

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

1^{er} ex

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
HOUARI BOUMEDIENNE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية

المكننة
DEPARTEMENT DE GENIE - MECANIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHÈQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

USINAGE D'UN PIGNON CONIQUE
AVEC PERÇAGE INTERDENTAIRE

avec 6 PLANCHES

Proposé et suivi par :
Mr I. MARINOV

Etudié par :
Mr C. OUISSYKA

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
HOUARI BOUMEDIENNE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

DEPARTEMENT DE GENIE - MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

**USINAGE D'UN PIGNON CONIQUE
AVEC PERÇAGE INTERDENTAIRE**

Proposé et suivi par :
Mr I. MARINOV

Etudié par :
Mr C. OUISSYKA

REMERCIEMENTS

Que Monsieur I. MARINOV trouve ici l'expression de ma reconnaissance ainsi que mes remerciements les plus sincères pour les précieux conseils qu'il n'a cessé de me prodiguer tout au long de cette étude.

Je tiens aussi à remercier sincèrement :

- Mme MADDI pour son aide matérielle et ses conseils si judicieux.

- Tous les professeurs qui ont contribué de près ou de loin à ma formation.

- Tous mes amis et tous ceux qui m'ont aidé d'une manière ou d'une autre, à mener cette humble étude à son terme.

oooCOCOOoo

1) E D I C A C E

Je dédie cette étude à :

- mon père ~~et~~ ma mère
- mes frères et ma soeur

Et en particulier à :

- Mr et Mme KIVOUVCU
- Mr et Mme MCHANI

TABLE DES MATIERES

Chapitre I : généralités	1
1.1 Introduction	
1.2 Historique	2
1.3 But de l'étude	3
Chapitre II : conditions préalables et méthodes préliminaires utilisés.	
2.1 Type de production	6
2.2 Mode d'obtention des pièces	6
2.3. Généralités sur la gamme d'usinage.	7
2.4 Méthodes utilisées pour la détermination des régimes de coupe	11
2.5 Méthodes utilisées pour la détermination des efforts et puissances de coupe ..	21
2.6 Temps d'exécution	25
2.7 Détermination de nombre de machine outil et calcul d'outillage	28
2.8 Eléments de construction de la Broche	29
2.9 Généralités sur les montages d'usinage	34
Chapitre III : gamme d'usinage et machines-outils utilisées	
3.1 Analyse de fabrication	35
3.2 Machine disponible à l'atelier	36
Chapitre IV : Calcul des régimes de coupe	40
Chapitre V : calcul des efforts et puissances de coupe .	49
Chapitre VI : calcul des temps de coupe	55
Chapitre VII : calcul du nombre de machine-outil et calcul d'outillage	60
Chapitre VIII : construction des montages d'usinage	65
Chapitre IX : calcul de la broche	70
Conclusion	74

ABREVIATIONS

- p : profondeur de passe en millimètres
- a : vitesse d'avance en millimètre par tour
- a_{maxi} : vitesse d'avance maximum
- a_{mini} : vitesse d'avance minimum
- a_t : vitesse d'avance choisit dans le tableau
- a_m : vitesse d'avance moyenne
- a_r : vitesse d'avance réelle disponible dans la machine
- V_{maxi} : vitesse maximum de coupe en mètre par minute
- V_{mini} : vitesse de coupe minimum
- V_r : vitesse de coupe réelle
- V_t : vitesse de coupe choisit dans le tableau.
- N_t : vitesse de rotation calculée
- N_r : vitesse de rotation réelle
- R_m : résistance à la rupture par extension en hectobars.
- P : puissance de coupe en Kilowatts.

1.1 Introduction

L'expression "usinage des pièces" désigne l'ensemble des méthodes et procédés qui permettent d'obtenir à partir des pièces brutes les pièces ayant les formes, les dimensions, les qualités définies par leur dessin.

Ces pièces viennent de la fonderie, des lamiroirs de la forge et des machines de formage à chaud ou à froid etc... Pour les usiner, il faut enlever de la matière. C'est l'opération d'ébauche ou écroûtage. Elle doit retirer la plus grande partie de la surépaisseur pour éliminer les défauts du brut initial ; inclusions de sable, couche durcie et le plus possible les défauts de forme et de position. Après les opérations d'ébauche, les opérations de demi-finition ont pour but d'atteindre les dimensions demandées dans la zone de tolérance permise ; de plus l'état de surface obtenue soit bon.

L'usinage des pièces est un secteur de l'activité industrielle en constante et rapide évolution.

Cette évolution se caractérise par des certains traits nets :

- obtention des pièces brutes aussi proches que possible des pièces finies de façon à diminuer l'usinage voir le supprimer ;

- la finition s'oriente de plus en plus vers les méthodes procédant par enlèvement léger de matière (meule) ou par déplacement des matières (roulage des filets de vis) ;

- le développement de l'automatisation et des techniques d'usinage modifiant profondément la machine outil : l'électro-érosion produit l'enlèvement du métal par arcs électriques, l'électrochimie obtient le même résultat par électrolyse.

Malgré cette évolution importante, la technique qui reste la plus répandue et permet le plus de diversité dans les formes à usiner reste l'enlèvement du métal à l'outil tranchant simple ou multiple et à la meule (tournage, rabotage, fraisage, perçage, rectification.

1.2 Historique

L'usinage a pris naissance dès la création de l'outil par l'homme.

Bien que l'origine de la race humaine conserve son secret, la paléotechnologie ne peut nous faire connaître les premiers hommes sans associer aux témoignages matériels de leur activité.

Les vestiges d'une époque remontant à cent mille ans avant notre ère montrent en effet que nos ancêtres usinaient des matières tels que le bois, les coquilles, la pierre et des arbres ensuite les métaux : le cuivre, le bronze pour fabriquer les outils. Les anciens ne connaissaient ni le fer ni l'acier mais il est cependant établi que l'antiquité utilisait des outils en bronze. L'outil a eu une importance primordiale dans la vie de l'homme. La preuve en est donnée par les classifications établies par l'étude de la préhistoire. Ces classifications s'étalent sur un nombre formidable d'années où l'on constate un stade nettement déterminé de la civilisation. Elles correspondent toujours à des améliorations d'outils.

Certains silex taillés, comportaient déjà à l'aube lointaine de la technique des angles qui se trouvaient être eux-mêmes les ancêtres des actuels angles de coupe et de dépouille.

A la période néolithique, les outils se perfectionnent; l'homme continue à les tailler par éclats mais y ajoute le polissage.

Avec des matières abrasives, l'homme affûte ses outils. La première page du catalogue des fabricants de meule Français, représente un Scyte affûtant un outil. Cette oeuvre se situe du IVe au Ve siècle avant l'ère chrétienne.

De nos jours, les progrès réalisés dans l'élaboration et l'affinage de l'acier ont permis de développer les techniques d'usinage.

1.3 But de l'étude.

L'étude préalable de tout procédé de fabrication est, en raison de la diversité des moyens mis en jeu pour l'organisation de la production d'une absolue nécessité.

En fabrication mécanique, il faut toujours en effet, une fois le produit défini dans sa nature et dans son état, respecter les formes et les dimensions avec un minimum de correction géométrique et de précision. Mais il faut aussi pour que la production soit rentable, mettre en jeu des procédés aussi économiques que possible tant du prix du matériel de production utilisé que de la rapidité d'exécution.

Les possibilités qu'offrent les outillages et les machines ainsi que les servitudes qui s'attachent à ces outillages et à ces machines qui seront l'objet de notre étude.

1.4 Généralités sur l'état fini de la pièce à usiner.

On se propose d'étudier l'usinage d'un pignon conique avec perçage interdendaire. Le rôle d'un pignon conique est de transmettre le mouvement, avec un autre organe appelé roue. L'un entraîne l'autre par l'action des dents successivement en contact.

Le matériau utilisé est l'acier 16 NC 6 : très résistant aux chocs ou aux efforts alternés. Il appartient au groupe des aciers de cementation d'emploi courant.

Quelque soit le mode d'usinage par enlèvement de copeau, le but final est d'obtenir un produit dont la qualité d'exécution sera caractérisée par une précision dimensionnelle des formes géométriques et un degré de propreté des surfaces lié directement à la rugosité. C'est ainsi que la surface du trançon diamètre 108 mm agissant comme une portée subit un frottement de glissement. Son écart moyen arithmétique R_a sera inférieur ou égal à 0,8 micron avec des conditions moyennes. La surface de travail de dent doit être propre; elle ne peut avoir des déchets, copeaux, des fissures de trempe et les autres défauts ne sont pas admis. L'écart moyen arithmétique R_a sera compris entre 2,5 et 1,25 microns.

L'alésage cannelé subit un frottement de glissement avec un déplacement relatif. $R_a = 0,8$ micron.

La surface du trançon diamètre 74 mm sera bien usiné avec un bon aspect. $R_a = 6,3$ microns.

Les autres surfaces ne présentant pas des exigences particulières, l'écart moyen arithmétique sera inférieur ou égal à 6,3 microns.

Les tolérances de position sont formulées comme suit :

- coaxialité des diamètres 74 et 160 mm dans les limites de 0, 090 mm.

- perpendicularité de la surface A par rapport à l'axe de la surface diamètre 74 mm ne doit pas dépasser 0,050 millimètres.

On exige pour les traitements thermiques :

- cementation : profondeur 1,0 - 1,4 mm

- trempé : dureté 58 - 62 RHc

La rugosité admise des surfaces est illustrée dans le tableau 1.

Les dimensions de la pièce sont illustrées dans le dessin de définition n° PR 1 .00 .00

Données de base.

Nombre de dent : $Z = 20$

Rapport d'engrenage: $i = 10/20$

Module : $m=8$ mm

Angle de pression : 20°

Largeur de denture : $b = 38$ mm

Hauteur de tête : 4,5 mm

Hauteur de pied : 10,67 mm

Angle de tête ; $2^\circ 33'$

Angle de pied : $6^\circ 48'$

Epaisseur de dent : 10,75 mm

TABLEAU 1. Etat de surface.

Surface	Fonction	Symbole	condition	Ex. d'ap- plication	Ra R	
					microns	
Avec déplace- ment relatif	Frottement de glissement	FG	Moyenne	Coussinets portés ar	0,8	2
	Frottement de roulement	FR	Difficile	Glissière de P.C. Galets de roulement chemin de roulement	10,4	1
			Moyenne		0,4	1
			Difficile		0,02	0,06

Source ; Guide du dessinateur industriel. A. CHEVALIER
Hachette technique 1980.

TABLEAU 2 : type de production en fonction du poids des pièces.

Type de production	Programme annuel		
	Pièces légères ≤ 20 kg	Pièces moyennes de 20 à 500 kg	Pièces lourdes de 500 à 1000 kg
unitaire	jusqu'à 100	jusqu'à 10	jusqu'à 5
En série			
- petite	100 ÷ 500	10 ÷ 200	5 ÷ 100
- moyenne	500 ÷ 5000	200 ÷ 500	100 ÷ 300
- grande	5000 ÷ 50000	500 ÷ 5000	300 ÷ 1000
de masse	> 50000	> 5000	> 1000

Source : thèse de Mr BISSEKRI M. Exécution d'un corps de
robinet à brides perpendiculaires. ENFA.

CHAPITRE II CONDITIONS PREALABLES ET METHODES PRELIMINAIRES UTILISEES

2.1 Type de production

Le nombre de pièce est de 3 600 pignons coniques par an. Nous avons donc une production en moyenne série - (Tableau 2). Nous exécuterons cette production en un mois. Il est nécessaire de prévoir des montages d'usinage afin d'optimiser les temps d'exécution. Les machines universelles seront suffisantes pour l'exécution de la production.

Le lot de pièces est à 163.

2.2 Mode d'obtention des pièces.

Le pignon conique sera obtenu par forgeage.

Le forgeage recouvre l'ensemble des opérations qui permettent de produire des pièces en exploitant la déformation plastique du métal soit à chaud, soit à froid.

Le morceau de métal appelé lopin de volume calculé est façonné par chocs ou par pression.

Selon les outillages employés nous distinguerons :

- Le forgeage manuel : destiné à la réalisation des pièces unitaires. Il permet de transformer par déformations successives le lopin pour obtenir la forme désirée. La déformation du métal est obtenue par frappe au marteau, au marteau-pilon, à la presse. La précision géométrique et dimensionnelle du produit dépend de l'habileté de l'opérateur.

- Le matriçage et estampage : employés pour les fabrications de série, le lopin de départ est comprimé entre deux matrices de manière à remplir les empreintes appelées gravures. Suivant la complexité de la pièce, la déformation est réalisée sur une ou plusieurs passes. La mise en forme est réalisée essentiellement sur les machines travaillant par chocs, marteaux-pilons, presses verticales, machine à forger horizontales.

Etant donné que nous avons un type de production en moyenne série, l'obtention de la pièce se fera par matriçage à chaud à une température entre 1050 - 850°C.

Avant usinage les pièces forgées subiront un recuit de normalisation.

Il sera suivi d'un grenailage (shot peening) qui consiste à bombarder la surface intéressée par un violent jet de grenailage métallique, celle-ci étant formée de billes.

Ce procédé supprime les aspérités superficielles et améliore l'état de surface.

Voir le dessin de la pièce brute ci-contre.

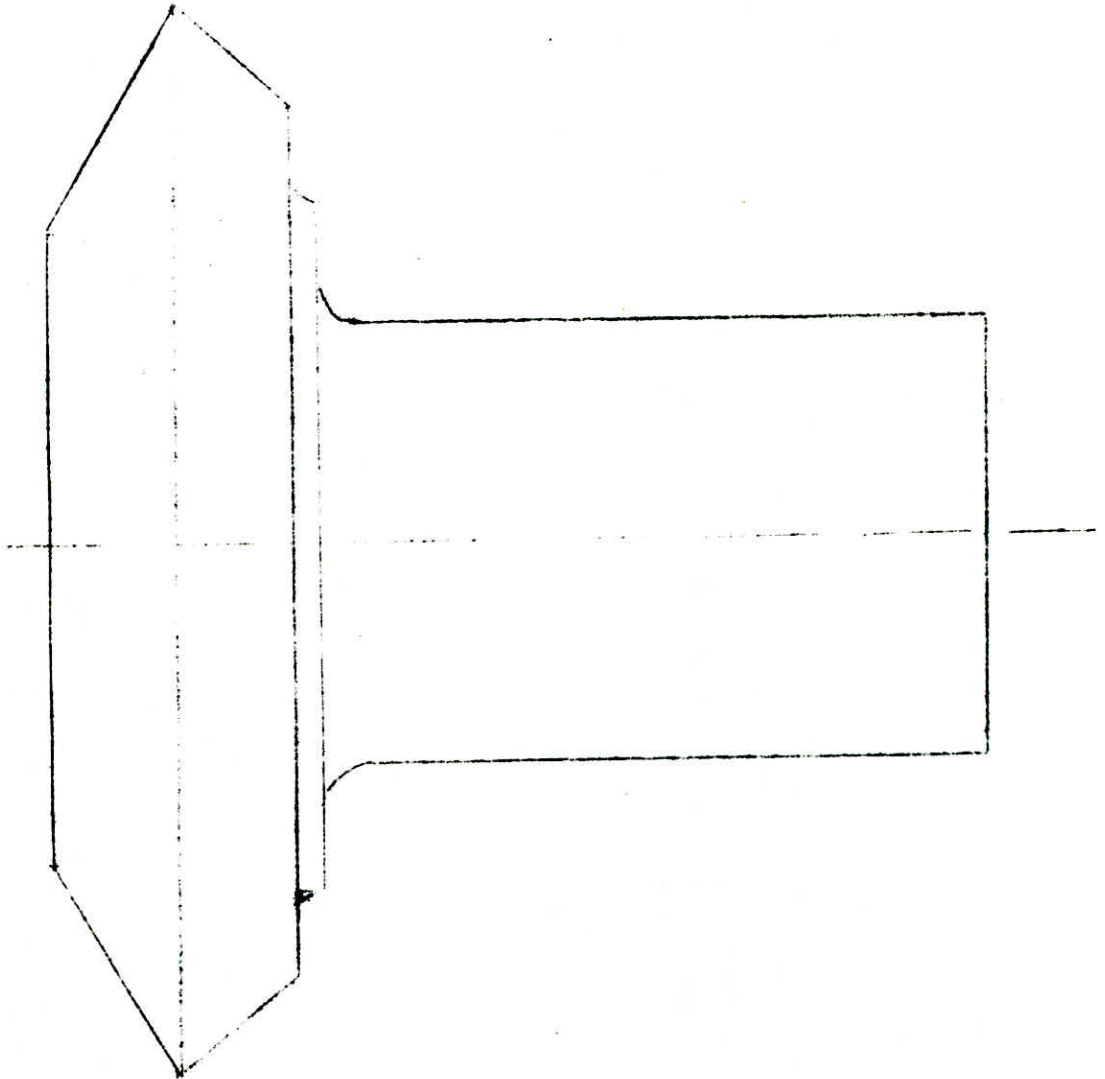
2.3 Généralités sur la gamme d'usinage

Pour obtenir une production de qualité au prix de revient optimal, il faut la préparer. En aucun cas, l'ouvrier qui exécute le travail ne doit tâtonner pour aboutir à un moyen de fabrication qu'il juge bon, mais pour lequel il n'a pas mis en jeu tous les éléments dont l'atelier peut disposer. Il faut laisser à l'ouvrier seulement la charge de conduire sa machine avec le maximum d'efficacité et le libérer de toutes les tâches annexes auxquelles il ne s'est pas préparé.

Les instructions qu'il recevra, élaborées au bureau des méthodes, constituent la gamme d'usinage document d'autant plus important et nécessaire que la pièce est complexe et que la production est importante.

La gamme d'usinage est l'ordre d'après lequel la fabrication sera conduite. L'établissement de la gamme d'usinage conduit à la résolution d'un problème technique sans rien laisser au hasard et cela suppose que toutes les données qui permettent d'en trouver la meilleure solution sont connues.

Schéma de la pièce brute. Surépaisseur sur la longueur ou le diamètre est de 2,5 mm.



2.3.1 Terminologie

Avant de passer à notre étude, nous rappellerons ci-après quelques termes techniques d'usage courant.

- Surfaces de référence S.R. : surfaces liées à la fonction de la pièce et à partir desquelles toutes les autres surfaces seront façonnées.

- Opérations : usinage d'une surface isolée ou de surfaces associées

- Phase : ensemble des opérations réalisées sur une même machine avec ou sans démontage intermédiaire de la pièce.

Sous-phase : partie d'une phase réalisée sans démontage de la pièce. Il y a autant de sous-phases qu'il y a de mises en place de la pièce.

2.3.2 Traitements thermiques

Le traitement thermique a une importance toute spéciale. En effet, dans un engrenage, on peut distinguer les qualités géométriques et les qualités mécaniques. Le traitement thermique appliqué aux engrenages améliore les caractéristiques physiques du métal constituant l'engrenage. Ces caractéristiques sont : la limite élastique, la résilience et la résistance à l'usure.

La première opération est la cémentation.

Elle permet d'obtenir des pièces résilientes qui soient en même temps très dures en surface.

Les pièces seront chauffées au milieu d'un ciment carburé qui permet un enrichissement en carbone de la périphérie de la pièce traitée.

La couche cémentée est caractérisée par son épaisseur (qui doit être uniforme sur toute la surface et dont la valeur dépend du temps de contact dans le ciment) et par sa composition.

Il y a plusieurs méthodes de cémentation à savoir :

- Cémentation solide en caisse

Cette méthode de cémentation est la plus classique mais elle est de moins en moins utilisée.

Les ciments solides sont constitués en principe par un mélange de charbon de bois (60%) et de carbonate de baryum (40%). Les pièces sont enfermées dans des caisses aux environs de 900° C dans les fours de cémentation. La vitesse de cémentation est assez lente : environ 0,1 à 1 heure.

La cémentation par ciment solide est certainement le mode de traitement thermique entraînant le maximum de déformation, du fait de la température élevée du chauffage et du temps important de ce chauffage.

- Cémentation liquide

Les ciments liquides sont constitués par un mélange de sels : chlorure et carbonate de baryum, cyanure et chlorure de sodium. A la température d'utilisation, 900°C environs, ces sels deviennent très fluides et donnent une cémentation plus rapide ; environ 1,5 mm en 4 heures seulement. Les déformations résultantes sont en général inférieures à celles qui interviennent avec la cémentation solide.

- Cémentation gazeuse

Elle est certainement celle qui tend à se développer le plus pour les engrenages. Elle est la plus rapide la moins onéreuse et elle produit le moins de déformations.

La pièce est chauffée dans un four approprié dans lequel circule le gaz carburant. Ce gaz carburant consiste soit en un gaz endothermique, soit en un gaz exothermique, produit à partir du gaz de ville ou de dérivés du pétrole auxquels est ajouté un hydrocarbure gazeux tel que le propane par exemple.

L'opération de cémentation est suivie d'une trempe.

La trempe consiste essentiellement à un chauffage de l'acier à une température assez élevée suivi d'un refroidissement rapide et a pour effet d'augmenter considérablement la dureté ainsi que la résistance à la rupture et l'élasticité du métal.

Les procédés de trempe utilisés pour les engrenages sont :

- La trempe au chalumeau qui consiste à balayer avec le dard du chalumeau la surface à traiter de façon à porter à la température de trempe, puis à éloigner le chalumeau pour que la partie chauffée puisse se refroidir soit au contact des couches sous-jacentes restées froides, soit par immersion dans l'huile ou dans l'eau.

- La trempe par induction qui consiste à chauffer les pièces par des courants d'induction à haute ou moyenne fréquence qui agissent superficiellement. Les pièces ne sont donc chauffées qu'en surface. Refroidissement suivant la nature de l'acier à l'eau, à l'huile à l'air ou simplement par l'effet de la conductibilité des couches sous-jacentes. La profondeur de trempe varie en raison inverse de la fréquence du courant. Les pièces minces nécessitent des fréquences élevées. Cette profondeur de trempe varie entre 1,5 mm avec une fréquence de 3 000 Hz et 0,25 mm avec une fréquence de 1 MHz.

2.4 Méthodes utilisées pour la détermination des régimes de coupe.

a) La profondeur de passe.

Elle est déterminée à partir de l'ébauche de la pièce, connaissant les différentes surépaisseurs à usiner et les dimensions finies à obtenir. (Voir tableaux 3, 4 et 5) pages n° 13 et 14).

b) Les vitesses d'avances

Elles sont relevées dans les tableaux donnés par certains conducteurs. Dans le cas du tournage, nous avons utilisé les tableaux du C. E. T. I. M. (Centre technique des industries mécaniques) tirés dans le manuel de " Fabrications mécaniques. Technologie par R. BUTIN et M. PINOT. Ed. FOUCHER) Pour les autres opérations d'usinage nous avons utilisé d'autres recueils (voir bibliographie).

