

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : TECHNOLOGIE

Département : Génie Mécanique

Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Fabrication Mécanique et Productique

## Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

**Contribution à l'amélioration d'une gamme d'usinage d'un  
arbre pignon d'un réducteur de vitesse**

Présenté par : *SLAMA Houda*

Encadrant : *RAHMAOUI Zakaria* Grade : *MCB* Université : *UBMA*

### Jury de Soutenance :

BENCHIHEUB Slimane	MCA	UBMA	Président
RAHMAOUI Zakaria	MCB	UBMA	Encadrant
MENAIL Younes	Pr	UBMA	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

# Dédicace

♥ *A mes chers parents pour leurs sacrifices.*

♥ *A mes deux frères : Tarek, Redouane, Mohamed islam, Riad*

♥ *A mes sœurs : Assia, Rahma*

♥ *A toute ma famille*

♥ *A toutes mes amies : Sara, Latifa, Nadia*

♥ *houfa*

# REMERCIEMENTS

❖ Je tiens à remercier DIEU de m’avoir donné la force et la patience nécessaires pour mener à terme ce modeste travail.

❖ Je remercie tous les professeurs du département Génie Mécanique qui m’ont permis le savoir, et en particulier :

Mon Encadreur : Mr. Z. Rahmaoui

❖ Mes remerciements vont également à :

Tous les professeurs “membres de jury” qui ont voulu prendre part à ce travail pour le discuter et l’enrichir sans doute par leurs remarques et directives lors de la soutenance.

❖ Que toutes les personnes qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail trouvent la marque de sympathie et de reconnaissance.

## SOMMAIRE

1- Contexte et problématique de l'étude.....	1
2--Processus de production et modernisation de l'aciérie électrique d'El-Hadjar.....	2
3- Les éléments du chariot :.....	5

### **Chapitre 1 : pont roulant**

1. Introduction .....	8
1.1: Définitions.....	9
1.1-1 : Structure .....	9
1.1-2 : Fonctions et mobilités possibles.....	9
1.1-2 Différents type de pont roulant .....	11
1.2.1 Ponts roulants posés.....	12
1.2.2 Ponts roulants suspendus.....	12
1.2.3 Portiques.....	13
1.2.4 Semi-portiques.....	13
1.3 - Principaux mécanismes des ponts roulants.....	14
1.3.1 Mécanisme de levage.....	15
4- Problèmes courants des ponts roulants :.....	19
4.1- Damage ou dégradation du câble métallique.....	20
4.2 -Usure excessive des roues du chariot d'extrémité.....	21
4.3 :Problèmes avec les pendentifs à bouton-poussoir ou les radiocommandes.....	22
4.4- Fusibles grillés.....	22
Crochets pliés ou endommagés.....	23

### **Chapitre : II - GÉNÉRALITÉS SUR LES ENGRENAGES**

II.1 Introduction.....	25
II.2 Définition d'un engrenage.....	26

## Sommaire

---

II.2.1 Avantages et inconvénients des engrenages .....	26
II.3 Etude des Engrenages parallèles .....	27
II.3.1 Engrenage cylindrique à denture droite .....	28
II.3.2 Profil des dents en développante de cercle .....	28
II.3.3 Caractéristiques géométriques d'une roue dentée .....	28
II.3.3.1 Module métrique .....	29
II.3.4 Fonctionnement des engrenages .....	30
II.3.5 Rapport des fréquences de rotation .....	30
II.3.5.1 Efforts sur les dentures – Couple transmis .....	31
II .4 -Génération des dents .....	32
II .4 .1 Denture droite.....	32
II .4 .2 Denture hélicoïdale.....	32
II .4.3- Engrenage à vis.....	33
II .4.4 -- Taillage ou fabrication des pignons et des roues.....	34
II .5 Définition de l'interférence.....	35.
II 5.1. Inconvénients de l'interférence :.....	35
II .5.1.1 Interférence de taillage.....	35
II .5.1.2 interférence de fonctionnement.....	35
II .5.3 Déport de denture sans variation $d'$ entraxe.....	37
II 3.3.3 Limites du déport de denture sans variation $d'$ entraxe.....	38
II .6 : Types $d'$ engrenages.....	40
II .6.1 : Engrenage à roue crémaillère .....	40
II .6.2 : Engrenages concourants ou coniques.....	41
II .6.2 : Engrenages gauches.....	41
II.6.3: Fabrication des engrenages .....	41
II.6.4: Taillage par génération.....	42
II.6.5 Taillage par outil crémaillère .....	43

## Sommaire

---

II.6.6. Taillage par l'outil-couteau ou à l'outil-pignon.....	43
II.5.1.3 Taillage par fraise-mère.....	45
II.5.1.4 Etude de l'outil fraise-mère .....	50
II.5.4.2 Techniques de finition des dentures.....	51
II.5.2.1 La rectification.....	51
II .6 : Les réducteurs de vitesses.....	52
II .6.1. Définition.....	52
II .6.2 ; Les types des réducteurs.....	53
II .6.2.1. Réducteur à roue et vis sans fin.....	54
II .6.2.2.1 :. Principales applications.....	55
II .6.2.3 : Réducteur à engrenage conique.....	55
II .6.2.4 :. Réducteurs à engrenages cylindriques à arbres parallèles.....	55
II .6. 2.5 :Réducteurs à trains épicycloïdales .....	56
II .6.3 : Mode de lubrification.....	56
II .6.4 : Etude principaux défauts au niveau des réducteurs.....	57

### **Chapitre 3 ETUDE DE FABRICATION**

3..1 Choix de matériau .....	62
3.2 matériau de l'étude.....	63
3.1.2 Composition chimique.....	63
3..1.3 Caractéristique de l'acier faiblement allié 42CrMo4.....	64
3.2 Dessin de définition d'arbre pignon.....	66
3.2. 1: Géométrie de dessin de définition de l'arbre (solidworks).....	67
3.2.2 Dessin de définition de la roue.....	68
3.2.3 : Géométrie de dessin de définition de roue (solidworks).....	69
3.2 : Paramètre de coupe .....	70
3.3 calcul les engrenage à denture droites.....	78
34.3 : Gamme d'usinage d' arbre denture.....	82
3.4 : contrat phase.....	85

## Liste des figures

---

Figure 01 : produit finale.....	3
Figure. :02 palant roulant de levage.....	4
Figure :03 amiikon groupe de levage pour roulant bipoutre.....	5
Figure :03 Schéma descriptif d'un pont roulant.....	
Figure I : quelques applications des ponts roulants.....	8
Figure I.1.1 : Pont roulant : structure générale.....	9
Figure I.1.2. : Différents mouvements d' un pont roulant.....	10
Figure I.2.1 : pont roulant bipoutre posé.....	11
Figure I.2.1 : schéma d'un mono-poutre posé.....	12
Figure I.2.1 : schéma d'un mono-poutre posé.....	12
Figure I.2.2 Schéma d'un mon-poutre suspendu.....	12
Figure I.2.2 : mono-poutre suspendu.....	12
Figure I.2.2 : bipoutre suspendu.....	12
Figure I.2.3 : Portique.....	13
Figure I.2.4 : semi-portique.....	13
Figure I.3.1. : Principaux éléments du mécanisme de levage.....	14
Figure I.3.2. Photographie d'un moteur de levage.....	15
Figure I.3.3. Photographie d'un Tambour d'un pont roulant.....	15
Figure I.3.4 : Photographie d'un frein à disque.....	16
Figure I.3.5 : Photographie d'un réducteur de vitesse.....	17
Figure I.3.7 Câble métallique.....	17
Figure I.3.8.: Poulie de moufle.....	17
Figure I.3.9 : crochet de levage.....	18
Figure I.4.1 Dommage ou dégradation du câble métallique.....	19
Figure I.4.2 : Usure excessive des roues du chariot d'extrémité.....	21

## *Liste des figures*

---

<i>Figure .1.4.5 : Crochets pliés ou endommagés.....</i>	<i>22</i>
<i>Figure.II.1 : Présentation des différents types de denture.....</i>	

## **Liste des tableaux**

<i>Tableau. II.1 Avantages et inconvénients des engrenages.....</i>	<i>1</i>
<i>Tableau II .2. Caractéristiques d'engrenage cylindrique à denture droite extérieur et intérieur .....</i>	<i>2</i>
<i>Tableau 11.3 – Modules normalisés.....</i>	<i>3</i>
<i>Tableau 4.1 : Choix des matériaux pour l'assemble.....</i>	<i>4</i>
<i>Tableau 4.2 : Composition chimique de l'acier 42CD4.....</i>	<i>5</i>
<i>Tableau 4.4 : Valeurs indicatives moyennes des vitesses de coupe pour les opérations de perçage.....</i>	<i>6</i>
<i>Tableau 4.5 : Valeurs indicatives moyennes des vitesses de coupe pour les opérations de tournage.....</i>	<i>7</i>
<i>Tableau4.4 : Taillage de denture droite .....</i>	<i>8</i>
<i>Tableau 45 Gamme d'usinage d'arbre dentue .....</i>	<i>9</i>

## *Nomenclature*

---

<b>Mc</b>	<i>Mouvement de coupe.</i>	
<b>Ma</b>	<i>Mouvement d'avance</i>	
<b>N</b>	<i>Fréquence de rotation</i>	<i>(tr/min).</i>
<b>Vc</b>	<i>Vitesse de coupe</i>	<i>(m/min).</i>
<b>D</b>	<i>Diamètre de la pièce</i>	<i>(mm).</i>
<b>Vf</b>	<i>Vitesse d'avance</i>	<i>(mm/min).</i>
<b>f</b>	<i>L'avance par dent</i>	<i>(mm/dent).</i>
<b>fz</b>	<i>Nombre de dent de la fraise</i>	<i>(dent/tr).</i>
<b>ap</b>	<i>Profondeur de passe en</i>	<i>(mm)</i>
<b><math>\alpha</math></b>	<i>Angle de pression</i>	<i>(en degré).</i>
<b>m</b>	<i>Module</i>	<i>(réel positif sans unité).</i>
<b>Z</b>	<i>Nombre de dente</i>	
<b>D</b>	<i>Diamètre primitif</i>	<i>(mm)</i>
<b><math>d_a</math></b>	<i>Diamètre de tête</i>	<i>(mm).</i>
<b><math>d_f</math></b>	<i>Diamètre de pied</i>	<i>(mm).</i>
<b>L</b>	<i>Longueur de la pièce</i>	<i>(en mm).</i>
<b>R</b>	<i>Rapport de transmission</i>	<i>(réel positif sans unité).</i>
<b>P</b>	<i>Le poids</i>	
<b>T</b>	<i>Temps de coupe (min).</i>	<i>n kg</i>

# Introduction générale

## **1. Introduction Générale**

Les procédés d'usinage par enlèvement de matière sont souvent utilisés dans l'industrie pour la mise en forme des pièces mécaniques [1]. Bien que leur utilisation remonte à plusieurs siècles, ils restent néanmoins en constante évolution notamment à cause de la forte concurrence au niveau national et international ainsi que l'augmentation de la complexité et de la technicité des pièces à fabriquer. Le terme de fabrication représente les différentes techniques de transformation de matière à l'aide d'une machine-outil, est un sujet important dans le domaine industriel..

Le tournage est l'un des procédés d'usinage les plus utilisés par enlèvement de matière qui consiste à réaliser des pièces de forme cylindrique ou conique à l'aide d'outils coupants sur des machines appelées tour, ses résultats dépendent initialement du choix des conditions de coupe ( $V_c$ ,  $f$ ,  $V_f$ ,  $a_p$ ). La pièce à usiner est fixée dans un mandrin, ou entre pointes. En tournage, le mouvement de coupe est obtenu par rotation de la pièce serrée entre les mors d'un mandrin, tandis que le mouvement d'avance est obtenu par le déplacement de l'outil coupant. [2]. La complexification constante des systèmes de fabrication et la concurrence amènent les chercheurs à optimiser les gammes d'usinage pour avoir un gain de matière et de temps en gardant la même qualité de surface. Parmi les familles de pièces mises en forme par usinage, il est indispensable d'en citer l'usinage des arbres pignons. L'opération d'usinage d'un arbre pignon fait l'objet d'étude de ce travail de recherche et présente une très bonne application pour l'usinage des pièces. Le taillage est un procédé d'enlèvement de matière le plus utilisé pour la fabrication des engrenages à profil de développante de cercle dans l'industrie mécanique, . La mise en forme de ces couronnes est longue, notamment si des traitements thermiques sont nécessaires [3.4].

Ce mémoire est partagé en trois chapitres suivants :

- On commence tout d'abord par le contexte de notre recherche, cette partie met en évidence la problématique et l'objectif de cette étude.
- Ensuite dans le premier chapitre on passe aux différents types de ponts roulants rencontrés dans l'industrie.
- Puis dans le deuxième chapitre des généralités sur les engrenages seront présentées (définitions, types, caractéristiques et la correction dans le taillage )
- Dans le troisième chapitre, nous nous intéressons à l'étude de fabrication de l'arbre-pignon d'un pont roulant, une comparaison avec la gamme d'usinage de l'entreprise sera présentée

## **2. Contexte et problématique de l'étude**

Pendant mon stage au sein des Ateliers Maghrébins de Mécanique (AMM), j'ai travaillé sur l'amélioration d'une gamme d'usinage d'un arbre pignon d'un réducteur de vitesse. Cette étude était réalisée dans le cadre de mes études en fabrication mécanique et productique.

Le pont roulant dont nous nous sommes intéressés était installé dans l'unité de l'aciérie électrique d'El Hadjar et avait une capacité de charges de 5 tonnes. Notre attention s'est portée spécifiquement sur l'arbre pignon situé entre le moteur et le réducteur du pont roulant.

Le palan de levage, qui fait partie des mécanismes constituant un pont roulant, est utilisé pour transporter la charge horizontalement. Cependant, cette pièce, l'arbre pignon, est régulièrement remplacée en raison de problèmes tels que la corrosion, l'usure ou une rupture brutale.

Dans le cadre de notre étude, nous avons défini la problématique à résoudre. Notre objectif était d'apporter des améliorations à la gamme d'usinage de cet arbre pignon. Pour ce faire, nous avons collaboré avec les AMM, qui sont responsables de l'usinage de cette pièce.

L'amélioration de la gamme d'usinage impliquait d'optimiser les procédés et les techniques utilisés lors de la fabrication de l'arbre pignon. Nous avons étudié les différentes étapes de l'usinage, de la préparation des outils à la réalisation des opérations d'usinage proprement dites.

L'objectif final de notre travail était d'obtenir des arbres pignons de meilleure qualité, avec des tolérances plus précises et une durée de vie plus longue. Nous avons également pris en compte des considérations telles que l'efficacité des procédés, la réduction des coûts et le respect des délais de production.

En résumé, notre étude visait à contribuer à l'amélioration de la gamme d'usinage d'un arbre pignon d'un réducteur de vitesse utilisé dans un pont roulant de capacité 5 tonnes, en collaboration avec les Ateliers Maghrébins de Mécanique.

## **3. Processus de production et modernisation de l'aciérie électrique d'El-Hadjar**

L'aciérie électrique d'Arcelor Mittal à El-Hadjar, en fonction depuis 1947, est spécialisée dans l'alimentation en lingots de la tuberie sans soudure. Ses installations comprennent un four électrique, une coulée en source à trois voies et un atelier de conditionnement des lingots. Le processus de production implique l'utilisation de ferraille, avec une proportion allant jusqu'à 90%. Une poche vide est transférée vers le convertisseur de métal liquide avant d'être placée sous le four électrique.

L'acier est traité avec du barbotage à l'argon et subit des contrôles d'analyse chimique et de température. Après l'ajout de ferro-alliages, un deuxième contrôle est effectué pour s'assurer de la conformité de l'acier liquide aux spécifications. Des fils fourrés sont ensuite injectés selon la nuance d'acier souhaitée avant le transfert vers la coulée.

En 1995, l'aciérie a été modernisée pour produire également des billettes et des blooms, élargissant ainsi sa gamme de produits tout en maintenant des normes de qualité élevées

Produit final :

- Lingots diamètre 345-410mm destinés à la fabrication des tubes
- Billettes : sections, 130x130 mm ,longueur 6 à 12 m destinées à la fabrication du rond à béton



**(Figure.: 1-d)** Lingots

Billettes

Par ailleurs, L'unité de l'ace est dotée de trois types de ponts roulants dont le rôle est crucial pour la manutention :

- Pont roulant 125 T : - pour levage de la poche d'acier
- Pont roulant 35T : - manutention du répartiteur
- Manutention du couvercle le poche
- Pont roulant 5T : - pour changement des lingotières
- Pour changement des tiroirs
- Pour changement des électrodes

Dans notre étude, nous nous sommes intéressés au pont roulant 5T montré dans la figure...

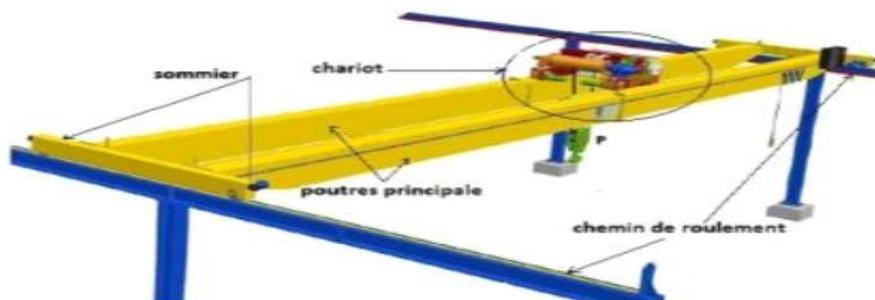




(Figure.1-e) : Pont roulant bipoutre étudié

Les éléments principaux du pont roulant sont :

- **Ossature** : c'est l'ensemble de charpente comprenant en particulier les éléments suivants : poutre principales (passerelle plus garde corps) et sommier.
- **Chariot** : c'est l'ensemble auquel est suspendu le dispositif de préhension, il contient les éléments suivants : Galet de roulement ; Moteur de levage ; Moteur de direction ; Moufl
- **Chemin** de roulement : il se compose de deux rails (généralement on choisit le rail (BURBACH) fixés au bâtiment, sur lesquels le pont roule [5]



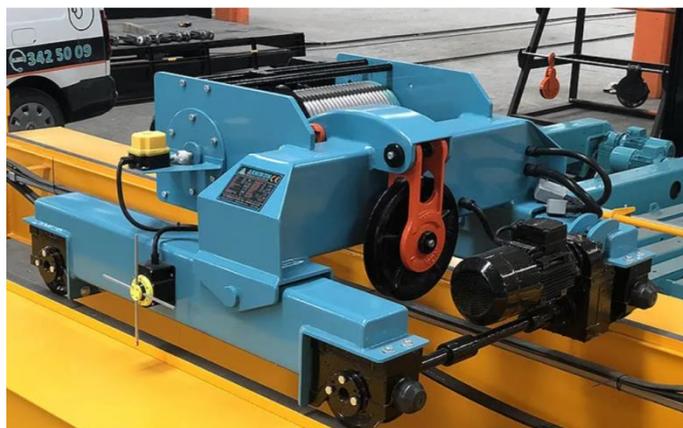
( figure :1-f ) Schéma descriptif d'un pont roulant

#### **4. Les éléments du chariot :**

Le chariot d'un pont roulant est généralement constitué de plusieurs éléments essentiels qui permettent le déplacement de la charge horizontalement. Voici les composants principaux du chariot :

1. Poutre de chariot : C'est la structure principale du chariot, généralement en acier, qui supporte les autres composants et assure la résistance nécessaire pour le levage et le déplacement de la charge.
2. Palan de levage : Le palan de levage est un dispositif fixé au chariot qui permet de soulever et de descendre la charge. Il est composé d'un treuil motorisé ou manuel, d'un crochet ou d'un dispositif de levage, et de câbles ou de chaînes pour suspendre la charge.
3. Mécanisme de déplacement latéral : Le chariot est équipé d'un système de déplacement latéral qui permet de déplacer la charge horizontalement le long de la poutre de chariot. Ce mécanisme peut être constitué de roues montées sur des essieux ou de galets qui roulent sur des rails fixés à la poutre de chariot.
4. Moteur et système de commande : Le chariot est équipé d'un moteur électrique qui alimente les mécanismes de levage et de déplacement. Un système de commande permet de contrôler les mouvements du chariot, notamment la levée, la descente et le déplacement latéral de la charge.
5. Dispositifs de sécurité : Pour assurer la sécurité lors des opérations de levage, le chariot est équipé de dispositifs tels que des freins de sécurité, des limiteurs de charge, des limites de course et des dispositifs d'arrêt d'urgence.

Il est à noter que la configuration et les composants précis du chariot peuvent varier en fonction du type et de la capacité du pont roulant utilisé.



**Figure 1.c:** Arnikon-Groupe de levage pour pont roulant bipoutre

L'efficacité et la fiabilité des ponts roulants reposent en grande partie sur la performance de leur mécanisme de levage, notamment l'arbre pignon du réducteur de vitesse dont fait l'objet cette étude. Cependant, la présence de problèmes tels que la corrosion, l'usure excessive et les ruptures soudaines de l'arbre pignon entraînent des interruptions coûteuses de l'activité industrielle. Dans ce contexte, l'amélioration de la gamme d'usinage de cet arbre pignon devient essentielle pour garantir sa durabilité et sa résistance aux contraintes opérationnelles.

En explorant les différentes approches d'usinage, les matériaux et les traitements de surface adaptés, cette étude cherche à offrir des recommandations précises pour améliorer la conception et la fabrication de l'arbre pignon du réducteur de vitesse. En collaborant étroitement avec les Ateliers Maghrébins de Mécanique (AMM), cette recherche se positionne comme un outil pratique pour l'optimisation des processus de fabrication mécanique, tout en répondant aux exigences spécifiques de l'unité d'aciérie électrique d'El Hadjar.

# Chapitre I

## Généralités sur les ponts roulants

## I.1. Introduction

Les ponts roulants et les portiques sont des moyens de manutention indispensables dans bien de secteurs industriels. Les centrales hydrauliques, les constructions navales, l'armement, les cimenteries, la sidérurgie, les usines d'incinération d'ordures ménagères ,sont autant d'exemples qui témoignent de l'utilité de ces moyens de levage et de transbordement (Figure I ).

Les ponts roulants et les portiques sont des machines permettent ; au moyen des mouvements élémentaires ; de déplacer ou de transborder une charge en tout point d'un volume parallélépipédique. Ils sont conçus pour répondre aux besoins de levage industrie de type moyen et lourd. Ces appareils permettent la manutention des charges les plus variées avec l'aide éventuelle de certains accessoires interchangeables tels que palonniers, bennes, rotateurs, fourches, suceurs.



A- Pont – roulant pour containers  
Halle de stockage



B – Pont – roulant pour manutention  
de matériaux



C – Pont –roulant avec grappin  
Et palan axillaire pour centrale d'incinération



D – Pont –roulant pour les scories  
provenant d'incinération des déchets

Figure I.1 : Quelques applications des ponts roulants

## I.1 : Définitions

Les poutres roulantes, ponts roulants, portiques et semi-portiques sont des appareils de levage destinés à soulever et à déplacer des charges. Ils se déplacent sur des chemins de roulement parallèles, leur organe de préhension (crochet ou autre accessoire de levage) est suspendu par l'intermédiaire d'un câble et de poulies à un mécanisme de levage (treuil ou palan) susceptible de se déplacer perpendiculairement aux chemins de roulement de l'appareil [4].

### I.1-1 : Structure

Le pont roulant diffère de la grue, du portique, du semi-portique, de la potence et principalement par sa conception. Il est constitué :

- D'une structure horizontale en acier (le « pont » ou quadrilatère) se déplaçant sur deux voies de roulement.
- De treuils ou palans suspendus ou posés ; ils permettent d'enrouler le ou les câbles ou la chaîne de levage.

Chaque axe de déplacement peut être manuel ou motorisé électriquement. A l'extrémité du câble, est monté le crochet de levage, soit directement soit par l'intermédiaire d'un moufle équipé de poulies.

