



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



جامعة باجي مختار - عنابة -

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR –ANNABA-  
BADJI MOKHTAR –ANNABA- UNIVERSITY

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT  
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

## MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de master  
INTITULE

### Contribution à l'amélioration de gamme de fabrication Du moyeu de roue bétonnière

**DOMAINE : SCIENCES ET TECHNIQUES**

**FILIERE : GENIE MECANIQUE**

**SPECIALITE : FABRICATION MECANIQUE ET  
PRODUCTIQUE**

**DIRECTEUR DU MEMOIRE : Prof. BOULANOUR LAKHDAR**

**PRESENTE PAR : BOUTABA LAKHADR**

#### JURY DE SOUTENANCE :

**PRESIDENT :** Dr. BENCHIHEUB S.

**EXAMINATEURS :** Pr. AMIRAT A.

Dr. BENGHERSALLAH M

**Année universitaire : 2017/2018**

## ***Remerciements***

***Tout d'abord, je remercie Dieu, notre créateur de m'avoir donné la force pour accomplir ce travail.***

***Mon remerciement est adressé en premier à mon encadreur Mr : lakhdar boulanouar pour ses conseils et ses directives.***

***A tous les enseignant et enseignantes qui ont contribué ma formation tout eu long de mon cursus***

***Je remercie aussi tout ce qui ont participé de pré au de loin à l'aboutissement de ce travail à commencer par mes parents.***

***Je remercie également mes camarades étudiants de la promotion et je leurs souhaite le bon courage pour qu'il puisse finir leurs études.***

# ***DEDICACES***

 *Je dédié cette mémoire à....* 

*A ma très chère mère. Aoufi haddi*

*A mon très cher père. Boudjemaa boutaba*

*A notre encadreur Mr : lakhdar boulanouar*

*A tous ceux que nous aimons et qui nous aiment*

*A tous les membres de ma famille, petits et grands*

*A tous nos camarades des groupes*

*Boutaba Lakhdar*

## NOMENCLATURE

$\alpha$  : angle de dépouille

$\beta$  : angle de taillant

$\gamma$  : angle de coupe

CVD : chimique vapeur dépôt

CNC : commande numérique calculé

$h_1, h_2$  : hauteur maximale

$d$  : distance

$V_c$  : vitesse de coupe

$D$  : diamètre

$N$  : vitesse rotation

$V_f$  : vitesse d'avance

$a$  : profondeur

## **Liste des tableaux**

<b>Tableau 1 .....</b>	<b>52</b>
<b>Tableau 2 .....</b>	<b>55</b>
<b>Tableau 3.....</b>	<b>55</b>
<b>Tableau 4.....</b>	<b>56</b>
<b>Tableau 5.....</b>	<b>56</b>
<b>Tableau 6.....</b>	<b>57</b>
<b>Tableau 7.....</b>	<b>57</b>

## Sommaire :

	Page
<b>I. INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>6</b>
<u>Chapitre 1</u>	
<b>II. Notion de forgeage .....</b>	<b>8</b>
1.Principe .....	8
2.Matériaux .....	8
3.Procédés .....	8
4.Avantages du forgeage .....	11
5.Caractéristique de forme des pièces forgées et contraintes d’usinage.....	11
6.Structure d’un produit forgé .....	12
<b>III. Généralité sur L’usinage .....</b>	<b>13</b>
1.Le But de L’usinage .....	13
2.Phénomène de coupe .....	14
• 2.1Opération d’usinage .....	14
3.Tournage.....	14
• 3.1 Introduction .....	14
• 3.2 Procédé de tournage .....	15
• 3.3 Surfaces de la pièce .....	16
3.4 Les tours .....	17
4.Classification des machines de tournage .....	17
• 4.1Les tours parallèles à charioter et à fileter.....	17
• 4.2 Les tours semi-automatiques.....	17
• 4.3 Les tours automatiques .....	18
• 4.4 Les tours automatiques multibroches.....	18
• 4.5 Les tours à commande numérique.....	18
<b>IV. CNC, Généralités .....</b>	<b>19</b>
1. Qu’est-ce que le CNC ?.....	19
2. Les avantages et les désavantages de la production CNC :.....	19
3. Les systèmes de coordonnées .....	20
• 3.1 Les axes de coordonnées sur un tour.....	20
4. La préparation du travail.....	22

•	4.1 L'équipement et le référencement des outils.....	22
•	4.2 La position du point du tranchant .....	22
	5. Les points de référence .....	22
•	5.1 Le point d'origine de la machine M .....	23
•	5.2 Le point zéro de la pièce W .....	23
•	5.3 La position initiale de référence de la machine R.....	23
•	5.4 Le point de référence de l'outil T .....	24
	6. Les bases de la programmation .....	24
	7. La structure des programmes.....	24
<b>V.</b>	<b>Travaux de perçage, alésage .....</b>	<b>24</b>
1.	Introduction.....	24
2.	Les perceuses .....	25
•	2.1 Les perceuses sensibles.....	25
•	2.2 Les perceuses à montant .....	26
<b>VI.</b>	<b>Généralités Sur La Coupe Des Métaux.....</b>	<b>28</b>
1.	La définition de la coupe .....	28
2.	Régimes de coupe .....	28
•	2.1 Ebauche.. .....	28
•	2.2 Finition.. .....	28
3.	Support et entraînement des pièces sur un tour .....	28
•	3.1 Montage en l'air .....	28
•	3.2 Montage mixte.....	28
•	3.3 Montage entre-pointes .....	29
4.	Conditions de coupe .....	29
•	4.1 Vitesse de coupe V.....	29
•	4.2 Vitesse d'avance Vf et avance par tour f .....	31
•	4.3 Profondeur de passe « a » .....	32
5.	Paramètres géométriques de coupe.....	32
6.	Éléments d'outil.....	33
7.	Faces et arêtes de l'outil .....	34
8.	Angles de l'outil .....	35
9.	Les outils de Coupe .....	37
•	9.1 Les carbures métalliques frittés.....	37

9.2 Fabrication des carbures .....	41
9.3 Carbure revêtu CVD.....	42
9.3.1 Caractéristiques.....	42

## Chapitre 2

<b>VII. Introduction.....</b>	<b>42</b>
<b>VIII. Présentation de l'entreprise :.....</b>	<b>42</b>
1. Création : .....	42
2. Plan de situation : .....	44
3. Produits commercialisent : .....	44
<b>IX. Données de départ de l'entreprise.....</b>	<b>45</b>
1. Routage d'usinage : .....	46
2. Mode d'obtention de l'ébauche : .....	47
2.1. Matière première de la pièce : .....	47
2.2. Matériel utilisé :.....	47
2.3. Gamme de forgeage :.....	48
2.4. Régime de coupe d'entreprise : .....	54
<b>X. Contribution pour l'amélioration de la Game d'usinage du moye.....</b>	<b>53</b>
1. La méthode proposée pour fabrication de la pièce .....	54
1.1. Introduction.....	54
1.2. Dessin définition améliore. ....	54
2. Définition de la pièce.....	55
3. Choix régime de coupe : .....	55
• Matière de la pièce usinée : .....	55
• Composition chimique :.....	55
• Domaines d'application .....	56
4. conditions des coupes .....	57
5. Lubrification : .....	57
6. Machine utilise : .....	58
7. Routage d'usinage de la pièce.....	59
8. Contrat phase .....	60
9. Conclusion.....	65



## Liste des figures :

### Chapitre 1

Figure 1.....	9
Figure 2.....	10
Figure 3.....	11
Figure 4.....	12
Figure 5.....	12
Figure 6.....	13
Figure 7.....	17
Figure 8.....	17
Figure 9.....	18
Figure 10.....	18
Figure 11.....	21
Figure 12.....	21
Figure 13.....	22
Figure 14.....	23
Figure 15.....	25
Figure 16.....	26
Figure 17.....	26
Figure 18.....	26
Figure 19.....	27
Figure 20.....	28
Figure 21.....	28
Figure 22.....	28
Figure 23.....	29
Figure 24.....	29
Figure 25.....	30

Figure 26.....	31
Figure 27.....	31
Figure 28.....	32
Figure 29.....	33
Figure 30.....	34
Figure 31.....	34
Figure 32.....	36
Figure 33.....	36
Figure 34.....	39

## Chapitre 2

Figure 1.....	41
Figure 2.....	42
Figure 3.....	43
Figure 4.....	45
Figure 5.....	46
Figure 6.....	46
Figure 7.....	47
Figure 8.....	47
Figure 9.....	48
Figure 10.....	48
Figure 11.....	48
Figure 12.....	51
Figure 13.....	51
Figure 14.....	51
Figure 15.....	52
Figure 16.....	56
Figure 17.....	60

## **I. INTRODUCTION GENERALE**

La préparation du mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master académique en technologies de production mécanique est une phase importante de la vie de l'étudiant. Le caractère expérimental de ces études implique automatiquement une implication directe des entreprises industrielles pour répondre à un besoin important en personnels techniques pour résoudre des problèmes d'ingénierie spécifique à l'entreprise.

Donc le choix du sujet doit se baser sur un critère professionnalisant mettant en œuvre les connaissances théoriques et pratiques acquises le cursus universitaire (graduation et post-graduation). Le choix du thème doit avoir aussi un caractère professionnalisant et il doit être dérivé d'un cas réel de l'industrie dans lequel l'étudiant prend en charge un problème donné pour le traiter scientifiquement. A cet effet le sujet de notre mémoire a été choisi parmi un cas réel au niveau de l'entreprise ' Ferroviaire Annaba'. Durant ce stage de fin d'études, j'ai pu choisir une pièce dénommée « Moyeu de bétonnière », qui était dans le procès de fabrication, ce qui m'a permis de suivre en grande partie son processus de fabrication du mode d'obtention de l'ébauche jusqu'à la pièce finie.

# **Chapitre 1**

## **Etude Bibliographique**

## II. Notions sur le forgeage [1]

### 1. Principe

Le forgeage recouvre l'ensemble des opérations et des moyens qui permettent de produire des pièces en exploitant la déformation plastique du métal, soit à chaud, soit à froid.

Le morceau de métal appelé « lopin » de volume calculé, est façonné par chocs ou par pression.

Selon les outillages employés, nous distinguerons :

- **Le forgeage manuel** destiné à la réalisation de pièces unitaires.

Les outils employés sont : l'enclume, les étampes et l'outillage de frappe à main ;

- **Le matriçage** ou les deux matrices supérieures et inférieures sont liées entre elles. Une seule translation est permise. La mise en forme du métal est réalisée par chocs (moutons et pilons) [Réservé aux petites séries]
- **L'estompage** ou chacune des empreintes est liée à la machine, la matrice inférieure liée à la chabotte, la matrice supérieure liée à la masse frappante. La mise en position d'une matrice par rapport à l'autre se fait indirectement par le coulisseau. (Réservé aux travaux de grande série).

### 2. Matériaux

Tous les métaux présentant une certaine malléabilité du métal, le volume et la complexité de la pièce à obtenir, le travail est réalisé à chaud ou à froid.

### 3. Procédés

**Le forgeage manuel** (*fig.1*)



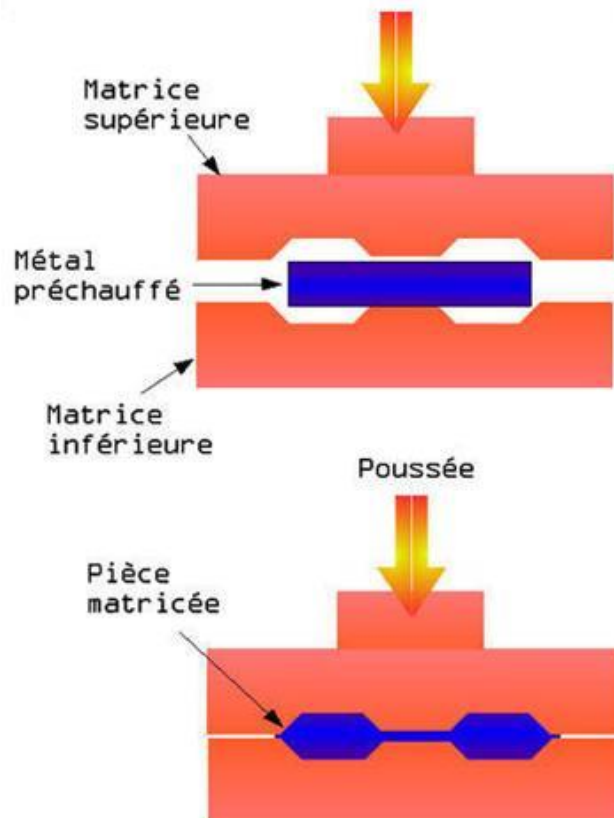
**Figure1** : Gamme de forgeage d'un vilebrequin.

Il permet de transformer par déformations successives le lopin pour obtenir la forme désirée.

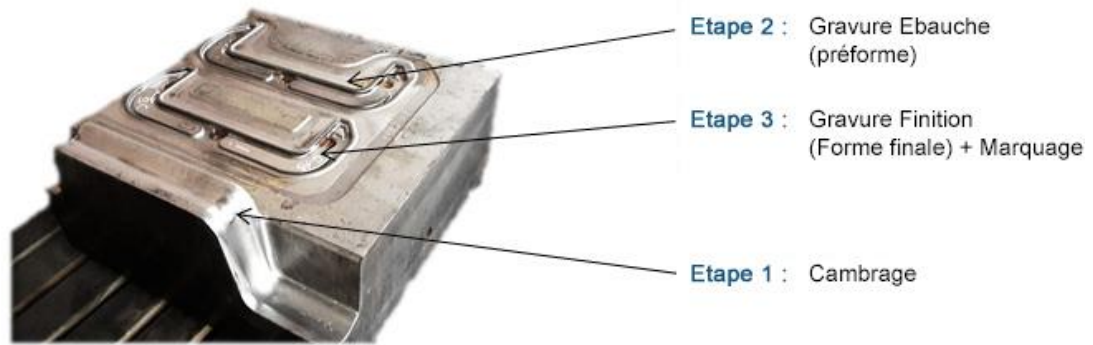
La déformation du métal est obtenue par frappe au marteau, au marteau pilon, à la presse. La précision géométrique et dimensionnelle du produit fabriqué dépend de l'habileté de l'opérateur.

### **Matriçage et estompage**

Employé pour les fabrications de série, le lopin de départ est comprimé entre deux matrices de manière à remplir les empreintes (appelées gravures). Suivant la complexité de la pièce, la déformation est réalisée en une ou plusieurs passes (*fig.2a et 2b*)



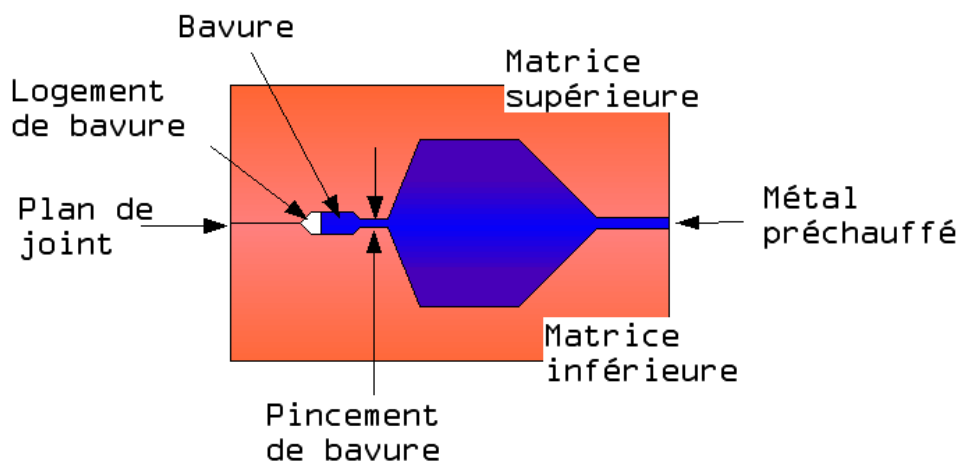
**Figure 2 a.** Matriçage en une passe



**Figure 2 b.** Estompage d'un levier par 2 pièces attenantes

Pour garantir un remplissage complet des gravures, un excédent de métal est prévu. Le surplus de métal s'écoule sous forme de bavure entre les deux matrices. Un cordon de bavure permet de régler l'écoulement du métal (*fig. 3*).