Généralement, les tableaux donnent une vitesse d'avance minimum et une vitesse d'avance maximum. Nous choisissons la vitesse d'avance convenable pour atteindre des conditions optimales.

La vitesse d'avance réelle notée a_r sera celle disponible sur la machine-outil telle que a_r soit inférieure à a_t où a_t est la vitesse d'avance tirée dans le tableau utilisé.

c) Vitesse de coupe.

La détermination de la vitesse de coupe est identique à celle de la vitesse d'avance. Cependant, il est utile de corriger cette vitesse de coupe par des coefficients de correction relatifs à :

- la nature de la matière à usiner (K_{Mv}) tableau n°9 page 16)
- au travail d'ébauche (K_{cv}) (tableau 10 page 16)
- la durée de l'outil acceptée entre deux affûtages successifs (K_{Dv}) tableau 6 page 16.
- au tournage de surfaces intérieures (alésage) K_{V1} (tableau 7 page 15)
- au dressage de surfaces planes (K_{V2}) (tableau 11 page 17)

d) Vitesse de rotation

Elle est calculée par la formule ; $N_t = \frac{10^3 Vc}{D}$

où Vc est la vitesse de coupe corrigée en m/mn.

D le diamètre à usiner en mm.

La vitesse de rotation réelle notée N_r sera celle disponible sur la machine-outil et telle que N_r inférieure ou égale à N_t . Connaissant N_r , on calculera la vitesse de coupe réelle notée V d'après la formule :

$$V = \frac{\pi D N}{1000}$$

.../...

TABLEAU 3 : Surépaisseurs "normales" d'usinage en mm (forgeage)
 Source : Aide-mémoire Dunod. Fabrication en construction mécanique.

Epaisseur e ou longueur l ou diamètre de la pièce	Moins de						Au delà de 500
	30 à 60	60 à 120	120+250	250+500			
Surépaisseur sur chaque face ou sur le rayon	1	1,5	2	2,5	3	4	

TABLEAU 4 : Surépaisseur moyenne à laissée au diamètre sur l'alésoir.

Source : thèse de Mr BISSEKRI M^d. "Exécution d'un corps de robinet à brides perpendiculaires.

Diamètre de l'alésoir en mm	Surépaisseur laissée au diamètre en mm	
	Acier	Fonte
0 + 20	0,05	0,1
20 + 40	0,05 + 0,1	0,1 + 0,2
40 + 60	0,1 + 0,15	0,2 + 0,3
60 + 80	0,15 + 0,20	0,3 + 0,4
80 + 100	0,20 + 0,30	0,4 + 0,6

TAB. LEAU 5 : Chariotage avec outil en carbure des aciers non alliés, faiblement alliés

Source: Centre technique des industries mécaniques - tiré dans "Fabrications mécaniques - Technologie - R. Butin et M. PINOT - Ed. FOUCHER -

Acier	Résistance à la rupture (kg/cm ²)	Conditions de Coupe			Outil à carbure				Tour Puissance Kw
		Prof. de Passe mm	Avance mm/rev	V. de Coupe m/min Durée 30-45m	Numéro Iso	Angle de coupe degrés	Rayon de sa craquelure (mm)	Section de l'outil (mm x mm)	
Recuit	≤ 40	0,2 à 0,4	0,1 à 0,2	200 à 270	P20		0,2	12x12	≤ 3
		1 à 4	0,2 à 0,4	230 à 180	P30		0,8	16x16	3 à 20
		4 à 8	0,4 à 0,8	180 à 130	P40		1,6	25x25	20 à 25
Recuit	50 à 60	0,2 à 0,4	0,1 à 0,2	200 à 250	P10		0,2	12x12	≤ 3
		1 à 4	0,2 à 0,4	250 à 160	P20	14	0,8	16x16	3 à 20
		4 à 8	0,4 à 0,8	160 à 120	P30	14	1,6	25x25	20 à 30
Recuit	60 à 75	0,2 à 0,4	0,1 à 0,2	200 à 110	P10	14	0,2	12x12	≤ 3
		1 à 4	0,2 à 0,4	190 à 130	P20	6	0,8	16x16	3 à 15
		4 à 8	0,4 à 0,8	130 à 90	P30	6	1,6	25x25	15 à 30
Tempé Revenu	75 à 90	0,2 à 0,4	0,1 à 0,2	180 à 170	P10	12	0,2	12x12	≤ 3
		1 à 4	0,2 à 0,4	170 à 120	P20	6	0,8	16x16	3 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	120 à 80	P30	12	1,6	25x25	10 à 30
Tempé Revenu	90 à 110	0,2 à 0,4	0,1 à 0,2	170 à 160	P10	9	0,2	12x12	≤ 3
		1 à 4	0,2 à 0,4	160 à 115	P10	6	0,8	16x16	3 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	115 à 75	P20	6	1,6	25x25	10 à 30
Tempé recuit	110 à 130	0,2 à 0,4	0,1 à 0,2	160 à 150	P04	0	0,2	12x12	≤ 2
		1 à 4	0,2 à 0,4	150 à 100	P10	6	0,8	16x16	3 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	100 à 75	P20	6	1,6	25x25	10 à 20
Tempé recuit	130 à 145	0,2 à 0,4	0,1 à 0,2	110 à 105	P04	0	0,2	12x12	≤ 2
		1 à 4	0,2 à 0,4	105 à 75	P10	0	0,8	16x16	3 à 8
		4 à 8	0,4 à 0,8	75 à 50	P20	6	1,6	25x25	8 à 20

TABLEAU 6 : Valeurs optimales de l'angle de direction $\hat{\epsilon}$.

Conditions de coupe	$\hat{\epsilon}$ (degré)
Tournage de l'acier dans la condition Système MPO très rigide.	10 + 30
Tournage de l'acier dans la condition Système LPC rigide	45
Tournage de l'acier dans la condition Système MPO moins rigide	60

Source : Théorie et pratique des outils de coupe. E. BLANPAIN Eyrolles 1955.

TABLEAU 7 : Coefficient de correction K_{V1} de la vitesse de coupe lors d'alésage avec un outil en carbures métalliques de l'acier.

Diamètre du trou en mm	50	75	150	250	≥ 250
K_{V1}	0,6	0,75	0,8	0,9	1,0

Source : thèse de Mr MAHDI. "Atelier de fabrication d'une broche de tour" Janvier 1979.

.../...

TABEAU 8 : coefficient de correction de la vitesse de coupe K_{DV} en fonction de la durée de l'outil en carbure métallique lors du tournage de l'acier.

Durée en mn	30	45	60	90	120	180	240
K_{DV}	1,25	1,15	1,06	1,0	0,92	0,87	0,80

TABEAU 9 : coefficient de correction de la vitesse de coupe K_{MV} en fonction de la matière à usiner au moyen des outils en carbures métalliques.

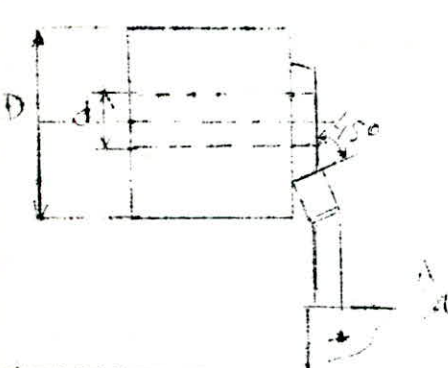
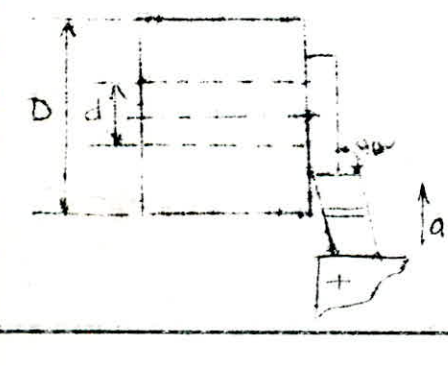
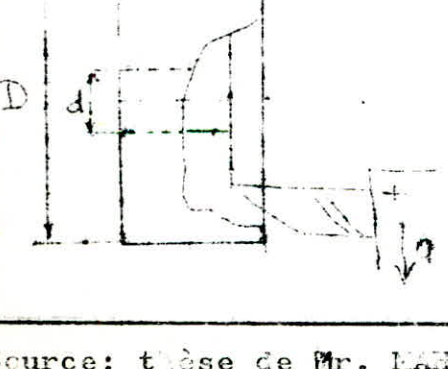
Aciers au carbone et aciers alliés						
R (Kgf/mm ²)	40+49	50+59	60+69	70+79	80+89	90+100
K_{MV}	1,44	1,18	1,0	0,87	0,76	0,65

TABEAU 10 : coefficient de correction de la vitesse de coupe K_{EV} en fonction de la qualité de surface d'ébauche, outil en carbures métalliques.

USINAGE DE L'ACIER					
Produit laminé		Ebauche matricée ou forgée		Ebauche moulée	
A froid	A chaud	Sans calamine et écrouissage	Avec	Avec croûte	Sans
1,1	1,0	0,95	0,8	0,9	0,7

Source : thèse de Mr MANDI "Atelier de fabrication d'une broche de tour" Janvier 1979.

TABEAU 11 : coefficient de correction K_{v2} de la vitesse de coupe lors du tournage transversal de l'acier au moyen des outils de carbures métalliques.

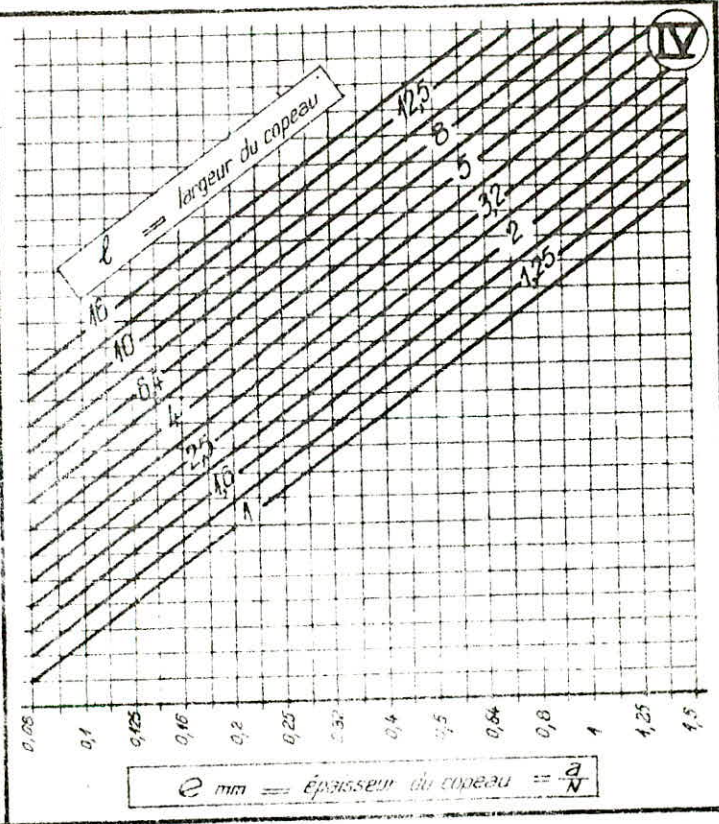
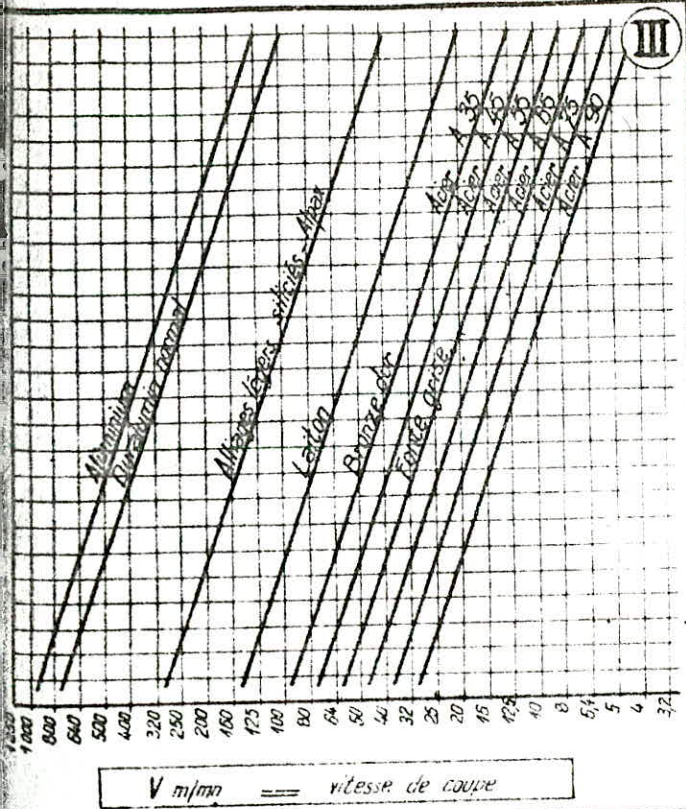
CROQUIS	Rapport d/D jusqu'à		
	0,4	0,7	1,0
	Coefficient K_{v2}		
	1,14	1,10	0,95
	1,00	0,97	0,85
	1,42	1,22	1,15

Source: thèse de Mr. KANDI.

TABLEAU 12 : vitesse de coupe et avance pour le perçage de diverses matières.

Source : Perçage-Alésage-Pointage-Taraudage
Ed. Eyrolles 1960.

Matière perçée	Vitesse de coupe en m/mm				Avances moyennes en mm/tr diamètre du forêt en mm
	Forêt acier fondu		Forêt en acier rapide		
	à sec	lubrifié	à sec	lubrifié	
Fonte douce (grise)	7	9	14	18	2,5%D
Fonte dure	4	8	7	15	1
Acier R=40kgf/mm ²	6	13	15	25	2
R=41+60	6	11	12	21	1,5
R=61+80	4	8	7	15	1
R=81+100	-	5	7	15	1
R=101+130	-	4	5	7	0,5
Acier moulé	5	9	10	10	1,5
Acier à 12% de Mn	-	-	1,5	2	1
Aluminium Cuivre	25	40	50	80	3
Laiton	16	24	32	48	3
Bronze ordinaire	13	20	26	40	3
Bronze dure	9	14	18	20	1,5
Marbre ardoise	-	-	3	-	1,5
Ebonite Bakélite	-	-	6	-	à main



CORRECTIONS

<p>a/ Constitution de l'outil</p> <p>b/ Refroidissement</p> <p>c/ Pièce non écroîtée</p>	}	ac. rapide supérieur	augmenter	de	$1\frac{1}{2}$ division
		lames en stellite	—	de	3 —
		lames en carbures durs	—	de	5 —
		moyen	augmenter	de	1 division
		intense	—	de	$1\frac{1}{2}$ —
			diminuer	de	1 division

TABLEAU 14 : vitesses adoptées pour différents métaux pour le brochage.

Source : théorie et pratique des outils de coupe. Edouard BLANPAIN. Eyrolles 1955.

MATIERE	VITESSE EN m/mn
Acier 50 + 70 kgf	6 + 8
Acier 70 + 80 kgf	3 + 6
Acier allié à haute résistance	1 + 2
Fonte	6 + 8
Laiton, bronze	8 + 10

2.5 Méthodes utilisées pour la détermination des efforts et puissances de coupe

Il est nécessaire d'évaluer les efforts de coupe afin de prévoir :

- l'emplacement des butées
- les dispositifs de fixation
- l'importance des déformations qui doivent rester acceptables.

L'évaluation de la puissance de coupe permet de déduire la puissance absorbée qui permettra de la comparer avec la puissance de la machine-outil utilisée.

2.5.1. Présentation des formules.

F_c : force de coupe en daN

F_p : force de pénétration radiale en daN

F_a : force de pénétration axiale en daN

a : avance par tour en mm

p : profondeur de passe en mm

S : section du copeau en mm²

R_m ; résistance à la rupture par extension du matériau en hbar.

K : coefficient variable suivant de nombreux paramètres $3 < K < 5$ pour les aciers au carbone.

a) Perçage

Effort de coupe sur chaque lèvre : F_c (daN) = $S \cdot K \cdot R$

avec $S = \frac{a \cdot p}{z}$ avec z le nombre de lèvres ou dents.

Dans un trou en pleine matière on prend $p = \frac{d}{2}$

Dans un avant-trou : $p = \frac{D - d}{2}$

Le couple résistant sur l'outil est :

$C = z F_c r_m$ avec r_m : rayon moyen.

Dans notre cas $z = 2$ d'où $C = 2 F_c \frac{d}{4}$

- Puissance de coupe pour N tours par minute

$$P_{(w)} = z F_c V \text{ (m/s)}$$

= Force totale de pénétration axiale = $2 F_A$

On admet que $R \hat{=} F_c$ pour alpha égal à 120°

donc $2F_A \text{ (daN)} = \frac{a_d}{2} K R_m \sin 60^\circ$

b) Tournage

- Force de coupe

$$F_c \text{ (daN)} = S K R_m \quad \text{avec } S = a.p$$

- Couple résistant

$$C = F_c r \text{ (rayon de la pièce)}$$

- Puissance de coupe

$$P_{(w)} = F_c (N) \times \text{vitesse circonférentielle (m/s)}$$

la vitesse circonférentielle est égale à :

$$\text{Vit. circonf. (m/s)} = \frac{\pi R N \text{ (tr/mn)}}{30}$$

c) Fraisage

La denture est droite.

- Force de coupe pour une dent :

$$F_c = S \cdot K \cdot R_m$$

avec S = épaisseur du copeau x largeur du copeau

Dans notre cas : $S = a_d \cdot p$ où a_d : avance par dent

p : profondeur de passe

On tiendra compte du nombre de dent n en prise.

- Couple résistant sur la fraise

$$C_{(Nm)} = F_c \times \text{vitesse circonférentielle (m/s)}$$

- Puissance de coupe

$$P_{(w)} = F_c (N) \times \text{vitesse circonf. (m/s)}$$

d) Rectification

En pratique la force de coupe ne dépasse pas 10 daN

e) Le brochage

- Force de coupe

C'est la force principale de poussée : F_t .

$$F_t = K \cdot l \cdot e \cdot n \cdot c$$

avec l : largeur du copeau

e : épaisseur

K : pression spécifique totale de coupe

c : coefficient de correction traduisant l'influence du liquide de lubrification.

$c = 0,8$ pour huile végétale

$c = 0,9$ pour huile minérale

$c = 1$ pour les liquides à l'eau et le travail à sec.

n : nombre de dents en prise.

$K = \frac{K_1}{e^\mu}$, avec K_1 pression spécifique de coupe

pour les aciers ($R_m = 70 + 90 \text{ kgfmm}^2$), $K_1 = 170 + 200$

$\mu = 0,25$ pour les aciers

Les valeurs de K sont consignées dans le tableau 195 ci-contre.

- Puissance de coupe

$$P(w) = F_t \cdot V_{(m/s)}$$

.../...

TABLEAU 15 : valeurs de la pression spécifique en fonction de la matière.

Source : Théorie et pratique des outils de coupe
Edeuard BLANPAINE. Ed. Eyrolles 1955.

MATIERE	K	profondeur de passe (mm)	
Fonte grise	douce	120	0,10 + 0,25
	dure	200	0,06
Fonte malléable	150	0,1	
Fonte aciérée	180	0,1	
Acier mi-dur	260 + 340	0,06 + 0,03	
Acier dur	350 + 440	0,03	
Laiton	moulé	80	0,25
	moulé sous pression	120	0,1 + 0,25
Bronze coulé	100	0,1 + 0,25	
Alliage d'aluminium	100 + 120	0,25 + 0,1	

2.6 Temps d'exécution

2.6.1. Généralités

Quelle que soit la méthode utilisée pour l'usinage d'une pièce, le temps d'usinage comporte toujours le temps de coupe ou temps technologique auquel s'ajoutent les temps manuels ou improductifs afférents au montage de la pièce et de l'outil et à leur réglage ainsi qu' à la mise en place du montage d'usinage le cas échéant et aux opérations annexes manuelles. Il faut tenir compte aussi des temps d'arrangements ou temps de préparation nécessaire à la mise en train du travail. Les temps supplémentaires de pertes se composent des nettoyages, des contrôles supplémentaires de l'évacuation des copeaux, de la mise en marche et de l'arrêt des machines ect..., ils varient de 6 à 15 % du temps de base qui est la somme du temps de coupe et du temps manuel.

Le schéma ci-contre nous montre comment se combinent ces différents éléments pour former le temps total d'exécution T_e .

