

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : TECHNOLOGIE

Département : GÉNIE MÉCANIQUE

Domaine : SCIENCES ET TÉCHNIQUE

Filière : GENIE MECANIQUE

Spécialité : FABRICATION MECANIQUE ET PRODUCTIQUE

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

ÉTUDE ET ANALYSE MECANIQUE DU PROCÉDE D'OBTENTION  
DES TUBES SANS SOUDURE AVEC LA PRESENTATION DE LA  
GAMME D'USINAGE D'UN MOYEU

Présenté par : *BEN MAICHE Khalil*  
*FELIGHA Abdessalem*

Encadrant : *CHELLIA Azzeddine* Université UBMA

Jury de Soutenance :

LAGRED A.	Pr	Univ-Badji Mokhtar Annaba	Président
CHELLIA A.	MCA	Univ-Badji Mokhtar Annaba	Encadrant
BOURENANE R.	Pr	Univ-Badji Mokhtar Annaba	Examineur

Année Universitaire : 2021/2022

# REMERCIEMENTS

En tout premier lieu, nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné la force de survivre, ainsi que le courage de surmonter toutes les difficultés.

Un grand merci à notre collègue Ejddi Maroua pour son soutien. Nous tenons à exprimer nos remerciements à notre encadrant le professeur CHELLIA. A, qui nous a suivi avec intérêt depuis le début de la recherche jusqu'au dernier jet d'encre ininterrompu.

Nous remercions également les membres du jury d'avoir accepté de juger cette modeste lettre.

Un grand merci à tous les professeurs du département de Génie mécanique, en particulier ceux que nous avons eu le plaisir de nous aider lors du Master et qui n'ont ménagé aucun effort pour le bon déroulement de notre formation.

Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail trouvent ici toute notre gratitude.

# DEDICACE 01

Je dédie ce modeste travail à la fin de l'étude :

A mes très chers parents

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous m'avez donné depuis mon enfance et j'espère que votre grâce m'accompagnera toujours.

Mes sœurs

Ma famille

Mes amis : Maroua, Mohamed, Walid.

A tous mes camarades de classe, à tous ceux qui m'ont donné la force de continuer et m'ont encouragé de près ou de loin

# DEDICACE 02

Je dédie ce modeste travail à la fin de l'étude :

A mes très chers parents

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous m'avez donné depuis mon enfance et j'espère que votre grâce m'accompagnera toujours.

Mes sœurs

Ma famille

A tous mes camarades de classe, à tous ceux qui m'ont donné la force de continuer et m'ont encouragé de près ou de loin.

# Sommaire

Remerciements

Dédicace

Introduction générale : ..... 1

## CHAPITRE 1 Présentation de l'unité TSS

I. 1.Introduction : ..... 3

I.2. Présentation du complexe : ..... 3

I.2.1.Situation géographique du complexe : ..... 3

I.2.2. Historique de complexe : ..... 4

I.2.3.Structure générale du complexe : ..... 4

I.3. Présentation de l'unité TSS (Tuberie sans soudure) : ..... 5

I.3.1. Organisation structurelle de TSS : ..... 6

I.3.2. Les principaux produits de TSS : ..... 7

I.3.3. Commercialisation du produit fini : ..... 8

I.3.4. Cycle de fabrication du tube : ..... 8

I.3.5. Organigramme du processus de fabrication : ..... 11

I.3.6. Procédures de contrôle des tubes : ..... 12

## CHAPITRE 2 Analyse du processus de production des tubes

II.1 Introduction : ..... 16

II.2 Analyse cinématique du processus de fabrication : ..... 16

II.2.1. Zone préparation des lingots : ..... 17

II.2.2 Zone préparation des ébauches : ..... 18

II.2.3 Zone de laminage au laminoir pèlerin : ..... 23

II.2.4 Zone calibrage ( $\varnothing > 5''$ ) : ..... 24

II.2.5 Zone Réduction : ..... 26

II.2.5.1. Description : ..... 26

II.3. Analyse dynamique du processus de fabrication : ..... 27

II.3.1. Étude des efforts au laminoir oblique : .....	28
II.3.2 Étude des efforts au laminoir à pas de pèlerin : .....	30
II.3.3 Étude des efforts au laminoir Réducteur-Étireur : .....	30

## **CHAPITRE 3 Généralités sur les engrenages**

III-1-Introduction : .....	32
III-2- Définition d'un engrenage : .....	32
III-3- Fonction : .....	32
III-4- Les différents types d'engrenages : .....	32
III-5- Géométrie et technologie : .....	33
III-6- Caractérisation des engrenages : .....	34
III -6-1- Les engrenages cylindriques à denture droite : .....	34
III-7- Définition de la denture : .....	35
III-8- Module : .....	35
III-9- Le nombre de dent : .....	35
III-10- Cercle de tête : .....	36
III-11- Cercle de pied : .....	36
III -12- Le cercle de base : .....	37
III-13- L'entraxe: .....	37
III-14- Matériaux pour engrenage: .....	37
III-15- Défauts de fonctionnement : .....	38
III-15-1- Défauts de lubrification: .....	38
III-15-2- L'usure: .....	38
III-16- Taillage les engrenages : .....	39
III-16-1- Techniques d'ébauche des dentures : .....	39
III -16-1-1- Taillage par fraise-mère : .....	39
III-16-1-2- Taillage par outil pignon : .....	40

## **CHAPITRE 4 Elaboration de la gamme de fabrication**

<b>IV-1- Introduction :</b> .....	42
<b>IV-2- Mode d'obtention d'ébauche :</b> .....	42
<b>IV-3- Données de départ:</b> .....	42
<b>IV-3-1- Définition des accouplements :</b> .....	42
<b>IV-3-1-1- Avantages :</b> .....	43
<b>IV-3-2-Dessin de définition des pièces :</b> .....	45
<b>IV-3-3- Matière à usiner du moyeu : 42 CD 4.....</b>	46
<b>IV--3-3-1- Caractéristiques :</b> .....	46
<b>IV-3-3-2-Composition :</b> .....	46
<b>IV-3-3-3- Propriétés :</b> .....	46
<b>IV-3-3-4- Propriétés physico-chimiques :</b> .....	46
<b>IV-4- Routage d'usinage au niveau de l'entreprise :</b> .....	47
<b>IV-5- Détermination du type de production .....</b>	49
<b>IV-6-Type de production :</b> .....	50
<b>IV-7-Traitement thermique :</b> .....	51
<b>IV-7-1-Recuit complet :</b> .....	51
<b>IV-7-2-Traitement thermique superficiel :</b> .....	51
<b>IV-7-3-Définition de la trempe superficielle :</b> .....	52
<b>IV-7-3-1-Les avantages de la trempe superficielle :</b> .....	52
<b>IV-8-Calcul du régime de coupe :</b> .....	52
<b>Conclusion général :</b> .....	67

# LISTES DES FIGURES

## CHAPITRE 1

<b>Figure I.1</b> : Situation géographique du complexe. ....	3
<b>Figure I.2</b> : Vue générale de TSS.....	4
<b>Figure I.3</b> : Structure générale du complexe .....	5
<b>Figure I.4</b> : Présentation de TSS .....	6
<b>Figure I.5</b> : Organigramme de TSS.....	7
<b>Figure I.6</b> : Processus de fabrication des tubes .....	11
<b>Figure I.7</b> : Schémas du processus de parachèvement d'un tube .....	12
<b>Fig. : I.8</b> Coupe méridienne du mandrin <b>Fig. I.9</b> : Coupe transversale du mandrin .....	14

## CHAPITRE 2

<b>Figure II.1</b> : pars des lingots.....	18
<b>Figure II.2</b> : Four a sole (lingot au 1300°C).....	18
<b>Figure II.3</b> : presse à percer de (800-1200) tonnes .....	19
<b>Figure II.4</b> : Four a plateau.....	20
<b>Figure II.5</b> : Inclinaison et pas d'avance des cylindres en fonction du diamètre de l'ébauche .....	21
<b>Figure II.6</b> : Laminoir oblique.....	21
<b>Figure II.7</b> : Phases de transformation de l'ébauche, au cours du perçage au laminoir oblique.....	22
<b>Figure II.8</b> : Emprise de l'ébauche entre le mandrin de perçage et les cylindres obliques d'une part et les guides inférieur et supérieur d'autre part.....	22
<b>Figure II.9</b> : Emprise de l'ébauche au laminoir à pas de pèlerin. ....	23
<b>Figure II.20</b> : Représentation de la cannelure du cylindre du laminoir à pas de pèlerin. ....	23
<b>Figure II.21</b> : Principe du laminage au laminoir pèlerin .....	24
<b>Figure II.22</b> : Calibreur .....	25
<b>Figure II.23</b> : Décomposition des efforts au laminoir oblique .....	28

<b>Figure II.24</b> : Répartition des efforts d'écrasement de l'ébauche au laminoir oblique.....	29
<b>Figure II.25</b> : Répartition des efforts au cours d'un cycle du laminage .....	30
<b>Figure II.26</b> : Efforts au laminoir réducteur étireur.....	31

## CHAPITRE 3

<b>Figure III-1</b> : différents types d'engrenage.....	33
<b>Figure III-2</b> : présentation du contact externe et contact interne .....	33
<b>Figure III.3</b> : Caractéristiques d'engrenage cylindrique à denture droite extérieur.....	34
<b>Figure III.4</b> : caractéristique des dents.....	35
<b>Figure III.5</b> : cercle primitif.....	36
<b>Figure III.6</b> : Cercle de tête.....	36
<b>Figure III.7</b> : cercle de pied. ....	36
<b>Figure III.8</b> : l'entraxe .....	37
<b>Figure III.9</b> : Usure des dentures après fonctionnement.....	39
<b>Figure III-10-</b> : taillage à la fraise mère.....	40
<b>Figure III.11</b> : taillage par outil pignon .....	41

## CHAPITRE 4

<b>Figure IV.1</b> : Schéma cinématique des types d'accouplement.....	42
<b>Figure IV.2</b> : Accouplements à denture Zapex Zw .....	43
<b>Figure IV3</b> : Cycle de recuit.....	51

## **LISTE DES TABLEAU**

### **CHAPITRE 2**

**Tableau II.1** : Variation des dimensions de l'ébauche au cours du laminage..... 26

**Tableau II.2** : Les différentes étapes de transformation du tube Ø 70 au cours du laminage ..... 27

### **CHAPITRE 3**

**Tableau III.1** : Caractéristiques d'engrenage cylindrique à denture droite extérieur ..... 34

## **Introduction générale :**

Devant les problèmes économiques actuels et à venir, la concurrence de plus en plus féroce des pays à bas coût de main d'œuvre, la hausse du prix des matières premières, l'amélioration et l'optimisation des moyens de production existants est capitale. Dans le but d'améliorer la productivité, de diminuer les coûts d'entretien ou d'utilisation des machines, de nombreuses alternatives ont été développées dans les procédés de fabrication mécanique. Ces procédés de fabrication désignent les moyens mécaniques imaginés et mis en œuvre par l'homme pour transformer, par le travail, la matière en produits utiles.

Aujourd'hui, l'éventail des procédés de fabrication et des matériaux, qui continue d'ailleurs à s'élargir, est tellement vaste que l'exploitation rationnelle des uns et des autres, de même que celle de la force ouvrière, au sens noble du terme, nécessite une planification rigoureuse si l'on veut en optimiser le rendement. C'est au bureau des méthodes qu'incombe généralement cette responsabilité.

Les machines, avec lesquelles on fabrique les produits, coûtent de plus en plus cher, ainsi que la main-d'œuvre qui les utilise. Les machines se compliquent grandement, elles possèdent plus d'axes, elles ont des commandes numériques et sont souvent équipées d'appareillage automatique coûteux, tels les changeurs d'outils, les évacuateurs de copeaux, etc. Il est donc important d'immobiliser ces systèmes de production et cette main-d'œuvre le moins de temps possible. Pour ce faire, il faut faire subir à une pièce le nombre minimal d'opérations de montage/démontage sur des machines différentes. Le bureau des méthodes va jouer un rôle fondamental à cet égard.

Dans ce cas, le but est de prévoir l'usinabilité et le comportement de la matière à partir de ses caractéristiques premières. D'autres développements sont en cours pour qu'un jour il soit possible de maîtriser intégralement le processus de fabrication de la conception à la pièce finie. Avec l'évolution et l'amélioration des moyens informatiques et techniques, la mise en place et l'utilisation de capteurs dans les ateliers de production a fortement augmentée. Que ce soit pour la caractérisation en amont d'une production (par exemple la caractérisation des propriétés d'un matériau), pendant la production avec l'instrumentation des machines ou encore après, pour le contrôle de la qualité de la pièce finie ou d'un défaut éventuel, les moyens sont de plus en plus variés, complets et performants. Mais ils nécessitent également de plus en plus des compétences pointues de la part des opérateurs.

L'étude développée dans ce mémoire est l'Etude et Analyse mécanique du procédé d'obtention des tubes sans soudure avec la présentation de la gamme d'usinage d'un moyeu d'un accouplement.

Il vient en complément d'un stage de fin d'études, réalisé au niveau de l'unité de production des tubes Aciers sans soudures du complexe d'El Hadjar.

Le premier chapitre est consacré à la présentation du TSS et une étude bibliographique sur le processus de fabrication des tubes.

Le deuxième chapitre s'applique à l'étude des engrenages suivi de celui de l'élaboration de la gamme d'usinage du moyeu de l'accouplement Zapex220. Enfin le dernier chapitre porte sur les conclusions et les perspectives de ces travaux.

**CHAPITRE 1**  
**PRESENTATION**  
**GENERALE DE**  
**L'ENTREPRISE**

## I. 1. Introduction :

Le pétrole et le gaz sont la base l'économie de plupart des pays pétroliers comme l'Algérie, Donc le transport hydrocarburé par tubes linéaires est la Méthode la plus sûre qui permet le transport de grandes quantités de pétrole et de gaz ... sur de longues distances. Ce qui les rend d'une très importance dans ce processus, Le fer est le Métal principal pour la production de Tubes spirales Sans Soudure pour le secteur des hydrocarbures, qui se présentent sous forme de ruban enroulé il est soudé et testé de plusieurs Manières et finalement encapsulé.

## I.2. Présentation du complexe :

### I.2.1. Situation géographique du complexe :

- *1<sup>ère</sup> Zone* : L'atelier de production « 300 Hectares ».
- *2<sup>ème</sup> Zone* : Les superficies de stockage « 300 Hectares ».
- *3<sup>ème</sup> Zone* : La surface de service « 200 Hectares ».

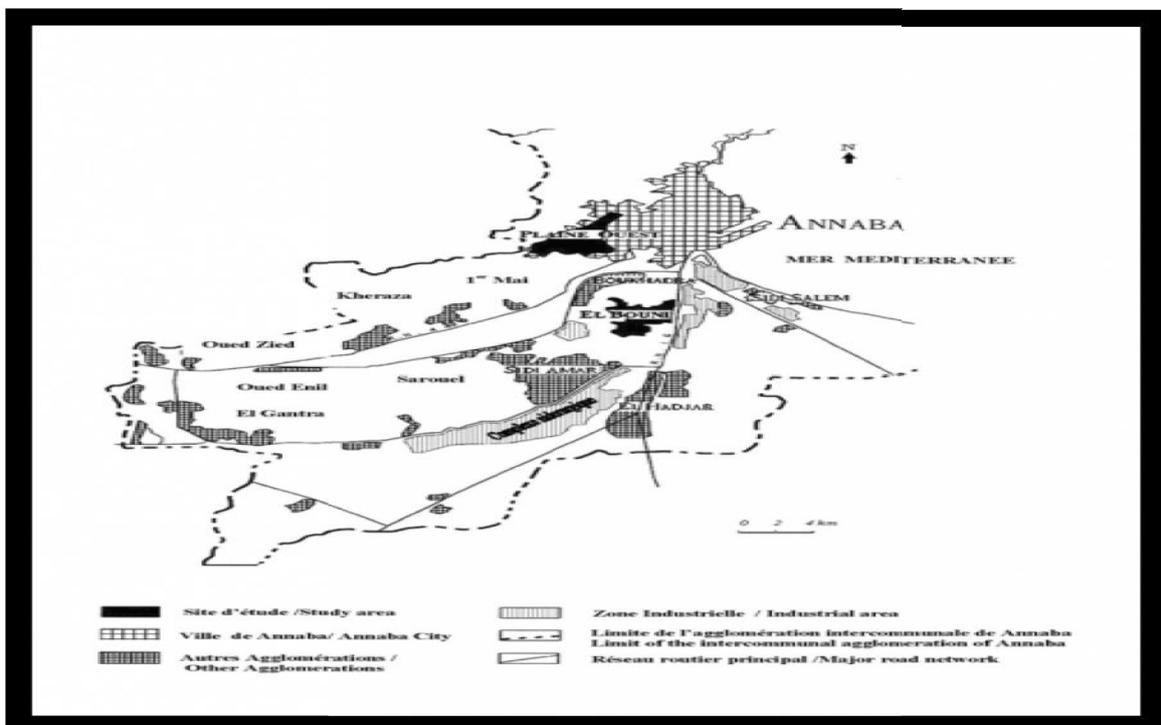


Figure I.1 : Situation géographique du complexe.

### I.2.2. Historique de complexe :

L'entreprise national de sidérurgie (**ENS**) a été créé par la société bônoise sidérurgie (**SBS**) en 1959 suite à la mise en application du plan de Constantine crée le 4 septembre 1964, la **SNS** a été chargée de construire un complexe sidérurgique a **EL HADJAR**. En exécution d'une politique définie et exprimée par le gouvernement.

Issue de la restructuration de la société national de sidérurgie **SNS**, l'entreprise (**SNS**) par abréviation **SIDER** a été créé par décret (**n°83-628**) du 05 novembre 1983 et après **MITTAL STEEL** Annaba le 25 juin 2005, et devenir **ARCELOR MITTAL** Annaba le 6 mars 2007.



**Figure I.2 :** Vue générale de TSS

### I.2.3. Structure générale du complexe :

La structure générale du complexe pour la fabrication de produit fini, est représentée par la figure I.3.

