



OFPPT

ROYAUME DU MAROC

---

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail  
Direction Recherche et Ingénierie de la Formation

**RESUME THEORIQUE  
&  
GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES**

**MODULE 8: FABRICATION D'UNE PIÈCES DE  
RENOVATION EN MECANIQUE GENERALE**

**Secteur : FABRICATION MECANIQUE**

**Spécialité : Technicien en Fabrication Mécanique**

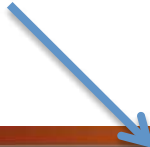
**Niveau : Technicien**

## PORTAIL DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE AU MAROC

Télécharger tous les modules de toutes les filières de l'OFPPT sur le site dédié à la formation professionnelle au Maroc : [www.marocetude.com](http://www.marocetude.com)

Pour cela visiter notre site [www.marocetude.com](http://www.marocetude.com) et choisissez la rubrique :

### MODULES ISTA



HOME LIVRES **MODULES ISTA** ANNUAIRE ECOLES DOCTORAT LETTRE DE MOTIVATION NOUS CONTACTER SE CONNECTER

*Maroc Etude.Com* Connaissance - Métier - Technique

Annonces Google Emploi Maroc Messagerie Telecharger Un Jeu Maroc Annonces

recherche...

Nous avons 14 invités en ligne

**Annonces Google**

[Annonces Emploi Maroc](#)  
[Jeux Telecharger Gratuit](#)  
[Jeux PC En Ligne](#)

**Connexion**

Identifiant  
sniper

Mot de passe  
.....

Se souvenir de moi

**Connexion**

[Mot de passe oublié ?](#)  
[Identifiant oublié ?](#)

Notre Bibliothèque que ...Livres à Télé charger Gratuitement

**MacKeeper**

**-20%**

Complete your Purchase Now and save 20% Guaranteed with this Coupon Code

Apply Discount Automatically

"On ne jouit bien que de ce qu'on partage" [Madame de Genlis]

**Annonces Google**

[Jeu De Jeux](#)  
[Jeux Sur Internet](#)  
[Ecole Ingénieur](#)

**Dépanner et configurer votre réseau à domicile**

(Outil de Diagnostic)  
Wi-Fi / Ethernet  
Console de jeu  
Imprimante  
Messagerie

**Document élaboré par :**

**Nom et prénom**

**Octavian ALBU**

**CDC- Génie Mécanique**

**Actualisé et saisi par :**

**Révision linguistique**

- 
- 
- 

**Validation**

- ETTAIB Chouaïb
-

## **MODULE 8 : FABRICATION DE PIÈCES DE RENOVATION EN MECANIQUE GENERALE**

Code :	Théorie :	30 %
Durée : 45 heures	Travaux pratiques :	66 %
Responsabilité : D'établissement	Évaluation :	4 %

### **OBJECTIF OPÉRATIONNEL DE PREMIER NIVEAU DE COMPORTEMENT**

#### **COMPÉTENCE**

- **Fabriquer des pièces de rénovation en mécanique générale.**

#### **PRÉSENTATION**

Ce module de compétence particulière est enseigné durant le troisième semestre du programme de formation. Il requiert en pré requis les modules 3, "Fabrication de pièces simples" et 21 "Représentation d'une pièce ou d'un ensemble mécanique simple".

#### **DESCRIPTION**

L'objectif de module est de faire acquérir la compétence nécessaire à la réalisation ou la modification des pièces à partir d'un dessin, croquis ou même un modèle. Ceci est principalement le cas des pièces qu'on retrouve en entretien et rénovation mécanique. Le technicien est directement en contact avec le client. Il vise donc à rendre le stagiaire autonome et apte à répondre aux exigences du client dans les plus brefs délais et en moindre coût.

#### **CONTEXTE D' ENSEIGNEMENT**

- Ce module est capital dans la formation du stagiaire et constitue la compétence la plus demandée au Maroc et particulièrement au niveau technicien
- On doit donc exiger au maximum un travail et une démarche rigoureuse et méthodique
- Les situations pédagogiques doivent approcher au maximum celles de production réelle à partir d'un modèle ou d'un croquis

#### **CONDITIONS D'ÉVALUATION**

- Travail individuel
- Travail de groupe
- À partir de :
  - Plan de définition
  - Croquis à main levée
  - Pièce à reproduire (usage, casse, ...)
- À l'aide :
  - L'infrastructure de l'atelier de mécanique générale

OBJECTIFS	ELEMENTS DE CONTENU
<p>1. Savoir écouter</p> <p>2. Comprendre une consigne</p> <p>3. Prendre des notes</p> <p><b>A. Déterminer les spécifications du client</b></p> <p>4. Se soucier du détail</p> <p>5. Connaître les bases du dessin industriel</p> <p>6. Savoir retranscrire des informations orales</p> <p><b>B. Représenter graphiquement la pièce</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Dessiner la pièce</li><li>• Coter les surfaces</li><li>• Spécifier les particularités</li><li>• Déterminer la matière</li></ul> <p>7. Connaître les méthodes de fabrication</p> <p><b>C. Réaliser un mode opératoire</b></p> <p>8. Chiffrer le temps</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Écoute active</li><li>- Importance d'une consigne</li><li>- Prise de notes</li><li>- Bloc notes</li><li>- Fiche client : interlocuteur, société, adresse, activité,...</li><li>- Nature du travail :<ul style="list-style-type: none"><li>• Modification</li><li>• Retouche</li><li>• Réalisation suivant dessin ou modèle</li></ul></li><li>- Détermination des spécifications de la pièce :<ul style="list-style-type: none"><li>• Fonctionnalité de la pièce</li><li>• La pièce dans son environnement</li><li>• Prendre en compte les contraintes fonctionnelles</li></ul></li><li>- Prise en compte de consignes orales</li><li>- Toute information est utile</li><li>- Référence au module 21</li><li>- Écriture rapide et abrégée</li><li>- Réalisation du cahier des charges concernant la pièce à réaliser :<ul style="list-style-type: none"><li>• Croquis à main lever</li><li>• Dessin de la pièce</li><li>• Cotation</li><li>• Spécifications particulières</li><li>• Matière</li></ul></li><li>- Référence aux modules 12 et 13</li><li>- Création des documents préparatoires</li><li>- Prévoir les outils et ablocages</li><li>- Référence au module 12</li><li>- Décomposition du travail</li></ul>

<p>9. Renseigner un document technique</p> <p><b>D. Réaliser un devis</b></p> <p>10. Maîtriser les moyens d'usinage</p> <p><b>E. Réaliser</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• la pièce</li><li>• la modification</li></ul> <p>11. Connaître les moyens de mesure</p> <p><b>F. Contrôler la réalisation</b></p> <p>12. Se soucier de la satisfaction du client</p> <p><b>G. Livrer le produit</b></p>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Temps :<ul style="list-style-type: none"><li>• De préparation (documents de fabrication, matière, réglage machine, équipement broche et table,...)</li><li>• D'usinage (montage et démontage pièce, usinage,..)</li><li>• Manutention et déplacements</li></ul></li><li>- Bon de commande</li><li>- Bon de travail</li><li>- Temps passé</li><li>- Notion du coût et de prix de revient</li><li>- Paramètres d'estimation du prix de revient</li><li>- Estimation rapide du coût de la pièce</li><li>- Notion de compétitivité</li><li>- Proposition d'un devis</li><li>- Référence au module 3</li><li>- Approvisionnement de la matière</li><li>- Travail dans une sécurité optimale</li><li>- Dextérité de conduite de machine outil</li><li>- Réalisation des outils et des ablocages</li><li>- Fabrication de la pièce</li><li>- Réalisation de la modification</li><li>- Référence au module 23</li><li>- Mesure en rapport avec le cahier des charges</li><li>- Essai de montage et vérification des jeux</li><li>- Procès verbal de contrôle</li><li>- Qualité de production</li><li>- Avantage d'un client satisfait</li><li>- Conditionnement du produit</li><li>- Analyse du temps passé</li><li>- Validation du coût de la pièce</li><li>- Contact client</li><li>- Livraison</li><li>- Qualité de service</li></ul>
--	--

## SOMMAIRE

<b>N°</b>	<b>DENOMINATION</b>	<b>PAGE</b>
<b>CHAPITRE 1</b>	<b>FABRICATION DES PIECES DE RENOVATION DE TYPE « ROUES DENTEES »</b>	<b>6</b>
<b>1.1.</b>	<b>ENGRENAGES ETUDE GENERALE</b>	<b>6</b>
<b>1.2.</b>	<b>ENGRENAGES DROITS A DENTURE DROITE</b>	<b>8</b>
<b>1.3.</b>	<b>ENGRENAGES DROITS A DENTURE HELICOIDALE</b>	<b>20</b>
<b>1.4.</b>	<b>ENGRENAGES CONIQUES OU A AXES COURANTS</b>	<b>25</b>
<b>1.5.</b>	<b>ENGRENAGES ROUES ET VIS SANS FIN</b>	<b>28</b>
<b>1.6.</b>	<b>QUALITE DES ENGRENAGES, NF 180 1328</b>	<b>31</b>
<b>1.7.</b>	<b>EXERCICES</b>	<b>32</b>
<b>1.8.</b>	<b>APPLICATION</b>	<b>33</b>
<b>CHAPITRE 2</b>	<b>REPARATION / RENOVATION DES POULIES DE COURROIES</b>	<b>38</b>
<b>2.1.</b>	<b>TYPES DE COURROIES TRAPEZOIDALES</b>	<b>38</b>
<b>2.2.</b>	<b>EXEMPLE</b>	<b>39</b>
<b>CHAPITRE 3</b>	<b>RENOVATION / REPARATION DES GUIDAGES EN TRANSLATION</b>	<b>42</b>
<b>3.1.</b>	<b>GENERALITES</b>	<b>42</b>
<b>3.2.</b>	<b>L' OPERATION DE GRATTAGE</b>	<b>42</b>
<b>3.3.</b>	<b>MODE OPERATOIRE</b>	<b>44</b>
<b>3.4.</b>	<b>GAMME POUR L' OBTENTION DES GUIDAGES, TABLES ET CHARIOTS PAR GRATTAGE</b>	<b>46</b>
<b>CHAPITRE 4</b>	<b>GUIDE POUR LA RÉNOVATION / RÉPARATION DES PIECES DE TYPE « BIELLE »</b>	<b>48</b>

## CHAPITRE 1 : FABRICATION DE PIÈCES DE RENOVATION DE TYPE « ROUES DENTÉES »

### 1.1. ENGRENAGES ÉTUDE GÉNÉRALE

#### Objectifs:

Décrire et indiquer les caractéristiques essentielles (terminologie, formules, étude cinématique, propriétés) des principaux types d'engrenages et des dentures en développante de cercle.

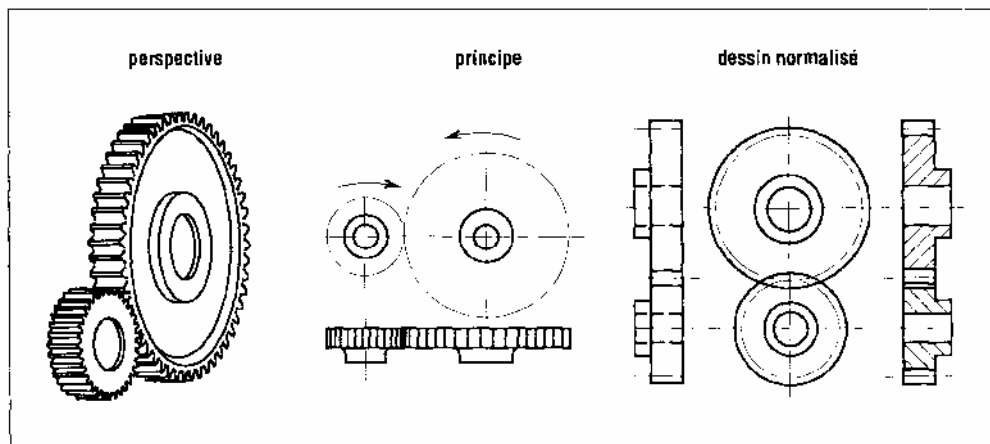
Les engrenages sont des composants mécaniques essentiels. Ils font partie des systèmes de transmission de mouvement et de puissance les plus utilisés, les plus résistants et les plus durables.

Ils sont normalisés. Les engrenages fabriqués avec la norme internationale ISO présentent l'avantage d'être facilement interchangeables et permettent des possibilités de fabrication plus économiques (conception type, méthodes de calcul normalisées, taillage et contrôle automatisés, équipements standard).

Lorsqu'il s'agit d'engrenages pour très grandes séries (automobiles...) les constructeurs s'écartent de ces standards afin d'optimiser les coûts.

**Définition :** on appelle engrenage l'ensemble des deux roues dentées engrenant l'une avec l'autre.

#### Engrenages droits à denture droite



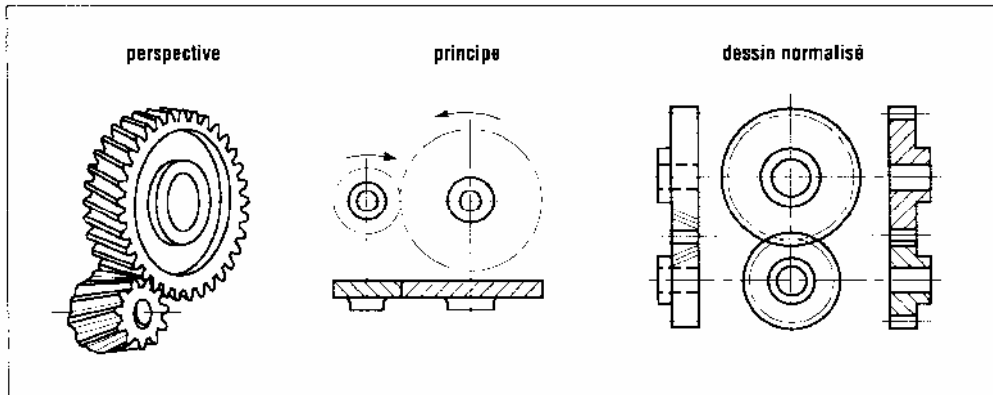
1. Engrenage droit à denture droite pour arbres parallèles.

Les plus simples et les plus économiques, ils sont utilisés pour transmettre le mouvement et puissance entre deux arbres parallèles. Les dents des deux roues de l'engrenage sont parallèles à l'axe de rotation des arbres.

Du fait de leur relative simplicité, ils sont souvent utilisés pour introduire les relations de cinématique et les définitions normalisées concernant la géométrie des engrenages.



## Engrenages droits à denture hélicoïdale

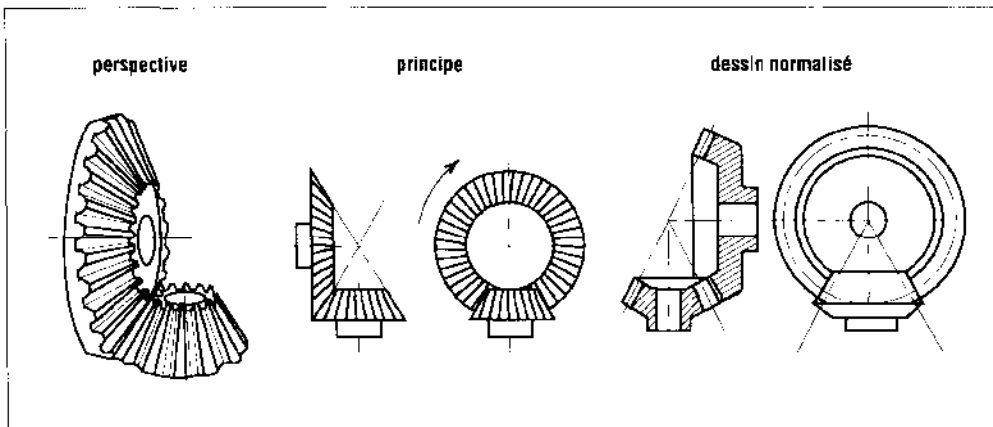


2. Engrenage droit à denture hélicoïdale pour arbres parallèles.

De même usage que les précédents, ils sont très utilisés en transmission de puissance; les dents des roues sont inclinées par rapport à l'axe de rotation des deux arbres. A taille égale, ils sont plus performants que les précédents pour transmettre puissance et couple. Du fait d'une meilleure progressivité et continuité de l'engrènement ils sont aussi plus silencieux.

L'inclinaison de la denture engendre des efforts axiaux, suivant l'axe de l'arbre, qui doivent être supportés par les paliers et des couples supplémentaires qui accentuent le fléchissement des arbres.

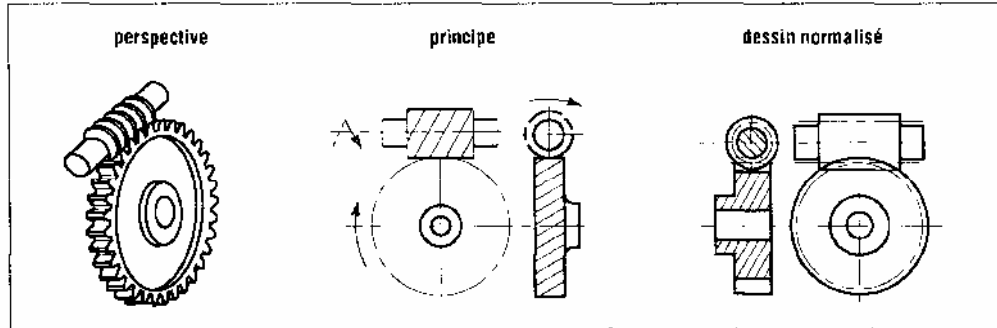
## Engrenages coniques



3. Engrenage conique à denture droite pour arbres concourants.

Leurs dents sont taillées dans des surfaces coniques. Ils sont utilisés pour transmettre le mouvement entre des arbres concourants, perpendiculaires ou non. La denture peut être droite mais aussi hélicoïdale, ou spirale.

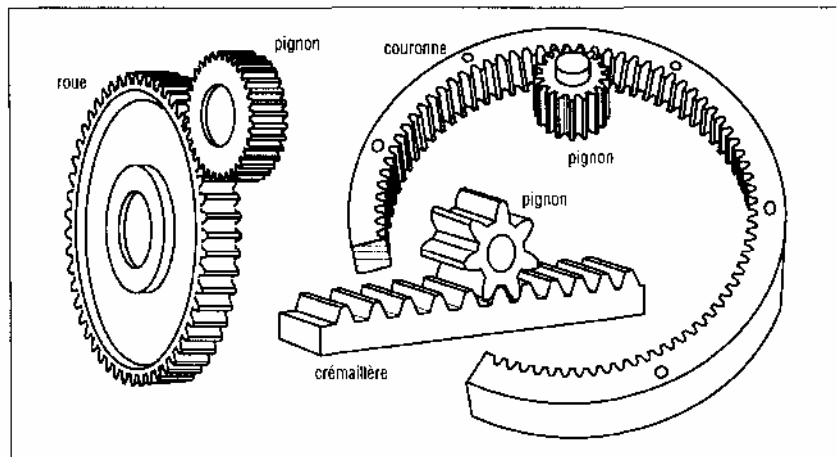
## Engrenages roue et vis sans fin



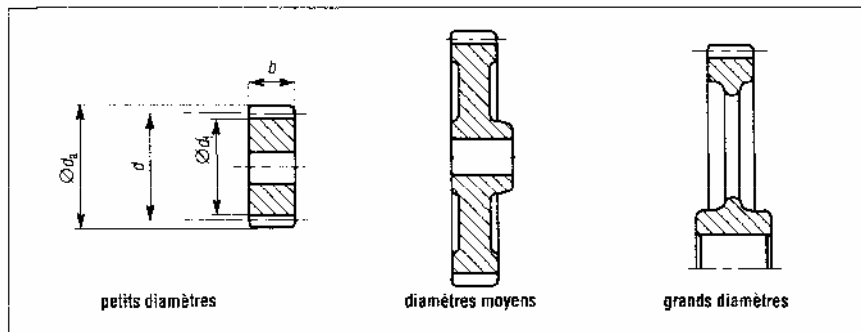
4. Engrenages roues et vis entre arbres orthogonaux.

L'une des roues ressemble à une vis et l'autre à une roue hélicoïdale. Le sens de rotation de la roue dépend de celui de la vis mais aussi de l'inclinaison de la denture, filet à droite ou à gauche. L'irréversibilité est possible.

## 1.2. ENGRENAGES DROITS A DENTURE DROITE



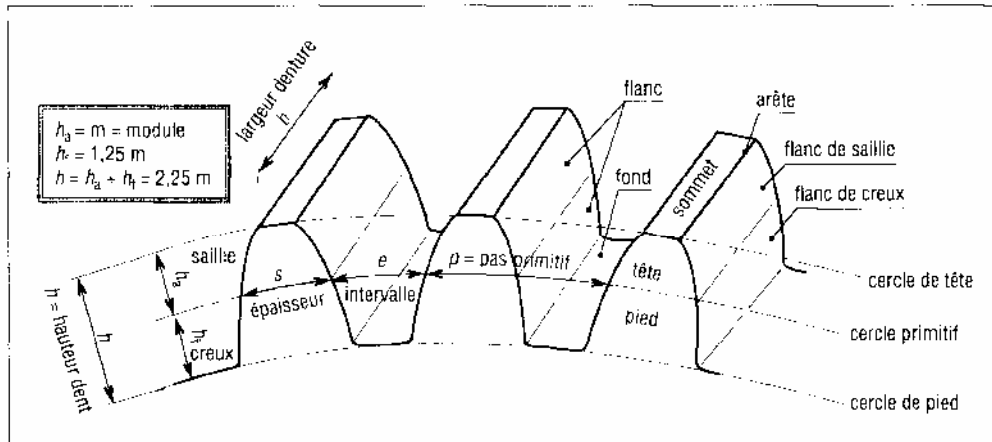
5. Différents types d'engrenages droits à dentures droites.



