

Application du Fraisage

I. Rappel : principes de base du fraisage

I.1 Les opérations types du fraisage

Indépendamment du type de fraise choisie, l'opération de fraisage fera fondamentalement intervenir une des trois méthodes suivantes ou une combinaison de celles-ci. Compte tenu du choix de méthodes qui s'offrent en fraisage, il est important, au préalable, d'établir une distinction entre les différentes directions d'avance par rapport à l'axe de rotation de l'outil (figure 1). (A) correspond, sur cette figure, à la direction axiale, (B) à la direction radiale et (C) à la direction tangentielle.

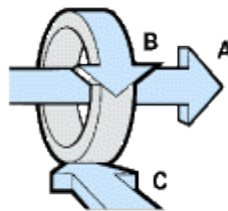


Figure 1 : Directions d'avance en fraisage

1. **Le surfacage** (figure 2a) est une opération de coupe combinée avec plusieurs arêtes, essentiellement celles situées à la périphérie et, dans une certaine mesure, seulement dans la partie centrale de l'outil. La fraise au contact de la pièce tourne perpendiculairement à la direction de l'avance radiale.

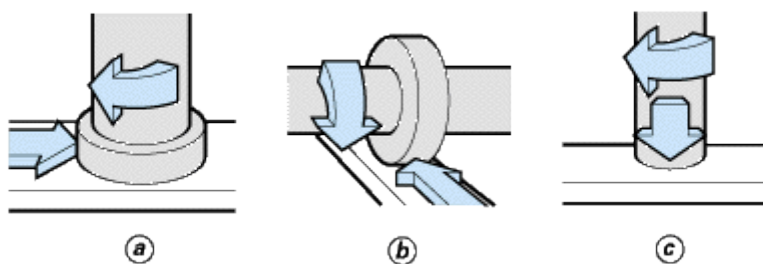


Figure 2 : Surfacage, fraisage d'épaulements et fraisage axial

2. **Le fraisage 3 tailles** (figure 2b) utilise les arêtes de coupe situées à la périphérie de l'outil. La fraise tourne ici autour d'un axe parallèle à l'avance tangentielle.
3. Ces deux méthodes peuvent également être différenciées par la **profondeur de coupe** adoptée :

- en surfacage, la profondeur de coupe dans la direction axiale est déterminée par la profondeur de pénétration des arêtes périphériques. Les arêtes centrales de l'outil génèrent pour leur part la surface finale de la pièce ;
 - pour le fraisage d'épaulements, la profondeur de coupe dans la direction radiale est fonction de la partie du diamètre de la fraise pénétrant dans la pièce.
4. Certaines fraises peuvent également travailler dans une troisième direction d'avance, **axialement**. Il s'agit alors d'une opération de **perçage** exécutée par les arêtes de coupe centrales de l'outil. Cette méthode (figure 2c) est utilisée pour l'usinage de rainures non débouchantes, l'outil perçant alors jusqu'à une certaine profondeur, puis passant de la direction d'avance axiale à la direction radiale pour permettre aux arêtes périphériques d'élargir le trou. Une combinaison de plusieurs directions d'avance est également possible lorsque l'on désire usiner des surfaces formant un angle ou incurvées. La fraise à avance axiale doit avoir des arêtes de coupe centrales disposées transversalement pour que sa partie frontale puisse exercer l'action de coupe désirée.

I.2 Principales définitions cinématiques et géométriques

Pour régler les paramètres de l'opération de fraisage, il convient en premier lieu d'établir quelques définitions s'appliquant aux caractéristiques dynamiques de l'outil de fraisage dont le diamètre (D) se déplace contre la pièce.

1. La **vitesse de broche** (n en tr/min) est le nombre de tours que l'outil de fraisage monté sur la broche de la machine-outil effectue par minute. Il s'agit là d'une valeur dépendant de la machine, qui ne renseigne guère sur ce qui se passe à la périphérie où l'arête de coupe fait son office.
2. La **vitesse de coupe** (v_c en m/min) indique pour sa part la vitesse à laquelle l'arête de coupe travaille la surface de la pièce. C'est un important paramètre de l'outil, qui fait partie intégrante des conditions de coupe avec, pour fonction, de garantir que l'opération est effectuée dans les meilleures conditions d'efficacité par l'outil concerné.

La vitesse de broche, le diamètre de l'outil et la vitesse de coupe sont naturellement liés par les formules suivantes (figure 3a et 3b) :

$$n = \frac{v_c \times 1\,000}{\pi D}$$

$$v_c = \frac{\pi D n}{1\,000}$$

Avec : D : diamètre de l'outil de fraisage (mm),

n : vitesse de broche (tr/min),

v_c : vitesse de coupe (m/min).

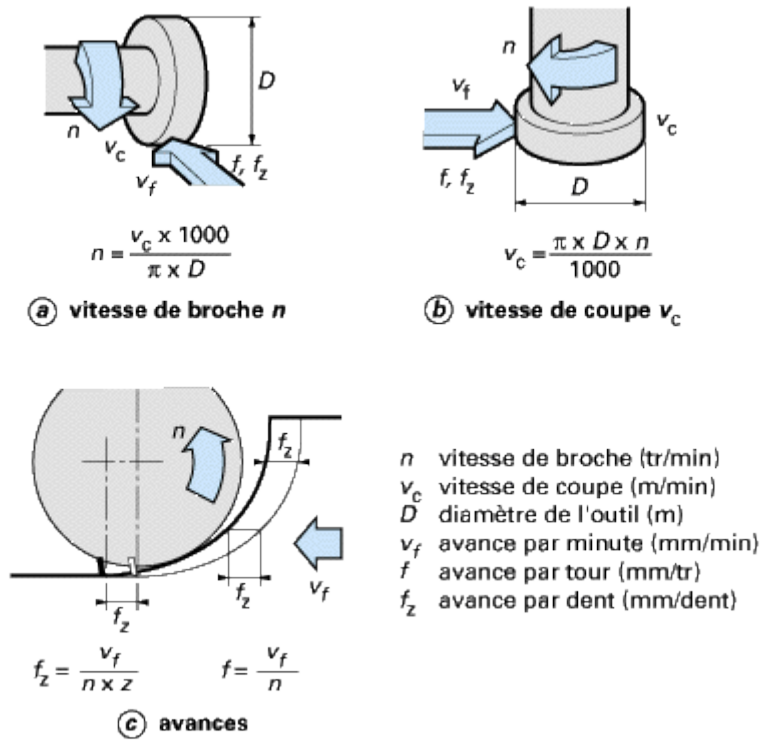


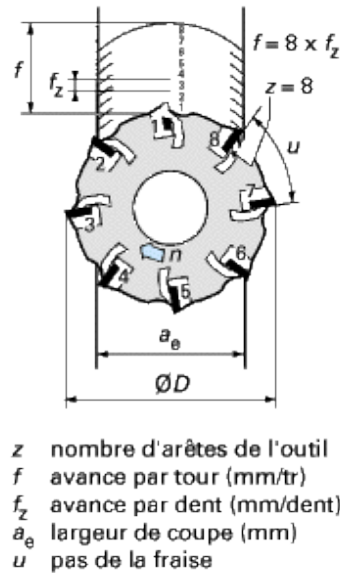
Figure 3 : Vitesse de broche, vitesse de coupe et avances

3. L'**avance par minute** ou vitesse d'avance (v_f en mm/min) (figure 3c) est l'avance de l'outil en direction de la pièce, exprimée en unités de distance par unité de temps. On parle également ici d'avance de table.
4. L'**avance par tour** (f en mm/tr) (figure 3c) est une valeur spécialement utilisée pour calculer l'avance et déterminer l'aptitude d'une fraise à surfaçer à travailler en finition. Elle indique de combien l'outil avance au cours d'une rotation.
5. L'**avance par dent** (f_z en mm/dent) (figure 3c) est un important paramètre en fraisage. La fraise étant un outil à arêtes multiples, il faut en effet disposer d'un moyen de mesure pour contrôler que chacune de ces arêtes travaille dans des conditions satisfaisantes. La capacité d'enlèvement de matière de chaque dent est l'élément limitatif au niveau des performances de l'outil. L'avance par dent indique la distance linéaire parcourue par l'outil alors qu'une certaine dent est engagée.

L'avance par dent représente aussi la distance couverte entre la pénétration de deux dents successives dans la pièce. Elle peut donc être exprimée en fonction du nombre d'arêtes de l'outil (z) et de l'avance par minute, ou sous forme d'avance par tour (figure 4).

6. La **profondeur de coupe**, axiale (a_p) en surfaçage ou radiale (a_e) pour le fraisage d'épaulements, correspond à l'épaisseur de matière enlevée par l'outil. C'est la distance à laquelle l'outil est réglé au-dessous de la surface initiale de la pièce.

7. La **largeur de coupe ou profondeur de coupe radiale** (a_e) en surfacage et axiale (a_p) pour le fraisage d'épaulements, est la distance parcourue par l'outil sur la surface de la pièce (figure 5).
8. Le **volume de matière enlevée par unité de temps** (Q) peut être déterminé en utilisant certaines de ces définitions. Ce volume correspond à la profondeur de coupe multipliée par la largeur de coupe, multipliées par la distance dont l'outil se déplace au cours de l'unité de temps concernée. Le volume d'enlèvement de matière est exprimé en millimètres cubes par minute (figure 6).



f_z est un facteur capital en fraisage, décisif pour le taux d'enlèvement de métal par arête, la charge par arête, la durée de vie et, dans une certaine mesure, la structure de surface.

Figure 4 : Avance par dent et avance par tour

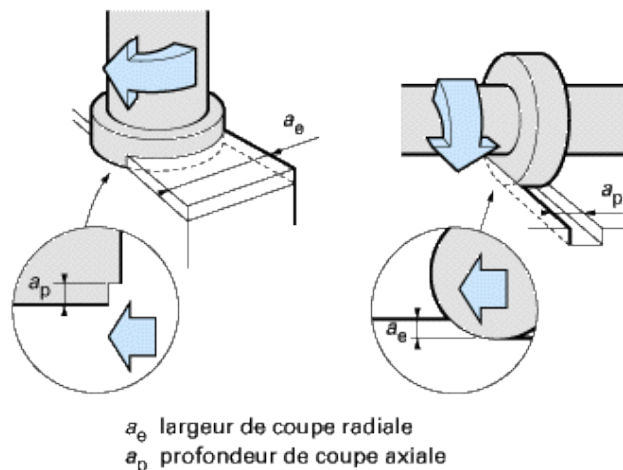


Figure 5 : Profondeur de coupe en surfacage (a_e) et en fraisage d'épaulement (a_p)

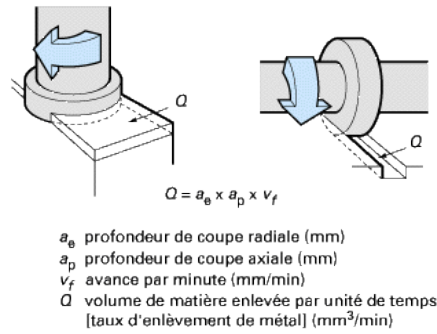


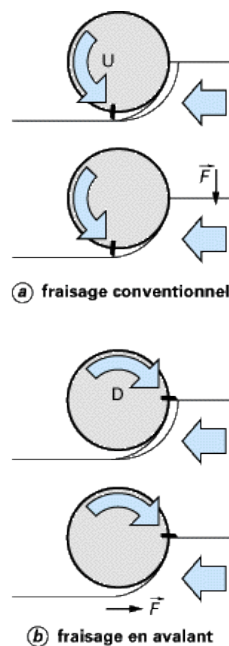
Figure 6 : Volume de métal enlevé par unité de temps

I.3 Directions de fraisage

La fraise effectue un mouvement de rotation tandis que la pièce avance dans sa direction. La coupe est donc ainsi définie par les paramètres impliqués. Il existe deux manières de procéder, selon le sens de rotation de l'outil par rapport à la pièce. Cette différence joue un rôle fondamental et affecte le processus de fraisage sous divers aspects. La pièce peut avancer, selon le cas, dans le sens de la rotation ou dans le sens opposé, ce qui a tout spécialement son importance en début et en fin de coupe.

En **fraisage conventionnel** (figure 7a), la direction d'avance de la pièce est à l'**opposé du sens de rotation de la fraise dans la zone de coupe**. L'épaisseur des copeaux, nulle au départ, augmente jusqu'à la fin de la passe.

Dans le cas de **fraisage en avalant** (figure 7b), la direction d'avance est la même que le sens de rotation de la fraise. L'épaisseur de copeau va donc diminuer jusqu'à être égale à zéro en fin de passe.



\vec{F} force de coupe qu'exerce la pièce sur l'outil

Figure 7 : Fraisage conventionnel et fraisage en avalant. Représentation des forces de coupe \vec{F}

Le fraisage conventionnel, où l'usinage démarre avec une épaisseur de copeau nulle, engendre des forces de coupe élevées qui tendent à séparer la fraise de la pièce. La fraise doit être engagée à force dans la pièce, ce qui crée un effet de frottement ou de galetage accompagné d'un fort dégagement de chaleur et, souvent aussi, un contact avec une surface écrouie résultant de l'usinage précédent. Les forces de coupe \vec{F} ont également tendance à soulever la pièce au-dessus de la table de la machine, ce qui oblige donc à faire très attention à la tenue du montage.

Dans le cas du fraisage en avalant, la fraise démarre avec une forte épaisseur de copeau. Cela évite l'effet de galetage, avec réduction du dégagement de chaleur et de la tendance à l'écrouissage. Cette forte épaisseur de copeau est un élément favorable et les forces de coupe tendent à presser la pièce contre la fraise, maintenant ainsi la plaquette dans le trait de coupe.

I.4. Géométrie des fraises ; nombre de dents et pas

Les fraises étant des outils à arêtes multiples ont un **nombre variable de dents** (z) (figure 8), déterminé pour chaque type d'opération par divers facteurs. La matière et les dimensions de la pièce, la stabilité, le fini de surface et la puissance disponible sont des facteurs plus spécialement liés à la machine et à la méthode d'usinage, tandis que ceux dépendant de l'outil incluent une avance par dent suffisante (avec une épaisseur moyenne des copeaux d'au moins 0,1 mm), un minimum de deux arêtes simultanément engagées et une bonne capacité d'évacuation des copeaux.

Le **pas** u d'une fraise (figure 8) est la distance entre deux points correspondants sur deux arêtes successives. Les fraises sont classées en trois types de pas : grand pas, pas réduit et pas fin (figure 9).

- Un **grand pas** signifie un moindre nombre de dents sur le pourtour de la fraise et de larges espaces de dégagement des copeaux. Ce type de pas est utilisé pour l'ébauche et la finition d'acier, ainsi que lorsque la tendance aux vibrations risque de nuire au résultat de l'opération.
- Un **pas réduit** implique un plus grand nombre de dents et des espaces plus restreints pour l'évacuation des copeaux. Ces fraises permettent un taux élevé d'enlèvement de matière et sont normalement choisies pour la fonte et l'usinage moyen d'acier.

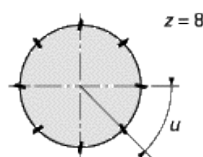


Figure 8 : Géométrie des fraises : nombre de dents et pas.

