



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : Technologie

DEPARTEMENT : Génie Mécanique

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par :

- Zourigue Moustafa

- Ben Larbi Adel

DOMAINE : Science et Technique

FILIERE : Génie Mécanique

OPTION : Maintenance Industrielle

Thème

**TAILLAGE D'UNE ROUE A DENTURE DROITE EN UTILISANT LA
DIVISION DIFFERENTIELLE**

Nom et Prénom	Grade	qualité
Maati Ahmed	Pr	Président
Ben Horma Hadi	MCB	Examineur
Bensahal Djamel	MCA	Rapporteur

Promotion : Juin – 2025

Remerciement

*Ce travail a été réalisé au Département de génie mécanique de la Faculté de technologie de l'Université Amar Telidji. Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude à notre directeur de thèse, le professeur **BENSAHAL DJAMAL**, pour son aide et ses conseils tout au long de ce travail. Nous adressons également nos sincères remerciements à tous les membres du comité de discussion, au président du comité, le professeur **MAATI AHMED**, et au chercheur, le professeur **BEN HORMA HADI**. Nous adressons également nos sincères remerciements à toutes les personnes ayant contribué, directement ou indirectement, à la préparation de ce travail.*



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

À mes chers parents, que Dieu les protège et les préserve.

*À ma chère épouse et à mes filles, Zahra et Rokia, que Dieu les protège
et les préserve.*

*À mes frères, Mohamed Fatima Bouzid, Ikram et Rokia, et à tous les
membres de ma famille.*

À mon cher ami et collègue dans ce travail, Adel Ben larbi

*À mon honorable professeur, le Dr Bin Sahel Jamal, pour ses
conseils et ses orientations.*

À tous mes amis.

À tous mes collègues du département.



Dédicaces

À ceux qui ont illuminé mon chemin par leur amour et leurs prières,

*À ma chère famille, source de tendresse, de générosité et de soutien tout au long
de ma vie,*

*À mon ami fidèle Zourigue Moustafa, compagnon de route et soutien face aux
défis,*

*À mon honorable professeur Dr. Bensahal Djamel , pour son savoir, son temps et
ses précieux conseils,*

À mes chers enseignants, qui ont semé en nous les graines du savoir,

*À l'administration du département de mécanique, qui a veillé à offrir un
environnement scientifique stimulant,*

*Et à tout le personnel universitaire, administratif et technique, pour tous les efforts
déployés en notre faveur. À vous tous,*

Je dédie le fruit de ce travail, En signe de reconnaissance et de fidélité,

En priant Dieu de vous récompenser et de vous accorder le meilleur.

Résumé

Ce mémoire traite de l'étude du taillage des engrenages à dentures droites en utilisant la méthode de la division différentielle. Cette technique d'usinage repose sur l'utilisation d'une fraiseuse équipée d'un diviseur permettant la répartition précise des dents sur la roue. Le travail s'articule autour de trois axes principaux : une introduction générale aux fraiseuses et aux engrenages, les calculs nécessaires pour déterminer les dimensions des dents et des roues intermédiaires, et enfin une analyse détaillée du processus de fabrication de la pièce étudiée. Cette étude vise à mettre en valeur l'intérêt industriel de la division différentielle dans la production mécanique de précision.

Mots-clés : fraiseuse, engrenage, roue dentée, diviseur, division différentielle.

Abstract

This thesis focuses on the study of gear cutting for straight-toothed wheels using the differential indexing method. This machining technique is based on the use of a milling machine equipped with a dividing head that ensures accurate spacing of teeth around the gear. The work is structured in three main parts: an overview of milling machines and gears, detailed calculations for tooth and intermediate wheel dimensions, and an analysis of the manufacturing process of the studied part. The objective is to highlight the industrial relevance of differential indexing in precision mechanical production.

Keywords: milling machine, gear, wheel, dividing head, differential indexing.

ملخص

يتناول هذا البحث دراسة عملية تصنيع التروس ذات الأسنان المستقيمة باستخدام تقنية التقسيم التفاضلي. يُعتبر هذا النوع من التشغيل من يسمح بالحصول (diviseur) العمليات الأساسية في ميكانيك نقل الحركة، ويعتمد على استخدام آلة التفريز (الفريزة) المرتبطة بجهاز تقسيم على توزيع دقيق للأسنان حول محيط العجلة (الترس). تم في هذا العمل التطرق إلى المبادئ العامة للفريزات والتروس، ثم إجراء الحسابات الهندسية الخاصة بالأسنان والعجلات الوسيطة، وأخيرًا تحليل مراحل التصنيع العملي للقطعة المدروسة. يهدف هذا البحث إلى توضيح أهمية التحكم في تقنية التقسيم التفاضلي في الصناعة الميكانيكية ودورها في تحسين جودة ودقة التصنيع.

الكلمات المفتاحية: فريزة، ترس، عجلة مسننة، جهاز تقسيم، التقسيم التفاضلي

SOMMAIRE :

Listes des figures

Liste des tableaux

Introduction générale

Chapitre I: Généralité sur les fraiseuses et les engrenages

I.1. I.I Introduction.....	1
I.2. Les fraiseuses	1
I.2.1 Type du fraiseuse	2
I.2 .2. Principe du fraisage.....	3
I.2.3 Classification des fraiseuses.....	3
I.2.4 Caractéristiques des fraiseuses	3
I.2.5 Principales opérations rencontrées en fraisage.....	5
I.3. Les engrenages	5
I.3.1. Définition	5
I.3.2. Classification des engrenages.....	6
I.3.3. Géométrie et technologie	7
I.4. Définition de la denture	8
I.4.1. Le pas (P)	8
I.4.2. Le Module (m)	8
I.4.3. Le nombre de dent (Z)	9
I.4.4. Cercle primitif	9
I.4.5. Cercle de tête (D).....	9
I.4.6. Cercle de pied (df)	9
I.4.7. Le cercle de base (db)	10
I.4. 8. Entraxe (a).....	10
I.4.9. Angle de pression	10
I.4.10. La largeur de denture (b).....	11
I.5. Conclusion	11

Chapitre II : Calcul sur les dents et les roues intermédiaires

II.1. Introduction	12
II.2. Généralités sur l'appareil diviseur	12
II.3. Description du diviseur – réglages.....	12
II.4. Différents montages de pièce	13
II.4.1. Montage en l'air	13
II.4.2. Montage mixte	13

II.4.3. Montage entre-pointe	13
II.5. Division simple	13
II.5.1. Description	14
II.5.2. Raisonnement	15
II.5.3. Raisonnement	16
II.5.4. Applications	16
II.6. Division différentielle	17
II.6.1. Principe	17
II.6.2. Fonctionnement	17
II.6.3. L'appareil diviseur	18
II.6.4. Intérêt de la méthode	19
II.6.5. Problème à résoudre	19
II.6.6. Erreur commise pour une division effectuée Principe	20
II.7. Solutions technologiques	22
II.7.1. Principe	22
II.7.2. Modification de sens de rotation du plateau	24
II.7.3. Calcul du train d'engrenage.....	25
II.8. Application numérique	26
II.9. Conclusion	30
<i>Chapitre III : Analyse de fabrication de la pièce étudiée</i>	
III.1. Introduction	31
III.2. Rôle du dessin de définition.	31
III.2.1. Caractéristique d'une roue à denture droite normale $\alpha = 20^\circ$	32
III.3. Gamme d'usinage de la roue dentée	36
III.4. Contrat de phase 200.....	40
III .4.1. Contrat de phase 300.....	41
III .4.2. Contrat de phase 400.....	42
III .4.3. Exemple de contrat de phase 500	43
III .5. Dessin de définition de la roue dentée.....	44
III.5. Conclusion	45

CONCLUSION GENERAL

Référence bibliographique

Listes des figures

FigI.1 : Fraiseuse universelle.....	2
FigI.2 : Fraiseuse horizontale.....	2
FigI.3 : Fraiseuse verticale	2
FigI.4 : Déplacement des chariots.	4
FigI.5 : Caractéristiques des fraises.....	5
FigI.6 : engrenages cylindriques à denture droite	6
FigI.7 : engrenage cylindriques engrenage à denture hélicoïdale	6
FigI.8 : engrenages à denture coniques et spiro-coniques.....	6
FigI.9 : engrenage à roue et vis sans fin.....	7
FigI.10 : Contact interne	7
FigI.11 : Contact externe.....	7
FigI.12 : Les caractéristiques de dents	8
FigI.13 : Entraxe.....	10
FigI.14 : Angle de pression.....	11
Fig.II.1 : L'appareil diviseur.....	14
Fig.II.2 : Dessin du diviseur simple	15
Fig.II.3 : Dessin du diviseur	18
Fig.II.4 : Dessin du diviseur différentiel	19
Fig.II.5 : Correction de l'erreur	21
Fig.II.6 : Schéma cinématique d'un diviseur.....	23
Fig.II.7 : Commande d'un diviseur par trois roues	24
Fig.II.8 : Commande d'un diviseur par quatre roues	24
Fig.II.9 : train d'engrenage	26
Fig.II.10 : montage de deviseur a 4 roues.....	28

Listes des tableaux

Tableau II.1 : Plateau a trous disponible.....	26
Table II.2 : le choix facile de la fraise.....	27
Table II.3: paramètre de division différentielle pour le taillage d'engrenage.....	29
Tableau III.1: Caractéristique d'une roue denture droite normale.....	33
Tableau III.2: Les modules normalisés les plus utilisés.	34
Tableau III.3: spécification de précision des engrenages.	34
Tableau III.4: Tableau des Vitesse de rotation N (tr/min) (TOUR).	35
Tableau III.5: Tableau des Vitesse de rotation N (tr/min) (FRAISEUSE).	35
Tableau III.6: Tableau des avances par tour des table (tour).	36
Tableau III.7 : Groupement de surface	37
Tableau III.8: Tableau de niveaux.....	37
Tableau III.9 : Gamme d'usinage de la roue dentée.....	38
Tableau III.10 : dessin de définitions de la roue dentée.....	44

Introduction générale :

Parmi les éléments essentiels de cette transmission, les engrenages occupent une place primordiale, notamment pour leur capacité à assurer un transfert efficace et précis du mouvement et de la force entre différentes composantes d'un système.

Le taillage des roues dentées droites représente l'une des opérations fondamentales dans la fabrication des engrenages. Cette opération requiert un haut niveau de précision, notamment lorsqu'elle est réalisée par la méthode de division différentielle, une technique avancée utilisée pour obtenir une répartition régulière et conforme des dents sur la périphérie de la roue. Cette méthode s'appuie sur une coordination fine entre la rotation de la pièce à usiner et l'outil de coupe (fraise), assurée par un mécanisme de transmission indirecte basé sur des calculs rigoureux.

Le présent travail de fin d'études vise à étudier en détail le procédé de taillage des roues à dentures droites par division différentielle, en combinant les aspects théoriques, analytiques et pratiques de cette opération. Pour ce faire, le mémoire est structuré en trois chapitres complémentaires :

Le premier chapitre est consacré aux généralités sur les fraiseuses. On y présente les différents types de fraiseuses utilisés en fabrication mécanique, leur structure, leurs modes de fonctionnement ainsi que leurs domaines d'application. Par la suite, une attention particulière est portée aux engrenages : leur classification, leurs caractéristiques géométriques et fonctionnelles, et enfin, les principes de base de la transmission du mouvement par roue dentée droite.