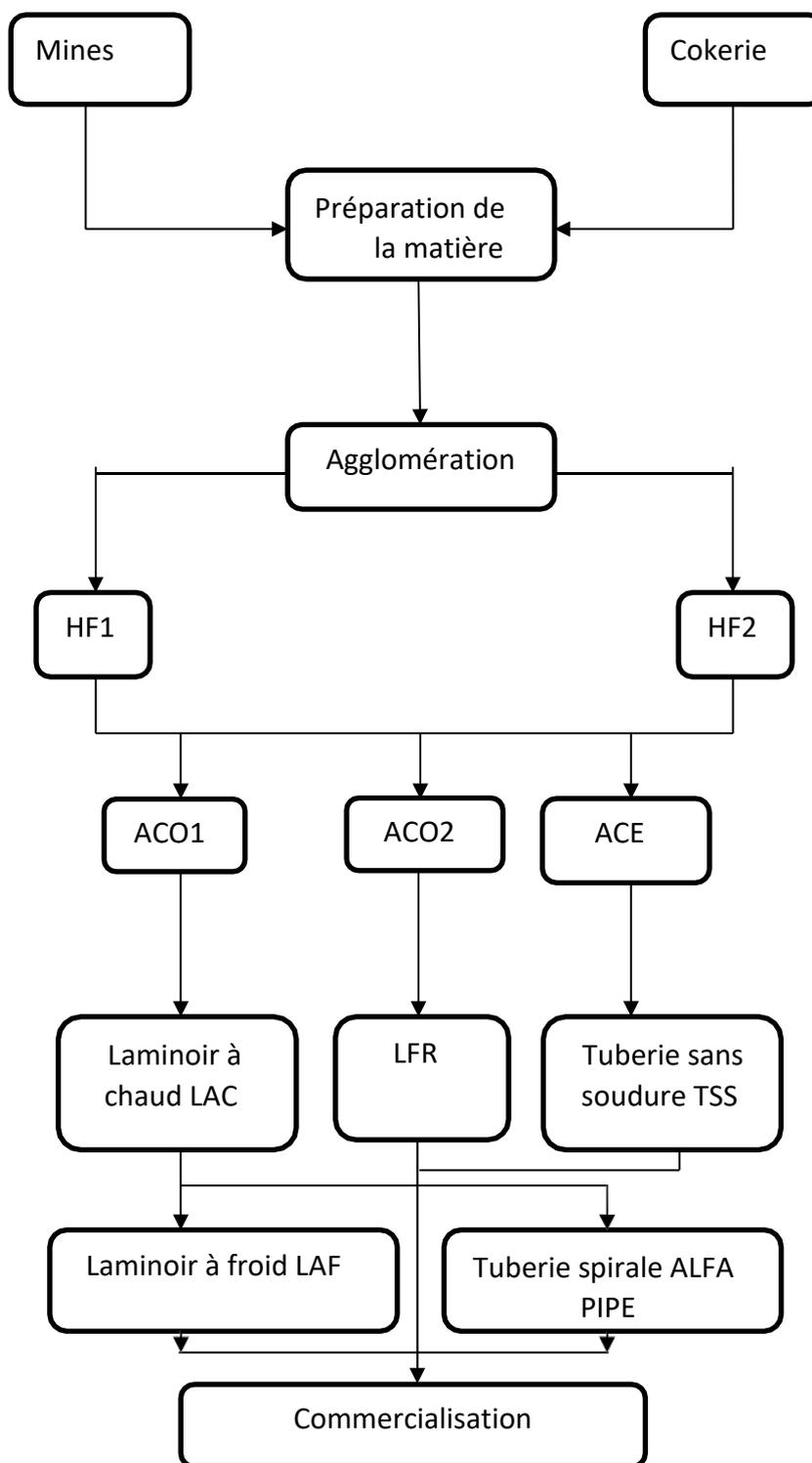


Figure I.3 : Structure générale du complexe

**I.3. Présentation de l'unité TSS (Tuberie sans soudure) :**

L'Entreprise implantée sur le site du complexe d'El Hadjar-Annaba, a pour mission principale la production des tubes sans soudure, (figure I.4).

Destinés principalement à l'industrie du pétrole et du gaz, son démarrage a eu lieu en 1974.

Le site de la Tuberie sans soudure a une superficie de 31.5 ha. Les surfaces couvertes sont de 8.13 ha dont :

- Ateliers de productions : 7.80 ha.
- Blocs socio administratifs : 0.33 ha.
- La surface des routes, parking et aires de stockage sont de : 23.37 ha.



*Figure I.4 : Présentation de TSS*

### **I.3.1. Organisation structurelle de TSS :**

Le complexe est organiquement composé de plusieurs filiales parmi lesquelles on trouve la filiale Tuberie sans soudure (TSS). Cette dernière a pour tâches de transformer les lingots fournis par une aciérie électrique locale en tubes de différents diamètres.

TSS est structurée en tête par une direction générale, elle est composée de quatre

directions, trois départements et plusieurs services. La structure de TSS peut se schématiser selon l'organigramme suivant (figure I.5) :

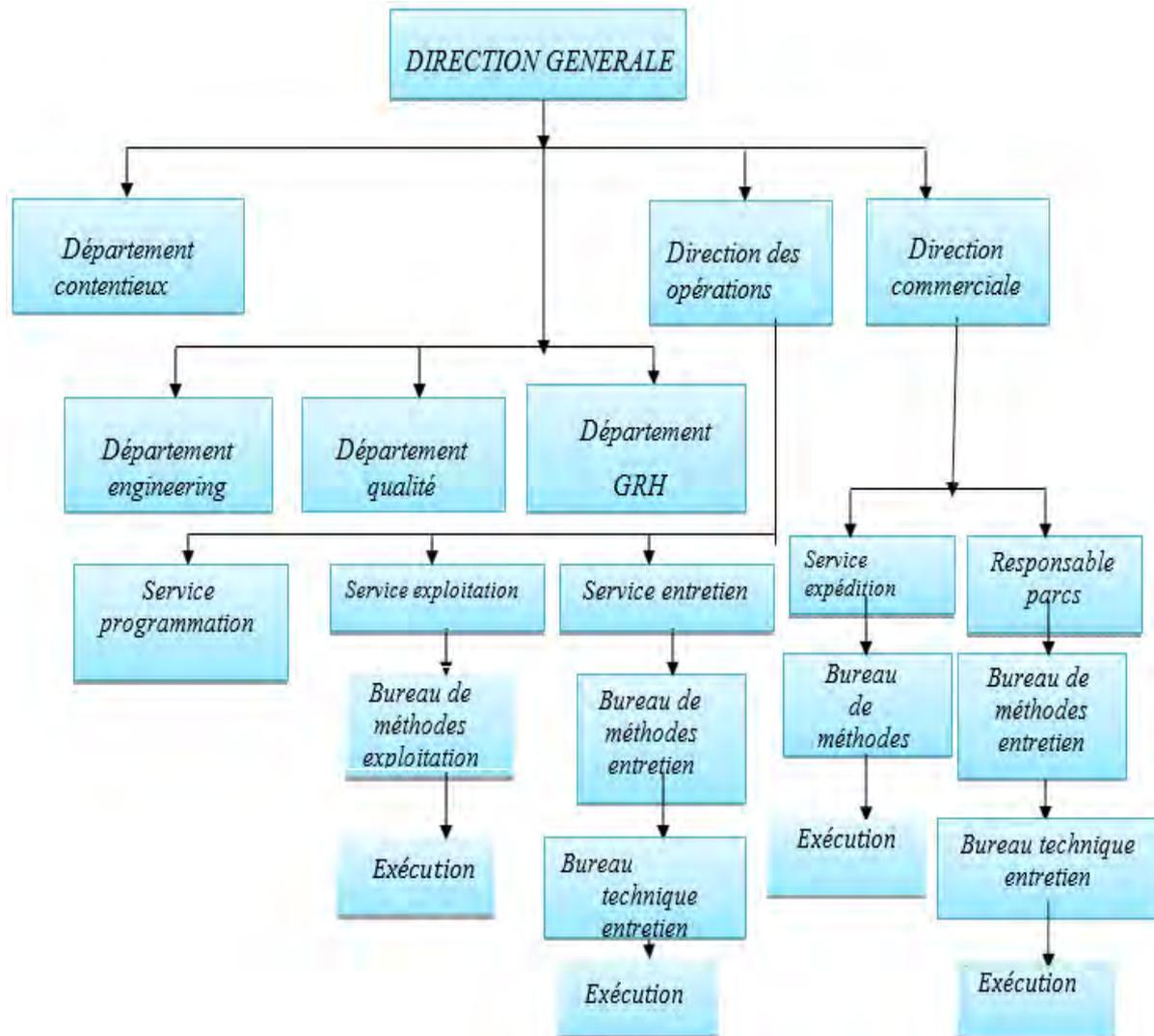


Figure I.5 : Organigramme de TSS

### I.3.2. Les principaux produits de TSS :

- Les tubes traités (casing) pour le coffrage des puits de pétrole ;
- Les tubes tubings pour la production ;
- Les Tubes line-pipe pour le transport des hydrocarbures liquide et gazeux ;
- Les Tubes pour usage hydraulique.[4]

### **I.3.3. Commercialisation du produit fini :**

Les principaux clients sont :

- SONATRACH
- NAFTAL
- ALTUMET
- KHANAGAZ.
- SONELGAZ

### **I.3.4. Cycle de fabrication du tube :**

Les tubes sont obtenus à partir des lingots fabrique dans l'aciéré électrique.

Les lingots sont enfournés dans un four à sol pour chauffée à une température de 1300°C pour la facilite de mise en forme.

La fabrication des tubes sans soudure peut être subdivisée en des opérations principales faite dans deux ateliers, ces opérations sont les suivant :

Toutes ces opérations sont montrées par les photos ci-dessous.

➤ Pour laminoir à tube (LAT) :

- Stockage des lingots
- Enfournée les lingots dans un Four à sole tournante
- Perçage des lingots en doigts de gants dans un Presse à percer
- Four à plateau Pour réchauffage des ébauches presse à une température de 1300°C
- Laminoir oblique Transformation des lingots ronds ou ébauches creuses
- Laminoir pèlerins : pour obtenue des tubes bruts
- Four à longeron : Réchauffage des tubes laminés
- Calibreur à 5 cages : Calibrage cylindrique de mise à dimension des tubes bruts produits par laminoir pèlerin.

### **FINISSAGE :**

- Dressage à froid des tubes venant du calibreur.
- Tronçonneuse BARDONS : Mise en longueur et coupe des viroles pour les essais mécaniques.
- Chanfreineuse pour la réalisation du chanfrein.
- Bascule : Tous les tubes sont pesés et métrés.
- Produit à la sortie du finissage :
  - Tubes Casing et line pipe nécessitant un traitement thermique (Trempe + Revenu) sont expédiés vers le parachèvement à tubes.
  - Le reste des Tubes line pipe et divers (Lisse) ayant Obtenus leurs Propriétés Mécaniques sont expédiés vers le client.

Tous les tubes subissent un contrôle final (réception) récapitulant toutes les exigences clients et spécifications API.

#### ➤ Atelier Parachèvement (PAT) :

- Four de trempe : Température de trempe 900 °C environ Trempe à l'eau
- Four de revenu : Revenu à l'air libre à température de 650°C
- Calibreur à 03 cages : Calibrage et obtention, du diamètre exigé
- Tronçonneuse et prélèvement de viroles
- Chanfreineuse : Réalisation chanfrein
- Marquage et pesage

Comme à déjà mentionné auparavant les photos et les figures I.6 et I.7 montrent le processus de fabrication des tubes et les lingots jusqu'à la dernière opération de contrôle mécanique.



*Stockage lingot*



*enfournement des lingots*



*pressage des lingots*



*Laminoir oblique*



*Laminoir pèlerins*

*Four à longeron*



*Calibrage de tube*



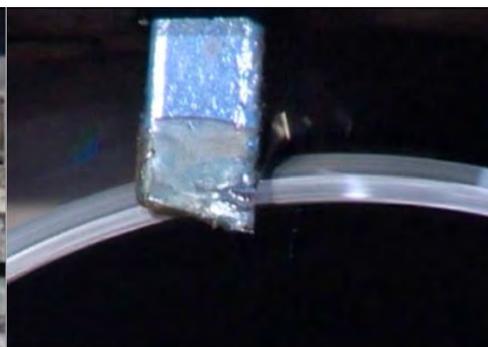
*Dressage des tubes*



*CND*

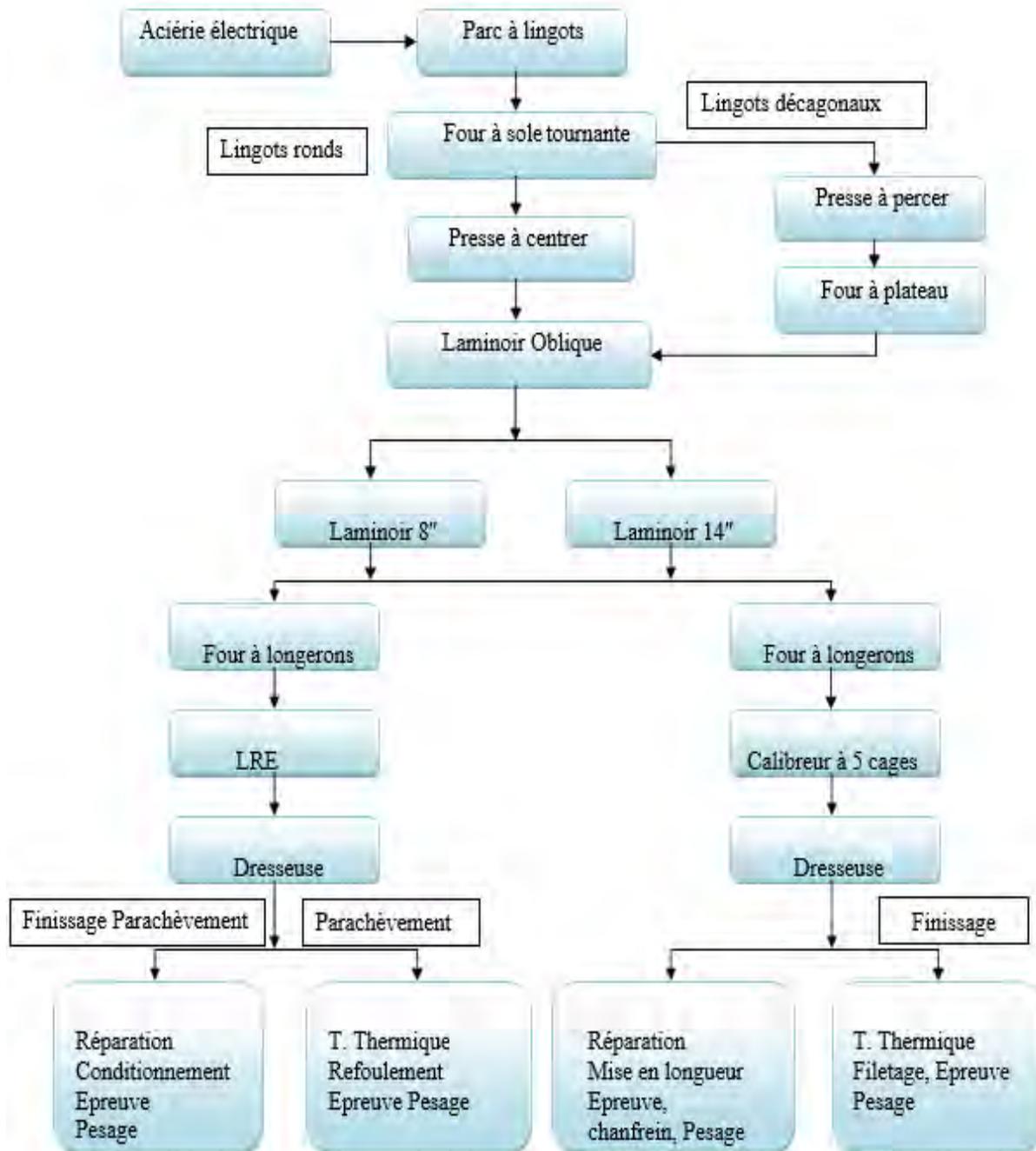


*Tronçonnage des tubes*



*Chanfreinage*

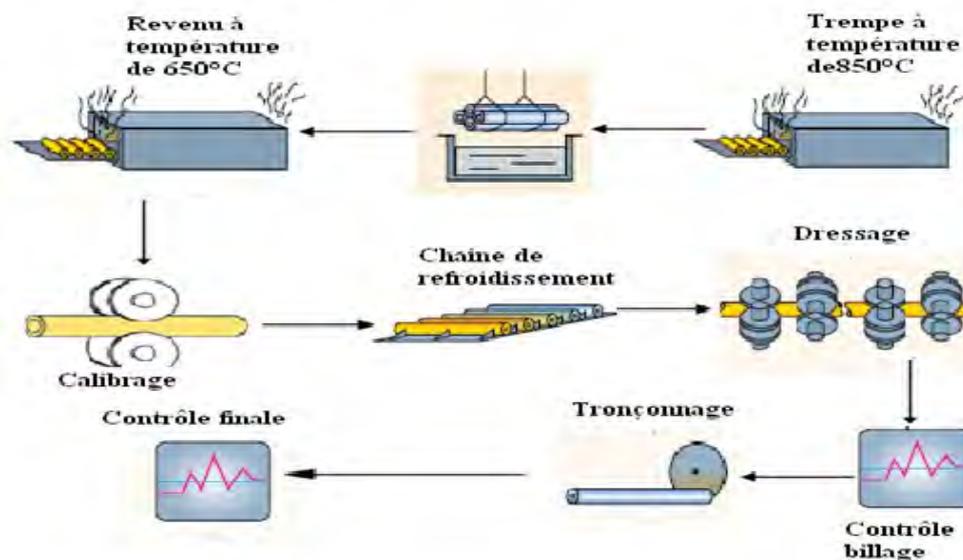
I.3.5. Organigramme du processus de fabrication :



LRE : Laminoir Réducteur Etireur (laminoir à l'arrêt).

Figure I.6 : Processus de fabrication des tubes

## Parachèvement à tube



*Figure I.7 : Schémas du processus de parachèvement d'un tube*

### I.3.6. Procédures de contrôle des tubes :

#### - Contrôles Non Destructifs :

Ces contrôles pour but de mettre en évidence des défauts soit directement (visuel) soit indirectement par leurs effets (Tub scope, Magna poudre).

#### - épreuve hydraulique :

Chaque tube subit l'épreuve hydraulique (banc d'épreuve hydraulique). Chaque tube doit être maintenu à la pression d'essai en fonction des dimensions et nuances et un temps exigé par le client.

#### - Contrôles destructifs(CD) :

Les contrôles destructifs des tubes sans soudure viennent consolider la qualité du produit fabriqué par TSS. Son laboratoire d'essais mécaniques dispose d'équipements fiables étalonnés périodiquement. Les différents essais destructifs réalisés sur une virole de tube sont des essais mécaniques (traction, dureté, résilience), des analyses chimiques.

### ➤ Prélèvement des échantillons :

Les échantillons pour les essais sont prélevés d'une virole du tube, désigné pour le test. La paire de plaques sont prélevés transversalement à l'axe du tube.

### ➤ Essais réalisés :

Tous les essais sont effectués en conformité avec les normes API5L et avec les spécifications du client.

### ➤ Analyses chimiques :

Le contrôle de la composition chimique se fait sur le métal de tube. Les résultats d'analyses sont comparés avec celle du fournisseur et les exigences du client, ce qui permet de définir les premiers critères d'acceptation du produit en composition chimique (spectromètre).

### ➤ Essai de traction :

L'essai de traction consiste à soumettre une éprouvette à un effort de traction jusqu'à rupture en vue de déterminer une ou plusieurs caractéristiques mécaniques (la résistance ultime à la traction, la limite apparente d'élasticité à 0.5% et l'allongement).

### ➤ Essai de dureté :

L'essai de dureté consiste à mesurer la résistance d'un matériau à la pénétration.