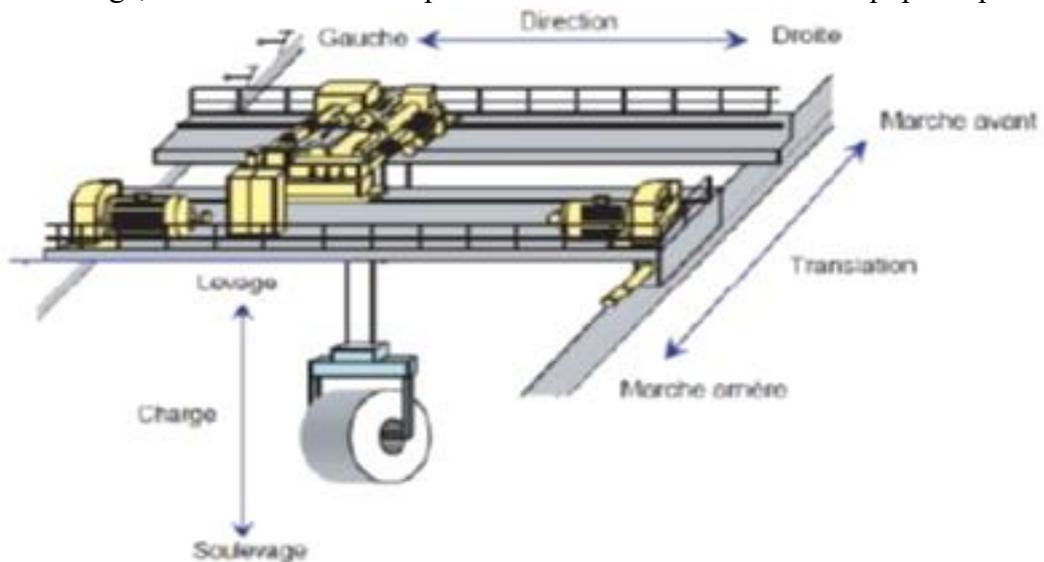
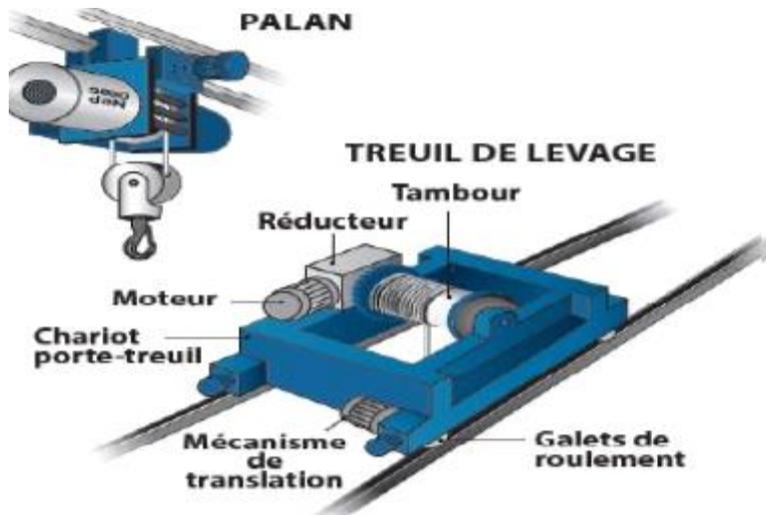


Figure I.2: Pont roulant : structure générale

### I.1-2 : Fonctions et mobilités possibles

Les ponts roulants sont généralement installés dans des halls industriels ou leur prolongement à l'air libre. Ils permettent la manutention de la charge dans tout l'espace de ces halls. Ils sont installés en

hauteur et circulent sur des rails fixés sur des poutres de roulement en acier ou béton, en encorbellement ou reposant sur des poteaux. Les axes de déplacement principaux sont appelés (figure 1.1.2) :



**1. Translation** : axe des voies de roulement (plus grande distance) correspondant à un mouvement d'ensemble du pont. Le mécanisme de translation assure le mouvement du pont roulant sur les chemins de roulement

**2. Direction** : axe transversal ; généré par un déplacement du chariot. Le mécanisme de direction assure le déplacement du/des chariots porte palan ,ou du/des chariots porte-treuil perpendiculairement au sens de déplacement du pont.

**3. Levage** : axe vertical ; levage ou descente de la charge dû à un mouvement de treuil et donc des câbles

Le mécanisme de levage assure la montée et la descente de la charge ; Sur les ponts plus spécialisés on peut trouver des mouvements complémentaires comme la rotation, le basculement etc.

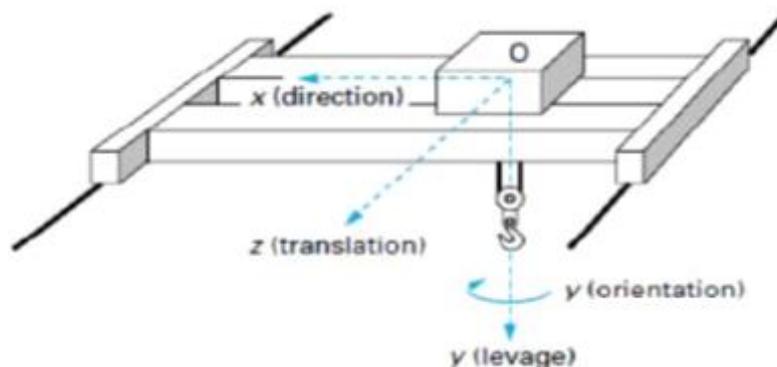


Figure I.3. : Différents mouvements d'un pont roulant

## I.2. Différents type de pont roulant :

### I.2.1. Ponts roulants posés :

l'appareil roule sur deux voies de roulement constituées par un rail qui repose sur une poutre de roulement reprise sur les poteaux du bâtiment ou de l'aire de travail , ou de stockage par l'intermédiaire de corbeaux, c'est le type de pont qui permet d'obtenir la meilleure hauteur de levage.



Figure1.3 : pont roulant mono-poutre posé



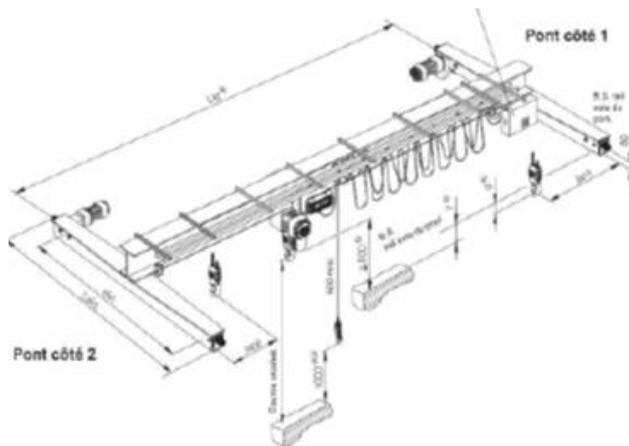


Figure I.4 :: schéma d'un mono-poutre posé

### I.2.2. Ponts roulants suspendus

L'appareil roule sur l'aile inférieure d'un profilé repris directement sur les fermes du bâtiment. Ces chemins de roulement peuvent comporter plus de deux voies de roulement. Ils peuvent en outre être équipés de plusieurs moyens de levage pour desservir toute la surface du bâtiment. Dans le cas de portée très importante on installera donc plutôt ce type de matériel. (figure 1.2.2)

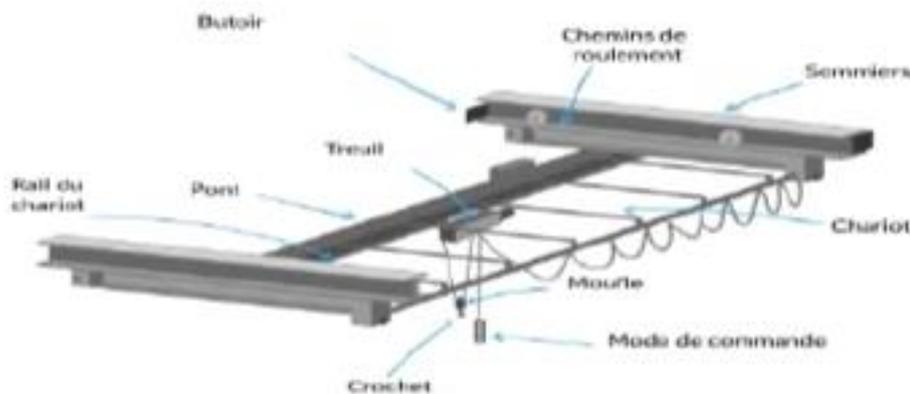


Figure I.5: Schéma d'un mon-poutre suspendu



**Figure I.6 :** mono-poutre suspendu



**Figure I.7:** bipoutre suspendu

### **I.2.3. Portiques:**

L'appareil roule sur deux voies de roulement constituées par un rail fixé directement ausol. Ils sont reliés par deux jambes ou palées. Ces portiques sont installés dans le casoù le bâtiment ne pourrait supporter les réactions qu'entraînerait l'installation d'un pontroulant ou si les transformations nécessaires s'avéraient très onéreuses, il en serait de même s'il n'y avait pas de bâtiment du tout (parc extérieur). Un déport des poutres de roulement permettant d'aller chercher des charges à l'extérieur des rails de roulement est possible, il se nomme, dans ce cas, portique à avant-bec.( Figure 1.2.3)



**Figure I.8 :** Portique

### I.2.4. Semi-portiques:

L'appareil roule sur deux voies de roulement. L'une est constituée par un rail au sol, alors que l'autre s'appuie sur la charpente du bâtiment et roule sur un chemin de roulement aérien. Cette formule est utilisée le plus souvent en complément d'un pont roulant important qui assure la liaison entre les postes équipés chacun d'un semi-portique.



Figure I.9: semi-portique

## I.3 - Principaux mécanismes des ponts roulants

Le pont roulant est un ensemble monté de trois mécanismes à savoir :

### I.3.1 Mécanisme de levage :

Il assure la monte et la descente de la charge, ce mécanisme peut comporter les éléments suivants :

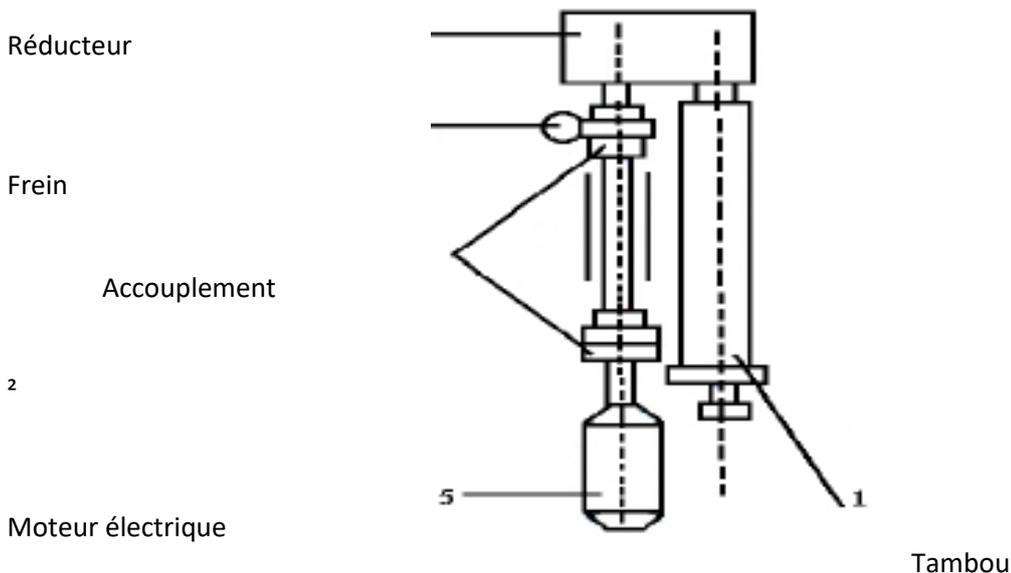


figure .1.10 : Principaux éléments du mécanisme de levage

❖ **Moteur de levage principal.**

En général, les moteurs électriques des appareils de levage sont alimentés soit par un courant triphasé qui produit un couple important lors du démarrage, ou bien par un courant continu qui permet d'obtenir un bon rendement et une meilleure souplesse. Le choix du moteur se fait à base de la puissance nécessaire à la montée de la charge appelée aussi puissance résistante ( $P_n$ ) [ 2 ].



*Figure I.11. Photographie d'un moteur de levage*

❖ **Tambour**

Roue dentée ou noix d'entraînement de levage principal. Le tambour, pièce essentielle du mécanisme de levage, sur laquelle s'enroule le câble il a une surface utile tubulaire, en effet, il est obtenu à partir d'un "tube mécanique"; ainsi les économies sur le poids sont appréciables. Constitué en acier, suffisamment dur pour éviter les indentations créées par le câble ne viennent détériorer le câble qui le remplace.

Les tambours doivent être dimensionnés dans toute la mesure du possible afin que la capacité d'enroulement soit tenue en une seule couche. L'angle de déflexion du câble sur le tambour ne devra pas dépasser 6,33% soit approximativement 40°. [2]



**Figure I.12.** Photographie d'un Tambour d'un pont roulant

❖ **Freins**

Les freins ont deux rôles :

- Absorber l'inertie cinétique des masses en mouvement pour ralentir rapidement la charge avant l'arrêt
- Maintenir la charge en toute sécurité

Les freins les plus utilisés pour les appareils de levage de moyenne puissance sont les freins à sabots, commandés par électro-aimants. Pour un service intensif, la tendance actuelle est de remplacer les freins à sabots par les freins à disque, qui permettent d'obtenir dans un espace plus réduit des couples de freinage plus importants [5].



**Figure I.13** : Photographie d'un frein à disque

❖ **Réducteur de vitesse : (levage)**

Les engrenages de réducteurs sont montés sous carter étanche à bain d'huile. Toutefois, pour les grandes puissances ou les très grands rapports de réduction ( $\geq 100$ ), on utilise une couronne dentée à l'air libre fixée sur le tambour, et attaquée par un pignon monté sur l'arbre de sortie du réducteur.

Les réducteurs à engrenage (denture inclinée) sont les plus employés. Ils sont silencieux et ont un très bon rendement (0,98 à 0,99 par train d'engrenage). Les réducteurs à 1 train d'engrenage sont utilisés pour des rapports de réduction variant de  $(1 \div 10)$ , ceux à 2 trains d'engrenages de  $(6 \div 50)$ , ceux à 3 trains d'engrenage de  $(30 \div 300)$ . L'emploi d'un premier train conique épicycloïdal permet d'avoir l'arbre moteur à  $90^\circ$  de l'arbre mené [5].



Figure I.14 : Photographie d'un réducteur de vitesse

❖ **Moufle**

Il se compose d'un câble de levage, poulies et croché

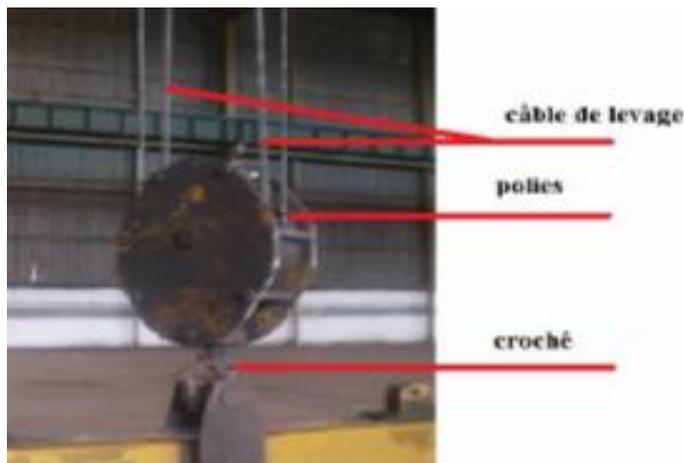


Figure I.15 : Photographie de l'ensemble moufle

❖ **Câble**

Des fils d'acier enroulés en hélice autour d'un fil central constituent un toron, ces torons sont eux-mêmes enroulés en hélice autour d'une âme centrale ; un câble à fils fins est plus souple qu'un câble à gros fils, il pourra s'enrouler sans dommage sur une poulie ou un tambour de plus faible diamètre.

On notera que l'âme centrale en textile augmente la souplesse des câbles. Les câbles sont avantageés d'être huit fois plus légers qu'une chaîne ayant à supporter la même charge. La durée de vie d'un câble de levage dépend de facteurs inhérents, d'une part à la construction interne du câble (âme, souplesse du fil, composition) et d'autre part aux conditions d'enroulement. Ainsi, la durée de vie du câble est d'autant plus longue que les diamètres d'enroulement sont grands et l'effort de traction est faible [2].

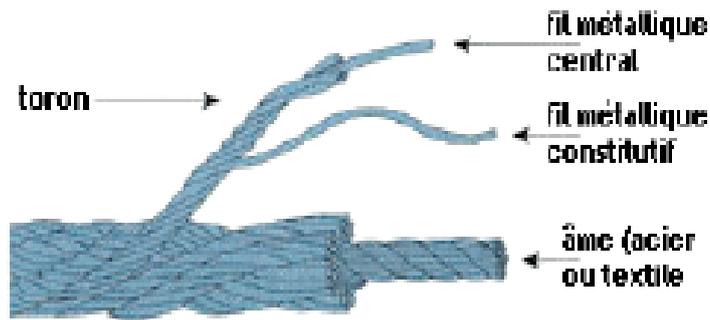


Figure I.16 : Câble métallique

### ❖ Poulies

Les poulies sont des roues dont la jante est appelée gorge qui reçoit un flexible, câble ou cordage. Une gorge est définie par :

- Sa largeur de jante
- Le rayon du congé de la jante

Pour que ces dimensions soient correctes, il faut qu'un certain nombre de condition soit remplie :

▲ Le fond de gorge ou congé doit être un arc de cercle égal au  $\frac{1}{3}$  de circonférence du câble. Le câble doit poser sur un arc de cercle compris entre  $120^\circ$  et  $140^\circ$ , il est donc indispensable de vérifier fréquemment le diamètre exact, du congé on se sert d'un jeu de jauges.

▲ L'angle de frottement formé par les bords des gorges doit être compris entre  $350$  et  $400$ .

On distingue les poulies de moufle, de renvoi et la poulie d'équilibrage (point fixe). [5]



Figure I.17 : Poulie de moufle

### Crochet

La charge est suspendue aux câbles par l'intermédiaire d'un crochet, le crochet est en général en acier forgé extra-doux pour petites charge ( 25 t), on utilise parfois des crochets en acier estampé pour une très grande charge ( >100 t), on peut utiliser des crochets formés par plusieurs épaisseurs de tôles découpés. Jusqu'à 25 tonnes le crochet est généralement simple croc. De 15 à 50 tonnes, les crochets sont soit à simple soit à double croc. Cette forme permet une meilleure répartition des charges transmises par les élingues. Pour les très grandes charges, on emploie quelque fois des axes pour la sécurité, les crochets fermes constitués de plusieurs éléments assemblés par des axes pour la sécurité, les crochets doivent être munis obligatoirement de languets qui s'opposent de façon sûre aux décrochages des élingues.



Figure I.18: crochet de levage

Cet élément est combiné avec le système de transfert du grutier, principalement par le transfert du grutier ensemble pour vérifier les parties électromécaniques importantes de la grue, comme les crochets, le câble métallique, chaque frein d'agence, le contrôleur, chaque limiteurs d'agence et l'action de divers interrupteurs de sécurité est sensible et fiable. Les points d'inspection spécifiques sont les suivants. .:

## I.4- Problèmes courants des ponts roulants :

### 1.4.1- Dommages ou dégradation du câble métallique



Figure I.19 : Dommages ou dégradation du câble métallique

L'usure des oiseaux, la corrosion, l'abrasion et l'usure extrême sont quelques-uns des problèmes qui peuvent affecter le câble métallique d'un pont roulant. La meilleure façon de prévenir les dommages ou les défaillances est d'inspecter régulièrement votre câble métallique.

L'endommagement ou la dégradation d'un câble métallique est l'un des problèmes les plus courants que vous pouvez rencontrer avec un système de pont roulant. Il existe un certain nombre de problèmes courants liés aux câbles métalliques( figure 1.5, 1) notamment les suivants :

- Le câble a sauté du système de mouflage.
- Réduction du diamètre du câble en dessous du diamètre nominal - perte du support de l'âme, corrosion interne ou externe, usure des fils extérieurs.
- Fils extérieurs cassés ou usés
- Fils corrodés ou cassés au niveau des connexions d'extrémité

De nombreuses conditions d'exploitation peuvent affecter la durée de vie d'un câble d'acier. La flexion, les contraintes, les conditions de chargement, la vitesse d'application de la charge (charge de choc), l'abrasion, la corrosion, la conception de l'élingue, les matériaux manipulés, les conditions environnementales (exposition à la chaleur ou aux produits chimiques), la lubrification et l'historique d'utilisation sont autant de facteurs qui influencent la durée de vie d'un câble métallique.

La meilleure façon de prévenir les dommages ou la défaillance d'un câble métallique est de l'inspecter avant chaque quart de travail. S'il y a des signes de dommages, le câble métallique doit être éliminé de manière appropriée pour éviter toute utilisation ultérieure.

Assurez-vous également que le câble est correctement lubrifié. Une lubrification correcte du câble métallique présente deux avantages principaux :

- Réduit la friction lorsque les fils individuels se déplacent les uns sur les autres.
- Assure la protection contre la corrosion et la lubrification du noyau, des fils intérieurs et de la surface extérieure

### 1.4.2 -Usure excessive des roues du chariot d'extrémité



**Figure 1.20** : Usure excessive des roues du chariot d'extrémité

Un système de chemin de roulement qui n'est pas correctement aligné peut entraîner une usure prématurée des chariots d'extrémité et des roues de la grue, des entraînements du moteur et d'autres équipements.

Les roues des chariots d'extrémité sont des composants des ponts roulants qui peuvent nécessiter un entretien, un remplacement ou un réglage fréquent. Tout au long de la vie d'un pont roulant, les roues s'usent naturellement en raison de l'utilisation normale du pont et doivent être remplacées.

Les roues peuvent être fabriquées dans divers matériaux, notamment en polyuréthane pour les portiques, en alliages, en acier à faible teneur en carbone ou en acier à teneur moyenne en carbone. Plus l'acier contient de carbone, plus la roue sera dure. Il existe également des méthodes de traitement thermique qui peuvent être utilisées pour accroître la dureté d'une roue, ce qui augmente la durée de vie et la capacité de charge des roues.

Si les roues, les roulements de roue ou les flasques de roue commencent à s'user ou à se briser prématurément, cela peut indiquer que la grue est de travers et ne suit pas correctement le système de piste. L'inclinaison de la grue peut entraîner une usure et une contrainte excessives sur les roues, mais aussi sur les poutres de la piste et les structures de support.

Les roues ont tendance à s'user plus rapidement sur une grue qui a été installée en utilisant un système de rails existant plutôt qu'une nouvelle installation. Si la piste n'a pas été correctement étudiée avant l'installation, les pistes peuvent être mal alignées ou les rails peuvent être hors tolérance.

Pour éviter une usure prématurée des roues et des chariots d'extrémité, le système de roulement de votre pont roulant doit être conçu, testé et régulièrement inspecté par un fabricant de ponts roulants réputé. Tout signe d'usure prématurée indique la possibilité d'un problème plus important qui doit être abordé et corrigé avant que le problème ne s'aggrave. Assurez-vous que les roues ont été fabriquées spécifiquement pour le rail sur lequel elles roulent. La dureté doit correspondre à celle du rail.

### **1.4.3 : Problèmes avec les pendentifs à bouton-poussoir ou les radiocommandes**

Bien que cela ne soit pas très courant, certains environnements créent leurs propres ondes radio qui peuvent interférer avec le fonctionnement d'un pont roulant. Il peut s'agir, par exemple, d'une installation qui effectue des procédures de chauffage ou de soudage par induction.

Les ondes radio créées au cours de ces processus peuvent perturber la communication entre l'émetteur et le récepteur de la radio. Sur les commandes suspendues et les radiocommandes, les boutons-poussoirs ou les leviers peuvent se bloquer ou devenir insensibles avec le temps. Il peut être nécessaire de remplacer ou de réparer la commande pour corriger tout problème de fonctionnement des boutons.

Vous pouvez également constater que les commandes suspendues peuvent se déconnecter ou être arrachées du palan. Cela peut se produire parce que l'opérateur tire sur le pendentif pour manœuvrer ou positionner la grue, en particulier sur les grues à flèche ou les grues de poste de travail. Si vos commandes ne répondent plus, vous devrez peut-être vérifier si le pendentif s'est déconnecté du palan, ou faire réparer le système et le recâbler si des fils se sont desserrés.

### **1.4.4- Fusibles grillés**

Si vous constatez que votre pont roulant fait sauter les fusibles, cela indique que le système d'électrification du pont est défectueux. Contactez immédiatement un prestataire de services pour grue afin qu'il vienne inspecter le système d'électrification de la grue et identifier la panne.

### 1.4.5 Crochets pliés ou endommagés

Une inspection régulière des crochets et des autres pièces du matériel d'amarrage doit être effectuée au début de chaque poste de travail pour vérifier l'absence de déformations ou de dommages.

Un crochet est conçu pour maintenir une charge dans une direction particulière et précise. Lorsque le poids n'est pas supporté comme prévu par le crochet, cela compromet l'intégrité interne du crochet et peut augmenter le risque qu'il se plie, s'étire ou se fissure. La charge peut également glisser du crochet si elle étire l'ouverture de la gorge ( Figure : 1.17).

- Bien qu'il n'existe pas de directives précises sur l'utilisation des verrous de crochet, nous formons nos employés et nos inspecteurs pour qu'ils sachent que si un crochet est conçu pour avoir un verrou, celui-ci doit être installé pour aider à déplacer une charge en toute sécurité. Nous conseillons à l'utilisateur final d'évaluer l'activité professionnelle du point de vue de la sécurité de ses employés. Si l'activité rend l'utilisation du loquet peu pratique, inutile ou plus dangereuse, l'utilisateur final peut choisir d'éliminer le loquet. Il est également recommandé de considérer chaque activité de levage indépendamment en ce qui concerne l'utilisation d'un crochet de levage



**Figure .1.21** : Crochets pliés ou endommagés

# Chapitre II

# Généralités sur les engrenages

## II. GÉNÉRALITÉS SUR LES ENGRENAGES

### II.1 Introduction

Le rôle principal des engrenages est d'assurer la transmission de puissance avec un mouvement de rotation d'un arbre à un autre, avec un rapport moyen de vitesse angulaire constant. Selon les positions relatives des arbres, trois classes majeures d'engrenages peuvent être distinguées :

- **Les engrenages à axes parallèles** : Ce type est nommé aussi cylindrique. Diverses catégories sont distinguées selon la géométrie des dents suivant la génératrice : dentures droites, dentures hélicoïdales, etc....

