

وزارة التعليم و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Tex

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT DE GENIE - MECANIQUE



PROJET DE FIN D'ETUDES

S U J E T

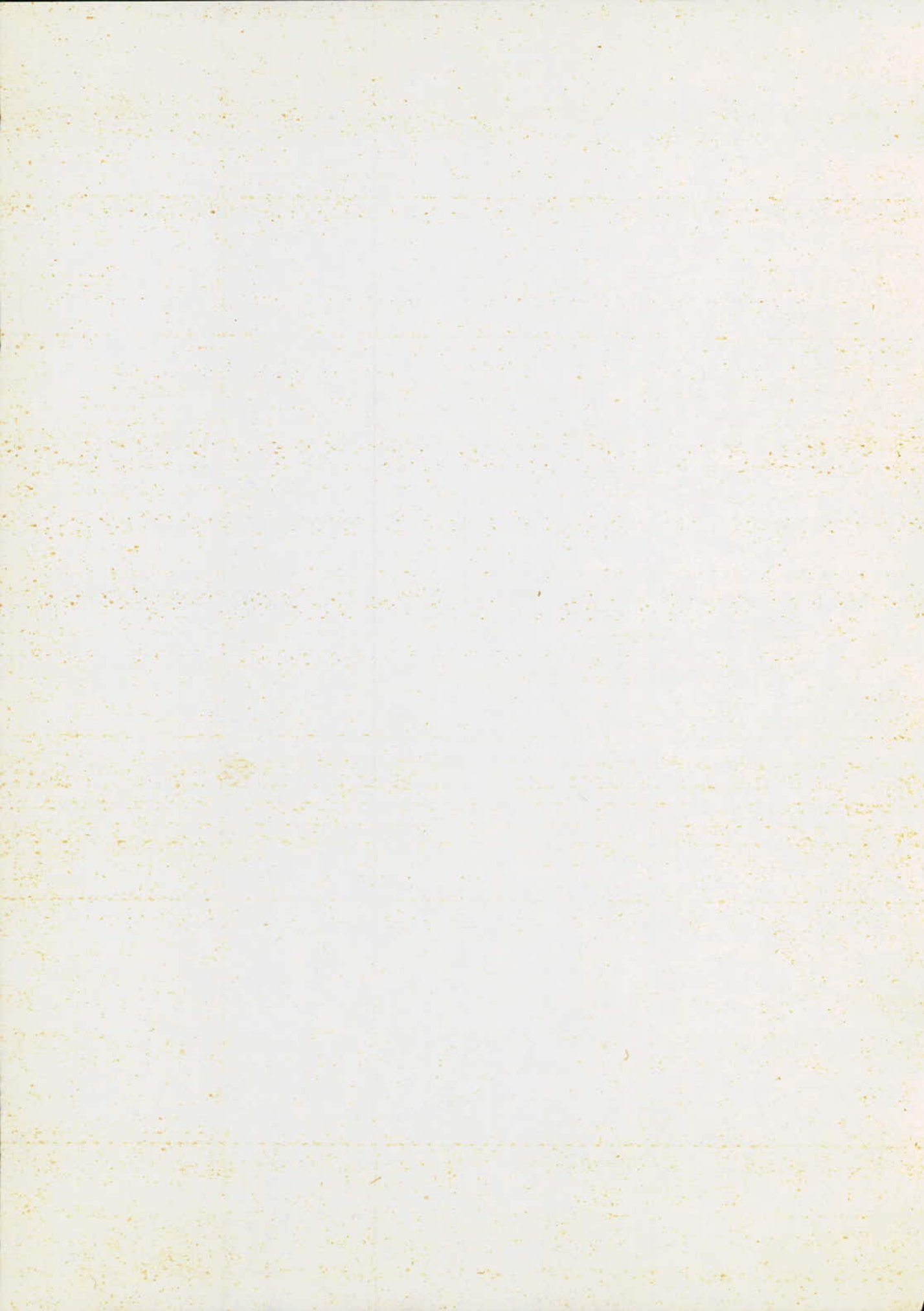
REALISATION D'UN BANC
D'ESSAI DE CAMES

13 PLANCHES

Proposé par :
J.P. PIEROZAK

Etudié par :
M HOUACINE

Dirigé par :
J.P. PIEROZAK



DEDICACES

A la mémoire de mon père

à la mémoire de mon grand-père

à l'honneur de ma mère, ma grand-mère,
mon frère et mes soeurs

à l'honneur de mon oncle, sa femme et
leurs enfants

à toute ma famille

à tous mes amis

Je dédie ce modeste travail

- HOUACINE Mohamed -

-oOo- R E M E R C I E M E N T S -oOo-

Au terme de ce travail je tiens à remercier tous les enseignants de l'école nationale polytechnique qui ont contribué à ma formation d'ingénieur et en particulier ceux du département de Génie - mécanique.

Je réitère mes remerciements et ma gratitude à Monsieur Jean-Pierre PIEROZAK pour ses conseils et son suivi constant qu'il n'a cessé de me prodiguer tout le long de ce travail.

Aussi j'adresse ma profonde reconnaissance à tous les agents de l'atelier de mécanique, Messieurs YAHIAOUI - IDIR - MEZIANI - OUABDESLAM - LOUALI et MOUTERFI qui m'ont beaucoup aidé lors de cette réalisation.

Je tiens également à remercier Messieurs HADDADI - KHALED m'ayant aidé pour la confection de ce mémoire'

Que tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à cette réalisation trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

الموضوع : إنجاز منظدة تجريب للكامات

الملخص : يتفهمن هذا المشروع إنجازا فعليا المنفذة تجريب للكامات بعد تكييفها للتطبيق مع إمكانيات الإيجاز المتوفرة في ورشة الهندسة الميكانيكية. وتفهس هذه المنفذة لتسجيل جانبيات الكامات وتحليل التهرغا الديناميكي للمنظومة المستقبيلة

Sujet : Réalisation d'un banc d'essai de came

Résumé : Ce projet consiste à réaliser concrètement un banc d'essai de came après l'avoir adapter aux possibilités de réalisation dont dispose notre atelier de mécanique.

Ce banc d'essai sera destiné à l'enregistrement de profils de cames et à l'analyse du comportement dynamique de l'organe récepteur.

Subject : Réalisation of a came test rig.

Abstract: This work consists in realising a came test rig. The design has been adapted to execution possibilities of our mechanical workshop. The rig is destined to record the came profiles and to analyse the dynamic behavior of the driven element.

T A B L E D E S M A T I E R E S

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 المكتبة — BIBLIOTHEQUE
 Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION..... 1

 I - Présentation du sujet..... 1

 II- Utilisation du banc d'essai..... 1

Chapitre I - DESCRIPTION du BANC D'ESSAI..... 2

 I - Schéma de principe..... 2

 II- Chaine Cinématique..... 3

 III- Fonctionnement..... 3

 IV -Construction..... 4

Chapitre II - MISE EN FORME DE LA MATIERE..... 7

 I - L'usinage..... 7

 II- La coupe..... 10

 III- Sélection des conditions de coupe..... 14

 IV- Choix de la vitesse de coupe corrigée..... 22

Chapitre III - ANALYSE DE FABRICATION..... 26

 I - But..... 26

 II- Différentes étapes de l'analyse de fabrication..... 26

 III- Projet d'étude de la fabrication..... 27

 IV- Contrat de phase..... 28

 V - Catégories de pièces. " Gammes types de fabrication "..... 28

 VI- Processus détaillé d'élaboration du projet d'étude de la fabrication..... 30

 VII- Gammes d'usinage..... 32

 - Corps de palier avant..... 34

 - Porte-Guidage..... 37

 - Arbre moteur..... 39

 - Poussoir à galet..... 41

Chapitre IV - ETUDE DU COMPORTEMENT DYNAMIQUE DU SYSTEME RECEPTEUR..... 43

 I - Modélisation du problème..... 43

 II- Détermination de la force de frottement..... 45

 II-1- Cas de la montée..... 45

 II-2- Cas de la descente..... 47

II-3- Résumé.....	48
III- Condition de rebond.....	48
IV - Résolution de la condition de rebond.....	50
IV-1- Cas général : " Mesures Algébriques ".....	50
IV-2- Selon chaque étape.....	52
V - Application : CAME MORIN.....	53
Chapitre V - ESSAIS.....	55
I - Capacité du banc d'essai	55
II- Excentrique.....	56
III- Came Morin.....	57
IV - Enregistrements.....	60
C O N C L U S I O N	62

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

I - Présentation du Sujet

Dans ce présent sujet de projet de fin d'études, le but de notre travail est d'apporter des modifications nécessaires pour pouvoir réaliser un banc d'essai de came.

Le dimensionnement des principaux éléments du mécanisme a été fait au préalable, il s'agit de l'arbre entraînant la came et l'organe récepteur constitué par une tige et un ressort de compression.

Afin de pouvoir réaliser ce banc d'essai, nous sommes amenés à le simplifier au maximum et à modifier les formes des pièces de façon à les adapter aux possibilités de réalisation offertes par notre atelier de mécanique.

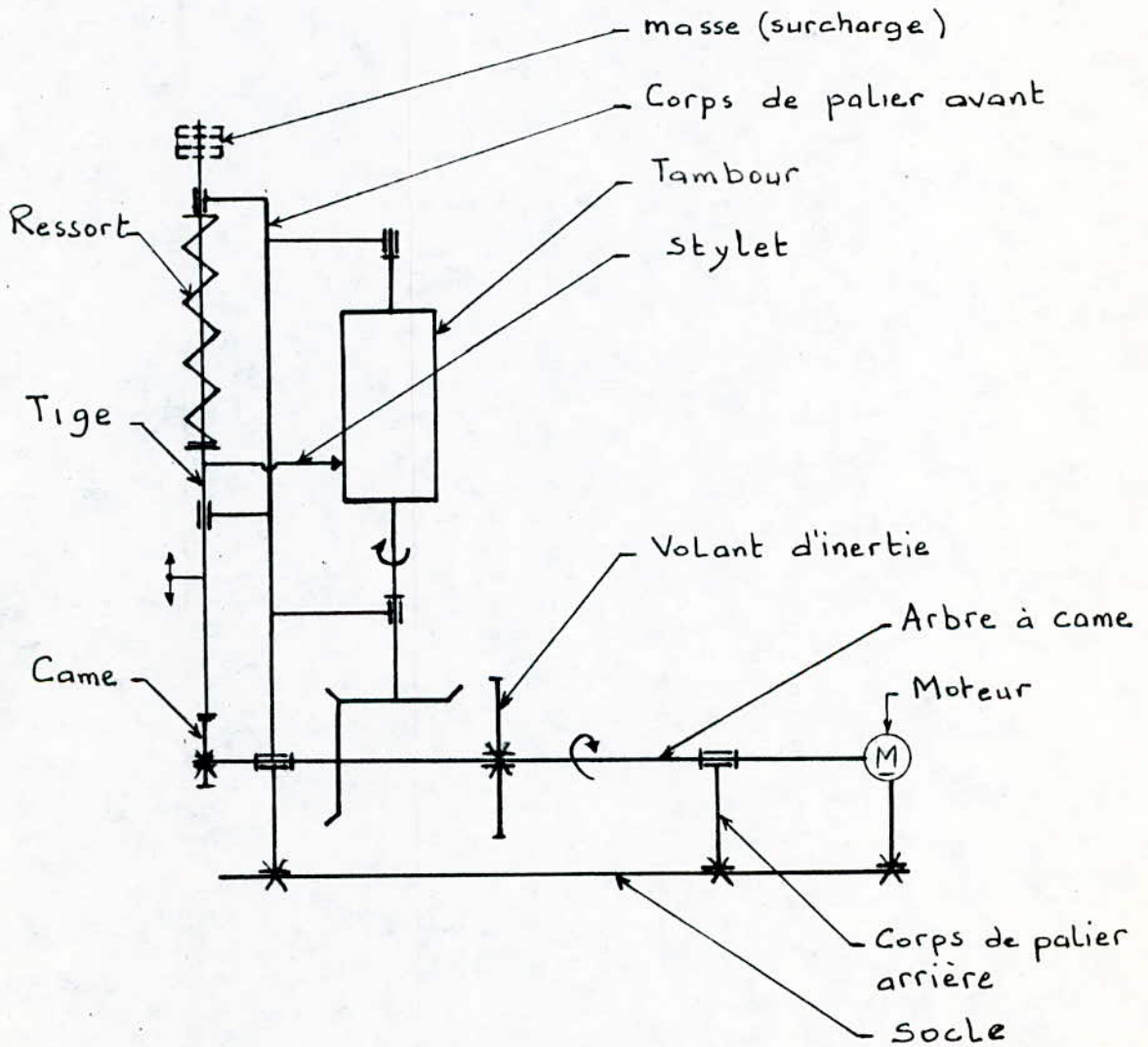
Certaines améliorations seront introduites dans le mécanisme.

II - Utilisation du banc d'essai

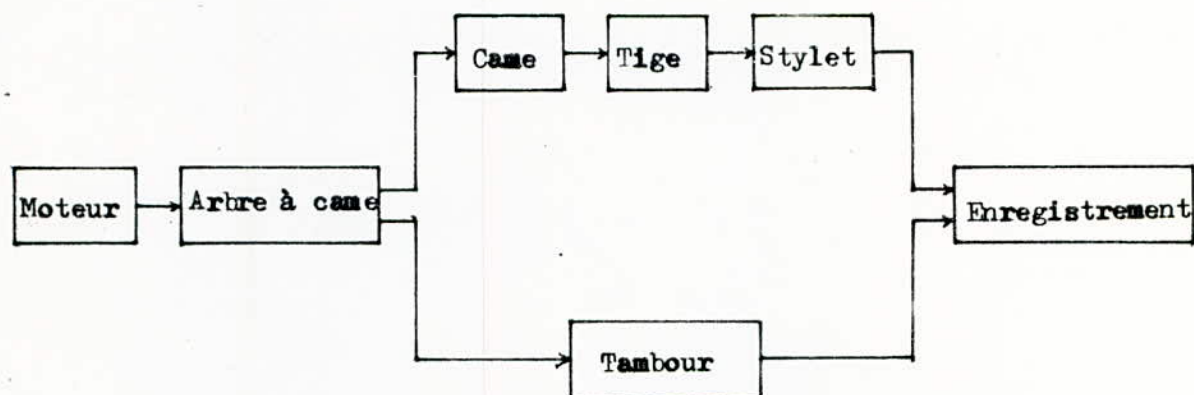
Une fois réalisé, ce banc d'essai de came sera destiné à tester les précisions de réalisation des cames, en comparant leurs profils réels enregistrés au profil idéal correspondant et à offrir la possibilité de faire une analyse du comportement dynamique de l'ensemble came-tige.

Chapitre I - DESCRIPTION DU BANC D'ESSAI

I - Schéma de principe



II - Chaîne cinématique



III - Fonctionnement

Un **moteur électrique à courant continu** entraîne au moyen d'un **accouplement élastique**, l'**arbre moteur** du mécanisme transmettant à son tour sa rotation à la **came** qui lui est liée en rotation.

Par son profil spécifique en rotation, la **came** transforme le mouvement de rotation en un mouvement de translation alternatif qu'elle communique à la **tige réceptrice**.

Le **rappel de la tige** et son maintien en contact avec la **came** est assuré par un **ressort de compression** et des **masses de surcharges**.

Un **stylet**, lié rigidement à la tige, permet l'**enregistrement** des

espaces parcourus sur du papier qui s'enroule sur un tambour.

Le tambour est entraîné en rotation par l'arbre moteur du mécanisme au moyen d'un engrènement conique lui transmettant intégralement la rotation sans glissement.

IV - C o n s t r u c t i o n

Compte tenu des possibilités, restreintes en matière d'oeuvre, dont nous disposons à l'atelier, nous sommes contraints à envisager de nouvelles formes de pièces ou à remplacer un ensemble de pièces par un mono-bloc rendant ainsi la réalisation plus facile et permettant d'avoir plus de rigidité, donc d'augmenter la précision nécessaire au bon fonctionnement.

IV - 1 - Corps de palier avant

De la forme d'un fer profilé en U de dimensions brutes 160 X 65 mm nous façonnerons le corps de palier avant ; nous obtenons aussi la possibilité de fixer sur ce dernier les deux guidages de la tige réceptrice, Sa liaison sur le socle sera réalisée au moyen d'une semelle soudée au bas de ce corps de palier et de boulons au nombre de six.

IV - 2 - Corps de palier arrière

Sa réalisation est analogue à celle du corps de palier avant de même que sa fixation sur le socle.

Les dimensions brutes du profilé en U sont 100 X 50

IV - 3 - Les guidages de la tige

Deux plaques prismatiques d'épaisseur 8 mm environ de formes analogues , seront assemblées par boulons au corps de palier avant et permettent de guider la tige en translation dont le frottement est réduit par l'adjonction de deux bagues en matière frottante fixées chacune sur une plaque .

L'une des deux bagues assurera en même temps le guidage du ressort par l'une de ses extrémités .

IV - 4 - Logements des roulements

Vu la faible épaisseur des deux paliers, le logement des roulements s'y révèle impossible. Nous rajoutons à cet effet des logements rapportés qui seront fixés par des boulons sur les corps.

IV - 5 - Arbre moteur du mécanisme

Par mesure de sécurité nous augmenterons à 30 mm le diamètre des paliers de guidage de l'arbre moteur.

IV - 6 - Rotation du tambour

Nous prévoyons une transmission par engrenage conique de façon à éviter les risques de glissement surgissant dans une transmission par courroie ; d'autre part un engrenement conique résoud bien le problème de transmission du mouvement entre deux arbres perpendiculaires.

IV - 7 - Les roulements

Pour raison de disponibilité au magasin de notre atelier nous utiliserons

des roulements à billes non étanches de dimensions 30 X 52 X 9

IV - 8 - Support du rouleau de papier

Nous avons jugé utile de reproduire plusieurs profils de la came en prévoyant un rouleau de papier se défilant sur le tambour.

Nous rajoutons à cet effet un support installant le rouleau de papier. Il sera fixé rigidement sur le corps de palier avant .

IV - 9 - Support-guidage de l'axe-tambour

Deux morceaux de cornière en L fixés, au dos du corps de palier avant , nous permettent de guider l'axe-tambour en rotation.

Bien que le guidage sur roulement réduit de beaucoup le frottement, nous nous contentons de guidage sur palier lisse en bronze pour les raisons suivantes :

- Les efforts sont faibles
- Economie
- Disponibilité.

Chapitre II - M I S E E N F O R M E D E L A

M A T I E R E

Deux types de solutions de mise en forme se présentent :

1 - Par enlèvement de matière :

C'est le domaine de l'USINAGE dont les moyens sont sans cesse perfectionnés pour diminuer le coût de fabrication et améliorer la qualité du travail réalisé.

2 - Sans enlèvement de matière :

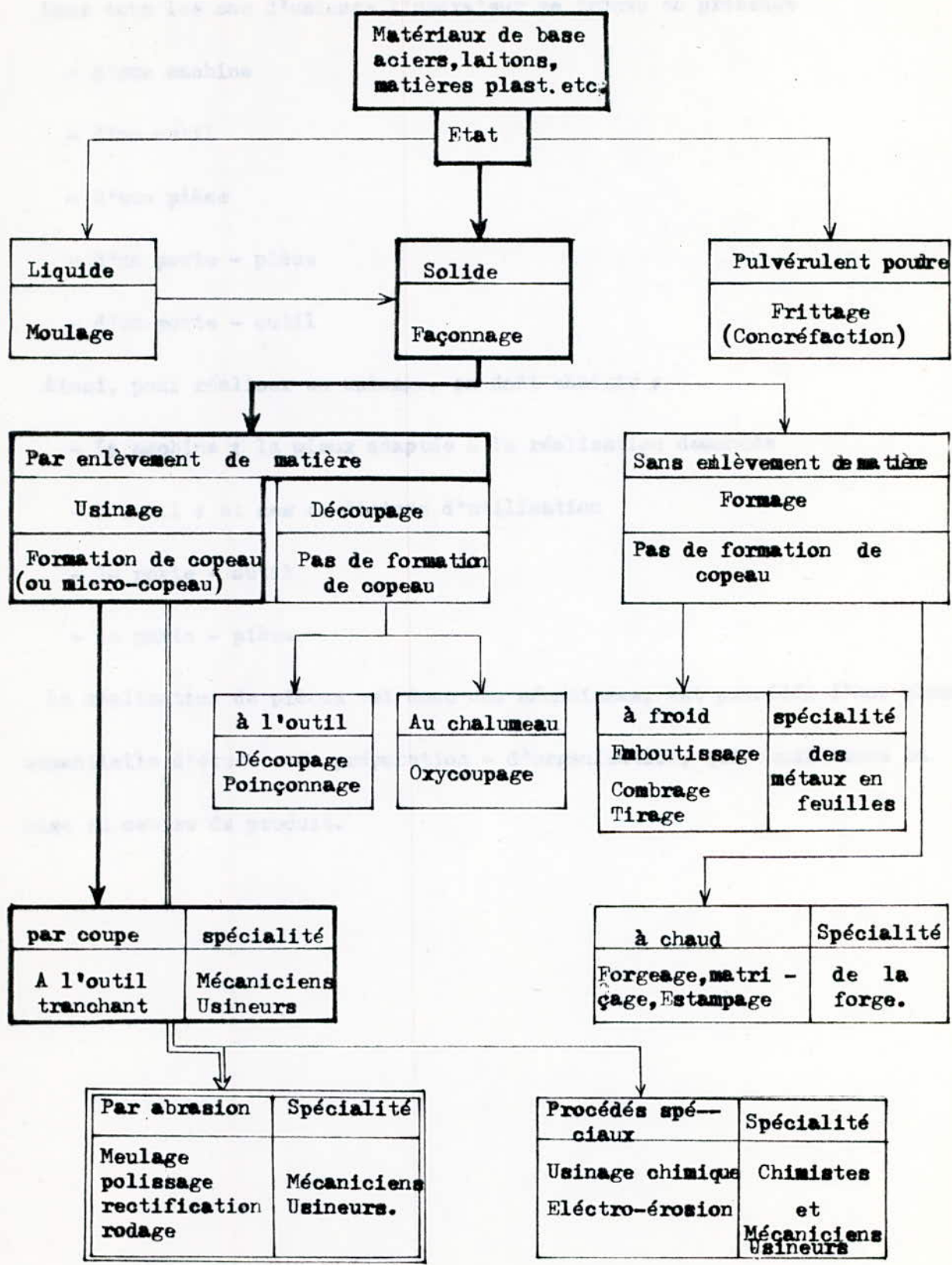
C'est le domaine du formage à chaud ou à froid, de la fonderie, du frittage. Ces deux solutions de mise en forme se complètent ; très souvent l'usinage sert de parachever des pièces ébauchées par fonderie ou formage.