### ➤ Essai de résilience :

L'essai de résilience consiste à mesurer l'énergie de rupture des éprouvettes dans les différentes températures, cette dernière est exigée par le client et la norme API.

## **Etude et Analyse mécanique du procédé d'obtention des tubes sans soudure**

### **Description du procédé :**

Ce procédé fait partie d'une chaîne de transformation permettant l'obtention de tubes d'acier à partir de barres cylindriques pleines.

Il est ainsi possible, à partir d'une barre de diamètre 180 mm et de 4 mètres de longueur, d'obtenir un tube de diamètre 30 mm et de 110 mètres de longueur.

Ce tube fabriqué sans soudure possède des caractéristiques mécaniques élevées.

L'opération de perçage, transformant la barre pleine ou "rond" en une ébauche creuse, constitue la première étape de la chaîne de transformation.

Le perceur ou le mandrin qui est l'outil associé à cette première étape transforme le rond chauffé à 1250°C suivant un axe de progression horizontal (Fig.1 et 2).

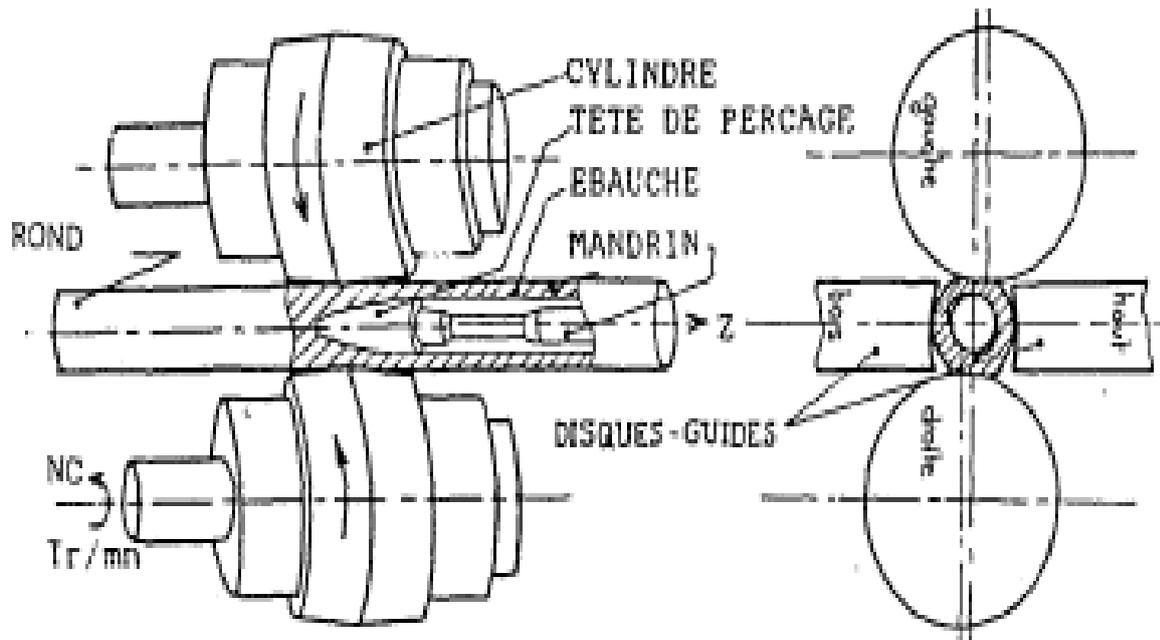


Fig. : I.8 Coupe méridienne du mandrin

Fig. I.9 : Coupe transversale du mandrin

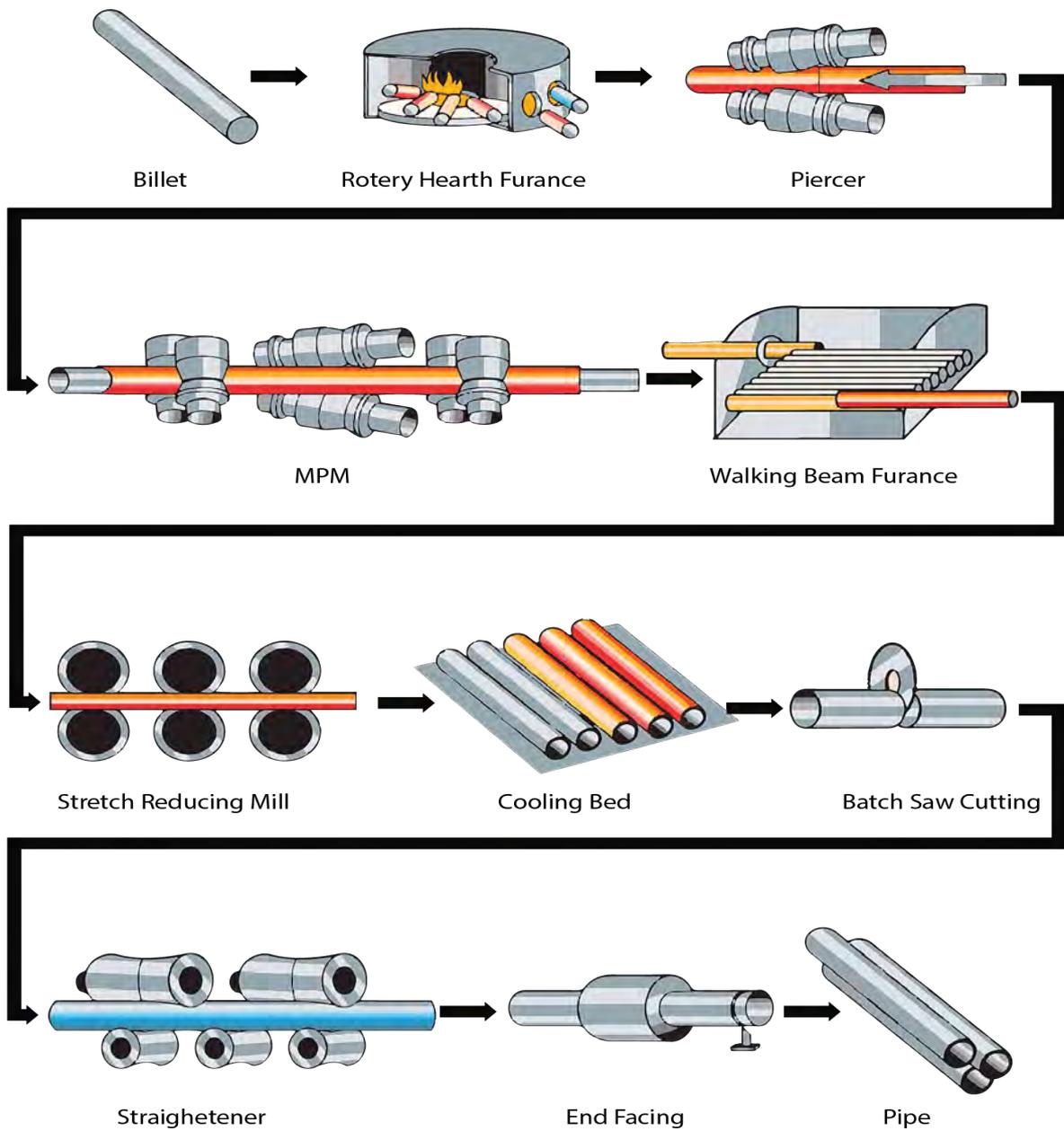


Fig. I.10 : Schémas du processus de parachèvement d'un tube

CHAPITRE 2

ANALYSE DU

PROCESSUS DE

PRODUCTION DES

TUBES

## II.1 Introduction :

L'analyse technologique du processus de fabrication des tubes se propose d'étudier les différentes phases d'élaboration du tube depuis le lingot jusqu'au tube fini par des analyses cinématique, dynamique et rhéologique. L'analyse cinématique est consacrée à une description simple des différents mouvements de l'ébauche et les conditions dans lesquelles elle évolue au cours des différentes étapes de transformation et qui constituent un paramètre important dans l'apparition des contraintes résiduelles. L'analyse dynamique fait ressortir les différents efforts agissant sur l'ébauche au cours du laminage et l'énergie dépensée à cet effet. Enfin, l'analyse rhéologique porte sur l'étude du phénomène de plasticité de la matière pendant le laminage et le comportement élastique qui en résulte. L'objectif de cette étude, rappelons-le, doit permettre d'identifier d'une manière qualitative les origines des contraintes résiduelles dans le processus de fabrication.

## II.2 Analyse cinématique du processus de fabrication :

La décision de créer en Algérie une tuberie sans soudure fut liée à un important programme de recherche et d'exploitation de gisements d'hydrocarbures liquides et gazeux outre l'utilité dans d'autres secteurs. Dans le secteur des hydrocarbures, la TSS est sollicitée en grande partie par Sonatrach et Kanagaz pour des projets de transport et de collecte.

Les différents tubes réalisés à la TSS sont désignés comme suit :

- Tubes **CASING**, servant au coffrage des puits.
- Tubes **TUBING**, servant de conduite à l'intérieur des puits, pour la remontée des hydrocarbures liquides et gazeux.
- Tubes **PIPE-LINE**, servant de conduite au sol, entre puits et centres de collecte.
- tubes **DRILL-PIPE**, ou tubes de forage.
- tubes **DIVERS et TARIF** de différentes dimensions, servant à l'usage courant, tel que les conduites hydrauliques, tubes à gaz et tubes commerciaux. [5]

Le processus de laminage à la T.S.S est très important et compliqué. La complexité des opérations s'explique par le fait qu'une ébauche effectue des mouvements de rotation et d'avancement très variés pendant la déformation, ce qui donne à l'ébauche un allongement, une

réduction de diamètre et une réduction de l'épaisseur dans chaque opération. Schématiser les différentes phases d'élaboration du tube nécessite d'abord une description des différents mouvements de l'ébauche dans la chaîne cinématique de l'installation. Le schéma technologique de la production des tubes sans soudure fait appel à la déformation plastique à chaud de la matière et comporte 4 opérations principales : [4]

- Perçage du lingot dans une presse ou dans un laminoir
- Mandrinage et allongement de l'ébauche
- Calibrage du tube dans le calibreur
- Réduction du diamètre et allongement du tube par étirage (Tubes  $\varnothing < 5''$ )

L'atelier de laminage est subdivisé en 5 zones principales :

- 1- Zone préparation des lingots (Aciérie électrique)
- 2- Zone préparation des ébauches (Laminoir perceur - élongateur, laminoir oblique)
- 3- Zone laminage (Laminoir à pas de pèlerin)
- 4- Zone calibrage (Tubes  $\varnothing > 5''$ )
- 5- Zone réduction (Tubes  $\varnothing < 5''$ )

### II.2.1. Zone préparation des lingots :

La production des lingots s'effectue à l'aciérie électrique, où trois gammes sont réalisées :

- Lingots polygonaux : de section dodécagonale (12 côtés)
- Lingots polygonaux : de section octogonale (8 côtés)
- Lingots ronds : de section circulaire (destinés au Laminoir Réducteur Étireur)
- Matière : -Acier ordinaire (0.05÷0.30 % C)
- Acier faiblement allié, résistant à chaud, antiacide

Néanmoins, la composition chimique exacte des aciers des tubes est laissée au soin de chaque client. Ce qui permet à chacun de mettre au point l'acier dont les caractéristiques mécaniques permettent de satisfaire son cahier de charge.

Tubes ayant servi aux essais :  $\varnothing 70$  A37

$\varnothing 73$  N80 (Nuance équivalente en norme Afnor à 20M5) [5]



*Figure II.1 : Parc des lingots*

### **II.2.2 Zone préparation des ébauches :**

Elle consiste en :

- Un chauffage des lingots dans un four à sole tournante.

L'opération de chauffage des lingots dans le four à sole s'effectue à 1300°C, pour un temps de chauffage de 7 à 8 mn/cm.



*Figure II.2 : Four à sole (lingot au 1300°C)*

### ➤ Un perçage :

- dans une presse à percer pour les lingots dodécagonaux.
- d'un trou de centre pour les lingots ronds

L'opération de perçage concerne les lingots dodécagonaux pour leur permettre en plus de l'arrondissement, le refoulement des défauts du fait de sollicitations très fortes du métal lors de l'opération de perçage vers le balai. Le diamètre de perçage est généralement la moitié du lingot. La température du lingot à ce niveau atteint les 1200°C. L'opération de perçage concernant les lingots ronds consiste en un perçage d'un trou de centre qui permettra lors du laminage le guidage de l'ébauche vers le mandrin.[5]

- Capacité : Ø214 - Ø500 mm
- Longueur : Ø800 – Ø1800 mm
- Coefficient d'allongement : 1.15
- Température mini : 1200 °C



*Figure II.3 : presse à percer de (800-1200) tonnes*

Il doit procéder au changement de montage :

- Changement des outillages.
- Démontage / Remontage : matrice
- Démontage / Remontage : corps centreur
- Démontage / Remontage : selles

- Appuis fixe et mobile
- Refroidissement / Lubrification matrice
  - Un réchauffage éventuel dans un four à plateau (Lingots dodécagonaux) : pour réchauffage des ébauches pressées à une température de 1300 °C.



*Figure II.4 : Four a plateau*

- Un laminage dans un laminoir oblique (Perçage et allongement pour lingots ronds).

Transformer les ébauches presse en ébauche à paroi épaisse par entraînement de produit entre deux cylindres latérales inclinés, et une tête qui fait l'office d'un cylindre intérieur montée sur une tige LO maintenue par deux serres barre dans l'axe de la machine. Et donnent à l'ébauche un mouvement de rotation en sens inverse qui progresse grâce à l'inclinaison des 2 cylindres. Dans sa progression en avant, l'ébauche est laminée transversalement et longitudinalement. Elle subit alors en même temps des efforts de traction et de compression alternés considérables lors de la rotation et de la déformation qui en résulte. La progression de l'ébauche vers la poire (tête du mandrin du laminoir oblique) va faire adapter ainsi le diamètre intérieur de l'ébauche au diamètre du mandrin du laminoir pèlerin. Les paramètres adaptés au laminoir oblique en fonction des ébauches sont :

- Réduction du  $\varnothing$  extérieur :-Lingot dodécagonal : 10%  
-Lingot rond : 2,3%

➤ Allongement maximal : - Lingot dodécagonal : 1.

- Lingot rond : 3.7m

• Ovalisation due à l'écrasement : 5%

• t° du lingot : 1300°C.

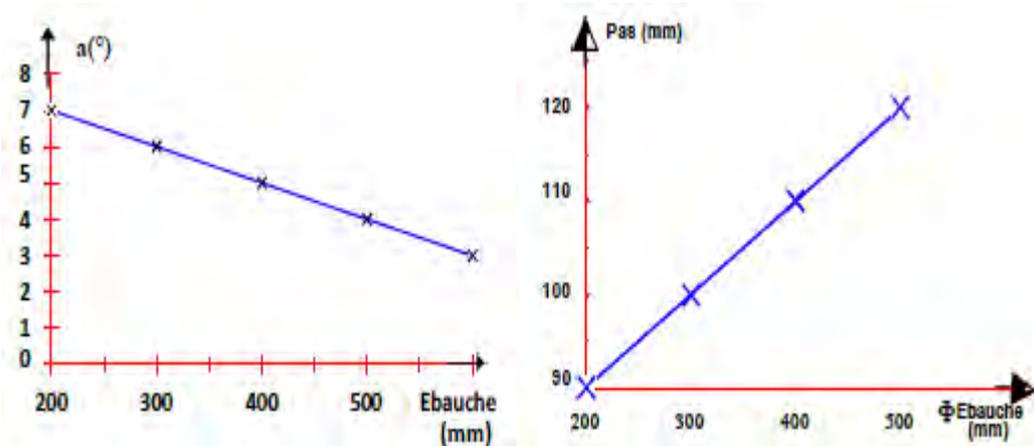


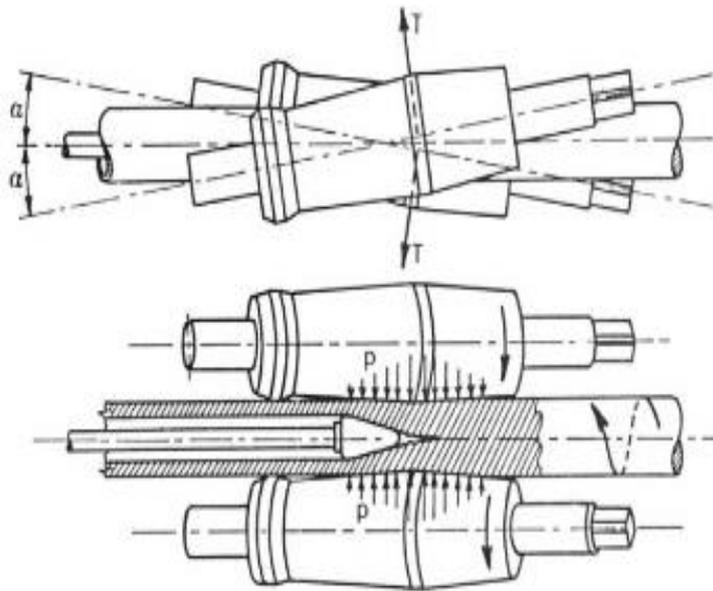
Figure II.5 : Inclinaison et pas d'avance des cylindres en fonction du diamètre de l'ébauche[11]

IL Procède au:

- Changement de montage.
- Changement des outillages (pièce de base – couloir tige LO).
- Réglage théorique de la machine selon la gamme en cours de fabrication



Figure II.6 : Laminoir oblique.



*Figure II.7 : Phases de transformation de l'ébauche, au cours du perçage au laminoir oblique.[11]*



*Figure II.8 : Emprise de l'ébauche entre le mandrin de perçage et les cylindres obliques d'une part et les guides inférieur et supérieur d'autre part*

**II.2.3 Zone de laminage au laminoir pèlerin :**

L'ébauche percée et allongée suivant les opérations décrites précédemment est ensuite allongée et amincie sur un mandrin cylindrique dans le laminoir à pas de pèlerin à profil variable. La signification du laminoir à pas de pèlerin est liée à la cannelure du cylindre divisée en 2 parties : partie de travail où l'ébauche marque un pas en arrière et la partie à vide où l'ébauche marque deux pas en avant [11]

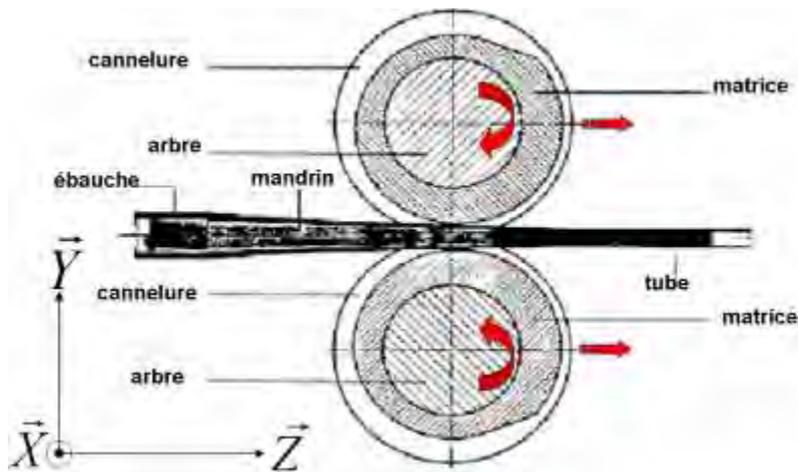
\* de l'ébauche max : 9" 5/8 (244.5 mm)

Énergie de déformation d'un tube de 13" 3/8: 2182 kW.s.