2.6.2. Présentation des formules pour le calcul des temps de coupe.

Le temps de coupe est le temps nécessaire à l'outil pour effectuer son travail. Il est fonction de :

- l'étendue de la surface à usiner
- la vitesse de coupe
- la grandeur de l'avance
- la machine utilisée (mouvement circulaire continu ou mouvement rectiligne alternatif).

a) Perçage

Le temps de coupe est donnée par la formule ;

$$T_c = \frac{i (l + l_1 + l_2)}{a \cdot N}$$

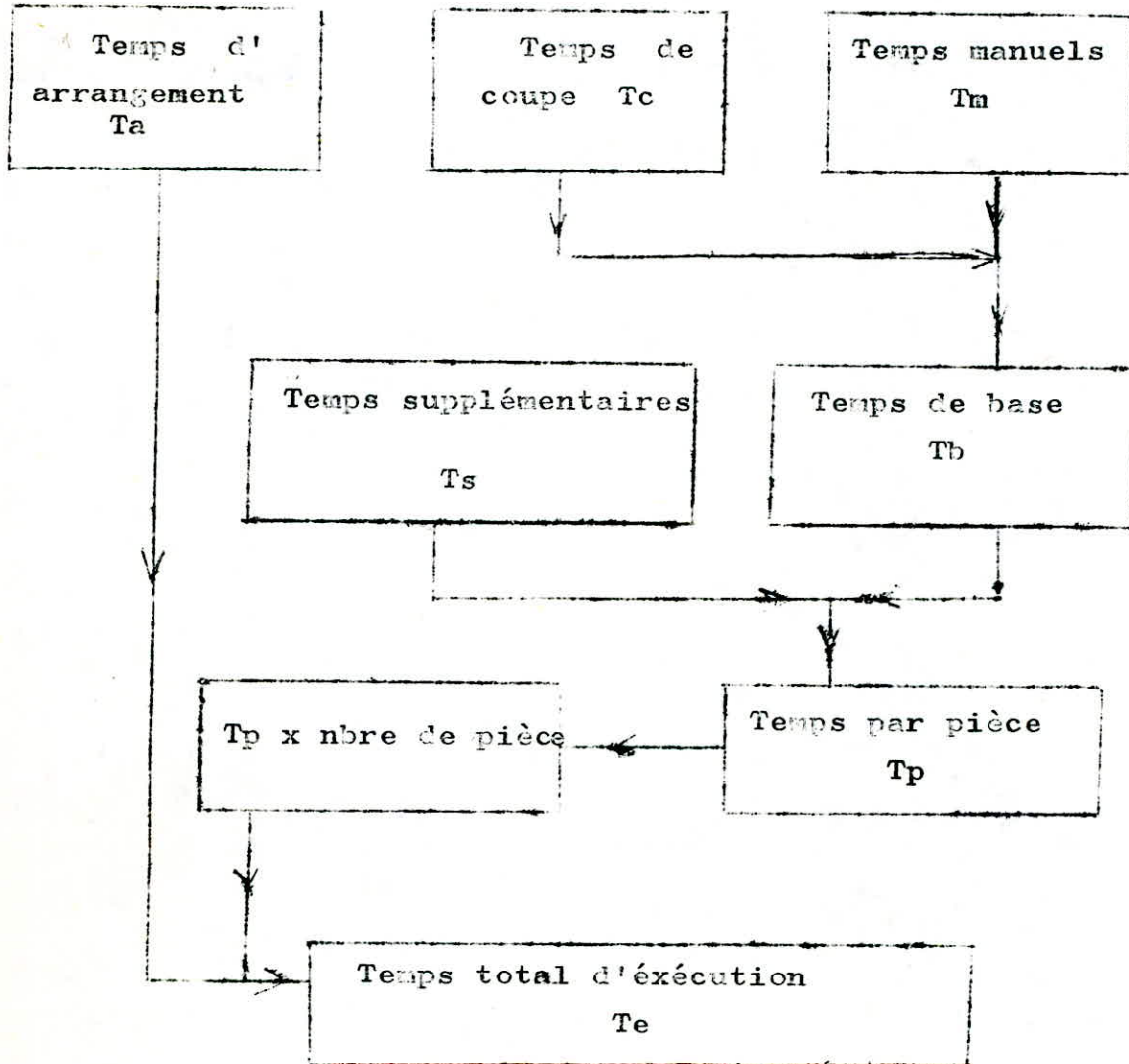
avec i : nombre de passe

l : longueur de perçage

l_1 : approche du forêt = $\frac{D - d}{2} \cotg \varphi + (0,5 \text{ à } 2 \text{ mm})$

.../...

Schéma de la composition du temps total d'exécution.



$$T_b = T_c + T_m$$

$$T_p = T_b + T_s$$

$$T_e = T_a + (T_p \times \text{nombre de pièce})$$

T_{c_j} = temps de coupe total de la phase j

$$T_{c_j} = \sum T_c$$

D : diamètre du forêt

d : diamètre de l'avant trou ou du centre.

φ : demi-angle au sommet.

Dans notre cas, nous prendrons :

$$l_1 = 0,3d$$

$$L_2 = 0,2d$$

a en mm/tr et N en tr/mn.

b) Tournage

Le temps de coupe lors d'une opération de chariotage est donnée par la formule :

$$T_c = \frac{i (l_1 + l + l_2)}{a \times N}$$

avec i : nombre de passe

l : longueur à charioter

l_1 : approche de l'outil = $\left(\frac{p}{\tan \epsilon} + 1 \right)$ en mm

avec ϵ : angle de direction

p : profondeur de passe

c) Fraisage

Le temps de coupe est donné par la formule suivante :

$$T_c = \frac{i (l + D + l_1 + L_2)}{A_r}$$

avec l : longueur fraisée

D : diamètre de la fraise

A_r : vitesse d'avance en mm/mn.

d) Brochage

Le temps de coupe se compose comme suit : la durée d'une course aller et retour du coulisseau compte tenu du temps mort dû à l'inversion du sens de marche.

$$T_c = t_a + t_r + t_m$$

avec : t_a : temps aller

t_r : temps retour

t_m : temps mort

e) Taillage des dents

La machine utilisée dans la phase 70 donne le temps du premier cycle; soit 8 + 123 secondes avec un diamètre maximum de 500 mm. On peut donc déduire le temps de coupe.

f) Rectification

Le temps de coupe sera adopté à une valeur liée à l'expérience.

g) Alésage.

Le temps de coupe est identique au perçage.

2.7 Détermination du nombre de machine-outil et calcul d'outillage.

2.7.1. Méthode pour déterminer le nombre de machine-outil.

Cette détermination est nécessaire afin de prévoir la charge que subit la machine-outil. Elle permet aussi de prévoir le nombre d'ouvriers pour exécuter la série dans les délais choisis et de déterminer une synchronisation entre les machines-outils.

Le nombre de machine-outil est déterminé de la manière suivante :

Soit le nombre effectif de pièces N_{eff} . Dans notre cas $N_{\text{eff}} = 3\ 600$ pièces avec un coefficient de rebut K supposé nul.

Le calcul du fond de temps disponible (dans une année) est donnée par la formule :

$$F_d = Z_o \cdot K_s \cdot H \cdot \left(1 - \frac{\beta}{100} \right)$$

avec : Z_o : nombre de jours ouvrables

d : nombre de jours feriés

β : coefficient de réparation

K_s : nombre d'équipe

H : nombre d'heures de travail par équipe

.../...

Le calcul du fond de temps disponible dans un mois est donné par la formule suivante :

$$F_{d1} = \frac{F_d}{12}$$

Le nombre de machine est déduite par la formule :

$$M_{th} = \frac{F_{nec}}{F_{d1}}$$

avec F_{nec} ; fond de temps nécessaire = $T_e \times 3600$.

T_e : temps total d'exécution dans la phase j.

Le nombre de machine réel sera le nombre entier M_r immédiatement supérieur au nombre théorique de machine

2.7.2. Méthode pour déterminer le nombre d'outils

La formule donnant le nombre d'outils tranchants nécessaires est la formule suivante :

$$J_t = \frac{\sum F_c \cdot N_{eff}}{T(r+1)(1-K_c)}$$

avec : J_t : nombre d'outils tranchants nécessaire pour le programme

T : durabilité de l'outil en mm

r : nombre de réaffûtage

K_c : coefficient tenant compte des cassures de l'outil; $K_c = 0,30$ pour les outils ébaucheurs et $K_c = 0,1$ pour les outils finisseurs.

2.8 Eléments de construction de la broche

2.8.1. Généralités

Le brochage se range dans la catégorie des procédés d'usinage engendrant un profil par déplacement, parallèlement à la surface à obtenir, d'un outil formé d'une ou plusieurs rangées de dents appelé broche.

.../...

C'est actuellement une des formes d'usinage les plus avancées et qui tend à se répandre de plus en plus. La faveur dont il jouit dans un grand nombre d'industries est due à la rapidité d'exécution, à la haute précision et au faible prix de revient des pièces brochées.

La raison pour laquelle le brochage peut atteindre une certaine rapidité et une grande précision d'exécution, réside dans le fait que la broche est composée d'un grand nombre de dents chacune d'elles exécutant une certaine part du travail.

La succession des dents est telle que chacune entaille un peu plus profondément dans la pièce à usiner que celle qui précède immédiatement. Cette disposition permet généralement l'exécution simultanée de l'ébauche, de la semi-finition et la finition de tous les profils brochables en formes régulières ou irrégulières.

La moyenne de la durée des broches entre deux affûtages est relativement longue, à cause du grand nombre de dents coupantes de chaque broche et du faible travail demandé à chaque dent en cours de passe.

2.2.2. Choix de la broche

Il s'agit de dresser des surfaces intérieures et pour cela nous allons utiliser une broche d'intérieure. Elle ne sera utilisable que pour réaliser un profil déterminé dans une certaine matière donnée et sur une certaine longueur.

2.2.3. Matière à brocher

L'acier rapide ayant une résistance à la traction et à l'usure sera la matière utilisée.

L'acier rapide adopté est le 10-4-2

Tungstène	10 %
Chrome	4 %
Vanadium	2 %
Carbone	0,35 %

Dureté : 65 + 62 HRC

Source : Fabrications mécaniques. Technologie.

R. BUTIN. M. FINE. T. Foucher 1961.

.../...

2.8.4. Mode d'utilisation

La broche est utilisée soit en poussée soit en traction.

La différence entre ces deux modes d'emploi, consiste principalement dans le fait que la broche de traction permet l'enlèvement d'un assez grand volume de copeau, alors que la broche de poussée, beaucoup plus courte pour éviter le flambage, ne peut servir que pour le calibrage ou l'enlèvement d'un faible volume de copeau ; proportionné au noyau et à la longueur libre de la broche.

Nous utiliserons la broche de poussée.

Elle est composée de plusieurs parties :

- le guide avant (extrémité inférieure) facilite l'entrée de la broche dans la pièce.
- le corps (partie la plus longue de la broche) dont les dents constituent la partie active; il assure le guidage en cours de passe.
- la tête (guide arrière) reçoit la poussée nécessaire à la coupe. Elle se termine par une surface plane chanfreinée ou par un téton de faible diamètre.

2.8.5. Partie active de la broche

a) Eléments de la denture

- Progression : la progression e par dent, identique pour toutes les dents d'une même denture est la différence de hauteur comprise entre deux dents consécutives. Elle est déterminée en fonction de la pièce (matière, état, surépaisseur, longueur à brocher) du rôle de la denture.

- Surépaisseur : la progression E de la denture complète d'une broche est égale à la surépaisseur pouvant être enlevée par cette denture.

.../...

- Le pas : le pas P d'une denture est la distance comprise entre les sommets des deux dents consécutives mesurée perpendiculairement aux arrêtes tranchantes. Il est le même pour toutes les dents d'une même denture. Il dépend de la longueur à brocher et de la forme des copeaux.

$$P = 0,4L \text{ pour } L \leq 16$$

$$P = 1,75 \sqrt{L} \text{ pour } L > 16$$

Ces formules sont tirées dans le fascicule Delagrave : rabotage et brochage. R. DIETRICH et N. VIGNAUD.

b) Élément de la dent

- Enveloppe de la dent :

La dent est caractérisée par son enveloppe c'est-à-dire par la forme et les dimensions des surfaces qui la délimitent :

- la surface de coupe
- ; la surface en dépouille
- . le dos et le fond, raccordés à la surface de coupe (ils servent de logement au copeau qu'ils doivent contenir entre l'entrée et la sortie de la dent).

- Bec de la dent.

Le bec de la dent et l'arrête tranchante sont déterminés par l'intersection de la surface de coupe et de la surface en dépouille.

Remarque : un témoin d'affûtage, non en dépouille termine les dents de finition et de réserve

- Brise-copeaux

Ce sont des rainures étroites taillées à la meule sur les surfaces en dépouille des dents d'ébauche et de demi-finition. Ils sont décalés à chaque dent ou anneau de dent.

- Dégagements

Les surfaces de la dent ne participant pas à la coupe sont dégagées pour diminuer le frottement.

- Nombre de dents

Le nombre de dents z en prise avec la pièce est évalué en fonction de la longueur L de la surface à brocher et du pas P .

$$z = \frac{L}{P}$$

Le nombre de dents théoriques Z d'une denture est égal à la progression totale de cette denture divisée par la progression e par dent :

$$Z = \frac{E}{2e}$$

- Longueur de la partie active

Elle est égale à la somme des longueurs de chacune des dentures, y compris celles des dents de réserve (la longueur de chacune des dentures est le produit du pas par le nombre de dents Z)

- Angles d'affûtage

L'angle de dépouille doit être suffisant pour limiter le frottement de l'outil.

L'angle du fond de brise-copeau noté \hat{d} est égal à l'angle de dépouille augmenté de trois degrés.

2.8.6. Vérification au flambage

Sous l'effort de poussée, la broche est sollicitée au flambage d'où la nécessité de vérifier le flambage.

La charge critique P_c est :

$$P_c = \frac{\pi^2 E I}{4 L^2}$$

avec : E : module de Young

I : moment quadratique

On utilise le théorème d'Euler car le rapport :

$$\frac{L}{\rho} = \frac{996}{\rho} \quad 100 \quad \text{avec : } \rho : \text{rayon de giration}$$

L : longueur de la broche

$$\rho = \frac{d}{4} = 9,5 \quad \text{donc} \quad \frac{L}{\rho} = \frac{996}{9,5} = 104,63 \quad 100$$

$$P_c = \frac{\pi^2 \cdot 21 \cdot 10^3 \cdot 102 \cdot 353,87}{4 \cdot 996^2} = 5 \cdot 346,19 \text{ daN}$$

La charge de poussée étant égale à 4 905 daN, elle est inférieure à la charge critique.

2.9. Généralités sur les montages d'usinage

Les temps morts ou temps improductifs rapportés aux temps de coupe sont d'autant plus importants que l'on utilise des outils à grande vitesse. Par suite, la mise en position de la pièce et son ablocage doivent être en même temps précis et le plus rapide possible. Sur certaines machines-outils spéciales, machine à tailler les engrenages par exemple, les deux opérations sont prévues par le constructeur et l'utilisateur ne peut apporter aucune amélioration dans leurs exécutions. Au contraire, sur les machines de mécanique générale (tours, perceuses, raboteuses, rectifieuses, machine à brocher) il faut créer des portes-pièces spéciaux, particuliers à chaque pièce selon ses formes et ses dimensions, pour faciliter la mise en position et l'ablocage.

On les désigne le plus souvent sous le nom de montage d'usinage.

CHAPITRE III GAINÉ D'USINAGE ET MACHINES- OUTILS UTILISÉS.

3.1. Analyse de fabrication

Phase 10.

La première phase consiste à réaliser à l'aide d'une perceuse à montant, un trou débouchant de diamètre 20 mm. Ceci nous permettra d'avoir par la suite une surface et un axe de départ. Ce perçage ne nécessite pas une grande précision.

Phase 20.

Cette phase sera réalisée à l'aide d'un tour revolver. La première opération consiste à exécuter un perçage de diamètre 30 mm et à la deuxième opération s'ensuit un autre perçage de diamètre 51,5 mm. Ces deux perçages ont pour but de réaliser une bonne coaxialité et un bon état de surface afin d'avoir une surface de référence à partir de laquelle toutes les autres surfaces seront usinées. Les autres opérations qui suivent seront des opérations de tournage des faces 4 et 3 par un outil de forme et de même pour la face 2 et le chanfrein $1 \times 45^\circ$. (Voir la planche PR 6 00 ; 00).

Phase 30.

C'est une phase de tournage une fois de plus. La machine utilisée est un tour à outil multiple. L'exécution des faces 8, 9, 7, 6, 5, et 10 ainsi que les chanfreins intérieur et extérieur, permet de réaliser les tolérances de forme et de positions satisfaisantes conformément au dessin de définition. La pièce est fixée par un mandrin expansible qui bloque la pièce dans l'alésage diamètre 51,5 mm. (Voir planche PR 6 00 00).

Phase 40.

L'alésage diamètre 51,5 mm ayant servi comme surface de référence dans la phase 30 nous lui donnons sa dimension définitive diamètre 52. Pour réaliser cet alésage

nous utilisons un forêt aloseur de diamètre 52 en acier rapide. La machine-outil sera une perceuse radiale type 56. La qualité sera ~~de~~ de 8. Ce diamètre 52 H8 est le diamètre inférieur des cannelures que nous exécuteront dans la phase suivante.

Phase 50

Le brochage est l'unique procédé qui permet d'obtenir des rainures intérieures aux formes bien finies et aux dimensions parfaitement interchangeables pour le prix de revient minimum. Une machine à brocher vertical exécutera les cannelures rectangulaires à l'aide d'une broche de poussée qui nécessite sa construction. La qualité dimensionnelle des cannelures est 7 + 6. La rugosité Ra est 1,6 + 0,4. (Voir les planches PR 5.00.00 et PR 6.00.00).

Phase 60

Il s'agit de fraiser des méplats sur les génératrices du cylindre extérieur diamètre 74 mm. L'état de surface sera $Ra \leq 6,3 \mu$ réalisable avec une fraiseuse universelle à tête vertical. Un montage d'usinage est nécessaire pour réaliser une tolérance de position entre les deux méplats et éviter les rebuts.

Phase 70

Le taillage des dents coniques sera réalisé par une machine spéciale à tailler les engrenages avec un outil de forme.

Phase 80.

Le perçage interdendaire est réalisé par une perceuse sensitive. Le diamètre à percer est de 4 mm. L'état de surface $Ra \leq 6,3$ micron peut être obtenu à l'aide de la machine utilisée. On utilise dans cette phase un montage d'usinage permettant de faciliter les manœuvres de l'opérateur. (Voir planches PR 4 00.00 et PR 6 00.00).

.../...

Phase 90.

Nous utiliserons comme procédé de traitements thermiques :

- la cémentation
- la trempe à induction.

Phase 100.

C'est la rectification. Elle sera exécutée avec une machine spéciale rectifiant les engrenages coniques à denture droite. Cette opération permet d'augmenter la précision dimensionnelle et la précision de la forme des dents ce qui permet d'obtenir en outre une marche plus silencieuse et plus exempte de vibrations.

3.2 Machine disponible à l'atelier.

Perceuse radiale : GSF type 56. France.

Gamme des vitesses de rotation en tr/mn : 30 + 1 500

Gamme des avances en mm/tr : 0,15 + 1,2 mm/tr.

Fuissance : 5,5 ch.

Tour Revolver 17365. U. R. S. S.

Diamètre maxi de la pièce usinée dans le mandrin 500 mm

Distance entre broche et la tête pivotante : 275+1 00

Nombre de poste : 6

Chariot support d'outil transversal : 1

Nombre de tours par mn : 34 + 1 500

Fuissance du moteur : 13 Kw

Encombrement : L = 3 320

l = 1 565

h = 1 665

m = 3 900 kg

.../...

Tour à outils multiples 1A730 U. R. S. S.

Diamètre de la pièce 410 mm
Longueur de la pièce 500 mm
Vitesse de rotation : 56 + 710 tr/mn
Avance longitudinale en mm/tr : 0,12 + 1,38
Avance transversale en mm/tr : 0,16 + 2,37
Puissance du moteur : 14 Kw
Encombrement : L x l x h : 2420 x 1820 x 1375
m = 3 700 kg.

Ferçeuse à colonne GSP

masse : 750 kg
Avances : 0,05 + 0,50
Fréquence de rotation : 80 + 1 800
Puissance moteur : 3,6 Kw.

Machine à brocher verticale : 774.7 705B (U. R. S. S.)

Force de poussée : 5 tonnes-forces
Course de travail maximum : 800 mm
Vitesse de travail : 1,5 + 13 m/mn
Largeur de la table : 320 mm
Diamètre de passage de l'outil : 125 mm
Puissance : 10 Kw
Encombrement : L x l x h : 2210 x 1 400 x 2 335
masse : m = 3, 55 t

Fraiseuse universelle à tête horizontale,

FA 5A TOS OLCMCUC (Tchécoslovaquie)

Gamme des vitesses : standards : 12 : 45 + 2 000 tr/ mn
élevées : 12 : 63 + 2 800 tr/mn
Gamme des avances : 13 : 14 + 900 mm/mn
Puissance : 4 Kw
Encombrement voir atelier.

.../...

Machine à tailler les engrenages coniques par
mortaisage. Modèle : 5A250 (U. R. S. S.).

Module : 8 mm

Diamètre maxi : 500 mm

Angle de cône primitif : $5 + 85^\circ$

Temps du premier cycle : $6 + 123$ secondes

Puissance : 5,6 Kw

Encombrement : L x l x h : 2 200 x 1 600 x 1 600

masse ; m = 870 kg.

Machine spéciale à rectifier les engrenages.
modèle 5 851 (U. R. S. S.).

Diamètre primitif : $35 + 320$ mm

Module : $2 + 10$ mm

Largeur de dents : 230 mm

Nombre de dents : $10 + 120$

Diamètre du disque maximum : 225 mm

Puissance : 5,5 Kw.

Encombrement : L x l x h : 3 225 x 1 820 x 1 970

masse : m = 5 310 kg.

CHAPITRE IV : CALCUL DES RÉGIMES DE COUPE

4.1.1. Phase 10. Perçage d'ébauche.

La machine utilisée dans cette phase est une perceuse à colonne G. S. P. (France).

a) Opération 101.

- choix de l'outil : forêt hélicoïdale diamètre 20 millimètres en acier rapide.

- régime de coupe.

. avance : $a_t = 1\%D = 0,2 \text{ mm/tr}$ (voir tableau 10 page).

. vitesse de coupe : $V_t = 15 \text{ m/mn}$

$$N_t = \frac{1000 V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 15}{\pi 20} = 238,73 \text{ tr/mn}$$

$$N_r = 200 \text{ tr/mn et } V_r = \frac{\pi D \cdot N}{1000} = 12,56 \text{ m/mn}$$

4.2.1. Phase 20. Tournage.

- Machine utilisée : tour revolver 17365 (U. R. S. S)

a) Opération 201. Poste A. Perçage $D = 30 \text{ mm}$

- Choix de l'outil : forêt hélicoïdal en acier rapide diamètre 30 mm.

- Régime de coupe.

. $a_t = 1\%D = 0,01 \cdot 30 = 0,3 \text{ mm/tr}$

. $V_t = 15 \text{ m/mn}$

$$N_t = \frac{1000 \cdot 15}{\pi 30} = 159 \text{ tr/mn}$$

b) Opération 202. Poste B. Perçage $D = 51,5 \text{ mm}$

- choix de l'outil : forêt hélicoïdal en acier rapide diamètre 51,5 mm.

- Régime de coupe

. $a_t = 0,6 \text{ mm/tr}$

. $V_t = 15 \text{ m/mn}$

. $N_t = 92,71 \text{ tr/mn}$ et $N_r = 90 \text{ tr/mn}$

. $V_r = 15 \text{ m/mn}$

c) Opération 203. Poste C. Tournage face 4 - 3

- choix de l'outil : outil de forme

- Régime de coupe

• $a_t = 0,2 + 0,4 \text{ mm/tr}$

• $a_{\text{mini}} = 0,2 \text{ mm/tr}$ (Voir tableau 5 page 14)

• $V_t = 170 + 120 \text{ m/mn}$

• $V_m = 145 \text{ m/mn}$

$$V_c = V_m \cdot K_{1V} \cdot K_{DV} \cdot K_{V2}$$

$$= 145 \cdot 0,87 \cdot 0,8 \cdot 1,15 \cdot 1,14 = 132 \text{ m/mn}$$

$$N_t = \frac{1000 V_c}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 132}{\pi \cdot 164} = 256 \text{ tr/mn}$$

• $N_t = 256 \text{ tr/mn}$.

d) Opération 204. Chanfreinage I. poste D

- choix de l'outil : outil de forme

- régime de coupe

• $p = 1,5 \text{ mm}$

• $a_t = 0,2 \text{ mm/tr}$

• $V_c = 132 \text{ m/mn}$

• $N_t = 256 \text{ tr/mn}$

e) Opération 205. Chariotage de la face 2.

