FICHE TECHNIQUE
USINAGE PIGNON DROIT

FPe34

1. INTRODUCTION

Cette fiche technique vient en complément à la fiche ***FPe17***, engrenages droit. Elle traite de la méthode de taillage des engrenages droits. Le taillage des engrenages à denture droite, consiste au fraisage du profil compris entre deux dents, nous parlerons de **fraise module**.

Il n'est pas toujours facile de trouver les engrenages qui conviennent et ils sont finalement assez coûteux. Il existe des traités entiers sur la théorie, la conception et la fabrication des engrenages, preuve que le sujet n'est pas trivial. Pour les engrenages courant (développante de cercle) de types droit, oblique ou à vis sans fin, leur usinage n'est pas très difficile mais demande de la minutie. En gros deux types(1) d'usinages intéressent l'amateur :

- A/ par fraise module
- B/ par fraise mère *(pour information)*

2. 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 regroupés en 8 paliers jusqu'au module 10 inclus, et 15 paliers au dessus du module 10.
Pour nous modéliste, nous utiliserons les modules entre 0,4 et 1,25.

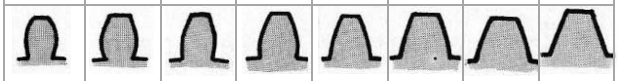
Ils sont largement utilisés en horlogerie traditionnelle. Les principales caractéristiques sont :

- une taille lente, dent par dent
- une division précise pour retomber dans le pas
- un jeu (6 à 8 outils) par module, chaque outil ne taillant qu'un nombre de dent donné.
- Outillage coûteux(2) et difficile à fabriquer pour un amateur

Un jeu est constitué de 8 fraises numérotées de 1 à 8 pour tailler de 12 à 135 dents.

NB : L'infinie de la N°8 correspond à la crémaillère.

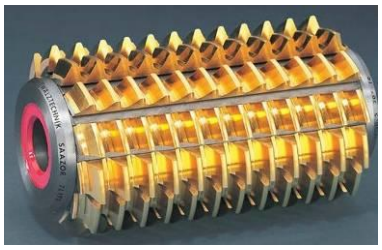
Attention pour les fraises-modules anglo-saxonnes en Diamétral Pitch c'est le contraire, leur n°1 correspond à la n°8 du système métrique.

N° des fraises utilisées							
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
12 – 13 dents	14 – 16 dents	17 – 20 dents	21 – 25 dents	26 – 34 dents	35 – 54 dents	55 – 134 dents	135 à ∞
							

(1) Il existe aussi les usinages par brochage, outil crémaillère, électroérosion, taille directe en machine à commande numérique, frittage, moulage.
(2) Au moment de la rédaction de ce mémo on trouvait cependant des outils d'origine chinoise tout à fait abordables

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

3. PAR FRAISE MÈRE



Cet usinage est basé sur le principe de l'engrènement d'une vis sans fin sur une roue dentée.
L'outil se présente comme un taraud dont l'angle de profil de vis[3] est égal à deux fois l'angle de pression de l'engrenage (en général 40° = 2*20°). Le pas de cette "vis" est le pas de l'engrenage.

Les principales caractéristiques sont :

- un seul outil par module (taille de 13 dents jusqu'à la crémaillère)
- outil peu coûteux pour les usinages standards. En étant minutieux on peut d'ailleurs se fabriquer l'outil.
- taille rapide
- taille réservée au profil de dent par développante de cercle (le plus courant)
- l'ébauche *doit tourner de façon synchronisée avec la fraise mère*, exactement comme le ferait un roue dentée engrenée sur un vis sans fin. Pour un amateur qui usine occasionnellement des engrenages, la synchronisation de la roue avec la fraise-mère reste un problème à résoudre. On peut voir sur Internet des usinages amateurs dans lesquels la roue à tailler tourne libre et est entraînée par la fraise mère elle-même.

4. INDEXATION SUR PLATEAU TOURNANT

On appelle aussi cet équipement *diviseur*. En anglais *rotary plate* ou *indexing plate*.

4.1. Conversion degrés sexagésimaux

(Le système sexagésimal est un système de numération utilisant la base 60.)