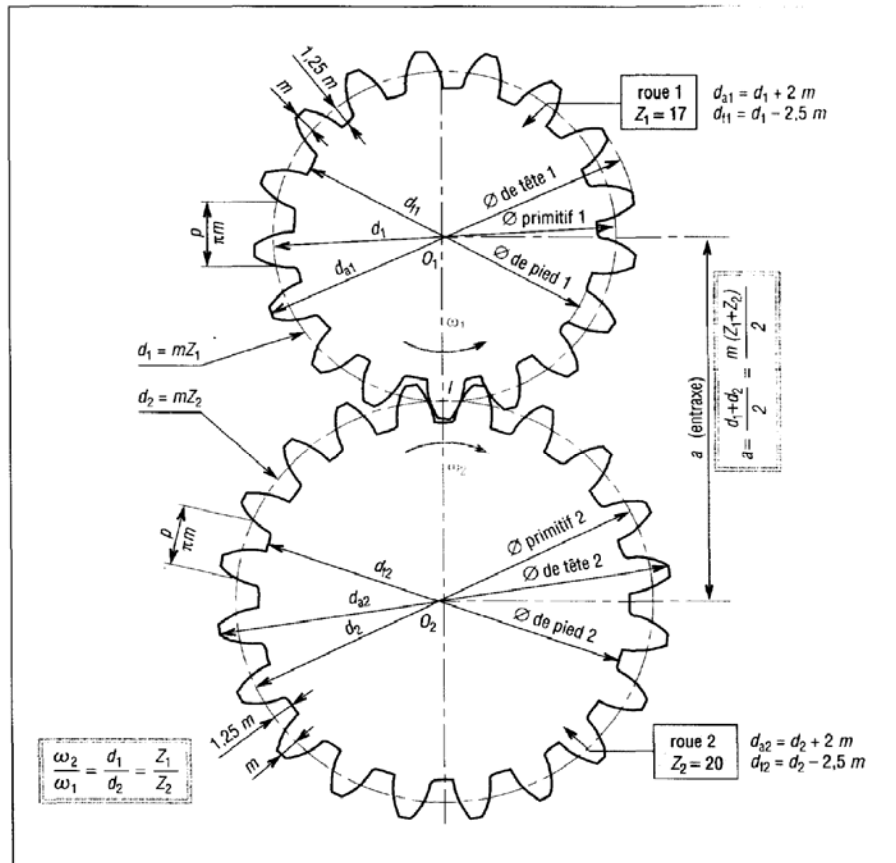
6. Différentes formes de roues dentées.

Les engrenages typiques sont pignon /roue, pignon /couronne intérieure et pignon crémaillère. Le pignon est la plus petite des deux roues et c'est souvent la roue menant. La forme des roues varie avec les dimensions.

### Définitions, terminologie et symboles normalisés ISO



7. Symboles et vocabulaire utilisés pour décrire la forme de la denture (denture normale).



8. Entraxe, diamètres, pas et  $m$  module normalisé (denture normale).

Valeurs normalisées du module <b>m</b> (NF ISO (...))									
valeurs principales en mm					valeurs secondaires en mm				
0,06	0,25	1,25	5	20	0,07	0,28	1,125	5,5	22
0,08	0,30	1,5	6	25	0,09	0,35	1,375	7	28
0,10	0,40	2	8	32	0,11	0,45	1,75	9	36
0,12	(0,50)	2,5	10	40	0,14	(0,55)	2,75	11	45
0,15	(0,80)	3	12	50	0,18	(0,7)	3,5	14	55
0,20	1,0	4	16	60	0,22	(0,9)	4,5	18	70

( ) entre parenthèses, ancienne normalisation

Caractéristiques et formules des engrenages droits à denture droite		
caractéristiques	symboles ISO	observations et formules usuelles
vitesses angulaires	$\omega$	$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \approx 0,1n$ (unités : rad/s)
nombre de tours par minute	$n$	$n_1$ (roue 1) et $n_2$ (roue 2)
module	$m$	valeurs normalisées (tableau des modules)
pas primitif	$p$	$p = \pi m = 3,14159 m$ ( $p = p_1 = p_2$ )
nombre de dents	$Z$	$Z_1$ (roue 1) et $Z_2$ (roue 2)
rayon primitif	$r$	$r_1$ (roue 1) et $r_2$ (roue 2) ; $r = d/2$
diamètre primitif	$d$	$d_1 = mZ_1$ et $d_2 = mZ_2$
entraxe entre les 2 roues	$a$	$a = r_1 + r_2 = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m(Z_1 + Z_2)}{2}$
largeur de la dent	$b$	$b = k \cdot m$ ( $7 \leq k \leq 12$ )
saillie	$h_a$	$h_a = m$
creux	$h_f$	$h_f = 1,25m$
hauteur de dent	$h$	$h = h_a + h_f = 2,25m$
diamètre de tête	$d_a$	$d_a = d + 2m$
rayon de tête	$r_a$	$r_a = r + m = d_a/2$
diamètre de pied	$d_f$	$d_f = d - 2,5m$
rayon de pied	$r_f$	$r_f = r - 1,25m = d_f/2$
épaisseur de la dent	$s$	$s_1 = e_2 = s_2 = e_1 = \pi m/2$ (avec jeu nul)
intervalle	$e$	$s_1 + e_1 = s_2 + e_2 = p$
angle de pression	$\alpha$	valeur usuelle : $\alpha = 20^\circ$
rayon de base	$r_b$	$r_b = d_b/2$
diamètre de base	$d_b$	$d_b = d \cdot \cos \alpha$
pas de base	$p_b$	$p_b = p \cdot \cos \alpha$

- a) **Circonférence primitive** : de périmètre ( $\pi.d$ ), elle doit impérativement comporter un nombre entier de dents ( $Z$ ) toutes placées à intervalles successifs égaux au pas primitif ( $p$ ). Il en résulte que:

$$\pi.d = p.Z = \text{périmètre circonférence primitive.}$$

En posant:

$$m = p/\pi = \text{module}$$

L'expression se simplifie et devient .

$$d = m.Z$$

Indices normalisés utilisés	
indice	observations
1	relatif au pignon
2	relatif à la roue
a	de tête
b	de base
f	de pied
n	réel (ou normal)
t	apparent (ou tangentiel)

- b) **Pas primitif ( $p$ )**

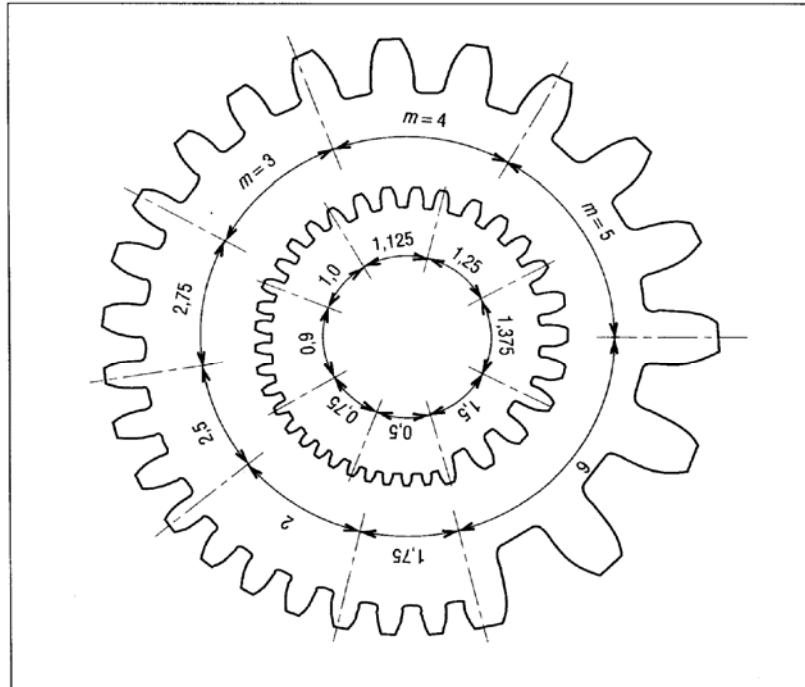
$$p = \frac{\text{circonférence primitive}}{\text{nombre de dents}} = \frac{\pi.d}{Z} = \frac{\pi.(mZ)}{Z} = \pi m = 3,141\ 59 m$$

- c) **Module ( $m$ )**

Quel que soit le nombre de dents, toutes les roues de même module et de même angle de pression ( $a$ ) peuvent être fabriquées à partir du même outil.

Pour limiter le nombre des outils et des systèmes de mesure, une série de modules a été normalisée.

L'épaisseur de la dent et sa résistance dépend du choix du module. Ce choix ne doit pas être improvisé mais étudié et calculé.



9. Exemples de modules.

**Exemple :** pour l'engrenage dessiné (fig. 8)  $Z_1 = 17$  dents,  $Z_2 = 20$  dents, module  $m = 4$  mm, déterminons les principales caractéristiques.

Pas primitif :  $p = \pi m = \pi \times 4 = 12,56$  mm

Diamètres primitifs :  $d_1 = mZ_1 = 4 \times 17 = 68$  mm et  $d_2 = mZ_2 = 4 \times 20 = 80$  mm

Entraxe :  $a = \frac{1}{2}(d_1 + d_2) = 74$  mm

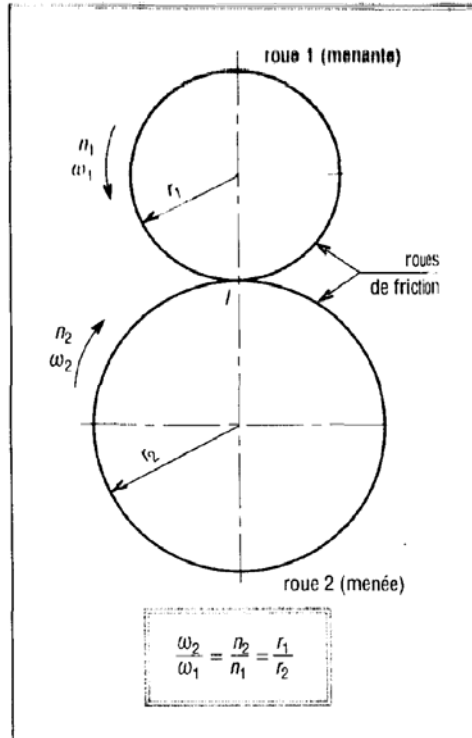
Hauteur de saillie :  $ha_1 = ha_2 = m = 4$  mm

Hauteur de creux :  $hf_1 = hf_2 = 1,25m = 5$  mm

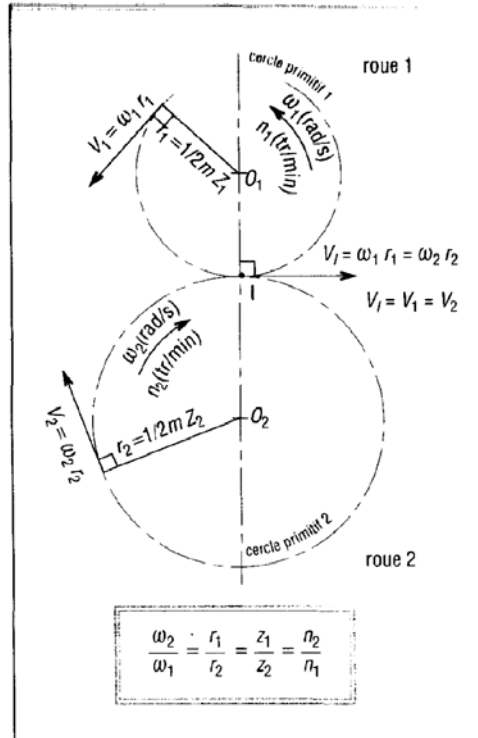
Hauteur de dent :  $h_1 = h_2 = ha + hf = 9$  mm

Largeur des dents :  $7m \leq b \leq 12m$       ou       $28 \leq b \leq 48$  mm

### Etude cinématique



10. Roues de friction.



11. Cas des engrenages.

Lorsque la roue 1 engrène avec la roue 2, les cercles primitifs des deux roues roulent l'un sur l'autre sans glisser au point  $I$  (pas de patinage, analogie avec deux roues de friction roulant l'une sur l'autre sans glisser).

Si  $V_I$  est la vitesse linéaire des points du cercle primitif 1 et  $V_2$  celle des points du cercle primitif 2, le non glissement en  $I$ , point de contact des deux cercles, se traduit par  $V_1 = V_2 = V_I$ .

**Exemple :** on souhaite construire un réducteur de façon à ce que la vitesse d'entrée de 1500 tr/min soit réduite à 500 tr/min. Si  $Z_1 = 18$ , quelle est la valeur de  $Z_2$  ? Si  $m = 3$  quelle est la valeur de  $d_2$  ?

Rapport de transmission:  $n_2/n_1 = 500/1500 = 1/3$   
 Rapport des nombres de dents :  $Z_2/Z_1 = n_1/n_2 = 3/1 = 3$   
 $Z_2 = 3 \times Z_1 = 54$  dents  
 $d_2 = m Z_2 = 3 \times 54 = 162$  mm

**Remarque:**

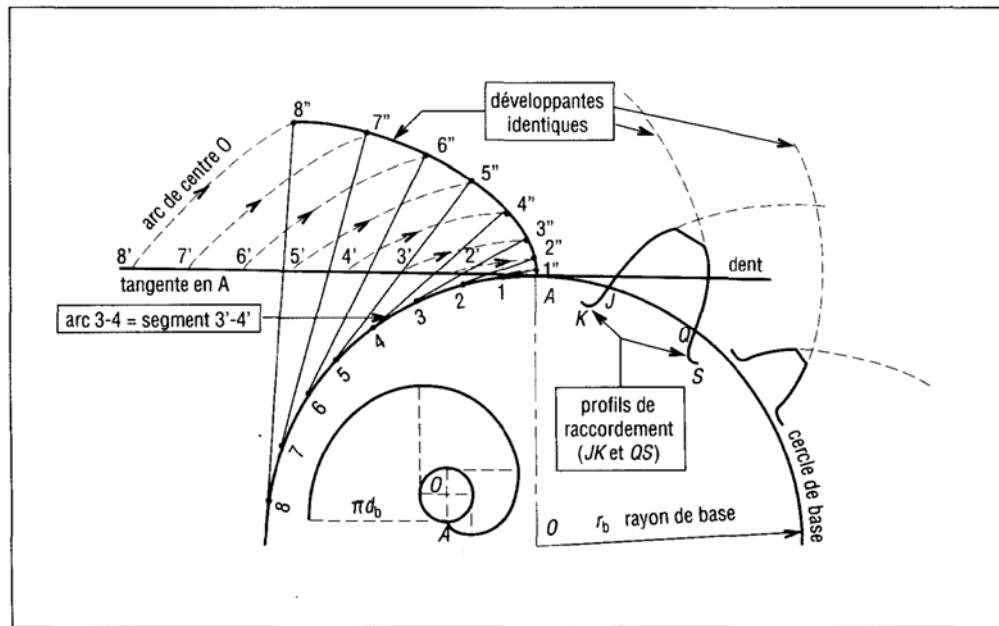
$d_1 = m Z_1 = 3 \times 18 = 54$  mm  
 $d_2/d_1 = 162/54 = 3 = n_1/n_2$

## Étude du profil en développante de cercle

### a) Développante de cercle

Le cercle qui sert de support au tracé de la développante est appelé cercle de base (rayon  $r_b$ ). Les développantes tracées à partir d'un même cercle de base sont toutes géométriquement identiques ou superposables.

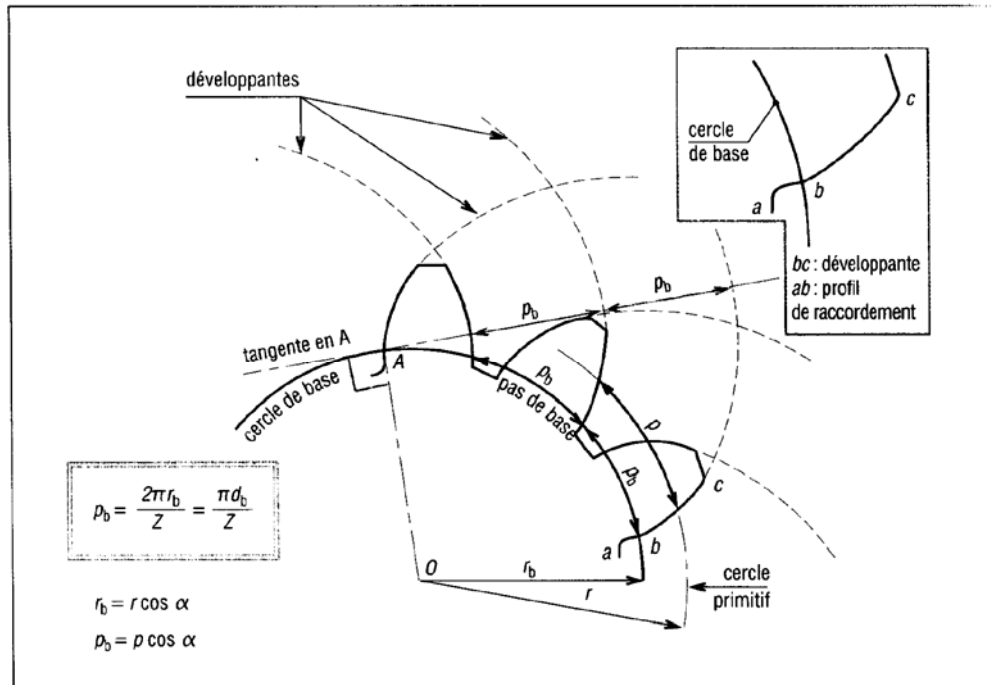
Les profils des flancs et faces des dents suivent rigoureusement la géométrie de la développante.



12. Développante de cercle.

**Remarque:** pour la tangente au point repère 8, le segment 88'' est égal à l'arc 8A lui-même au segment 8'A. La remarque est la même pour les autres points.





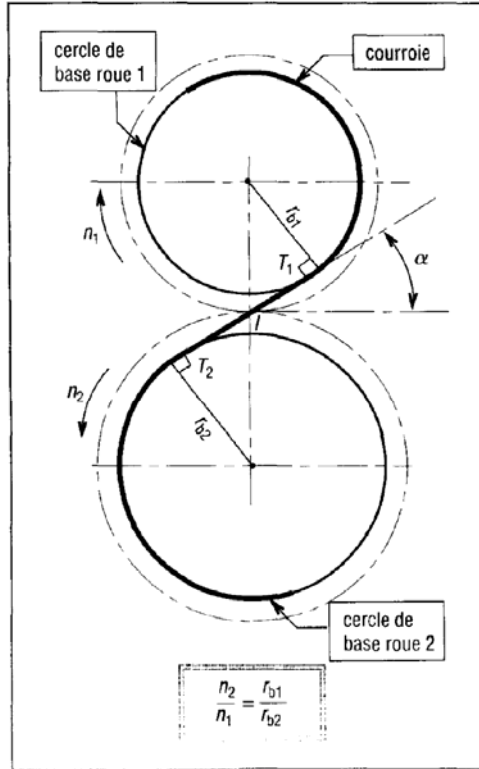
13. Pas de base  $p_b$ .

### b) Propriétés et caractéristiques du profil en développante de cercle

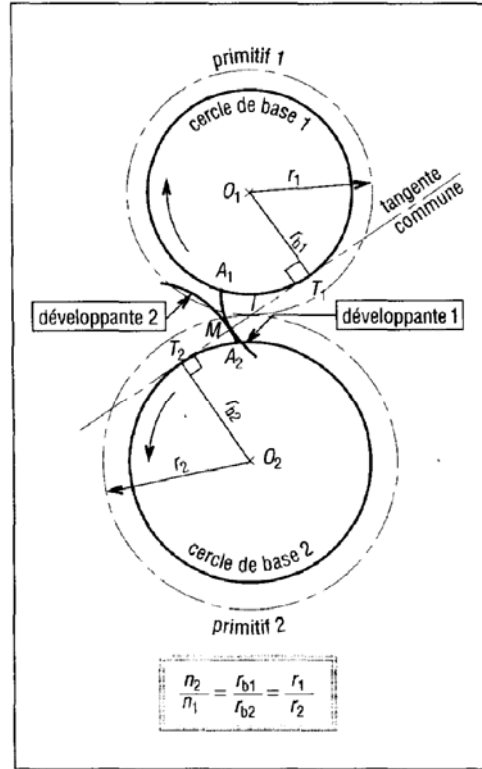
Le profil en développante de cercle est le plus utilisé ; il est insensible aux variations d'entraxes et se laisse tailler à l'aide d'outils relativement simples.

Le profil cycloïdal, également utilisé, est surtout employé en micromécanique. Propriété : il permet d'obtenir des roues avec de petits nombres de dents sans interférence de taillage.

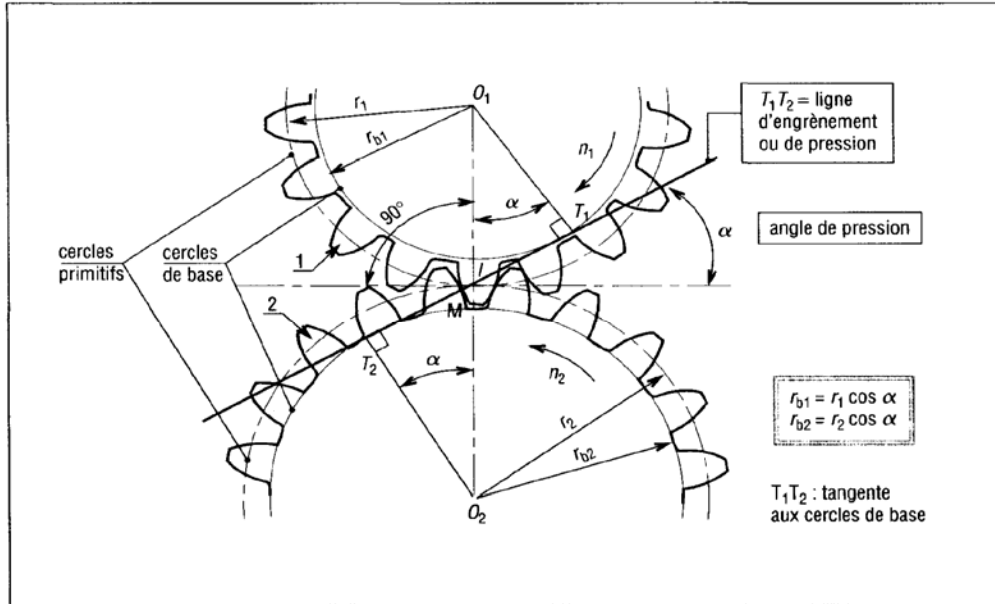
**Inconvénient :** il est sensible aux variations d'entraxes.