Le deuxième chapitre traite des calculs liés aux dents et aux roues intermédiaires. On y aborde les formules nécessaires pour déterminer les paramètres géométriques des dents (module, nombre de dents, angle de pression, etc.) ainsi que le dimensionnement des roues intermédiaires utilisées dans le montage de division différentielle. Ce chapitre permet de comprendre comment assurer la synchronisation parfaite entre la rotation de la pièce et celle de l'outil de coupe.

Le troisième chapitre s'oriente vers l'analyse de la fabrication de la pièce étudiée. Ce volet pratique décrit les différentes étapes de réalisation, en commençant par la lecture et l'interprétation des dessins de définition de la pièce, qui constituent la base technique pour toute opération d'usinage. Ensuite, on présente les contrats de phase, documents qui décrivent de manière détaillée les séquences d'usinage, les moyens utilisés, les paramètres de coupe, et les contrôles à effectuer à chaque étape. L'objectif de ce chapitre est de démontrer comment les données théoriques et les calculs réalisés en amont se traduisent concrètement dans une opération de fabrication conforme aux exigences industrielles.

À travers ce travail, nous cherchons à mettre en évidence l'importance de la maîtrise des procédés de taillage et de l'analyse technique de fabrication, en vue de former des techniciens et ingénieurs capables de concevoir, planifier et exécuter des opérations de production mécanique de manière rigoureuse et efficace.

I.1. Introduction :

Dans le domaine de la fabrication mécanique, les machines-outils jouent un rôle fondamental dans la transformation des matières premières en pièces mécaniques de haute précision. Parmi ces machines, la rectifieuse occupe une place prépondérante grâce à sa capacité à réaliser un large éventail d'opérations de fabrication, telles que la finition de surface, l'alésage, le perçage et même le taillage d'engrenages. Elle permet des formes complexes et des finitions de haute qualité, répondant aux exigences de performance et de fiabilité des industries modernes.

Les engrenages, quant à eux, sont des composants essentiels des systèmes de transmission de puissance. Leur conception et leur fabrication exigent une précision extrême pour garantir un fonctionnement efficace et durable des machines industrielles. Qu'ils soient droits, hélicoïdaux, coniques ou à vis sans fin, les engrenages sont omniprésents dans de nombreux secteurs tels que l'automobile, l'aérospatiale, la robotique et la production d'énergie.

Dans ce chapitre, nous proposons un aperçu des fraiseuses et des machines à engrenages, en nous concentrant sur leur rôle, leurs types, leurs principes de fonctionnement et leurs applications en contexte industriel. Cette étude vise à comprendre l'interaction entre les technologies de fabrication et les exigences de production modernes, soulignant ainsi l'importance des rectifieuses dans la fabrication d'engrenages.

I.2. Les fraiseuses :

Le **Fraisage** désigne un procédé d'usinage par enlèvement de matière. Il se caractérise par le recours à une machine-outil : la fraiseuse. L'outil classiquement utilisé est la fraise.

En fraisage, l'enlèvement de matière - sous forme de copeaux - résulte de la combinaison de deux mouvements : rotation de l'outil de coupe d'une part, et avance de la pièce à usiner d'autre part.

La fraiseuse est spécifiquement adaptée à l'usinage de pièces prismatiques et permet aussi, si la machine est équipée de Commande Numérique, de réaliser tout type de formes mêmes complexes.

Le fraisage est un procédé d'usinage réalisable sur des machines-outils appelées : **Fraiseuses** [1].

I.2.1. Types de fraiseuse :

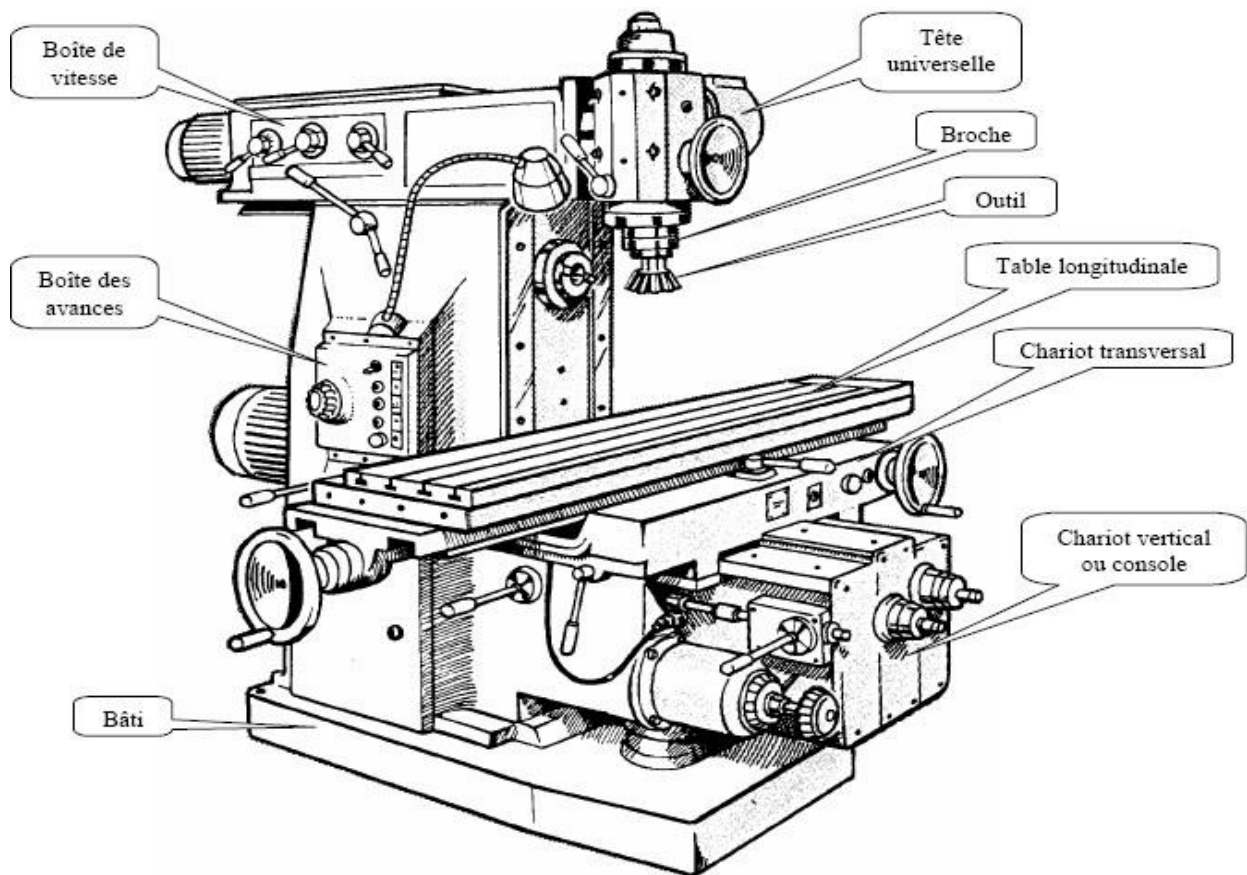


Figure I.1: Fraiseuse universelle [1].



Figure I.2 : Fraiseuse horizontale [1].



Figure I. 3 : Fraiseuse verticale [1].

I.2.2. Principe du fraisage :

L'outil est toujours animé d'un mouvement de rotation sur son axe Mc (mouvement de coupe).

Il est situé et bloqué sur un système porte - fraise, lui-même fixé dans la broche de la machine.

Un ensemble de chariots se déplaçant suivant trois axes orthogonaux, permet d'animer la pièce d'un mouvement d'avance dans l'espace Ma (mouvement d'avance) [1].

I.2.3. Classification des fraiseuses:

- a. Les fraiseuses d'outillage (universelles)
- b. Les fraiseuses de production (à programme, commande numérique)
- c. Les fraiseuses spéciales (à reproduire, multibroches, etc.) [1].

I.2.4. Caractéristiques des fraiseuses:

Les fraiseuses universelles conviennent pour des travaux de caractère unitaire ou de petite série.

Elles sont équipées généralement de trois chariots mobiles ; d'une tête universelle ; d'une sortie de broche horizontale avec bras coulissant pour arbre long. [1].

Les formes, dimensions, positions d'un objet se définissent par rapport à trois axes perpendiculaires entre eux, qui constituent le référentiel orthonormé (fig.13).

* L'axe Ox détermine la direction du Ma du chariot longitudinal C.L ;

* L'axe Oy détermine la direction du Ma du chariot transversal C.T ;

* L'axe Oz détermine la direction du Ma du chariot vertical C.V.

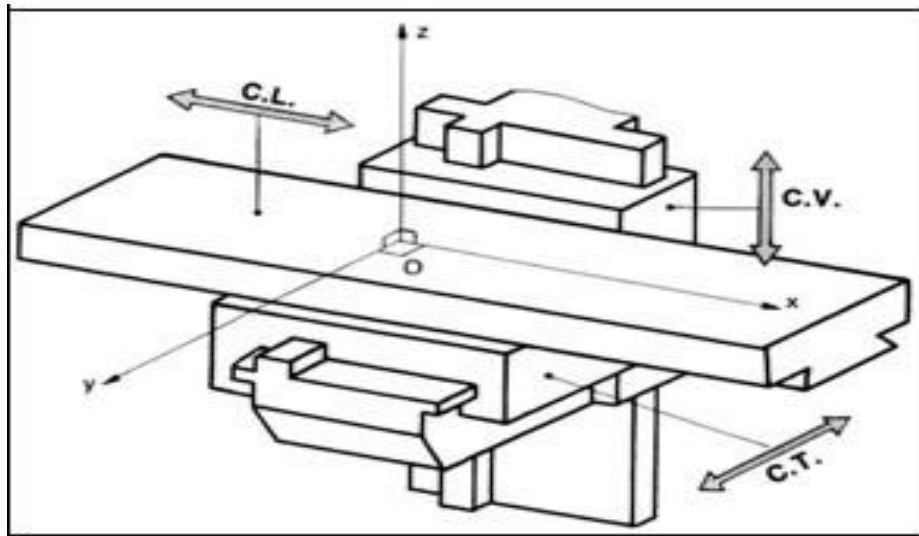


Figure I.4 : Déplacement des chariots [1].

- **La taille** : Suivant le nombre d'arêtes tranchantes par dent, on distingue les fraises : une taille (fig. 3.2), deux tailles ou trois tailles.
- **La forme** : Suivant le profil des génératrices par rapport à l'axe de l'outil, on distingue : les fraises cylindriques, coniques (fig. 3.3) et les fraises de forme.
- **La denture** : Suivant le sens d'inclinaison des arêtes tranchantes par rapport à l'axe de la fraise, on distingue les dentures hélicoïdales à droite (fig. 3.4) ou à gauche (fig. 3.5) et les dentures à double hélice alternée. Si l'arête tranchante est parallèle à l'axe de la fraise, la denture est droite. Une fraise est également caractérisée par son nombre de dents.
- **Les dimensions** : Pour une fraise deux tailles : diamètre et hauteur taillée. Pour une fraise trois tailles : diamètre de l'outil, épaisseur, diamètre de l'alésage. Pour une fraise conique pour queue d'aronde : l'angle, le diamètre de l'outil et l'épaisseur.
- **Le mode de fixation** : A trou lisse ou taraudé ; à queue cylindrique ou conique.
- **Construction** : Les fraises peuvent être à denture fraisée (ex. : fraise conique deux tailles $\alpha 60^\circ$), ou à denture détalonnée et fraisée (ex. : fraise-disque pour crémaillères).

Elles sont en acier rapide. Pour les fraises à outils rapportés sur un corps de fraise, les dents fixées mécaniquement sont en acier rapide, ou le plus souvent en carbure métallique.