On trouve encore des angles qui sont exprimés dans cette unité. Il est beaucoup plus commode de les convertir en degrés décimaux.

1° vaut 60 minutes. Donc une minute d'angle vaut 1' = 1/60° = 0,016667°

1' d'angle vaut 60 secondes d'angle.

Donc une seconde d'angle vaut 1'' =1'/60 = (1°/60)/60 = 0,0002778

Exemple :

Degré	minute	seconde
15	44'	13"
15	44*0,016667=0,7333348	13*00002778=0,0036

La valeur de l'angle en degrés décimaux vaut 15,734.

(3) Pour les filetages classiques l'angle de profil de vis vaut 60°

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

5. APPAREILS DIVISEURS

Dans sa version la plus simple, celle utilisée par les amateurs, le mécanisme est basé sur une vis sans fin qui entraîne par engrènement le plateau tournant via une roue dentée. Une couronne graduée et une manivelle graduée avec vernier assurent l'indexation. Le rapport de réduction dépend du constructeur, mais en matériel grand public les rapports les plus courants sont 1:40 et 1:90. Cela signifie qu'il faut faire 40 ou 90 tours de manivelle pour un tour de plateau, c'est à dire 360°

1 tour de manivelle au ratio de 1:40 fera tourner le plateau de 360/40 = 9°
1 tour de manivelle au ratio de 1:90 fera tourner le plateau de 360/90 = 4°

La photo suivante montre un diviseur avec une contre-pointe et au premier plan les plateaux perforés avec l'alidade et le pointeau de positionnement. Ces accessoires servent à fiabiliser et accélérer les processus de division longs et répétitifs, comme la taille d'engrenages.

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

6. FABRICATION DES ENGRENAGES (USINAGE AMATEUR)

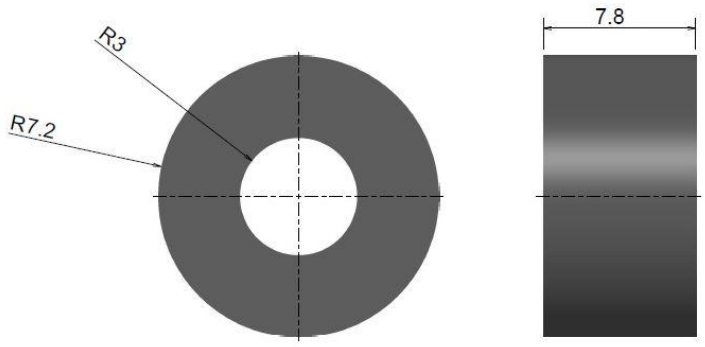
NOTE :
Nous décrivons la méthode que nous utilisons, ce n'est probablement pas la méthode académique.

6.1. La séquence est la suivante :

- calcul des caractéristiques géométriques de l'engrenage à tailler
- fabrication des ébauches
- montage sur fraiseuse entre pointes, en général avec sur un système diviseur (il existe des solutions plus simples en usinage amateur par recopie d'engrenage),
- réglage des axes
- taille directe

6.2. Calcul des caractéristiques géométriques

- Engrenages **Z** = 16 et **m** = 0,8
- Diamètre primitif **d** = m*Z = 16*0,8 = 12,8 mm
- Diamètre de tête **Da** = d+2*m = m*Z+2m = 14,4 mm, c'est le diamètre extérieur de l'ébauche
- Diamètre de pied **Df** = d- 2,5*m = 12,8-2,5*0,8 = 10,8 mm, ce sera le diamètre maxi de l'arbre d'usinage
- Hauteur de dent = 2,25 *m = 1,8 mm
- Saillie **ha** = m = 0,8 mm
- Épaisseur de dent = 3,14*m/2 = 3,14*0,8/2 = 1,2 mm
- Largeur d'engrenage 7*m < b < 16*m soit entre 5,5 mm et 13 mm
- Entre-axes théorique (sans jeu) **a** = m*(Z1+Z2)/2 = 0,8*(16+16)/2 = 12,8 mm.
- Angle de rotation pour avancer d'une dent **Delta_angle** = 360/Z = 360/16 = 22,5°
- Diamètre maxi de l'arbre si pignon rapporté sur un arbre :
  D = Df - 2*épaisseur de la couronne = 10,8 – 2*3 = 4,8 mm on prendra D = 5 mm