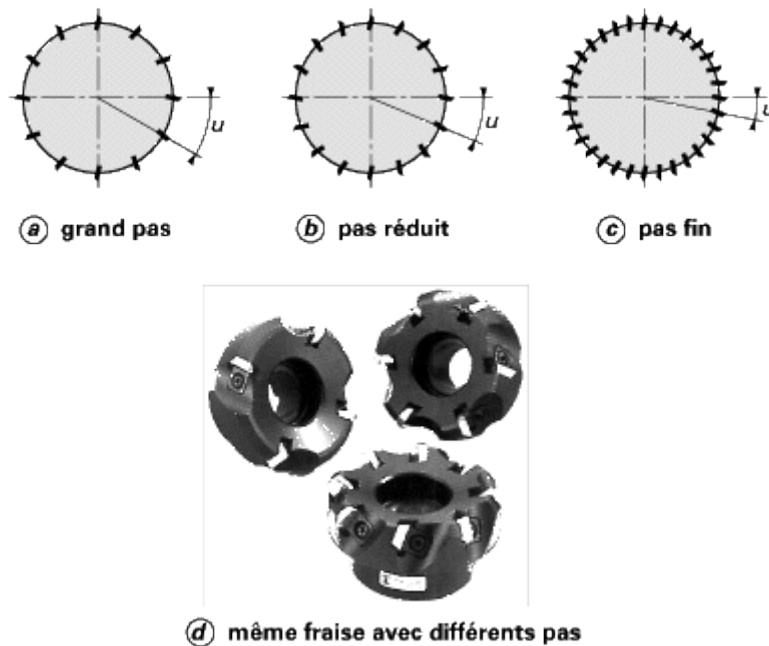


Figure 9 : Différents types de pas.

- Un **pas fin** est caractérisé par de petits espaces de dégagement des copeaux et autorise des avances de table très élevées. Ce type de fraise convient pour l'usinage intermittent de surfaces en fonte, l'ébauche de fonte et les faibles profondeurs de coupe en usinage d'acier, ainsi que dans les cas où il est nécessaire de travailler avec une vitesse de coupe réduite, comme pour le titane par exemple.

II. Diviseur :

II.1. Descriptions et réglages

Le diviseur de fraisage est un appareil composé de la poupée-diviseur et d'une contre-pointe. Il permet l'ablocage dans une position déterminée, avec **possibilité d'évolutions angulaires**.

- L'orientation de la broche permet le fraisage en position axe horizontal, axe incliné (fig. 10), axe vertical (fig. 11). Les positions, horizontale et verticale, peuvent être repérées par une goupille de position ou par réglage au comparateur.
- La broche comporte d'une part, un nez fileté pour le montage d'un plateau pousse-toc, d'un plateau à trous, d'un mandrin trois mors (durs ou doux); d'autre part, un alésage conique qui peut recevoir une pointe ou un mandrin à pince.

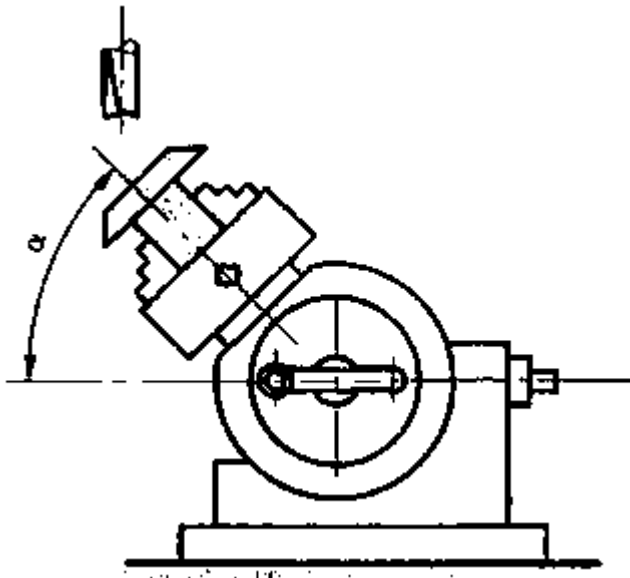


Figure 10 : fraisage en position inclinée

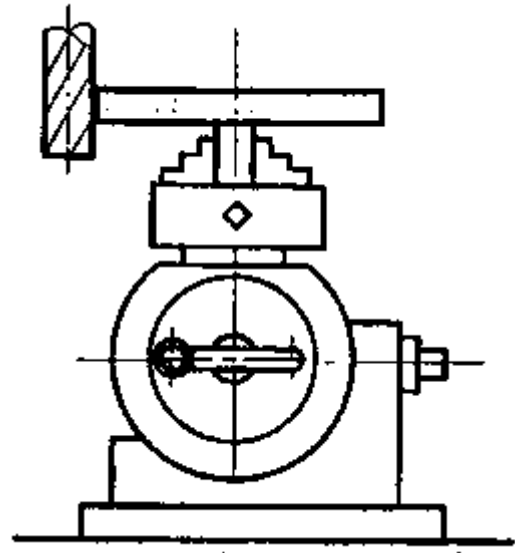


Figure 11 : fraisage en position verticale

- La contre-pointe, réglable en hauteur, reçoit une pointe légèrement dégagée au-dessus de son axe pour faciliter le passage de l'outil au cours de certains travaux.
- L'alignement broche - contre - pointe est obtenu par la mise en place de taquets, sous la semelle du diviseur et de la contre - pointe, ceux-ci étant engagés dans une rainure de la table.
- L'alignement en hauteur est obtenu par un réglage de la contre-pointe: on utilise un cylindre-étalon et un comparateur (fig. 12); on vérifie également la coaxialité.

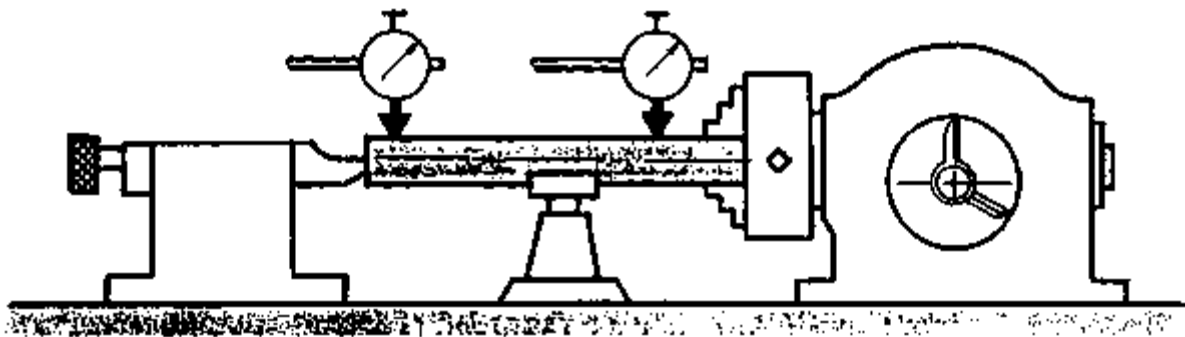


Figure 12 : alignement en hauteur

II.2. Différents montages de pièce

Montage en l'air:

Utilisation du mandrin trois mors pour pièce dont la longueur n'excède pas trois fois le diamètre. Le réglage, difficile, de la coaxialité avec un comparateur s'impose avec ce porte-pièce (fig. 13). On peut distinguer trois cas: serrage par l'intérieur des mors (fig. 13), par l'extérieur (fig. 14), par l'intérieur des mors réversibles (fig. 15). Il faut souvent assurer la protection de la surface serrée par interposition de feillard (acier, laiton, aluminium) ou de papier. Ces protections peuvent également servir au réglage de la coaxialité. L'obtention de celle-ci par choc au moyen d'une massette plastique est possible, mais nécessite une grande habileté de la part

de l'opérateur. Il faut également régler le battement (voile) pour les pièces de grand diamètre et de faible épaisseur.

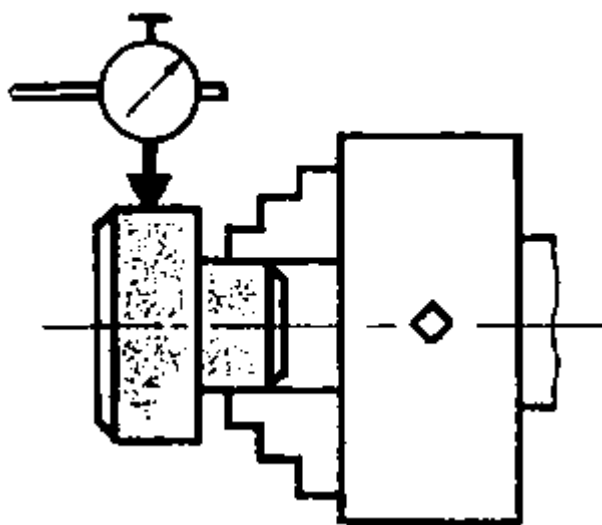


Figure 13 : serrage par l'intérieur des mors

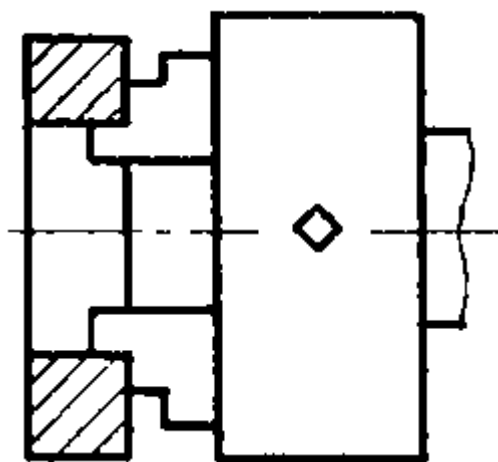


Figure 14 : serrage par l'extérieur

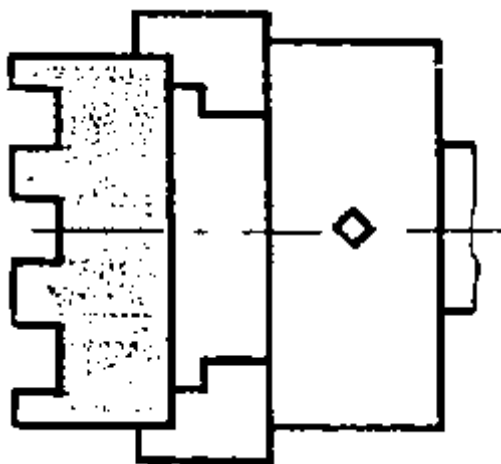


Figure 15 : Mors réversibles serrage par l'intérieur

Montage mixte:

Après vérification de l'alignement broche - contre-pointe, la pièce est bloquée côté diviseur et soutenue par la pointe côté contre-pointe. Contrôler également la coaxialité, pour effectuer une évolution angulaire, il est nécessaire de desserrer légèrement la contre-pointe.

Montage entre-pointes:

La pièce comporte un centre à chaque extrémité. Un toc, immobilisé en rotation par le plateau pousse-toc, solidaire de la broche, assure le serrage sans excès de la pièce (protection). Pour le montage de pièce longue un support réglable en hauteur, dont la partie supérieure a la forme d'un vé, permet de s'opposer aux flexions dues aux efforts de coupe (fig. 16).

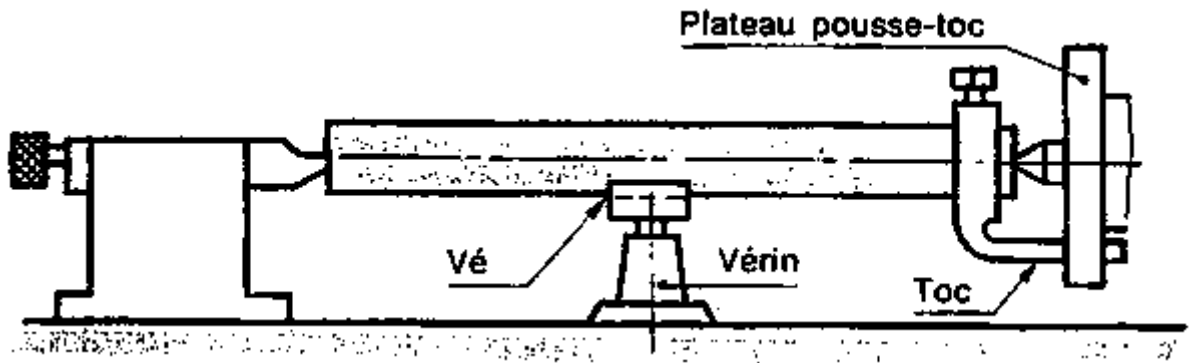


Figure 16 : montage entre - pointes

Montage sur mandrin de reprise:

Pour des pièces dont l'élément de référence est un alésage (contrainte de coaxialité), le montage peut se faire sur un mandrin de reprise cylindrique avec épaulement d'appui et serrage par écrou (fig. 17) ou sur un mandrin expansible de type Tobler par exemple.

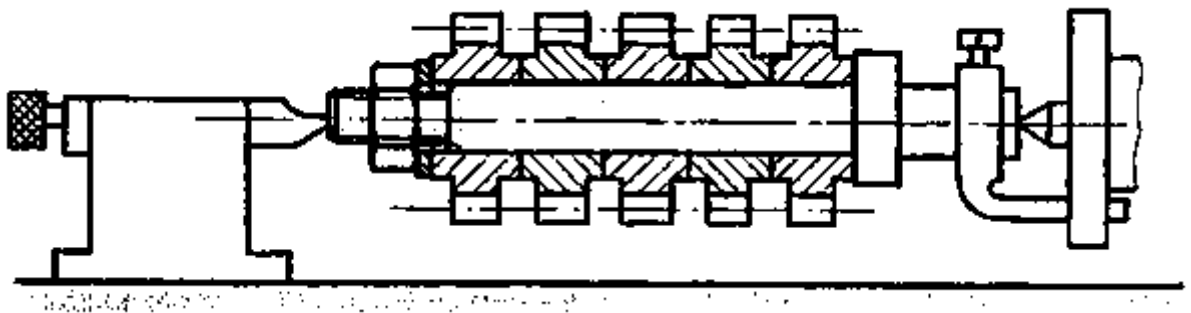


Figure 17 : montage sur mandrin de reprise

II.3. Fraisage avec plateau circulaire:

Le plateau circulaire permet d'obtenir:

- Des surfaces de révolution cylindrique et conique, en fraisage de profil, généralement inférieures à 360°.
- Des positions angulaires pour des opérations de perçage et d'alésage.
- Des polygones réguliers ou irréguliers.

L'appareil est constitué (fig. 18):

- D'un plateau porte-pièce **2** comportant des rainures en T et un alésage rectifié **8**, cylindrique ou conique, permettant le centrage de l'appareil.
- Le plateau, dont la base est graduée en 360°, est solidaire d'une roue creuse **3** de **90** ou **120 dents**. Il est animé par une vis sans fin débrayable, à un filet 4.

-
- A schematic diagram of a mechanical device, possibly a pump or valve assembly, with numbered components 1 through 14. The diagram shows a cross-section of a circular body (1) with internal components (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14). A central shaft (4) passes through the body, supported by bearings (5, 6). A piston or plunger (3) is connected to the shaft. A spring (14) is shown in the lower right. The diagram is labeled with numbers 1 through 14, corresponding to the following components:
- 1: Main body/casing
 - 2: Internal component, possibly a valve or seal
 - 3: Piston or plunger
 - 4: Central shaft
 - 5: Bearing or support
 - 6: Bearing or support
 - 7: Seal or gasket
 - 8: Internal component, possibly a valve or seal
 - 9: Internal component, possibly a valve or seal
 - 10: Internal component, possibly a valve or seal
 - 11: Internal component, possibly a valve or seal
 - 12: Internal component, possibly a valve or seal
 - 13: Internal component, possibly a valve or seal
 - 14: Spring

NOMENCLATURE

11

- a) Hélice : Courbe tracée sur un cylindre de révolution par un point **a** animé de deux mouvements simultanés de vitesses proportionnelles:
- **rotation** autour de l'axe du cylindre **XY**;
 - **translation** parallèle à cet axe (ex.: la trace laissée par la fraise sur le cylindre est une hélice)(fig. 19).
- b) Pas de l'hélice Ph : Distance entre deux passages consécutifs de la courbe à la même génératrice (fig. 19).
- c) Développement de l'hélice : Le développement du pas de l'hélice est la diagonale d'un rectangle de base πD et de hauteur égale au pas (fig. 19).
- d) Angle d'hélice : Angle aigu β compris entre la tangente à l'hélice et la génératrice du cylindre (ou l'axe **XY**)(fig. 19).

$$\text{Cotan } \beta = \frac{Ph}{\pi D}$$

REMARQUE: L'inclinaison de l'hélice est le complément de l'angle β ($90^\circ - \beta$).

