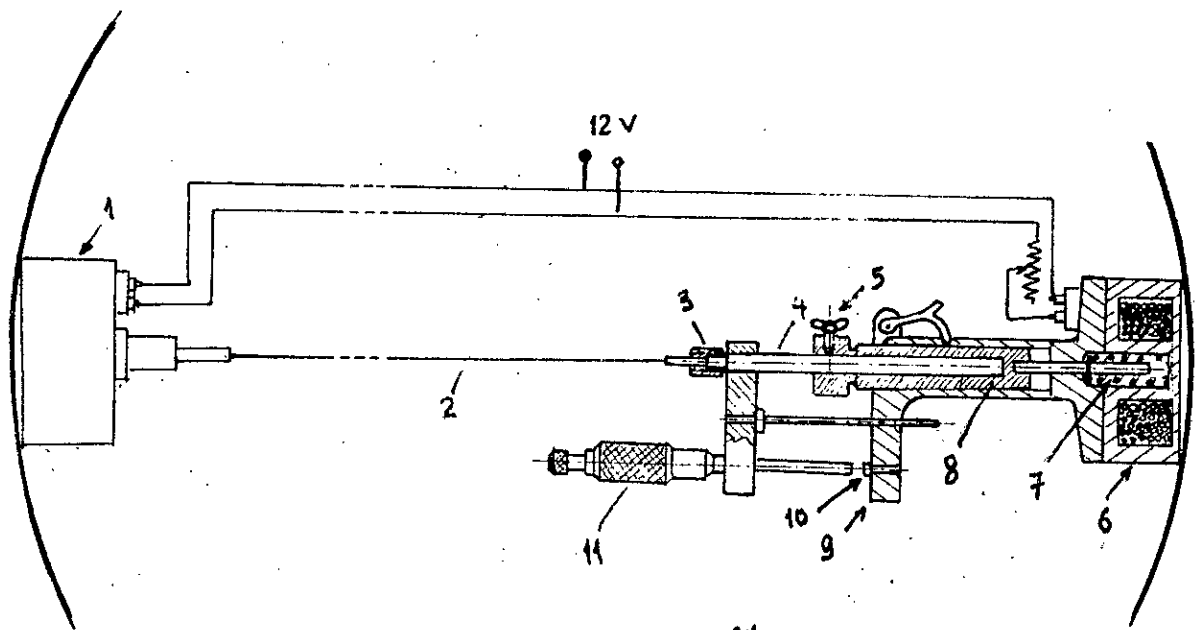


fig 15. Mesureur à fil

1,6 électroaimant ; 2 fil ; 3 vis de tension ; 4 tige ; 5 écrou
 7 ressort ; 8 douille ; 9 glissière ; 10 butée fixe ; 11 vis micrométr.

Le fil (2) est fixé dans le premier électroaimant (1) et sur le deuxième (5) par l'intermédiaire d'un dispositif de tension. Le ressort (7) assure une force de tension constante.

Le dispositif de lecture se compose d'une tête micrométrique (11) d'une tige (4), d'une butée (10) (touche fixe), qui est reliée à l'électroaimant. Cet appareil de mesure donne la différence entre le diamètre qu'on veut mesurer et la longueur du fil. Les électroaimants sont alimentés par une source de courant continu de 12V qui confère aux électroaimants une capacité de charge de 10 daN. Les avantages de cet appareil sont :

- poids faible
- précision : Incertitude de mesure $\pm 0,2$ (mm) pour des diamètres de 9000 (mm).

Etalonnage des jouges de diamètre : (cf à la fig 19)

3 INSTRUMENTS DE MESURE AVEC MACHOIRES.

Ce genre d'instrument est très répandu, on distingue deux sortes :

a - Instruments de mesure avec machoires à corps pontés (fig 16)
Ils sont utilisés pour la mesure des arbres, des cylindres, des douilles et autres, leur capacité de mesure est de 2000 (mm)

b - Instruments de mesure avec machoires à corps sous forme de tige - (fig. 18) : ayant pour capacité de mesure 6000 (mm). à commencer par 500 (mm).

Chacun de ces deux types d'instrument de mesure peut se présenter sous deux formes :

- Comme vérificateur (sans dispositif de lecture).
- (Avec dispositif de lecture) - Micromètre ou comparateur.

Les gammes de réglage de l'embout sont de :

50 à 200 (mm) pour les instruments pontés

500 à 1500 (mm) pour les instruments en forme de tige.

Les corps de ces instruments de mesure sont obtenus à

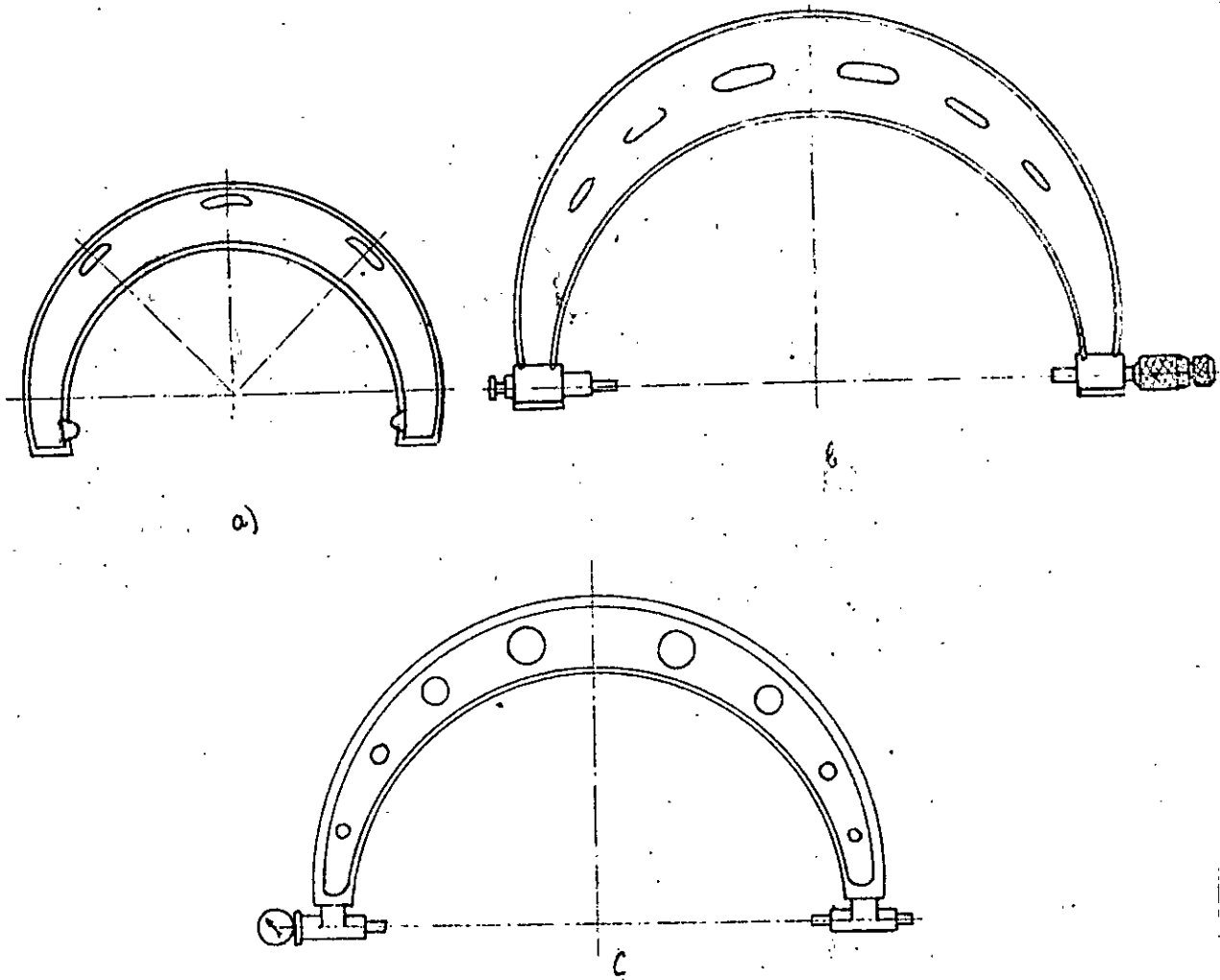


fig 16: Instruments de mesure à mâchoire pontée.

- a : Calibre.
- b : à tête micrométrique.
- c : avec comparateur

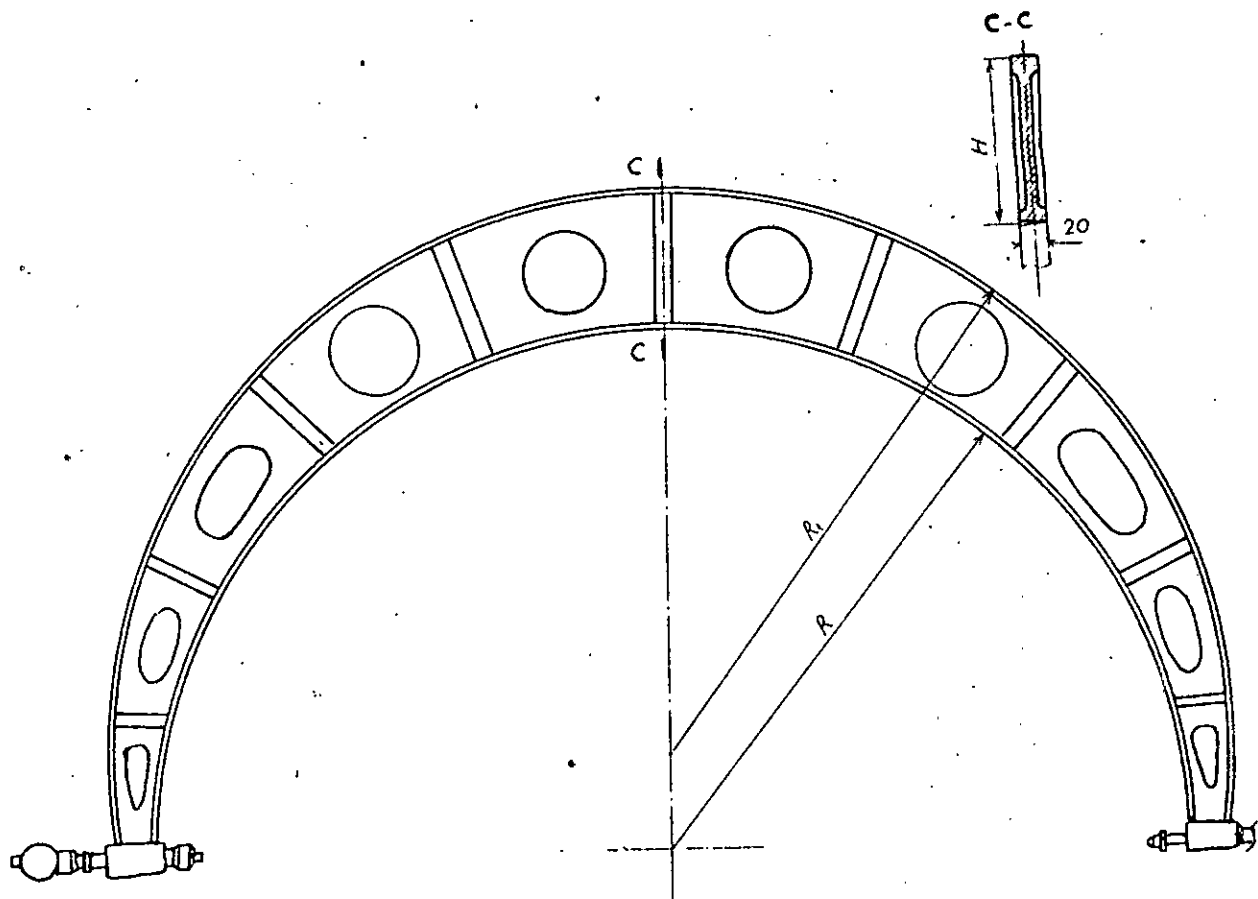


fig 17: Corps d'un instrument de mesure ponté.
(à mâchoire)

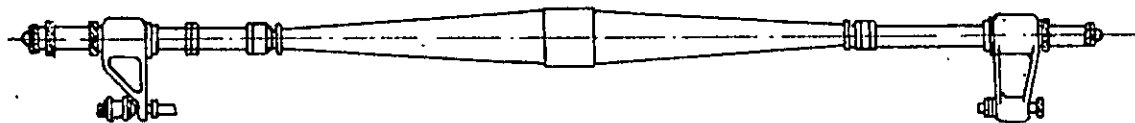


fig 18: Instrument de mesure à mâchoire
en forme de cigare

partir de plusieurs procédés de fabrication :

- Corps coulés en alliage léger
- Corps soudés en tôles d'acier
- Corps en tuyaux soudés
- Corps en bois.

Plage de mesure (mm)	Rayon extérieur R_e du corps (mm)	Rayon intérieur R_i du corps (mm)	Hauteur H du corps (mm)
500 ÷ 600	362	318	100
600 ÷ 700	314	368	120
700 ÷ 800	466	418	140
800 ÷ 900	518	465	160
900 ÷ 1000	572	518	180

Tableau (4) (Fig 17)

3 Pieds à coulisse et instruments de mesure à vernier :

3.1 Les pieds à coulisse :

Les pieds à coulisse sont utilisés dans le mesurage des côtes longueurs, des distances d'entre-axes d'alésages, ... etc.

Les plages de mesure des pieds à coulisse sont réparties comme suit : de 0 à 500 (mm) ; de 250 à 800 (mm) ; de 400 à 1000 (mm) ; de 600 à 1500 (mm) ; et de 800 à 2000 (mm).

L'incertitude absolue pour une côte de 1500 (mm) est $\pm 0,05$ (mm) à $\pm 0,1$ (mm). Pour des dimensions supérieures à 1500 (mm) et inférieures à 2500 (mm), l'erreur limite ne dépasse pas $\pm 0,1$ (mm).

L'incertitude absolue dépasse $\pm 0,1$ (mm) pour des dimensions supérieures à 2500 (mm). Quelques exemples mettront en évidence ce problème ; l'incertitude absolue est de :

- $\pm 0,3$ (mm) (pour) au maximum pour des dimensions entre 2500 et 3000 (mm)

- $\pm 0,4$ (mm) au maximum pour des dimensions entre 3000 et 4000 (mm)

Les pieds à coulisse ayant des capacités de mesure supérieures à 2000 (mm) sont, dans la plupart des cas, utilisés comme instrument de vérification des jagues de diamètre et aussi dans leur réglage.

3.2 Les jagues de hauteur (Exemple d'instrument de mesure à vernier)

Ce genre d'instrument est utilisé pour le mesurage des hauteurs. Leur plage de mesure est :

de 60 à 800 (mm) et de 600 à 1000 (mm) à $0,1$ (mm) près.

4 Les réglets gradués :

Les réglets gradués sont des rubans en acier dont l'origine de la graduation (en mm) peut être superposée à l'extrémité opposée. Cet instrument est rencontré en diverses longueurs : 0,20 (m) ; 0,50 (m) ; 1 (m) et 2 (m).

Les reglets ne sont utilisés que dans les cas où la précision n'est pas trop exigée.

Des reglets relativement long, sont spécialement utilisés :

1, 2, 5, 10, 20, 30 et 50 (m) sont les longueurs de ce genre de reglets, ils sont fournis sous forme de rouleaux.

5- Etalonnage des instruments de mesure :

A titre d'exemple, et non restrictif, on cite le cas de l'étalonnage des jauges de diamètre. Pour ce, plusieurs moyens sont déployés : comparateur, marbre, et cales étalon.

La jauge de diamètre est comparée à un empilement de cales étalon posées sur un marbre, le comparateur indiquerait la différence. (fig - 19).

Il est à faire remarquer que cette méthode peut être utilisée dans le but de mesurer et non, uniquement, dans l'étalonnage, et elle donne des mesures plus précises que plusieurs autres instruments.

Citons les résultats de mesure d'un diamètre de 2740 (mm) à l'aide de :

a- la méthode illustrée par la figure 19 : $\pm 12 (\mu\text{m})$

b- un instrument de mesure dont le corps est une barre en bois : $\pm 30 \div \pm 0,50 (\mu\text{m})$

c- un instrument dont le corps est une barre en acier : $\pm 70 \div \pm 100 (\mu\text{m})$

d- un instrument de mesure ponté : $\pm 100 (\mu\text{m})$.

B: Méthodes de mesurage :

1- Mesure indirecte par rapport à une surface de référence supplémentaire :

- Cette méthode utilise comme moyen les banes des machines outils car elles sont fabriquées avec une très grande précision. Des broches spéciales sont aussi exploités dans ce but.

Les schémas de la figure 20 sont des exemples types

Voici des explications sommaires sur la figure 20 :

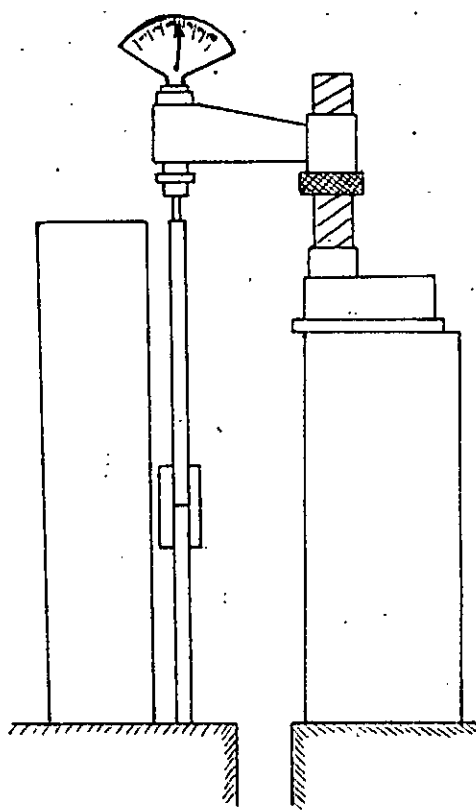


fig.19- étalonnage

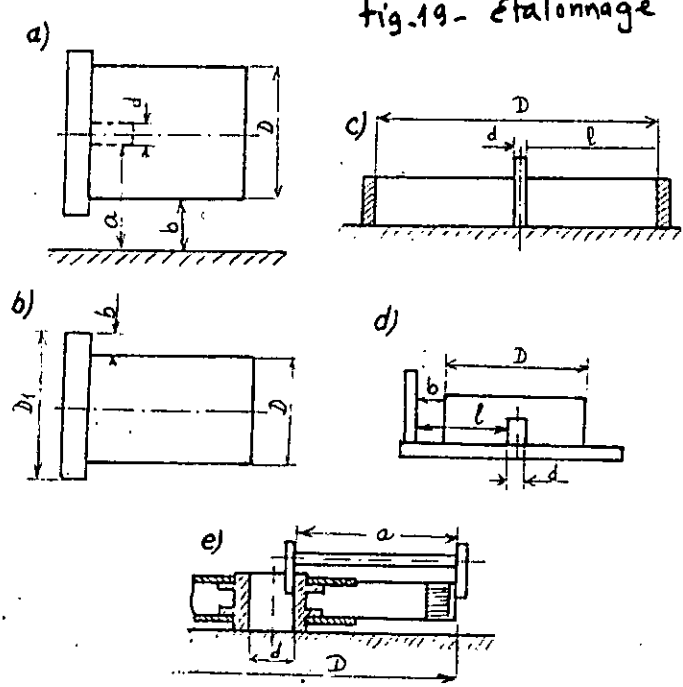


fig 20 Mesurage indirect . Méthode des surfaces de référence supplémentaires.

Fig 20-a : Cette figure illustre le mesurage d'une dimension par rapport au banc d'une machine outil.