Engrenage Mod 1 Z=16
laiton ou bronze

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

6.3. Mode d'usinage des engrenages

Première étape : Ebauches

Rond de **D** = 15 mm ; pointage ; perçage à D-0,1 mm ;
Alésage à **D** ; **D** = diamètre de l'arbre recevant l'engrenage

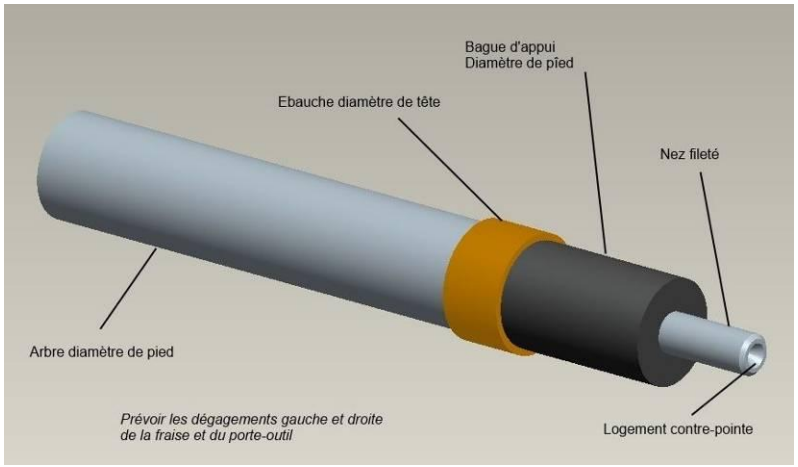
Commentaire :
Tronçonnage, reprise au tour pour mise à la cote de largeur du barreau « b » Comme nous avons 2 engrenages identiques on usine un barreau que l'on découpera à la demande Les erreurs étant vite arrivées il vaut mieux préparer deux ébauches.

Deuxième étape : Arbre d'usinage et mise à la cote de l'ébauche

- Penser à dimensionner l'arbre d'usinage de manière à disposer des dégagements latéraux pour la fraise et son arbre porte-outil.
- Usiner l'arbre outil en premier. Forer un logement de contrepointe au foret à centrer.
- Contrôler au comparateur qu'il n'y a pas de faux rond.
- Laisser l'arbre en place.
- Monter l'ébauche la serrer avec un écrou-frein ou écrou+contre-écrou
- Usiner à la cote Da = 14,4 mm en plaçant une contre-pointe tournante ou fixe. Contrôler au micromètre le diamètre
- Contrôler au comparateur qu'il n'y a pas de faux-rond
- Transférer l'ensemble vers le plateau diviseur

Commentaires :

L'idéal serait d'usiner l'arbre directement sur un porte-pince inséré dans la broche fixe du tour. On peut aussi centrer avec une grande précision sur un mandrin à 4 mors indépendants. Encore faut-il en avoir un et le processus est quelque peu fastidieux. On peut cependant avoir un centrage raisonnable avec un mandrin 3 mors en procédant de la façon suivante :
Prendre le rond au 3 mors en serrant modérément jusqu'à ne plus pouvoir faire bouger le rond à la main même en forçant. Avec un comparateur repérer le point le plus haut en faisant tourner le mandrin à la main. Noter au feutre. Continuer de tourner jusqu'à noter le point le plus bas. Retirer le comparateur. Calcul la valeur totale du faux-rond. A l'aide d'un petit marteau taper un coup léger et sec sur le mors le plus proche du point haut. Recommencer le contrôle. En général si le mandrin est de bonne qualité on aura un centrage à +/- quelques centièmes ; 0,07 mm total à 40 mm du mandrin dans mon cas. C'est largement suffisant pour ce type d'application.



*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

Pour Z = 16 et m =0,8 on a :

- diamètre de pied **Df** = 10,8mm
- diamètre de tête **Da** = 14,4mm

Troisième étape : Réglage de l'outillage. Montage

Montage sur la poupée diviseuse d'une alidade de division, si on en possède un bien sûr. Si cet accessoire est de qualité, le processus est accéléré et surtout le risque d'erreur et d'imprécision considérablement diminué.