Chariot avant.

- choix de l'outil : outil à charioter. Nuance
ISC. F-20.

Angle de coupe : $6 + 12$

Rayon du bec : $r_e = 0,6 \text{ mm}$

$B \times H = 16 \times 16 \text{ mm}^2$

$D_{\text{aff}} = 45 \text{ mm}$

- régime de coupe

• $p = 2,3 \text{ mm}$

• $a_t = 0,2 + 0,4 \text{ mm/tr}$

$a_{\text{mini}} = 0,2 \text{ mm/tr}$

• $V_t = 170 + 120 \text{ m/mn}$

$V_m = 145 \text{ m/mn}$

• $V_c = V_m \cdot K_{MV} \cdot K_{EV} \cdot K_{DV}$

$= 145 \cdot 0,87 \cdot 0,8 \cdot 1,15 = 116 \text{ m/mn}$

• $N_t = \frac{1\ 000 V_c}{\pi D} = \frac{1\ 000 \cdot 116}{\pi 166,5} = 221,88 \text{ tr/mn}$

• $N_r = 200 \text{ tr/mn}$

• $V = \frac{\pi 166,5 \cdot 200}{1\ 000} = 104,61 \text{ m/mn}$

• $V = 104,61 \text{ m/mn}$

f) Opération 206. Finition de la face 2

- même outil qu'au 205

- régime de coupe

• $p = 0,2 \text{ mm}$

• $a_t = 0,1 + 0,2 \text{ mm/tr}$

$a_m = 0,15 \text{ mm/tr}$

• $V_t = 180 + 170 \text{ m/mn}$

$V_m = 175 \text{ m/mn}$

• $V_c = V_t \cdot K_{MV} \cdot K_{EV} \cdot K_{DV}$

$= 175 \cdot 0,87 \cdot 0,8 \cdot 1,15 = 140 \text{ m/mn}$

• $N_t = \frac{1\ 000 V_c}{\pi D} = \frac{1\ 000 \cdot 140}{\pi 164,2} = 271,53 \text{ tr/mn}$

• $N_r = 250 \text{ tr/mn}$

• $V = \frac{\pi 164,2 \cdot 250}{1\ 000} = 128,96 \text{ m/mn}$

• $V = 128,96 \text{ m/mn}$

4.3.3. Phase 30. Tournage.

Machine utilisée : tour à outils multiples 1A730.
(U. R. S. S.)

a) Opération 301. Dressage de la face 9.

- Choix de l'outil : outil à dresser droit
 $B \times H = 16 \times 16 \text{ mm}^2$
 $D_{\text{aff}} = 45 \text{ mm}$

- régime de coupe

• $p = 2,2 \text{ mm}$

• $a_t = 0,18 \text{ mm/tr}$

• $V_t = 170 + 120 \text{ m/mn}$ $V_{\text{mini}} = 120 \text{ m/mn}$

• $V_c = V_{\text{mini}} \cdot K_{MV} \cdot K_{EV} \cdot K_{DV} \cdot K_{V2}$
 $= 120 \cdot 0,87 \cdot 0,8 \cdot 1,15 \cdot 1,10 = 105,65 \text{ m/mn}$

• $N_t = \frac{1000 V_c}{79} = 425,68 \text{ tr/mn}$

• $N_r = 400 \text{ tr/mn}$

• $V_f = 100 \text{ m/mn.}$

b) Opération 302; Dressage de la face 7

- même outil et même régime de coupe qu'au 301.

c) Opération 303. Dressage de la face 6

Outil de forme et les régimes de coupe sont identiques qu'au 301.

d) Opération 304. Surfaçage de 5

- Choix de l'outil : outil de forme

- régime de coupe identique qu'au 301

e) Opération 305. Chanfreinage extérieur

- choix de l'outil ; outil à chanfreiner (1 x 45°)

- régime de coupe identique qu'au 301.

f) Opération 306. Chanfreinage intérieur

Même outil et même régime de coupe qu'au 301.

g) Opération 307. Finition de la face 9.

- choix de l'outil : identique qu'au 301.

- régime de coupe.

• $p = 0,3 \text{ mm}$

• $a_t = 0,20 \text{ mm/tr}$

• $V_t = 180 + 170 \text{ m/mn}; \quad V_{\text{maxi}} = 180 \text{ m/mn}$

• $V_c = V_{\text{maxi}} \cdot K_{MV} \cdot K_{EV} \cdot K_{DV} \cdot K_{V2}$
 $= 180 \cdot 0,85 \cdot 0,8 \cdot 1,15 \cdot 1,10 = 154,83 \text{ m/mn}$

• $N_t = \frac{1000 V_c}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 154,83}{\pi 74,6} = 660,7 \text{ tr/mn}$

• $N_r = 600 \text{ tr/mn}$

• $V_r = 140 \text{ m/mn}$

h) Opération 308. Finition de la face 7

- choix de l'outil : identique qu'au 302

- régime de coupe identique qu'au 307.

i) Opération 309. Finition de la face 6.

- choix de l'outil identique qu'au 304.

- régime de coupe identique qu'au 307.

j) Opération 310. Finition de la face 5

- choix de l'outil : identique au 304

- régime de coupe : identique qu'au 307.

k) Opération 311. Chariotage de la face 8.

- choix de l'outil : outil de forme.

- régime de coupe.

• $p = 2,3 \text{ mm}$

.../...

- $a_t = 0,2 \div 0,4 \text{ mm}$ $a_{\text{mini}} = 0,2 \text{ mm/tr}$
- $V_t = 170 \div 120 \text{ m/mn}$ $V_m = 145 \text{ m/mn}$
- $V_c = V_m \cdot K_{IV} \cdot K_{EV} \cdot K_{DV}$
 $= 145 \cdot 0,87 \cdot 0,8 \cdot 1,15 = 116 \text{ m/mn}$
- $N_t = \frac{1000 V_c}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 116}{\pi 166,5} = 221,88 \text{ tr/mn}$
- $N_r = 200 \text{ tr/mn}$
- $V_r = 104,61 \text{ m/mn}$.

l) Opération 312. Chariotage de la face 10
- choix de l'outil : outil de forme
- même régime de coupe qu'au 311.

m) Opération 313. Finition de la face 8
Même outil qu'au 311
Même régime de coupe qu'au 307

n) Opération 314. Finition de la face 10
- même outil qu'au 312.
- même régime de coupe qu'au 307.

4.4. Phase 40. Alésage diamètre 52 mm.

Machine utilisée : perceuse radiale. GSF type 56.
France.

a) Opération 401.
- choix de l'outil : forêt aloseur diamètre 52 mm
- régime de coupe .

- $a_t = 1\% D = 0,52 \text{ mm/tr}$.
- $V_t = 15 \text{ m/mn}$
- $N_t = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 15}{\pi 52} = 91,82 \text{ tr/mn}$

4.2.5. Phase 50. Brochage.

Machine utilisée : machine à brocher verticale.
774. 7b 750 B (U. R. S. S.)

- choix de l'outil : broche d'intérieure de poussée
en acier rapide extra supérieure
(voir planche PR 5 00.00)

- régime de coupe.

. $V = 2 \text{ m/mn.}$

4.2.6. Phase 60. Fraisage des plats.

Machine utilisée : fraiseuse universelle à tête
horizontale. FA A TOS CLOUCUC
Tchécoslovaquie.

- choix de l'outil : fraise. Système GCST 9 304-
69.

Diamètre : 40 mm

Nombre de dents : 10

Carbure métallique.

- régime de coupe

. $p = 1 \text{ mm}$

. $a_d = 0,125 \text{ mm/dent}$ (voir abaque page 19)

. $V_d = 10 \text{ m/mn}$

. $N_t = 80 \text{ tr/mn}$

. $A = a_d \cdot Z \cdot N_t = 0,125 \cdot 10 \cdot 80 = 100 \text{ mm/mn}$

4.2.7. Phase 70. Taillage de dents.

- machine utilisée : machine à tailler les dentures
coniques par mortaisage.
5 A 250 (U. R. S. S.)

a) Opération 701.

- choix de l'outil : outil de mortaisage
type I : longueur 40 mm
Deux trous de fixation.
Standard (U. R. S. S.)
GCST . 5 392 - 64.

- régime de coupe

. course : $C = b + \text{engagement} + \text{dégagement}$
 $= 38 + 4 + 4 = 46 \text{ mm}$

. profondeur maximum : $p = 15,17 \text{ mm}$

. Les vitesses d'avance et de coupe sont automatiques et elles sont fonction de la course.

4.2.8. Phase 80. Perçage interne dentaire.

Machine utilisée : perceuse colonne G. S. P. (FRANCE)

- outil utilisé : forêt hélicoïdal diamètre 4 mm

- régime de coupe.

. $a_t = 0,05 \text{ mm/tr}$

. $V_r = 15 \text{ m/mn}$

. $N_r = \frac{1000 V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 15}{\pi 4} = 1194 \text{ tr/mn}$

4.2.9. Phase 100. Rectification

Machine utilisée : machine spéciale à rectifier les engrenages coniques.

a) Opération 1001

- choix de l'outil : meule de forme.

Gost 2424-67

Grosseur de grain abrasif; 125

Dureté : CH1

Structure : 4

Agglomération céramique

- régime de coupe

. $p = 0,05 \text{ mm}$

. les vitesses d'avance et de coupe sont uniques.

TABLEAU 16 : Récapitulation des éléments de coupe

N° de la pièce	N° de l'opération	Diamètre initial de l'usinage (mm)	Prof. de passe (mm)	Nbre de passe	Avance (mm/rev)	Vitesse V (m/min)	Nbre de tour N (1/min)
10	101	20	10	1	0,2	12,56	200
20	201	30	5	1	0,3	15	159
	202	51,5	10,75		0,6	15	30
	203	164	2,5		0,2	132	256
	204	51,5	4,5		0,2	132	256
	205	166,5	4,5		0,2	104	250
	206	164,2	0,2		0,15	128,96	250
30	De 301 à 306	73	2,2	1	0,18	100	400
	De 307 à 310	74,6	0,3	1	0,2	140	600
	311 312	166,5	2,3	1	0,2	104,64	200
	313 314	74,6	0,3	1	0,2	140	600
40	401	ϕ 52	0,25	1	0,52	15	91,82
50	501	L=111	-	1	-	2	-
60	601	L=63,5	1	1	A=400	10	70
70	701	L=46	15,17	3	-	-	-
80	801	ϕ =4	2	1	0,05	15	1194
100	1001	L=46	0,05	-	-	-	-

CHAPITRE V CALCUL DES EFFORTS ET PUISSANCES
DE COUPE

5.1... Phase 10

a) opération 101

- effort de coupe

$$\cdot p = 5 \text{ mm}$$

$$\cdot a = 0,2 \text{ mm/tr}$$

$$\cdot R_m = 85 \text{ daN/mm}^2$$

$$\cdot K = 4$$

$$F = \frac{0,2 \cdot 20 \cdot 4 \cdot 85}{4} = 340$$

$$F = 340 \text{ daN}$$

- couple

$$C = 2 F_c \frac{d}{4} = 2 \cdot 3400 \cdot 20 \cdot 1000 \cdot \frac{1}{4} = 34 \text{ Nm}$$

- Puissance

$$V_{\text{circonf.}} = \frac{\pi R \cdot N}{30} = \frac{\pi 0,010 \cdot 200}{30} = 0,21 \text{ m/s}$$

$$P = 2 F_c \cdot V_{\text{circonf.}} = 2 \cdot 3400 \cdot 0,21 = 1424 \text{ w}$$

$$P = 1,424 \text{ Kw.}$$

5.2... Phase 20.

a) Opération 201

$$a_t = 0,3 \text{ mm/tr}$$

$$V_t = 15 \text{ m/mn}$$

$$K = 4$$

$$R_m = 85 \text{ daN/mm}^2$$

$$F_c = \frac{a (D - d)}{4} K R_m =$$

$$= 0,3 \cdot 10 \cdot 85 = 255 \text{ daN}$$

$$C = 2 F_c \frac{(D - d)}{4} = \frac{2 \cdot 10965 \cdot 21,5 \cdot 1000}{4} = 117,87 \text{ Nm}$$

$$C = 117,87 \text{ N.m}$$

$$V_{\text{cir.}} = \frac{\pi 21,5 \cdot 90}{30} = 0,20 \text{ m/s}$$

$$P = 2 F_c \cdot V_{\text{cir.}} = 2 \cdot 10965 \cdot 0,20 = 4444 \text{ w} = 4,44 \text{ Kw}$$

c) Opération 203. Tournage face 4-3

$$p = 2,5 \text{ mm}$$

$$a_t = 0,2 \text{ mm/tr}$$

$$V = 132 \text{ m/min}$$

$$K = 3 \text{ et } R_m = 85 \text{ daN/mm}^2$$

$$F_c = p \cdot a \cdot K \cdot R_m = 2,5 \cdot 0,2 \cdot 3 \cdot 85 = 127,5 \text{ daN}$$

$$C = 2 F_c \cdot D/2 = 127,5 \cdot 0,164 = 20,9 \text{ N.m}$$

$$P = (F_c \cdot V)/60 = (127,5 \cdot 132)/60 = 280,5 \text{ w} = 2,8 \text{ Kw}$$

d) Opération 204 chanfrein.

Efforts et puissances identiques au 203.

e) Opération 205. chariotage de la face 2.

$$p = 2,3 \text{ mm}$$

$$a_t = 0,2 \text{ mm/tr}$$

$$V = 104,61 \text{ m/min}$$

$$K = 4 \text{ et } R_m = 85 \text{ daN/mm}^2$$

$$F_c = S \cdot K \cdot R_m = 0,2 \cdot 2,3 \cdot 4 \cdot 85 = 156,4 \text{ daN}$$

$$C = 2 F_c \cdot \frac{D}{2} = F_c \cdot D = 156,4 \cdot 166,5 \cdot 0,001 = 26,0 \text{ N.m}$$

$$P = (F_c \cdot V)/60 = (156,4 \cdot 104,61)/60 = 272,6 \text{ w} = 2,7 \text{ Kw}$$

f) Opération 206. Finition de la face 2.

$$p = 0,2 \text{ mm}$$

$$a_t = 0,15 \text{ mm/tr}$$

$$V = 128,96 \text{ m/min}$$

$$R_m = 85 \text{ daN/mm}^2$$

$$K = 4$$

$$F_c = 0,15 \cdot 0,2 \cdot 4 \cdot 85 = 10,2 \text{ daN}$$

$$C = 2 F_c \cdot (D/2) = F_c \cdot 164,2 \cdot 0,001 = 16,24 \text{ N.m}$$

$$P = (F_c \cdot V)/60 = (10,2 \cdot 128,96)/60 = 217,6 \text{ w} = 0,2 \text{ Kw}$$

5.3. . . Phase 30. Tournage.

a) Opération 301. Dressage de la face 9

$$p = 2,2 \text{ mm}$$

$$a_t = 0,18 \text{ mm/tr}$$

$$V = 100 \text{ m/min}$$

$$K = 3 \quad \text{et} \quad R_m = 85 \text{ hbars}$$

$$F_c = 2,2 \cdot 0,18 \cdot 3 \cdot 85 = 100,98 \text{ daN}$$

$$C = F_c \cdot D = 100,98 \cdot 0,079 = 79,77 \text{ N.m}$$

$$P = (F_c \cdot V) / 60 = (100,98 \cdot 100) / 60 = 1683 \text{ w} = 1,68 \text{ Kw}$$

Les opérations 302, 303, 304, 305, 306 possèdent les mêmes efforts et puissances qu'au 301.

b) Opération 307. Finition de la face 9

$$p = 0,3 \text{ mm}$$

$$a_t = 0,2 \text{ mm/tr}$$

$$V = 140 \text{ m/min}$$

$$K = 4 \quad \text{et} \quad R_m = 85 \text{ hbars}$$

$$F_c = 0,3 \cdot 0,2 \cdot 4 \cdot 85 = 20,4 \text{ daN}$$

$$C = F_c \cdot D = 20,4 \cdot 0,0746 = 15,22 \text{ N.m}$$

$$P = (F_c \cdot V) / 60 = (20,4 \cdot 140) / 60 = 476 \text{ w} = 0,476 \text{ Kw.}$$

Les opérations 308, 309 et 310 ont les efforts et puissances sont identiques qu'au 307.

c) Opération 311

$$p = 2,3 \text{ mm}$$

$$K = 4$$

$$a = 0,2 \text{ mm/tr}$$

$$R_m = 85 \text{ hbars}$$

$$V = 104,61 \text{ m/min}$$

$$F_c = S \cdot K \cdot R = 0,2 \cdot 2,3 \cdot 4 \cdot 85 = 156,4 \text{ daN}$$

$$C = F_c \cdot D = 156,4 \cdot 0,1665 = 260 \text{ N m}$$

$$P = (F_c \cdot V) / 60 = (156,4 \cdot 104,61) / 60 = 2726,0 \text{ w} \\ = 2,7 \text{ Kw}$$

L'opération 312 à les mêmes efforts et puissance qu'au 311.

d) Opération 313 et 314 ont les mêmes efforts et puissances qu'au 307.

5.4. . Phase 40. Alésage

a) Opération 401

$$a = 0,52 \text{ mm/tr}$$

$$V = 15 \text{ m/mm}$$

$$D = 52 \text{ mm}$$

$$d = 51,5 \text{ mm}$$

$$K = 4 \quad \text{et} \quad R_m = 85 \text{ hbars.}$$

$$F_c = \frac{a(D - d)}{4} K \cdot R_m = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 85 = 21,25 \text{ daN}$$

$$C = 2 F_c \cdot \frac{(D - d)}{4} = \frac{2 \cdot 21,25 \cdot 0,5 \cdot 0,001}{4} = 0,53 \text{ Nm}$$

$$P = 2 (F_c \cdot V) / 60 = (21,25 \cdot 15) / 30 = 106,25 \text{ w} = 0,11 \text{ Kw}$$

5.5.3. Phase 50. Brochage

La force de coupe $F_t = K \cdot l \cdot e \cdot n \cdot c$.

avec : $K = 422,94 \text{ kgf/mm}^2$

$$e = 0,05 \text{ mm}$$

$$l = 5 \text{ mm}$$

$$n = 6$$

$$F_t = 422,94 \cdot 5 \cdot 0,05 \cdot 6 \cdot 1 \\ = 634,41 \text{ kgf} = 622,36 \text{ daN}$$

$$P = (F_t \cdot V) / 60 = (622,36 \cdot 2) / 60 = 207,45 \text{ w} = 0,2 \text{ Kw}$$

5.6. . Phase 60. Fraisage

a) Opération 601

$$a_d = 0,125 \text{ mm/dent}$$

$$p = 1 \text{ mm}$$

$$K = 4$$

$$R_m = 85 \text{ hbars}$$

$$V = 10 \text{ m/mm}$$

$$F_c = a_d \cdot p \cdot K \cdot R_m = 0,125 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 85 = 42,5 \text{ daN}$$

$$C = F_c \cdot r_m = 425 \cdot 20 \cdot 0,001 = 8,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$P = (F_c \cdot V) / 60 = (425 \cdot 10) / 60 = 70,83 \text{ w} = 0,7 \text{ Kw}$$

5.7. Phase 80. Ierçage interdentaire.

$$a = 0,05 \text{ mm/tr}$$

$$V = 15 \text{ m/min}$$

$$d = 4 \text{ mm}$$

$$K = 4$$

$$F_c = S \cdot K \cdot R_m = \frac{0,05 \cdot 4}{4} 85 \cdot 4 = 17 \text{ daN}$$

$$C = (2 F_c \cdot d) / 4 = (2 \cdot 170 \cdot 4) / 4 = 0,34 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$P = (2 \cdot F_c \cdot V) / 60 = \frac{2 \cdot 270 \cdot 15}{60} = 135 \text{ w} = 0,135 \text{ Kw}$$

TABLEAU 17 : récapitulation des puissances de coupe

N° de la phase	N° de l'opération	Puissance de coupe P _c en Kw	Puissance consommée P _c = $\frac{P}{\eta}$	Puissance disponible P _d en Kw
10	101	1,42	1,48	4
20	201	1,27	1,63	13
	202	4,44	5,92	
	203	2,8	3,73	
	204			
	205	2,7	3,6	
	206	0,2	0,27	
30	du 301 au 306	1,65	13,44	14
	du 307 au 310	0,476	2,52	
	311 312	2,7	3,6	
	313 314	0,476	0,63	
40	401	0,11	0,14	4
50	501	0,2	0,207	10
60	601	0,07	0,09	4
70	701	—	—	5,6
80	801	0,135	0,17	3,6
100	1001	—	—	5,5

η : rendement de la machine-outil

On a adopté le rendement des serrures à 0,80

et autres machines à 0,75

CHAPITRE VI CALCUL DES TEMPS DE COULE

6.1... Phase 1C

$i = 1$

$l = 107 \text{ mm}$

$l_1 + l_2 = 0,5d = 0,5 \cdot 20 = 10$

$a_t = 0,2 \text{ mm/tr}$

$N = 200 \text{ tr/mn}$

$$T_c = \frac{1,1(l + l_1 + l_2)}{a_t \cdot N} = \frac{1,1(107 + 10)}{0,2 \cdot 200} = 3,23 \text{ mn}$$

6.2... Phase 2C

a) Opération 2C1. Perçage $D = 30 \text{ mm}$

$i = 1$

$l = 105,5 \text{ mm}$

$d = 30 \text{ mm}$

$a_t = 0,3 \text{ mm/tr}$

$N = 159 \text{ tr/mn}$

$$T_c = \frac{1,1(l + 0,5d)}{a_t \cdot N} = \frac{1,1(105,5 + 15)}{0,3 \cdot 159} = 2,78 \text{ mn}$$

b) Opération 2C2. Perçage $D = 51,5 \text{ mm}$

$d = 51,5 \text{ mm}$

$a_t = 0,6 \text{ mm/tr}$

$N = 90 \text{ tr/mn}$

$$T_c = \frac{1,1(105,5 + 15)}{0,6 \cdot 90} = 2,67 \text{ mn}$$

c) Opération 2C3.