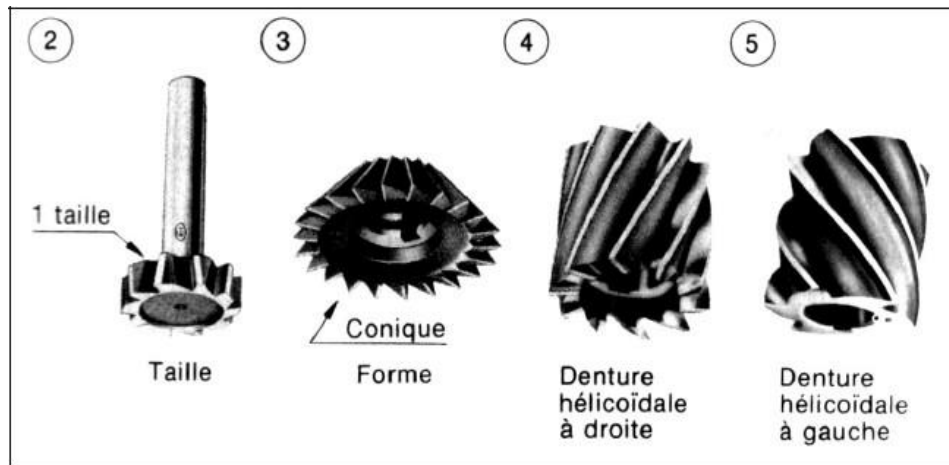


Figure I.5 : Caractéristiques des fraises [1].

I.2.5. Principales opérations rencontrées en fraisage :

Le fraisage est, dans son principe, un procédé de fabrication mécanique par coupe (enlèvement de matière) faisant intervenir, en coordination, le mouvement de rotation d'un outil à plusieurs arêtes (**mouvement de coupe**) et l'avance rectiligne d'une pièce (dit **mouvement d'avance**). Aujourd'hui, toutefois, on a également un déplacement de l'outil par rapport à la pièce, lequel peut s'effectuer pratiquement dans n'importe quelle direction.

L'outil de fraisage, **la fraise**, comporte plusieurs arêtes de coupe dont chacune enlève une certaine quantité de métal sous forme de copeaux. Les avantages du fraisage sont un rendement élevé, un bon fini de surface et une haute précision, ainsi qu'une grande souplesse au niveau de la génération de différentes formes. Le plus souvent, le fraisage est utilisé pour produire des surfaces planes, des épaulements et des gorges, mais son efficacité en contournage va croissant grâce à l'utilisation des techniques CNC (Computerized Numerical Control). [1].

I.3. Les engrenages :

I.3.1. Définition :

Un engrenage est un mécanisme composé de deux roues dentées mobiles autour d'axes de position fixe et dont l'une entraîne l'autre par l'action de dents successivement en contact et on dit que les deux roues sont conjuguées. La plus petite roue est appelée pignon, la plus grande est la roue [2].

I.3.2. Classification des engrenages :

Il existe plusieurs types d'engrenages, notamment ::

1. Les engrenage cylindriques à denture droite:

Figure I.6[2].

2. Les engrenage cylindriques engrenage à denture hélicoïdale :

Figure I.7[2].

3. Les engrenages à denture coniques et spiro-coniques:

Figure I.8[2].

4. les engrenage à roue et vis sans fin :



Figure I.9[2].

Les engrenages sont utilisés dans toutes les branches de la mécanique pour transmettre des mouvements. dans le domaine de la transmission de puissance entre deux arbres animés d'un mouvement de rotation, l'engrènement reste le mécanisme le plus utilisé dans divers produits industriels tel que les réducteurs, les boîtes de vitesse,... etc.

La transmission se fait avec un très bon rendement énergétique. La variation de vitesse obtenue entre l'entrée et la sortie ne dépend que du nombre de dents des pièces en contact[2].

I.3.3. Géométrie et technologie :

La géométrie et la technologie d'obtention diffèrent d'une roue dentée à une autre. Par exemple dans le cas des roues à denture droite, les surfaces primitives sont des cylindres droits d'axes parallèles. Aussi, les surfaces des dentures hélicoïdale sont des cylindres dont les génératrices sont parallèles aux axes. Les roues dentées peuvent être à contact externe (FigI.10) ou à contact interne (FigI.11).

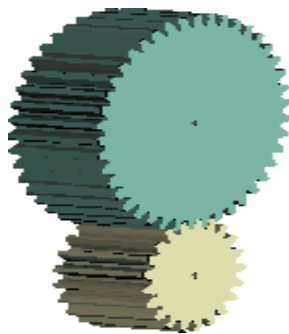


Figure I.10:Contact externe[2].

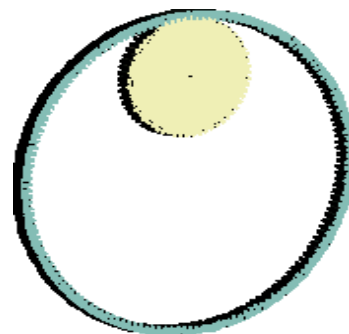


Figure I.11:Contact interne[2].

Le transfert de la charge d'une dent à l'autre dépend beaucoup de la distribution des erreurs et des déformations sur l'ensemble de la géométrie des dents. Souvent, un transfert brutal, ne peut être empêché. Ce dernier étant un générateur de surcharges dynamiques, de vibrations, de bruit et en conséquence d'usure et de fractures prématurées, principalement sur les roues à denture droites. Pour pallier à cet inconvénient, l'utilisation de la denture hélicoïdale "rallonge" l'action de la dent [3].

I. 4. Définition de la denture :

Les caractéristiques qui définissent la dent sont déterminées comme suit (Figure I.12):

- Saillie: $h_a = m$
- Creux: $h_f = 1,25 \times m$
- Jeu à fond de dent : $c = 0,25 \times m$

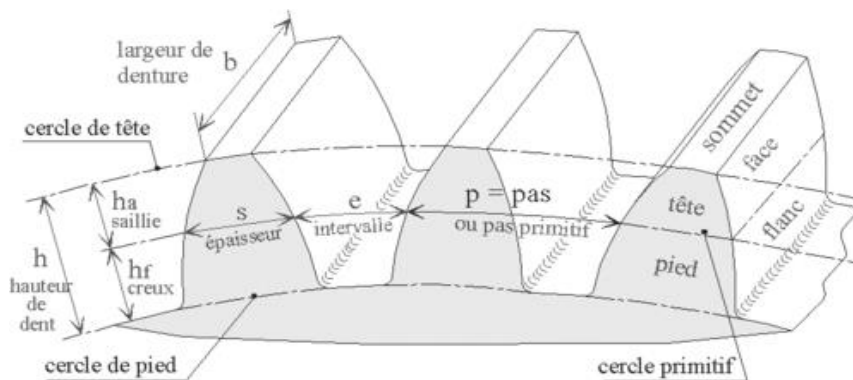


Figure I.12 Les caractéristiques de dents [2].

I.4.1. Le pas (P) :

Le pas correspond à la longueur de l'arc entre deux flans successifs de dents, cet arc étant mesuré sur le cercle primitif de cet engrenage (Figure I.12).

$$P = m * \pi$$

m : c'est le module d'engrènement.

I.4.2. Le Module (m) :

Le module d'une denture est la valeur qui permet de définir les caractéristiques d'une roue dentée. C'est le rapport entre le diamètre primitif de la roue et le nombre de

ses dents. Le module est une grandeur normalisée.

$$m = Z * d$$

Avec :

Z : c'est le nombre de dent de la roue ou de pignon.

d : c'est le diamètre primitif de la roue ou de pignon.

I.4.3. Le nombre de dent (**Z**) :

Le nombre de dent est noté par « **Z** ».

I.4.4. Cercle primitif :

Le cercle primitif (FigI.8) représente la zone de contact où il y a roulement entre le pignon et la roue. On peut donc assimiler l'engrenage à deux cercles primitifs(d_1) et(d_2) qui roulent sans glisser l'un sur l'autre. On détermine le diamètre primitif par la relation :

$$d = m * Z$$

Avec :

Z : le nombre de dents.

m:le module d'engrènement.

I.4.5. Cercle de tête (**D**) :

Le cercle de tête se trouve au sommet des dents (FigureI.5). C'est celui qui peut être mesuré directement à l'aide d'un pied à coulisse.

I.4.6. Cercle de pied (**df**) :

Le cercle de pied se trouve au fond de dent (Figure I.12).
On détermine le diamètre de pied (**df**) par la relation :

$$df = D - 2h$$

Avec : **h** = $h_a + h_f$

h: c'est la hauteur de la dent.

D : c'est le diamètre de tête.

I.4.7. Le cercle de base (db):

Chaque denture possède un cercle de base. Ce cercle de diamètre « **db** » est fictif et non mesurable. Il est le point de départ théorique du profil en développante de cercle de chaque

I.4.8. Entraxe (a) :

L'entraxe (a) représente la distance entre les centres du pignon et de la roue. En fonctionnement normal, sa valeur est égale à la demi-somme des rayons primitifs du pignon et de la roue. L'entraxe peut varier en fonction de la température du boîtier et des engrenages et particulièrement lorsque les matériaux des engrenages et du boîtier sont différents (FigI.9).

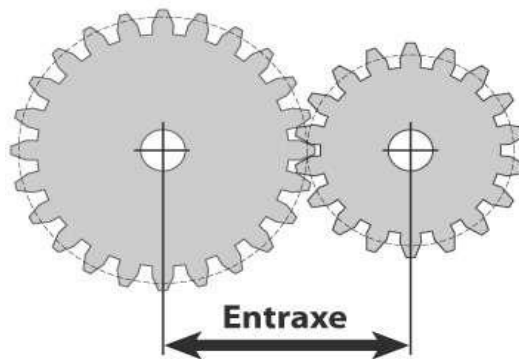
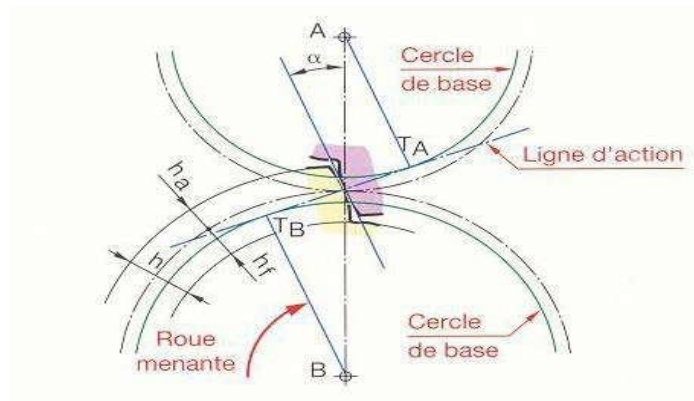


Figure I.13 [2].

L'entraxe de l'engrenage est:
$$a = \frac{m(Z_a + Z_b)}{2} = \frac{d_a + d_b}{2}$$

I.4.9. Angle de pression :

C'est l'angle aigu entre le rayon du cercle primitif passant par le point où le profil coupe le cercle primitif et la tangente au profil de ce point (Figure I.14).



FigI.14 [2].

I.4.10. La largeur de denture (b):

La largeur de denture correspond à la largeur de la dent (Figure I.12). et notée par «**b**».

b est donné par la relation : $b = K * m$

Avec : $8 \leq k \leq 10$

I.5.Conclusion :

Les fraiseuses est un composants majeurs dans le domaine de la fabrication mécanique. En tant que machines-outils polyvalentes, les fraiseuses permettent d'effectuer une large gamme d'opérations de fabrication avec précision et efficacité, ce qui les rend indispensables dans les ateliers de production modernes .