*Voir **chapitre 7** la méthode décrivant le travail à l'alidade*.

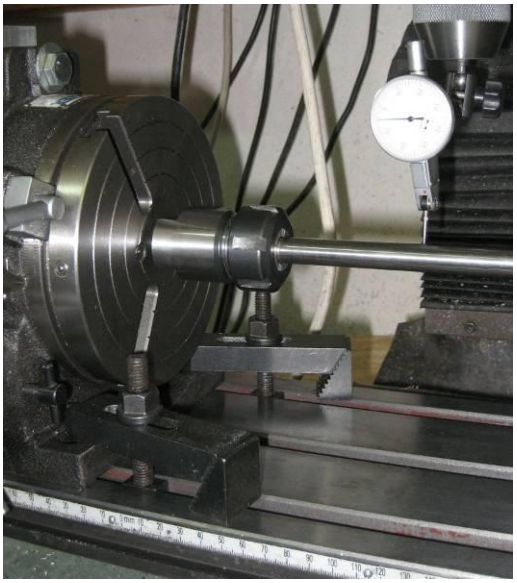
Sinon... on se fabrique une table d'angles à suivre, sur une feuille que l'on place sous pochette cristal. C'est assez fastidieux et les risques d'erreur sont très élevés. Cela va bien lorsque le nombre de dents est faible.

Il y a 16 dents donc l'accroissement angulaire est de **Delta** = 360/16 = 22,5°

Etape	0	1	2	3	4	5	6	7
Angle	**0**	**22,5**	**45**	**67,5**	**90**	**112,5**	**135**	**157,5**

Etape	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Angle	**180**	**202,5**	**225**	**247,5**	**270**	**292,5**	**315**	**337,5**	**360**

- Alignement de l'axe de la poupée diviseuse avec le grand axe de la table. (Conventionnellement nommé X)
- Après bridage vérifier le parallélisme de cet axe avec la surface du plan de la table
- Réglage de la fraise-module par rapport à l'axe de poupée diviseuse.
- Montage du dispositif d'usinage avec son ébauche
- Montage de la contrepointe fixe qui ne sert qu'à reprendre les efforts de poussée latéraux.
- Réglage d'affleurement de l'outil



Vérification de l'alignement de l'axe du diviseur avec l'axe longitudinal de la table et vérification de son parallélisme avec la surface. On utilise une barre rectifiée et un comparateur.

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

Une fois ceci effectué on monte l'ébauche sur le plateau diviseur. Ensuite on vérifie au comparateur qu'il n'y a pas de faux-rond sur l'ébauche en faisant tourner la poupée avec sa manivelle. Ces plateaux tournant ne sont pas vraiment conçus d'origine pour travailler dans cette position verticale et il convient de s'assurer que tout est en ordre. Quelques dixièmes de faux rond sur un engrenage de petit module et l'engrenage est bon pour la caisse à rebuts. C'est tout l'intérêt d'une poupée fixe qui va diminuer le faux rond lié aux jeux.

6.4. Réglage de la hauteur d'outil

Cette étape est absolument cruciale pour la qualité d'engrènement. Elle ne souffre aucun compromis.

- On mesure préalablement l'épaisseur de la fraise-module
- Ensuite on utilise un inclinomètre électronique, appareil qui est très peu coûteux. Mise à zéro sur la table de fraiseuse bien nettoyée. Pose sur une cale de fraisage rectifiée. L'équipage est mis en appui sur l'outil et sur l'ébauche. Bien vérifier que la cale repose sur le corps de l'outil dont on a mesuré l'épaisseur. Réglage à zéro de l'inclinomètre par déplacement vertical fin de la broche de fraiseuse. Descente de la broche de (D_ébauche – Epaisseur_fraise)/2
- On peut aussi utiliser une pige de réglage avec bagues additionnelles. C'est une méthode sûre et précise intéressante surtout pour des équipements régulièrement utilisés comme la poupée diviseuse.