I - L ' u s i n a g e

L'usinage consiste à recevoir des matériaux à l'état solide sous forme d'ébauche et les façonner par :

- Coupe à l'outil tranchant (foret, fraise...)
- abrasion (meule)

Le tableau de la page suivante nous permet de situer l'usinage parmi les procédés les plus couramment utilisés pour la mise en forme des pièces mécaniques :



Dans tous les cas d'usinage l'opérateur se trouve en présence

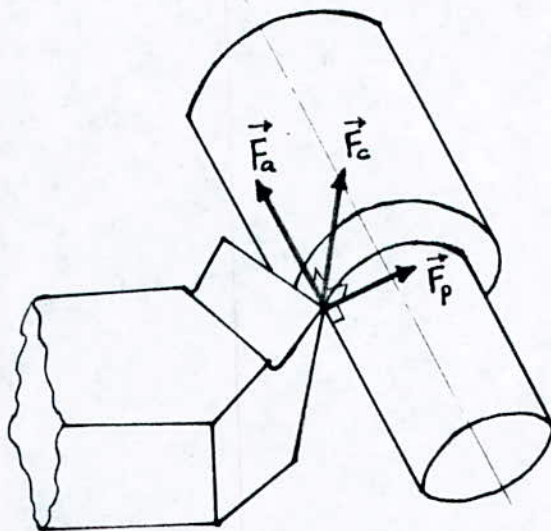
- d'une machine
- d'un outil
- d'une pièce
- d'un porte - pièce
- d'un porte - outil

Ainsi, pour réaliser un usinage, on doit choisir :

- La machine : la mieux adaptée à la réalisation demandée
- l'outil : et ses conditions d'utilisation
- le porte - outil
- le porte - pièce

La réalisation de pièces et donc des mécanismes, est précédée d'une phase essentielle d'étude - de préparation - d'organisation, qui conditionne la mise en oeuvre du produit.

II - L a c o u p e



F_c : effort de coupe

F_a : effort d'avance

F_p : effort de pénétration

II- 1 - Effort de coupe

L'effort tangentiel nécessaire à la coupe peut se calculer par la

formule :

$$F_c = K_s \cdot S \quad S = a \times p ; \text{ section du copeau}$$

K_s : pression spécifique de coupe.

L'expérience a montré que pour $S = C^{ste}$, si a/p diminue alors

K_s augmente.

- K_s est fonction de :
- La matière à usiner
 - La géométrie de l'outil
 - la section du copeau
 - la vitesse de coupe.

II - 2 - Efforts d'avance et de pénétration

Pour un outil à charioter on peut prendre :

$$F_a \simeq (0,3 \div 0,4) \times F_c$$

$$F_p \simeq (0,3 \div 0,4) \times F_c$$

II - 3 - Puissance absorbée par la coupe :

La puissance P est donnée par l'expression générale suivante :

$$P = F \times V$$

1/- puissance nécessaire à la coupe (en considérant seulement l'effort tangentiel de coupe) :

$$P_c = F_c \cdot V_c = K_s \cdot a \cdot p \cdot V_c$$

2/- Puissance nécessaire à l'avance (en considérant seulement l'effort nécessaire à l'avance) :

$$P_a = F_a \cdot V_a$$

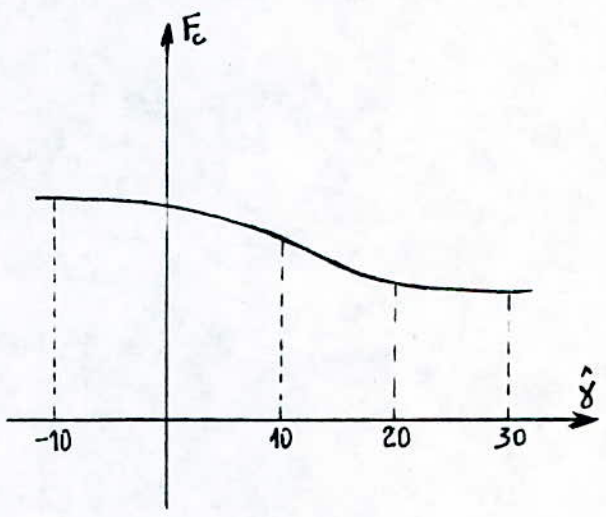
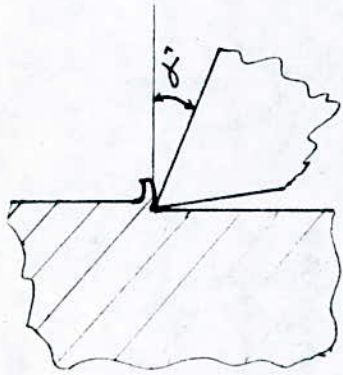
3/- Puissance nécessaire à la pénétration (en considérant seulement l'effort nécessaire à la pénétration) :

$$P_p = F_p \cdot V_p$$

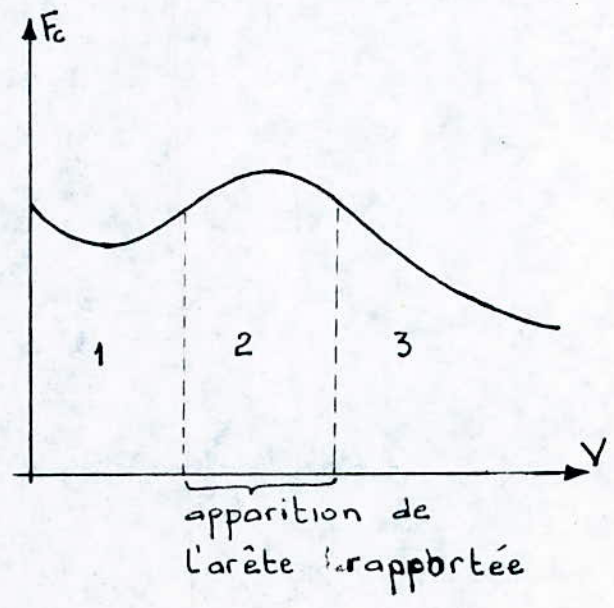
Il vient que la puissance totale absorbée par la coupe est :

$$P = F_c \cdot V_c + F_a \cdot V_a + F_p \cdot V_p$$

$$F_c = f(\hat{\gamma})$$



$$F_c = f(V_{m/min})$$



Il faut toujours vérifier que $P < P_u$, où P_u est la puissance utile de la machine (disponible sur la broche).

II - 4 - Puissance absorbée par la machine :

$$P' = \frac{P_u}{\eta}$$

η : rendement de la machine (0,7 à 0,8)

P' : puissance du moteur de broche.

II - 5 - Loi d'usure

Taylor a proposé le modèle de la loi d'usure suivant :

$$(1) \quad V T^n = C ; \quad C = \text{Constante}$$

T = durée de vie en minutes

V = vitesse de coupe en m/min

n = exposant de Taylor

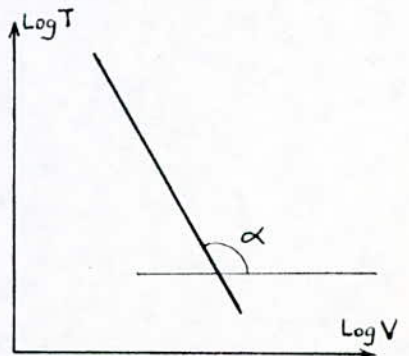
L'exposant n vaut :

0,1 ÷ 0,2 pour les outils en acier rapide

0,2 ÷ 0,3 pour les outils en carbure

> 0,4 pour les outils en céramique

$$(1) \Rightarrow \log(T) = \frac{1}{n} \left[\log(C) - \log(V) \right]$$



III - S é l é c t i o n d e s c o n d i t i o n s d e c o u p e

Avant d'engager l'usinage d'une surface, on est amené à choisir :

l'outil

le porte outil

le porte - pièce

les conditions de coupe (V,a,p)

et le nombre de passes (n)

III - 1 - La chronologie d'usinage d'une forme peut présenter les étapes suivantes :

A	B	C	D
Dégrossissage	Ebauche	$\frac{1}{2}$ Finition	Finition
Ebauche	$\frac{1}{2}$ Finition	Finition	directe
$\frac{1}{2}$ finition	Finition		
Finition			

a/- Le dégrossissage :

consiste à amener la pièce à la forme et aux dimensions d'un brut idéal tel qu'il serait si l'ébauche venait de fonderie.

Il est employé lorsque les surépaisseurs à enlever sont importantes .

b/ - L'ébauche :

assure un état de surface qui permet de faire une première mesure

approximative de la dimension.

La précision de forme et de position obtenue est nettement améliorée par rapport à celle du brut.

Avant de commencer l'ébauche, le travail de dégrossissage doit être terminé.

c/ - La demi-finition :

assure un état de surface permettant une mesure précise et par suite le calcul de la profondeur de passe de finition.

Elle garantit la position relative des surfaces et la précision de forme très proche de la précision finale.

d/ - La finition :

assure la dimension, la rugosité, la forme et la position finale de la surface.

III - 2 - L e c h o i x.

Le choix des éléments de coupe doit satisfaire à deux conditions importantes :

- 1°- La précision et l'état des surfaces doivent être obtenus conformément aux spécifications du dessin de définition.
- 2°- Le prix de revient de l'usinage doit être minimisé.

III - 3 - Règles générales

Elles sont applicables à la plupart des procédés.

a/ - Travaux d'ébauche :

La précision et l'état des surfaces importent peu.

- Il faut employer la section de copeau maximale permise par la puissance de la machine et lubrifier davantage si cela est possible.

- Le choix de l'avance et de la profondeur de passe doit se faire en vue d'obtenir un débit important de copeaux avec un effort acceptable.

b/ - Travaux de finition :

La précision et l'état des surfaces spécifiées sur le dessin de définition doivent être satisfaites, il faut donc

- utiliser la vitesse de coupe " de moindre usure " chaque fois que le nombre des changements d'outils est à réduire, surtout si le temps de réglage de ces outils est important, ou lorsque l'affûtage est coûteux.

- arroser pour réduire l'usure des outils, éviter les dilatations des pièces et améliorer l'état de surface obtenu.

- choisir une avance ni trop petite (pour éviter le phénomène du copeau minimal) ni trop grande (pour que l'état de surface imposé soit obtenu)

c/- Nombre de passes d'usinage à prévoir :

" voir tableau page suivante "

Qualités	N o m b r e d e p a s s e s
3 - 4 - 5	Ebauche (s) - $\frac{1}{2}$ Finition(s) à l'OT - Finition (s) spéciale (s)
6 - 7	Ebauche (s) - $\frac{1}{2}$ Finition(s) à l'OT - Finition (s) à l'OT ou par abrasion
8 - 9-10	Ebauche (s) - $\frac{1}{2}$ Finition (éventuelle) - Finition à l'OT.
11 à 16	Une seule passe suffit en général (sauf si la quantité à enlever est importante).

Suivant la surépaisseur totale de métal à enlever et la précision demandée sur la dimension, l'état de surface et la position, on détermine le nombre de passes (n) qui permet de garantir la qualité du produit pour un coût minimal.

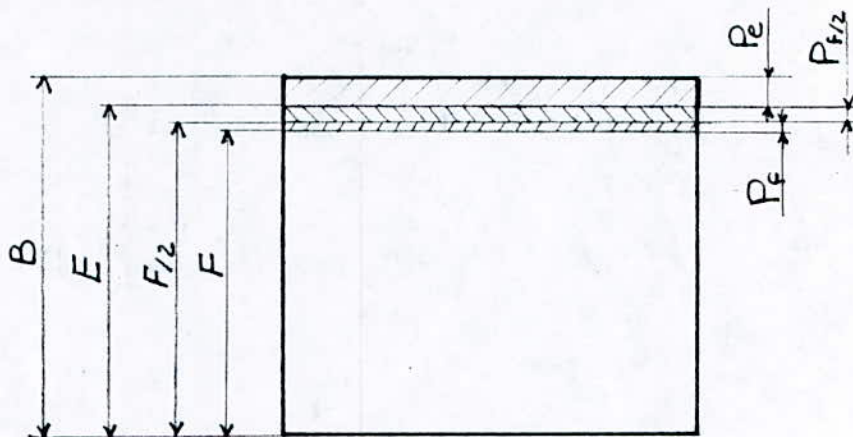
Le tableau suivant nous donne les valeurs de n entre l'ébauche et finition pour des pièces rigides.

Qualité Rugosité	7 à 8	9 à 10	11 à 13
1,6	3 passes	2 passes	2 passes
3,2	3 passes	1 à 2 passes	1 passe
6,4	rugosité incompat. avec qualité	1 passe	1 passe

Remarque :

Pour qu'en finition un outil de coupe, en acier rapide, travaille dans de bonnes conditions, il est nécessaire de réserver une profondeur de passe moyenne d'environ 0,3 mm.

d/ - Méthodologie de calcul de p dans le cas de travail unitaire.



profondeur de passe totale (moyenne) à enlever

$$P_t = B - F_{\text{moy}}$$

$$F_{\text{moy}} = \frac{F_{\text{max}} + F_{\text{min}}}{2}$$

adopter : $P_f = 0,3$

$$P_{f/2} = (1 \text{ à } 1,4) P_f$$

ébauche, à calculer :

$$\begin{aligned} P_e &= B - (F_{\text{moy}} + P_f + P_{f/2}) \\ &= P_t - (P_f + P_{f/2}) \end{aligned}$$

e / - Avance

- l'avance est réduite pour la finition
- Les avances sont égales en $F/2$ et F

- Les valeurs moyennes de l'épaisseur de copeau minimal à adopter en travail de finition sont :

outil en A.R : $e_m = 0,05$ à $0,1$

outil en carbure : $e_m = 0,2$ à $0,3$

outil en céramique : $e_m \approx 0,01$

- Dans tous les cas il faut avoir $e_m < r$, où r est le rayon d'arrête de coupe qui varie entre

$0,01 \longrightarrow$ retouche

$0,2 \longrightarrow$ ébauche

- la rugosité obtenue sur une surface usinée par coupe à l'outil dépend essentiellement

-- de la forme de la partie active de l'outil : la présence d'un rayon de bec r (ou chanfrein) diminue la hauteur des stries qui est maximale avec un angle de direction d'arrête $k_r = 45^\circ$ et minimale pour $K_r = 0^\circ$ (outil pelle)

-- des conditions de travail : la valeur de la profondeur de passe p a peu d'influence sur la rugosité. Pour que l'outil travaille dans de bonnes conditions il est souhaitable d'avoir

$0,1 < p < 0,4$ pour un outil en A.R

$0,4 < p < 0,6$ pour un outil en carbure

III - 4 - Règles particulières

- pour les principales techniques d'usinage -

a/ - Tournage :

L'avance par tour est choisie en fonction de la rugosité demandée pour les opérations de $\frac{1}{2}$ Finition et de finition.

La valeur moyenne de l'avance a est généralement prise égale à $0,1 p$ ou $0,2 p$ (p : profondeur de passe)

Pour les pièces montées entre pointes, la section du copeau maximale est limitée par la flexion de la pièce

on peut prendre :

$$\text{pour } L < 8 D \quad : \quad S < \frac{0,0125 D^3}{L}$$

$$\text{Pour } L > 8 D \quad : \quad S < \frac{0,8 D^5}{L^3}$$

où

S : section du copeau

D : diamètre de la pièce

L : Longueur de la pièce

$$\text{Fréquence de rotation} \quad N = \frac{V}{\pi D}$$

b/ - Fraisage :

La précision en travail de finition obtenue en fraisage est :

b-1- Fraisage en bout (de face) :

qualité 7 à 8

Ra = 1,6 (rarement 0,8)

b-2 - en roulant (de profil) :

qualité 8

Ra = 3,2 à 6,4 : en opposition

1,6 à 3,2 : en concordance.

b-3 - la surface la plus précise, en usinage associé, doit être réalisée en fraisage de face.

L'avance : elle dépend du ϕ de la fraise, de la rugosité souhaitée et du matériau à usiner. les valeurs extrêmes de l'avance par dent pour un tour de fraise sont :

0,1 à 2 mm/dent en ébauche

0,02 à 0,22 mm/dent en finition.

c/ - Rabotage :

Pour diminuer le temps de coupe, on oriente la surface à usiner pour que le mouvement de coupe soit dirigé suivant sa plus grande longueur .

La vitesse de coupe à utiliser (pour outil en acier rapide) doit être égale à la moitié de celle utilisée en tournage effectuant la passe dans les mêmes conditions .

- course de l'outil : $C = \text{Longueur} + \text{Engagement} + \text{Dégagement}$

- Nombre de battement par minute : $N = \frac{V}{2 C} \text{ /mn}$

- L'avance par coup est choisie en fonction du type d'outil et de l'état

de surface à obtenir

ébauche : 0,5 à 2mm

finition : 0,1 à 1mm pour outils classiques à arête arrondie.

2 à 30mm pour outils à planer.

d/ - Perçage :

La valeur optimale de l'avance par tour de foret varie essentiellement avec le diamètre du foret et la matière à usiner.

On peut adopter les valeurs données par le tableau ci-dessous :

matière ∅ foret	Acier doux	mi-dur	fonte
1 à 10 mm	0,03 D	0,02 D	0,04 D
10 à 25 mm	0,02 D	0,015 D	0,03 D
25 à 50 mm	0,012 D	0,008 D	0,015 D
50 à 100 mm	0,007 D	0,005 D	0,01 D

IV - Choix de la vitesse de coupe corrigée

Les vitesses de coupe sont déterminées :

- soit par l'emploi des abaques
- soit par la méthode de correction de la vitesse de coupe de base

IV - 1 - Vitesse de coupe de base V_b

Elle est donnée par des tableaux, en fonction de la nuance de l'outil et
 lanature du matériau à usiner . Elle convient dans les conditions suivantes:

- Vitesse de moindre usure ($T_{\text{outil}} = 2 \text{ à } 4^h$)
- travail d'ébauche
- sans lubrification
- sans croûte dure

IV - 2 - Correction

- K_1 : relatif au procédé ou au genre d'outil.

rabotage : $K_1 = 0,7$

perçage : $K_1 = 0,7$

taraudage : $K_1 = 0,2$

brochage : $K_1 = 0,1 \text{ à } 2$

tournage : - chariotage $K_1 = 1$

- dressage $K_1 = 0,9$

- tronçonnage $K_1 = 0,5$

- filetage $K_1 = 0,2$

fraisage : - fraisage très robuste $K = 0,9$

- rainurage $K_1 = 0,4$

- sciage $K_1 = 0,2$

- K_2 : relatif au genre de travail

demi - finition : $K_2 = 1,3$

finition : $K_2 = 1,5$

- K_3 : pour vitesse économique (convient pour outils peu coûteux , affûtage facile , réglage rapide) - $K_3 = 1,3$

- K_4 : pour matière avec croûte $K_4 = 0,4$ à $0,8$

- K_5 : pour travail lubrifié $K_5 = 1,3$

IV - 3 Choix définitif :

- Choisir $V_{c\beta}$

- appliquer K_i , $i = 1...5$ (éventuellement)

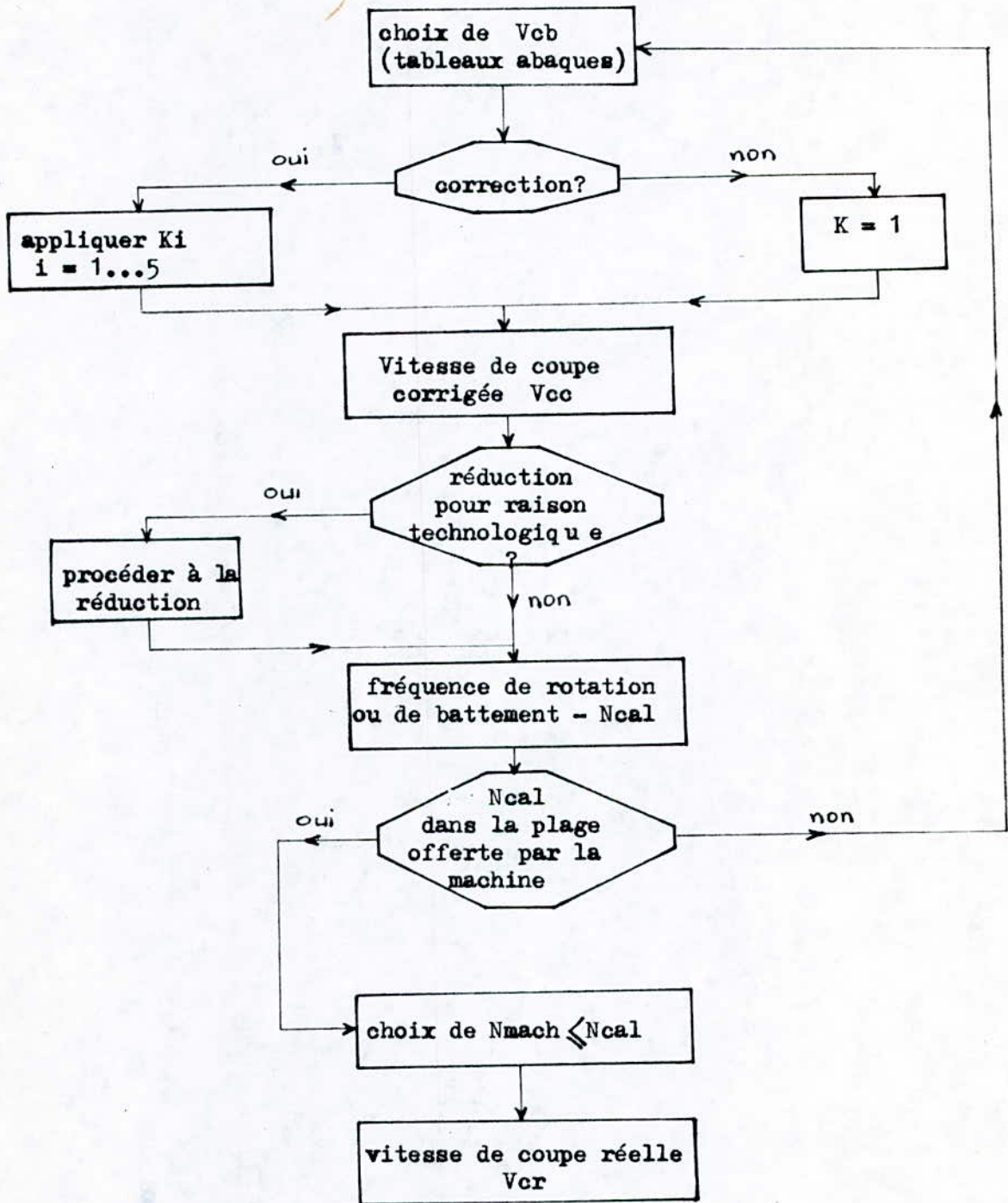
- vérifier que la vitesse trouvée n'est pas à réduire pour une raison technologique (ex : filstage au tour)

- calculer N , vitesse de rotation ou nombre de coups / mm (en utilisant des abaques)

- choisir $N(\text{machine}) \leq N(\text{calculé})$

- calculer la vitesse de coupe réelle V_{cr} .