La mise en forme est réalisée essentiellement sur les machines travaillant par chocs, marteaux pilons verticales, machines à forger horizontales.



**Figure 3.** Mise en forme par déformation plastique

#### 4. Avantages du forgeage

##### ❖ Augmentation des caractéristiques mécaniques

L'action de forgeage poursuit l'action de pétrissage du métal commencé lors du laminage de telle sorte que les défauts internes du métal sont résorbés. Le fluage du métal est canalisé par les gravures et donne naissance à un fibrage orienté (*fig. 4*)

## Fibrage



**Figure 4.** Exemple de fibrage obtenu sur un corps de bielle.

L'augmentation des caractéristiques conduit à un allègement de la pièce.

### ❖ Economie de métal

Elle peut atteindre 34 à 42 % du volume nécessaire pour sortir la pièce de la masse.

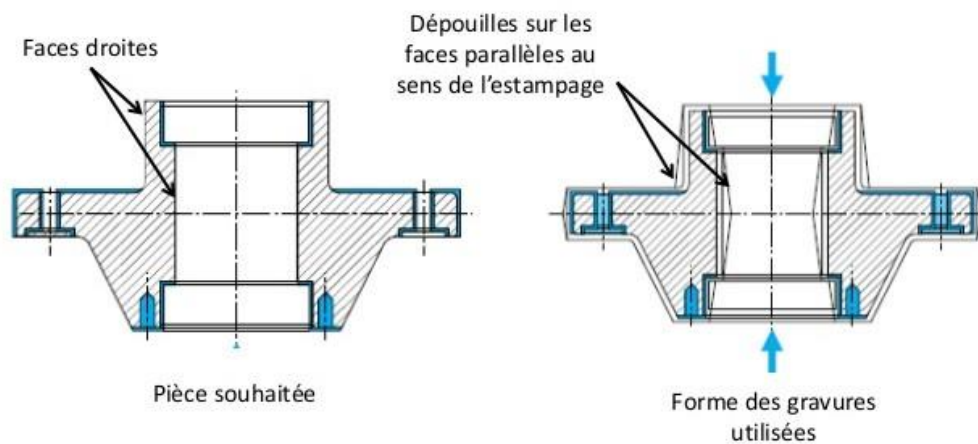
### ❖ Réduction des frais d'usinage.

Le volume de copeaux à enlever est limité aux seules surfaces fonctionnelles

## 5. Caractéristiques de forme des pièces forgées et contraintes d'usinage

- ❖ **Les dépuilles** (fig. 5). Elles sont plus élevées qu'en moulage. Elles posent des problèmes de préhension et nécessitent en tournage la création des mors spéciaux.

### Conception des pièces matricées (ou estampées)



**Figure 5 : Forme des pièces matricées (dépuille).**



- ❖ **Le plan de joint nécessaire** à l'ouverture des matrices et l'écoulement du métal excédentaire conduit à :
  1. Des dépôts entre les parties supérieures et inférieures du produit obtenu.
  2. Un liseret sur tout le pourtour de la pièce après découpage de la bavure.
  
- ❖ **Les déformations longitudinales** dues soit à l'ouverture ou à une mauvaise position lors du refroidissement. Si la flèche  $f$  est trop grande, la pièce doit être redressée avant de commencer l'usinage.

Toutes ces déformations sont tolérées et seules les pièces dont les défauts sont compris dans les tolérances sont transmises à l'usinage (NF E 82 002).

Avant usinage les pièces forgées doivent subir un recuit de stabilisation.

### **6. Structure d'un produit forgé**(fig.6)

Au cours du forgeage, l'action de pétrissage du métal commencé au moment du laminage est renforcée. On obtient des produits avec des fibres bien alignées qui augmentent considérablement les caractéristiques mécaniques du métal de base.



**Figure 6.** Structure d'une pièce forgée.

### **III. Généralités sur L'usinage**

L'usinage est une famille de technique de fabrication de pièces mécaniques. Le principe de l'usinage est d'enlever de la matière de façon à donner à la pièce brute la forme et les dimensions voulues, l'usinage nécessite un MODOP (Machine-Outil-Dispositif-Outil- Pièce). Par cette technique, on obtient des pièces d'une grande précision.

Lors de l'usinage d'une pièce, l'enlèvement de matière est réalisé par la conjonction de deux mouvements relatifs entre la pièce et l'outil : le mouvement de coupe (vitesse de coupe) et le mouvement d'avance (vitesse d'avance).

Il existe deux manières de générer la surface recherchée : par travail de forme ou par travail d'enveloppe. Dans le cas du travail de forme c'est la forme de l'arête tranchante de l'outil qui conditionne la surface obtenue. Dans le cas du travail d'enveloppe, c'est la conjonction des mouvements de coupe et d'avance qui définit la surface finale.

Les procédés d'usinage sont extrêmement variés. On distingue assez souvent les procédés d'usinage mécanique dits traditionnels des procédés d'usinage non traditionnels : ces derniers désignent les procédés apparus après 1945 en grande partie dans le but d'usiner des matériaux se prêtant difficilement aux techniques d'usinage classique.

De nos jours, des machines-outils à commande numérique (MOCN), c'est-à-dire asservies par un système informatique (FAO), permettant d'automatiser partiellement ou totalement la procédure.

#### **1. Le But de L'usinage**

L'usinage entre dans la gamme de fabrication d'une pièce mécanique. Elle est définie par un plan portant une cotation exhaustive. Celle-ci a pour but de définir les dimensions de la pièce finie, la précision, la géométrie ainsi que l'état de surface de l'ensemble des surfaces qui constituent la pièce usinée. À chaque phase de la gamme de fabrication, le concepteur et/ou l'usineur choisissent le type d'usinage à réaliser, la machine, l'outil ainsi que le support de pièce permettant l'obtention de tous les éléments de cotation de la surface considérée. D'une manière générale, les formes des surfaces usinées peuvent être planes ou de révolution. Les principaux usinages sont le fraisage (surfaces planes) et le tournage (surfaces de révolution). Avec l'apparition de la commande numérique, il est désormais possible d'usiner une multitude de surfaces courbes. Toutefois, il convient de noter que les outils utilisés sont

sensiblement les mêmes que pour les machines traditionnelles et que leurs trajectoires sont constituées de segment de droites et d'arcs de cercles.

L'usinage a un cout : temps de travail, surépaisseur de matière à enlever, usure de la machine-outil, consommables (outil, lubrifiant, courant électrique), stockage. On ne pratique donc que les usinages nécessaires.

On distingue seize fonctions principales qui peuvent remplir la surface d'une pièce. Elles font partie de la cotation d'état de surface :

- ❖ Surface de contact avec une autre pièce
- ❖ Frottement de glissement lubrifié (FG)
- ❖ Frottement à sec (FS)
- ❖ Frottement de roulement (FR)
- ❖ Frottement de fluide (FF)
- ❖ Résistance au montage (RM)
- ❖ Etanchéité dynamique avec et sans joint (ED)
- ❖ Etanchéité statique avec et sans joint (ES)
- ❖ Ajustement fixé avec contrainte (AC)
- ❖ Adhérence, collage (AD)
- ❖ Surface libre, indépendante
- ❖ Face de coupe d'un outil (OC)
- ❖ Résistance aux efforts alternes (EA)
- ❖ Résistance à la corrosion (RC)
- ❖ Destinée à recevoir un revêtement, peinture (RE)
- ❖ Destinée à recevoir un dépôt électrolytique (DE)
- ❖ Mesure (ME)
- ❖ Aspect (AS)

Ces fonctions vont définir :

- ❖ Les dimensions finales de la pièce avec les tolérances
- ❖ La cotation de forme et la géométrie des surfaces usinées
- ❖ L'état de surface requis (rugosité).

C'est l'ensemble de ces éléments de cotation qui va déterminer le type d'usinage à effectuer, ses paramètres, la finition nécessaire, le contrôle à effectuer.

## **2. Phénomène de coupe**

### **2.1 Opérations d'usinage**

L'usinage est un moyen de techniques de fabrication des pièces mécaniques. Le principe d'usinage est l'enlèvement de la matière à donner à la pièce brute une forme précise selon le dessin de définition, à l'aide d'un outil de coupe (usinabilité).

Cette technique, nous permet d'obtenir des pièces avec précision. Lors de l'usinage d'une pièce, l'enlèvement de matière est réalisé par la composition de deux mouvements relatifs entre la pièce et l'outil. Le mouvement de coupe (vitesse de coupe  $V_c$ ) et le mouvement d'avance (vitesse d'avance  $V_a$ ).

## **3. Tournage**

### **Généralités sur le Tournage**

#### **3.1. Introduction**

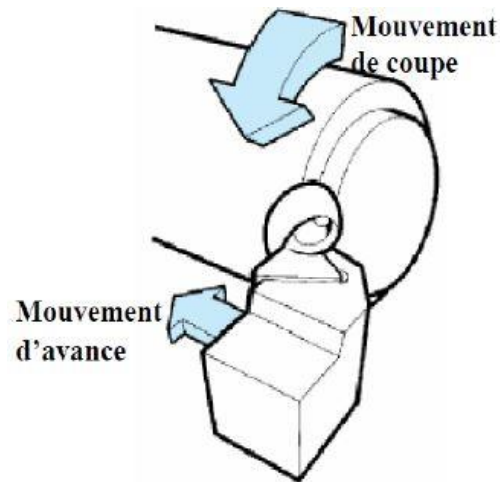
L'usinage est un procédé de fabrication qui consiste à réduire progressivement les dimensions de la pièce par enlèvement de la matière à froid et sans déformation en utilisant un outil de coupe. La quantité de matière enlevée est dite copeau et l'instrument avec lequel est enlevée la matière est appelé outil de coupe. L'opérateur utilise des machines dites machines-outils pour réaliser l'usinage d'une pièce.

Le tournage est l'un des procédés d'usinage. Il occupe une très importante place dans la fabrication mécanique à cause de sa simplicité et la possibilité de produire un grand nombre de formes géométriques [2].

Dans ce chapitre nous présentons les généralités sur le tournage, qui contient des définitions, les conditions de coupe et la géométrie d'outil en plus les paramètres technico-économiques de production.

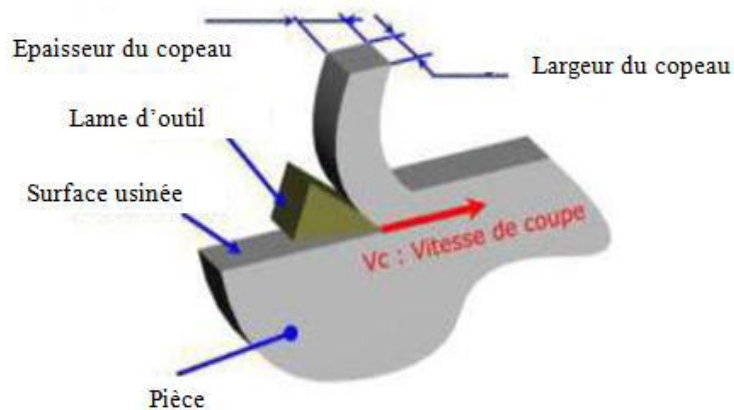
#### **1.2 Procédé de tournage**

Le tournage est un procédé de fabrication mécanique par coupe (enlèvement de matière) mettant en jeu des outils à arête unique. La pièce est animée d'un mouvement de rotation (mouvement de coupe), qui est le mouvement principal du procédé, l'outil est animé d'un mouvement complémentaire de translation (rectiligne ou non) appelé mouvement d'avance, permettant de définir le profil de la pièce [3]. La combinaison de ces deux mouvements, ainsi que la forme de la partie active de l'outil, permettent d'obtenir des usinages de formes de révolution (cylindres, plans, cônes ou formes de révolution complexes) [3].



**Figure 7.** Mouvements de coupe et d'avance en tournage [3].

Dans son mouvement, la pointe de l'outil décrit une ligne appelée génératrice qui transforme la pièce en un solide de révolution, en faisant varier le déplacement de l'outil (mouvement radial) il sera possible d'obtenir tous les solides de révolution de plusieurs forme (cylindre, cône, sphère, etc.). Le tournage permet également le façonnage des formes intérieures par perçage, alésage, taraudage [4].



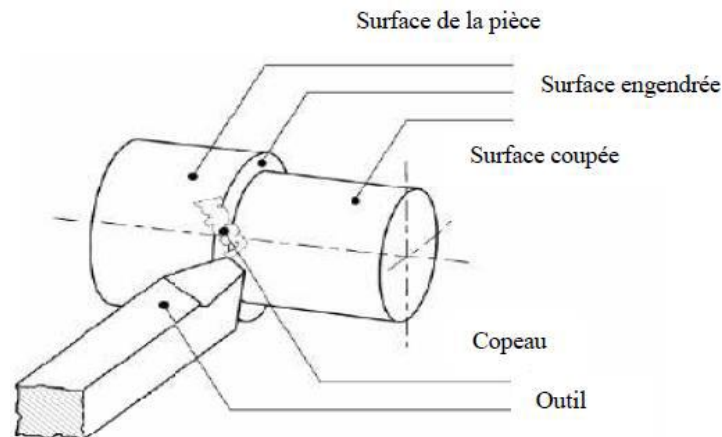
**Figure 8.** Principe de tournage [5].

L'utilisation principale de ces machines est l'usinage des arbres. La pièce, généralement tenue par le mandrin, qui a un mouvement de rotation (mouvement de coupe) transmis par la broche. L'outil peut se déplacer en translation suivant deux directions. Ces deux directions, perpendiculaires entre elles, appartiennent à un plan auquel l'axe de la broche est parallèle. Le premier mouvement de translation est parallèle à l'axe de la broche. Le deuxième mouvement de translation est perpendiculaire à l'axe de la broche [6].

### 3.3. Surfaces de la pièce

Les principaux éléments d'une pièce à usiner, la surface de la pièce sujette à l'usinage est appelée surface de la pièce. Elle peut être brute (résultant de différents procédés comme moulage, forgeage, laminage, etc..) ou obtenue par usinage au cours d'opérations précédentes [3]. La surface engendrée (ou surface usinée) est une surface désirée, générée par le processus d'enlèvement de matière (un outil de coupe au cours d'usinage). Les deux surfaces sont reliées par

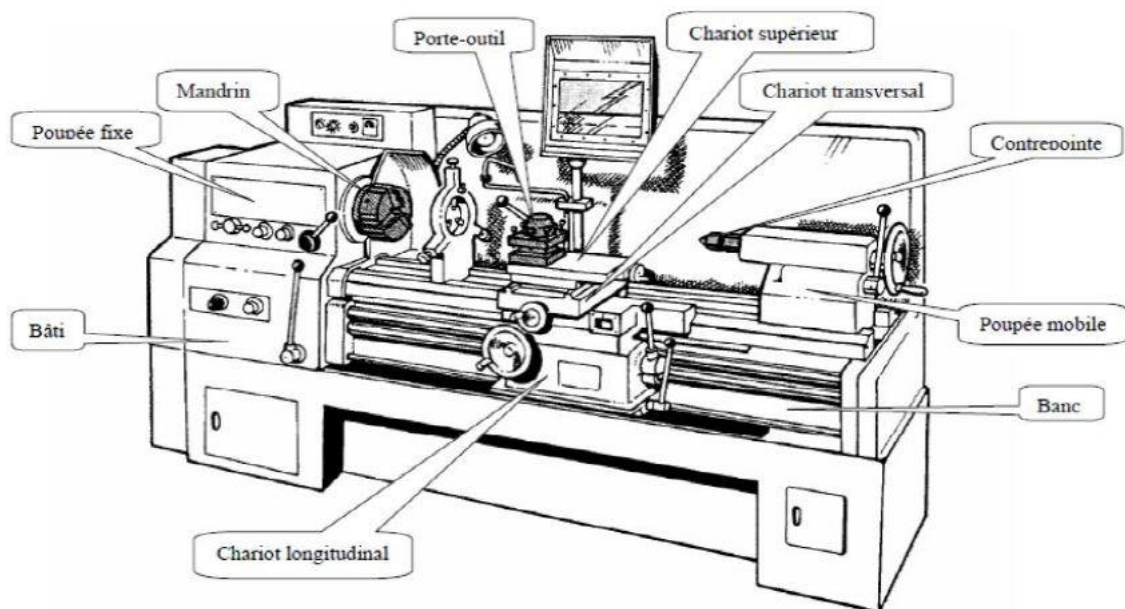
une surface engendrée intermédiaire (générée pendant l'usinage par une arête coupante) appelée surface coupée (figure 9).