- **Les engrenages à axes concourants** : Ce type est nommé aussi conique. Les deux arbres sont disposés tels que leurs axes de rotation se coupent en un point. Selon la géométrie des dents, notons l'existence de :

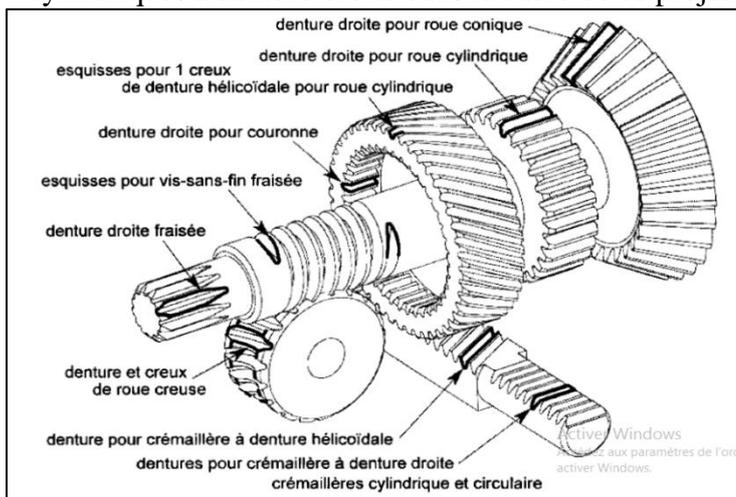
- **dentures droites** : les génératrices passent par le point de concours des axes de rotation.

- **dentures hélicoïdales** : les génératrices suivent une hélice sur le cône de génération.

- **dentures spirales** : engendrées par les segments rectilignes s'appuyant sur une courbe directrice.

- **Les engrenages à axes quelconques** : ces engrenages sont qualifiés de "gauches". Les axes des arbres n'ont pas de point commun et occupent une position relative quelconque.[5]

Il existe bien des types d'engrenages parmi les nous avons porté notre choix sur les engrenages cylindriques à denture droite dans le cadre de ce projet.



types de dentures utilisés dans la transmission.



Figure. II.1 : Présentation des différents types de denture[5].

## II.2. Définition d'un engrenage

Un ENGRENAGE est un mécanisme constitué de deux roues dentées, chacune étant en rotation autour d'un axe, les deux axes restant fixes l'un par rapport à l'autre, de sorte qu'une des roues entraîne l'autre, par action de dents successivement en contact.[6]

**Pignon** : la plus petite des deux roues dentées.

**Roue** : la plus grande des deux roues dentées.



Figure. II.2 : Roue et pignon dans les engrenages [6].

### II.2.1 Avantages et inconvénients des engrenages

On peut voir les avantages et les inconvénients des engrenages dans le tableau suivant :

Tableau. II.1 : Avantages et inconvénients des engrenages. [6]

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>• Transmission de puissances élevées sous fréquences de rotation élevées.</li><li>• Transmission à rapport rigoureusement constante (transmission synchrone).</li><li>• Transmission parfaitement homocinétique.</li><li>• Possibilités de transmissions entre plusieurs arbres.</li><li>• Bon rendement général, suivant classe de qualité.</li><li>• Durée de vie importante.</li><li>• Bonne fiabilité</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Nécessité d'un entraxe précis et constant.</li><li>• Niveau sonore variable suivant type d'engrenage.</li><li>• Transmission des à-coups et vibrations.</li><li>• Nécessité d'une lubrification, souvent par fluide.</li><li>• Réversibilité possible suivant type d'engrenage.</li><li>• Coût très variable suivant type d'engrenage et Classe de qualité.</li></ul>

## II.3 Etude des Engrenages parallèles

### II.3.1 Engrenage cylindrique à denture droite

C'est un engrenage dont les axes sont parallèles. Dans ce type d'engrenage, les cylindres de fonctionnement roulent sans glisser l'un sur l'autre. Sur les cylindres primitifs de référence, les lignes de flanc sont des génératrices.

C'est le type de denture le plus courant. Il est utilisé dans toutes les applications de mécanique générale. C'est ce système qui permet de transmettre le maximum d'effort, mais son principal défaut est d'être bruyant[7].

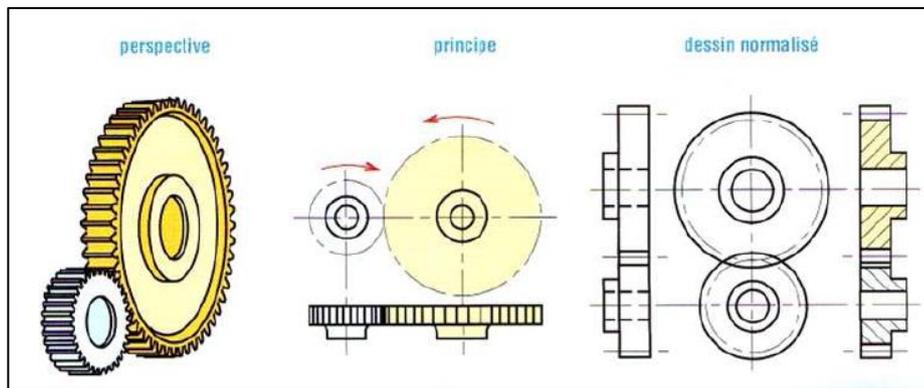


Figure. II.3 : Engrenage droit à denture droite pour arbres parallèles [7].

### II.3.2 Profil des dents en développante de cercle :

Le profil idéal défini par les mathématiciens est appelé profil en **développante de cercle**. Ce profil est obtenu en traçant la trajectoire d'un point « A » appartenant à une droite que l'on fait rouler sans glisser sur un cercle de diamètre  $d_b$ , appelé diamètre de base de la roue[7].

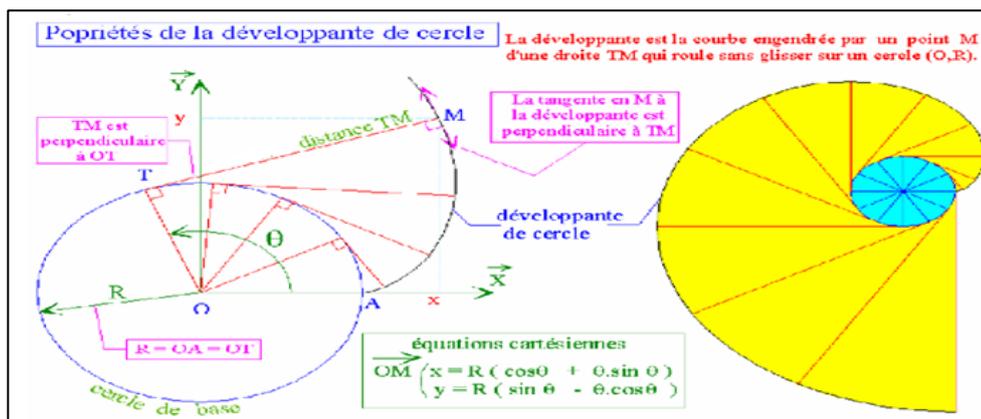


Figure. II.4 : schéma de développante de cercle[7].

Le profil des flancs et faces des dents suivent rigoureusement la géométrie de la développante.

Le profil en développante de cercle est le plus utilisé, il est insensible aux variations d'entraxe et se laisse tailler à l'aide d'outils relativement simple, (fraise module)[7].

**II.3.3 Caractéristiques géométriques d'une roue dentée :**

On utilise les engrenages cylindriques à denture droite pour les basses et moyennes vitesses (jusqu'à  $V=20$  m/s) et pour des exigences normales comme par exemple dans les boîtes de vitesses universelles, pour des dispositifs de manutention, treuils machines agricoles[8] .

Les avantages de ces engrenages par rapport aux engrenages cylindriques à denture hélicoïdale sont :

- Absence d'efforts axiaux.
- Rendement un peu plus élevé.
- Les dents peuvent être plus larges, d'où une plus petite pression de contact et de là une faible usure.

Les inconvénients sont :

- Non appropriés pour les grandes vitesses à cause des vibrations et du bruit.
- La résistance pour les mêmes dimensions est plus petite.
- Sensible aux erreurs de forme de denture et aux charges dynamiques parasites

**Tableau. II.2 :** Caractéristiques d'engrenage cylindrique à denture droite extérieur et intérieur[9].

	Engrenage extérieur	Engrenage intérieur
Module <b>m</b>	Donné par calcul de résistance des matériaux	
Nombre de dents <b>z</b>	Donné par le rapport $(Z_1/Z_2) = (N_2/N_1)$	
Pas au primitif <b>p</b>	$P = \pi . m$	
Saillie <b>h<sub>a</sub></b>	$h_a = m$	
Creux <b>h<sub>f</sub></b>	$h_f = 1,25.m$	
Hauteur de la dent <b>h</b>	$h = h_a + h_f = 2,25.m$	
Diamètre primitif <b>d</b>	$d = m.z$	
Diamètre de tête <b>d<sub>a</sub></b>	$d_a = d + 2.m$	$d_a = d - 2.m$
Diamètre de pied <b>d<sub>f</sub></b>	$d_f = d - 2,5.m$	$d_f = d + 2,5.m$
Largeur de dent <b>b</b>	$b = km$ (k : coefficient de largeur de denture ( $7 \leq k \leq 12$ ))	
Entraxe <b>a</b>	$a = \frac{d_1 + d_2}{2}$	$a = \frac{d_1 - d_2}{2}$

**1- Le nombre de dent :**

Le nombre de dent est noté « Z ». C'est à dire « Z1 » pour l'élément « 1 » et « Z2 » pour l'élément « 2 ».

- 2- **Le diamètre de tête** : C'est le diamètre extérieur du pignon et de la roue.
- 3- **Le diamètre de pied** : C'est le diamètre intérieur du pignon et de la roue mesuré entre les dents.
- 1- **La saillie** : c'est la distance radiale entre le cercle primitif et le cercle de tête.
- 5- **Le creux** : c'est la distance radiale entre le cercle de pied et le cercle primitif
- 6- **La hauteur de dent** : c'est la distance radiale entre le cercle de pied et le cercle de tête.
- 7- **Epaisseur de la dent** : longueur de l'arc du cercle primitif compris entre les deux profils d'une dent.
- 8- **La tête de la dent** : est la portion de la dent renfermée entre la surface de la tête et celle primitive.
- 9- **Le pied de la dent** : est la portion de la dent renfermée entre la surface du pied et celle primitive.
- 10- **Largeur de denture** : La largeur de denture correspond à la longueur de la dent.
- 11- **Le pas** : longueur de l'arc du cercle primitif compris entre deux profils.[9]

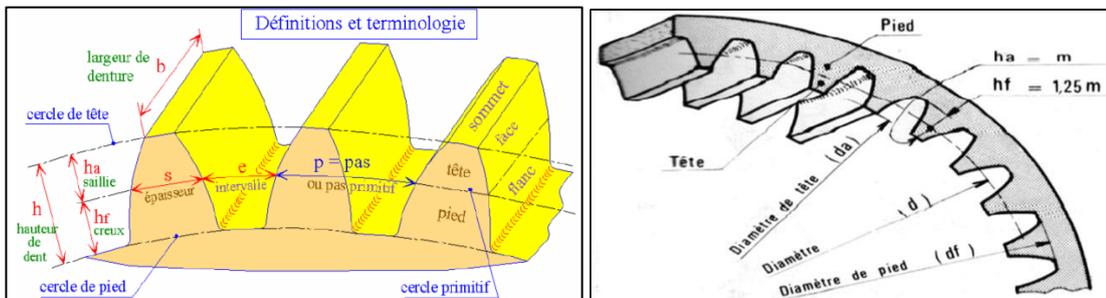


Figure. II.5 : caractéristiques générale d'un engrenage extérieure et intérieure[5].

### II.3.3.1 Module métrique

Chaque denture possède son propre module. Le module permet de définir la taille des dents. Deux roues dentées de même module peuvent engrainer parfaitement quel que soit leur nombre de dent.

- **Cercle primitif** :représente la zone de contact où il y a roulement sans glissement entre le pignon et la roue.
- **Cercle de pied** : Le cercle de pied se trouve à fond de dent.
- **Cercle de tête** : Le cercle de tête se trouve au sommet des dents.

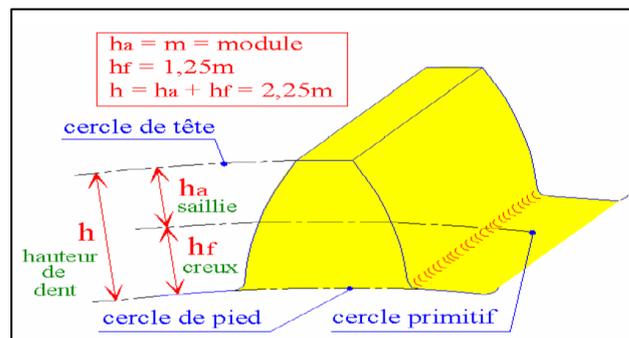


Figure. II.6 : caractéristiques des dents[9].

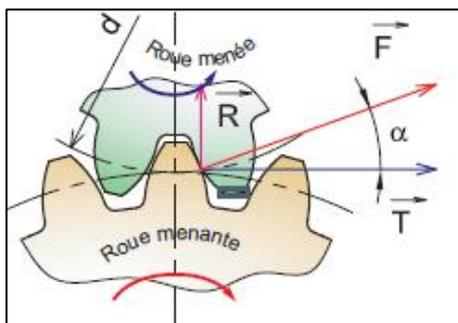


### II.3.5.1. Efforts sur les dentures – Couple transmis :

L'effort  $\vec{F}$  normal à la dent (Action de la roue menante sur la roue menée) étant incliné de l'angle de pression  $\alpha$  ( $20^\circ$  en général), on considère les deux projections de  $\vec{F}$  suivant :

- la tangente commune aux cercles primitifs :  $\vec{T}$   
(Effort tangentiel qui détermine le couple transmis)
- la normale commune aux cercles primitifs (radiale) :  $\vec{R}$   
(Effort radial qui détermine un effort sur les paliers et contrainte de flexion dans les arbres).

Les relations sont données sur la figure ci-dessous.



L'effort

$\vec{T}$  est celui utilisé pour le calcul du module  $m$ [11].

$$T = 2C / d$$

$$R = T \cdot \tan \alpha$$

C : couple transmis / d : diamètre primitif

## II.4 .Génération des dents :

### II.4 .1. Denture droite :

La génératrice de forme des dents est une droite parallèle à l'axe de rotation. C'est le type de denture le plus courant. Il est utilisé dans toutes les applications de mécanique générale. En effet, il s'agit du système qui permet de transmettre le maximum d'effort. Néanmoins, son principal défaut est d'être bruyant.



**Figure 11. 8 :** Denture droite et denture hélicoïdale : Les trois pignons ont le même module apparent et les deux grandes roues ont le même nombre de dents.

#### **II.4 .2. Denture hélicoïdale :**

La génératrice de forme des dents est une ligne **hélicoïdale** de même axe que l'axe de rotation. Ce type de denture présente l'avantage d'être plus silencieux que la denture droite, en créant moins de vibrations. Les dentures hélicoïdales permettent également d'augmenter la durée de la transmission, en faisant en sorte que le nombre de dents simultanément en contact devienne constant, ce qui permet de transmettre des efforts plus importants et surtout d'atténuer les vibrations et les bruits.



**Figure II.9 :** Engrenages à chevrons en V d'André Citroën.

En contrepartie ce type de denture engendre un **effort axial** dont l'intensité dépend de l'angle d'inclinaison de denture. Les **roulements** ou les paliers doivent être dimensionnés pour reprendre cet effort. Pour les engrenages à axes parallèles, les hélices sont obligatoirement de sens contraires pour que les dentures puissent engrener, sauf dans le cas très particulier de l'engrenage paradoxal.

#### **II.4.3. Engrenage à vis :**

Un engrenage à vis est un engrenage gauche constitué d'une **vis sans fin** et d'une roue à vis conjuguée, appelé « roue et vis sans fin ». Le profil de la vis est en général trapézoïdal.

Dans de nombreux cas, ce dispositif est « irréversible », ce qui signifie que si la vis peut entraîner la roue, la roue ne peut pas, en raison des frottements et de l'angle de l'hélice de la vis, entraîner celle-ci. Cet aspect est intéressant notamment pour la commande d'un **treuil** qui ne peut pas se dérouler tout seul. Son rôle de **réducteur de vitesse** est aussi très intéressant, car il permet un rapport de rotation très élevé avec seulement deux éléments, et ce dans un espace réduit et avec un renvoi d'angle à **90 °** au prix d'un

Rendement nettement inférieur à celui d'un engrenage conique. C'est d'ailleurs ce mauvais rendement qui lui permet d'assurer dans certaines conditions l'irréversibilité.



Figure 11.10 : Roue et vis sans fin.

#### II.4.4 . Taillage ou fabrication des pignons et des roues :

Pour les pièces métalliques, les dentures sont réalisées, principalement, par enlèvement de matière (usinage). Il s'agit le plus souvent d'un engrènement simulé entre un outil (pignon ,crémaillère, ou fraise) et la roue à tailler. De ce fait, le **module** de denture est imposé par l'outillage. Le mouvement d'engrènement contribue dans tous les cas au mouvement d'avance dans l'opération d'usinage. Le mouvement de coupe dépend du procédé .Pour les pièces en matière plastique, les pièces unitaires sont généralement taillées, mais pour ,les fabrications en série, elles sont généralement moulées.

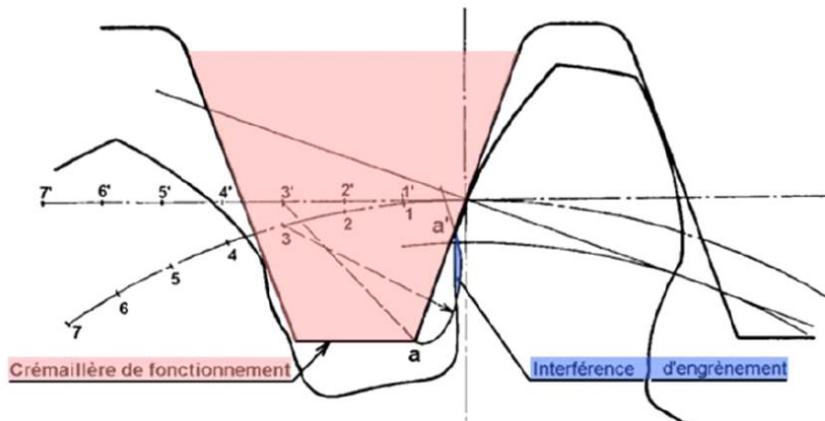
Les modules sont normalisés. Il y a les valeurs principales, les valeurs secondaires (entre parenthèses) et les valeurs admises à titre exceptionnel (entre parenthèses et en *italique*) :

Tableau 11. 3 : Modules normalisés

0,06	(0,07)	0,08	(0,09)	0,1	(0,11)	0,12	(0,14)	0,15	(0,18)	0,2	(0,22)	0,25	(0,28)	0,3	(0,35)	0,4	(0,45)	0,5	(0,55)	0,6	(0,7)
(0,75)	0,8	(0,9)	1	(1,125)	1,25	(1,375)	1,5	(1,75)	2	(2,25)	2,5	(2,75)	3	(3,25)	(3,5)	(3,75)	4	(4,5)	5	(5,5)	6
(6,5)	(7)	8	(9)	10	(11)	12	(14)	16	(18)	20	(22)	25	(28)	32	(36)	40	(45)	50	(55)	60	(70)

### 11.5. Définition de l'interférence :

Lorsqu'un pignon de faible nombre de dents (donc de creux de denture étroit) engrène avec une roue de grand nombre de dents (donc de sommet de dent large) le fonctionnement peut se révéler impossible si le sommet des dents de la roue ne peut se déplacer dans le creux de denture du pignon. Dans ce cas on dit qu'il y a *interférence de fonctionnement* ou *interférence d'engrènement*. **Figure**



**Figure 11.11** : Lieu de sommet « a » de la crémaillère de fonctionnement[12].

D'une manière générale : Interférence de taillage > Interférence de fonctionnement.

#### 11.5.1. Inconvénients de l'interférence :

##### 11.5.1.1. Interférence de fonctionnement :

Génère usure, vibrations, rendement faible, et souvent impossibilité de fonctionnement (blocage). Elle doit être évitée.

##### 11.5.1.2. Interférence de taillage :

Lorsqu'un pignon de faible nombre de dents est taillé avec un outil crémaillère, il peut arriver que lors de l'usinage, le profil de denture du pignon soit tronqué au pied de la dent et présente un point anguleux. Dans ce cas on dit qu'il y a *interférence de taillage*. D'une manière générale : Interférence de taillage >

Interférence de fonctionnement (**Figure 21**). Affaiblissement de la dent à la base et concentration de contraintes diminuent la résistance de la dent.

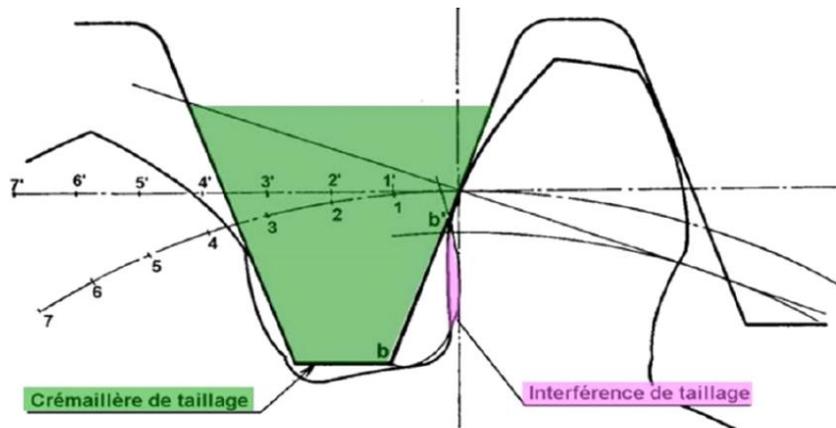


Figure 11.12 : Lieu de sommet « b » de la crémaillère de fonctionnement [12].

### 11.5.2. Condition de non-interférence :

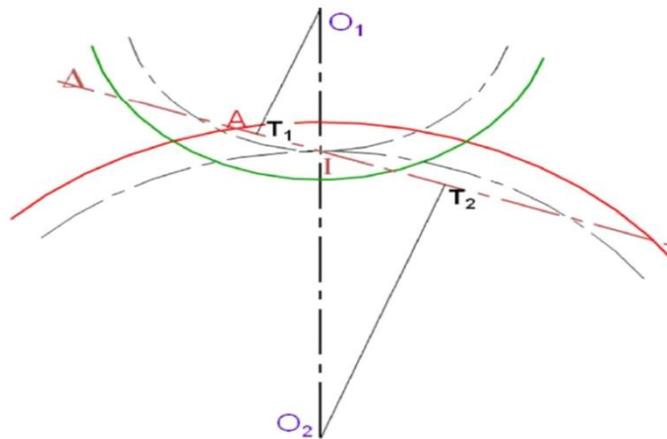


Figure 11.13 : Détermination graphique de l'interférence de fonctionnement.

Comment supprimer l'interférence ?

✚ **augmenter l'angle de pression**  $\alpha$  : peu utilisé car cela nécessite un outillage spécial pour le taillage des dents et aussi car on diminue le rapport de conduite  $C\alpha$ .

✚ **réduire la hauteur de saillie** : peu utilisé car on diminue également rapport de conduite  $C\alpha$ .

✚ **Par déport de denture** (avec ou sans variation d'entraxe) : c'est la méthode couramment utilisée pour résoudre les problèmes d'interférence.

## 11.5. Déport de denture sans variation d'entraxe :

### 11.5.1. Définitions :

On définit le déport de denture :  $\delta = m x$  ( $m$  module) ; ( $x$  : coefficient de déport).

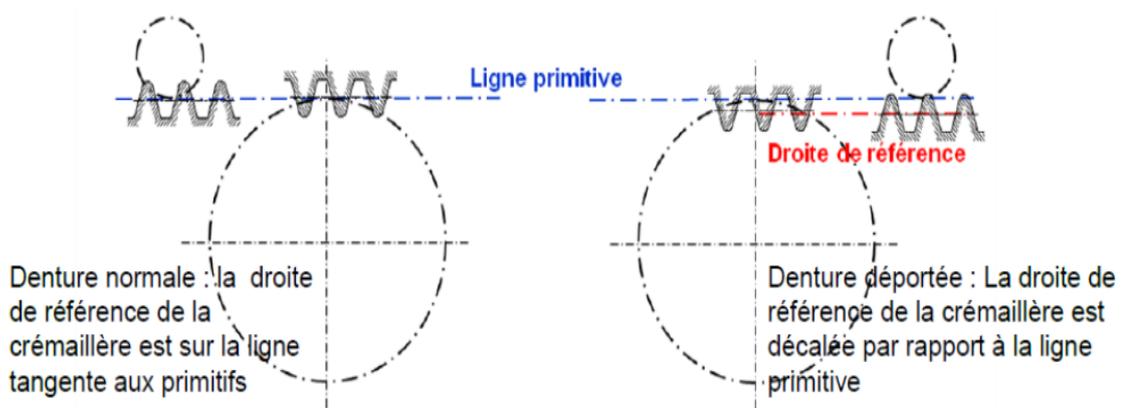


Figure 11.14. Déport de denture sans variation d'entraxe [12].