IV - 4 - Détermination de la vitesse de coupe réelle



Chapitre III - ANALYSE de FABRICATION

I - But

Une analyse de fabrication a pour objet :

- de définir l'ordre chronologique des différentes étapes de la fabrication d'un produit
- d'organiser la fabrication :
 - . en tenant compte des moyens disponibles
 - . pour respecter la qualité composée par le dessin de définition du produit
 - . pour comprimer au maximum les coûts de fabrication

II - Différentes étapes de l'analyse de fabrication

1 - Première étape :

Choix du procédé d'obtention du brut : fonderie, forge, mécano-soudure, ...

2 - Deuxième étape :

Etablissement du projet d'étude de fabrication : définition de la suite ordonnée des différentes phases de la fabrication du produit

" Gamme Générale "

3 - Troisième étape :

Etablissement du contrat de phase et du dossier de fabrication pour chaque phase, pour permettre de préparer et de conduire le poste de travail avec le maximum d'efficacité .

4 - Quatrième étape :

Conception des appareillages spéciaux lorsque les outillages standards ne conviennent pas .

III - P r o j e t d ' é t u d e d e l a f a b r i c a t i o n

L'établissement du projet d'étude de la fabrication correspond à la deuxième étape de l'analyse de la fabrication qui se décompose comme suit:

a/- Identification des surfaces à usiner , recherche de la gamme type

b/- Inventaire des opérations nécessaires à la génération des surfaces et recherche des associations obligatoires d'usinage.

Repérage des surfaces brutes liées par une spécification aux surfaces usinées

Repérage des surfaces et groupes de surfaces associés par usinage.

c/- Analyse des spécifications dimensionnelles et géométriques, recherche des opérations d'usinage.

d/- Choix des surfaces de départ. Définition de l'ordre logique des opérations d'usinage que l'on appelle :

" processus optimal d'usinage "

e/- Rédaction du projet d'étude de fabrication

IV - C o n t r a t d e p h a s e

La rédaction de ces documents correspond à la troisième étape de l'analyse de fabrication.

Il faut en prévoir un par phase. Un contrat de phase complètement élaboré donne des renseignements relatifs :

- à la pièce : poste de travail - porte-pièce utilisé - numéro de la phase
- à la pièce : nom de la pièce et de l'ensemble auquel elle appartient , le nombre de pièces à fabriquer, la matière et origine du brut, croquis de la pièce dans l'état où elle quittera le poste de travail à la fin de la phase.
- aux opérations : nature de l'opération (E , $\frac{1}{2}$ F, F), les cotes intermédiaires
- aux outils : type, désignation, nuance du matériau de la partie active.
- aux conditions de coupe : V , N , p , a
- aux outillages de contrôle utilisés
- à l'ordonnancement des opérations d'usinage.

V - C a t é g o r i e s d e p i è c e s

" G a m m e s t y p e s d e f a b r i c a t i o n "

V - 1 Catégories :

l'ordonnement des opérations d'usinage tient compte des contraintes liées aux spécifications dimensionnelles et géométriques ainsi qu'aux conditions techniques et économiques de fabrication

Les pièces peuvent être classées suivant quatre critères :

- a - rigide ou déformable : fonction de la morphologie de la pièce et du procédé d'obtention du brut.
- b - avec ou sans fortes surépaisseurs :
- avec - cas fréquent des pièces taillées dans la masse
- sans - bruts élaborés par la fonderie ou forgeage.
- c - avec ou sans traitement thermique
- d - avec ou sans surface(s) à rectifier, roder ou superfinies

Les seize catégories de pièces possibles sont mises en évidence par le tableau suivant :

		(R - S)			
		$\bar{R} \bar{S}$	$\bar{R} S$	$R S$	$R \bar{S}$
(Th - Sp)	$\bar{Th} \bar{Sp}$			3	4
	$\bar{Th} Sp$				
	$Th Sp$				
	$Th \bar{Sp}$				

R - rigide

Th - avec traitement thermique

\bar{R} - non rigide

\bar{Th} - sans traitement thermique

S - forte surépaisseur

Sp - finition spéciale

\bar{S} - faible surépaisseur

\bar{Sp} - sans finition spéciale

exemple : case (4)

pièce rigide, avec faible surépaisseur, sans traitement thermique,
et sans finition spéciale.

V - 2 Gamme type - exemple -

La connaissance de la catégorie dans laquelle rentre la pièce permet de définir la gamme type de fabrication.

exemple : case (3)

R - S - \bar{Th} - \bar{Sp} : enlèvement de forte surépaisseur, il en résulte un risque de déformation après usinage, ceci nécessite les étapes suivantes

- 1- une ébauche totale à 1 ou 2 mm de la finition
- 2- Un redressage éventuel
- 3- un traitement de stabilisation
- 4- une demi-finition et une finition

VI - Processus détaillé d'élaboration du projet d'étude de la fabrication.

1° étape : Nous identifierons toutes les surfaces à usiner et nous les spécifierons par des traits forts ; nous déterminerons la

gamme type dans laquelle rentre "notre pièce.

2° étape : Nous repérerons les surfaces à usiner de façon que :

- les surfaces situées dans un même plan porteront le même repère (seront usinées dans la même sous-phase et par le même outil
- Les surfaces réalisées au même poste sans démonter la pièce seront désignées par le même repère (exemple : perçage et alésage d'un même trou, perçage et taraudage)
- nous regrouperons les surfaces à réaliser dans la même sous - phase (identiques)
- nous regrouperons les surfaces usinées par le même outil.

3° étape : Nous ferons une analyse des opérations nécessaires à l'usinage des surfaces repérées en fonction des tolérances de forme, rugosités, géométriques et des surépaisseurs (E, $\frac{1}{2}$ F , F) .

Nous analyserons les contraintes d'antériorités ; ex : une cote précise (faible tolérance) liée à un brut est réalisée en priorité un filetage ne peut être entrepris qu'après finition du diamètre enveloppe correspondant et des gorges de dégagement d'outils .

4° étape : Nous choisirons les surfaces de départ de façon à garantir les cotes de liaison au brut: entre deux cotes liées au même brut pris comme référentiel, la plus sévère sera prise en première considération.

Nous établirons un ordre logique des opérations en fonction des

contraintes géométriques, dimensionnelles, technologiques et économiques

5° étape : Nous rédigerons le projet d'étude de fabrication : nous adapterons le processus optimal d'usinage aux conditions économiques en tenant compte des contraintes technologiques et dimensionnelles - géométriques.

VII - G a m m e s d ' u s i n a g e

Vu le nombre important de pièces composantes de notre construction, nous nous limiterons à l'élaboration de certains projets d'étude de la fabrication des pièces que nous avons jugé les plus importantes à savoir :

- le corps de palier avant
- l'arbre moteur
- le porte - guidage de la tige
- le poussoir

Notre réalisation rentre dans le cas de la production unitaire

En travail unitaire, on établit en général des gammes d'usinage très réduites, qui se limitent, le plus souvent à une simple décomposition succincte de l'usinage en phase pour permettre le lancement et le suivi de la fabrication aux ateliers.


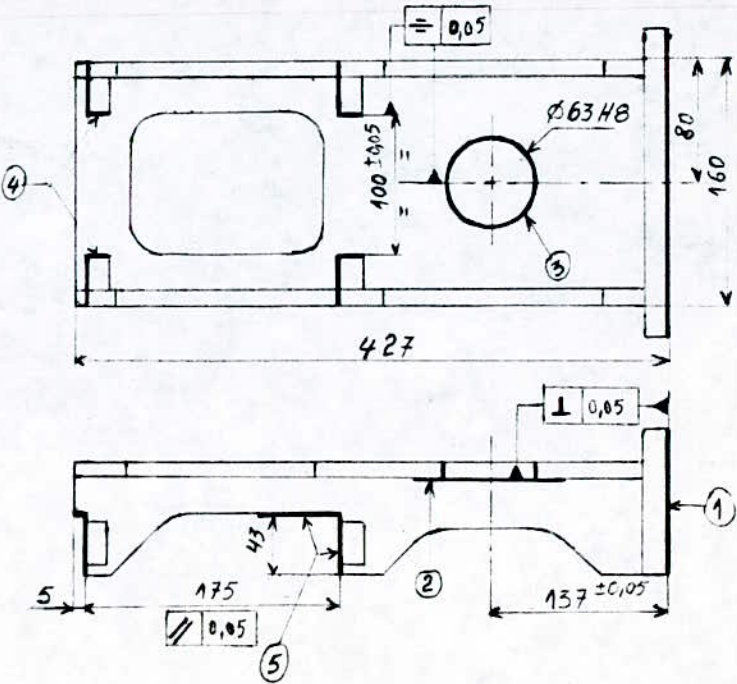
Des gammes très détaillées sont rarement établies car :

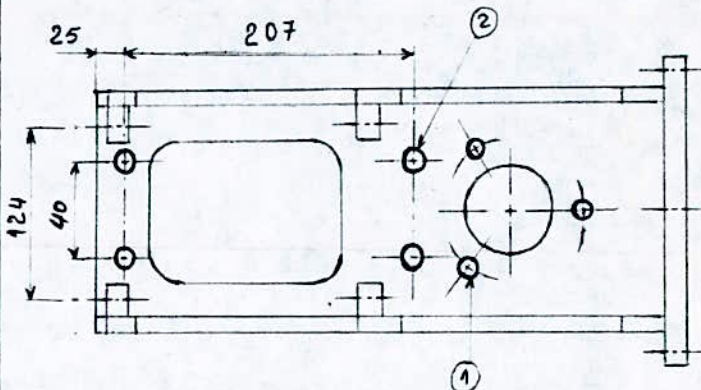
- le temps gagné sur l'usinage est généralement inférieur au temps supplémentaire passé par le préparateur.

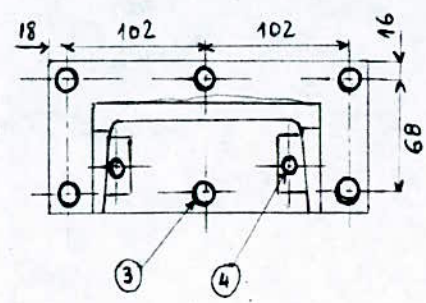
- Les ouvriers qualifiés, généralement utilisés pour ces travaux , savent choisir eux-mêmes de bonnes solutions unitaires.

" Voir les gammes établies aux pages suivantes "

Ensemble : Banc d'essai de come Pièce : Corps de palier avant N° BEC 101		Nombre : 01 Brut : Fer à U 160x65 Matière : Adx		Gamme de fabrication		Page 1/3	
Phase	Designation	Outilage de travail et controle	Conditions de coupe	Croquis de phase.			
-10-	Débit matière contrôle - traçage	reglet, trusquin equert, pointeau...					
-20-	- Dressage de ① en ébauche	- Fraise 2 Tailles $\phi 50$	- $a_z = 0,1$ mm/dent - $a = 0,8$ mm/tr - $V_c = 35$ m/min - $N = 220$ tr/min - $V_a = 176$ mm/min				
	- Usinage des évidements ② en ébauche	- #	- #				
	- Usinage des 4 coins de ③	- Forêt $\phi 30$	- $a = 0,32$ mm/tr - $V_c = 30$ m/min - $N = 320$ tr/min				
- Fraisage -	- Usinage de ③	- Fraise 2T $\phi 50$	- $a = 0,8$ mm/tr - $V_c = 35$ m/min - $N = 220$ tr/min - $V_a = 176$ mm/min				

Phase	Designation	Outillage de travail et controle	Conditions de coupe	Croquis de phase	Page 2/3
- 30 - Soudure -	Souder la semelle et les 4 pattes pour la fixation des guidages de la tige	matériel de soudure	-		
- 40 - - Fraisage -	<ul style="list-style-type: none"> - Surfacoage de ① en 2 passes (E,F) - Dressage de ② en 1 passe de 2/40 - Usinage de ⑤ en 2 passes (E,F) - Surfacoage de ④ en 1 passe - Perçage de ③ en 2 passes (forêt puis fraise) 	<ul style="list-style-type: none"> - Fraise 2T $\phi 50$ - # - # P.P - # P.C - Forêt $\phi 50$ - Fraise $\phi 63$ 	<ul style="list-style-type: none"> $a = 0,18 \text{ mm/kr}$ $V_c = 35 \text{ m/min}$ $V_a = 176 \text{ mm/min}$ # # # $a = 0,32 \text{ mm/kr}$ $V_c = 30 \text{ m/min}$ 		

Phase	Designation	Outillage de travail et controle	Conditions de coupe	Croquis de phase	Page 3/3
- Perçage -	- percer ①: trois trous $\phi 6,2$ à 120° sur R 41	- foret $\phi 6,2$	$a = 0,2 \text{ mm/tr}$ $V_c = 28 \text{ m/min}$ $N_1 = 810 \text{ tr/min}$		
	- percer ②: quatre trous $\phi 10,5$	- foret $\phi 10,5$	$N_2 =$		
	- percer ③: six trous $\phi 11$	- foret $\phi 11$	$N_3 =$		
	- percer ④: quatre trous $\phi 8,2$	- foret $\phi 8,2$	$N_4 =$		



Ensemble : Banc d'essai de came Pièce : Porte-guidage N° : BEC 106	Nombre : 01 Brut : Fer plat 60x8 Matière : Adx	Gamme de fabrication	Page 1/2
--	--	----------------------	-------------

Phase	Designation	Outils de travail et controle	Conditions de coupe	Croquis de phase
-10-	Débit matière, traçage	reglet, trusquin, pointeau, ...		
-20-	<p>- Fraisage de ① et mise en côte</p> <p>- usinage de ② en finition directe</p> <p>- usinage de ③ en 2E et 1F</p> <p>- inclinaison de l'outil à 45° et usinage de ④ en E et F</p>	<p>Fraise 2T Ø 40</p> <p>#</p> <p>#</p> <p>#</p>	<p>$a = 0,8 \text{ mm/tr}$ $V_c = 30 \text{ m/mn}$ $N = 240 \text{ tr/mn}$</p> <p>#</p> <p>#</p>	

Phase	Designation	Outilage de travail	Conditions de coupe	Croquis de phase	Page 2/2
-30- - Percage -	<ul style="list-style-type: none"> - percer ① : un trou $\varnothing 29,5$ - aler $\text{\textcircled{1}}$ à $\varnothing 30 H8$ - percer ② : deux trous $\varnothing 5,2$ - percer ③ : deux trous $\varnothing 8,2$ 	<ul style="list-style-type: none"> Foret 29 alésair $\varnothing 30$ Lampon 30 H8 forêt $\varnothing 5,2$ forêt $\varnothing 8,2$ 	<ul style="list-style-type: none"> $a = 0,3 \text{ mm/tr}$ $V_c = 25 \text{ m/mn}$ $N = 270 \text{ tr/mn}$ $a = 0,15 \text{ mm/tr}$ $V_c = 25 \text{ m/mn}$ $N = 1280 \text{ tr/mn}$ $a = 0,2 \text{ mm/tr}$ $V_c = 25 \text{ m/mn}$ $N = 970 \text{ tr/mn}$ 		

Ensemble : Banc d'essai de came Pièce : Arbre moteur N° BEC 102		Nombre : 01 Brut : étiré $\phi 40 \times 365$ Matière : m1-dur		Gamme de fabrication	Page $\frac{1}{2}$
Phase	Désignation	Outils de travail	Conditions de coupe	Croquis de phase	
10	Debit matière				
20	* serrage en mors durs - dresser la face ① - centrer	outil à dresser foret à centrer			
	* serrage en mixte - charioter $\phi 38$ - " $\phi 34$ - " $\phi 30 h7$ - " $\phi 28$ - " $\phi 24$ - chanfreiner $2 \times 45^\circ$ - Dresser tous les angles à 90° - exécuter la gorge au $\phi 25 \times 2$ - fileter un pas de 1 mm sur $\phi 28$	outil à charioter + + + + + outil couteau outil pelle outil à fileter extérieur			
Tour nage					

Phase	Désignation	Outils de travail	Conditions de coupe	Croquis de phase	Page 2/2
20 (suite)	<ul style="list-style-type: none"> * serrage en mors doux sur $\phi 38$ - dresser la face ② - centrer * serrage en mixte, en mors doux sur $\phi 34$ - charioter $\phi 34$ - " $\phi 30 h7$ - " $\phi 28$ - " $\phi 20$ - " $\phi 16$ - chanfreiner $2 \times 45^\circ$ - dresser tous les angles à 90° - exécuter la gorge au $\phi 25 \times 2$ - fileter un pas de 1mm sur $\phi 28$ - exécuter la gorge au $\phi 12 \times 2$ - fileter M16 	<ul style="list-style-type: none"> outil à dresser foret à centrer outil à charioter # # # # # outil couteau outil pelle outil à fileter outil pelle outil à fileter 			
30 Fraisage	<ul style="list-style-type: none"> * montage sur etau - exécuter une rainure de $3 \times 3 \text{ mm}$ le long du $\phi 34 \times 35$ 	<ul style="list-style-type: none"> fraise scie 2T d'ép. 3mm. 			

Ensemble : Banc d'essai de came Pièce = Poussoir à galet N° BEC 105		Nombre : 01 Brut = profile rond $\phi 28$ Matière = mi-dur		Gamme de Fabrication	Page 1/2
Phase	Désignation	Outils de Travail	Conditions de coupe	Croquis de phase	
10	Debit matière				
20	<p>■ serrage en mors durs.</p> <p>- dresser la face ①</p> <p>- centrer</p> <p>* serrage en mixte sur mors durs</p> <p>- charioter $\phi 24 \text{ g7}$</p> <p>- charioter $\phi 18$</p> <p>- percer trou $\phi 11,9$</p> <p>- tronçonner</p> <p>- aléser $\phi 12 \text{ H7}$</p> <p>* serrage en mors doux</p> <p>- dresser la face ② et mise en longueur</p>	<p>outil à dresser</p> <p>foret à centrer</p> <p>outil à charioter</p> <p>outil coupeau</p> <p>foret $\phi 11,9$ à fond plat</p> <p>outil à tronçonner</p> <p>alésor</p> <p>outil à dresser les faces.</p>			

Phase	Désignation	Outillage de travail	Conditions de coupe	Croquis de phase	Page 2/2
30 Fraisage.	<ul style="list-style-type: none"> * montage sur etau - Fraiser la rainure en bout (3) - Fraiser les deux méplats (5) - Fraiser la rainure (4) le long du $\phi 24$ - percer le $\phi 10$ 	<p>Fraise à rainurer d'ép. 12mm</p> <p>#</p> <p>Fraise scie 2T d'ép. 3mm</p> <p>foret $\phi 10$</p>			

Chapitre IV - ETUDE DU COMPORTEMENT
DYNAMIQUE DU SYSTEME
RECEPTEUR.

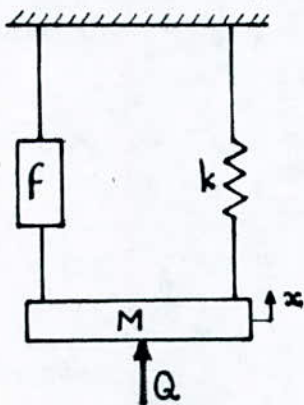
I - Modelisation du problème

Notre système récepteur est constitué d'un ressort de compression ,
d'une masse que nous prendrons concentrée au centre de gravité et égale à la
somme des masses de la tige , du poussoir et des surcharges.

L'ensemble coulisse en translation dans deux guidages qui induisent
des frottements.

Le mouvement du centre de gravité du système est périodique par rapport
à la rotation de la came donc du moteur.

Le schéma représentatif d'un tel système est le suivant :



f : facteur de frottement dans les guidages
k : constante de raideur du ressort
M : Masse de l'ensemble
Q : projection verticale de l'action came—
poussoir
x : déplacement du centre de gravité de
l'ensemble.

Les forces agissantes dans un tel système sont :

- la force élastique du ressort : $\vec{F}_r = k (\vec{x} + \vec{a})$
- la force massique de l'ensemble : $\vec{P} = M \cdot \vec{g}$

- l'action verticale de la came sur le poussoir : \vec{Q}
- la force d'inertie : $M \cdot \ddot{\delta}$
- la force de frottement dans les guidages : \vec{F}_f - valeur variable suivant l'effort réel de la came sur le poussoir, les matériaux et les longueurs (entre guidages et guidage - point de contact came - poussoir).

La relation fondamentale de la dynamique appliquée au système nous permet d'écrire :

$$\sum \vec{\text{forces}} = M \ddot{\delta} \quad \equiv \quad \vec{F}_r + \vec{P} + \vec{F}_f + \vec{Q} = M \ddot{\delta}$$

Toutes les forces étant portées par la même direction verticale, nous pouvons donc passer aux valeurs algébriques, nous obtenons :

$$\bar{F}_r + \bar{P} + \bar{F}_f + \bar{Q} = M \ddot{\delta} \quad \textcircled{1}$$

Le mouvement de notre système est périodique par rapport à la rotation de la came : il est ascendant jusqu'à une position limite correspondant à la levée de la came puis descendant pour revenir au point de départ.