**Figure 9.** Surfaces de la pièce [3].

### 3.4. Les tours

Les tours (voir Figure 10) permettent de réaliser des surfaces de révolution et hélicoïdales (filetage) : cylindres, cônes et plans (génératrice perpendiculaire à l'axe de révolution). L'utilisation principale de ces machines est l'usinage des arbres. La pièce, généralement tenue par le mandrin, a un mouvement de rotation (mouvement de coupe) transmis par la broche. L'outil peut se déplacer en translation suivant deux directions. Ces deux directions, perpendiculaires entre elles, appartiennent à un plan auquel l'axe de la broche est parallèle. Le premier mouvement de translation est parallèle à l'axe de la broche. Le deuxième mouvement de translation est perpendiculaire à l'axe de la broche [7]



**Figure 10.** Composantes d'un tour [8]

## 4. Classification des machines de tournage

Les machines-outils les plus courantes utilisées pour le tournage sont :

#### **4.1. Les tours parallèles à charioter et à fileter**

Ces machines sont utilisées pour les travaux unitaires ou de petites et moyennes séries sur des pièces très simples. Ces tours sont peu flexibles. Seules les surfaces dont les génératrices sont parallèles ou perpendiculaires à l'axe de la broche sont réalisables en travail d'enveloppe [9].

#### **4.2. Les tours semi-automatiques**

Ce sont des tours équipés d'un traînard semblable à celui d'un tour parallèle avec une tourelle hexagonale indexable munie de 6 postes d'outils animée d'un mouvement longitudinal contrôlé par des butées. Les outillages spécialement conçus pour la machine permettent des opérations simples et précises. La commande de ces tours peut être manuelle ou en partie automatique. La flexibilité de ces machines est très limitée. On les utilisera pour des travaux de moyenne série [9].

#### **4.3. Les tours automatiques**

Plusieurs outils sont montés tangentiellement à la pièce. Les mouvements sont obtenus par des cames qui donnent la vitesse d'avance et la course de chaque outil. Une came est spécifique à une opération et à une pièce. Ces tours sont entièrement automatiques. Ces machines n'ont aucune flexibilité. Elles conviennent pour les très grandes séries [9].

#### **4.4. Les tours automatiques multibroches**

Ce type de tour comportera par exemple huit broches. Huit outils soit un par broche travaillent en même temps et effectuent une opération différente. Ce sont les broches qui tournent d'un huitième de tour pour présenter la pièce devant l'outil suivant. Lorsque les broches ont effectué un tour complet la pièce est terminée. Il est possible de travailler dans la barre. Sur ce type de tour les réglages sont longs et le temps de passage d'une série à l'autre immobilise la machine. Ce tour sera réservé pour les grandes et très grandes séries à des pièces de dimensions réduites à cause de l'espacement entre les broches [9].

#### **4.5. Les tours à commande numérique**

Comme en copiage la génératrice de la pièce peut être quelconque mais ici la trajectoire de l'outil est obtenue par le déplacement simultané de deux axes dont les positions successives sont données par un calculateur travaillant à partir d'un programme propre à la pièce. Ces tours sont équipés d'un magasin d'outils et éventuellement d'un système de chargement des pièces. La flexibilité de ces machines est très grande et particulièrement bien adapté pour le travail unitaire ou les petites séries répétitives [9].

## IV. CNC, Généralités

### 1. Qu'est-ce que le CNC ?

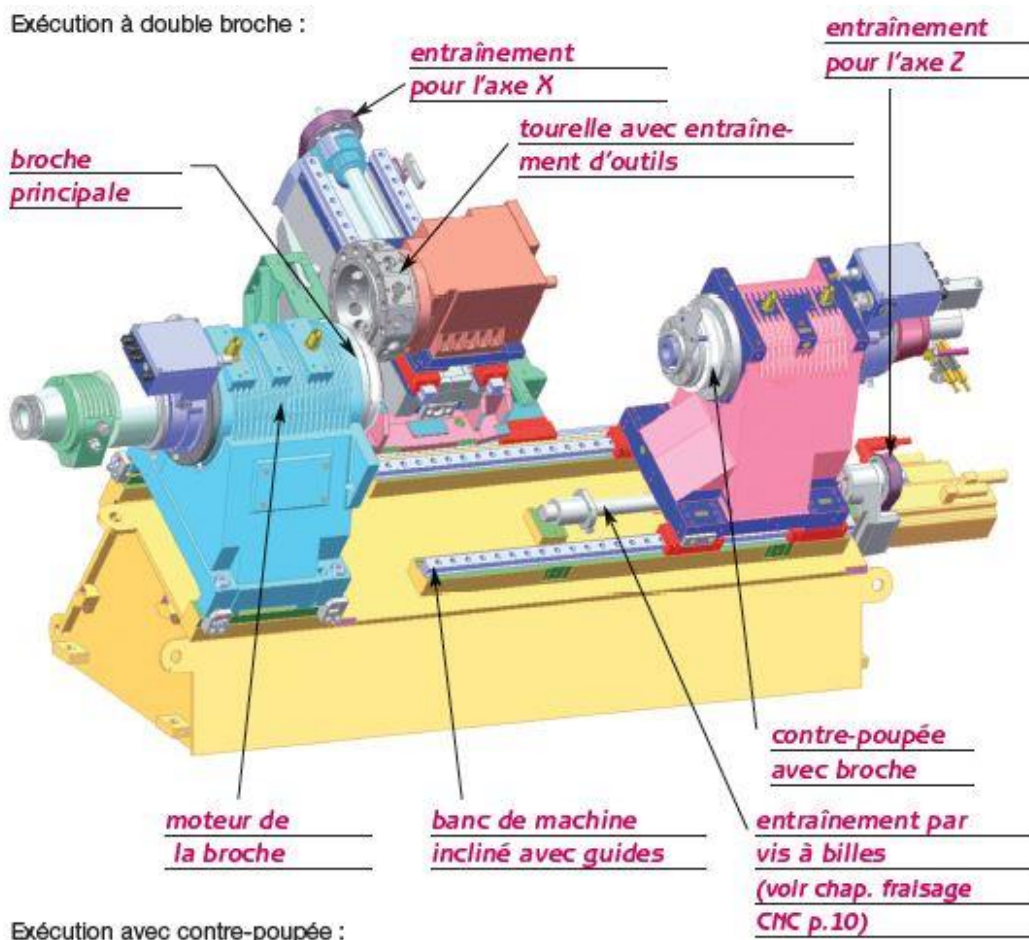
Les commandes CNC :

Les techniques CNC se sont développées à partir des commandes NC. L'abréviation signifie **Computerized Numerical Control**. Ces commandes sont basées sur l'utilisation de microprocesseurs, ce qui offre des avantages décisifs par rapport aux machines NC. Elles offrent entre autres une mémoire beaucoup plus grande. Grâce à un système opératoire et des logiciels correspondants, il est possible d'adapter les programmes de manière flexible et rapide. D'autre part, il est possible de traiter des grandes quantités de données, ce qui permet de commander plusieurs axes simultanément. Grâce à une approche conviviale, l'établissement de programmes et leur gestion sont plus rapides et plus flexibles. [9]

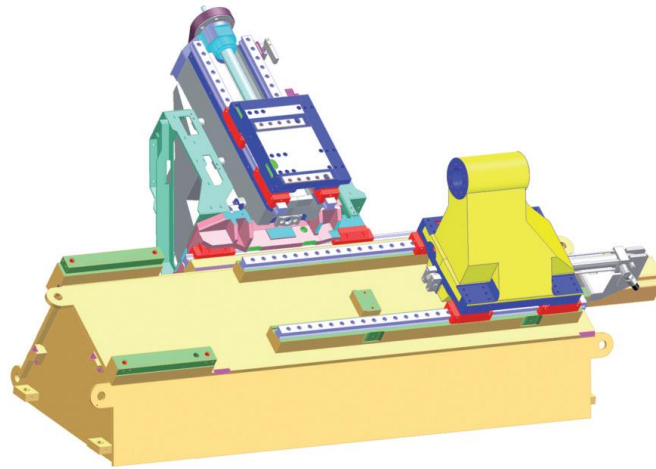
### 2. Les avantages et les désavantages de la production CNC :

Grâce à son fonctionnement économique, on préfère dans de nombreux cas la production CNC à la production conventionnelle, ceci surtout pour des séries petites ou moyennes. Aux avantages cités s'ajoute celui d'un coût réduit. La décision de produire une pièce sur une machine manuelle ou CNC est prise par le planificateur dans la préparation du travail. A ce moment, les avantages et les désavantages doivent être évalués soigneusement.

#### Structure d'un tour CNC







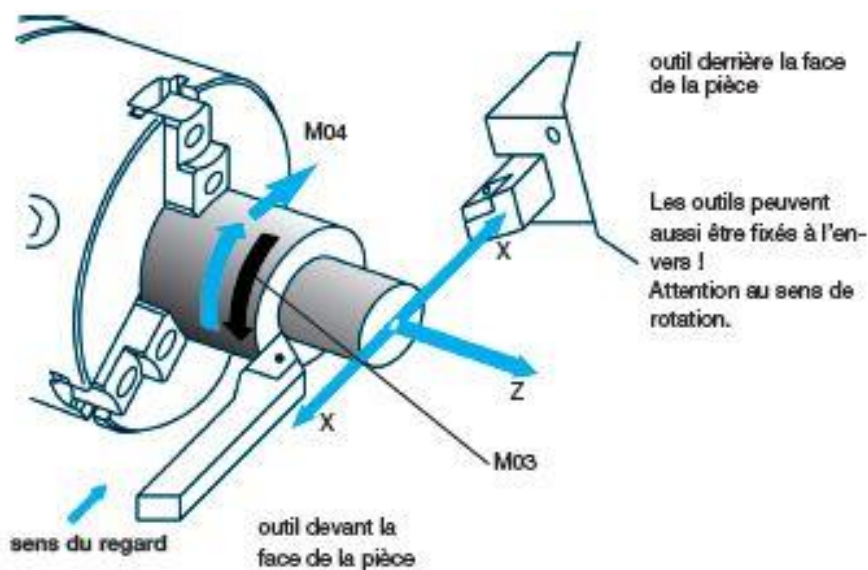
**Figure 11 : Structure d'un tour CNC**

### 3. Les systèmes de coordonnées

#### 3.1 Les axes de coordonnées sur un tour

Sur un tour, l'axe X est perpendiculaire à l'axe de la broche. Son déroulement positif va de l'axe de la pièce vers le porte-outil principal.

Sur les tours, les outils peuvent être positionnés dans, devant ou derrière la face de la pièce. Comme montré dans l'image, pour l'usinage avec le burin devant la face, la broche principale tourne vers l'avant (M03). De ce fait, pour les burins derrière la face, le sens de rotation doit être inversé (M04), ou l'outil doit être fixé à l'envers. Cette deuxième solution évite une inversion du sens de rotation de la broche.



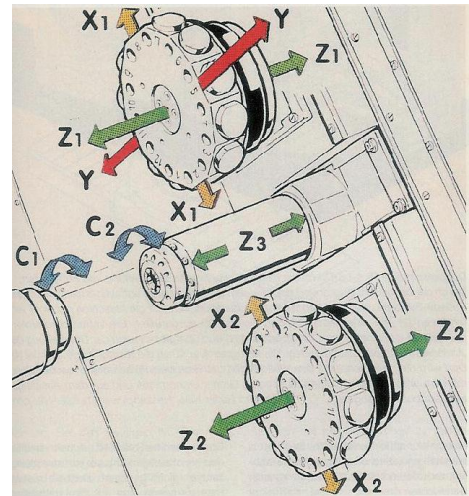
**Figure 12 : Axes de coordonnées sur un tour**

Dans le tournage CNC avec des outils entraînés, on tient compte d'un axe supplémentaire appelé C.

C tourne autour de l'axe Z. La broche principale peut ainsi être positionnée et la pièce peut être usinée avec des outils entraînés.

Attribution des axes supplémentaires de tournage :

axes principaux	X	Z
axes supplémentaires pour indications d'incrément	I	K
axes de rotation	A	C



Exemple pour un tour avec une broche principale, une contre-broche et 2 tourelles revolver, dont une avec un axe Y, ce qui permet en tout 8 axes NC.

#### 4. La préparation du travail

##### 4.1 L'équipement et le référencement des outils

Pendant la production, la commande calcule les dimensions des outils et de la pièce afin de pouvoir programmer les contours de la pièce indépendamment des outils mis en œuvre. Avant cela, chaque outil doit être référencé.

##### 4.2 La position du point du tranchant

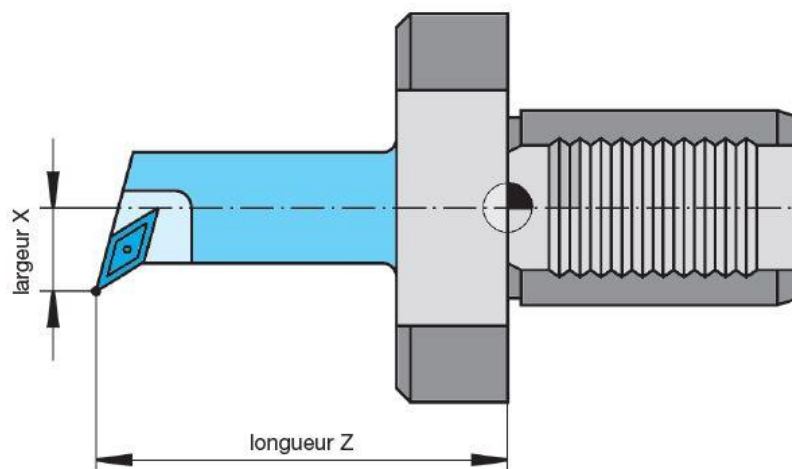


Figure 13 : Position du point du tranchant

Lors du référencement, on détermine aussi la position du point du tranchant et il est enregistré dans la mémoire offset (de correction X et Z). Longueur Z

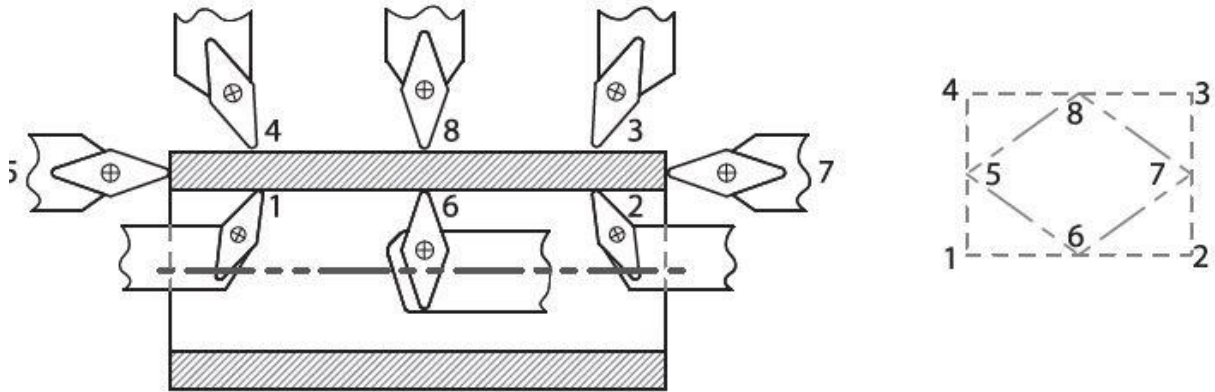
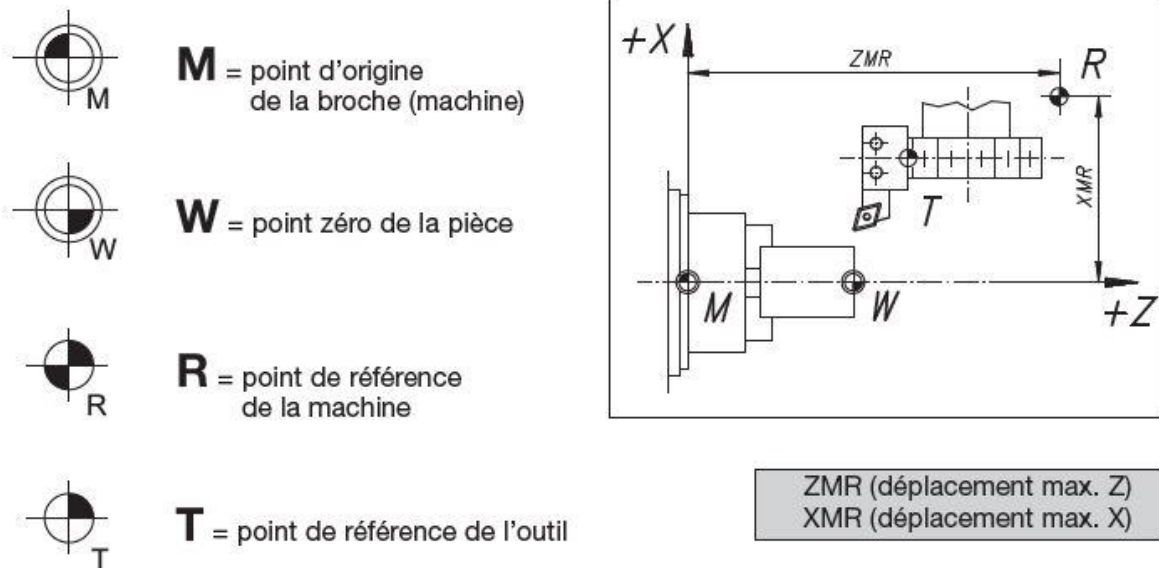


Figure 14.