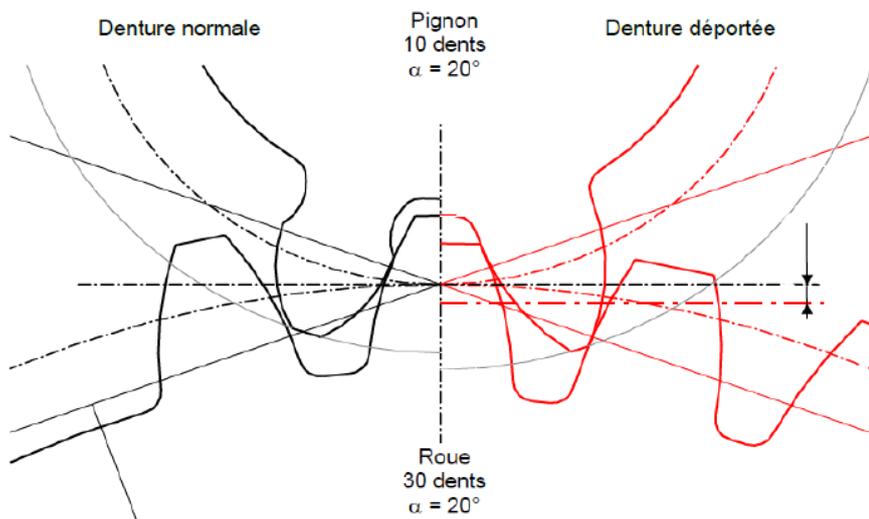


Figure 11.15 : La denture normale et la denture déportée [12].

Les diamètres de tête et de pied ont changé.

$$\text{Pignon } ha_1 = ha_+ = m + hf_1 = hf_- = 1,25.m - \delta$$

$$\text{Roue } ha_1 = ha_- = m - hf_1 = hf_+ = 1,25.m + \delta$$

Si  $x > 0$ , la denture est **déportée positivement**-----la crémaillère s'éloigne du pignon.

Si  $x < 0$ , la denture est **déportée négativement** -----la crémaillère se rapproche du pignon.

Si  $x_1 + x_2 = 0$ , le déport de denture est réalisé **sans variation d'entraxe**.

### 11.5.2. Limites du déport de denture sans variation d'entraxe :

La crémaillère de taillage s'enfonçant moins dans le pignon, elle devra s'enfoncer plus sur la roue. L'opération est possible tant que l'on ne reporte pas l'interférence sur la roue, Pour éviter de reporter l'interférence sur la roue, on devra respecter la condition suivante :

$$Z_1 + Z_2 \geq 34 \text{ (Pour } \alpha = 20^\circ \text{).}$$

Dans le cas où  $Z_1 + Z_2 < 34$  ; il faudra envisager un déport de denture avec variation d'entraxe.

### 11.5.3. Notion de déport :

Dans certains cas, on décale (en s'avancant ou en reculant) la ligne de référence de l'outil crémaillère par rapport à la ligne primitive, tangente au cercle primitif de référence. On obtient alors un pignon corrigé avec déport de denture. On appelle (Figure 25 - La denture normale et la denture déportée [12]).

$\delta =$ <b>déport de denture (en mm)</b> $X =$ <b>coefficient de déport (réel sans unité)</b>
--

La valeur de ce coefficient de déport va impliquer de nombreuses conséquences sur la forme de la dent et le fonctionnement de l'engrenage.

### 11.5.4. Influence du déport de denture :

Dans le paragraphe précédent ont été introduites les proportions normales de denture, générées notamment par l'utilisation d'un outil-crémaillère, ainsi que les modules normalisés. Mais ces proportions ne permettent pas toujours d'obtenir un fonctionnement correct pour un engrenage simple constitué de deux roues (indiquées 1 et 2 par la suite).

C'est pourquoi on fait alors appel aux corrections de denture ou déports (repérés  $dd1$  et  $dd2$ ) lors de l'usinage des deux roues, des modifications qui restent purement géométriques et qui ne nécessitent pas l'utilisation d'un outillage spécialisé (aucune augmentation du coût de fabrication). Nous allons observer par la suite l'influence du déport sur une roue droite seule (à denture droite ou hélicoïdale : même principe) puis sur un engrenage constitué de deux roues avec déports respectifs.

### 11.5.5. Influence du déport sur la forme d'une denture (droite ou hélicoïdale)

On ne considère généralement pas le coefficient de déport  $X1$  sur une roue 1 indépendamment de son association avec  $X2$  sur une roue 2, par l'intermédiaire d'un engrenement. Observons néanmoins l'influence de la variation de  $x$  sur la forme d'une dent, pour en déduire quelques règles de taillage à respecter.

La figure ci-après permet de visualiser l'influence de  $X$  sur la forme de la dent et sa position relative par rapport à la géométrie de référence (soit  $X = 0$ , le cercle de base  $Cb$  et le cercle primitif d'engrenement  $Co$ ).

### 11.5.6 Influence du déport sur un engrenage extérieur à denture droite à condition de fonctionnement sans jeu :

Pour que deux roues dentées 1 et 2 engrènent correctement, il convient de vérifier un certain nombre de paramètres (comme tout d'abord l'égalité des modules  $m1 = m2$ ), mais également une condition de fonctionnement sans jeu angulaire, pour éviter notamment les vibrations.

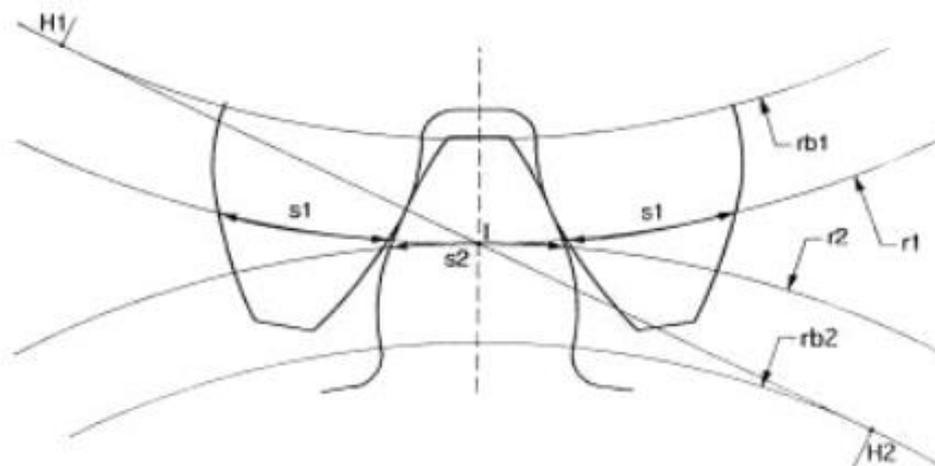


Figure 11.16 : Fonctionnement sans jeu[14].

❖ La condition de fonctionnement sans jeu angulaire associée au roulement sans glissement au point I se traduit par :

### **11.5.7. Les différents outils de taillage :**

On peut distinguer trois types d'outils de taillage :

- ✚ l'outil crémaillère ;
- ✚ l'outil pignon, utilisé notamment pour l'usinage de dentures intérieures ;
- ✚ l'outil fraise mère, utilisé notamment pour l'usinage des dentures hélicoïdales.

La notion de **déport** est ici introduite grâce au cas du taillage par **l'outil crémaillère**

## **II.5 . Types d'engrenages :**

### **II.5.1 . Engrenage à roue crémaillère :**

Le système de pignon-crémaillère est principalement utilisé pour transformer un mouvement rotatif en mouvement de translation ou le contraire. Il est constitué d'une roue dentée (Pignon) et d'une barre elle aussi dentée (**Crémaillère**). La roue dentée, en tournant, entraîne les dents de la barre qui se déplace, alors, en translation. Ce mécanisme est couramment utilisé dans les systèmes de **direction d'automobiles**.



**Figure 11.17 :** Les axes des deux roues dentées sont parallèles.

### **II.5.2. Engrenages concourants ou coniques :**

Les axes des deux roues dentées sont concourants. Les sommets des cônes primitifs (ou cônes tangents aux roues de frictions de mêmes dimensions) doivent être confondus.

Ces engrenages sont généralement utilisés afin d'avoir un angle entre l'entrée et la sortie du système de pignon. Ce système est utilisé dans les différentiels automobiles afin d'avoir un angle droit entre l'entrée et la sortie de la transmission (en plus de la fonction différentiel).



**Figure 11.18 :** Engrenages concourants ou coniques.

### **II.5.3.Engrenages gauches :**

Les axes des deux roues dentées ne sont pas dans le même plan. C'est notamment le cas des engrenages gauches hélicoïdaux, des **engrenages hypoides** (à ne pas confondre avec **les engrenages coniques**) ou encore la roue et vis avec engrenage restreint.



**Figure 11.19 :** Engrenages gauches.

### **II.5. Fabrication des engrenages :**

La fabrication des engrenages représente un monde à part dans le domaine de l'usinage. D'ailleurs les fabricants d'engrenage ne sont pas désignés par le terme « d'usineurs » mais par le terme « de tailleurs » (comme ils sont dans un monde à part, on dit qu'ils sont tailleurs). Ceci s'explique par le fait que les tours et fraiseuses universelles d'un atelier de « mécanique générale » sont remplacés par des machines spécifiques à l'engrenage.

Le principe commun à toutes les machines de taillage traditionnel est qu'elles reproduisent un mouvement d'engrènement entre un pignon à tailler et un pignon outil. Ce principe garantit le bon fonctionnement du pignon taillé car il est issu d'un mouvement d'engrènement.

Nous allons étudier sommairement le fonctionnement des principales machines de taillage. Les matériaux composant les dentures en mécanique générale sont souvent des aciers de construction du

type 42 Cr Mo 4. Les techniques d'ébauche des dentures sont multiples. Elles vont de la méthode artisanale à la méthode de production de masse, car cette phase est commune à toutes les gammes de fabrication de dentures.[12] , Il est possible de distinguer les techniques suivantes :

- Fraisage de forme à la fraise 2 ou 3 tailles, dénommée aussi fraise module.
- Taillage à l'outil crémaillère.
- Taillage à l'outil pignon.
- Taillage à la fraise-mère.

Ces 4 techniques de génération de dentures ne sont donc pas en mesure de réaliser des dentures finies. Chacune de ces techniques est décrite dans les paragraphes suivants :

### **II.5.1 : Taillage par génération**

Dans cette méthode on donne à l'outil et à la pièce des mouvements relatifs convenablement Conjugués qui reproduisent le mouvement d'engrènement et de la sorte l'outil taillent en engendrant Le profil au fur et à mesure de son déplacement par rapport à la pièce qu'il taille.

#### **II.5.1.1 Taillage par outil crémaillère**

Les machines utilisées sont des mortaiseuses dont l'outil est une crémaillère ; chaque dent de l'outil crémaillère est un outil de rabotage. La roue à tailler est montée sur un axe de façon que le cercle primitif soit tangent à la droite primitive de la crémaillère. La roue et la crémaillère se déplacent comme si elles engrenaient : l'outil taille une denture engrenant avec un module précis qui se conjugue avec toutes les roues de même module. La roue à tailler peut être montée sur un axe horizontal (figure 8) ou vertical.



**Figure. II.20 :** Exemple de taillage par outil crémaillère[13].

#### **a) Usinage avec l'outil crémaillère**

L'obtention du profil en développante de cercle se fait en générant un mouvement équivalent à du roulement sans glissement entre la crémaillère et la roue à tailler. Pour cela, il est possible par exemple de donner un mouvement de rotation à la pièce usinée et de translation à l'outil crémaillère (figure9).

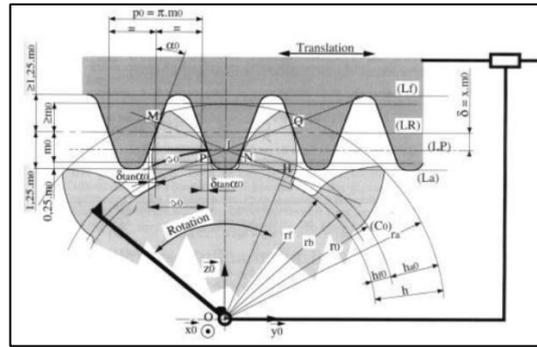


Figure. II.21 : Mouvements d'engrènement lors du taillage par outil crémaillère.[13]

Il est usuel que les deux mouvements de translation et rotation soient effectués par la roue à usiner. Au cours de ce mouvement, l'enveloppe des flancs de crémaillère est une développante de cercle. La crémaillère utilisée est une crémaillère normalisée. Sa forme est définie en particulier par sa ligne de référence (LR). Pour tailler un engrenage sans déport de denture, cette ligne est placée tangente au cercle primitif du pignon à tailler (cercle défini par  $r_0 = 1/2 \cdot m_0 \cdot Z$ ).

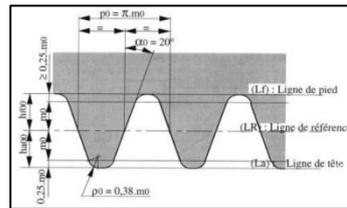


Figure. II.21 : Géométrie de l'outil crémaillère.[13]

Lors de l'usinage avec un outil crémaillère la vitesse de coupe est très faible (de l'ordre de 15 à 20 m/min) et la lubrification doit être abondante. Le mouvement d'aller-retour de l'outil crémaillère synchronisé avec la rotation relative par rapport à la roue à tailler génère le profil en développante de cercle (figure 15).

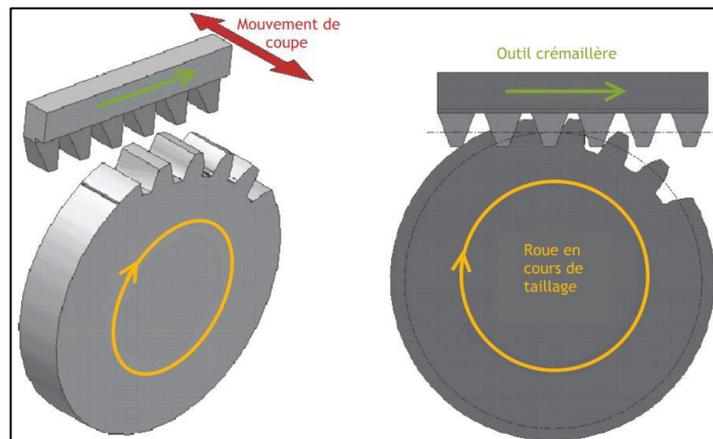


Figure. II.22 : Mouvements lors de l'usinage d'une roue avec un outil-crémaillère [13].

b) Description de l'outil crémaillère

Un outil-crémaillère possède des dents dépouillées pour obtenir des arêtes de coupe et une dépouille. Les dents de l'outil crémaillère (figures 12) n'ont pas un profil en développante de cercle il s'agit de droites. Cet outil de géométrie relativement simple est facilement affûtable. On retrouve sur les arêtes coupantes un angle de dépouille (figure 12). Les longueurs des outils crémaillères sont variables et dépendent des applications.



Figure. II.23 : Outil-crémaillère module  $m = 4$  et d'angle de pression  $20^\circ$  et son profil.[21]

Chaque outil est caractérisé par son module et son angle de pression ; toutes les roues taillées auront ces caractéristiques.

II.5.1.2. Taillage par l'outil-couteau ou à l'outil-pignon

Les machines utilisées sont des mortaiseuses dont l'outil est un pignon. Le taillage est effectué par l'engrènement de l'outil pignon avec la roue à tailler. La roue à tailler est montée sur un axe et tourne dans un rapport de vitesse fonction du nombre de dents à tailler. L'outil pignon, dont les dents sont dotées d'arêtes coupantes, est animé d'un mouvement rectiligne alternatif combiné avec sa rotation (figure 13). Il s'agit d'une génération continue de 1 à Z dents.

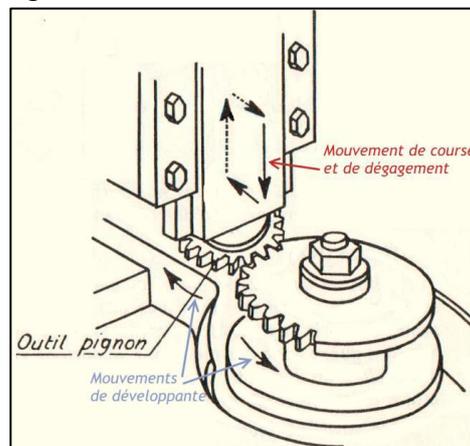


Figure. II.24 : Mouvements lors de l'usinage d'une roue avec un outil pignon.[14]

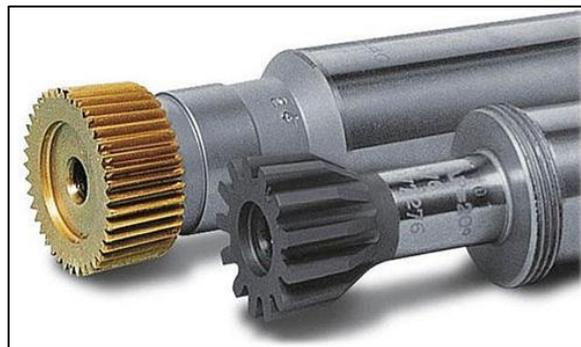
**a) Description de l'outil pignon**

Un outil pignon n'est pas une simple roue dentée, il est doté de dents coupantes avec dépouille (figure 14). Le déport de denture de l'outil est une caractéristique dépendant de son affûtage.



**Figure. II.25:** Dépouille des dents de l'outil pignon et son profil en développante de cercle.

Les outils pignons ne permettent d'obtenir qu'un module par outil (figure 15).



**Figure. II.26 :** Exemple d'outils pignon de différents modules [23].

**b) Conditions d'usinage :**

Un outil pignon ne peut pas être doté d'un mouvement rapide, la vitesse de coupe est donc faible (20 m/min). Il y a des risques d'adhésion de l'outil sur la matière, la lubrification doit être abondante pour éviter de coller l'outil pignon à la pièce (figure 16).



Figure. II.27 : Usinage de denture intérieure par outil pignon.[14]

c) **Avantages et inconvénients :**

Ce procédé est lent et n'est applicable que pour de petites séries. Il nécessite des opérateurs qualifiés sur des machines spécifiques cependant assez rapides à mettre en œuvre.

L'outil pignon est peu encombrant et ne requiert qu'un faible dégagement pour passer. On ne peut pas usiner des dents de grand module avec des outils pignons car ceci nécessite de très nombreuses passes d'usinage et prend donc beaucoup de temps.

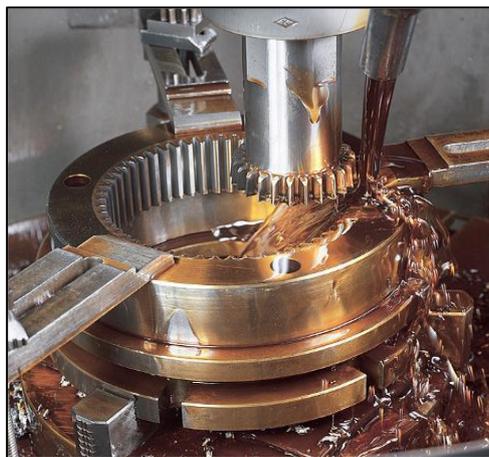


Figure. II.28 : Usinages de dentures intérieures par outil pignon[15].

**II.5.1.3 Taillage par fraise-mère :**

Le taillage par fraise-mère est actuellement le procédé le plus utilisé. Il est plus rapide que les procédés de taillage par outil crémaillère et outil pignon, l'usinage se faisant en continu sans allers retours d'outil générant des pertes de temps.

Ce procédé est extrêmement utilisé dans le secteur automobile qui nécessite de nombreux pignons, notamment pour les boîtes de vitesses.



Figure. II .29 : Exemple de taille par fraise-mère [16].

**a) Description de la fraise-mère :**

L'outil fraise-mère a l'apparence d'une vis sans fin entaillée de gorges longitudinales pour aménager des arêtes tranchantes (figures 30 et 31). Chaque rangée de dents au profil d'une crémaillère, les dents ne sont pas en développante de cercle. Le paragraphe 3 étudie les caractéristiques de la fraise-mère et le paragraphe 4 les différentes possibilités de sa réalisation.

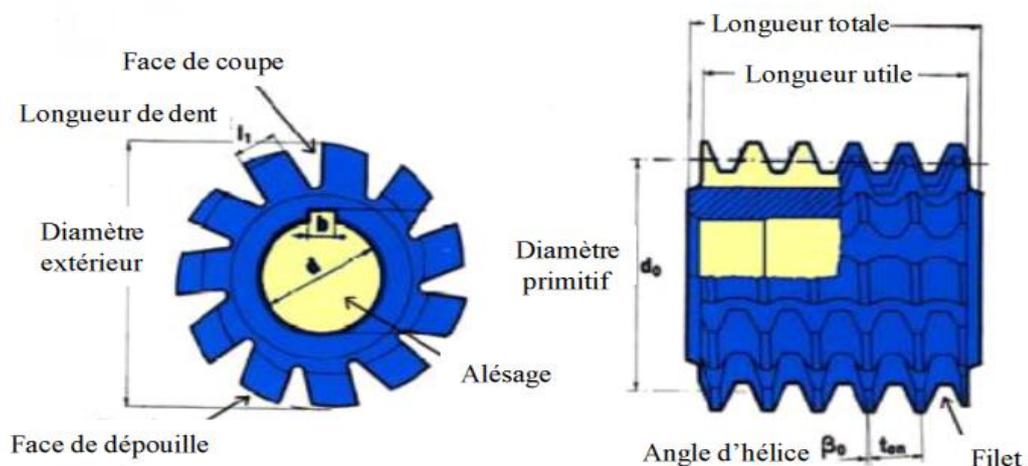


Figure II.30 : Vocabulaire associé à l'outil fraise-mère [6].



Figure .II.31 : Outil fraise-mère et son profil.

**b) Mouvements de l'outil et de la roue à tailler :**

Ce procédé nécessite plusieurs mouvements coordonnés afin d'obtenir sur la roue usinée le profil en développante de cercle. L'outil fraise-mère et la roue à tailler constituent un engrenage gauche dont les tangentes à l'hélice primitive de l'outil et de la roue restent constamment confondues. La fraise est animée d'un mouvement de rotation sur son axe (mouvement de coupe) ainsi que d'une translation parallèle à l'axe de la pièce (mouvement d'avance) à faible vitesse (figure 21) ; une translation radiale de l'outil assure la profondeur de passe. Les mouvements de rotation de la roue à tailler et de l'outil fraise-mère sont nécessairement liés, comme pour tous les taillages par génération. L'accroissement de la durée de vie de l'outil est assuré par une usure uniforme de toute la longueur active de l'outil : On réalise un déplacement de la fraise de long de son axe lors du taillage d'un grand nombre de pièces identiques, ce procédé s'appelle (shirting).[6]

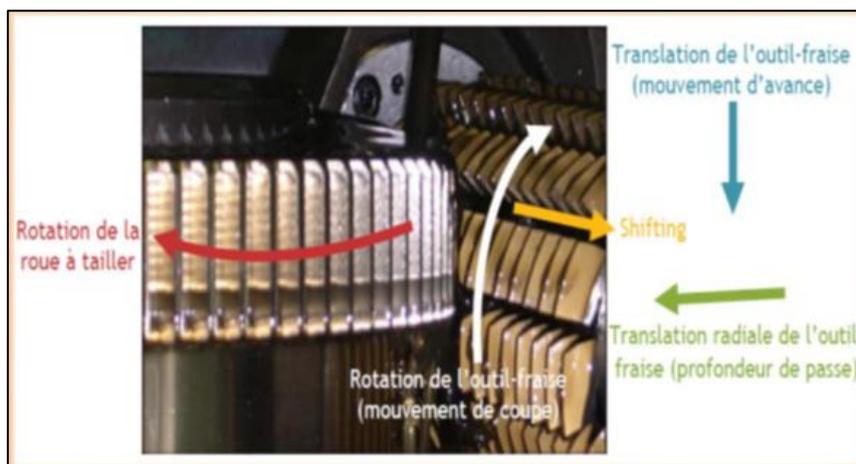


Figure. II.32 : Mouvements lors de l'usinage des dents d'une roue avec une fraise-mère.[26]

**c) Avantages et inconvénients**

Ce procédé est rapide et très performant. Il nécessite des machines spécifiques et des opérateurs qualifiés. Les outils sont complexes et coûteux.

Il est impossible de réaliser des dentures intérieures, et d'utiliser le taillage par fraise-mère pour de gros pignons (il faudrait des fraises importantes). [17]

**d) Choix d'usinage**

L'usinage par fraise-mère requière de fixer des paramètres en fonction du travail à effectuer, il faut principalement déterminer :

La vitesse de rotation de la fraise,

La vitesse de rotation de la roue,

La vitesse de translation de la fraise

**II.5.1.4 Etude de l'outil fraise-mère**

Les fraises-mères sont des outils complexes, de nombreux paramètres sont à prendre en compte pour effectuer des usinages conformes et aussi rapides que possible. Il existe plusieurs formes et plusieurs constructions de fraises-mères différentes, chacune étant adaptée à un type de roue à usiner plus qu'une autre.

**a) Forme générale**

Une fraise-mère (identifiable à une vis sans fin) est dotée d'un pas qui est la distance séparant deux filets (figure 22). Comme pour tous les outils de taillage par génération, la fraise-mère est dédiée à tailler des dentures d'un seul module. [17]



Figure. II.32 : Le pas d'une fraise-mère.[26]

### **II.5.4.2 Techniques de finition des dentures**

Tout d'abord, il faut distinguer les techniques de finition avant traitement thermique (rasage) et les techniques de finition après traitement thermique (rectification, rodage, etc.).