6.5. Quatrième étape : Usinage

- L'ébauche est montée sur l'arbre d'usinage et maintenue avec l'aide de la contrepointe qui va reprendre une partie des efforts.
- On procède, pas à pas en bloquant le plateau du diviseur avant chaque taille. La profondeur de passe dépend du matériau, du diamètre du barreau et... de la rigidité de la fraiseuse.

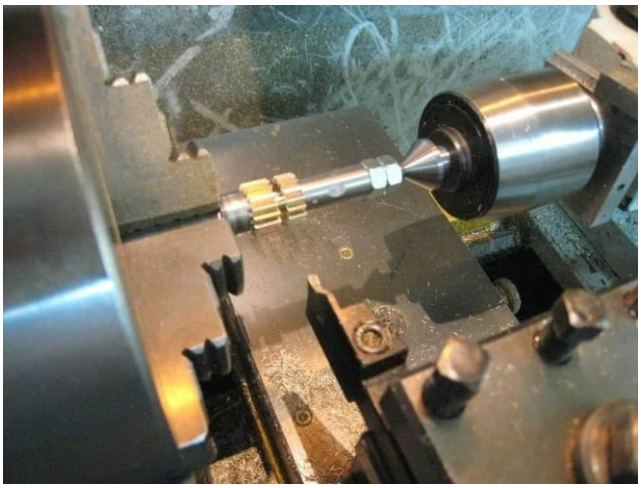
6.6. Profondeur de passe

La profondeur de passe est égale à la profondeur de dent h = 2,25*m pour les engrenages standards. Sur les machines industrielles on procède en deux passes : ébauche 4/5 h et finition 1/5 h. Pour une dent de profondeur 1,8 mm on ébauchera à 1,8*4/5 = 1,44 mm soit 1,4 mm et on finira par une passe de 1,8-1,4 = 0,4mm

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

6.7. Découpage du barreau

On débite ensuite le barreau usiné selon les besoins.



Ci-contre tronçonnage au tour.

Point important : les deux engrenages doivent avoir la même épaisseur

La mise à l'épaisseur se fait au tour avec une prise par les moyens classiques : mors doux, bague fendue, pince,....

Commentaires

On voit ci-dessus un petit dispositif pour ceux qui, comme moi, ne disposent pas de mors doux.
Le principe est simple. On part d'un rond d'alu ou de laiton que l'on alèse pour s'insérer au plus juste sur le mors dur. Ce mors doux ne doit pas dépasser de plus de 1 à 2mm du mors

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

dur car il n'est pas capable de reprendre de porte à faux. On place deux vis THC qui servent uniquement à maintenir le mors en place lorsque l'on desserre. Ces vis ne sont clairement pas destinées à récupérer un jeu excessif. On commence par insérer les mors doux sur les mors durs et on serre le mandrin jusqu'à ce que les mors soient en appui ferme deux à deux, comme montré sur la photo. On serre alors les vis THC. Ce type de montage ne garantit pas le centrage fin de la pièce, centrage qu'il faudra vérifier. Je me sers de ce montage surtout pour dresser les faces ou mettre à la longueur précise.

7. PLATEAUX PERFORÉS

Par exemple si 40 est le ratio du diviseur 57= 1*40 + 17 ; le quotient est 1 et le reste 17 ce que l'on peut aussi écrire 57/40= 1+17/40

Si on doit tourner faire tourner le plateau d'un angle â avec un diviseur de ratio K le nombre de tours de manivelle sera :

TM = K/360* â

Exemple K = 90 et â = 15°24'
A = 15+24/60 = 15,4°
TM = 90/360*15,4 = 3+306/360 = 3+17/20

Donc 3 tours et 17/20ème de tour.

Les plateaux perforés munis de leur alidade sont justement là pour tourner d'une fraction de tour. Le repérage se fait avec la manivelle munie du pointeau

7.1. Choix du plateau

Selon les constructeurs le nombre de divisions des plateaux peuvent varier, mais on retrouve souvent cette distribution.

A	15	16	17	18	19	20
B	21	23	27	29	31	33
C	37	39	41	43	47	49

On choisira un plateau avec une rangée dont le nombre de trous soit égal ou multiple entier du dénominateur.

