



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 8 MAI 1945 - GUELMA
FACULTE DES SCIENCES & DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

APPAREIL DIVISEUR

METHODES ET APPLICATIONS



REALISE PAR : Pr DJAMAA Mohamed Cherif
Pr YALESE Mohamed Athmane

Proposé en 2000

Sommaire

Avant propos	03
1. Généralités	04
2. Méthodes de division	04
2.1. Division directe	04
2.2. Division simple	05
2.3. Division différentielle	06
2.4. Division angulaire	07
2.5. Division linéaire	08
3. Travaux effectués sur le diviseur universel	08
3.1. Fraisage d'une tête hexagonale - méthode directe	08
3.2. Fraisage des encoches - méthode simple	09
3.3. Perçage d'un cercle de trous - méthode simple	09
3.4. Taillage d'une roue à denture droite - méthode différentielle	09
3.5. Fraisage des crabots	10
3.6. Taillage des crémaillères	11
3.7. Fraisage d'une rainure hélicoïdale	12
3.8. Taillage d'une roue à denture hélicoïdale	13
3.9. Fraisage d'une vis sans fin	14
3.10. Fraisage des spirales	15
Références bibliographiques	16
Figures 1, 2 & 3	17
Figures 4, 5 & 6	18
Figures 7, 8 & 9	19
Figure 10	20
Figure 11	21
Figure 12	22
Figures 13 & 14	23

AVANT PROPOS

Ce document a servi, infiniment, les étudiants Ingénieurs en 3^{ème} et en 5^{ème} Années (Module de Fabrication Mécanique) et les Techniciens Supérieurs (Ateliers). Il servira, certainement, tous les étudiants de la filière Génie Mécanique car il présente, d'une manière simple et pédagogique, les différentes méthodes de division et plusieurs applications sur le diviseur. Cet appareil simple joue un très grand rôle dans l'atelier de fraisage dans des unités de production mécanique pour des travaux de maintenance des équipements et des machines, en particulier le taillage des roues dentées et des crémaillères, le perçage de précision des trous à disposition linéaire et angulaire, le taillage hélicoïdal, etc.

Nous souhaitons que l'ensemble des étudiants tire profit de ce document que nous l'avons jugé nécessaire pour combler le vide en absence des livres et manuels de fabrication traitant, particulièrement, l'étude de ces travaux.

Document actualisé par :
Pr DJAMAA Mohamed Cherif (2020)

1. Généralités :

L'appareil diviseur est un accessoire particulièrement intéressant qui permet d'étendre sensiblement les possibilités technologiques des fraiseuses. Il sert à indexer des rotations avec une très grande précision et de diviser une pièce en parties égales dans le fraisage, le perçage, la rectification des pièces telles que les engrenages, les crémaillères, les arbres cannelés, les pièces carrées, hexagonales etc. Il peut également servir à faire tourner la pièce à une vitesse prédéterminée par rapport à l'avance de la table pour l'usinage des cames, des goujures hélicoïdales, des pignons hélicoïdaux, etc.

La précision des divisions nécessite certaines précautions :

- Bridage ou immobilisation certaine de la pièce.
- Rigidité du système pièce et porte-pièce pendant la durée de chaque opération élémentaire d'usinage.

2. Méthodes de division :

Il existe cinq méthodes de division : directe, simple, différentielle, angulaire et linéaire.

2.1. Division directe :

De nombreux travaux de fraisage sont plus productifs et plus économiques lorsqu'on emploie la méthode de division directe. Il s'agit en fait d'une méthode simple et rapide pour le fraisage des goujures, des hexagones, des carrés... etc.

Principe de la méthode :

L'appareil diviseur simple (Fig. 1) est constitué par un plateau (D), dont le pourtour est cranté par une série d'encoches équidistantes. Ce plateau à encoches est solidaire d'un mandrin (M) dans lequel est fixée la pièce à usiner. En engageant le doigt (O) poussé par un ressort du verrou dans l'une des encoches du plateau, le mandrin est immobilisé dans la position désirée. Par la vis (B), on bloque la broche de l'appareil et par conséquent l'ensemble plateau, mandrin et pièce. On répète les opérations décrites en engageant le doigt dans une autre encoche prédéterminée suivant la division à réaliser.

Pour permettre le plus grand nombre de divisions possible, chaque appareil est muni d'une série de disques comportant un nombre d'encoches différent.

Le nombre d'intervalles à sauter pour chaque division sera :

$$n = N/Z \quad (1)$$

Où **N** est le nombre d'encoches du plateau et **Z** le nombre de divisions à réaliser.

Les divisions courantes sont indiquées sur ci dessous.

Séries d'encoches	Divisions réalisables par la méthode directe
24	2 - 3 - 4 - 6 - 8 - 12 - 24
30	2 - 3 - 5 - 6 - 10 - 15 - 30
36	2 - 3 - 4 - 6 - 9 - 12 - 18 - 36

Exemple :

En quoi consistera la division directe pour tailler huit goujures d'alésoir ?

Comme le plateau à 24 encoches est le seul qui est disponible, alors :
Le nombre de divisions = $24/8 = 3$ encoches par division.

2.2. Division simple :

Dans la division simple (Fig. 2), la manivelle du diviseur sert à faire tourner la pièce. Alors que la vis sans fin, solidaire avec l'arbre de la manivelle, doit être engrenée avec le pignon solidaire avec la broche du diviseur. Comme le pignon comporte ($Z_0=40$ ou 60 dents) et la vis sans fin comporte un seul filet ($K=1$), alors le rapport de transmission sera égale :

$$i = K/Z_0 = 1/40 \text{ ou } 1/60 \quad (2)$$

$N=Z_0/K = 40 \text{ ou } 60$ C'est la caractéristique technique du diviseur.

Pour diviser une pièce en (Z) parties égales, la broche doit alors tourner de $1/Z$ de tour. Par conséquent, l'équation de la chaîne cinématique du mouvement de la broche sera :

$$n = N/Z = 40/Z \quad (3)$$

Où n est le nombre de tours de la manivelle et Z le nombre de divisions sur la pièce.

Il existe trois cas de réglage du diviseur.

□ Z est plus petit que N et le divise directement :

Les divisions à exécuter, dont le nombre est divisible par 40 exactement, ne demandent qu'un certain nombre entier de tours de la manivelle. Le verrou peut être rangé sur n'importe quel cercle de trous du plateau.

Exemple :

Pour 8 divisions : $n = N/Z = 40/8 = 5$ tours

Pour 20 divisions : $n = N/Z = 40/20 = 2$ tours

□ Z est plus petit que N mais ne le divise pas :

La manœuvre de la manivelle comprend un nombre entier de tours plus une fraction.

Exemple : Soit à réaliser une division sur 9.

$$n = N/Z = 40/9 = 4 + 4/9 = 4 + 12/27$$

Cherchez un cercle de trous dont le nombre soit multiple de 9, exemple 27 trous, puis tournez la manivelle de 4 tours plus 12 intervalles sur le cercle de 27.

Pour éviter de compter chaque fois le nombre de trous à sauter pour une division, le diviseur est équipé de deux bras appelés alidades (Fig. 3). On donne une ouverture des deux bras de 12 intervalles sur la circonférence de 27 trous et on amène le bras postérieur (P) en contact avec le pointeau. On fait ensuite effectuer 4 tours de la manivelle et la fraction de tour complémentaire pour que le pointeau vient en contact avec le bras antérieur (A). Pour réaliser une nouvelle division, on répète les mêmes opérations.

□ Z est plus grand que N :

Ici, la rotation de la manivelle est inférieure à 1 tour (n est une fraction).

Exemple : Soit à effectuer 100 divisions.

$$n = N/Z = 40/100 = 2/5$$

La fraction doit être réduite à sa plus simple forme et on cherche le cercle avec le nombre de trous multiple de 5, exemple 25 trous. Dans ce cas :

$$n = 2/5 \cdot 5/5 = 10/25$$

Maintenant, il faut tourner la manivelle de 10 intervalles sur le cercle ayant 25 trous.

2.3. Division différentielle :

Lorsque tout calcul du mouvement recherché devient impossible par la méthode simple, en d'autres termes lorsque la fraction (N/Z) ne peut être réduite au facteur de l'une des séries de cercles disponibles, il faut faire appel à la méthode différentielle.

En vertu de cette méthode, il faut faire pivoter le plateau diviseur, soit en régression, soit en rétrogression sur une partie de tour pour obtenir la division ou le mouvement recherché.

Fonctionnement d'un diviseur différentiel :

Le mécanisme (Fig. 4) qui relie la broche (9) au plateau diviseur (1) se compose d'un ensemble de roues interchangeables Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 et du couple de liaison, formé par deux roues dentées coniques (5). En débloquent le plateau diviseur et en tournant la manivelle (2), solidaire de la vis sans fin (8), on obtient comme pour la division simple la rotation de la roue dentée (10) fixée sur la broche. En même temps, grâce au système d'engrenages formé par les roues Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 , le plateau du diviseur tourne également d'une valeur déterminée.

