



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

Etude Et Conception De Fabrication D'une Contre-Pointe Tournante

DOMAINE : SCIENCE ET TECHNIQUE

FILIERE : GENIE MECANIQUE

SPECIALITE : FABRICATION MECANIQUE ET PRODUCTIQUE

DIRECTEUR DU MEMOIRE : Dr. MOKAS Nacer

PRESENTE PAR : CHAIB Hamza

JURY DE SOUTENANCE :

PRESIDENT : Pr. BOULANOUAR L.

EXAMINATEURS : Pr. HAMADACHE M. .

Dr. BENGHERSALLAH M.

Dr. MENAIL Y.

Année universitaire : 2018/2019

REMERCIEMENTS

Je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience de terminer ce modeste travail.

Je tiens à adresser mes remerciements à mon encadreur monsieur

Dr MOKAS N. d'avoir accepté de diriger ce travail et d'avoir mis à ma disposition tous les moyens qui m'ont permis de mener à terme cette étude et pour ses précieux conseils et encouragements.

Enfin, un grand merci à tous les enseignants de Génie Mécanique, et particulièrement à ceux que j'ai eu le plaisir d'avoir en Parcours de Master qui n'ont ménagé aucun effort pour le bon déroulement de notre formation.

Que toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail trouve ici toute ma gratitude.

CHAIB HAMZA

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail

A Ma très chère Mère qui a été toujours à mes côtés ;

A Mon Père qui m'a toujours guidé et soutenu ;

A mon frère khalil, à mes sœurs pour leur soutien moral ;

A tous mes amis auxquelles j'ai partagé les meilleurs

moments de ma vie, à tous mes collègues ;

A toute la famille

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

CHAI B HAMZA

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Introduction général

| | |
|---|----|
| Chapitre I Etude bibliographique | 1 |
| 1.2 Généralités sur L'usinage..... | 2 |
| 1.2.1 Introduction..... | 2 |
| 1.2.2 Procédés d'usinage..... | 2 |
| 1.2.3 Le But de L'usinage..... | 3 |
| 1.3 Phénomène de coupe..... | 4 |
| 1.3.1 Opération d'usinage..... | 4 |
| 1.3.2 Le tournage :..... | 4 |
| 1.3.3 Type de montage :..... | 6 |
| 1.3.4 Le perçage..... | 8 |
| 1.3.5 Le fraisage..... | 9 |
| 1.3.6 Rectification..... | 10 |
| 1.4 Traitement thermique..... | 14 |
| 1.4.1 Trempe..... | 14 |
| 1.4.2 Revenu..... | 15 |
| 1.4.3 Recuit..... | 15 |
| 1.5 Les paramètres de coupe :..... | 15 |
| 1.5.1 Généralité :..... | 15 |
| 1.5.2 La notion de copeau minimum..... | 16 |
| 1.5.3 Les critères de choix :..... | 16 |
| 1.6 Les types d'avances :..... | 18 |
| 1.7 Profondeur de coupe p..... | 19 |

| | |
|---|-----------|
| 1.8 La section du copeau : | 20 |
| 1.9 Outils de coupe et leurs nuances | 20 |
| 1.9.1 Classification des outils de coupe | 20 |
| 1.9.2 Géométrie des outils de coupe : | 21 |
| 1.9.3 Forme et geometrie des outils de coupe | 22 |
| 1.9.4 Influence sur la coupe et defintion des principaux angles..... | 25 |
| 1.9.5 L'affûtage des outils | 28 |
| 1.10 Matériaux des outils de coupe | 29 |
| 1.10.1 Choix du matériau de l'outil de coupe : | 30 |
| 1.10.2 Revêtements : | 31 |
| 1.11 Mouvement relatif outil / pièce | 32 |
| 1.11.1 Mouvement de coupe M_c | 32 |
| 1.11.2 Mouvement d'avance M_a | 32 |
| 1.11.3 Mouvement de pénétration M_p | 322 |
| Chapitre II Modalisation sous SolidWorks de la pointe tournante..... | 33 |
| 2.1 vue assemblage..... | 34 |
| 2.2 Vue éclatée..... | 35 |
| 2.3 Arbre..... | 36 |
| 2.4 Pointe..... | 37 |
| Chapitre III Etudes de fabrication | 42 |
| 3.1 Quelques informations sur la composition chimique de la matière à usiner..... | 43 |
| 3.2 Autres appellations..... | 43 |
| 4.3 Domaines d'applications | 43 |
| 4.4 Mode d'obtention de l'ébauche..... | 43 |
| 4.5 Routage d'usinage d'arbre..... | 44 |
| 4.6 Routage d'usinage de la pointe..... | 46 |

| | |
|--|----|
| Chapitre IV Gamme d'usinage | 44 |
| 4.1 Gamme d'usinage d'arbre..... | 45 |
| 4.2 Gamme d'usinage de la pointe..... | 55 |
| 4.1 Conclusion..... | 63 |
| Référence Bibliographique..... | 64 |

LISTE DES FIGURES

| | | |
|-------------|--|----|
| Figure 1.1 | Opération de tournage | 2 |
| Figure 1.2 | Composition d'un tour conventionnel. | 5 |
| Figure 1.3 | Les différents outils de tournage | 5 |
| Figure 1.4 | Montage en l'air | 7 |
| Figure 1.5 | Montage mixte | 7 |
| Figure 1.6 | Entre pointes | 8 |
| Figure 1.7 | Exemples de trou réalisés | 8 |
| Figure 1.8 | Différentes opérations de perçage industrielles | 9 |
| Figure 1.9 | Illustration différentes opérations en fraisage industrielles | 9 |
| Figure 1.10 | Opérations d'usinages en tournage | 10 |
| Figure 1.11 | Illustration d'une opération de Rectification | 11 |
| Figure 1.12 | Rectification cylindrique extérieure | 12 |
| Figure 1.13 | Rectification cylindrique intérieure | 13 |
| Figure 1.14 | Phénomène de coupe | 16 |
| Figure 1.15 | Vitesse de coupe | 17 |
| Figure 1.16 | D'avance V_f , Avance par tour f | 18 |
| Figure 1.17 | Différents types d'avance | 19 |
| Figure 1.18 | Représentation de la profondeur de passe p | 19 |
| Figure 1.19 | Exemple d'outil de coupe | 20 |
| Figure 1.20 | Principales surfaces d'un outil de coupe | 21 |
| Figure 1.21 | Présentation des différents types d'outils | 22 |
| Figure 1.22 | Faciès limitant la partie active de l'outil | 22 |
| Figure 1.23 | Plans sur un outil en main | 23 |
| Figure 1.24 | Angles de coupe sur un outil en main | 25 |
| Figure 1.25 | Influence de l'angle d'inclinaison d'arrête le sens d'écoulement du copeau | 25 |
| Figure 1.26 | Influence de l'angle de dépouille | 26 |
| Figure 1.27 | Influence de l'angle de coupe le sens dégagement du copeau | 27 |
| Figure 1.28 | Position de l'angle de coupe en usinage | 28 |
| Figure 1.29 | Les angles d'outil | 27 |
| Figure 1.30 | Domaines d'emploi des divers matériaux à outil coupant | 31 |
| Figure 1.31 | Mouvements de l'outil et de la pièce en tournage | 32 |

Liste des tableaux

| | | |
|-------------|--|----|
| Tableau 1.1 | Déférentes outils de tournage | 6 |
| Tableau 1.2 | Opérations en fraisage | 10 |
| Tableau 1.3 | La variation de l'angle tranchant en fonction de la matière à usiner | 29 |
| Tableau 2.1 | Composition chimique | 46 |
| Tableau 2.2 | Propriétés mécaniques | 46 |

Liste des abréviations

| | |
|--------------|---|
| a_p | Profondeur de passe (mm) |
| V_c | Vitesse de coupe, (m/min) |
| f | Vitesse d'avance (mm/tr) |
| V | Volume du copeau (cm ³) |
| D | Débit du copeau (cm ³ /mn)) |
| R_a | Rugosité arithmétique moyenne (μm) |
| F_c | Effort de coupe (daN) |
| F_t | Effort tangentiel (daN) |
| F_r | Effort radial daN) |
| F_p | Effort de poussé (daN) |
| R_ϵ | Rayon du bec de l'outil (mm) |
| γ | Angle de coupe ($^\circ$) |
| α | Angle de dépouille, ($^\circ$) |
| β | Angle de frottement, ($^\circ$) |
| λ | Angle de coupe ($^\circ$) |
| γ_C | Angle de cratérisation ($^\circ$) |
| \emptyset | Le diamètre de la pièce (mm) |
| L | Longueur de copeau usiné (mm) |
| X_r | Angle de direction principal ($^\circ$) |
| HRC | Dureté Rockwell |
| HB | Dure |

1.1 Introduction générale

L'industrie mécanique s'est développée grâce aux technologies diversifiées de fabrication de pièces et composants qui constituent les ensembles et sous-ensembles mécaniques. Cependant les techniques de moulage et d'estampage n'arrivent pas à satisfaire les besoins mécaniques en pièces et composants spécifiques. Parmi les principaux procédés de fabrication mécanique, il est indispensable d'en citer l'usinage des métaux qui a contribué le plus dans la fabrication et la finition des pièces de précision.

Un procédé de fabrication est un ensemble de techniques visant l'obtention d'une pièce ou d'un objet par transformation de matière brute. Obtenir la pièce désirée nécessite l'utilisation successive de différents procédés de fabrication. Ces procédés de fabrication font partie de la construction mécanique.

Face à la concurrence, les entreprises doivent diminuer les temps de production et les prix tout en améliorant la qualité. Pour atteindre ces objectifs, elles doivent actualiser en permanence leurs méthodes et moyens de production.

Les entreprises industrielles, où l'activité de fabrication prend un rôle important, la fonction méthode a la lourde charge d'assurer le lien entre la fonction étude et conception et la fonction production et fabrication. Ce lien est assuré par la génération d'une gamme d'usinage. Cette gamme a pour but la planification de la production en un minimum de temps et avec des coûts les plus faibles possibles tout en satisfaisant les qualités exigées. Une optimisation sous diverses contraintes liées aux moyens de production (capacité, puissances, précision, etc.) et au produit lui-même (matériaux, volumes de production, qualités, etc.) en utilisant toutes les ressources et le savoir-faire de l'entreprise.

Ce manuscrit se décompose en quatre chapitres comme suit :

- Chapitre I : Etude bibliographiques ;
- Chapitre II : Modalisation sous SolidWorks d'une Contre-Pointe Tournante ;
- Chapitre III : Etude de fabrication ;
- Chapitre IV : Gamme d'usinage.

Chapitre I

Etude bibliographique

1.2 Généralités sur L'usinage

1.2.1 Introduction

On appelle usinage toute opération de mise en forme par enlèvement de matière à l'aide d'une machine-outil destinée à conférer à une pièce des dimensions et un état de surface (écart de forme et rugosité) situés dans un intervalle de tolérance donné. D'un point de vue économique, le secteur industriel de l'usinage a une importance non négligeable puisqu'il produit environ 2,5 % du produit national brut d'un pays développé.

L'usinage concerne en premier lieu les matériaux métalliques et la plupart des objets métalliques d'utilisation courante qui ont subi déjà une ou plusieurs opérations de mise en forme. La mise en forme par usinage concerne également, mais de manière moins conséquente en général, toutes les autres classes de matériaux (céramiques, polymères, bois et matériaux dérivés, matériaux composites, verres, semi-conducteurs, etc...), selon des modalités spécifiques, dépendant des caractéristiques du procédé et du matériau.