## 5. Les points de référence

Les types de points de référence sur un tour CNC :



### 5.1 Le point d'origine de la machine M

Le point d'origine de la machine représente la référence générale commune des coordonnées de la machine. Il est déterminé par le fabricant de la machine et ne peut pas être modifié. C'est sur ce point que se réfèrent les côtes du système de mesure de chemin. Sur les tours, la position du point zéro de la machine varie selon le fabriquant.

### 5.2 Le point zéro de la pièce W

Lors de la programmation de la géométrie de la pièce, toutes les cotes doivent se référer au point d'origine de la machine. Etant donné que cela est compliqué, le programmeur définit

un point zéro pour chaque pièce. Celui-ci est choisi de manière à pouvoir reprendre directement du dessin autant de coordonnées que possible et que sa position dans la zone d'usinage puisse être repérée facilement.

### 5.3 La position initiale de référence de la machine R

Le point de référence « R » est un point fixe défini dans la machine par rapport au point d'origine de la machine. Il peut aussi être approché avec la machine lorsqu'elle est équipée. Il sert à normaliser le système de mesure de chemin. Il est en général approché avant le début des travaux ou après des pannes.

### 5.4 Le point de référence de l'outil T

Le point de référence dans le magasin d'outils est un point fixe préétabli. Il sert de point de référence pour le référencement des outils.

## 6. Les bases de la programmation

Le contenu des programmes est composé d'un nombre libre de phrases qui décrivent le déroulement complet de la machine pas à pas. Chaque phrase du programme représente une séquence de l'opération géométrique et / ou une fonction de machine précise. Les phrases individuelles sont numérotées en continu. Chaque phrase consiste à son tour d'un ou plusieurs mots qui, dans le langage d'adresses usuel actuel, sont composés de lettres et de chiffres.

## 7. La structure des programmes

Par principe, un programme est composé de trois parties :



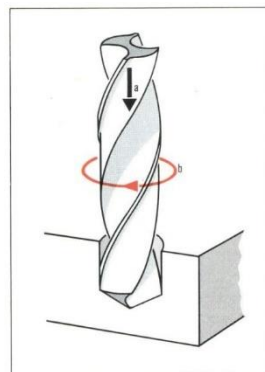
## V. Travaux de perçage, alésage [1]

### 6.1 Introduction

La génération des surfaces par perçages, alésage taraudage, lamage nécessite deux mouvements :

- Une rotation autour de l'axe de l'outil appelée mouvement de coupe ;
- Une translation parallèle à l'axe de l'outil appelée mouvement d'avance.

Les deux mouvements sont suivant les machines utilisées, communiqués à la pièce ou à l'outil. On peut regrouper les solutions dans un tableau combinatoire (*fig. 15*).



Mouvements d'avance (a), de coupe (b)  
dans le perçage sur une perceuse.

**Figure 15 :** Mouvements de coupe en perçage

L'outil est choisi en fonction des caractéristiques dimensionnelles et géométriques de la forme intérieure à générer, les mêmes outils sont indifféremment utilisés sur une fraiseuse, une perceuse ou on tour, leurs conditions de coupe et les précautions d'utilisation à respecter sont identiques.

La perceuse est la machine la mieux adaptée aux travaux de perçage.

### 6.2 Les perceuses

Les perceuses se différencient essentiellement par leur capacité de perçage et le type de production (série ou unitaire) pour lesquels elles sont conçues.

Dans tous les cas, l'outil est animé du mouvement circulaire de coupe et en général du mouvement d'avance.

Les perceuses sensibles et à montant sont utilisées dans les ateliers de mécanique qui fabriquent des pièces à l'unité ou en petite série.

#### 6.2.1. Les perceuses sensibles

La descente de l'outil est manuelle, elle est communiquée à la broche porte-outil par un levier sensitif, la capacité de perçage est limitée à 15 mm (*fig. 16*)



**Figure 16.** Perceuse sensitive.

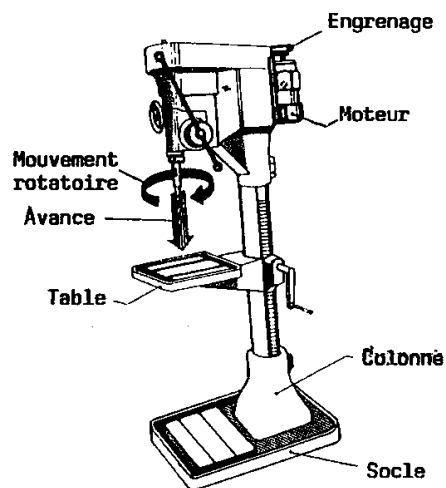


**Figure 17.** Perceuse à montant.

### 6.2.2. Les perceuses à montant

Elles possèdent un dispositif d'avance automatique, leur capacité de perçage peut atteindre 70 mm (*fig. 17*).

- **Principales caractéristiques d'une perceuse sensitive (*fig. 18*)**
  - Capacité de perçage.
  - Fréquences de rotation disponibles sur la broche.
  - Hauteurs maximale ( $h_1$ ,  $h_2$ ) entre la table et le dessous de broche
  - Distance ( $d$ ) entre la colonne et l'axe broche.
  - Puissance du moteur de broche.



**Figure 18.** Perceuse sensitive à colonne.



Figure 19. Perceuse sensitive.

## VI. Généralités Sur La Coupe Des Métaux

### 1. Définition de la coupe

Afin de mieux situer les techniques, on peut dire que la coupe des métaux intervient dans un ensemble de procédés d'élaboration de pièces, par enlèvement de matière en quantités pouvant représenter une proportion notable du matériau brut. Cet enlèvement est alors réalisé par l'action d'un outil possédant un ou plusieurs tranchants de section convexe animé d'un mouvement relatif à la pièce appropriée. Une machine-outil fournit à la fois la puissance mécanique nécessaire et réalise le contrôle du mouvement relatif. Cet ensemble constitue un système qui doit être considéré de plusieurs points de vue cinématique, dynamique.

En résumé, l'usinage par enlèvement de copeaux désigne l'ensemble des techniques commande...etc. Dans ce premier chapitre nous considérons d'abord le phénomène central de la coupe.

Les outils de coupe sont habituellement identifiés par leurs formes, adaptées à une Opération d'usinage, et leur matière. La partie active, le plus souvent amovible (alors appelée plaquette) est maintenue sur le corps d'outil par un moyen de fixation approprié. Qui permettent d'obtenir une surface par enlèvement de matière à l'aide d'un outil tranchant.

### 2. Régimes de coupe

#### 2.1 Ebauche

C'est l'opération qui consiste à enlever le maximum de copeaux en un minimum de temps sans s'intéresser à l'état de surface. Il faut donc choisir de grandes profondeurs de passe et de grandes avances [10].

#### 2.2 Finition

C'est l'opération qui consiste à finir la pièce aux cotes prescrites. Il faut donc choisir des grandes vitesses de coupe et de petites avances en obtiens des surfaces de grande qualité [10].



### 3. Support et entraînement des pièces sur un tour

Il existe trois principaux montages de la pièce à usiner sur le tour :

#### 3.1 Montage en l'air

C'est un montage sur mandrin effectué pour les pièces courtes ( $L < 4D$ ). Une des extrémités est fixée sur le mandrin alors que l'autre reste libre [10].

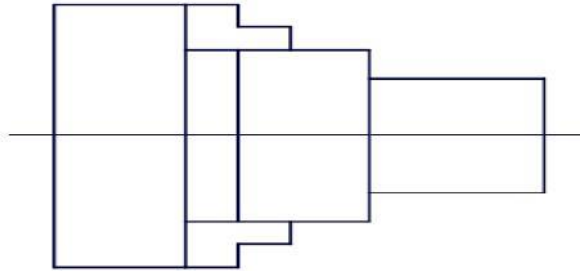


Figure 20 : Montage en l'air [10].

#### 3.2 Montage mixte

Il est utilisé pour des pièces relativement longues ( $4D < L < 8D$ ). Une des deux extrémités est fixée sur le mandrin alors que l'autre extrémité est soutenue par de la poupée mobiles [10].

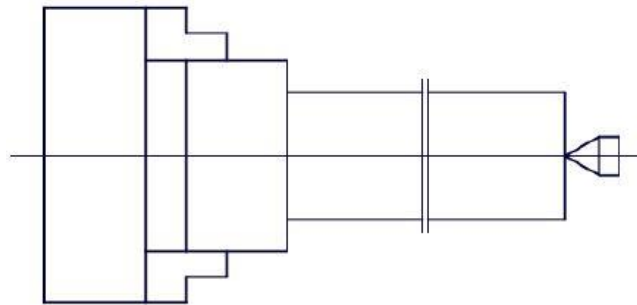


Figure 21 : Montage mixte [10].

#### 3.3 Montage entre-pointes

Pour l'usinage des pièces longues ( $L > 8D$ ), on utilise le montage entre pointes. La pièce est soutenue par ses deux extrémités par deux pointes plus lunette [10].

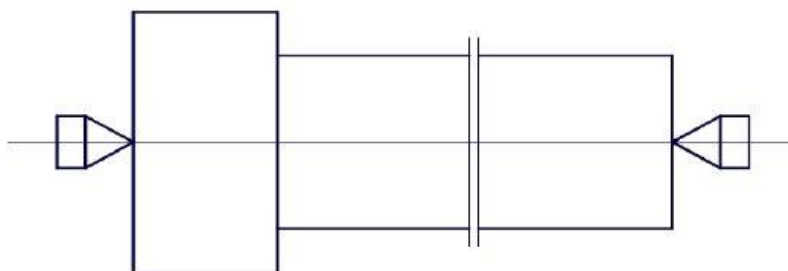


Figure 22 : Montage entre-pointe [10].



#### 4. Conditions de coupe

Avant de réaliser une opération de tournage, il est nécessaire de bien choisir les conditions de coupe pour obtenir un bon résultat (précision, état de surface ...) : Il y a plusieurs critères qui permettent de définir les conditions de coupe notamment :

- Le type de la machine (mécanisme, gamme des vitesses,)
- La puissance de la machine
- La matière de l'outil (ARS, carbure...)
- La matière usinée (acier, aluminium...)
- Le type de l'opération (perçage, chariotage, surfaçage...)
- L'utilisation éventuelle de lubrification (destiné à refroidir ou/et à diminuer le frottement) [11].

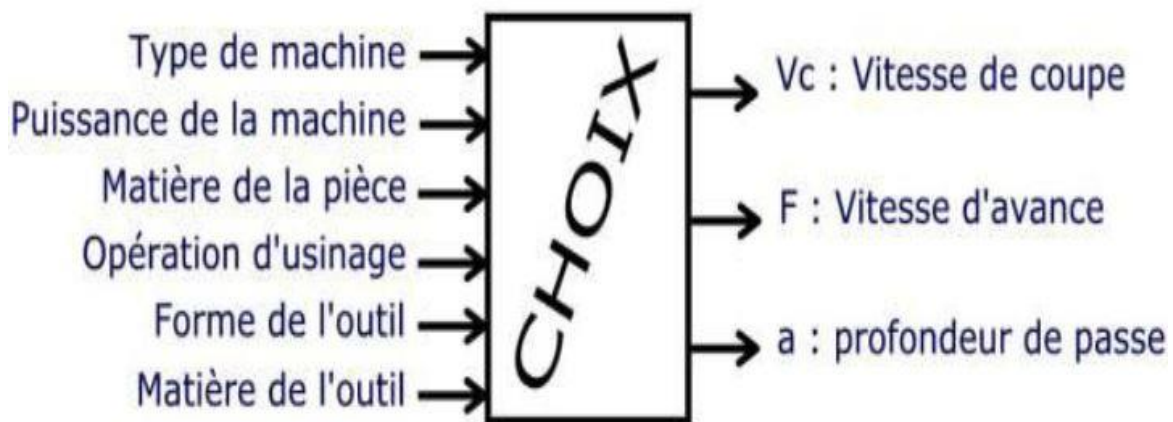


Figure 23 : Les choix des paramètres de coupe [12].

#### 4.1 Vitesse de coupe V

La pièce est entraînée sur le tour à une certaine vitesse angulaire  $\omega$ , cette vitesse étant communiquée par la broche de la machine vers la porte pièce. La vitesse relative de la pièce en ce point par rapport à l'outil est donnée par la formule suivante :

$$V_c \text{ (m/min)} = \frac{D}{2} \text{ (m)} \times \omega \text{ (rad/min)}$$

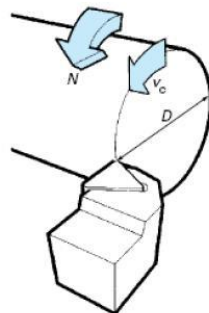


Figure 24 : Vitesse de coupe [13].

La fréquence de rotation de la broche est donnée par l'expression suivante :

$$N \left( \frac{tr}{min} \right) = \frac{1000 Vc \left( \frac{m}{min} \right)}{\pi D(mm)}$$

#### 4.2 Vitesse d'avance $V_f$ et avance par tour $f$

La vitesse d'avance  $V_f$  ( $mm/min$ ), que la figure (25) montre, est la vitesse à laquelle la machine déplace l'outil par rapport au bâti. L'avance par tour  $f$  ( $mm/tr$ ) est la valeur du déplacement de l'outil, lorsque la pièce a effectué une révolution. C'est une donnée clé pour la qualité de la surface usinée. L'avance influe non seulement sur l'épaisseur des copeaux, mais également sur la manière dont ils se brisent. La vitesse d'avance  $V_f$  est donnée par la formule suivante [13] :

$$V_f(mm/min) = f (mm/tr) \times N (tr/min)$$

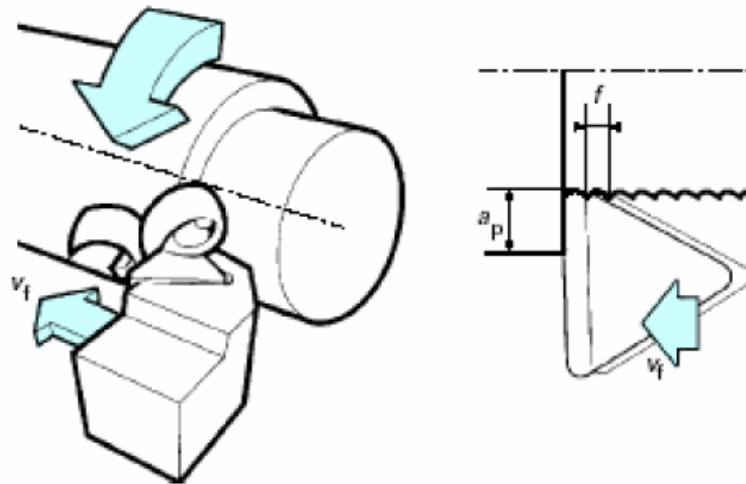


Figure 25 : Vitesse d'avance  $V_f$  [13].