La cote a est déterminée à l'aide d'une ~~gauge~~^{broche} spéciale ainsi la cote D (diamètre de la pièce) est donnée par l'expression :

$$D = 2(a + \frac{d}{2} - b)$$

Fig 20-b : Cette fois-ci la surface de référence supplémentaire n'est pas le banc mais le mandrin de la machine. La cote b est prise par rapport à l'arête du mandrin, ainsi l'expression du diamètre D est

$$D = D_1 - 2b$$

Fig 20-c : Le diamètre intérieur D peut être déterminé en utilisant des broches de diamètre d , ainsi la mesure de l donnerait celle de D par l'expression :

$$D = 2l + d$$

Fig 20-d : Cette méthode de mesurage est dite méthode du tour vertical. L'expression du diamètre D est donnée par l'expression :

$$D = 2l - d - 2b = 2(l + \frac{d}{2} - b)$$

Fig 20-e Cette méthode est utilisée dans la mesure des rotors. L'expression D du diamètre extérieur du rotor est $D = d + 2a$.

2 Méthode des bandes :

Cette méthode est aussi indirecte ; car elle consiste à mesurer la circonférence (périmètre) l de la pièce ; puis par calcul on déduit la valeur du diamètre D .

$$D = \frac{l}{\pi}$$

Cette méthode de mesurage n'est utilisée que pour des arbres de grandes dimensions ~~et~~ (~~de grande taille~~) dont le diamètre dépasse 2000 (mm)

Les fig 21 et 22 donnent des solutions technologiques perme-

-tant la régulation de la tension du ruban.

Cette méthode nous donne aussi la possibilité de déduire le diamètre intérieur D_i d'une pièce donnée :

Déterminer le diamètre extérieur D_e puis retrancher l'épaisseur a .

$$D_i = D_e - 2a$$

Il est à noter que cette méthode est imprécise; surtout en ce qui concerne les défauts de forme (exemple: degré d'ovalisation).

3 Mesurage indirect avec les instruments à trois touches

La figure (23-a) représente un exemple d'instrument de mesure à trois (3) touches doté d'un comparateur micrométrique (minimètre). L'instrument s'appuie sur l'arbre à mesurer avec des surfaces de contact constante; par contre la tige du minimètre doit être réglée et positionnée sur l'arbre à mesurer. Avant d'entamer le mesurage il faut régler l'instrument sur la dimension nominale (diamètre nominal) de l'arbre. Les écarts (diamétraux (ou l'écart) diamétral) de la valeur réelle par rapport à la valeur nominale (théorique) sont (ou est) déterminé(s) à l'aide du minimètre.

Le calcul déductif du diamètre se fait à partir des relations géométriques suivantes: (fig 23-b).

Dans le triangle OAB : $\frac{R}{R+h} = \sin \frac{\alpha}{2}$

$$\frac{h}{R} = \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1$$

$$D = \frac{2h}{\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1}$$

d'où enfin

$$\Delta D = \frac{2 \cdot \Delta h}{\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1}$$

avec :

ΔD : Ecart du diamètre à mesurer par rapport au diamètre nominal.

Δh : Lecture du mini mètre.

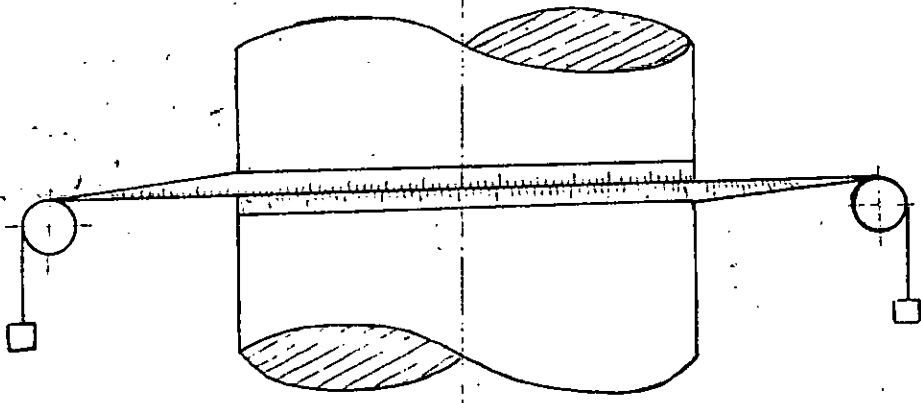


fig 21. Schéma de principe de mesurage à l'aide d'un ruban

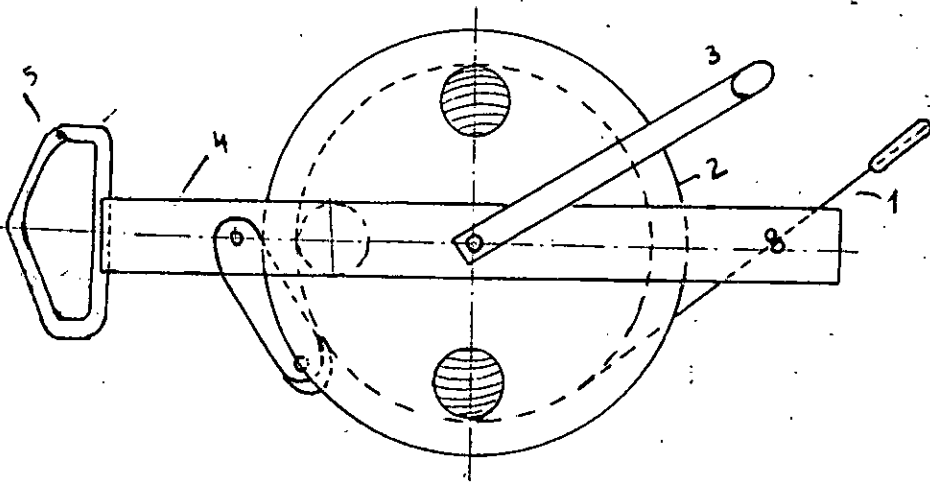


fig 22

Dispositif : tendeur à bobine.

1- ruban déroulé ; 2- bobine ; 4- chape
3- poignée ; 5- serre manchon.

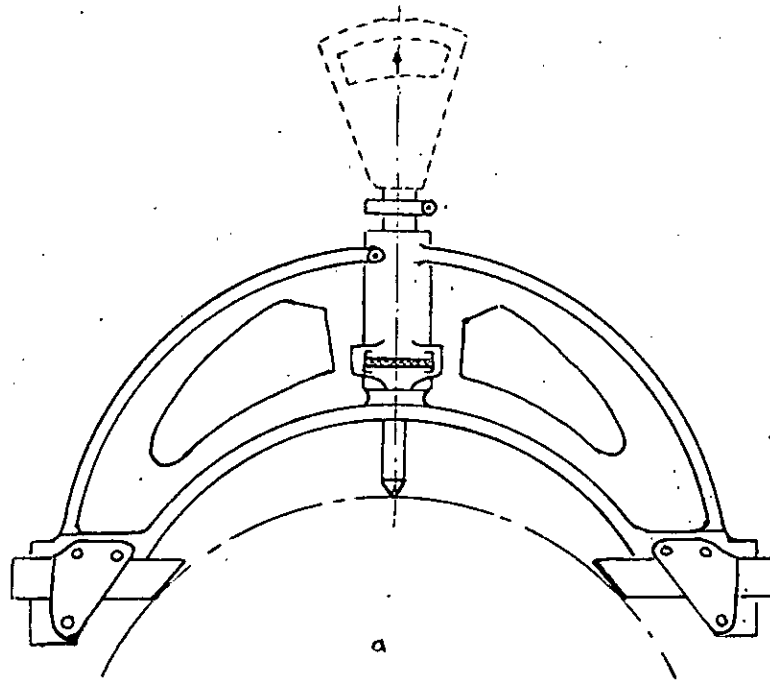
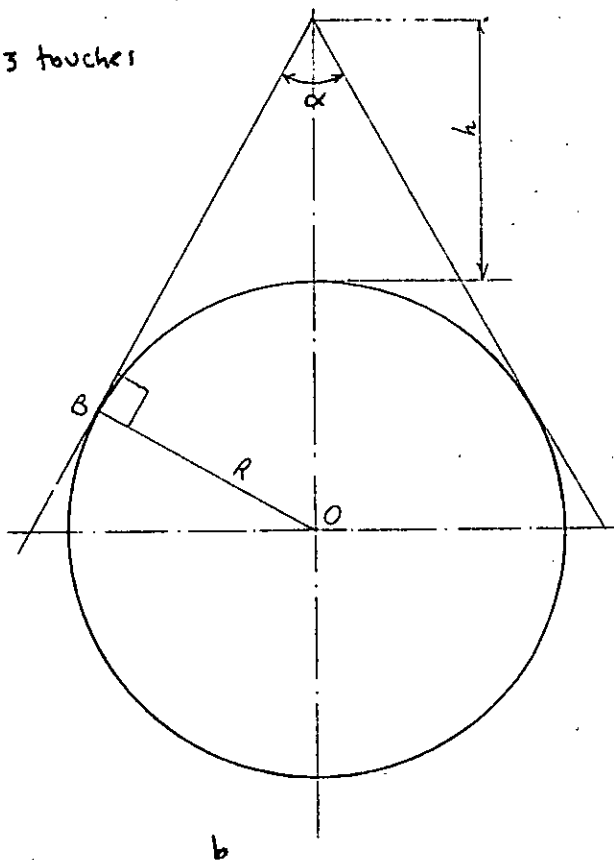


fig. 23:

Appareil de mesure à 3 touches

a - Construction.

b - principe



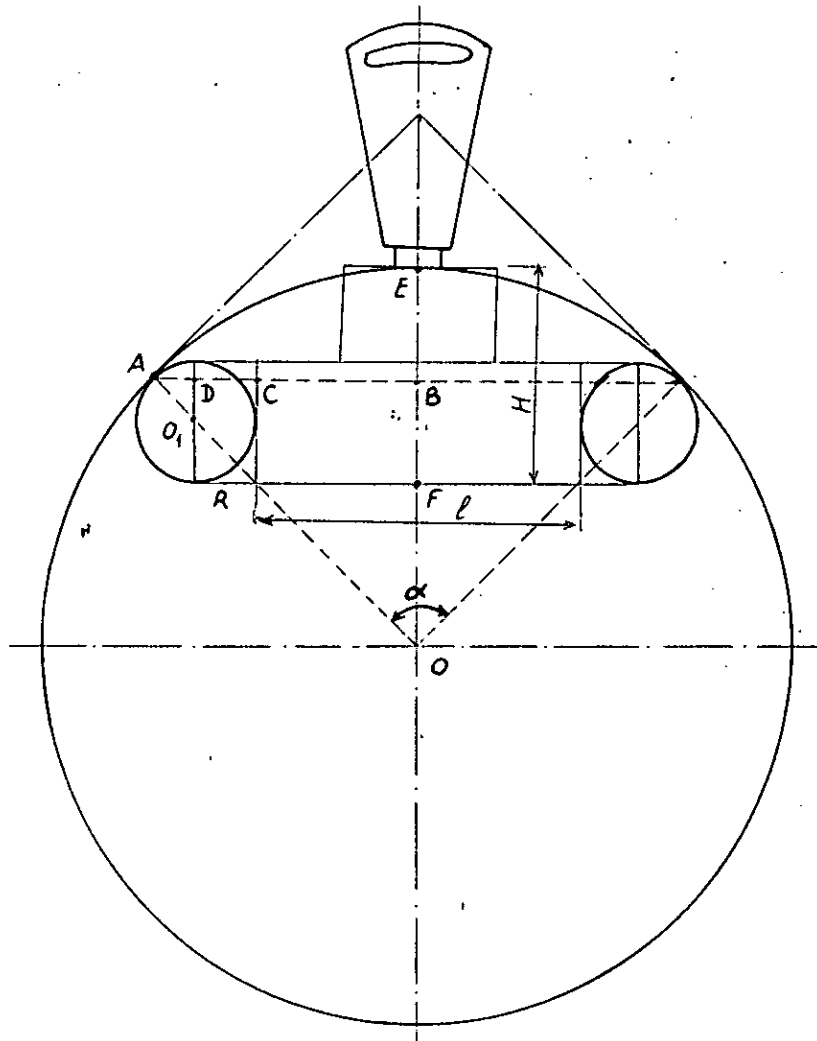


fig 25

Instrument de mesurã a galetis.

α : Angle entre les deux touches de l'instrument.

$$\alpha = 38^{\circ} 56' 33''$$

$$\Delta D = \Delta h$$

$$\alpha = 60^{\circ}$$

$$\Delta D = 2 \Delta h$$

$$\alpha = 91^{\circ} 1'$$

$$\Delta D = 5 \Delta h$$

$$\alpha = 112^{\circ} 56'$$

$$\Delta D = 10 \Delta h$$

Ainsi on remarque que le gabarit de l'instrument de mesure augmente avec l'augmentation des diamètres des arbres à mesurer.

Pour des diamètres d'arbres variant entre 1000 et 1200 (mm), ce genre d'instrument de mesure a un encombrement (en longueur) qui varie entre 100 et 200 (mm).

Le réglage de l'instrument de mesure pour un diamètre nominal se fait à l'aide de roues cylindriques (ou instruments spéciaux appelés piges), de cales étalons et de galets. (fig-25) Pour ce, l'instrument s'appuie avec sa surface de contact contre les galets; par contre la tige (l'embout) du minimiseur s'appuie sur un amas de cales étalon de dimensions connues.

Les accessoires (galets et cales) sont de dimensions connues, donc il est possible de déterminer l et H (cf à fig 25).

$$AB = OA \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) -$$

$$= \frac{D}{2} \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right). \quad (1) \quad D : \text{diamètre de la roue.}$$

$$AB = AD + DC + CB.$$

$$AD = \frac{d}{2} \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) ; DC = \frac{d}{2} ; CB = \frac{l}{2}.$$

$$\text{donc: } AB = \frac{d}{2} \sin\frac{\alpha}{2} + \frac{d}{2} + \frac{l}{2}. \quad (1')$$

$$\text{à partir de (1) et (1')} \Rightarrow \frac{D}{2} \sin\frac{\alpha}{2} = \frac{d}{2} \sin\frac{\alpha}{2} + \frac{d}{2} + \frac{l}{2}$$

$$\text{d'où } l = D \sin\frac{\alpha}{2} - d(1 + \sin\frac{\alpha}{2}).$$

$$\text{Par ailleurs } OB = OA \cos\frac{\alpha}{2} ; OA = \frac{D}{2},$$
$$= \frac{D}{2} \cdot \cos\frac{\alpha}{2}$$

$$\text{et } OB = OE - (EF - BF)$$

$$= OE - EF + BF.$$

$$OE = \frac{D}{2} ; EF = H ; BF = \left(\frac{d}{2} + \frac{d}{2} \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right)$$

$$\text{donc } OB = \frac{D}{2} - H + \frac{d}{2} \left(1 + \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right). \quad (2')$$

à partir de (2) et (2') on tire H.

$$H = \frac{D}{2} \left(1 - \cos\frac{\alpha}{2} \right) + \frac{d}{2} \left(1 + \cos\frac{\alpha}{2} \right)$$

Ce type d'instrument de mesure n'est pas recommandable pour les raisons suivantes :

- Difficulté de préparation de mesurage
 - Plage de mesure restreinte.
 - Difficulté de réglage
 - Précision relativement insuffisante.
- Il est plus commode d'utiliser l'instrument de mesure représenté par la fig-26. que la firme suédoise JOHANSSON a mis au point.

Ce genre d'instrument est mis en contact avec le diamètre à mesurer en deux (2) points constants ; la valeur de la hauteur h se fait (à) lire sur le micromètre.

Cet instrument peut être utilisé pour mesurer des diamètres allant jusqu'à 3000 (mm)

L'instrument en question se compose de :

- un micromètre à cadran (à 0,001 (mm) près) (1)
- une vis de réglage (2)
- un corps (3)
- deux (2) galets (4).

Mode d'emploi.

- Poser l'instrument de mesure sur l'arbre à mesurer.
- régler le micromètre (mise à zéro) à l'aide de la vis (2).
- poser l'instrument de mesure sur un marbre.
- à l'aide d'un amas de cales étalon, remplir le vide existant entre la surface du marbre et l'embout (tige) du micromètre de façon à ce que l'aiguille reste da-

- ns la limite du cadran du micromètre.

Par les expressions suivantes, il est possible de déterminer le diamètre recherché (cf fig 26) :

Dans le triangle OBA rectangle en A :

$$\left(\frac{D_1}{2}\right)^2 = \left(\frac{l}{2}\right)^2 + \left(\frac{D_1}{2} - h\right)^2$$

$$\text{d'où } D_1 = \frac{l^2}{4h} + h.$$

$$\text{puisque } D = D_1 - d. \text{ donc } D = \frac{l^2}{4h} + h - d.$$

avec: l : distance séparant les axes des deux galets.

d : diamètre de chaque galet.

D : diamètre de l'arbre à mesurer.

h : somme algébrique de la dimension de l'amas des côtes étalon et l'indication de l'aiguille.

Cet instrument de mesure est rationnellement utilisé pour des dimensions comprises dans les gammes: 250 à 450(mm) et 400 à 800(mm)

Pour la mesure des dimensions supérieures; il est possible d'utiliser un pied à coulisse ordinaire fig 27.

$$D = \frac{l^2}{4h} + h.$$

avec D : diamètre à mesurer.

l : distance entre becs (longueur de la corde).

h : la flèche définie par l'arc et la corde.

Cette méthode de mesure est entachée d'inconvénients majeurs ayant des repercussions non négligeables sur la précision

- Défauts de forme (macro et micro géométriques)
- charge appliquée par l'opérateur (flexion).
- l'usure prématurée des becs.

Dans le but de faire des mesures de première approximation on recommande l'instrument de mesure illustré par la figure 28. Les rayons intérieurs et extérieurs sont directement lus sur le cadran de l'appareil

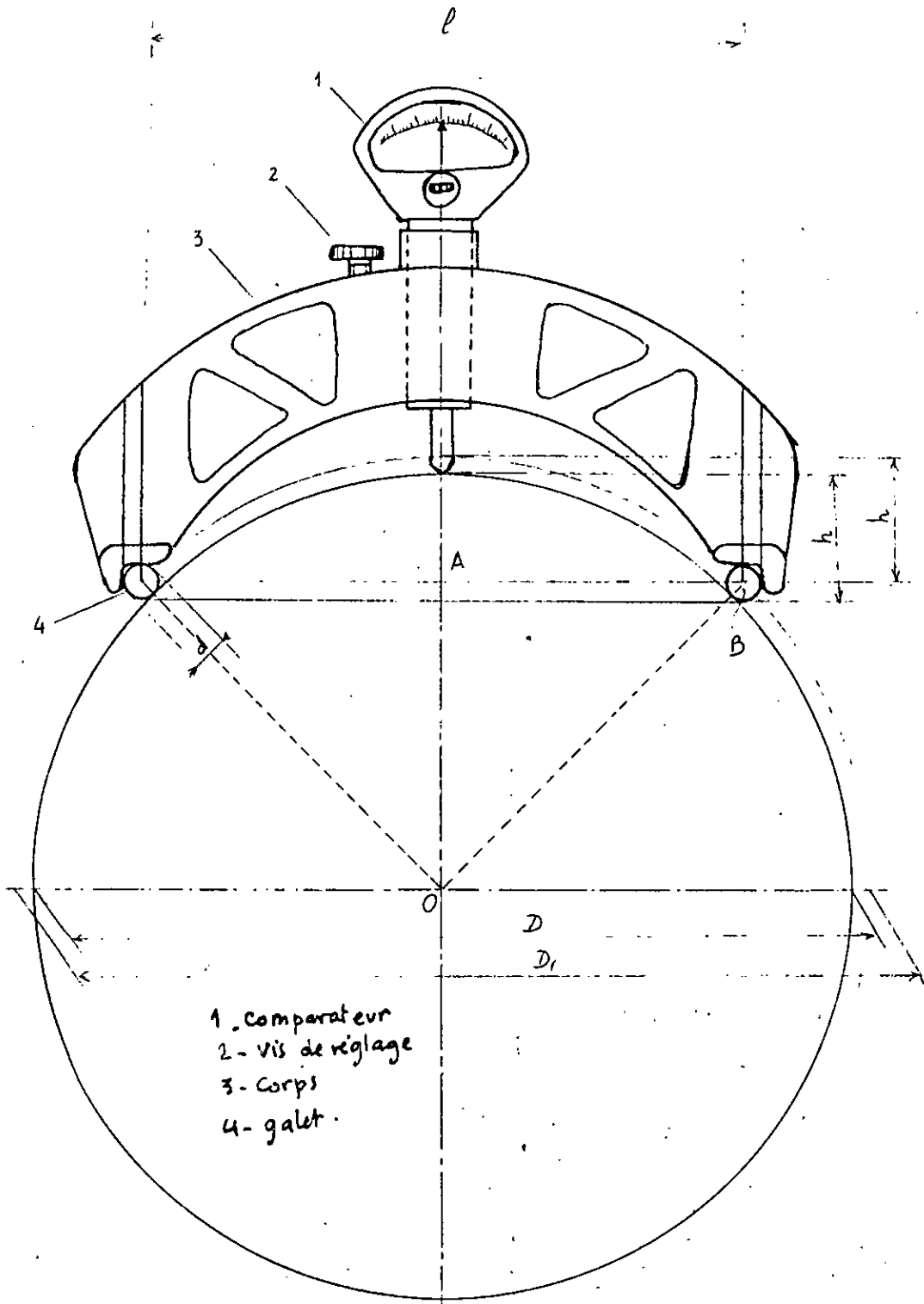


fig 26 Appareil de mesure mis a u point par la firme Johanson.