Les frottements, s'opposant au mouvement seront donc dirigés vers le bas dans le mouvement ascendant et vers le haut dans l'autre cas (descendant)

De plus, dans chacun de ces deux cas, le profil de la came peut présenter différentes étapes où s'inverse le sens de $\ddot{\delta}$

De ce fait , l'équation du mouvement sera étudié selon chaque étape

donnée par le profil.

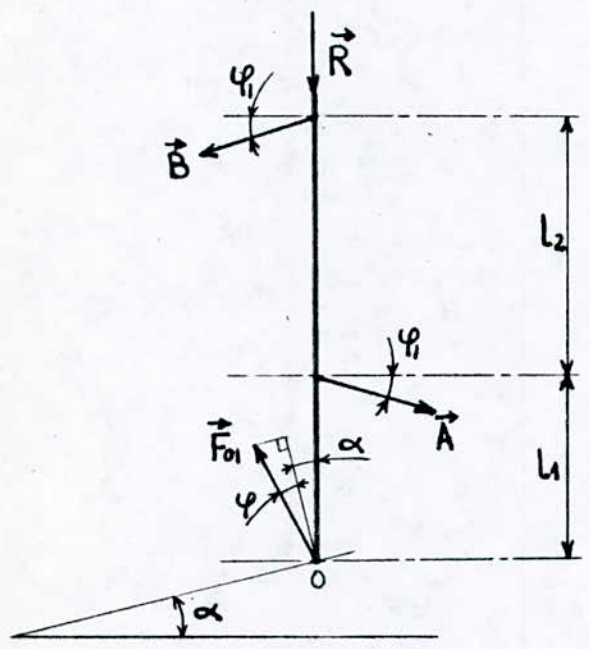
Néanmoins, l'apparition du phénomène de rebond (rupture du contact came-poussoir) est caractérisée par la disparition de la projection verticale Q de l'action came-poussoir. En introduisant cette condition ($Q=0$) dans l'équation (I) nous arrivons à la limite :

$$\bar{F}_r + \bar{P} + \bar{F}_f = M \bar{\gamma} \quad \text{(II)}$$

II - Détermination de la force de frottement F_f

II - 1 - cas de la montée :

le schéma statique du système récepteur est le suivant :



- φ_1 : angle de frottement des guidages
- φ : angle de frottement au contact came-poussoir
- \vec{A} et \vec{B} : actions des guidages sur la tige
- \vec{F}_{01} : action de la came sur la tige.

$$\vec{R} = \vec{P} + \vec{F}_r + \vec{F}_i \quad : P - \text{poids du système en translation}$$

$$F_r - \text{action du ressort}$$

$$F_i - \text{inertie de l'ensemble en translation}$$

α : angle de pression au contact came-tige

L_2 : distance séparant les deux guidages

L_1 : distance du point de contact au premier guidage.

Nous avons à faire à un problème plan. A l'instant considéré, les équations d'équilibre d'un tel système s'écrivent :

$$\begin{cases} \sum \text{efforts verticaux} = 0 \\ \sum \text{efforts horizontaux} = 0 \\ \sum \text{moments}/O = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} F_{01} \cos(\alpha + \varphi) - (A+B) \sin \varphi_1 - R = 0 \\ -F_{01} \sin(\alpha + \varphi) + (A+B) \cos \varphi_1 = 0 \\ A L_1 \cos \varphi_1 = B (L_1 + L_2) \cos \varphi_1 \end{cases}$$

La résolution de ce système de trois équations à trois inconnues A, B et

et F_{01} nous donne :

$$A = \frac{R (L_1 + L_2)}{L_2 [\cotg(\alpha + \varphi) \cos \varphi_1 - \sin \varphi_1] - 2 L_1 \sin \varphi_1}$$

$$B = \frac{R \cdot L_1}{L_2 [\cotg(\alpha + \varphi) \cos \varphi_1 - \sin \varphi_1] - 2 L_1 \sin \varphi_1}$$

$$F_{01} = \frac{R L_2}{L_2 [\cotg(\alpha + \varphi) \cos \varphi_1 - \sin \varphi_1] - 2 L_1 \sin \varphi_1} \cdot \frac{\cos \varphi_1}{\sin(\alpha + \varphi)}$$

L'Effort de frottement, résultant, est dirigé vers le bas et vaut :

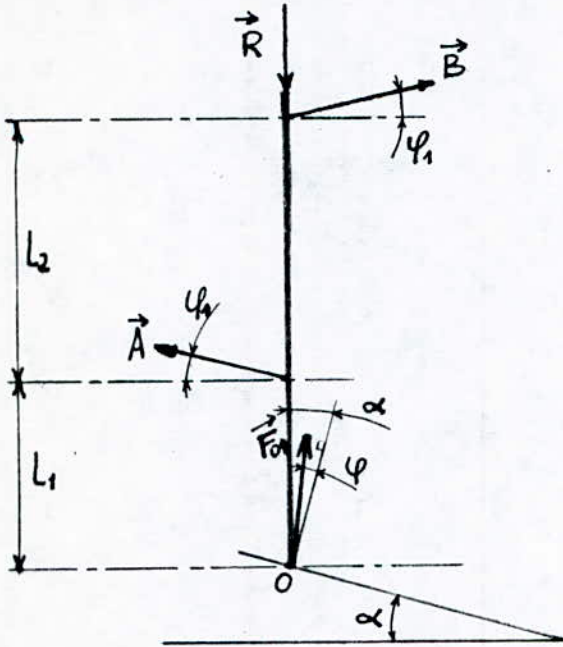
$$F_f = A \cdot \sin \varphi_1 + B \cdot \sin \varphi_1 + F_{01} \cdot \sin \alpha \cdot \sin \varphi$$

Après réduction au même dénominateur et certains arrangements, nous

aboutissons à :

$$F_f = \frac{R \cdot [(L_2 + 2L_1) \sin \varphi_1 \cdot \sin(\alpha + \varphi) + L_2 \cos \varphi_1 \cdot \sin \alpha \cdot \sin \varphi]}{\{L_2 [\cotg(\alpha + \varphi) \cdot \cos \varphi_1 - \sin \varphi_1] - 2L_1 \sin \varphi_1\} \cdot \sin(\alpha + \varphi)} \equiv R \times \Omega_m$$

II - 2. cas de la descente



$$\textcircled{1} \begin{cases} \sum \vec{F}_{\text{horiz}} = \vec{0} \\ \sum \vec{F}_{\text{vert}} = \vec{0} \\ \sum \vec{M}_{/O} = \vec{0} \end{cases}$$

$$\textcircled{1} \Leftrightarrow \begin{cases} F_{01} \sin(\alpha - \varphi) + (B - A) \cos \varphi_1 = 0 \\ F_{01} \cos(\alpha - \varphi) + (A + B) \sin \varphi_1 - R = 0 \\ A \cdot L_1 \cdot \cos \varphi_1 = B (L_1 + L_2) \cos \varphi_1 \end{cases}$$

la résolution de ce système nous donne :

$$A = \frac{R (L_1 + L_2)}{L_2 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cotg(\alpha - \varphi) + (2L_1 + L_2) \cdot \sin \varphi_1}$$

$$B = \frac{R \cdot L_1}{L_2 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cotg(\alpha - \varphi) + (2L_1 + L_2) \cdot \sin \varphi_1}$$

$$F_{01} = \frac{R L_2}{L_2 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cotg(\alpha - \varphi) + (2L_1 + L_2) \cdot \sin \varphi_1} \times \frac{\cos \varphi_1}{\sin(\alpha - \varphi)}$$

Dans ce cas l'effort résultant de frottement est dirigé vers le haut et

vaut :

$$F_f = (A+B) \sin \varphi_1 + F_{01} \cdot \sin \alpha \cdot \sin \varphi$$

tous calculs faits nous trouvons :

$$F_f = \frac{R[(2L_1+L_2) \cdot \sin \varphi_1 \cdot \sin(\alpha-\varphi) - L_2 \cos \varphi_1 \sin \alpha \cdot \sin \varphi]}{[L_2 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cotg(\alpha-\varphi) + (2L_1+L_2) \cdot \sin \varphi_1] \cdot \sin(\alpha-\varphi)} \equiv R \cdot \Omega_d$$

II - 3 - Résumé :

- montée : $F_f = \Omega_m \cdot R$ dirigée vers le bas

- descente: $F_f = \Omega_d \cdot R$ dirigée vers le haut

III Condition de rebond

Nous avons déjà vu que la condition de rebond s'exprime par l'équation :

$$\bar{F}_r + \bar{P} + \bar{F}_f = M\bar{\gamma} \quad (\text{II})$$

III - 1 - Montée :

$$\bar{F}_f = \Omega_m \cdot \bar{R} \quad \text{avec} \quad \bar{R} = \bar{F}_r + \bar{P} - M\bar{\gamma}$$

en remplaçant dans (II)

$$\begin{aligned} \bar{F}_r + \bar{P} + (\bar{F}_r + \bar{P} - M\bar{\gamma}) \cdot \Omega_m &= M\bar{\gamma} \\ \Leftrightarrow (\bar{F}_r + \bar{P} - M\bar{\gamma})(\Omega_m + 1) &= 0 \end{aligned}$$

ainsi la condition de rebond se trouve équivalente à :

$$\begin{cases} \bar{F}_r + \bar{P} - M\bar{\gamma} = 0 \\ \text{ou } \Omega_m + 1 = 0 \end{cases}$$

III - 2 - Descente :

$$\bar{F}_F = -\Omega_d \cdot \bar{R} \quad \text{avec} \quad \bar{R} = \bar{F}_r + \bar{P} - M\bar{\gamma}$$

en remplaçant dans (II)

$$\begin{aligned} \bar{F}_r + \bar{P} - (\bar{F}_r + \bar{P} - M\bar{\gamma}) \cdot \Omega_d &= M\bar{\gamma} \\ \Leftrightarrow (\bar{F}_r + \bar{P} - M\bar{\gamma})(1 - \Omega_d) &= 0 \end{aligned}$$

cette condition est équivalente à

$$\begin{cases} \bar{F}_r + \bar{P} - M\bar{\gamma} = 0 \\ \text{ou} \quad 1 - \Omega_d = 0 \end{cases}$$

III - 3 - Etude de la condition $\Omega_m + 1 = 0$

$$\frac{(L_2 + 2L_1) \cdot \sin \varphi_1 \cdot \sin(\alpha + \varphi) + L_2 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi \cdot \sin \alpha}{\{L_2 [\cotg(\alpha + \varphi) \cdot \cos \varphi_1 - \sin \varphi_1] - 2L_1 \sin \varphi_1\} \cdot \sin(\alpha + \varphi)} + 1 = 0$$

Tous calculs faits, cette équation se trouve équivalente à :

$$\cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi \cdot \cos \alpha = 0$$

qui est elle même équivalente à :

$$\begin{cases} \cos \varphi_1 = 0 \Rightarrow \varphi_1 = \pi/2 \\ \text{ou} \quad \cos \varphi = 0 \Rightarrow \varphi = \pi/2 \\ \text{ou} \quad \cos \alpha = 0 \Rightarrow \alpha = \pi/2 \end{cases}$$

$\varphi_1 = \frac{\pi}{2}$ et $\varphi = \frac{\pi}{2}$ sont des conditions à rejeter car un angle de frottement égal à $\frac{\pi}{2}$ implique un facteur de frottement infini et ceci veut dire qu'il n'y a pas de mouvement.

$\alpha = \frac{\pi}{2}$: ce cas est aussi à ne pas craindre car il ne risque pas de surgir

dans la pratique .

III - 4 - Etude de la condition $1 - \Omega d = 0$

$$\frac{(2L_1 + L_2) \sin \varphi_1 \cdot \sin(\alpha - \varphi) + L_2 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \sin \alpha \cdot \sin \varphi}{[L_2 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cotg(\alpha - \varphi) + (2L_1 + L_2) \sin \varphi_1] \cdot \sin(\alpha - \varphi)} - 1 = 0$$

ici aussi, cette équation est équivalente à :

$$\cos \varphi_1 \cdot \cos \alpha \cdot \cos \varphi = 0 \Rightarrow \begin{cases} \varphi_1 = \pi/2 \\ \text{ou } \varphi = \pi/2 \\ \text{ou } \alpha = \pi/2 \end{cases}$$

De même que précédemment, ces trois cas sont à rejeter.

III - 5 - Conclusion :

Que ce soit en montée ou en descente, nous venons de voir que la condition de rebond caractérisée par l'équation (II) se résume à :

$$\bar{F}_r + \bar{P} - M\bar{\gamma} = 0$$

IV - Résolution de la condition de rebond

$$" \bar{F}_r + \bar{P} - M\bar{\gamma} = 0 "$$

IV - 1 - Cas général : " en mesures algébriques "

En remplaçant chaque terme par son expression

$$\bar{F}_r = k (x + a)$$

$$\bar{P} = Mg$$

$$\bar{\gamma} = \ddot{x}$$

nous obtenons l'équation différentielle suivante :

$$\bar{x}'' - \frac{k}{M} \bar{x} = \bar{g} + \frac{k}{M} \bar{a}$$

- solution sans second membre :

$$\bar{x}'' - \frac{k}{M} \bar{x} = 0$$

équation caractéristique : $r^2 - \frac{k}{M} = 0 \Rightarrow r = \pm \sqrt{\frac{k}{M}}$

$$\Rightarrow \bar{x}_0 = c_1 e^{-\sqrt{\frac{k}{M}} \bar{a}} + c_2 e^{\sqrt{\frac{k}{M}} \bar{a}}$$

- solution particulière :

$$\bar{x}_1 = \lambda \cdot \bar{a} + \beta \Rightarrow \begin{cases} \bar{x}'_1 = \lambda \\ \bar{x}''_1 = 0 \end{cases}$$

par identification on détermine

$$\begin{cases} \lambda = -1 \\ \beta = -\frac{M}{k} \bar{g} \end{cases}$$

donc

$$\bar{x}_1 = -\bar{a} - \frac{M}{k} \bar{g}$$

- solution générale : $\bar{x} = \bar{x}_0 + \bar{x}_1$

$$\bar{x} = c_1 e^{-\sqrt{\frac{k}{M}} \bar{a}} + c_2 e^{\sqrt{\frac{k}{M}} \bar{a}} - \bar{a} - \frac{M}{k} \bar{g}$$

En remplaçant cette expression dans l'équation explicitée de $\bar{F}_r + \bar{P} - M\bar{\gamma} = 0$

c'est-à-dire dans $M\bar{\gamma} - k(\bar{x} + \bar{a}) - M\bar{g} = 0$

Nous déduisons :

$$\bar{\gamma} = \frac{k}{M} \left[c_1 e^{-\sqrt{\frac{k}{M}} \bar{a}} + c_2 e^{\sqrt{\frac{k}{M}} \bar{a}} \right]$$

remarque :

c_1 et c_2 sont des constantes à déterminer expérimentalement. Elles sont spécifiques à un ressort et une masse déterminés.

IV - 2 - Selon chaque étape :

La projection de l'équation algébrique de rebond nous donne les deux

cas suivants :

$$\textcircled{a} \quad M\gamma + F_r + P = 0 \quad \left| \begin{array}{l} - \text{montée accélérée} \\ - \text{descente décélérée} \end{array} \right.$$

$$\textcircled{b} \quad M\gamma - F_r - P = 0 \quad \left| \begin{array}{l} - \text{montée décélérée} \\ - \text{descente accélérée} \end{array} \right.$$

$$M\gamma + F_r + P = 0 \quad \Leftrightarrow \quad x'' + \frac{k}{M}(x+a) + g = 0$$

$$M\gamma - F_r - P = 0 \quad \Leftrightarrow \quad x'' - \frac{k}{M}(x+a) - g = 0$$

La résolution de ces deux équations donne :

- cas \textcircled{a} -

$$x = C_1 \cdot \cos\sqrt{\frac{k}{M}} \cdot a + C_2 \cdot \sin\sqrt{\frac{k}{M}} \cdot a - \left(a + \frac{M}{k} \cdot g\right)$$

$$\Rightarrow \quad \gamma = -\frac{k}{M} \left[C_1 \cdot \cos\sqrt{\frac{k}{M}} \cdot a + C_2 \cdot \sin\sqrt{\frac{k}{M}} \cdot a \right]$$

- cas \textcircled{b} -

$$x = c'_1 \cdot e^{-\sqrt{\frac{k}{M}} \cdot a} + c'_2 \cdot e^{\sqrt{\frac{k}{M}} \cdot a} - \left(a + \frac{M}{k} \cdot g\right)$$

$$\Rightarrow \quad \gamma = \frac{k}{M} \left[c'_1 \cdot e^{-\sqrt{\frac{k}{M}} \cdot a} + c'_2 \cdot e^{\sqrt{\frac{k}{M}} \cdot a} \right]$$

V - Application : " CAME MORIN "

- La phase retour est symétrique à la phase aller. Nous choisirons la came présentant les étapes suivantes :

- étape 1 : montée accélérée sur $\left[0, \frac{\pi}{3}\right]$ avec γ_1
- étape 2 : montée décélérée sur $\left[\frac{\pi}{3}, \frac{2\pi}{3}\right]$ avec γ_2
- étape 3 : repos en position haute sur $\left[\frac{2\pi}{3}, \pi\right]$ avec $\gamma_3 = 0$

Ces trois étapes correspondent à la phase aller. Dans ces conditions nous avons :

$$\begin{cases} \gamma_1 = \frac{g}{\pi^2} \cdot l \cdot \omega^2 \\ \gamma_2 = -\gamma_1 \\ \gamma_3 = 0 \end{cases}$$

où l est la levée de la came.

V - 1 - Etape 1 : montée accélérée avec γ_1

En appliquant la solution de l'équation de rebond correspondant à ce cas,

nous aurons :

$$\frac{g}{\pi^2} \cdot l \cdot \omega^2 = -\frac{k}{M} \left[c_1 \cdot \cos \sqrt{\frac{k}{M}} a + c_2 \cdot \sin \sqrt{\frac{k}{M}} a \right]$$

d'où
$$\omega^2 = -\frac{\pi^2}{g} \cdot \frac{1}{l} \cdot \frac{k}{M} \left[c_1 \cdot \cos \sqrt{\frac{k}{M}} a + c_2 \cdot \sin \sqrt{\frac{k}{M}} a \right]$$

Nous constatons que ce résultat n'a pas de sens réel. Nous expliquons ceci par :

au démarrage, à la montée :

- absence de point anguleux
- La tangente au profil pour $\theta=0$ est également tangente au cercle de base.
- La variation est continue .

ainsi nous déduisons que : pas de choc à craindre donc pas de rebond.

V - 2 - Etape 2 : montée décélérée avec $\delta_2 = -\delta_1$

Dans ce cas l'équation de rebond s'écrit

$$\frac{g}{\pi^2} L \cdot \omega^2 = \frac{k}{M} \left[c_1 \cdot e^{-\sqrt{\frac{k}{M}} \cdot a} + c_2 \cdot e^{\sqrt{\frac{k}{M}} \cdot a} \right]$$

$$\text{d'où } \omega^2 = \frac{\pi^2}{9} \cdot \frac{1}{L} \cdot \frac{k}{M} \left[c_1 \cdot e^{-\sqrt{\frac{k}{M}} \cdot a} + c_2 \cdot e^{\sqrt{\frac{k}{M}} \cdot a} \right]$$

Contrairement à l'étape précédente, ici le phénomène de rebond peut avoir lieu pour les vitesses de rotation données par l'expression précédente en fonction de la compression initiale a du ressort.

V - 3 - Etape 3 : repos en position haute

Dans cette étape, le rebond n'est pas du tout à discuter puisqu'il n'y a pas de mouvement /

Chapitre V - E S S A I S

Il a été prévu que le mécanisme sera entraîné par un moteur électrique à courant continu de puissance 1 à 2 Kw. Ce type de moteur offre la facilité de varier sa vitesse de rotation continuellement par un simple montage électrique (rhéostat) .

Ainsi nous pourrons faire des essais sur l'analyse du comportement dynamique du système came-organe récepteur.

Malheureusement, par manque de disponibilité de ce genre de moteur aussi bien à l'E N P A qu'à l'unité U E M d'El-Achour, nos essais seront limités à de simples enregistrements de profils des cames que nous avons réalisées.