#### 4.3 Profondeur de passe « $a$ »

La profondeur de passe notée  $a$  en ( $mm$ ), correspond à la longueur de l'arête de coupe engagée dans la matière, dans le cas de la coupe orthogonale, et à la différence entre le rayon de la pièce avant et après usinage, dans le cas du tournage. La profondeur de coupe est toujours mesurée perpendiculairement à la direction de l'avance et non pas suivant l'arête de l'outil [9].

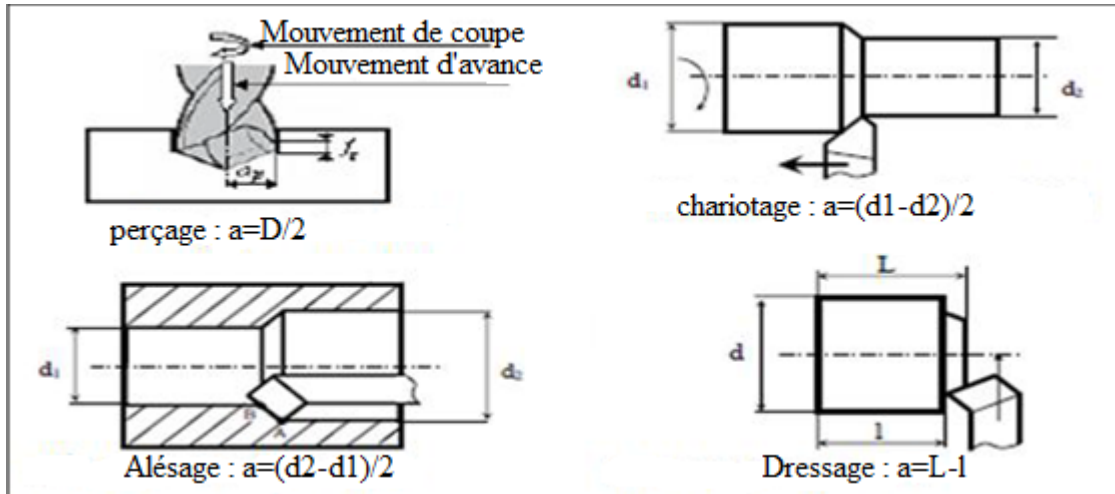


Figure 26 : Les profondeurs de passe [9].

### 5. Paramètres géométriques de coupe

La distance entre la surface de la pièce et la surface engendrée est appelée profondeur de coupe  $a_p$ . Cependant, afin d'arriver à la dimension finale de la pièce, on doit souvent effectuer plusieurs passes. La passe est définie comme la couche de matière de la pièce qui doit être enlevée par un passage unique de l'outil de coupe. La partie de matière usinée entre la surface de la pièce et la surface finale désirée (après avoir effectué toutes les passes nécessaires) est appelée surépaisseur d'usinage. On appelle la coupe, la couche de matière qui est enlevée par une action unique de la partie active et transformée en copeaux. Ces différents paramètres sont illustrés à la figure (27).

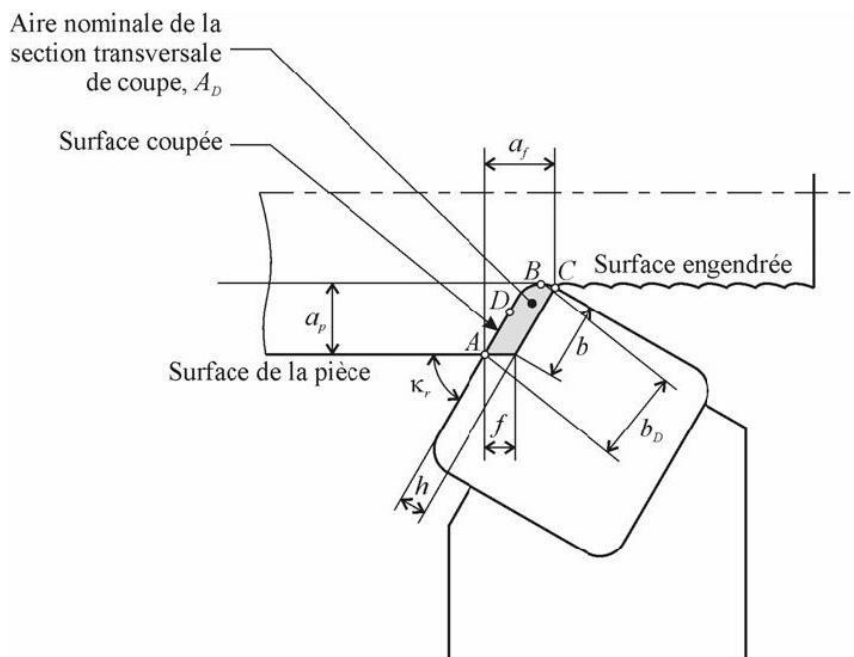


Figure 27 : Configuration de coupe [14].

Où :

$a_p$  : Profondeur de coupe

$f_a$ : Engagement de l'arête

$f$ : Avance

$h$ : Épaisseur de coupe

$b$ : Largeur de coupe.

$b_d$ : Largeur nominale de coupe

$k_r$ : Angle de direction d'arête

$D$  : Point principal de l'arête.

## 6. Éléments d'outil

Il existe une grande diversité d'outils de coupe. Toutefois, les principaux éléments des différents outils sont semblables. Ainsi, afin de simplifier la compréhension de différents éléments définissant un outil quelconque, nous nous baserons sur un outil de coupe en tournage. Les définitions peuvent ensuite être déduites pour tout autre type d'outil [14].

## 7. Faces et arêtes de l'outil :

Un outil coupant est constitué d'un corps d'outil et peut comporter une ou plusieurs parties actives, intersection de deux surfaces (Figure 28). La partie active peut être constituée du même matériau que le corps, on parle alors d'outils monoblocs (carbures et aciers rapides) ou d'un matériau différent (inserts rapportés ou plaquettes pour les carbures, les cermets, les céramiques, les polycristallins de bore ou de diamant). La (figure 28) précise le vocabulaire relatif aux différentes parties actives d'un outil de tournage. En plus de cette description de la géométrie locale des outils, il existe une norme (ISO 1831) permettant de décrire les différentes parties constitutives des outils de tournage à plaquettes rapportées, systématiquement utilisés aujourd'hui. Cette description indique une large part des caractéristiques des outils, à l'exception de la géométrie locale des brise-copeaux frittés sur les faces de coupe, et à l'exception de la composition des plaquettes et de leurs revêtements. Ce sont en fait les deux points clés qui font la spécificité des fabricants d'outils (impossible à normaliser) [4].

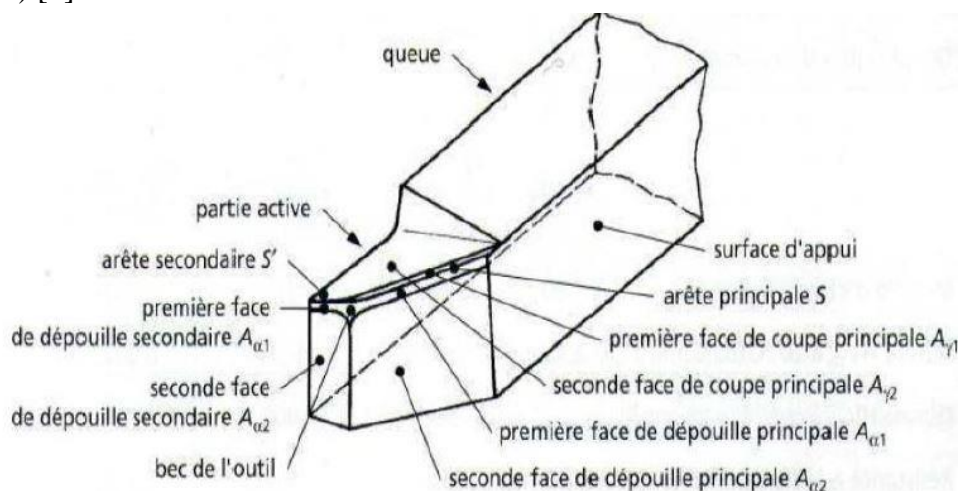


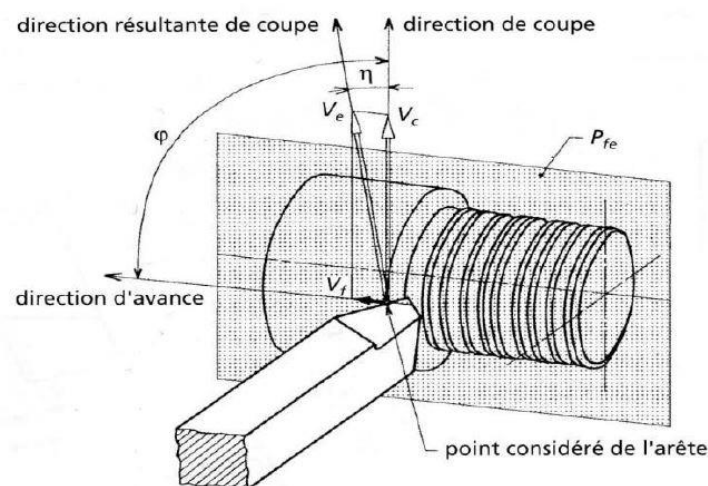
Figure 28 : Arêtes et parties actives d'un outil de tournage [4].

La partie de l'outil impliquée directement dans la coupe est appelée taillant. Elle est limitée par trois faces, la face de coupe le long de laquelle glisse le copeau et les deux faces de dépouille (principale et secondaire) le long desquelles passent les surfaces coupée et engendrée [4].

On appelle une arête un bord de la face de coupe destiné à l'enlèvement de matière. Dans un outil de tournage simple, on peut distinguer une arête principale, intersection entre la face de coupe et la face de dépouille principale, et une arête secondaire, intersection entre la face de coupe et la face de dépouille secondaire. La jonction des arêtes principale et secondaire forme le bec de l'outil. Il peut être droit, arrondi ou représenter l'intersection vive des deux arêtes [4].

Généralement, un outil possède un mouvement de coupe et un mouvement d'avance.

On en déduit des lors un vecteur résultant du mouvement relatif outil/ pièce exprime par le vecteur  $V_e$ . A partir de la, on peut définir deux systèmes d'angles d'un outil de coupe. On définit soit les angles d'outil « en main » par rapport à la direction supposée de coupe  $V_e$  (repère nécessaire à la fabrication des outils), soit les angles d'outils « en travail » par rapport à la direction réelle de coupe (repère nécessaire pour connaître les angles effectifs durant la coupe). A l'aide de ces repères, on établit une série de plans et d'angles normalisés permettant de décrire la géométrie locale des outils [4].

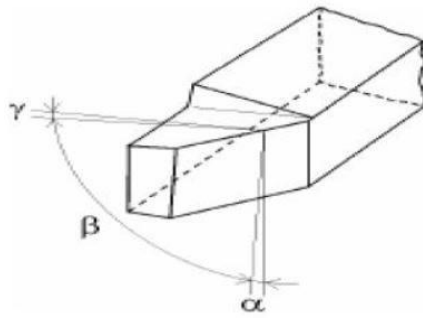


**Figure 29 :** Mouvement relatif outil/ pièce en tournage [8].

## 8. Angles de l'outil

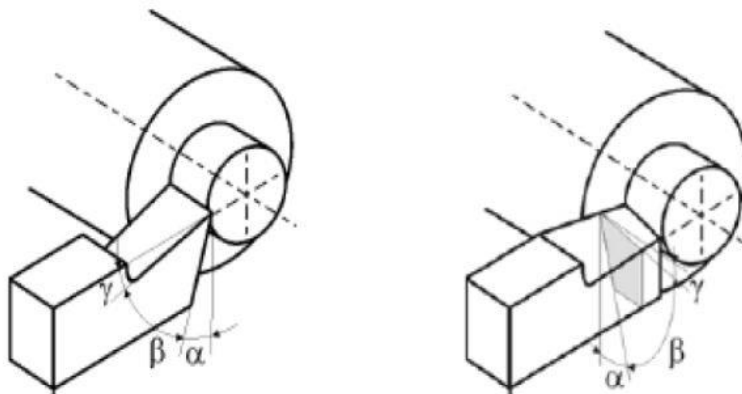
Pour faciliter l'explication des phénomènes de la coupe il est nécessaire de définir les angles ayant la plus grande influence sur les dits phénomènes.

La (figure 30) illustre, dans le système de référence outil en main, les trois angles principaux, l'angle de dépouille  $\alpha$ , l'angle de taillant  $\beta$  et l'angle de coupe  $\gamma$  [8].



**Figure 30 :** Angles du taillant (outil en main) [8].

La (figure 31) illustre ces mêmes angles dans les systèmes de référence outil en travail : outil à taille en bout (gauche) et outil à taille de côté ou latérale (droite).



**Figure 31 :** Angles du taillant (outil en travail) [8].

Globalement, l'angle de dépouille  $\alpha$  influe sur le frottement entre l'outil et la pièce et donc la durée utile de l'outil. L'angle de coupe  $\gamma$  a une influence sur la manière dont s'écoule le copeau sur la face de coupe et ainsi les efforts de coupe, la puissance consommée, les dégagements de chaleur etc. L'angle de taillant  $\beta$  affecte la résistance à la rupture du taillant. La somme de ces trois angles est toujours égale à  $90^\circ$  [8].

$$\alpha + \gamma + \beta = 90$$

Dans le cas où la somme est supérieure à  $90^\circ$ , on parle de coupe négative ( $\gamma$  négatif).

## 9. Les outils de Coupe

Le tournage des aciers durcis par trempe (tournage dur) nécessite l'utilisation de matériaux Coupants ayant d'excellentes propriétés de dureté à hautes températures, de résistance à l'usure et de stabilité chimique. C'est l'avènement des outils comme les carbures micro grains revêtus, les céramiques, les CBN et le diamant qui a rendu possible l'exploitation industrielle de Cette technologie.

Les conditions optimales d'usinage pour un couple outil-matière donné ne sont pas faciles à déterminer. Elles doivent être établies par une série de tests rigoureux dans la suite et dans un premier temps, les matériaux des outils sont présentés pour une exploitation pour le tournage des matériaux durs.

## **Définition des outils**

### **9.1 Les carbures métalliques frittés**

#### **9.1.1. Le carbure**

Ils sont constitués essentiellement de carbure de tungstène (phase  $\alpha$ ), et de carbure de titane, de tantale ou de niobium (phase  $\beta$ ), et d'un liant généralement le cobalt (phase  $\beta$ ).

Le rôle de l'addition de carbure de titane, tantale ou niobium est d'augmenter les propriétés à haute température (vitesse de coupe élevée) en réduisant le frottement. C'est aussi de diminuer l'usure de la face de coupe en réduisant la diffusion du carbure de tungstène entre l'outil et le copeau. Mais l'accroissement de la proportion de carbure de titane entraîne une augmentation du coefficient de dilatation ce qui peut conduire à des variations dimensionnelles néfastes dans le cas d'usinage de précision.

Le carbure de tungstène, élément dur, donne une résistance à l'usure qu'il conserva à température élevée correspondant à des vitesses de coupe élevées. Le cobalt constituant le liant entre les grains de carbures frittés, donne la ténacité au corps fritté.