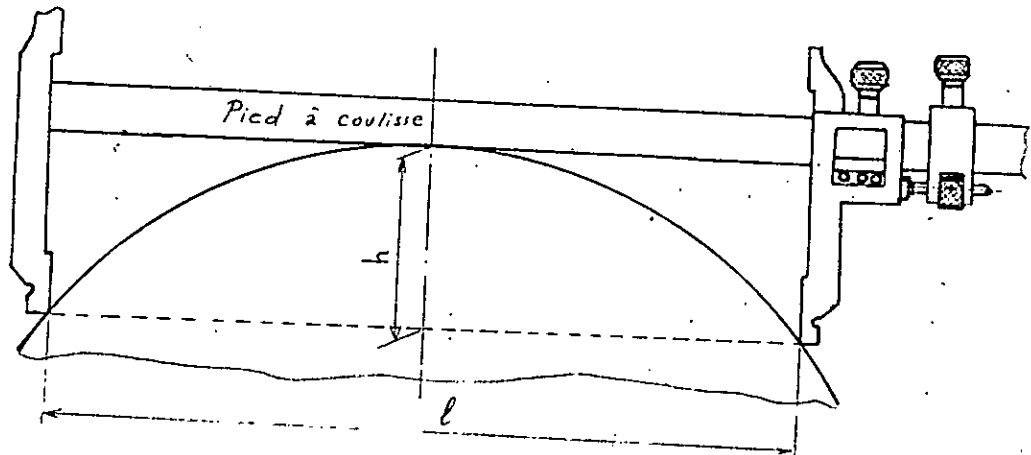


fig 27

Mesurage d'un diamètre à l'aide
d'un pied à coulisse.

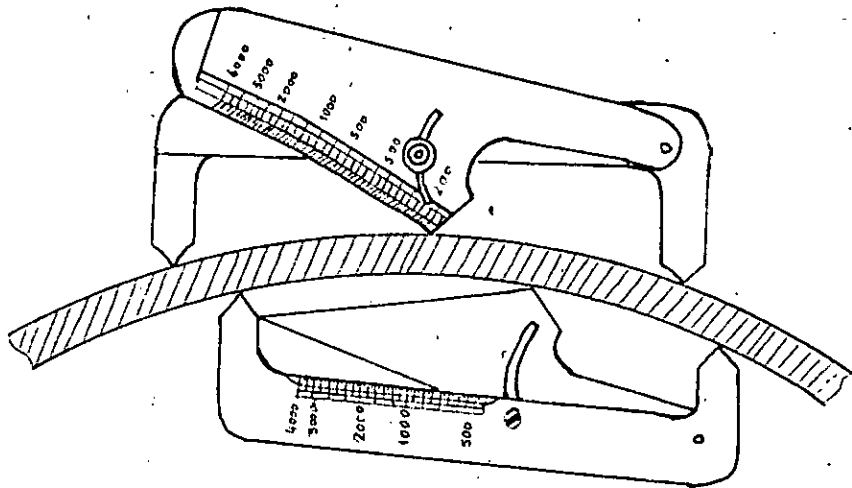


fig 28

Mesurage de diamètres intérieur et extérieur
à l'aide d'un instrument à 3 touches.

Dans les figures 29 et 30 on présente les schémas d'appareils proposés par N.N. SAWIN.

L'instrument de la figure 29 exploite la relation qui existe entre le diamètre mesuré et la longueur de la tangente.

L'instrument représenté par la figure 30 exploite la relation qui existe entre la longueur de la corde et l'angle central correspondant.

Commentaire relatif à la figure 29:

Les (de contact de) profils de contact de l'appareil (tangentes) s'interceptent au pt (7) et définissent un angle constant d'ailleurs (caractéristique de l'appareil). L'une des deux extrémités de l'appareil; ~~sur~~ (le corps) est dotée de comparateurs (3) et une douille (4) montés sur un chariot.

Avant d'effectuer la mesure, il est nécessaire de régler la position du chariot sur la longueur de la tangente et ce à l'aide d'un jeu de cales étalon disposées entre le charbon (6) et la touche micrométrique 5 (les aiguilles doivent indiquer la même déviation). puis remettre à zéro les comparateur (3). La longueur déterminée par le bloc des cales étalon est la longueur de la tangente l .

Pendant la mesure, il est nécessaire que les deux comparateur indiquent la même déviation d'aiguille (la vis micrométrique (1) le permet) car dans ce cas seulement où l'on peut affirmer que le point de tangence est entre les deux touches des deux comparateurs et plus précisément au milieu.

(Il est clair qu'il faut débarrasser l'appareil des cales étalon utilisé pour le réglage, pendant la mesure).

Le diamètre D à mesurer est donné par l'expression:

$$D = 2 \cdot l \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

avec:

l : Somme algébrique de la longueur déterminée par les cales d'une part et du déplacement de la vis micrométrique.

α : angle défini par les normales aux deux tangentes
Commentaire relatif à la fig 30.

Cette solution technologique est une variante de l'instrument déjà exposé ci-dessus (fig-29).

L'instrument de la figure 30 est constitué d'un corps composé d'une barre (6) dotée de deux comparateurs (7) et d'un listel (4) sur lequel est monté un chariot glissant (2) pourvu d'une vis micrométrique (1).

Le réglage se fait aussi à l'aide d'un jeu de cales étalons disposés entre les bec 3 et 5. (première opération)

Le réglage sur le diamètre nominal étant fait; il ne reste plus qu'à procéder à la mesure proprement dite:

Pendant le déplacement du chariot; les aiguilles des deux comparateurs indiquent généralement deux valeurs différentes. Quand les deux comparateurs indiquent la même lecture, l'élément 6 (touche) touche le profil de la pièce à mesurer en point A.

Il est clair que pendant le déplacement du chariot; l'embout de celui-ci (~~de l'embout~~) se déplace sur la corde AB, qui intercepte la tangente au point A. La corde AB correspond à l'angle central α . La longueur de la corde AB est liée au diamètre D par:

$$AB = D \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Le déplacement relatif est mesuré par la vis micrométrique.

Les plages de mesure des deux instruments indiqués ci-dessus sont: $500 \div 1100$; $1000 \div 2000$ et $1900 \div 3500$ (mm)

Le deuxième instrument de mesure est moins encombrant que le premier. L'exemple suivant met en évidence l'encombrement relatif des deux instruments:

Pour la plage de mesure 1900 ÷ 3500 (mm) l'encombrement du deuxième instrument est de 900 (mm) par contre le premier a un encombrement de 1500 (mm)

Dans la figure 31 sont représentés les schémas de mesure des diamètres extérieurs (fig 31-a) et intérieur (fig 31-b)

Les diamètres sont déterminables à partir des angles α et β (Indiqués par les appareils - niveaux d'eau) et la longueur de l'arc "l" (cas de mesure du diamètre extérieur) ou "s" (~~cas de mesure~~ la longueur de la corde "s" (cas de mesure du diamètre intérieur).

- Les instruments indiquent zéro au point C. En déplaçant les instruments de part et d'autre du point C, puis les fixant aux points A et B, ils indiquent les valeurs d'angle α et β . A l'aide d'un autre instrument, on mesure la longueur de l'arc "l" (ou la longueur de la corde "s"). Ainsi les diamètres sont déterminés par les expressions:

$$D_e = \frac{360}{\pi} \cdot \frac{l}{\alpha + \beta} \quad \text{avec } \alpha \text{ et } \beta \text{ en degré.}$$

$$D_i = \frac{s}{\sin\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right)}$$

Il est possible aussi de déterminer les angles α et β à l'aide d'un cadran optique (unité de mesure la minute). La plage de mesure du cadran optique est de 0 à 120° pour les types KO 1 par exemple, avec une incertitude de mesure $\pm 30'$

Il existe d'autres instruments de mesure dotés de quatre (4) touches de contact exemple figure 32, mais ils sont à déconseiller pour des dimensions inférieures à 1m, car les pièces de cette dimension sont mesurables avec une plus grande précision à l'aide de pieds à coulisse.

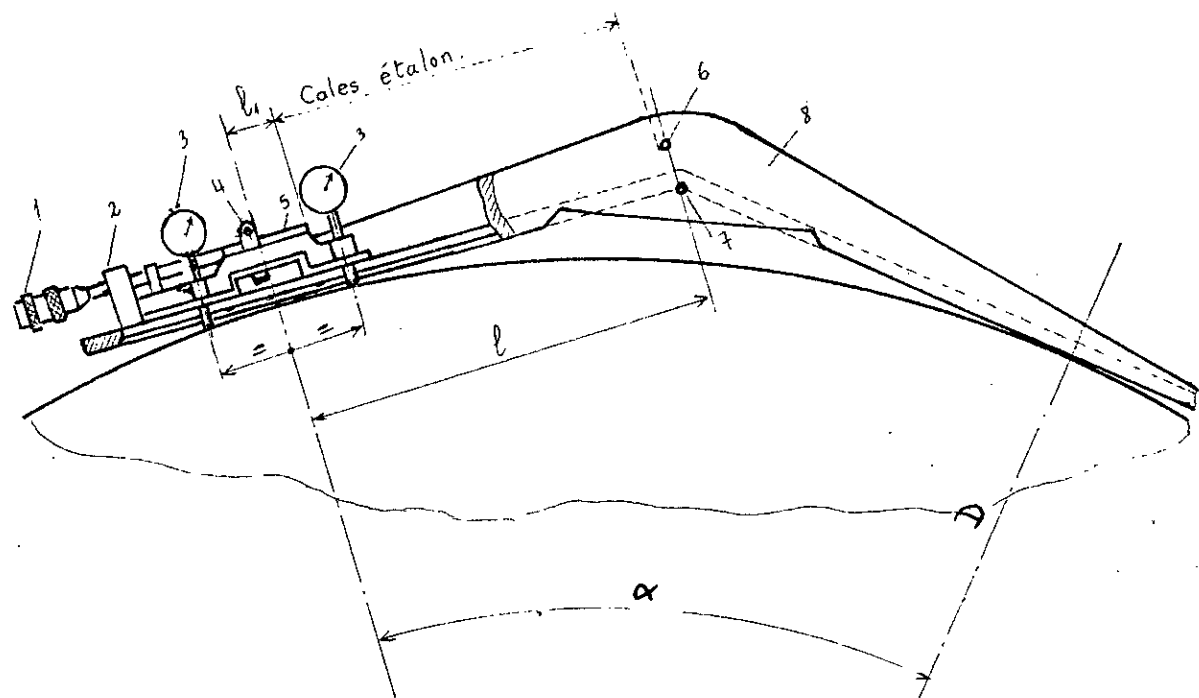


fig 29 Instrument de mesure à 3 touches type (a).

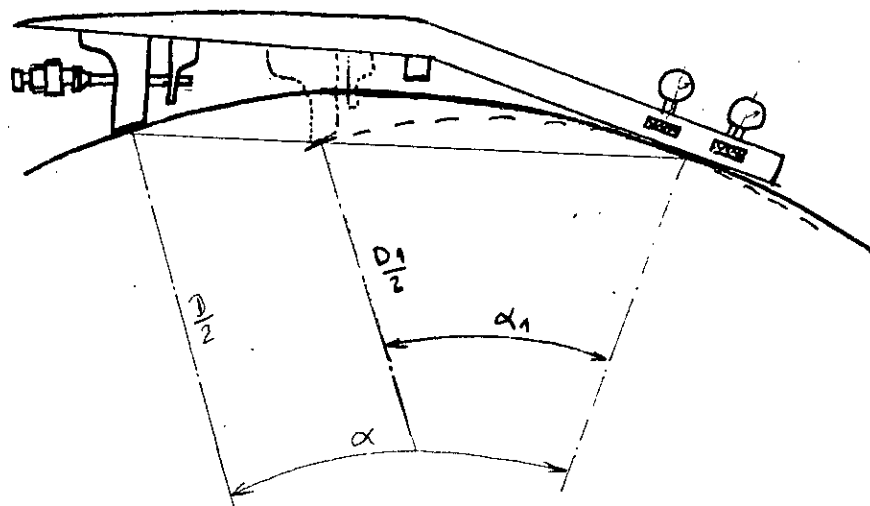


fig 30. Instrument de mesure à 3 touches type (b)

4 Mesure à l'aide des galets tournants: (fig-33)

Pendant l'opération de tournage des pièces à grandes dimensions, il est possible de contrôler le diamètre de celles-ci en associant tangentielllement un galet tournant dont le diamètre est connu avec précision.

La pièce entraîne dans son mouvement de rotation le galet; un tachymètre électronique disposé sur l'axe du galet donne sa vitesse de rotation m . Soit n la vitesse de rotation de la pièce à contrôler; le diamètre D de la pièce est lié au diamètre d du galet linéairement et le coefficient de liaison est le rapport $\frac{m}{n}$ (vitesse du galet sur vitesse de la pièce).

$$D = \frac{m}{n} \cdot d.$$

Cette méthode a l'avantage de donner des mesures continues pendant l'opération de tournage.

5- Méthodes modernes

- Ces méthodes sont d'un principe optique ou opto-mécanique. Elles utilisent essentiellement des télémètres disposés convenablement (fig-34). Les longueurs L_1 et L_2 sont déductibles à partir des expressions:

$$L_1 = \frac{S_1}{\operatorname{tg} \alpha} \quad \text{et} \quad L_2 = \frac{S_2}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

d'où l'on peut calculer le diamètre D de la pièce:

$$D = L_2 - L_1.$$

Cette méthode est très répandue en URSS.

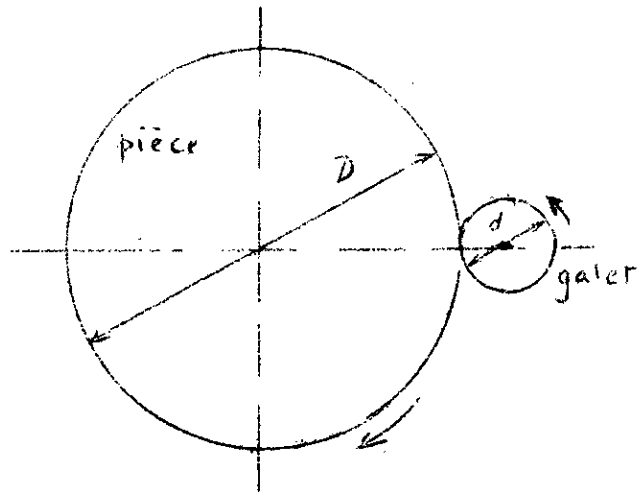


fig 33 - Mesure (contrôle) d'une pièce entournage par la méthode du galet tournant.

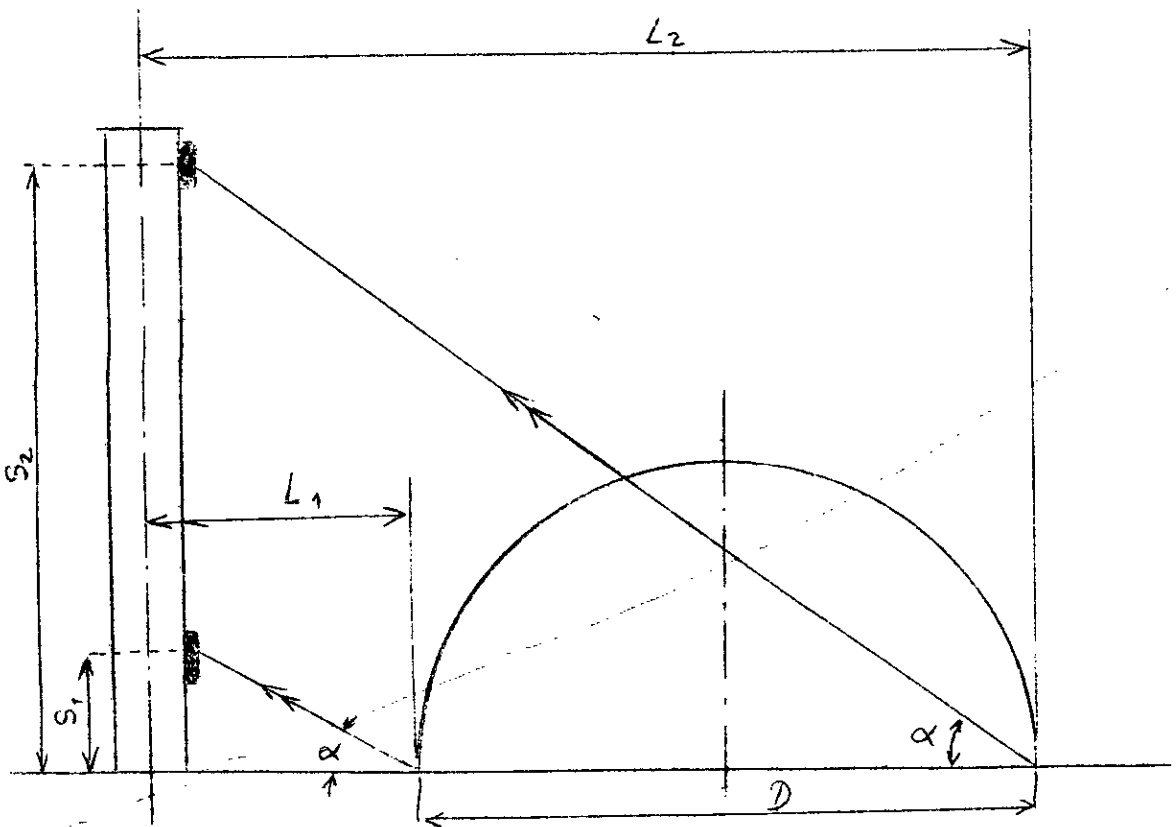


fig 34 - schéma de principe de la mesure par la méthode optique.

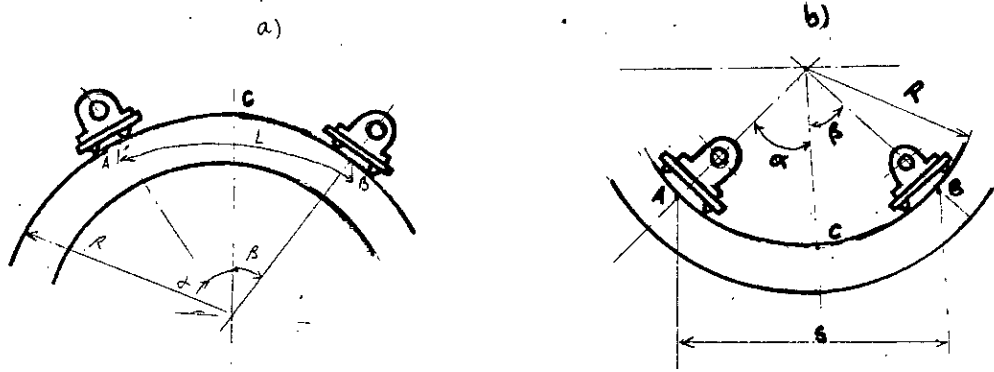


fig 31 : schéma d'un instrument de mesure à angles.

- a: Mesurage de diamètre extérieur
- b: Mesurage de diamètre intérieur.