Lors de l'usinage d'une pièce, l'enlèvement de matière est réalisé par la combinaison de deux mouvements relatifs entre la pièce et l'outil : le mouvement de coupe et le mouvement d'avance. Il existe deux manières pour générer la surface recherchée : soit par le travail de forme, soit par le travail d'enveloppe. Dans le cas du travail de forme, c'est la forme de l'outil qui conditionne la surface finalement obtenue. Dans le cas du travail d'enveloppe, c'est la trace de l'arête de l'outil qui travaille (le point générateur) qui donne la surface finale [1].



Figure 1.1 : Illustration d'une opération de tournage

1.2.2 Procédés d'usinage

Les procédés d'usinage sont extrêmement variés et leur distinction se fait suivant trois critères essentiels :

- La date de leurs apparitions : les procédés traditionnels et les non traditionnels.

- Les phénomènes physiques correspondant : procédés de coupe, par abrasion, et procédés physico-chimiques.
- Le type des machines et des outils utilisés : En fonction des outils et des machines utilisées, on distingue différents procédés d'usinage. Les procédés les plus répandus sont le tournage, fraisage, perçage, rectification, rabotage, ...etc. La fabrication débute avec ce que l'on appelle un matériau brut, elle le modifie jusqu'à ce qu'il soit conforme au dessin de définition, donc aux exigences techniques du bureau d'études. [2]

1.2.3 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 segments de droites et d'arcs de cercles.

Le cout de l'usinage est calculé en fonction du temps de travail, de la surépaisseur de matière à enlever, d'usure de la machine-outil, du consommables (outil, lubrifiant, courant électrique), et du stockage. On ne pratique donc que les usinages nécessaires.

On distingue seize fonctions principales que peut contenir 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 fluide (FF),
- Résistance au matage (RM),
- Étanchéité dynamique avec et sans joint (ED),
- Étanchéité statique avec et sans joint (ES),

- Ajustement fixe 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 de 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, et le contrôle à effectuer. [3]

1.3 Phénomène de coupe

1.3.1 Opération d'usinage

L'usinage est un moyen de techniques de fabrication de pièces mécaniques. Le principe d'usinage est l'enlèvement de la matière de manière 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 outil. Le mouvement de coupe (vitesse de coupe VC) et le mouvement d'avance (vitesse d'avance Vf).

1.3.2 Le tournage :

Ce procédé permet d'obtenir des formes de révolution extérieures ou intérieures, à l'aide d'outils généralement à tranchant unique.

La pièce est animée d'un mouvement de rotation, l'outil se déplace par rapport au bâti selon, en général, deux translations, sa trajectoire déterminant le profil. [4]

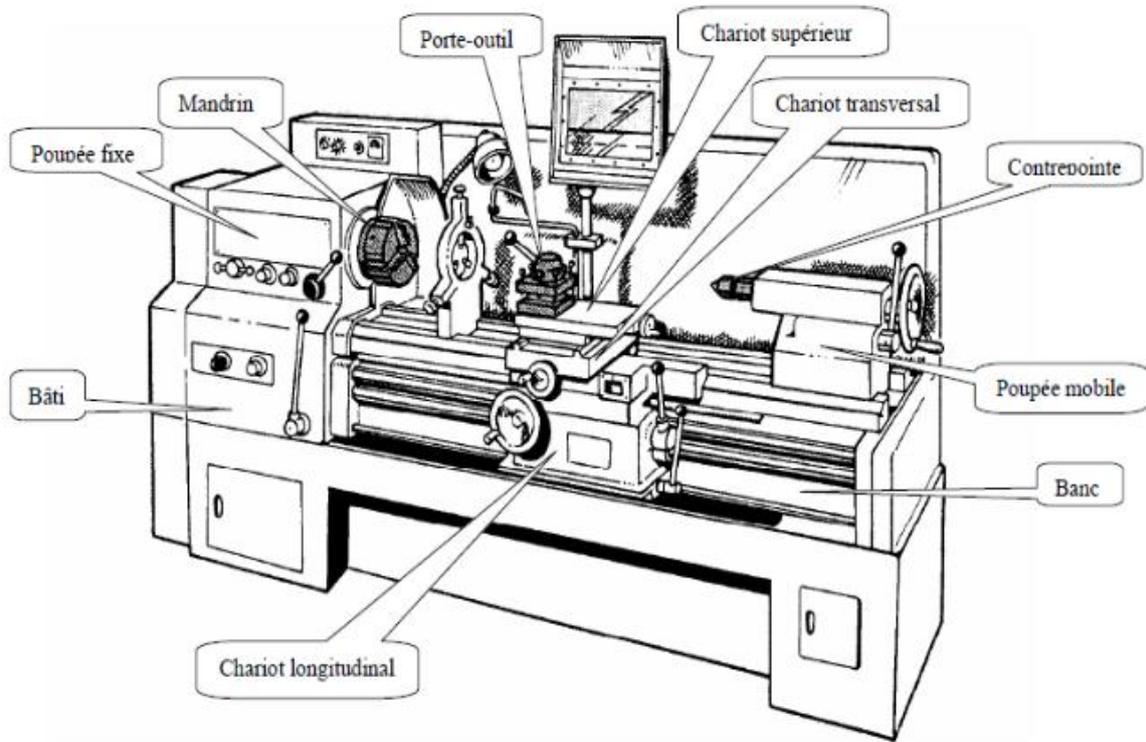


Figure 1.2 : composition d'un tour conventionnel. [4]

On distingue deux classes distinctes d'opérations de tournage :

- o les opérations de tournage extérieur,
- o les opérations de tournage intérieur.

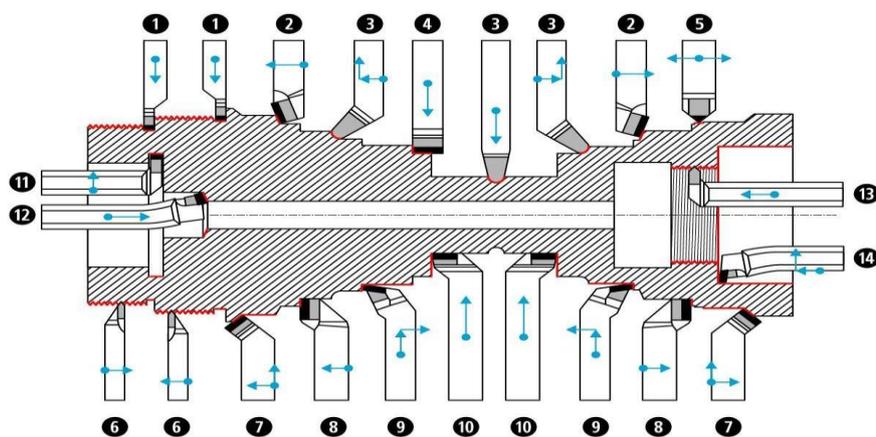


Figure 1.3 : les différents outils de tournage [3]

Tableau 1.1 : différents outils de tournage [3]

| | |
|----|-----------------------------|
| 1 | Outil à saigner |
| 2 | Outil à charioter droit |
| 3 | Outil à retoucher |
| 4 | Outil pelle |
| 5 | Outil à retoucher |
| 6 | Outil à fileter (extérieur) |
| 7 | Outil à charioter coud |
| 8 | Outil couteau |
| 9 | Outil à dresser d'angle |
| 10 | Outil à dresser les faces |
| 11 | Outil à chambrer |
| 12 | Outil à aléser |
| 13 | Outil à fileter (intérieur) |
| 14 | Outil à aléser et dresser |

La normalisation concerne aussi bien les outils en acier rapide que les outils à plaquettes en carbure. Le nom de l'outil est lié à sa fonction (ex : outil à charioter).

Notons toutefois, que certains outils conviennent pour plusieurs fonctions différentes. Enfin, les outils peuvent être à gauche ou à droite.

En fonction de la profondeur de passe on distingue :

- o l'ébauche,
- o la finition.

o Définition L'ébauche :

Permet d'enlever un maximum de matière en un minimum de temps.

Un outil d'ébauche doit supporter des efforts de coupe importants.

o Définition La finition :

C'est la dernière opération d'usinage d'une surface, elle permet d'obtenir une très bonne qualité (rugosité) sur les surfaces usinées.[3]

1.3.3 Type de montage :

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

1.3.3.1 Montage en l'air :

La pièce est serrée dans un mandrin 3 mors à serrage concentrique. Ce montage est utilisé pour les pièces assez courtes et rigides. Si la pièce doit être démontée entre l'usinage, la concentricité entre ces usinages dépendra de la qualité du mandrin.

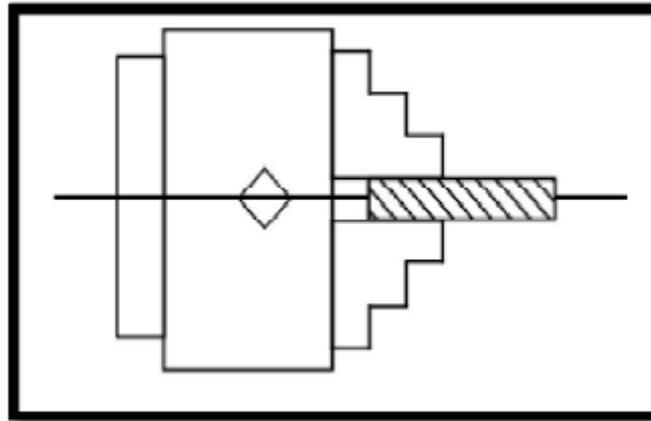


Figure 1.4 : Montage en l'air [5]

1.3.3.2 Montage mixte :

Pour les pièces très longues on utilise le montage mixte où la pièce est serrée en mandrin du côté de la broche et simultanément soutenue à son autre extrémité par le contre-pointe. Ce montage le plus rigide d'entre tous a pour défaut d'être hyperstatique, c'est-à-dire que mal réalisé, il peut déformer la pièce.

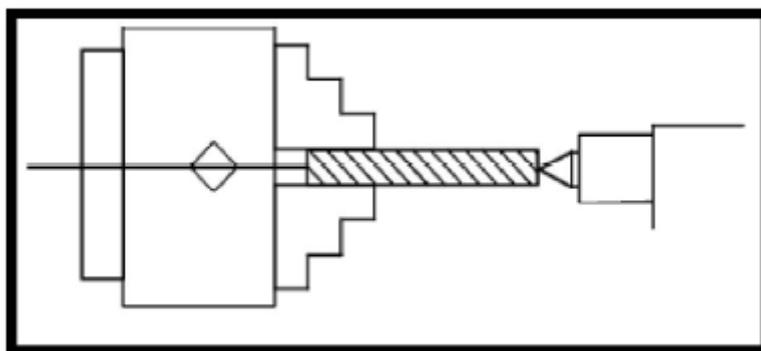


Figure 1.5 : Montage mixte [5]

1.3.3.3 Montage entre pointes :

Sur la pièce est vissé un toc qui est entraîné en rotation par le plateau pousse-toc. Ce montage est utilisé pour les pièces assez longues mais rigides.