Nota : si l'on prend par exemple la rangée de 15 trous, lorsqu'on on avance d'un intervalle avec le pointeau la pièce tournera de (360/15)/90= 0,267°, en effet il ne faut pas oublier le ratio de démultiplication qui est de 90:1 dans cet exemple.

Par exemple, soit à tailler **Z** = 57 dents d'engrenage avec un plateau de ratio **K** = 90.

Entre chaque dent on a un écart angulaire â = 360/57°. Donc pour avancer d'une dent on va avoir à manœuvrer de â/4 = 360/57/4 = 90/57 tours c'est-à-dire :

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

K/Z = 90/57 = 1+33/57 = 1+(3*11)/(3*19) = 1+11/19

On doit tourner de 1 tour et 11/19ème de tour pour passer d'une dent à l'autre. On choisit alors : Plateau A sur la rangée de 19 trous.

Il existera des cas pour lesquels on ne trouve pas de plateau avec une rangée adéquate.

Par exemple soit à tailler le même engrenage mais avec un diviseur de ratio K = 40

K/Z = 40/57 = 0+40/57.

La fraction 40/57 ne peut pas se simplifier et on n'a pas de plateau de 57 trous.

Il faudrait passer en division composée ou en division différentielle sur un diviseur semi-universel ou universel.

Diviseur universel

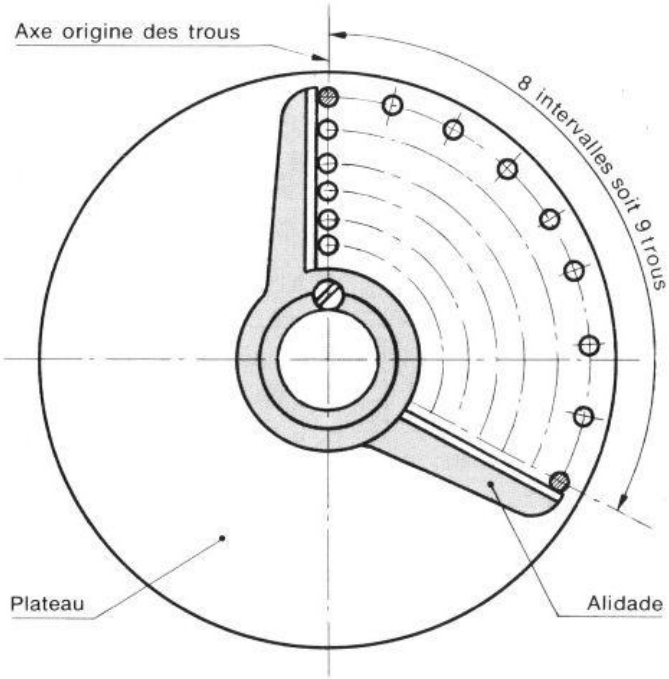
8. TRAVAIL À L'ALIDADE

Source : guide pratique de l'usinage T1- Hachette technique

Pour compter des intervalles on compte le premier trou Zéro puis 1, 2, 3. Cela limite les erreurs. Sur la figure ci-dessus les branches du compas d'alidade ont été réglées sur 8 intervalles.

La manœuvre de la division avec alidade est plus complexe à expliquer qu'à exécuter. Aidez-vous de vidéos sur Internet si nécessaire.

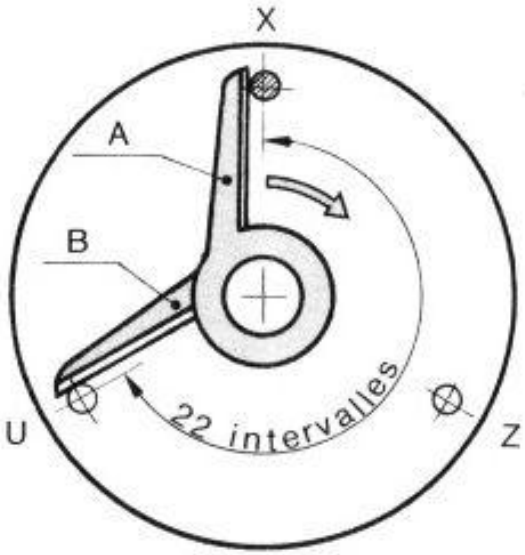
*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***



Exemple : Soit à réaliser avec un diviseur de ratio 40:1 six pans sur un axe rond.