T° = 1000°C



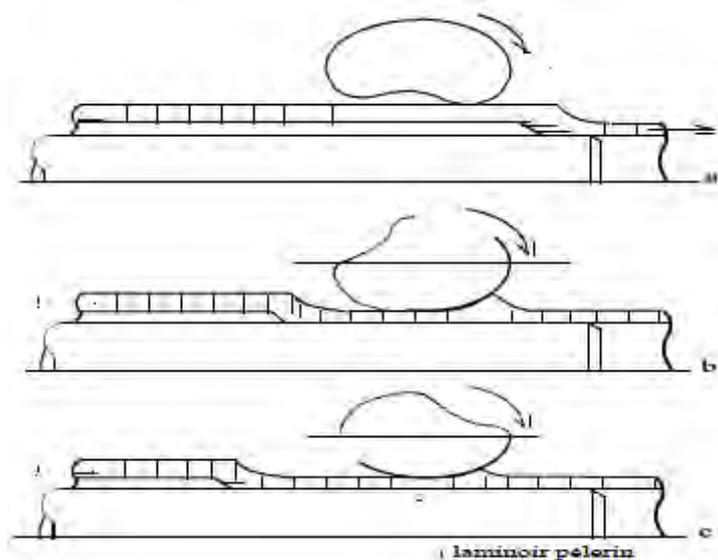
*Figure II.9 : Emprise de l'ébauche au laminoir à pas de pèlerin.*



*Figure II.20 : Représentation de la cannelure du cylindre du laminoir à pas de pèlerin.[5]*

Fonction :

- Éliminer les défauts sur cylindre LP.
- Préparer une solution de graphite dont le mélange est composé de : (eau – graphite – colle)
- Il doit alimenter les trains selon la cadence des laminoirs



*Figure II.21 : Principe du laminage au laminoir pèlerin[11]*

Le laminage à pas de pèlerin se décompose en 4 phases (Figure. 21) :

1. Introduction de l'ébauche entre les cylindres dans la fausse cannelure (a).
2. L'écrasement d'une petite quantité de métal par l'attaque (b).
3. Le lissage de cette même quantité par le finisseur (c).
4. Le dégagement de l'ébauche par la sortie (changement de la zone de travail à la zone à vide).

L'ébauche est ainsi transformée en tube par écrasements successifs à chaque tour

#### **II.2.4 Zone calibrage ( $\emptyset > 5''$ ) :**

Après laminage, sciage à 15 m, pesage et métrage, on procède au :

- Réchauffage des tubes à une  $t^\circ$  homogène de  $850^\circ$  à  $875^\circ\text{C}$ .

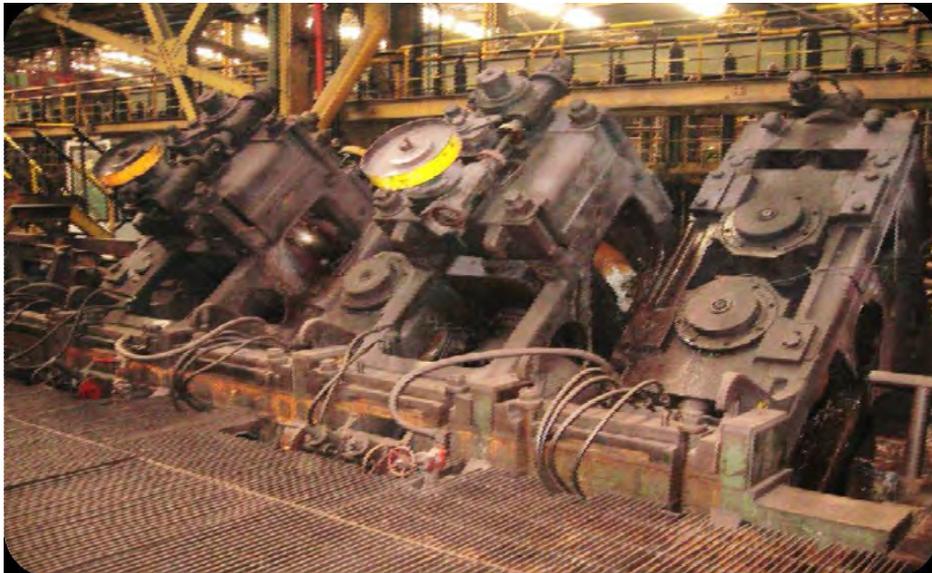
- Décalaminage au moyen de rampes d'eau sous pression à 160 bars.

- Calibrage : opération de finition qui achève l'arrondissement et les dimensions du tube, par le biais de 5 cages alternées, chacune présentant 2 galets.

➤ **Fonction de calibreur :**

Obtenir un diamètre à chaud dans les tolérances, ceci s'effectue par réduction successive dans une série de cages calibreur alternés de 90° l'une par rapport à l'autre.

Le rôle du calibreur est de faire la correction des diamètres extérieurs des tubes, selon les tolérances exigées à chaud et la température de calibrage est comprise entre 850c° et 900c°



*Figure II.22 : Calibreur*

Exemple d'un tube ayant subi les différentes étapes de transformation au cours du laminage :  
L'exemple est donné pour le cas d'un tube (Casing 7") s'arrêtant au calibreur à 5 cages.

Phase	Lingot	Ébauche		Tube laminé	Tube calibré	Tube fini	
Opération	Coulée (Aciérie)	Après Perçage (Presse)	Après Allgt (Lam. oblq)	Après chuttage (Lam. Pélerin)	Après calibrage (Calibr. Scages)	Contrôle	
Dimensions	Ø (mm)	300	303.5	270	183.7	180.8	178.6
	e (mm)	/	76.75	45	6.9	6.9	6.9
	L (mm)	1.32	1.5	2.5	20	2X10	2X9.2
	P (kg/m)	491	418.08	249.7	29.88	29.63	29.26

*Tableau II.1 : Variation des dimensions de l'ébauche au cours du laminage.*

Les variations de diamètre, de l'allongement, de l'épaisseur et du poids au mètre (Tab.1) montrent que :

- Les ébauches courtes et épaisses subissent un travail très important de laminage dans les différents laminoirs, avant d'obtenir les dimensions du tube fini.
- Le travail de plasticité le plus important se produit dans le laminoir oblique.
- L'écrasement en surface du tube ne cesse de se produire jusqu'à la dernière phase.

Pour les tubes destinés au L.R.E, le taux de réduction peut aller jusqu'à 60% sur le diamètre dans le cas de petits tubes ( $\text{Ø} < 5''$ ).

### **II.2.5 Zone Réduction :**

Elle concerne les tubes de diamètre inférieur à 5". Le laminage se produit au Laminoir Réducteur Étireur (L.R.E) après les étapes précédentes. Les tubes ayant servis à nos essais, proviennent de ce laminoir.

#### **II.2.5.1. Description :**

Les cages du laminoir réducteur étireur sont posées par paires dans le montant. Dans le laminoir présent, il y a 10 montants de 2 cages chacune. Chaque cage possède 3 cylindres situés sous un angle de 120°. Les 2 cages d'une paire sont posées d'une façon à ce que l'on ait dans chaque montant un décalage de 60° entre les cylindres. Chaque cylindre est entraîné par un réducteur

à pignons coniques séparés de façon à pouvoir varier la vitesse séparément pour chaque cage. Le moteur principal entraîne, par l'intermédiaire d'un réducteur commun, les réducteurs répartiteurs de chaque cage, ceux-ci étant munis de différentiels. La vitesse d'entraînement étant égale à 1000 tr/mn. La variation de vitesse est obtenue par système oléo dynamique.

Caractéristiques du L.R.E :

- Des gales : 360 mm
- Distance entre les cages : 340 mm
- Moteur d'entraînement : 1200 kW

$V = 1000 \text{ tr/mn}$

$U$  (tensions d'alimentation) = 5.5 kV

Le Tableau suivant nous donne une idée, sur les différentes transformations d'un tube au cours du laminage

Opération	Lingot	Centrage	Perçage et élongation	Laminage	Réduction et étirage	
Lieu	Acierie électrique	Presse à centrer	Laminoir oblique	Laminoir à pas de pèlerin	Laminoir réducteur étireur	
P a r a m è t r e S	Øext (mm)	225	/	175 (réduction de 23%)	149 (Ø Calibre)	70
	Øint (mm)	/	Petit trou de centre	145 (Ø mandrin + Ovalisation)	136 (Ømandrin)	60
	Épaisseur (mm)	/	/	15	6.5	5
	Longueur (m)	1.5	3.5	20	60	
	Température (°C)	/	/	1300	1000	950
	Temps de séjour (mn)					2 mm/mm d'épaisseur

*Tableau II.2 : Les différentes étapes de transformation du tube Ø 70 au cours du laminage*

### II.3. Analyse dynamique du processus de fabrication :

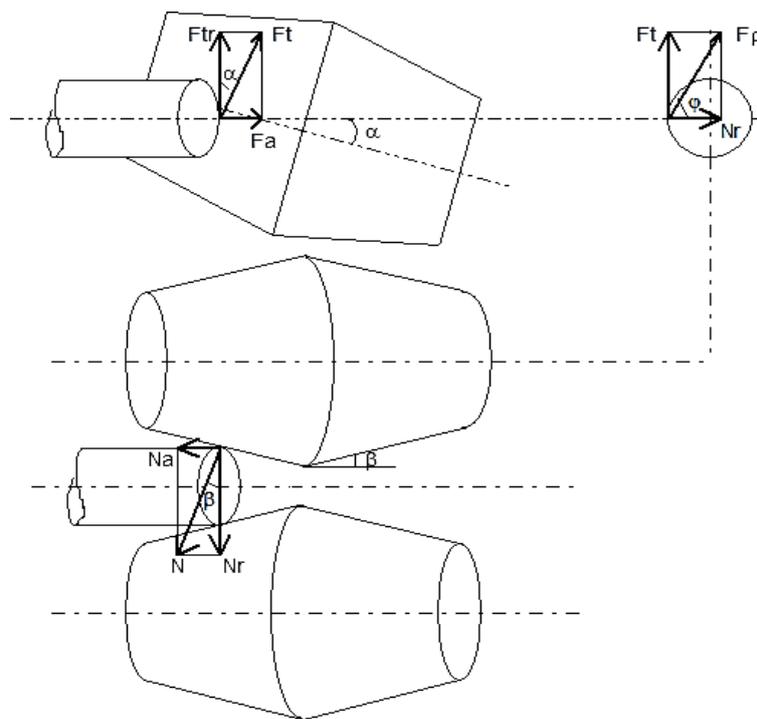
La variation des dimensions entre l'ébauche (Ø225 mm, L 1.5 m) et le tube à la réception (Ø70 mm, L 60 m) comme indiqué au Tableau, montre que les ébauches subissent un travail très important de laminage et que de très grands efforts de déformation sont fournis. Dans cette partie, on se propose donc de dresser une étude sur les efforts appliqués, leur quantité, leurs

directions et leur rapport avec les contraintes en général et les contraintes résiduelles en particulier.

### II.3.1. Étude des efforts au laminoir oblique :

Pendant le laminage transversal et hélicoïdal, des forces normales et tangentielles apparaissent au point de contact. Le lingot est introduit dans la cage par un pousseur jusqu'au contact des cylindres. Les cylindres latéraux qui forment entre eux un cône d'entrée sont animés d'un mouvement de rotation de même sens. Une inclinaison par rapport au plan horizontal est nécessaire pour assurer un mouvement d'avance hélicoïdal de la matière. L'introduction et l'entraînement de l'ébauche doivent satisfaire deux conditions :

- un effort de contact cylindre / ébauche par l'effet de coin (inclinaison  $\beta$ )
- un frottement suffisant entre cylindres et ébauche.



*Figure II.23 : Décomposition des efforts au laminoir oblique*

$\alpha$  : Angle d'inclinaison de chaque cylindre par rapport au plan horizontal ( $4^\circ / 7^\circ$ ). Pour le diamètre 225,  $\alpha$  utilisé =  $7^\circ$ .

$\alpha$ : Angle issu du cône d'entrée que forme entre eux les 2 cylindres latéraux.  $\beta$  est déterminé par la génératrice d'un cylindre au point de contact et l'axe de laminage.

$F_t$  : Effort d'entraînement de l'ébauche, tangentiel aux cylindres, dû au couple moteur de rotation. Il engendre sur l'ébauche :

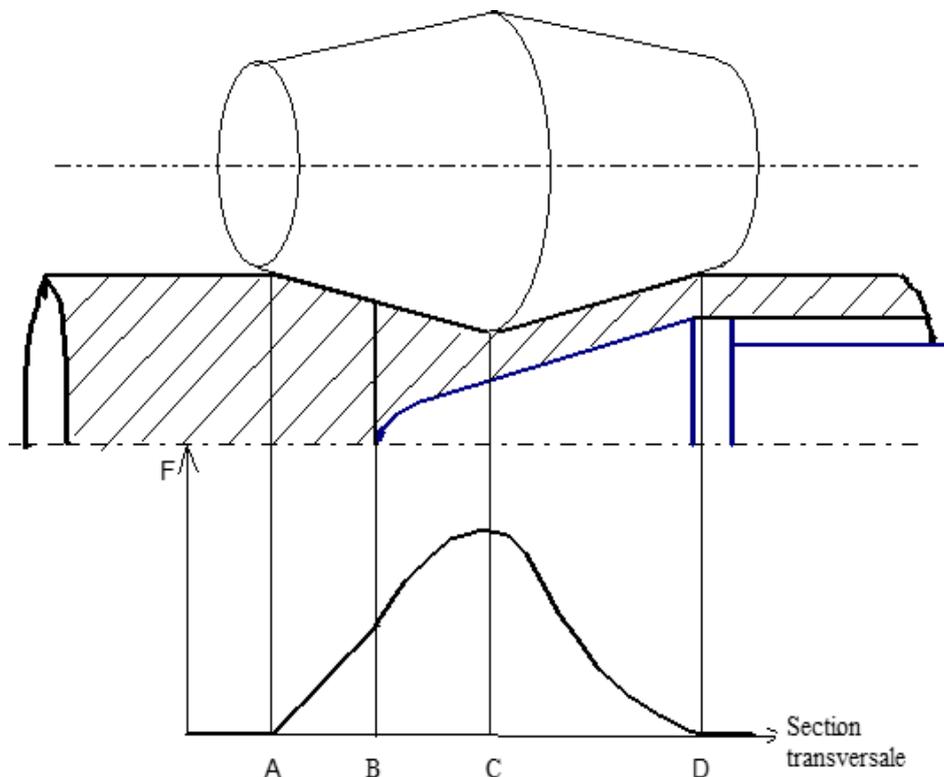
- Un effort de rotation :  $F_{tr} = F_t \cdot \cos\alpha$
- Et un effort d'avance :  $F_a = F_t \cdot \sin\alpha$

$N$  : Effort normal à la génératrice du cylindre au point de contact qui se décompose en :

- $N_r = N \cdot \cos\beta$  : Composante radiale de  $N$ , qui écrase la matière.
- $N_a = N \cdot \sin\beta$  : Composante axiale de  $N$ , qui s'oppose à l'avance.

➤  $F_t$  sera d'autant plus important que :

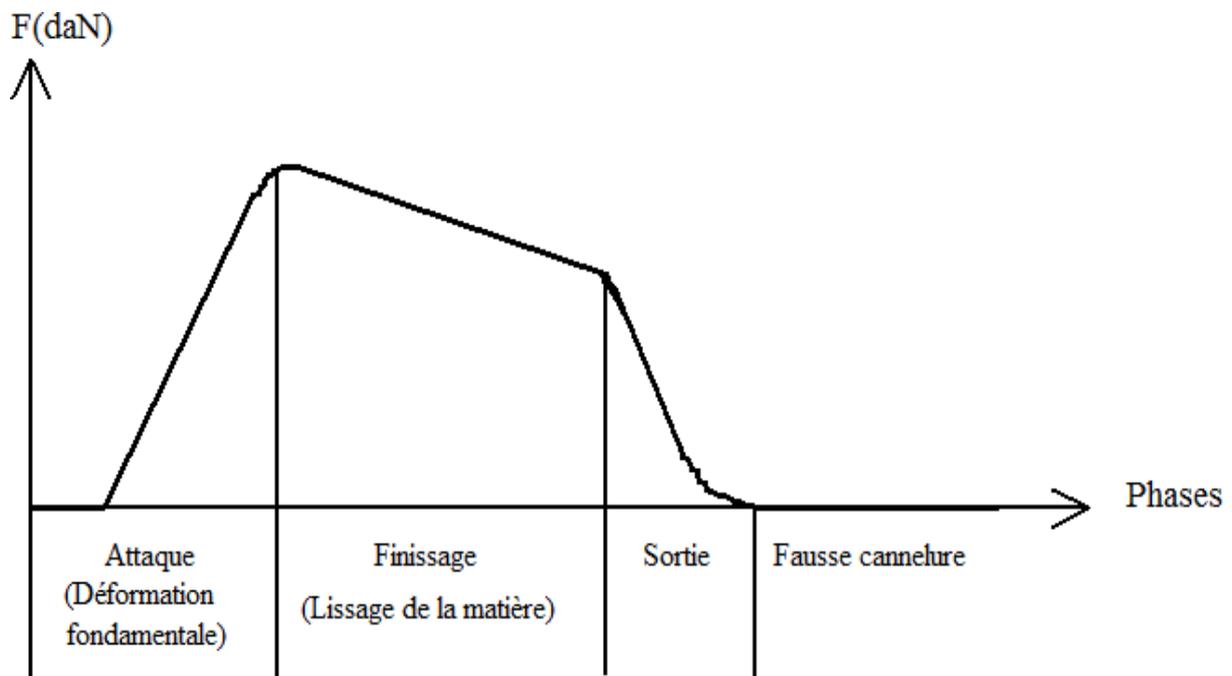
- L'effort de contact  $N$  est important
- Et le coefficient de frottement est grand (recours au moletage sur le palier avant du cylindre).  $T$  : Effort de frottement donné par :  $T = N \cdot \text{tg}\varphi$ , avec  $\text{tg}\varphi$  : coefficient de frottement égal à 0.3. Condition d'engagement et d'entraînement de l'ébauche dans le laminoir :  $F_a \gg N_a$ .