Nous avons usiné deux types de cames qui sont :

- Un excentrique : pour sa facilité de réalisation
- Une came MORIN : pour sa caractéristique " accélération constante "

I - C a p a c i t é d u b a n c d ' e s s a i

La capacité offerte par notre banc d'essai est :

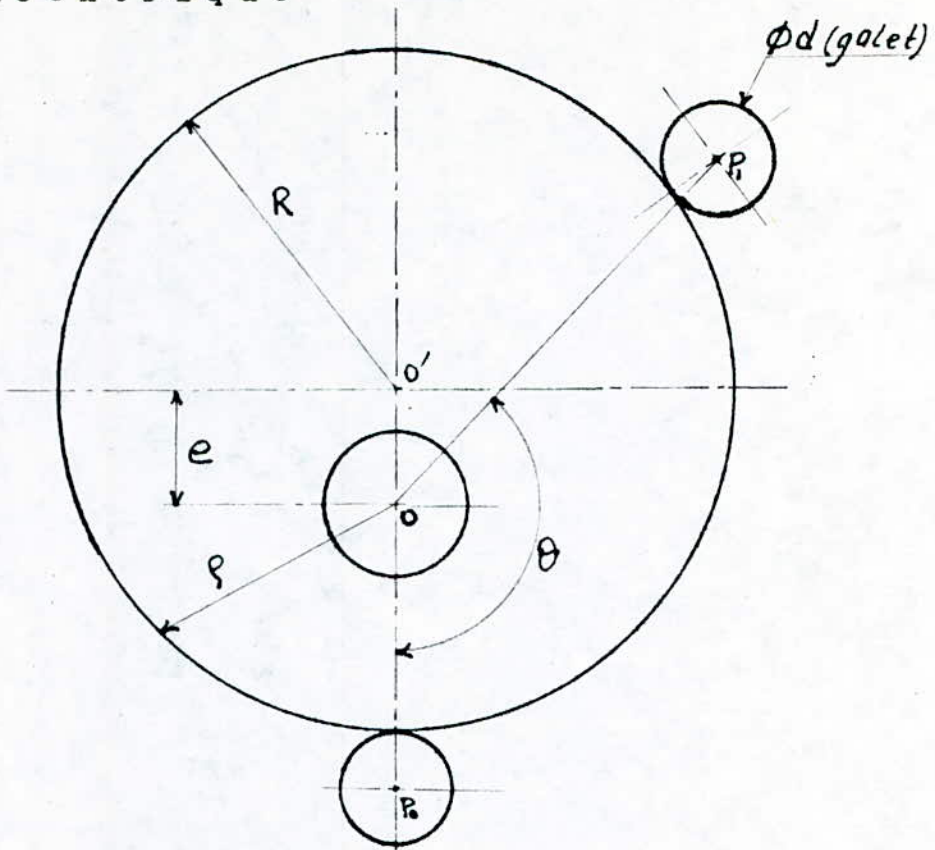
$$\left. \begin{array}{l} \rho_{max} = 80 \text{ mm} \\ \rho_{mini} = 25 \text{ mm} \end{array} \right\} \text{ il s'agit là du profil réel}$$

ceci nous donne une levée maximale de :

$$\begin{aligned} L_{max} &= \rho_{max} - \rho_{mini} \\ &= 80 - 25 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow L_{max} = 55 \text{ mm}$$

II - Excentrique



Nous avons opté pour le choix suivant :

$$R = 45 \text{ mm}$$

$$e = 15 \text{ mm}$$

avec $d = 22 \text{ mm}$ (ϕ extérieur du roulement)

La levée que nous obtenons, pour ce choix, sera :

$$L = 2 \cdot e = 30 \text{ mm}$$

L'équation régissant le déplacement du centre du galet, en fonction de l'angle de rotation θ , est :

$$X = OP_1 - OP_0$$

$OP_0 = R + \frac{d}{2} - e$: position du centre du galet par rapport au centre de rotation O , en position basse ($\theta = 0$)

$$OP_1 = \sqrt{\left(R + \frac{d}{2}\right)^2 - \sin^2 \theta} - e \cdot \cos \theta \quad : \text{ position du centre du galet par rapport à } O \text{ en position } qoq \text{ (} qoq \text{)}$$

d'où

$$X = e(1 - \cos \theta) + \left(R + \frac{d}{2}\right) \left[\sqrt{1 - \frac{\sin^2 \theta}{\left(R + \frac{d}{2}\right)^2}} - 1 \right]$$

Application Numérique : $R = 45 \text{ mm}$

$$e = 15 \text{ mm}$$

$$d = 22 \text{ mm}$$

$$X = \sqrt{56 - \sin^2 \theta} - 15 \cdot \cos \theta - 41$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{unités} \\ \theta \text{ en radian} \\ X \text{ en mm} \end{array} \right\}$$

C'est l'équation de la courbe enregistrée sur le banc d'essai jointe en page suivante.

III - C a m e M O R I N

Le type de came que nous avons choisi est celui dont le profil présente une symétrie entre les phases aller et retour (montée et descente) .

Chacune de ces phases se compose de trois étapes :

exemple - " phase aller " :

- 1ère étape : mouvement accéléré sur $\theta \in [0, \theta_1]$ avec γ_1
- 2ème étape : mouvement décéléré sur $\theta \in [\theta_1, \theta_1 + \theta_2]$ avec γ_2
- 3ème étape : repos en position haute sur $\theta \in [\theta_1 + \theta_2, \pi]$

La phase retour sera symétrique à la phase aller.

choix :

$$\begin{cases} \theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \frac{\pi}{3} \\ r = 30 \text{ mm} \\ l = 35 \text{ mm} \\ d = 22 \text{ mm} \end{cases}$$

Application Numérique :

$$X_1 = \frac{1}{2} \gamma_1 t^2 \Rightarrow X_1 = 15,974 \cdot \theta^2$$

$$X_2 = l + \frac{1}{2} \gamma_2 (t_1 + t_2 - t)^2 \Rightarrow X_2 = 35 - 15,974 (2,095 - \theta)^2$$

$$X_3 = l \Rightarrow X_3 = 35$$

Donc les équations de la courbe enregistrée sur le banc d'essai seront :

$$\begin{cases} X = 15,974 \cdot \theta^2 & \theta \in [0, \frac{\pi}{3}] \\ X = 35 - 15,974 (2,095 - \theta)^2 & \theta \in [\frac{\pi}{3}, 2\frac{\pi}{3}] \\ X = 35 & \theta \in [2\frac{\pi}{3}, \pi] \end{cases}$$

en radians et X en mm.

-oOo- C O N C L U S I O N - oOo-

Faute de disponibilité d'un moteur électrique à vitesse variable, notre construction ne s'est pas achevée comme nous l'avions souhaité.

L'utilité du banc d'essai s'est réduite à une analyse cinématique des profils de cames. Pour ce faire, nous avons opté pour le système de manivelle afin de pouvoir l'entraîner en rotation manuellement.

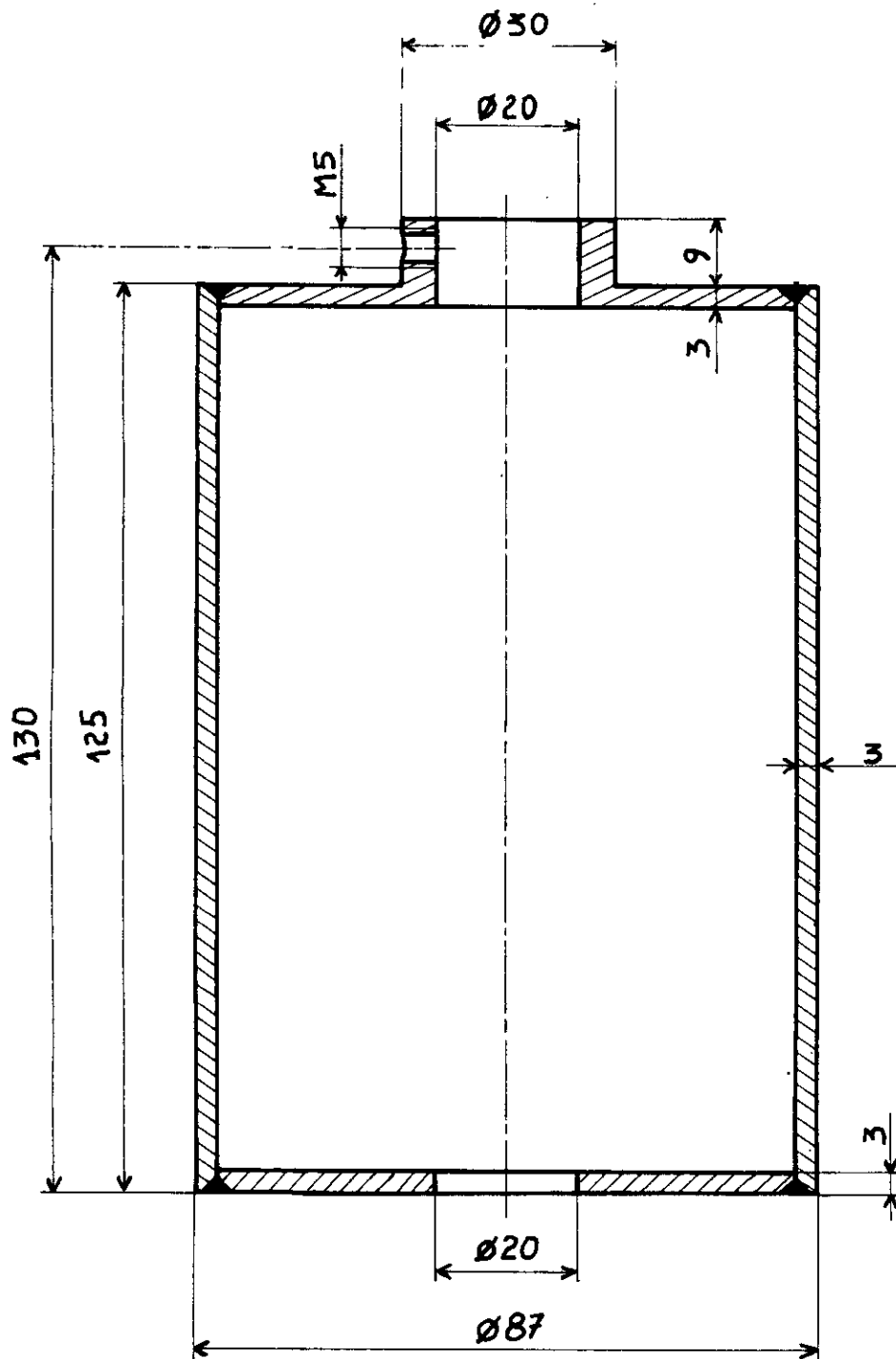
Nous souhaitons très fort que cette réalisation soit complétée par l'installation d'un moteur du type cité qui lui sera adapté, ce qui permettra de faire et une analyse cinématique et une analyse dynamique.

Nous proposons à cet effet le modèle de T.P. suivant:

- _ Enregistrer les profils de cames réalisées ainsi que ceux des cames qu'auront réalisé les étudiants - les analyser.
- _ Faire démarrer le moteur et augmenter sa vitesse continuellement jusqu'à détecter le phénomène de rebond et mesurer la vitesse de rotation critique à l'aide d'un tachymètre. Refaire l'opération pour différentes compressions initiales du ressort.
- _ Tracer la courbe pratique $\omega_{cr,r} = f(a)$
- _ Calculer les constantes de raideur des ressorts éventuellement utilisés
- _ Mesurer la masse du système oscillant (l'ensemble de l'organe récepteur)
- _ Calculer la vitesse critique de rebond théorique par les expressions analytiques, tracer la courbe théorique $\omega_{cr,th} = f(a)$
- _ Faire une comparaison entre les résultats théoriques et pratiques.

BIBLIOGRAPHIE

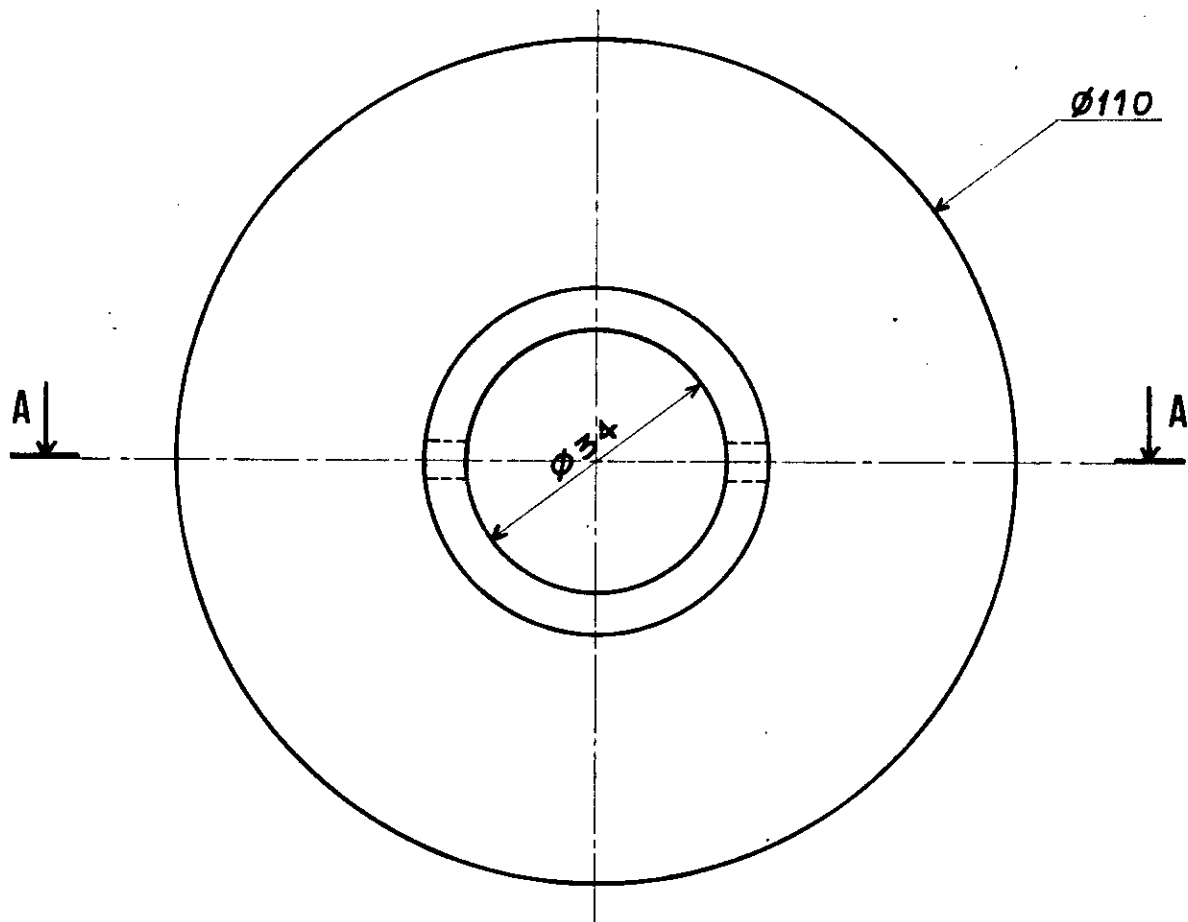
- Fabrications Mécaniques - Technologie - Tome I,II et III
par R.BUTIN et M.PINOT, Edition FOUCHER 1981
- Technologie Professionnelle Générale pour les Mécaniciens
Tome I et II
par A.COMPA , Edition FOUCHER 1971
- Gammes d'usinages et Analyses de phases " Etude de fabrication
mécanique "
par J.KARR , Edition DUNOD 1972.
- Fabrications Industrielles.
par J.C. ABRIL et D.MARC, Edition FERNAND NATHAN 1981
- Guide du dessinateur industriel
par A.CHEVALIER , Edition 1979.



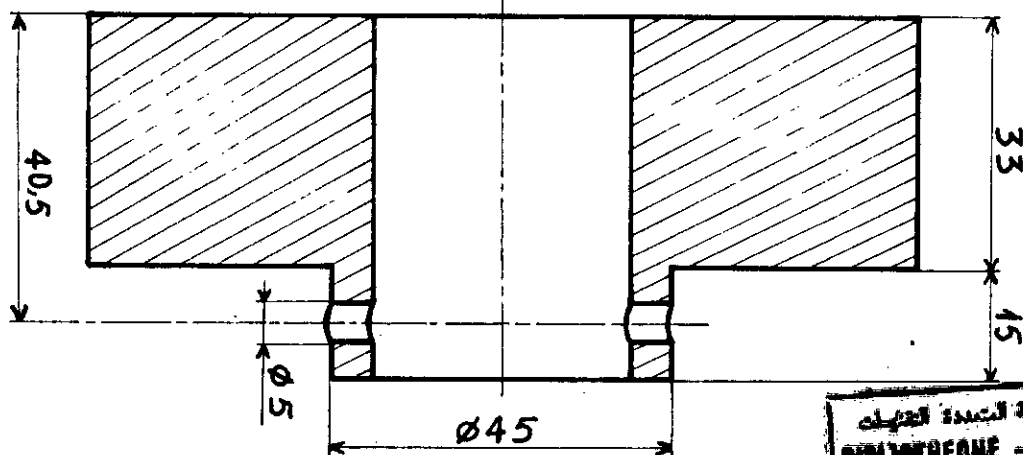
المدرسة الوطنية للتكنولوجيا
 المكتبة — BIBLIOTHEQUE
 Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Echelle	Masse		TAMBOUR	E N P Dép Mécanique
1				
Etudiant	HOUACINE		A d x	B E C 109
Promoteur	PIEROZAK			

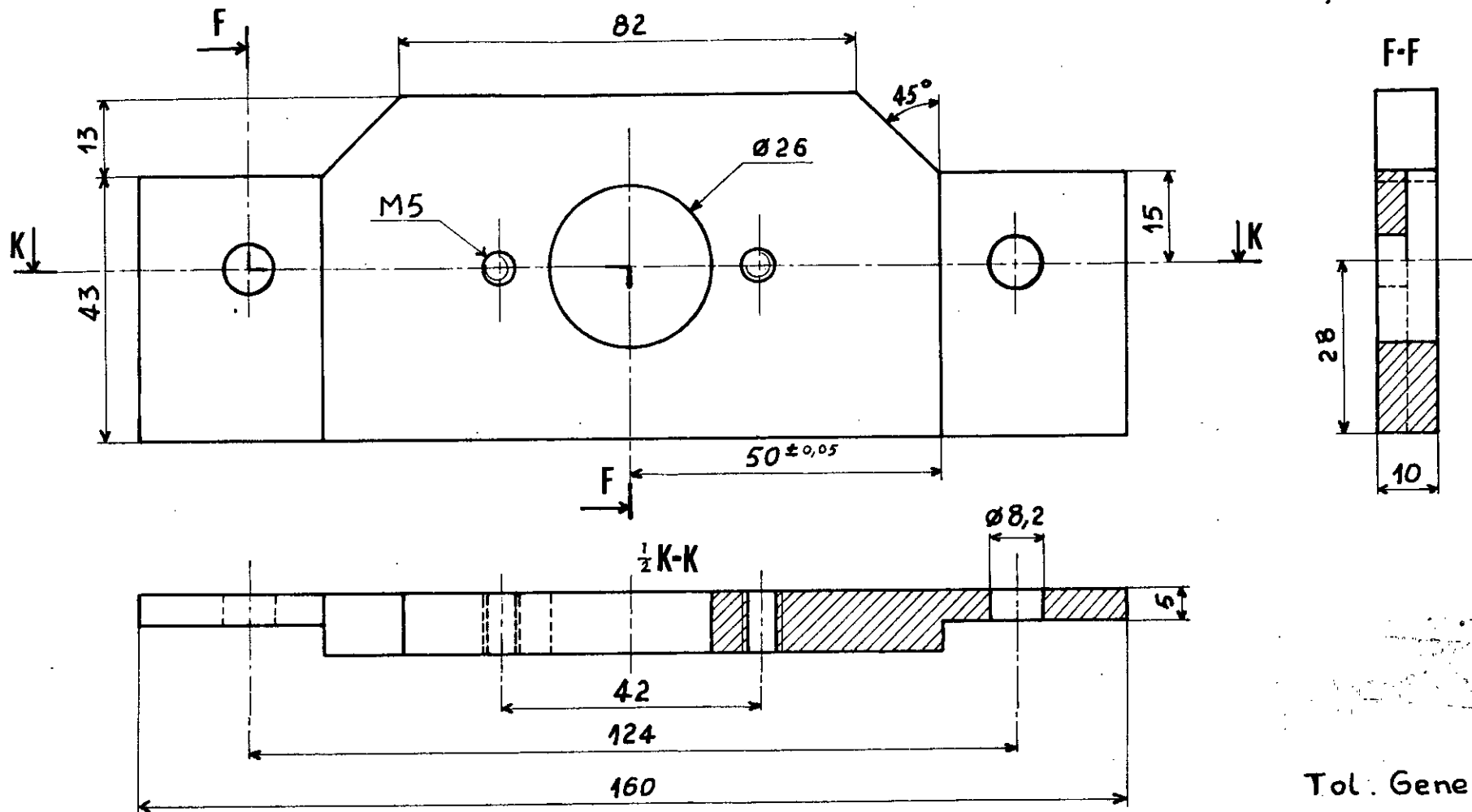


A A



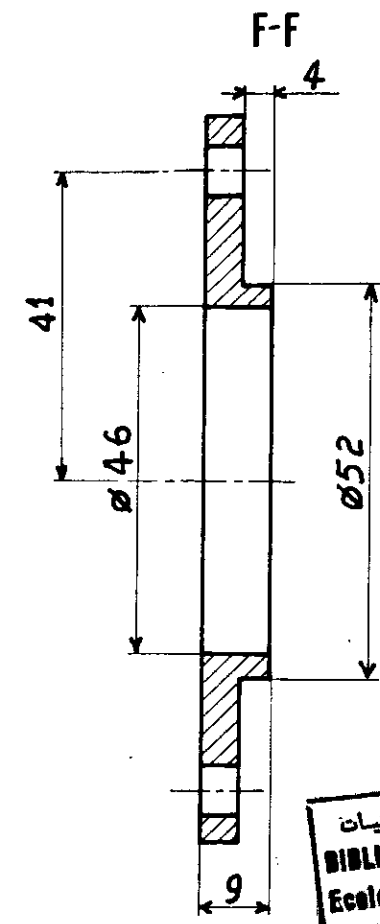
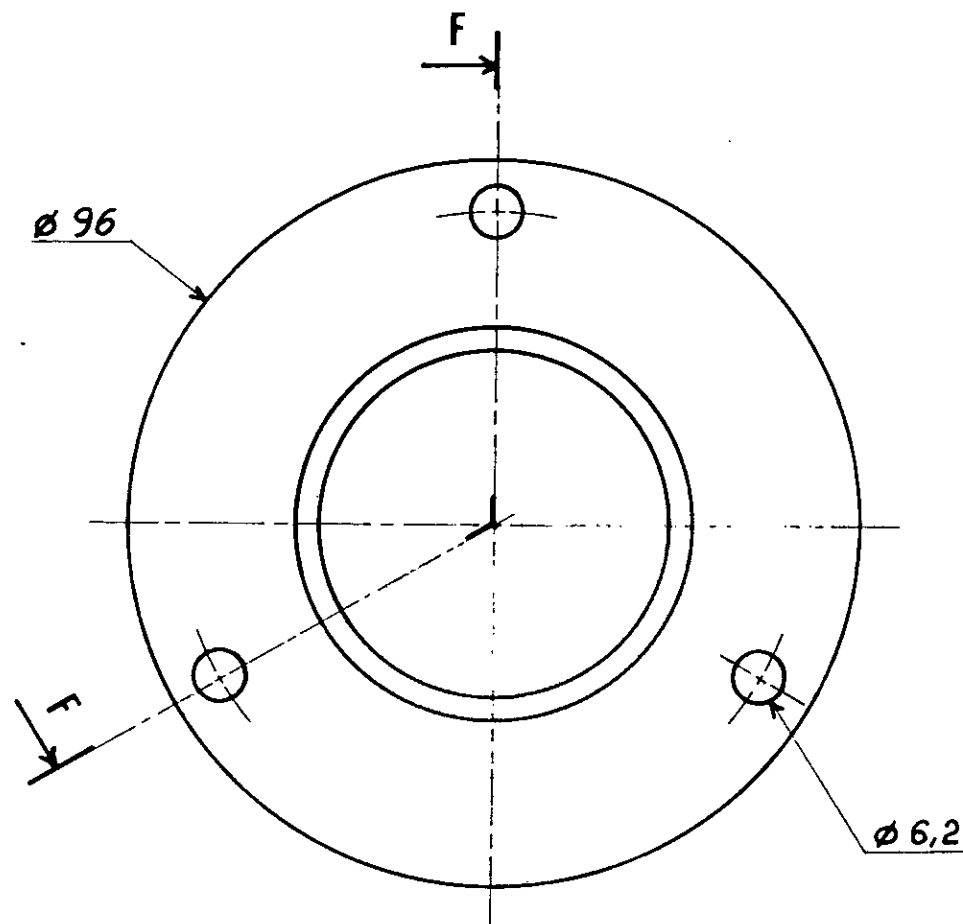
الدرسة الوطنية للتكنولوجيا
 POLYTECHNIQUE — المكنية
 Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
Echelle	Masse		VOLANT D'INERTIE	E N P Dép Mécanique
1				
Etudiant	HOUACINE	<i>JHB</i>		
Promoteur	PIEROZAK		Ad x	BEC 112