Un centre doit être usiné aux deux extrémités de la pièce : un pour la pointe fixe, l'autre  pour la contre-pointe qui est montée dans la poupée mobile. Excellente concentricité des usinages. [5]

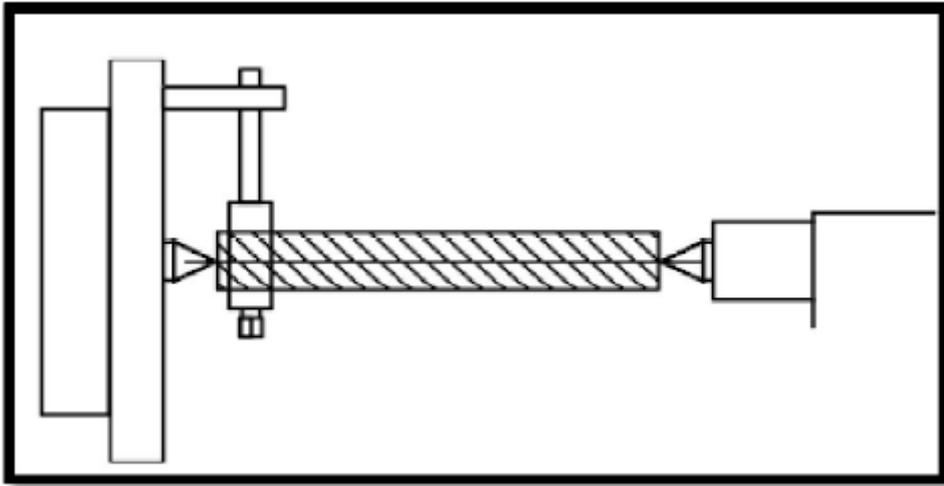


Figure 1.6 : Entre pointes [5]

1.3.4 Le perçage

Le perçage est une opération d'usinage consistant à faire un trou dans une pièce. Ce trou peut traverser la pièce de part en part, on l'appelle trou débouchant ou bien ne pas la traverser, c'est alors un trou borgne. Ce trou peut être effectué par un foret, par découpe à l'aide d'un poinçon (trous débouchant), par électroérosion, par laser, par brochage, etc. Ce trou peut servir à faire passer une pièce ou un fluide, il peut être lisse ou taraudé pour recevoir un rivet ou une vis d'assemblage. L'étude est limitée au perçage de trous cylindriques lisses réalisés à l'aide d'un outil rotatif coupant appelé foret. Le perçage est l'opération d'usinage la plus courante dans l'industrie mécanique, la Figure 1.7 un exemple de perçage sur un tour. [6]

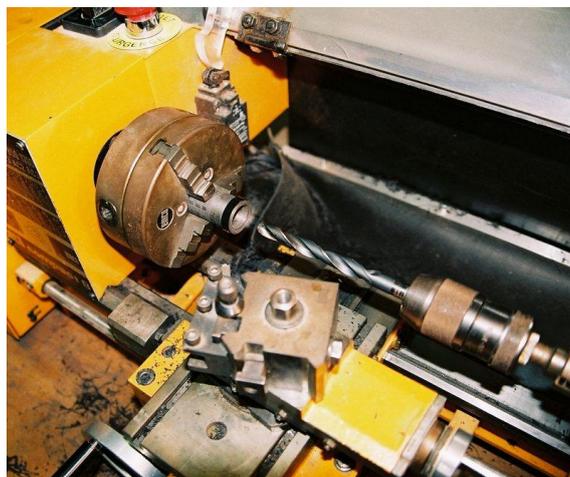


Figure 1.7 : Exemples de trou réalisés. [6]

1.3.4.1 Les opérations réalisées et leurs outils associés

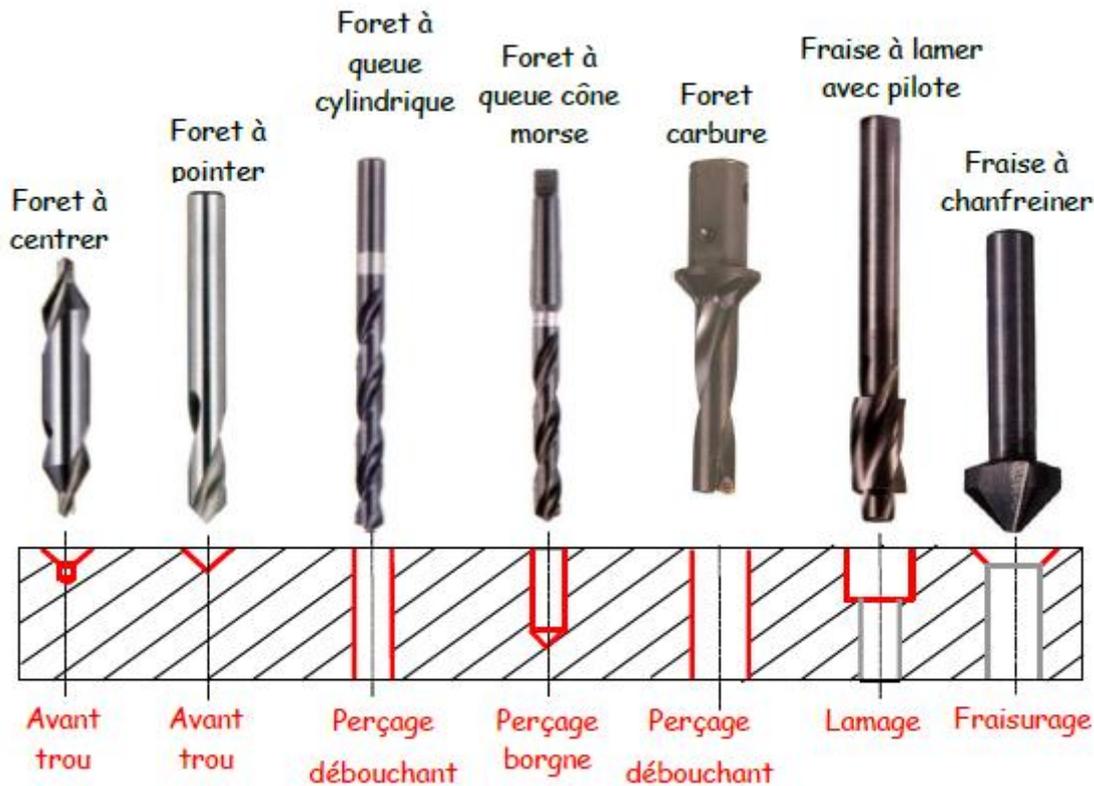


Figure 1.8 : différentes opérations de perçage industrielles. [7]

1.3.5 Le fraisage

Le fraisage est un procédé d'usinage par enlèvement de la matière. Il est caractérisé par le recours à une machine-outil appelée fraiseuse et l'utilisation d'un outil de coupe spécial (à arêtes multiples) appelé fraise. La fraiseuse est particulièrement adaptée à l'usinage des surfaces plates et permet également, si la machine est équipée de commande numérique, de réaliser tout type de formes mêmes complexes. La coupe en fraisage s'effectue habituellement avec des dents Placées sur le périphérique et / ou sur l'extrémité d'un disque où d'un cylindre. [8]



Figure 1.9 : Illustration de différentes opérations en fraisage industrielles. [8]

Les diverses opérations d'usinage qui peuvent être exécutées sur une fraiseuse sont représentées dans la figure suivante :

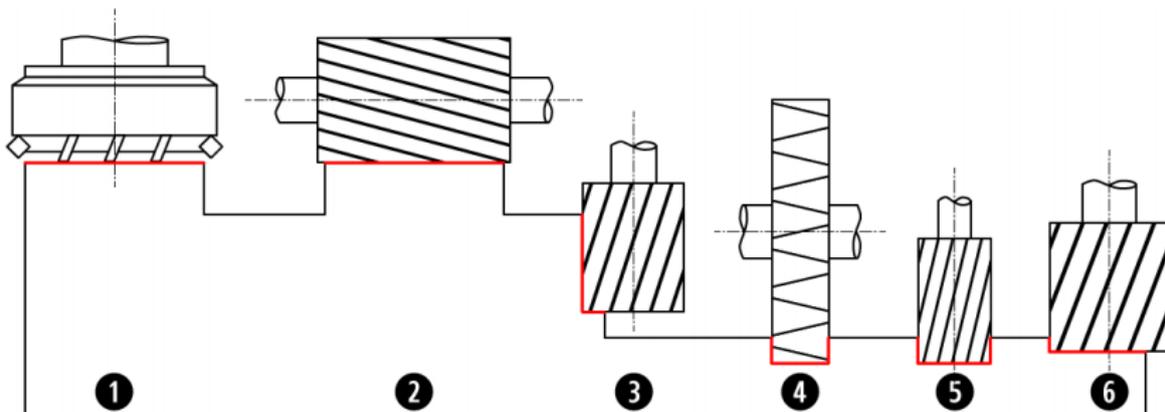


Figure 1.10 : Opérations d'usinages en tournage [9]

Tableau 1.2 : opérations en fraisage [9]

| | |
|---|--|
| 1 | Surfaçage de face |
| 2 | Surfaçage de profil |
| 3 | Surfaçage- dressage prédominant profil |
| 4 | Rainurage 3 tailles |
| 5 | Rainurage 2 tailles |
| 6 | Surfaçage - dressage prédominant face |

1.3.6 Rectification

La **rectification** d'une pièce mécanique est une opération destinée à améliorer son état de surface.

1.3.6.1 Principe

La rectification s'effectue sur une machine-outil conçue à cet effet appelée la rectifieuse. Il s'agit de rectifier est donc d'approcher une surface d'une forme parfaite (en général : plan, cylindre de révolution ou cône).

La rectification est souvent utilisée dans le but de préparer des surfaces frottantes, par exemple la portée d'un arbre qui tournera dans un palier lisse ou dans un joint d'étanchéité. Elle peut également être utilisée pour donner un profil particulier à la pièce lorsque la meule a été au préalable usinée au profil complémentaire.

La rectification plane consiste en un meulage horizontal de la pièce de façon à éliminer à plusieurs reprises des couches de matériau allant de 20 à 40 micromètres (0,0005 à 0,001 pouce). Ici, la pièce effectue un mouvement de va et vient longitudinal (qui peut être combiné à un balayage transversal pour rectifier une largeur supérieure à la largeur de la meule).

De même, la rectification double face consiste à rectifier les deux faces de la pièce en même temps. Dans le cas de la rectification cylindrique, la pièce tourne sur elle-même en effectuant sa course parallèlement à l'axe de la meule.

Aujourd'hui avec l'apparition des nouveaux procédés d'usinage à grande vitesse, on voit également apparaître un nouveau procédé appelé rectification grande vitesse.