**Figure II.24** : Répartition des efforts d'écrasement de l'ébauche au laminoir oblique[5]

### II.3.2 Étude des efforts au laminoir à pas de pèlerin :

Les conditions de travail sont variées, c'est pourquoi on parle de foyer de déformation instantané. L'ébauche est ainsi transformée en tube par écrasements successifs à chaque tour de l'ébauche. La valeur des efforts exercés change au cours du procédé de fabrication. L'analyse de l'oscillogramme des efforts (Figure 24) montre l'importance des efforts dans chaque phase.7



*Figure II.25 : Répartition des efforts au cours d'un cycle du laminage*

### II.3.3 Étude des efforts au laminoir Réducteur-Étireur :

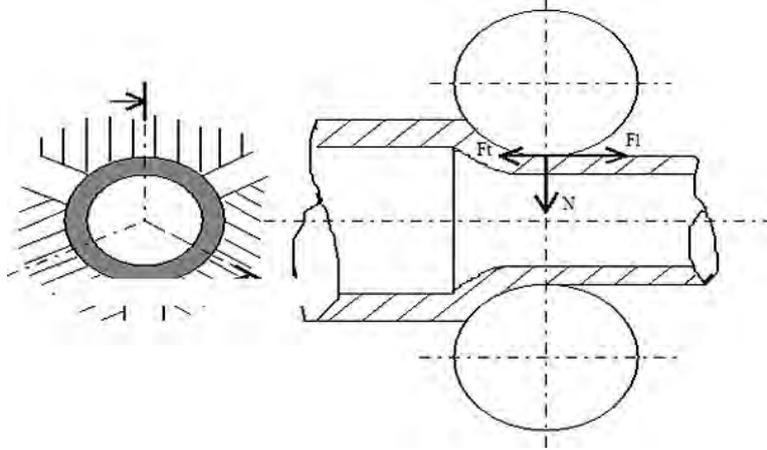
Le laminage se faisant sans mandrinage. Le laminoir applique à l'ébauche, transversalement un corroyage entre les galets, et longitudinalement un étirage entre les cages.

Le métal est soumis à l'action des efforts suivants (Figure.26) :

- des forces de pression  $N$  sur la section

- des forces de frottement  $F_t$
- des forces de traction  $F_l$

Les effets de ces efforts sur la matière seront donnés dans le paragraphe (Contraintes au L.R.E).



*Figure II.26 : Efforts au laminoir réducteur étireur[5]*

**CHAPITRE 3**

**GÉNÉRALITÉS SUR**

**LES ENGRENAGES**

### III-1-Introduction :

Les engrenages sont utilisés comme moyen de transmission de puissance dans les boîtes de vitesses et d'avances des machines où ils réalisent les vitesses, les couples et les sens de rotation des éléments de machines. Ils sont aussi largement utilisés dans l'industrie mécanique comme moyen de transmission de puissance d'un arbre vers un autre. Ils sont obtenus par taillage sur des machines-outils spéciales soit par reproduction soit par génération. La précision d'exécution dépend essentiellement de la valeur et de la précision du rapport des trains d'engrenage introduits dans la chaîne cinématique qui lie la rotation de la fraise et la rotation de la broche porte-pièce. [7]

### III-2- Définition d'un engrenage :

Un engrenage est un mécanisme composé de deux roues dentées mobiles autour d'axes de position fixe et dont l'une entraîne l'autre par l'action de dents successivement en contact. La plus petite roue est appelée pignon, la plus grande est la roue. [19]

### III-3- Fonction :

Les engrenages peuvent avoir diverses utilités :

- Variation de la fréquence de rotation entre deux arbres.
- Réduction ou augmentation du couple du moteur.
- Transmission d'mouvement de rotation.
- Transformation des caractéristiques d'mouvement (système bielle manivelle).[20]

### III-4- Les différents types d'engrenages :

Suivant la fonction qu'ils ont à réaliser, les engrenages peuvent avoir différentes formes est différents caractéristiques de denture. Il y a trois catégories d'engrenage : [12]

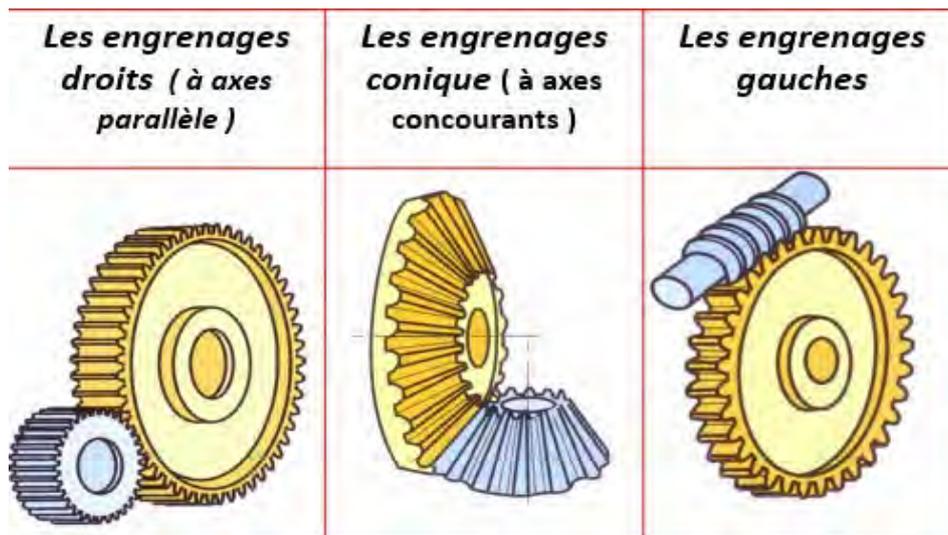


Figure III-1 : différents types d'engrenage [3]

**III-5- Géométrie et technologie :**

La géométrie et la technologie d'obtention diffèrent d'une roue dentée à une autre. Par exemple dans le cas des roues à denture droite, les surfaces primitives sont des cylindres droits. Les engrenages sont utilisés dans toutes les branches de la mécanique pour transmettre des mouvements, de l'horlogerie jusqu'au réducteur de l'industrie lourde. La transmission se fait avec un très bon rendement énergétique. La variation de vitesse obtenue entre l'entrée et la sortie ne dépend que du nombre de dents des pièces en contact.

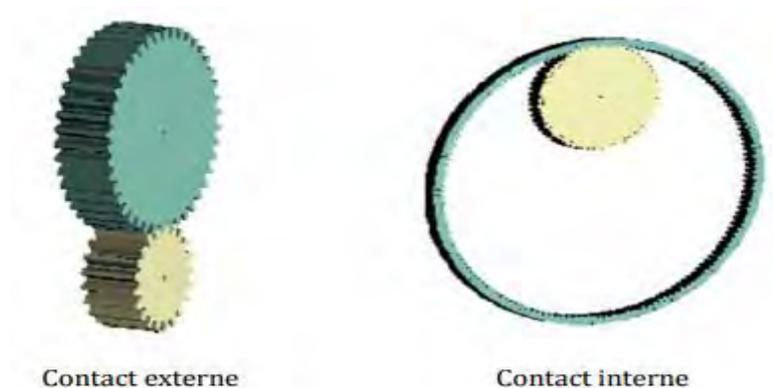


Figure III-2 : présentation du contact externe et contact interne [19]

III-6- Caractérisation des engrenages :

III -6-1- Les engrenages cylindriques à denture droite :

Les plus simples et les plus économiques, ils sont utilisés pour transmettre le mouvement entre deux arbres parallèles. Les dents de deux roues de l'engrenage sont parallèles à l'axe de rotation des arbres.

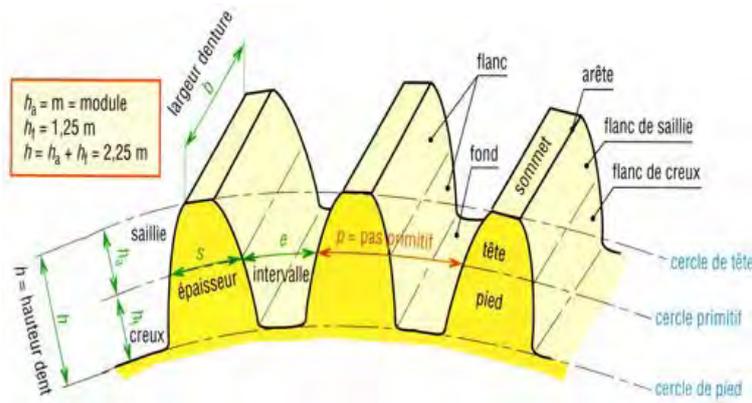


Figure III.3 : Caractéristiques d'engrenage cylindrique à denture droite extérieur.[21]

Désignation	symbole	formule
Nombre de dents	Z	13 mini
module	m	RDM
Diamètre primitif	d ou dp	$dp = m \cdot Z$
Diamètre de tête	da	$da = dp + 2m$
Diamètre de piéd	df	$df = dp - 2.5 m$
Pas primitif	p	$P = m \pi$
Largeur de denture	b	$b = k m$ ( coefficient )
Hauteur de denture	h	$h = 2.25 m$
Hauteur de saillie	ha	$ha = m$
Hauteur de creux	hf	$hf = 1.25 m$

Tableau III.1 : Caractéristiques d'engrenage cylindrique à denture droite extérieur[21]

### III-7- Définition de la denture :

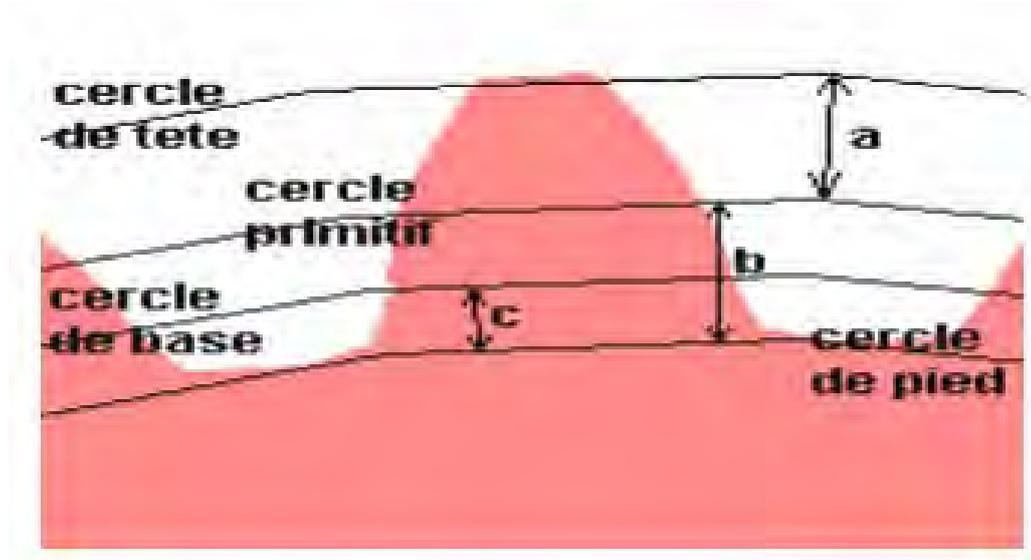


Figure III.4 : caractéristique des dents. [19]

Les caractéristiques qui définissent la dent (figure II.4) sont déterminées comme suit :

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

### III-8- Module :

Le module, désigné généralement par «  $m$  », est une caractéristique importante des engrenages qui représente la dimension des dents. Il est égal au nombre de diamètre primitif par dent. Pour qu'il y ait engrenement correct entre un pignon et une roue, il est nécessaire que leurs modules soient les mêmes.

### III-9- Le nombre de dent :

Le nombre de dent est noté «  $Z$  ». C'est à dire «  $Z_1$  » pour l'élément « 1 » et «  $Z_2$  » pour l'élément « 2 ». Dans un engrenage nous appelons :

- Pignon, l'élément comportant le plus petit nombre de dent.
- Roue, l'élément comportant le plus grand nombre de dent.

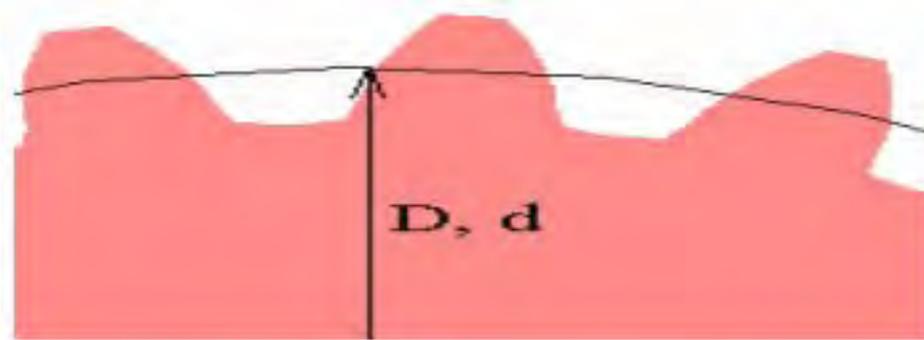
### Cercle primitif :

Le cercle primitif (figure II.5) représente la zone de contact où il y a roulement sans

glissement entre le pignon et la roue. On peut donc assimiler l'engrenage à deux cercles primitifs qui roulent sans glisser l'un sur l'autre.

On détermine le diamètre primitif par la relation :

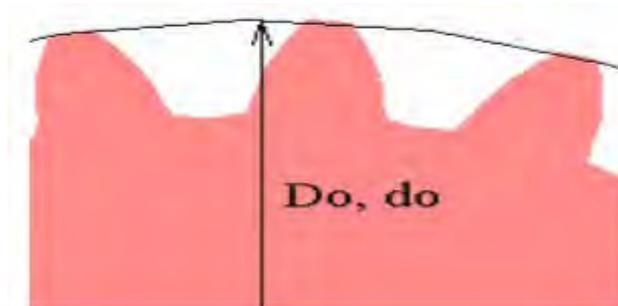
$$D = m \cdot Z \quad ; \quad \text{Avec } Z = \text{nombre de dents}$$



*Figure III.5 : cercle primitif.[19]*

### III-10- Cercle de tête :

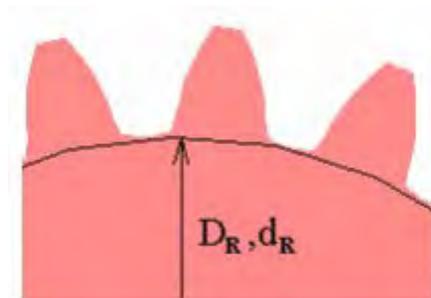
Le cercle de tête se trouve au sommet des dents (figure II.6). C'est celui qui peut être mesuré directement à l'aide d'un pied à coulisse.



*Figure III.6 : Cercle de tête.[19]*

### III-11- Cercle de pied :

Le cercle de pied se trouve à fond de dent (figure II.7) :



*Figure III.7 : cercle de pied.[19]*

### III -12- Le cercle de base :

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

### III-13- L'entraxe:

L'entraxe «  $a$  » (figure II.8) représente la distance entre les centres du pignon et de la roue. En fonctionnement normal, sa valeur est égale à la demi-somme des rayons primitifs du pignon et de la roue. L'entraxe peut varier en fonction de la température du boîtier et des engrenages et particulièrement lorsque les matériaux des engrenages et du boîtier sont différents.

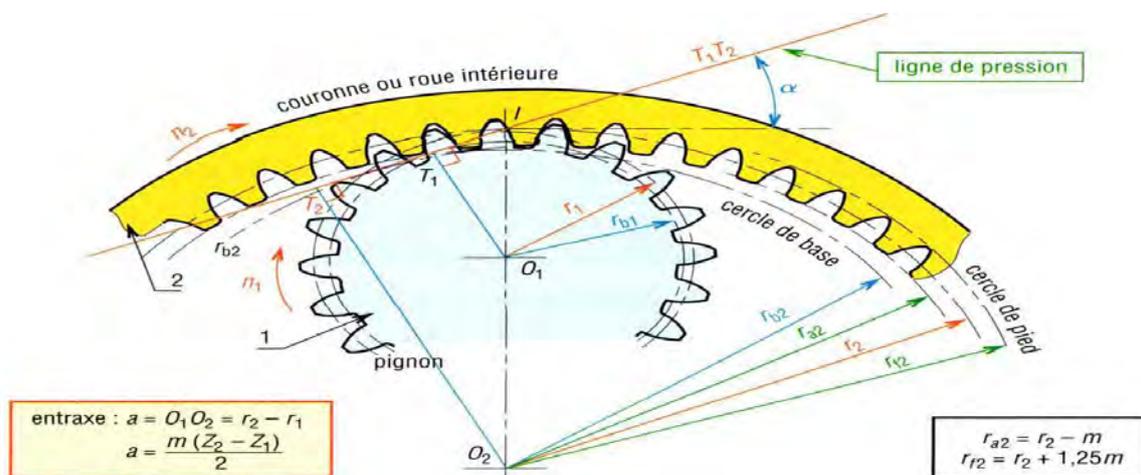


Figure III.8 : l'entraxe [19]

### III-14- Matériaux pour engrenage:

Le choix de la matière d'œuvre d'une roue dentée doit être fait de manière à rendre possible le taillage et l'achèvement de ses dents avec la précision et l'état de surface imposés, et à assurer une résistance à la flexion suffisante pour tenir aux charges dynamiques alternatives, une résistance suffisante de la couche superficielle des dents et une tenue à l'usure élevée. Les matériaux usuels dans la fabrication des engrenages sont l'acier, la fonte et les matières plastiques. La tendance à réduire l'encombrement, à accroître les puissances transmises par un groupe et à augmenter les vitesses a déterminé une large application des roues en acier. La grande variété des nuances des aciers et la possibilité d'obtenir par traitement thermique et thermo-chimique 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 0.35 à 0.50%. [20]

### **III-15- Défauts de fonctionnement :**

#### **III-15-1- Défauts de lubrification:**

La lubrification est l'un des problèmes le plus important et le plus délicats qui puissent se poser pour le bon fonctionnement des engrenages. La lubrification à un triple but :

1. Eviter le contact métal sur métal qui pourrait provoquer, au bout d'un temps très court, une sorte de soudage des dentures conjuguées. Nous savons en effet que les conditions de glissement et de pression superficielle sont souvent très sévères dans les engrenages. Il est donc nécessaire d'interposer un film d'huile résistant entre les dentures conjuguées. Il ne faut pas perdre de vue que le soudage peut se produire à des températures bien au-dessous du point de fusion du métal si la pression de contact est élevée.

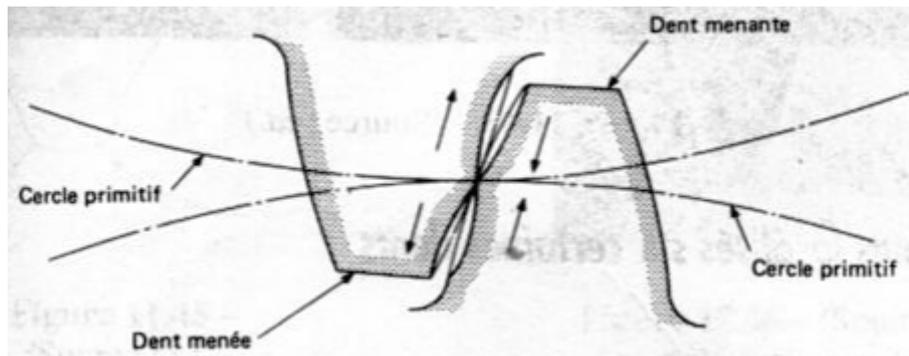
2. la lubrification s'impose également pour la question du rendement de l'engrenage. Un frottement métal sur métal entraînerait un coefficient de frottement beaucoup plus élevé.