D'autre part, les engrenages jouent un rôle fondamental dans la transmission du mouvement et de la puissance dans de nombreux systèmes mécaniques. Sa fabrication requiert un haut niveau de précision technique, qui ne peut être assuré que par une maîtrise stricte des procédés de fabrication. L'intégration de fraiseuses dans les opérations de taillage d'engrenages est un exemple concret de l'interaction entre la machine-outil et le composant mécanique

En conclusion, une connaissance approfondie des machines de fraisage et d'engrenages, ainsi que de leur rôle complémentaire dans l'industrie, constitue un atout majeur pour tout ingénieur ou technicien travaillant dans le secteur mécanique. Avec l'évolution continue des technologies de production, il est devenu nécessaire d'investir dans la formation, l'innovation et l'automatisation pour répondre à la demande croissante de précision, de performance et de compétitivité industrielle.

II.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous abordons les calculs fondamentaux nécessaires à la réalisation du taillage des roues dentées droites. Nous présentons les principes de base liés aux dentures, ainsi que le rôle essentiel des roues intermédiaires dans le processus de transmission du mouvement. Une attention particulière est accordée à l'appareil diviseur, outil indispensable dans les opérations de fraisage des engrenages. Après avoir introduit la méthode de division simple, nous approfondissons la technique de division différentielle, utilisée dans notre cas pratique pour usiner une roue dentée. Cette méthode, plus complexe mais plus flexible, permet de tailler des engrenages avec une grande précision, en particulier lorsque le nombre de dents ne peut pas être obtenu par une division simple.

II.2. Généralités sur l'appareil diviseur :

L'appareil diviseur est un dispositif 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 rotation ou un angle de 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 [4].

II.3. Description du diviseur – 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 de α° , axe vertical. Les positions horizontales et verticales 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 a trous, d'un mandrin trois mors (dors ou doux) ; d'autre part, un alésage conique qui peut recevoir une pointe ou un mandrin à pince.

_ 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; on vérifie également la coaxialité. [6].

II.4. Différents montages de pièce :

II.4.1. Montage en l'air :

Utilisation de 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. on peut distinguer trois cas : serrage par l'intérieur des mors, par l'extérieur, par l'intérieur des mors réversibles. Il faut souvent assurer la protection de la surface serrée par interposition de feuillard (acier, laiton, aluminium) ou du 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. [8].

II.4.2. Montage mixte :

Après vérification de l'alignement broche--contre-pointe, la pièce est bloquée coté diviseur et soutenue par la pointe coté contre-pointe. Contrôler également la coaxialité. Pour effectuer une évolution angulaire, il est nécessaire de desserrer légèrement la contre-pointe. [8].

II.4.3. Montage entre-pointe :

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. [8].

II.5. Division simple :

Ce diviseur permet d'effectuer un plus grand nombre de divisions que le diviseur à trous ou à encoches. Ce système est aussi appelé division indirecte parce que le disque diviseur n'est

plus solidaire directement de la broche, mais du bâti, et que le système (vis-roue-tangente) donne une réduction généralement de $K=40/1$ ou quelquefois $K=60/1$ (fig. 3). [6.8].

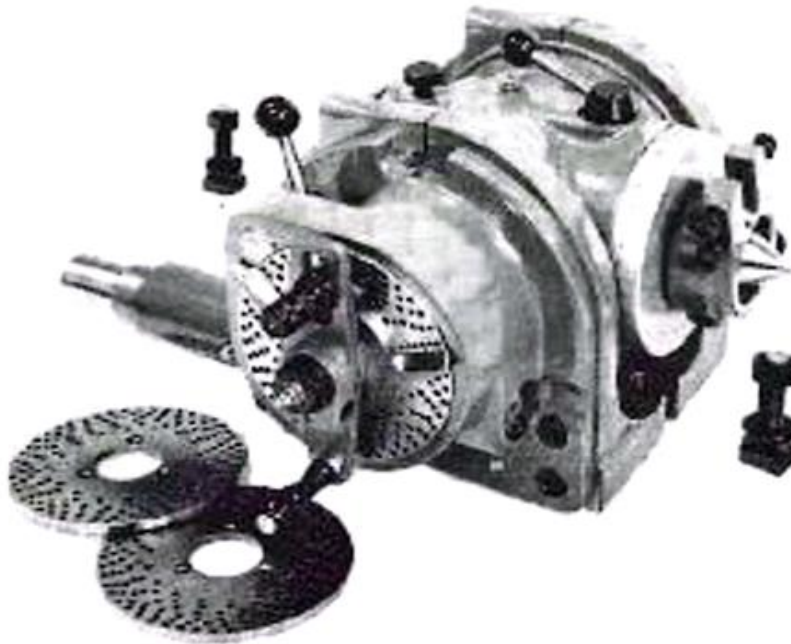


Figure II.1 : L'appareil diviseur [4]

II.5.1. Description : (Figure II.1)

Ce diviseur est composé d'un bâti supportant une broche porte-pièces ; sur l'arrière de cette dernière est fixée une roue tangente mue par une vis sans fin. La vis sans fin est mise en mouvement par une manivelle traversée d'un pointeau à ressort s'engageant dans un disque percé généralement de six rangées de trous. Ce disque est fixe pendant le travail ; mais il peut être changé contre d'autres disques portant des rangées de trous d'un nombre différent.

Le rayon de la manivelle peut être changé afin d'utiliser une autre rangée de trous. Sur le disque pivotent deux branches semblables à un compas, appelées alidades, facilitant les réglages des fractions de tours de manivelle. Dans les exemples que nous effectuerons, nous disposons de trois disques. [4]

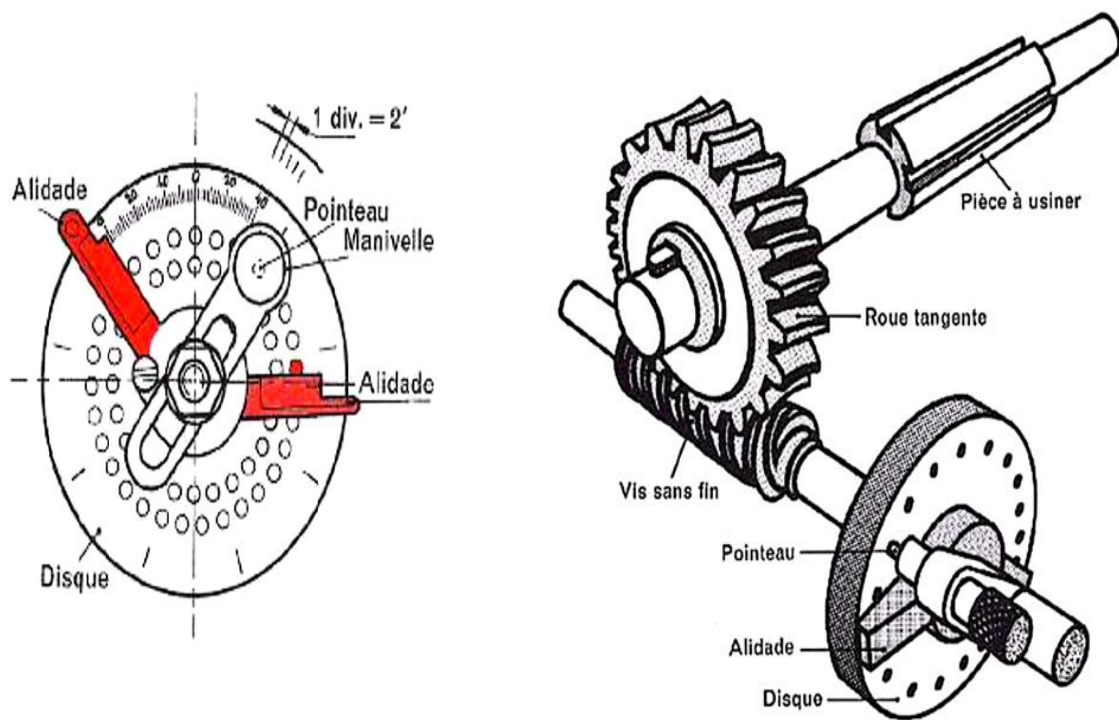


Figure II.2 : Dessin du diviseur simple [4]


II.5.2. Raisonnement :

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

Le dénominateur des fractions $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{12}$, $\frac{1}{N}$ Représente en fait le nombre de divisions à effectuer.

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

$$\frac{K}{N} \quad (2.1)$$

$\frac{K}{N}$	fraction de tour de manivelle ou nombre entier de tours de manivelle ou nombre entier et fraction de tours de manivelle		à effectuer
---------------	---	--	--------------------

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

Appliquons la formule $\frac{K}{N} = \frac{40}{8} = 5$ tours de manivelle.

- Soit à exécuter 24 crans d'une roue à rochets (figure), quelle est l'évolution de la manivelle.

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

II.5.3. Raisonnement :

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

Pour évoluer de 1° , il faut $\frac{40}{360^\circ} = \frac{1}{9}$ tour.

Pour évoluer de 30° , il faut $\frac{40 \times 30^\circ}{360^\circ} = 3\frac{1}{3}$ tour.

Pour évoluer de α° , il faut $\frac{40 \times \alpha^\circ}{360^\circ} = X$ tour.

- **Formule générale :**

α = évolution angulaire.

K = Rapport du diviseur.

$$\frac{K * \alpha}{360} \quad (2)$$

II.5.4. Applications :

- Soit à effectuer l'évolution de $\alpha = 30^\circ$, $K=40$ comme il montré sur la Figure 2.1.

Appliquons la formule $\frac{K\alpha}{360^\circ} = \frac{40 \times 30^\circ}{360^\circ} = 3\frac{1}{3}$ 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 $\frac{K\alpha}{360^\circ} = \frac{40 \times 1\ 110'}{21\ 600'} = 2 \frac{1}{18}$ tours de manivelle.

II.6. Division différentielle :

Le diviseur différentiel est utilisé pour diviser une pièce en nombres premiers au-dessus de 50, ou, lorsque la division indirecte simple, c'est-à-dire le diviseur à disques, ne permet pas de faire la division désirée (Figure II.3).

II.6.1. Principe :

Le principe de la division différentielle consiste à choisir une division quelconque d'approche de la division à faire d , quel de ce fait crée une erreur qui doit être corrigée par la mise en rotation du disque à trous dans un sens ou dans l'autre sens.

La division choisie d' peut être plus petite ou plus grande que la division à faire d .

Si la division choisie est plus grande que la division à faire $N' > N$, le disque tourne dans le même sens que la manivelle (on admet que la manivelle tourne toujours dans le sens des aiguilles d'une montre), sens positif.

Par contre, si la division choisie est plus petite que la division à faire, $N' < N$, le disque tourne dans le sens contraire de la manivelle, sens négatif.

II.6.2. Fonctionnement :

La rotation de la manivelle est transmise à la broche par la vis sans fin et la roue tangente, comme dans la division simple. Ensuite la broche entraîne le disque à trous par l'intermédiaire de 4 roues dentées interchangeables $Z1$ à $Z4$ (dans certains cas, avec une roue intermédiaire Z' pour changer le sens de rotation) et du couple conique au rapport $i = 1/1$

Quelquefois $i = 2/1$ sur la fraiseuse Schäublin 53 où ce couple conique est remplacé par deux roues hélicoïdales avec arbres orthogonaux). Les roues $Z1$ à $Z4$ servent à corriger l'erreur prévue entre la division à faire et la division choisie N et N' .