14. Analogie avec une transmission par courroie.



15. Cercles de base et cercles primitifs.



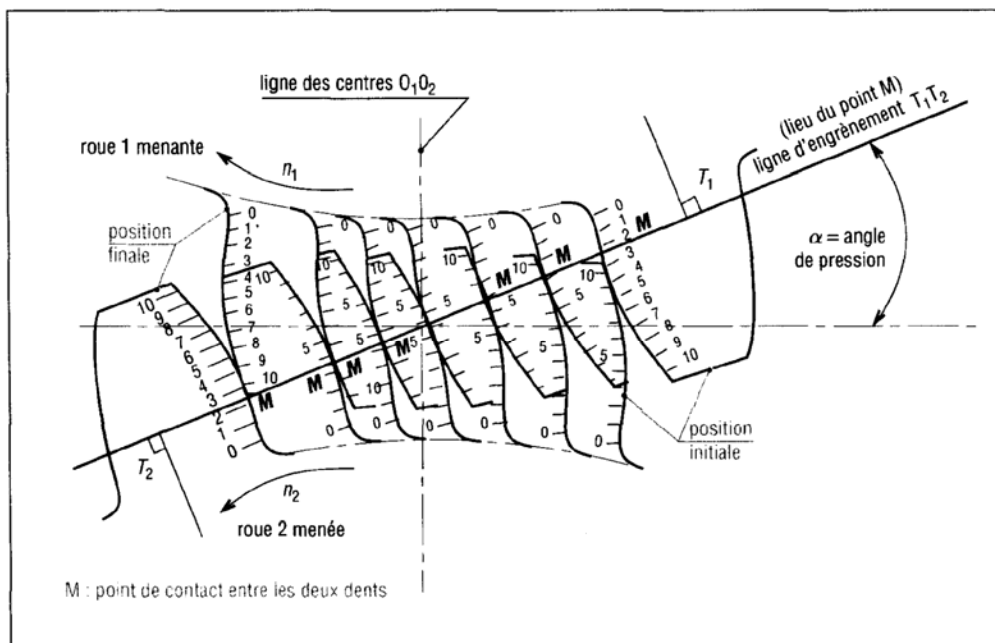
16. Angle de pression et ligne d'engrènement.

**Profils conjugués** : les profils en développante font partie des profils conjugués. Les profils conjugués sont des profils qui transmettent le mouvement d'une roue à une autre sans à-coups, de façon régulière, sans fluctuation, même infime, du rapport de l'engrènement ( $n_2/n_1 = \text{constante}$ ).

**Pas de base (Pb) :** il est égal à la longueur de l'arc, mesuré sur le cercle de base, entre deux dents consécutives. C'est aussi la distance entre les profils des dents successives.  
Règle : pour que deux roues puissent engrener il faut qu'elles aient le même pas de base ( $P_{b1} = P_{b2}$ )

**Ligne d'engrènement ou ligne de pression  $T_1 T_2$  :** elle est tangente aux deux cercles de base et porte en permanence l'effort de contact s'exerçant entre les deux roues. Propriétés : le point de contact ( $M$ ) entre les dents est toujours situé sur cette ligne. La tangente en  $M$  aux deux profils en contact est toujours perpendiculaire à  $T_1 T_2$ .

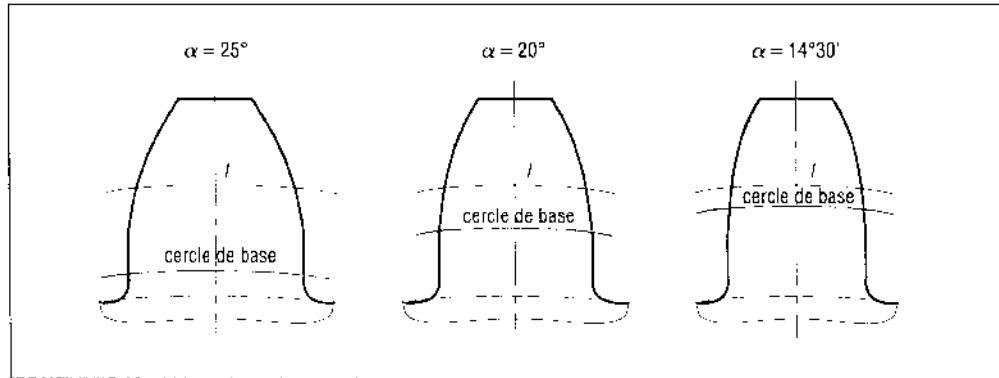
**Remarque :** le contact en  $M$  entre les deux dents se fait à la fois avec du roulement et du glissement.



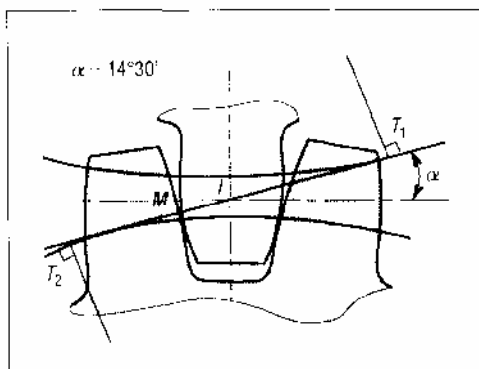
17. Positions successives de deux dents en contact au cours de l'engrènement ; glissement entre les dents.

**Angle de pression ( $\alpha$ ) :** autre caractéristique importante, il définit l'inclinaison de la droite de pression  $T_1 T_2$  et la forme de la dent.

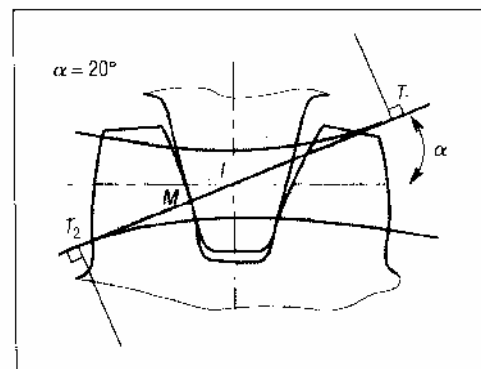
$\alpha = 20^\circ$  est la valeur la plus utilisée,  $\alpha = 14^\circ 30'$  est utilisée en remplacement d'engrenages anciens,  $\alpha = 25^\circ$  est un standard aux USA



18. Forme de la dent en fonction de l'angle de pression.



19. Contact dans le cas d'un angle de pression de 14°30'.



20. Contact dans le cas d'un angle de pression de 20°.

**Cercles de base et cercles primitifs:** pour un engrenage les cercles primitifs sont uniques. Ils définissent le rapport de la transmission.

Les cercles de base définissent le profil et la forme de la denture (la développante). A deux cercles primitifs peut correspondre, en théorie, une infinité de cercles de base et d'angles de pression possibles ; condition :  $r_2/r_1 = r_{b2}/r_{b1}$ .

c) **Exemple** : un engrenage se compose d'un pignon de 17 dents et d'une roue de 51 dents le module est de 2 mm et l'angle de pression de 20°.

\* Déterminons l'entraxe, les rayons de base et le pas de base.

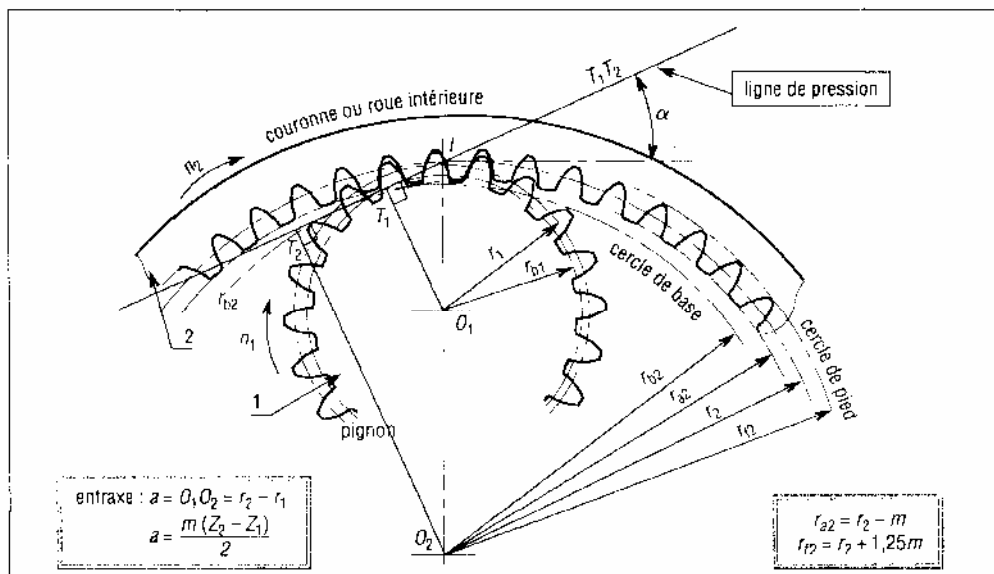
$$\begin{aligned}
 d_1 &= mZ_1 = 2 \times 17 = 34 \text{ mm} ; \\
 d_2 &= mZ_2 = 2 \times 51 = 102 \text{ mm} \\
 \text{entraxe : } a &= 1/2 (d_1 + d_2) = 17 + 51 = 68 \text{ m} \\
 r_{b1} &= r_1 \cos \alpha = 17 \cos 20 = 15,97 \text{ mm} \\
 r_{b2} &= r_2 \cos \alpha = 51 \cos 20 = 47,92 \text{ mm} \\
 p_b &= p \cos \alpha = 2 \cos 20 = 1,88 \text{ mm} \\
 \frac{r_{b1}}{r_{b2}} &= \frac{r_1}{r_2} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{17}{51} = \frac{1}{3}
 \end{aligned}$$

\* À l'assemblage on constate qu'il manque 2 mm d'entraxe pour monter les roues. Si les rayons de base restent inchangés, quelle nouvelle valeur de l'angle de pression permettrait le montage ?

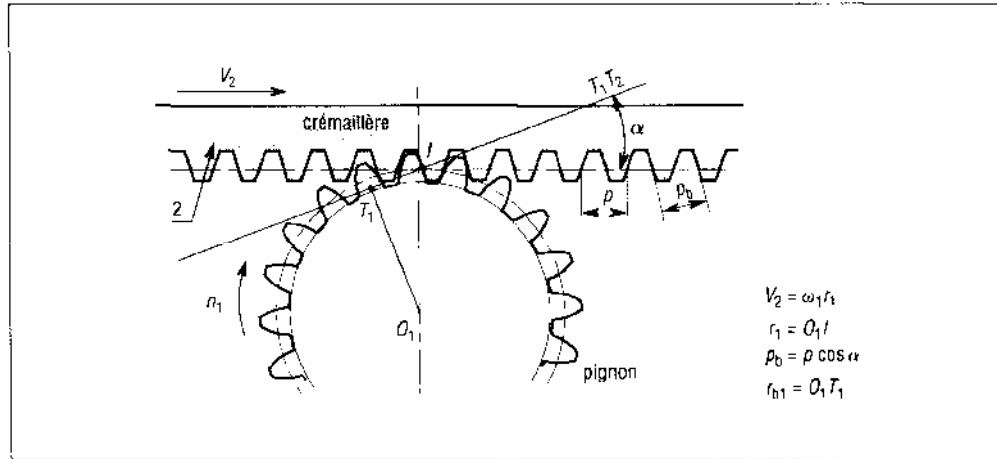
$$\begin{aligned}
 a' &= a + 2 = 68 + 2 = 70 = r'_1 + r'_2 \\
 r'_1 / r'_2 &= 1/3 \quad (r'_2 = 3r'_1) \\
 a' &= r'_1 + 3r'_1 = 4r'_1 = 70 \\
 r'_1 &= 70/4 = 17,5 \text{ mm} \quad (r'_2 = 52,5 \text{ mm}) \\
 r_{b1} &= r'_1 \cos \alpha' = 17,5 \cos \alpha' = 15,97 \text{ (question 1)} \\
 \cos \alpha' &= 15,97/17,5 = 0,913 \\
 \alpha' &= 24,13^\circ
 \end{aligned}$$

Évolution des diamètres de base avec $\alpha : m = 2 ; Z_1 = 17 ; Z_2 = 51$					
$\alpha$	10°	14°30'	20°	25°	30°
$d_1$	34	34	34	34	34
$d_2$	102	102	102	102	102
$a$	68	68	68	68	68
$d_{b1}$	33,48	32,92	31,95	30,81	29,44
$d_{b2}$	100,45	98,75	95,85	92,44	88,33

### Cas des roues intérieures et des crémaillères



21. Cas d'un pignon et d'une roue intérieure.



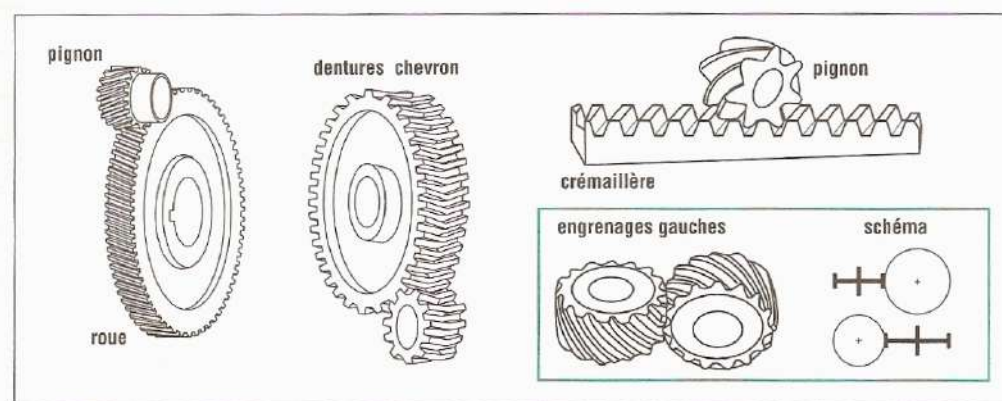
22. Cas d'un pignon et d'une crémaillère.

### Problèmes de l'engrènement : phénomène d'interférence

Il y a interférence lorsque le sommet de la dent d'une roue rencontre le fond d'une dent de l'autre roue. Au moment du taillage, ce défaut est caractérisé par un usinage parasite du pied de la dent. D'une manière générale l'interférence est évitée si :  $r_a \leq [r_b^2 + a^2 \sin^2 \alpha]^{1/2}$ . Avec  $\alpha = 20^\circ$ , si les deux roues ont plus de 17 dents, il n'y a pas de risque d'interférence. Pour un système pignon/crémaillère l'interférence est évitée si  $ZI \geq 18$ . Un nombre de dents  $ZI$  inférieur à 13 est à éviter.

### 1.3. ENGRENAGES DROITS A DENTURE HELICOÏDALE

Ils transmettent le mouvement entre deux arbres parallèles. L'angle d'inclinaison de la denture, l'angle d'hélice, est le même pour les deux roues, mais en sens inverse.



24. Différents types d'engrenages hélicoïdaux.

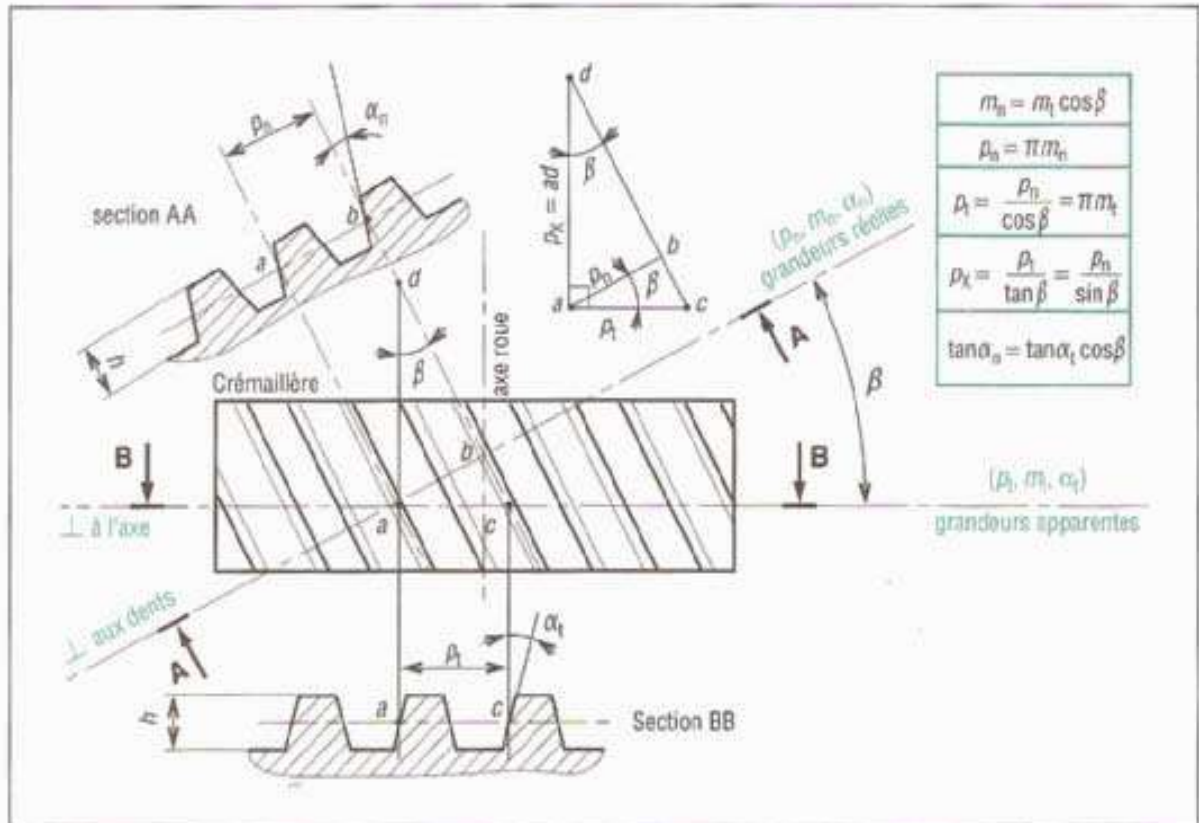
### Comparaison entre dentures droites et dentures hélicoïdales

**Avantages de la denture hélicoïdale :** transmission plus souple, plus progressive et moins bruyante ; conduite plus grande: 2, 3 ou 4 couples de dents toujours en prise ; transmission d'efforts

importants à vitesses élevées ; réalisation facile d'un entraxe imposé en faisant varier l'angle d'hélice.

**Inconvénients** : efforts supplémentaires dus à l'angle d'hélice (force axiale sur les paliers et augmentation des couples de flexion) et rendement un peu moins bon.

**Définitions et caractéristiques**



25. Définition des principales caractéristiques à partir d'une crémaillère hélicoïdale.

Principales caractéristiques des engrenages droits à denture hélicoïdale		
caractéristiques	symboles ISO	observations et formules usuelles
angle d'hélice	$\beta$	valeurs usuelles : $15^\circ \leq \beta \leq 30^\circ$
sens de hélice		si la roue 1 a une hélice à droite, alors la roue 2 a une hélice à gauche
module réel	$m_n$	$m_n$ est à choisir dans la série des modules normalisés
pas réel	$p_n$	$p_n = \pi m_n$
module apparent	$m_t$	$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta}$ (augmente avec $\beta$ )
pas apparent	$p_t$	$p_t = \frac{p_n}{\cos \beta} = \pi m_t$
vitesse angulaire	$\omega$	$\omega = \frac{\pi n}{30} \approx 0,1 n$ (unités rad/s)
nombre de tours/minute	$n$	$n_1$ (roue 1) $n_2$ (roue 2)
nombre de dents	$Z$	$Z_1$ (roue 1) $Z_2$ (roue 2)
diamètre primitif	$d$	$d_1 = m_t Z_1$ et $d_2 = m_t Z_2$
entraxe entre 2 roues	$a$	$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m_t(Z_1 + Z_2)}{2} = \frac{m_n(Z_1 + Z_2)}{2 \cos \beta}$
saillie	$h_a$	$h_a = m_n$
creux	$h_f$	$h_f = 1,25 m_n$
hauteur de dent	$h$	$h = h_a + h_f = 2,25 m_n$
diamètre de tête	$d_s$	$d_s = d + 2 m_n$
diamètre de pied	$d_f$	$d_f = d - 2,5 m_n$
diamètre de base	$d_b$	$d_b = d \cos \alpha_t$
angle de pression réel	$\alpha_n$	valeur la plus usuelle : $\alpha = 20^\circ$
angle de pression apparent	$\alpha_t$	$\tan \alpha_n = \tan \alpha_t \cos \beta$
pas de base réel	$p_{bn}$	$p_{bn} = p_n \cos \alpha_n$
pas de base apparent	$p_{bt}$	$p_{bt} = p_t \cos \alpha_t$
pas axial	$p_x$	$p_x = \frac{p_t}{\tan \beta} = \frac{p_n}{\sin \beta} = \frac{p_n}{Z}$
pas de l'hélice primitive	$p_z$	$p_z = \frac{\pi d}{\tan \beta} = Z p_x$
largeur de dent	$b$	$b > 2 \frac{\pi m_n}{\sin \beta} = 2 p_x$



**Angle d'hélice  $\beta$** : il mesure l'inclinaison de la denture, ou de l'hélice, par rapport à l'axe de la roue les valeurs usuelles se situent entre 15 et 30°. De grandes valeurs de  $\beta$  amènent plus de douceur et de progressivité mais aussi des efforts axiaux plus grands. Un engrenage droit est un engrenage hélicoïdal avec  $\beta = 0^\circ$ .

**Grandeurs réelles (ou normales)** :  $p_n$   $m_n$  et  $\alpha_n$ : ( $=20^\circ$ ).

Elles sont normalisées et mesurées perpendiculairement à l'hélice.

**Grandeurs apparentes (ou tangentielles)**  $p_t$   $m_t$  et  $\alpha_t$  ne sont pas normalisées et dépendent de la valeur de  $\beta$ . Elles sont mesurées dans le plan de rotation de la roue (analogie avec une denture droite).

**Entraxe  $a$**  : il dépend de l'angle  $\beta$ . En faisant varier  $\beta$  on peut obtenir n'importe quel entraxe désiré, ce qui est particulièrement intéressant pour les trains d'engrenages.

$$a = \frac{m_t (Z_1 + Z_2)}{2} = \frac{m_n (Z_1 + Z_2)}{2 \cos \beta}$$

**Largeur  $b$** : pour des raisons de continuité et de progressivité la largeur  $b$  de la roue doit être supérieure au pas axial  $p_x$  ( $b > 1,2 p_x$  est nécessaire, valeurs usuelles :  $b > 2 p_x$ )

**Exemple :**

Soit un engrenage tel que  $Z = 33$ ,  $Z = 44$  et  $m = 2$  mm.