Procédure :

Avant d'employer l'appareil différentiel, il est nécessaire de calculer le rapport de transmission des roues interchangeables et de les faire monter sur la tête de cheval. Ensuite, on procède, exactement, comme dans la division simple.

- Choisir une division Z' , voisine de la division à effectuer Z et qui puisse être obtenue par la méthode simple.
- Calculer le nombre de tours de la manivelle d'après la formule suivante :

$$n = N / Z' = 40 / Z' \tag{4}$$

L'erreur réalisée sur chaque division effectuée serait :

$$N / Z - N / Z' \quad (\text{si } Z' > Z) \quad \text{et} \quad N / Z' - N / Z \quad (\text{si } Z' < Z)$$

Supposons que l'on ait choisi $Z' > Z$. Alors, l'erreur totale pour un tour complet de la pièce sera :

$$(N / Z - N / Z') \cdot Z = (Z' N - Z N) \cdot Z / Z Z' = (Z' N - Z N) / Z' = N(Z' - Z) / Z'$$

Donc, quand la pièce fait un tour, le plateau doit tourner de : $N(Z' - Z) / Z'$

- La rotation obtenue grâce aux roues Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 , qui doivent être calculées est :

$$Z_1/Z_2 \cdot Z_3/Z_4 = N(Z' - Z) / Z' \tag{5}$$

Puisque le nombre Z' est choisi arbitrairement, il peut être supérieur ou inférieur à Z . Lorsque la différence $(Z' - Z)$ est positive, le plateau diviseur doit tourner dans le même sens que la manivelle. On peut obtenir l'inversion de la rotation du plateau en plaçant, entre les roues Z_1 et Z_2 ou entre Z_3 et Z_4 , une roue intermédiaire de façon à ne pas modifier le rapport de transmission.

Exemple :

On doit réaliser une division de 127 parties sur un diviseur de $N = 40$.

- Prenons $Z' = 128$.
 - Calculons le nombre de tours de la manivelle : $n = N / Z' = 40/128 = 5/16$
 - Calculons les roues interchangeables : $Z_1/Z_2.Z_3/Z_4 = 40(128-127)/128 = 5/8.1/2$
 $Z_1 = 5.8 = 40, Z_2 = 8.8 = 64, Z_3 = 1.24 = 24, Z_4 = 2.24 = 48$
- Lorsque $Z' > Z$, le plateau et la manivelle doivent tourner dans le même sens.

Exemple :

Soit à exécuter 127 divisions, $N = 40$.

- Prenons $Z' = 120$.
- Calculons le nombre de tours de la manivelle : $n = N / Z' = 40 / 120 = 1 / 3 = 7 / 21$
- Calculons les roues interchangeables : $Z_1/Z_2.Z_3/Z_4 = 40(120-127)/120 = -7/3$
 $Z_1 = 7.8 = 56$ et $Z_2 = 3.8 = 24$. Avec une roue intermédiaire.

Lorsque $Z' < Z$, le plateau et la manivelle doivent tourner dans le sens inverse.

2.4. Division angulaire :

Lorsque l'angle de division (α) est connu, on peut faire appel à la division simple ou différentielle, mais la méthode de calcul du nombre de tours de la manivelle variera.

Pour un diviseur de caractéristique ($N=40$), un tour de la manivelle correspond à $360^\circ/40 = 9^\circ = 540'$.

Lorsque l'angle est indiqué en ($^\circ$), le mouvement de la manivelle est calculé comme suit :

$$n = \alpha(^\circ) / 9^\circ \quad (6)$$

Exemple :

Calculer le nombre de tours de la manivelle pour percer trois trous (Fig. 5).

$$n_1 = \alpha / 9^\circ = 45^\circ / 9^\circ = 5 \text{ tours de la manivelle}$$

$$n_2 = \beta / 9^\circ = 60^\circ / 9^\circ = 6 + 6/9 = 6 + 12/18 \text{ (6 tours + 12 intervalles sur le cercle de 18)}$$

Si l'angle est indiqué en ($^\circ$) et en ($'$), il faut convertir l'angle en minutes. Alors :

$$n = \alpha \text{ en } (') / 540' \quad (7)$$

Exemple :

Soit à exécuter un angle de $24^\circ 30'$

$$n = 24^\circ 30' / 9^\circ = 1470' / 540' = 2 + 13 / 18 \text{ (2 tours + 12 intervalles sur le cercle de 18)}$$

Dans le cas où le cercle à trous calculé ne figurerait pas parmi les cercles du plateau monté sur le diviseur, on procède à la méthode différentielle de la manière suivante :

- On choisira un angle (α') proche de (α) et qu'il soit réalisable par la méthode simple.
- On calcule le nombre de tours de la manivelle.
- On cherche les roues interchangeables.

Exemple :

Soit à percer deux trous séparés par un angle de $59^\circ 44'$.

On vérifie si cet angle est réalisable par la méthode simple.

$$n = (59^\circ. 60 + 44')/540 = 3584/540 = 6 + 86/135.$$

Le cercle 135 n'existe pas sur le plateau. Donc, on prend $\alpha' = 60^\circ$.

$$n = 60^\circ/9^\circ = 6 + 18/24 \text{ (6 tours + 18 intervalles sur le cercle de 24)}$$

$$Z_1/Z_2.Z_3/Z_4 = 40(60-59) / 60 = 40/60 = 2/3 = 18/36.36/24$$

2.5 Division linéaire :

Une division linéaire a pour principe de partager une longueur en parties égales ou inégales. Ceci est rendu possible en faisant tourner la manivelle du diviseur pour animer la broche d'un mouvement de rotation. Cette dernière est reliée à la vis de la table par l'intermédiaire des roues interchangeables. La rotation de la vis entraîne le déplacement de la table de la valeur désirée (**P**). La formule de calcul de la division est la suivante :

$$i = N.P/P_v.n \quad (8)$$

Cette formule comporte deux inconnues : le rapport des roues changeables (**i**) et le nombre de tours de la manivelle (**n**). Dans ce cas, soit on impose le rapport (**i**) à travers une combinaison des roues changeables et on calcule le nombre de tours de la manivelle ou inversement.

Exemple :

Soit le perçage de 3 trous sur le même axe, le premier distant du second de 50 mm et le second du troisième de 30 mm (Fig. 6).

Si on tourne la manivelle de $n_1 = 100$ tours, le rapport de transmission pour se déplacer d'un pas $P_1 = 50$ mm est :

$$i = N.P_1/P_v.n_1 = 40.50/5.100 = 4 = 48/24.64/32$$

En utilisant les mêmes roues dentées, le nombre de tours de la manivelle n_2 pour se déplacer d'un pas $P_2 = 30$ mm est :

$$n_2 = N.P_2/P_v.i = 40.30/5.4 = 60 \text{ tours.}$$

3. Travaux effectués sur le diviseur universel :

Les appareils diviseurs conviennent aux travaux de fraisage, de perçage, de taillage des engrenages, de rectification, etc.

Le diviseur existant à l'atelier de fraisage est de rapport 1/40, son plateau à trous est réversible. Sur chaque face, on trouve les cercles suivants :

Face 1 : 13,16,18,20,23,27,31,37,41,47

Face 2 : 15,17,19,21,24,29,33,39,43,49

3.1 Fraisage d'une tête hexagonale : (par la méthode directe)

Soit à réaliser une tête hexagonale d'une vis, dont la distance entre deux surfaces parallèles $A=50$ mm.

Marche à suivre :

- Choisir le diamètre du cylindre sur lequel l'usinage doit être réalisé.

$$D \geq A/\cos(30) = 50/0,86 = 57,73 \text{ mm, On prend } D = 60\text{mm}$$

- Calculer le nombre d'encoches à sauter n :

$$n = N/Z = 24/6 = 4 \text{ encoches.}$$

- Monter la pièce dans le mandrin du diviseur et commencer l'usinage sur la fraiseuse.

Note : De préférence, prenez plusieurs passes successives d'ébauchage jusqu'à l'approche de la valeur de la côte (A), ensuite réglez la profondeur pour une passe de finition en pivotant la pièce de 1/6 de tour pour assurer la régularité des cotes.

3.2 Fraisage des encoches : (par la méthode simple)

On veut fraiser 21 encoches sur un arbre de diamètre $d=48$ mm. La fraise doit avoir un diamètre égale à la largeur de l'encoche $B=6$ mm.