Tol. Gene $\pm 0,1$

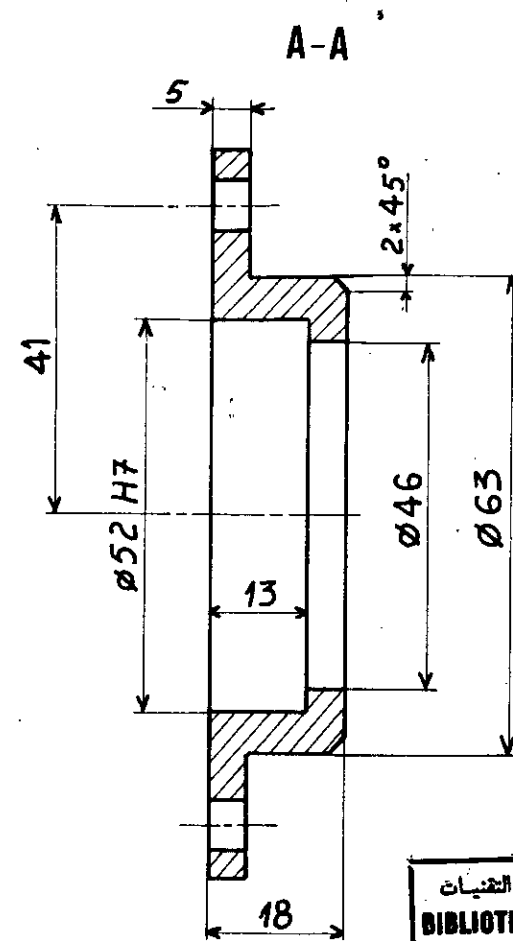
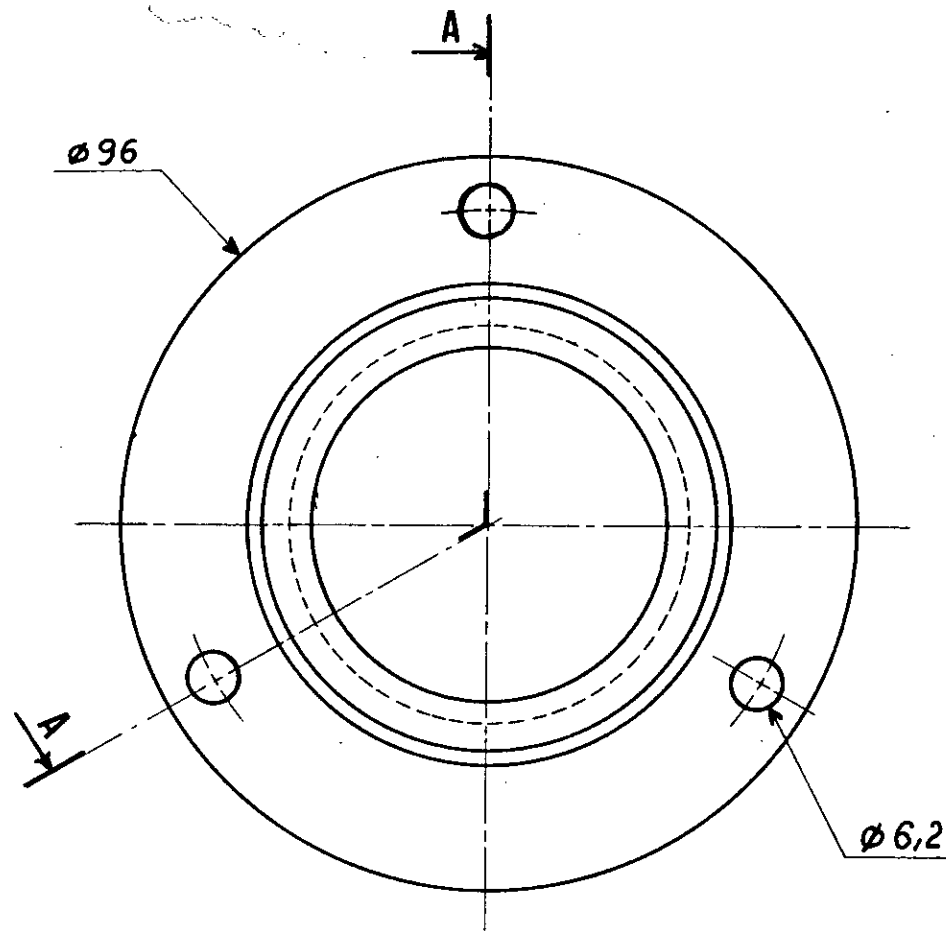
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
Echelle	Masse		PORTE GUIDAGE	E N P Dép Mécanique
1				
Etudiant	HOUACINE	<i>J.H.</i>		
Promoteur	PIEROZAK		A d x	BEC 106



المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
 المكتبة — BIBLIOTHEQUE
 Ecole Nationale Polytechnique

Tol. Gen $\pm 0,1$

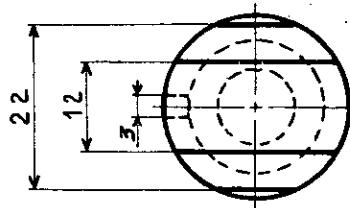
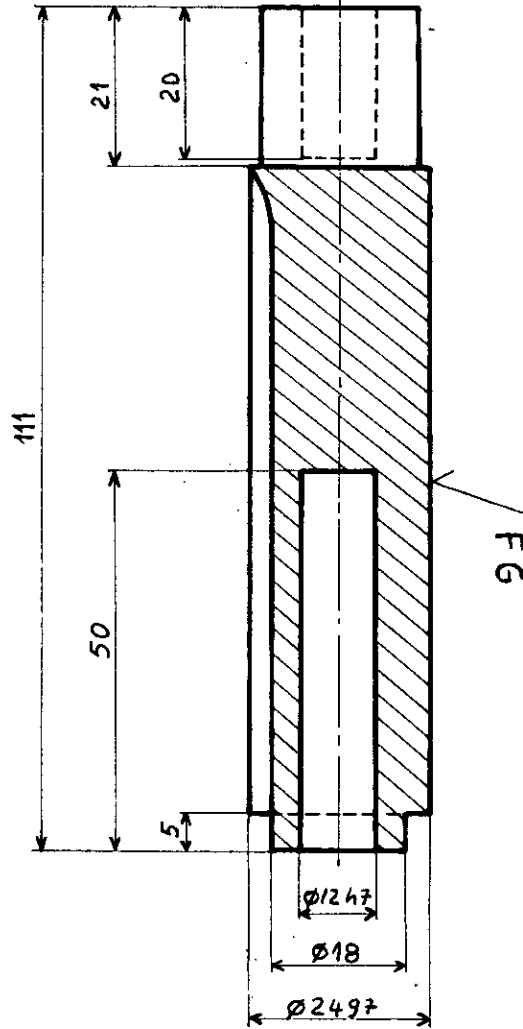
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
Echelle	Masse			
1				
Etudiant	HOUACINE		BAGUE DE BLOCAGE	E N P Dép Mécanique
Promoteur	PIEROZAK			
			A d x	B E C 111



المكتبة الوطنية المتعددة التخصصات
 BIBLIOTHEQUE —
 Ecole Nationale Polytechnique

Tol. Gen $\pm 0,1$

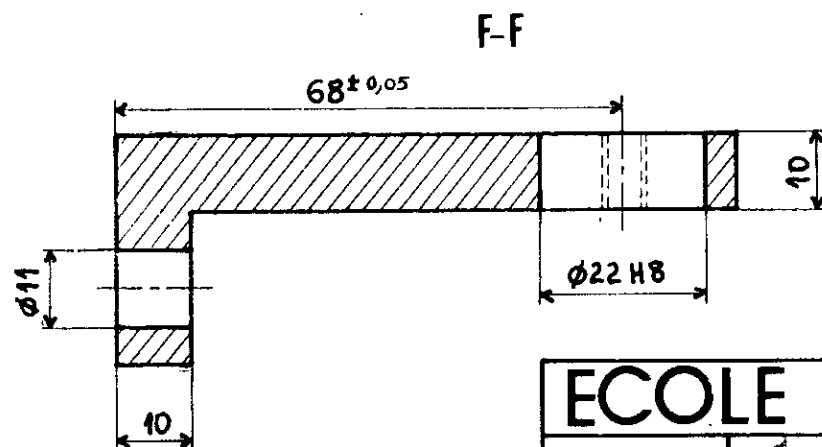
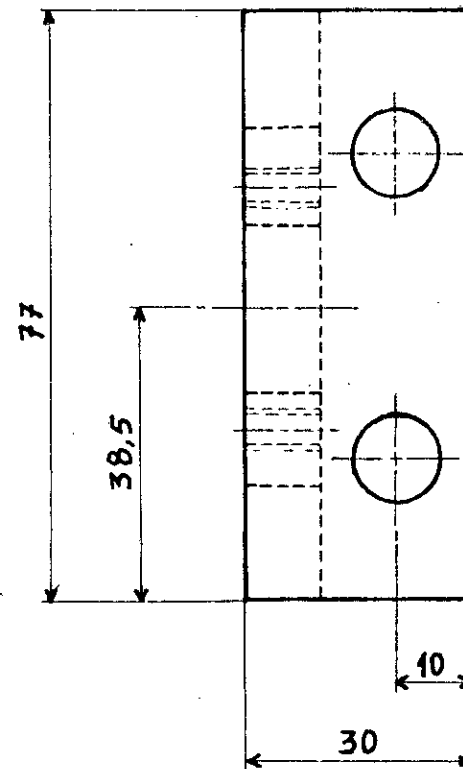
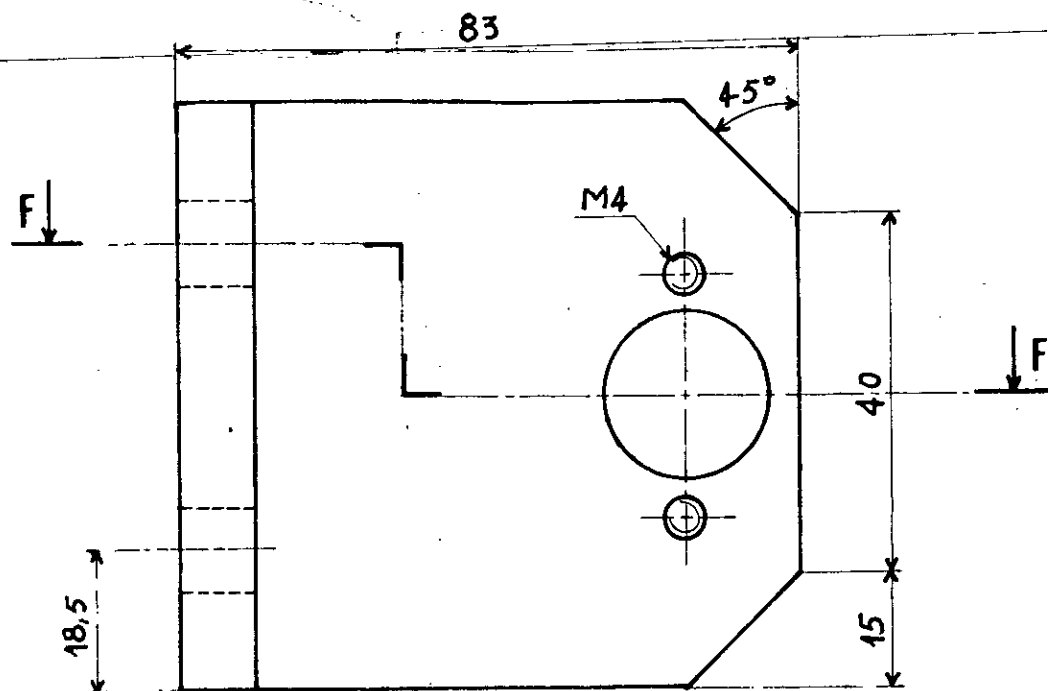
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
Echelle	Masse		LOGEMENT DE ROULEMENT	ENP Dép Mécanique
1				
Etudiant	HOUCINE		Adx	BEC 110
Promoteur	PIEROZAK			



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique

Tol. Gén. $\pm 0,1$

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE			
Echelle	Masse		POUSSOIR A GALET
1			
Etudiant	HOUACINE		ENPA Dép. Mécanique
Promoteur	PIEROZAK		
			mi-dur
			BEC 105

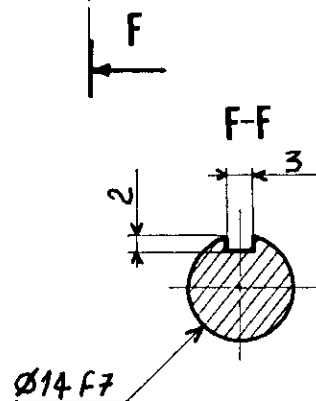
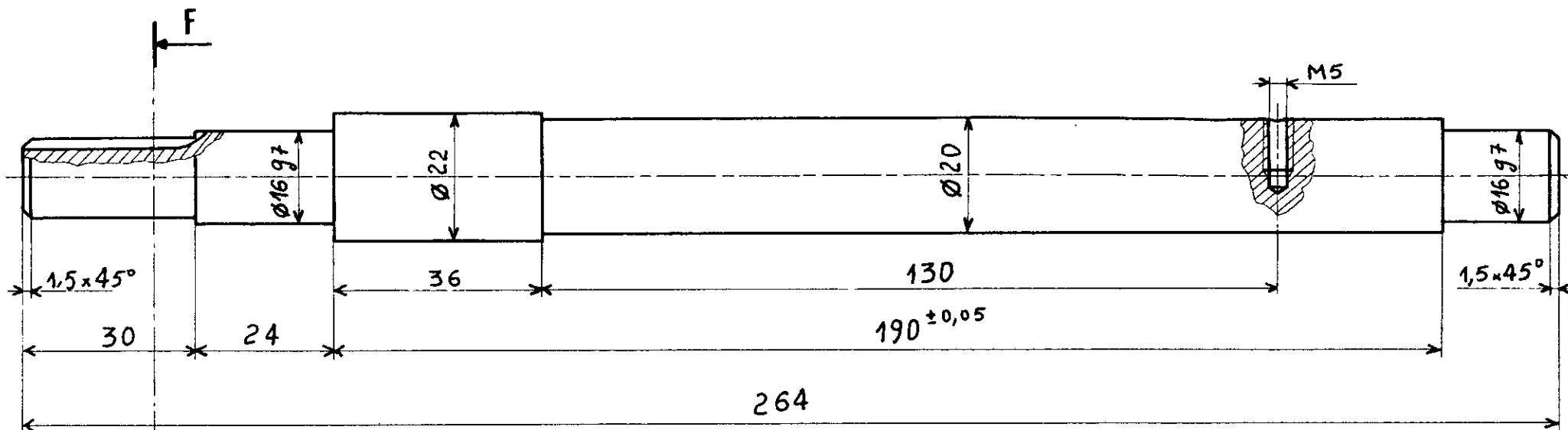


المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique

Tol. Gen ± 0,1

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Echelle	Masse		SUPPORT DE L'AXE TAMBOUR	E N P Dép Mécanique
1				
Etudiant	HOUACINE		A d x	BEC 108
Promoteur	PIEROZAK			

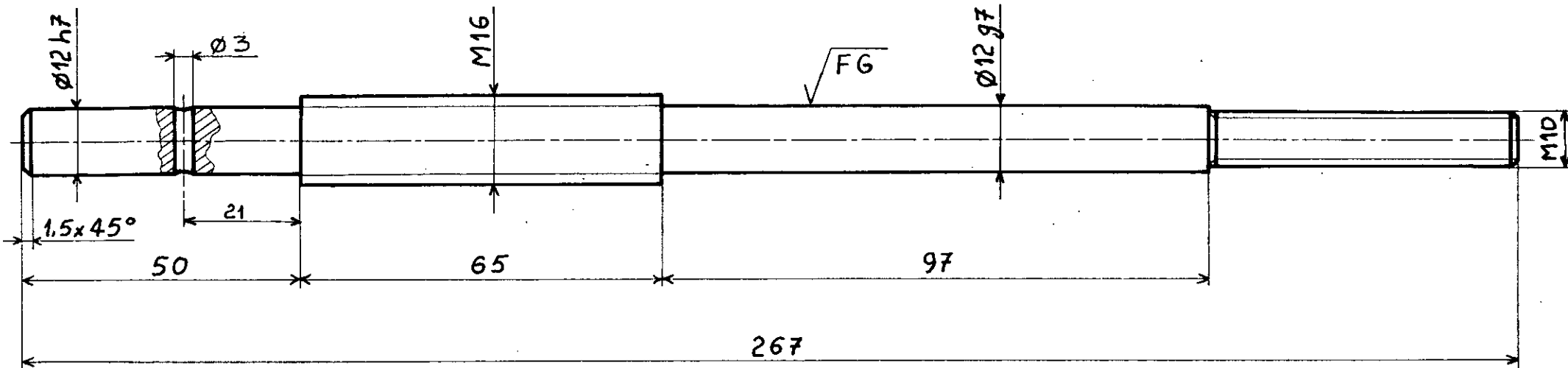


المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Tol. Gene. $\pm 0,1$


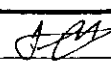
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Echelle	Masse		AXE TAMBOUR	E N P Dép Mécanique
1				
Etudiant	HOUACINE		A d x	B E C 107
Promoteur	PIEROZAK			



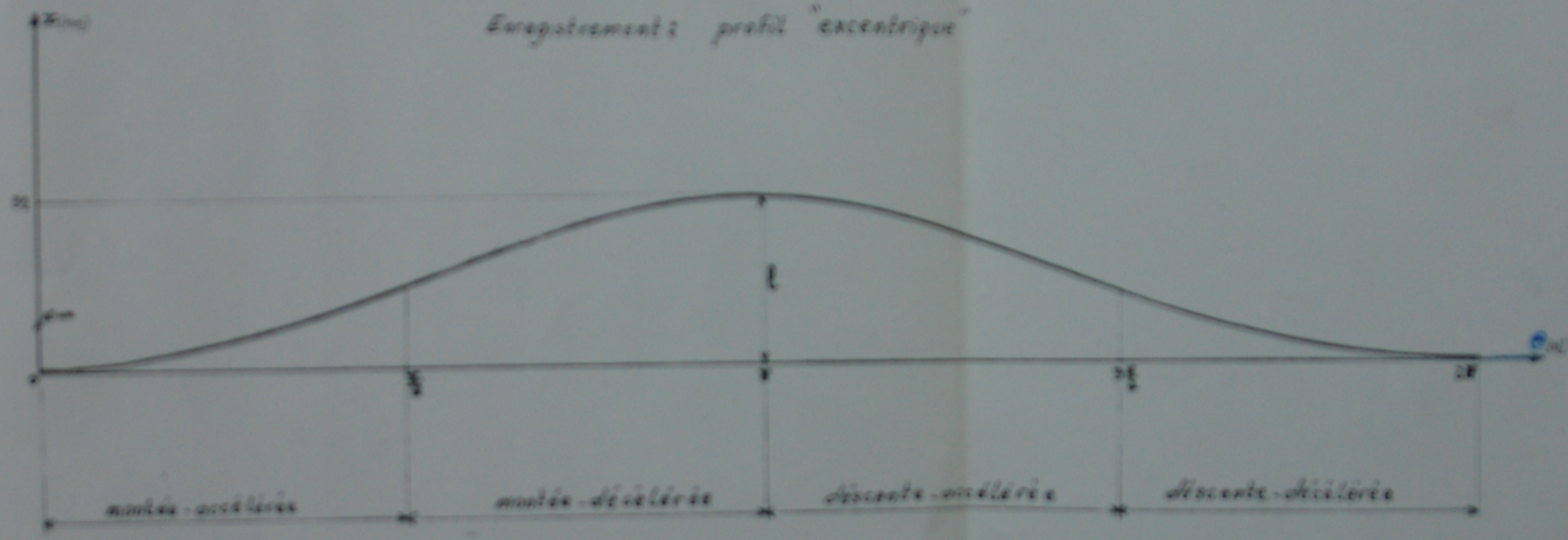
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique

Tol. Gen. $\pm 0,1$

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE			
Echelle	Masse		TIGE
1			
Etudiant	HOUACINE		Dép Mécanique
Promoteur	PIEROZAK		
			mi-dur
			BEC 104

Handwritten text in a box, possibly a stamp or administrative note.