\* Quel doit être l'angle d'hélice nécessaire pour réaliser un entraxe de 80 mm?

$$a = \frac{m_n}{2 \cos \beta} (Z_1 + Z_2) = \frac{2}{2 \cos \beta} (33 + 44) = \frac{77}{\cos \beta} = 80 \text{ mm}$$

$$\cos \beta = \frac{77}{80} = 0,9265$$

$$\beta = 15,74^\circ$$

\* Quelles sont les valeurs possibles pour l'entraxe si  $\beta$  varie entre 0° et 40°? A partir de la formule précédente on obtient :

$\beta$ (°)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
$a$ (mm)	77	77,3	78,2	79,7	81,9	85	88,9	94	100,5

Les valeurs possibles sont donc comprises entre 77 et 100,5 mm.

\* Si  $\beta = 35^\circ$  et  $\alpha_n = 20^\circ$ , quelles sont les valeurs de  $m_t$ ,  $p_n$ ,  $p_t$ ,  $p_x$ ,  $d_1$  et  $d_2$  et  $\alpha_t$  ?

$$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta} = \frac{2}{\cos 35} = 2,442 \text{ mm}$$

$$p_t = \pi \cdot m_t = \pi \times 2,44 = 7,67 \text{ mm}$$

$$p_n = \pi \cdot m_n = \pi \times 2 = 6,283 \text{ mm}$$

$$p_x = p_t / \tan \beta = 7,67 / \tan 35^\circ = 10,95 \text{ mm}$$

$$d_1 = m_t \cdot Z_1 = 2,442 \times 33 = 80,57 \text{ mm}$$

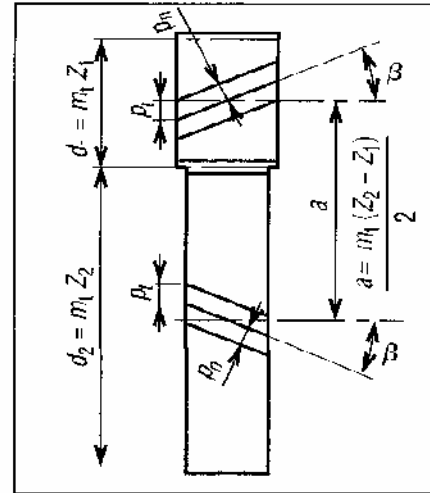
$$d_2 = m_t \cdot Z_2 = 2,442 \times 44 = 107,43 \text{ mm}$$

$$a = 1 / 2 (d_1 + d_2) = 1 / 2 (80,57 + 107,43) = 94 \text{ mm}$$

$$\tan \alpha_n = \tan \alpha_t \cdot \cos \beta$$

$$\tan \alpha_t = \tan 20^\circ / \cos 35^\circ = 0,444$$

$$\alpha_t = 23,96^\circ$$



26.  $a$ ,  $\beta$ ,  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $p_n$ ,  $p_t$ .

### Nombre fictif ou virtuel de dents

Ce nombre est utilisé dans certains calculs de résistance de la dent.

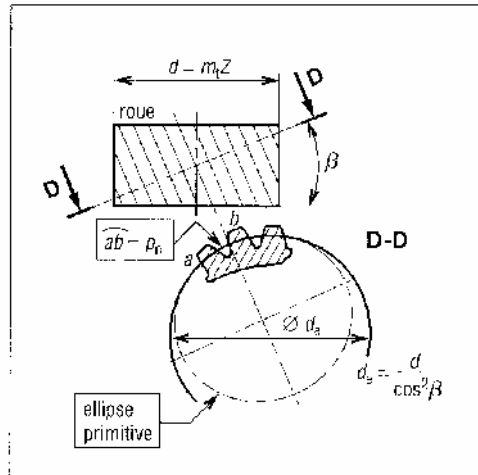
**Ellipse primitive** : elle est obtenue en coupant le cylindre primitif par un plan perpendiculaire à une hélice. La denture se comporte comme s'il existait un cercle primitif fictif de diamètre  $d = d_e = d / \cos^2 \beta$ .

**Nombre fictif de dent  $Z_e$** ; nombre de dents correspondant au diamètre fictif précédent ( $d_e$ ).

$$d_e = m_n \cdot Z_e = m_t \cdot Z / \cos^2 \beta = m_n \cdot Z / (\cos \beta)^3$$

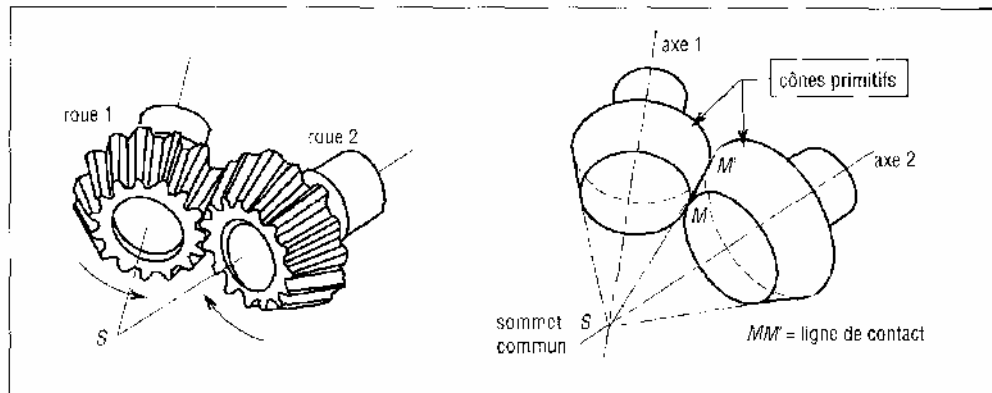
$$Z_e = \frac{Z}{(\cos \beta)^3}$$

et :



27. Ellipse primitive.

#### 1.4. ENGRENAGES CONIQUES OU A AXES CONCOURANTS

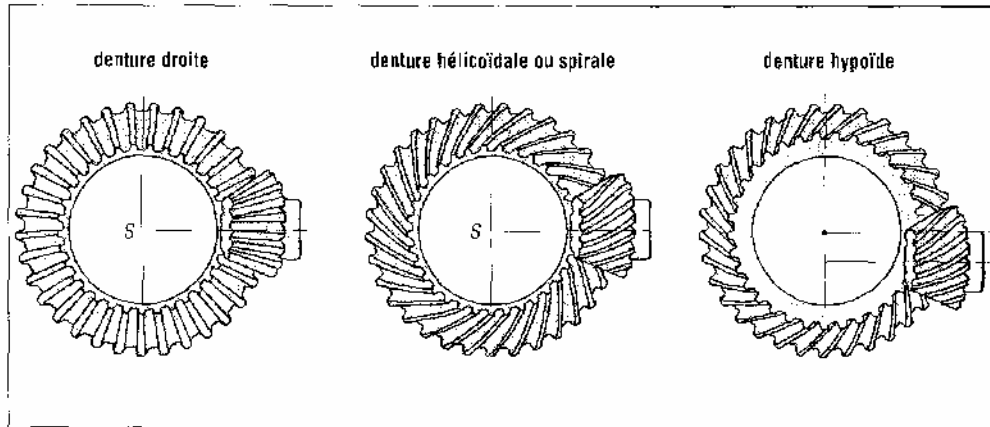


28. Engrenages coniques ou à axes concourants.

C'est un groupe important utilisé pour transmettre le mouvement entre deux arbres non parallèles dont les axes sont concourants (les axes à  $90^\circ$  sont les plus courants).

Les surfaces primitives ne sont plus des Cylindres mais des Cônes (cônes primitifs). Les cônes sont tangents sur une ligne de contact  $MM'$  et leur sommet commun est le point  $S$ , c'est aussi le point d'intersection des axes de rotation des deux roues.

## Principaux types



29. Principaux engrenages coniques.

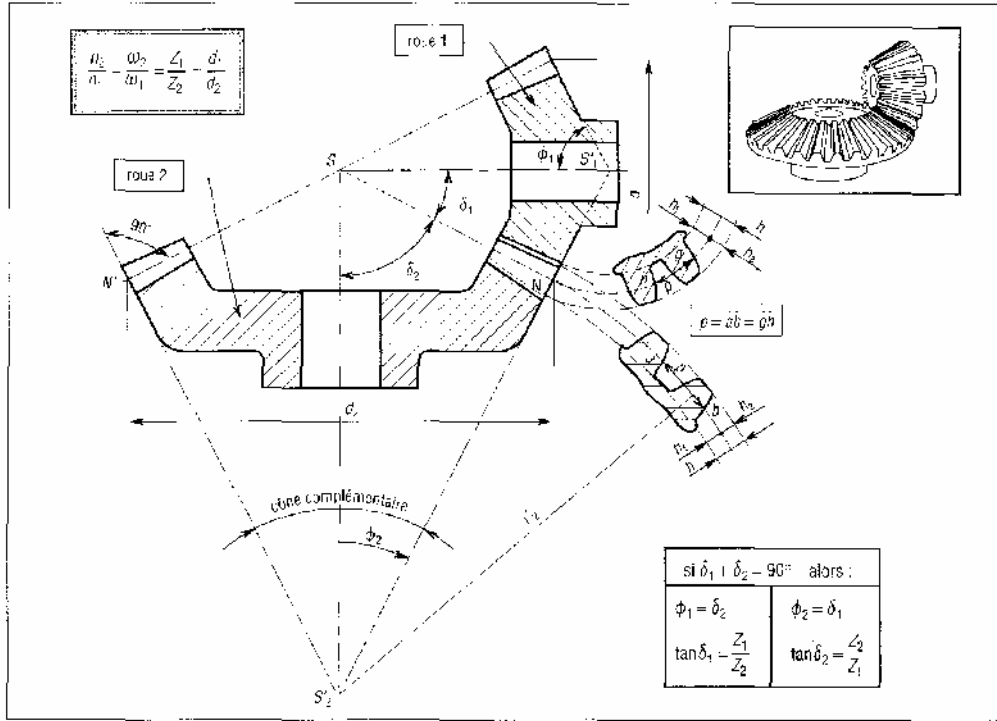
a) Engrenages coniques à denture droite: ce sont les plus simples. La direction des génératrices du profil de la denture passe par le sommet S. Aux vitesses élevées on retrouve les mêmes inconvénients que les engrenages droits à dentures droites (bruits de fonctionnement, fortes pressions sur les dents...).

b) Engrenages coniques à denture hélicoïdale ou spirale ils sont conçus sur le même principe que les engrenages droits. Pour diminuer les bruits aux grandes vitesses et assurer une plus grande progressivité de la transmission, la denture droite est remplacée par une denture spirale (angle de pression usuel  $\alpha_n = 20^\circ$  ou  $14^\circ 30'$  angle de spirale  $35^\circ$ ).

c) Engrenages hypoïdes : variante complexe des précédents, avec les mêmes qualités générales, ils sont à mi-chemin entre les engrenages coniques et les engrenages roue et vis. Les axes des roues sont orthogonaux mais non concourants, les surfaces primitives ne sont plus des cônes mais des hyperboloïdes (forme d'hyperbole). Le glissement ou le frottement entre les dents est élevé.

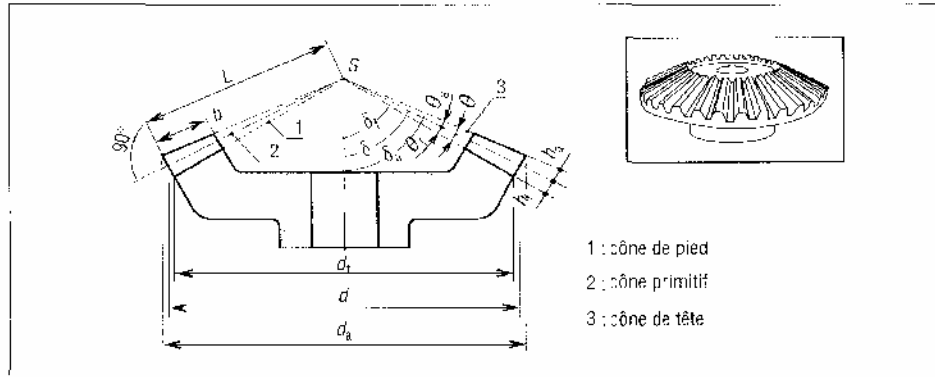
### Caractéristiques des engrenages coniques à denture droite

La taille et la forme de la dent (module  $m_n$ , pas  $p$ ,  $d$ ,  $d_a$ ,  $d_f$ ,  $h$ ,  $h_a$ ,  $h_f$ ) sont définies à partir du plus grand cercle ou sur l'extrémité la plus large de la denture.



30. Cas d'arbres perpendiculaires.

Principales caractéristiques des engrenages coniques à denture droite		
caractéristiques	symboles ISO	observations et formules usuelles
visse angulaire	$\omega$	$\omega = (\pi \cdot n)/30 \approx 0,1n$ (unités : rad/s)
nombre de tours/minute	$n$	$n_1$ (roue 1) $n_2$ (roue 2)
module	$m$	valeurs normalisées (tableau 1) mesurée sur cône complémentaire
pas primitif	$p$	$p = \pi \cdot m = 3,141\ 59m$ (avec $p = p_1 = p_2$ )
nombre de dents	$Z$	$Z_1$ (roue 1) $Z_2$ (roue 2)
diamètre primitif	$d$	$d_1 = mZ_1$ et $d_2 = mZ_2$
angle primitif	$\delta$	$\delta_1$ (roue 1) $\delta_2$ (roue 2)
angle de pression	$\alpha$	valeur la usuelle $\alpha = 20^\circ$
angle de tête	$\delta_a$	$\delta_a = \delta - \theta_a$
angle de creux	$\delta_f$	$\delta_f = \delta + \theta_f$
angle de saillie	$\theta_a$	$\tan \theta_a = 2m \sin \delta / d$
angle de creux	$\theta_f$	$\tan \theta_f = 2,5m \sin \delta / d$
angle de hauteur	$\theta$	$\theta = \theta_a + \theta_f$
longueur génératrice primitive		$L = d_1/2 \sin \delta_1 = d_2/2 \sin \delta_2$
largeur de dent	$b$	$L/4 \leq b \leq L/3$ (raisons de taillage)
saillie	$h_a$	$h_a = m$
creux	$h_f$	$h_f = 1,25m$
hauteur de dent	$h$	$h = h_a + h_f = 2,25m$
diamètre de tête	$d_a$	$d_a = d + 2m \cdot \cos \delta$
diamètre de pied	$d_f$	$d_f = d - 2,5m \cdot \cos \delta$
$\delta_1 + \delta_2 = 90^\circ$		$\delta_1 + \delta_2 < 90^\circ$
$\phi_1 = \delta_2$	$\phi_2 = \delta_1$	$\phi_1 = 90 - \delta_1$
$\phi_2 = \delta_1$	$\phi_1 = \delta_2$	$\phi_2 = 90 - \delta_2$
$\tan \delta_1 = Z_1/Z_2$	$\tan \delta_2 = Z_2/Z_1$	$\tan \delta_1 = \frac{\sin(\delta_1 + \delta_2)}{Z_1/Z_2 + \cos(\delta_1 + \delta_2)}$
		$\tan \delta_2 = \frac{\sin[180 - (\delta_1 + \delta_2)]}{Z_1/Z_2 \cos[180 - (\delta_1 + \delta_2)]}$



31. Principaux paramètres des roues coniques.

**Cône complémentaire** : cône de sommet  $S'$  dont les génératrices ( $S'_2N\dots$ ) tracées à partir de l'extrémité la plus large de la denture, sont perpendiculaires à celles du cône primitif.

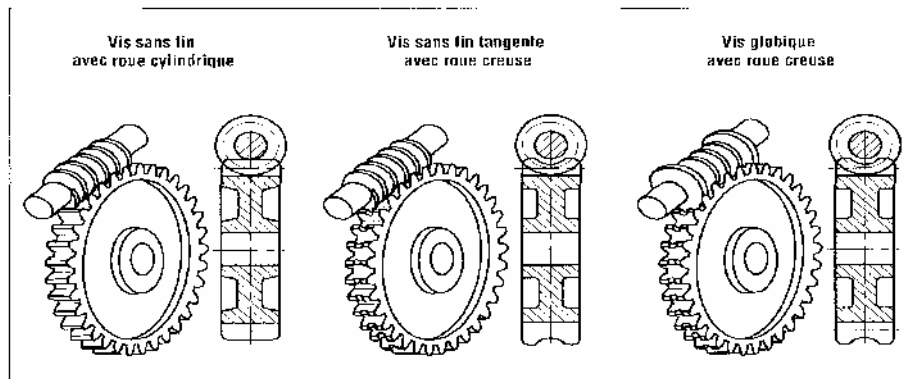
**Remarque** : l'étude géométrique d'un engrenage conique (continuité d'engrènement, interférences, glissement...) se ramène à l'étude de l'engrenage droit complémentaire (approximation de Trédgold) de rayons primitifs  $r'_2, r'_1$  et de nombre de dents  $Z' = 2\pi r'/p$ .

### 1.5 ENGRENAGES ROUES ET VIS SANS FIN

La vis ressemble à une vis d'un système vis/écrou et la roue à une roue droite à denture hélicoïdale. La transmission de mouvement est effectuée entre deux arbres orthogonaux. Ces engrenages permettent de grands rapports de réduction (jusqu'à 1/200) et offrent des possibilités d'irréversibilité.

Ils donnent l'engrènement le plus doux de tous les engrenages, silencieux et sans chocs. Contrepartie un glissement et un frottement important provoquent un rendement médiocre. De ce fait, une bonne lubrification est indispensable ainsi que des couples de matériaux à faible frottement (exemple vis acier avec roue en bronze).

#### Principales familles



32. Principaux engrenages roue et vis.

Principales caractéristiques des engrenages roue et vis		
caractéristiques	symboles ISO	observations et formules usuelles
nombre de filets vis	$Z_V$	
nombre de dents roue	$Z_R$	$Z_R + Z_V > 40$
angle d'hélice vis	$\beta_V$	irréversibilité si $\beta_V < 6^\circ$ à $10^\circ$
angle d'hélice roue	$\beta_R$	$\beta_V + \beta_R = 90^\circ$
sens des hélices		le sens (à droite ou à gauche) est le même pour la vis et la roue
module réel roue	$m_n$	$m_n$ (le même pour la vis et la roue)
module axial vis	$m_x$	$m_x = \frac{p_x}{\pi} = \frac{m_n}{\cos \beta_R} = \frac{m_n}{\sin \beta_V}$
pas réel roue	$p_n$	$p_n = \pi \cdot m_n$
pas apparent roue	$p_t$	$p_t = \frac{p_n}{\cos \beta_R} = \pi \cdot m_t$
pas axial vis	$p_x$	$p_x = p_t$ (pas axial vis = pas apparent roue)
pas de l'hélice	$p_z$	$p_z = Z_V \cdot p_x$
vitesse angulaire	$\omega$	$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \approx 0,1 n$ (unités rad/s)
nombre de tours/minute	$n$	$n_V$ vis et $n_R$ roue
diamètre primitif roue	$d_R$	$d_R = m_t \cdot Z_R$
diamètre primitif vis	$d_V$	$d_V = \frac{p_z}{\pi \tan \beta_H}$ et $\frac{d}{3}^{0,875} \leq d_V \leq \frac{d}{1,7}^{1,875}$
entraxe entre 2 roues	$a$	$a = \frac{d_V + d_R}{2}$
saillie	$h_a$	$h_a = m_n$
creux	$h_f$	$h_f = 1,25 m_n$
hauteur de dent	$h$	$h = h_a + h_f$
diamètre de tête vis	$d_{dV}$	$d_{dV} = d_V + 2m_n$
diamètre de pied vis	$d_{fV}$	$d_{fV} = d_V - 2,5m_n$
angle de pression réel	$\alpha_n$	commun à la vis et à la roue valeur : $14^\circ 30'$ , $20^\circ$ , $25^\circ$ et $30^\circ$
angle de pression axial vis	$\alpha_x$	$\alpha_x = \alpha_t$ (roue)
longueur de la vis	$l$	$l \approx 5p_x$ ou $6p_x$

**Remarque :** une roue creuse est une roue cylindrique légèrement creusée, ce qui accroît la surface de contact entre les dents et permet d'augmenter les efforts transmissibles. Le principe est le même avec la vis globique (assemblage plus difficile).

### Caractéristiques cinématiques et géométriques

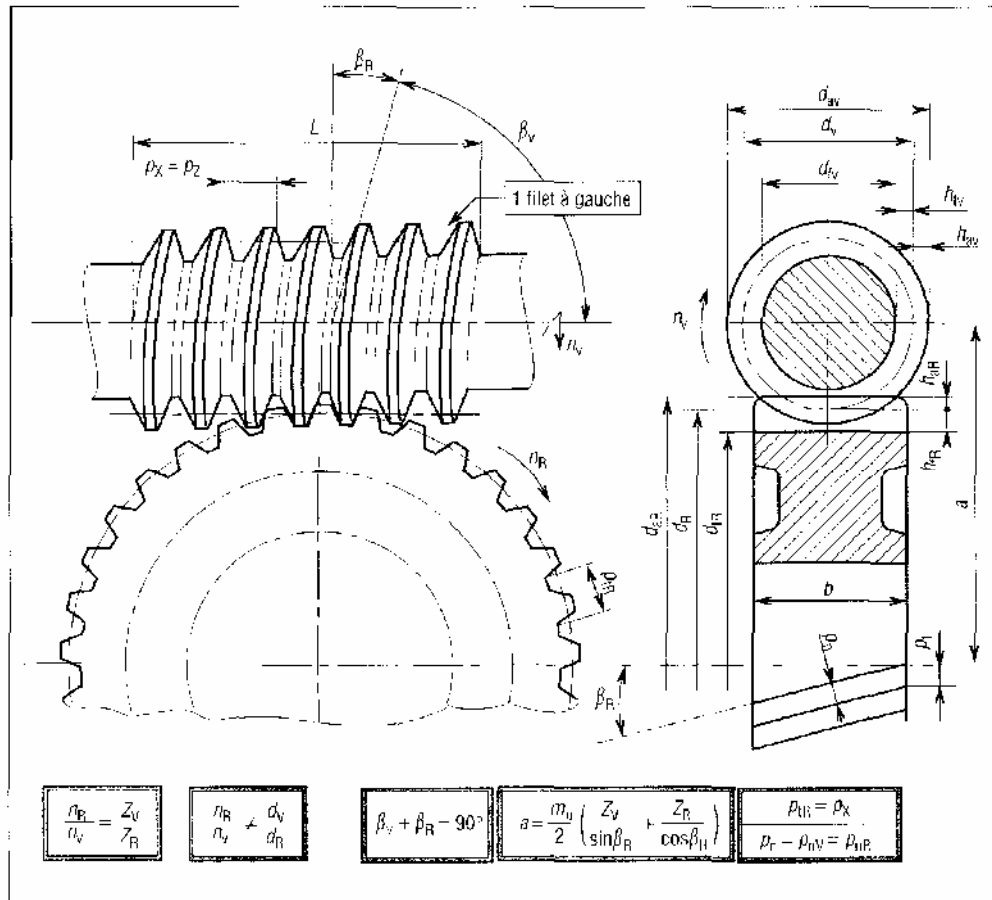
Particularité le rapport des nombres de dents est différent du rapport des diamètres primitifs comme pour les engrenages hypoides.