- e) Sens de l'hélice

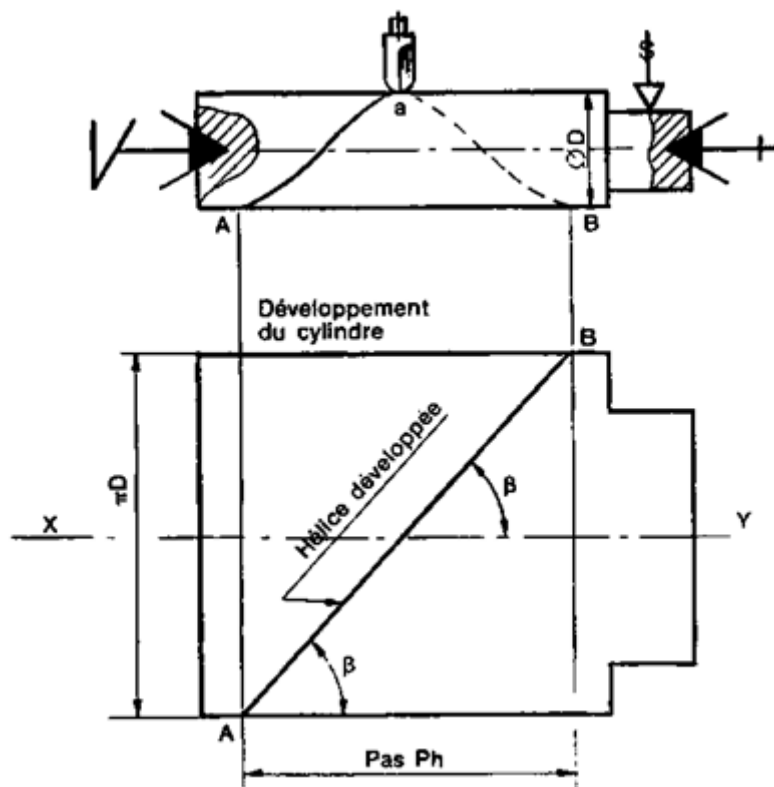


Figure 19 : inclinaison de l'hélice

$$Ph = \pi D * \text{Cotan } \beta$$

- L'hélice est à **droite** lorsque la partie vue de la courbe monte vers la droite, l'axe du cylindre étant vertical.
- L'hélice est à **gauche** dans le cas contraire, (fig. 20).

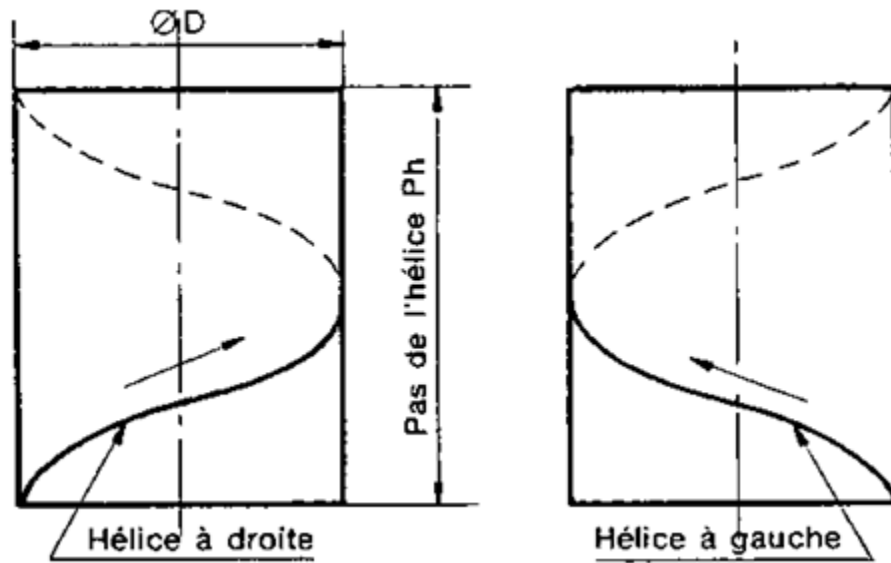


Figure 20 : sens de l'hélice

II.4.2 Génération de l'hélice

Réaliser une liaison cinématique par un train d'engrenages **A, B, C, D** entre la vis de la table et l'arbre du couple conique.

Le mouvement de translation est donné par la table.

Le mouvement de rotation est donné par le diviseur.

a) Chaîne cinématique :

Le mouvement de translation longitudinale de la table est obtenu lorsque la vis tourne; sur l'extrémité de celle-ci un engrenage **D** commande les roues **C, B, A**. La roue **A**, fixée sur l'arbre du couple conique, entraîne le plateau à trous déverrouillé; la manivelle, rendue solidaire du plateau par le pointeau engagé dans un trou, actionne la vis et la roue creuse, donc la broche (fig. 21).

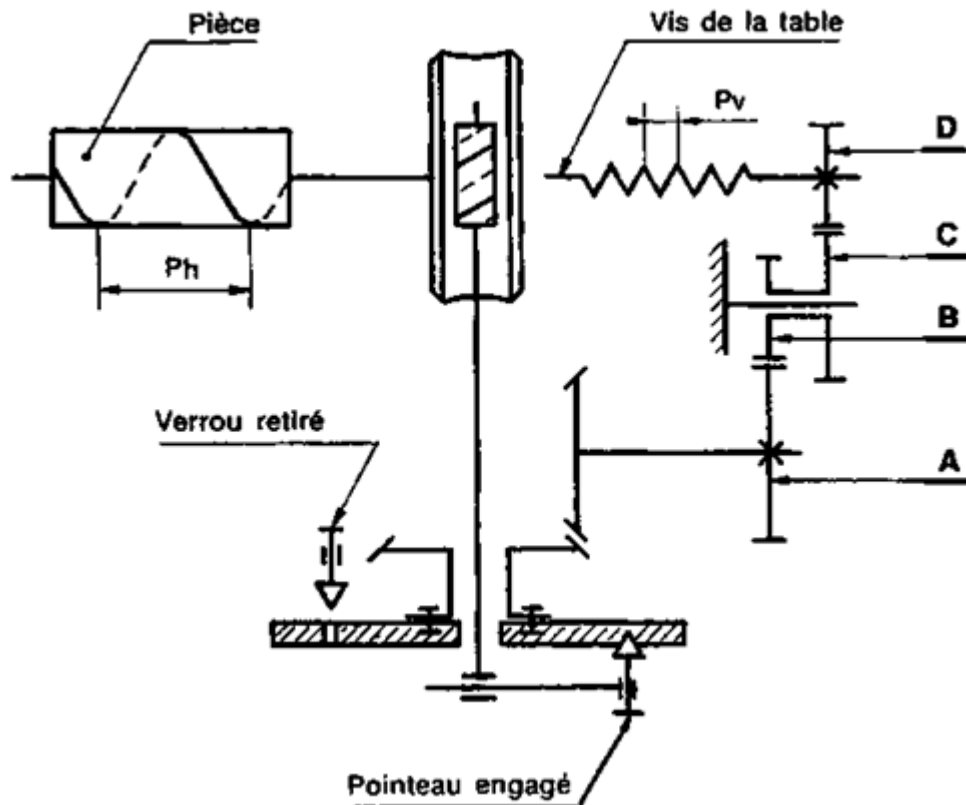


Figure 21 : Chaîne cinématique d'un diviseur

b) Rapport de deux mouvements :

- Problème:

- Pas de l'hélice à réaliser: **Ph = 150 mm**.
- Pas de la vis de la table: **Pv = 5 mm**. Rapport du diviseur: **K = 40**.

- Méthode

- Lorsque la roue **B** fait un tour, la table se déplace de **5 mm**. Pour obtenir une translation **Ph = 150 mm**, la vis de la table devra tourner de $150/5 = 30$ tours.

D'où:

$$\omega_B = 30 = \frac{Ph}{Pv}. \quad (1) \quad \omega \text{ (omega)}$$

- A une translation **Ph = 150 mm** doit correspondre une rotation d'1 tour de la pièce. Un tour de la broche du diviseur implique des rotations simultanées de:
- 1 tour de la roue creuse, **40** tours de la vis sans fin ($K = 40$).
- **40** tours du plateau à trous.
- **40** tours du couple conique ($r = 1/1$), donc **40** tours de la roue **A**.

D'où:

c) Vérification du sens de l'hélice

Avant de procéder à l'opération de fraisage hélicoïdal, il faut vérifier que l'hélice se développe bien suivant le sens désiré. Dans le cas contraire, intercaler une roue supplémentaire d'un nombre de dents quelconque entre les roues **A** et **B** ou entre les roues **C** et **D**. Cette roue n'affectera pas le rapport calculé, mais inversera le sens de rotation de la pièce, donc celui de l'hélice.

II.4.3 Application numérique

a) Problème

- Soit à réaliser une hélice au pas **Ph = 320 mm**.

Rapport du diviseur: **K = 40**. Pas de la vis de la table: **Pv = 5 mm**.

Roues disponibles: 24-30-32-36-40-45-50-55-58-60-65-70-80-82-100.

- Calculer les roues à monter pour réaliser le pas Ph.

Solution:

$$* \frac{Ph}{P_v \times K} = \frac{320}{5 \times 40} = \frac{320}{200} = \frac{8}{5}.$$

Le montage à 4 roues serait le suivant:

$$\frac{Z_A}{Z_B} \times \frac{Z_C}{Z_D} = \frac{8}{5} = \frac{4}{5} \times \frac{2}{1} = \frac{24}{30} \times \frac{80}{40}$$

b) Vérification du pas de l'hélice

- Par le calcul:

$$\frac{Ph}{P_v \times K} = \frac{Z_A}{Z_B} \times \frac{Z_C}{Z_D}$$

d'où l'on tire:

$$Ph = \frac{P_v \times K \times Z_A \times Z_C}{Z_B \times Z_D}$$

$$Ph = \frac{5 \times 40 \times 24 \times 80}{30 \times 40} = 320 \text{ mm}$$

- En pratique:

Il est nécessaire, avant exécution, de s'assurer de l'exactitude du pas obtenu. On procède de la manière suivante:

- Tracer un repère **A** sur le porte-pièce du diviseur, en regard d'un repère fixe **B** sur le corps.
- Déplacer le chariot longitudinal d'une distance correspondant au pas **Ph**.
- Vérifier que le repère **A** revienne en face du repère **B**.

II.5. Engrenages cylindriques droits

II.5.1 Problème technique

Soit à tailler, sur une fraiseuse, un engrenage cylindrique droit de $Z = 40$ dents, au module $m = 2$, en vue d'un travail de réparation (fig. 24). On dispose d'un diviseur de rapport $K = 60$ et de trois plateaux à trous.

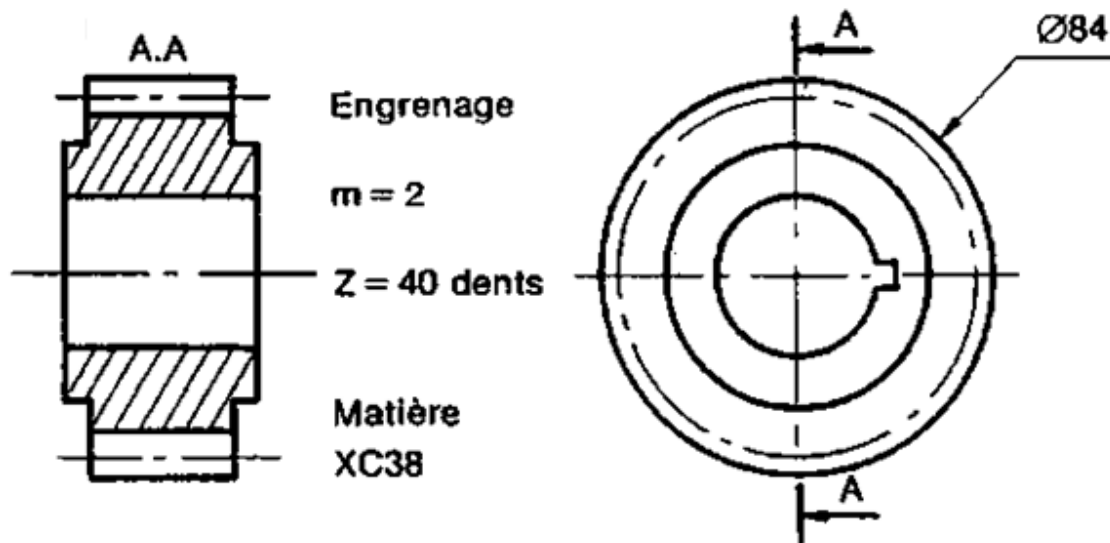


Figure 24 : roue denté à engrenage cylindrique droit

II.5.2 Définitions des engrenages (fig. 25)

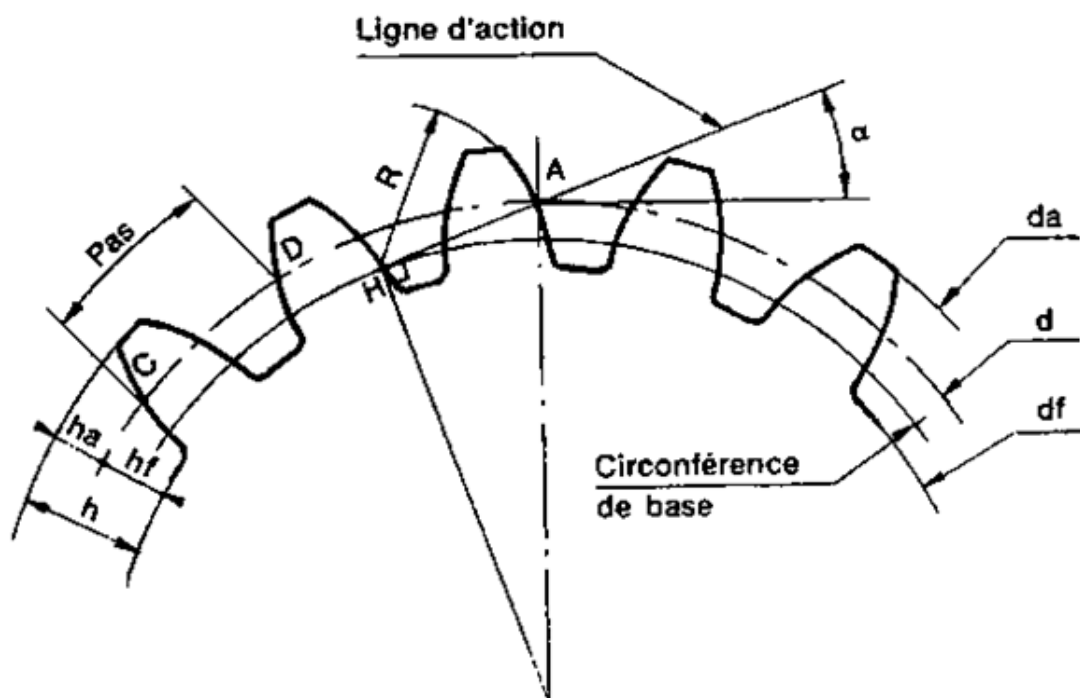


Figure 25 : représentation des dents pour un engrenage cylindrique droit

- **Diamètre primitif d:** C'est le diamètre des roues de friction qui donnerait sans glissement le même rapport des vitesses que l'engrenage considéré.
- **Nombre de dents Z:** Il est calculé d'après le rapport des vitesses à obtenir.
- **Module m:** Il permet de calculer tous les éléments caractéristiques de l'engrenage.
- **Profil de la dent:** Profil en développante de cercle: c'est la courbe décrite par un point A de la ligne d'action qui roule sans glisser sur la circonférence de base (fig. 26).