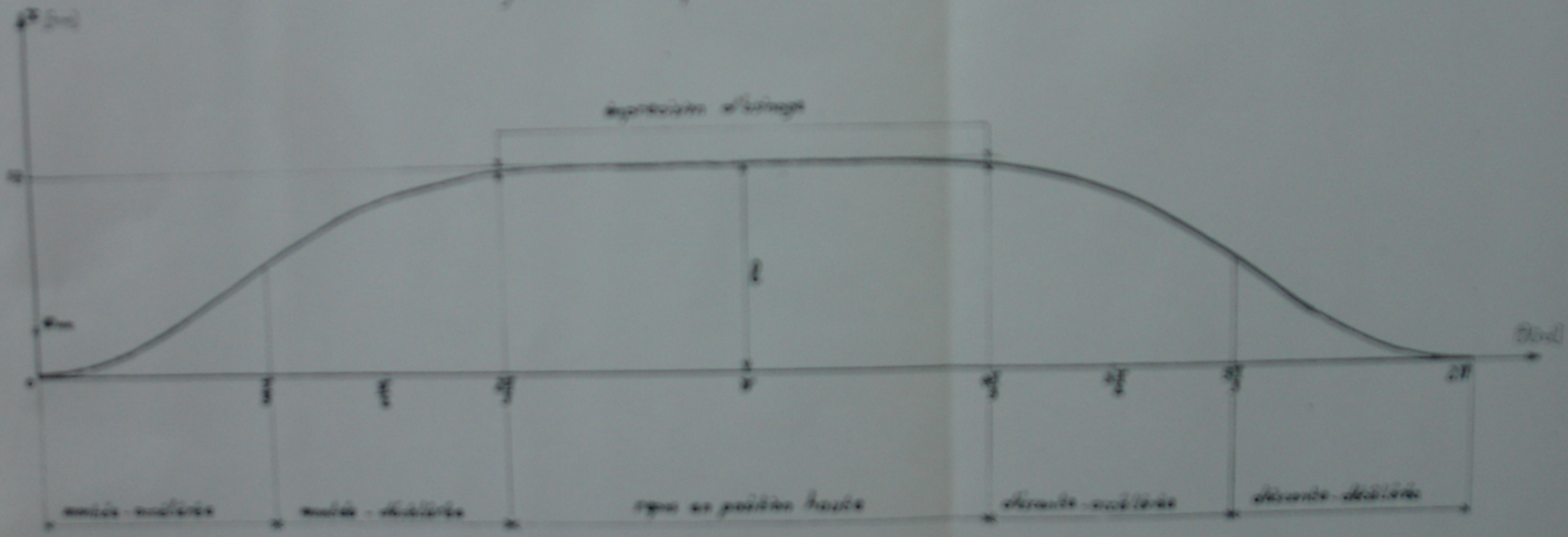
Enregistrement profil "excentrique"



PMOHA 86

P(1)

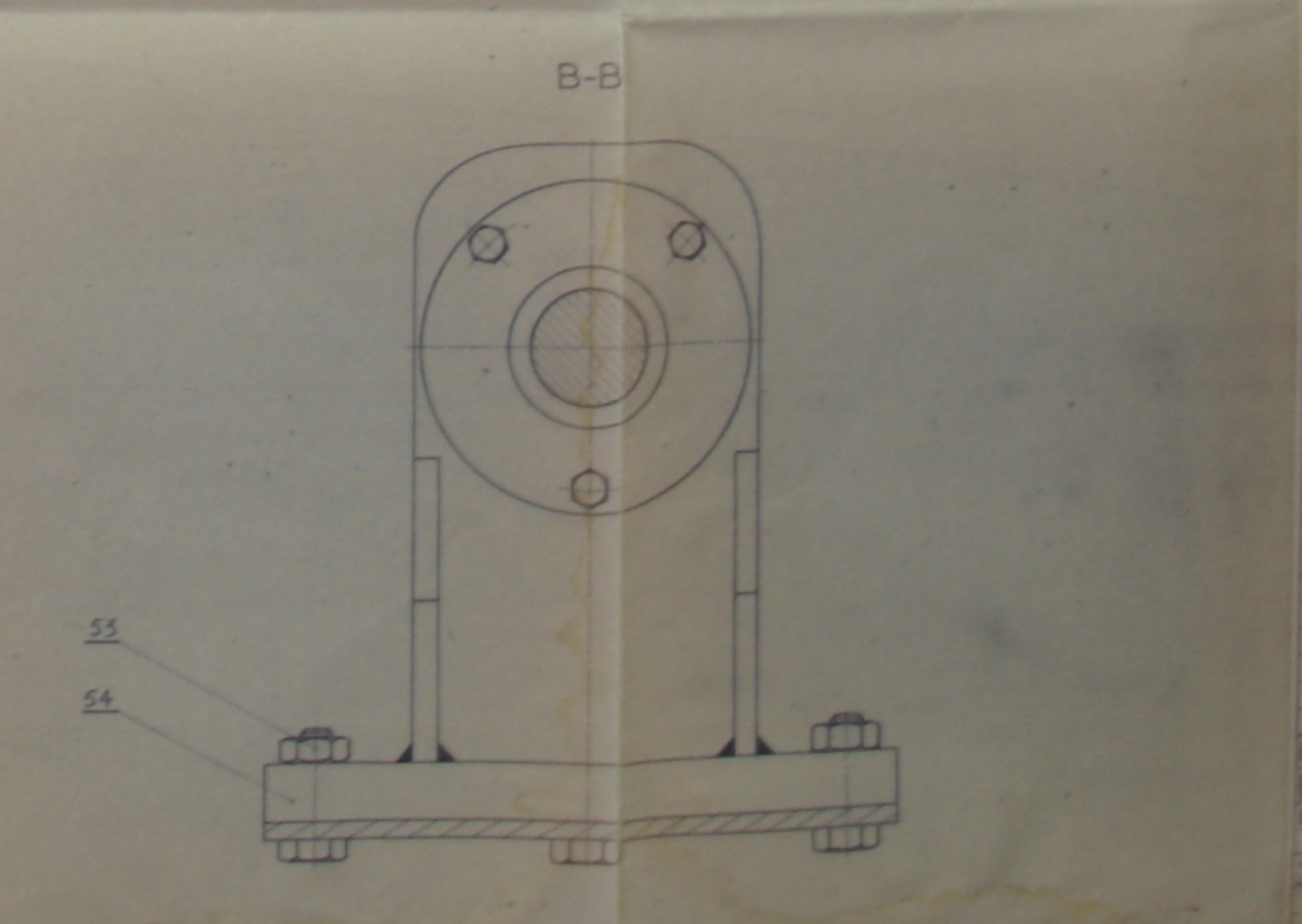
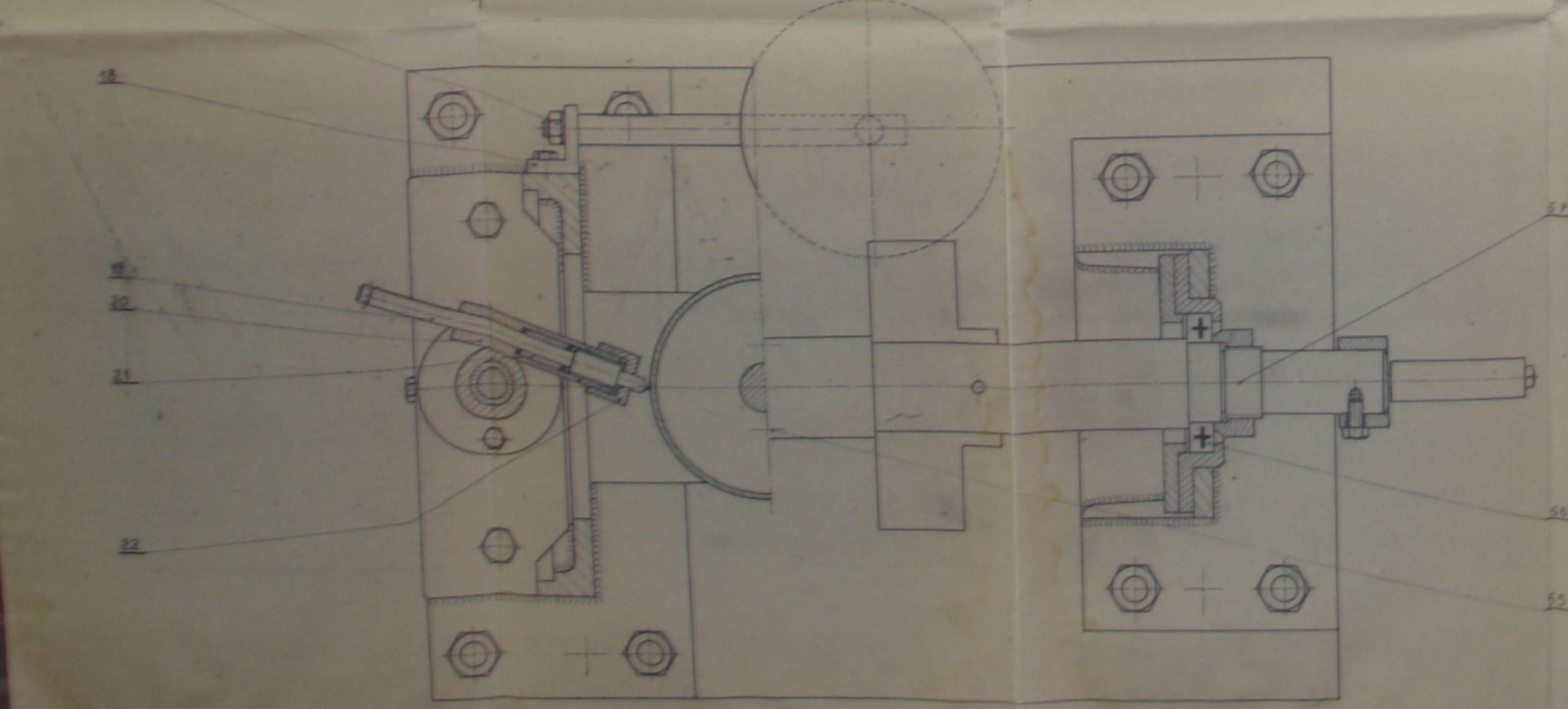
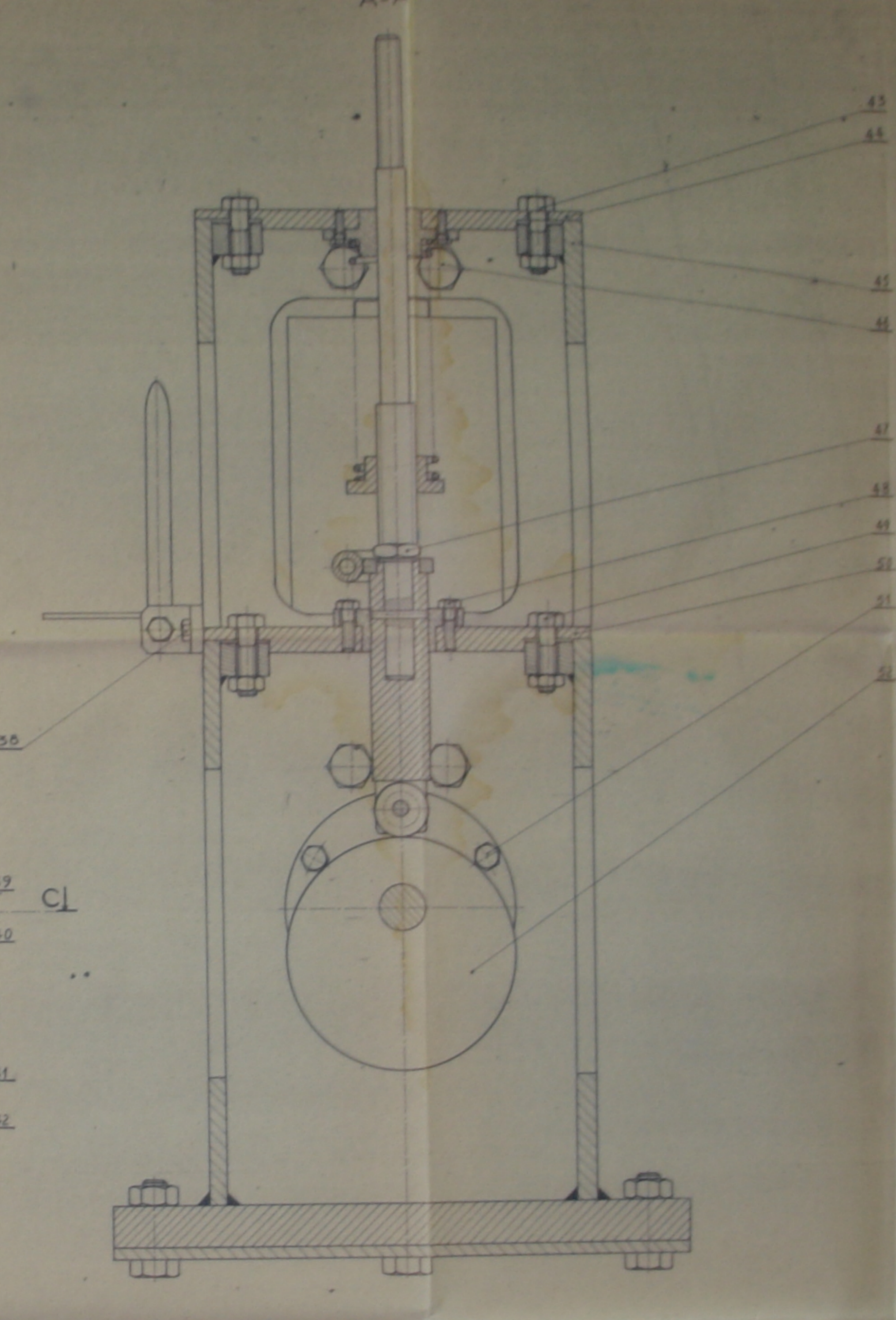
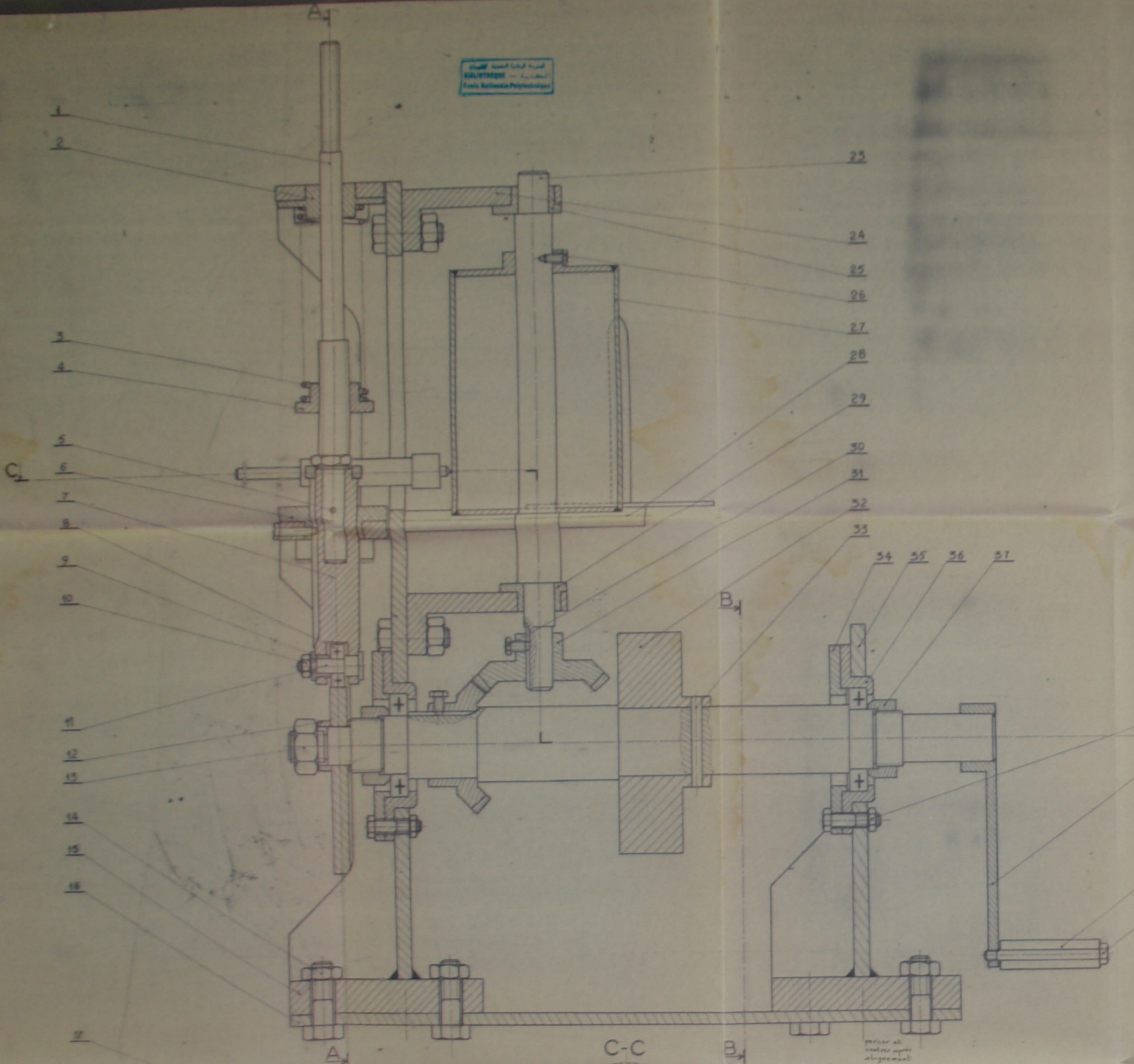
Enregistrement: profil "Coma Norm"