Les caractéristiques de la roue sont celles d'une roue droite à denture hélicoïdale.  $Z_v$  représente le nombre de filets de la vis (de 1 à 8 filets et parfois plus).

Le pas axial  $p_x$  mesure la distance (suivant l'axe) entre deux filets consécutifs de la vis.

Le pas de l'hélice  $p_z$  représente le pas du filet, ou d'un des filets, de la vis ( $p_z = Z_v p_x$  et  $\tan \beta_m = p_z / \pi d_v$ )

La vis et la roue a le même pas normal  $p_n$ , Le pas axial de la vis est égal au pas apparent de la roue  $p_x = p_t R$ .



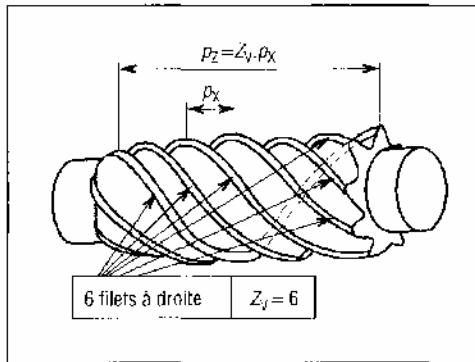
33. Principaux paramètres du système roue et vis.



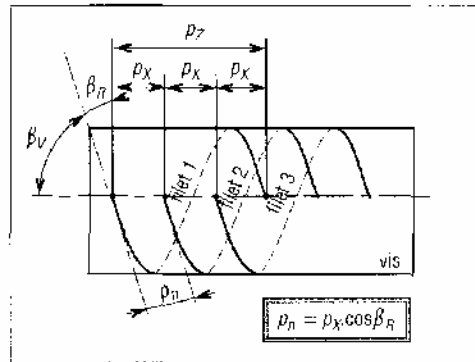
### Irréversibilité du système roue et vis

Si la vis peut toujours entraîner la roue, par contre l'inverse n'est pas toujours possible. Lorsque l'angle d'inclinaison de l'hélice  $\beta_R$  est suffisamment petit (moins de 6 à 10°) le système devient irréversible et la roue ne peut pas entraîner la vis, il y a blocage en position. Cette propriété est intéressante pour des dispositifs exigeant un non retour.

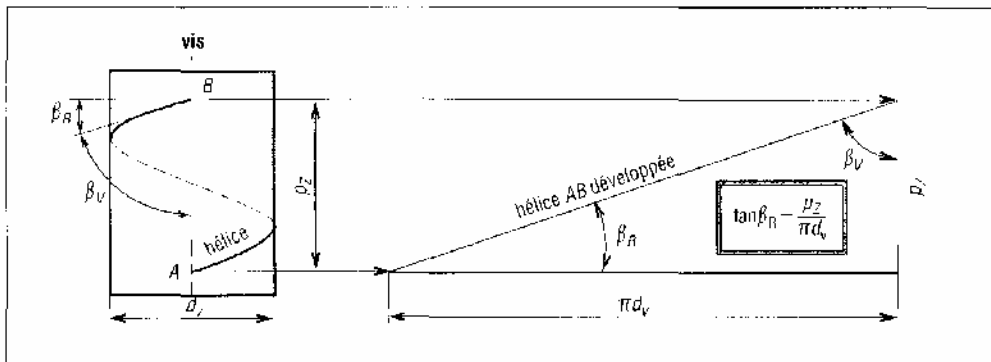
Ce phénomène est comparable à l'irréversibilité du système vis écrou. Les engrenages roue et vis sont les seuls à posséder cette propriété.



34. Cas d'une vis à six filets.



35. Position des filets dans le cas d'une vis à trois filets.



36. Développement de l'hélice.

## 1. 6. QUALITE DES ENGRENAGES, NF 180 1328

La norme ISO prévoit 13 classes de qualité (O à 12) pour les dentures, O est la plus précise et 12 la moins précise (progression de  $\sqrt{2}$  entre chaque classe). La norme donne les définitions, règles, formules, domaines de validité et les valeurs admissibles des écarts sous formes de tables de valeurs (idem ajustements). Ecart concerné pas, division, profil, hélice, composés radiaux et faux rond. *Exemple de désignation* : 8-af (af = précision courante, df = bonne précision, etc. définissant la tolérance d'épaisseur de la dent). Voir norme NF E 23-006.

**Domaines d'emplois indicatifs:**

**Classes 1 à 4 :** pour denture de précision exceptionnelle ou pour grandes vitesses ( $V > 30$  m/s). Engrenages étalons, turbines...

**Classes 5 et 6 :** denture rectifiée ou rasée,  $R_a < 0,2$  ou  $0,4$   $\mu\text{m}$ . Pour engrenages sous vitesses élevées ( $V < 20$  m/s). Machines outils, appareils de mesure, turbines, automobiles...

**Classe 7 :** cas de denture taillée par fraise mère et rectifiée,  $R_a = 0,8$  à  $3,2$   $\mu\text{m}$ ,  $V < 10$  m. Bonne qualité en mécanique générale : manutention, automobiles, machines outils, machines de bureau...

**Classes 8 et 9 :** qualité courante pour roues trempées non rectifiées,  $R_a = 3,2$   $\mu\text{m}$ ,  $V < 7$  m/s.

**Classe 10 :** procédés usuels et aussi extrusion, filage, frittage, moulage par injection pour engrenages en plastique...

**Classes 11 et 12 :** engrenages lents ( $V < 2$  m/s) et engrenages à gros modules.

**1.7. EXERCICES**

**Exercice 1**

Soit un engrenage droit à denture droite, pas primitif  $6,28$  mm ( $2\pi$ ), angle de pression  $20^\circ$ , nombre de dents de la roue  $80$ , rapport de transmission  $0,25$ . Déterminer le nombre de dent du pignon, le module et l'entraxe  $a$ .

**Exercice 2**

Soit un engrenage droit à denture droite,  $m = 3$ , entraxe approximatif  $150$  mm,  $n_2 = 0,25$ .

Déterminer les nombres de dents des deux roues.

**Exercice 3**

Un pignon de  $17$  dents (engrenage droit à denture droite) ayant un module de  $4$  mm tourne à  $1\,000$  tr/min. La roue menée possède  $68$  dents. Calculer la vitesse de la roue, le pas et l'entraxe.

**Exercice 4**

Une roue droite à denture droite à  $30$  dents, un module de  $4$  mm, un angle de pression de  $20^\circ$ . Déterminer le diamètre primitif, le diamètre de base, la hauteur de la dent, les hauteurs de saillie et de creux.

### Exercice 5

Un pignon d'engrenage droit à denture droite de 18 dents, de module 8 mm et d'angle de pression  $20^\circ$  engrène avec une roue de 30 dents. Déterminer le pas primitif, l'entraxe et pour chaque roue  $d$ ,  $d_b$ ,  $h$ ,  $h_b$ ,  $h_f$ . Faire un dessin à l'échelle montrant une dent de chaque roue.

### Exercice 6

Un pignon droit à denture hélicoïdale de 18 dents engrène avec une roue de 36 dents, l'angle d'hélice de la denture est de  $30^\circ$  (hélice à droite), l'angle de pression normal de  $20^\circ$  et le module normal de 4 mm. Déterminer le pas normal, le pas apparent, le pas axial, les diamètres primitifs, l'angle de pression apparent, les hauteurs de saillie et de creux.

### Exercice 7

Un engrenage droit à denture hélicoïdale se compose d'un pignon de 18 dents engrenant avec une roue de 54 dents. Le module normal est de 5 mm. Déterminer les valeurs possibles de l'entraxe ( $a$ ) si l'angle d'inclinaison de la denture ( $\beta$ ) varie entre  $0$  et  $40^\circ$ . Tracer le graphe  $a = f(\beta)$

### Exercice 8

Un engrenage droit à denture hélicoïdale se compose d'un pignon de 20 dents engrenant avec une roue de 60 dents. L'angle de pression normal est de  $20^\circ$ , le module normal de 4 mm et l'entraxe de 360 mm. Déterminer l'angle de l'hélice, le pas normal, le pas apparent, le pas axial, le module apparent et l'angle de pression apparent.

### Exercice 9

Un engrenage conique à denture droite à un pignon de 18 dents engrènent avec une roue de 54 dents. Le module est de 4 mm, l'angle de pression de  $20^\circ$  et les deux arbres sont perpendiculaires. Déterminer le pas primitif, les angles des deux cônes primitifs, les diamètres primitifs, les longueurs des cônes primitifs.

### Exercice 10

Une vis à trois filets a un diamètre primitif de 100 mm, un pas axial de 20 mm. Déterminer l'angle d'inclinaison  $\beta$ .

## 1.8. APPLICATION

### Réaliser une pièce de rénovation à partir de la documentation suivante

**Nota** : la documentation est conçue pour fabrication sérielle.

Brute en fonte FGS-500-7 (fig.1) on exécute la roue creuse (fig.2).

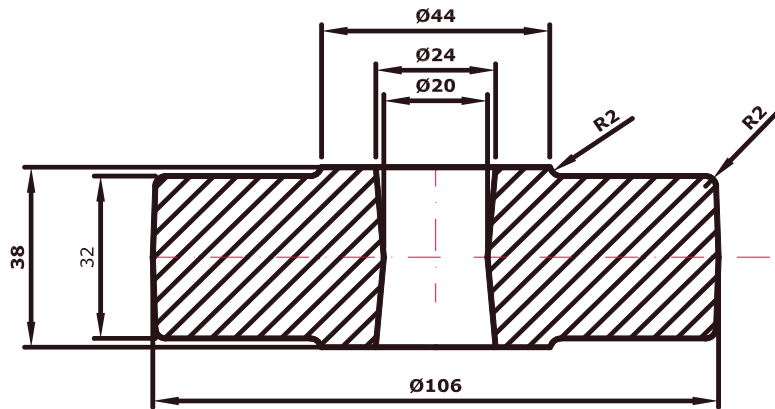


Fig.1.

Le dessin de définition de la roue creuse est présentée en figure 2.

**Hypothèses :**

**A la pièce :** Pièce obtenue par moulage au sable en fonte (Fig.1). L'alésage vient de fonderie. Surépaisseur d'usinage 2,5mm.

**A l'équipement de l'atelier :** machines-outils pour la fabrication des pièces par moyens série.

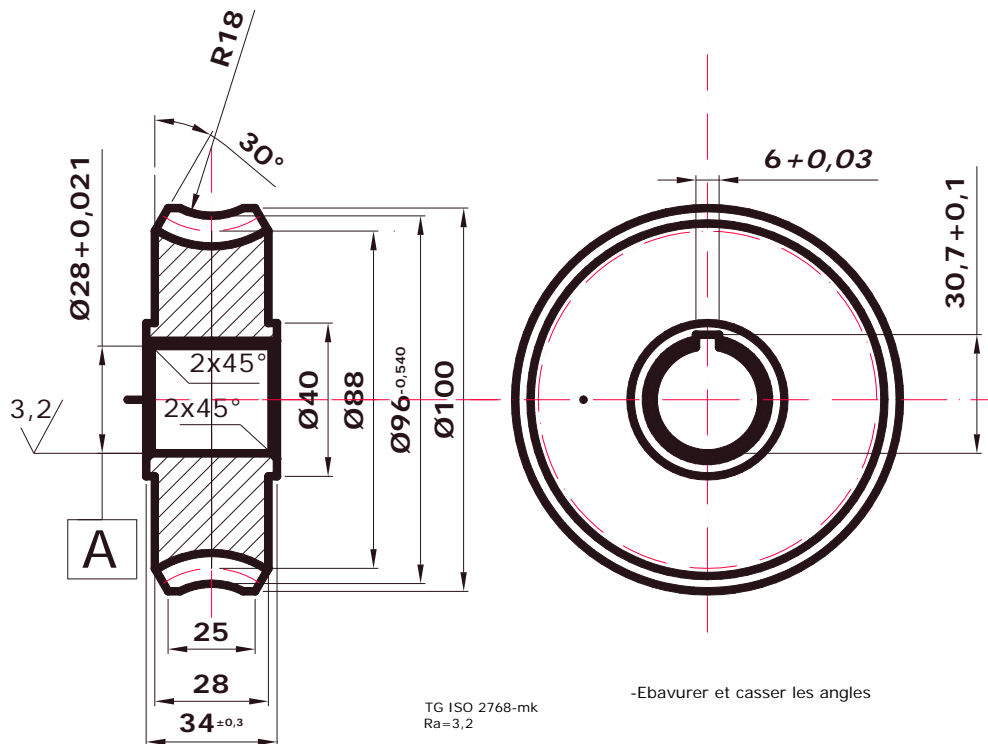


Fig. 2

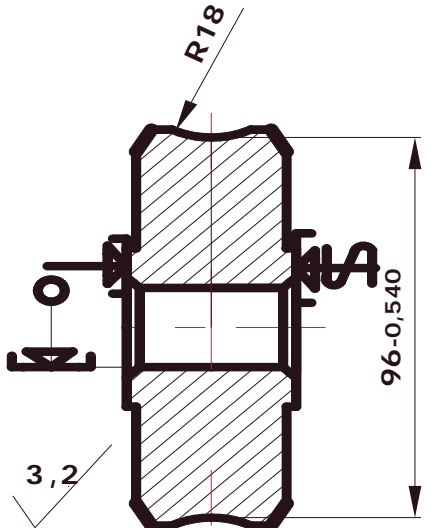
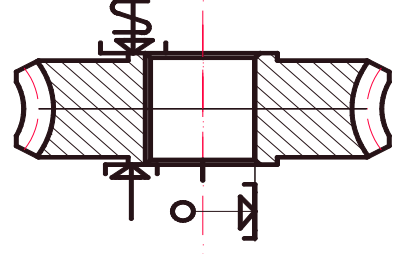
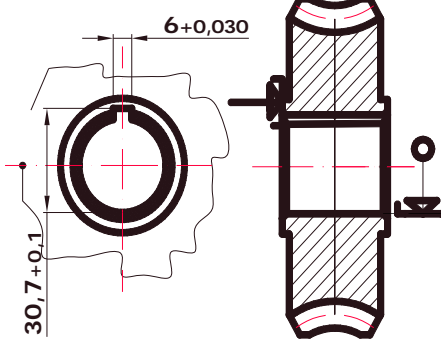
PARAMETRES DES DENTS

Diametre primitifs		Dd	88
La vis sans fin	N° de dessin		
	L'hauteur du dent	h	9
	Pas de l'helice	Pe	12,56
Distance entre les axes		A	66-0,065
Les parrametres de la vis	Nombre des fillets	Z1	1
	Angle de l'helice de référence	$\Phi$	5°11'40"
	Angle de presion	$\alpha$	20°
La roue creuse	Module apparent	mf	4
	Nombre des dents	Z2	22
	Sens d'inclinaison de la denture		droite

Gamme proposée pour des conditions sérielles:

N°	Opération, phase, sous phase	Schémas, ablocage, isostatisme	Machine outil, outillages, contrôle	V[m / mn]	S[mm m/tr]	t[m m]
1	<b>Tournage</b>		-Tour parallèle -Plaquette K20 -Pied à coulisse	48	0,36	2
	a. Dressage			100		2
	b. Dressage cote 30			48		2
	c. Chariotage $\phi$ 40			100		2,5
d. Chariotage $\phi$ 101						

<p>2</p>	<p><b>Tournage</b></p> <p>a. Dressage cote 28</p> <p>b. Dressage cote 2</p> <p>c. Chariotage <math>\phi 101</math></p> <p>d. Tournage intérieur <math>\phi 28+0,021</math></p>		<p>-Tour parallèle -Plaquette K20 -Pied à coulisse -Calibre tampon <math>\phi 28+0,021</math></p>	<p>100</p> <p>48</p> <p>100</p> <p>41</p>	<p>0,36</p> <p>2,5</p> <p>0,10</p>	<p>2</p> <p>2</p> <p>4</p>
<p>3</p>	<p><b>Tournage</b></p> <p>a) Chariotage <math>\phi 100</math></p> <p>b) Tournage conique à <math>30^\circ</math></p>		<p>-Tour parallèle -Plaquette K20 -Pied à coulisse</p>	<p>100</p>	<p>0,36</p>	<p>0,5</p>

4	<p><b>Tournage</b></p> <p>a) Tournage toroïdale R18 à <math>\phi 96-0,540</math></p>		<p>-Tour parallèle -Plaquette K20 -Pied à coulisse -Calibre R18</p>	80	0,1	2
5	<p><b>Taillage denture</b></p> <p>a) Taillage 22 dents par roulage avec avance radial</p>		<p><b>Machine à tailler</b> -Fraise mère à tailler les roues creuses -Pied module</p>	20	1,2	
6	<p><b>Brochage</b></p> <p>-Brochage rainure de clavette épaisseur <math>6+0,030</math></p>		<p><b>Machine à brocher</b> <b>Horizontale</b> -broche pour rainure de clavette -calibre pour <math>6+0,030</math> -calibre pour <math>30,7+0,1</math></p>			

7	<b>Control final</b>	On contrôle : -cote $34\pm 0,3$ -cote $\phi 28+0,021$ -cote $6+0,030$ -cote $30,7+0,1$	-pied à coulisse -calibre tampon $\phi 28+0,021$ -calibre $6+0,030$ -calibre $30,7+0,1$
---	----------------------	--	---

## CHAPITRE 2 : REPARATION / RENOVATION DES POULIES DE COURROIES

### 2.1. TYPES DE COURROIES TRAPEZOIDALES

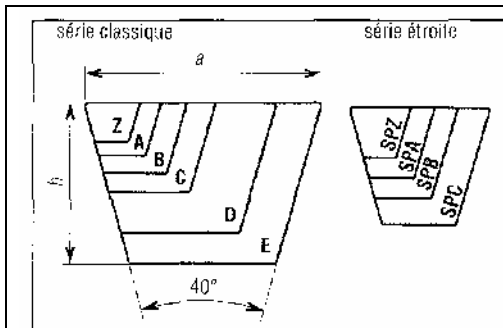


Fig.1.Séries classiques et étroites

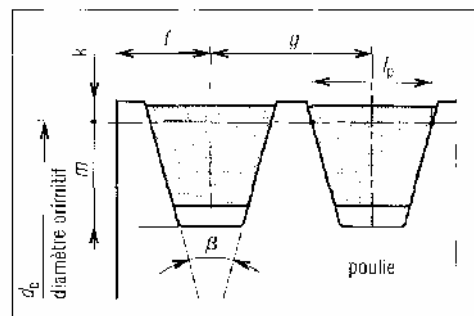


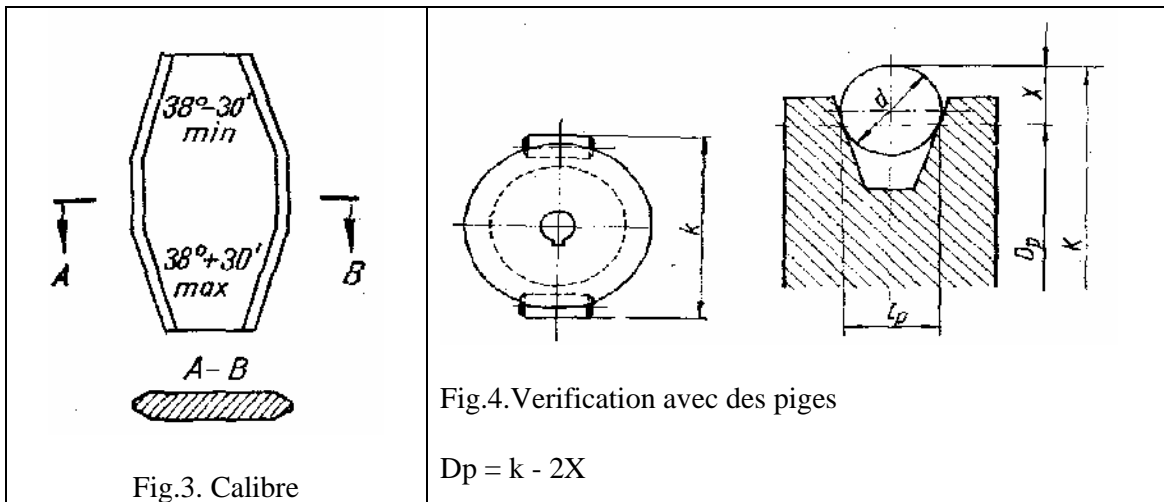
Fig.2. Montage sur une poulie  
( $\beta=32^\circ, 34^\circ, 36^\circ, 38^\circ$ )



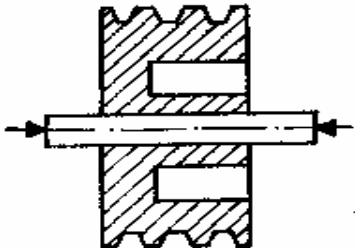
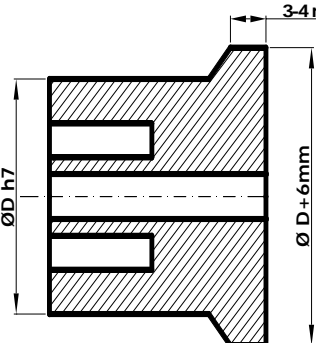
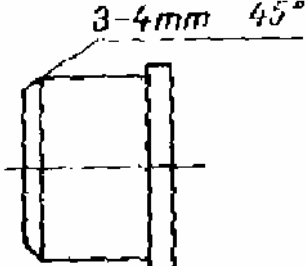
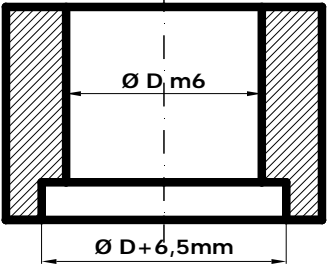
principales dimensions (en mm)	Principales dimensions trapézoïdales (ISO 4183)									
	série classique						série étroite			
	Z	A	B	C	D	E	SPZ	SPA	SPB	SPC
<i>a</i>	10	13	17	22	32	38	10	13	16	22
<i>h</i>	6	8	11	4	9	25	8	10	13	18
<i>l<sub>p</sub></i>	8,5	11	14	19	27	32	8,5	11	14	19
<i>f</i>	7	9	11,5	16	23	28	7	9	11,5	16
<i>g</i>	12	15	19	25,5	37	44,5	12	15	19	25,5
<i>k</i> (mini)	2	2,75	3,5	4,8	8,1	9,6	2	2,75	3,5	4,8
<i>m</i> (mini)	7	8,7	10,8	14,3	19,9	23,4	8,5	11	14	19
<i>d<sub>p</sub></i> (usuel)	50 à 630	75 à 800	125 à 1 120	200 à 2 000	355 à 2 000	500 à 2 500	63 à 630	90 à 800	140 à 1 120	224 à 2 000

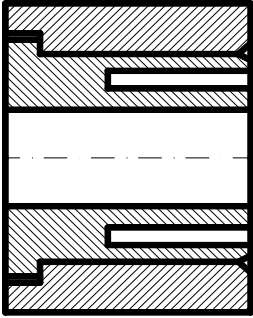
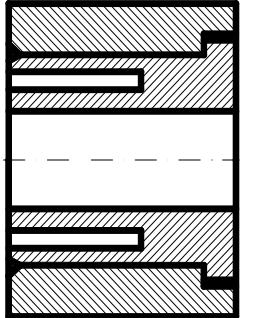
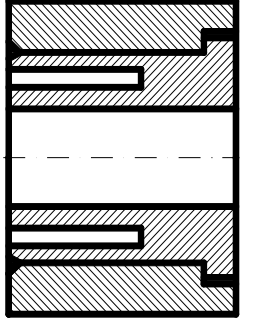
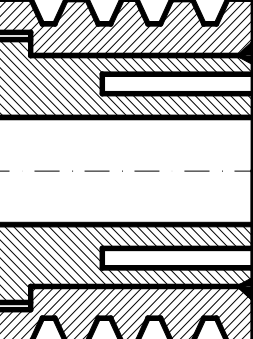
2.2. EXEMPLE : Soit à réparer une poulie de courroie qui a les gorges usées.