#### **II.5.2.1 La rectification**

C'est une opération de finition des dentures qui s'effectue après traitement thermique et qui permet de rattraper les déformations dues au traitement thermique. La rectification permet d'appliquer les corrections de denture demandées au plan. La surépaisseur enlevée est très supérieure à la surépaisseur enlevée en shaving : environ 0.1 mm par flanc, ce qui autorise de récupérer des déformations importantes. Par voie de conséquence, il est nécessaire d'appliquer des profondeurs supérieures de traitement thermique. C'est un procédé très simple et très performant. Son seul inconvénient est de ne pas s'appliquer après traitement thermique. Il ne peut donc pas s'appliquer lorsque les dispersions de déformation sont trop importantes.

Plusieurs procédés existent :

- Par meule-mère, principe identique au taillage par fraise-mère, l'outil est une meule de grand diamètre. C'est le procédé le plus courant et le plus productif
  
- Par meule-assiette, le travail est effectué flanc par flanc, comme en taillage par crémaillère. Cette technique est réservée à la rectification de dentures de très petites séries dans des géométries spéciales.
  
- Par meule-module, principe identique au fraisage à la fraise-module. Cette technique a retrouvé de l'intérêt en production de moyenne série depuis l'apparition de meules à liant métallique qui suppriment le dressage des meules et accroissent, la qualité des surfaces obtenues.

La technique de rectification par meule-mère est de loin la technique la plus répandue. Ses limites techniques sont liées à l'utilisation d'outils de grands diamètres pour obtenir les vitesses de coupe suffisantes. Il faut donc de l'espace autour de la denture à rectifier. Le principal inconvénient de la rectification est son investissement initial, son entretien.

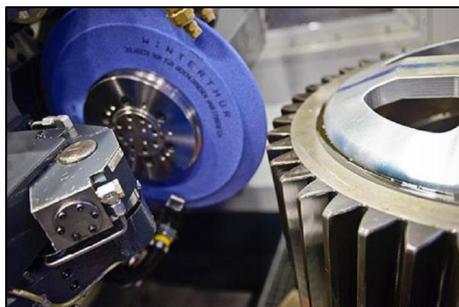


Figure. II.33 : Rectification de dentures à la meule-mère.[14]

## II .6 : Les réducteurs de vitesses :

### II .6.1. Définition :

Un réducteur est un ensemble d'organes mécaniques comprenant un générateur de puissance (moteur), des engrenages, des mécanismes entraînés (accouplements, frein), des structures servant de support (arbres, paliers) généralement incorporés dans un carter. Chacun des composants influe sur le comportement dynamique du réducteur ,mais il est généralement admis que l'engrenage qui est l'organe de transmission par excellence, constitue une des sources principales d'excitations. S'il répond parfaitement aux exigences de rendement, de précision et de puissance spécifique imposées dans les architectures modernes, les critères de confort acoustique, de tenue vibratoire et de gain du poids sont à l'origine d'une nouvelle pression technologique sur ce composant [24].mais il est généralement admis que l'engrenage qui est l'organe de transmission par excellence, constitue une des sources principales d'excitations. S'il répond parfaitement aux exigences de rendement, de précision et de puissance spécifique imposées dans les architectures modernes, les critères de confort acoustique, de tenue vibratoire et de gain du poids sont à l'origine d'une nouvelle pression technologique sur ce composant [15].

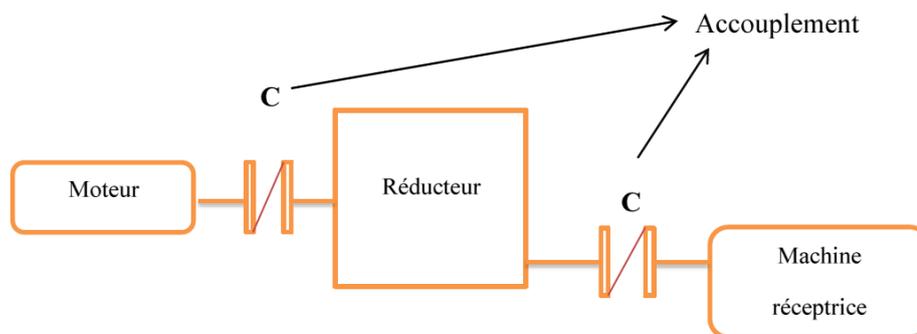


Figure .II.34 : La position du réducteur par rapport au moteur et au récepteur

Une machine est un ensemble de mécanismes qui disposés d'une certaine manière, permet de réaliser un travail .Le mécanisme est l'ensemble des pièces mécaniques mises en mouvement en vue d'assurer le fonctionnement de la machine. Il permet de transmettre et de transformer le mouvement au de celle-ci .Pour fonctionner, la machine a besoin d'énergie qui peut provenir de différentes sources :musculaire,

solaire, éolienne, hydraulique, thermique et nucléaire. Sans les mécanismes de transmission et de transformation du mouvement, l'énergie fournie ne pourrait pas être exploitée pour actionner la machine.

Dans le cas d'un mouvement de rotation il faut avoir :

- La puissance de moteur :  $P_m$  (KW)
- La vitesse motrice :  $N_m$  (tr/min)
- La vitesse réceptrice :  $N_r$  (tr/min)
- Rendement :  $\eta$  [3.10].

## II .6.2 . Les types des réducteurs :

Les réducteurs sont classés selon la position relative des arbres et les types d'engrenages utilisés pour la transmission de puissance .L'engrenage sert à transmettre un mouvement de rotation par obstacle avec changement des caractéristiques. Il est constitué d'un pignon et d'une roue. La plus petite s'appelle le pignon et la plus grande est la roue. La roue et le pignon sont munis de dents à profil particulier (développante de cercle) assurant la transmission [17].

### II.6.2.1. Réducteur à roue et vis sans fin :

Le principe de fonctionnement est simple : le mouvement de la vis autour de son axe provoque le déplacement des flancs de ses filets qui engrènent avec les dents de la roue, dont l'axe est perpendiculaire celui de la vis. La roue est donc entraînée en rotation par la vis [36].

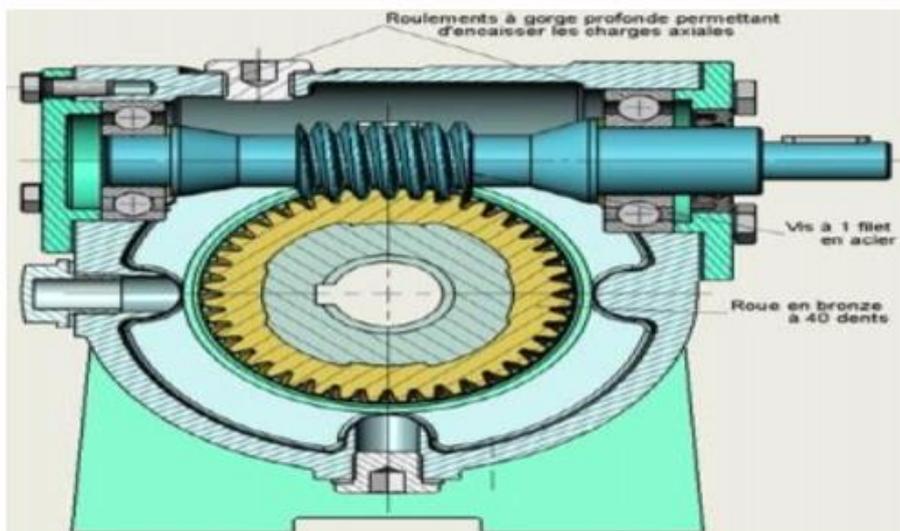


Figure II.35 : réducteur à vis sans fin [32]

#### II .6.2.2.1 . Principales applications :

Convoyeurs, notamment les petits, manutention, treuils, applications à vitesse lente (par exemple : ponts racleurs de station d'épuration. . .)

### **II .6.2.3 . Réducteur à engrenage conique :**

Les réducteurs à couple conique illustrent parfaitement la conception compacte de la nouvelle série d'entraînements. Ce sont des entraînements à renvoi d'angle robustes, adaptés à toutes les applications Mécaniques nécessitant un montage peu encombrant. Ils mettent à disposition une plage de couple très étendue: de 200 à 50000 (Nm).

Les réducteurs à couple conique sont utilisés là où une transmission de puissance à (90°) est nécessaire. Ils sont très performants, en particulier pour les applications requérant précision, rendement, hautes vitesses (jusqu'à 6500 tr/min – en fonction de la taille et de la gamme) et charges élevées.



**Figure. II .33 :** Réducteur de vitesse à couple conique [41]

### **II .6.2.4 . Réducteurs à engrenages cylindriques à arbres parallèles :**

Une plage de couples de 130 à 18000 (Nm) et un large choix de positions de montage et d'exécutions permettent l'installation dans de nombreuses configurations, même dans les conditions les plus défavorables. Ces réducteurs compacts sont d'un faible encombrement grâce à la disposition avantageuse du carter du réducteur.

Les nombreuses variantes d'arbres de sortie et d'arbres creux, la possibilité de monter le réducteur à arbre creux au moyen d'un bras de réaction, par pattes ou par bride, permettent retrouver la solution adéquate à prix avantageux. C'est la raison pour laquelle ce réducteur s'est imposé dans le monde entier comme solution pour les applications en translation. Figure 11.33 : Réducteurs à arbres parallèles [42]



Figure II .34 : Réducteurs à arbres parallèles [18]

II .6. 2.5. Réducteurs à trains épicycloïdaux [32]

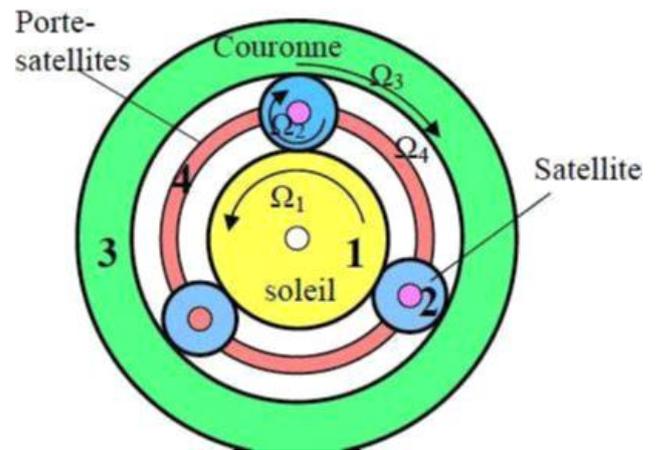


Figure II.35 : réducteur épicycloïdal [32]



Figure II.36 : réducteur épicycloïdal cimenterie Tébessa

Sous le nom de train épicycloïdal ou engrenage planétaire, on désigne un système de transmission de puissance entre deux ou plusieurs arbres. Les engrenages peuvent être cylindriques ou coniques. Ceux dont l'axe coïncide avec un axe fixe dans l'espace s'appellent "planétaire" et ceux qui tournent avec leur axe autour d'un autre s'appellent " généralement maintenus par un satellite".

### II .6.3 : Mode de lubrification :

Généralement, les réducteurs de commerce sont livrés sans huile. Il appartient donc à l'utilisateur de verser l'huile nécessaire au bon fonctionnement. La quantité et la qualité du lubrifiant sont communiquées par le constructeur. Souvent, il indiquera des types d'huile de différentes marques.

La lubrification des engrenages peut être assurée par le barbotage dans le bain d'huile formé dans la partie inférieure du carter ou par injection dans les dentures au moyen d'une pompe de circulation.

Les roulements peuvent être lubrifiés automatiquement par des projections d'huiles des engrenages et par des ruissellements sur les parois ou dérivations du circuit d'huile .Dans certains cas, un ou plusieurs roulements peuvent être isolés des projections et lubrifiés à la graisse.

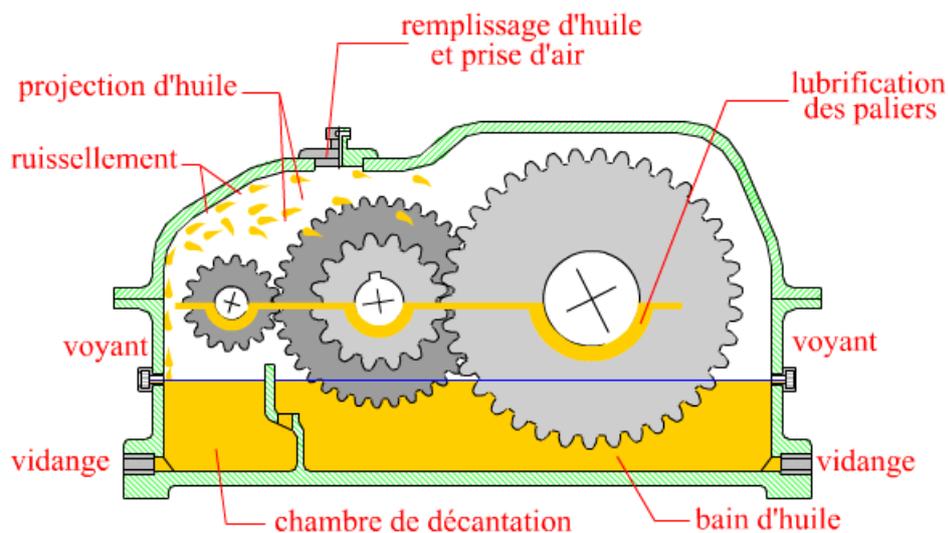


Figure II.37 : Lubrification par bain d'huile, projection et ruissellement

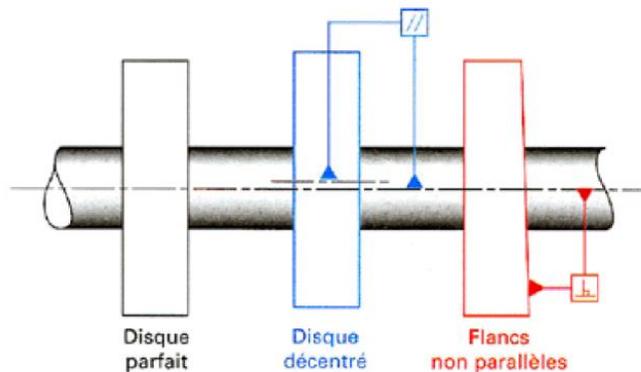
### II .6.4 : Etude principaux défauts au niveau des réducteurs[45]

L'identification d'anomalies à un stade précoce, le suivi de leurs évolutions et le diagnostic de l'état d'une machine ne sont possibles que si, préalablement, l'on connaît les symptômes vibratoires associés à chaque défaut susceptible de l'affecter, c'est-à-dire si l'on connaît les images vibratoires induites par ces défauts .On distingue (04) types des défauts :

- Défauts de fabrication
- Défauts de rectification

- Défauts de montage
- Défauts de fonctionnement

**II.6.4. 1. Déséquilibre (défaut de balourd) :** Quel que soit le soin apporté à la construction des machines, il n'est pas possible de faire coïncider l'axe de rotation avec le centre de gravité de chaque tranche élémentaire du rotor.



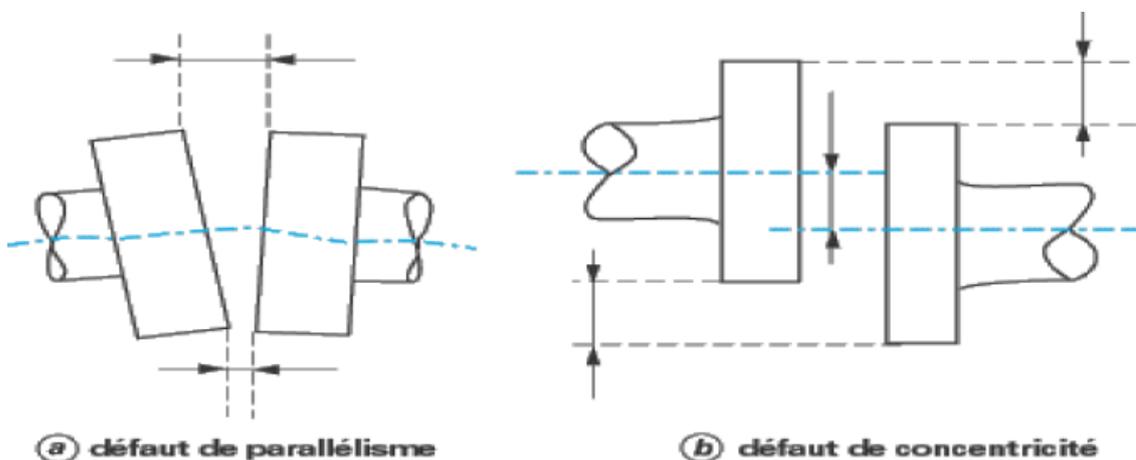
**Figure II .38 :** Ecart d'usinage (excentricité et parallélisme) [51]

Ce balourd provient généralement de défauts d'usinage, d'assemblage et de montage, ou sont la conséquence :

- d'une altération mécanique : perte d'ailette, érosion ou encrassement.
- d'une altération thermique : déformation suite à des dilatations différentes des matériaux constituant le rotor ou à des différences de température localisées ...

**a) Désalignement d'arbres accouplés :**

Les axes des deux rotors peuvent présenter un désalignement angulaire au niveau de l'accouplement ou un désalignement radial (défaut de concentricité) ou la combinaison des deux [figure 4.10].



**Figure II .38 :** Défauts désalignement [45]

### **II .6.4.2 . Défauts de serrage[45]**

Le mauvais serrage de la structure de la machine génère des vibrations et un certain bruit. Le spectre typique mesure sur une machine dans laquelle il existe un jeu contient un grand nombre de pic a des fréquences multiples de la fréquence de rotation.

### **II .6.4.3 . Défauts d'engrenages**

Ces défauts sont liés aux dégradations de la denture (denture cassée ou abimée, usure uniforme ou non, pitting localisé ou réparti, mauvais centrage) (figure 4.11). On peut observer aussi du fretting (corrosion, frottement) qui se traduit par un enlèvement de métal lorsque l'engrenage est mal lubrifié et que les efforts sont importants.

Les vibrations des engrenages sont dominées par un effort à chaque contact [46]. Un arbre tournant à une fréquence «  $f_r$  » sur lequel est monté un pignon ou une roue comptant «  $z$  » dents sera soumis à «  $z$  » chocs par tour. La fréquence caractéristique de l'engrènement sera :



**Figure II.39 :** Dégradation des dents d'une roue dentée [48]

On distingue principalement deux catégories de défauts. Les défauts affectant toutes les dents et ceux localisés sur des dents particulières

#### **A) Défauts répartis sur toutes les dents :**

L'usure : L'usure est un phénomène local caractérisé par un enlèvement de matière dû au glissement de deux surfaces l'une par rapport l'autre. Le développement de l'usure est lié à la charge mécanique à transmettre et à la vitesse de glissement, ainsi qu'à la présence plus ou moins grande d'éléments abrasifs dans le lubrifiant. L'usure normale est inversement proportionnelle à la dureté superficielle de la denture

et elle progresse lentement .L'usure anormale se produit lorsque le lubrifiant est souillé de particules abrasives (Figure.11.39) ou lorsque le lubrifiant est corrosif. Elle conduit à un mauvais fonctionnement de l'engrenage.



**Figure II.40:** Défauts de l'usure [51]

- **Les piqûres (Pitting)** : Il s'agit des trous plus ou moins profonds (Fig.4.13) qui affectent toutes les dents. La piqûre est une avarie qui se produit surtout sur des engrenages en acier déconstruction relativement peu dur. Il est moins à craindre si la viscosité du lubrifiant est bonne. L'apparition des piqûres est associée aussi à un rapport épaisseur de film lubrifiant sur rugosité composite insuffisant pour éviter des contacts entre aspérités.

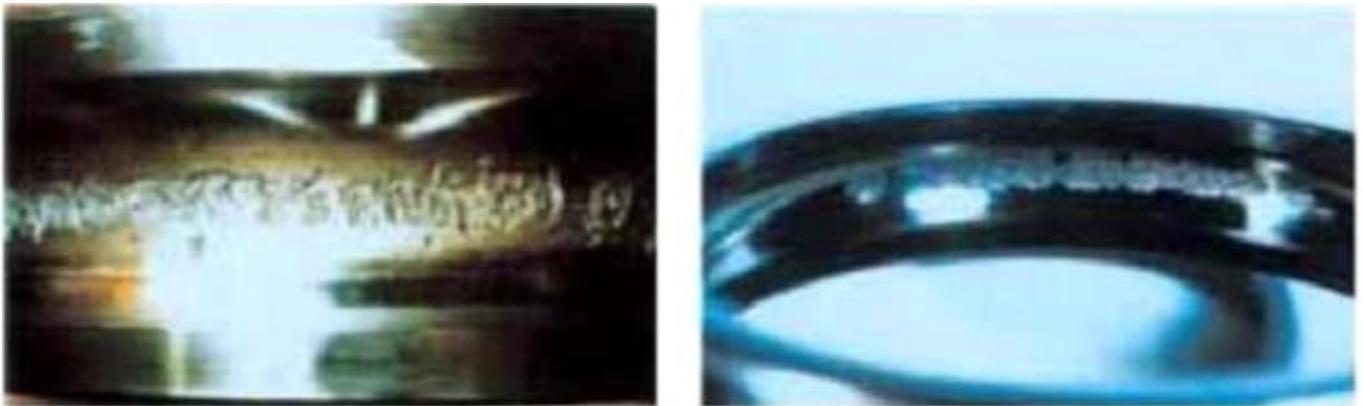


**Figure II .41 :** Défauts de piqûre [47]

**B) Défauts localisés sur certaines dents :**

Les défauts localisés sur des dents particulières conduisent rapidement à la rupture de celles-ci.

- **L'Écaillage** : Il s'agit également de trous (Fig.4.14), mais ceux-ci sont beaucoup moins nombreux, plus profonds et plus étendus que ceux des piqûres. L'écaillage se trouve dans les engrenages cémentés, qui sont les plus répandus à l'heure actuelle car ils permettent de passer des couples importants avec des dimensions faibles.



‘Figure II .41 : Défauts de l'écaillage [51]

- **La fissuration** : Elle progresse à chaque mise en charge, situé au pied de dent. Elle apparaît sur tout sur des aciers fins durcis par traitement thermique qui sont sujets aux concentrations de contraintes. L'apparition de ces fissures est la conséquence d'une contrainte au pied de la dent qui dépasse la limite de fatigue du matériau. Ces fissures sont en général situées du côté de la dent sollicitée en traction.

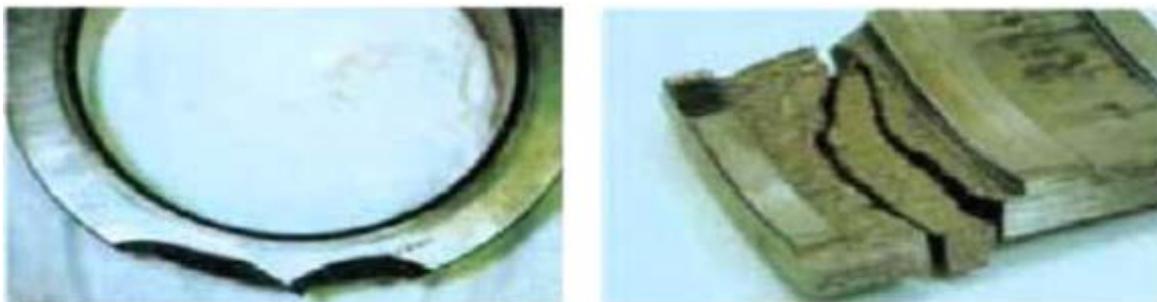
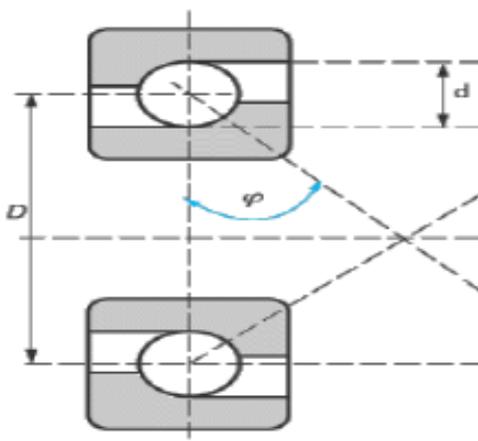


Figure II .42 : Défauts de fissuration [51]

### II .6.4.3 : Défauts de roulement

Les roulements sont parmi les composants les plus sollicités des machines et représentent une source de panne fréquente (figure 4.16). Les défauts que l'on peut y rencontrer sont les suivants : écaillage, grippage, corrosion (qui entraîne l'écaillage), faux effet Brinell, etc... Tous ces défauts se traduisent par une perte de métal et provoquent des chocs répétés des billes sur la cage de roulement [47].