RELATIONS ENTRE LES ÉLÉMENTS DE LA DENTURE	
$m = d/Z$	$hf = 1,25 m$
$d = m \times Z$	$h = 2,25 m$
$p = m \times \pi$	$da = d + 2 m$
$p = (\pi \times d)/Z$	$da = m(Z + 2)$
$\alpha = 20^\circ$	$df = d - 2,5 m$
$ha = m$	$df = m (Z - 2,5)$

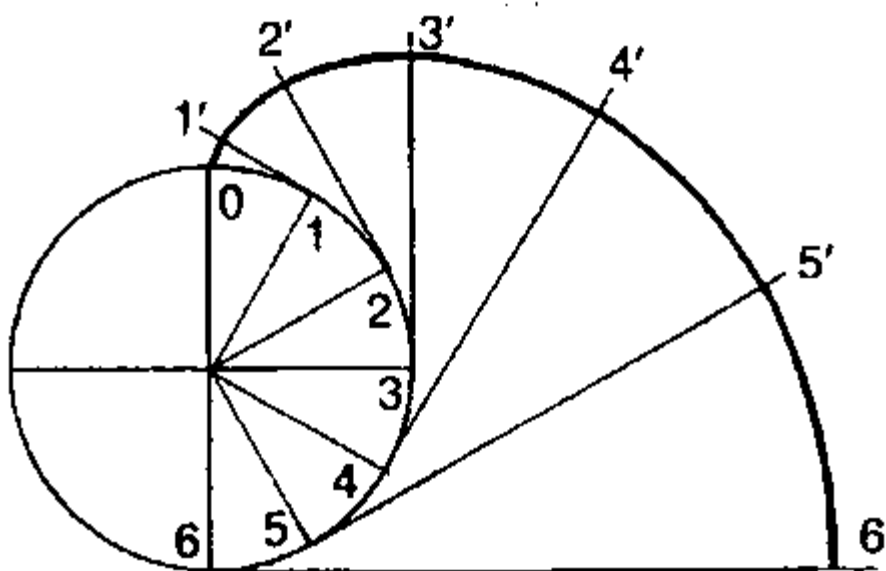


Figure 26 : Tracé de la développante de cercle

Tracé de la développante de cercle

- **Angle de pression:** C'est l'angle formé par la tangente au cercle primitif avec la ligne d'action.
- **Diamètre de tête da :** C'est le diamètre contenant les sommets des dents.
- **Diamètre de pied df :** C'est le diamètre tangent au fond des dents
- **Hauteur de la dent h :** C'est la distance radiale entre le diamètre de tête et le diamètre de pied; elle comprend la saillie ha et le creux hf .
- **Pas p :** C'est la longueur de l'arc CD mesurée sur le cercle primitif.

Série principale des modules (NFE 23-011):

0,5 - 0,6 - 0,8 - 1 - 1,25 - 1,5 - 2 - 2,5 - 3 - 4 - 5 - 6 - 8 - 10 - 12 - 16 - 20 - 25.

II.5.3. Calcul des éléments de l'engrenage considéré

- Diamètre primitif: $d = m \times Z = 2 \times 40 = 80 \text{ mm}$.









- Diamètre de tête: $d_a = m \times (Z + 2) = 2 \times (40 + 2) = \mathbf{84 \text{ mm.}}$
- Hauteur de la dent: $h = 2,25 m = 2,25 \times 2 = \mathbf{4,5 \text{ mm.}}$
- Pas: $p = m \times 3,14 = 2 \times 3,14 = \mathbf{6,28 \text{ mm.}}$

II.5.4. Taillage

- **Déterminer** la méthode de division en fonction de Z .
- **Choisir** le numéro de la fraise à utiliser.
- **Régler** la position de la fraise.

a) Choix de la fraise module

Le profil de la dent, donc de la développante de cercle, varie avec le module m et le nombre de dents à tailler Z . Théoriquement, il faut pour un même module, une fraise pour chaque nombre de dents Z à tailler. Pratiquement, les nombres de dents à tailler ont été groupés en 8 paliers jusqu'au module 10 inclus (voir tableau) et 15 paliers au-dessus du module 10.

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

b) Montage de la pièce

La roue à tailler est montée sur un diviseur, en l'air, ou généralement sur un mandrin cylindrique placé entre les pointes du diviseur et de la contre-pointe.

c) Réglage de la fraise

Il faut situer l'axe de symétrie du profil de la fraise dans le plan vertical passant par l'axe de la roue à tailler.

Réglage à l'équerre: Déplacer le chariot transversal, de manière à obtenir la cote X . (fig. 28a).

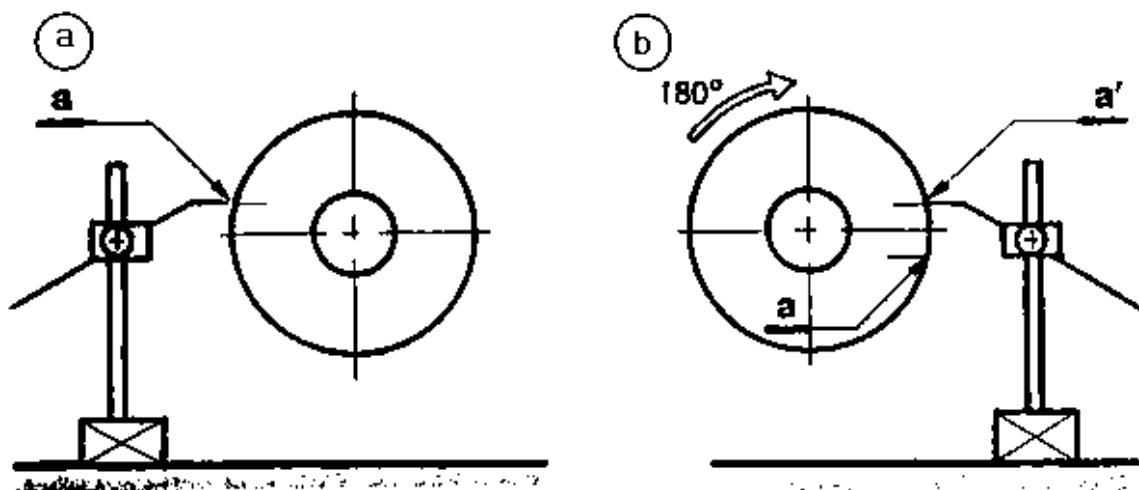


Figure 27 :

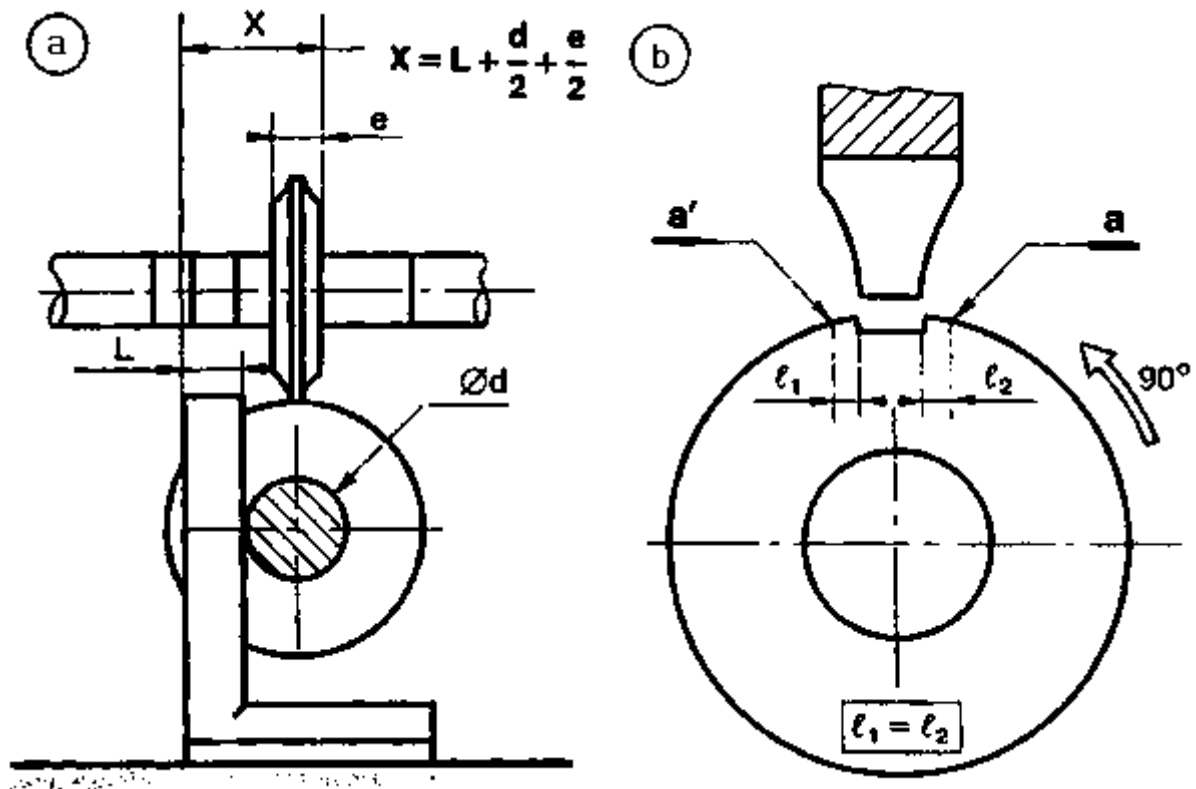


Figure 28 :

Réglage au tracé:

- Régler la pointe du trusquin sensiblement à hauteur de l'axe du diviseur.
- Tracer une première génératrice a sur la roue à tailler (fig. 27a). Faire évoluer la broche du diviseur de 180° pour tracer la deuxième génératrice a' (fig. 27b).
- Evoluer de 90° de manière à situer le tracé des deux génératrices vers le haut (fig. 28b). Déplacer le C.T. pour situer le profil de la fraise au milieu de aa' .
- Effectuer une passe sur quelques millimètres pour observer le désaxage.
- Evaluer le désaxage et apporter la correction nécessaire pour avoir $l_1 = l_2$ (fig. 28b).

d) Réglage de la profondeur de passe

La profondeur de passe p correspond à la hauteur h de la dent ($h = 2,25 m$). Cependant, pour obtenir un taillage précis, il faut prévoir deux passes: une passe d'ébauche, $P_1 = 4/5$ de h ; une passe de finition, P_2 .

II.6. Engrenages cylindriques hélicoïdaux

II.6.1. Problème technique

Soit à tailler, avec une fraise module, un engrenage hélicoïdal de $Z = 25$ dents; au module réel $mn = 2$; angle $\beta = 30^\circ$; hélice à gauche; sur une fraiseuse universelle; pas de la vis de la table $P_v = 5$ mm. On dispose d'un diviseur universel $K = 40$, comprenant 3 plateaux à trous.

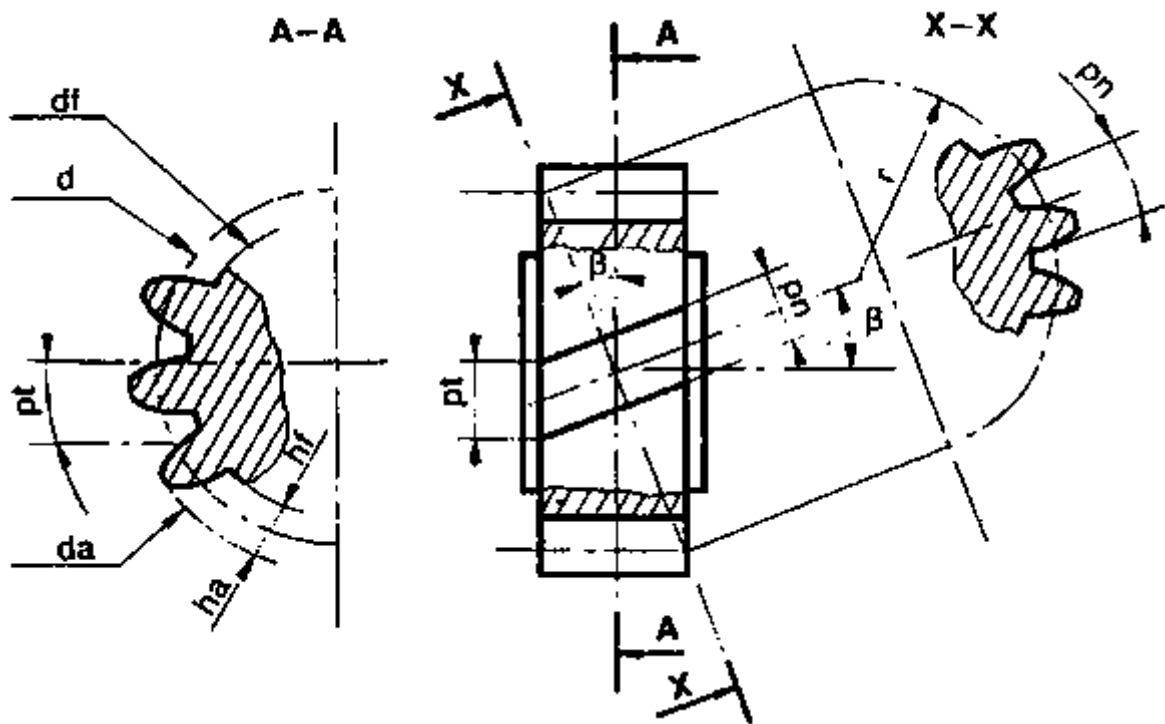


Figure 29 :

II.6.2. Définition (fig. 29)

Dans les engrenages hélicoïdaux, les dents sont inclinées et enroulées en hélice autour du cylindre de pied.

- **Angle d'hélice:** Angle de la tangente à l'hélice primitive avec la génératrice du cylindre primitif.
- **Pas apparent pt :** Longueur de l'arc de cercle primitif compris entre deux profils homologues consécutifs. Le module correspondant est **le module apparent mt** .
- **Pas réel pn :** Pas mesure sur une hélice normale à l'hélice primitive (fig. 29). Le module correspondant est **le module réel mn** .

II.6.3. Calcul des éléments de l'engrenage considéré

RELATIONS ENTRE LES ÉLÉMENTS DE LA		DENTURE	
Module apparent	$mt = d/z$	Module réel	$mn = (mt \times \pi \times \cos \beta) / \pi$
Diamètre primitif	$d = mt \times Z$	Module réel	$mn = mt \times \cos \beta$
pas apparent	$pt = (\pi \times d) / Z$	Module apparent	$mt = mn / \cos \beta$
Pas apparent	$pt = mt \times \pi$	Diamètre primitif	$d = (mn / \cos \beta) \times Z$
Pas réel	$pn = mn \times \pi$	Diamètre de tête	$da = d + 2 mn$
Module réel	$mn = pn / \pi$	Diamètre de pied	$df = d - 2,5 mn$
Pas réel	$pn = pt \times \cos \beta$	Hauteur de la dent	$h = 2,25 mn$
Module réel	$mn = (pt \times \cos \beta) / \pi$	Pas de l'hélice	$Ph = \pi d \times \cotan \beta$

Le calcul débute par la recherche du module apparent **mt**.