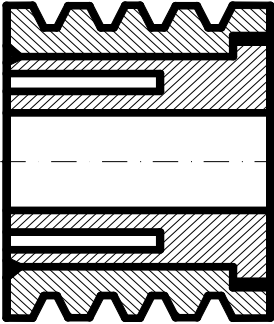
Vérification des gorges



Mode opératoire

N°	Schéma	Opération	M.O.
1		<p>-Mise en position, centrage et serrage de la poulie sur un montage d'usinage</p>	
2		<p>-Chariotage des gorges de la poulie conformément au dessin ci-joint.</p>	Tour //
3		<p>-Chanfrein pour soudage</p>	Tour //
4		<p>-Tournage extérieur et intérieur couronne</p>	Tour //

5		-Introduction de la couronne sur la pièce dessin phase2 (poulie charioté) par pressage	La couronne est chauffée à 500-600°C.
6		-Soudage ou blocage par goupilles	
7		-Chariotage et dressage d'une coté de l'ensemble	Tour //
8		-Tournage conique des gorges.	Tour //

9		Chariotage et dressage de l'autre coté de l'ensemble	Tour //
10		Equilibrage statique ou dynamique	Dispositif de vérification statique ou machine de vérification dynamique
11		Contrôle finale	

### CHAPITRE 3: RENOVATION /REPARATION DES GUIDAGES EN

#### TRANSLATION

##### 3.1. GENERALITES

Rétablir la forme géométrique des surfaces avec un rôle de guidage comme : bâti, table de contrôle (marbre) etc., se réalise par trois procédés :

- grattage manuel (quand l'usure ne dépasse pas 0,1-0,3 mm) ;
- rectification ou brochage pour l'usure plus de 0,3 mm ;
- rabotage, rectification ou grattage.

##### 3.2. L' OPERATION DE GRATTAGE

Premièrement le bâti est pose sur le sol après le démontage de la machine. Le bâti est appuyé sur des petites pièces rectangle (épaisseur de 10 mm), la planéité réalisable par ses visées de réglage. Le sol doit avoir une fondation solide en béton .Par intermédiaire des visées des réglage on réalise la planéité du bâti ; la vérification est fait par un niveau à bulle d'air avec une sensibilité de 0,02/1000mm. Longitudinale le niveau à bulle d'air est met sur les guidages, et transversale le niveau à bulle d'air est met sur une règle comme dans la figure ci-dessous.

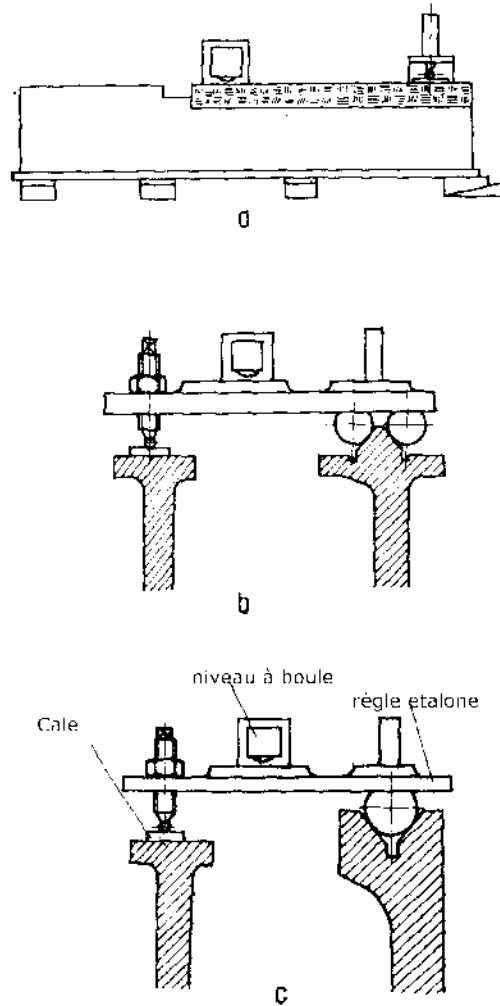






Fig.1

### La planéité des guidages après l'opération de grattage

Désignation de la machine	Type de guidage	La tolérance maximale admis sur la direction	
		Longitudinale	Transversale
		mm	
Machines de précision normale (tours, fraiseuses, etc...)	La rectitude des guidages	0,005/1000	0,005/1000
	La planéité des surfaces des tables (marbres)	0,02/1000	0,02/1000
	La planéité des guidages transversaux	0,02/1000	0,02/1000

### Nombre des touches de contact admis sur les surfaces grattées

La répartition des touches de contact sur la surface contrôlée	Type de la surface	Nombre des touches de contact admis sur les surfaces grattées de 25x25 mm
	Pour les guidages avec une largeur jusqu'à 100 mm	6
	Pour les guidages avec une largeur jusqu'à 100 mm Palier axial avec un diamètre jusqu'à 100 mm	10
	Guidages des machines outils de précision	15 -16
	Guidages des machines outils de grande précision	24 -25

### 3.3. MODE OPERATOIRE

- Sur la surface à rénover il faut créer un réseau de pointes situées dans un même plan au niveau le plus bas par rapport à la zone la plus usée du guidage.

- Le traçage de ce réseau est réalisé par l'intermédiaire d'une règle étalon et jauges d'épaisseur pour les guidages étroits ou par l'intermédiaire d'un montage représenté dans la Fig. 2. pour les guidages larges.

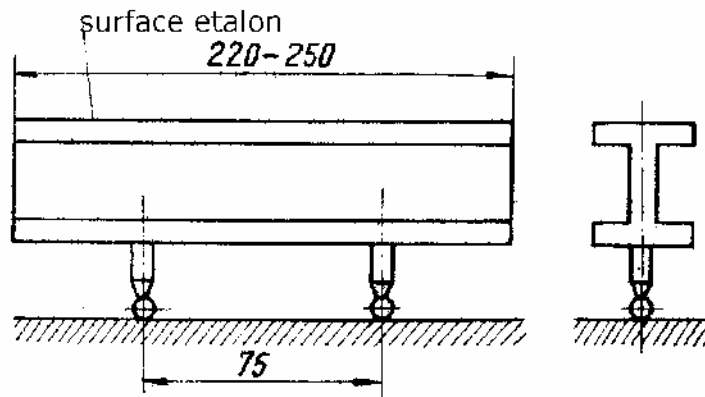


Fig. 2. Dispositif pour traçage du réseau de pointes pour grattage

- Les deux sphères doivent être strictement parallèles avec la surface étalon du dispositif.

- Pour l'opération de traçage des pointes du réseau on utilisera un niveau à boule d'aire qui nous montrera si les pointes sont situées ou non dans un même plan.
- On commence le grattage sur la zone la plus usée (le point A1, fig. 3) qui doit être plus bas par rapport aux toutes pointes d'usure.

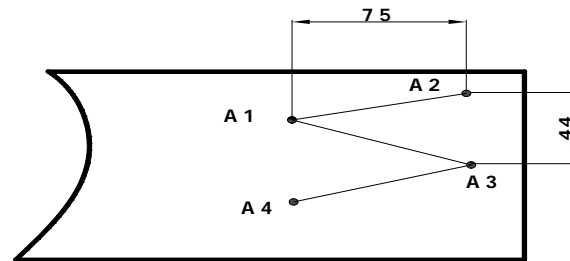


Fig.3

- On installe l'un des pieds du dispositif dans le point A1 obtenu par grattage et l'autre pied dans le point A2.
- On gratte le point A2 jusqu'à l'obtention d'une même profondeur de cet point comme le point A1. On constate ça en utilisant le niveau à boule d'aire.
- On procède de la même manière pour l'obtention du point A3 (considéré zéro).
- Pour les autres pointes du réseau on utilise le montage (dispositif) Fig.4.

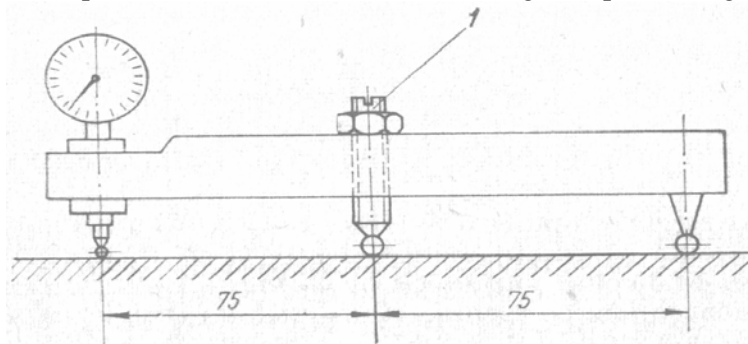


Fig.4

- Le dispositif est réglé sur un marbre étalon ou règle étalon pour que l'aiguë du comparateur indique zéro par la modification du pied réglable 1.
- L'opération de traçage avec ce dispositif est fait comme suit :
- On met les pieds du dispositif dans les pointes A1 et A2 et on gratte le point A4 jusqu'à ce que le comparateur indique zéro.
- On continue de la même manière pour terminer le réseau de pointes.

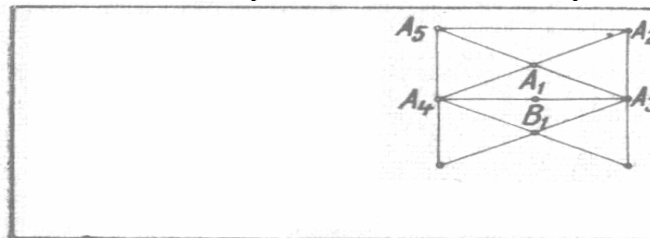
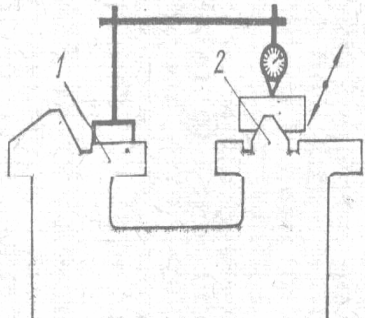
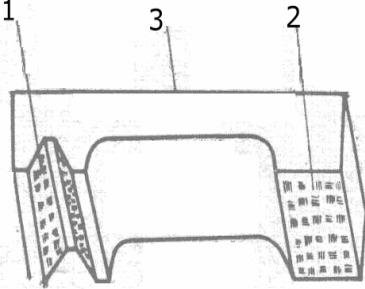

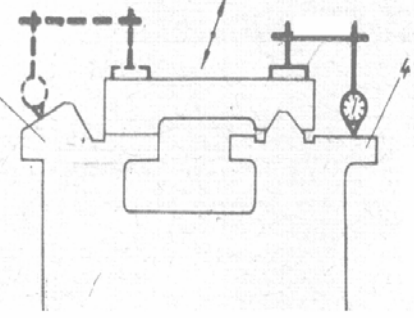


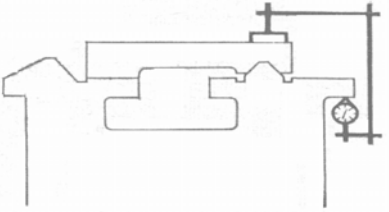
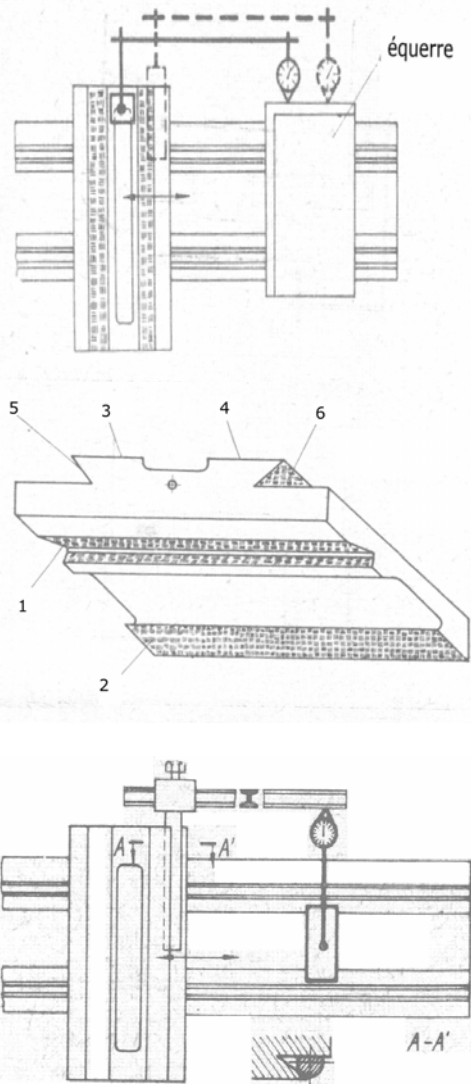
Fig.5. Réseau de pointes obtenue avec le dispositif Fig.4

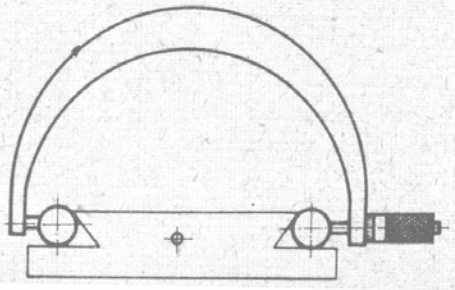
- L'opération se répète sans toucher les pointes du réseau.

### 3.4. GAMME POUR L' OBTENTION DES GUIDAGES, TABLES ET CHARIOTS PAR GRATAGE

N° Opération	Schéma	Opération	Tolérance maxi admissible [mm]	Vérification
0	1	2	3	4
1		-grattage des surfaces 1 et 2 (guidages pour la poupée mobile) : -pour les machines de grande précision -pour les machines de précision normale	0,005/1000  0,02/1000	-niveau à boule d'aire
2		-grattage des surfaces 1 et 2 (de la poupée mobile).	0,015/1000	-niveau à boule d'aire
3		-grattage de surface 3	0,015/1000	
4		-grattage des surfaces 3 et 4 : -pour les machines de grande précision -pour les machines de précision normale	0,005/1000  0,02/1000	



5		<p>-grattage des surfaces inférieures: -pour les machines de grande précision -pour les machines de précision normale</p>	<p>0,01/1000 0,02/1000</p>	
6		<p>-grattage des surfaces 1 et 2 des chariots longitudinale et transversale :  -pour les machines de grande précision -pour les machines de précision normale</p>	<p>0,005/300 0,02/300</p>	
7		<p>-grattage des surfaces 3 et 4 du chariote longitudinale</p>	<p>0 ,02</p>	

8		-grattage des surfaces 5 et 6 du chariote longitudinale	0 ,02	
---	---	---	-------	--

#### CHAPITRE 4: GUIDE POUR LA RENOVATION /REPARATION DES PIECES DE TYPE « BIELLE »

La bielle Fig. 1 est fissurée. On propose la réparation ou la rénovation de la pièce.  
Documentation disponible :

- le dessin de définition de la pièce
- la gamme d'usinage pour fabrication sérielle.

**Travail demandé :**

- étudier la réparation ou la rénovation de la pièce
- réparer ou rénover la pièce.

**a) La gamme d'usinage**

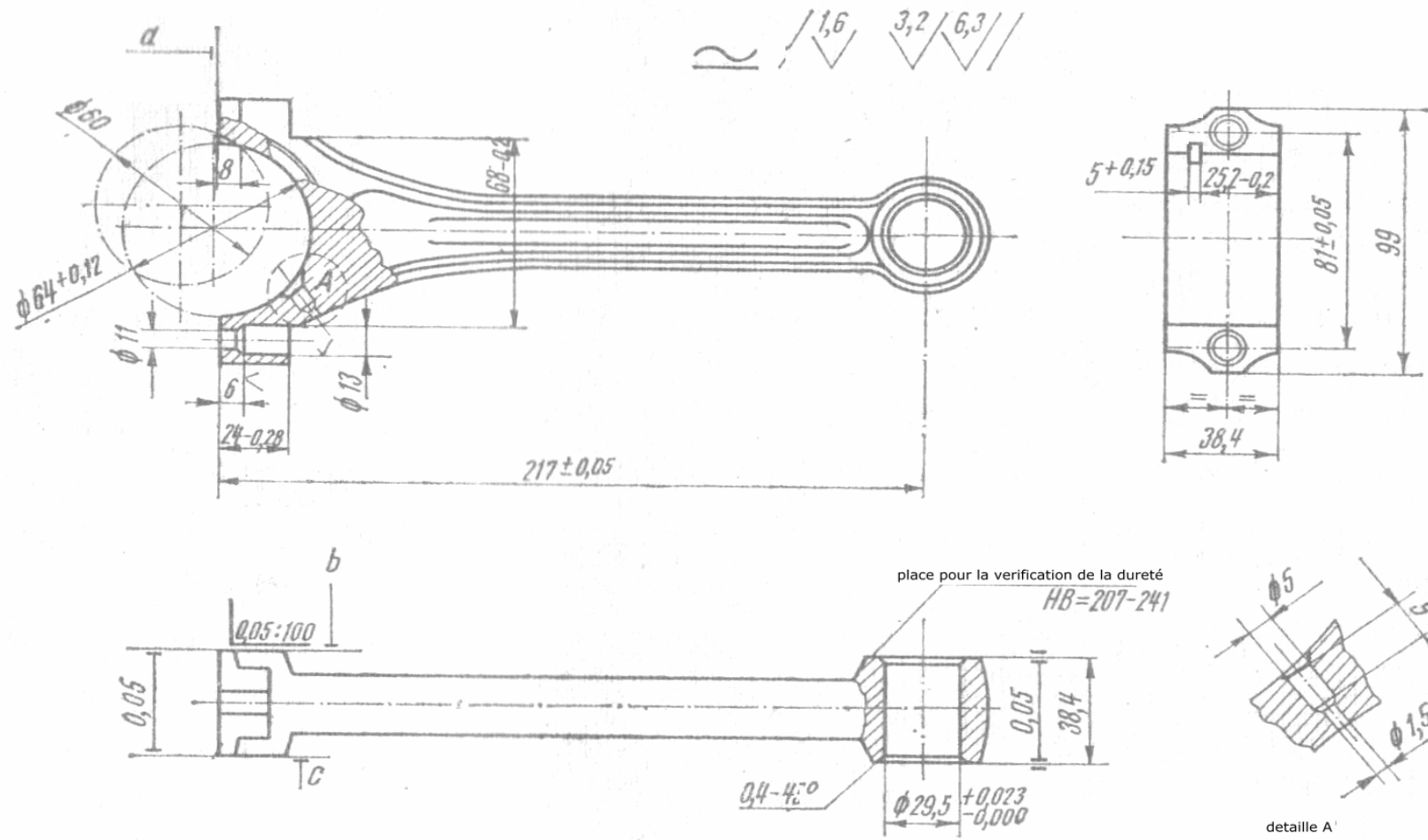
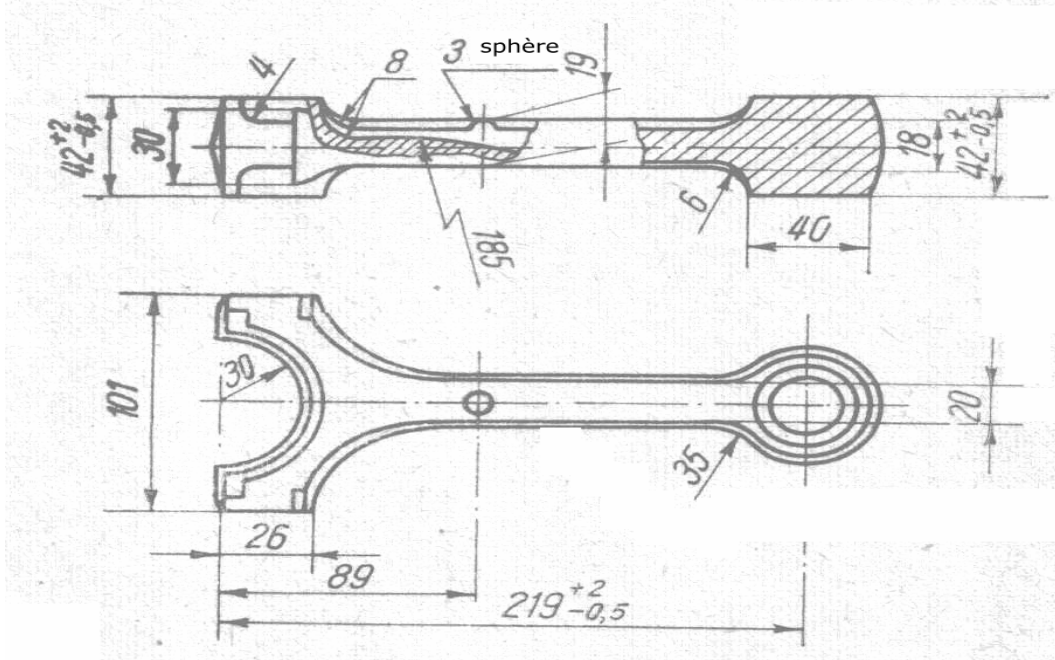