3. Une autre fonction importante du lubrifiant consiste à absorber la chaleur dégagée durant l'engrènement (la perte de rendement est en effet matérialisée par un dégagement de chaleur). Un volume d'huile souvent important est nécessaire pour éviter un échauffement anormal de l'engrenage.[20]

La lubrification est une source des différentes détériorations superficielles des dentures.

#### **III-15-2- L'usure:**

L'usure est un ensemble complexe de phénomènes difficiles à interpréter, amenant une émission de débris avec perte de masse, de cote, de forme, et s'accompagnant de transformations physiques et chimiques des surfaces. C'est un phénomène local caractérisé par un enlèvement de matière dû au glissement de deux surfaces l'une sur l'autre (figure II.9).



*Figure III.9 : Usure des dentures après fonctionnement [21]*

### III-16- Taillage les engrenages :

#### III-16-1- Techniques d'ébauche des dentures :

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.

Il est possible de distinguer les techniques suivantes :

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

#### III -16-1-1- Taillage par fraise-mère :

Le taillage par outil fraise-mère est de loin le plus utilisé des procédés de génération de dentures à développante de cercle. Le taillage à la fraise-mère utilise le principe du système roue et vis-sans fin (fig. II.10).

La pièce à tailler étant la roue et la fraise-mère étant la vis-sans-fin. La fraise-mère est une vis-sans-fin, munie de goujures créant des dents. Pour un tour de fraise-mère, la roue s'est déplacée d'un pas circulaire. Si par exemple la fraise est une vis à un filet et que la roue à tailler doit avoir  $z$  dents, la fraise devra faire  $z$  tours pendant que la roue à tailler ne fera qu'un seul tour.

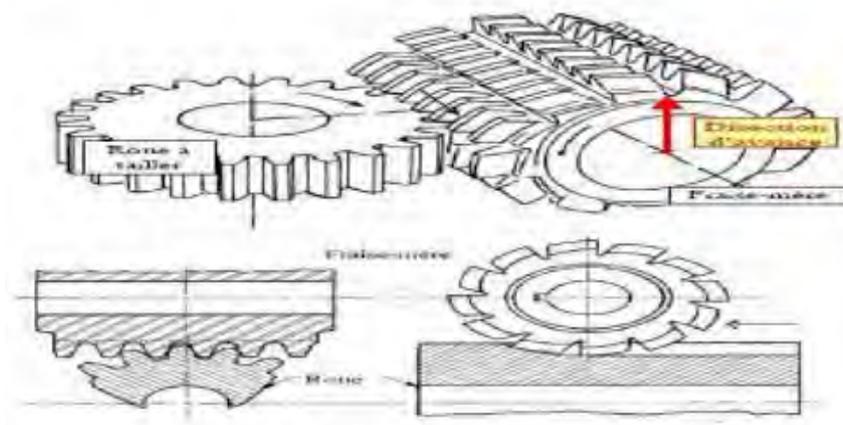
Si la fraise est à  $Z_0$  filets, elle devra faire  $Z/Z_0$  tours pendant que la roue à tailler ne fera qu'un seul tour. Lors du taillage, les deux objets sont en rotation à vitesse constante selon un rapport :

$$\frac{\omega}{\omega_0} = \frac{Z_0}{Z}$$

Avec :  $\omega$  : vitesse de rotation de la pièce à tailler (tr/min).

$\omega_0$  : vitesse de rotation de la fraise-mère (tr/min).

Les dents possèdent une dépouille (un détalonnage) afin de ne pas frotter sur les surfaces usinées. La fraise-mère est munie d'un mouvement d'avance selon la génératrice de la denture à tailler. [21]



*Figure III-10- : taillage à la fraise mère*

### III-16-1-2- Taillage par 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 9). Il s'agit d'une génération continue de 1 à Z dents.



*Figure III.11 : taillage par outil pignon [21]*

**CHAPITRE 4**  
**ELABORATION DE**  
**LA GAMME DE**  
**FABRICATION**

**IV-1- Introduction :**

Dans cette partie, nous allons présenter la gamme d’usinage du moyeu de l’accouplement Zappex sur la base de l’étude constructive et de la recommandation sur la technique avancée de fabrication.

**IV-2- Mode d’obtention d’ébauche :**

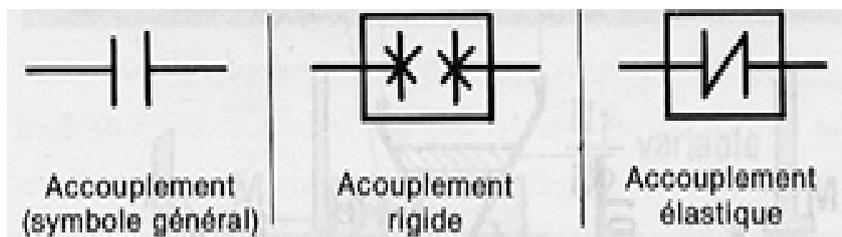
Le choix de l’ébauche au sein de l’entreprise passe par un atelier de forge. La barre d’acier subit un préchauffage dans un four à gaz à une certaine température pour lui donner une malléabilité. L’utilisation du manipulateur (transporteur) pour déplacer les barres du four vers le marteau pilon. Ce dernier implique un dispositif de frappe pour diminuer le diamètre de la barre. Après le choix du mode d’obtention de l’ébauche de la pièce vient l’étape de fabrication qui a lieu dans l’atelier de mécanique et y passent à travers toutes les étapes de fabrication et de contrôle jusqu’à l’accès à la pièce finie. L’accès à la forme finale de la pièce nécessite le passage par plusieurs étapes.

**IV-3- Données de départ:**

**IV-3-1- Définition des accouplements :**

Les accouplements sont des appareils destinés à assurer, en permanence, la liaison en rotation entre deux arbres.

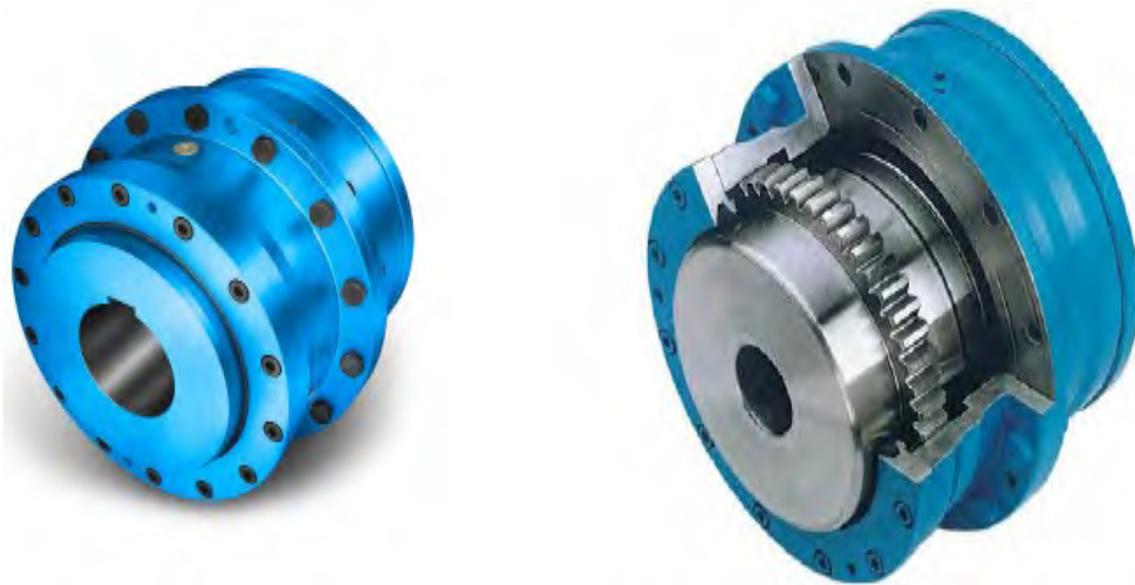
Schémas cinématiques :



*Figure IV.1 : Schéma cinématique des types d’accouplement.*

Les accouplements dentés à double articulation de la série ZAPEX ZW® compensent les écarts angulaires ainsi que les décalages parallèles et axiaux des arbres non alignés.

Les accouplements ZAPEX ZW sont particulièrement adaptés à une utilisation dans des conditions de fonctionnement difficiles. La gamme standard propose des accouplements jusqu'à 13 500 000 Nm. [22]



*Figure IV.2 : Accouplements à denture Zapex Zw [22]*

#### **IV-3-1-1- Avantages :**

- Forces de réaction réduites en cas de désalignement d'arbre.
- Utilisation dans les deux sens de rotation (inversion de marche) et montage vertical possibles.
- Longue durée de vie et maintenance réduite.
- Dimensions compactes pour une utilisation dans des espaces exigus.
- Utilisation possible en présence de violents à-coups de charge, avec de grandes réserves de sécurité.
- Utilisation possible en atmosphère explosible ; certification selon 2014/34/UE (ATEX). La denture du ZAPEX ZW est lubrifiée avec de l'huile ou de la graisse. Pour assurer l'étanchéité de l'espace autour de la denture, des joints à double lèvre sont utilisés. Ces joints DUO offrent une

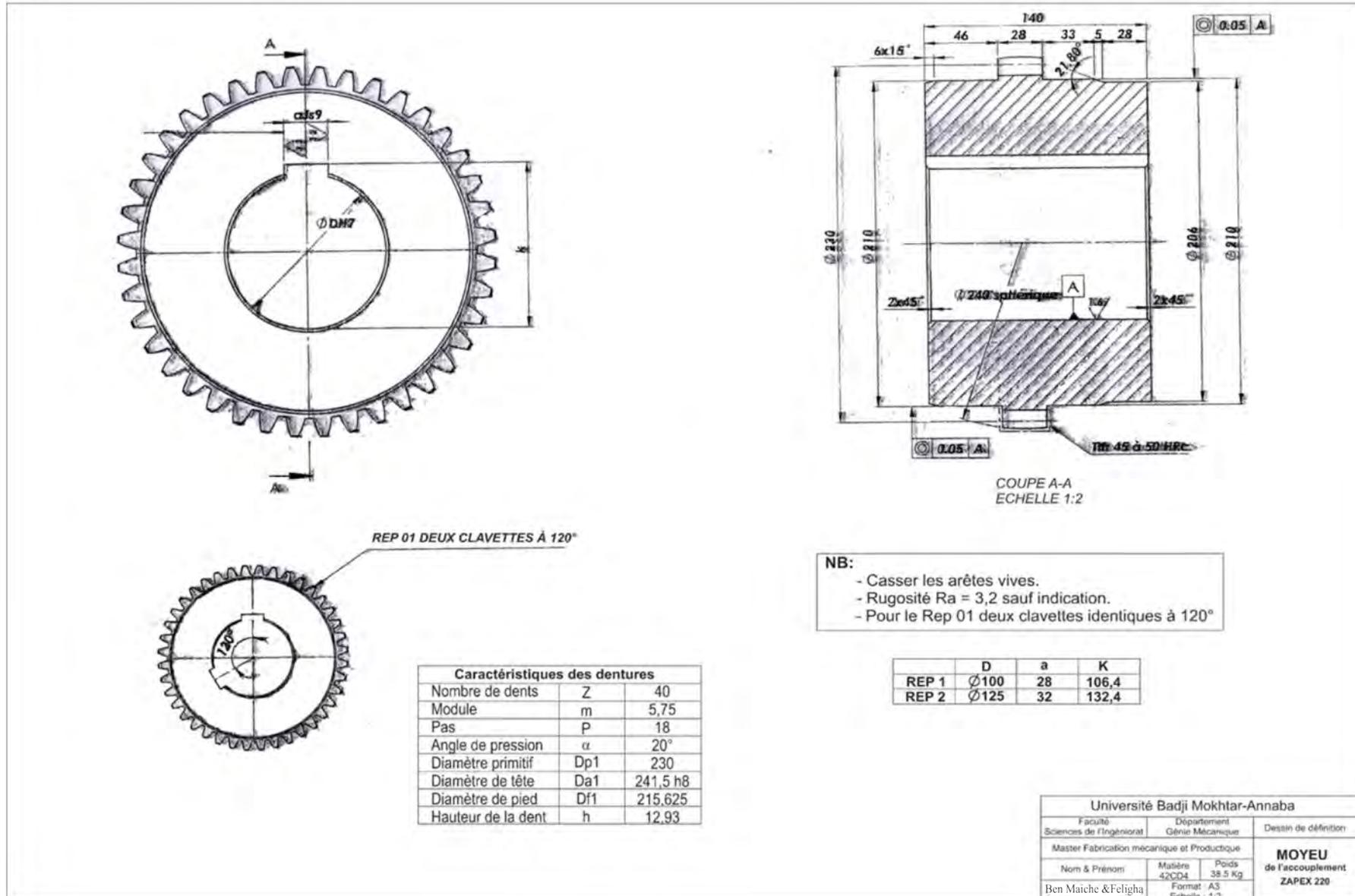
double sécurité contre la sortie du lubrifiant et la pénétration de saleté dans l'espace autour de la denture. Ainsi, votre accouplement bénéficie d'une longue durée de vie.

Les données représentent des éléments de base qui nous permettent de faire, en essayant d'établir l'analyse de fabrication.

1. Dessin de définition.
2. Matière et caractéristiques techniques de la pièce.
3. Volume de production.

IV-3-2-Dessin de définition des pièces :

Le moyeu :



**IV-3-3- Matière à usiner du moyeu : 42 CD 4**

**IV--3-3-1- Caractéristiques :**

Acier faiblement allié, magnétique, issu de la technologie "master-batch" 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.

**IV-3-3-2-Composition :**

%C(1)	%Cr(1)	%Mo(1)	%Ni(1)	%Cu(1)	%Si(1)	%S(1)	%P(1)	%V(1)	%Fe
0,32-0,42	0,9-1,20	0,15-0,30	< 0,01	< 0,01	< 0,1	< 0,005	< 0,01	< 0,01	Compl.

**IV-3-3-3- Propriétés :**

Cet acier est uniquement disponible à l'état traité dans une gamme de diamètres comprise entre Ø10 et Ø 200 mm

Cet acier, dont l'analyse, l'élaboration et le traitement ont été particulièrement ajustés, présente une excellente aptitude à l'usinage, et de bonnes caractéristiques mécaniques fonctionnelles.

Par trempe superficielle, on peut lui conférer une dureté supérieure à 56 HRC tout en maintenant la haute résilience à cœur.

**IV-3-3-4- Propriétés physico-chimiques :**

Densité minimale : 7,4 kg/dm<sup>3</sup> Non résistant à la corrosion

IV-4- Routage d'usinage au niveau de l'entreprise :

N° phase	Operations	Instruments de Mesures	outils	MO	Le temps D'usinage
	<b>Débitage : Ebauche du moyeu</b> Recevoir ébauche Ø 265 mm ; L=160 -Matière : 42CD4				15m
10	<b>Tournage :</b> Montage en l'aire -Dresser la phase -Charioter Ø242 mm ; L=140mm -Charioter Ø210mm ; L=66mm -Charioter Ø206 ; L=28mm - Réaliser la pente $\alpha = 21.80$ ; L=5 à L=28mm ; - Percer et aléser Ø99.5 ; débouchant+ chanfrein 2×45 -Tourner la pièce : -Mise longueur L=140+ chanfrein 2×45 sur l'alésage - Charioter Ø210 ; L=46+ chanfrein 6×15		- à dresser - à Charioter - foret + outil à aléser	Tour universel 16D20	5h
20	<b>Contrôle</b>	Pied à coulisse			
30	<b>Taillage :</b> - Réaliser le Taillage d'engrenage suivant les coordonnées présentées sur le plan M=5.75 ; Z=40 ; dp=230 ; h= 12,93		-Fraise Mère M=5.75	Tailleuse d'engrenage PE500	14h
40	<b>Contrôle</b>				
50	<b>Mortaisage :</b> - Réaliser les rainures de clavette à 120 b=28JS9 $\begin{matrix} 0.026 \\ -0.026 \end{matrix}$ ; K=106.4		-Outil de forme	SK360	2h
60	<b>Contrôle</b>			Activer Windows Ajoutez des paramètres d'option	

## CHAPITRE 4 : ETABORATION DE LA GAMME DE FABRICATION

<b>70</b>	<b>Traitement thermique :</b> Réaliser le traitement superficiel, la dureté 45à50 HRC				2h
<b>80</b>	<b>Contrôle</b>				
<b>90</b>	<b>Rectification :</b> Rectification Ø241.5h8 <sup>0</sup> <sub>-0.072</sub> Rectification Ø100H7 <sup>0.035</sup> <sub>0</sub>		-meule		2h
<b>100</b>	<b>Contrôle</b>				

**IV-5- Détermination du type de production**

- **Calcul de gain de matière due au choix du mode d'obtention de l'ébauche**

**Le choix du mode de fabrication de l'ébauche dépend de :**

- La nature de la pièce (destination, rigidité, usure)
- Du programme (du nombre d'ébauche à fabriquer)
- Les dimensions de la forme et du poids de la pièce
- De la précision et de la qualité de surfaces de l'ébauche

**Calcul du Poids de la pièce brute :**

$$P = V_b \times \rho$$

$V_b$  : le volume de la pièce brute.

- **Calcul du poids du moyeu :**

- Calcul des volumes :  $V_1 = \frac{\pi(D)^2}{4} \times L$

$$V_1 = \frac{3.14 \times (242)^2}{4} \times 140 = 6.4 \text{ dm}^3$$

$$V_2 = \frac{3.14 \times (210)^2}{4} \times 66 = 0.2 \text{ dm}^3$$

$$V_3 = \frac{3.14 \times (206)^2}{4} \times 28 = 0.9 \text{ dm}^3$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = 6.4 + 0.2 + 0.9 = 7.5 \text{ dm}^3$$

$$P_f = V \times \rho = 7.5 \times 7.4 = 55.5 \text{ kg}$$

- Le poids de la pièce brute = 55.5 Kg
- Le poids de la pièce finie = 38.5 Kg
- Le poids gagné pour une seule pièce = poids de la pièce brute – le poids de la pièce finie  
 $\rightarrow 55.5 - 38.54 = 16.96 \text{ Kg}$

**IV-6-Type de production :****Introduction :**

Le type de production est déterminé en fonction de volume du programme annuel et des caractères du produit à fabriquer.

**1) Production en masse :**

Les produits sont fabriqués sous discontinuité pendant plusieurs années, l'indice caractéristique de ce type de production est exécution d'une phase fixée sur la plupart des portes de travail.

Dans ce type de production on utilise des MO automatique simple (tour mono broche, multibroche), des MO pour réaliser une famille de pièces et comportant plusieurs tels d'usinage autonome qui permettent la fabrication de plusieurs pièces plus de 10 000 pièces.

**2) Production en série :**

Elle se subdivise en trois sous-groupes :

- Petite série :

C'est un travail de 10 à 100 pièces dans ce type on recherche les solutions et les moyennes les plus économiques, donc il faut penser à minimiser les temps manuels, les temps morts par moyen simple de mise en position, des outils, système de blocage...