Les principales évolutions des outils de coupe à base de carbures ont porté sur [9]:

- Les nuances à micro grains,
- L'évolution des géométries,
- La généralisation des plaquettes indexables,

Certains carbures élaborés avec des grains ultrafins sont appelés "micro grains".

Ils sont caractérisés par une structure granulométrique très fine du carbure de tungstène comprise entre 0.2 et 1 $\mu$ m liée par une quantité de cobalt allant de 8 à 20%. Les nuances à micro grains permettent d'atteindre un compromis dureté/ténacité. Ils permettent ainsi d'utiliser des angles de coupe positifs. La faible dimension des grains permet une grande finesse d'arête pour obtenir des états de surface soignés. Ils sont utilisés à la fois pour des opérations de coupe sévères et pour l'usinage de matériaux difficiles à usiner.

Depuis le début de leur exploitation industrielle, la mise au point de géométries d'outils adaptées à chaque usinage spécifique, le passage de la coupe négative à la coupe positive. En outre, les outils sont également caractérisés par leur géométrie. Une partie de notre travail a consisté à analyser les résultats fournis par tel ou tel type de géométrie. Positive diminuant les efforts de coupe et les usures des outils, la création de divers brise-copeaux augmentant le fractionnement de celui-ci et la durée de vie d'outil, ont permis de faire progresser nettement les conditions d'usinage des aciers. La commercialisation de plaquettes indexables affûtées de grande précision a conduit à de meilleurs états de surface et à une généralisation de l'utilisation des carbures métalliques frittés.

### 9.1.2. Le carbure revêtu

Les propriétés des nuances de carbure non revêtues constituent un compromis entre Résistance à l'usure et ténacité. Ces qualités varient en sens inverse suivant le dosage des Constituants. Les carbures revêtus ont été mis au point dans le but d'associer une résistance à L'usure élevée à la surface des plaquettes et une forte ténacité du substrat.

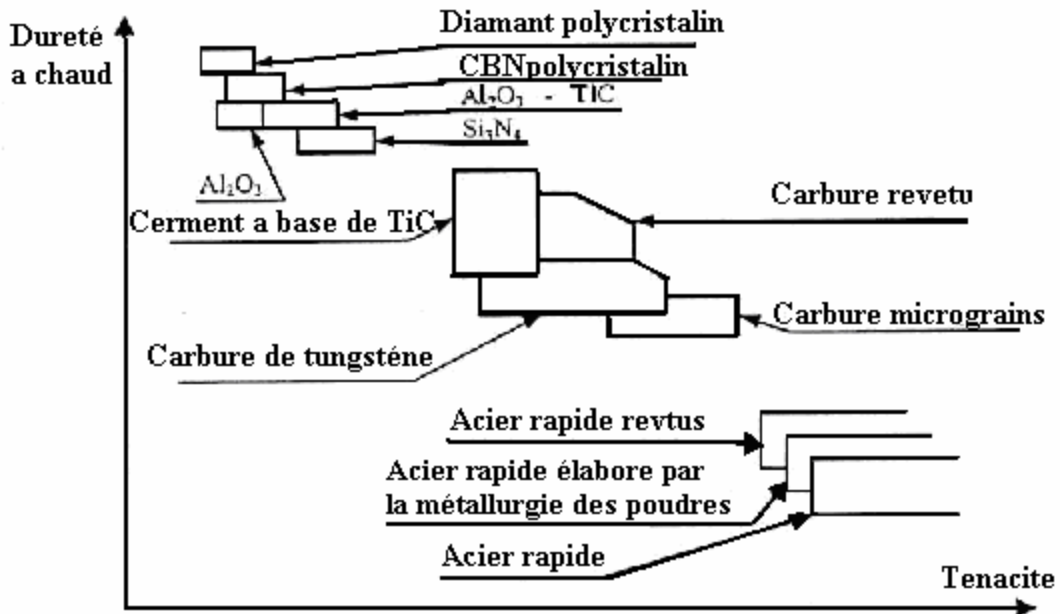


Figure 32 : Comparaison des matériaux de coupe d'après [15].

Les matériaux déposés en revêtement sont très nombreux. Les plus courants sont : Le Titane (Ti), le Nitrure de Titane (TiN) et l'Oxyde d'Aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) que l'on retrouve en monocouche ou combinés (Ti/TiN, TiC (carbure de titane), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN) (Fig.33).

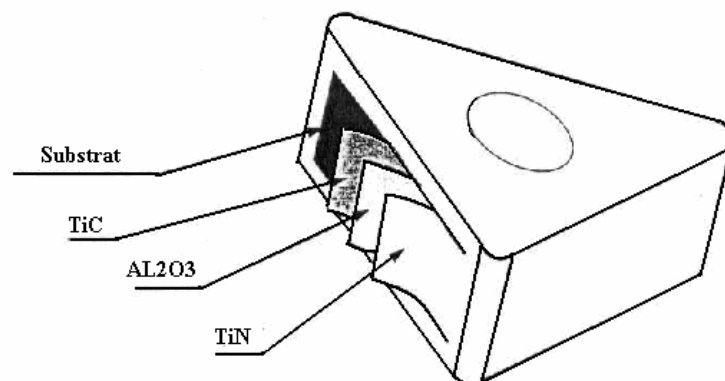


Figure 33 : Plaquette carbure revêtue, multicouche d'après [15].

On peut retenir globalement que : le nitrure de titane (TiN) est réputé mieux résister à l'abrasion. Pour cette raison, il est souvent utilisé en couche externe. De plus, il tolère des dépôts plus épais sans nuire à sa tenue en service. Le TiN est inerte vis-à-vis des aciers et le



coefficient de frottement du métal sur le revêtement TiN est plus faible, ce que minimise le risque de formation d'arête rapportée [11].

- le carbure de titane (TiC) adhère mieux aux substrats, constituant ainsi une excellente base d'application de couches de revêtement supplémentaires. Par contre, il est fragile et pour cela est déposé en couche n'excédant pas 5µm,

- l'oxyde d'aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) est déposé en couche intermédiaire comme barrière de diffusion à la chaleur. Il conserve sa dureté à hautes températures, offrant une excellente résistance à l'usure, ainsi qu'une excellente protection contre la diffusion et l'oxydation à des vitesses et des températures de coupe très élevées. Un inconvénient majeur dans le cas des revêtements multicouches des plaquettes de finition est la perte de l'acuité d'arête. Pour cette raison, les métallurgistes ont mis au point des revêtements en couches minces de 1 à 2µm.

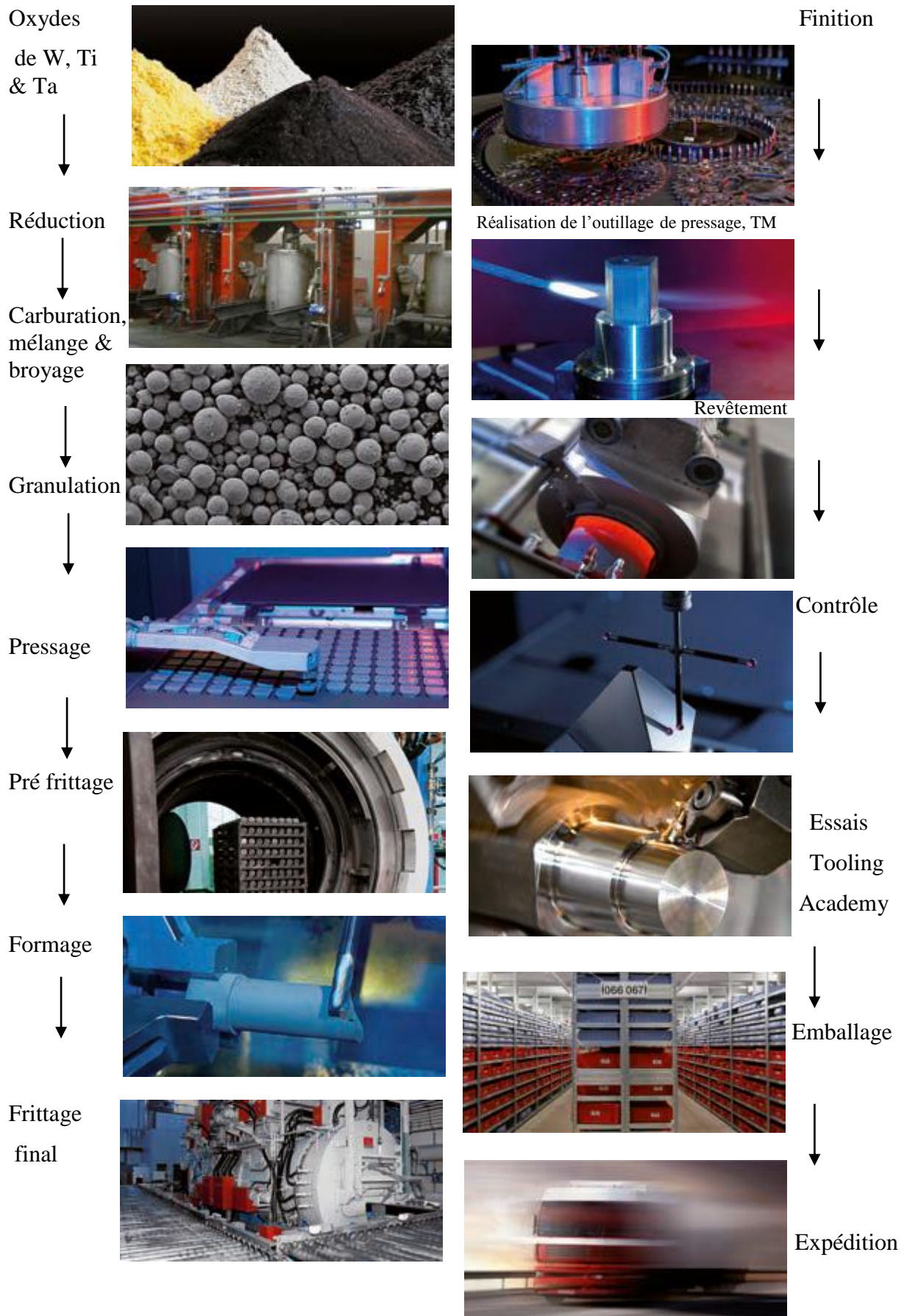
Les gains obtenus dans la coupe des métaux à l'aide de ces revêtements sont importants.

Ces gains dépendent essentiellement du couple outil/matière. La caractérisation de l'usure des Outils. Cependant, pour caractériser l'influence du revêtement, nous précisons.

Dès maintenant que trois modes de détérioration peuvent intervenir [15] :

- Abrasion : Plus le revêtement est dur et moins ce mode d'endommagement peut intervenir. Les revêtements TiC et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sont performants du point de vue abrasion,
- Diffusion (outil/copeau) : Ce mode d'endommagement est dans ce cas nettement Plus important pour TiC, soluble dans l'austénite à partir de 1100 -1150°C que pour TiN et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tous deux insolubles dans les aciers même liquides,
- Fissuration et écaillage : La détérioration s'effectue par fissuration du revêtement Soumis à de fortes contraintes d'origine thermique entraînant des micro écaillages (Sur l'arête ou sur les flancs) puis une usure contrôlée par diffusion et abrasion ainsi, une couche extérieure de TiN semble aujourd'hui conduire aux meilleurs résultats lors Du tournage des aciers inoxydables. L'usure par effets physico-chimiques est très réduite.

## 9.2. Fabrication des carbures [16]



### 9.3. Carbure revêtu CVD

#### 9.3.1 Carbure revêtu CVD

Les nuances de carbure revêtu CVD de KYOCERA sont basées sur la technologie céramique à couches minces et assurent une coupe stable et efficace à des vitesses élevées ou lors d'applications impliquant des chocs importants.

#### 9.3.2 Caractéristiques

- Applicable à la coupe de faible à haute vitesse et de la finition à l'ébauche
- La ténacité et la résistance aux fissures supérieures permettent une coupe stable
- Le contrôle efficace des copeaux pris en charge par les brises copeaux permet de réduire les temps de coupe. [17]

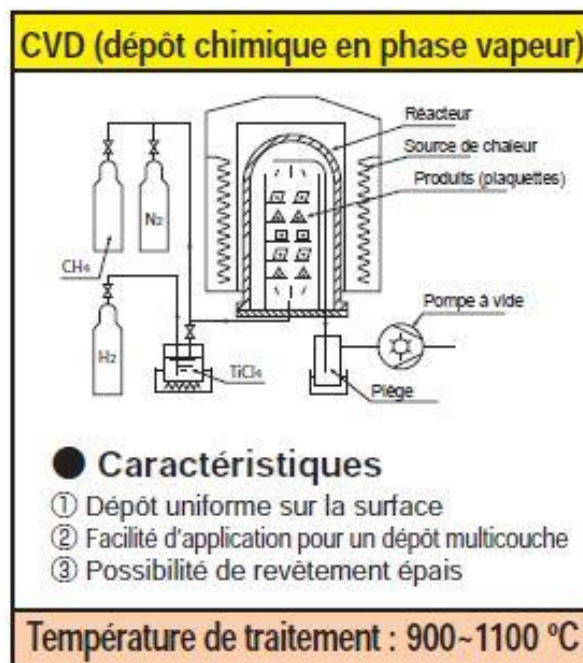


Figure 34 : Dépôt chimique en phase vapeur (Revêtement)

# Chapitre 2

## VII. Introduction

Le stage est une phase importante de notre formation, il nous permettra de mieux connaître le milieu industriel et les services liés à notre spécialité. Les connaissances théoriques acquises à l'université doivent être développés dans le sujet de mémoire à travers ce stage.

Ce stage d'une durée d'un mois consiste à l'étude et le suivi de fabrication de la pièce « Moyeu » des roues d'une bétonnière. Pendant cette période, j'ai pris connaissance des différents services de production et notamment celui du cycle de production des moyeux des roues des bétonnières.

Après un suivi sur le terrain, nous mettons en avant des points qui peuvent être améliorés et encouragés dans le processus de l'industrie et gagner du temps et obtenir une industrie de haute qualité.

## VIII. Présentation de l'entreprise :

### 1. Création :

La fondation de l'usine remonte à 1936, issue de la restructuration de la S.N. METAL, l'entreprise nationale de construction de matériels et équipements ferroviaires, par abréviation FERROVIAL, a été créé par décret N°83.50 du 1<sup>er</sup> Janvier 1983, elle a été en 1989 l'une des premières entreprises à bénéficier de l'autonomie de gestion et est devenue une société par action. Actuellement, elle relève du portefeuille de la SGP/CONSTRUME



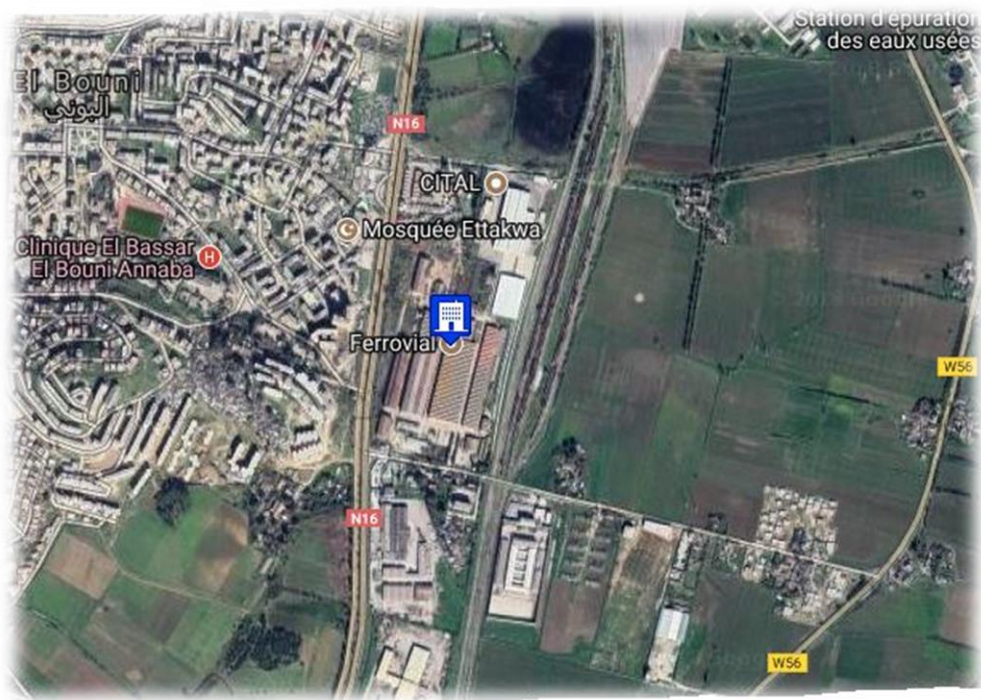
Figure 1 : entrée Ferroviaal



## 2. Plan de situation :

FERROVIAL possède une situation géographique privilégiée, elle est située au centre de l'axe routier ANNABA-EL HADJAR à 6 Km du chef lieu de la wilaya et se trouve à proximité :

- d'un embranchement ferroviaire.
- d'un port.
- d'un aéroport.
- d'une autoroute.
- dans une zone industrielle.