$a_t = 0,2 \text{ mm/tr}$

$N = 256 \text{ tr/mn}$

$l_1 = 3,5 \text{ mm}$

$l_2 = 2 \text{ mm}$

$l = 15 \text{ mm}$

$$T_c = \frac{(l + l_1 + l_2)}{a_t \cdot N} = \frac{15 + 3,5 + 2}{0,2 \cdot 256} = 0,40 \text{ mn}$$

d) Opération 2C4

$l = 1,5 \text{ mm}$

$l_1 = 2,5 \text{ mm}$

$l_2 = 2 \text{ mm}$

$$T_c = \frac{1,5 + 2,5 + 2}{0,2 \cdot 256} = 0,12 \text{ mn}$$

e) Opération 2C5

$l = 20,5 \text{ mm}$

$l_1 = 3,3 \text{ mm}$

$l_2 = 2 \text{ mm}$

$a_t = 0,2 \text{ mm/tr}$

$N = 200 \text{ tr/mn}$

$$T_c = \frac{20,5 + 3,3 + 2}{0,2 \cdot 200} = 0,645 \text{ mn}$$

.../...

f) Opération 206

$$a_t = 0,15 \text{ mm/tr}$$

$$N_r = 250 \text{ tr/mn}$$

$$l = 40,5 \text{ mm}$$

$$l_1 = 1,2 \text{ mm}$$

$$l_2 = 2 \text{ mm}$$

$$T_c = \frac{40,5 + 1,2 + 2}{0,15 \cdot 250} = 1,167 \text{ mn}$$

6.3.3. Phase 30. Tournage

a) Opération 301

$$l = 13,75 \text{ mm}$$

$$l_1 = 3,2 \text{ mm}$$

$$l_2 = 2 \text{ mm}$$

$$a_t = 0,18 \text{ mm/tr}$$

$$N = 400 \text{ tr/mn}$$

$$T_c = \frac{13,75 + 3,2 + 2}{0,18 \cdot 400} = 0,26 \text{ mn}$$

b) Opération 302

$$l = 17 \text{ mm}$$

$$T_c = \frac{17 + 3,2 + 2}{0,18 \cdot 400} = 0,29 \text{ mn}$$

c) Opération 303

$$l = 10,14 \text{ mm}$$

$$T_c = \frac{10,14 + 3,2 + 2}{0,18 \cdot 400} = 0,20 \text{ mn}$$

d) Opération 304

$$l = 18 \text{ mm}$$

$$T_c = \frac{18 + 3,2 + 2}{0,18 \cdot 400} = 0,32 \text{ mn}$$

e) Opération 305

$$l = 1 \text{ mm}$$

$$T_c = \frac{1 + 3,2 + 2}{0,18 \cdot 400} = 0,09 \text{ mn}$$

f) Opération 306

$$l = 1,5 \text{ mm}$$

$$T_c = \frac{1,5 + 3,2 + 2}{0,18 \cdot 400} = 0,09 \text{ mn}$$

g) Opération 307

$$l = 13,75 \text{ mm}$$

$$l_1 = 1,3 \text{ mm}$$

$$l_2 = 2 \text{ mm}$$

$$a_t = 0,2 \text{ mm/tr}$$

$$N = 600 \text{ tr/mn}$$

$$T_c = \frac{13,75 + 1,3 + 2}{0,20 \cdot 600} = 0,61 \text{ mn}$$

h) Opération 308

$$l = 17 \text{ mm}$$

$$T_c = \frac{17 + 1,3 + 2}{0,2 \cdot 600} = 0,17 \text{ mn}$$

i) Opération 309

$$l = 10,44 \text{ mm} \quad T_c = \frac{10,44 + 1,3 + 2}{0,2 \cdot 600} = 0,11 \text{ mn}$$

j) Opération 310

$$l = 18 \text{ mm} \quad T_c = \frac{18 + 1,2 + 2}{0,2 \cdot 600} = 0,18 \text{ mn}$$

k) Opération 311

$$l = 20,5 \text{ mm}$$
$$l_1 = 3,3 \text{ mm}$$
$$l_2 = 2 \text{ mm}$$
$$a_t = 0,2 \text{ mm/tr}$$
$$N = 200 \text{ tr/mn}$$
$$T_c = \frac{20,5 + 3,3 + 2}{0,2 \cdot 200} = 0,645 \text{ mn}$$

l) Opération 312

$$l = 28,5 \text{ mm} \quad T_c = \frac{28,5 + 3,3 + 2}{0,2 \cdot 200} = 0,84 \text{ mn}$$

m) Opération 313

$$l = 20,5 \text{ mm}$$
$$a_t = 0,35 \text{ mm/tr}$$
$$N = 1000 \text{ tr/mn}$$
$$l_1 = 1,2 \text{ mm}$$
$$l_2 = 2 \text{ mm}$$
$$T_c = \frac{20,5 + 1,2 + 2}{0,35 \cdot 1000} = 0,068 \text{ mn}$$

n) Opération 314

$$l = 28,5 \quad T_c = \frac{28,5 + 1,2 + 2}{0,35 \cdot 1000} = 0,090 \text{ mn}$$

6.4. Phase 40. Alésage

$$a_t = 0,52 \text{ mm/tr}$$
$$N = 91,82 \text{ tr/mn}$$
$$l = 102 \text{ mm}$$
$$l_1 = 26 \text{ mm}$$
$$T_c = \frac{1,1 (102 + 26)}{0,5 \cdot 91,8} = 3,06 \text{ mn}$$

6.5. Phase 50. Brochage

$$t = \frac{\text{course de travail}}{\text{vitesse}} = \frac{0,8}{(2/60)} = 24 \text{ s}$$
$$t_a = t_r = 24 \text{ s}$$
$$t_m = 8 \text{ s}$$
$$T_c = t_a + t_r + t_m$$
$$= 24 + 24 + 8 = 56 \text{ s}$$
$$T_c = 0,93 \text{ mn}$$

6.6. Phase 60. Fraisage

$$l = 63,5 \text{ mm}$$

$$D = 40 \text{ mm}$$

$$l_1 = l_2 = 5 \text{ mm}$$

$$T_c = \frac{l + D + l_1 + l_2}{A_f} = \frac{63,5 + 40 + 5 + 5}{100}$$

$$T_c = 0,14 \text{ mn}$$

$$T_{cj} = \sum T_c = 2 \cdot T_c = 0,28 \text{ mn.}$$

6.7. Phase 70. Taillage des dents

Temps du premier cycle : 11 s pour une course de

$C =$ largeur de dent + engagement + dégagement

$$C = 38 + 1 + 4 = 43 \text{ mm}$$

Le nombre de passe : $i = 3$

Le premier cycle est $0,18 \text{ mn}$

$$\text{d'où : } t_c = 3 \cdot 0,18 = 0,54 \text{ mn pour une dent.}$$

$$\text{pour les 20 dents nous aurons : } T_c = 0,54 \times 20$$
$$T_c = 10,8 \text{ mn}$$

6.8. Phase 80. Perçage

$$a_t = 0,05 \text{ mm/tr}$$

$$N = 1194 \text{ tr/mn}$$

$$l_1 + l_2 = 0,5 d$$

$$l = 21 \text{ mm}$$

$$T_c = \frac{1,1 (21 + 2)}{0,05 \cdot 1194} = 0,42 \text{ mn}$$

$$T_{cj} = 2 T_c = 2 \cdot 0,42 = 0,84 \text{ mn}$$

6.9. Phase 100. Rectification

Le temps de coupe pour la rectification sera adopté

$$\text{à } T_c = 6 \text{ mn.}$$

TABLEAU 18 : Résumé du temps total d'exécution pour chaque phase.

N° Phase	Désignation	Tc (min)	Tm (min)	T _L (min)	T _S (min)	T _P (min)	T _{ca} (min)	$\frac{T_{ca}}{100}$	T _e (min)
10	Percage	2,23	1	4,23	2,42	4,65	16	0,098	4,75
20	Tournage	7,78	2	9,78	9,98	10,76	37	0,23	10,96
30	Tournage	1,87	3	3,87	5,39	4,26	23	0,14	4,40
40	Alesage	3,06	1,5	4,56	0,46	4,96	17	0,10	5,16
50	Brochage	9,93	4	4,93	0,49	5,42	15	0,09	5,59
60	Fraisage	9,22	3,7	3,92	0,39	4,31	45	0,09	4,40
70	Taillage	11	5	16	1,6	17,6	62	0,35	17,35
80	Percage	0,34	1,5	2,34	0,23	2,57	16	0,098	2,67
90	T. T.								
100	Rectification	6	5	11	1,1	12,10	42	0,26	12,36

CHAPITRE VII CALCUL DU NOMBRE DE MACHINE-OUTIL
ET CALCUL D'OUTILLAGE

7.1. Calcul du nombre de machine-outil.

Le fond disponible est donné par la formule :

$$F_d = Z_o \cdot K_s \cdot H \left(1 - \frac{f}{100} \right)$$
$$= 300 \cdot 1,7 \left(1 - \frac{5}{100} \right) = 1\,995 \text{ h/an}$$
$$F_d = 119\,700 \text{ mn/an}$$

Le fond de temps disponible dans un mois

$$F_{d1} = \frac{F_d}{12} = \frac{119\,700}{12} = 9\,975 \text{ mn}$$

a) Phase 10

Machine utilisée : perceuse à colonne

$$F_{nec} = 4,75 \cdot 3\,600 = 17\,100 \text{ mn}$$

$$F_{d1} = 9\,975 \text{ mn}$$

$$N_{th} = \frac{17\,100}{9\,975} = 1,7$$

$$N_r = 2$$

b) Phase 20. Tournage

Machine utilisée : tour revolver

$$F_{nec} = 10,96 \cdot 3\,600 = 39\,456 \text{ mn}$$

$$N_{th} = \frac{39\,456}{9\,975} = 3,95$$

$$N_r = 4$$

c) Phase 30 Tournage

Machine utilisée : tour à outils multiples

$$F_{nec} = 4,40 \cdot 3\,600 = 15\,840 \text{ mn}$$

$$F_{d1} = 9\,975 \text{ mn}$$

$$N_{th} = \frac{15\,840}{9\,975} = 1,58$$

$$N_r = 2$$

d) Phase 40. Alésage

Machine utilisée : perceuse radiale

$$F_{nec} = 5,16 \cdot 3\,600 = 18\,576 \text{ mn}$$

$$N_{th} = \frac{18\,576}{9\,975} = 1,8$$

$$N_r = 2$$

.../...

e) Phase 50. Brochage

Machine utilisée : machine à brocher verticale.

$$F_{nec} = 5,51 \cdot 3\ 600 = 19\ 836 \text{ mm}$$

$$M_{th} = \frac{19\ 836}{9\ 975} = 1,99$$

$$M_r = 2$$

f) Phase 60. Fraisage

Machine utilisée : fraiseuse universelle

$$F_{nec} = 4,40 \cdot 3\ 600 = 15\ 840 \text{ mm}$$

$$M_{th} = \frac{15\ 840}{9\ 975} = 1,58$$

$$M_r = 2$$

g) Phase 70. Taillage des dents

Machine utilisée : machine à tailler les engrenages coniques

$$F_{nec} = 17,98 \cdot 3\ 600 = 64\ 728 \text{ mm}$$

$$M_{th} = \frac{64\ 728}{9\ 975} = 6,48$$

$$M_r = 7$$

h) Phase 80. Perçage

Machine utilisée : perceuse à colonne

$$F_{nec} = 2,67 \cdot 3\ 600 = 9\ 612 \text{ mm}$$

$$M_{th} = \frac{9\ 612}{9\ 975} = 0,96$$

$$M_r = 1$$

i) Phase 100. Rectification

Machine utilisée : machine spéciale à rectifier les engrenages coniques

$$F_{nec} = 12,36 \cdot 3\ 600 = 44\ 495 \text{ mm}$$

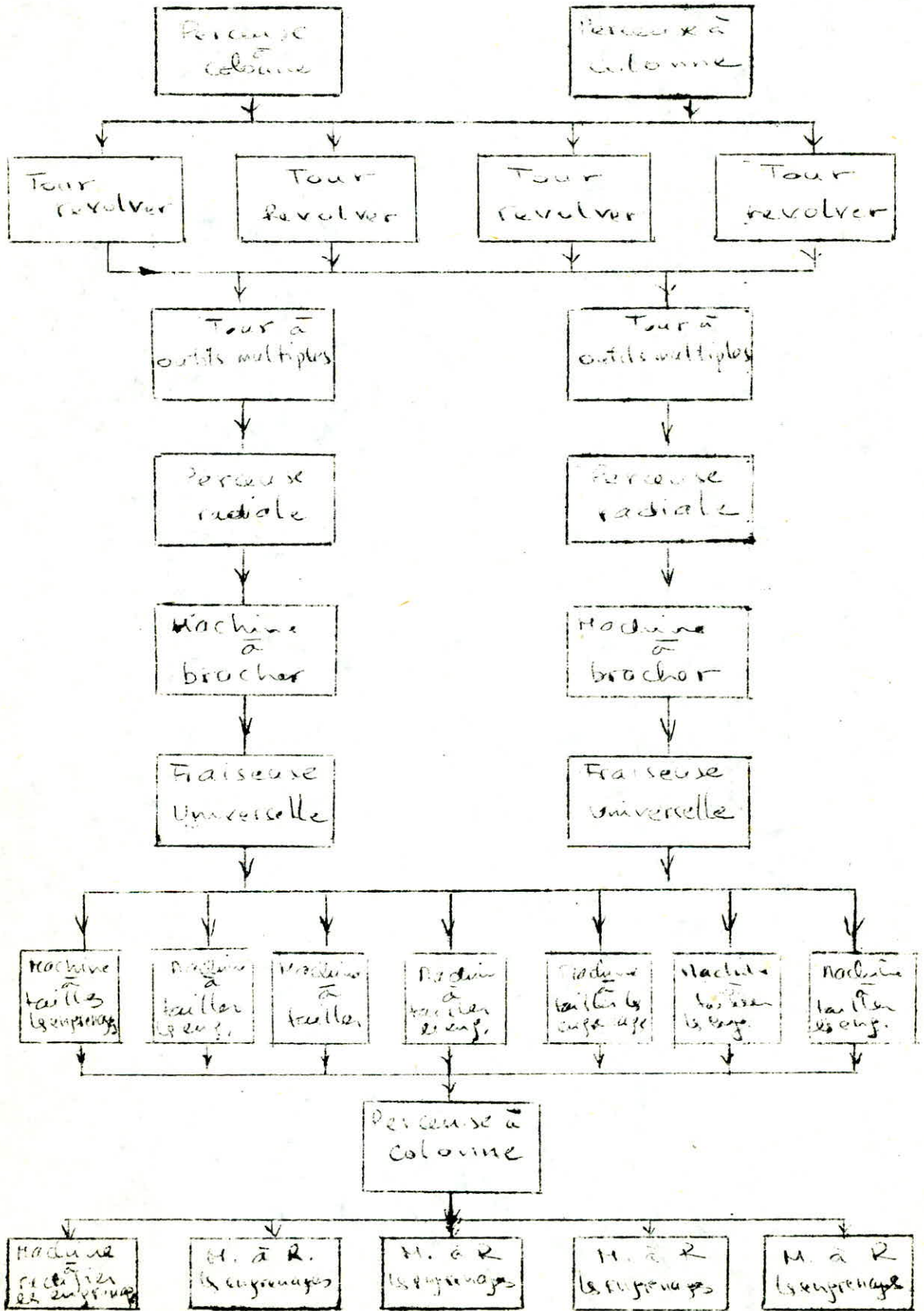
$$M_{th} = \frac{44\ 495}{9\ 975} = 4,46$$

$$M_r = 5$$

TABLEAU 19 : récapitulation de nombres de machines-outils.

N° de phase	Dénomination des phases	Type de machine	Tc (min)	Fines (min)	Fda (min)	MIL	Mr
10	Perçage	Perceuse à colonne GSP	4,75	17100	3375	1,7	2
20	Tournage	Tour universel AT 365 (U215)	10,36	33450	"	3,35	4
30	Tournage	Tour à outils multiples AT 30 (U255)	4,40	15540	"	1,55	2
40	Alesage	Perceuse radiale GSP type 55	5,46	15570	"	1,5	2
50	Brochage	Machine à brocher verticale	5,5	1936	"	1,33	2
60	Fraisage	Fraisage universelle TABATOS colonne C	4,40	15540	"	1,55	2
70	Taillage	Machine à tailler les engrenages coniques	17,38	6428	"	6,48	7
80	Perçage	Perceuse à colonne GSP	2,67	3012	"	0,96	1
100	Rectification	Machine spéciale à rectifier les engrenages coniques	12,36	44495	"	4,46	5

DISPOSITION PREFERABLE DES MACHINES-OUTILS.



7.2. Calcul d'outillage

a) Opération 205. Chariotage de la face 2.

$$T_c = 0,645 \text{ mn}$$

$$N_{\text{eff}} = 3\ 600 \text{ pièces}$$

$$T = 45 \text{ mn}$$

$$r = 4$$

$$K_c = 0,30$$

$$J_t = \frac{T_c \cdot N_{\text{eff}}}{T(r+1)(1-K_c)} = \frac{0,645 \cdot 3\ 600}{45(4+1)(1-0,30)}$$

$$= 14,74 \text{ outils soit } J_t = 15 \text{ outils.}$$

b) Opération 206. Finition de la face 2

$$T_c = 1,167 \text{ mn}$$

$$K_c = 0,10$$

$$J_t = \frac{1,167 \cdot 3\ 600}{45(5)(1-0,10)} = 20,74 \text{ outils}$$

$$J_t = 21 \text{ outils}$$

c) Opération 301. Dressage de la face 9.

$$T_c = 0,26 \text{ mn}$$

$$K_c = 0,30$$

$$J_t = \frac{0,26 \cdot 3\ 600}{45 \cdot 5 \cdot 0,70} = 5,94 \text{ outils}$$

$$J_t = 6 \text{ outils}$$

d) Opération 307. Finition de la face 9

$$T_c = 0,61 \text{ mn}$$

$$K_c = 0,10$$

$$J_t = \frac{0,61 \cdot 3\ 600}{45 \cdot 5 \cdot 0,90} = 10,84 \text{ outils}$$

$$J_t = 11 \text{ outils}$$

CHAPITRE VII CONSTRUCTION DES MONTAGES D'USINAGE

8.1. Montage de tournage

a) description

La pièce est positionnée dans le cylindre intérieur à l'aide d'un mandrin de reprise munie d'une bague fendue, expansible sous l'effet de l'effort de serrage dû au couple de serrage de la vis. Le maintien du mandrin dans la broche se fait par adhérence des cônes (cônes morses)

b) calcul de la force de serrage.

Soit : Q : force de serrage sur la douille fendue

r : rayon sur flancs de filets de la vis

p : pas de l'hélice

λ : angle d'inclinaison de l'hélice avec $\text{tg } \lambda = p/2\pi r$

φ : angle de frottement vis-écrou

f : coefficient de frottement

F : force tangentielle exercée sur la clé

R_m : rayon moyen du cercle de contact sur la pièce

Le contact se faisant suivant une couronne de rayon R_e et R_i

nous avons :
$$R_m = \frac{2}{3} \frac{R_e^3 - R_i^3}{R_e^2 - R_i^2}$$

Le couple de serrage est : $C_s = L.F = R [r \text{tg}(\lambda + \varphi) + R_m f]$

L = bras de levier = 250 mm

F = 25 daN

$R_e = 16$ mm

$R_i = 10$ mm

r = 0,5d = 5 mm

f = 0,14

$\lambda = 2,73$

$\varphi = 8^\circ$

$$R_m = \frac{2 \cdot 16^3 - 10^3}{3 \cdot 16^2 - 10^2} = 14,38 \text{ mm}$$

$$Q = \frac{25 \cdot 250}{5 \text{ tg}(2,73+8) + 14,38 \cdot 0,14} = 2 \ 110,9 \text{ daN}$$

La force tangentielle aux surfaces de contact est : $T = Q \cdot f$ avec f : coefficient de frottement entre les deux surfaces de contact.

Pour une surface de friction conique,

$$T = \frac{n Q}{\sin} f \quad \text{avec } n = 12$$

n : surface de contact.

$$T = \frac{12 \cdot 2 \ 110,9}{\cos 9^\circ} 0,13 = 33 \ 340,5 \text{ N}$$

Le moment du couple résistant C_r est :

$$C_r = T \cdot r_{\text{moy.}} = 33\,340,5 \cdot (51,5/2) \cdot 0,001 = 858,5 \text{ Nm}$$

Le couple C_e dû à l'effort de coupe est :

$$C_e = F_c \cdot r_p = 1\,009,8 \cdot 0,114 = 117 \text{ N.m}$$

avec F_c effort de coupe

r_p : rayon de la pièce.

d'où : $C_{\text{resist.}} > C_e$

c) Vérification des contraintes

L'alésage étant usiné auparavant, nous devrions vérifier si la surface ne subit pas d'empreinte

$$\tau = \frac{T}{S} \quad \text{avec } \tau : \text{contrainte}$$
$$S : \text{surface} = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$\tau = \frac{33\,340}{120083} = 1,33 \text{ N/mm}^2 = 0,13 \text{ hbar}$$

$$\tau < R_e \quad \text{où } R_e = 75 \text{ hbars}$$

8.2. Montage de fraisage

a) Description

La fixation de la pièce est réalisée à l'aide de deux dispositifs :

- un centreur, localisant la pièce
- un système goujon-écrou muni d'une rondelle fendue créant sur la pièce une force normale aux faces perpendiculaires aux génératrices du cylindre de la pièce.

L'index conique permet le rattrapage du jeu dans l'alésage conique avec un demi-angle au sommet supérieur à l'angle de frottement pour éviter le coincement.

Un volant permet la rotation de la pièce en manoeuvrant en même temps la poignée pour assurer le dé-gagement de l'index dans l'un des alésages coniques.

Une bride assure la rigidité de l'ensemble

Le bâti est réalisé par éléments soudés.

b) Calcul de la force de serrage

Nous utilisons la méthode de calcul qu'au paragraphe 8.1. de ce chapitre. Appliquons directement ses résultats.