Contrairement à l'usinage traditionnel (enlèvement de copeaux par outils coupant), la rectification permet des usinages de précision dimensionnelle élevée grâce au principe de l'usinage par abrasion. [10]



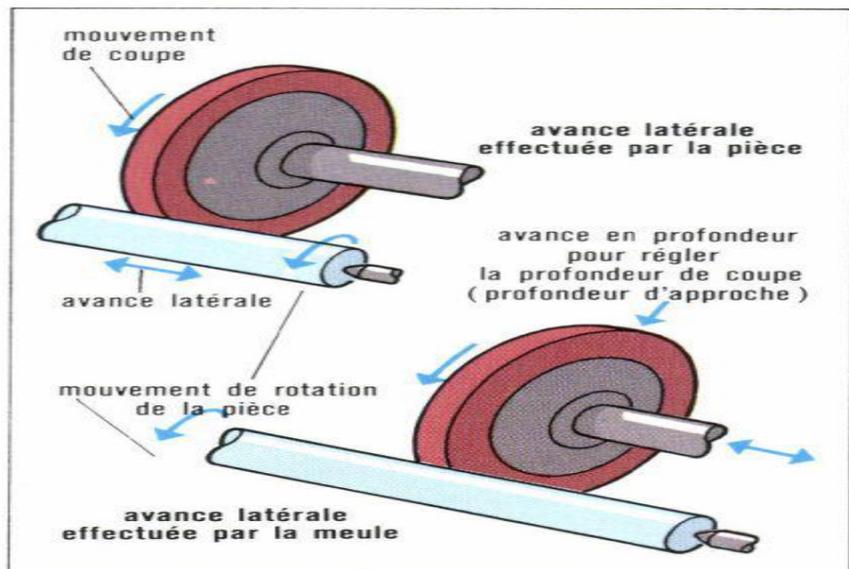
Figure 1.11 : Illustration d'une opération de Rectification [10]

1.3.6.2 Type de rectification :

1.3.6.2.1 Rectification cylindrique extérieure :

Lors des opérations générales de rectification cylindrique extérieure, les pièces sont normalement maintenues « entre pointes », puis usinées aux diamètres extérieurs souhaités par enlèvement de matière à l'aide d'une meule. Les exigences croissantes dans le domaine de la construction mécanique et automobile ont donné lieu à de nombreuses variantes de cette procédure de rectification. Il existe ainsi un nombre illimité de dimensions et de compositions de meules.

La plupart des applications font principalement appel aux meules en corindon à liant vitrifié, avec des tailles de grains situées entre 54 et 180 (μm) et des duretés comprises entre H et L (selon les exigences), ce qui permet d'obtenir un équilibre optimal entre le taux d'enlèvement et la qualité de surface. Si la rugosité de surface souhaitée est extrêmement fine (par ex. $R_z < 3 \mu\text{m}$), l'emploi de meules à liant résine avec des tailles de grains inférieures à 150 (μm) est alors recommandé. [11]



Mouvements en rectification cylindrique.

Figure 1.12 : Rectification cylindrique extérieure [11]

1.3.6.2.2 Rectification cylindrique intérieure :

La rectification cylindrique intérieure est particulièrement destinée au perfectionnement des surfaces de travail intérieures. De nombreuses applications de cette procédure sont apparues au cours des dernières décennies. Le diamètre extérieur de la meule est fortement limité par le diamètre intérieur de la zone à rectifier. Par conséquent, la durée de vie de la meule est l'un des critères les plus importants pour l'évaluation économique du processus. Les types de grains

sélectionnés pour la rectification cylindrique intérieure doivent être le plus résistants possible à l'usure. Ceci inclut en particulier le nitrure de bore cubique (CBN), ainsi que le corindon fritté ou divers oxydes d'aluminium.

Pour cette procédure de rectification, on utilise le plus souvent des liants vitrifiés et des tailles de grains comprises entre 54 et 180 (μm). Les liants résine sont surtout utilisés lorsque l'on recherche une rugosité de surface extrêmement fine (par ex. $R_z < 3 \mu\text{m}$)

Les duretés de meule standard sont généralement comprises entre H et L. [11]

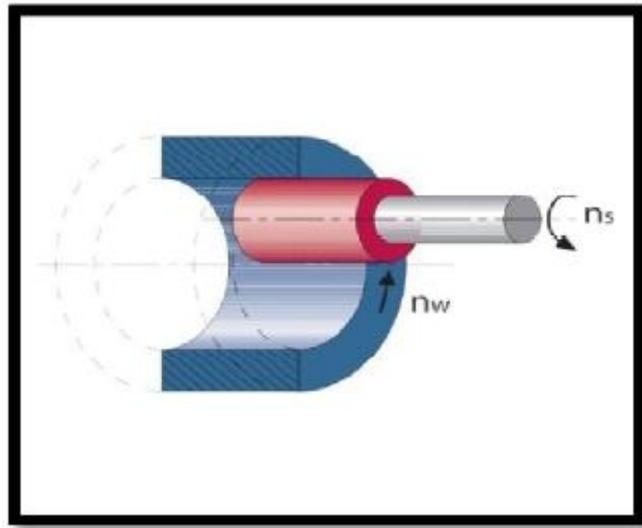


Figure 1.13 : Rectification cylindrique intérieure [11]

1.3.6.3 Matériaux

Il est possible de rectifier :

- Acier classique non trempé
- Acier trempé jusqu'à 70 HRC
- Acier chromé dur
- Céramique
- Carbure
- Plastique

1.3.6.4 Différents types de meules

- Standard : Corindon à base de Al_2O_3 (fritté, normal, semi-supérieur, supérieur, monocristallin, à billes creuses...)
- Nitrure de Bore Cubique (abréviation : CBN. Le nom commercial donné par General Electric en 1969 : Borazon)
- Diamant

Dans chaque cas elle se différencie par :

- La variété du grain (oxyde d'aluminium, carbure de silicium, diamant, etc.)
- La grosseur du grain
- L'espace entre chaque grain
- Le liant
- Le diamètre et la largeur

1.3.6.5 Avantages de la rectification

- Possibilité de s'attaquer aux matériaux les plus durs
- Pouvoir atteindre des tolérances dimensionnelles de l'ordre du micromètre (0,001 mm)
- Obtenir un état de surface poussé ($< 0,1 \text{ Ra}$)
- Permet d'être moins précis sur l'usinage [10]

1.4 Traitement thermique

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

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

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

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

Les traitements thermiques jouent également un rôle important dans le domaine de la tribologie.

Les traitements thermiques peuvent être classés comme suit :

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

1.4.1 Trempe

La trempe est un traitement thermique administrée afin d'améliorer les caractéristiques mécaniques son but est :

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

1.4.1.1 Mode d'emploi

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

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

1.4.2 Revenu

1.4.2.1 Définition

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

1.4.2.2 Mode d'emploi

On met la pièce dans un four, on la chauffe lentement. Après, on la refroidit brutalement (mais un peu moins brutalement que la trempe) dans l'huile ou dans l'air.

1.4.3 Recuit

1.4.3.1 Définition

Le recuit a pour but de supprimer ou diminuer les tensions internes résultant de l'obtention d'une pièce par moulage ou forgeage ou soudure. Il permet aussi d'annuler les effets d'une trempe. [12]

1.5 Les paramètres de coupe :

1.5.1 Généralité :

La formation du copeau résulte l'action mécanique complexe. L'arête de coupe (intersection de la face de coupe avec la face de dépouille) pénètre dans la matière et provoque la formation du copeau. Le frottement de celui-ci sur la face de coupe et celui de la pièce sur la face de dépouille provoquent une augmentation importante de la température, qui peut entraîner une fusion locale du copeau. Ce phénomène peut conduire à l'adhérence du copeau sur la face de coupe (copeau adhérent). la création d'une arête rapportée.

Les principaux facteurs influençant la formation du copeau sont :

- o la vitesse de coupe V_c [m/min] ;
- o la profondeur de passe a [mm] ;
- o la vitesse d'avance V_f [mm/tour] ou [mm/dent/tour];

- o la géométrie de l'outil ;
- o les matériaux de l'outil et de la pièce ;
- o la lubrification. [13]

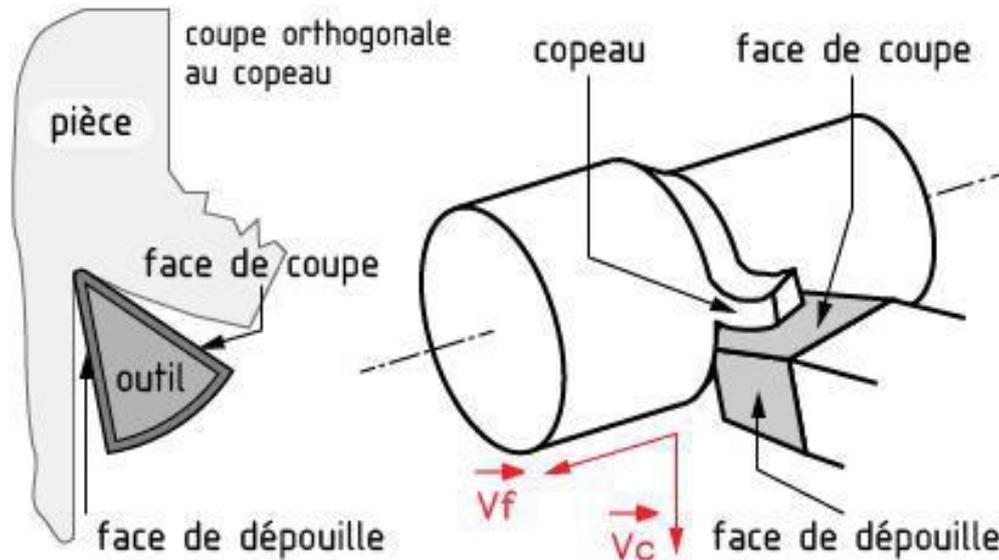


Figure 1.14 :phénomène de coupe [13]

1.5.2 La notion de copeau minimum

Lorsque la profondeur de passe et l'avance sont trop faibles : l'outil ne coupe plus. Le métal se comprime superficiellement et la pression de contact outil-pièce provoque l'usure prématurée de l'outil ainsi que l'obtention d'un mauvais état de surface. Il est nécessaire de choisir des valeurs optimales pour obtenir un résultat satisfaisant. [13]

1.5.3 Les critères de choix :

Plusieurs critères permettent de définir les paramètres de la coupe :

- o le type de machine et sa puissance,
- o la matière mise en œuvre,
- o la matière de l'outil,
- o le type d'opération.

L'objectif est d'obtenir une pièce usinée dans de bonnes conditions. Pour cela il faut déterminer certains paramètres spécifiques, notamment la vitesse de coupe V_c , la vitesse d'avance V_f et la profondeur de passe a .

a) La vitesse de coupe V_c [m/m in] :

Représente l'espace parcouru (en mètres) par l'extrémité d'une dent de l'outil en une minute. Ce paramètre influence la durée de vie des outils et varie :

- o avec le type de matière à usiner et le matériau de l'outil,
- o selon la nature de l'opération (ébauche ou finition),
- o par rapport au type d'usinage effectué (application d'un coefficient réducteur lorsque l'usinage est délicat),
- o fonction d'utilisation des conditions de lubrification (travail à sec ou lubrifié).

Les valeurs usuelles des vitesses de coupe, fonction de la matière à usiner et de la matière de l'outil, sont données dans des abaques.

$$V_c = \pi * D * N / 1000 \quad (1.1)$$

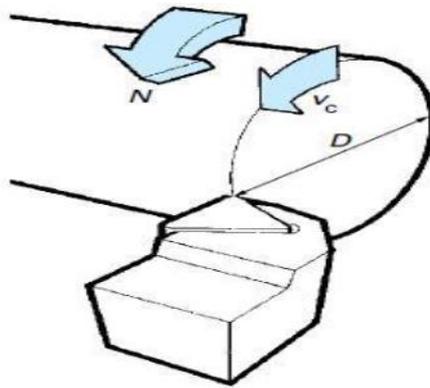


Figure 1.15 : Vitesse de coupe [14]

b) La fréquence de rotation N [tour/min]

se calcule par la formule suivante :

$$N = (1000 * V_c) / (\pi * D) \quad (1.2)$$

Où D (mm) représente le diamètre de la pièce à usiner (en tournage) ou le diamètre de la fraise/du foret (en fraisage/perçage).