**Figure 2 :** plan Ferrovial

## 3. Produits commercialisent :

- Tous types de wagons de transport de marchandises.
- Les locomotives de manœuvre de 600 et 800 CV.
- Les containers maritimes de 20 pieds.
- Les bétonnières diesels et électriques de 750 litres.
- Les centrales à béton.
- Les appareils de voie.

- Les voitures tous terrains.
- Les bennes tisseuses.
- Les vides fosses
- Les brouettes.
- Les produits forgés.
- Les produits de sous-traitance et de substitution.

Mini central à Béton



Bétonnière 750 litres existe en version :

- Diesel
- Electrique
- Hydraulique



HOUES 18-20-22-24  
HOUES MECANO-SOUDEES  
HOUES&PICS  
PELLES BECHES et BECHES



ARRACHE - CLOUS  
MARTEAUX DIFFERENTS  
TYPES PIOCHES, HOUES  
et PIC PELLES



BRUT DE FORGE POUR  
TOUS TYPES DE MECES  
MECANIQUES ET AUTRES



HACHE BUCHERON  
HACHE COFFREUR  
BURIN  
BURIN BEDANE



MARTEAU de MACON  
MARTELETTES  
PIQUETTE de SOUDURE

**Figure 3** : les produits ferroviaires

## **IX. Données de départ de l'entreprise**



## La Pièce :

Le produit qu'on va fabriquer c'est un moyeu de bétonnière.

Moyeu de la bétonnière : C'est une pièce obtenue par une opération de forgeage pour renforcer ses propriétés.



Figure 4 : moyeu forgée

## 1. Routage d'usinage :

### Pièce : forgée

- **Phase 10 : contrôle du brute (pièce forgée)**

Ø188 mm, L=98 mm

Contrôle dimensionnel de la Pièce forgée fini par pied à coulisse après traitement thermique.

- **Phase 20 : Tournage sur tour à CNC**

Réaliser les cotes suivantes :

- Dressage de la 1<sup>ère</sup> face Ø70mm
- Chariotage des Ø93mm×6mm et Ø185×9mm+ chanfrein 2×45°
- Alésage des Ø51×10mm, Ø52×17mm et Ø44×17mm
- Filetage intérieur : M55×150

- **Sous-phase 25 :**

- Dressage de la 2<sup>ème</sup> face Ø98
- Chariotage des Ø98×19mm et Ø109×1mm
- Alésage des Ø80×21mm et Ø69×2mm

- **Phase 30 : Perçage sur perceuse radiale**

-Perçage des 4 trous Ø16 et lamage Ø21.5

## 2. Mode d'obtention de l'ébauche :

### 2-1 Matière première de la pièce :

La matière utilisée dans notre travail est l'acier XC 38.

### 2-2 Matériel utilisé :

Dans cette partie on va décrire le matériel utilisé dans le processus de forgeage du moyeu. Le découpage du lopin se fait sur la Cisaille ERFURT :



**Figure 5 :** Cisaille ERFURT

Le chauffage à 1100°C du lopin avant le forgeage se fait dans un four de forge, illustré sur la figure suivante :



**Figure 6 :** Four de forge

### 2.3 Gamme de forgeage :

En mécanique industrielle, la fabrication d'une pièce à partir d'une quantité de matière livrée sous forme de matière première requiert la mise en œuvre d'un ensemble de techniques. L'une d'entre elles est le forgeage, c'est-à-dire un chauffage puis matriçage.

Pour arriver à la forme de la pièce forgée voulue, il faut d'abord passer à l'étape de cisaillement qui transforme la barre de 6m de longueur en lopin de section carrée  $80 \times 134 \text{ mm}^2$ .



**Figure 7 :** processus de découpage de la pièce

Après cette étape on passe à l'étape de chauffage dans le four cité ci-dessus à la température  $1100^\circ$ .

L'estimation de la température voulue est effectuée visuellement en se basant sur la couleur du lopin. Lorsque celle-ci tend vers le jaune on considère que la température voulue est atteinte. Par conséquent, on passe à la 3<sup>ème</sup> opération de matriçage sur le marteau pilon (Figure 8).



**Figure 8 :** Chauffage d'un lot de pièces dans le four



**Figure 9 : Marteau pilon**

Une fois l'opération de matriçage achevée, on procède à l'ébavurage sur la presse hydraulique (Figure 10).



**Figure 10 : Presse hydraulique de 400 tonnes**

Après l'ébavurage la pièce subit un traitement thermique de recuit dans un autre four destiné à cet objectif. La température de chauffage est de  $875^{\circ}$  avec un temps de maintien de 20 min, suivi par un refroidissement dans le four. L'objectif de ce traitement thermique est pour rendre la structure homogène dans toute la masse de la pièce, éliminer les contraintes résiduelles causées par le matriçage et par la suite faciliter l'usinage.



**Figure 11 : Four de traitement**

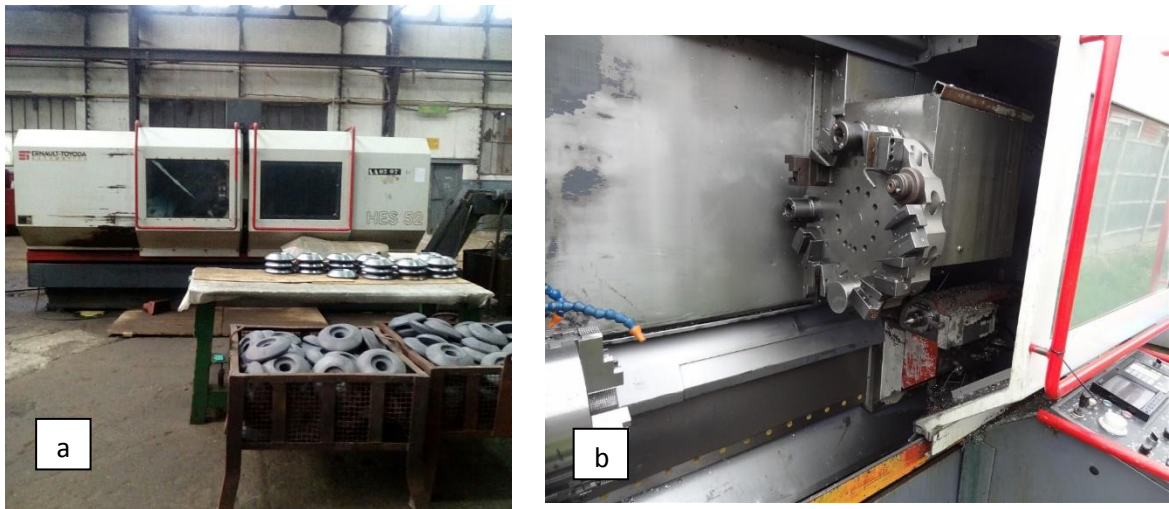
- ❖ La phase de tournage de la pièce est effectuée sur un tour CNC HES 52 (Figure 12 a), conformément au programme suivant :

### Phase 20

<b>N10</b> : G0 G52 X0 Z-1600	<b>N320</b> : EA-90 ESEB-1
<b>N20</b> : M41 S500 M4 M8	<b>N330</b> : EA180 X44 Z12
<b>N30</b> : G92 S700	<b>N340</b> : X40
<b>N40</b> : T5 D5 M6	<b>N350</b> : T3 D3 M6
<b>N45</b> : G0 X75 Z80	<b>N360</b> : X40 Z75.2
<b>N50</b> : G96 S160	<b>N370</b> : G96 S140
<b>N55</b> : G95 F.35	<b>N380</b> : G95 G64 N340 N270 I-5 K P1
<b>N60</b> : G66 X40 Z76 R1 F.35 M8	<b>N390</b> : X40 Z31
<b>N70</b> : G80	<b>N400</b> : Z75.2
<b>N80</b> : G0 X66.5 Z75.2	<b>N410</b> : X58
<b>N90</b> : G1 X71 Z72 F.35	<b>N420</b> : G80
<b>N100</b> : G79 M110	<b>N430</b> : X58 Z75.2
<b>N110</b> : G0 X92 Z30	<b>N440</b> : G96 S120
<b>N115</b> : G1 EA 135ES	<b>N450</b> : G77 N270 N340 F.35
<b>N120</b> : EA 180 X93 Z13	<b>N500</b> : G40 G0 Z90
<b>N130</b> : X190	<b>N510</b> : G0 G52 X0 Z-1600
<b>N140</b> : T5 D5 M6	<b>N520</b> : G33 X55 Z63 P.975 K1.5 S18
<b>N150</b> : G0 X190 Z30	<b>N530</b> : G80 G0 G52 X0 Z-1600 M5 M9
<b>N160</b> : G96 S140	<b>N540</b> : M0
<b>N170</b> : G64 N100 N80 I.5 K.1 P2 F.4	
<b>N180</b> : X190 Z13	
<b>N190</b> : Z30	
<b>N200</b> : X93	
<b>N210</b> : G80	
<b>N220</b> : X92 Z30	
<b>N230</b> : G96 S150	
<b>N240</b> : G77 N80 N100 F.35	
<b>N250</b> : G0 G40 G52 X0 Z-1600	
<b>N260</b> : G79 N300	
<b>N270</b> : G0 X58 Z75.2	
<b>N280</b> : G1 EA -135ES	
<b>N290</b> : EA 180 X53.5 Z64.5	
<b>N300</b> : EA-90 ESEB-1.5	
<b>N310</b> : EA180 X52 Z47.5	







**Figure 12 :** Tour CNC(a) et Montage de la pièce (b)

Après avoir terminé la phase de tournage, on réalise la phase de perçage des quatre trous  $\text{\O}16\text{mm}$ , sur la perceuse radiale (Figure 13), en se servant d'un plateau diviseur (Figure 13)



**Figure 13 :** Perceuse radiale



**Figure 14 :** Montage de la pièce sur le plateau diviseur

Les instruments des mesures et des contrôles lors de la fabrication du moyeu sont illustrés par la Figure 15 :



Micromètre intérieur



Instrument de contrôle du filetage



Pied à coulisse

**Figure 15** : Instruments de mesure et de contrôle



## 2.4 Régime de coupe d'entreprise :

Opérations		Condition de coupe		
<b>Phase 20</b>				
	Outils et outillages	Prof. de passe ( <i>a</i> ) (mm)	Avance ( <i>f</i> ) (mm/tr)	Vitesse de coupe ( <i>V<sub>c</sub></i> ) (m/min)
Dressage	Outil à dresser carbure métallique	1	0,35	160
Chariotage	Outil à charioter carbure métallique	2	0,40	140
Alésage	Outil à aléser carbure métallique	1	0,35	150
Filetage	Outil à filetage intérieur	0,975	1,5	120
<b>Sous-phase 25</b>				
Dressage	Outil à dresser carbure métallique	1	0,35	215
Alésage	Outil aléser carbure métallique	2	0,35	160
<b>Phase 30</b>				
Perçage	-Foret à centrer -Foret Ø16 mm, ARS			15

**Tableau 1**

Toutes les opérations d'usinage sont accompagnées par de lubrification abondante.

## **X. Contribution pour l'amélioration de la Game d'usinage du moyeu**

# 1. La méthode proposée pour fabrication de la pièce

## 1.1 Introduction

D'après l'étude et l'analyse du dessin de définition et la gamme d'usinage de l'entreprise, on peut relever les remarques suivantes :

Dans le dessin de définition les indications des états du surface (triangle  $\nabla\nabla$ ) sont selon une ancienne désignation, donc on doit les changer par la nouvelle désignation  $\surd$ , tout en indiquant les intervalles de tolérance explicitement.

Selon la référence l'aide-mémoire de M. Norbert [18], on a :

$\sim$  : [100-200  $\mu\text{m}$ ] surface brute et à peu près unie.

$\nabla$  : [50-12,5  $\mu\text{m}$ ] surface bien taillée ayant bon aspect.

$\nabla\nabla$  : [1,6-6,3  $\mu\text{m}$ ] surface façonnée, sans exigences spéciales de qualité frottant, mais avec exigence de correction géométrique.

$$- \quad \varnothing 52 \text{ P7} = \varnothing 52_{-0,05}^{-0,02} \quad , \quad \varnothing 80 \text{ P7} = \varnothing 80_{-0,05}^{-0,02}$$

## 2. Dessin définition amélioré.

## 2.1 Définition de la pièce

- Nom : moyeu de la bétonnière
- La forme de la pièce : cylindrique
- Les spécifications les plus importante : deux diamètres intérieurs  $\varnothing 52_{-0,05}^{-0,02}$  ,  $\varnothing 80_{-0,05}^{-0,02}$
- Taux demande : produit d'entreprise
- La matière : XC 38
- Volume de production : 300 pièce / an
- Type de production : moyenne sériée

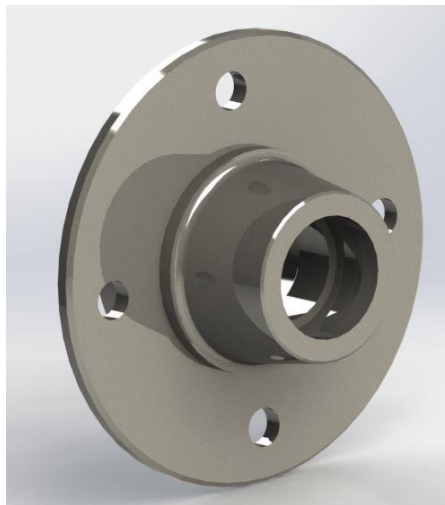


Figure 16 : moyeu en SolidWorks

## 3. Choix régime de coupe :

Pour choisir un régime de coupe doit être connait les fonctions suivantes :

- Matière de la pièce usinée :

La matière utilisée dans notre travail est l'acier XC 38 acier non allié ou acier construction

AFNOR	DIN	NF EN 10027-1
XC 38	Ck 35	C35

Tableau 2

- Composition chimique :

C%	Si%	Mg%	P%	S%
0,35-0,40	0,10-0,40	0,50-0,80	0,035	0,035

Tableau 3

## Propriétés

Acier au carbone, à moyenne teneur, très souvent utilisé en mécanique générale de part sa bonne usinabilité et ses caractéristiques mécaniques. Apte aux traitements thermiques.