Remarque :

La dernière roue dentée conique est solidaire avec le disque et tourne folle sur l'axe de la vis sans fin. La division différentielle ne peut pas être montée en même temps que le taillage en hélice.

Problème :

Dans chaque problème, trois points doivent être résolus :

1) Choisir une division N' réalisable avec le diviseur à disques ; cette division sera le plus près possible de la division à faire N .

-2) Déterminer le rapport des engrenages, $Z1$ à $Z4$, entre la broche et le disque diviseur, afin de corriger l'erreur prévue.

3) Indiquer le sens de rotation du disque, positif ou négatif.

II.6.3. L'appareil diviseur :

C'est le diviseur dans l'atelier.



Figure II.3 : photo du diviseur

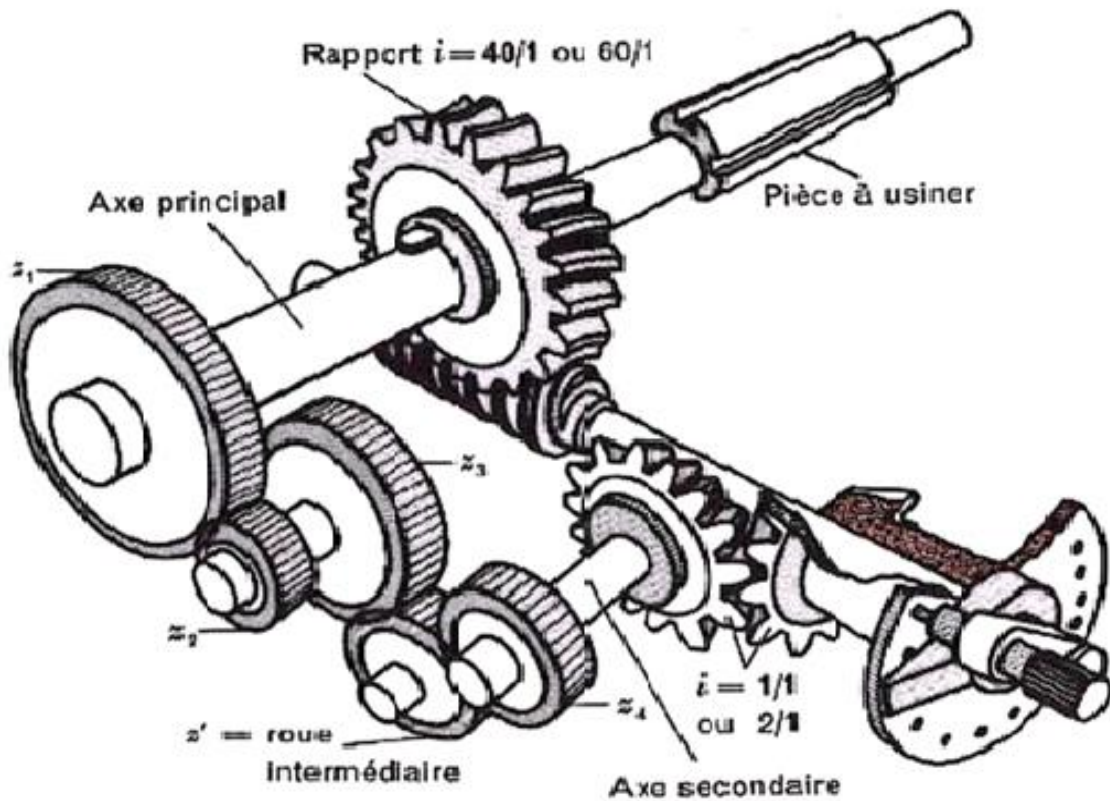


Figure II.4 : Dessin du diviseur différentiel [4].

II.6.4. Intérêt de la méthode :

Pour les divisions en nombres 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.6.5. Problème à résoudre :

Soit à effectuer $N=59$ divisions sur un diviseur de rapport $X = 40$.

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 CAS	$N'=60$	donc $N'>N$
	$N'=56$	donc $N'<N$

Calculons la division simple correspondant à N'

1 cas : $N' > N$

$$\frac{k}{N'} = \frac{40}{60} = \frac{2}{3} \text{ de tour de manivelle, soit } \frac{22}{33}$$

RAPPEL :

Evolution de la manivelle pointeau : 22 intervalles, soit 23 trous, rangée de 33 trous.

Plateau n° 2.

2 cas : $N' < N$

$$\frac{k}{N'} = \frac{40}{56} = \frac{5}{7} = \frac{15}{21} \text{ de tour de manivelle.}$$

Rappel :

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

Observations :

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

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

II.6.6. Erreur commise pour une division effectuée :

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

$$\text{L'erreur est : } \frac{40}{N} - \frac{40}{N'} \text{ puisque } \left(\frac{40}{59} > \frac{40}{60} \right)$$

2^{em} cas : $N' < N$

$$\text{L'erreur est : } \frac{40}{N'} - \frac{40}{N} \text{ puisque } \left(\frac{40}{56} > \frac{40}{59} \right)$$

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 : $N' > N1$ (Figure II.5)

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.

2em cas : $N' < N$ (Figure II. 5)

L'écart angulaire α_1 , obtenu pour une division est trop grand. Il faut que le plateau tourne en sens inverse par rapport 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.

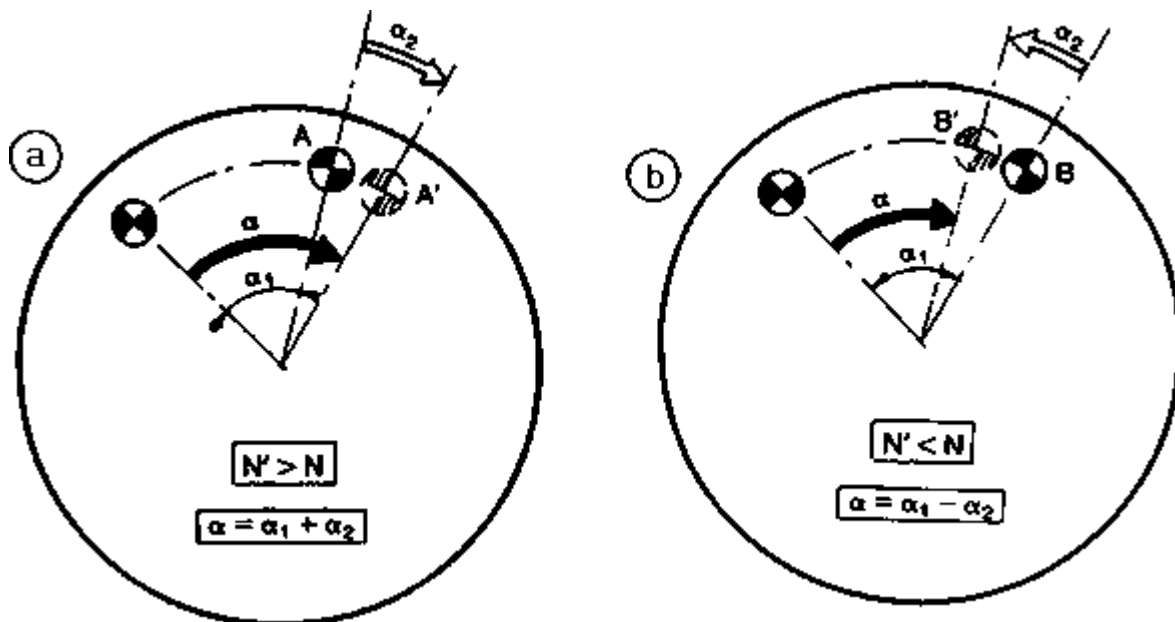


Figure II. 5 : Correction de l'erreur [6].

α_1 : Déplacement angulaire manivelle pour N'

α_2 : Déplacement angulaire différentiel du plateau

α : Déplacement angulaire réel du plateau

II.7. Solutions technologiques :

Il faut tourner le plateau d'immatriculation de α_2 (Mouvement différentiel) par l'action d'un train d'engrenages (Figure II.6)

II.7.1. Principe :

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 une couple conique 5 pieds ($r=1$) ou plateau à trou 7

(dont le verrou 6 et retire).

II.7.2. Modification de sens de rotation du plateau : Figure (II.7-II.8)

Le sens de rotation varie suivant le type de diviseur utilise. 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 intermédiaires qui ne modifient en rien le rapport

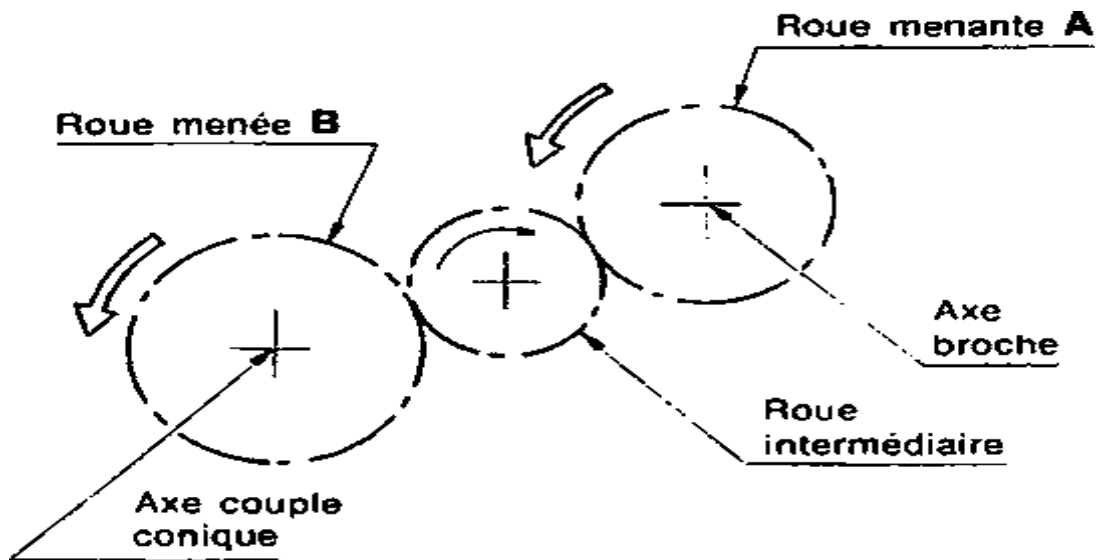


Figure II.7: Commande d'un diviseur par trois roues [6].