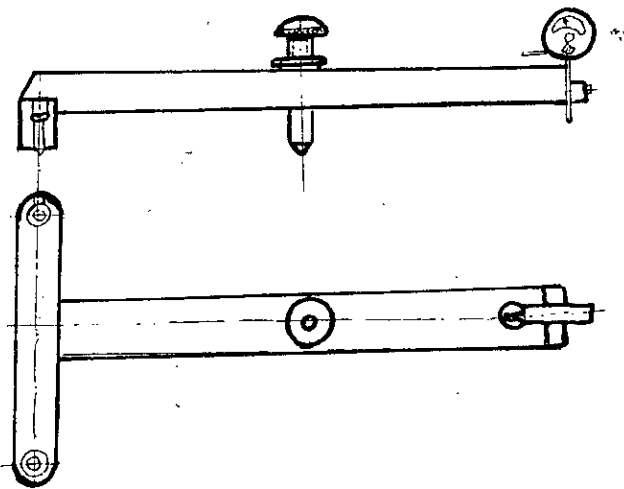


fig 32 Instrument de mesure à 3 touches.

Chapitre 3

MESURES ET ERREURS

3.1 Introduction.

La précision est un critère fondamental caractérisant les instruments et les méthodes de mesurage.

Deux approches possibles, peuvent évaluer la précision surtout des méthodes.

a) Première approche: Cette approche utilise principalement les calculs de probabilité. Elle consiste à faire plusieurs mesures puis déterminer l'erreur limite Δ en supposant que celle-ci est le triple de l'écart moyen quadratique σ

$$\Delta = 3\sigma \text{ avec } \sigma = \sqrt{\frac{\sum(\bar{x} - x_i)^2}{n}}$$

x_i : les différentes mesures.

\bar{x} : moyenne des mesures.

n : nombre de mesures effectuées.

Pendant la mesure, des paramètres fondamentaux influent sur les valeurs; ils doivent être considérés tous comme probables et indépendants. La mesure doit être faite par plusieurs opérateurs et en utilisant plusieurs instruments de mesure du même type et dans des conditions différentes de température.

b) Deuxième approche

Cette approche consiste à évaluer (ou calculer) toutes les composantes erreurs puis déterminer l'erreur limite.

Dans le calcul des erreurs limites il est à rappeler qu'il faut prendre la somme des carrés des composantes puis faire une extraction de racine, car les composantes fondamentales sont des erreurs aléatoires et indépendantes.

Cette deuxième approche présente un intérêt particulier

du fait que les composantes indépendantes qui influent sur la précision de la mesure sont examinées calculée une à une et séparément, par conséquent possibilité de minimiser les erreurs en changeant la méthode de mesure pour améliorer la précision. Ainsi cette approche permet de fixer à l'avance les erreurs de mesure des grandes dimensions, par conséquent la précision. En changeant les conditions de mesure on obtient des changements dans les valeurs des erreurs composantes et par conséquent la valeur de l'erreur limite.

3-2 Applications

3-2-1 Erreurs commises dans la jauge de diamètre.

En utilisant une jauge de diamètre, la mesure donnée par celle-ci est entachée d'une erreur composée de :

- erreur de mesure de réglage et de préparation.
- erreur de l'indication de la tête micrométrique (ou erreur de graduation).
- erreur de déformation élastique de l'appareil.
- erreur due à la liaison par filetage (jauges de diamètre composée uniquement).
- erreur due à la température.
- erreur due à l'opérateur (lecture, maniement plus ou moins forcé).

a. Erreur de mesure de la jauge de diamètre.

La valeur de cette erreur dépend de la précision de la machine à mesurer avec laquelle le réglage a été fait.

Pour mettre en évidence cet état de fait, prenons comme exemple la machine à mesurer ZEISSA dont le constructeur ~~est~~ donne l'erreur que fait intervenir cette machine pour le réglage d'une jauge de longueur $L = \varphi$.

$$\pm (0,0005 + 10 \cdot 10^{-6} L) \quad L \text{ en (mm)}$$

Après maintes vérifications, les utilisateurs trouvent que la précision de cette machine est deux fois meilleure.

↳ Indication de la tête micrométrique

Cette erreur est estimée par les normes (Russe) à $\pm 4 (\mu\text{m})$

c - Erreurs dues à la déformation élastique de l'appareil:

Pendant le réglage (l'étalonnage) de la jauge de diamètre elle est posée sur deux appuis (ponctuels) sur la machine à mesurer. Sous l'effet de son poids propre elle fléchit. BROCHA Donne l'expression de la flèche f_x d'une section distante de x de l'une des extrémités d'appuis

$$f_x = \frac{1}{2} \frac{Q}{EJ} L^3 \left[-\frac{1}{8} \left(\frac{x}{L}\right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{x}{L}\right)^3 - \frac{1}{12} \left(\frac{x}{L}\right)^4 \right] \text{ (mm)}$$

avec:

Q : poids propre de la jauge en (daN)

E : module d'élasticité longitudinale en (daN/mm²)

J : Moment quadratique de la section considérée en (mm⁴)

L : longueur totale de la jauge

x : distance de la section considérée par rapport à l'une des extrémités d'appuis en (mm) -

Soit l la distance en (mm) entre les deux appuis, on sait que la flèche est maximale pour $x = \left(\frac{x}{L}\right) = \frac{l}{2}$

$$f_{\text{max}} = \frac{1}{2} \frac{Q}{EJ} L^3 \left[-\frac{1}{32} \left(\frac{l}{L}\right)^2 + \frac{1}{16} \left(\frac{l}{L}\right)^3 - \frac{1}{192} \left(\frac{l}{L}\right)^4 \right]$$

et l'angle à l'extrémité de la jauge est donné par l'expression de la tangente:

$$\text{tg } \alpha = \frac{1}{2} \frac{Q}{EJ} L^2 \left[\frac{1}{8} \left(\frac{l}{L}\right)^2 - \frac{1}{24} \right]$$

L'effet de flexion sous le poids propre est minimisé quand l'angle $\alpha = 0$; ce qui consiste à déterminer les points d'appuis pour lesquels l'angle α s'annule.

$$\alpha = 0 \Rightarrow \operatorname{tg} \alpha = 0 \quad \text{donc} \quad \frac{1}{8} \left(\frac{l}{L} \right)^2 - \frac{1}{24} = 0$$

$$\Rightarrow l = (\sqrt{3})^{-1} \cdot L \approx 0,5773 L.$$

Les deux points d'appuis étant symétriques, donc on peut déterminer la position de l'un des points d'appuis par rapport à l'extrémité la plus proche de la jauge :

$$\frac{L - 0,5773 L}{2} \approx \frac{1}{5} L$$

La position optimale des deux points d'appuis sont dits points d'AIRY. (fig 35)

Il ne faut pas omettre l'erreur introduite aussi par la flexion pendant la mesure. Dans ce cas la jauge de diamètre est posée aussi sur deux appuis où chacun est à 5 jusqu'à 20 (mm) de l'extrémité la plus proche donc l'erreur due à la flexion.

élastique est δ :

$$\delta = \Delta l_1 - \Delta l_2$$

avec : Δl_1 : diminution de longueur de la jauge de diamètre à cause de la flexion pendant l'étalonnage

Δl_2 : diminution de longueur de la jauge de diamètre à cause de la flexion pendant la mesure.

En assimilant la forme prise par la jauge de diamètre fléchie à une parabole en première approximation, la longueur de l'arc "S" serait

$$S = L \left[1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f}{L} \right)^2 \right].$$

S : longueur de l'arc en (mm)

L : longueur de la (jauge) corde en (mm)

f : la flèche en (mm)

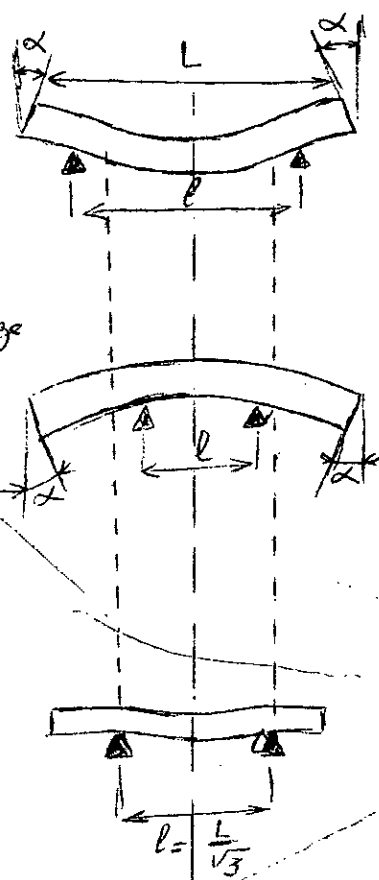


fig. 35

La flexion de la jauge de diamètre provoque un raccourcissement ΔL de celle-ci qui n'est autre que la différence entre la longueur de l'arc S et la corde L correspondante

$\Delta L = S - L = \frac{8}{3} \frac{f^2}{L}$ (mm) ; à l'aide de cette expression déterminons le raccourcissement dans chaque cas :

cas du réglage : $\Delta L_1 = \frac{8}{3} \frac{f_1^2}{L_1^2}$

cas du mesurage : $\Delta L_2 = \frac{8}{3} \frac{f_2^2}{L_2^2}$

donc l'erreur δ commise sur la mesure est :

$$\begin{aligned} \delta &= \Delta L_1 - \Delta L_2 \\ &= \frac{8}{3} \left(\frac{f_1^2}{L_1^2} - \frac{f_2^2}{L_2^2} \right) \quad \text{en (mm)} \end{aligned}$$

L'exemple suivant donne l'ordre de grandeur de l'erreur δ due à la flexion :

- Pour une jauge de diamètre (en forme de tuyau) de longueur 2000 (mm) et de masse 5,5 (kg) l'erreur est 1,5 (μm)
- Pour une jauge de diamètre (de même type) de longueur 3000 (mm) et de masse 9 (kg) l'erreur est de 2,5 à 4,0 (μm)
- Si pendant les différentes étapes de mesurage (réglage, mesure, ...) la jauge de diamètre est appuyée en des points différents, ceci entraînerait nécessairement des effets de flexion (~~diffé~~) différents donc des erreurs ; mais il est possible d'éviter cette source d'erreur et ce en gardant les mêmes points d'appuis pendant toutes les opérations de mesurage. Cette précaution est justifiée par l'exemple suivant :

Pour les jauges de diamètre ayant l'étendue de mesure entre 1250 (mm) et 4000 (mm), le changement des points d'appuis pendant le mesurage produit des erreurs allant de 5 à 50 (μm). Remarquons que ces valeurs d'erreurs sont relativement considérables.

L'expérience conseille d'appuyer les jauges de diamètre ; dont l'étendue de mesure varie entre 1500 (mm) et 2000 (mm) aux points d'AIRY. Pour les jauges de diamètre à étendue de mesure (supérieures à 2000 mm) dont la limite inférieure est supérieure à 2000 (mm) on conseille de prendre les points d'appuis à une distance de 300 (mm) à 500 (mm) au maximum par rapport aux extrémités les plus proches, car les points d'AIRY dans ce cas ne sont pas commodes pendant la mesure (difficulté de manipulation).

d- Erreurs provenant des assemblages filetés.

Les ensembles (éléments) filetés de l'appareil de mesure provoquent nécessairement des erreurs et ce par le fait que les surfaces concernées subissent une déformation due aux forces de serrage Q qui peut être exprimée par la relation :

$$Q = \frac{d}{l} P \cdot \operatorname{tg}(\varphi + \rho) \quad (1) \text{ avec}$$

- Q : force de serrage en (dN)
- P : force axiale en (dN)
- φ : angle des filets ($\operatorname{tg} \varphi = \frac{s}{\pi d}$).
- s : pas du filet en (mm)
- d : diamètre moyen du filetage en (mm)
- l : diamètre extérieur de ~~filet~~ l'écrou.
- ρ : angle de frottement ($\operatorname{tg} \rho = \mu$)
- μ : coefficient de frottement.

à partir de (1) il est possible de déterminer la force axiale P

$$P = \frac{Q l}{d \operatorname{tg}(\varphi + \rho)}$$

~~Exemple : P est connu nous devons déterminer les charges axiales~~

Donc la force axiale P provoque une déformation Δl donnée par un calcul d'R.D.M :

$$\Delta l = 1,23 \sqrt[3]{\frac{P^2(R_1 + R_2)}{E^2 R_1 R_2}} \quad \text{en (mm)}$$

R_1 et R_2 : désignent les rayons de courbure des profils des surfaces en contact.

E : désigne le module d'élasticité longitudinale.

Les valeurs de la déformation Δl pour des rayons de courbure allant de 20 à 200 (mm) ne dépassent pas 6 (μm)

L'erreur globale δ provoquée par tous les filets est :

$\delta = \sqrt{\sum \delta_i^2}$ où δ_i représente l'erreur provoquée par un seul filet en serrage.

En général le nombre de filets (nombre effectif) ne dépasse pas 2 ou 3 ou plus 3. Dans ce cas alors, l'erreur globale δ serait égale à 10 (μm) car :

$$\delta = \sqrt{\sum \delta_i^2} = \sqrt{\sum \Delta l^2} = \sqrt{3 \Delta l^2} \approx 10 (\mu\text{m}).$$

Le calcul fait à base des expressions ci-dessus est utilisé dans le cas où on procède au serrage après réglage, mais normalement c'est le contraire ; il faut serrer puis procéder au réglage ; et dans ce cas l'erreur globale δ ne dépasse pas 7 (μm).

e- Erreurs dues à la température.

On rappelle que généralement les appareils de mesure sont destinés à être utilisés à la température 20°C (température d'étalonnage ISO) mais ceci est une impérative peu respectée, alors les différences de température T provoquerait une erreur δ donnée par l'expression

$$\delta = L [\alpha_1 (t_1 - 20) - \alpha_2 (t_2 - 20)] \quad (\text{mm})$$

avec : L : dimension à mesurer en (mm)

α_1 et α_2 sont respectivement les coefficients de dilatation

linéaire de la pièce et de l'instrument de mesure
 t_1 et t_2 : températures en °C respectives de la pièce et
de l'instrument de mesure.

- Plus précisément, l'erreur δ dépend des
- dimensions de la pièce à mesurer
 - de l'écart de température par rapport à la température normale (20°C ISO).
 - des coefficients de dilatation linéaires des matériaux de la pièce et de l'instrument.

L'erreur de température disparaît si :

$$t_1 = t_2 = 20^\circ\text{C} \quad \text{ou} \quad (t_1 = t_2 \text{ et } \alpha_1 = \alpha_2).$$

Malheureusement, en pratique, ces conditions ne sont pas réunies car la température de l'atelier où s'effectue le mesurage est généralement différente de 20°C de 4°C à 5°C. La température $t_1 = t_2 = 20^\circ\text{C}$ ne peut être obtenue que dans des ateliers à air conditionné. Il est aussi difficile d'avoir la même température pour la pièce et l'instrument et ce s'explique par :

- L'instrument de mesure, antérieurement, était déposé dans un magasin qui, le plus souvent a une température d'ambiance différente de celle des ateliers ; et le temps nécessaire pour que l'équilibre thermique s'établisse n'est pas respecté pour des raisons économiques.
- Pendant la mesure, l'instrument est en contact avec la (ou les) main(s) de l'opérateur, donc source de chaleur, ainsi un transfert de chaleur s'effectue entre les mains de l'opérateur et l'instrument.

A titre d'exemple prenons les jauges de diamètre dont la plage de mesure s'étale de 500 à 1500 (mm).
L'opération de mesurage (manipulation) dure en moyenne de 2 à

5 (mn) temps suffisant pour que l'échange thermique entre la main de l'opérateur et l'instrument de mesure provoque un allongement de 16 à 40 (μm). Pour les jauges de diamètre dont l'étendue de mesure s'étale entre 650 et 4000 (mm) et pour les mêmes conditions citées ci-dessus, l'allongement varie entre 20 et 50 (μm).

Dans la figure 36, les courbes (1) et (3) sont relatives aux jauges de diamètre type "Calibre" (URSS) dont les longueurs respectives sont 650 et 1100 (mm). La courbe (2), est relative à une jauge de diamètre en forme de cigare dont la longueur est de 4000 (mm).

- Pour une jauge de diamètre de 4000 (mm) de capacité de mesure est manipulée par deux opérateurs subit un allongement de 81 (μm). (La durée de manipulation est 10 mn).

N.B. Intercaler une couche isolante (asbeste, caoutchouc, papier ou plastique) entre la main de l'opérateur et (de) l'instrument ne protège pas absolument l'instrument de mesure des effets thermiques mais il le diminue uniquement.

c- Quelques fois on est amené à faire le mesurage d'une pièce pendant ou juste après le processus d'usinage, dans ce cas il est clair que la pièce à mesurer a une température nettement supérieure à celle de l'instrument de mesure et de l'ambiance. Dans des cas pareils, pour réaliser l'équilibre thermique il faut attendre des heures et quelques fois des jours même.

d- Il est impossible d'obtenir l'égalité des coefficients de dilatation linéaire α car, généralement, les matériaux de construction des pièces et des instruments ne sont pas de même nature (la différence réside dans le fait que les éléments d'addition^{no} sont pas les mêmes).

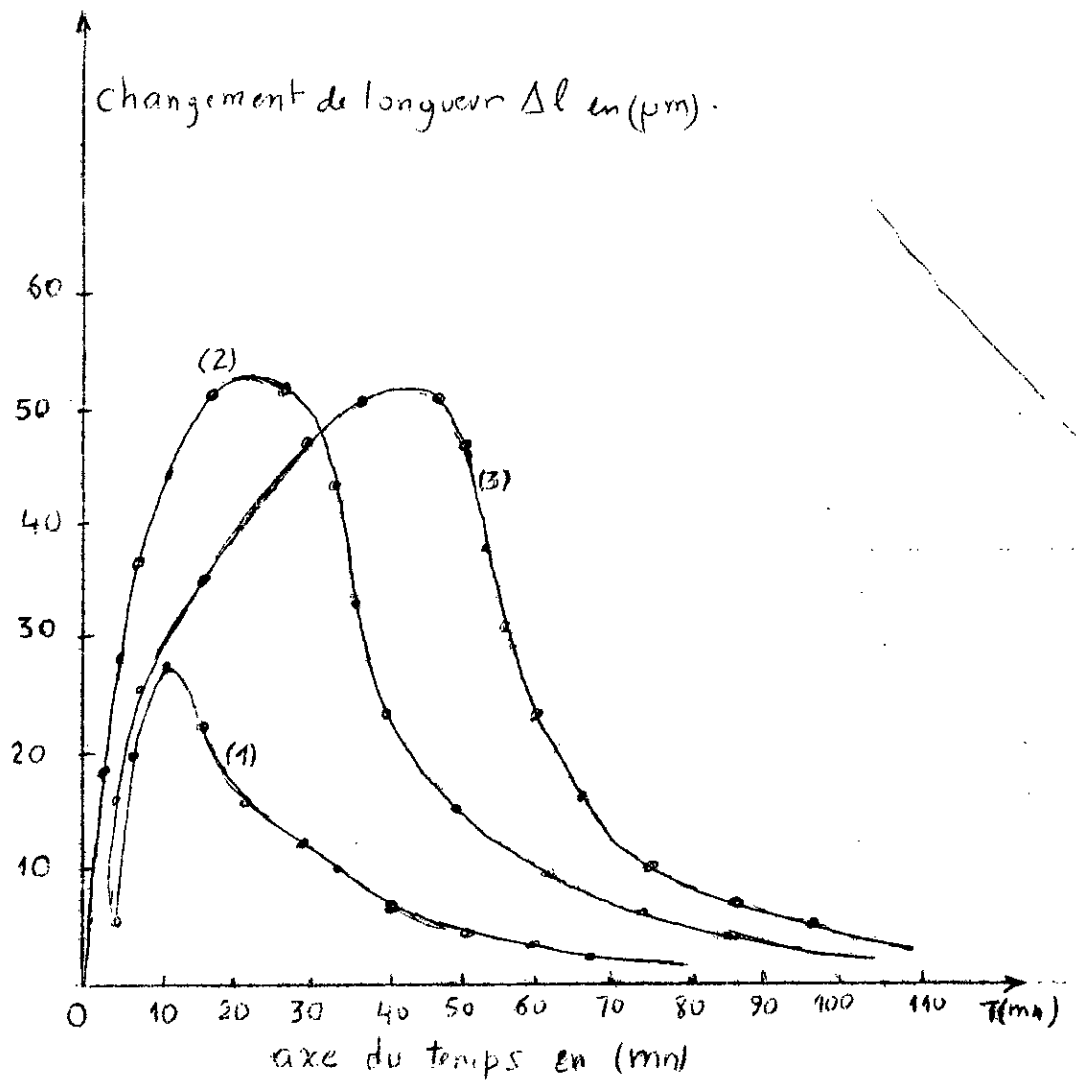


fig 36. Changements de longueur Δl (μm) des jauges de diamètre dûs à la différence de température (contact manuel) pendant le mesurage et après le refroidissement en plein air dans l'atelier.