Fig.1

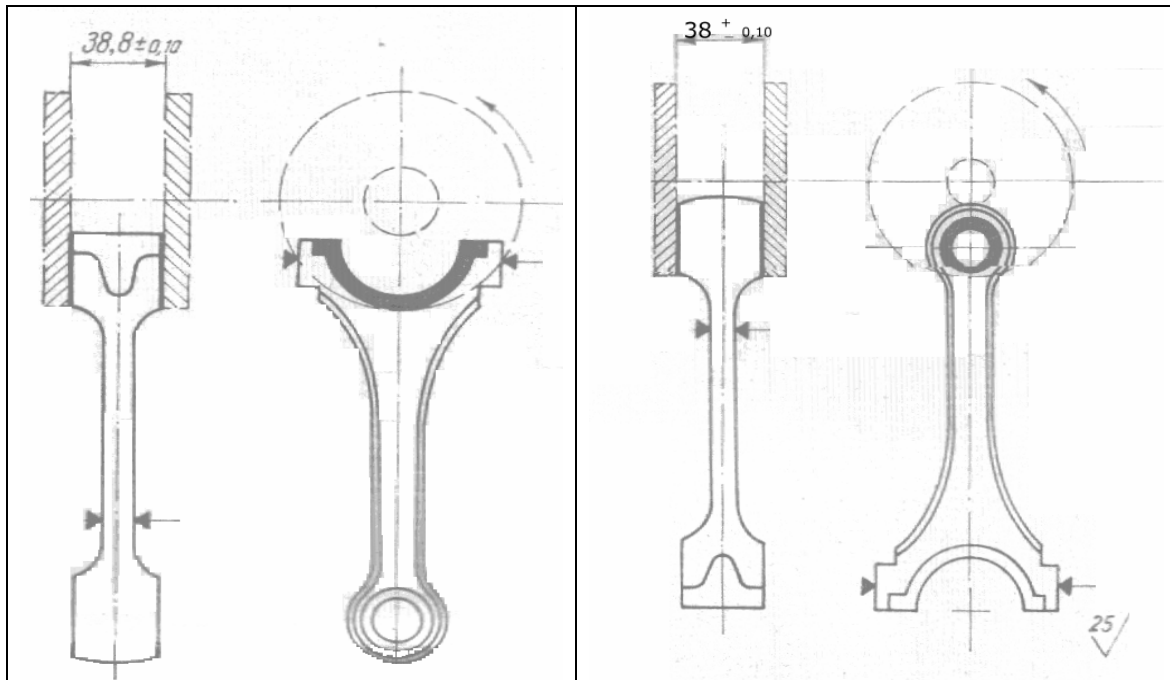
FEUILLE D' ANALYSE DE FABRICATION			
Réalisé par :			Désignation :
Ensemble :	Matière :		Réf. programme: %
Pièce:	Brut:		Machine :
	Désignation des sous phases, sous phases et opérations. Pour chaque phase, sous phase préciser : départ, appuis, serrage	M.O./ outillages	Outils de mesurage

FEUILLE D' ANALYSE DE FABRICATION		
Réalisé par :		Désignation :
Ensemble :	Matière :	Réf. programme: %
Pièce:	Brut:	Machine :



	Désignation des sous phases, sous phases et opérations. Pour chaque phase, sous phase préciser : départ, appuis, serrage	M.O./ outillages	Outils de mesurage
1.	Contrôle du brute	Table de contrôle	- Pied à coulisse - Duromètre

FEUILLE D' ANALYSE DE FABRICATION		
Réalisé par :		Désignation :
Ensemble :	Matière :	Réf. programme: %
Pièce:	Brut:	Machine :



	Désignation des sous phases, sous phases et opérations .Pour chaque phase, sous phase préciser: départ, appuis, serrage	M.O./ outillages	Outils de mesurage
2.	Fraisage	Fraiseuse horizontale - jeu de fraise	- calibre

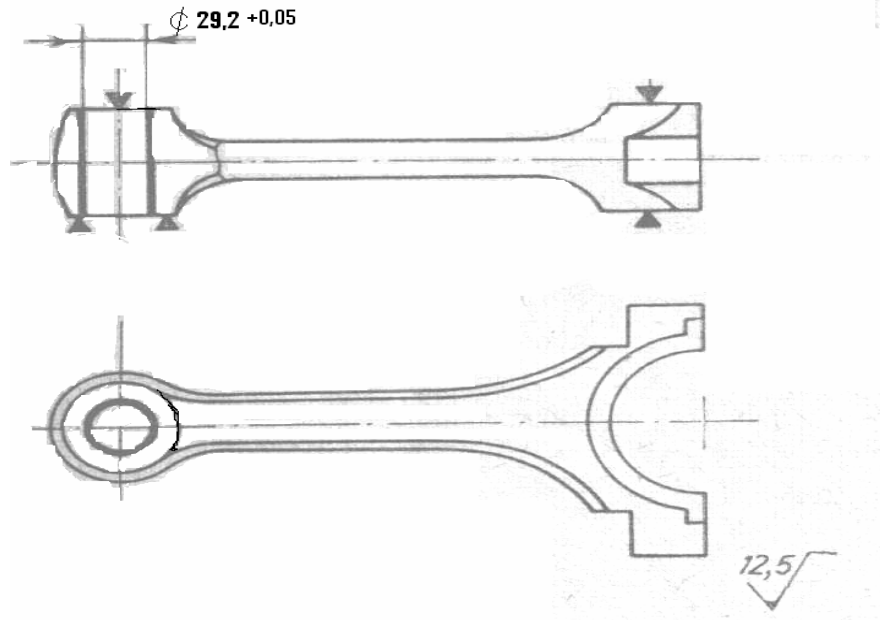
FEUILLE D' ANALYSE DE FABRICATION			
Réalisé par :			Désignation :
Ensemble :	Matière :		Réf. programme: %
Pièce:	Brut:		Machine :
	Désignation des sous phases, sous phases et opérations. Pour chaque phase, sous phase préciser: départ, appuis, serrage	M.O./ outillages	Outils de mesurage
1.	Rectification	Machine à rectifier plane	- calibre

FEUILLE D' ANALYSE DE FABRICATION			
Réalisé par :			Désignation :
Ensemble :	Matière :		Réf. programme: %
Pièce:	Brut:		Machine :
	Désignation des sous phases, sous phases et opérations. Pour chaque phase, sous phase préciser: départ, appuis, serrage	M.O./ outillages	Outils de mesurage
1.	Perçage	- Perceuse à colonne - Foret spéciale	- calibre



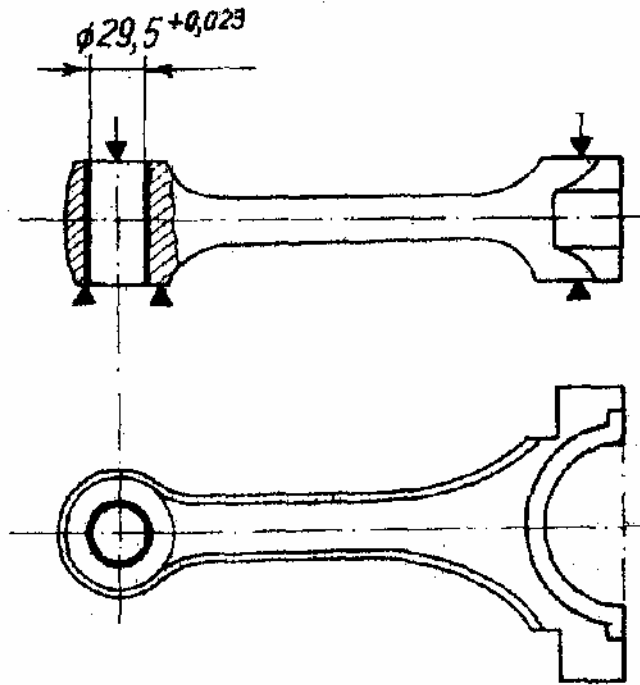
FEUILLE D' ANALYSE DE FABRICATION			
Réalisé par :			Désignation :
Ensemble :	Matière :		Réf. programme: %
Pièce:	Brut:		Machine :
	Désignation des sous phases, sous phases et opérations. Pour chaque phase, sous phase préciser: départ, appuis, serrage	M.O./ outillages	Outils de mesurage
1.	Chanfrein	- Perceuse à colonne - Fraise à chanfreiner à cône Morse	- calibre

FEUILLE D' ANALYSE DE FABRICATION		
Réalisé par :		Désignation :
Ensemble :	Matière :	Réf. programme: %
Pièce:	Brut:	Machine :



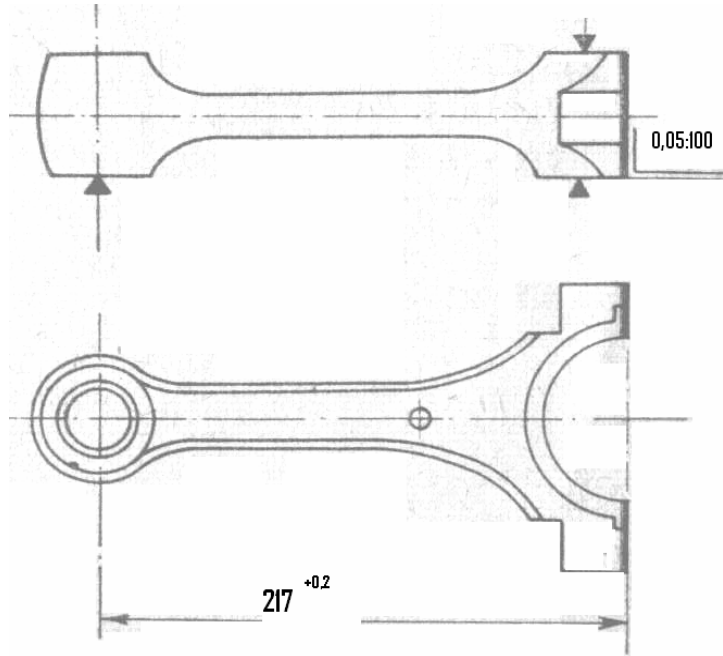
	Désignation des sous phases, sous phases et opérations .Pour chaque phase, sous phase préciser:départ, appuis, serrage	M.O./ outillages	Outils de mesurage
1.	Alésage ébauche	- Perceuse à colonne (ou tour parallèle) - Barre à aléser (outil à aléser et dresser)	- calibre

FEUILLE D' ANALYSE DE FABRICATION		
Réalisé par :		Désignation :
Ensemble :	Matière :	Réf. programme: %
Pièce:	Brut:	Machine :



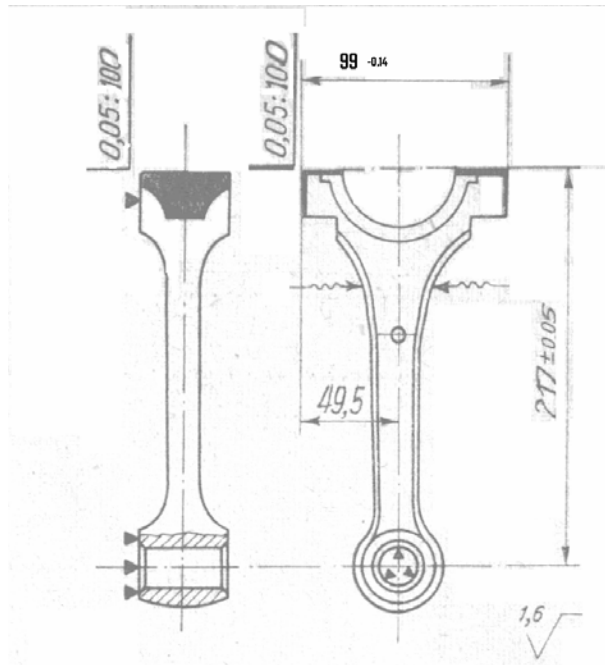
	Désignation des sous phases, sous phases et opérations .Pour chaque phase, sous phase préciser: départ, appuis, serrage	M.O./ outillages	Outils de mesurage
1.	Alésage finition	-Perceuse à colonne (ou tour parallèle) - Barre à alléser (outil à alléser et dresser)	- calibre

FEUILLE D' ANALYSE DE FABRICATION		
Réalisé par :		Désignation :
Ensemble :	Matière :	Réf. programme: %
Pièce:	Brut:	Machine :



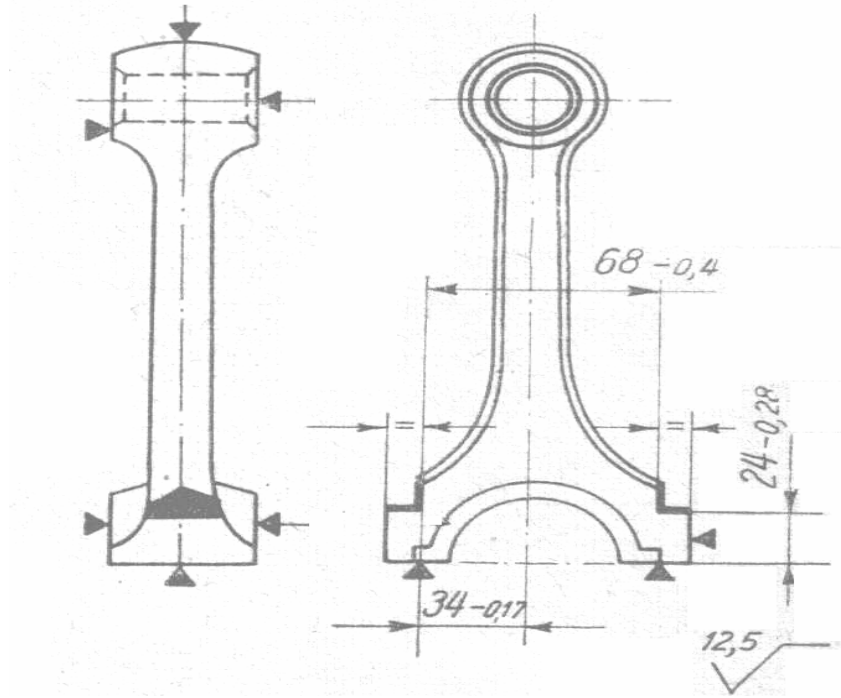
	Désignation des sous phases, sous phases et opérations .Pour chaque phase, sous phase préciser : départ, appuis, serrage	M.O./ outillages	Outils de mesurage
1.	Fraisage	- Fraiseuse horizontale - Fraise à carbures amovible	- équerre étalon

FEUILLE D' ANALYSE DE FABRICATION		
Réalisé par :		Désignation :
Ensemble :	Matière :	Réf. programme: %
Pièce:	Brut:	Machine :

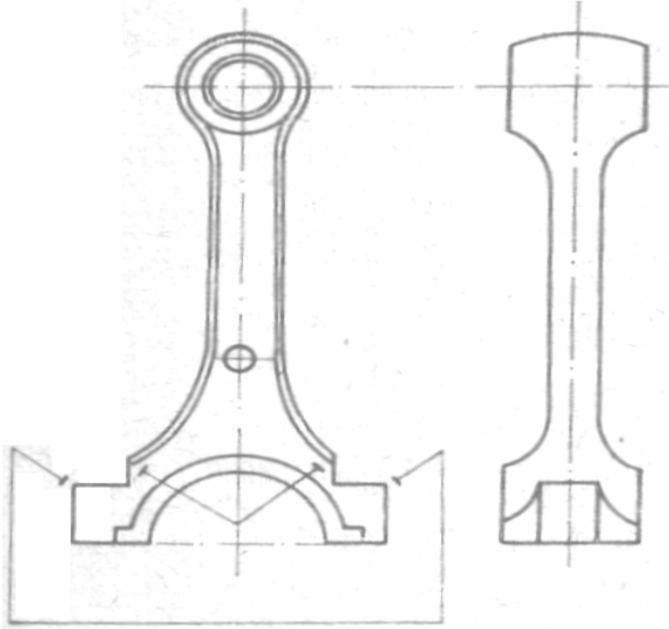


	Désignation des sous phases, sous phases et opérations .Pour chaque phase, sous phase préciser: départ, appuis, serrage	M.O./ outillages	Outils de mesurage
1.	Brochage	- Machine à brocher verticalement - Broche spéciale	- calibre

FEUILLE D' ANALYSE DE FABRICATION		
Réalisé par :		Désignation :
Ensemble :	Matière :	Réf. programme: %
Pièce:	Brut:	Machine :



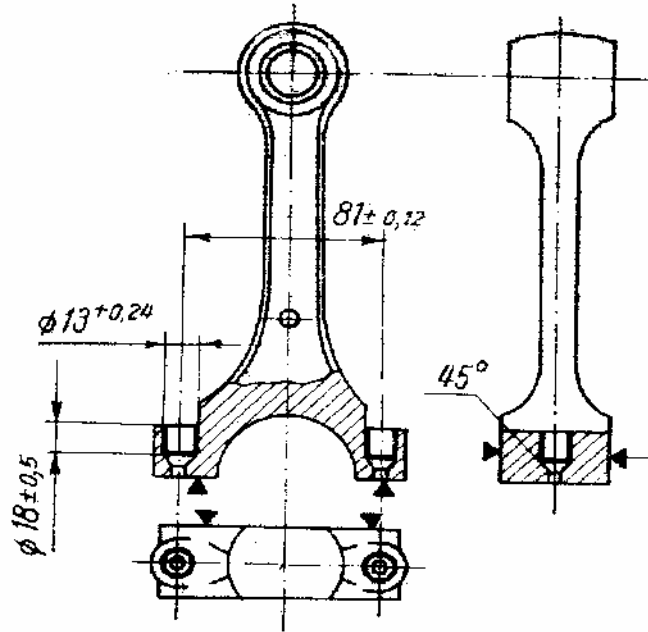
	Désignation des sous phases, sous phases et opérations .Pour chaque phase, sous phase préciser: départ, appuis, serrage	M.O. / outillages	Outils de mesurage
1.	Fraisage	- Fraiseuse - Fraise à carbures amovible	- pied à coulisse - calibre

FEUILLE D' ANALYSE DE FABRICATION			
Réalisé par :			Désignation :
Ensemble :	Matière :		Réf. programme: %
Pièce:	Brut:		Machine :
			
	Désignation des sous phases, sous phases et opérations .Pour chaque phase, sous phase préciser: départ, appuis, serrage	M.O./ outillages	Outils de mesurage
1.	Ajustage	- Etabli d'atelier - Limes	

FEUILLE D' ANALYSE DE FABRICATION			
Réalisé par :			Désignation :
Ensemble :	Matière :		Réf. programme: %
Pièce:	Brut:		Machine :
	Désignation des sous phases, sous phases et opérations. Pour chaque phase, sous phase préciser: départ, appuis, serrage	M.O./ outillages	Outils de mesurage
1.	Perçage	- Perceuse - Foret spécial	- calibre

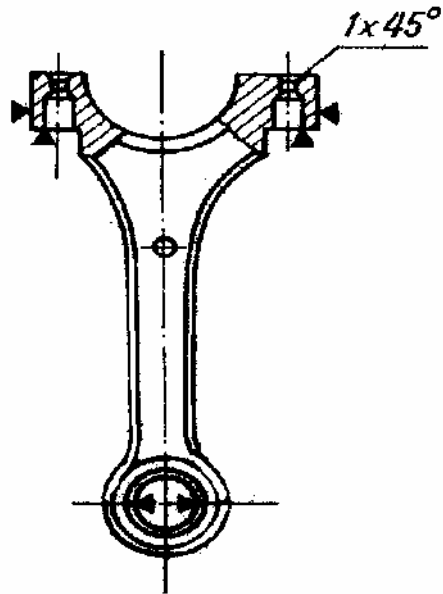


FEUILLE D' ANALYSE DE FABRICATION		
Réalisé par :		Désignation :
Ensemble :	Matière :	Réf. programme: %
Pièce:	Brut:	Machine :



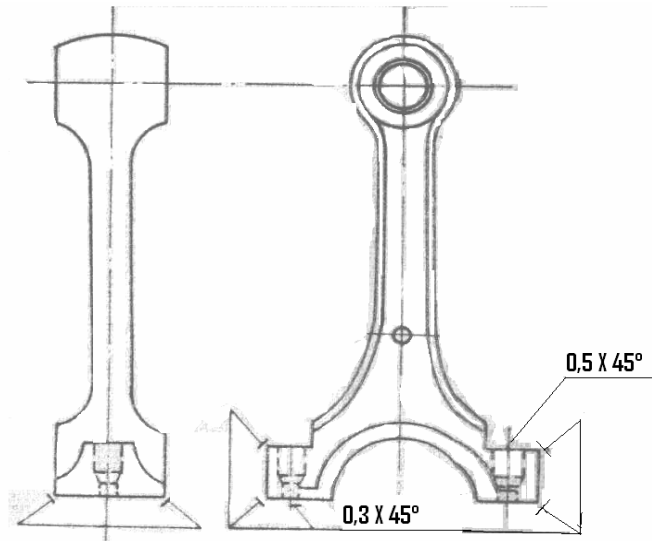
	Désignation des sous phases, sous phases et opérations .Pour chaque phase, sous phase préciser: départ, appuis, serrage	M.O./ outillages	Outils de mesurage
1.	Perçage	- Perceuse - Foret spécial	- calibre