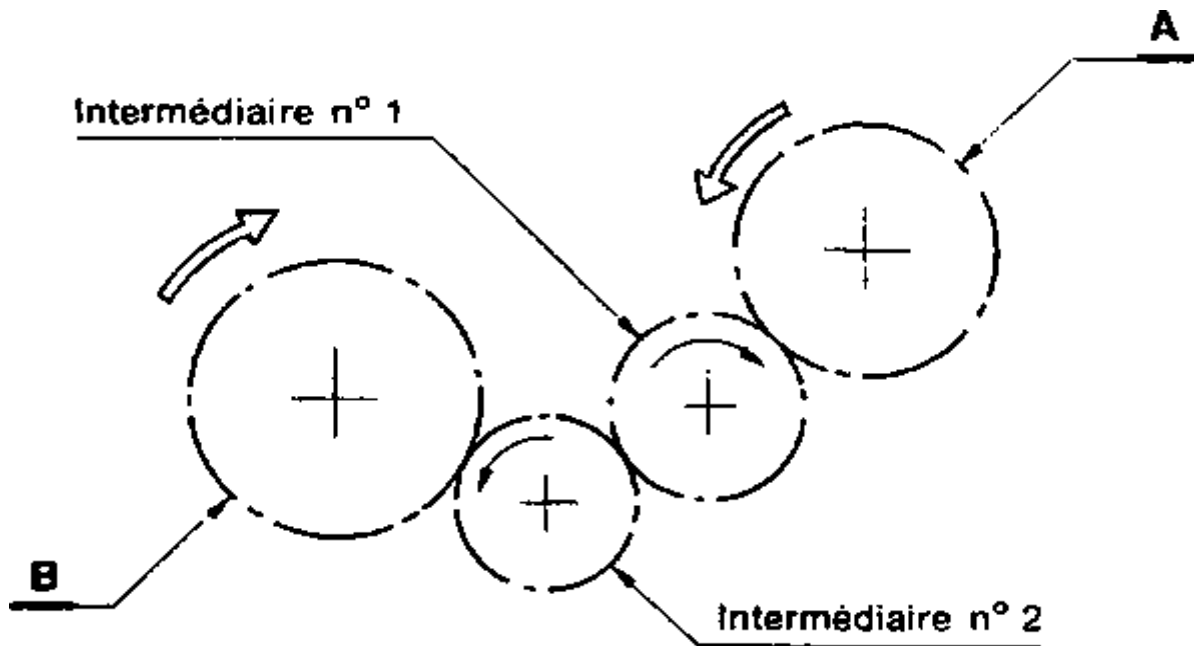


Figure II. 8 : Commande d'un diviseur par quatre roues [6].

II.7.3. Calcul du train d'engrenage (Figure II. 9) :

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

_ Evolution angulaire de la broche pour 1 division en N parties égales : $w_{\text{broche}} = \frac{1}{N}$

_ Evolution de la roue B : $W_B = \frac{1}{N} \times \frac{Z_A}{Z_B}$

_ Evolution du couple conique ($r=1$) : $W_C = \frac{1}{N} \times \frac{Z_A}{Z_B}$

_ Evolution du plateau à trous (mouvement différentiel) : $W_P = \frac{1}{N} \times \frac{Z_A}{Z_B}$

_ Evolution angulaire du plateau à trous (α_2), pour une division en N parties. Est égale à la

différence : $\frac{k}{N} - \frac{K}{N'} = W_P$

_ On a alors légalité : $\frac{k}{N} - \frac{K}{N'} = \frac{1}{N} \times \frac{Z_A}{Z_B}$

_ Réduisons au même dénominateur le 1^{er} terme : $\frac{KN' - KN}{NN'} = \frac{K(N' - N)}{NN'}$

_ L'égalité dévient $\frac{Z_A}{Z_B} = \frac{1}{N} \times \frac{Z_A}{Z_B}$

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

_ Simplifions par dans le 1^{er} terme

_ Formule générale :

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

Remarque :

La formule devient :

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

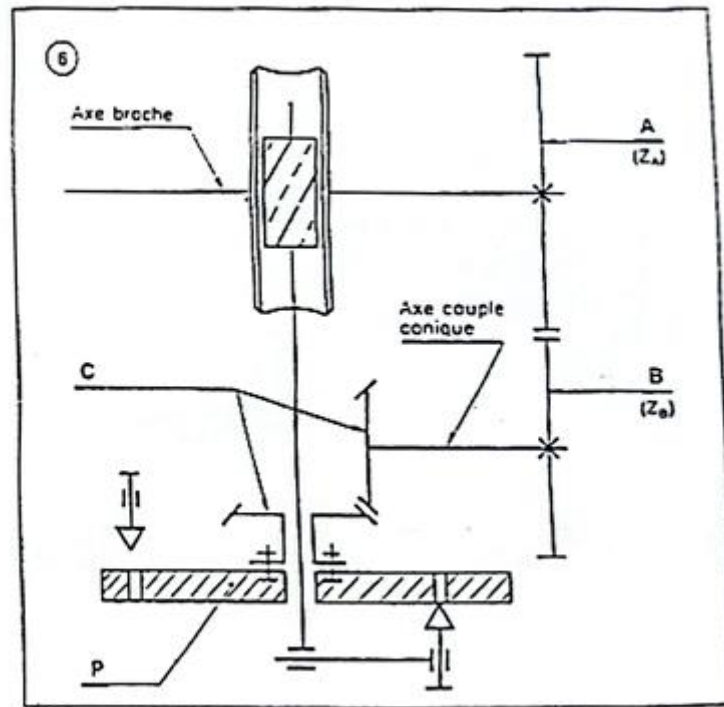


Figure II. 9 : train d'engrenage [6].

II.8. Application numérique :

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 fourni avec le diviseur. [5]

Tableau II.1: Plateau a trous disponibles.

I	13 _ 16 _ 18 _ 20 _ 23 _ 27 _ 31 _ 37 _ 41 _ 47
----------	--

_ Roues dentées disponible :

24 _ 28 _ 64 _ 68 _ 72 _ 86 _ 100

Soit le nombre de dents est 30 et le module $m= 2$.

Le choix de la fraise module :

On a 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.

Tableau II.2 : le choix facile de la fraise.

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

La fraise correspondante à 30 dents est celle qui porte le N°5 (26 à 34).

1^{er} problème :

K =40, N=30 (montage a 4 roues) (fig 9)

Solution :

$$\frac{k}{N} = \frac{40}{30}$$

- on choisi N'=28 (N' < N).

- calcul de l'équipage de roues application pour (N' < N) la formule :

$$\frac{K(N-N')}{N'} = \frac{Z_A}{Z_B} \times \frac{Z_c}{Z_D} = \frac{40(30-28)}{28}$$

$$= \frac{80}{28} = \frac{80}{24} \times \frac{24}{28} = \frac{Z_A}{Z_B} \times \frac{Z_c}{Z_D}$$

Les roues menantes A et C auront :80 et 24 dents

Les roues menantes Bet D auront :24 et 28 dents

Remarque :

- En cas d'impossibilité de montage d'autre engrenages utilisables.

- Sens de rotation de plateau $N' < N$. ($28 < 30$) : 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 diviseur utilisé.

(Montage à 4 roues) (fig. 10)

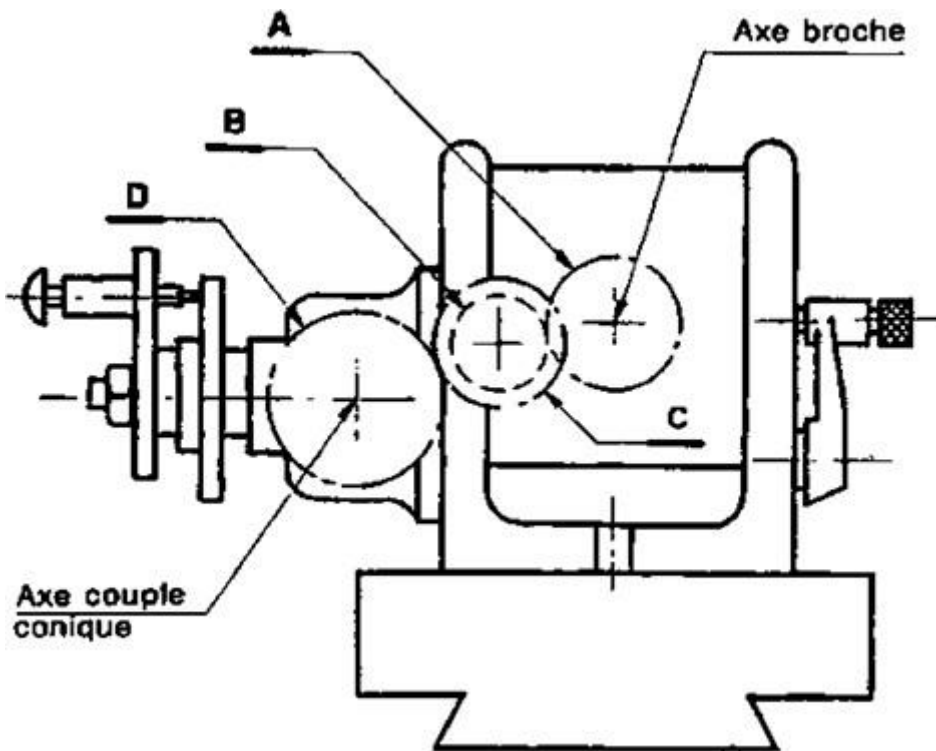


Figure II.10: montage de diviseur à 4 roues [6].

Tableau II.3: paramètre de division différentielle pour le taillage d'engrenage.

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	meme sens	60	30		
59	60	meme sens	40	60		
61	60	sens inverse	40	60		
63	60	sens inverse	60	30		
67	70	meme sens	80	40	60	70
69	70	meme 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	meme sens	40	80		
81	80	sens inverse	40	80		
83	80	sens inverse	60	40		
87	90	meme sens	80	60		
89	90	meme sens	40	60	30	45

II.9. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons procédé à une analyse détaillée du processus de fabrication de la pièce étudiée, en mettant en lumière les différentes méthodes de division utilisées dans l'usinage des roues à dentures droites. Après avoir présenté la division simple, qui repose sur des rapports entiers et un dispositif relativement classique, nous avons mis en évidence ses limitations, notamment lorsqu'il s'agit de réaliser des dentures nécessitant des rapports complexes ou non standards.

Face à ces contraintes, l'utilisation de la division différentielle s'est imposée comme une solution plus adaptée. Cette méthode permet une plus grande précision et une flexibilité accrue

grâce à l'intégration de corrections dynamiques dans le système de division. Ainsi, elle répond parfaitement aux exigences de notre application, où la division simple ne permettait pas de garantir la justesse souhaitée dans la réalisation des dentures.

Le choix de la division différentielle dans notre démarche de fabrication n'est donc pas arbitraire, mais résulte d'une analyse rigoureuse visant à assurer la qualité, la précision et la conformité de la roue dentée fabriquée. Cette décision technique illustre l'importance de bien adapter les méthodes d'usinage aux spécificités géométriques et fonctionnelles de la pièce à produire.

III.1. Introduction :

Dans le domaine de la mécanique, les dessins de définition représentent des documents techniques fondamentaux. Ils fournissent une représentation détaillée et normalisée d'une pièce à fabriquer, en indiquant toutes les informations nécessaires telles que les dimensions exactes, les tolérances géométriques, les états de surface, le matériau utilisé ainsi que les éventuels traitements thermiques.

Pour les roues dentées à dentures droites, ces dessins revêtent une importance particulière. En effet, la précision géométrique des éléments tels que le module, le nombre de dents, le diamètre primitif ou encore la largeur de la denture est essentielle pour garantir un engrènement correct et un bon fonctionnement du mécanisme. Une erreur dans l'interprétation du dessin peut entraîner des défauts de fabrication, des pertes de rendement, du bruit ou une usure prématurée des engrenages.

De plus, le dessin de définition assure une communication claire et sans ambiguïté entre les différents intervenants du processus de production : concepteurs, techniciens, opérateurs et contrôleurs qualité. Il constitue également une base indispensable pour le contrôle dimensionnel de la pièce finie et pour la programmation des machines-outils en fabrication assistée par ordinateur (FAO). Ainsi, il garantit la conformité et la qualité du produit final tout en optimisant les étapes de fabrication.

III.2. Rôle du dessin de définition :

Le dessin de définition est un document technique normalisé qui décrit de manière complète et précise une pièce mécanique individuelle. Il contient toutes les informations nécessaires à sa fabrication, son contrôle, et son assemblage éventuel, notamment : les dimensions exactes, les tolérances, l'état de surface, le matériau utilisé, et les traitements éventuels. Il constitue un outil indispensable dans l'industrie mécanique. [1]

Le dessin de définition joue un rôle fondamental dans le processus de conception et de fabrication des pièces mécaniques. Il permet une représentation complète et précise de la pièce, en fournissant toutes les informations nécessaires à sa réalisation. Son premier rôle est de servir de référence technique pour l'usinage : il indique les dimensions exactes, les tolérances, les états de surface, les matériaux, ainsi que les traitements thermiques ou de surface éventuels.