- Moyenne série :

On travaille pour cela une analyse de fabrication élaborée le plus possible avec contrat de chaque phase détaillée.

- Grande série :

De 1000 à 10000 pièces, on établit, pour cela une analyse de fabrication détaillée avec contrat de chaque phase plus le problème de la réduction du prix de revient diminue.

**3) Production unitaire :**

On exécute les produits de larges nomenclatures en petite quantité qui ne se répètent pas complètement ou bien dans un temps défini. Dans la production unitaire on établit une analyse de fabrication simple et on calcule le travail  $T_c$ .

Le type de production est unitaire.

#### IV-7-Traitement thermique :

##### IV-7-1-Recuit complet :

Ce traitement consiste à chauffer l'acier à une température appropriée et à traverser ensuite le domaine de transformation par un refroidissement lent effectué de préférence dans le four ou toute autre installation bien isolée thermiquement. Le refroidissement lent se poursuit généralement aux basses températures. Le but du recuit peut être d'affiner le grain, d'adoucir l'alliage, d'améliorer l'usinabilité.

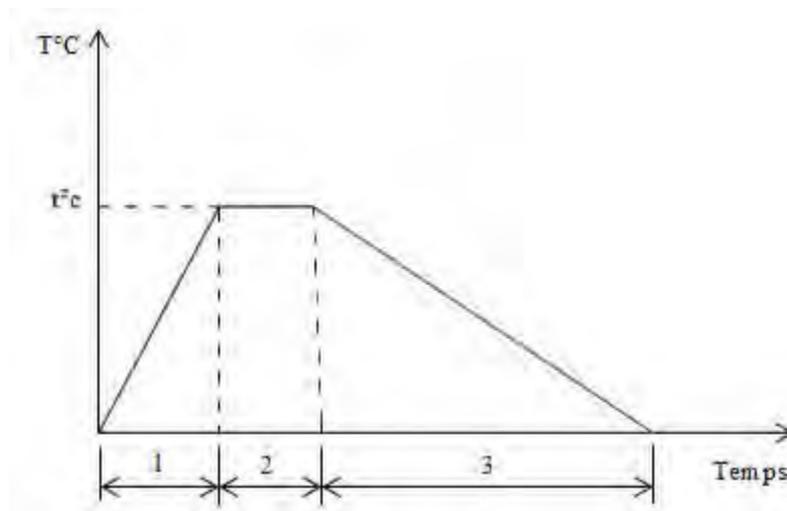


Figure IV3 : Cycle de recuit

##### IV-7-2-Traitement thermique superficiel :

Les traitements thermiques superficiels sont des techniques de traitement thermique d'un matériau visant à conférer à certaines pièces mécaniques des caractéristiques mécaniques différentes à cœur ou en surface. En effet, dans de nombreux cas, les pièces mécaniques sont soumises à des sollicitations de type :

- Usure
- Frottement
- Fatigue
- Corrosion

Ces phénomènes sollicitent les couches externes qui nécessitent parfois des traitements, dont il existe plusieurs types.

#### IV-7-3-Définition de la trempe superficielle :

C'est un traitement thermique réalisé en surface. La trempe est réalisée localement sur une mince couche superficielle maximum 3 mm toute en laissant intacte la couche sous-jacente.

#### IV-7-3-1-Les avantages de la trempe superficielle :

- Augmentation de la dureté de la couche superficielle.
- Amélioration de la résistance de la couche superficielle.
- Amélioration de la limite de l'usure de la couche superficielle

#### IV-8-Calcul du régime de coupe :

- **Pour le moyeu : Dressage en ébauche :**

Choix de l'outil : outil à dresser en carbure

Choix de l'avance :  $f = 0.8 \text{ mm/tr}$

Choix de la profondeur de passe :  $a_p = 2 \text{ mm}$

Choix de la vitesse de coupe :  $V_c = 130 \text{ m/min.}$

Calcul de nombre de tour :

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi D} = \frac{1000 \times 130}{3.14 \times 230} = 180 \text{ tr/min}$$

Nombre de tour corrigé :  $N = 200 \text{ tr/min.}$

Calcul de la vitesse de coupe :

$$V_c = \frac{\pi \times D \times N}{1000} = \frac{3.14 \times 230 \times 200}{1000} = 144.4 \text{ m/min}$$

#### Calcul de l'avance :

$$A = N \times f = 200 \times 0.8 = 160 \text{ mm/min}$$

Temps d'usinage :

$$L = l_u + l_{eng} + l_{deg} = 142 + 2 = 144 \text{ mm}$$

$$T_t = T_c = \frac{L}{A} = \frac{144}{160} = 0.9 \text{ min}$$

lu : la longueur à usiner

leng : l'engagement

ldeg : dégagement

A : l'avance

Nc : nombre de tour corrigé

**Tournage :**

**Chariotage ébauche :**

Choix de l'outil : outil à charioter en carbure

Choix de l'avance : d'après le tableau :  $f = 0.8 \text{ mm/tr}$

Choix de la profondeur de passe :  $a_p = 1.5 \text{ mm}$

Choix de la vitesse de coupe : d'après le tableau :  $V_c = 130 \text{ m/min}$

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi D} = \frac{1000 \times 130}{3.14 \times 210} = 197.14 \text{ tr/min}$$

Nombre de tour corrigé :  $N = 200 \text{ tr/min}$ .

$$V_c = \frac{\pi \times D \times N}{1000} = \frac{3.14 \times 230 \times 200}{1000} = 144.44 \text{ m/min}$$

**Calcul de l'avance :**

$$A = N \times f = 200 \times 0.8 = 160 \text{ mm/min}$$

Temps de coupe :

$$L = l_u + l_{eng} + l_{deg} = 66 + 2 = 68 \text{ mm}$$

$$T_t = T_c = \frac{L}{A} = \frac{68}{160} = 0.42 \text{ min}$$

La même pour la finition :

**Chariotage en finition :**

Choix de l'outil : outil à charioter en carbure

Choix de l'avance : d'après le tableau :  $f = 0.08 \text{ mm/tr}$ .

Choix de la profondeur de passe :  $a_p = 0.18 \text{ mm}$ .

Choix de la vitesse de coupe : d'après le tableau :  $V_c = 150 \text{ m/min}$ .

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi D} = \frac{1000 \times V_c}{3.14 \times 210} = 227.47 \text{ tr/min}$$

Nombre de tour corrigé :  $N = 250 \text{ tr/min}$ .

$$V_c = \frac{\pi \times D \times N}{1000} = \frac{3.14 \times 230 \times 250}{1000} = 180.55 \text{ m/min}$$

**Calcul de l'avance :**

$$A = N \times f = 180.55 \times 0.18 = 32.49 \text{ mm/min}$$

Temps de coupe :

$$L = l_u + l_{eng} + l_{deg} = 66 + 2 = 68 \text{ mm}$$

$$T_t = T_c = \frac{L}{A} = \frac{68}{32.49} = 2.09 \text{ min}$$

**Perçage :**

Choix de l'outil : foret Ø40 mm débauchant en ARS.

Choix de l'avance :  $f = 0.06 \text{ mm/tr}$

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

Calcul de nombre de tour N :

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi D} = \frac{1000 \times V_c}{3.14 \times 40} = 159.23 \text{ tr/min}$$

Nombre de tour corrigé :  $N = 160 \text{ tr/min}$ .

$$V_c = \frac{\pi \times D \times N}{1000} = \frac{3.14 \times 40 \times 160}{1000} = 20.09 \text{ m/min}$$

**Calcul de l'avance :**

$$A = N \times f = 160 \times 0.06 = 9.6 \text{ mm/min}$$

Temps de coupe

$$L = l_u + l_{eng} + l_{deg} = 140 + 2 = 142 \text{ mm}$$

$$T_t = T_c = \frac{L}{A} = \frac{142}{9.2} = 14.79 \text{ min}$$

**Alésage :**

Choix de l'outil : outil à Aléser carbure métallique

Choix de la profondeur de passe :  $a_p = 1.5\text{mm}$

Choix de l'avance d'après le tableau :  $f = 0.5 \text{ mm/tr}$

Choix de la vitesse de coupe d'après le tableau suivant :  $V_c = 18\text{m/min}$

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi D} = \frac{1000 \times 18}{3.14 \times 59} = 79.16 \text{ tr/min}$$

Nombre de tour corrigé :  $N = 100 \text{ tr/min}$ .

$$V_c = \frac{\pi \times D \times N}{1000} = \frac{3.14 \times 59 \times 100}{1000} = 18.52 \text{ m/min}$$

**Calcul de l'avance :**

$$A = N \times f = 100 \times 0.06 = 6 \text{ mm/min}$$

Temps de coupe :

$$L = l_u + l_{eng} + l_{deg} = 140 + 2 = 142 \text{ mm}$$

$$T_t = T_c = \frac{L}{A} = \frac{142}{6} = 23.66 \text{ min}$$

**Taillage :**

**Régime d'ébauche :**

-Choix de l'outil : Fraise mère  $\varnothing 105$ ,  $Z=11$ , angle de pression :  $20^\circ$  en carbure

-Choix de la profondeur de passe :

$$a_p = 5.5 \times m$$

$$a_p = 5.5 \times 5.75$$

$$a_p = 12.65 \text{ mm}$$

Choix de l'avance :

$fz = 0.15$  mm/tr pour l'ébauche

$fz = 0.05$  mm/tr pour la finition

Choix de la vitesse de coupe : d'après le tableau :  $Vc = 25$  m/min.

$$N = \frac{1000 \times Vc}{\pi D} = \frac{1000 \times 25}{3.14 \times 105} = 75.82 \text{ tr/min}$$

**Calcul de l'avance :**

$$A = N \times fz \times z = 75.82 \times 0.15 \times 11 = 125.10 \text{ mm/min}$$

Temps de coupe :

$$L = lu + leng + ldeg = 28 + 2 + 2 = 32 \text{ mm}$$

$$Tt = Tc = \frac{L}{A} = \frac{32}{125.10} = 0.25 \text{ min}$$

**Régime finition :**

Choix de la vitesse de coupe : d'après le tableau :  $Vc = 35$  m/min.

$$N = \frac{1000 \times Vc}{\pi d} = \frac{1000 \times 35}{3.14 \times 105} = 106.15 \text{ Tr/min}$$

**Calcul de l'avance :**

$$A = N \times fz \times z = 106.15 \times 0.05 \times 11 = 58.38 \text{ mm/min}$$

Temps de coupe :

$$L = lu + leng + ldeg = 28 + 2 + 2 = 32 \text{ mm}$$

$$Tt = Tc = \frac{L}{A} = \frac{32}{58.38} = 0.54 \text{ min}$$

**Rectification :**

Choix de la machine : Rectifieuse cylindrique externe.

Choix de l'outil : meule cylindrique Ø250mm, E= 30mm

Choix de l'avance :  $f = E/2 = 15$  mm/tr.

Choix de la profondeur de passe :  $ap = 0,05$  mm

Choix de la vitesse de coupe d'après le tableau :  $Vc \text{ meule} = 32 \text{ m/s} = 1920 \text{ m/min}$ .

Calcul du nombre de tour meule :

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

**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 du 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 :

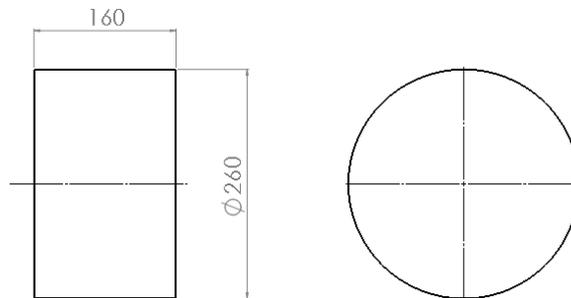
$$T_t = T_c = \frac{L}{A} = \frac{30}{26.53} = 1.13 \text{ min}$$

<b>Centre de phase N°10</b>	<b>ENSEMBLE</b> : Accouplement zapex -220-	DATE : 2022
	<b>Elément</b> : Moyeu	<b>1/1</b>
	<b>MATIERE</b> : 42 CD 4 Acier faiblement allié	
<b>NOM</b> : Ben maiche Khalil <b>NOM</b> : Feligha abdessalem	<b>PROGRAMME</b> : unitaire	

**DESIGNATION** : atelier de contrôle

**MACHINE** : poste de contrôle

N°	Mise en position désignation des opérations	Montage et outil de coupe	Paramètre de coupe				
			V <sub>C</sub>	f	a <sub>p</sub>	N	T <sub>t</sub>
1	Contrôle de La Pièce brute forgée	Pied à coulisse + règle	/	/	/	/	/



<b>V<sub>c</sub></b> : La vitesse de coupe en m\mn	<b>f</b> : L'avance en m\tr	<b>N</b> = La fréquence de rotation en tr\mm	<b>a<sub>p</sub></b> =la profondeur de passe en mm	<b>T<sub>t</sub></b> = le temps technologique en min
--	-----------------------------	--	--	--

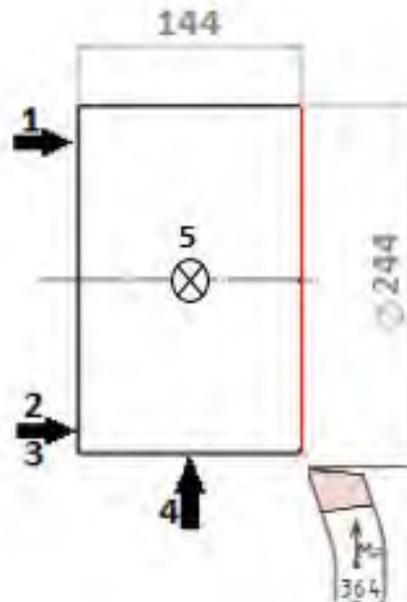
<b>Centre de phase N°20</b>	<b>ENSEMBLE</b> : Accouplement zapex -220-	DATE : 2022
	<b>Elément</b> : Moyeu	<b>1/2</b>
	<b>MATIERE</b> : 42 CD 4 Acier faiblement allié	
<b>NOM</b> : Ben maiche Khalil <b>NOM</b> : Feligha abdessalem	<b>PROGRAMME</b> : unitaire	

**DESIGNATION :**

Tournage (dressage)

**MACHINE** : Tour universel 16D20

N°	Mise en position et désignation des opérations	Montage et outil de coupe	Paramètre de coupe				
			Vc	f	ap	N	Tm mn
1	Dresser la face	Montage en l'air -outil à dresser en carbure	144.44	0.8	2	200	0.9



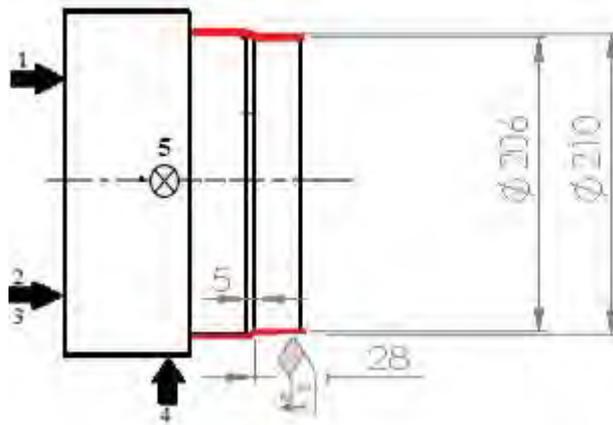
<b>Vc</b> : La vitesse de coupe en m\mn	<b>f</b> : L'avance en m\tr	<b>N</b> = La fréquence de rotation en tr\mm	<b>ap</b> =la profondeur de passe en mm	<b>Tt</b> = le temps technologique en min
---	-----------------------------	--	---	---

<b>Centre de phase N°21</b>	<b>ENSEMBLE</b> : Accouplement zapex -220-	DATE : 2022
	<b>Elément</b> : Moyeu	<b>1/3</b>
	<b>MATIERE</b> : 42 CD 4 Acier faiblement allié	
<b>NOM</b> : Ben maiche Khalil <b>NOM</b> : Feligha abdessalem	<b>PROGRAMME</b> : unitaire	

DESIGNATION : tournage (chariotage)

MACHINE : tour universel 16D20

N°	Mise en position et désignation des opérations	Montage et outil de coupe	Paramètre de coupe				
			V <sub>c</sub>	f	a <sub>p</sub>	N	T <sub>m</sub> mn
1	Charioter Ø210mm ; L=66mm  -Charioter Ø206 ; L=28mm avec chanfrein α = 21.80 ; L=5	Montage en l'air  -outil à charioter en carbure	144.44	0.8	1.5	200	0.42
			180.55	0.08	0.18	250	2.09



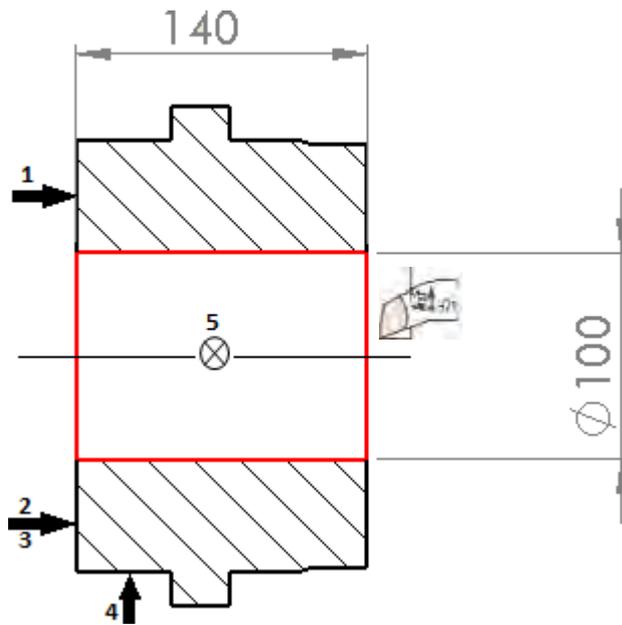
<b>V<sub>c</sub></b> : La vitesse de coupe en m\mn	<b>f</b> : L'avance en m\tr	<b>N</b> = La fréquence de rotation en tr\mm	<b>a<sub>p</sub></b> =la profondeur de passe en mm	<b>T<sub>t</sub></b> = le temps technologique en min
--	-----------------------------	--	--	--

<b>Centre de phase N°22</b>	<b>ENSEMBLE</b> : Accouplement zapex -220-	DATE : 2022
	<b>Elément</b> : Moyeu	<b>1/4</b>
	<b>MATIERE</b> : 42 CD 4 Acier faiblement allié	
<b>NOM</b> : Ben maiche Khalil <b>NOM</b> : Feligha abdessalem	<b>PROGRAMME</b> : unitaire	

**DESIGNATION** : tournage (alésage)

**MACHINE** : tour universel 16D20

N°	Mise en position et désignation des opérations	Montage et outil de coupe	Paramètre de coupe				
			V <sub>c</sub>	f	a <sub>p</sub>	N	T <sub>m</sub> mn
1	- Percer et aléser Ø 99.5 avec chanfrein 2×45	Montage en l'air Foret Ø40 en ARS + outil à aléser	20.09	0.06	40	160	14.79
			18.52	0.5	1.5	100	23.66