Le calcul nous donne :

$$n = N/Z = 40/21 = 1 + 19/21$$

3.3 Perçage d'un cercle de trous : (par la méthode simple)

Soit le perçage de 39 trous sur une même circonférence de rayon $R=50$ mm. Le perçage peut être réalisé sur la perceuse, sur la pointeuse ou sur la fraiseuse.

Marche à suivre :

- Monter la pièce dans le mandrin du diviseur.
- Au début, il faut mettre la broche du diviseur en position verticale et s'assurer de la coïncidence de l'axe de forêt avec celui du cercle.
- Déplacer la table de la machine de la valeur du rayon R et percer le premier trou.
- Pour percer le second, il faut un pivotement de la pièce correspondant à :

$$n = 40/39 = 1 + 1/39$$

3.4 Taillage d'une roue à denture droite : (par la méthode différentielle)

Comme il a été déjà expliqué, la division par cette méthode nous oblige avant tout de débloquer le plateau à trous. Un équipement de montage des roues dentées est fournit avec le diviseur.

Le jeu des roues interchangeables parmi lesquelles Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 doivent être choisies se compose de : **24, 24, 28, 32, 40, 44, 48, 56, 64, 72, 86, 92, 100.**

Exemple :

Soit à tailler une roue dentée à denture droite, dont le nombre de dents est 22 et le module $m= 2$. Déterminer le nombre de tours de manivelle et les roues interchangeables.

La préparation du travail comporte :

- Le choix de la fraise module :

Jusqu'au module 10, le jeu est composé de 8 fraises par module, où chaque fraise est destinée à l'usinage d'un nombre de dents déterminé.

Le tableau ci dessous, permettra le choix facile de la fraise.

N° de la fraise	1	2	3	4	5	6	7	8
Nombre de dents à tailler Z	12 et 13	14 à 16	17 à 20	21 à 25	26 à 34	35 à 54	55 à 134	135 et plus

La fraise correspondante à 22 dents est celle qui porte le N°4.

- La détermination des caractéristiques de la roue dentée : (Fig. 7)
Le diamètre extérieur : $D_e = D_p + 2m = m(Z + 2) = 2(22+2) = 48 \text{ mm}$
La hauteur de la dent : $H = 2,25 m = 2,25 \cdot 2 = 4,5 \text{ mm}$
- Le calcul du nombre de tours de la manivelle : $n = N/Z = 40/22 = 1 + 18/22 = 1 + 9/11$
Parmi les cercles de la face 1 du plateau, nous ne trouvons pas les multiples de 11.
Alors, on choisira un nombre de dents fictif $Z' = 24$ dents.
$$n = N/Z' = 40/24 = 1 + 16/24 = 1 + 12/18$$
- Le calcul des roues interchangeables :
$$Z_1/Z_2 \cdot Z_3/Z_4 = N(1 - Z/Z') = 40(1 - 22/24) = 40/24 \cdot 64/32$$

Marche à suivre :

- Monter la pièce dans le mandrin du diviseur.
- Monter les roues en introduisant une roue parasite Z_0 entre Z_1 et Z_2 ou entre Z_3 et Z_4 .
La roue Z_1 doit être montée sur la broche du diviseur. La manivelle et le plateau doivent tourner dans le même sens.
- Fixer la fraise N°4 sur la broche horizontale de la fraiseuse universelle.
- Situer la fraise par rapport à la pièce. Cette opération est tout aussi importante que l'opération de division elle-même. Dans ces conditions, le plan de la fraise doit coïncider, parfaitement, avec l'axe vertical de l'ébauche (Fig. 8). En utilisant une équerre, la côte de réglage R est calculée comme suit :
$$R = 1/2 (D - e)$$

Où D est le diamètre de l'ébauche et e l'épaisseur de la fraise module.
- On doit déplacer la pièce par rapport à la fraise de la valeur de la côte de réglage (R).

3.5 Fraisage des crabots : (par la méthode angulaire)

Le taillage des dents d'un demi-accouplement à crabots (Fig. 9) se fait avec une fraise à trois tailles ou une fraise en bout à dimensions adéquates. A cet effet l'axe de la broche du diviseur doit être placé verticalement.

En fonction des angles α et β (saillie et creux), le nombre de dents du crabot peut être pair ou impair. Lors du taillage d'un crabotage à nombre de dents impair, on peut en une passe usiner deux flancs de deux creux opposés et donc le nombre de pivotement est égal au nombre de dents.

Exemple : Le nombre de dents est impair (Fig. 9.a).

Soit à tailler un demi-accouplement à crabots ($\alpha=\beta= 36^\circ$) dont le diamètre extérieur $D=60 \text{ mm}$ et la hauteur de la dent $h=5 \text{ mm}$.

- On calcule le diamètre intérieur.
 $d \geq 0,57 D \Rightarrow d \geq 0,57 \cdot 60 = 34,2 \text{ mm}, (d = 35 \text{ mm}).$
- On calcule le nombre de dents.
 $Z = 360^\circ/(36^\circ+36^\circ) = 5 \text{ dents}.$
- On calcule le nombre de tours de la manivelle.
 $n = N(\alpha+\beta)/360^\circ = 40 \cdot 72^\circ/360^\circ = 8 \text{ tours}.$
- On calcule le diamètre maximal de la fraise (largeur).
 $D_f \leq \pi d/2Z = 3,14 \cdot 35/2 \cdot 5 = 11 \text{ mm}.$

Exemple : Le nombre de dents est pair (Fig. 9.b).

Soit à tailler un demi-accouplement à crabots ($\alpha=27^\circ$ et $\beta=33^\circ$) dont le diamètre extérieur $D = 80\text{mm}$ et la hauteur de la dent $h = 5 \text{ mm}$.

- On calcule le diamètre intérieur.
 $d \geq 0,57 D \Rightarrow d \geq 0,57 \cdot 80 = 45,6 \text{ mm}, (d = 50\text{mm}).$
- On calcule le nombre de dents.
 $Z = 360^\circ/(\alpha+\beta) = 6 \text{ dents}.$
- On calcule le nombre de tours de la manivelle pour tailler les flancs (1, 2, 3, 4, 5 et 6).
 $n = N(\alpha+\beta)/360^\circ = 40 \cdot 60^\circ/360^\circ = 6 + 12/18$
- On calcule le nombre de tours de la manivelle pour passer du flanc (1 à 1').
 $n = N(\alpha+\beta)/360^\circ = 40 \cdot 33^\circ/360^\circ = 12 + 12/18$
- On calcule le nombre de tours de la manivelle pour tailler les flancs (2', 3', 4', 5' et 6').
 $n = N(\alpha+\beta)/360^\circ = 40 \cdot 60^\circ/360^\circ = 6 + 12/18$
- On calcule le diamètre maximal de la fraise (largeur).
 $D_f \leq \pi d/2Z = 3,14 \cdot 50/2 \cdot (360^\circ/33^\circ) = 7.2 \text{ mm}.$

Marche à suivre :

- Régler la génératrice de la fraise par rapport à l'axe de la pièce et usiner le premier flanc d'une dent en 3 passes successives de 1.5 mm.
- Pivoter la pièce d'un angle équivalent à (α) pour tailler le premier flanc de la deuxième dent et ainsi de suite de la même façon que l'étape précédente.
- Déplacer la pièce de la valeur du diamètre de la fraise puis la pivoter de l'angle (β).
- Usiner le deuxième flanc de chaque dent et s'assurer que la profondeur est identique.

3.6 Taillage d'une crémaillère :

La crémaillère, de pair avec un pignon, sert à convertir un mouvement rotatif en un déplacement rectiligne. Elle peut être utilisée sur les tours, sur les perceuses et sur d'autres machines-outils. La crémaillère se compare à un pignon qui a été aplati de manière que toutes ses dents se situent dans un même plan.

Dans le cas de taillage d'une crémaillère longue et précise, il faut utiliser un diviseur universel. La pièce étant nécessairement fixée parallèlement à l'axe de la table et la fraise module doit opérer par chariotage transversal. Le déplacement longitudinal à réaliser par la table, après chaque passe, est égale à $P_c = \pi m$. Où P_c représente le pas de la crémaillère en (mm) et m son module.

Dans le cas de taillage d'une crémaillère à denture oblique, l'inclinaison de la denture (β) ne peut être obtenue que par orientation de la table de la fraiseuse. Dans ce cas, le déplacement longitudinal est égal au pas apparent calculé d'après la formule suivante :

$$P_t = \pi m_t = \pi m / \cos(\beta) \tag{9}$$

La (Fig. 10) schématise la mise en place du diviseur pour le fraisage d'une crémaillère à denture droite. La broche du diviseur est reliée à la vis de l'avance longitudinale par des roues interchangeables dont le rapport (i) est donné par la formule suivante :

$$i = NP_c/nP_v = N\pi m/nP_v$$
$$n = NP_c/iP_v = N\pi m/iP_v$$

Le rapport $i = Z_1/Z_2 \cdot Z_3/Z_4$ est déterminé par le montage des roues interchangeable dont la première roue (Z_1 menante) doit être montée, obligatoirement, sur la broche du diviseur, la dernière roue (Z_4 menée) doit être montée sur la vis de commande de l'avance longitudinale de la table.