En outre, il constitue un outil de communication essentiel entre les différents acteurs du projet, notamment les ingénieurs de conception, les techniciens d'atelier et les contrôleurs qualité. Grâce à ce document, le risque d'erreur ou d'interprétation est fortement réduit.

Le dessin de définition est également utilisé comme base pour le contrôle qualité, permettant de vérifier la conformité de la pièce usinée aux spécifications. Dans un contexte moderne, il peut être intégré dans des logiciels de fabrication assistée par ordinateur (FAO), facilitant ainsi la programmation des machines-outils.

Enfin, dans le cas des roues dentées, un dessin de définition précis est indispensable pour garantir un engrenement correct et une transmission de mouvement efficace. [1]

III.2.1. Caractéristique d'une roue à denture droite normale $\alpha = 20^\circ$:

Un dessin de roue d'engrenage à dentures droites doit contenir un ensemble d'éléments essentiels pour assurer une fabrication et un fonctionnement corrects de l'engrenage. Ces éléments permettent de définir avec précision la géométrie et les caractéristiques fonctionnelles de la roue. Le Tableau 01 présente les éléments les plus importants.

Tableau III.1: Caractéristique d'une roue denture droite normale [2.3]

Element	Designation	Formule	Application numérique
Module	m	Déterminé par un calcul de résistance des matériaux	2
Nombre de dents	Z	Nombre total de dents sur la roue dentée.	30
Diameter primitif	d	Diamètre théorique sur lequel s'engrènent les dents ($d = m \times Z$).	60
Diameter de tête	da	Diamètre à la tête des dents ($da = d + 2m$).	64
Diameter de pied	df	Diamètre à la base des dents, en dessous du diamètre primitif ($df = d - 2,5m$).	55
Largeur de la denture	b	Largeur axiale de la zone dentée. ($b = m \times K$) . (K valeur à se fixer, fréquemment on prend $K = 8$ ou 10)	20
Saillie	ha	$ha = m$	2
Creux	hf	$hf = 1,25m$	2,5
Hauteur de dent	h	$h = ha + hf = 2,25m$	4,5
pas	p	$P = m \times \pi$	6,28
Angle de pression	α	Angle standard du profil d'engrenage	20°
Entraxe de deux rous A et B	a	$a = \frac{m(z_a + z_b)}{2} = \frac{d_a + d_b}{2}$	

Tableau III.2: Les modules normalisés les plus utilisés.

MODULE NORMALISE			
Valeurs principaux		Valeurs secondaires	
0,5	4	0,55	4,5
0,6	5	0,7	5,5
0,8	6	0,9	7
1	8	1,125	9
1,25	10	1,375	11
1,5	12	1,75	14
2	16	2,25	18
2,50	20	2,75	22
3	25	3,5	28

Tableau III.3: spécification de précision des engrenages.

Classe de précision		6	7	8	9	10	11	12	
Roue alésée tolérance sur le Ø d'alésage		IT 6	IT 7	IT 7	IT 8	IT 8	IT 8	IT 8	
Roue arbrée tolérance sur le Ø de l'arbre		IT 5	IT 6	IT 6	IT 7	IT 7	IT 8	IT 8	
Tolérance t1 sur le Ø de tête		IT8	IT8	IT8	IT9	IT9	IT11	IT11	
Module		Tolérance de coaxialité en microns							
Diamètre primitif d	≤100	1 à 3,15	36	50	63	80	100	125	160
		> 3,15 à 6,3	45	63	80	100	125	160	200
		> 6,3 à 10	50	71	90	112	140	180	224

	100 à 400	1 à 3,15	40	56	71	90	112	140	180
		> 3,15 à 6,3	40	71	90	112	140	180	224
		> 6,3 à 10	56	80	100	125	160	200	250
Rugosité des flancs (Ra en microns)			0,4	0,8	3,2		6,3		
Tolérance d'entraxe ± t			1/2 IT 7	1/2 IT 7	1/2 IT 7		1/2 IT 7		

Tableau III.4: Tableau des Vitesse de rotation N (tr/min) (TOUR).

SN 50	$z_1 \oplus z_2$		$z_2 \oplus z_1$	
	z_1	z_2	z_2	z_1
	22,4	180	45	355
	31,5	250	63	500
	45	355	90	710
	63	500	125	1000
	90	710	180	1000
	125	1000	250	2000

⊕ /min.

Tableau III.5: Tableau des Vitesse de rotation N (tr/min) (FRAISEUSE).

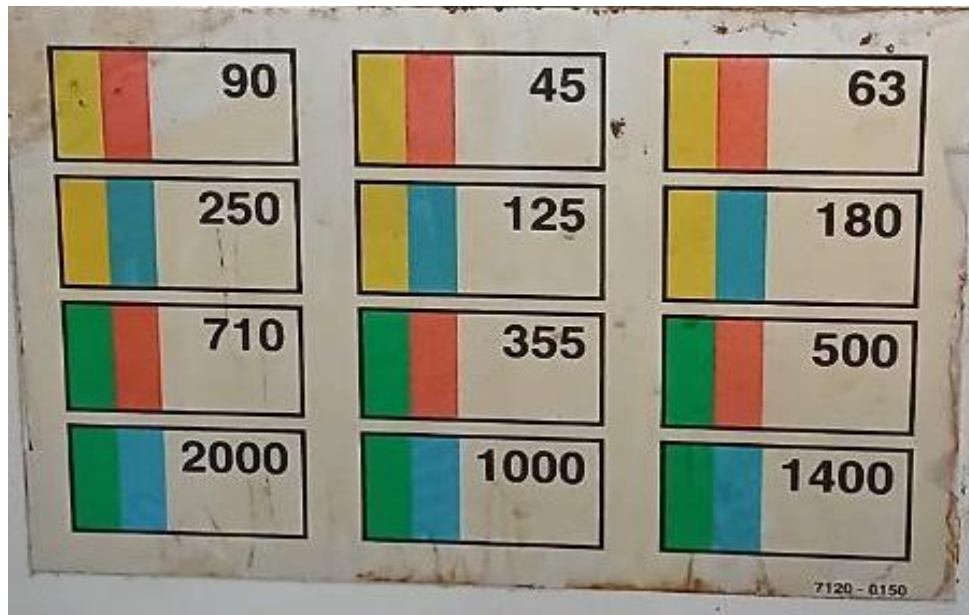
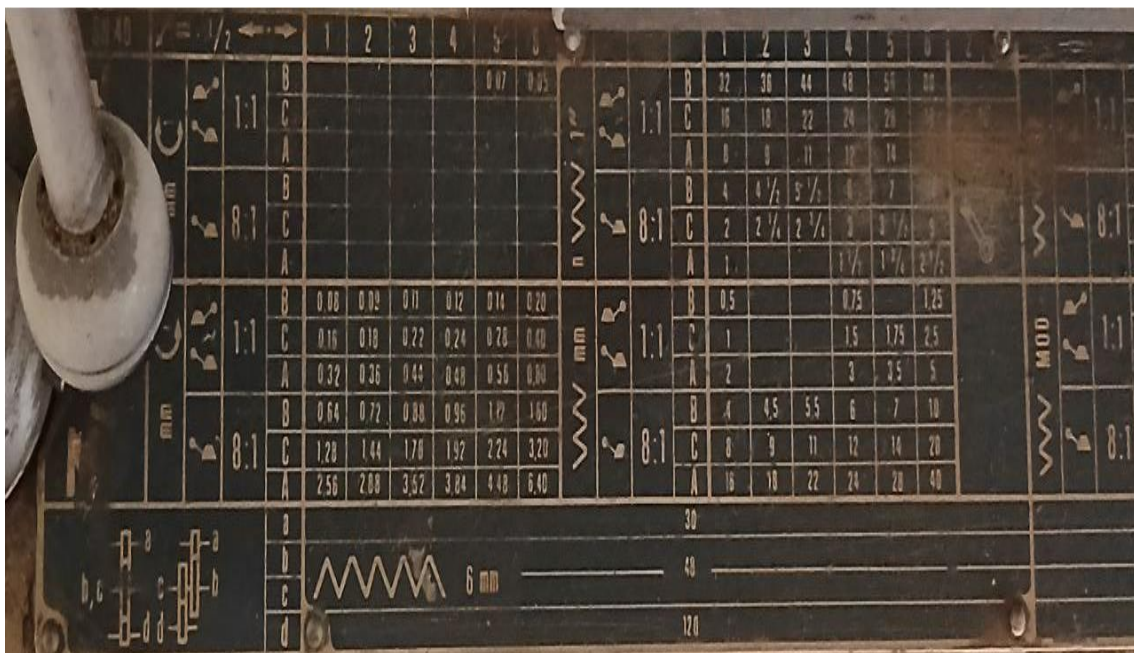


Tableau III.6: Tableau de filetage (tour).



III.3. Gamme d'usinage de la roue dentée :

La gamme d'usinage représente l'ensemble structuré des opérations nécessaires à la fabrication complète d'une roue dentée, depuis l'ébauche jusqu'à la finition. Elle permet d'organiser le processus de production de manière logique, en tenant compte des moyens disponibles, des tolérances requises et de la qualité attendue.

Voici les étapes typiques d'une gamme d'usinage pour une roue dentée:

Tableau III.7: Groupement de surface:

N	surface			désignation
1	5	6	7	GF

Tableau III.8 : Tableau de niveaux :

Opération élémentaire	1	2	3	4	5	6	7	8
1F	1F			tournage				
2F		2F						
3F			3F					
4F				4F			tournage	
GF						GF	rainurage	
7F				fraisage				7F
8F								8F

100 : Contrôle du brut

400 : Rainurage GF

200 : Tournage 1F -2F

500 :Fraisage 7F- 8F

300 : Tournage 3F-4F

600 : Contrôle finale

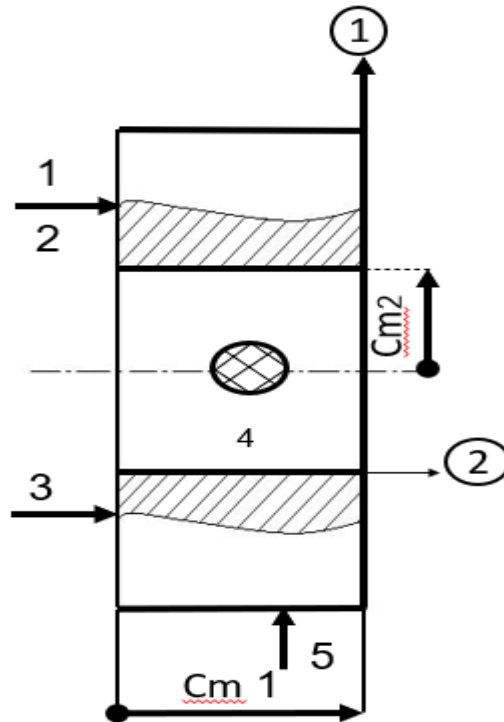
Tableau III.9 : Gamme d'usinage de la roue dentée.