PMO 11 86

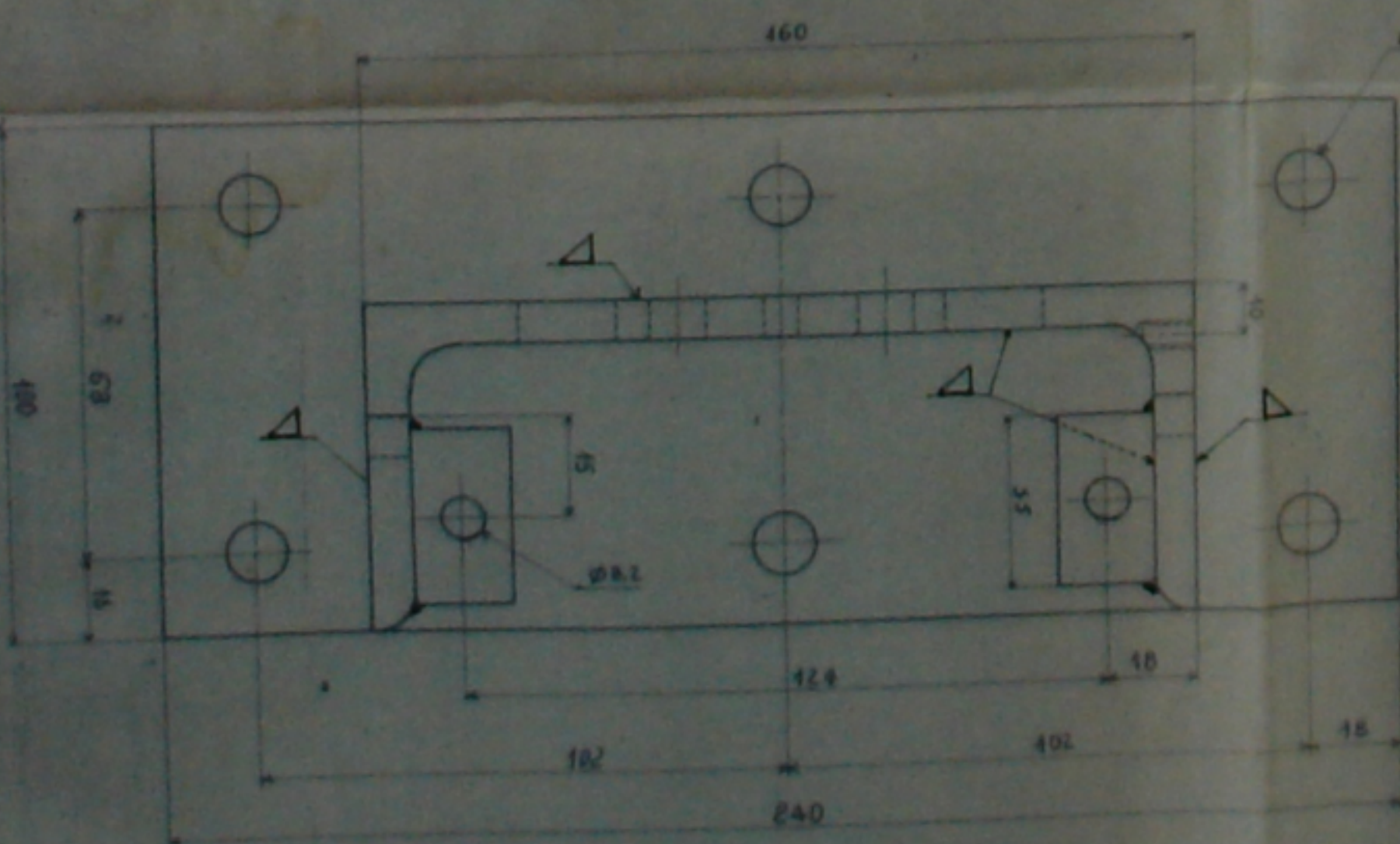
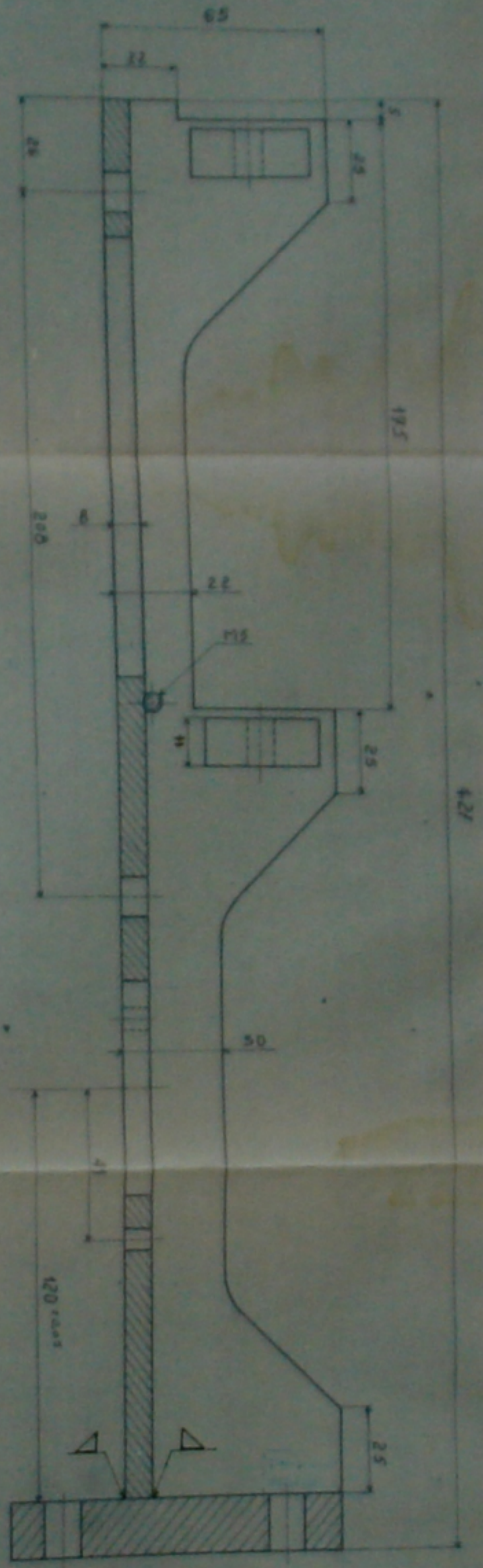
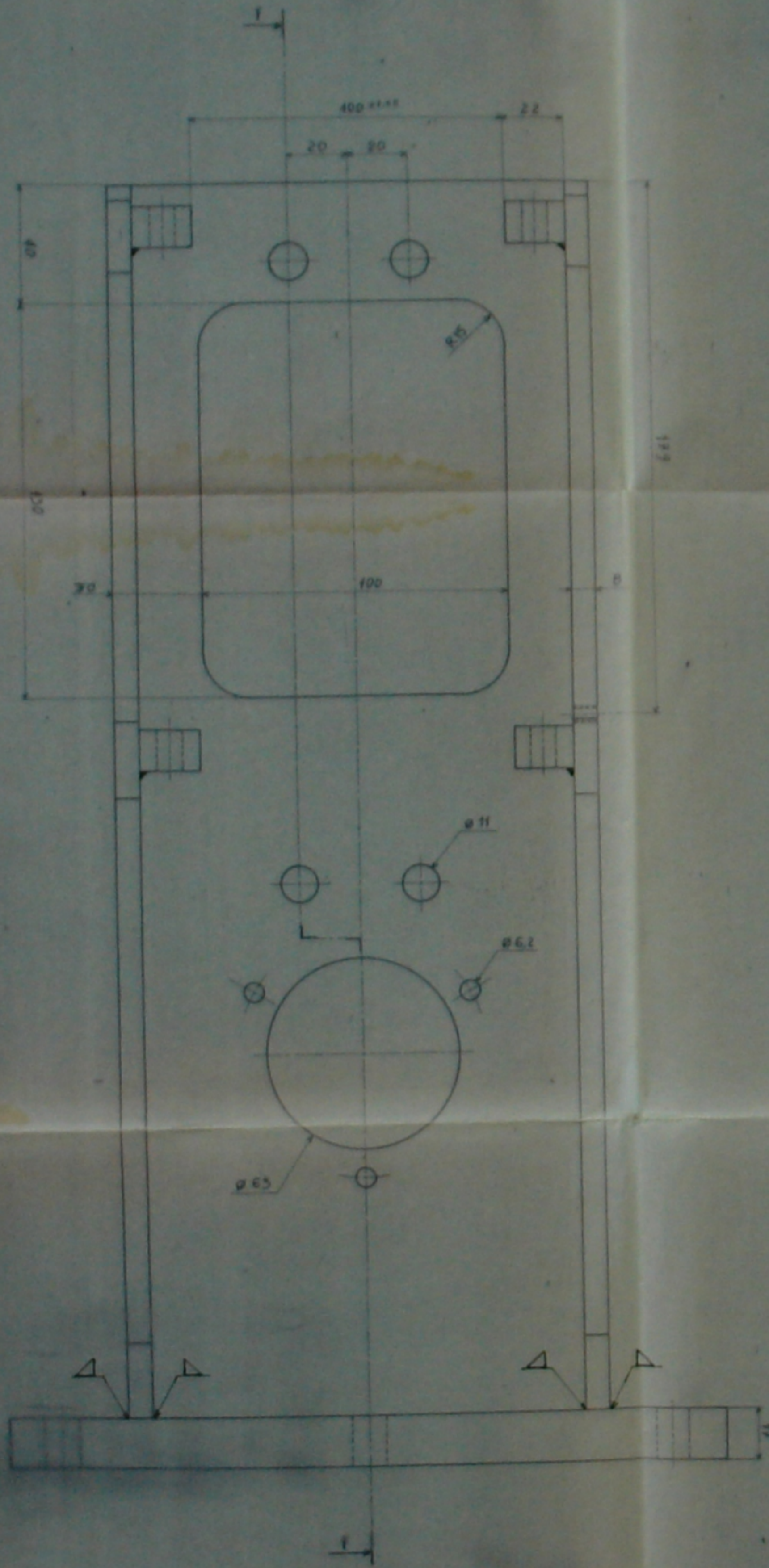
P(u)

الجامعة الوطنية للعلوم والتقنية
 100/100000
 Ecole Nationale Polytechnique



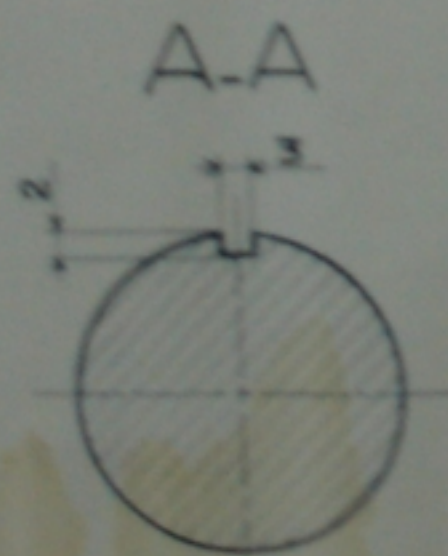
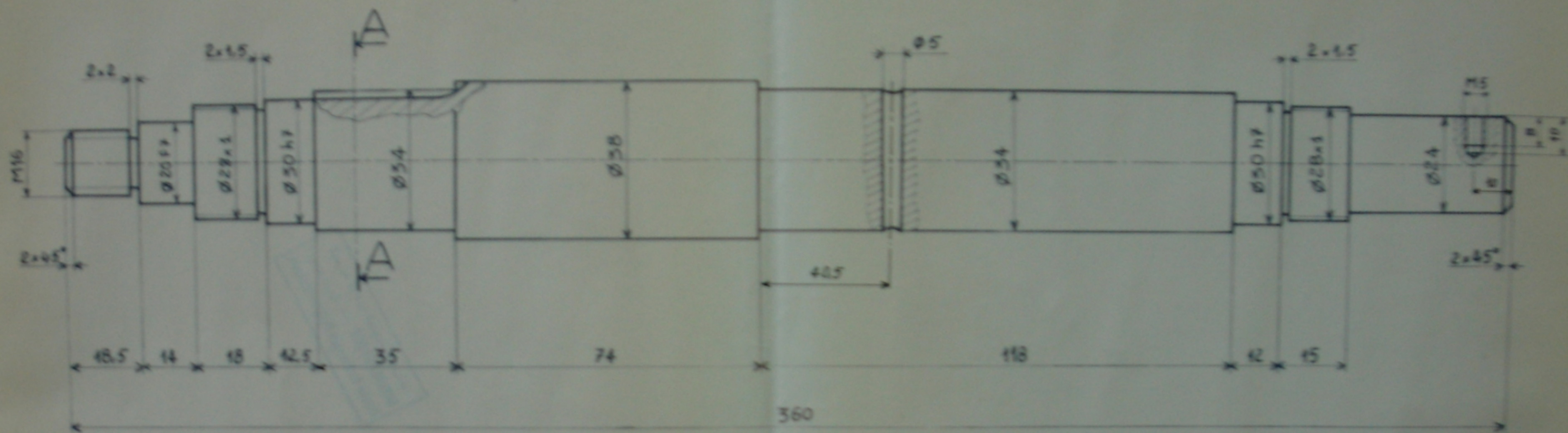
PMO 86
- 1 -

N°	DESIGNATION	Q.T.	UNITÉ	REMARQUES
59	BEC 107	1	no. de	
58	Assemblage des 59-60	1		
57	de 59-60	1		
56	de 59-60	1		
55	de 59-60	1		
54	de 59-60	1		
53	de 59-60	1		
52	de 59-60	1		
51	de 59-60	1		
50	de 59-60	1		
49	de 59-60	1		
48	de 59-60	1		
47	de 59-60	1		
46	de 59-60	1		
45	de 59-60	1		
44	de 59-60	1		
43	de 59-60	1		
42	de 59-60	1		
41	de 59-60	1		
40	de 59-60	1		
39	de 59-60	1		
38	de 59-60	1		
37	de 59-60	1		
36	de 59-60	1		
35	de 59-60	1		
34	de 59-60	1		
33	de 59-60	1		
32	de 59-60	1		
31	de 59-60	1		
30	de 59-60	1		
29	de 59-60	1		
28	de 59-60	1		
27	de 59-60	1		
26	de 59-60	1		
25	de 59-60	1		
24	de 59-60	1		
23	de 59-60	1		
22	de 59-60	1		
21	de 59-60	1		
20	de 59-60	1		
19	de 59-60	1		
18	de 59-60	1		
17	de 59-60	1		
16	de 59-60	1		
15	de 59-60	1		
14	de 59-60	1		
13	de 59-60	1		
12	de 59-60	1		
11	de 59-60	1		
10	de 59-60	1		
9	de 59-60	1		
8	de 59-60	1		
7	de 59-60	1		
6	de 59-60	1		
5	de 59-60	1		
4	de 59-60	1		
3	de 59-60	1		
2	de 59-60	1		
1	de 59-60	1		



PHOBA 86
 -2-

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
Echelle	Masse		CORPS DE	ENP
Etudiant	INDICATEUR		PALIER AVANT	Dép. Mécanique
Remarque	PERIZAS			
			Adx	BIC 101



المركز الوطني للتكنولوجيا
مكتبة - المكتبة
الوطنية - الوطنية
Ecole Nationale Polytechnique

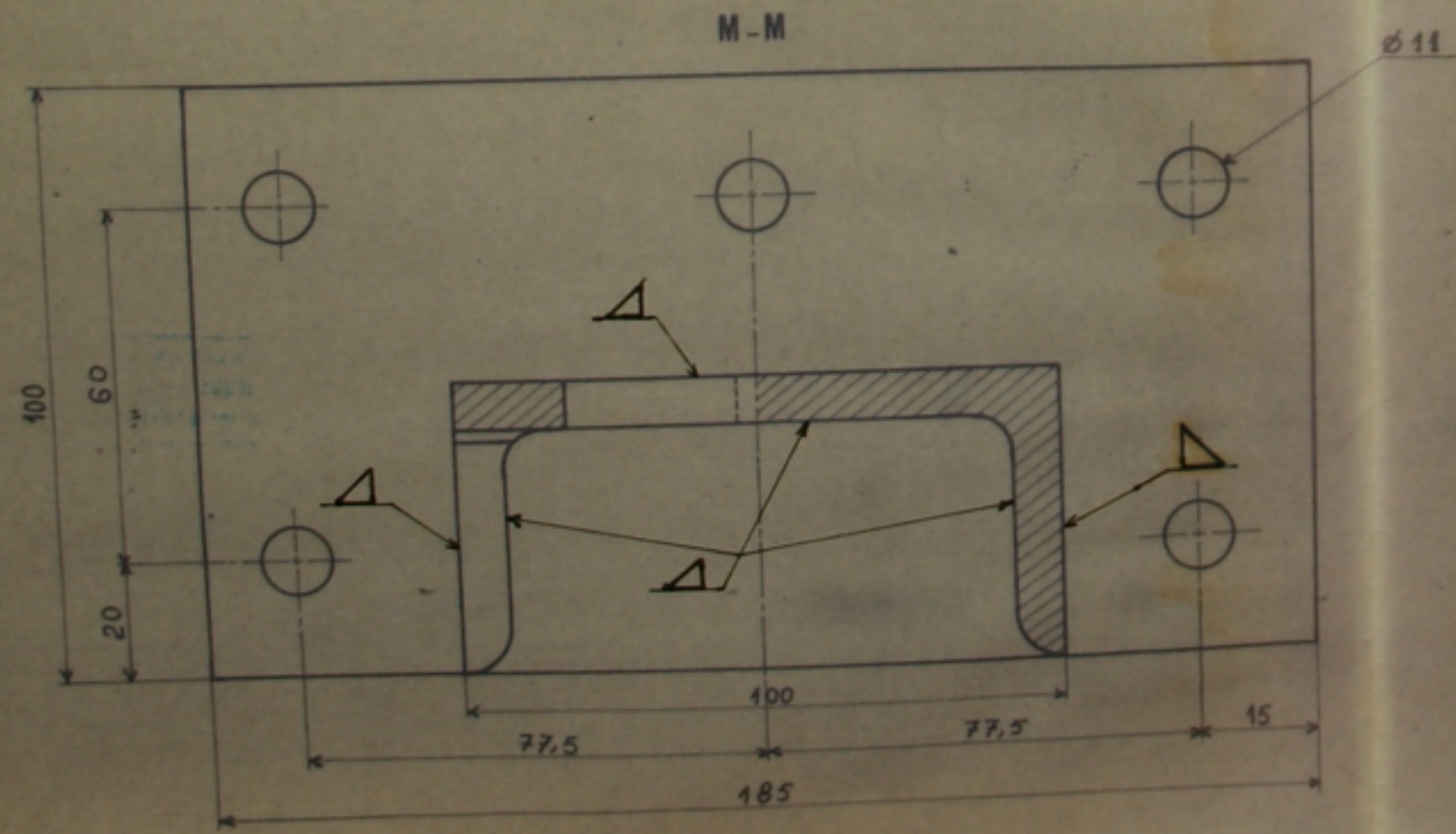
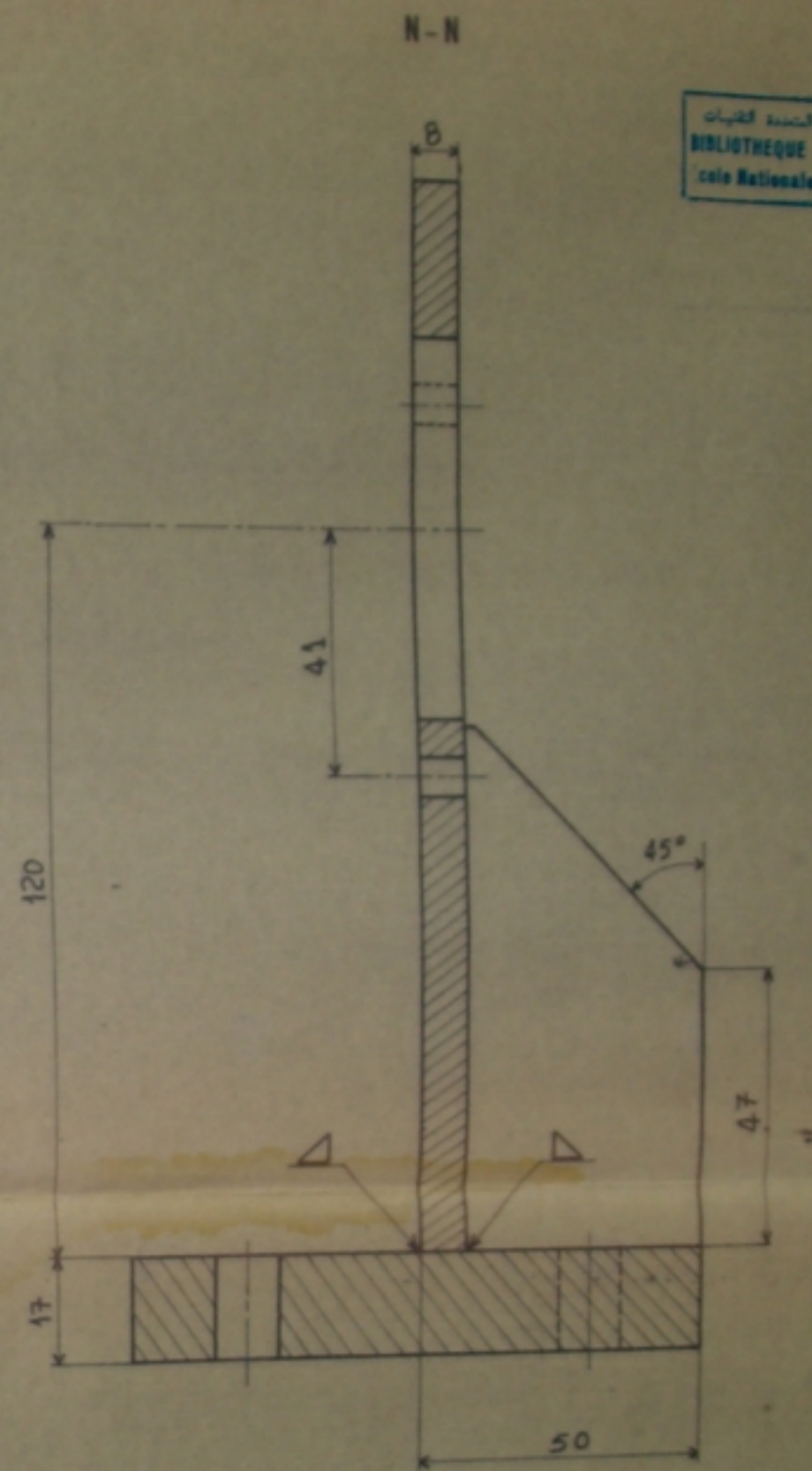
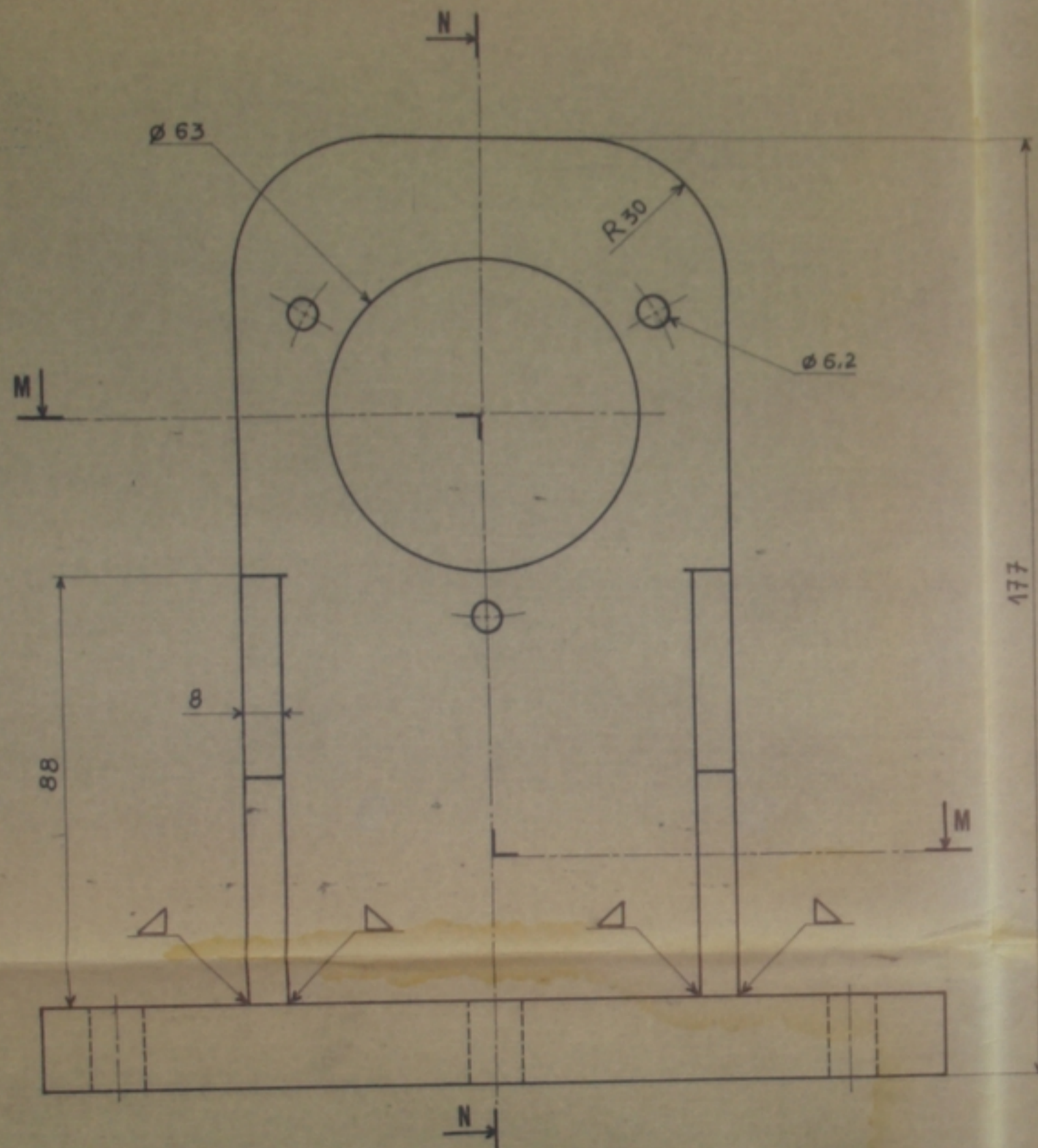
PMO9A 86

Tol. Gen ± 0.1

- 3 -

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Echelle	Masse		ARBRE MOTEUR	ENP
1				
Etudiant	KOUANE			dép. Mécanique
Promoteur	PIERDAN			
			mi - dur	BEC 102



المركز الوطني لتكنولوجيا
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

المركز الوطني لتكنولوجيا
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PM041 86
- 3 -

Tel. Gen 101

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE			
Echelle	Masse		CORPS DE PALIER
1			ENP
Etudiant	HBOACINE		ARRIERE
Promoteur	PIERZAK		Dép. Mécanique
			Adx
			BEC 103