Exemple :

Calculer le nombre de dents des roues interchangeable pour tailler une crémaillère de module $m=2$ sur une fraiseuse universelle dont le pas de la vis de la table $P_v = 5$ mm.

Prenons $i = 4$, alors :

$$i = Z_1/Z_2 \cdot Z_3/Z_4 = 4 = 2/1 \cdot 2/4 = 48/24 \cdot 64/32$$

$$n = 40 \cdot (22/7) \cdot 2 / 4 \cdot 5 = 88/7 = 12 + 4/7 = 12 + 12/21$$

Exemple :

Soit à tailler une crémaillère à denture droite de longueur égale à 100 mm et de module $m = 2$. Le pas de la vis de la table $P_v = 5$ mm.

Prenons $n = 20$ tours, alors :

$$i = Z_1/Z_2 \cdot Z_3/Z_4 = N \pi m / n P_v = 40 \cdot (22/7) \cdot 2 / 20 \cdot 5 = 44/28 \cdot 64/40$$

Exemple :

Soit à tailler une crémaillère à denture oblique avec $\beta=24^\circ$ et de module $m=2$. Dans ce cas, la crémaillère doit être inclinée de l'angle β par rapport à la direction de l'avance transversale de la table de la machine.

$$P_t = \pi m / \cos(\beta) = (22/7) \cdot 2 / \cos(24^\circ) = 44/5$$

$$\text{Si } n = 22 \text{ tours, } i = Z_1/Z_2 \cdot Z_3/Z_4 = N P_t / n P_v = 40 \cdot (44/5) / 22 \cdot 5 = 40/25 \cdot 44/22 = 64/40 \cdot 28/24$$

3.7 Fraisage d'une rainure hélicoïdale : (Fig. 11)

Le taillage d'une rainure hélicoïdale est une opération complexe mais elle peut être exécutée à l'aide d'un diviseur. Pour réaliser cette opération, la pièce doit être animée de deux mouvements simultanés.

- Le mouvement d'avance de la table de la fraiseuse.
- Le mouvement de rotation de la pièce : Ce mouvement est commandé à partir de l'extrémité de la vis de la table de la fraiseuse grâce au montage de roues interchangeable qui assurent une liaison cinématique entre la vis qui commande le mouvement longitudinal et l'extrémité de l'arbre du pignon conique du diviseur.

La table de la fraiseuse doit se trouver sous un angle égal à celui de l'hélice de la rainure hélicoïdale à réaliser. Pour le fraisage d'une rainure hélicoïdale, le réglage impose :

- Le calcul de l'angle de pivotement de la table (β°) d'après la formule suivante :

$$\text{tg}(\beta) = \pi d / P_h \tag{10}$$

Où d est le diamètre de l'ébauche (mm) et P_h est le pas de l'hélice hélicoïdale (mm).

- La détermination du nombre de dents des roues interchangeable : Pour faire tourner la pièce d'un tour pendant qu'elle se déplace de la valeur du pas, le calcul du rapport de transmission des roues se fait d'après la formule suivante :

$$i = Z_1/Z_2 \cdot Z_3/Z_4 = N P_v / P_h$$

Détermination du sens de pivotement de la table :

Pour déterminer l'orientation de l'hélice, il faut tenir le cylindre dans lequel est taillée cette hélice à l'horizontale, son axe pointant de droite à gauche. Si l'hélice a une pente descendante vers la gauche, la table de la fraiseuse doit être inclinée dans le sens des aiguilles d'une montre si l'on fait face à la machine. Si l'hélice a une pente descendante vers la droite la table de fraiseuse doit être pivotée dans le sens contraire.

Exemple :

Soit à tailler une hélice avec un pas de 500 mm sur une pièce de diamètre $d=40$ mm. Si le pas de la vis mère de la fraiseuse est de 5 mm et le diviseur a un rapport de 1/40, calculer l'angle d'orientation de la table et les roues requises pour obtenir le pas exigé.

- Angle d'hélice : $\text{tg}(\beta) = \pi d / P_h = (22/7) \cdot 40/500 = 0,2513274$ ($\beta=14^\circ$)
- Les roues interchangeables : $Z_1/Z_2 \cdot Z_3/Z_4 = NP_v / P_h = 40 \cdot 5/500 = 40/100 = 28/40 \cdot 24/64$

Ce montage exige le montage de l'une des roues menantes 28 ou 24 dents sur l'extrémité de la vis de la table de la fraiseuse afin d'assurer la liaison cinématique avec l'arbre du pignon conique du diviseur.

3.8 Taillage d'une roue à denture hélicoïdale : (Fig. 12)

Le taillage d'une roue à denture hélicoïdale est similaire au taillage d'une rainure hélicoïdale, seulement il nécessite une division pour le passage d'une entre-dent à autre.

La préparation du travail comporte :

- Le choix de la fraise module : Lors du taillage d'un pignon à denture hélicoïdale, les données du tableau précédant ne sont plus valables puisque la forme de la dent serait modifiée en raison de son angle d'hélice. Le numéro de la fraise sera obtenu selon le nombre de dents fictif (Z_f remplace Z), obtenu par formule suivante : $Z_f = Z/\cos^3(\beta)$
- La détermination des caractéristiques de la roue dentée :
 - Le module apparent : $m_t = m_n / \cos(\beta) = D_p / Z$
 - Le diamètre extérieur : $D_e = D_p + 2m_n$
 - Le pas réel : $P_n = \pi m_n$
 - La hauteur de la dent : $H = 2,25m_n$
- Le calcul du nombre de tours de la manivelle : $n = N/Z$
- Le calcul des roues interchangeables : $Z_1/Z_2 \cdot Z_3/Z_4 = NP_v / P_h$
- Le calcul de l'angle de l'hélice : $\text{tg}(\beta) = \pi D_p / P_h$

Marche à suivre :

- Régler le diviseur universel pour tailler la première entre dents de la roue.
- Tourner la manivelle d'un nombre de tours équivalent à une division de la roue.
- Répéter le taillage ($Z-1$) fois.

Exemple :

Soit à tailler une roue à denture hélicoïdale de 28 dents et de module $m=2$. Faire le réglage nécessaire du diviseur pour réaliser cette roue ayant une hélice caractéristique de pas $P_h= 432$ mm.

- Détermination de l'angle d'inclinaison de la table :
 $\cos(\beta) = m_n Z / D_p$
 $\text{tg}(\beta) = \sin(\beta) / \cos(\beta) = \pi D_p / P_h \Rightarrow \sin(\beta) = \pi m_n Z / P_h = (22/7) \cdot 2.28 / 430 = 0.4$
 Alors ($\beta = 24^\circ$)
- Détermination du diamètre extérieur de la pièce :
 $D_e = D_p + 2m_n = m_n(Z / \cos(\beta) + 2) = 2((28/0,9) + 2) = 65 \text{ mm}$
- Détermination de la profondeur du creux :
 $H = 2,25m_n = 2,25 \cdot 2 = 4,5 \text{ mm}$
- Choix de la fraise module :
 $Z_f = Z / \cos^3(\beta) = 28 / 0,76 = 37 \text{ dents}$ (d'après le tableau, la fraise doit porter le N°6).
- Calcul du nombre de tours de la manivelle :
 $n_m = N/Z = 40/28 = 1 + 12/28$
- Calcul des roues interchangeables :
 $Z_1/Z_2 \cdot Z_3/Z_4 = NP_v / P_h = 40 \cdot 5 / 430 = 40/86$
 $Z_1/Z_2 \cdot Z_3/Z_4 = 40/64 \cdot 64/86$

3.9 Fraisage d'une vis sans fin :

Une vis sans fin est caractérisée par son pas réduit. La liaison cinématique habituelle pour le taillage des hélices hélicoïdales ne permet pas leur taillage en raison de la forte réduction du rapport de transmission des roues interchangeables. La solution adéquate est de supprimer la liaison cinématique entre la roue et la vis sans fin par débrayage de cet accouplement. Par conséquent, le mouvement passera directement entre la vis de la table et la broche du diviseur par le biais d'une série de roues interchangeables.

La broche de la fraiseuse doit être horizontale parallèlement à la direction de l'avance longitudinale sur laquelle la fraise sera installée.

Une orientation de la table d'un angle (α), équivalent au complément de l'angle de l'hélice (β) est nécessaire.