- Module apparent

$$\mathbf{mt} = \frac{mn}{\cos\beta} = \frac{2}{\cos 30^\circ} = \frac{2}{0,866} = \mathbf{2,309} \text{ soit } \mathbf{2,31}$$

- Diamètre primitif **d** = $mt \times Z = 2,31 \times 25 = \mathbf{57,75 \text{ mm}}$.
- Diamètre de tête **da** = $d + 2 mn = 57,75 + (2 \times 2) = \mathbf{61,75 \text{ mm}}$.
- Hauteur de la dent **h** = $2,25 mn = 2,25 \times 2 = \mathbf{4,5 \text{ mm}}$.
- Pas réel **pn** = $mn \times \pi = 2 \times 3,14 = \mathbf{6,28 \text{ mm}}$.
- Pas de l'hélice **Ph** = $\pi d \times \cotan \beta$.

$$\mathbf{Ph} = 3,14 \times 57,75 \times \cotan 30^\circ = 3,14 \times 57,75 \times 1,732 = \mathbf{314,07 \text{ mm}}$$

II.6.4. Taillage

Problèmes à résoudre :

- **Calculer** la division simple en fonction de Z.
- **Choisir** le numéro de la fraise module à utiliser,
- **Régler la** position de la fraise (angle d'hélice β et centrage),
- **Déterminer** le montage de roues.

II.7. Fraisage en spirale:

II.7.1. Spirale d'Archimède

- Définition : Courbe engendrée par un point tournant autour d'un point origine 0 et s'écartant de ce dernier de quantités proportionnelles aux angles décrits.
- Pas Ps : Différence des rayons (**R-r**) pour une rotation de 360°.
- Sens : La spirale est **à droite**, lorsqu'elle s'éloigne de son origine en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre. Elle est dite **à gauche** dans le sens inverse.
- Utilisation : Le profil en spirale d'Archimède est souvent employé pour la réalisation des **comes**. Celles-ci sont utilisées pour transformer un mouvement de rotation en un mouvement de translation rectiligne. (Avance des outils sur un tour à décolleter, ou déplacement d'un chariot sur une machine automatique, etc.)

II.7.2. Fraisage d'une came-disque

Elle est très couramment usinée en fraisage. La came est fraisée à partir d'un disque tourné d'après le plus grand rayon R de l'arc en spirale.

- Porte-pièce : L'exécution d'un profil en spirale d'Archimède est similaire à celui d'une hélice. On utilise donc le diviseur universel, équipé pour le fraisage hélicoïdal.
- Montage de la pièce : La came est montée sur un arbre lisse, ce dernier étant serré dans le mandrin trois mors du diviseur.
- Outil : La came est usinée par travail d'enveloppe, avec une fraise cylindrique 2 tailles.
- Génération de la spirale : La pièce est animée d'un mouvement circulaire uniforme transmis par le diviseur, et d'un mouvement d'avance rectiligne uniforme transmis par le C.L.

II.8. Division

II.8.1. Division simple

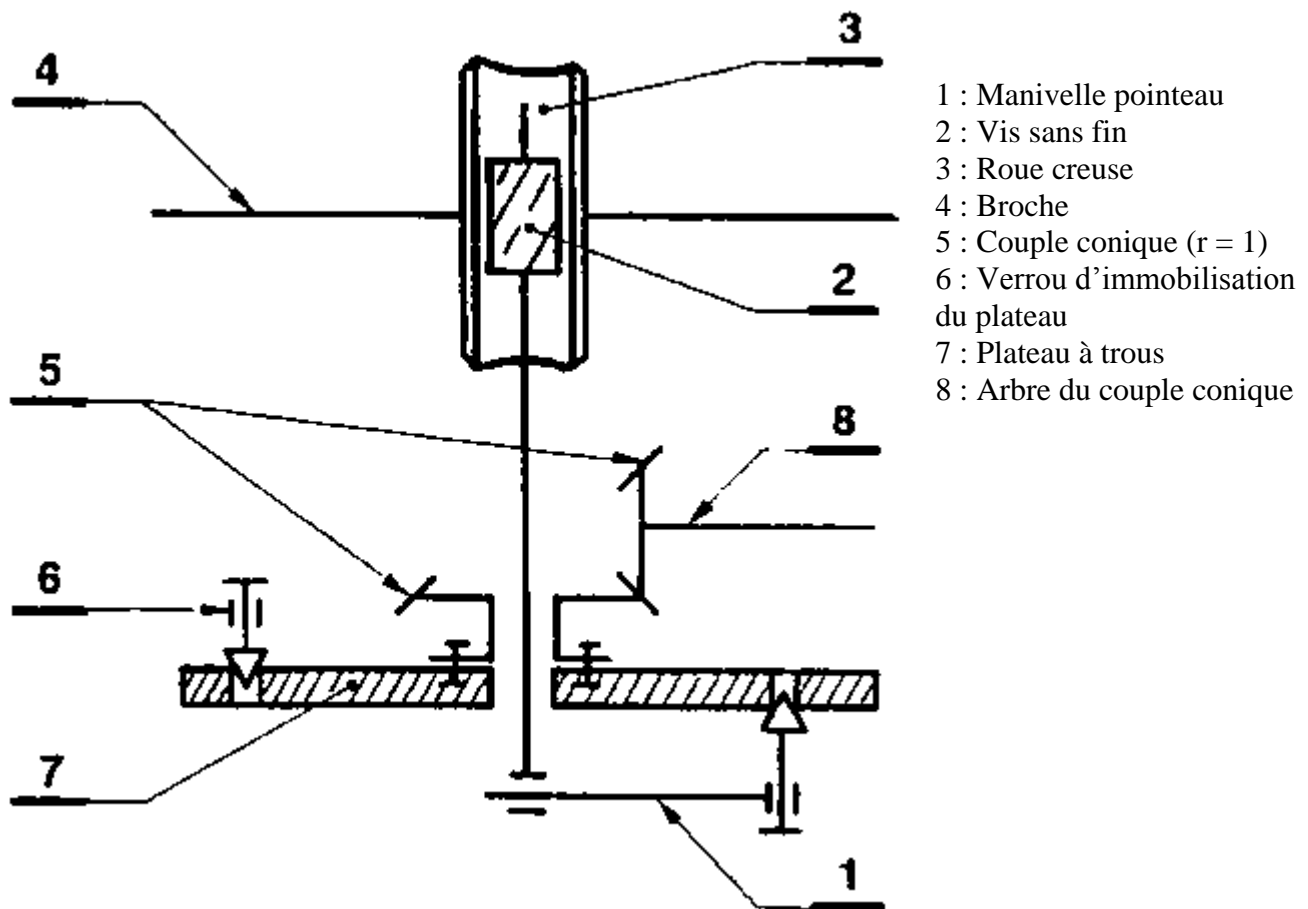


Figure 30 : schémas cinématique d'un diviseur

II.8.2 Expérimentation

- Le pointeau étant situé sur le premier trou **X**, origine des numéros d'une rangée quelconque, tracer un repère **A** fixe sur le corps du diviseur. Tracer, en face, un repère **B** sur le porte-pièce (fig. 31).

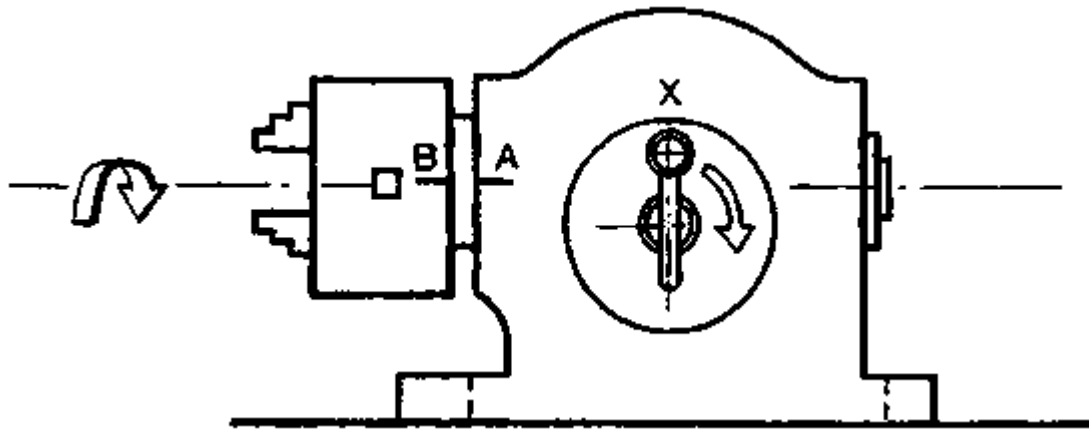


Figure 31 : Réperage sur un diviseur

- Compter les tours du pointeau à chaque passage en **X**, jusqu'au moment où le repère **B** revient en face de **A**.
- Suivant le type d'appareil, il faut: **40 ou 60 tours** de manivelle; cela signifie: que la roue **3** comporte **40 ou 60 dents**, que la vis **2** est à un file.

Le rapport du diviseur est: $K = 40$ ou $K = 60$.

II.8.3. Raisonnement

- Pour un tour de broche, il faut 40 tours de manivelle,
- Pour $1/2$ tour de broche, il faut $40 \times 1/2 = 20$ tours de manivelle,
- Pour $1/12$ tour de broche, il faut $40 \times 1/12 = 3 \frac{1}{3}$ tours de manivelle,
- Pour $1/N$ tour de broche, il faut $40 \times 1/N = 40/N$ tours de manivelle (p. ex. $N = 3$).

Le dénominateur des fractions $1/2$, $1/12$, $1/N$ représente en fait le nombre de divisions à effectuer.

Formule générale: N = nombre de divisions, K = rapport du diviseur.

Fraction de tour de manivelle

K/N = ou nombre entier de tours de manivelle

ou nombre entier et fraction de tours de manivelle à effectuer

II.8.4. Applications

- Soit à exécuter 8 encoches (fig. 32) $K = 40$, quelle est l'évolution de la manivelle?

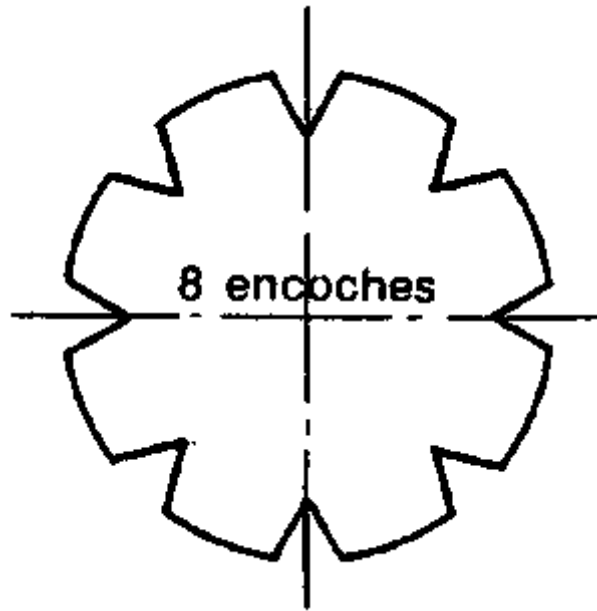


Figure 32 : réalisation de 8 encoches

Appliquons la formule :

$$\frac{K}{N} = \frac{40}{8} = 5 \text{ tours de manivelle}$$

- Soit à exécuter 24 crans d'une roue à rochets (fig. 33), quelle est l'évolution de le manivelle?

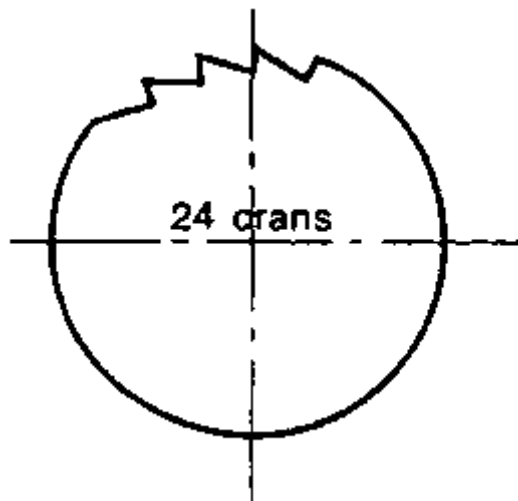


Figure 33 : réalisation de 24 crans

$$\frac{K}{N} = \frac{40}{24} = \frac{20}{12} = \frac{5}{3} = 1\frac{2}{3} \text{ tour de manivelle}$$

II.8.5. Raisonnement

Soit $K = 40$, un tour de broche = $360^\circ = 40$ tours de manivelle.

- Pour évoluer de 1° , il faut :

$$\frac{40}{360^\circ} = \frac{1}{9} \text{ tour}$$

- Pour évoluer de 30° , il faut :

$$\frac{40 \times 30^\circ}{360^\circ} = 3\frac{1}{3} \text{ tours}$$

- Pour évoluer α° , il faut :

$$\frac{40 \times \alpha^\circ}{360^\circ} = X \text{ tours}$$

Formule générale:

$$\alpha = \text{évolution angulaire.} \quad \frac{K \times \alpha}{360}$$

K = rapport du diviseur.

II.8.6. Applications

- Soit à effectuer l'évolution de $\alpha = 30^\circ$, du locating (fig. 34), K = 40.

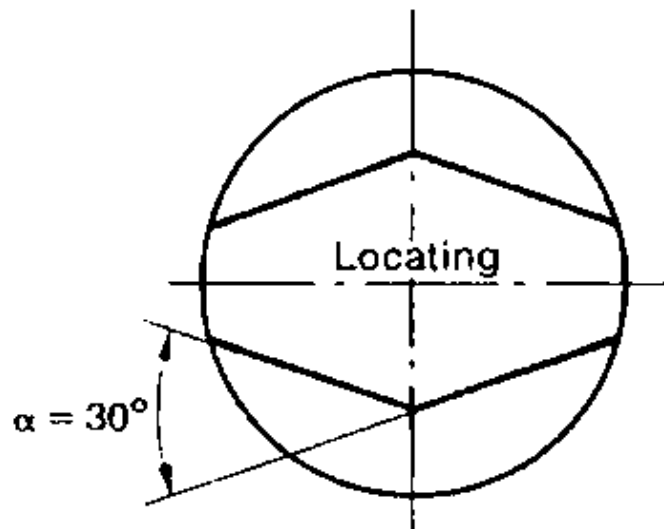


Figure 34 : réalisation d'un locating

Appliquons la formule

$$\frac{K \times \alpha}{360^\circ} = \frac{40 \times 30^\circ}{360^\circ} = 3\frac{1}{3} \text{ tours de manivelle}$$

- Soit à effectuer une évolution de $\alpha = 18^{\circ}30'$, $K = 40$. Convertissons $18^{\circ}30'$ et 360° en minutes, $18^{\circ}30' = 1\ 110'$, et $360^{\circ} = 21\ 600'$.

Appliquons la formule :

$$\frac{K \times}{360^{\circ}} = \frac{40 \times 1\ 110'}{21\ 600'} = 2\frac{1}{18} \text{ tours}$$

de manivelle.