Pour les aciers courants, le coefficient de dilatation linéaire α est $(11,5 \pm 1) 10^{-6}$.

Il arrive souvent de faire un mesurage d'une pièce en alliage léger avec un instrument de mesure en acier et vice-versa. Le premier cas entraînerait une différence de coefficient de dilatation linéaire $\Delta\alpha = (23,8 - 11,5) 10^{-6}$.

$$\Delta\alpha = 12,3 \cdot 10^{-6}$$

Dans le but de réduire au minimum les erreurs dues à l'écart de température, on prend les précautions suivantes

- Dans les ateliers trop vastes, il est préférable de prévoir des ateliers de mesurage moins spacieux pour une éventuelle climatisation (économique).

- Dans le but d'homogénéiser (rendre égales) la température de la pièce et celle de l'instrument de mesure, il faut poser ceux-ci l'un à côté de l'autre un temps Z nécessaire qui est donné par l'expression empirique: $Z = 31,3 \frac{G}{F} \lg\left(\frac{T}{t}\right)$ avec.

- G : poids de la pièce.

- F : surface d'échange de chaleur de la pièce en (m^2) .

- T : écart initial de température par rapport à la température de l'ambiance.

- t : écart final de température par rapport à la température de l'ambiance.

L'homogénéisation de température s'obtient au bout de 42 heures, mais il est clair que ce temps mort est loin d'être économique, alors il est réduit en pratique jusqu'à une heure et demi à quatre heures.

Écart de temp ^{°C} de la pièce par rapport à 20°C en (°C)	Écart de temp ^{°C} entre l'instrument et la pièce en °C							
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,8	1
	Erreurs relatives de température $\pm \frac{\delta}{L} \cdot 10^{-6}$							
1	2	3	4	5,5	6,5	7,5	11	13,5
2	4	5	6	7,5	8,5	9,5	13	15,5
3	6	7	8	9,5	10,5	11,5	15	17,5
4	8	9	10	11,5	12,5	13,5	17	19,5
5	10	11	12	13,5	14,5	15,5	19	21,5
6	12	13	14	15,5	16,5	17,5	21	23,5
7	14	15	16	17,5	18,5	19,5	23	25,5
8	16	17	18	19,5	20,5	21,5	25	27,5
9	18	19	20	21,5	22,5	23,5	27	29,5
10	20	21	22	23,5	24,5	25,5	29	31,5

tableau 5 : Erreurs relatives provenant de l'écart de température. $\frac{\delta}{L}$ pour $\alpha_1 - \alpha_2 = 2 \cdot 10^{-6}$.

Écart de temp par rapport à 20°C en °C	< 2°C	de 2°C à 4	de 4 à 6	de 6 à 8	de 8 à 10
Erreurs relatives dues aux écarts de temp. $\pm \frac{\delta}{L} \cdot 10^{-6}$	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5

Tableau 6 : écarts de températures de l'opérateur provoquant des erreurs relatives $\frac{\delta}{L}$.

Le tableau 6 donne les erreurs relatives $\frac{\delta}{L}$ pour $\alpha_1 - \alpha_2 = 0,2 \cdot 10^{-5}$ e $t_1 - t_2 = 0,2^\circ\text{C}$ entre les ~~deux~~ pièces pour et l'instrument de mesure pour un écart de température provoqué par le manipulateur.

- L'opérateur entraîne la mesure d'une erreur ayant pour composantes :

- Erreur de lecture (palmer 1 = 2 (μm)).
- Erreur de la mise à zéro (vis micrométrique 0,001 (mm)).
- l'erreur de contact de la butée de l'instrument avec la pièce dépend des constructions du poids de l'instrument, des conditions de mesure et de la compétence de l'opérateur.

Pendant le mesurage ; la jauge de diamètre peut se déplacer dans deux plans différents : dans le plan de mesure fig 37 ou dans le plan axial de la pièce fig 38

- Le graphe fig 39 montre que le déplacement de la jauge de diamètre dans le plan de mesure influe sur les valeurs de l'erreur. Par exemple si l'un des embouts (touches) d'une jauge de diamètre de longueur $L_0 = 1000$ (mm) se déplace dans le plan de mesure d'une distance $T/2 = 5$ (mm) ; l'erreur provoquée est de 0,01 (mm)

- Le graphe fig 40 montre l'influence du déplacement de la jauge de diamètre dans le plan contenant l'axe de révolution de la pièce. On remarque que l'erreur dans ce cas est plus importante que le cas précédent. Citons un exemple dans un but de comparaison. Le déplacement d'une jauge de diamètre ^{3000 (mm)} sur une hauteur h de 7 (mm) provoque une erreur de 0,025 (mm).

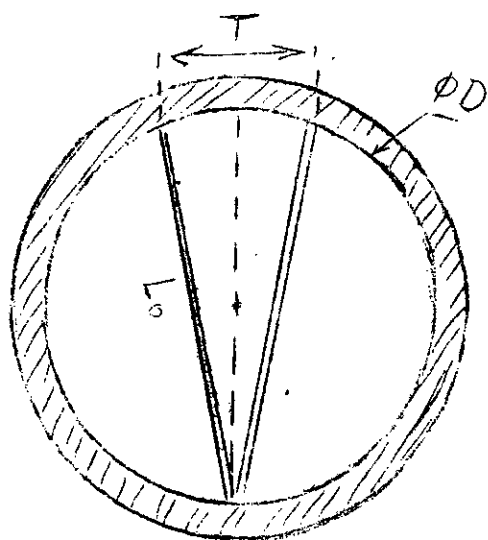


fig 37: déplacement de la jauge de diamètre dans le plan de mesurage

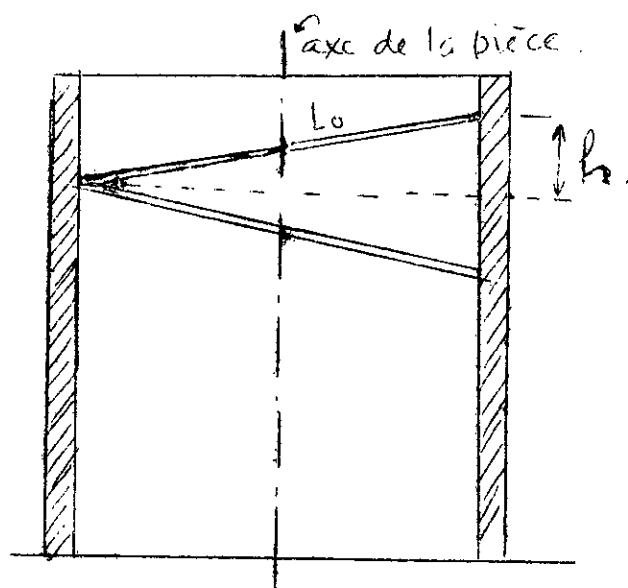


fig 38: déplacement de la jauge de diamètre dans le plan axial de la pièce.

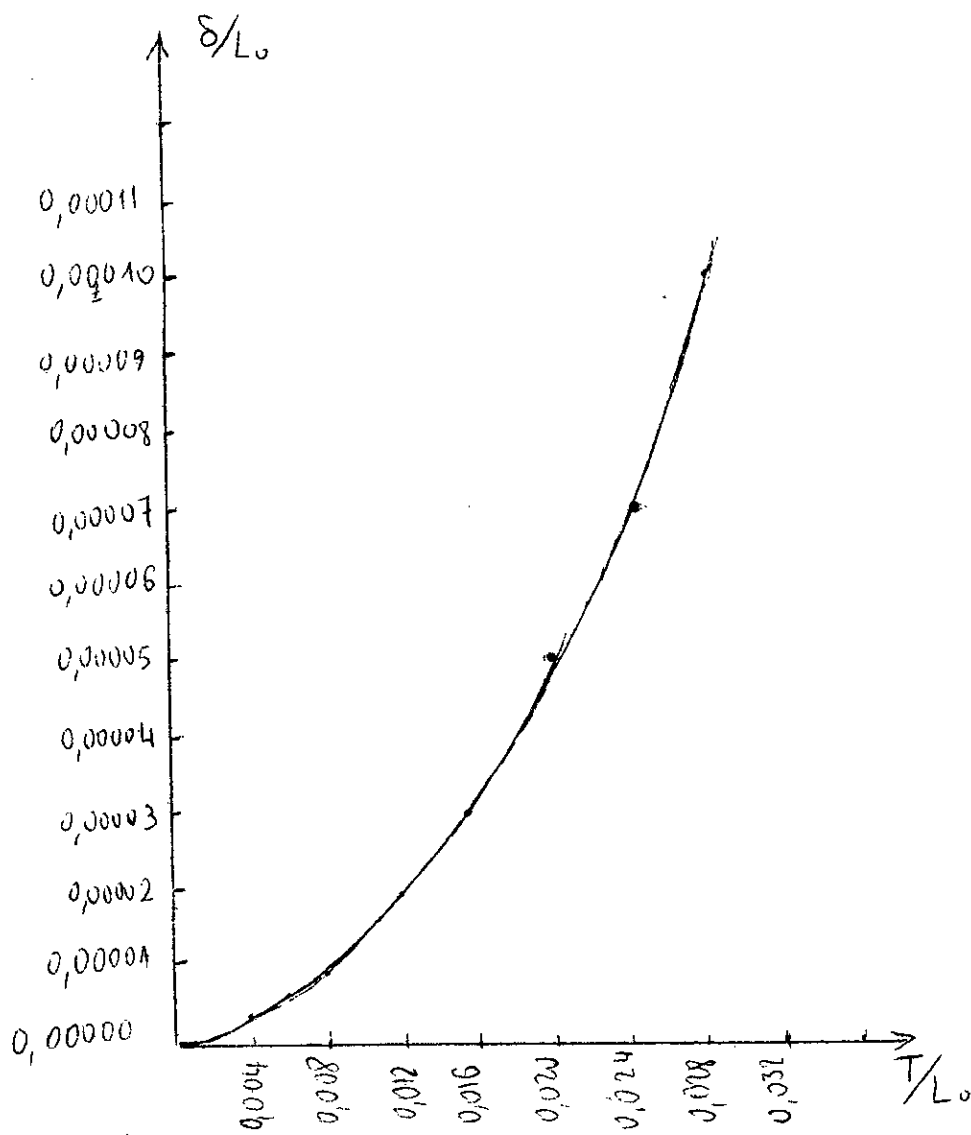


fig 39

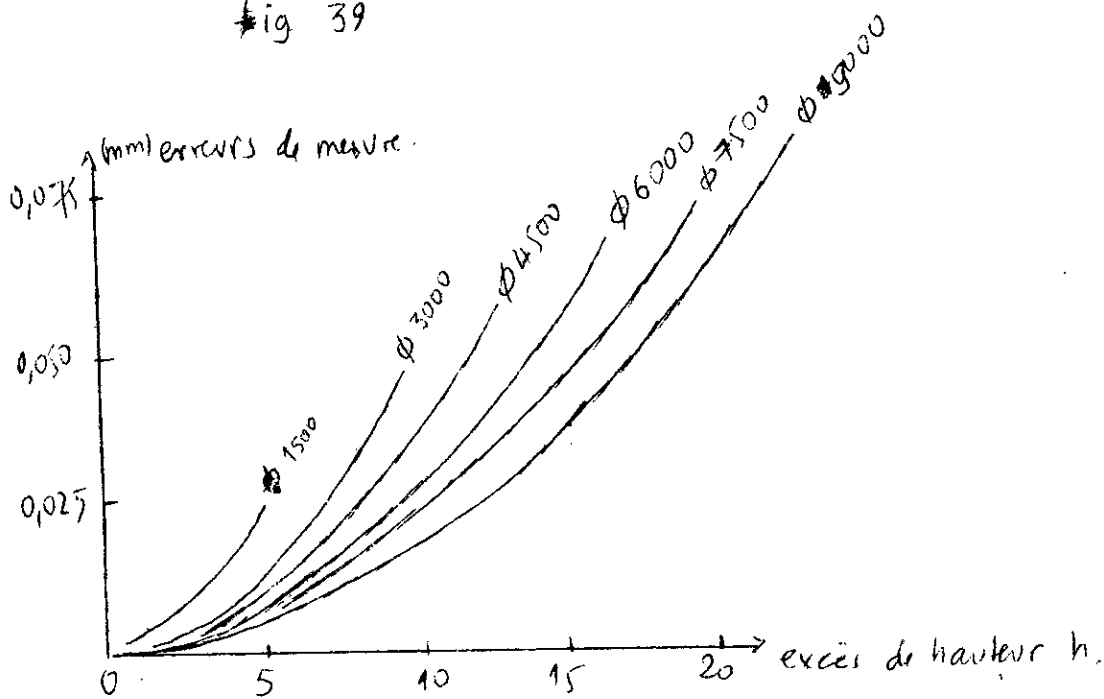


fig 40

Le déplacement de la jauge de diamètre dans le deux plans est inévitable, car il est impossible d'exercer une force de contact convenable.

On donne quelques valeurs des erreurs dues aux forces de contact :

dimensions en (mm) L_0	erreurs δ en (mm) .
≤ 500	$\pm 0,010$.
$500 \div 1000$	$\pm 0,015$.
$1000 \div 3000$	$\pm 0,020$
$3000 \div 5000$	$\pm 0,030$
> 5000	$\pm 0,050$.

Les erreurs de contact peuvent atteindre $\pm 55(\mu\text{m})$ pour une dimension de $8000(\text{mm})$ et vont jusqu'à $\pm 70(\mu\text{m})$ pour des dimensions de l'ordre de $10000(\text{mm})$.

f: Erreurs limite de mesure pour les jauges de diamètre:

En combinant toutes les composantes, on calcule l'erreur limite par la relation: $\delta_{\text{lim}} = \sqrt{\sum \delta_i^2}$

Le tableau 7 donne la valeur des différentes composantes de l'erreur limite δ_{lim} pour les différentes longueurs des jauges de diamètre.

Erreurs composantes ↓	Valeurs des erreurs pour les dimensions.							
	1000 (mm)	2000 (mm)	3000 (mm)	4000 (mm)	5000 (mm)	6000 (mm)	8000 (mm)	10000 (mm)
Erreur de réglage sur la machine à mesurer.	± 11 (± 5)	± 21 (± 9)	± 31 (± 13)	± 41 (± 17)	± 51 ± 21	± 61 ± 25	(± 41)	(± 51)
Erreur de la tête micrométrique.	± 4							
Erreur de filetage.	± 8							
Erreur limite de température	C.f. aux tableaux (5) et (6)							
Erreur de lecture sur la tête micrométrique	± 2							
Erreur de forces de contact	± 15	± 20	± 20	± 30	± 30	± 50	± 55	± 70
Erreur de la mise à zéro.	± 1							

Tableau 7

Les valeurs d'erreur sont en (µm).

Les valeurs entre parenthèses sont relatives aux cas où le mesurage se fait dans un atelier climatisé (température

ambiante 20°C (et ~~15-25~~) à ± 0,5°C et $t_1 - t_2 = ± 0,3°C$

t_1 : température de la pièce à mesurer.

t_2 : température de l'instrument de mesure

3-2-2 Erreurs de mesure dans la méthode indirecte.

Le mesurage indirect à l'aide de surfaces de référence supplémentaires étant typique, nous le traiterons ici, et on cite comme exemple les cas de la fig~~ure~~ (20c) et (20d).

On a vu que le diamètre intérieur D_i dans le cas de la fig 20-c est donné par la relation:

$$D_i = 2l + d.$$

l : distance de la broche par rapport à la surface de la pièce

d : diamètre de la broche.

L'erreur commise sur le diamètre D_i est δ_0 :

$$\begin{aligned}\delta_0 &= \sqrt{\left(\frac{\partial D_i}{\partial l}\right)^2 \delta_l^2 + \left(\frac{\partial D_i}{\partial d}\right)^2 \delta_d^2} \\ &= \sqrt{(2\delta_l)^2 + (\delta_d)^2}\end{aligned}$$

avec: δ_l : erreur commise sur la grandeur l .

δ_d : erreur commise sur la grandeur d .

L'erreur commise sur d (δ_d) est très petite devant l'erreur (δ_l) δ_l commise sur l [$\delta_d \ll \delta_l$] ainsi l'erreur δ_0 commise sur le diamètre à mesurer peut être approchée à l'expression:

$$\delta_0 \approx \sqrt{(2\delta_l)^2} = 2\delta_l.$$

Constatons que cette méthode de mesurage introduit une erreur égale au double de l'erreur de mesure faite à l'aide d'un jauge de diamètre de dimension s deux fois plus petite.

Cette méthode de mesurage indirecte est moins précise que la méthode directe, l'erreur est de 10% à 40% plus élevée.

Dans le cas de la fig (20 d) on a vu que le diamètre D est donné par l'expression

$$D = 2(l - b) + d.$$

avec: d : diamètre de la broche, fixée au milieu du disque.

l : distance entre la broche et la surface de référence supplémentaire.

b : distance entre la surface de référence et la surface latérale de la pièce.

L'erreur commise sur la mesure du diamètre est:

$$\delta_D = \sqrt{\left(\frac{\partial D}{\partial l}\right)^2 \delta_l^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial b}\right)^2 \delta_b^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial d}\right)^2 \delta_d^2}$$

$$\frac{\partial D}{\partial l} = 2; \quad \frac{\partial D}{\partial b} = -2 \quad \text{et} \quad \frac{\partial D}{\partial d} = 1$$

$$\text{donc} \quad \delta_D = \sqrt{2^2 \delta_l^2 + 2^2 \delta_b^2 + 1^2 \delta_d^2}$$

Etant donné que δ_d est négligeable devant δ_l alors

$$\delta_D \cong 2 \sqrt{\delta_l^2 + \delta_b^2}.$$

La distance l est un paramètre de la machine outil elle varie de 6 à 8 (m) et il est possible de la déterminer avec une assez bonne précision.

Ceci n'empêche en rien que la mesure, dans ce cas aussi, est moins précise que la mesure directe.

En conclusion, les mesures indirectes par rapport à une surface de référence supplémentaire sont moins précises que les méthodes de mesure directes.

Chapitre 4.

TECHNOLOGIE DE MESURAGE DES PIECES DE GRANDES DIMENSIONS

La condition nécessaire de mesurage et de l'organisation de son processus est la préparation de la technologie de mesurage qui doit être strictement suivie et appliquée.

La préparation de la technologie de mesurage se compose de trois opérations :

- Choix de la méthode et des instruments de mesure (tout en tenant compte de la forme, des dimensions de la pièce et surtout les exigences de la tolérance.

- Arrêter les conditions nécessaires de la mesure.

- Préparation d'une fiche technologique de contrôle.

1- Choix de la méthode et des instruments :

Le choix se base sur les critères suivants :

la forme de la pièce, ses dimensions et les tolérances

La précision de la mesure dépend de la tolérance et des dimensions mesurées.

Le tableau 8 donne les classes de mesure des appareils de mesure suivant les dimensions mesurées.