$p = 2,5 \text{ mm (pas)}$

$r = 10 \text{ mm}$

$d = 20 \text{ mm}$

$L = 180 \text{ mm}$

$f = 0,14$

$F = 15 \text{ daN}$

$$R_m = \frac{2 \cdot R_e^3 - R_i^3}{3 \cdot R_e^2 - R_i^2} = \frac{2 (32^3 - 26^3)}{3 (32^2 - 26^2)} = 29,10 \text{ mm}$$

$$\text{tg} \alpha = p / (2\pi r) = 2,5 / (2\pi 10) = 0,03979$$

soit $\alpha = 2^\circ 28'$

$$Q = \frac{6s}{r(\text{tg}(\alpha + f) + R_m f)} = \frac{6 \cdot 700}{10 \text{tg}(2,28+8) + 29,10 \cdot 0,14}$$

$$Q = 458,46 \text{ daN}$$

Le couple de serrage $C_s = 27 \text{ N.m}$ est bien supérieur au couple résistant $C_r = 8,5 \text{ N.m}$

c) Vérification de la pression sur la pièce

Elle est donnée par la formule :

$$\tau = \frac{Q}{S} \quad ; \quad \text{avec } Q : \text{ la force de serrage}$$

$S : \text{ surface de contact}$

$$\tau = \frac{458,46}{1093} = 0,41 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau < R_e \quad \text{avec } R_e = 75 \text{ daN/mm}^2$$

La pression diamétrale exercée par la pièce sur le centrage est : $\tau = \frac{F_c}{L \cdot D} = \frac{42,5}{31,52} = 0,03 \text{ gbar}$

$$\tau < R_e$$

d) Vérification à la flexion

$l = 111 - 28,5 = 82,5 \text{ mm}$

$F_c = 42,5 \text{ daN}$

$I_x = \text{moment quadratique de la section considérée} : I_x = \frac{\pi d^4}{64}$

$M_{fmaxi} : \text{moment de flexion maximal}$

$$\tau_{maxi} = \frac{M_{fmaxi}}{I_x} \cdot v \quad \text{elle doit être inférieure à}$$

la résistance pratique R_p à l'extension ou à la compression

$$R_p \geq \tau_{maxi} = \frac{M_{fmaxi}}{I_x} \cdot v$$

$$\sigma_{\text{maxi}} = \frac{42,5 \cdot 82,5 \cdot 64}{d^4} \cdot \frac{d}{2} = 0,088 \text{ daN/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{maxi}} \ll R_n = 15 \text{ daN/mm}^2$$

La flèche est de :

$$f \approx \frac{1}{3} \cdot \frac{F_c \cdot l^3}{E I} = \frac{42,5 \cdot 64 \cdot 82,5}{21000 \pi 74^4}$$

$$\approx 3,76 \cdot 10^{-6} \text{ mm}$$

avec E module de Young.

e) Calcul du ressort cylindrique à compression

d : diamètre du fil

D_m : diamètre moyen d'enroulement

R_m : rayon moyen d'enroulement

H : hauteur libre

n : nombre de spires utiles

N : nombre total de spires. on admet généralement $N = n + 2$

p : pas de l'hélice à gauche ou à droite

F : charge appliquée au ressort

h : encombrement théorique à bloc ; $h = (n+1)d$

h_1 : encombrement pratique à bloc ; $h_1 = (n + 2)d$

F_t : flèche totale : $F_t = H - h_1$

G : module d'élasticité au cisaillement. (Pour les aciers
 $G = 8000 \text{ hbars}$ pour $d \leq 1 \text{ mm}$ sinon $G = 7800 \text{ hbars}$)

t : fatigue $t_{\text{max}} \leq 60 \text{ hbars}$ quand les spires sont jointives

$t = 40 \text{ hbars}$ en service normal

données : $d = 1,2 \text{ mm}$

$H_1 = 12 \text{ mm}$

$R_m = 6 \text{ mm}$

Valeur de la charge F :

$$F = \frac{\pi d^3 \cdot t}{16 R_m} = \frac{\pi 1,2^3 \cdot 40}{16 \cdot 6}$$

$$F = 2,26 \text{ daN}$$

Nombre de spires : $h_1 = (n+2)d$

$$n = 8$$

$$N = n+2 = 10$$

Valeur de la flèche totale :

$$F_t = \frac{64 n F R_m^3}{G \cdot d^4} = \frac{64 \cdot 8 \cdot 2,26 \cdot 6^3}{7800 \cdot 1,2^4} = 15,45 \approx 15 \text{ mm}$$

Le ressort sera en corde à piano.

Vérification de la possibilité d'enroulement

$$d < \frac{D_m}{4} \quad 12/4 = 3 > d = 1,2 \text{ mm}$$

Proportions à respecter : $\frac{D_m}{d} < 10$ $12/10 \leq 1,2 \text{ mm}$
pour des raisons de fabrication.

Pour éviter le flambage du ressort dans son logement

$$D_m/H \geq 1/5 \quad 12/27 = 0,44 \geq 0,2$$

$$D/H \geq 1/50 \quad 1,2/27 = 0,04 \geq 0,02$$

Les proportions sont acceptables

Caractéristiques du ressort.

Diamètre moyen d'enroulement	12 mm
Diamètre du fil	1,2 mm
Nombre de spires utiles	8
Nombre de spires totales	10

Hélice à droite

Extrémités meulés et rapprochées

Matériau : XC 80. Corde à piano.

8.3. Montage de perçage.

a) Description

Le blocage de la pièce s'effectue à l'aide d'un patin de blocage. Le couple de serrage est réalisé au moyen d'un système vis-écrou. L'index se déplace en translation à l'aide d'un levier et c'est ce qui permet la rotation du diviseur qui fait tourner la pièce pour percer l'interdent opposé. La rotation du diviseur ou de la pièce se fera à la main.

b) Calcul de la force de serrage

Pour identifier les différents paramètres utilisés se référer au paragraphe précédent.

$$\begin{aligned}
 r &= 3 \text{ mm} & \text{tg} \alpha &= p/(2\pi r) = 1/(2\pi \cdot 3) = 0,05305 & \alpha &= 3^\circ 03' \\
 d &= 6 \text{ mm} & R_m &= \frac{2 \cdot (7^3 - 3,125^3)}{3 \cdot (7^2 - 3,125^2)} = 3,56 \text{ mm} \\
 p &= 1 \text{ mm} \\
 D_e &= 11 \text{ mm} \\
 E_i &= 6,25 & Q &= \frac{F \cdot L}{r \text{tg}(\alpha + \varphi) + R_m F} = \frac{11 \cdot 24}{3 \text{tg}(3,03 + 8) + 3,56 \cdot 0,14} \\
 F &= 11 \text{ daN} & Q &= 243,7 \text{ daN}
 \end{aligned}$$

Le couple de serrage $C_s = 0,024 \cdot 110 = 2,64 \text{ N.m}$ est supérieur au couple résistant qui est égal à $0,34 \text{ N.m}$
Le calcul du ressort est le même qu'au paragraphe e.

CHAPITRE IX CALCUL DE LA BROCHE

9.1. Calcul des éléments de la denture

a) Ebauche

$$E = 3,6 \text{ mm}$$

$$Z = E/2e = 3,6/2 \cdot 0,1 = 18 \text{ dents}$$

$$e = 0,1 \text{ mm}$$

$$L_e \text{ pas } 1 = 1,75 L = 1,75 \cdot 102 = 180 \text{ mm}$$

Le nombre de dents en prise $z = L/1 = 102/18 = 6$ dents

Longueur de la partie active $l = 5 \cdot 18 = 18 \cdot 18 = 324 \text{ mm}$

b) Demi-finition

$$E = 0,3 \text{ mm}$$

$$Z = 0,3/2 \cdot 0,03 = 5 \text{ dents}$$

$$e = 0,03 \text{ mm}$$

$$l = 5 \cdot 18 = 90 \text{ mm}$$

c) Finition

$$E = 0,1 \text{ mm}$$

$$Z = 0,1/2 \cdot 0,01 = 5 \text{ dents}$$

$$e = 0,01 \text{ mm}$$

$$l = 5 \cdot 18 = 90 \text{ mm}$$

d) Dents pour chanfreins

$$E = 0,5 \text{ mm}$$

$$Z = 0,5/2 \cdot 0,1 = 2,5$$

$$e = 0,1 \text{ mm}$$

$$Z = 2 \text{ dents} + 1 \text{ dents à } e = 0,05 \text{ mm}$$

$$l = 3 \cdot 18 = 54 \text{ mm}$$

9.2. Calcul des éléments de la dent.

a) Détermination de la profondeur des dents

Suivant la matière à usiner : $\frac{1}{4} < H < \frac{1}{3}$

Cette valeur diminue pour les petites broches et les grandes longueurs à brocher : $H = 1/3,5 = 18/3,5 = 5,14 \text{ mm}$

b) Longueur de la surface en dépouille

$$D = 1/4 = 18/4 = 4,5 \text{ mm}$$

c) Rayon r du fond de la denture

La valeur et la forme du rayon r du fond de la denture sont importantes. Elles augmentent la résistance de la dent. Si la coupe est bonne, le copeau s'enroule en spirale et sa courbure naturelle permet d'éviter toute interférence avec la courbure de la dent. Généralement la valeur de r est fonction de la hauteur h ou profondeur de la dent.

$$r = (0,4 + 0,6)h \text{ . On prend : } r = 0,5 \cdot 5,14 = 2,57 \text{ mm}$$

Tableau 20 : valeurs des progressions en mm

Source : fascicule Delagrave "Rebotaqe et Brochage. R. BERTSCH H. VIGNAUD

Matières à brocher	Progression en mm		
	Ebauche	1/2-finition	finition
Aciers R 56-70 kgf/mm ²	0,05 0,1	0,02 0,05	0,01 0,02
Aciers R 90 kgf/mm ²	0,03 0,05	0,02 0,04	0,01 0,02
Fontes	0,1 0,3	0,05 1	0,01 0,02
Alliages légers	0,1	0,03	0,02
Laitons Bronzes	0,1 0,4	0,05 0,2	0,02

9.4. Angles de coupe.

L'observation des angles est très importante dans le brochage. Les broches doivent avoir une dépouille suffisante pour supprimer le talonnage.

Afin d'éviter une usure rapide de la denture les angles de dépouille sont généralement une valeur de 1 à 3° pour les dents d'ébauche et de 1 à 2° pour les dents de finition. Il faut réduire l'angle $\hat{\alpha}$ au minimum pour limiter le frottement de l'outil.

$\hat{\alpha} = 1^\circ$ (ébauche et demi-finition)

$\hat{\alpha} = \hat{\alpha} + 3^\circ = 1 + 3 = 4^\circ$ (angle de fond de brise copeau)

Les angles de pente b varient selon la matière à brocher de 0 à 20°.

Ainsi pour :

l'aluminium, l'angle b est supérieur ou égal à 15°

laitons et bronze de 0 à 10°

Fentes de 6 à 8°

Aciers doux et mi-durs ($R < 70 \text{ kgf/mm}^2$) de 17 à 20°

Aciers durs ($R > 70 \text{ kgf/mm}^2$) de 12 à 17°

Nous choisissons l'angle b égale à 15°

TABLEAU 21 : résumé des divers résultats.

DESIGNATION		e (mm)	Pas (mm)	Nombre	L (mm)
Dents cannelées	Ebauche 1 ^e au 18 ^e	0,1	18	18	324
	1/2 Finition 19 au 23 ^e	0,02	18	5	30
	Finition 27 ^e au 31 ^e	0,01	18	5	30
	Reserve 32 ^e au 36 ^e		14	4	56
Dents pour chanfreins	1 ^{ère} dent 24 ^e	0,05	18	1	18
	Autres dents 25 au 26 ^e	0,1	18	2	36
Guide avant	φ 52 d 11	Longueur totale de dentures : 614 téton 40 guide avant : 116 " arrière : 140 <u>910</u>			
Guide arrière	φ 52 g 6				
Nombre de dents en prise	$z = \frac{L}{p} = \frac{\text{longueur bécnelée}}{\text{pas}}$	E dents			
Section minimum de la broche	$S = \pi r^2 = \pi (13)^2$	1134 mm ²			
Section maximum du copeau	$S = \text{perimètre bécnelée} \times l \times e$	4 mm ²			
Pression spécifique de coupe	$K = \frac{k_1}{e^{0,25}} = \frac{200}{0,05^{0,25}}$	422,9 kgf/mm ²			
Effort de coupe	$F_c = K \cdot l \cdot e \cdot n \cdot c$	62236 daN			

CONCLUSION

Le point de départ de la fabrication des pignons coniques a été le dessin de définition. Il nous a présenté les données définissant la pièce à produire.

C'est à partir de ces données que nous avons déterminé le procédé d'élaboration des pièces brutes.

Nous avons ensuite élaboré la gamme d'usinage en tenant compte du choix des machines-outils qui nous permettent de respecter les spécifications du dessin de définition. Nous avons alors calculé les régimes de coupe, les efforts les puissances de coupe et les temps d'exécution pour optimiser ces différents paramètres.

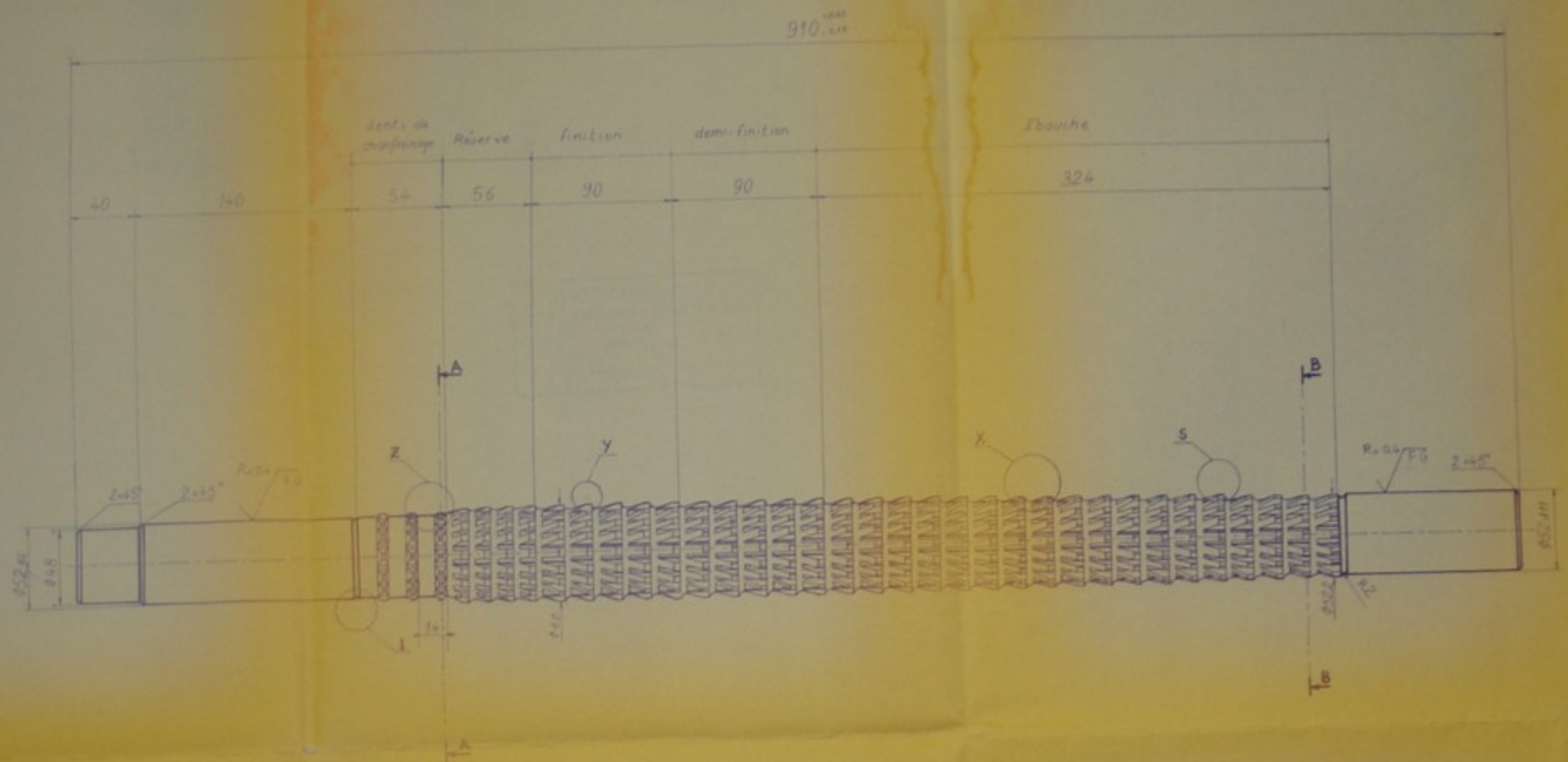
Le profil particulier de l'alésage nous a occasionné la construction d'une broche d'intérieure de poussée.

Enfin dans le souci de diminuer les temps manuels nous avons construit les montages d'usinages.

Cette modeste étude peut-être l'objet d'une continuation notamment dans le domaine d'organisation d'atelier en étudiant l'amélioration des postes de travail, la disposition des machines-outils ect..., afin de contribuer à la réduction de la durée de l'exécution et améliorer la cadence de production.

1-3 BIBLIOGRAPHIE -

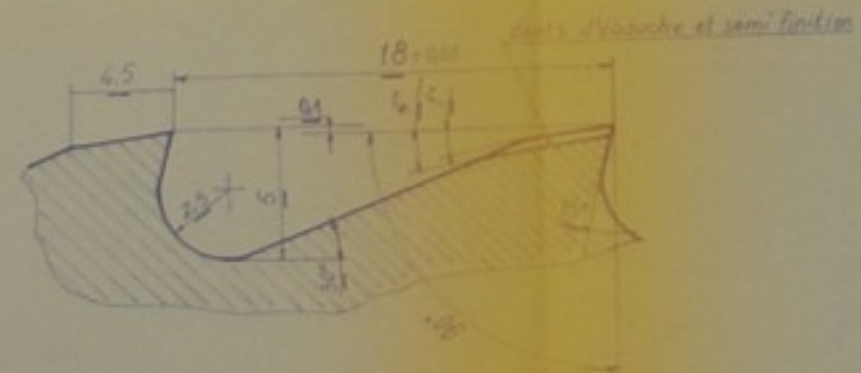
- 1 - Fascicules Delagrave
 - Rabotage et Brochage. R. DIETRICH - M. VIGNAUD
 - Faisage des métaux. A. Chevaleir
 - Tournage des métaux A. Chevaleir et R. JOLYS
- 2 - Organisation d'atelier et calcul des prix en mécanique
W. GAUTHEY. Ed. S. P. E. S. Lausanne 1965
- 3 - Perçage - Alésage - Pointage - Taraudage. Ed. Eyrolles 1960
- 4 - Technologie professionnelle générale. A. Dupont et A. CASTEL
(Ed. DESFORGES, Paris 1980.
- 5 - Méthodes et analyses de fabrication mécanique. J. KARR.
(Dunod 1979)
- 6 - Fabrications mécaniques - technologie. R. BUTIN et M. PINCT.
(Foucher 1981)
- 7 -
- 8 - Théorie et pratique des outils de coupe. E. BLANFAIN
(Eyrolles 1955).
- 9 - Théorie et pratique des engrenages tome 2. G. Henriot
(Dunod - Paris 1972)
- 10 - Guide du dessinateur industriel. A. Chevalier
(Hachette technique 1980)
- 11 - Logique et technologie. L. GEMINARD. Dunod 1970
- 12 - Montages d'usinage. R. FAZOT. 1974 Paris.
- 13 - Thèse étudiée par Mr MAHDI. Atelier de fabrication d'une
broche de tour. Janvier 1979. Ecole nationale
polytechnique d'Alger.
- 14 - Thèse étudiée par Mr BISSEKRI M. Exécution d'un corps de
robinet à brides perpendiculaires. Juin 1982. ENPA
- 15 - Aide mémoire Dunod
 - Fabrication en construction mécanique
 - Conception " " "
 - Calcul " " "
- 16 - Aide mémoire Delagrave. 1979
 - Mécanique théorique et appliquée. M. DELANETTE
H. DUBOIS.