Marche à suivre :

- Détermination des valeurs des roues interchangeables : $Z_1/Z_2 \cdot Z_3/Z_4 = P_h / P_v$
 Où Z_1 est montée sur la vis de la table et Z_4 sur la broche du diviseur.
- Détermination du diamètre à flancs de filet : $d = D - 0,6495P_h$
 Où D est le diamètre extérieur de la vis sans fin et P le pas de la vis sans fin.
- Angle d'inclinaison de la table : $\text{tg}(\beta) = \pi d / P_h$

Exemple :

Fraiser une vis sans fin de pas $P=10 \text{ mm}$ et de diamètre extérieur $D=50 \text{ mm}$ sur une fraiseuse ayant une vis de la table $P_v= 5 \text{ mm}$.

- $Z_1/Z_2.Z_3/Z_4 = P_h / P_v = 10/5 = 64/56.56/32$
- $d = D - 0,6495 P_h = 50 - 0,6495.10 = 43,5\text{mm}$
- $\text{tg}(\beta) = \pi d / P_h = (22/7).43,5/10 = 13,666 \Rightarrow (\beta = 85^\circ 50')$.
Alors $(\alpha = 4^\circ 10')$.

3.10. Fraisage des spirales :

Sur les machines automatiques, les cames sont souvent utilisées pour transformer un mouvement de rotation en un mouvement de translation rectiligne. La spirale est montante si l'on s'éloigne du centre de la came, elle est descendante lorsque l'on son approche.

Une spirale d'Archimède est une courbe qui partant d'un point central s'en éloigne progressivement. Une came plate est un simple disque qui transmet le mouvement par son contour extérieur.

Pour fabriquer une came sur une fraiseuse, la première chose à connaître est le pas de la came ou de la spirale (P_1). Le pas est calculé d'après la formule suivante :

$$P_1 = (R-r).360^\circ/\alpha$$

(11)

Si $\alpha = 360^\circ$, le pas $P_1 = R-r$

Fonctionnement du diviseur :

Lorsqu'on enclenche l'avance automatique de la fraiseuse, nous avons la combinaison de deux mouvements :

- Déplacement longitudinal de la table de la fraiseuse.
- Rotation de la came à fraiser.

Principe de fraisage :

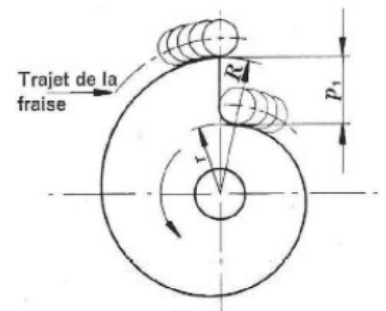
Le principe de travail est identique à celui du fraisage hélicoïdal, sauf que l'axe du diviseur porte came et l'axe de la fraise sont parallèles soit en position verticale ou inclinée.

□ Fraisage en position verticale :

Ce système est utilisé chaque fois que l'on dispose exactement des engrenages pour effectuer le pas P_1 . Pour obtenir des spirales montantes ou descendantes, on inverse le sens de rotation de la came en intercalant sur la tête de cheval une roue intermédiaire. Le contrôle du déplacement rotatif de la came se fait au moyen du plateau divisé en degrés. Pour fraiser les parties concentriques d'une came, seul le plateau doit tourner; il suffit au retirer le pointeau du disque et de tourner la manivelle; cette dernière entraîne le vis sans fin et la roue hélicoïdale.

La formule pour le fraisage en spirale est la même que celle utilisée pour le fraisage hélicoïdale.

$$Z_1/Z_2.Z_3/Z_4 = NP_v / P_1 \quad (12)$$



Exemple :

Soit le fraiser une spirale de 28 mm de pas. Le pas de la vis de la table de la fraiseuse est de 5 mm.

$$Z_1/Z_2.Z_3/Z_4 = NP_v / P_1 = 40.5/28 = (40/4).(5/7) = (120/24).(40/28)$$

□ **Fraisage en position inclinée :**

Si l'on ne dispose pas des engrenages requis (la roue de 120 dents par exemple), dans ce cas la solution est d'incliner la broche du diviseur et l'arbre porte-fraise (Fig. 14) d'un angle (δ) d'après la formule suivante :

$$\cos(\delta) = P_1 / P_c \quad (13)$$

Où P_c est un pas fictif, proche de P_1 et réalisable par le montage des roues disponibles.

Pour des raisons pratiques de montage et de longueur de fraise, il est préférable de ne pas incliner les axes porte-fraise et porte-came au-delà de 45° . Donc, il faut choisir un pas P_c réalisable avec les roues du diviseur différentiel légèrement plus grand que P_1 .

Exemple :

Reprenons le même exemple précédent en choisissant un pas $P_c = 35$ mm.

$$Z_1/Z_2.Z_3/Z_4 = NP_v / P_1 = 40.5/35 = (8/7).(5/1) = (64/28).(100/40)$$

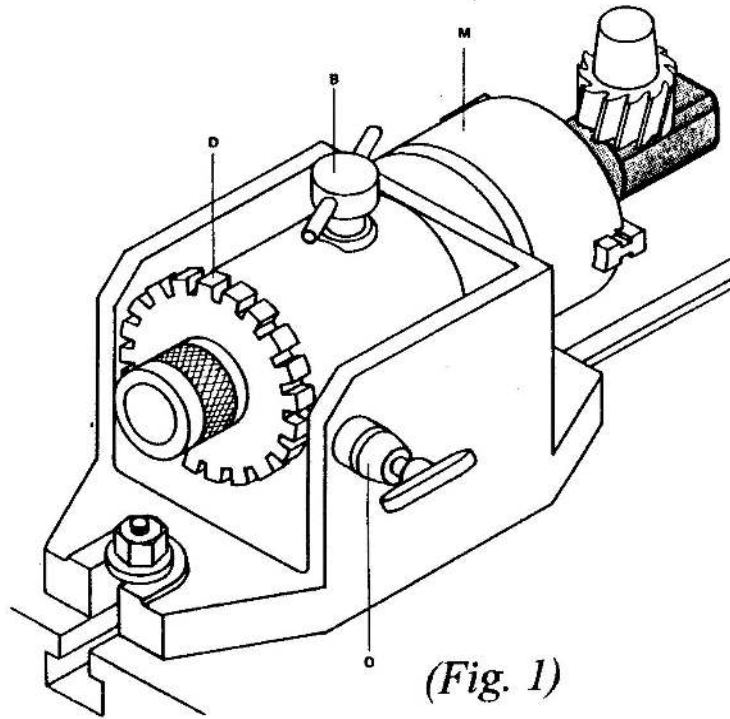
Toutes les roues (28, 40, 64 et 100) sont disponibles.

L'angle de réglage du diviseur et de la tête verticale :

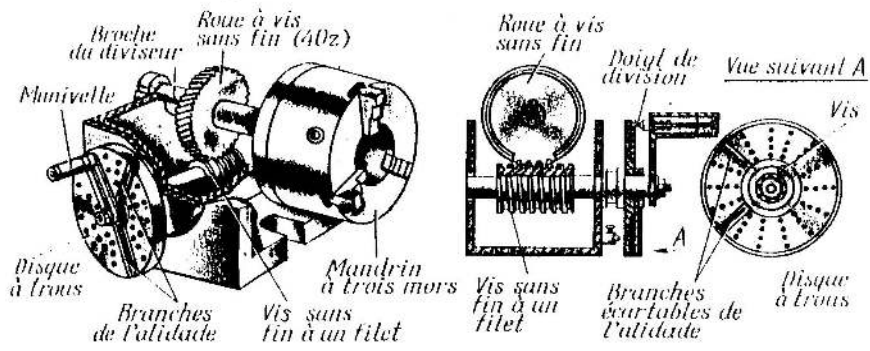
$$\cos(\delta) = P_1 / P_c = 28/35 = 0.8 \quad (\delta=36^\circ 52' 12'')$$

Références bibliographiques :