II.8.7. Plateau (fig. 35)

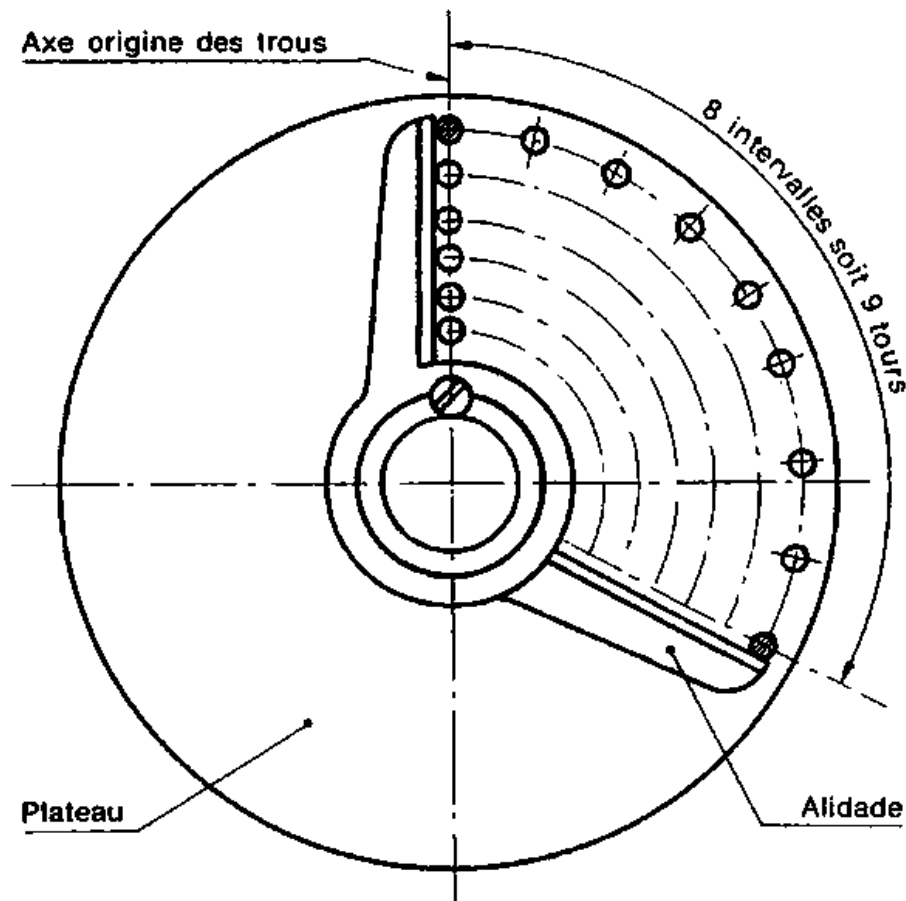


Figure 35 : Plateau et alidade d'un diviseur

- Les plateaux permettent d'évoluer d'une fraction de tour, celle-ci étant réglée entre l'ouverture des branches mobiles de l'alidade.
- On considère toujours l'écartement des branches en nombre **d'intervalles**.

N°	Nombre de trous par rangée					
1	15	16	17	18	19	20
2	21	23	27	29	31	33
3	37	39	41	43	47	49

II.8.8. Pointeau-manivelle

L'ensemble pointe-manivelle permet: vingt

- De mettre la broche en rotation par la vis 2 et la roue 3.
- De suivre la rangée de trous choisie.
- D'immobiliser la position en engageant le pointeau dans un trou.

II.8.9. Mode opératoire

- Soit $K = 40$, $N = 6$ crans.

$$\frac{K}{N} = \frac{40}{6} = 6\frac{2}{3} \text{ tours de manivelle}$$

- Il faut chercher dans les plateaux disponibles celui qui comporte au moins une rangée dont le nombre de trous est multiple de 3. Par exemple, plateau n°2: rangée de 33 trous ($3 \times 11 = 33$)
- Il faut régler l'écartement des branches de l'alidade pour apprécier $2/3$ de tour, c'est-à-dire $22/33$ de tour.
- Situer le pointeau sur le départ de la rangée de 33 trous, placer la branche A en appui contre le pointeau, compter 22 intervalles donc 23 trous, placer la branche B au 23^e trou, bloquer l'alidade, vérifier, exécuter le premier cran.
- Dégager le pointeau, faire 6 tours comptés en A, venir engager le pointeau au 23 trou en appui sur B (position U, fig. 36a).

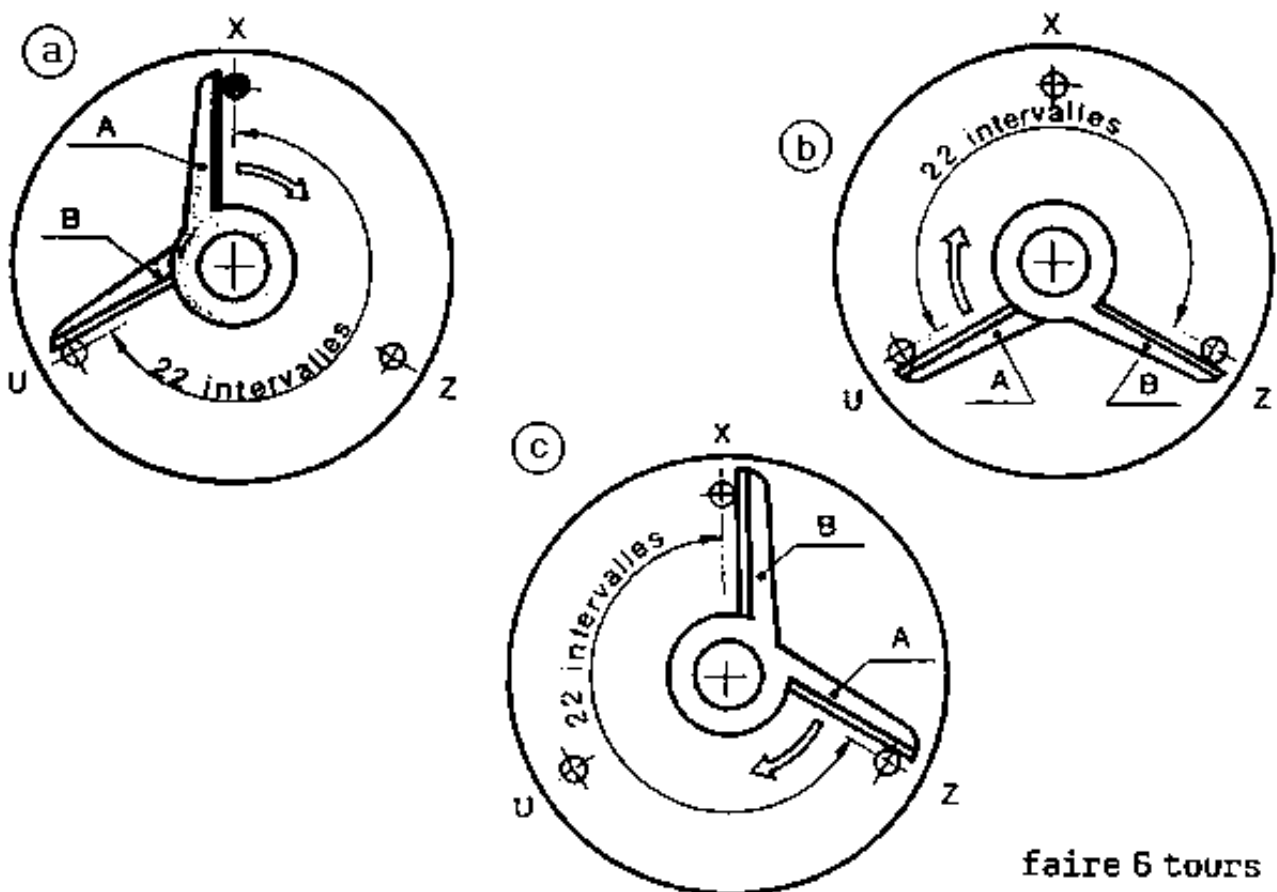


Figure 36 : Reglage des alidades d'un diviseur

- Déplacer l'alidade (de façon à situer la branche A en position U, fig. B), et exécuter le 2^e cran.

- Dégager le pointeau, comptés en **A**, venir engager le pointeau au 23^e trou en appui sur **B** (position **Z**, fig. 36b).
- Déplacer l'alidade (situer la branche **A** en position **Z**, fig. 36c) et exécuter le 3^e cran.
- Dégager le pointeau, faire 6 tours comptés en **A**, venir engager le pointeau au 23^e trou en appui sur **B** (position **X**, fig. 36c).
- Déplacer l'alidade (de façon à situer la branche **A** en position **X**).
- Le cycle recommence au point de départ.

II.8.10. Applications pratiques

1^{er} PROBLEME:

Soit $K = 40$, $N = 36$. Appliquons :

$$\frac{K}{N} = \frac{40}{36} = \frac{10}{9} = 1\frac{1}{9} \text{ tr.}$$

Choisir le plateau n° 2, rangée de 27 trous, par exemple. Régler l'alidade à:

$$\frac{1}{9} \times \frac{3}{3} = \frac{3}{27}$$

3 → intervalles, soit 4 trous

27 → rangée de 27 trous

Effectuer pour une division:

$$1\frac{3}{27} \text{ tour}$$

2^e PROBLEME:

Soit $K = 40$, $N = 72$. Appliquons

$$\frac{K}{N} = \frac{40}{72} = \frac{5}{9} \text{ tour}$$

Choisir le plateau n° 1, rangée de 18 trous, par exemple. Régler l'alidade à:

$$\frac{5}{9} \times \frac{2}{2} = \frac{10}{18}$$

10 → intervalles, soit 11 trous

18 → rangée de 18 trous

Effectuer pour une division:

$$\frac{10}{18} \text{ tour}$$

3^e PROBLEME:

Soit $K = 40$, $\alpha = 22^\circ 30'$.

Transformons $22^\circ 30'$ en minutes. $22^\circ 30' = 1350'$.

$$\text{Appliquons } \frac{K \times a^\circ}{360^\circ} = \frac{K \times a'}{21\,600'} = \frac{40 \times 1\,350'}{21\,600'} = \frac{135}{54} = 2\frac{27}{54} \text{ tr} = 2\frac{1}{2} \text{ tr}$$

Choisir le plateau n° 1, rangée de 20 trous, par exemple. Régler l'alidade à:

$$\frac{1}{2} \times \frac{10}{10} = \frac{10}{20}$$

10 → intervalles, soit 11 trous

20 → rangée de 20 trous

Effectuer pour une division:

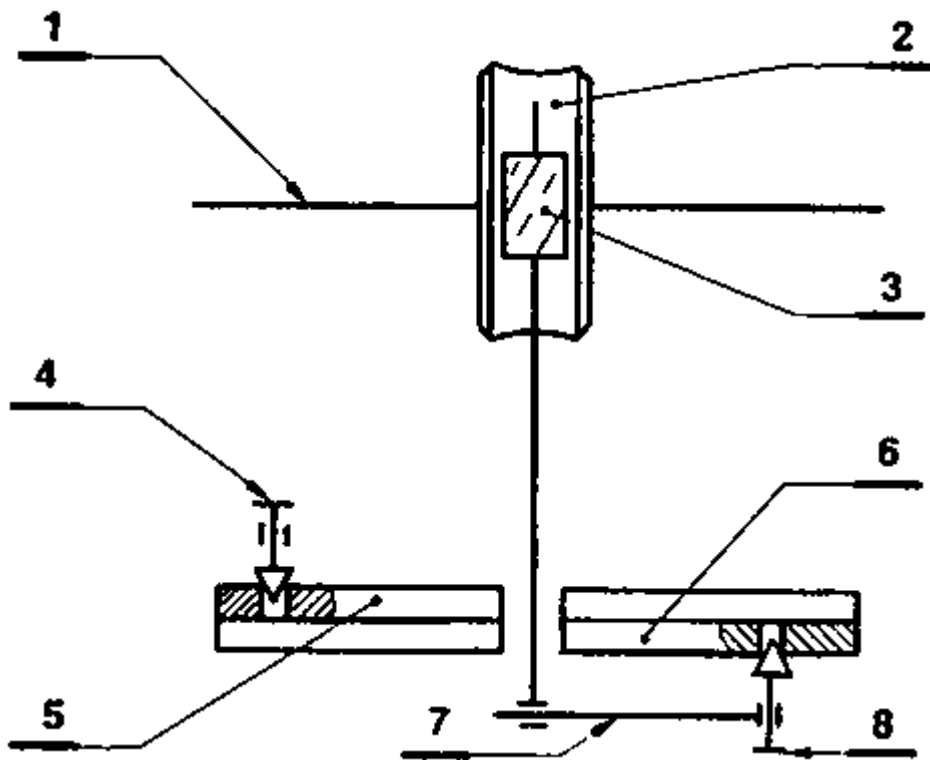
$$2\frac{10}{20} \text{ tours}$$

II.9. Division composée:

II.9.1. Principe de fonctionnement du diviseur (fig. 37)

Lorsqu'on fait évoluer la manivelle, les deux plateaux (**solidaires l'un de l'autre**), sont immobilisés par un pointeau arrière fixe en rotation. Lorsque l'on dégage le pointeau arrière, on peut faire évoluer l'ensemble plateaux-manivelle, à condition que le pointeau avant soit engagé dans un trou.

NOMENCLATURE	
1	Axe broche



2	Roue creuse
3	Vis sans fin
4	Pointeau arrière
5	Plateau à trous arrière
6	Plateau à trous avant
7	Manivelle
8	Pointeau avant

Figure 37 : schémas cinématique à division composée

II.9.2. Problème à résoudre

Soit à tailler les 57 dents d'un engrenage cylindrique droit en vue d'une réparation. Quelle sera l'évolution nécessaire pour passer d'une dent à une autre dent avec un diviseur de rapport $K = 40$?

- Appliquons la formule: $K/N = 40/57$. On dispose pas de cercle de 57 trous, le problème n'est pas réalisable en division simple. La méthode de division composée exposée ci-dessous permet de résoudre celui-ci.
- Décomposons le dénominateur de la fraction $40/57$, en un produit.
- On a :

$$\frac{40}{57} = \frac{40}{3 \times 19}$$

- Remplaçons le numérateur par deux nombres, l'un multiple de 3(X), l'autre de 19(Y).

La somme, ou la différence de ces deux nombres ($X + Y$) ou ($X - Y$) doit être égale à 40.

Recherche des deux nombres :

X (multiples de 3)	3 - 6 - 9 - 12 - 15 - 18 - (21) - 24 - 27 - 30 - 33 - (36) - etc.
Y (multiples de 19)	(19) - 38 - 57 - (76) - 95 - 114 - 133 - 152 - 171 - etc.
X + Y = 40	Une seule solution : 21 + 19 = 40
Y - X = 40	Une seule solution : 76 - 36 = 40

Trouvons dans les lignes des multiples deux nombres **X** et **Y**. L'un (X) étant multiple de 3, l'autre (Y) multiple de 19, dont la somme ou la différence soit égale à 40.

1^{re} solution: p

$$\star \frac{40}{57} = \frac{40}{3 \times 19} = \frac{(21)}{3 \times 19} + \frac{(19)}{3 \times 19} = \frac{7}{19} + \frac{1}{3} = \frac{7}{19} + \frac{11}{33}$$

2^e solution:

$$\star \text{ ou } \frac{40}{57} = \frac{40}{3 \times 19} = \frac{(76)}{3 \times 19} - \frac{(36)}{3 \times 19} = \frac{4}{3} - \frac{12}{19} = \frac{28}{21} - \frac{12}{19}; \text{ soit : } 1 \text{ tr } \frac{7}{21} - \frac{12}{19}$$

Manœuvres à effectuer :

- Pour la 1^{re} solution, monter sur le diviseur les plateaux 1 et 2.
- Régler l'alidade à 7 intervalles sur le plateau avant, rangée de 19 trous.
- Régler l'alidade à 11 intervalles sur le plateau arrière, rangée de 33 trous.
- Effectuer 7 intervalles, soit 8 trous, sur la rangée de 19 trous du plateau avant, à l'aide de la manivelle. Engager le pointeau avant (fig. 38a).
- Dégager le pointeau arrière et tourner dans le **même sens** que lors de la première évolution, l'ensemble plateau-manivelle de 11 intervalles, soit 12 trous, sur la rangée de 33 trous du plateau arrière.
- Engager le pointeau arrière (fig. 38b).