A l'aide des tableaux indiquant les fréquences de rotation disponibles sur les machines-outils, on choisit les valeurs les plus proches de celles calculées.

c) L'avance f ou fz [mm/tour] :

S'exprime par le déplacement de la pièce (en fraisage) ou de l'outil (en tournage) pour :

- Une dent : c'est l'avance par dent **fz** utilisée en fraisage,
- Un tour : c'est l'avance par tour **f** utilisée en tournage.

L'avance détermine principalement la rugosité de la surface. Elle est prise plus grande en ébauche qu'en finition, les valeurs des avances sont également données par des abaques

d) La vitesse d'avance :

La vitesse d'avance V_f (mm/min) est la vitesse à laquelle se déplace l'outil par rapport au bâti. L'avance par tour f (mm/tr) est la valeur du déplacement d'outils, 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. [14]

$$V_f = f \times N \text{ (mm / min)}.$$

V_f : vitesse d'avance (mm/ min).

f : L'avance (mm/tr).

N : Fréquence de rotation (tr/ min).

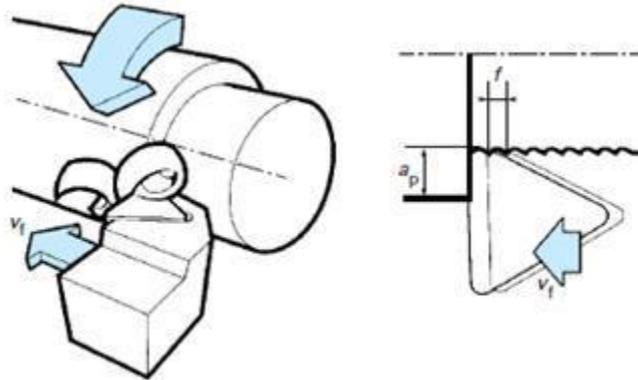


Figure 1.16 : d'avance V_f , Avance par tour f [14]

1.6 Les types d'avances :

On distingue trois sortes d'avance :

a) Avance longitudinal :

On appelle avance longitudinale si l'outil se déplace parallèlement à l'axe de l'ébauche.

b) Avance transversale :

On appelle avance transversale si l'outil se déplace perpendiculairement à l'axe de l'ébauche.

c) Avance oblique :

On appelle avance oblique si l'outil se déplace sous un angle par rapport à l'axe de l'ébauche.

[14]

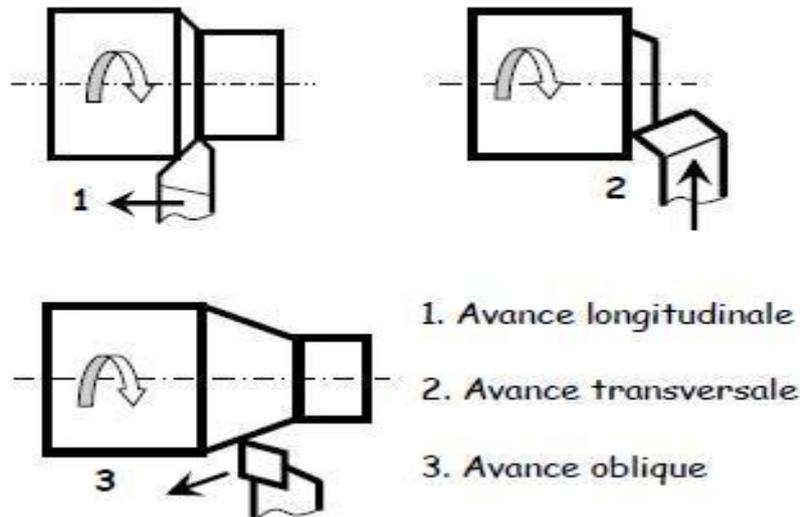


Figure 1.17 : Différents types d'avance [15]

e) paramètre de profondeur de passe (a) :

Dépend de la surépaisseur de matière à usiner ainsi que de la nature de l'opération (ébauche ou finition). [14]

1.7 Profondeur de coupe p

En chariotage, la profondeur de coupe a_p est la différence de rayon entre la surface non usinée et la surface usinée (c'est-à-dire la moitié de la différence entre le diamètre non usiné et le diamètre usiné). La profondeur de coupe est toujours mesurée perpendiculairement à la direction de l'avance et non pas suivant l'arête de l'outil.

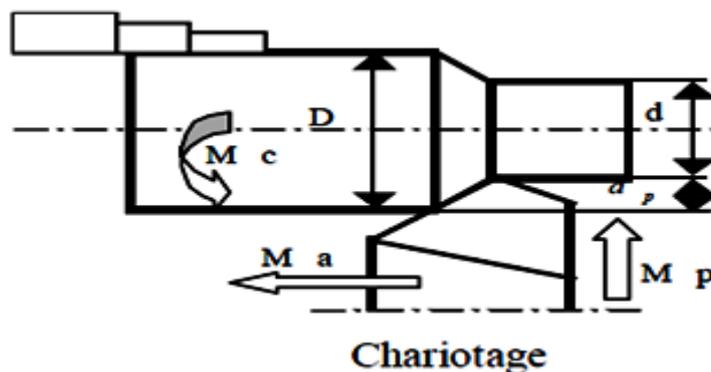


Figure 1.18: Représentation de la profondeur de passe p [15]

Il vaut mieux enlever les surépaisseurs d'usinage sans faire beaucoup de passes. Pourtant, quand on prend une profondeur de passe très grande, la précision d'usinage diminue à cause de la présence des efforts de coupe très élevés. Dans ces cas, des vibrations apparaissent et l'état de

surface devient plus mauvais. D'habitude, on choisit la profondeur de passe en dépendance des surépaisseurs d'usinage et de la rugosité superficielle demandée.

Aussi le nombre de passe dépend de la rigidité du système machine-outil, pièce, outil. Si ce système a une faible rigidité, ou si on usine des pièces ayant le diamètre assez petit et la longueur assez grande, on choisit dans ce cas une profondeur de passe faible.

La profondeur de passe et l'avance influencent aussi sur la formation du copeau car elles modifient la section du copeau et donc l'énergie nécessaire au cisaillement de la matière.[15]

1.8 La section du copeau :

La valeur de l'avance par tour f multipliée par la profondeur de passe a déterminent la section du copeau enlevée par chaque dent, valeur qui influe elle-même la puissance demandée à la machine-outil. [14]

1.9 Outils de coupe et leurs nuances

1.9.1 Classification des outils de coupe

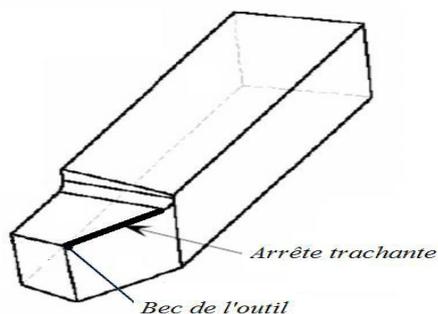
Les machines-outils utilisent une grande gamme d'outils d'usinage et cela selon le type d'opération et la forme de la pièce a réalisé. On distingue deux classes :

1.9.1.1 Outils à arrête unique :

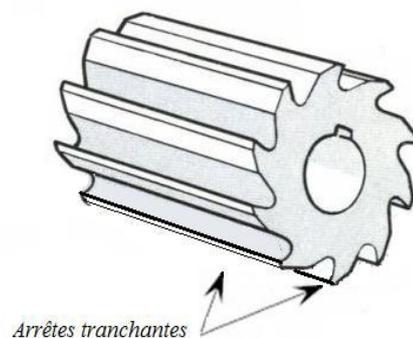
Ce type d'outils à la particularité d'avoir une seule arrête tranchante, ils sont uniquement utilisés en tournage et en rabotage (Étau limeur), leur pointe est généralement arrondie pour former un rayon de bec d'outil.

1.9.1.2 Outils à arrête multiples :

Ces outils comme leur nom l'indique possèdent plusieurs arrêtes tranchantes et sont de forme cylindrique. On les utilise dans les opérations de parçage, d'alésage et de fraisage auxquelles est attribué le mouvement de coupe. [16]



a - outil de tournage



b - fraise une taille

Figure 1.19 : Exemple d'outil de coupe [16]

1.9.2 Géométrie des outils de coupe :

La plaquette de coupe est la partie active dans une opération d'usinage. Les outils de coupe se caractérisent par leurs matériaux et par différents paramètres géométriques comme : les angles de coupe, la cuité de l'arête, le brise-copeaux, et le rayon de bec. La géométrie des outils est étudiée pour assurer une formation aisée des copeaux, offrir une arête de coupe robuste et fragmenter les copeaux en éléments d'une longueur acceptable. [16]

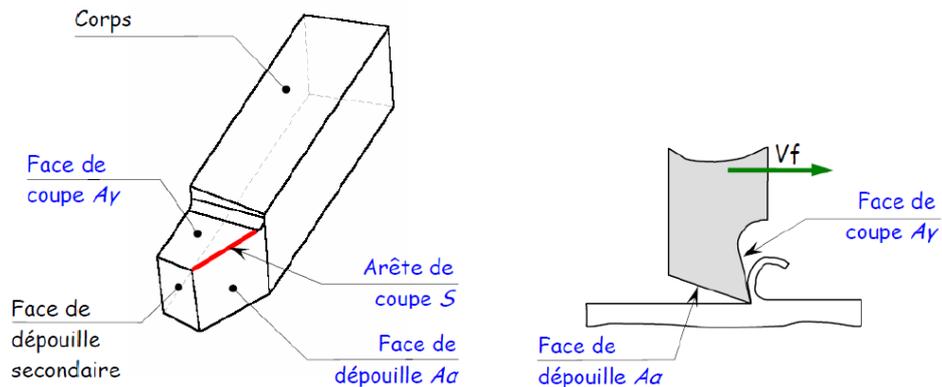
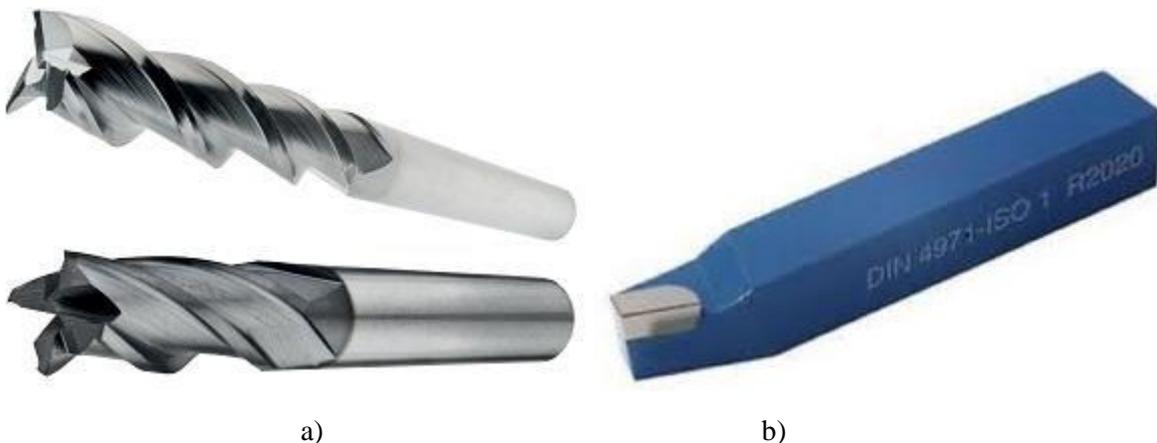
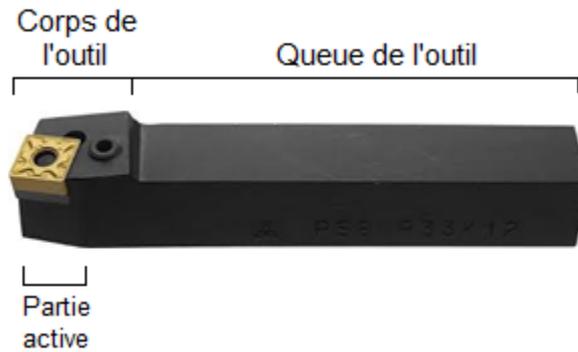