#### a-Défaut écaillage de la bague interne

F= fréquence de rotation de l'arbre

N= nombre de bille

d=diamètre d'une bille

D= diamètre moyen du roulement

$\varphi$ =angle de contact

#### b-schéma d'un roulement

Figure II .43 : Roulement à billes [51]

Les pistes des roulements et les billes sont chargées cycliquement, ce qui engendre à la surface une dégradation par fatigue qui se présente sous la forme de fissures qui conduisent à l'écaillage[48] et [49] puis à la ruine du roulement. Ces fissures peuvent être d'origine superficielle ou provenir de la dégradation de la sous couche du matériau. Cette ruine peut être détectée sur un spectre à partir de l'identification des fréquences caractéristiques du roulement. Celles-ci correspondent aux fréquences des impacts lorsqu'un élément roulant rencontre un défaut. Elles sont données en écrivant que les vitesses aux points de contact entre billes et bagues sont nulles [50]. Elles dépendent du diamètre des éléments roulants ( $d$ ), du diamètre moyen du roulement ( $D$ ), du nombre d'éléments roulants ( $N$ ), de l'angle de contact( $\nu$ ) et de la fréquence de rotation relative entre les bagues intérieure et extérieure ( $f_r$ ). Elles sont données par les formules

### **Conclusion**

Dans ce chapitre il était question pour nous de présenter en premier lieu les généralités sur les engrenages et en profondeur les d'engrenages cylindriques existant en mécanique, d'étudier les dentures droites et présenter de manière brève quelques techniques de taillage de denture. Et en second lieu de présenter les réducteurs de vitesse ainsi que les différents types d'endommagements.



# Chapitre III: Etude de Fabrication

## 111.Introduction :

Dans cette partie nous allons présenter la gamme d'usinage d'un arbre- pignon. Seront détaillés dans ce qui suit les phases nécessaires et les opérations d'usinages, les régimes de coupe, les accessoires de montage, les instruments de contrôle et les outils de coupes. Le logiciel de conception Solidworks sera utilisé pour éclaircir les dessins techniques.

### 111.1. Définition de la pièce à usiner :

La pièce à usiner est une arbre pignon situé à l'entrée d'un réducteur. Cette pièce cylindrique à denture droite ayant 13 dents est fabriqué en utilisant un acier faiblement allié 42CD4.

#### 111..1.1. Choix du matériau :

Le choix de la matière d'œuvre d'un arbre pignon et de la roue dentée doit être fait de manière à :

- Rendre possible le taillage et l'achèvement de ses dents avec précision et un état de surface imposés,
- Assurer une résistance à la flexion suffisante pour tenir aux charges dynamiques alternatives,
- Assurer une résistance suffisante de la couche superficielle des dents et tenue à l'usure élevée.

Les matériaux usuels dans la fabrication des engrenages sont l'acier, la fonte et les matières plastiques.

La grande variété des nuances des aciers et la possibilité d'obtenir par traitement thermique et thermochimique des propriétés variées permettent de réaliser la combinaison la plus favorable des propriétés imposées.

L'acier au carbone est le plus courant pour les charges moyennes ; sa teneur en carbone varie de 0.38 à 0.42%.

Le tableau (II. 1) donne un aperçu sur les matériaux les plus fréquemment utilisés.

Tableau. III.1 : Choix des matériaux pour l'assemble.

Arbre Pignon		
A	Acier de construction à usage général	A 60, A 70
	Acier d'amélioration	XC 48, XC 65, 34 CD 4, 42 CD 4,
B	Acier de cémentation	XC 18, 12 C 3

**111.1.2. Matériau de l'étude :**

Le matériau étudié est un acier à Haute Résistance 42 CD 4 utilisé pour la fabrication des engrenages .Ses caractéristiques mécaniques facilitent le formage sur presses et sur lignes automatisées. Il se caractérise de plus par une bonne tenue à la fatigue et à la résistance au choc. Grâce à sa limite élastique élevée ( $R_e$ ), il est particulièrement adapté lorsqu'une réduction de poids est recherchée, c'est pourquoi cet acier s'utilise fréquemment en remplacement des aciers de construction.

Ci-dessous la composition chimique ainsi que les caractéristiques mécaniques de ce matériau.

**a. Composition chimique**

Selon la norme DIN, la composition chimique (en%), de l'acier faiblement allié 42CrMo4 (Tableau II.2).

**Tableau. II.2 :** Composition chimique de l'acier 42CD4

Eléments	C	Cr	Mo	S	Mn	P	Si
%	0,38 - 0,45	0,90 - 1,20	0,15 - 0,30	≤0,035	0,60 - 0,90	≤0,035	0.40 Maxi

✚ Avec :

- C : Carbone
- Cr :Chrome
- Mo :Molybdène
- S : Soufre
- Mn : Manganèse
- P : Phosphore
- Si : Silicium

**b. Caractéristique de l'acier faiblement allié 42CrMo4**

Acier faiblement allié, magnétique, issu de la technologie "masterbatch" et préparé à partir d'une poudre "fer-carbonyle" ayant une granulométrie maximale de 6 µm. Cette matière est spécialement conçue pour le traitement thermique. Elle est recommandée pour les applications demandant de très bonnes résistances mécaniques et ténacités telles que l'armement, l'outillage ou les pièces de machines.[4]

## **111.2 .Traitement thermique :**

Le traitement thermique d'un matériau est un groupe de procédés industriels utilisés pour modifier les propriétés physiques et parfois chimiques de ce dernier. Ce traitement est utilisé lors de la fabrication des matériaux comme le verre, et surtout les métaux.

Le traitement thermique consiste en des chauffages ou des refroidissements de la pièce mécanique suivant un programme préalable établi et fixant :

- Les vitesses des chauffages et des refroidissements.
- Les températures des chauffages et des refroidissements.
- Les milieux des chauffages et des refroidissements.

Le traitement thermique implique l'utilisation du chauffage et/ou du refroidissement pour obtenir le résultat souhaité, tel que la modification de la friabilité, la dureté, la ductilité, la fragilité, la plasticité, l'élasticité ou la résistance mécanique des matériaux.

Les traitements thermiques jouent également un rôle important dans le domaine de la tribologie. Les traitements thermiques peuvent être classés comme suit :

- Traitements dans la masse (amélioration des propriétés de masse) :
  - ✓ Trempe ;
  - ✓ Revenu ;
- Traitements superficiels (amélioration des propriétés superficielles).

### **3.2.1. Trempe**

#### **3.2.1.1 Définition**

La trempe est un traitement thermique administrée afin d'améliorer les caractéristiques mécaniques.

Le but de la trempe est :

- D'augmenter la limite d'élasticité, la résistance à la rupture et la dureté.
- De diminuer l'allongement, la résilience et la fatigue.

#### **3.2.1.2 Mode d'emploi**

On met la pièce dans un four, on la chauffe lentement (4 heures ou plus). Puis, on la refroidit brutalement en la trempant dans :

- ✓ L'eau, pour les aciers contenant moins de 0,48% de carbone ;
- ✓ L'huile, pour les aciers contenant plus de 0,48% de carbone.

### **111.4.2. Revenu :**

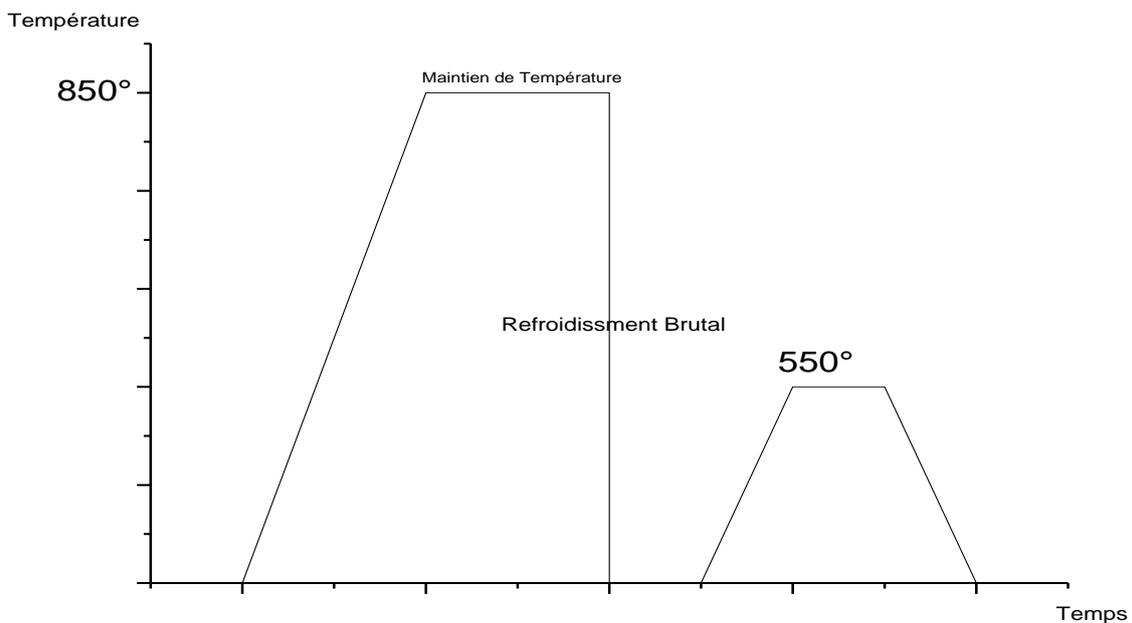
### 111.4.2.1 Définition :

Le revenu est un traitement thermique qui ne s'applique qu'aux métaux préalablement trempés. Il est utilisé pour diminuer l'effet néfaste de la trempe (la diminution de la résilience).

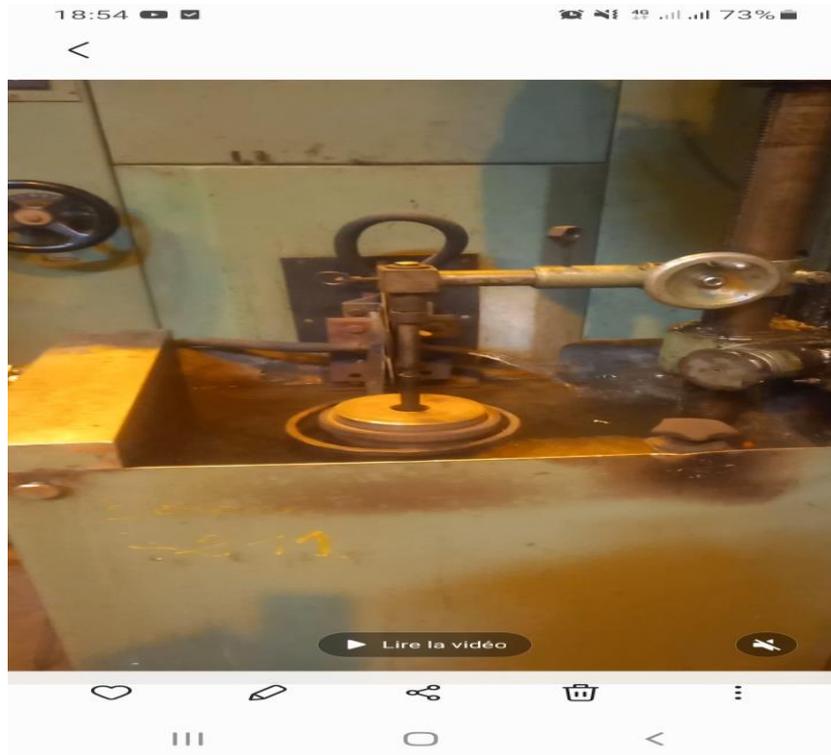
### 4.2.2 Mode d'emploi

En ce qui concerne l'arbre pignon dont fait l'objet cette étude, un traitement thermique superficielle a été appliqué à la denture. Le cycle est montré dans la **figure .....**

On applique d'abord une trempe : on fait chauffer la denture à 850° pendant 15 secondes ensuite on maintien pendant une brève période. Puis on la trempe dans l'eau pour un refroidissement brutal. Concernant le revenu, la température de chauffage était de 550°, mais aucune information sur le temps ne m'a été communiqué.



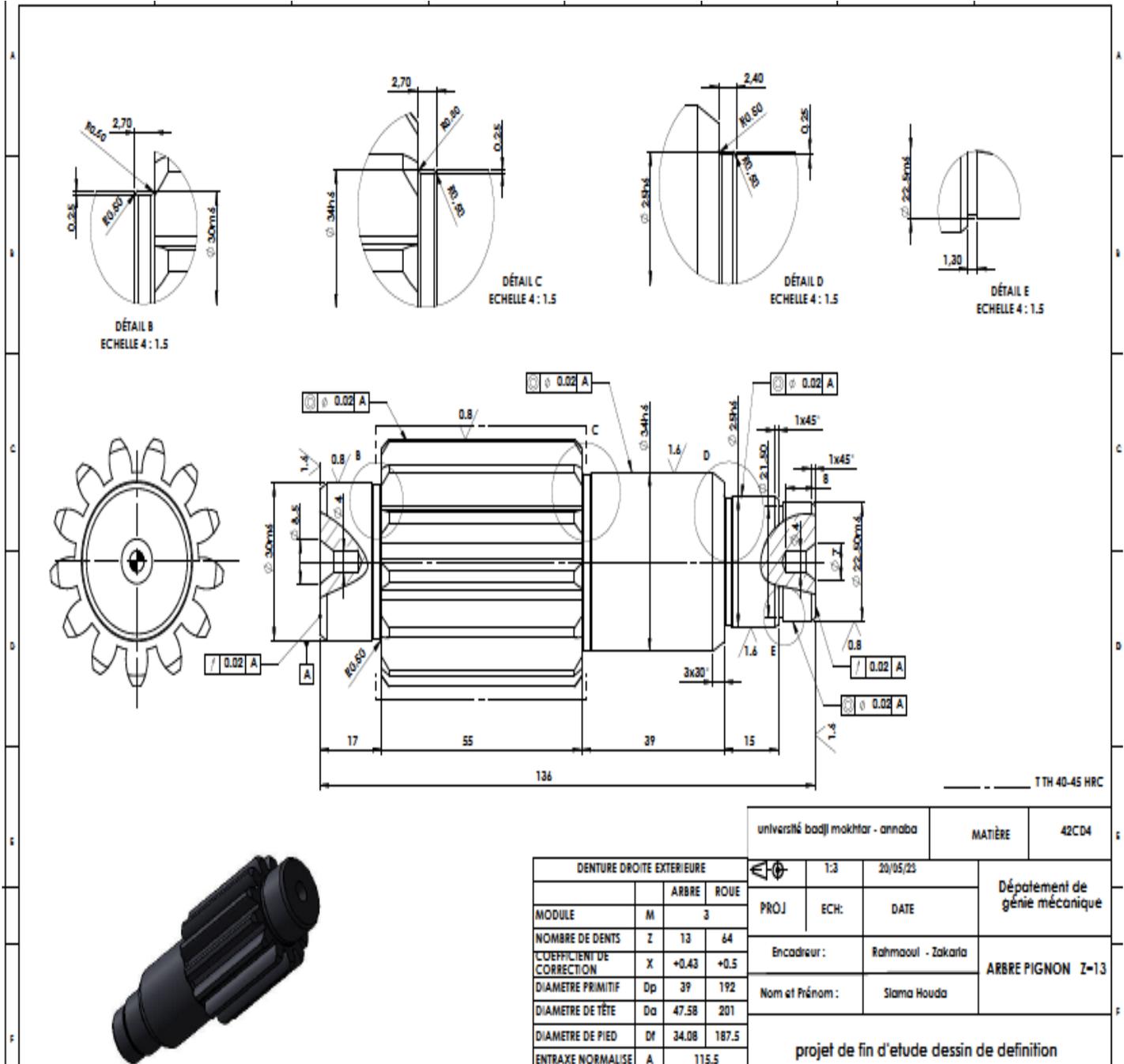
**Figure111.1** : Cycle du traitement thermique (trempe et revenu) de l'arbre pignon.



### **Conception de l'engrenage**

La conception de l'arbre pignon (Figure 111.3) ainsi que de la roue (Figure4.4) ont été faites sur un logiciel de conception Solidworks sur la base du dessin de définition (Figure4.3.2) proposé par le bureau de méthode.

4.3-Dessin de définition l' arbre pignon



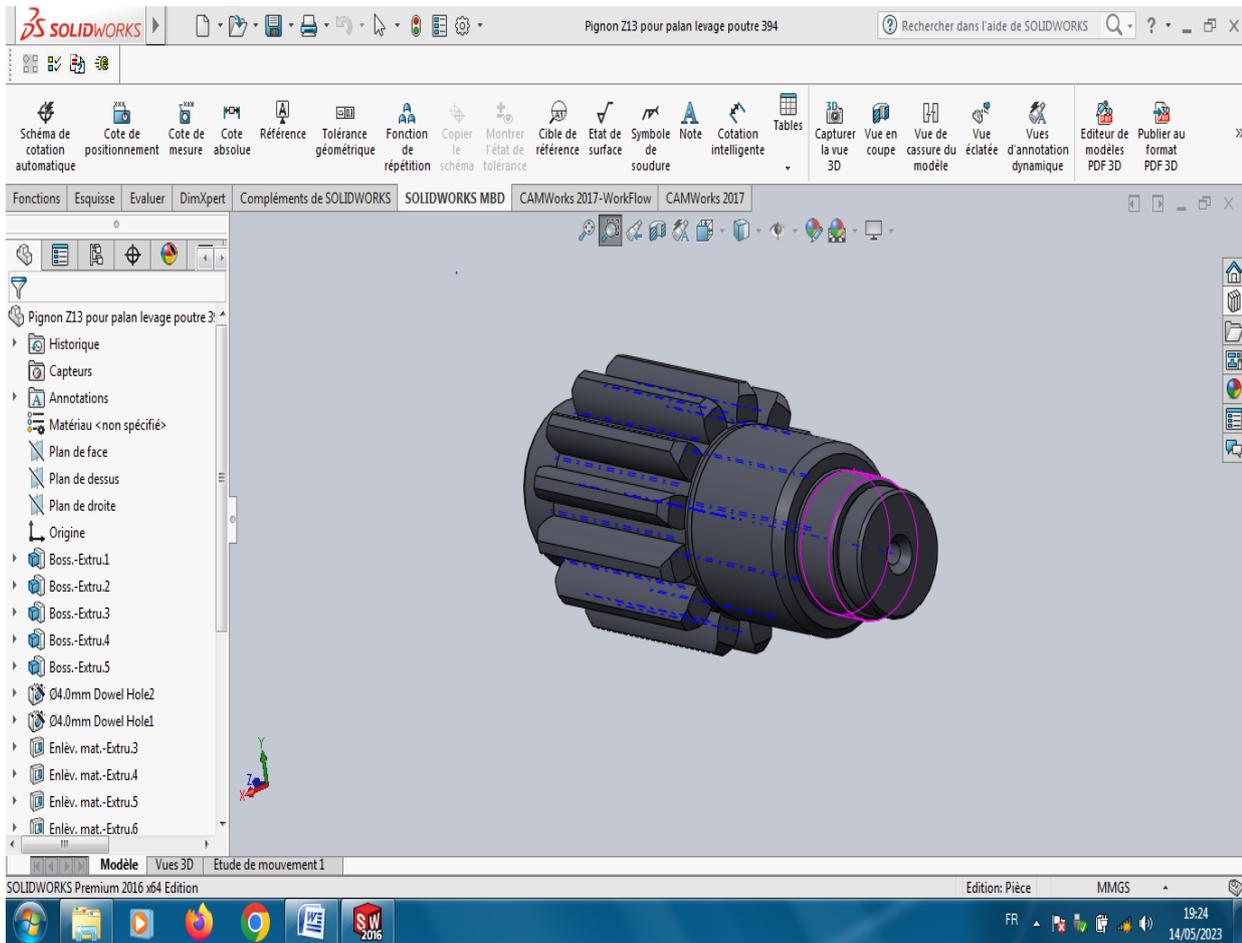
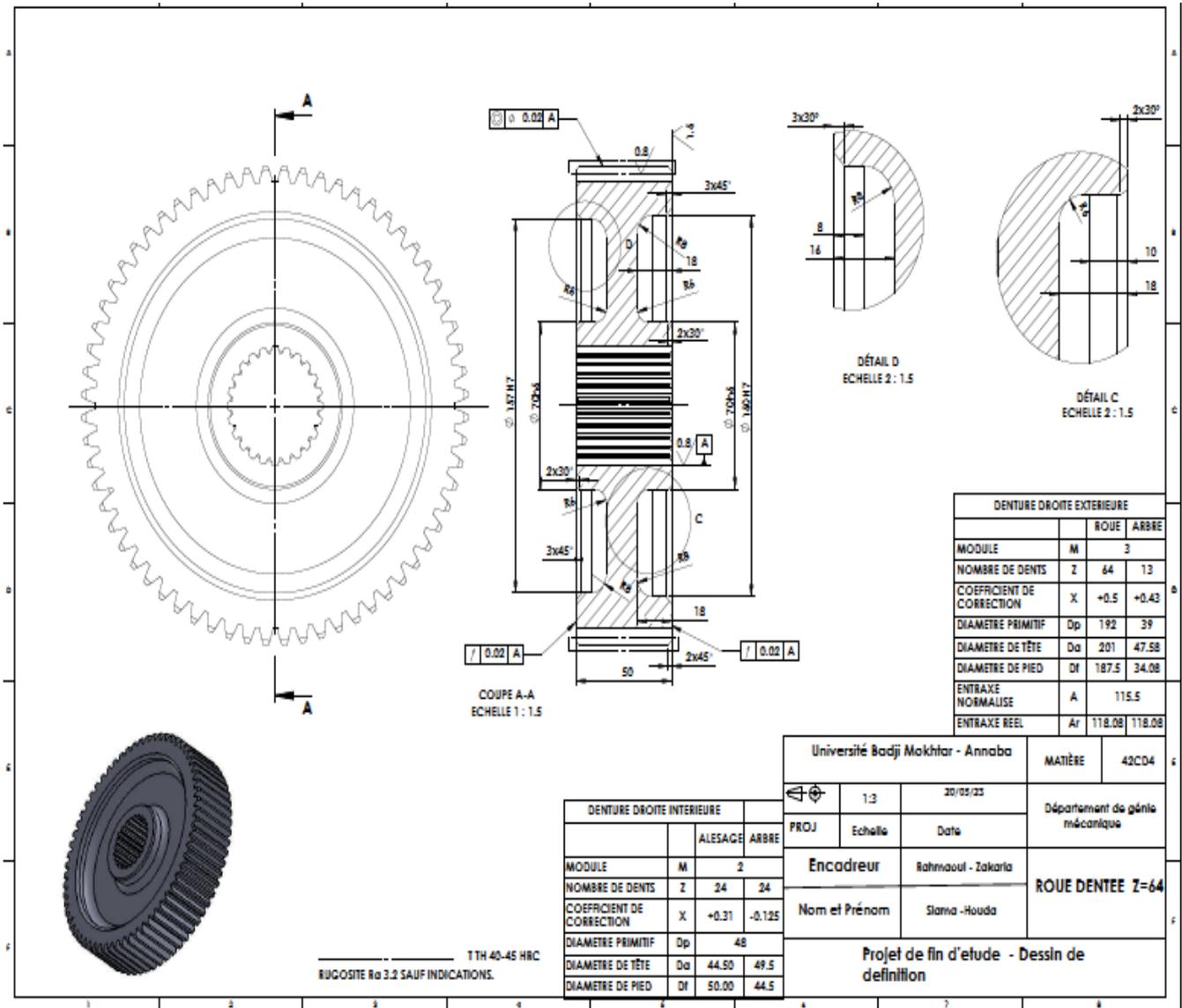


Figure 111.2 . Géométrie de l'arbre dentée (Solidworks)

4.3-Dessin définition de la roue :



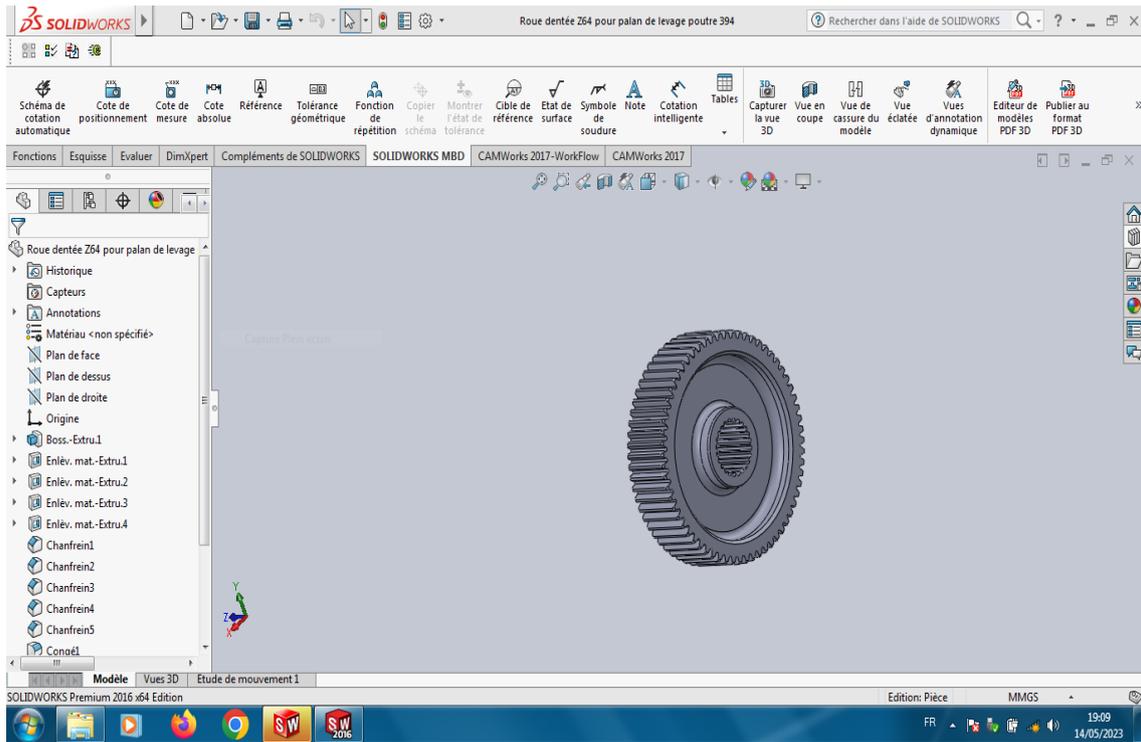


Figure11.3 : Géométrie de la roue (Solidworks)

Après avoir réalisé les pièces, nous avons effectué l'assemblage :

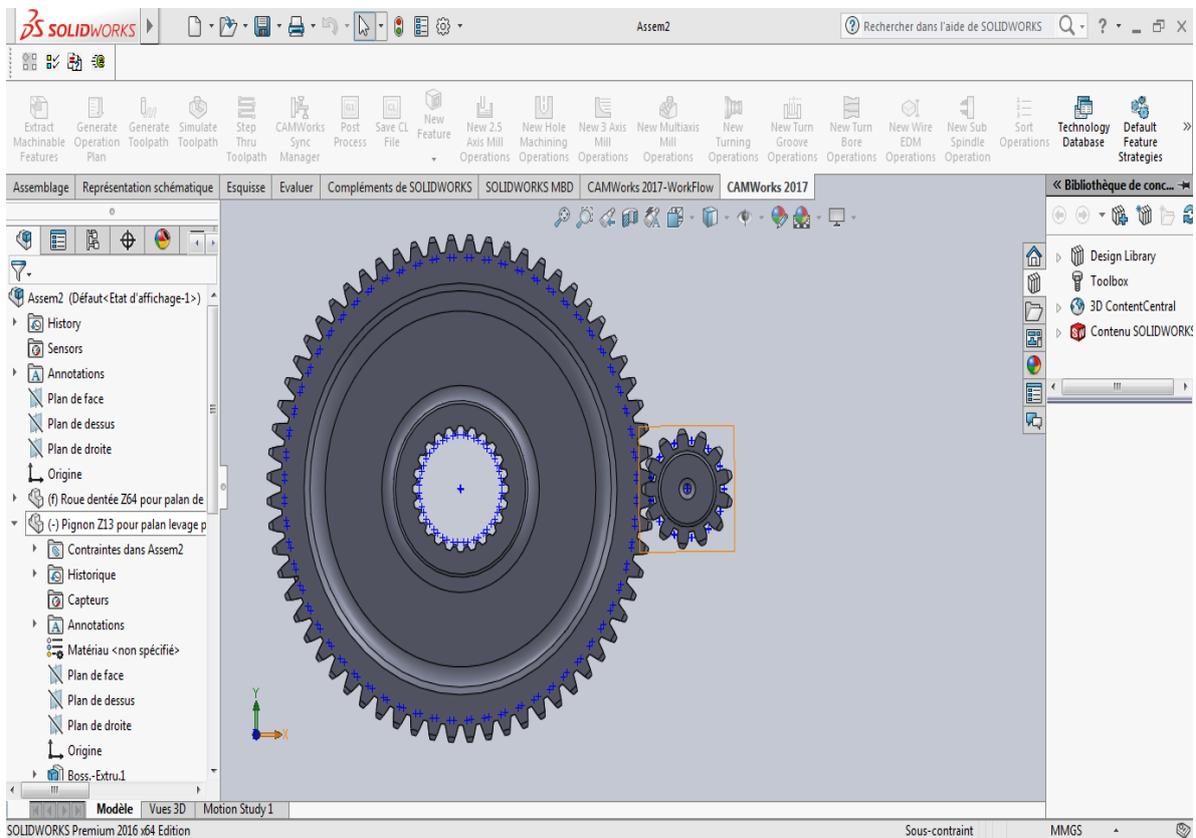


Figure 111.4: Assemblage entre la roue et arbre

#### 4.2 Calcul du régime de coupe :

- **Le dressage :**

Choix de l'avance :  $f_z = 0,2 \text{ mm/tr}$ .