Classes de précision	Valeurs des erreurs limites en (µm) pour les dimension à mesurer en (mm)											
	500 à 630	630 à 800	800 à 1000	1000 à 1250	1250 à 1500	1500 à 2000	2000 à 2500	2500 à 3150	3150 à 4000	4000 à 5000	5000 à 6300	6300 à 8000
1	±13	±15	±18	±20	±22	±25	±28	±32	±36	±40	±45	±50
2	±18	±20	±22	±24	±26	±30	±35	±40	±45	±50	±55	±65
2a	±28	±32	±36	±40	±45	±50	±55	±60	±70	±80	±90	±105
3	±42	±45	±50	±60	±65	±75	±85	±95	±105	±120	±135	±150
3a	±70	±75	±85	±95	±110	±125	±140	±155	±175	±200	±225	±250
4	±90	±100	±110	±120	±130	±145	±160	±180	±210	±240	±280	±320
5	±135	±150	±165	±180	±200	±225	±250	±280	±320	±365	±420	±480
7	±180	±200	±220	±240	±260	±300	±350	±400	±450	±500	±550	±650
8	±280	±300	±350	±400	±450	±500	±550	±600	±700	±800	±900	±1000
9	±450	±500	±550	±600	±650	±700	±800	±900	±1050	±1200	±1400	±1600

Tableau - 8 -

Méthodes et instruments de mesure	Classe de précision de l'IN	Ecart de température par rapport à 20°C en $^{\circ}\text{C}$ pendant la mesure ↓ erreurs dues aux de diamètre ↑ erreurs en (μm).							
		1	2	3	4	5	6	8	10
Mesure directe avec jauge de diamètre micrométrique - et jauge de diamètre à comparateur	1	x)	x)	x)	x)	-	-	-	-
	2	± 1	± 1	± 1	x)	x)	-	-	-
	2a	± 10	± 7	± 5	± 3	± 2	± 2	± 2	± 2
	3	± 10	± 10	± 10	± 8	± 7	± 6	± 5	± 5
	3a et plus	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10
Mesure directe avec un pied à coulisse ou micromètre	2	x)	x)	x)	-	-	-	-	-
	2a	± 10	± 6	± 4	± 1	± 1	± 1	± 1	± 1
	3	± 10	± 10	± 10	± 8	± 7	± 6	± 5	± 5
	3a et plus	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10
Mesure indirecte par rapport à une surface de référence	2a	x)	± 4	± 2	± 1	$\pm x)$	x)	x)	x)
	3	e)	± 10	± 10	± 8	± 7	± 6	± 4	± 4
	3a et plus	-	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10
Mesure par les règles graduées et rubans étalonnés et ordinaires	2a	± 10	± 8	± 6	± 4	± 4	± 6	-	-
	3 et plus	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	-	-
	3	± 10	± 10	± 10	± 8	± 8	± 7	± 6	± 6
	3a et plus	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10
	5	-	-	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10
6	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	
Mesure à l'aide de IN à 3 touches	3-3a et plus	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau 9.

Dans le tableau 9, la classe 1 ne peut être atteinte qu'après une correction α des erreurs dues aux influences de température.

En consultant le tableau ci-dessus, il est possible de faire un choix de la méthode de mesure ainsi que l'instrument. et on remarque que les mesures directes effectuées à l'aide des instruments de mesure à mâchoires sont les plus précises.

Les jauges de diamètre sont moins précises, on effectue avec des mesures indirectes mais elles sont plus commodes en pratique.

En introduisant une correction de température, les instruments à mâchoires peuvent être utilisés dans les mesures de 2^e classe de pièces atteignant même 3000 (mm).

En usant des méthodes indirectes (mesurage effectué sur une machine ; il est nécessaire de munir la machine outil d'une surface de référence supplémentaire.

2- Conditions de mesurage

- Avant d'entreprendre les opérations de mesurage, il est indispensable de préparer les conditions favorables pour le bon déroulement des opérations.

2-1 : Si le mesurage est effectué à l'aide des instruments à mâchoires, il faut régler (mettre à zéro) ceux-ci avec des jauges de diamètre destinés au contrôle.

Il faut bien faire attention et prendre en considération la vraie longueur de la jauge et non celle inscrite sur celle-ci.

2-2 : Avant d'entreprendre les différentes opérations de mesurage, il faut minimiser l'écart de température entre l'instrument et la pièce à mesurer et ce, en posant côté à côté ceux-ci sur un marbre ou sur le banc d'une machine outil.

Puisque l'écart de température peut être provoqué par le contact tactile, l'opérateur doit se munir de gants en matière isolante ou plaques.

2-3 Les pièces de dimensions inférieures à 1000 (mm), un ouvrier, seul peut les manier; pour les instruments à capacité supérieure, le mesurage est effectué par deux ou plusieurs ouvriers. Il est préférable d'utiliser des systèmes de manutention pour des instruments de mesure trop lourds.

2-4. La même mesure doit être effectuée au moins trois fois; et la valeur adoptée est la moyenne arithmétique.

3- Préparation de la fiche technologique de contrôle de mesure.

La fiche technologique de contrôle constitue la dernière étape des opérations de la technologie de mesure. C'est un document référence très important, car il permet le suivi du contrôle et donne tous les renseignements sur le mode opératoire ainsi que sur les instruments de mesure utilisés dans chaque phase de mesurage. La fiche de contrôle doit comporter

- *a- le croquis de la pièce avec toutes les dimensions à mesurer.
- *b- La liste ordonnée des différentes étapes de mesurage
- *c- La liste des instruments utilisés pour chaque étape.
- *d- Les schémas de mesurage. Dans le cas des méthodes indirectes il faut mentionner les relations de calcul.
- *e- Les conditions de mesurage (température, manipulation)

Chapitre 5

PROJET D'INSTRUMENT DE MESURE A TROIS TOUCHES

L'objet d'étude de ce chapitre est la conception d'un instrument de mesure à trois touches pour la mesure de diamètres variant entre 3000 et 4000 (mm).

- Dans toute la suite de ce chapitre, le lecteur est invité à consulter en premier lieu le dessin d'ensemble.

- L'instrument est composé d'un corps au milieu duquel peut être fixé n'importe quel comparateur à amplification mécanique. L'appareil est doté à ses extrémités de deux mâchoires avec embout sphérique.

L'appareil peut être utilisé dans un but de mesurage des diamètres intérieurs ou extérieurs.

1. Mode d'emploi :

- Cet instrument est basé sur le principe de la mesure par comparaison. Avant de l'utiliser (dans la mesure) l'instrument doit être réglé (étalonné) sur la valeur nominale du diamètre, pour ce il faut le poser sur un marbre.

a - Cas de mesurage des diamètres extérieurs :

La figure 41 montre comment doit être fait l'étalonnage :

Poser les embouts sphériques sur le marbre puis disposer au-dessous de la tige du comparateur un amas de cales étalon

b - Cas de mesurage des diamètres intérieurs :

La figure 42 illustre le procédé d'étalonnage :

Les mâchoires à embout sphérique sont susceptible à la translation (Transformation du mouvement de translation en mouvement de translation - système vis écrou), déplacer les deux tiges vers le haut puis disposer en dessous de chacune un amas de cales étalons.

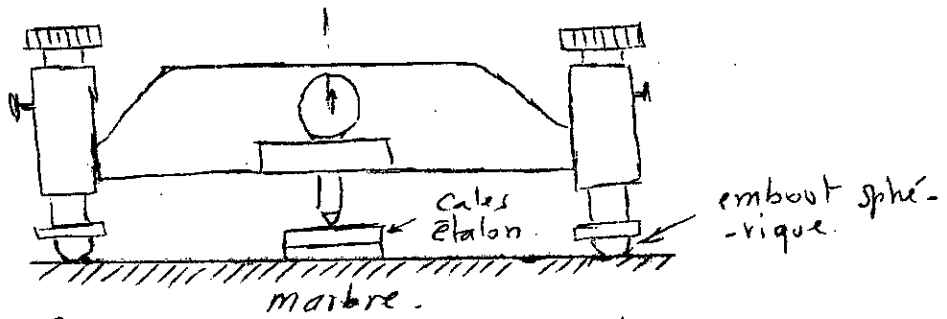


fig 41. Etalonnage de l'appareil pour les diamètres extérieurs.

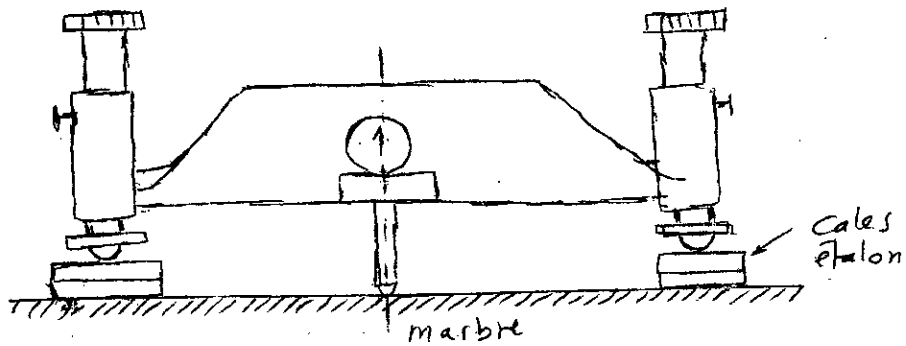


fig 42 Etalonnage de l'appareil pour les diamètres intérieurs.

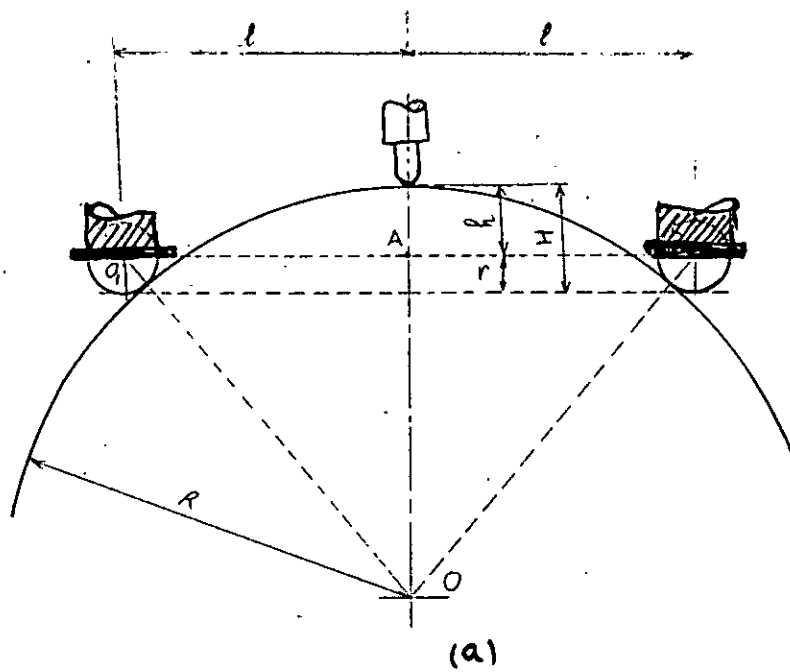
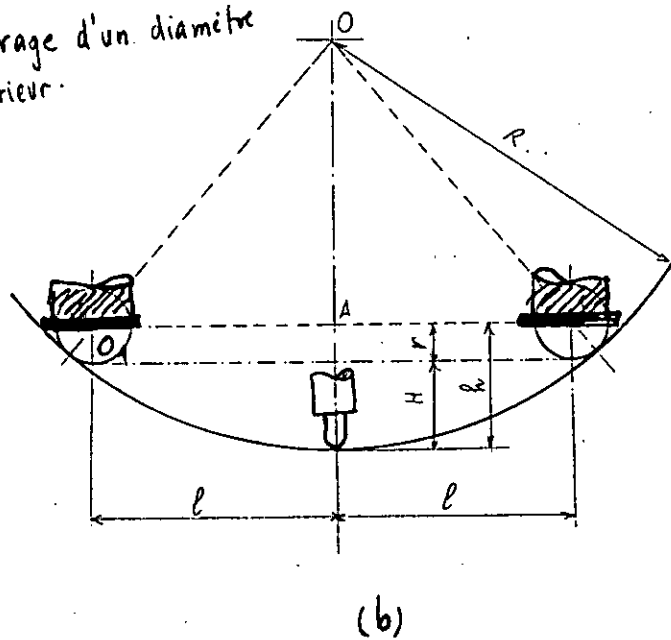


fig 43
 a: Mesurage d'un diamètre
 extérieur
 b: Mesurage d'un diamètre
 intérieur.



par contre la touche du comparateur est en contact avec le marbre

2- Détermination de la dimension de l'amas des cables:

2-1 Cas du diamètre extérieur: fig 43a

Dans le triangle OO_1A (fig 43)

$$(R+r)^2 - (R-h)^2 = l^2$$

$$\text{d'où } 2R = \frac{l^2 + h^2 - r^2}{r+h}$$

Soit $2R = D$, on voit que $h = H - r$

$$\text{d'où } D = \frac{l^2 + H^2 - Hd}{H} \quad (\text{diamètre nominal})$$

donc $H^2 - (D+d)H + l^2 = 0$. d'où la solution:

$$H = \frac{D+d}{2} - \sqrt{\left(\frac{D+d}{2}\right)^2 - l^2} \quad (\text{sens physique}).$$

2-2. Cas du diamètre intérieur: fig 43b.

Dans le triangle OO_1A (fig 44)

$$(R-r)^2 - (R-h)^2 = l^2$$

$$\Rightarrow 2R = \frac{l^2 + h^2 - r^2}{h-r}$$

posons $2R = D$ (ϕ nominal).

$$h = H + r \quad \text{d'où } D = \frac{l^2 + H^2 + Hd}{H}$$

sous une autre forme: $H^2 - (D-d)H + l^2 = 0$.

$$H = \frac{D-d}{2} - \sqrt{\left(\frac{D-d}{2}\right)^2 - l^2} \quad (\text{sens physique}).$$

3- Détermination de la mesure:

Le calcul direct des dimensions des dimensions à mesurer est très compliqué. Il est plus simple de déterminer l'écart des diamètres mesurés par rapport au diamètre nominal, d'où la nécessité de faire intervenir le calcul différentiel. Notons

dD : l'accroissement du diamètre en (mm),

dH : Variation des hauteurs H donnée par le comparateur.

$$dD = - \left(\frac{l^2}{H^2} - 1 \right) dH.$$

Remarquons que la valeur de H augmente quand la grandeur à mesurer (le diamètre D) diminue, ceci est mis en évidence par l'intervention du signe $(-)$ dans l'expression différentielle ci-dessus.

Pour déterminer l'écart du diamètre mesuré par rapport au diamètre nominal, il suffit de multiplier la lecture du comparateur par la valeur constante $\frac{l^2}{H^2} - 1$.

4 Avantages de l'instrument:

Les avantages principaux de cet instrument de mesure par rapport aux autres sont:

- Grande étendue de mesure.
- Facilité de réglage
- Possibilité de mesurer des diamètres extérieurs et intérieurs
- est d'une construction simple.

5 Erreurs de mesure:

Dans la partie théorique, l'étude des erreurs pour les instruments de mesure à trois touches a été omise, l'étude est reprise dans ce chapitre et comme exemple, l'instrument à concevoir est typique.

Rappelons que l'expression du :

a - diamètre extérieur est : $D_e = \frac{l^2}{H} + H - d$

b - diamètre intérieur est : $D_i = \frac{l^2}{H} + H + d.$

avec : l : distance entre les axes de la touche du comparateur et celui de la touche à embout sphérique.

H : flèche correspondant à la corde définie par les

les deux points de contact des deux (pas) embouts sphériques avec l'arbre.

d : diamètre (du galet) de l'embout sphérique en (mm) de l'appareil.

L'expression de l'erreur est:

$$\delta_D = \sqrt{\left(\frac{\partial D}{\partial l}\right)^2 \delta_l^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial H}\right)^2 \delta_H^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial d}\right)^2 \delta_d^2}$$

$\frac{\partial D}{\partial l} \cdot \delta_l$; $\frac{\partial D}{\partial H} \cdot \delta_H$ et $\frac{\partial D}{\partial d} \cdot \delta_d$ sont les composantes de l'erreur

l'erreur δ_D

δ_l : erreur commise sur la grandeur l

δ_H : erreur commise sur la grandeur H .

δ_d : erreur commise sur la grandeur d .

$$\frac{\partial D}{\partial l} = 2 \frac{l}{H} \quad ; \quad \frac{\partial D}{\partial H} = 1 - \frac{l^2}{H^2} \quad ; \quad \frac{\partial D}{\partial d} = +1$$

$$\text{donc : } \delta_D = \sqrt{\left(\frac{2l}{H}\right)^2 \delta_l^2 + \left(1 - \frac{l^2}{H^2}\right)^2 \delta_H^2 + \delta_d^2}$$

6- Etude constructive de l'instrument de mesure:

6-1- Le corps:

Le corps de l'instrument est en acier inoxydable:
(Z10CNT18 : 0,10 C ; 0,5 Si ; 0,5 Mn ; 18 Cr ; 8 Cu) moulé

Dans le but d'éviter la flexion de l'appareil sous son poids propre ; la forme du corps donne une bonne résistance à la flexion.

Le corps est ajouré afin de minimiser son poids.

L'alésage destiné à recevoir la tige filetée doit être rodé et ajusté.

L'alésage destiné à recevoir la tige du comparateur doit être ajusté.

La distance l entre les deux axes doit être d'une hauteur

précision : $l = 300 \pm 0,01$; car cette dimension, surtout sa tolérance est d'une grande importance pour la précision de l'appareil.

6-2 : La tige filetée (arbre) : (ensemble)

- Les parties frottantes doivent être rodées
- l'embout doit être d'une bonne précision et doit subir, éventuellement, un traitement thermique dans la surface afin de augmenter sa dureté.

6-3

Dimensionnement de l'appareil :

Pour des diamètres entre 3000 (mm) et 4000 (mm), la pratique conseille une valeur de $l = 300$ (mm).

En fonction de ce choix, déterminons la course de la tige (câd mâchoire).

a) $D = 3000$ (mm) diamètre extérieur :

$$H = \frac{D+d}{2} - \sqrt{\left(\frac{D+d}{2}\right)^2 - l^2}$$

$$D = 3000 \text{ (mm)}$$

$$d = 30 \text{ (mm)}$$

$$l = 300 \text{ (mm)}$$

$$H = \frac{3000+30}{2} - \sqrt{\left(\frac{3000+30}{2}\right)^2 - 300^2}$$

$$H = 30 \text{ (mm)}.$$

b) $D = 3000$ (mm) diamètre intérieur

$$H = \frac{D-d}{2} - \sqrt{\left(\frac{D-d}{2}\right)^2 - l^2}$$

$$H = \frac{3000-30}{2} - \sqrt{\left(\frac{3000-30}{2}\right)^2 - 300^2}$$

$$H = 31 \text{ (mm)}.$$

Donc la course de la tige (l'embout sphérique) est de 62 (mm).