Figure 1.20 : principales surfaces d'un outil de coupe [16]

Les fabricants d'outils de coupe fournissent aux artisans et manufactures des outils avec des géométries différentes et des prix différents selon les opérations d'usinage voulues (tournage, fraisage, perçage, ...etc.) et sous différents aspects : outils en bloc en acier rapide, outils à plaquettes b rasées et en plaquettes amovibles. [17]





c)

Figure 1.21 : Présentation des différents types d'outils : a) Fraises monobloc en acier rapide, b) Outils à charioter plaquettes brasée c) Outils à charioter à plaquettes amovibles. [17]

En général un outil de coupe est constitué d'un corps et d'une queue, cette dernière est de section circulaire ou carrée et a pour rôle le maintien de l'outil au porte-outil (la tourelle en tournage, la broche en fraise et perçage), la première partie est destinée à recevoir les éléments tranchants ou les plaquettes. L'élément coupant est limité par des faciès dont l'intersection forme les arêtes. Seules les arêtes, la face de coupe et la face de dépouille qui interviennent dans le processus de la coupe du métal, ces derniers forment la partie active. [17]

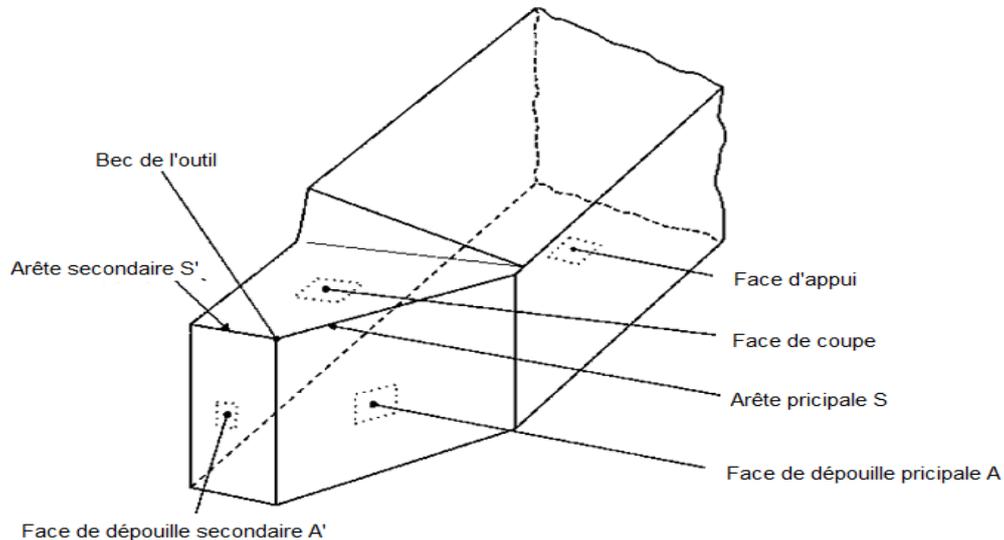


Figure 1.22 : Faciès limitant la partie active de l'outil.[17]

1.9.3 Forme et géométrie des outils de coupe

Les outils de coupe se caractérisent par leurs matériaux et les différents paramètres géométriques de sa partie active. Il est nécessaire de définir les différents angles caractéristiques

de l'outil. Ces derniers sont établis selon les plans de références dans le système de l'outil en main

1.9.3.1 Plans références d'outil en main

Les plans établis pour observer les différentes sections orthogonales de la partie active de l'outil sont les suivantes :

- **Pr** : plan parallèle à la face d'appui de l'outil.
- **Ps** : plan tangent à l'arête et perpendiculaire à Pr
- **Po** : plan contenant la vitesse de coupe théorique V_c au point de l'arête et perpendiculaire à Pr et perpendiculaire à Ps (Po est incliné par rapport à V_f).
- **Pn** : plan perpendiculaire à Po et perpendiculaire à l'arête.
- **Pf** : plan perpendiculaire à Pr et parallèle à la vitesse d'avance V_f . [18]

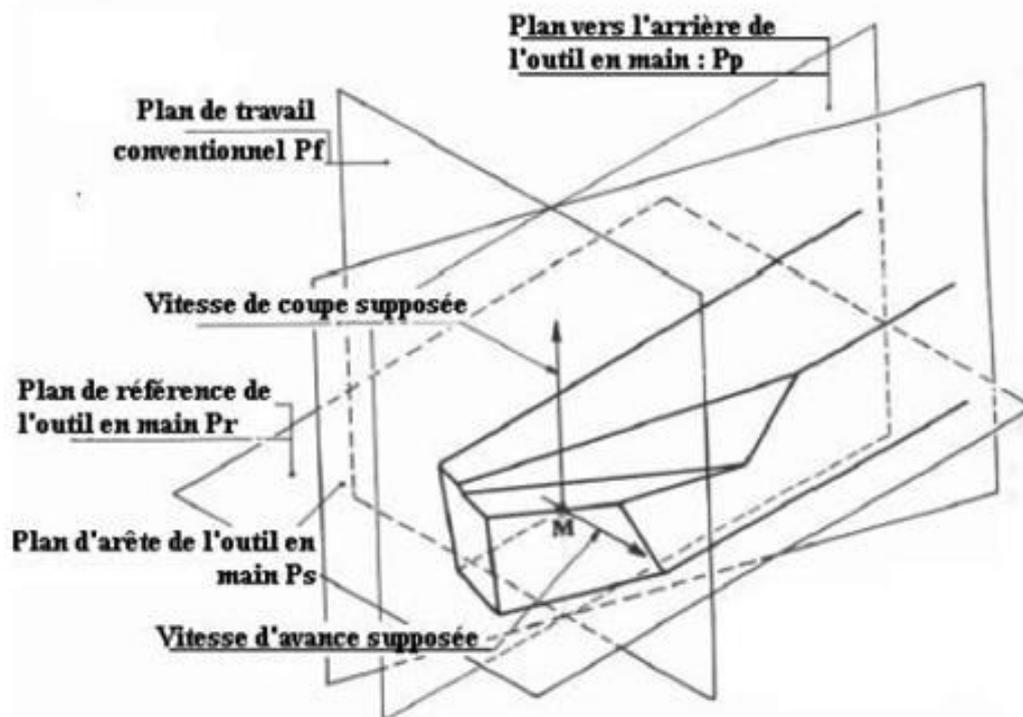


Figure 1.23 : Plans sur un outil en main [Norme NF E 66-502] [18]

À partir de ses plans on peut définir des systèmes d'angles selon chaque section voulue en notant toujours les désignations d'angles suivants :

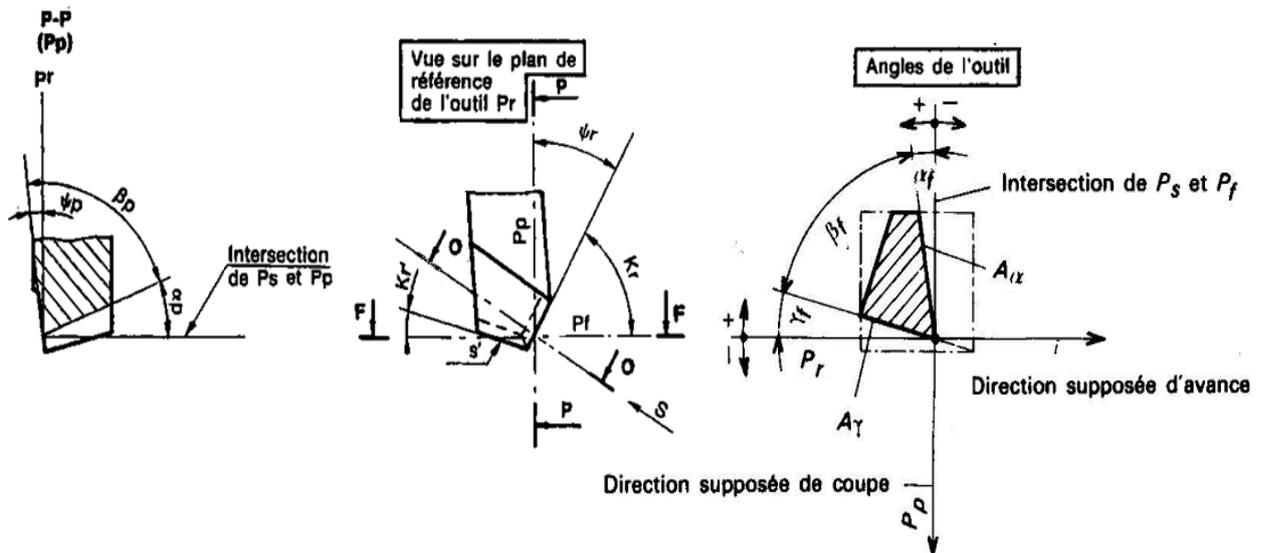
- α : angle de dépouille principal
- β : angle de taillant
- γ : angle de coupe
- ψ : angle de direction complémentaire de l'arête

Pour distinguer les angles de coupe d'un plan à l'autre, on attribue l'indice du plan choisi pour chaque angle observé dans sa section.

Exemple : Sur le plan P_f , les angles observés sont : α_f , β_f et γ_f .