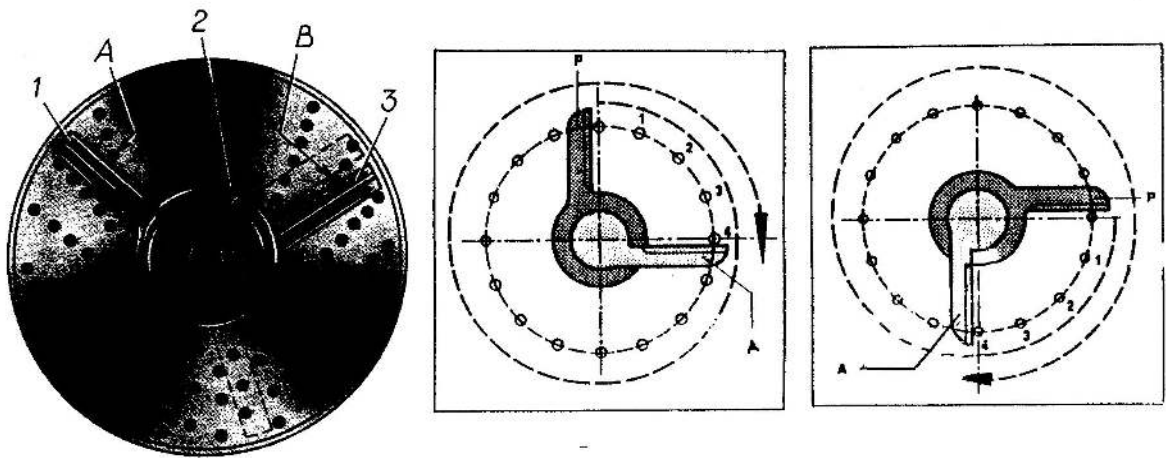
- [1]. HOFMAN. Notice d'utilisation des diviseurs universels type UTH.
- [2]. J. Vergnas. Usinage, technologie et pratique. Edition Dunod
- [3]. Dournier. Fraisage des Métaux. Edition Delagrave.
- [4]. J. Bassino. Technologie en ouvrages métalliques –T.1 : Matériaux, usinage, machines. Edition Foucher.
- [5]. E. Lecoeur. Usinage sur Machines Outils. Edition Delagrave.
- [6]. D. Policet. Technologie de fabrication. Edition Foucher.
- [7]. R. Butin. Fabrication Mécaniques : Technologie – TI, TII, TIII. Edition Foucher.
- [8]. F. Barbachov. Le Fraisage. Edition MIR.
- [9]. E. Soudano. Formulaire, guide d'atelier de Fabrication Mécanique. Edition Dunod.
- [10]. <https://www.fichier-pdf.fr/2010/03/18/jvkb0d8/diviseur-aciera-f4.pdf>
- [11]. <http://permamath.e-monsite.com/medias/files/4-appareils-a-diviser.pdf>
- [12]. https://www.otelo.fr/waroot/OTFR/fr_FR/attachments/notice_instruction/131_NI_38_800009.pdf
- [13]. http://www.otelo.fr/waroot/OTFR/fr_FR/attachments/notice_instruction/5626_NI_38_220165.pdf
- [14]. <http://www.lyrfac.com/soutiens/knbase/pdf/plateau%20diviseur.pdf>
- [15]. <https://www.techni-contact.com/pdf/top-catalogue/plateau-diviseur>
- [16]. <http://l.ballestriero.free.fr/Fraisage%20des%20m%E9taux.pdf>



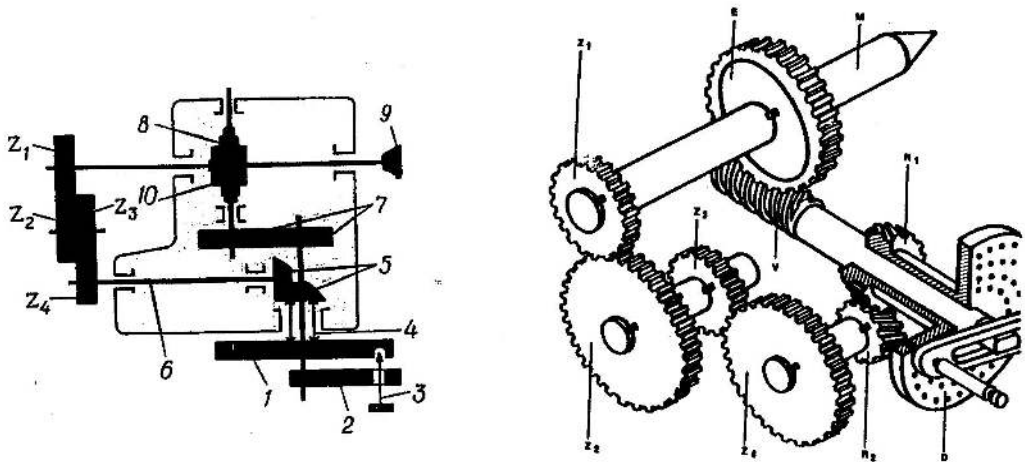
(Fig. 1)



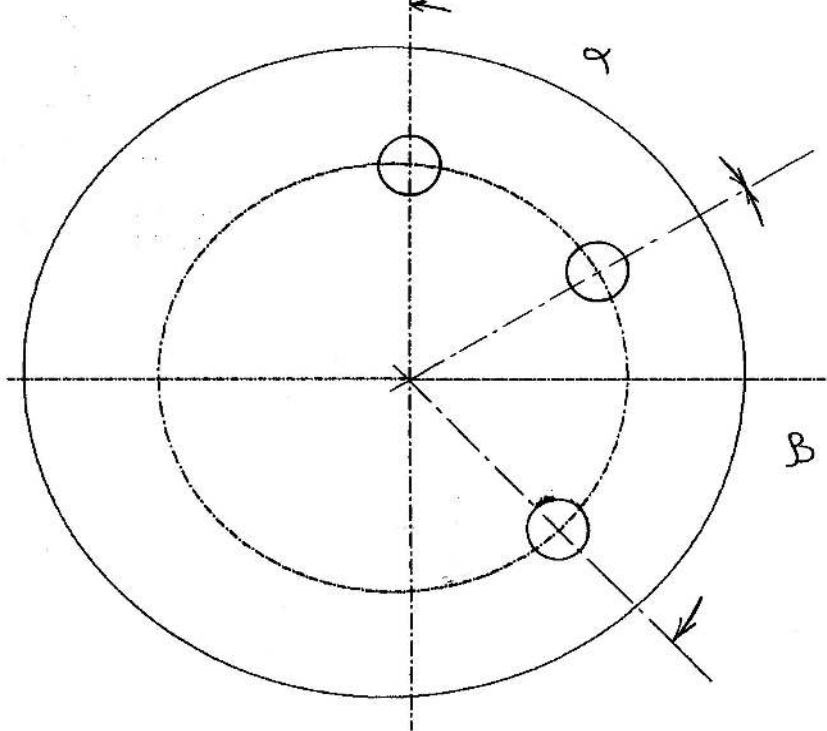
(Fig. 2)



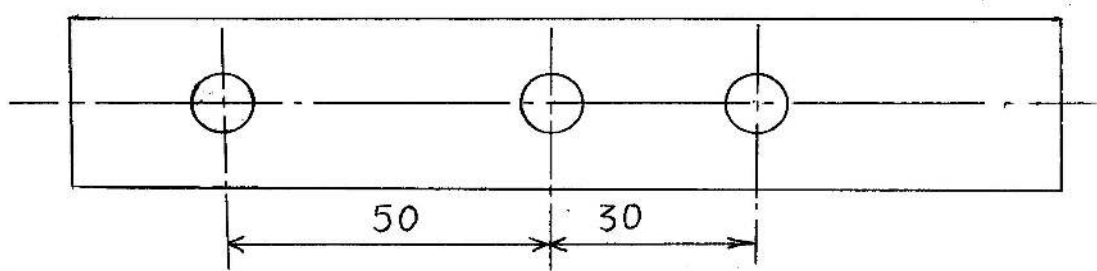
(Fig. 3)



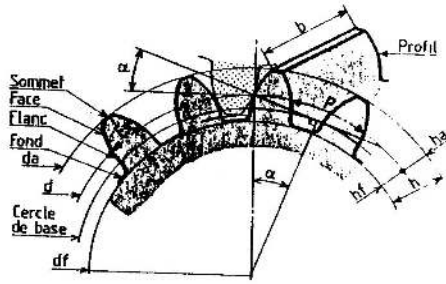
(Fig. 4)



(Fig. 5)

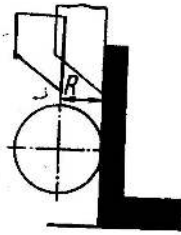


(Fig. 6)