-Choix de la vitesse de coupe d'après le tableau II.4 :  $V_c = 80 \text{ m/min}$

Calcul de nombre de tour N :

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 80}{3.14 \times 6,3} = 4044.08 \text{ tr/min}$$

Calcul de l'avance :

$$A = N \times f_z = 4044.08 \times 0.06 = 242.64 \text{ mm/min}$$

Temps de coupe :

$$T_t = T_c = \frac{L}{A} = \frac{14}{242.64} = 0.057 \text{ min}$$

➤ **Le centrage**

-Choix de l'avance :  $f_z = 0,06 \text{ mm/tr}$ .

- Choix de l'outil : foret acentrer  $\varnothing 06 \text{ mm}$  en ARS.

-Choix de la profondeur de passe :  $a_p = 6.3 \text{ mm}$

-Choix de la vitesse de coupe d'après le tableau suivant :  $V_c = 20 \text{ m/min}$

**Tableau .III.3 :** Valeurs indicatives moyennes des vitesses de coupe pour les opérations de perçage

Nuance ISO	Matériaux à usiner	Perçage		
		Acier Rapide	Acier Rapide Revêtu	Carbure
P	Acier Non Allié	30	45	70
	Acier Faiblement Allié	20	40	60
	Acier Fortement Allié	15	35	40
	Acier Moulé Faiblement Allié	10	30	70
M	Acier inoxydable	12	20	40
K	Fonte lamellaire (EN-GJL...)	25	50	80
	Fonte Modulaire (EN-GJM...)	15	30	80
	Fonte Sphéroïdales (EN-GJS...)	25	50	80
K-N	Alliages d'aluminium de faible dureté sans silicium (AW 2030 ...)	60	90	100
	Alliages d'aluminium durs sans silicium ou %Si moyen (AW2017, AW 6060 ...)	60	90	100
	Alliages d'aluminium à haute teneur en silicium > 12%	40	60	100
		Vitesse de coupe Vc en m/min		

Calcul de nombre de tour N :

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 20}{3.14 \times 6,3} = 1011.020 \text{ tr/min}$$

Calcul de l'avance :

$$A = N \times f_z = 1011.020 \times 0.06 = 60.66 \text{ mm/min}$$

Temps de coupe :

$$T_t = T_c = \frac{L}{A} = \frac{14}{60.66} = 0.23 \text{ min}$$

➤ **Pour le tournage**

➤ Régimes d'ébauche :

- Choix de la machine : Tour

- Choix de l'outil : Outil à chariotage à plaquette rapportée en carbure métallique.

- Choix de la profondeur de passe :  $a_p = 3 \text{ mm}$

- Choix de l'avance d'après le tableau :  $f = 0.3 \text{ mm/tr}$

- Choix de la vitesse de coupe d'après le tableau suivant : **Vc = 130m/mn**

**Tableau. III.4:** Valeurs indicatives moyennes des vitesses de coupe pour les opérations de tournage.

Nuance ISO	Matériaux à usiner	Tournage d'Extérieur				Tournage Filetage	
		Acier Rapide		Carbure		Acier Rapide	Carbure
	Avance f en mm/tr	0.05 à 0.1	0.1 à 0.2	0.05 à 0.2	0.2 à 0.3	f = pas du filet	
P	Acier Non Allié	50	40	250	200	35	120
	Acier Faiblement Allié	30	20	150	130	20	80
	Acier Fortement Allié	20	15	120	100	15	60
	Acier Moulé Faiblement Allié	30	20	150	120	20	75
M	Acier inoxydable	25	20	150	130	20	90
K	Fonte lamellaire (EN-GJL...)	40	30	80	60	20	30
	Fonte Modulaire (EN-GJM...)	30	25	100	80	15	40
	Fonte Sphéroïdale (EN-GJS...)	55	45	90	70	25	40
K-N	Alliages d'aluminium de faible dureté sans silicium (AW 2030 ...)	250	200	550	400	150	230
	Alliages d'aluminium durs sans silicium ou %Si moyen (AW2017, AW 6060 ...)	120	80	250	200	90	110
	Alliages d'aluminium à haute teneur en silicium > 12%	80	40	120	100	45	60
Vitesse de coupe Vc en m/min							

Calcul de nombre de tour N :

$$N = \frac{1000 \times Vc}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 130}{3.14 \times 47.58} = 870.14 \text{ tr/min}$$

Calcul de la vitesse de coupe :

$$Vc = \frac{\pi \times D \times N}{1000} = \frac{3.14 \times 47.58 \times 870.14}{1000} = 130.00 \text{ m/min}$$

Calcul de l'avance :

$$A = N \times f = 870.14 \times 0.3 = 261.02 \text{ mm/min}$$

Calcul de temps machine :

$$Tt = Tc = \frac{L}{A} = \frac{244}{261.02} = 0.93 \text{ min}$$

## 2. Régimes de finition :

- Choix de la profondeur de passe :  $a_p = 0.5 \text{ mm}$
- Choix de l'avance d'après le tableau :  $f = 0.05 \text{ mm/tr}$
- Choix de la vitesse de coupe d'après le tableau (III.5) :  **$Vc = 150 \text{ m/min}$**

Calcul de nombre de tour N :

$$N = \frac{1000 \times Vc}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 150}{3.14 \times 30.5} = 1566.25 \text{ tr/min}$$

Nombre de tour corrigé :  $N = 1600 \text{ tr/min}$

Calcul de la vitesse de coupe :

$$V_c = \frac{\pi \times D \times N}{1000} = \frac{3.14 \times 30.5 \times 1600}{1000} = 153.23 \text{ m/min}$$

Calcul de l'avance :

$$A = N \times f = 1600 \times 0.05 = 80 \text{ mm/min}$$

Calcul de temps machine :

$$T_t = T_c = \frac{L}{A} = \frac{100}{80} = 1.15 \text{ min}$$

Calcul de nombre de tour N :

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = 1873.36 \text{ tr/min}$$

Calcul de la vitesse de coupe :

$$V_c = \frac{\pi \times D \times N}{1000} = \frac{3.14 \times 25.5 \times 1873.36}{1000} = 150 \text{ m/min}$$

Calcul de l'avance :

$$A = N \times f = 1873.36 \times 0.05 = 93.66 \text{ mm/min}$$

Calcul de temps machine :

$$T_t = T_c = \frac{L}{A} = \frac{25}{93.66} = 0.26 \text{ min}$$

### A) Chanfreinage

#### Chanfrein $3 \times 45^\circ$

- Choix de l'outil : Outil à chanfreiner.
- Choix de la profondeur de passe :  $a_p = 2 \text{ mm}$
- Choix de l'avance d'après le tableau :  $f = 0.1 \text{ mm/tr}$
- Choix de la vitesse de coupe d'après le tableau (III.5) :  **$V_c = 150 \text{ m/min}$**

Calcul de nombre de tour N :

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 150}{3.14 \times 34} = \text{tr/min}$$

Nombre de tour corrigé :  $N = 1600 \text{ tr/min}$

Calcul de la vitesse de coupe :

$$V_c = \frac{\pi \times D \times N}{1000} = \frac{3.14 \times 34 \times 1600}{1000} = m/min$$

Calcul de l'avance :

$$A = N \times f = 1600 \times 0.1 = 160 \text{ mm/min}$$

Temps de coupe :

$$T_t = T_c = \frac{L}{A} = \frac{3}{160} = 0.018 \text{ min}$$

➤ **Taillage de denture droite**

**Données fraise :**

Module normal / axial	3
Nombre de filets	1
Angle de pression	20°
Angle d'inclinaison	2° '24,00'
Nombre de goujures	12
Long de goujures	64 mm
Diamètre réel	78,5
Dimension diagonale	/
Profil de référence	/
Pas axial	9,424

**données pièce**

Module normal / axial	3
Nombre de dents	13
Angle d'hélice	00
Diamètre extérieur	47,58
Largeur de denture	55
Coef , de déport	+0,43
Coef , demodif , sailli	0
Position départ cycl	300
Hauteur de montage	450
Desser , manuel / auto	0

Cote radial effl	
Profond total taillage	6,75
Nombre de passe	2

A) Régimes de coupe

<b>1<sup>ere</sup> passe</b>	
<b>Vitesse de coupe</b>	25
<b>Avance radial / tang</b>	0
<b>Avance axiale/ tang</b>	0,5
<b>Coef, d'avance d'entree</b>	/
<b>Coef, d'avance de sortie</b>	/

<b>2<sup>eme</sup> passe</b>	
<b>Prof, 2<sup>eme</sup> passe</b>	0,75
<b>Vitesse de coupe</b>	30
<b>Avance radiale</b>	0,3
<b>Avance axiale /tang</b>	/

A) Taillage de denture droite

➤ Pour taillage extérieur

1. Régime d'ébauche :

-Choix de la machine : Tailleuse

- Choix de l'outil : fraise mère.

-Choix de la profondeur de passe :  $a_p = 0.75 \text{ mm}$

- Choix de l'avance :  $f = 0,17 \text{ mm/tr}$

- Choix de la vitesse de coupe :  **$V_c \text{ ébauche} = 25 \text{ m/min}$**

Calcul de nombre de tour N :

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 25}{3.14 \times 47.58} = 167.33 \text{ tr/min}$$

Calcul de l'avance :

$$A = N \times f \times Z = 167.33 \times 0.17 \times 13 = 369.79 \text{ mm/min}$$

Temps de coupe :

$$T_t = T_c$$

$$= \frac{L}{A} = \frac{55 + 2 + 2}{369.79} = 0,15 \text{ min}$$

2. Régime de finition :

- Choix de la profondeur de passe :  $a_p = 0.5 \text{ mm}$
- Choix de la vitesse de coupe d'après le tableau suivant :  $V_c = 30 \text{ m/min}$
- Choix de l'avance :  **$f = 0.5 \text{ mm/tr}$  pour la finition.**

Calcul de nombre de tour N :

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 30}{3.14 \times 47.58} = 200.80 \text{ tr/min}$$

Calcul de l'avance :

$$A = N \times f \times Z = 200.80 \times 0.5 \times 13 = 1305.22 \text{ mm/min}$$

Temps de coupe :

$$T_t = T_c = \frac{L}{A} = \frac{55}{1305.22} = 0,042 \text{ min}$$

**B) Rectification**

**Rectification** Ø30, L=17

- Choix de la machine : Rectifieuse cylindrique externe.
- Choix de l'outil : meule cylindrique Ø250mm, E= 30 mm
- Choix de l'avance :  $f = E/2 = 15 \text{ mm/tr}$ .
- Choix de la profondeur de passe :  $a_p = 0,05 \text{ mm}$
- Choix de la vitesse de coupe d'après le tableau (III.7) :  $V_c \text{ meule} = 32 \text{ m/s} = 1920 \text{ m/min}$

Calcul le nombre de tour meule :

Pour la ratification extérieure : meule cylindrique **Nuance 38A60L5V**

**Régime de coupe :**

**Tableau 111.5 :** Valeurs indicatives moyennes des vitesses de coupe pour les opérations rectification

Nuance	Vitesse de meule En ( m/ sec)	Vitesse de la pièce En (m/min )	Profondeur de passe en mm	Surépaisseur Total en mm
38A60L5V	25 à 32	8 à 25*	0.005 à 0.1	0.1 à 0.5

$$N_m = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 1920}{3.14 \times 250} = 2445.86 \text{ tr/min}$$

Calcul de l'avance :

$$A = N \times f = 2445.86 \times 15 = 36687.9 \text{ mm/min}$$

Choix de vitesse de coupe pièce :  $V_c = 25 \text{ m/min}$

Calcul le nombre de tour pièce :

$$N_p = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 25}{3.14 \times 30} = 265.39 \text{ tr/min}$$

Calcul de l'avance :

$$A = N \times f = 265.39 \times 0.1 = 26.53 \text{ mm/min}$$

Temps de coupe :

$$T_t = T_c = \frac{L}{A} = \frac{17}{26.53} = 0.64 \text{ min}$$

### 3.5 - Calculer les éléments géométriques des engrenages à denture droite :

#### ARBRE

Module = 3

Coefficient de correction  $X = 0$

✚ Calcul du saillie (  $h_a$  )

$h_a = m = 3$

✚ Calcul du creux (  $h_f$  )

$h_f = 1,25m = 3,75 \text{ mm}$

✚ Calcul du diamètre primitif (  $d_p$  )

$$D_p = m \cdot z = 3 \times 13 = \mathbf{39\text{mm}}$$

✚ Calcul du diamètre de tête ( $d_a$ )

$$d_a = d_p + 2h_a = \mathbf{45\text{ mm}}$$

✚ Calcul du diamètre de pied ( $d_f$ )

$$D_f = d_p - 2h_f$$

$$d_f = 39 - 2(3.75) = \mathbf{31,5\text{ mm}}$$

## ROUE

✚  $m = 3$  ,  $z = 64$

✚ Calcul du saillie ( $h_a$ )

$$h_a = m = \mathbf{3}$$

✚ Calcul du creux ( $h_f$ )

$$H_f = 1,25m = \mathbf{3,75\text{ mm}}$$

✚ Calcul diamètre primitif ( $d_p$ )

$$D_p = m \cdot z = 3 \times 64 = \mathbf{192\text{ mm}}$$

✚ calculer le diamètre de tête ( $d_a$ )

$$d_a = d_p + 2h_a = 192 + 2(3) = \mathbf{198\text{mm}}$$

✚ calculer le diamètre de pied ( $d_f$ )

$$d_f = d_p - 2h_f$$

$$d_f = 192 - 2(3.75) = \mathbf{184,5\text{ mm}}$$

✚ calcul de pas :

$$P = \pi \cdot m$$

$$P = 3.14 \cdot 3 = \mathbf{9.42}$$

✚ Calcul de l'épaisseur de la dent

$$s = \pi \frac{m}{2} \implies s = \mathbf{4.71}$$

✚ Calcul de l'entraxe :

$$a = m \left( \frac{z_1 + z_2}{2} \right) \quad \Rightarrow \quad a = 3 \left( \frac{13 + 64}{2} \right)$$

$$a = 115.5 \text{ mm}$$

➤ Calcul des éléments géométriques des engrenages

**Tableau 111.6:** Résumé des résultats du calcul des caractéristiques géométriques

Caractéristiques désignations et formules	Arbre	Pignon
Module <b>m</b>	3	
Angle de pression	$\alpha = 20$	
Nombre de dents <b>z</b>	13	64
Pas au primitif <b>p</b> $p = \pi \cdot m$	9.42	
Saillie <b>h<sub>a</sub></b> <b>h<sub>a</sub> = m</b>	3	
Creux <b>h<sub>f</sub></b>  $h_f = 1,25 \cdot m$	3.75	
Hauteur de la dent <b>h</b> $h = h_a + h_f = 2,25 \cdot m$	6.75	
Diamètre primitif <b>d<sub>p</sub></b> $d = m \cdot z$	39	192
Diamètre de tête <b>d<sub>a</sub></b> $d_a = d + 2 \cdot m$	45	198
Diamètre de pied <b>d<sub>f</sub></b> $d_f = d - 2,5 \cdot m$	31.5	184.5
Entraxe <b>a</b>  $a = m \frac{z_1 + z_2}{2}$	115.5	
Epaisseur de la dent  $s = \pi \frac{m}{2}$	4.71	

➤ Calcul de la correction

✚  $h_a = 1 \cdot m$

$h_a = 1 \cdot 3 = 3$

$$hf = 1,25 \cdot m$$

$$hf = 1,25 \cdot 3 = 3,75$$

$$ha = (1 + x) m$$

$$ha = (1 + 0,5) 3 = 4,5$$

$$hf = (1,25 - x) m$$

$$df = dp - 2 \cdot hf$$

$$hf = 187,5 \text{ mm}$$

➤ Calcul de la correction d'entraxe:

$$a_v = (1 + A) a^o$$

$$\alpha = 20^\circ$$

$$A = \frac{B}{\sqrt{1 + 13B}}$$

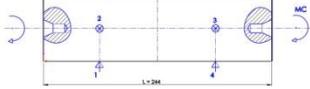
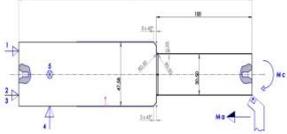
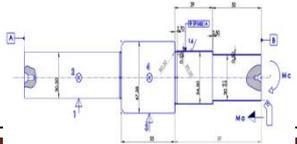
$$B = 2 \left( \frac{X_1 + X_2}{Z_1 + Z_2} \right) \Rightarrow \left( \frac{0,43 + 0,5}{13 + 64} \right) \Rightarrow B = \left( \frac{0,93}{77} \right) \Rightarrow \boxed{B = 0,024}$$

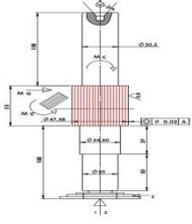
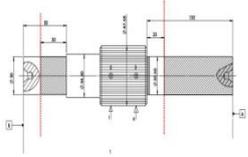
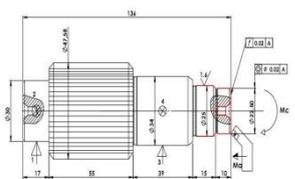
$$A = \frac{0,024}{\sqrt{1 + 13 \cdot 0,024}} \Rightarrow A = \frac{0,024}{\sqrt{1,312}} \Rightarrow A = \left( \frac{0,024}{1,07} \right) \Rightarrow \boxed{A = 0,024}$$

$$a_r = (1 + 0,0224) 115,5 \Rightarrow \boxed{a_r = 118,08}$$

III.8.1.1 Gamme d'usinage proposée de l'arbre pignon

La gamme d'usinage est une feuille donnant l'ordre chronologique des différentes opérations d'usinages d'une pièce en fonction des moyens d'usinages

Routage d'usinage de l'arbre pignon au niveau des AMM					
N° PHASE	Operations	Instrument de contrôle	outil	MO	croquis
10	Pièce brut couper Rond : Ø55 mm ; L=270mm	Règle / Pied à coulisse	/	Scie mécanique	
20	<p><b>Dressage Centrage</b> La mise en position est défini par : Centrage long (1.2.3.4) Appui ponctuel (5)</p> <p>Dresser de face(01) Ebauche <math>C_m = 260</math> Dresser faces(2) Finition <math>c_m = 244</math>mm Rugosité : <math>\sqrt{1.6}</math></p>	Pied à coulisse	Outil à dresser	Fraiseuse Centreuse FZWD	
	2 -Réaliser les(02) trous de centre Dresseuse centreuse : Ø 6.3 mm ; L=14mm	Jauge de Profonde	Foret à centrer Ø 6.3		
30	<p><b>Tournage</b> S/PHASE 31 Montage Mixte La mise en position est défini par : Appui plan(1.2.3.) Appui ponctuel (4.5)</p> <p>Charioter le diamètre en : ébauche cf. = 51 mm ; L=244mm 1/2 finition cf. = 49mm Finition cf. = 47.8mm</p> <p>Charioter le diamètre en : Ebauche cf. = 47mm ; L=100mm + 1/2 finition cf. = 39mm Finition cf. = 31mm</p> <p>Réalise 3-gorge de deg ; b= 2,70 + (02) rayons ; R=0,5 + chanfrein (ch.)= 3x45 /diamètre 47,58mm rugosité : <math>\sqrt{0.8}</math></p>	Pied à coulisse	Outil à charioter	Tour à parallèle	  
	<p>S/ PHASE 32 La mise en position est défini par : Centrage long (1.2.3.4) Appui ponctuel (5) Charioter le diamètre en :</p>		Outil de Gorge		

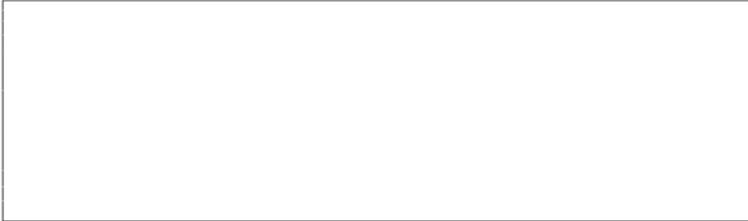
	<p>Ebauche cf. = 39mm Finition cf. = 34.5mm</p> <p>L = 89mm+Réaliser la gorge b=2,70 ; + (02) rayons 0,5 Charioter au <math>30^{-0.2}</math> ; L = 50mm</p>				
<b>Taillage</b>					
40	<p style="text-align: center;"><u>Taillage</u></p> <p>La mise en position est définit par : <u>Appui plan (1.2.3)</u> <u>Appui ponctuel (4.5)</u></p> <p>Exécuter le taillage suivant les caractéristiques suivant m=3mm ; Z=13 dent ; diamètre de tete (Da)=47,58mm ; diamètre primitif (Dp)=52.31mm ; diamètre de pied (Df)=46.25mm ; coefficient de correction x= + 0,43 ; largeur de la denti b = 55 ; hauteur de la denté h = 6,75 rugosité : <math>\sqrt{0.8}</math></p>		Fraise mère	Tailleuse PE500	
50	<p style="text-align: center;"><u>Débitage</u></p> <p>La Mise en position est définit par : <u>Centrage long (1.2.3.4)</u> <u>Appui ponctuel (5)</u></p> <p>Couper la longueur L= 80mm / La face A Couper l = 20mm / la face B ; l=30 diametre30</p>		EBS360	Scie alternative	
60	<p style="text-align: center;"><u>Tournage</u></p> <p>Mise long L=136mm {dressage 5mm / Ø 30 Percer un trou de centre Ø6.3× 14 Charioter au Ø25 ; l = 25 Gorge de deg / b = 2,40 (02) rayons ; R=0,5 Charioter au Ø23 , L=10 + gorge de deg ; b = 1,30 ; ch =</p>	Pied à coulisse	<p>Outil à charioter + Outil de Gorge + Outil à chanfreiner</p>	Tour à Fileter	