Remarque

Le choix de ces paramètres dépend directement de la forme de l'outil de coupe et sa nuance, de la matière de la pièce à usiner, du type de machine-outil et de l'opération à exécuter et des contraintes de finition du produit exigé. [18]



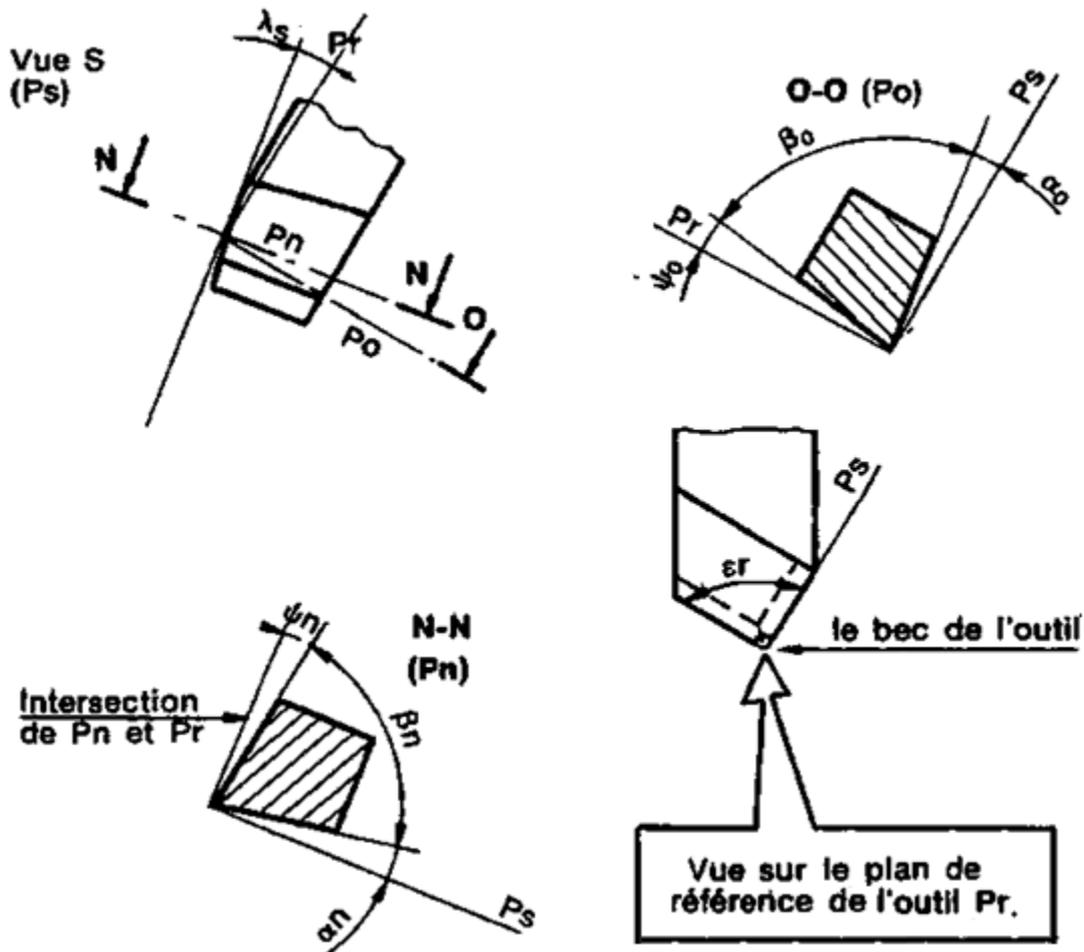


Figure 1.24 : Angles de coupe sur un outil en main [18]

1.9.4 Influence sur la coupe et définition des principaux angles

L'angle de direction d'arête principale K_r est l'angle mesuré dans le plan de référence Pr entre le plan d'arête de l'outil P_s et plan de travail conventionnel P_f . L'angle de direction d'arête est un facteur déterminant dans le choix de la machine suivant sa puissance.

- Pour des valeurs $K_r < 90^\circ$ on a une entrée en contact progressif de l'arête de coupe avec la matière à usiner ;
- Pour des valeurs trop petites de K_r la longueur de contact arête de coupe/matière augmente, ce qui provoque également une augmentation des efforts de coupe ;
- L'angle K_r influe aussi sur la direction d'évacuation des copeaux

L'angle de **direction d'arête secondaire** Kr' est l'angle mesuré dans le plan de référence Pr entre et la face de dépouille et le plan de travail conventionnel Pf L'angle d'**inclinaison d'arête** λ_s est l'angle mesuré dans le plan d'arête de l'outil Ps entre l'arête et le plan Pr :

- les outils avec $\lambda_s < 0^\circ$ s'utilisent pour des usinages d'ébauche, en raison de la robustesse de l'arête de coupe, et de la bonne fragmentation des copeaux ;
- les outils avec $\lambda_s > 0^\circ$ s'utilisent pour des usinages de finition, les valeurs du copeau minimum étant plus faibles. [19]

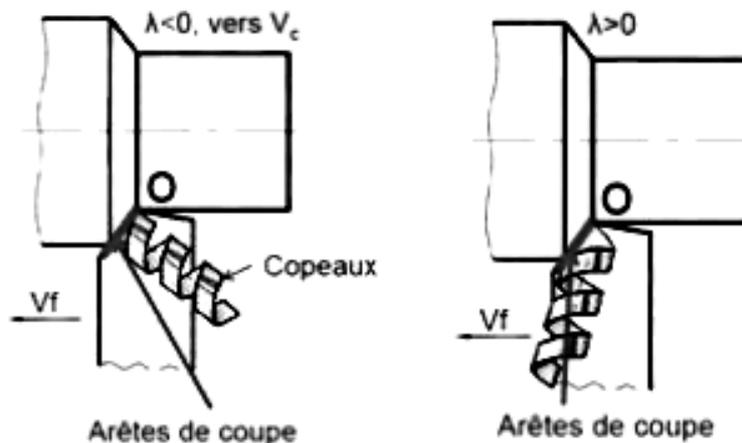


Figure 1.25 : Influence de l'angle d'inclinaison d'arête sur le sens d'écoulement du copeau.[19]

L'angle de **dépouille** α est l'angle entre le plan d'arête de l'outil Ps et la face de dépouille.

- Si l'angle α est trop grand, l'outil présente une arête trop fragile ;
- Si l'angle α est trop petit la surface de contact pièce/face de dépouille augmente, ce qui induit le risque de talonnage

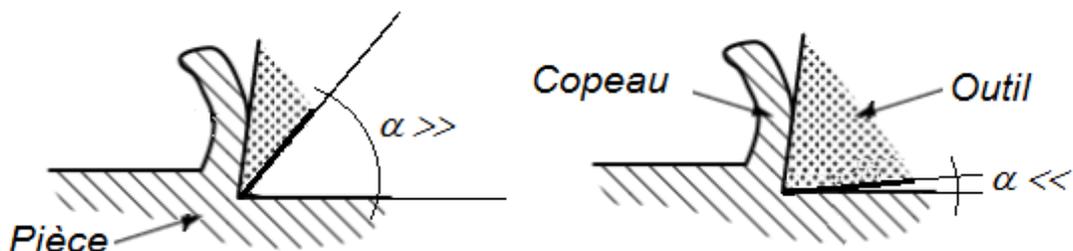


Figure 1.26 : Influence de l'angle de dépouille. [19]

L'angle de **taillant** β est l'angle entre la face de dépouille et la face de coupe. L'angle de **pointe** ϵ_r est l'angle mesuré dans le plan de référence Pr entre la face de dépouille principale et la face

de dépouille secondaire. L'angle de **coupe** γ est l'angle entre la face de coupe et le plan de référence Pr. L'angle de coupe est un paramètre décisif dans la formation du copeau et selon le matériau à usiner, il peut passer d'une valeur positive à une valeur très négative.

- un angle γ trop grand fragilise l'arête et provoque un écoulement continu de copeau ;
- un angle γ trop petit provoque le frottement du copeau sur la face de coupe ;
- des valeurs $\gamma < 0$ sont réservées aux outils en carbure métallique et en céramique, en raison de la bonne tenue aux efforts et du fait que les copeaux se brisent facilement

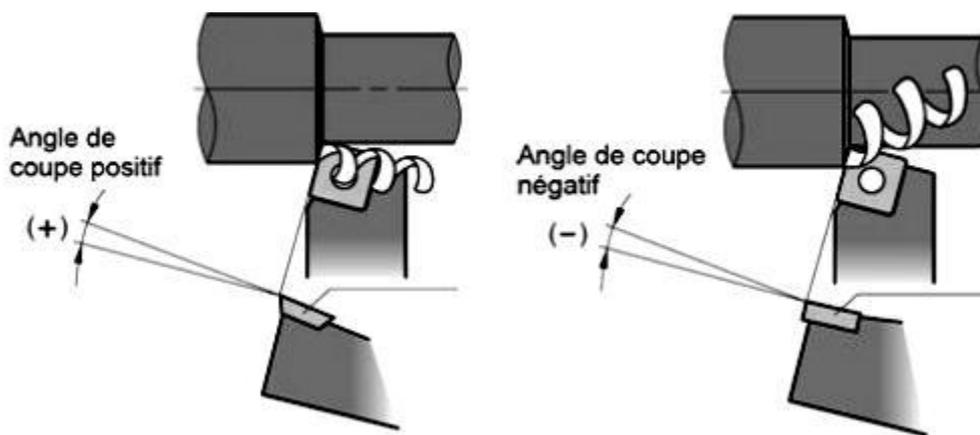


Figure 1.27 : Influence de l'angle de coupe sur le sens de déviation du copeau. [19]

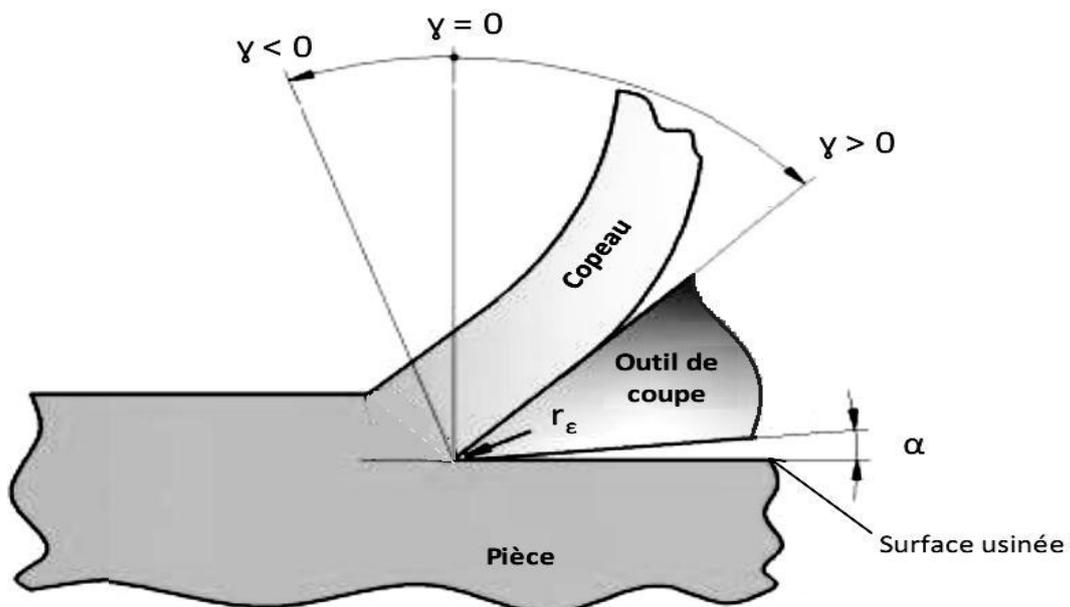


Figure 1.28 : Position de l'angle de coupe en usinage. [19]

Exemple : Pour l'usinage des aciers durs l'outil doit être plus résistant mécaniquement et thermiquement, en conséquent l'angle de coupe doit être très faible voire négatif qui peut y aller jusqu'à -20 degrés. [19]

Remarque

La somme de ces trois angles de dépouille, taillant et de coupe est toujours égale à 90° .
 $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$

Dans le cas où la somme de α et de β est supérieure à 90° , on travaille en coupe négative (γ est négatif). Les angles de direction d'arête principale K_r , de pointe de l'outil ϵ_r , et de direction d'arête secondaire K_r' leur somme est égale à 180° . $K_r + \epsilon_r + K_r' = 180^\circ$ [19]

1.9.5 L'affûtage des outils

L'outil sera affûté en tenant compte principalement de sa géométrie et spécialement les angles

- L'angle dépouille (a) : qui évite le talonnage et favorise la pénétration de l'outil dans la pièce.
- L'angle tranchant (b) : c'est la partie de l'outil qui pénètre dans la matière et procède à la séparation et au cisaillement du copeau.
- L'angle d'attaque (c) : sert à l'évacuation du copeau.