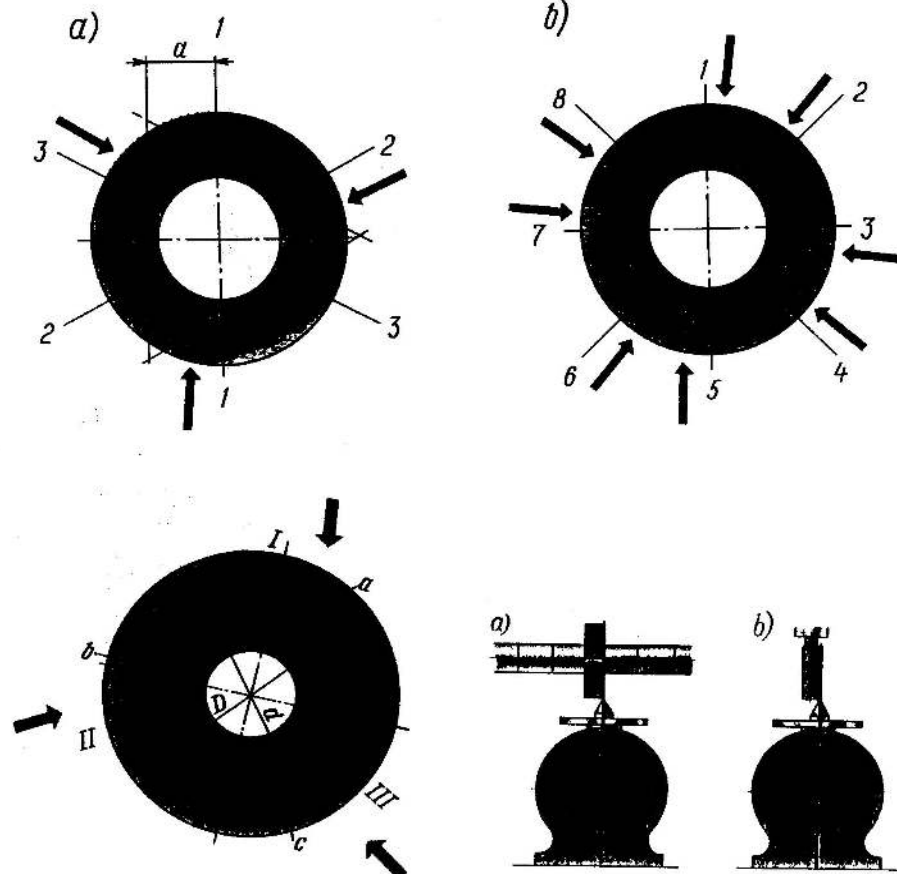


Module	m	Déterminé par un calcul de résistance des matériaux.
Nombre de dents	z	Déterminé à partir des rapports de vitesses $\frac{nA}{nB} = \frac{zB}{zA}$
Pas	p	$p = m \cdot \pi$
Saillie	h_a	$h_a = m$
Creux	h_f	$h_f = 1,25 m$
Hauteur de dent	h	$h = h_a + h_f = 2,25 m$
Diamètre primitif	d	$d = m \cdot z$
Diamètre de tête	d_a	$d_a = d + 2 m$
Diamètre de pied	d_f	$d_f = d - 2,5 m$
Largeur de dent	b	$b = k \cdot m$ (fréquemment on prend $k = 8$ ou 10)
Entraxe de 2 roues A et B	a	$a = \frac{dA + dB}{2} = \frac{m \cdot zA}{2} + \frac{m \cdot zB}{2}$

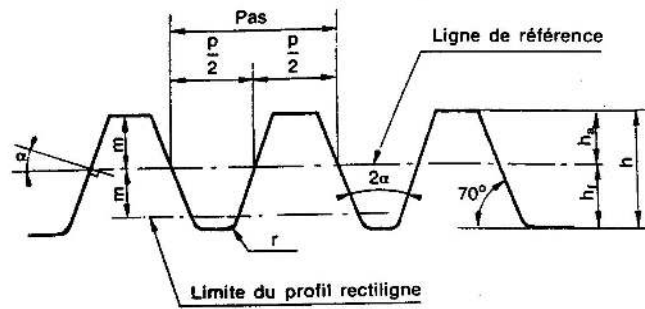
(Fig. 7)



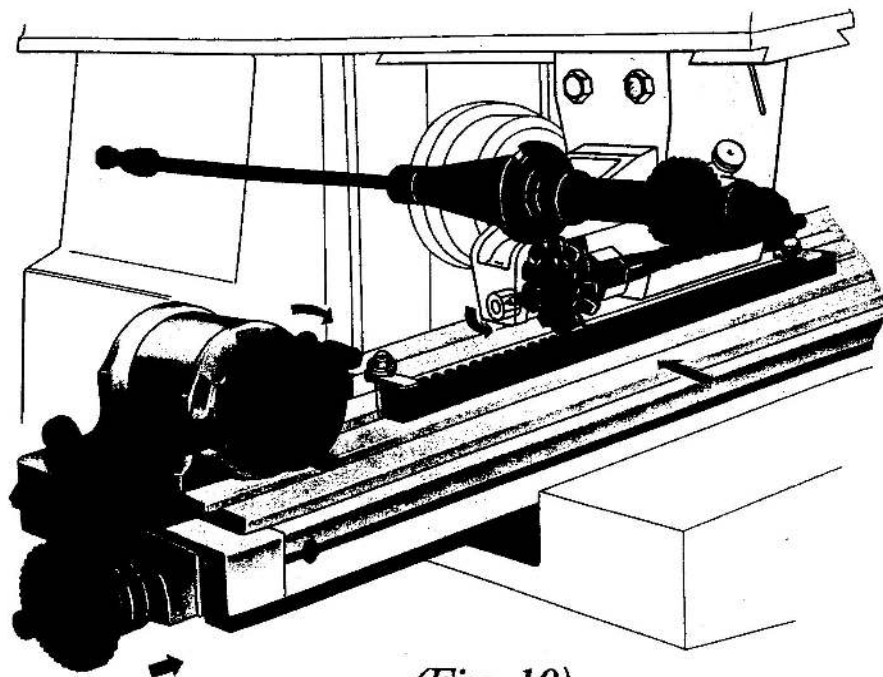
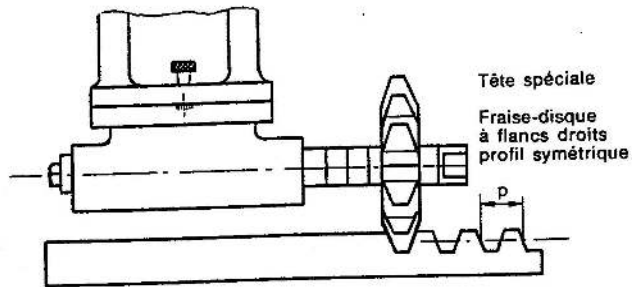
(Fig. 8)



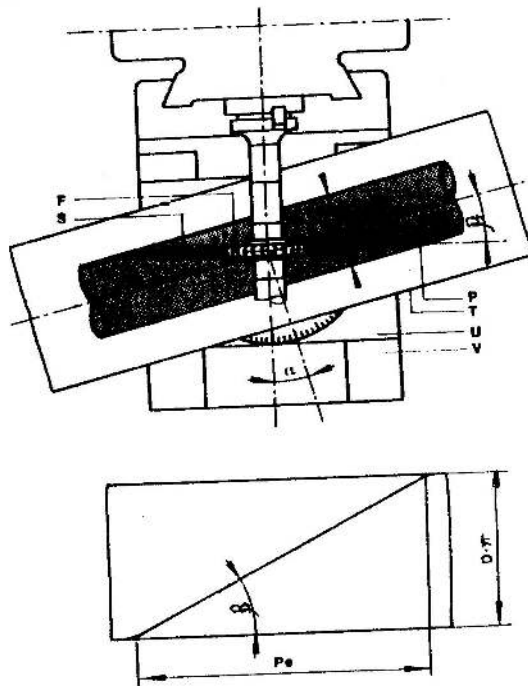
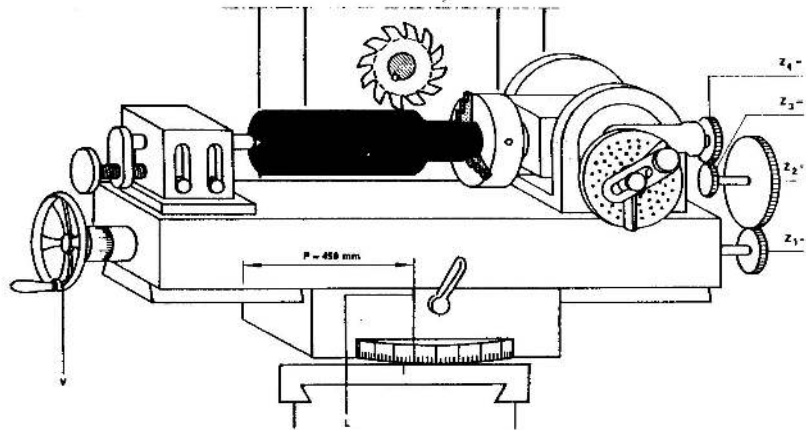
(Fig. 9)