6-4 Erreur introduite par la construction:
limite inférieure $\underline{\delta}_D$

$$H = 31 \pm 0,001 \quad (\text{Comparateur micrométrique}).$$

$$l = 300 \pm 0,01$$

$$d = 30 \pm 0,01$$

$$\underline{\delta}_D = \sqrt{\left(\frac{2l}{H}\right)^2 \delta_l^2 + \left(1 - \frac{l^2}{H^2}\right)^2 \delta_H^2 + \delta_d^2}$$

$$\underline{\delta}_D = \sqrt{\left(\frac{2 \times 300}{31}\right)^2 \cdot 0,01^2 + \left(1 - \frac{300^2}{31^2}\right)^2 \cdot 0,001^2 + 0,01^2}$$

$$\underline{\delta}_D = 0,217 \text{ (mm)}$$

Pour le calcul de la limite supérieure, $\overline{\delta}_D$ nous sommes amené à déterminer la valeur de H pour $D = 4000$.

un calcul simple permet la détermination de H.

$$H = 23 \text{ mm.}$$

$$\text{et } \overline{\delta}_D = 0,311 \text{ (mm)}$$

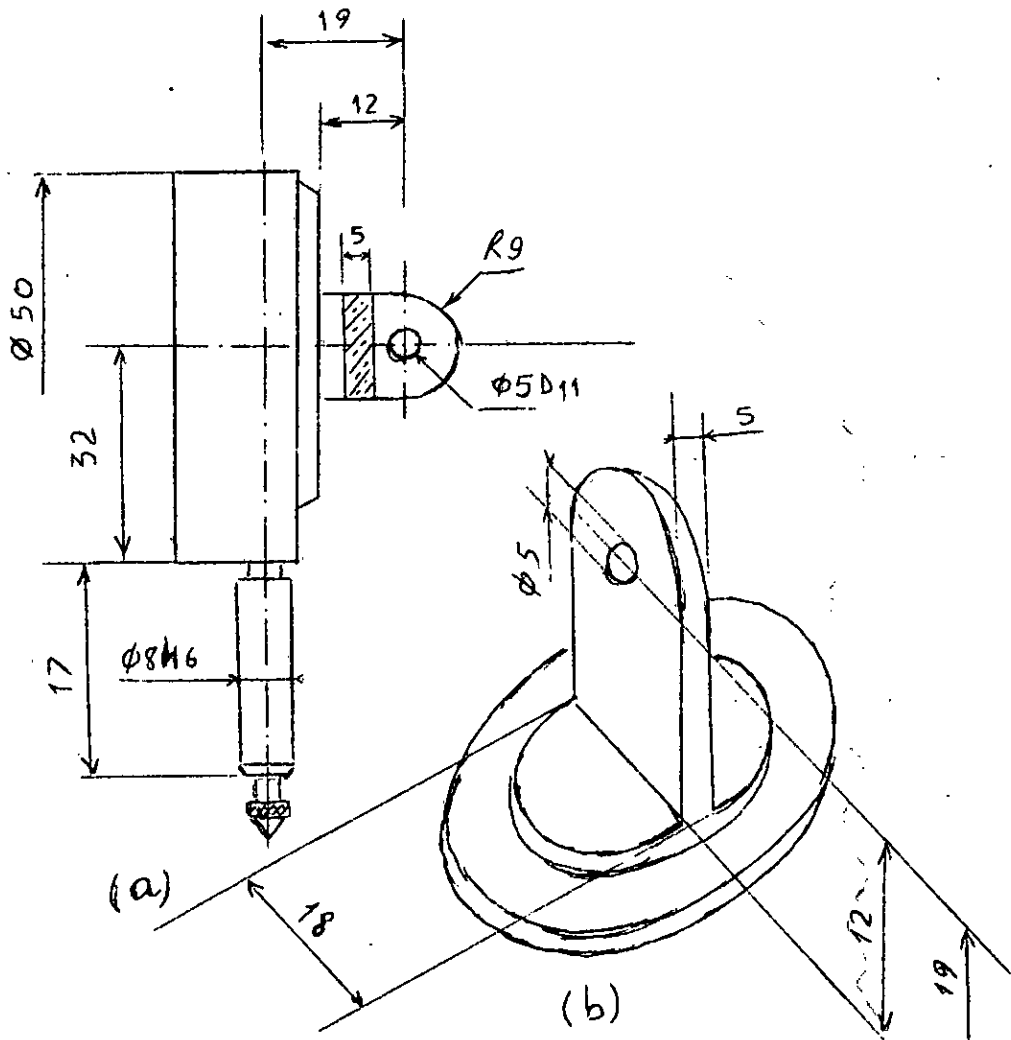


fig 44 - Comparateur à amplification mécanique.

a) profil du comparateur

b) fond du comparateur.

Conclusion

- Malgré la quasi-inexistence d'ouvrages en langue française traitant des instruments de mesure des pièces de grandes dimensions, je pense qu'avec le concours de M^r BALAZINSKI j'ai mis au point un ouvrage qui servira comme base de travail, peut être, aux étudiants des futures promotions.

- Les instruments de mesure des pièces de grandes dimensions ne sont pas plus compliqués que les instruments de mesure ordinaire, mais leur emploi demande plus de moyens.

Je souhaite que d'autres projets de ce type seront proposés dans notre département.

LEGENDE.

α : angle ; coefficient de dilatation linéaire.

β : angle.

Δ, δ erreur, incertitude.

H, h hauteur - différence de distance.

L, l distance, arc.

S distance, arc.

T différence de distance.

t température.

D, d diamètres.

x valeurs corrigées.

Table des figures

figure	page	figure	page
1	7	23 23	28 28
2		24	28
3		25	28 bis
4	9	26	31
5		27	33
6		28	
7	12	29	35
8		30	
9		31	38
10	15	32	
11		33	40
12	16	34	
13		35	44
14	15	36	50
15	17	37	54
16	19	38	
17	20	39	55
18	21	40	
19	24	41	66
20		42	
21	27	43	67
22		44	73

Table des tableaux

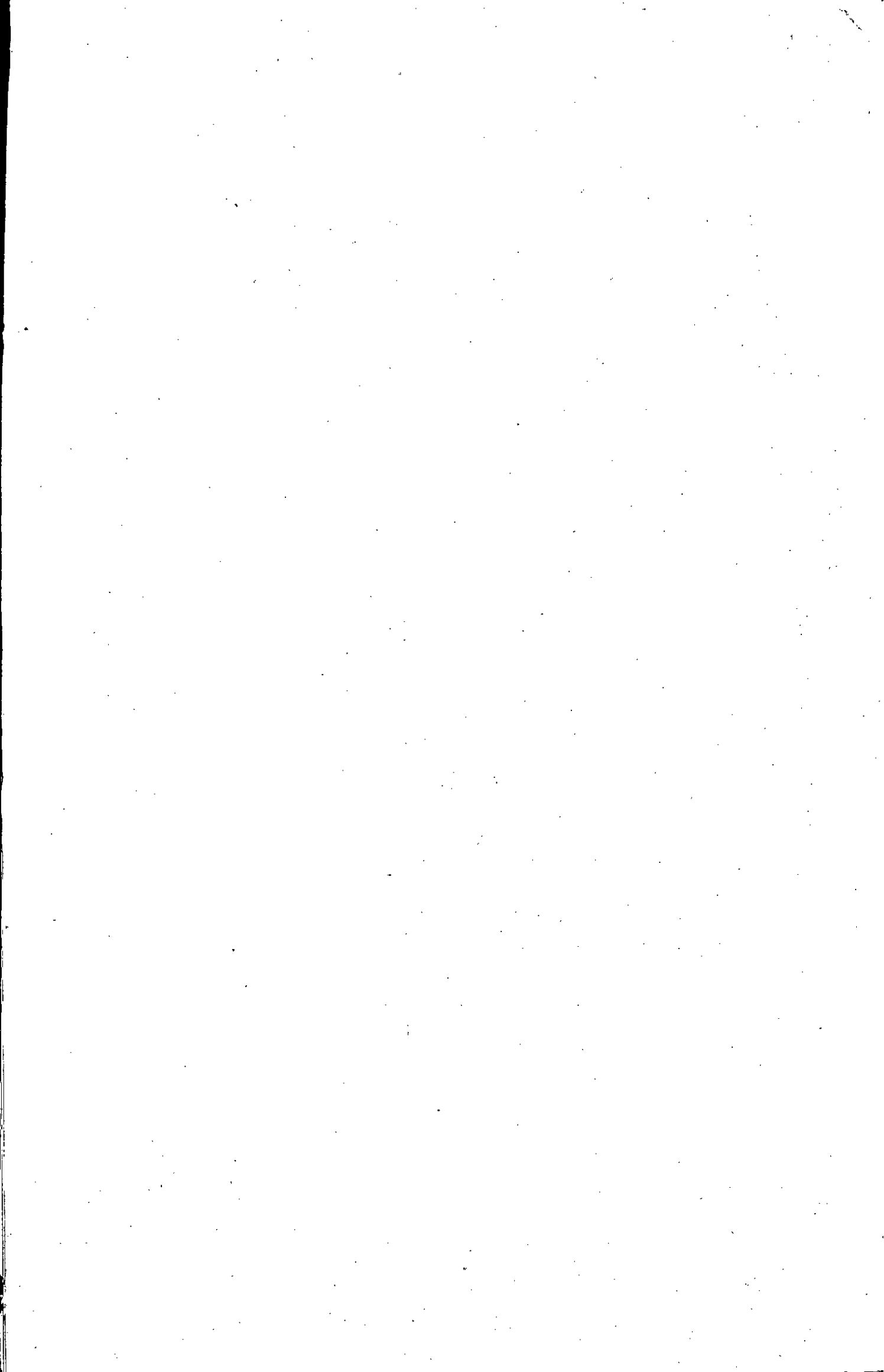
Tableau	page	Tableau	page
1	11	7	57
2		8	61
3	13	9	62
4	21		
5	52		
6			

Table des matières

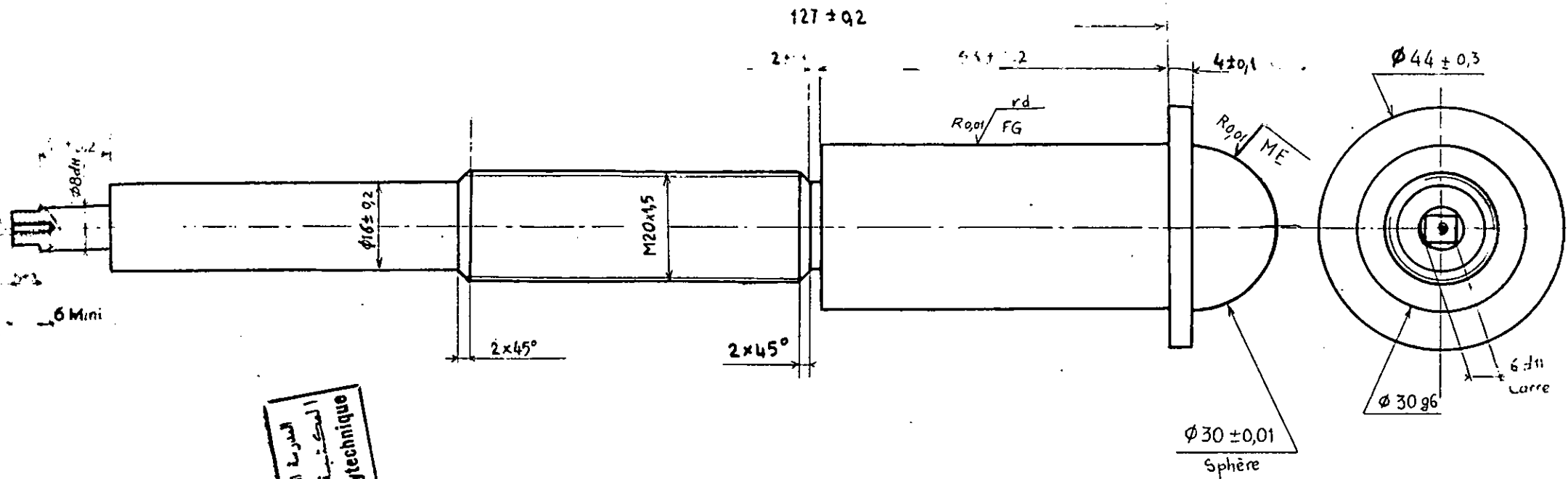
	page
Chapitre 1: Introduction.	4
A Methodes de mesurage	
B Classification des instruments de mesure	
Chapitre 2 : Instruments de mesure et méthodes de mesurage.	6
A - Instruments de mesure	
1- Les cales étalon.	
1-1 Principe	
1-2 Procédés de mesurage	
1-3 qualité de mesure	
2- Jauges micrométriques (de diamètre)	
2-1 La première catégorie	
2-2 Deuxième catégorie	
2-3 Autres types de jauges de diamètre	
3- Pieds à coulisse et instruments de mesure à vernier	
3-1. Les pieds à coulisse.	
3-2. Jauges de hauteur.	
4 - Les reglets gradués.	
5 - Etalonnage des instruments de mesure.	
B - Méthodes de mesurage	
1. Méthode de mesure indirecte par rapport à une surface de référence supplémentaire.	
2 - Méthode des bandes.	
3 - Instruments de mesure à 3 foushes.	
4 - Mesure à l'aide d'un galet tournant.	
5 - Méthodes modernes.	
Chapitre 3 : Erreurs de mesure.	41
1 Introduction.	
2 - Application des concepts mathématiques.	
2-1 dans les jauges de diamètre.	
2-2 dans les méthodes indirectes.	
Chapitre 4 : Technologie de mesurage des pièces de grandes dimensions.	
1 - choix de la méthode et des instruments	
2 - conditions de mesurage.	
3 - Préparation de la fiche technologique	

BIBLIOGRAPHIE

- Sprawdzenie dużych wymiarów
w budowie maszyn A. D. RUBINOW.
Ed. P.W.T.
- Dictionnaire technique MICRO
français-polonais et
polonais-français Ed. W.N.T.
- Métrologie dimensionnelle.
fasc. 13 A. CHEVALIER.
L. LABURTE.
Ed. DELAGRAVE
- Outillage et mesure BERNARD. GRUBER.
Ed. SPES.
- Les fabrications mécaniques J.C. ABRIL - G. CLISSON
D. MARC.
Ed. N.T.I
- Bureau d'étude.
Le projet en C.M. fasc. 18 M. DELANETTE.
Ed. DELAGRAVE
- Matériaux de C.M. et électrique. G. LEMASSON - L. BLAIN
Dunod.
- Aide mémoire. conception
en C.M. Dunod.
- Dessin de C.M. H. RIBEROL
Ed. DELAGRAVE.



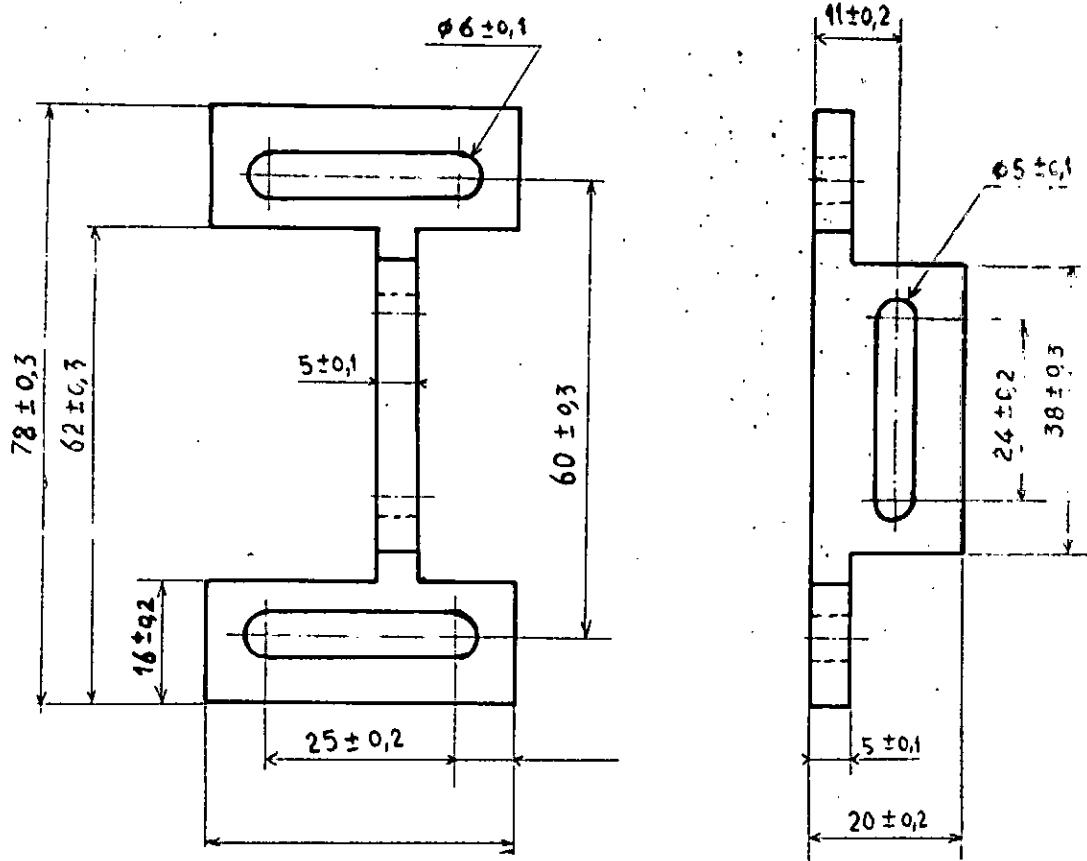
193 ± 0.2



المدرسة الوطنية للتكنولوجيا
 المكتبة
 BIBLIOTHEQUE
 Ecole Nationale Polytechnique

L'embout sphérique doit subir un T.T. de durcissement superficiel puis une super. finition

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE			
Echelle	Masse		TIGE FILETEE
1			
Etudiant	KABACHE	<i>Oubert</i>	E.N.P.A. Dép. MECANIQUE
Promoteur	BALAZINSKI	3.1.84	
			Promotion jan. 84
			IM3.03.00



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Echelle	Masse		BRIDE	E.N.P.A. Dép. MECANIQUE
1				
Etudiant	KABACHE	<i>Cherif</i> 3.184		
Promoteur	BALAZINSKI		Promotion jan. 84.	IM3.05.00

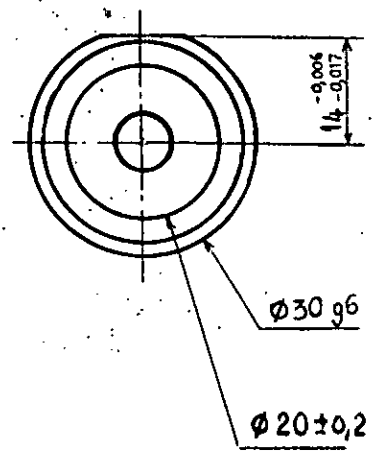
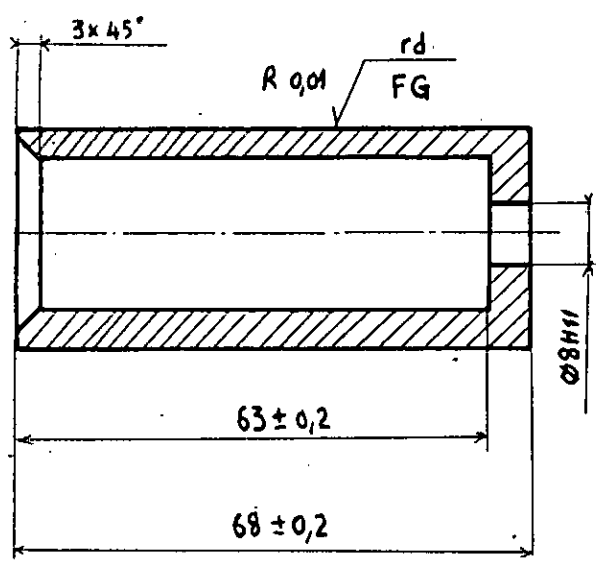
الدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
 المكتبة — BIBLIOTHEQUE
 Ecole Nationale Polytechnique

12	NFE.27-025	Goujon M6-18	2				
11	IM3.05.00	Bride	1				
10	NFE 27-611	Rondelle plate M	2				
9	NFE 27-455	Ecrou moleté M6	2			Acier A43 2	
8	NFE 27-170	Vis à tête moletée, type A, M4-8	2				
7	IM3-04-00	Corps	1			Z10 CNT 18 (inox) moulé	
6	IM3-03-00	Tige fileté a embout sphérique	2			acier inox TT. super fileté à l'embout sphér	
5	NFE-27-161	Bague de 8	2			Bronze	
4	IM3-02-00	Douille	2			acier inox	
3	-	Ressort a compression	2				
2	IM3-01-00	Tête moletée	2			acier inox	
1	NFE-27-115	Vis C, M2-8	2				
Rep	N° dessin	DESIGNATION	Nb	Unit	Totale	Mat	Observ.
				Masse			