K/N = 40/6 = 6+2/3 de tours de manivelle. On cherche alors le ou les plateaux dont une rangée de trous soit un multiple de 3. Le plateau de 33 trous sera adapté car 33=3*11.

Les règles sur les fractions montrent que 2/3 = 22/33. On écartera les branches du compas de 22 intervalles.

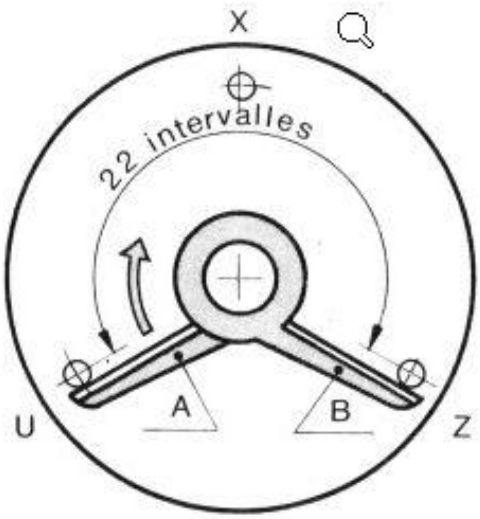


*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

FICHE TECHNIQUE
USINAGE PIGNON DROIT

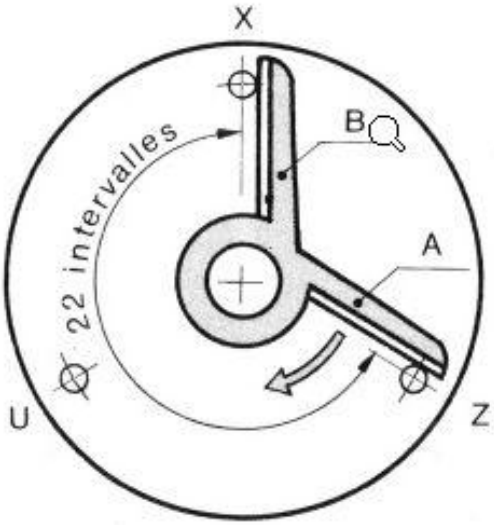
FPe34

<u>Etape1</u> : Monter le compas d'alidade. Positionner une branche sur le premier trou du cercle de 33 trous. Positionner le pointeau solidaire de la manivelle dans le trou "Zéro" en mettant la branche bien en contact. Ouvrir la deuxième branche pour obtenir 22 intervalles *(23 trous en comptant le premier "Zéro")*. Bloquer les branches du compas. Usiner le premier plat sur votre rond.



<u>Etape 2</u> : Effectuer 6 tours complets de manivelle puis amener le pointeau en contact avec la branche B du compas. Si tout s'est bien passé il doit s'insérer sans difficulté sur le 23ème trou. Faire tourner le compas pour que ce soit maintenant la branche A qui soit en contact avec le pointeau. Usiner le plat

<u>Etape 3</u> : procéder de même : 6 tours + 22 intervalles. Rotation du compas. Usinage.



Et ainsi de suite...

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

8.1. Cas où l'on n'est pas en division simple

L'objectif est de trouver le moyen de minimiser l'erreur angulaire. Dans le cas d'usinage de précision comme les engrenages il faut se méfier et, le mieux est d'en fabriquer un provisoire en aluminium puis de vérifier qu'il s'engrène bien.

Pour la division simple on procède sans le dire explicitement de la manière suivante.
Exemple K = 90:1 et 16 dents à tailler.

Il faut dans un premier temps calculer la séquence à suivre. Ce sera toujours la même séquence jusqu'à la fin de l'usinage.