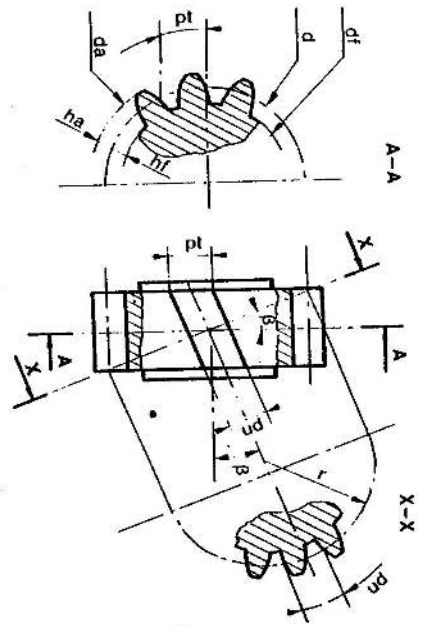
CARACTÉRISTIQUES DE LA DENTURE DROITE	
ha = saillie = m	p = pas = m × π
hf = creux = 1,25 m	α = angle de pression = 20°
h = hauteur de la dent = 2,25 m	r = rayon de l'arrondi = 0,4 mm max



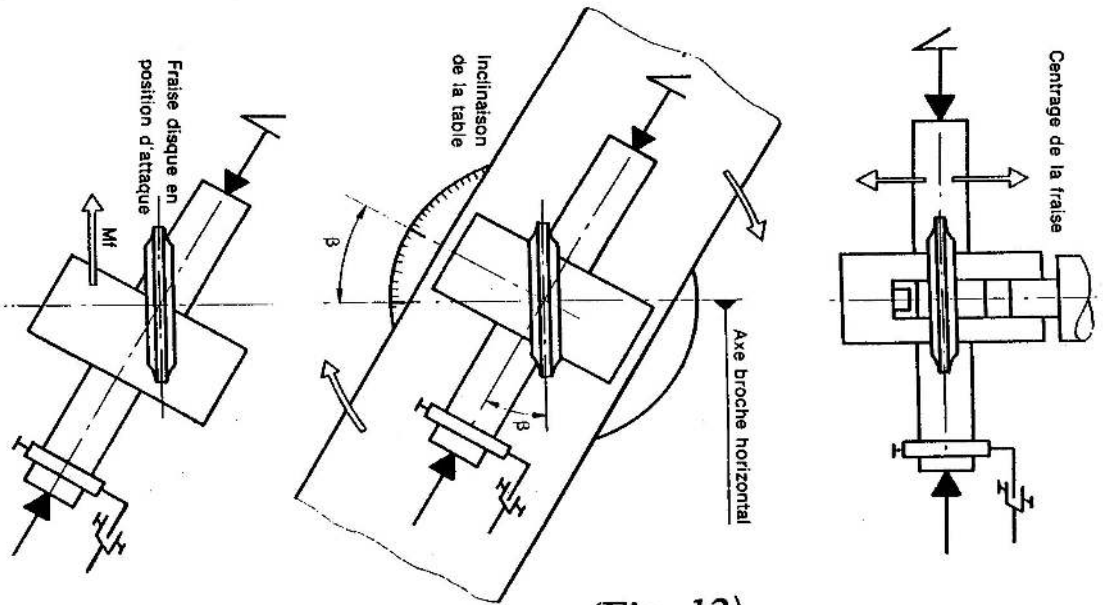
(Fig. 10)



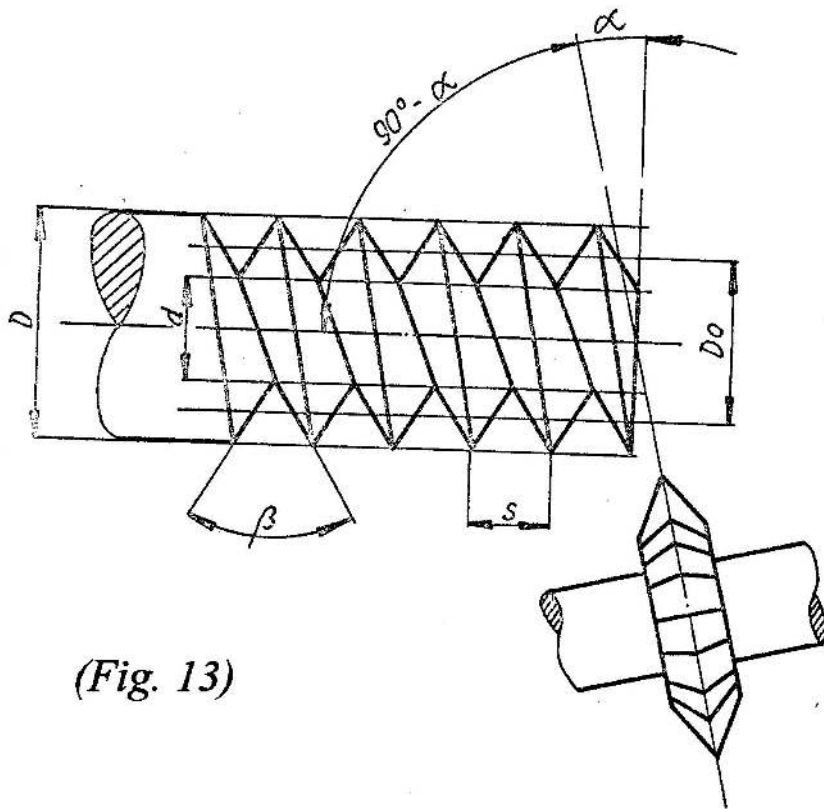
(Fig. 11)



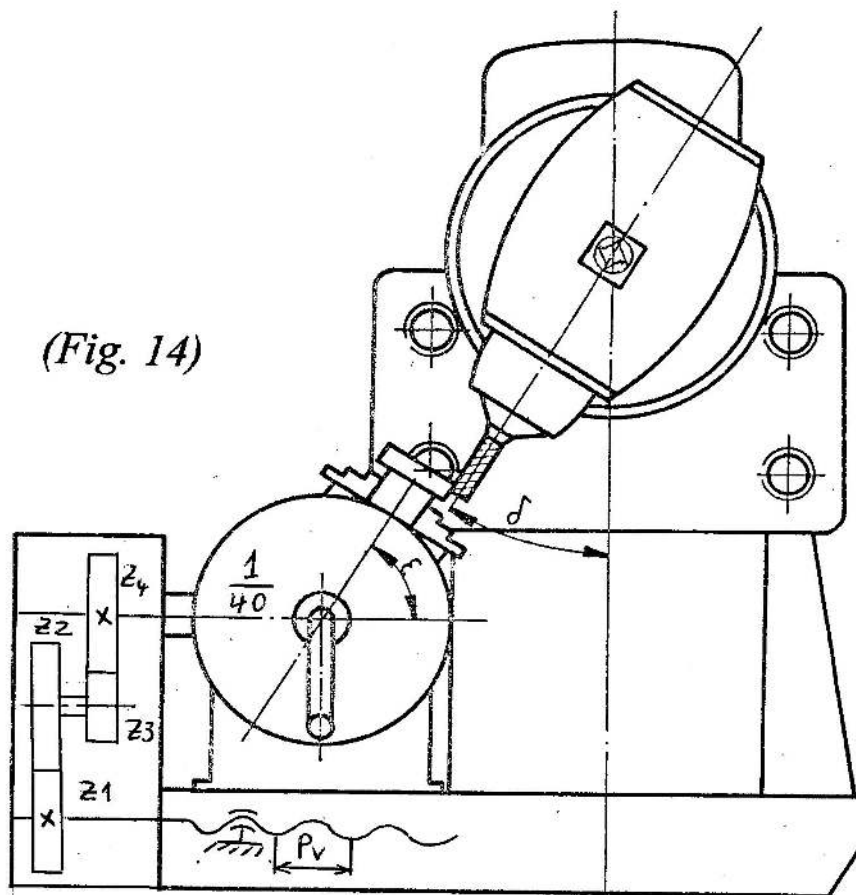
RELATIONS ENTRE LES ÉLÉMENTS DE LA DENTURE			
Module apparent	$m_i = \frac{d}{Z}$	Module réel	$m_n = \frac{m_i \times \pi \times \cos \beta}{\pi}$
Diamètre primitif	$d = m_i \times Z$	Module réel	$m_n = m_i \times \cos \beta$
Pas apparent	$p_i = \frac{\pi \times d}{Z}$	Module apparent	$m_i = \frac{m_n}{\cos \beta}$
Pas apparent	$p_i = m_i \times \pi$	Diamètre primitif	$d = \frac{m_n}{\cos \beta} \times Z$
Pas réel	$p_n = m_n \times \pi$	Diamètre de tête	$d_a = d + 2 m_n$
Module réel	$m_n = \frac{p_n}{\pi}$	Diamètre de pied	$d_f = d - 2,5 m_n$
Pas réel	$p_n = p_i \times \cos \beta$	Hauteur de la dent	$h = 2,25 m_n$
Module réel	$m_n = \frac{p_i \times \cos \beta}{\pi}$	Pas de traînée	$P_h = \pi d \times \cotan \beta$



(Fig. 12)



(Fig. 13)



(Fig. 14)