II.9.3. Formule générale

$$\frac{K}{N} = \frac{X}{a \times b} \pm \frac{Y}{a \times b}$$

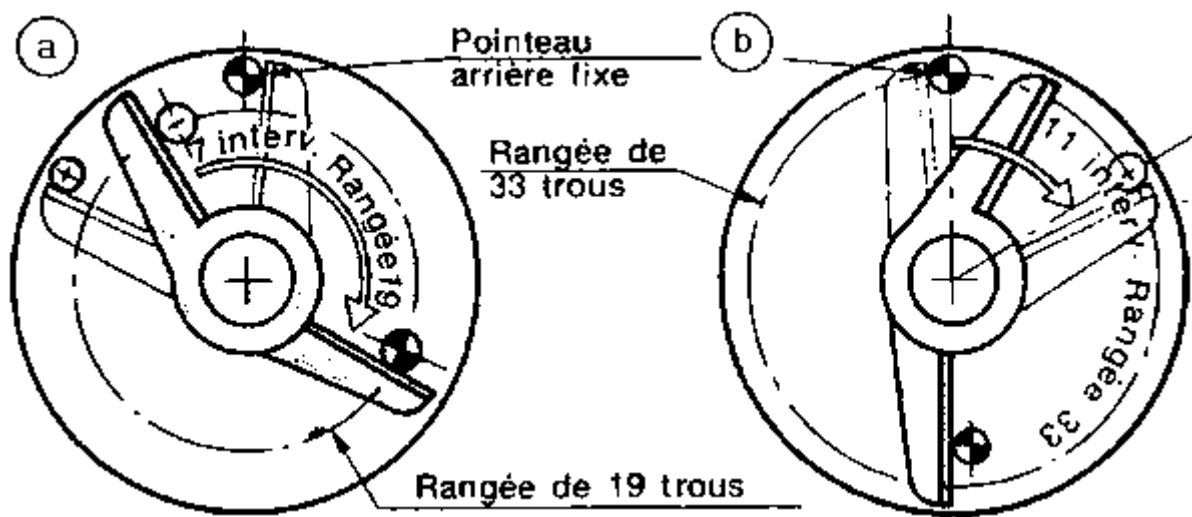


Figure 38 : Reglage des alidades d'un diviseur à division composée

K = Rapport du diviseur ($K = 40$ ou 60). N = Nombre de divisions à effectuer.

X = Première inconnue multiple de a .

Y = Deuxième inconnue multiple de b .

$$a \times b = N. X + Y = K \text{ ou } X - Y = K.$$

REMARQUE:

Les évolutions sont à faire dans le même sens lorsque les fractions s'ajoutent; en sens inverse, lorsque les fractions se soustraient.

II.9.4. Exemples numériques

1^{er} PROBLEME: $K = 40$. $N = 63$. $a \times b = 9 \times 7 = 63$. Recherchons X et Y .

X (multiples de 9)	9-18-27-36-45-(54)-63-72-81-90-99...
Y (multiples de 7)	7-(14)-21-28-35-42-49-56-63-70-77...
X+Y	Aucune solution
X-Y	Une seule solution : $54 - 14 = 40$

On peut alors écrire:

$$\frac{K}{N} = \frac{40}{63} = \frac{X}{9 \times 7} - \frac{Y}{9 \times 7} = \frac{54}{9 \times 7} - \frac{14}{9 \times 7} = \frac{6}{7} - \frac{2}{9} = \frac{42}{49} - \frac{6}{27}$$

2^e PROBLEME: $K = 40$. $\alpha = 172^\circ 45'$.

- **Transformons** $172^{\circ}45'$ en minutes. $172^{\circ}45' = 10320' + 45' = 10365'$
- **Appliquons** la formule de la division angulaire:

$$\frac{K \times \alpha}{360} = \frac{40 \times 10\,365'}{21\,600'} = \frac{10\,365'}{540'} = \frac{2\,073}{108} = \frac{691}{36}$$

- On peut alors écrire:

$$\frac{691}{36} = \frac{X}{a \times b} \pm \frac{Y}{a \times b} = \frac{X}{9 \times 4} \pm \frac{Y}{9 \times 4}$$

- Après recherche, $X = 700$ et $Y = 9$. D'où $X - Y = 700 - 9 = 691$.
- Remplaçons les lettres par leur valeur:

$$\frac{\frac{700}{9 \times 4} - \frac{9}{9 \times 4}}{1} = \frac{175}{9} - \frac{1}{4} = 19 \text{ tr } \frac{4}{9} - \frac{1}{4} = 19 \text{ tr } \frac{12}{27} - \frac{5}{20}$$

REMARQUES:

- Il est préférable d'adopter une solution conduisant à deux mouvements additifs pour éviter l'erreur due au jeu fonctionnel.
- Les deux mouvements peuvent être effectués sur certains appareils par rapport à un même plateau comportant sur chaque face des rangées de trous percés à mi-épaisseur.

II.10. Division différentielle:

II.10.1. Intérêt de la méthode

Pour les divisions en **nombre premiers**, la méthode de division simple ne conduit pas toujours au résultat souhaité en raison du nombre limité des rangées de trous des plateaux. On utilise **la méthode différentielle**.

II.10.2. Problème à résoudre

- Soit à effectuer $N = 59$ divisions sur un diviseur de rapport $K = 40$.
- La division **simple** n'est pas **réalisable** (si l'on ne possède pas une rangée de 59 trous).
- **Choisissons** un nombre de divisions N' voisin de N et réalisable en division simple.

$$2 \text{ CAS } N' = 60, \text{ donc } N' > N$$

$$N' = 56, \text{ donc } N' < N$$

a. Calculons la division simple correspondant à N'

1^{er} cas: $N' > N$

$K/N' = 40/60 = 2/3$ manivelle, soit 22/33, de tour.

RAPPEL:

Evolution de la manivelle pointeau: 22 intervalles, soit 23 trous, rangée de 33 trous, plateau n° 2.

2^e cas: $N' < N$

$K/N' = 40/56 = 5/7 = 15/21$ de tour de manivelle.

RAPPEL: Evolution de la manivelle-pointeau: 15 intervalles, soit 16 trous, rangée de 21 trous, plateau n° 2.

Observation :

Dans le 1^{er} cas ($N' = 60$), nous aurions **1 division en trop.**

Dans le 2^{er} cas ($N' = 56$), nous aurions **3 divisions en moins.**

b. Erreur commise pour une division effectuée

1^{er} cas: $N' > N$

L'erreur est:

$$\frac{40}{N'} - \frac{40}{N}$$

puisque :

$$\left(\frac{40}{59} > \frac{40}{60}\right)$$

2^e cas: $N' < N$

L'erreur est:

$$\frac{40}{N'} - \frac{40}{N}$$

puisque :

$$\left(\frac{40}{56} > \frac{40}{59}\right)$$

Correction de l'erreur :

Il faut donc **corriger cette erreur**: si pendant le déplacement de la manivelle le plateau à trous tourne (**mouvement différentiel**), dans un sens ou dans l'autre, on peut compenser cette erreur.

1^{er} cas: $N' > N$ (fig. 39a)

L'écart angulaire α_1 obtenu pour une division est trop petit. Il faut que le plateau tourne dans le même sens que la manivelle, d'une valeur α_2 , pour que le pointeau atteigne le trou **A** en position **A'**.

$N' > N$: la manivelle et le plateau tournent dans le même sens.

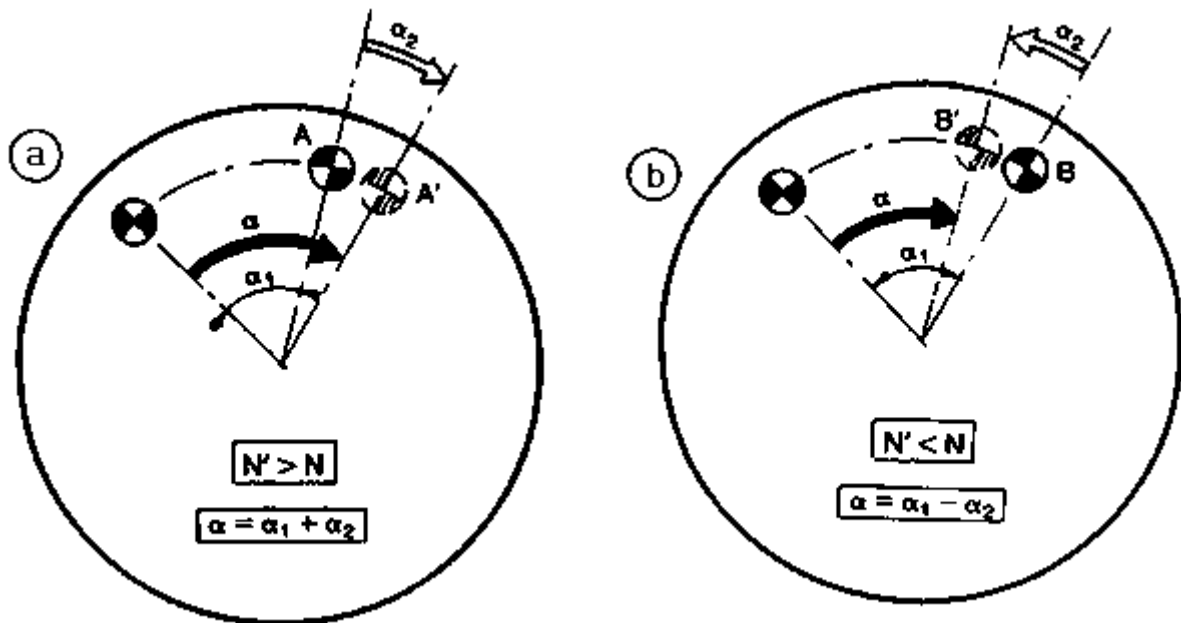


Figure 39 : correction de l'erreur

α_1 Déplacement angulaire manivelle pour
 α_2 Déplacement angulaire différentiel du plateau
 α Déplacement angulaire réel du pointeau

2^e cas: $N' < N$ (fig. 39b)

L'écart angulaire α_1 obtenu pour une division est trop grand. Il faut que le plateau tourne en sens inverse par rapport à la manivelle d'une valeur α_2 , pour que le pointeau atteigne le trou **B** en position **B'**.

$N' < N$: la manivelle et le plateau tournent en sens inverse.

II.10.3. Solution technologique

Il faut faire tourner le plateau de α_2 . (Mouvement différentiel) Par l'action d'un train d'engrenages (fig. 40)

a. Principe :

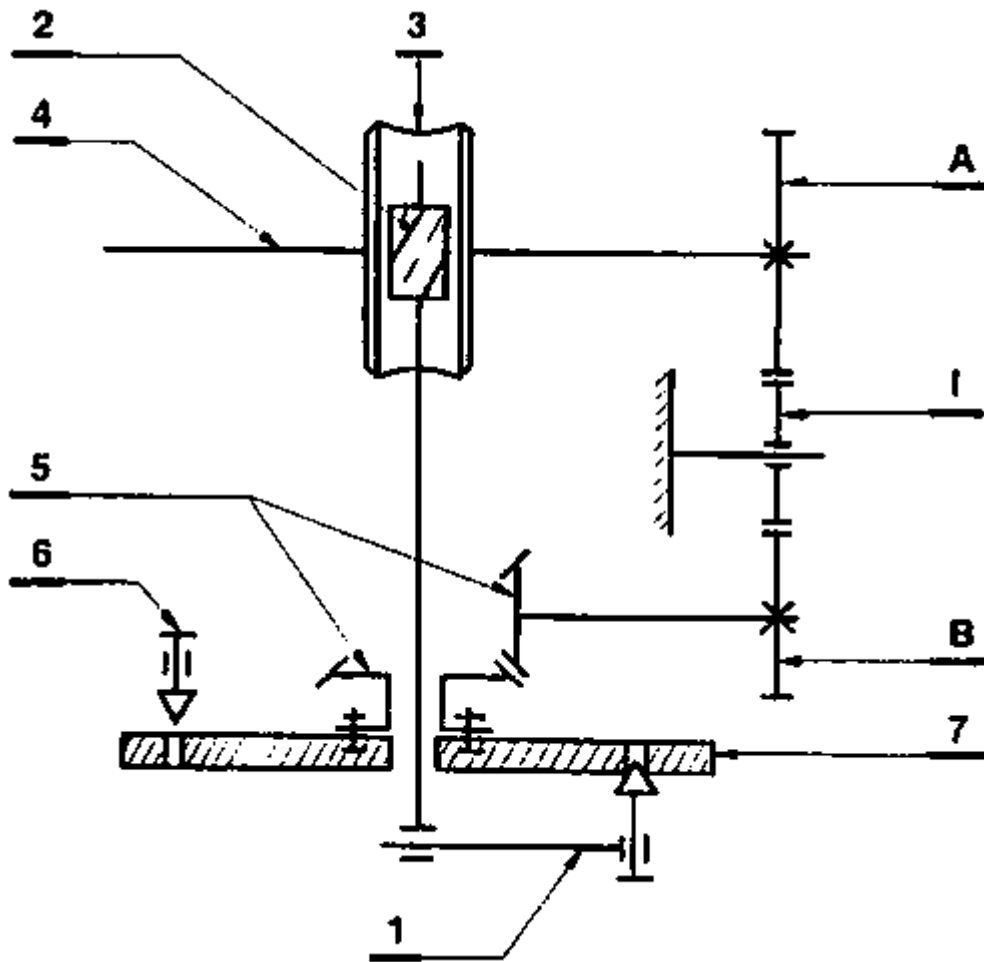


Figure 40 : schémas cinématique d'un diviseur commandé par la fraiseuse

La manivelle **1** entraîne la vis sans fin **2** ainsi que la roue creuse **3**. La broche **4** tourne et actionne la roue **A** qui commande la roue intermédiaire **I** et la roue **B**. Cette dernière est liée par un couple conique **5** ($r = 1$) au plateau à trou **7** (dont le verrou **6** est retiré).

Remarque : Le plateau à trous tourne.

b. Modification du sens de rotation du plateau (fig. 41 et 42)

Le sens de rotation varie suivant le type de diviseur utilisé. Il n'est pas possible de définir à l'avance un montage, de roues suivant $N' > N$ ou $N' < N$: on intercale donc, suivant le cas, une ou deux roues intermédiaires qui ne modifient en rien le rapport.