FEUILLE D' ANALYSE DE FABRICATION		
Réalisé par :		Désignation :
Ensemble :	Matière :	Réf. programme: %
Pièce:	Brut:	Machine :

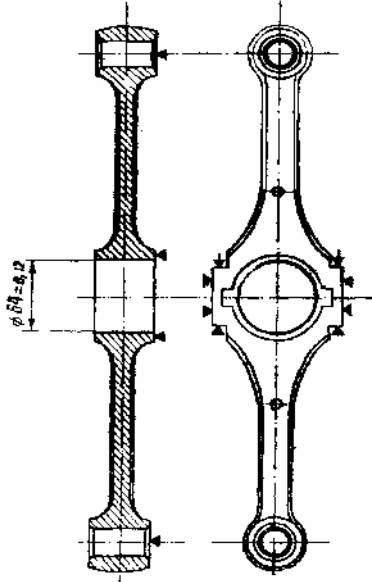


	Désignation des sous phases, sous phases et opérations .Pour chaque phase, sous phase préciser: départ, appuis, serrage	M.O./ outillages	Outils de mesurage
1.	Chanfrein	-Perceuse à colonne -Fraise à chanfreiner à cône Morse	

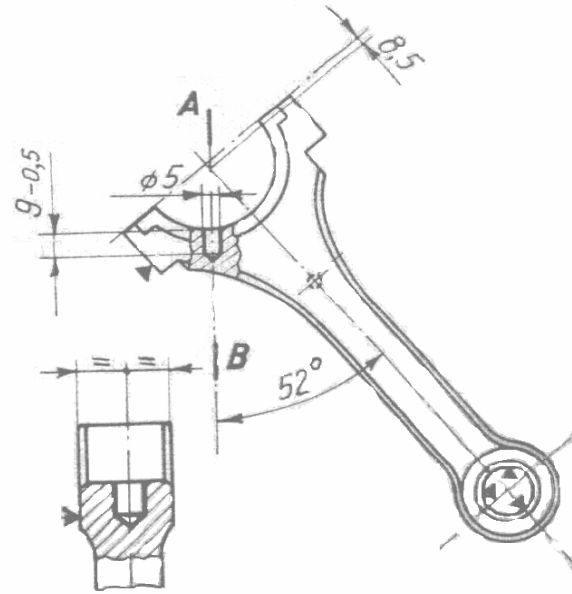
FEUILLE D' ANALYSE DE FABRICATION		
Réalisé par :		Désignation :
Ensemble :	Matière :	Réf. programme: %
Pièce:	Brut:	Machine :



	Désignation des sous phases, sous phases et opérations .Pour chaque phase, sous phase préciser : départ, appuis, serrage	M.O./ outillages	Outils de mesurage
1.	Ajustage	- Etabli d'atelier - Limes	

FEUILLE D' ANALYSE DE FABRICATION			
Réalisé par :			Désignation :
Ensemble :	Matière :		Réf. programme: %
Pièce:	Brut:		Machine :
			
	Désignation des sous phases, sous phases et opérations .Pour chaque phase, sous phase préciser : départ, appuis, serrage	M.O./ outillages	Outils de mesurage
1.	Alésage	-Tour // (ou perceuse à colonne) - Outil à aléser	- pied à coulisse

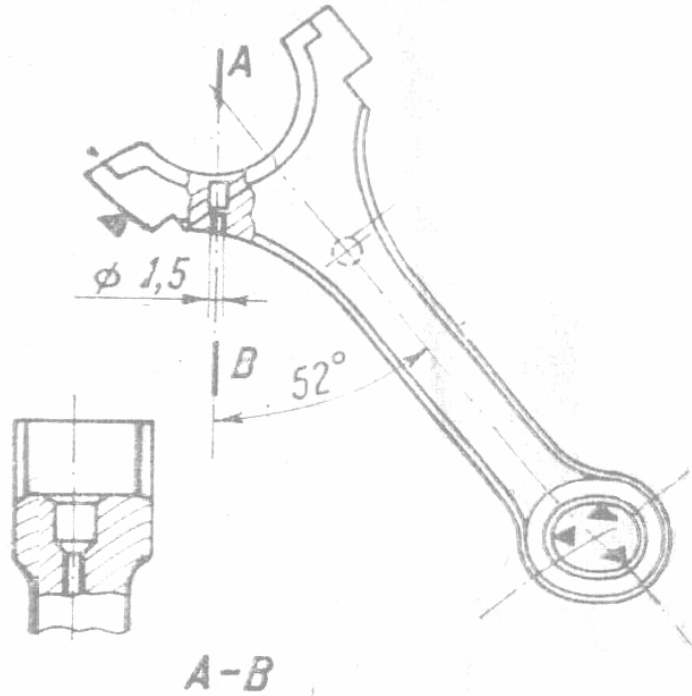
FEUILLE D' ANALYSE DE FABRICATION		
Réalisé par :		Désignation :
Ensemble :	Matière :	Réf. programme: %
Pièce:	Brut:	Machine :



A-B

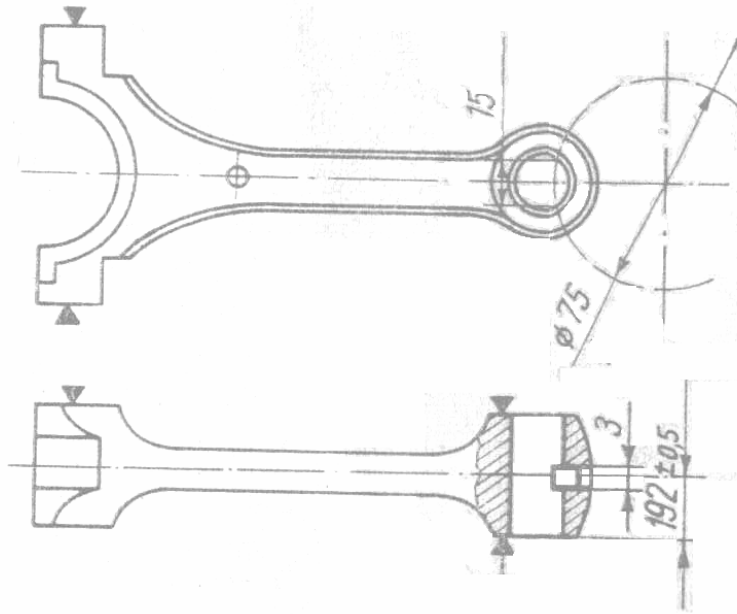
	Désignation des sous phases, sous phases et opérations .Pour chaque phase, sous phase préciser: départ, appuis, serrage	M.O./ outillages	Outils de mesurage
1.	Perçage	- Perçage verticale - Foret spéciale	- calibre

FEUILLE D' ANALYSE DE FABRICATION		
Réalisé par :		Désignation :
Ensemble :	Matière :	Réf. programme: %
Pièce:	Brut:	Machine :



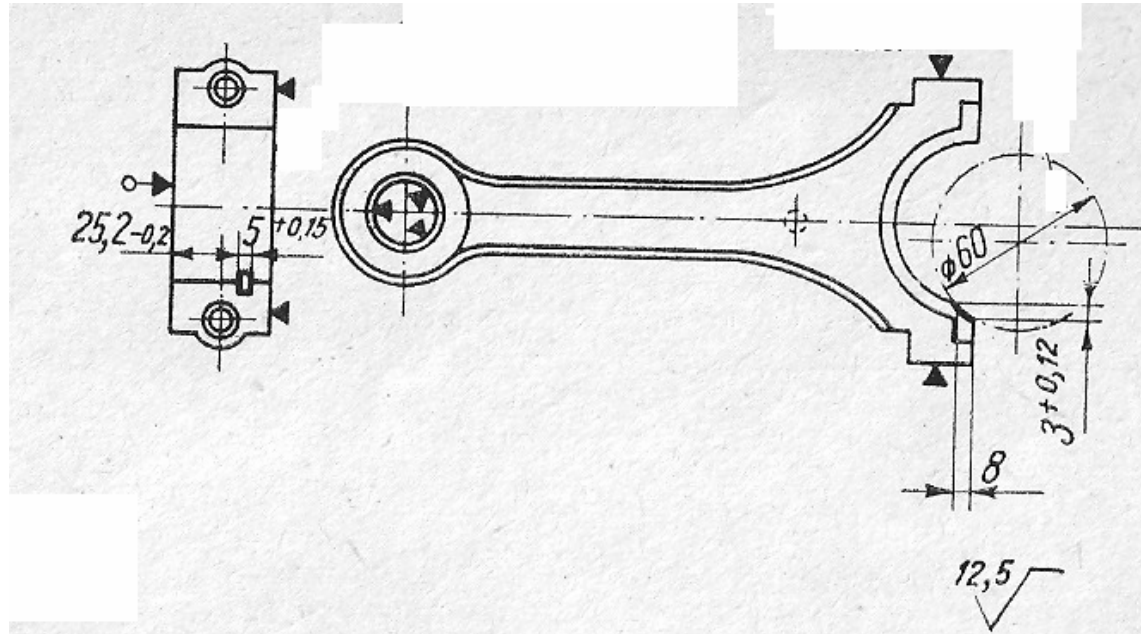
	Désignation des sous phases, sous phases et opérations. Pour chaque phase, sous phase préciser: départ, appuis, serrage	M.O./ outillages	Outils de mesurage
1.	Perçage	-Perçage verticale -Foret spéciale	- calibre

FEUILLE D' ANALYSE DE FABRICATION		
Réalisé par :		Désignation :
Ensemble :	Matière :	Réf. programme: %
Pièce:	Brut:	Machine :



	Désignation des sous phases, sous phases et opérations .Pour chaque phase, sous phase préciser: départ, appuis, serrage	M.O./ outillages	Outils de mesurage
1.	Fraisage	- Fraiseuse horizontale - Fraise disque	- calibre

FEUILLE D' ANALYSE DE FABRICATION		
Réalisé par :		Désignation :
Ensemble :	Matière :	Réf. programme: %
Pièce:	Brut:	Machine :



	Désignation des sous phases, sous phases et opérations. Pour chaque phase, sous phase préciser: départ, appuis, serrage	M.O./ outillages	Outils de mesurage
1.	Fraisage	- Fraiseuse horizontale - Fraise disque	- calibre
2.	Ajustage		
3.	Contrôle finale		



**b) Analyse du fonctionnement de la pièce**  
**Paliers lisses, hydrodynamiques**  
**Paliers lisses - coussinets**

Normalement il n'y a jamais contact métal sur métal entre l'arbre et le coussinet, sauf au démarrage. En permanence un film d'huile sépare les deux surfaces respectives (régime hydrodynamique). Grâce à ce système les paliers peuvent tourner plus vite et plus longtemps.

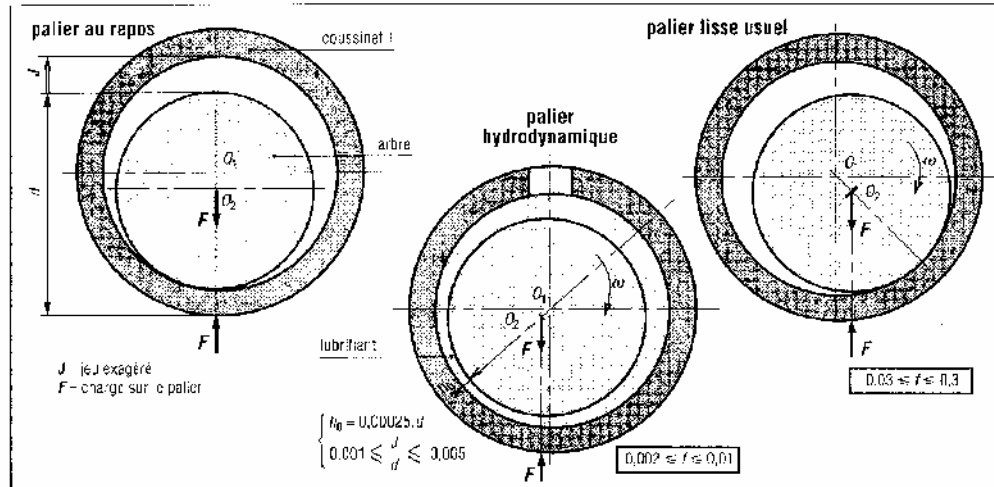


Fig. 1. Fonctionnement d'un palier

Principe de fonctionnement: il utilise le principe de la lubrification hydrodynamique. La portance de l'arbre, n'est possible qu'à partir d'une certaine vitesse. La formation du film séparateur dépend principalement de la vitesse, de la viscosité du lubrifiant et de la pression de l'huile au contact.

**Remarque :** l'alimentation en huile doit être suffisante pour compenser les fuites latérales

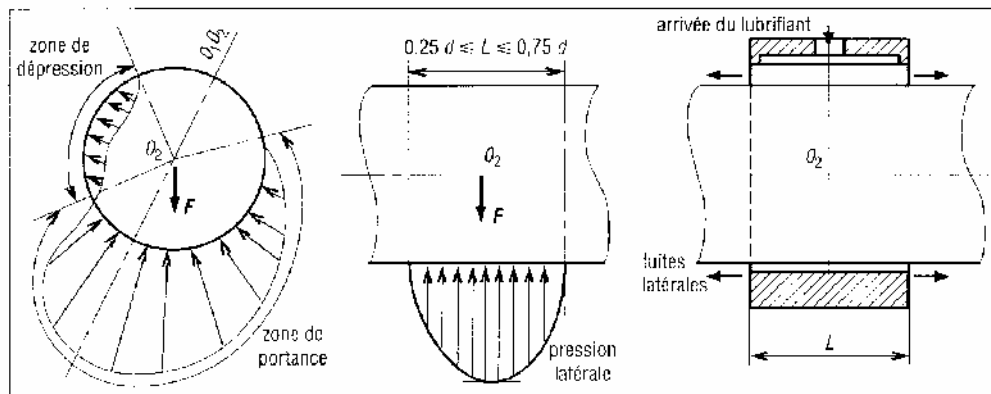


Fig. 2. Forces de pression sur l'arbre

L'épaisseur la plus faible ( $h$  du film séparateur varie entre 0,008 mm et 0,020 mm ( $d < 100$  mm)). C'est dans la zone de portance que l'arbre est soutenu. La résultante des forces de pression sur toute la périphérie est égale et opposée à la charge  $F$  sur le palier.

Les alimentations (canal d'arrivée, rainure de graissage, bassin relais) sont généralement placées dans la zone où il y a dépression.

**Utilisations :** paliers des moteurs thermiques (bielles, vilebrequin, etc.), des turbines...

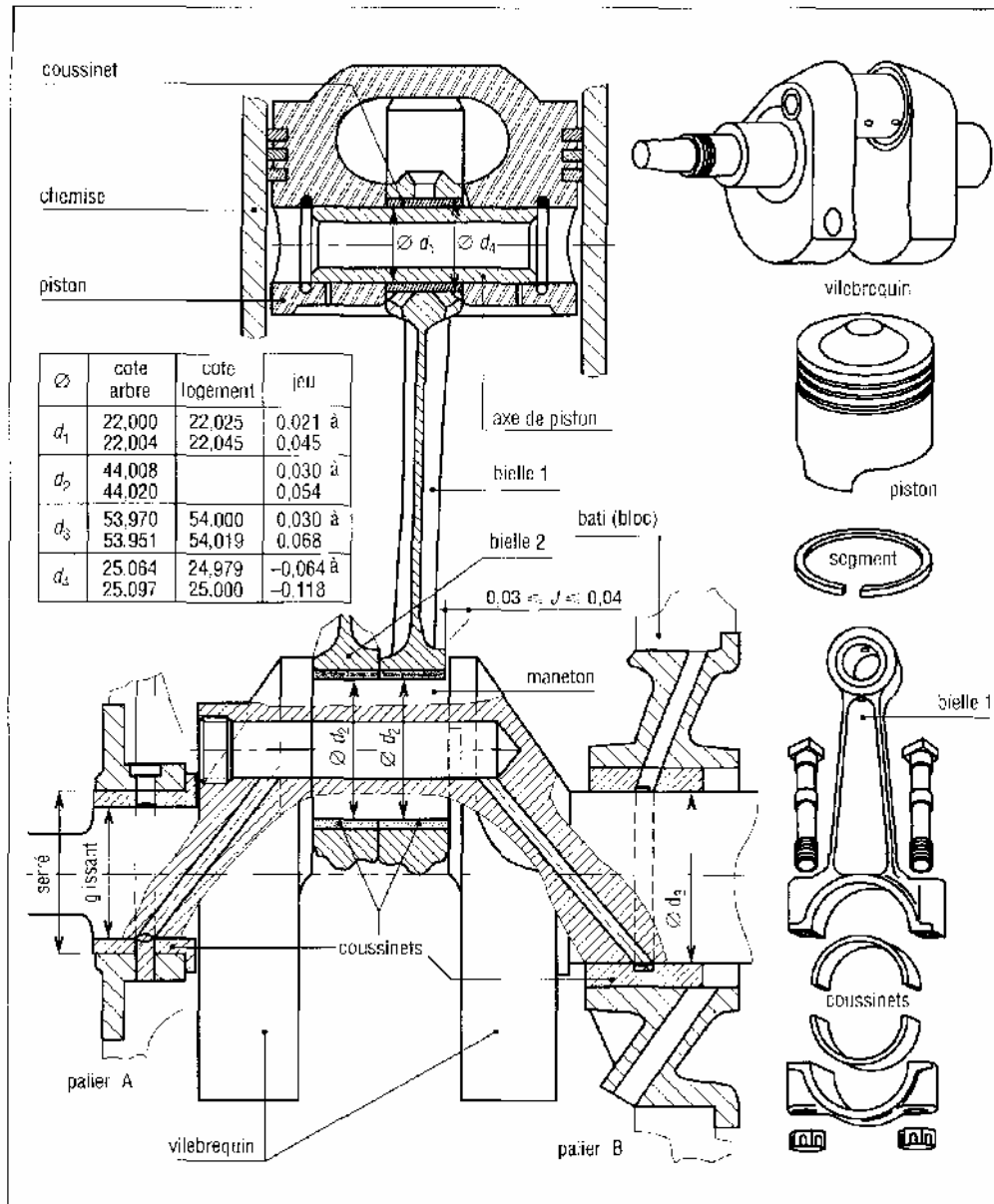


Fig. 3. Les parties composantes de l'ensemble de fonctionnement de la bielle

Comparaison entre paliers à roulement et paliers hydrodynamiques	
avantages des roulements	avantages du palier hydrodynamique
– préférable si le couple de démarrage est élevé	moins encombrant radialement
– lubrification plus facile à réaliser	– coût initial moins élevé
– moins encombrants axialement	moins sensible aux poussières et aux corps étrangers
– peuvent supporter des charges combinées	– une durée de vie non limitée par le phénomène de fatigue
– facilement interchangeables (normes ISO)	– supportent mieux les chocs et les vibrations
– une avarie est signalée par un bruit croissant du palier	
– permettent un centrage précis des arbres	
– supportent mieux les surcharges momentanées	

### c) Analyse du montage

Le montage du mécanisme « bielle–manivelle » commence par le montage de la bielle sur l'arbre et continue par le montage de l'arbre sur les paliers et réglage des jeux.

#### Assemblage des bielles :

L'assemblage des bielles commence par la vérification de toutes les paramètres dimensionnelles et géométriques de la pièce. La plus importante opération de contrôle est la vérification du parallélisme des axes des alésages de la bielle.

La vérification du parallélisme des axes des alésages de la bielle est réalisée par l'intermédiaire d'un montage de contrôle (voir Fig. 4)

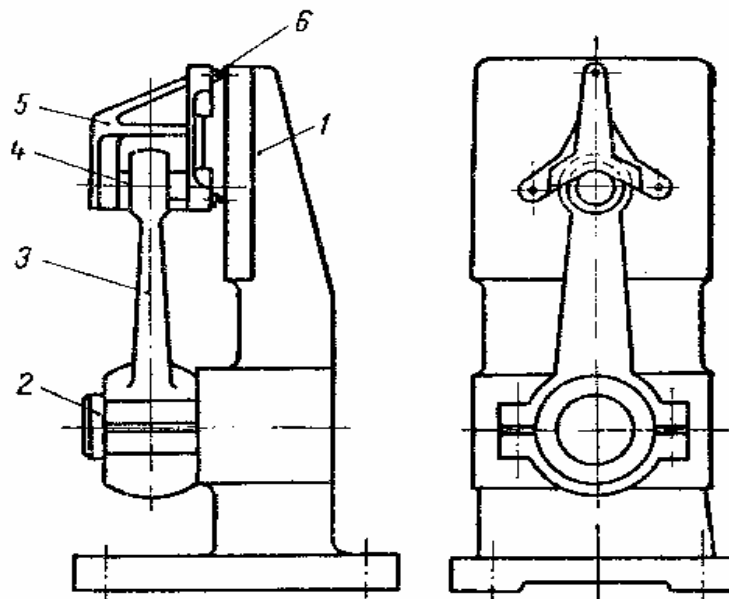


Fig. 4. Montage de contrôle du parallélisme des axes des alésages de la bielle

La bielle 3 est montée avec le grande diamètre sur une centreur expansible 2. Le petit alésage est introduit dans l'axe étalon 4. Sur l'axe étalon est fixée la prisme 5, prévue avec trois goupilles 6. Par l'intermédiaire des trois goupilles, la prisme est fixé de la plaque 1 du montage de contrôle. Si les axes de la bielle ne sont pas parallèles un des trois goupilles n'entre pas dans la plaque 1. Le jeu entre la goupille et la plaque 1 doit être compris entre 0,03 à 0,05 mm.

La fixation du couvercle de la bielle sur le corps de la bielle doit être sans jeu. Pour satisfaire cette condition, les couvercles sont assemblés sur les corps des bielles par frappement avec une massette sur les boulons encastrés (ajustement avec serrage entre les boulons et corps bielle) dans le corps de la bielle.

**d) Conclusions :**

- on commence par la réparation de la bielle par soudage en vérifiant après toutes les conditions dimensionnelles et géométriques de la pièce.
- si les conditions dimensionnelles et géométriques de la pièce ne sont pas remplies, il faut fabriquer une pièce nouvelle en respectant la gamme d'usinage.