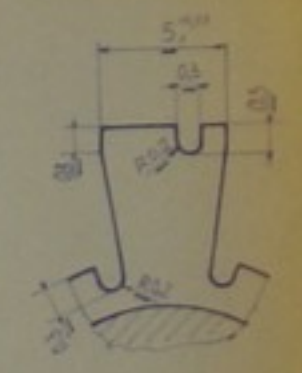
détail Y



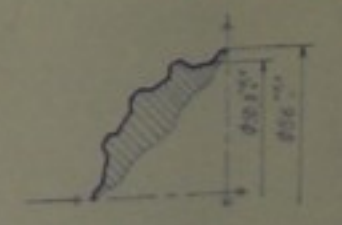
détail X



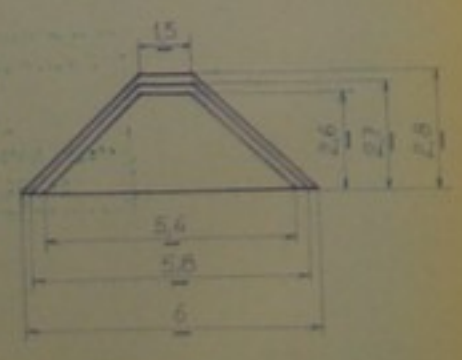
détail S



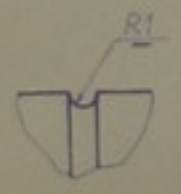
Section A-A



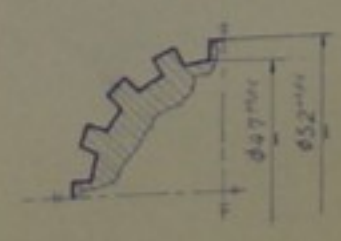
détail Z



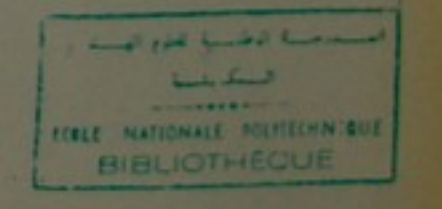
détail I



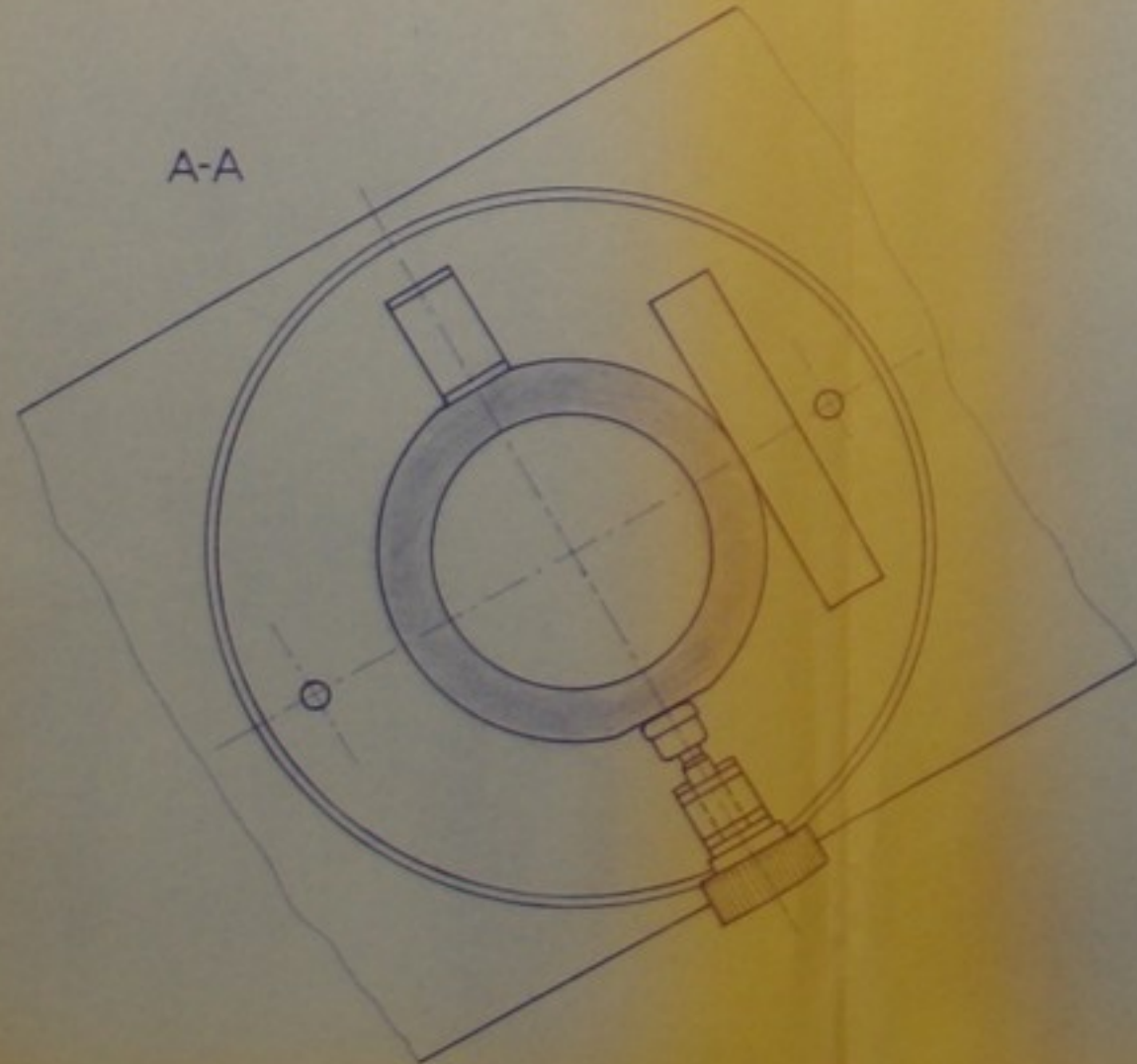
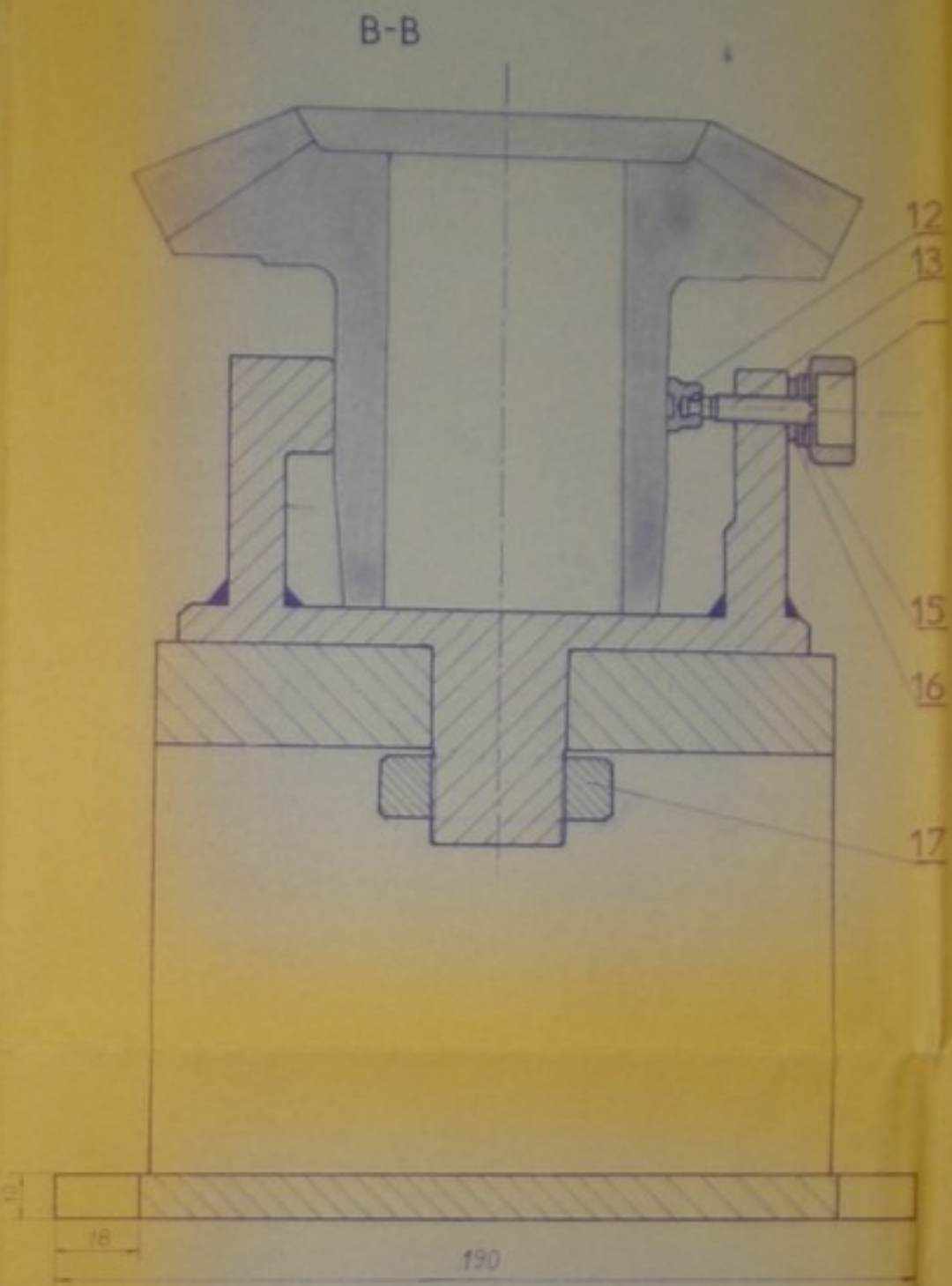
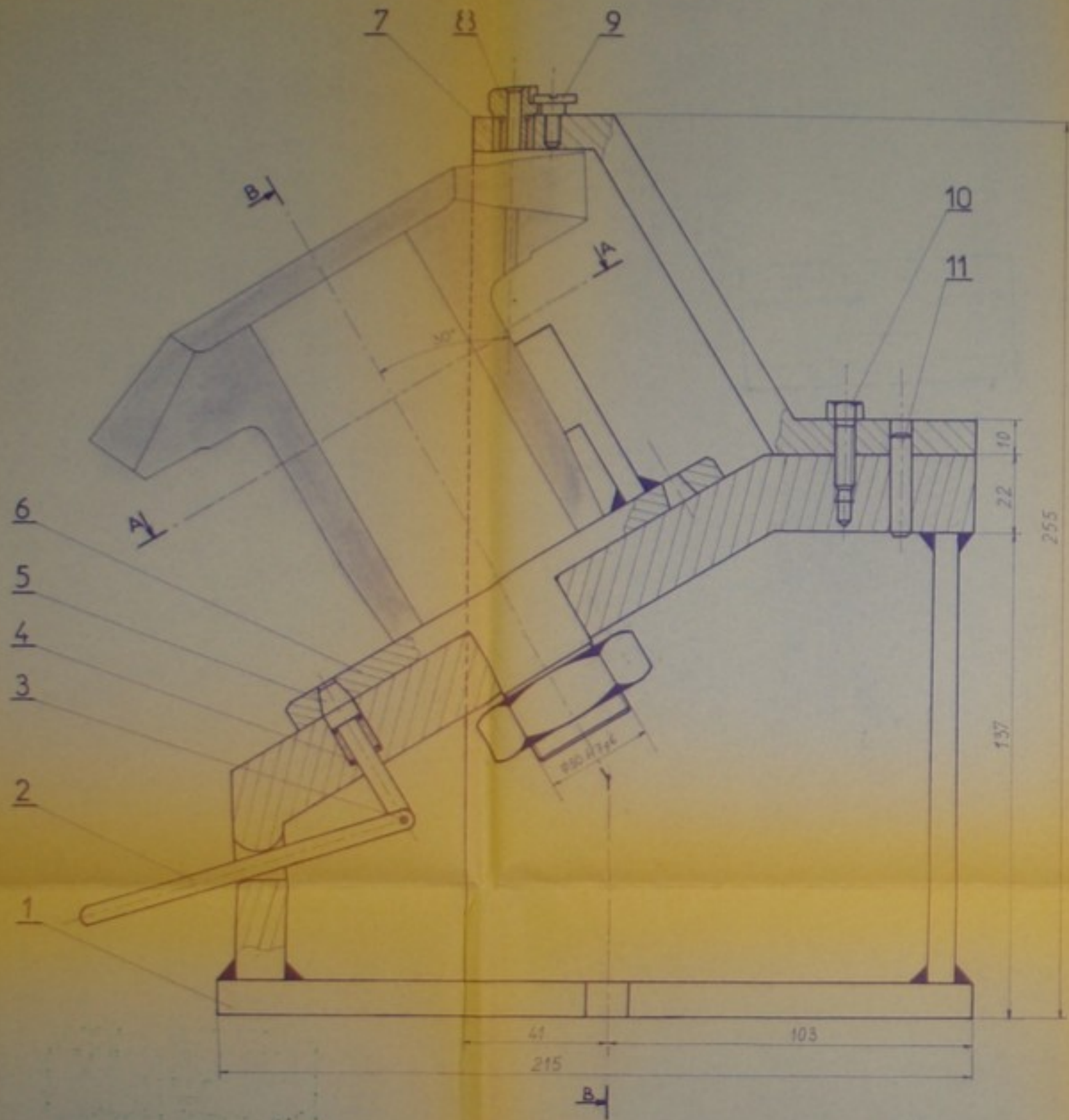
Section B-B



PM 037 83
Annexe A-



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE			
Echelle	Masse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1:2			
Etudiant	Quizzya	50	
Préparateur	Manneuv	100	
Thésard			
BROCHE		ENPA	
Z85WCV4182		Dép. MECANIQUE	
PR 5.00.00			



PM03793
ANNEXE -2-

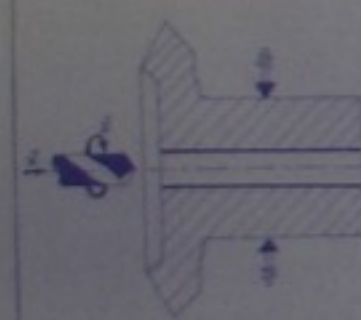
مكتبة
الجامعة الوطنية
BIBLIOTHEQUE

17	-	Ecrou H. M80	1	E 80	
16	-	Rondelle M6 U	1	XC 58	
15	-	Coquille diam 15-16	1	XC 58	voir 2. 21 cm
14	-	Ecrou moleté M6	1	E 50	voir 2. 21 cm
13	-	Vis de blocage M6-30	1	XC 58	voir 2. 21 cm
12	-	Patin 6	1	XC 58	voir 2. 21 cm
11	-	Pieds de centrage M6-20	2	XC 400	voir 2. 21 cm
10	-	Vis H. M6 20	2	XC 58	
9	-	Vis arreter 6	1	A48	voir 2. 21 cm
13	-	Canon de perçage M8	1	35CD4	voir 2. 21 cm
7	-	Canon de perçage 12x10	1	35CD4	voir 2. 21 cm
6	PR4005	Diviseur	1	35CD4	voir 2. 21 cm
5	PR4004	Index	1	XC 10	voir 2. 21 cm
4	-	Ressort	1	XC 86	voir 2. 21 cm
3	PR4003	Axe du levier	1	XC 10	
2	PR4002	Levier	1	XC 10	
1	PR4001	Support	1	XC 18 5	voir 2. 21 cm
Rp	N° dessin	Désignation	NB	Mat	Objet

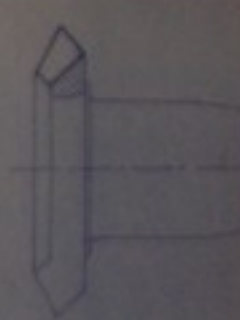
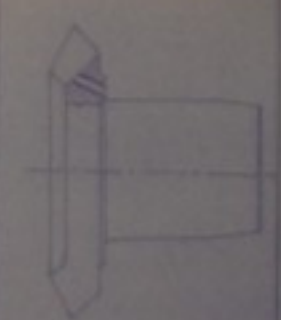
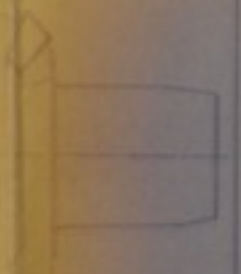
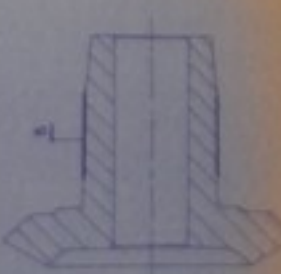
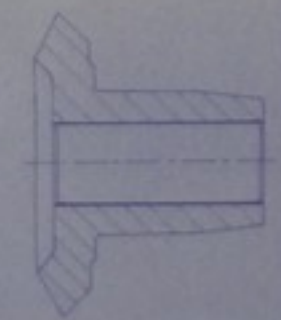
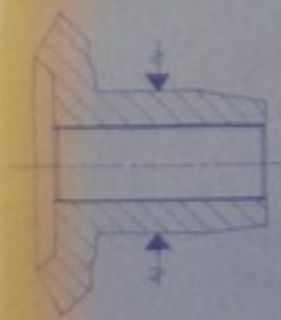
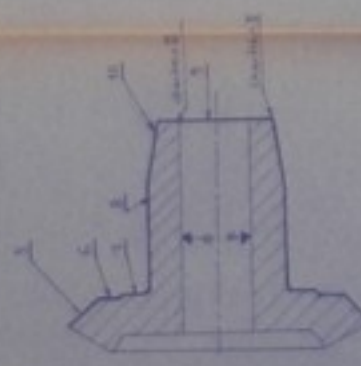
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Echelle	1	1	MONTAGE DE PERÇAGE	ENPA
Préparé par				
Approuvé par			PR4000	

Proposé par Mr. I. MARINOV		Etué par OUSSYKA Christian							
N° Opération	Désignation Opération	Matériau	Machine	Outils	Parties	Précision	Temps	Temps	Temps
10	Perçage	101	Perçage débouché Diamètre 20mm	Perçage à main	Perçage à main	0.1	10.00	1.00	10.00
20	Tournage	201	Perçage à 10mm	Perçage à main	Perçage à main	0.1	10.00	1.00	10.00
30	Tournage	301	Perçage à 10mm	Perçage à main	Perçage à main	0.1	10.00	1.00	10.00
40	Alésage	401	Alésage à 10mm	Alésage à main	Alésage à main	0.1	10.00	1.00	10.00
50	Brochage	501	Brochage	Brochage à main	Brochage à main	0.1	10.00	1.00	10.00
60	Fraisage	601	Fraisage à 10mm	Fraisage à main	Fraisage à main	0.1	10.00	1.00	10.00
70	Tournage	701	Tournage	Tournage à main	Tournage à main	0.1	10.00	1.00	10.00
80	Perçage	801	Perçage à 10mm	Perçage à main	Perçage à main	0.1	10.00	1.00	10.00
90	Perçage	901	Perçage à 10mm	Perçage à main	Perçage à main	0.1	10.00	1.00	10.00
100	Perçage	1001	Perçage à 10mm	Perçage à main	Perçage à main	0.1	10.00	1.00	10.00

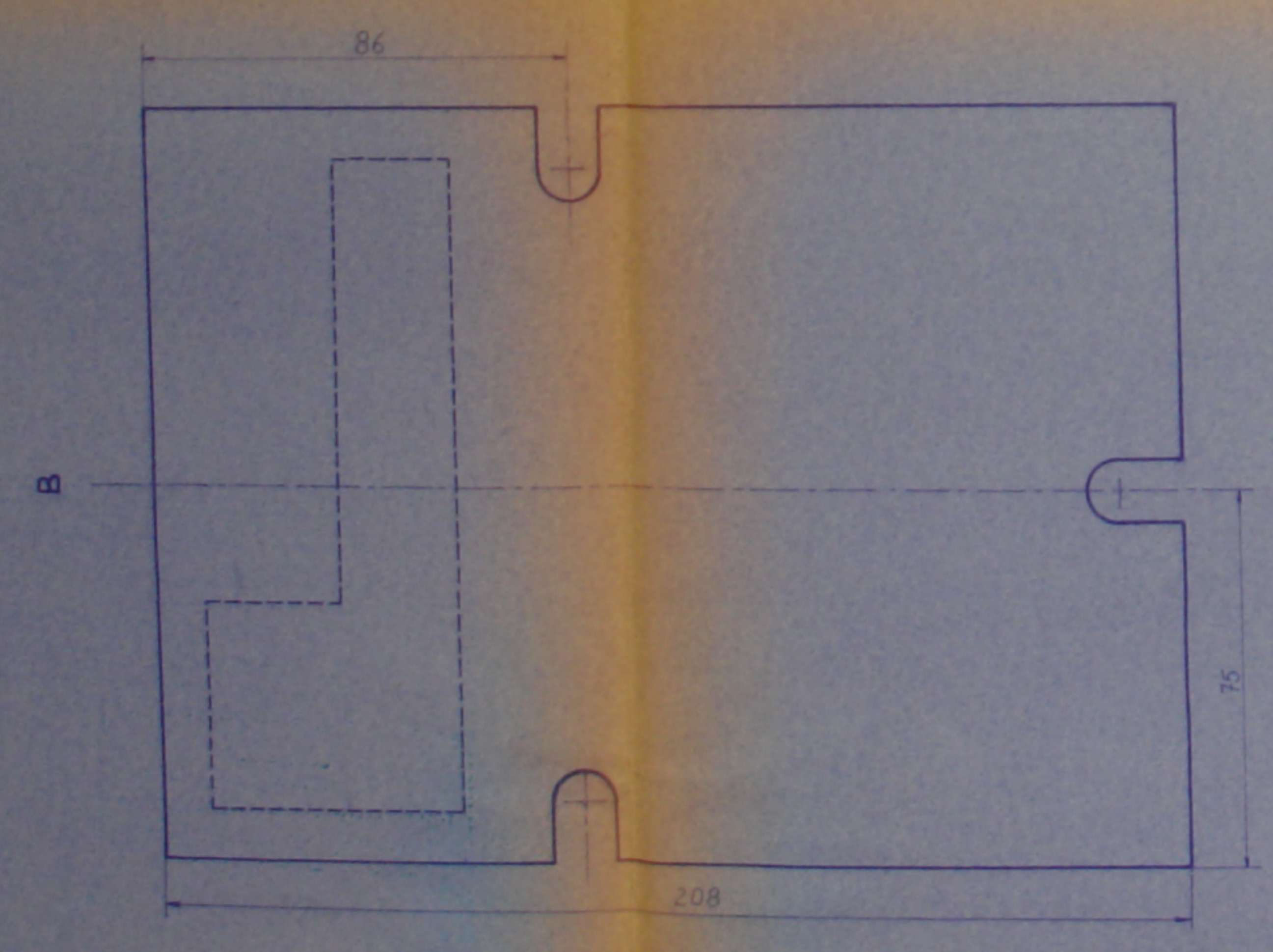
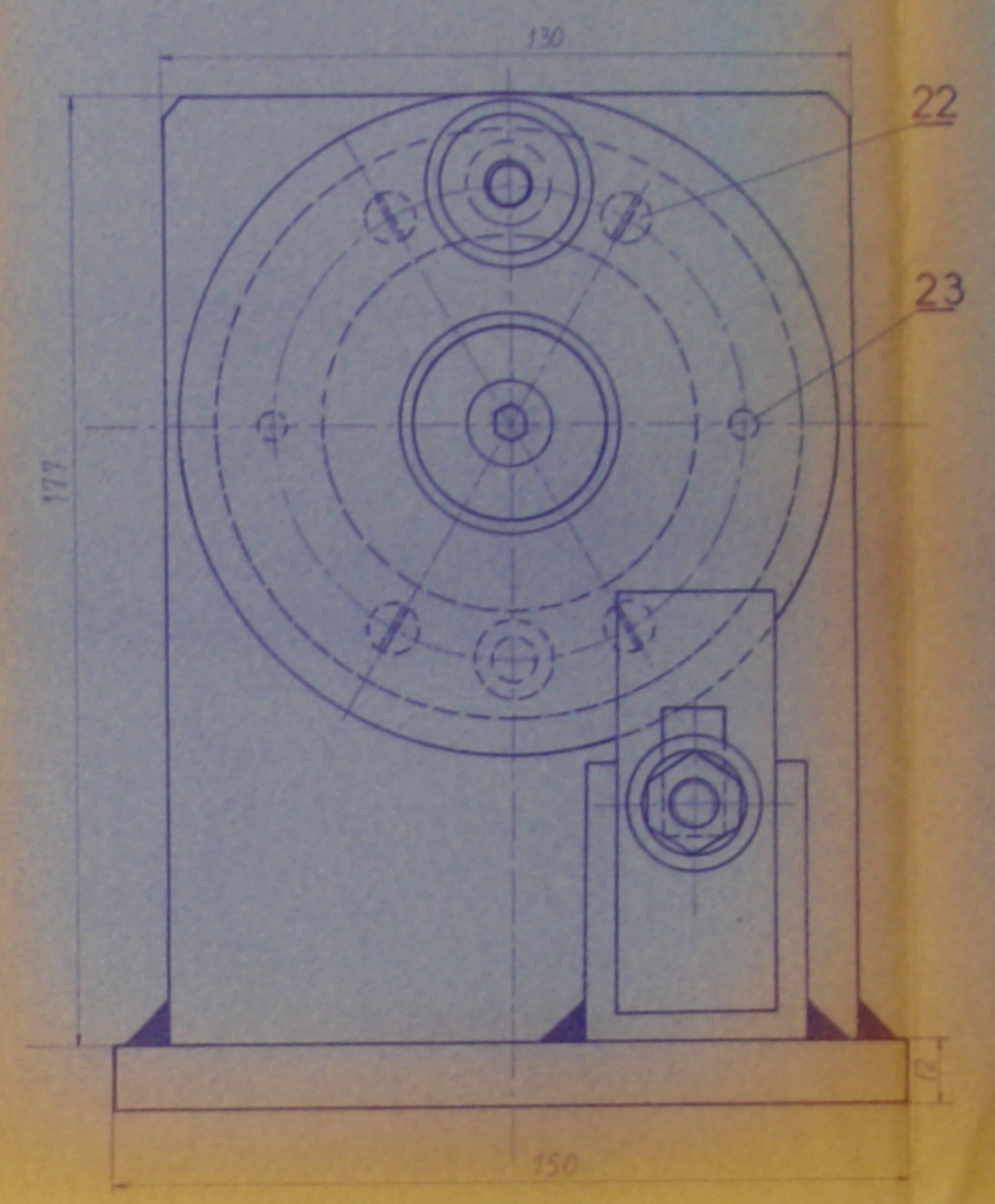
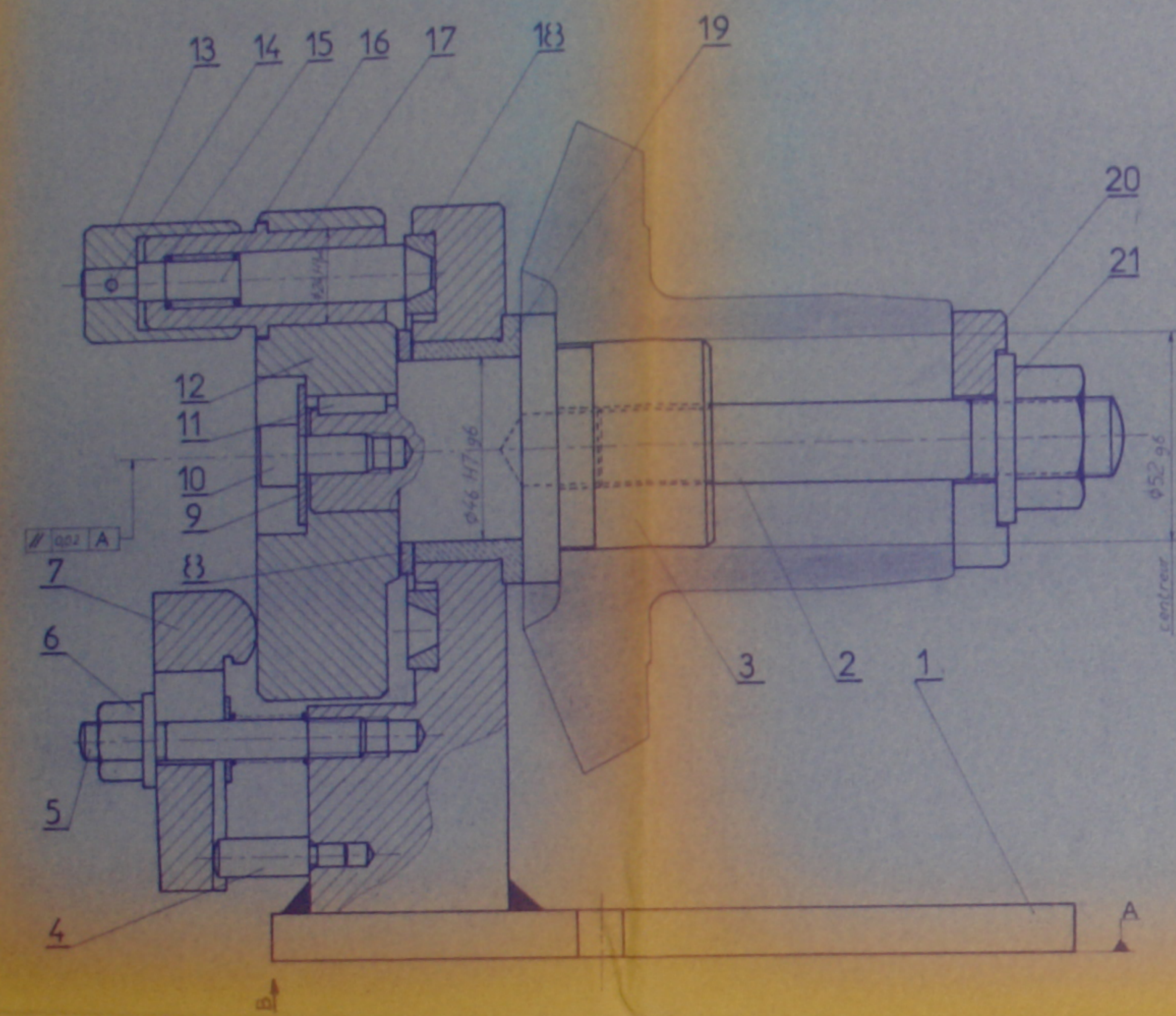