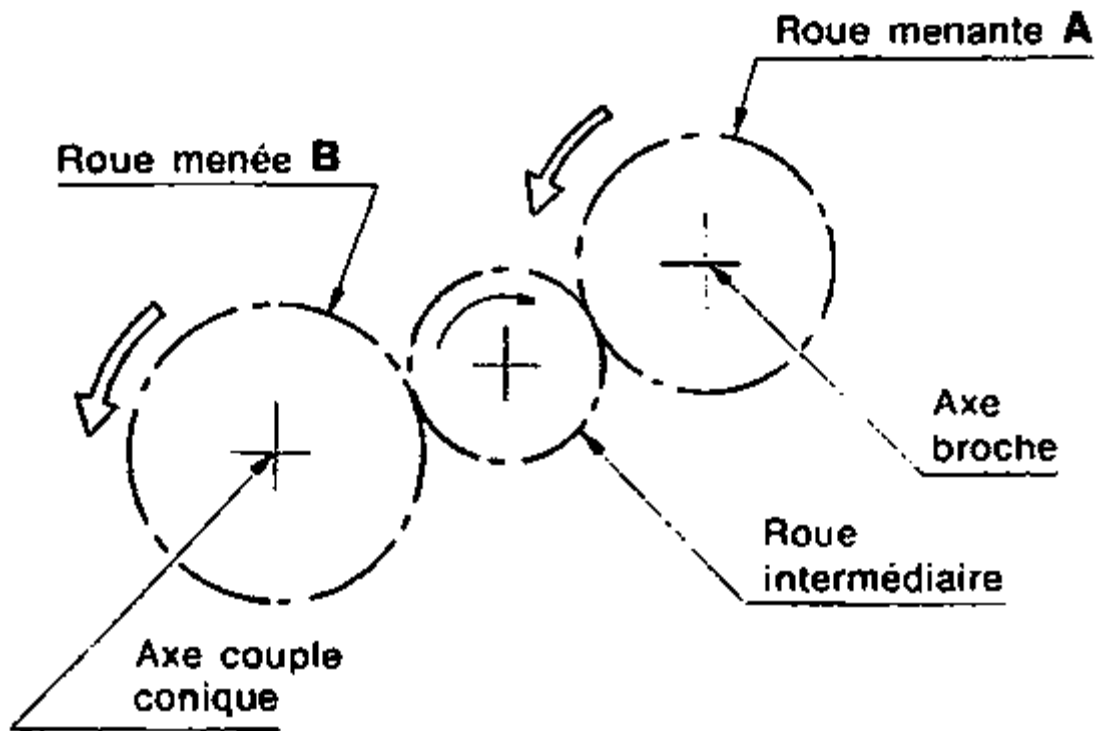


Figure 41 : Commande d'un diviseur par trois roues

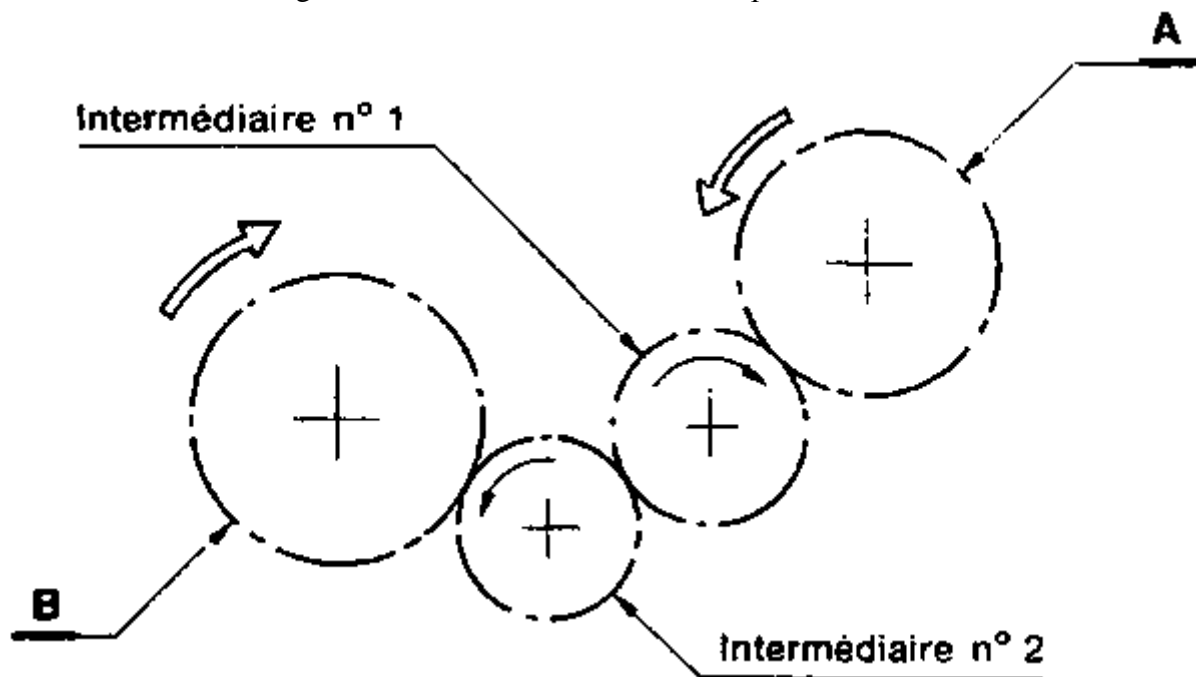


Figure 42 : Commande d'un diviseur par quatre roues

c. Calcul du train d'engrenages (fig. 43)

Recherche de la formule générale pour $N' > N$

- Evolution angulaire de la broche pour 1 division en N parties égales:

$$\omega_{\text{broche}} = 1/N.$$

- Evolution de la roue A: $\omega_A = 1/N.$

- Evolution de la roue **B**:

$$\omega_B = \frac{1}{N} \times \frac{Z_A}{Z_B}$$

- Evolution de couple conique (r = 1):

$$\omega_C = \frac{1}{N} \times \frac{Z_A}{Z_B}$$

- Evolution du plateau à trous (mouvement différentiel):

$$\omega_p = \frac{1}{N} \times \frac{Z_A}{Z_B}$$

- L'évolution angulaire du plateau à trous (α_2), pour une division en N Parties, est égale à la différence:

$$\frac{K}{N} - \frac{K}{N'} = \omega_p$$

- On a alors l'égalité:

$$\frac{K}{N} - \frac{K}{N'} = \frac{1}{N} \times \frac{Z_A}{Z_B}$$

- Réduisons au même dénominateur le 1^{er} terme:

$$\frac{KN' - KN}{NN'} = \frac{K(N' - N)}{NN'}.$$

L'égalité devient:

$$\frac{K(N' - N)}{NN'} = \frac{1}{N} \times \frac{Z_A}{Z_B}$$

* Effectuons:

$$\frac{\frac{K(N'-N)}{NN'}}{\frac{1}{N}} = \frac{Z_A}{Z_B} \quad \text{ou} \quad \frac{K(N'-N)}{NN'} \times N = \frac{Z_A}{Z_B}$$

- Simplifions par N dans le 1^{er} terme.
- Formule générale:

$$\frac{K(N'-N)}{N'} = \frac{Z_A}{Z_B} \quad \text{pour } N' > N$$

REMARQUE:

La formule devient:

$$\frac{K(N - N')}{N'} = \frac{Z_A}{Z_B} \quad \text{pour } N' < N$$

d. Marche à suivre

Choisir	La division approchante N'.
Calculer	La division simple réalisable K/N'.
Définir	Le nombre d'intervalles, la rangée de trous à sélectionner. Le n° du plateau à trous à monter.
Etablir	L'équipage de roues à monter.
Déterminer	Le sens de rotation du plateau.

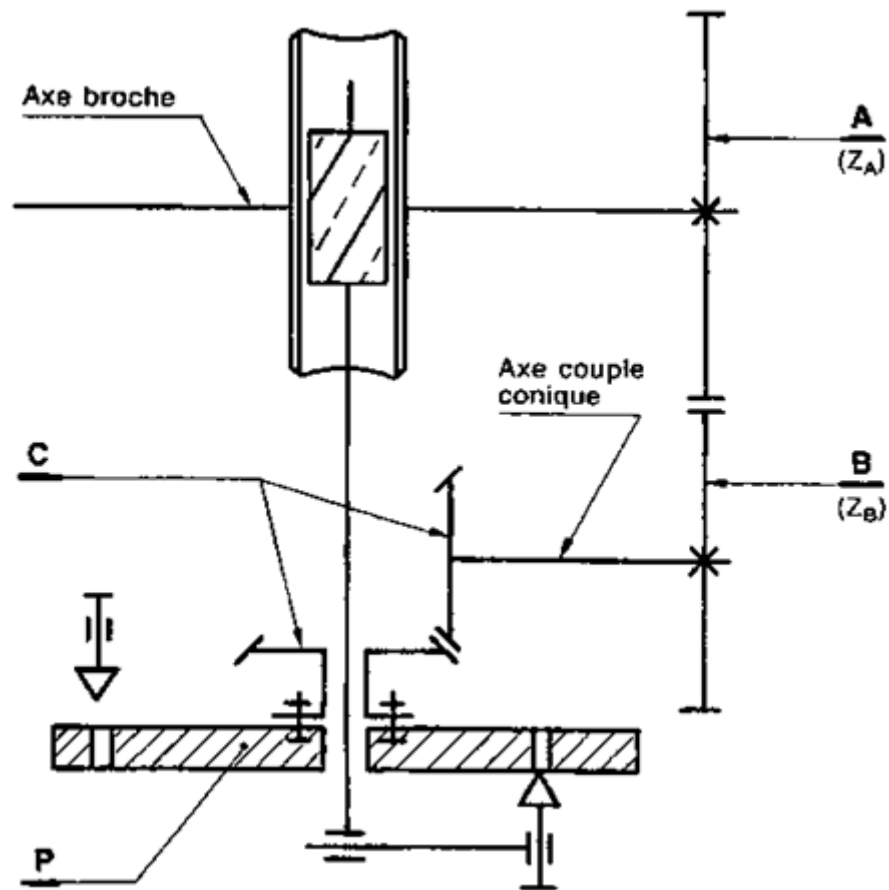


Figure 43 : schéma cinématique

II.10.4. Applications numériques

- Plateaux à trous disponibles:

N° 1	15	16	17	18	19	20
N° 2	21	23	27	29	31	33
N° 3	37	39	41	43	47	49

- Roues dentées disponibles:

24-24-30-32-36-40-45-50-55-60-65-70-80-100 dents.

1^{er} problème:

$K = 40$, $N = 53$ (montage à 4 roues) (fig. 44).

Solution:

$$\frac{K}{N} = \frac{40}{53}$$

(fraction irréductible).

- Choix de N' : on choisit $N' = 52$ ($N' < N$).

- Calcul de la division simple réalisable:

$$\frac{K}{N'} = \frac{40}{52} = \frac{10}{13} = \frac{30}{39}$$

- Evolution de la manivelle-pointeau: 30 intervalles, soit 31 trous, rangée de 39 trous, plateau n°3.
- Calcul de l'équipage de roues. Appliquons, pour $N' < N$, la formule:

$$\frac{K(N - N')}{N'} = \frac{Z_A}{Z_B} \times \frac{Z_C}{Z_D}$$

$$\frac{40(53 - 52)}{52} = \frac{Z_A}{Z_B} \times \frac{Z_C}{Z_D}; \quad \frac{40}{52} = \frac{5}{4} \times \frac{8}{13} = \frac{45}{36} \times \frac{40}{65} = \frac{Z_A}{Z_B} \times \frac{Z_C}{Z_D}$$

Les roues menantes A et C auront: 45 et 40 dents.

Les roues menées B et D auront: 36 et 65 dents.

REMARQUES:

- En cas d'impossibilité de montage, d'autres engrenages sont utilisables.
- Sens de rotation du plateau. $N' < N$ ($52 < 53$): la manivelle et le plateau tournent en **sens inverse**. Cette condition sera obtenue en intercalant, ou non, une roue intermédiaire entre A et B, ou C et D, suivant le type de diviseur utilisé.

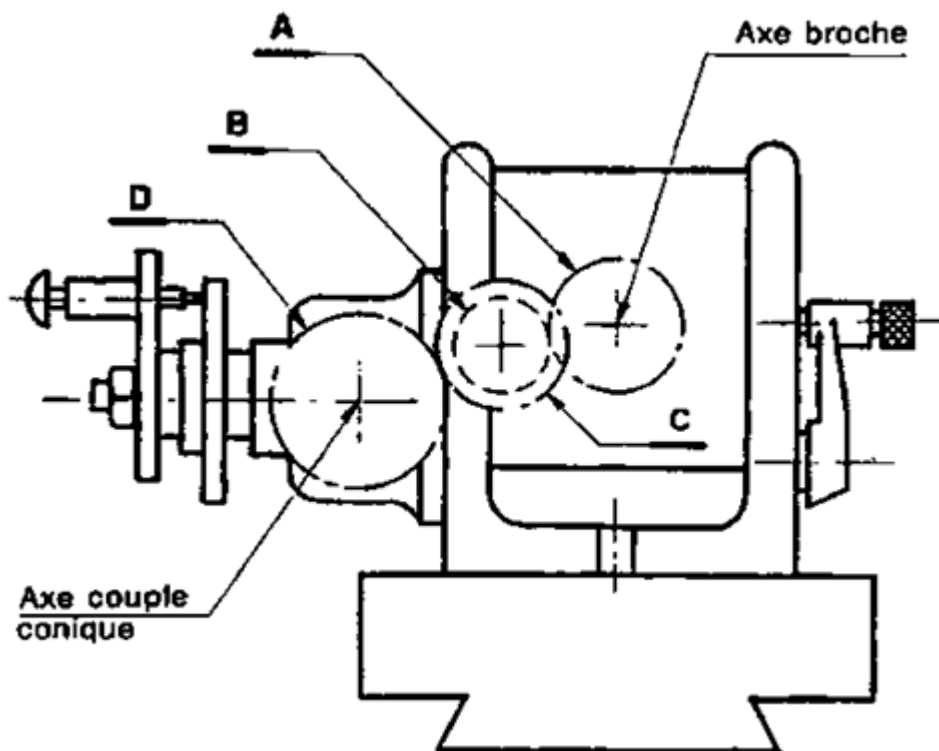


Figure 44 : diviseur à quatre roues

2^e problème:

Soit à tailler une roue à rochets de 97 dents :

- 1) Calculer la division simple réalisable (N').
- 2) Calculer l'équipage de roues à monter (montage à 2 roues)
- 3) Déterminer le sens de rotation du plateau.

Solution:

- $K/N = 40/97$ (fraction irréductible).
- Choix de N': on choisit $N' = 100$ ($N' > N$).
- Calcul de la division simple réalisable:

$$\frac{K}{N'} = \frac{40}{100} = \frac{2}{5} = \frac{6}{15}$$

- Evolution de la manivelle pointeau: 6 intervalles, soit 7 trous, rangée de 15 trous, plateau n° 1.
- Calcul de l'équipage de roues. Appliquons pour $N' > N$ formule:

$$\frac{K(N'-N)}{N'} = \frac{Z_A}{Z_B}$$

$$\frac{40(100-97)}{100} = \frac{Z_A}{Z_B}; \quad \frac{40 \times 3}{100} = \frac{120}{100} = \frac{6}{5} = \frac{60}{50} \quad \text{ou} \quad \frac{36}{30} = \frac{Z_A}{Z_B}$$

La roue menante A aura: 60 ou 36 dents.

La roue menée B aura: 50 ou 30 dents.

- Sens de rotation du plateau. $N' > N$ ($100 > 97$): la manivelle et le plateau tournent dans le **même sens**.
Pour obtenir celui-ci intercaler, entre A et B, 1 ou 2 intermédiaires, suivant le type de diviseur utilisé.

REMARQUES:

- La valeur $(N' - N)$ multipliant K doit être **très petite**.
- Ainsi équipé, le diviseur ne permet plus le taillage hélicoïdal.

TABLE DES DIVISIONS DIFFÉRENTIELLES							
Division à effectuer N	Division choisie N'	Sens de rotation du plateau par rapport à la manivelle	Engrenages				
			A	B	C	D	
51	50	Sens Inverse	24	30			
53	52	Sens Inverse	24	24	50	65	
57	60	Même sens	60	30			
59	60	Même sens	40	60			
61	60	Sens inverse	40	60			
63	60	Sens inverse	60	30			
67	70	Même sens	80	40	60	70	
69	70	Même sens	40	70			
71	70	Sens inverse	40	70			
73	72	Sens inverse	50	45	30	60	
77	75	Sens inverse	30	45	80	50	
79	80	Même sens	40	80			
81	80	Sens inverse	40	80			
83	80	Sens inverse	60	40			
87	90	Même sens	80	60			
89	90	Même sens	40	60	30	45	