	<p>1,5x45° Réaliser (01) trou de centre Ø6,3 ;  L= 14</p>				
70	<p><u>Traitement thermique</u> - Réaliser la trempe superficielle à 850°C  -Revenu à 550°C  Dureté : 58-60 HRC  - Rectifier les diamètres :  Ø 30m 6 ; L=17 Ø 34 h 6 : L= 15 Ø 22,5m 6 ; L=10</p>			<p>Machine de trempe + Four</p>	
80	<p><u>Rectification</u> Rectifier les diamètres : Ø 30m 6 <math>\left[ \begin{matrix} +0.021 \\ +0.008 \end{matrix} \right]</math> ; L=17  Ø 34h 6 <math>\left[ \begin{matrix} -0.013 \\ -0.013 \end{matrix} \right]</math> ; L= 15  Ø 22,5m 6 <math>\left[ \begin{matrix} +0.021 \\ +0.008 \end{matrix} \right]</math> ; L=10</p>	<p>Pied à coulisse</p>	<p>Meule cylindrique extérieur</p>	<p>Rectifieuse 3Y133</p>	
90	<p>Contrôle final.</p>	<p>Palmer</p>			

### 4.3 : Contrats de phases de l'arbre pignon

**Phase :** ensemble d'opérations est réalisées sur un même poste de travail

**Sous phase :** ensemble d'opérations réalisées sans démontage de la pièce

<b>Contrat de phase prévisionnel</b> <b>Phase N° :10</b>	<b>Ensemble : Réducteur</b>		<b>Date : 05/2023</b> <b>1/1</b>			
	<b>Elément : Arbre pignon</b>					
	<b>Matière : 42CD4 acier non allié</b>					
<b>Nom : Slama houda</b>	<b>Programme : production en petite série</b>					
<b>Désignation :</b>						
<b>Machine-outil :</b>						
						
OPERATIONS	OUTILS	Vc m/min	f mm/tr	N Tr/min	Ap Mm	Tm Min
Contrôle de la pièce brute  L = 270 , Ø55	Pied à coulisse	/	/	/	/	/

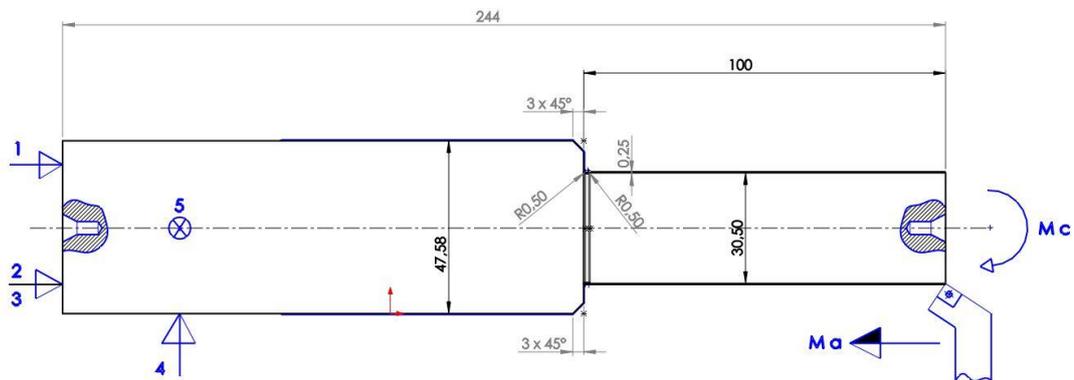
<b>Contrat de phase prévisionnel</b> <b>Phase N° :20</b>	<b>Ensemble : Réducteur</b>		<b>Date : 05/2023</b> <b>1/1</b>			
	<b>Elément : Arbre pignon</b>					
	<b>Matière : 42CD4 acier non allié</b>					
<b>Nom : Slama houda</b>	<b>Programme : production en petite série</b>					
<b>Désignation ::Dressage, centrage</b>						
<b>Machine-outil : fraiseuse centreuse FZWD</b>			<b>Montage :</b>			
OPERATIONS	OUTILS	Vc m/min	f mm/tr	N Tr/min	Ap Mm	Tm min
<u>Dressage Centrage</u> <u>Appui long (1.2.3.4 )</u> -Dresser les(02) faces cm=244mm	Outil à dresser	80	0.2	4044.08		0.057
-Réaliser les(02) trous de centre Dresseuse centreuse : Ø 6.3 mm ; L=14mm	Foret à centrer Ø 6.3	20	0.06	1011.02		0.23

<b>Contrat de phase prévisionnel</b> <b>Phase N° :30</b>	<b>Ensemble : Réducteur</b>	<b>Date : 05/2023</b> <b>1/1</b>
	<b>Elément : Arbre pignon</b>	
	<b>Matière : 42CD4 acier non allié</b>	
<b>Nom : Slama houda</b>	<b>Programme : production en petite série</b>	

**Désignation :** Tournage (chariotage)

**Machine-outil :** Tour parallèle

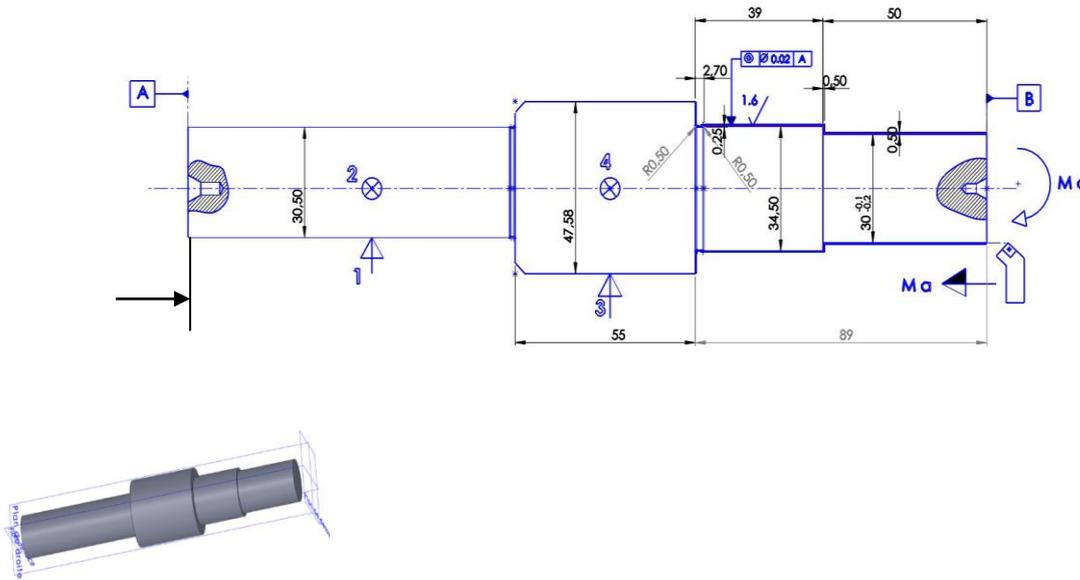
**Montage :** en l'air (Mandrin 3 mors)



OPERATIONS	OUTILS	Vc m/min	f mm/tr	N Tr/min	Ap mm	Tm Min
<u>Tournage</u> S/Phase 31 Montage Mixte Charioter au $\varnothing 47,58$ mm ; L=244mm Charioter au $\varnothing 30,5$ ; L=100mm + Réalise la gorge de deg ; b= 2,70 + (02) rayons ; R=0,5 + chanfrein (ch.)= 3x45 /diamètre 47,58mm	Outil à charioter	130	0.3	870.14	3	0.93
Charioter au $\varnothing 34,5$ ; L = 89mm+Réaliser la gorge b=2,70 ; + (02) rayons 0,5 Charioter au $30^{0.2}$ :L = 50mm	Outil de Gorge	150	0.05	1566.25	0.5	1.15

--	--	--	--	--	--	--

<b>Contrat de phase prévisionnel</b> <b>Phase N° :30</b>	<b>Ensemble : Réducteur</b>	<b>Date : 05/2023</b> <b>1/1</b>
	<b>Elément : Arbre pignon</b>	
	<b>Matière : 42CD4 acier non allié</b>	
<b>Nom : Slama houda</b>	<b>Programme : production en petite série</b>	
<b>Désignation : Tournage (chariotage)</b>		
<b>Machine-outil : Tour parallèle</b>		<b>Montage : en l'air (Mandrin 3 mors)</b>



OPERATIONS	OUTILS	Vc m/min	f mm/tr	N Tr/min	Ap mm	Tm Min
<p><b><u>Tournage</u></b>  <b><u>S/ phase :32</u></b></p> <p>Charioter au <math>\varnothing 34,5</math>;  L = 89mm+Réaliser la gorge b=2,70 ; + (02) rayons 0,5  Charioter au <math>30^{-0,2}</math>  :L = 50mm</p>	<p>Outil à charioter  +  Outil de Gorge  +  Outil à chanfreiner</p>	150	0.05	1566.25	0.5	1.15

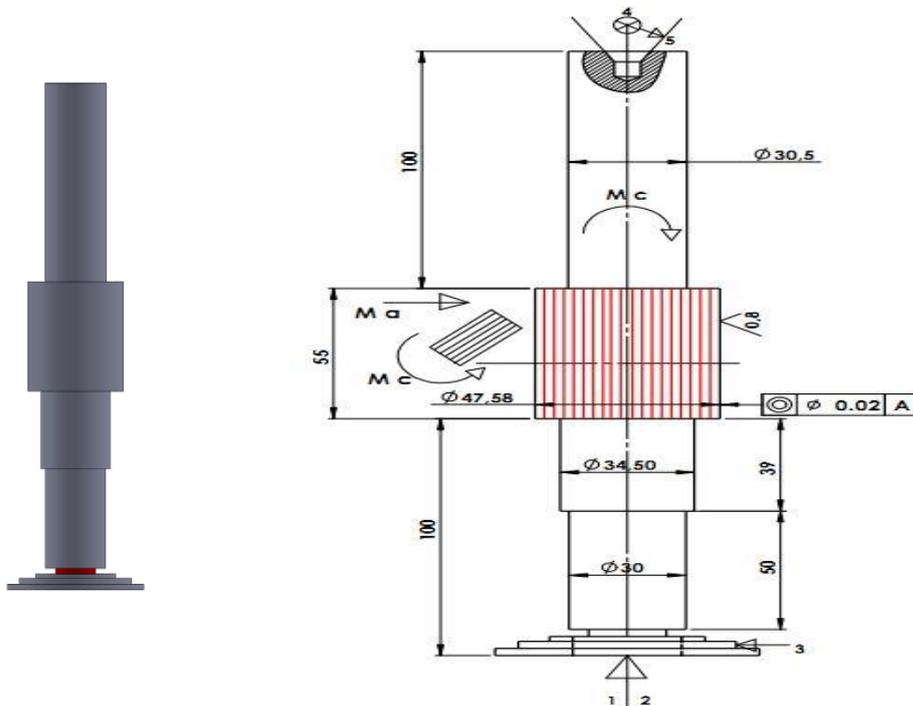
--	--	--	--	--	--	--

Contrat de phase prévisionnel Phase N° :40	Ensemble : Réducteur	Date : 05/2023 1/1
	Elément : Arbre pignon	
Nom : Slama houda	Matière : 42CD4 acier non allié	
Programme : production en petite série		

Désignation : : Taillage dentures extérieurs

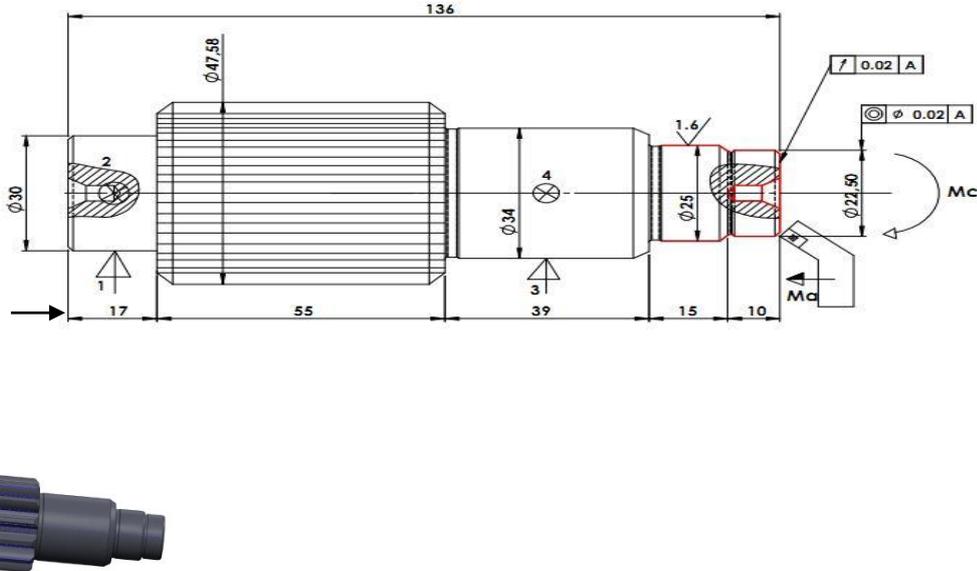
Machine-outil : Tailleuse PE500

Montage mixte



OPERATIONS	OUTILS	Vc m/min	f mm/tr	N Tr/min	Ap mm	Tm Min
<p><b>Taillage</b></p> <p>Exécuter le taillage suivant les caractéristiques suivant  <math>m=3\text{mm}</math> ; <math>Z=13</math> dent ;                      diamètre de <i>tete</i>  <math>(D_a)=47,58\text{mm}</math> ; diamètre primitif  <math>(D_p)=52.31\text{mm}</math> ;                      diamètre de pied  <math>(D_f)=46.25\text{mm}</math> ; coefficient de correction  <math>x= + 0,43</math> ; largeur de la denti  <math>b = 55</math> ; hauteur de la denti  <math>h = 6,7</math></p>	Fraise mère	25	0.17	167.33	0.75	0.15
		30		200.80	0.5	0.042

<b>Contrat de phase prévisionnel</b> <b>Phase N° :50</b>	<b>Ensemble : Réducteur</b>		<b>Date : 05/2023</b> <b>1/1</b>			
	<b>Elément : Arbre pignon</b>					
	<b>Matière : 42CD4 acier non allié</b>					
<b>Nom : Slama houda</b>	<b>Programme : production en petite série</b>					
<b>Désignation : : Débitage</b>						
<b>Machine-outil : sciealternative</b>				<b>Montage :</b>		
<p style="text-align: center;">1</p>						
OPERATIONS	OUTILS	Vc m/min	f mm/tr	N Tr/min	Ap mm	Tm Min
<u>Débitage</u>  Couper la longueur L= 80mm / La face A Couper l = 20mm / la face B ; l=30 diametre30	EBS360	/	/	/	/	/

<b>Contrat de phase prévisionnel</b> <b>Phase N° :60</b>	<b>Ensemble : Réducteur</b>		<b>Date : 05/2023</b> <b>1/1</b>			
	<b>Elément : Arbre pignon</b>					
	<b>Matière : 42CD4 acier non allié</b>					
<b>Nom : Slama houda</b>	<b>Programme : production en petite série</b>					
<b>Désignation : : tournage</b>						
<b>Machine-outil : tour parallèle</b>						
						
OPERATIONS	OUTILS	Vc m/min	f mm/tr	N Tr/min	Ap mm	Tm Min
<b>Tournage :</b>  Mise longueur, L=136 dressage 5mm , 30-0.2 Charioter au 25 ; L=25 Gorge ; b=2.40(02) rayons ; R= 0.5 Charioter au 23 ; L= 10 Gorge de deg / b = 1.30 ; ch =1.5x 45° Realiser '01) trou de centre 6.3 ; L=14	Outil à charioter + Outil de Gorge + Outil à chanfreiner	150	0.05	1873.36	93.66	0.26

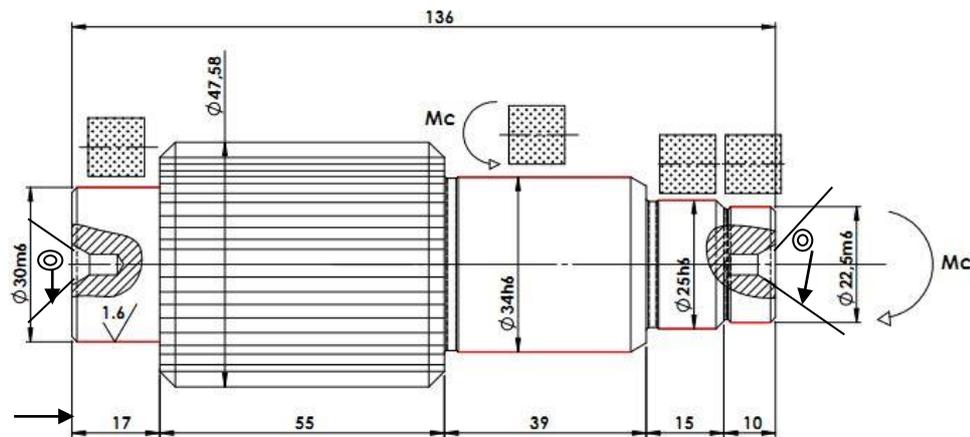
<b>Contrat de phase prévisionnel</b> <b>Phase N° :70</b>	<b>Ensemble : Réducteur</b>		<b>Date : 05/2023</b> <b>1/1</b>			
	<b>Elément : Arbre pignon</b>					
	<b>Matière : 42CD4 acier non allié</b>					
<b>Nom : Slama houda</b>	<b>Programme : production en petite série</b>					
<b>Désignation : : Traitements thermiques</b>						
<b>Machine-outil : trempe superficielle par induction</b>				<b>Montage : à l'air libre</b>		
OPERATIONS	OUTILS	Vc m/min	f mm/tr	N Tr/min	Ap mm	Tm min
<u>Traitement – thermique</u>  - Réaliser la trempe superficielle à 850°C -Revenu à 550°C Dureté : 58-60 HRC - Rectifier les diamètres : Ø 30m 6 ; L=17 Ø 34 h 6 : L= 15 Ø 22,5m 6 ; L=10	/	/	/	/	/	/

<b>Contrat de phase</b> <b>prévisionnel</b> <b>Phase N° :80</b>	<b>Ensemble : Réducteur</b>	<b>Date : 05/2023</b> <b>1/1</b>
	<b>Elément : Arbre pignon</b>	
	<b>Matière : 42CD4 acier non allié</b>	
<b>Nom : Slama houda</b>	<b>Programme : production en petite série</b>	

**Désignation : : rectification**

**Machine-outil : rectifieuse**

**Montage : entre point**



OPERATIONS	OUTILS	Vc m/min	f mm/tr	N Tr/min	Ap mm	Tm min
<u>Rectification</u>  Rectifier les diamètres : Ø 30m 6 ; L=17 Ø 34h 6 ; L= 15 Ø 22,5m 6 ; L=10	Meule cylindrique extérieur	25	0.1	265	0.5	1.13

<b>Contrat de phase prévisionnel Phase N° :90</b>	<b>Ensemble : Réducteur</b>						<b>Date : 05/2023 1/1</b>
	<b>Elément : Arbre pignon</b>						
	<b>Matière : 42CD4 acier non allié</b>						
<b>Nom : Slama houda</b>	<b>Programme : production en petite série</b>						
<b>Désignation :</b>							
<b>Machine-outil :</b>							
OPERATIONS	OUTILS	Vc m/min	f mm/tr	N Tr/min	Ap mm	Tm min	
Contrôle final.	Pied à coulisse -palmer	/	/	/	/	/	

**Comparaison de la gamme d'usinage proposée et celle du bureau de méthode :**

D'après ce qu'on a remarqué durant mon stage, la procédure de fabrication du bureau de méthode des AMM est classique. Elle se base sur l'expérience des employés aucun calcul n'a été réalisé.

Dans notre cas, nous avons proposé de :

- ✚ Proposer des machines qui peuvent nous faire gagner du temps par exemple dans le cas de la fraiseuse PS 500 pour la fabrication de la denture ;
- ✚ Le choix du matériau 42 CD4 dont le coefficient de correction est élevé, augmente la durée de vie de l'arbre pignon ;
- ✚ Proposition d'outils spéciaux ;
- ✚ Calcul du régime de coupe ;
- ✚ Proposition des croquis d'usinage de chaque phase ;
- ✚ Proposition d'une gamme d'usinage et de contrat de phase détaillées.

**Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons procédé à une amélioration de la gamme d'usinage de l'arbre pignon tout en effectuant un calcul précis du régime de coupe en prenant en considération le type du matériau 42CD4. Une comparaison a été réalisée pour mettre en évidence notre apport.

### **Conclusion générale :**

Ce travail recherche consistait à établir une gamme d'usinage pour l'arbre pignon d'un réducteur de pont roulant. L'objectif était de comparer la méthode proposée par le bureau de méthode des AMM et celui proposé. Ce mémoire de fin d'étude m'a permis d'approfondir mes connaissances théoriques.

Au terme de cette étude on peut conclure que :

- La gamme d'usinage proposé dans cette étude permettra à l'unité de production de réduire le cout de revient ainsi qu'une augmentation de la production.
- Le choix de la matière d'œuvre augmenter la durée de vie de l'arbre pignon
- Utilisation d'une nouvelle machine durant la phase 40 nous a aidé à diminuer le et augmente la précision, le calcul du régime de coupe, le dispositif de serrage

## **Bibliographie**

- [1] Weill, R. D., 1993, Conception des gammes d'usinage, Techniques Ingénieur.
- [2] Tapoglou, N., and Antoniadis, A., 2012, 'CAD-based calculations of cutting force components in gear lobbying,µ J. Manuf. Sci. Eng., **134**(3), pp. 031009 1, 031009□8.
- [3] Dimitriou, V., and Antoniadis, A., 2009, 'CAD-based simulation of the hobbing process for the manufacturing of spur and helical gears ,µ Int. J. Adv. Manuf. Technol., **41**(3-4),pp. 347□357.
- [4] : M.BOUTALBI OUSSAMA. Commande par mode glissant du second ordre d'un portique à trois dimensions. Mémoire MAGISTER. UNIVRSITE FERHAT ABBAS-SETIF-1- UFAS (ALGERIE).2014.
- [4] : mémoire de fin d'étude ; maintenance industrielle
- [2] : GUENADZIA KHEIR-EDDINE. Etude des mécanismes de levage et de direction d'un pont roulant. L'obtention du diplôme de master. UNIVERSITE BADJI MOUKHTAR- ANNABA. 2018
- [5] : Abdoulaye Fall, «Mise en évidence des phénomènes d'interférence dans les systèmes de transmission par engrenages, département de électromécanique, université de Cheikh Anta Diop de Dakar », 2006.
- [6] : Thierry GUERTIN, Mesure expérimentale de l'erreur de transmission cinématique d'engrenages spiro-coniques et hypoides, Université Laval, 1999, pp 1-2
- [6] Rech, J., 2002, 'Contribution à la compréhension des modes d'actions tribologiques et thermiques des revêtements en usinage. Application au cas du taillage de dentures à la fraise-mère à grande vitesse.,µ Arts et Métiers ParisTech.
- .
- [7] : G.R. Nicole, Conception Et Calcul Des Eléments De Machines, Ecole D'ingénieurs De Fribourg (E.I.F.) Section De Mécanique, Volume 3 Version 1, Juin 2006.
- [8] : M. Mansouri, « Construction Mécanique », Edition, 04/2004, Annaba, Algérie.
- [9] : G. Henriot, Traité Pratique et Théorique des engrenages, tome 1.
- [10] : V. Dobrovolski et co-auteur, Eléments de machines : Automatisation du calcul des dents d'engrenage dans une transmission composée, Edition Mir, 1974.
- [11] : Cour de Transmission sans transformation de mouvement avec modification de vitesse angulaire.

## *Bibliographie*

---

- [12] : S. Sellami, Analyse des défauts de denture et leurs influences sur les transmissions mécaniques par engrenages, mémoire de magister, Université de Constantine, 2010.
- [13] : <http://www.mecagraphic.com/fr/vidéo><https://www.youtube.com/watch?v=Rm4EU1HknTY>[22]
- Gearing basics, Power transmission Design, July 1994 p.p 49-53
- [22] : Construction mécanique, tome 3, G. Lenormand, R. Mignée, J. Tinel, Foucher.
- [14] : ROBERT. LE BORZEC, « Réducteur de vitesse à engrenage » Professeur de construction mécanique à l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers de Lille.
- [16] AMINE BELOUFA ,Cours Eléments de Machines destiné aux étudiants de Master 2, Institut des sciences et de la technologie Ain Témouchent , 2016.
- [17] m.indiamart.com. Le 11/03/2022.
- [18] Chevalier R., «Etat de l'art de la surveillance et du diagnostic des machines tournantes à EDF», RFM, 2001.
- [19] Morel J., «surveillance vibratoire et maintenance prédictive», Techniques de l'ingénieur R 6 100, 2007.
- [20] Harris T.A., "Rolling Bearing Analysis", 3ème edition, Lavoisier, 1991.
- [21] Z. Li, X.Yan, C. Yuan, Z. Peng, L. Li, "Virtual prototype and experimental research on gear multi-fault diagnosis using wavelet-autoregressive model and principal component analysis method", Mechanical Systems and Signal Processing, 25, pp. 2589–2607, 2011.
- [22] : Construction mécanique, tome 3, G. Lenormand, R. Mignée, J. Tinel, Foucher.
- [24] : ROBERT. LE BORZEC, « Réducteur de vitesse à engrenage ».  
Professeur de construction mécanique à l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers de Lille.
- [26] Etude géométrique des engrenages cylindriques de transmission de puissance, J. Dufailly, Ellipses