Rapport de démultiplication de la poupée diviseuse	90 : 1	90 tours de manivelle = rotation de 360° 1 tour de manivelle = 4° de rotation de la poupée
Nbe de dents à tailler (exemple)	16	
Diviser	90/16=5,625	5 tours complets et un résidu de 0,625
Pour la résolution du résidu on multiplie ce résidu par le nombre de trous disponibles sur le jeu de plateaux jusqu'à obtenir un nombre entier ou très très proche	0,625*16= 10	
Sur cet exemple, on montera le plateau à **16 trous** et on prendra un écart de **10 intervalles** soit 11 trous à l'intérieur des bras du compas de l'alidade		

Pour se sortir de l'affaire si on n'obtient pas une division simple on procède de la façon suivante.

Exemple K = 90:1 et 71 dents à tailler.

Angle par tour de manivelle **A_tm** = 360/90 soit 4°/tour de manivelle
Angle interdent (pas) 360/71 **â** = 5,0704 °
Nombre de tour de manivelle maximum, on divise â par **A_tm** soit 5,0704 = 1*4 +1,0704

Le problème, après avoir fait un tour complet de manivelle, est de tourner de 1,0704°
Prenons par exemple le plateau de 15 trous.
Sur le plateau de 15 trous l'intervalle entre deux trous provoque un déplacement angulaire de 0,2667°

En divisant 1,0704 par 0,2667 on obtient une valeur qui n'est pas entière : 4,0141
Si on prend 5 intervalles : 5*0,2667 = 1,3333° ; écart 1,3333-1,0704 = 0,263 °
Si on prend 4 intervalles : 4*0,2667 = 1,0667° ; écart 1,06667-1,0704 = -0,002 °
Avec le plateau sur le rang 15 trous le meilleur choix sera 4 intervalles car il minimise l'écart avec la valeur de rotation demandée 1,0704°

Si on passe en revue tous les rangs de tous les plateaux dont on dispose on obtient le tableau suivant.

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

FICHE TECHNIQUE
USINAGE PIGNON DROIT

FPe34

Nbe trous	*Angle pour 1 Intervalle*	*Nbe d'intervalles*	**Nb Intervalles (Arrondi.sup)**	*Ecart angulaire par excès*	**Nb Intervalles (Arrondi.inf)**	Ecart angulaire par défaut
15	*0,2667*	*4,0141*	**5**	*0,263*	**4**	0,004
16	*0,2500*	*4,2817*	**5**	*0,180*	**4**	0,070
17	*0,2353*	*4,5493*	**5**	*0,106*	**4**	0,129
18	*0,2222*	*4,8169*	**5**	*0,041*	**4**	0,182
19	*0,2105*	*5,0845*	**6**	*0,193*	**5**	0,018
20	*0,2000*	*5,3521*	**6**	*0,130*	**5**	0,070
21	*0,1905*	*5,6197*	**6**	*0,072*	**5**	0,118
23	*0,1739*	*6,1549*	**7**	*0,147*	**6**	0,027
27	*0,1481*	*7,2254*	**8**	*0,115*	**7**	0,033
29	*0,1379*	*7,7606*	**8**	*0,033*	**7**	0,105
31	*0,1290*	*8,2958*	**9**	*0,091*	**8**	0,038
33	*0,1212*	*8,8310*	**9**	*0,020*	**8**	0,101
37	*0,1081*	*9,9014*	**10**	*0,011*	**9**	0,097
39	*0,1026*	*10,4366*	**11**	*0,058*	**10**	0,045
41	*0,0976*	*10,9718*	**11**	*0,003*	**10**	0,095
43	*0,0930*	*11,5070*	**12**	*0,046*	**11**	0,047
47	*0,0851*	*12,5775*	**13**	*0,036*	**12**	0,049
49	*0,0816*	*13,1127*	**14**	*0,072*	**13**	0,009
				Minimum		Minimum
				0,003		0,004

On voit que le minimum d'écart par excès est obtenu avec la rangée de 41 trous et 11 intervalles.
On voit que le minimum d'écart par défaut est obtenu avec la rangée de 15 trous et 4 intervalles.
On choisira en fonction de son objectif d'usinage.

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

Les écarts peuvent paraître insignifiants mais ils ont lieu toujours dans le même sens, par excès ou par défaut, et donc se cumulent. Pour des usinages de précision comme la taille d'engrenages il convient de s'en soucier, surtout pour ceux de petit module avec un grand nombre de dents.

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***