phase	Opération élémentaire	Machine outil	Dessin de phase
100	contrôle du brut		Ø 70 × 35 mm
200	<p>Tournage Dresser (1) en F Cm1 = 33 ±0.1 Aléser (2) en F 2Cm3 = Ø 22 ±0.021 Ra=6.3</p>	T.P (Tour parallèle)	
300	<p>Tournage Dressage (3) en F Cm3= 30 ±0.1 Charioter (4) en F 2Cm4 = Ø 64 ±0.1 Ra=6.3</p>	T.P (Tour parallèle)	

phase	Opération élémentaire	Machine outil	Dessin de phase
400	Rainurage de la clavette Rainure (5), (6) et (7) en F $Cm5 = 31.3 \pm 0.3$ $C0 = 8.59 (+0.01)$ $Ra=6.3$	Etou limeur	
500	Taillage d'engrenage Tailler (8) en E $2Cm6 = 55.4 \pm 0.1$ Taillage (8) en F $2Cm6 = \varnothing 55 \pm 0.1$ $Ra=6.3$	F.H 3.6 Fraiseuse horizontale	
600	Contrôle finale -Dimensions -Etat de surface		

III.4. Contrat de phase 200:

Contrat de phase		Phase N:
Phase :200	Ensemble: mécanisme de transmission	Piece: roue dente
Machine: tour parallels	Matière : Aluminium	Quantite :1



Designation des operation elementaries	Condition de coupe					Verification
	Vc m/ min	N tr/m in	a m m/t r	P m m	Va mm/ min	
- Tournage	200	910	0,08	2	/	Pied à Coulisse 1/50 Micromètre Outil a aléser en carbure NF E 66-371
-Dresser (1) en F Cm1 = 33 ±0.1	200	2275	Manuel	/	/	
-Aléser (2) en F 2Cm3 = Ø 22 ±0.021	200	995	0,08	8	/	

Machine :TP

Montage de pièce : en l'air

III .4.1. Contrat de phase 300 :

Contrat de phase		Phase N:				
Phase :300	Ensemble :mecanisme de transmision	Piece :roue dente				
Machine :tour parallele	Mataire : aluminum	Qte :1				
Designation des operation elementaries	Condition de coupe					Verification
	Vc m/ min	N tr/min	a mm/tr	P mm	Va mm/ min	
-Tournage	200	910	0,0	2	/	Pied à Coulisse 1/50 Micrometer Outil a charioter et dresser en carbure NF E 66-362
-Dresser (3) en F Cm3= 30 ±0.1	200	2275	8M an		/	
-Charioter (4) en F 2Cm4 = Ø 64 ±0.1	200	995	uel 0,08	6	/	

Machine :TP

Montage de pièce :en l'air

III .4.2. contrat de phase 400 :

Contrat de phase		Phase N:				
Phase :400	Ensemble: mécanisme de transmission	Temps: /				
Piece :roue dentée	Matière : Aluminium	Qte :1				
Designation des operation elementaries	Condition de coupe					Verification
	Vc m/ min	N tr/m in	a m m/t r	P m m	Va mm/ min	
Rainure de la clavette Rainure (6), (7) et (8) en F Cm5 = 31.3 ±0.3 C0 = 8.59 (+0.01)	200	2054	0,08	8	/	Pied à Coulisse 1/50 Micromètre Outil a rainurer en carbure NF E 66-366

Machine : Etau limeur

Montage de pièce :en l'air

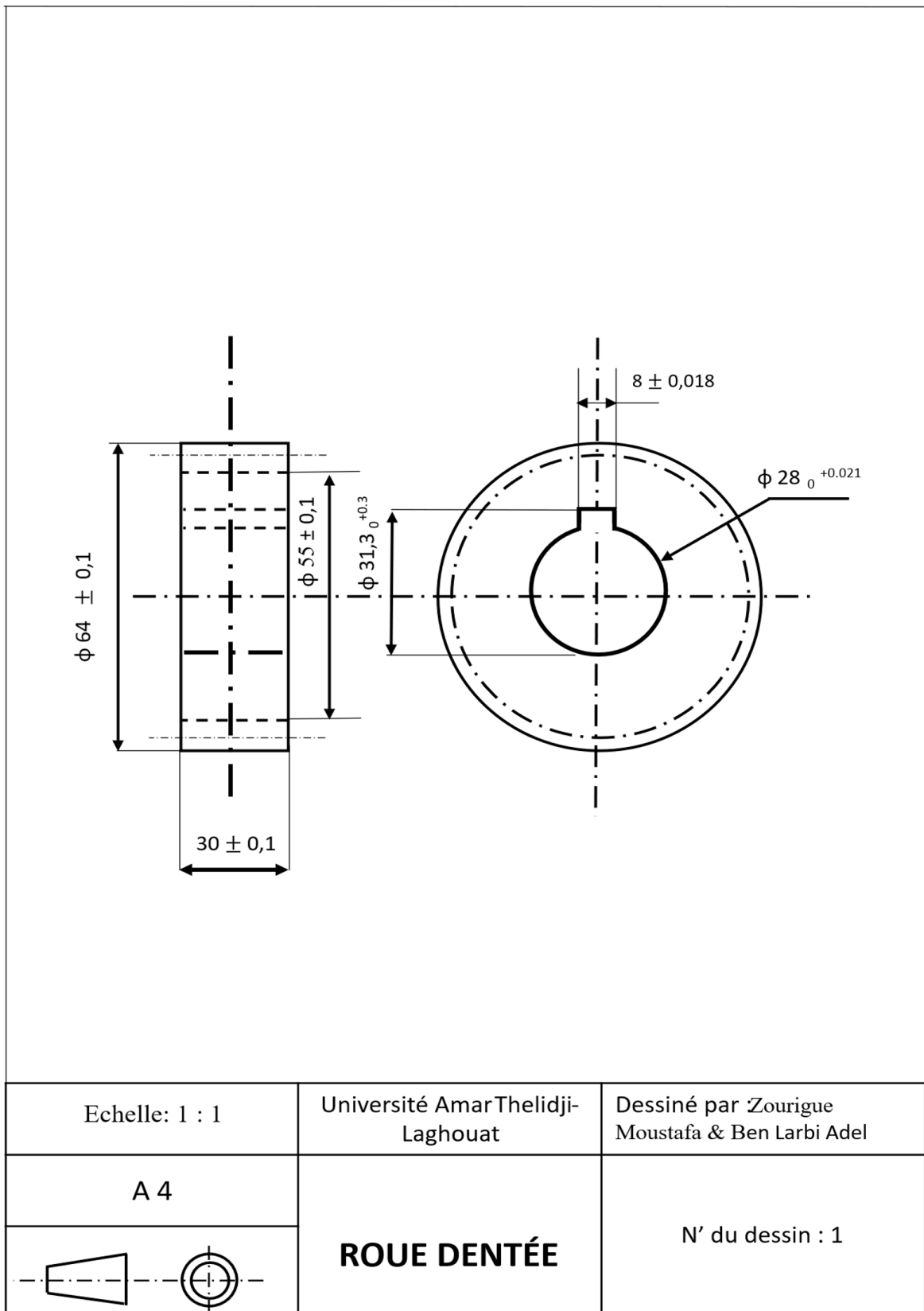
III .4.3. Exemple de contrat de phase 500 :

Contrat de phase		Phase N:				
Phase :500	Ensemble :mecanisme de transmission	Piece :roue dente				
	Mataire : aluminum	Qte :1				
Designation des operations elementaries	Condition de coupe					Verification
	Vc m/m in	N tr/mi n	a mm /tr	P m m	Va mm/mi n	
Taillage d'engrenage Tailler (9) en E 2Cm6 = 55.4 ±0.1	200	910	0,0 80, 08	2	/	Pied module Fraise-module N°5
Taillage (9) en F 2Cm6 = Ø 55 ±0.1	200	910	manu ell	8	/	
	200	910	0,08	6	/	

Machine :Fraiseuse horizontale

Montage de pièce :Mixte

III .5. Dessin de définition de la roue dentée :



III.6. Conclusion :

La transmission de mouvement d'un arbre à un autre par le liais des engrenages. Il y a plusieurs types d'engrenages : à dentures droites, à dentures hélicoïdales et à dentures coniques.

Pour notre étude, on a prie en considerateur le taillage d'une roue dentée à dentures droites avec un angle de contact égale à 20^0 .

Les d'incapacité de réalisations avec la division simple, on peut utiliser la division différentielle si le nombre de dents à réaliser ne figure pas sur le plateau des trous. On a essayé dans ce chapitre de dresser une gamme d'usinage de la pièce étudiée ainsi les kontras de phases correspondants le type de montage de pièce est pour l'usinage.

Conclusion générale :

Après avoir terminé cette recherche, nous pouvons extraire les principaux résultats qui ont été atteints à travers les trois chapitres qui ont formé la structure de base de cette étude.

Dans le premier chapitre, un aperçu des machines de base utilisées dans la fabrication d'engrenages, à savoir les moulins, a été fourni, en mettant l'accent sur leur principe de fonctionnement et les techniques de coupe utilisées. Les différents types d'engrenages, notamment les engrenages à denture droite, ont également été abordés, avec une explication de leurs caractéristiques et de leurs applications en mécanique et dans l'industrie.

Le deuxième chapitre traite des aspects théoriques de la conception des engrenages, où la méthode de calcul des dimensions des dents et des angles de coupe est expliquée, en plus de l'identification des roues intermédiaires utilisées dans le processus de coupe basé sur la division différentielle. Ces calculs ont permis de garantir la précision de fabrication et d'éviter les erreurs courantes dans la conception des engrenages.

Dans le troisième chapitre, l'aspect pratique où les étapes de fabrication de l'engrenage étudié ont été analysées à l'aide de la fraiseuse, en mettant l'accent sur la technique de division différentielle et en déterminant les critères de coupe optimaux et la qualité des dents résultantes. Les défis techniques qui peuvent être rencontrés lors de la fabrication ont également été évalués et des solutions pratiques ont été proposées pour améliorer les performances.

Finalement, cette étude a contribué à fournir une vue d'ensemble de la fabrication d'engrenages à denture droite utilisant la division différentielle, en partant des bases théoriques, en passant par des calculs d'ingénierie précis et en atteignant une application pratique. Cette étude est considérée comme un ajout utile au domaine de l'ingénierie mécanique, car ses résultats peuvent être utilisés pour développer des processus de fabrication d'engrenages et améliorer leur précision et leur efficacité dans diverses applications industrielles.

En conclusion, ce mémorandum a atteint ses objectifs, ouvrant de nouveaux horizons pour la recherche future dans le domaine de la fabrication d'engrenages utilisant des technologies avancées.

Références bibliographiques

- [1]. Dr Layachi, procédé d'obtention des pièces mécaniques, Université de Frères Mentouri Constantine, 2010.
- [2]. BELLAIS (Cl.). – Outils coupants. Taillage des roues cylindriques. Traité Génie mécanique 7 097, 1996
- [3]. G. Henriot, "Traité théorique et pratique des engrenages", Paris : Dunod, 1979, 6ème édition, Tome I : Théorie et technologie, XII - 662 p.
- [4]. <https://permamath.e-monsite.com/medias/files/4-appareils-a-diviser.pdf>
- [5]. Djamaa Mohamed chérif appareille diviseur méthode et application, université 8 mai 1945 GUELMA
- [6]. L. Rimbaud, G. Layes, J. Moulin, Fraissage », Edition Hachette 1985.
- [8]. Delahaut, « Mémento des conventions normalisées du dessin technique », Editions Labor, 1963.
- [9]. Dr Omnifab, dessin industriel publié le : 20 janvier 2025
- [10]. A. Chevalier, guide de dessinateur industriels, Edition Hachette, 1982.
- [11]. A. Chevalier, Guide de dessinateur industriel, Edition Hachette, 2004.