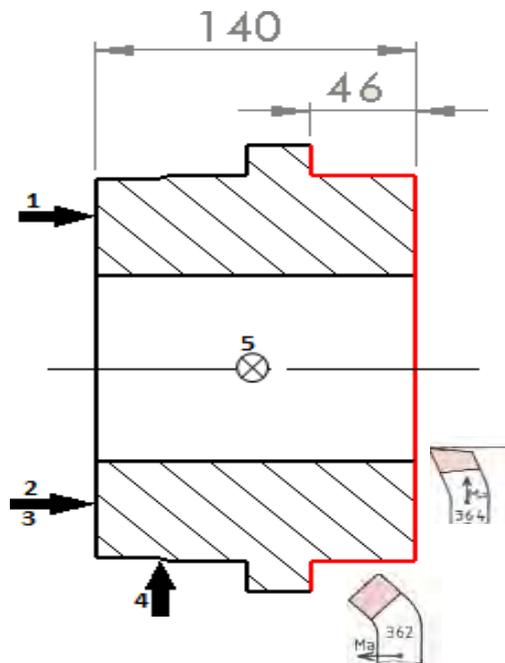
<b>V<sub>c</sub></b> : La vitesse de coupe en m\mn	<b>f</b> : L'avance en m\tr	<b>N</b> = La fréquence de rotation en tr\mm	<b>a<sub>p</sub></b> =la profondeur de passe en mm	<b>T<sub>t</sub></b> = le temps technologique en min
--	-----------------------------	--	--	--

<b>Centre de phase N°23</b>	<b>ENSEMBLE</b> : Accouplement zapex -220-	DATE : 2022
	<b>Elément</b> : Moyeu	<b>1/5</b>
	<b>MATIERE</b> : 42 CD 4 Acier faiblement allié	
<b>NOM</b> : Ben maiche Khalil <b>NOM</b> : Feligha abdessalem	<b>PROGRAMME</b> : unitaire	

**DESIGNATION** : tournage (chariotage +dressage)

**MACHINE** : tour universel 16D20

N°	Mise en position et désignation des opérations	Montage et outil de coupe	Paramètre de coupe				
			V <sub>c</sub>	f	a <sub>p</sub>	N	T <sub>m</sub> mn
1	* Mise longueur Ø210	Montage en l'air	144.44	0.8	2	200	0.9
	* Charioter Ø210 ; L=46+	-Outil à dresser en carbure	144.44	0.8	1.5	200	0.42
	avec chanfrein 6×15	-Outil à charioter en carbure	180.55	0.08	0.18	250	2.09



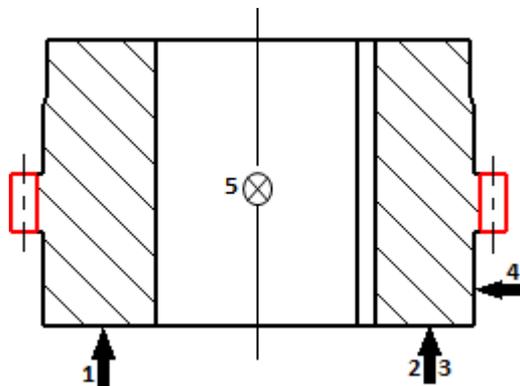
<b>V<sub>c</sub></b> : La vitesse de coupe en m\mn	<b>f</b> : L'avance en m\tr	<b>N</b> = La fréquence de rotation en tr\mn	<b>a<sub>p</sub></b> =la profondeur de passe en mm	<b>T<sub>t</sub></b> = le temps technologique en min
--	-----------------------------	--	--	--

<b>Centre de phase N°30</b>	<b>ENSEMBLE</b> : Accouplement zapex -220-	DATE : 2022
	<b>Elément</b> : Moyeu	<b>1/6</b>
	<b>MATIERE</b> : 42 CD 4 Acier faiblement allié	
<b>NOM</b> : Ben maiche Khalil <b>NOM</b> : Feligha abdessalem	<b>PROGRAMME</b> : unitaire	

**DESIGNATION** : taillage

**MACHINE** : tailleuse d'engrenages PE500

N°	Mise en position et désignation des opérations	Montage et outil de coupe	Paramètre de coupe				
			V <sub>C</sub>	f	a <sub>p</sub>	N	T <sub>m</sub> mn
1	-Taillage des dentures avec M=5,75 ; Z=40	Fraise mère Ø105 en carbure	25	0.15	12.65	75.82	0.25
			35	0.05	12.65	106.15	0.54



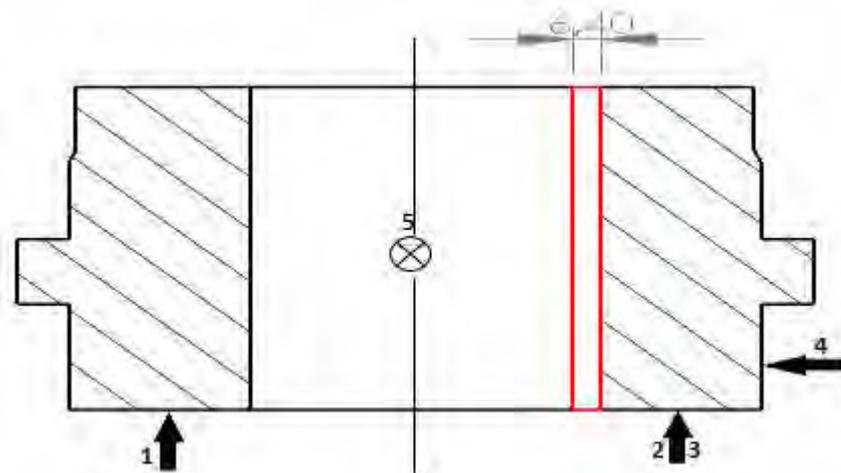
<b>V<sub>C</sub></b> : La vitesse de coupe en m\mn	<b>f</b> : L'avance en m\tr	<b>N</b> = La fréquence de rotation en tr\mm	<b>a<sub>p</sub></b> =la profondeur de passe en mm	<b>T<sub>t</sub></b> = le temps technologique en min
--	-----------------------------	--	--	--

<b>Centre de phase N°40</b>	<b>ENSEMBLE</b> : Accouplement zapex -220-	DATE : 2022
	<b>Elément</b> : Moyeu	<b>1/7</b>
	<b>MATIERE</b> : 42 CD 4 Acier faiblement allié	
<b>NOM</b> : Ben maiche Khalil <b>NOM</b> : Feligha abdessalem	<b>PROGRAMME</b> : unitaire	

**DESIGNATION** : mortaisage

**MACHINE** : mortaiseuse

N°	Mise en position et désignation des opérations	Montage et outil de coupe	Paramètre de coupe				
			V <sub>c</sub>	f	a <sub>p</sub>	N	T <sub>t</sub>
1	- Réaliser les rainures de clavette	Montage en l'air -outil de forme	120	/	0.025	/	/



<b>V<sub>c</sub></b> : La vitesse de coupe en m\mn	<b>f</b> : L'avance en m\tr	<b>N</b> = La fréquence de rotation en tr\mm	<b>a<sub>p</sub></b> =la profondeur de passe en mm	<b>T<sub>t</sub></b> = le temps technologique en min
--	-----------------------------	--	--	--

Tableau des conditions de coupe en taraudage pour différents nuances :

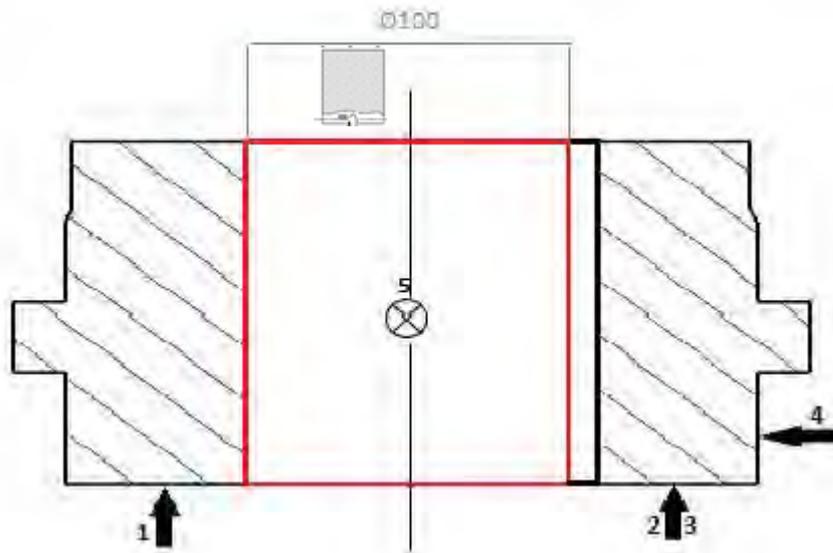
<b>Centre de phase N°50</b>		<b>ENSEMBLE</b> : Accouplement zapex -220-		DATE : 2022			
		<b>Elément</b> : Moyeu		<b>1/8</b>			
		<b>MATIERE</b> : 42 CD 4 Acier faiblement allié					
<b>NOM</b> : Ben maiche Khalil <b>NOM</b> : Feligha abdessalem		<b>PROGRAMME</b> : unitaire					
<b>DESIGNATION</b> : traitement thermique							
<b>MACHINE</b> : trempe superficielle							
N°	Mise en position et désignation des opérations	Montage et outil de coupe	Paramètre de coupe				
			V <sub>C</sub>	f	a <sub>p</sub>	N	T <sub>t</sub>
1	Réaliser le traitement superficiel la dureté 45à50 HRS Trempe + revenu à 500 °C	/	/	/	/	/	/
<p>The diagram shows a temperature-time profile for the heat treatment. The vertical axis is labeled Tc° and has markers at 500° and 640°. The horizontal axis is labeled t. The process starts with heating to 640°C, followed by a horizontal segment labeled 'Trempe' at 640°C. A duration of '1h.30' is marked below the heating ramp. After the quenching hold, the temperature drops to 500°C, followed by a horizontal segment labeled 'Revenu' at 500°C. The process ends with a cooling ramp labeled 'Refroidissement à l'air'.</p>							
<b>V<sub>C</sub></b> : La vitesse de coupe en m\mn	<b>f</b> : L'avance en m\tr	<b>N</b> = La fréquence de rotation en tr\mm	<b>a<sub>p</sub></b> =la profondeur de passe en mm	<b>T<sub>t</sub></b> = le temps technologique en min			

<b>Centre de phase N°60</b>	<b>ENSEMBLE</b> : Accouplement zapex -220-	DATE : 2022
	<b>Elément</b> : Moyeu	<b>1/9</b>
	<b>MATIERE</b> : 42 CD 4 Acier faiblement allié	
<b>NOM</b> : Ben maiche Khalil <b>NOM</b> : Feligha abdessalem	<b>PROGRAMME</b> : unitaire	

**DESIGNATION** : rectification

**MACHINE** : rectifieuse

N°	Mise en position et désignation des opérations	Montage et outil de coupe	Paramètre de coupe				
			Vc	f	ap	N	Tm mn
1	Rectification des diamètres Ø241.5h8 ; Ø100H7	Meule cylindrique	25	15	0.05	265.39	1.13



<b>Vc</b> : La vitesse de coupe en m\mn	<b>f</b> : L'avance en m\tr	<b>N</b> = La fréquence de rotation en tr\mm	<b>ap</b> =la profondeur de passe en mm	<b>Tt</b> = le temps technologique en min
---	-----------------------------	--	---	---

## Conclusion générale

Notre stage pratique au niveau de l'unité de production des tubes Aciers sans soudures du complexe d'El Hadjar, nous a permis de mettre en évidence nos connaissances acquises à l'université.

Tout d'abord, on a été amené à faire un constat et une étude du processus de fabrication des tubes au niveau de l'unité. Et cela afin de répondre au souci d'obtenir une performance accrue dans l'opération de perçage-laminage de tubes sans soudure, avec l'optimisation des cadences de travail et sur la tenue des outillages et la qualité des produits obtenus,

Ce projet s'est révélé très enrichissant dans la mesure où il a consisté en une approche concrète de notre spécialité en fabrication mécanique. Il nous a permis d'appliquer nos connaissances acquises lors de notre formation à l'université. Cependant, on a pu mettre en évidence nos compétences concernant l'étude de l'accouplement Zapex 220 ; ainsi que l'usinage du moyeu qui s'appuient sur le bon choix des outils ainsi que les paramètres de coupe.

Nous avons discuté la complexité des phénomènes qui régissent un processus d'usinage en fabrication mécanique qui fait intervenir un champ de connaissances pluridisciplinaire pour circonscrire la prédiction de la qualité d'une opération de coupe et l'élaboration de la gamme d'usinage. Par conséquent, la gestion optimale d'un processus d'usinage nécessite l'usage d'outils adaptés et fiables.

Notre spécialité nécessite un savoir-faire important. La formation théorique est sûrement bien enseignée, mais c'est avec la pratique que la spécialité est réellement maîtrisée.

## Références bibliographiques

- [1] : M. Tchadja Kagnaya, contribution à l'identification des mécanismes usure d'un WC-6%Co en usinage et par une approche tribologique et Thèse de doctorat de l'école nationale supérieure des mines de paris.
- [2] : Bougheloum Oussama, Étude et contribution à l'élaboration d'une gamme de fabrication (d'un moyeu / Frette) d'un accouplement Zapex 220, mémoire Master Université Badji Mokhtar Annaba, Dpt Génie Mécanique, 2019/2020.
- [3] : René Kamguem, inspection automatique et sans contact de la rugosité des pièces usinées. Thèse par articles présentée à l'école de technologie supérieure université de québec.
- [4] : Sider.AMPTA, «ArcelorMittal pipes & tubes Algeria».
- [5] : Marc Legrand. Analyse du procédé de perçage-laminage de tubes sans soudure. Mécanique [physics.med-ph]. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 1988.
- [6] : D. Veeramani, Y. Gau, « Technologie de la Machine-outil », éd. CIP Tram élan, 1997.
- [7] : makerslide-machine.com
- [8] : A. Belloufi, « Cours Procédés de Fabrication », Master Maintenance Industrielle, Université Kasdi Merbah Ouargla.2010.
- [9] : A. Touine, « Usinage », INSA de LYON, Groupe conception - productique, 2007.
- [10] : Rocardier, « Cours sur le Tournage - Usinage Cours Technologie », 2011.
- [11] : DOREMUS E. ,LEGRAND M. ,GELIN J.C. ,1987,Modélisation de l'écoulement du laminoir-perceur de St Saulve,rapport interne,Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis.
- [12] : Alexandre Toumine, « Cours D'Usinage », Groupe Conception Production, INSA de Lyon, France.
- [13] : Alain Passeron, « Tournage », Techniques de L'Ingénieur, BM7086, 1997.
- [14] : M. Rahou, F. Sebaa, Automatisation des Instruction d'Usinage Cas Paramètres de Coupe, Mémoire de Master Université, Abou Baker Belkaid, Tlemcen, 2007
- [15]: J.P. Corde bois, Coll, Fabrication Par Usinage, DUNOD, Paris 2003.
- [16]: « Cours de Fabrication », Génie Mécanique, 2005
- [17] : Fabrication Mécanique - Cours gratuit de génie mécanique.  
<https://fabrication1.blogspot.com/2013/05/generalite-sur-lusinage.html>
- [18] : université lille1 – préparation de production en productique mécanique- étude de fabrication et Analyse d'usinage («3pm-EFAU) F2\_Les\_usinages pdf
- [19] : Gearing basics, Power transmission Design, July 1994 p.p 49-53

[20] : V. Dobrovolski et co-auteur, Eléments de machines : Automatisation du calcul des dents d'engrenage dans une transmission composée, Edition Mir, 1974

[21] : R. LEBORZEC, Etude générale de l'engrenage, (polycopie de cours), ENSAM, 1989, Lille, France.

[22] : SASSOULAS (H.). – Guide de choix des traitements thermiques des aciers inoxydables. M 1 160, traité Matériaux métalliques (1997).

[23] : Accouplements à denture, ZAPEX®-ZW, Revue FLENDER .

## Annexe

**Tableau des conditions de coupe en tournage pour différents nuances :**

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							

**Tableau des conditions de coupe en fraisage pour différents nuances :**

Nuance ISO	Matériaux à usiner	Fraisage				Fraisage filetage
		Acier Rapide		Carbure		Carbure
	Avance f en mm/dent/tour	0.03 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	140	120	150
	Acier Faiblement Allié	30	25	100	80	130
	Acier Fortement Allié	20	15	80	70	100
	Acier Moulé Faiblement Allié	25	20	90	80	120
M	Acier inoxydable	20	15	100	90	150
K	Fonte lamellaire (EN-GJL...)	35	30	100	90	120
	Fonte Modulaire (EN-GJM...)	30	25	80	70	100
	Fonte Sphéroïdale (EN-GJS...)	40	35	100	90	120
K-N	Alliages d'aluminium de faible dureté sans silicium (AW 2030 ...)	250	200	500	400	300
	Alliages d'aluminium durs sans silicium ou %Si moyen (AW2017, AW 6060 ...)	120	80	300	200	250
	Alliages d'aluminium à haute teneur en silicium > 12%	80	40	120	80	100
Vitesse de coupe Vc en m/min						

Tableau des conditions de coupe en perçage pour différents nuances :

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				

Tableau des conditions de coupe en alésage pour différents nuances :

Nuance ISO	Matériaux à usiner	Alésage		
		Acier Rapide	Acier Rapide Revêtu	Carbure
P	Acier Non Allié	12	14	21
	Acier Faiblement Allié	9	12	18
	Acier Fortement Allié	6	11	12
	Acier Moulé Faiblement Allié	5	9	21
M	Acier inoxydable	4	6	12
K	Fonte lamellaire (EN-GJL...)	8	15	24
	Fonte Modulaire (EN-GJM...)	5	9	24
	Fonte Sphéroïdale (EN-GJS...)	8	15	24
K-N	Alliages d'aluminium de faible dureté sans silicium (AW 2030 ...)	18	27	30
	Alliages d'aluminium durs sans silicium ou %Si moyen (AW2017, AW 6060 ...)	18	27	30
	Alliages d'aluminium à haute teneur en silicium > 12%	12	18	30
Vitesse de coupe Vc en m/min				

Tableau des conditions de coupe en taraudage pour différents nuances :

Nuance ISO	Matériaux à usiner	Taraudage
		Acier Rapide
P	Acier Non Allié	13
	Acier Faiblement Allié	10
	Acier Fortement Allié	5
	Acier Moulé Faiblement Allié	7
M	Acier inoxydable	5
K	Fonte lamellaire (EN-GJL...)	10
	Fonte Modulaire (EN-GJM...)	8
	Fonte Sphéroïdales (EN-GJS...)	12
K-N	Alliages d'aluminium de faible dureté sans silicium (AW 2030 ...)	18
	Alliages d'aluminium durs sans silicium ou %Si moyen (AW2017, AW 6060 ...)	13
	Alliages d'aluminium à haute teneur en silicium > 12%	10
		Vitesse de coupe Vc en m/min