- **Caractéristiques mécaniques moyennes (état normalisé)**

Rm N/mm <sup>2</sup>	Re N/mm <sup>2</sup>	A %	Dureté HB	Kcu daj/cm <sup>3</sup>
580-670	33,5	21	300-650	5

**Tableau 4**

## 4. Les conditions des coupes

- ❖ **En tournage :**

1) Outil en carbure revêtu

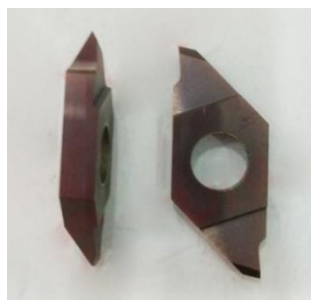


Aciers non alliés		Condition de coupe			Outil carbure revêtu CVD		
XC 38		Prof. de passe <i>a</i> (mm)	Avance <i>f</i> (mm/ tr)	V.de coupe m/min	Nuance ISO	Kr°	Rayon de bec (mm)
Recuit 850°- 875°	Ebauche	2	0,30	200	TP40	95	0,4
	Finition	1	0,10	320	TP40	95	0,4

**Tableau 5**

- ❖ **En alésage :**

1) Outil en carbure revêtu



Nuance ISO	Matériaux usiner XC 38	Alésage		
		Carbure revêtu		
P	Aciers non alliés	Avance mm/tr	Prof a mm	Vitesse de coupe m/min
		0,15	1	150

Tableau 6

❖ **En perçage :**

1) Outil carbure métallique



Nuance ISO	Matériaux à usiner	Perçage		
		Outil carbure métallique		
		Vitesse de coupe m/min	Prof a mm	Avance f mm/tr
P30	Acier non alliés	70	8	0,32

Tableau 7

❖ **En filetage :** Les conditions de coupe sont maintenues comme celles de l'entreprise, mais on accuse un gain sur la durée de vie en changeant le matériau de l'outil (du carbure non revêtu en carbure revêtu)

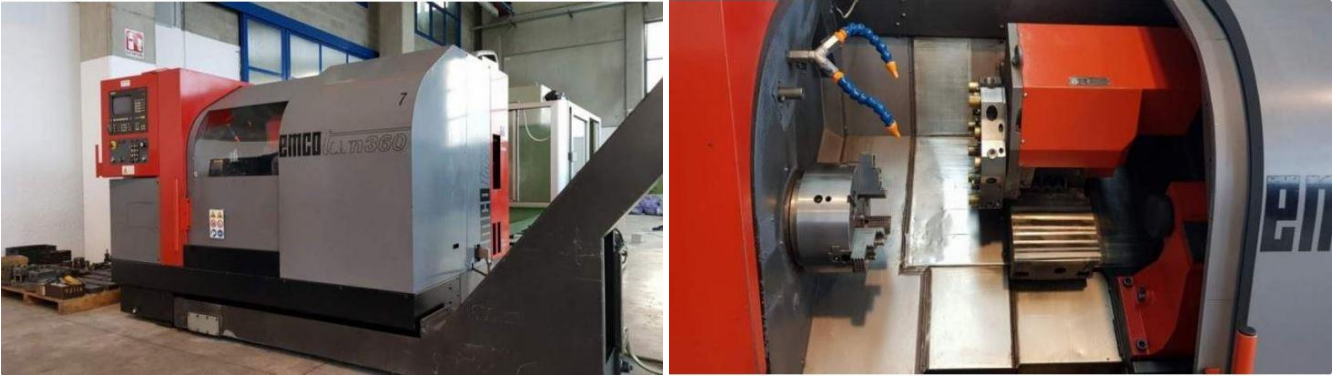


## 5. Lubrification :

Travail à sec.

## 6. Machine utilisée :

### 6.1 EMCO Turn 360 TCM



**Figure 17 :** machine CN EMCO Turn 360 TCM et montage de mandrin a diamètre 250mm

### 6.2 Programme à la machine CN

## **7. Routage d'usinage de la pièce :**

### **Phase 10 :**

#### **Contrôle du brut (pièce forgée)**

Ø188 mm, L=98 mm

### **Phase 20 : Tournage CN (Montage en l'air)**

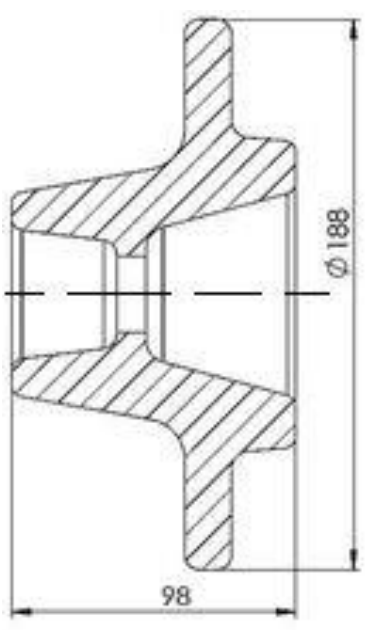
- Dressage de la 1<sup>ère</sup> face Ø70mm
- Chariotage des Ø93mm×6mm et Ø185×9mm+ chanfrein 2×45°
- Alésage des Ø51×10mm, Ø52×17mm et Ø44×17mm
- Filetage intérieur : M55×150

### **S/phase 25 : Tournage CN**

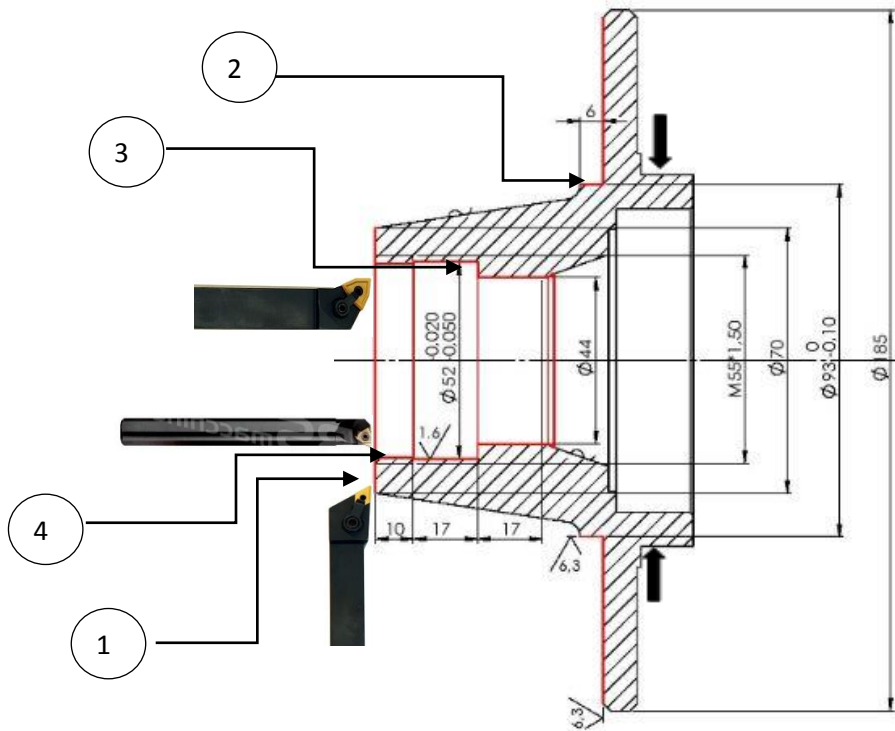
- Dressage de la 2<sup>ème</sup> face Ø98
- Chariotage des Ø98×19mm et Ø109×1mm
- Alésage des Ø80×21mm et Ø69×2mm
- Perçage des 4 trous Ø16 et lamage Ø21.5



## 8. Contrat phase :

Phase N 10		Contrat de phase		Machine ou poste : Tour CN	
Désignation : tournage			Pièce : moyeu		Qté :300
Sous phase :			Matière : XC38		
			Produit :		
					
Désignation des sous-phase et opérations		Outils et outillages		Vérificateurs	
Conditions de coupe					
11	-Contrôle des dimensions du brut (pièce forgée)			-pied coulisse	

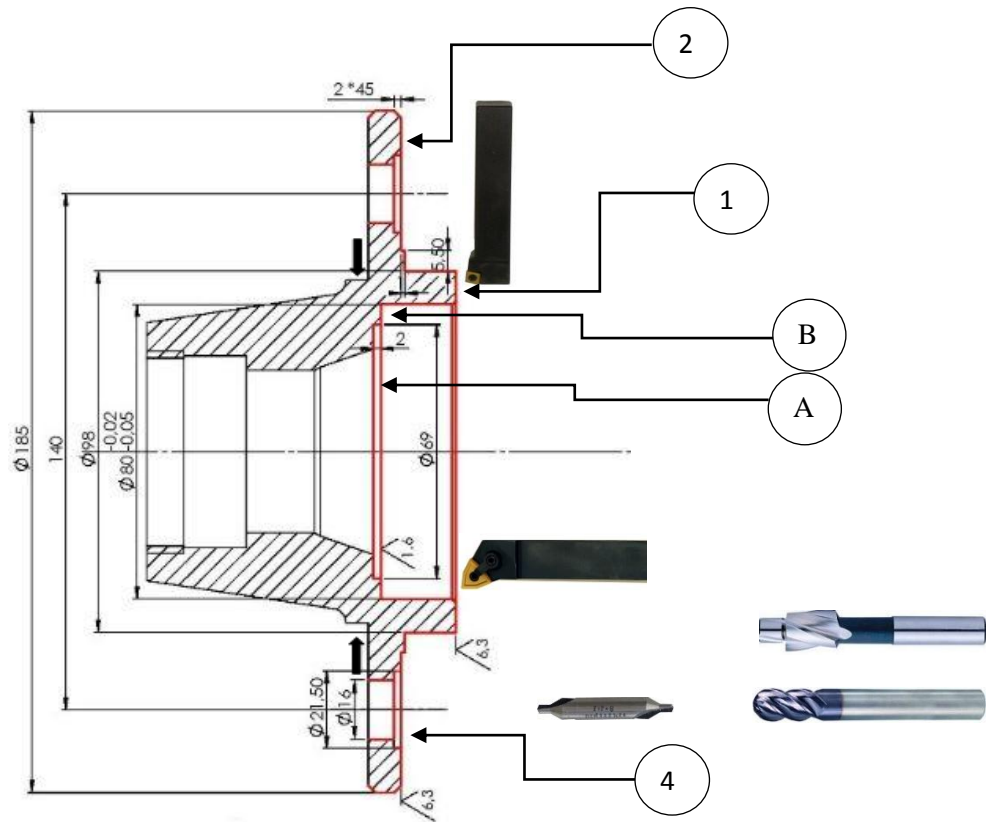
Phase N 20	Contrat de phase	Machine ou poste : Tour CN
Désignation : tournage	Pièce : moyeu	Qté :300
Sous phase :	Matière : XC38	
	Produit :	



Pièce montée  
en mandrin 3  
mors

Désignation des sous-phase et opérations		Outils et outillages	Vérificateurs	Conditions de coupe $V$ m/min, $N$ tr/min $f$ mm/tr
21	-Dressage la 1 <sup>ère</sup> face	-Outil à dresser carbure revêtu	-pied coulisse	$V=200$ m/min $f=0.4$ mm/tr
22	- Chariotage de ②	-outil charioter carbure revêtu	-pied coulisse	$V=200$ m/min $f=0.4$ mm/tr
23	- Alésage ③	-outil aléser carbure revêtu	- Micromètre intérieur	$V=150$ m/min $f=0.35$ mm/tr
24	-Filetage ④	-outil filetage en carbure	- Instrument de contrôle du filetage	$V=120$ m/min $f=1,5$ mm/tr (Pas=1.5mm) $P=0.975$

Sous-  
phase :25



Pièce montée  
en mandrin 3  
mors

Désignation	Des sous-phase et opérations	Outils et outillages	Vérificateurs	Conditions de coupe <i>V m/min, N tr/min</i> <i>f mm/tr</i>
26	- Dressée de (1)	-Outil à dresser carbure revêtu	-pied coulisse	<i>V=200 m/min</i> <i>f=0.35 mm/tr</i>
27	- Chariotage de (2)	-outil charioter carbure revêtu	-pied coulisse	<i>V=140 m/min</i> <i>f=0.4 mm/tr</i>
28	-Aléser de (3)	-outil aléser carbure revêtu	-Micromètre intérieur	<i>N=500 tr/min</i>
29	-Percée (4)	-foret à centrer -foret carbure Ø16 fraise lamer Ø 21	-pied coulisse	<i>Vc=55m/min</i>

# ANNEX

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				

CCMT09T304-F1, CVD nuances revêtues

$\kappa_r = 95^\circ$        $r_z = 0,4 \text{ mm}$        $a_p = 1 \text{ mm}$

SMG	TP1500			TP2500			TP3500			TP40		
	f			f			f			f		
	0,10	0,20	0,30	0,10	0,20	0,30	0,10	0,20	0,30	0,10	0,20	0,30
1	1115	900	770	990	750	605	555	510	450	640	485	400
2	945	765	655	840	635	515	470	430	380	545	410	340
3	780	630	540	695	525	425	390	355	315	450	340	280
4	665	540	460	590	450	360	330	305	270	385	290	240
5	555	450	385	495	375	300	275	255	225	320	240	200
6	485	395	335	435	330	265	240	220	195	280	210	175

Alésage	Diamètre de coupe	Grand	TN6010	TN60	TN60	KBN60M	PV7005				PT600M	TN6010
		Petit	TN60	PV7025	CA6515	PV7005	CA4505	KPD001	CA6515	KPD001	KBN05M	TN6010
		PV7025	CA6525	CA4505	CA4515	KPD010	CA6525	KPD010	KBN10M	PR930		
		CA5515	PR930	CA4515	KW10	KW10	PR1125	KW10	KBN25M	KBN65M		
		CA5525	PR1125	KW10			PR660		KBN30M	KBN70M		
		CA5535	PR1025	KBN60M								
		PR930	PR1225									
		PR1025										

## 9. Conclusion

Suite au stage pratique, réalisé au sein de l'entreprise Ferroviaire Annaba, et suite au choix du « Moyeu des roues de la bétonnière » comme sujet de notre mémoire de fin d'études nous pouvons dégager les principales conclusions suivantes :

- 1) Le stage pratique nous a permis de mettre en œuvre les connaissances théoriques que nous avons acquies à l'université. Par conséquent, il a été d'un grand intérêt, notamment pour le développement de nos connaissances dans le domaine de forgeage et d'usinage.
- 2) L'étude et l'analyse de la méthode de fabrication de la pièce au niveau de l'entreprise, nous a permis de faire quelques propositions d'amélioration. Ceci dans le but d'améliorer la productivité, de réduire les temps et le coût de fabrication. Ces suggestions s'articulent notamment autour du choix des matériaux à outils, des machines-outils et des conditions de coupe.

## Référence

- [1]. **R. BUTIN** Fabrication mécanique technologie 1989.
- [2]. **M. Benglia**, Sélection Optimale des Conditions Coupe d'Opération de Tournage à Passe Multiple, Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2014
- [3]. **Passeron**, Tournage, Techniques de L'Ingénieur, BM7086, 1997
- [4]. **J.P. Corde bois, Coll**, Fabrication Par Usinage, DUNOD, Paris 2003.
- [5]. **F. Amier**, Etude Comportementale de l'Outil – Pièce en Tournage, Ecole Nationale Polytechnique d'Oran, 2005
- [6]. **A. Toumine**, Cours de Fabrication, Usinage par Enlèvement de Copeaux, 2007
- [7]. **H. Hadjsad**, Choix Optimal d'une Technique D'optimisation des Conditions de Coupe en Tournage, Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2014
- [8]. « Cours de Fabrication », Génie Mécanique, 2005
- [9]. Swiss mechanic <http://www.swissindustries.com/yerly-mecanique>
- [10]. **Rocdacier**, Cours sur le Tournage - Usinage Cours Technologie, 2011
- [11]. **S. Benlahmidi, H. Aouici**, Tournage, TP Production/ 2ème année GM&P, Ecole Nationale Supérieure de Technologie 2009
- [12]. **M. Madani, R. Ghouini**, Amélioration des Paramètres Technologiques de Coupe en Tournage, Mémoire de Master Université, kasdi Merbah de Ouargla, 2011.
- [13]. Détermination Des Paramètres De Coupe, Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail-maroc-,
- [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. Vergnas**, Usinage, Technologie et Pratique, Génie Mécanique Dunod, Isbn 2-04-011186-7, Bordas, Paris 1982
- [16]. PRODUC31 – Usinage par outil coupant – 3GM\* V2014-2015
- [17]. [www.ceratizit.com](http://www.ceratizit.com)
- [18]. Catalogue Nuance de plaquettes A1~A16
- [19]. Livre Aide-mémoire m. Norbert
- [20]. [www.metaux-detail.com](http://www.metaux-detail.com)