BIBLIOTHÈQUE



CEMENTATION GAZEEUSE

TREMPER A INDUCTION



PM 03783
annexe -4-

23	-	Pied M6x12	2		XC100	Shubs
22	-	Vis C M6x12	4		XC38	
21	-	Ecrou à embase M20	1		XC38	Marsien 9000
20	-	Rondelle amovible fendue	1		XC38	en rev. 10/10/00
19	PR3011	Coassinat	1		UE10	
18	PR3010	Diviseur	1		35CP4	en rev. 10/10/00
17	PR3009	Fourreau	1		XC38	
16	PR3008	Index	1		XC10	en rev. 10/10/00
15	-	Ressort	2		XC80	corde à piano
14	-	Goupille M4x30	1		XC100	Shubs
13	PR3007	Pignée	1		XC18	
12	PR3006	Volant de manœuvre	1		CC35	
11	-	Clavette à bouts ronds	1		XC48	en rev. 10/10/00
10	-	Vis CHc M8x12	1		XC38	
9	-	Rondelle M8U	1		A48	
8	PR3005	Rondelle de réglage	1		UE10	
7	PR3004	Bride	1		XC38	
6	-	Etrous à embase M10	1		XC38	
5	-	Goujon M20-50/22T-j45	1		XC38	en rev. 10/10/00
4	PR3003	Appui de bride	1		XC80	
3	PR3002	Centreur	1		XC10	
2	-	Goujon M20 104/34	1		XC38	en rev. 10/10/00
1	PR3001	Support	1		XC38 s	Shubs

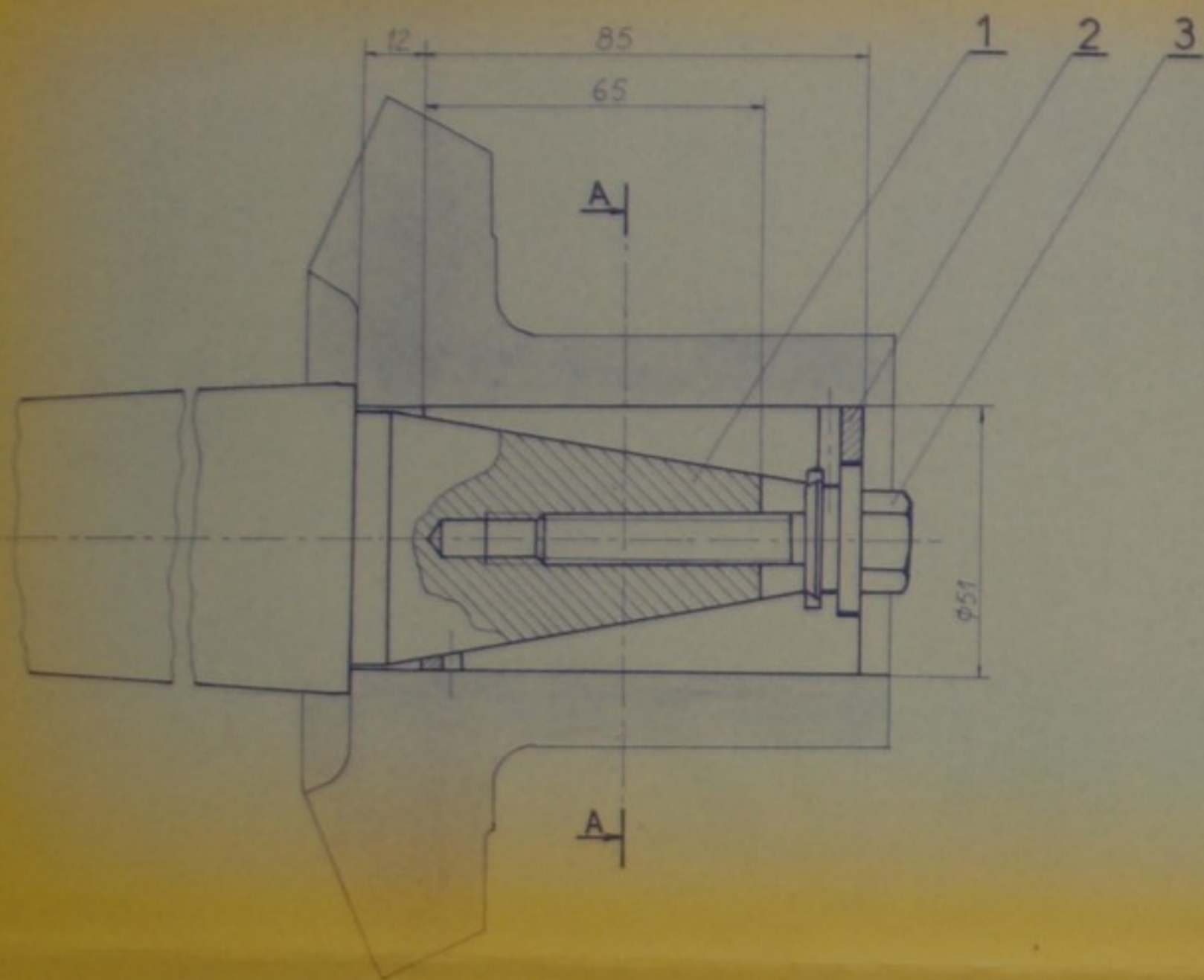
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Echelle	Mat	Mat	Observ
1			
Elaboré par	Montage		
Préparé par	Montage		
Approuvé par	Montage		
Mat			

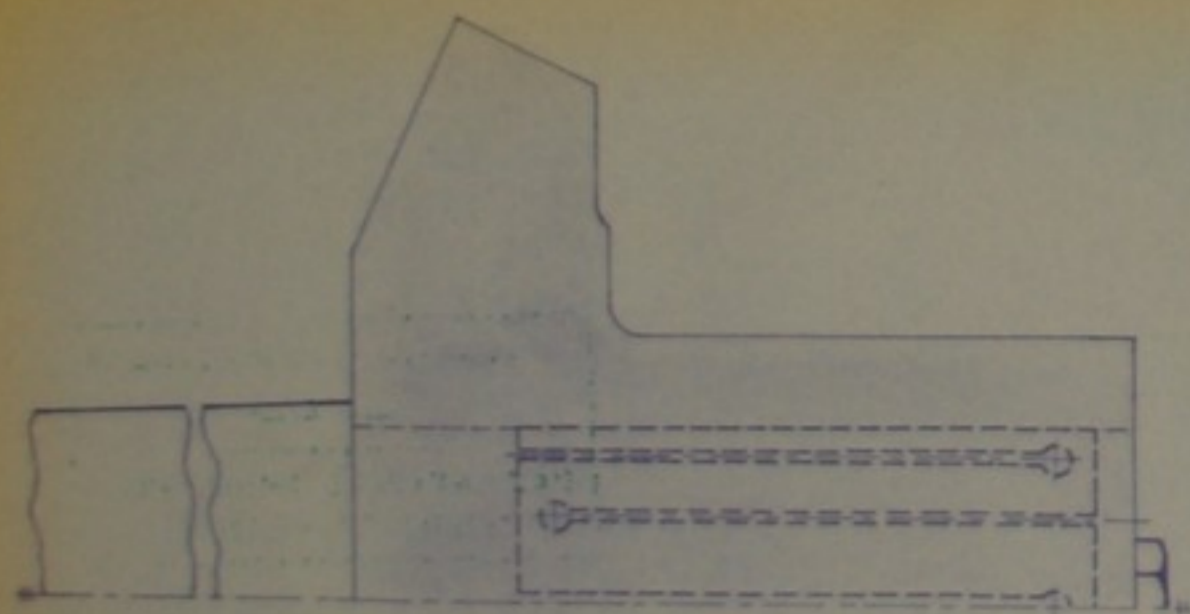
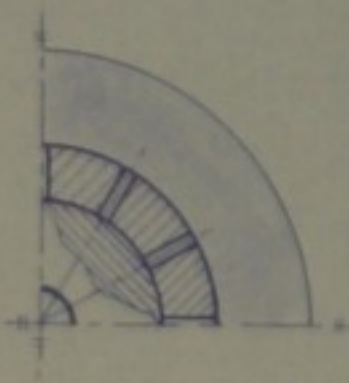
MONTAGE DE FRAISAGE

ENPA
Des MECANIQUE

PR 30 00



A-A



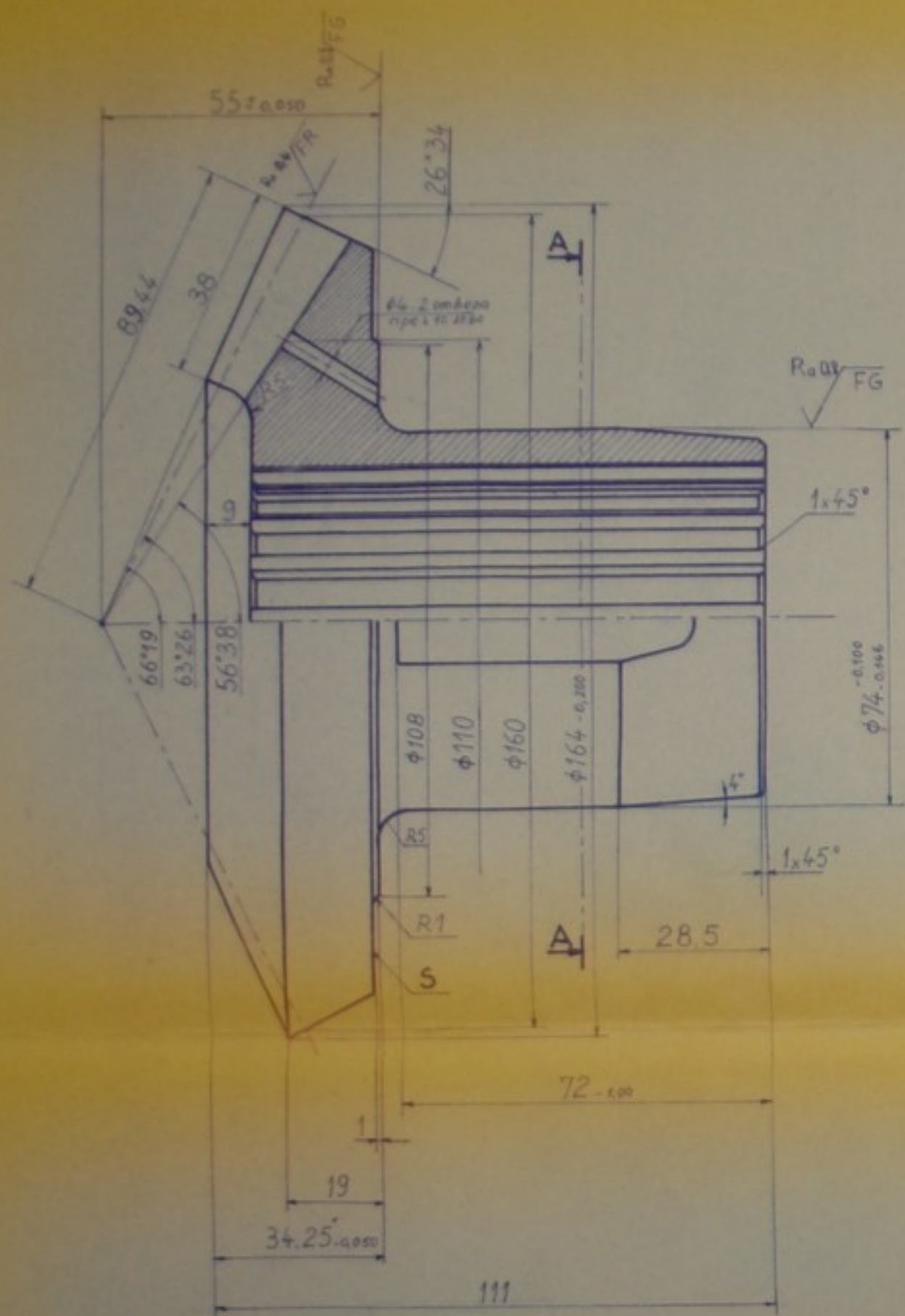
PM 037 83
Annexe .5.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
الجزائر
الجامعة الوطنية politechnique
BIBLIOTHÈQUE

3	PR2003	Vis de fixation	1		XC38	
2	PR2002	Expansible	1		4557	Tr. 6 800/1000
1	PR2001	Mandrin	1		10NC6	Gen Tr. 1000
Rp	N° dessin	Désignation	Nb	Mat	Observ	

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Echelle	1	PROJ	MONTAGE DE TOURNAGE	ENPA
Étudiant	Benayba	1000		PR2000
Présentateur	Moulay			
Chef de p.				
Date				



Caractéristiques :

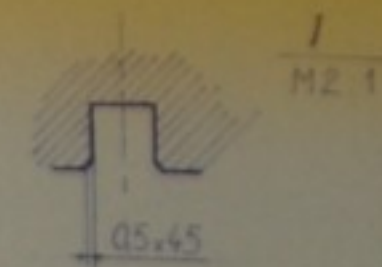
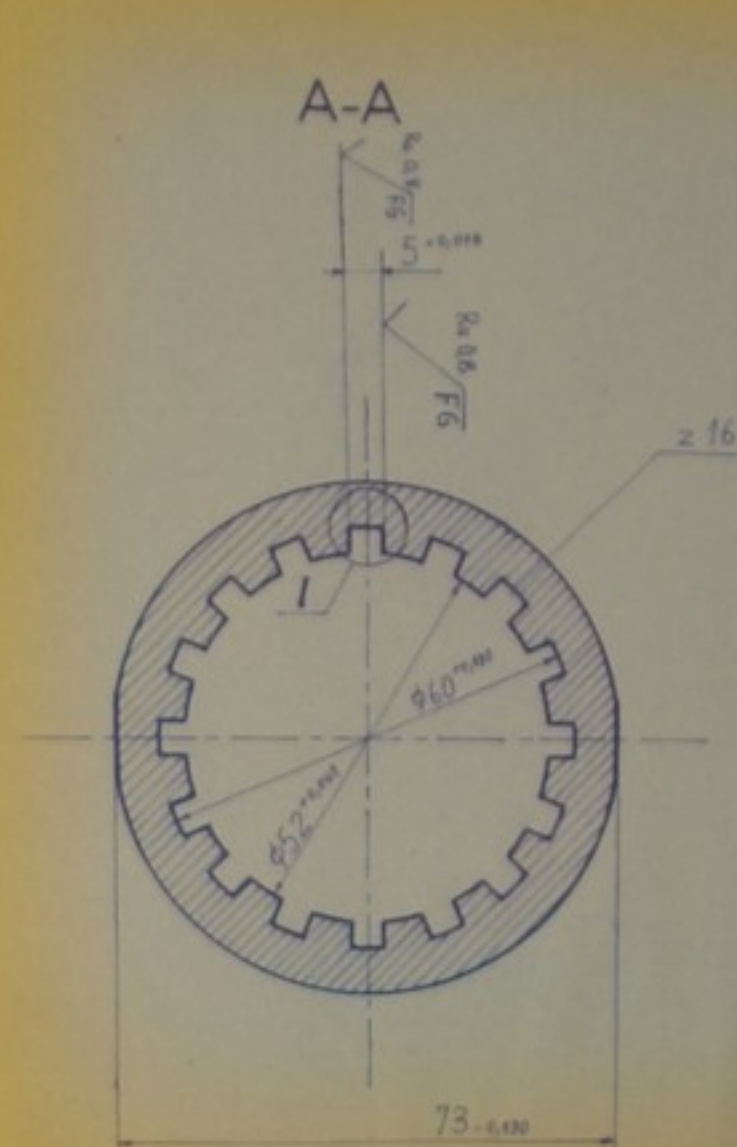
- nombre de dents : $Z = 20$
- Rapport d'engrenage : $i = 10/20$
- Module : $m = 8 \text{ mm}$
- Angle de pression : $\alpha = 20^\circ$
- Largeur de denture : $b = 38 \text{ mm}$
- Soillie : $h_a = 4.5 \text{ mm}$
- Creux : $h_f = 10.67 \text{ mm}$
- Angle de tête : $\delta_a = 2^\circ 53'$
- Angle de pied : $\delta_f = 6^\circ 48'$
- Epaisseur de dent (sur $\phi 160 \text{ mm}$) : $s = 10.75 \text{ mm}$
- Angle de conicité de dent : $6^\circ 54' 36''$

Dispositif mesurant la hauteur 4.5 mm et l'épaisseur 10.75 ± 0.05

Déplacement de denture origine -2.5μ

Exigences techniques :

1. La surface de travail de dent doit être propre. Elle ne peut avoir des copeaux, des fissures dues à la trempe et les autres défauts ne sont pas admis.
2. Coaxialité des $\phi 74 \text{ mm}$ et $\phi 160 \text{ mm}$ dans les limites de 0.030 mm
3. Perpendicularité de la surface S par rapport à l'axe de la surface $\phi 74 \text{ mm}$ ne dépassant point 0.050 mm .
4. Cémentation : profondeur : $1.0 - 1.4 \text{ mm}$.
5. Dureté : trempe : $58 - 62 \text{ HRC}$
6. Matière : $16\text{NC}6$



PM03783
Annexe -6-



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE			
Echelle	1	1	PIGNON
Etudiant	Duisyha	64	
Promoteur	Marine I	64	ENPA Dep. MECANIQUE
Promoteur			
Chef dep.			16NC6
En s. juty			
			PR 1.0.00