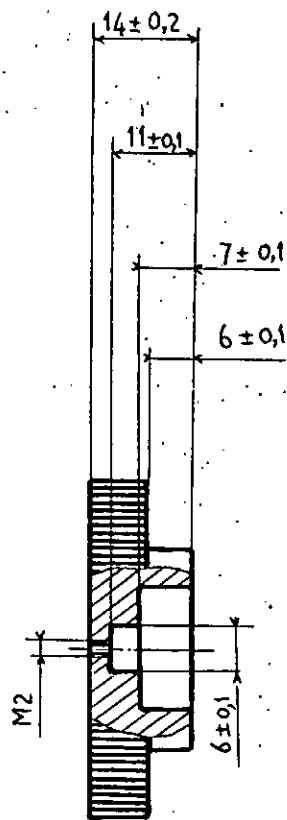
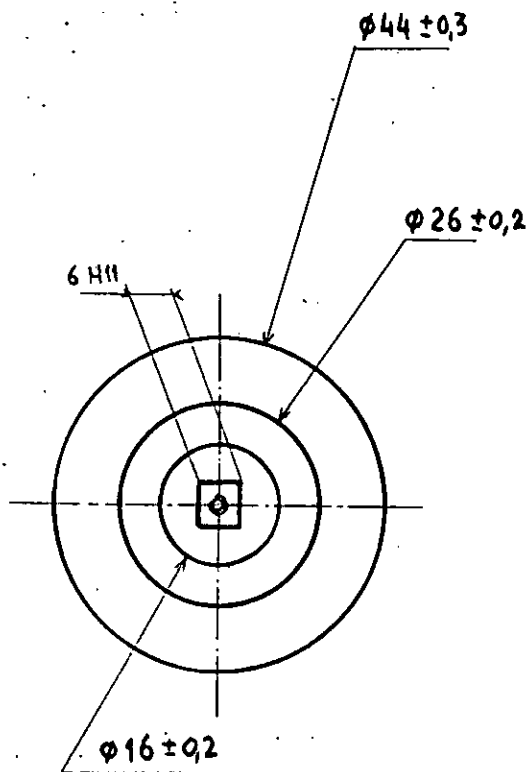
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

			NOMENCLATURE	E.N.P.A.
Etudiant	KARACHE	<i>Qz</i> 3.1.84		
Promoteur	BALAZINSKI			
			Promotion jan. 84	IM3.06.00

الدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique

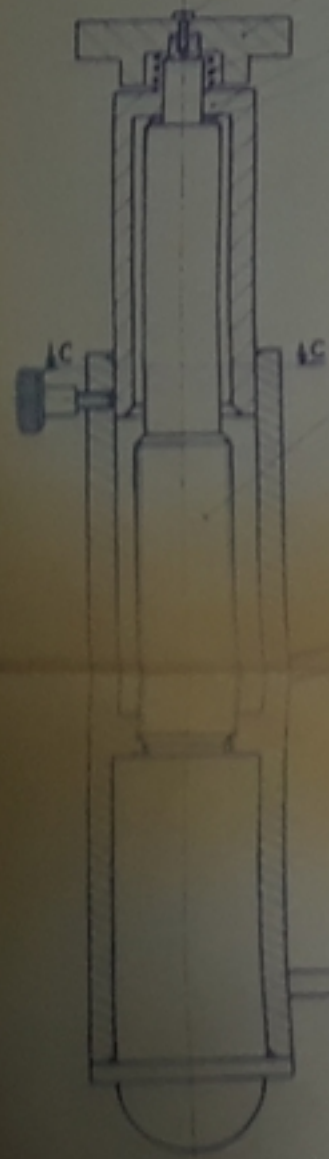


ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE					
Echelle	Masse			DOUILLE	E.N.P.A. Dép. MECANIQUE
1					
Etudiant	KABACHE	<i>Chelaf</i>	2.1.84		
Promoteur	BALAZINSKI			Promotion jan. 84	IM3.02.00

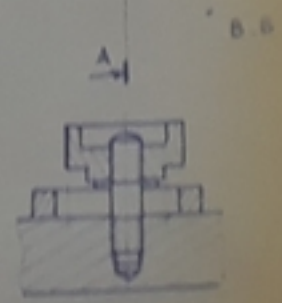
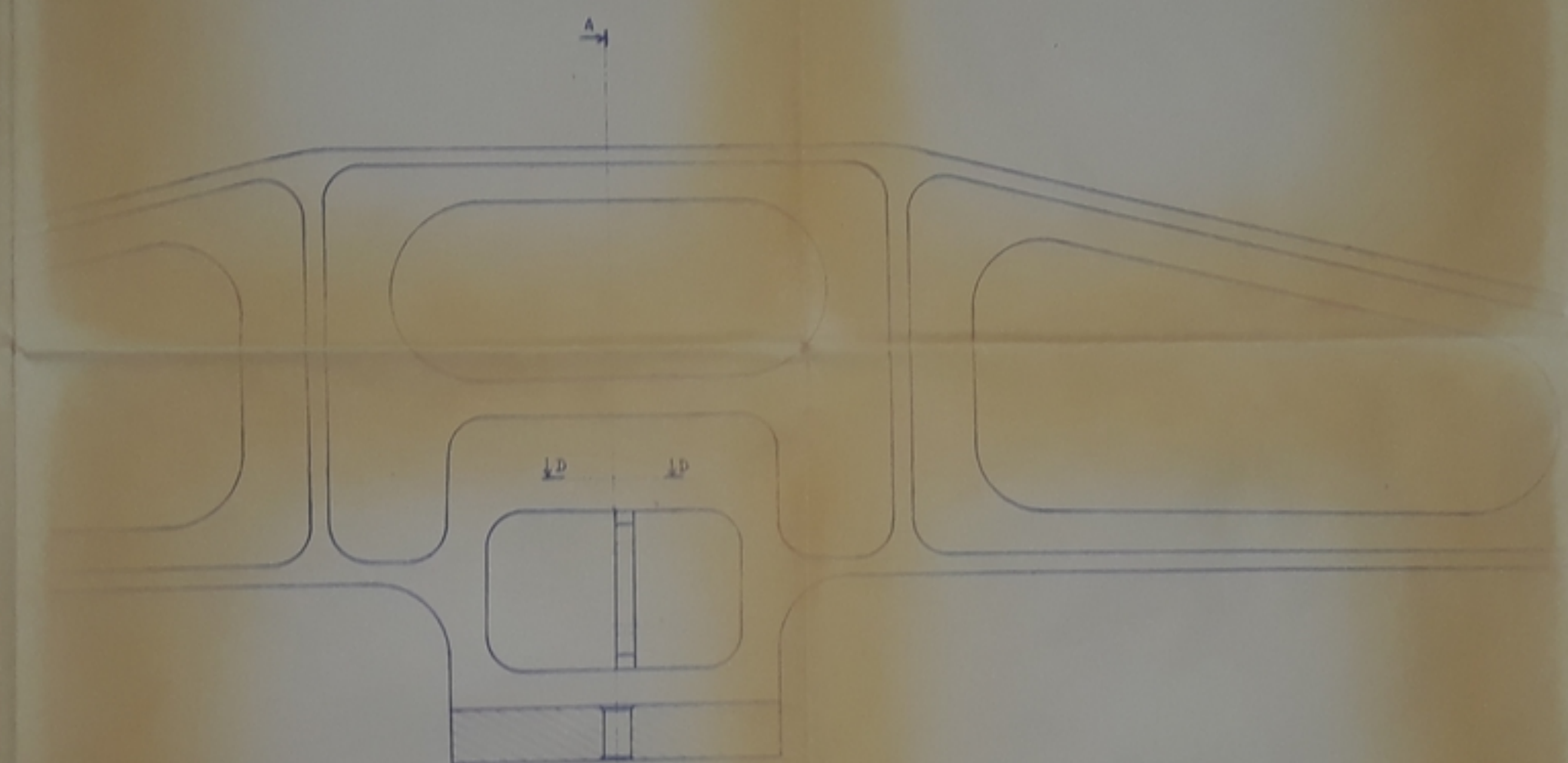


المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE					
Echelle	Masse			TETE MOLETEE	E.N.P.A.
1					
Etudiant	KABACHE	<i>OKA</i>	2.1.84	Dép. MECANIQUE	IM3.01-00
Promoteur	BALAZINSKI				
				Promotion jan. 84	



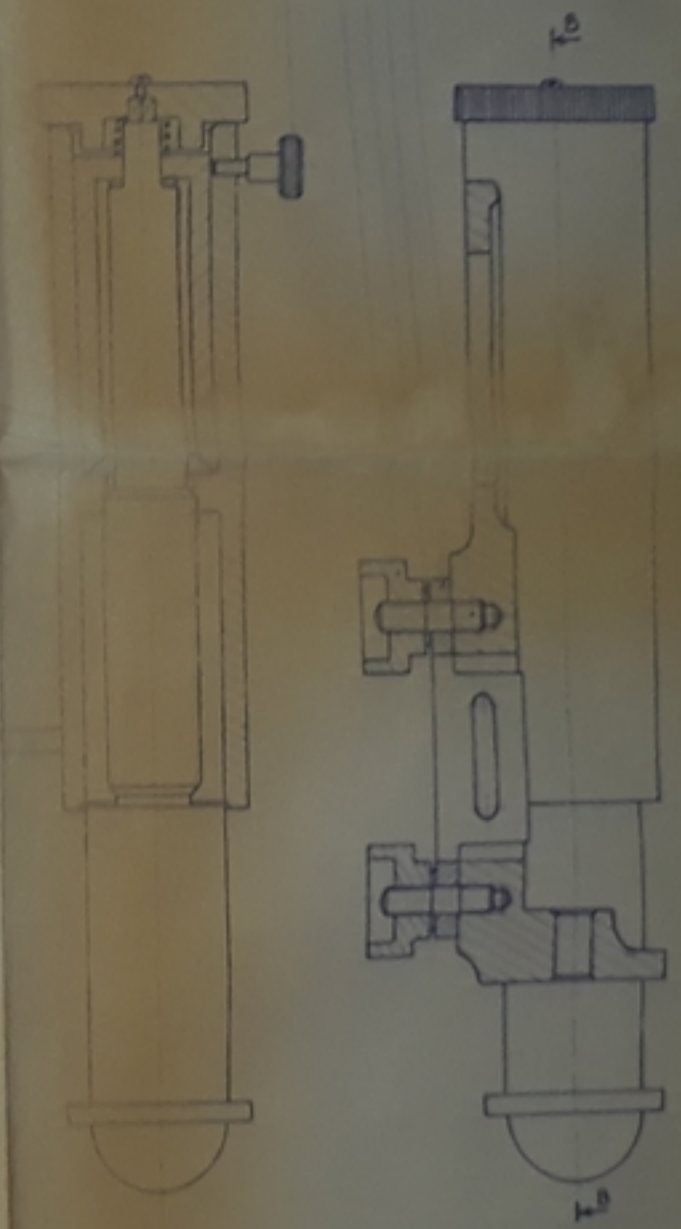
Section C-C



Section D-D

12
11
10
9
8
7

مكتبة الوثائق الهندسية
BIBLIOTHEQUE
الهندسية - ENPA
1983

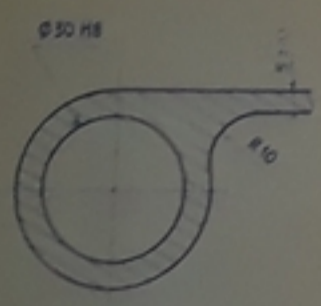
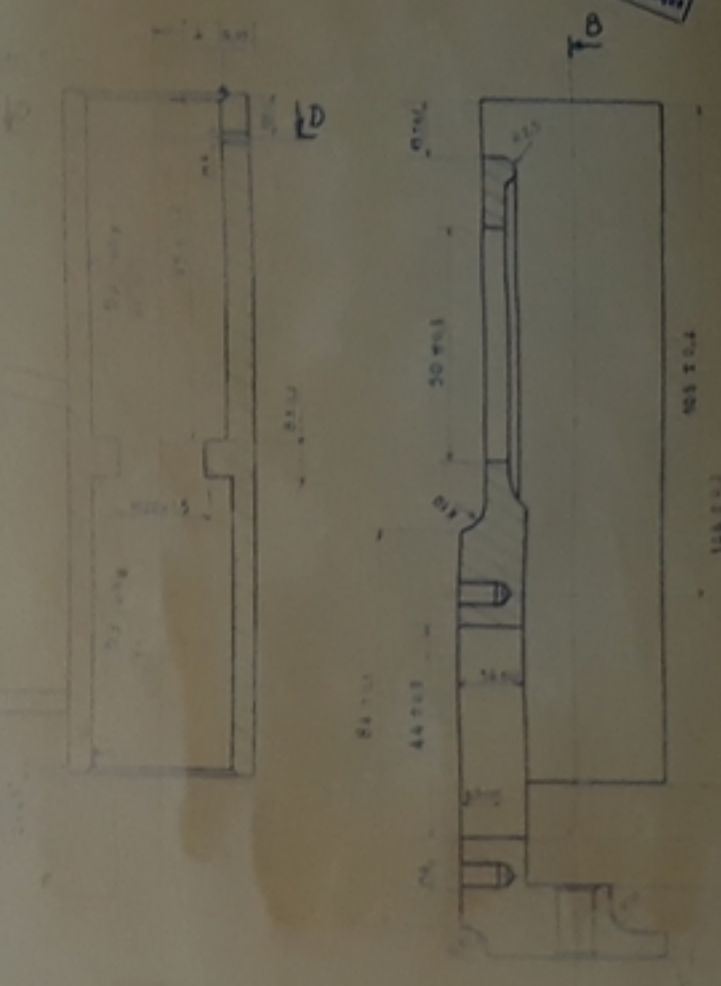
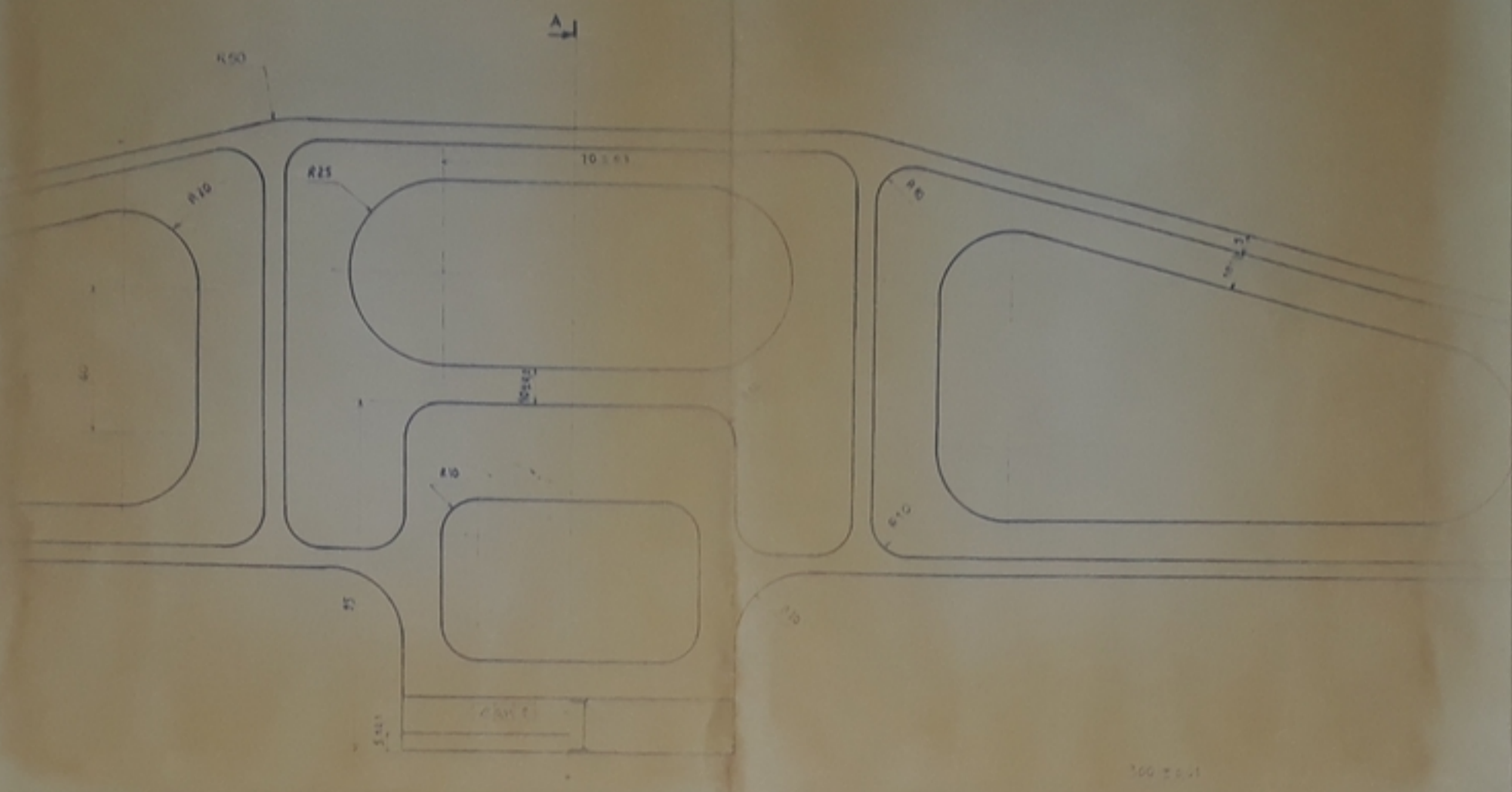
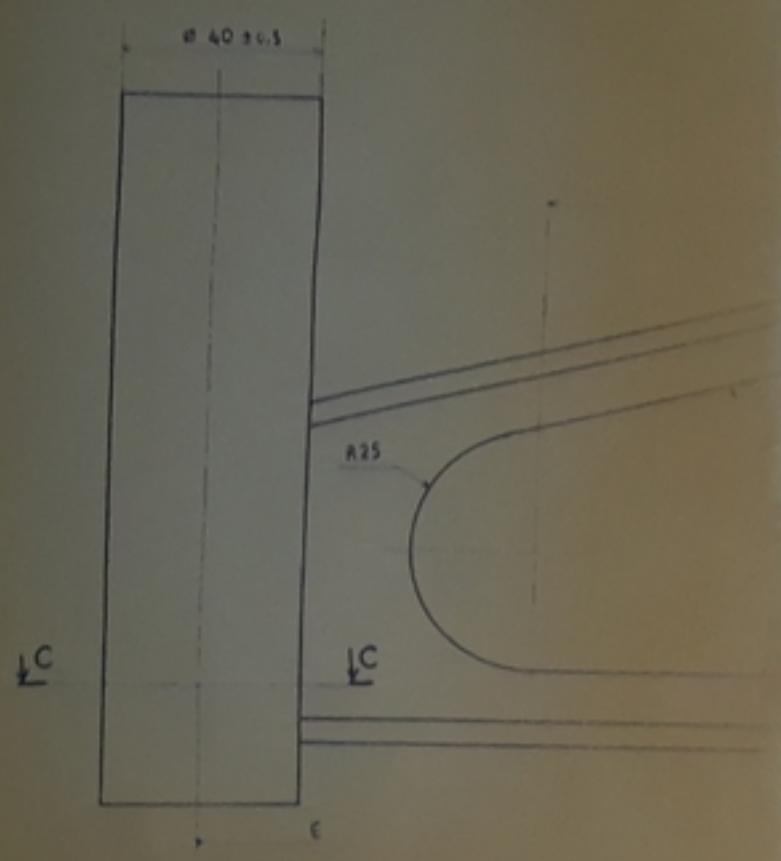


A-A
مكتبة الوثائق الهندسية
BIBLIOTHEQUE
الهندسية - ENPA
1983

PM032/84
Annexe (1)

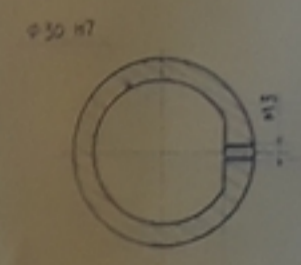
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE			
NO. 1	PROF.	ENPA	INSTRUMENT DE MESURE A TROIS TOUCHES
NO. 1	PROF.	ENPA	TOUCHES
NO. 1	PROF.	ENPA	1983

الجمهورية العربية السورية
الهندسة - الميكانيكا
Ecole Nationale Polytechnique



Section CC

Tolerance des cotés en mm



Section DD

الجمهورية العربية السورية
الهندسة - الميكانيكا
Ecole Nationale Polytechnique

PM032/84
Annexe (2)

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE			CORPS	ENPA
Localité	Phase			
	21 84			
Collège	KABACHE			
Numéro	SAZADINO			
Promotion			jan 84	IM3 04