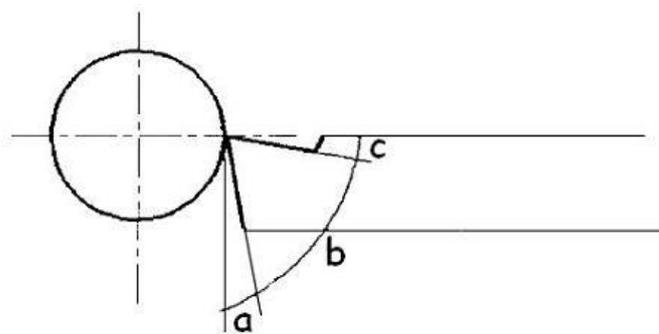


Figure 1.29 : les angles d'outil [19]

Ces angles varient en fonction de la matière à usiner et leur somme vaut toujours 90° (sauf dans le cas d'outil à pente négative). [19]

Voici un tableau montrant la variation de l'angle tranchant en fonction de la matière à usiner :

Tableau 1.3 : La variation de l'angle tranchant en fonction de la matière à usiner [19]

| Matière à usiner | Angle d'incidence (a) | Angle tranchant (b) | Angle de dégagement (c) |
|--|-----------------------|---------------------|-------------------------|
| Acier doux (R = 40 daN/mm ²) | 6 ° | 58 ° | 26 ° |
| Acier demi-dur (R = 70 daN/mm ²) | 6 ° | 61 ° | 23 ° |
| Acier dur (R = 100 daN/mm ²) | 6 ° | 74 ° | 10 ° |
| Fonte grise ordinaire | 6 ° | 68 ° | 16 ° |
| Fonte en coquille | 6 ° | 84 ° | 0 ° |
| Bronze | 6 ° | 79 ° | 5 ° |
| Laiton | 6 ° | 80 ° | 4 ° |
| Cuivre | 10 ° | 45 ° | 35 ° |
| Aluminium | 10 ° | 45 ° | 35 ° |

1.10 Matériaux des outils de coupe

L'acier rapide :

(HSS - High Speed Steel), qui est un acier fortement allié, est très employé pour la production d'outils de coupe. Les caractéristiques qui le rendent intéressant sont sa dureté d'environ 65 HRC et sa ténacité qui lui confère une bonne longévité.

Les carbures métalliques :

Rentrent dans cette catégorie les alliages composés de tungstène (60-90%), titane et tantale (1-35%) et de cobalt ou nickel (5-15%), ainsi que d'autres matières en plus faibles quantités comme le molybdène ou le vanadium. La fabrication du métal dur est réalisée par frittage, on en fait généralement des plaquettes que l'on fixe sur le corps de l'outil par brasage, avec une vis ou aussi par bridage. Certains outils de petites dimensions sont fabriqués entièrement en métal dur.

Les outils en carbure se présentent sur marché en deux types. à savoir :

- Les outils à plaquettes en carbure brasées dont la plaquette se trouve brasée au porte plaquette
- Les outils à plaquettes en carbure amovibles : ils sont formes de trois blocs. à savoir, le porte plaquette. La plaquette intercalaire et la plaquette. Cet est à jeter une fois sa durée de vie est atteinte. Leurs principales formes et dimensions sont normalisées

Céramique :

Les outils à plaquettes en céramique amovibles ont une grande dureté (donc une faible ténacité) et une grande stabilité à haute température. Ils permettent un grand débit de matière. Mais nécessitent une grande stabilité de la machine et un strict respect des conditions de coupe. Ils sont généralement utilisés pour les opérations de finition

Cermet :

Ce sont des outils à plaquettes en cermet amovibles. le nom cermet vient de céramique –métal car il représente les carbures ayant des particules de titane .de carbonitruure de titane ou nitruure de titane. Les applications typiques sont la finition des aciers inoxydables, des fontes, des aciers à bas carbone et des aciers ferritiques.

Nitruure de bore cubique :

Ce sont des outils à plaquettes amovibles en nitruure de bore cubique (matériau le plus dur après le diamant) noté CBN. Il comporte l'avantage de ne pas s'oxyder à haute température. Son utilisation requiert une machine stable, une grande rigidité de la pièce et du porte pièce et un arrosage

Diamant :

Le diamant a un faible coefficient de frottement. il convient aux matériaux non ferreux s'usinant à basse température tel que les alliages d'aluminium, les alliages de cuivre, les alliages de magnésium therm durcissables etc et ne convient pas à l'usinage des matériaux ferreux. [15]

1.10.1 Choix du matériau de l'outil de coupe :

Le diagramme qui nous permet de déterminer les différents matériaux d'outils utilisée dans de différents domaines. Il est représentatif des conditions normales et de leurs utilisations en ébauche pour usiner les aciers et les fontes. Il ne peut pas être utilisé pour choisir les conditions de coupe [15]

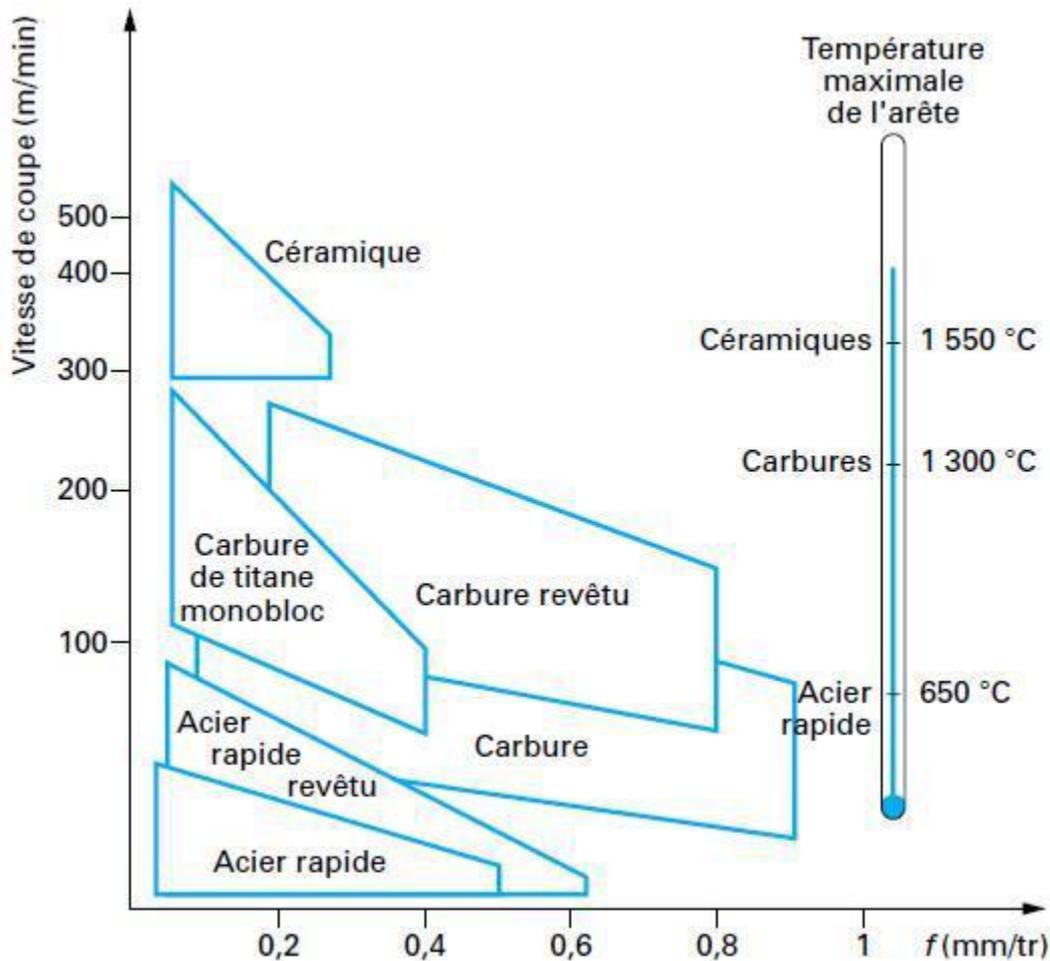


Figure 1.30 : Domaines d'emploi des divers matériaux à outil coupant [15]

1.10.2 Revêtements :

Souvent, les outils en acier rapide ou en métal dur sont revêtus d'une ou plusieurs couches, ils possèdent une durée de vie plus longue et permettent une augmentation des vitesses d'usinage et un état de surface meilleur. Les différents types de revêtement sont :

- Le nitrure de titane (TiN), matériau standard.
- Le carbonitrure de titane (TiCN), grande dureté, bonne résistance à l'abrasion.
- L'oxyde d'aluminium (Al_2O_3) et nitrure de silicium (Si_3N_4), appartiennent à la classe des céramiques ; ce sont deux matériaux de base auxquels on peut additionner différentes matières en fonction des caractéristiques recherchées : oxyde de zirconium (ZrO_2), carbure de titane (TiC) ou du carbure de silicium (SiC).
- Le diamant utilisé pour l'usinage de métaux non-ferreux et de non-métaux abrasifs tels que : carbone ou céramique.
- Le nitrure de bore utilisé pour l'usinage de métaux ferreux trempés. [15]

1.11 Mouvement relatif outil / pièce

Lors de la génération d'une surface par enlèvement de matière, la surface engendrée sur la pièce est due au mouvement de l'outil par rapport à la pièce.

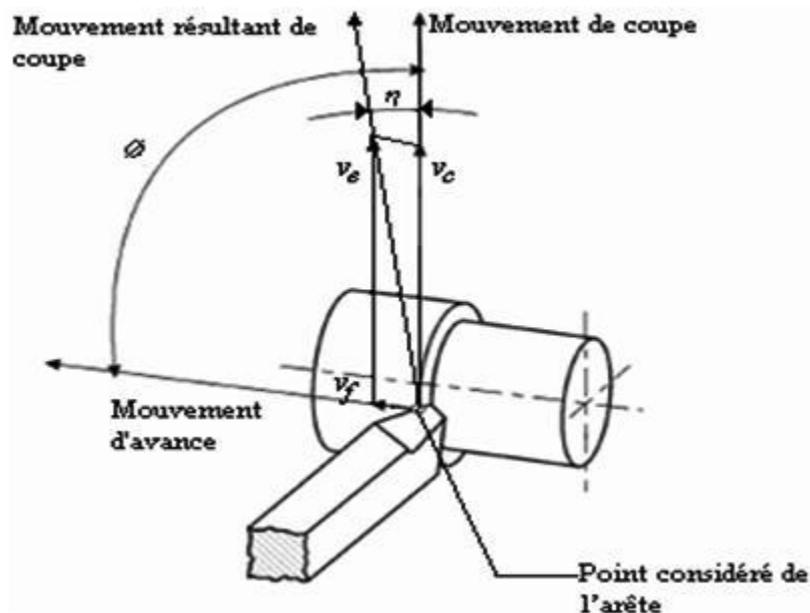


Figure 1.31 : Mouvements de l'outil et de la pièce en tournage. [19]

1.11.1 Mouvement de coupe M_c

Le mouvement de coupe est un mouvement relatif principal entre l'outil et la pièce. Il participe directement au détachement de la matière sous forme de copeaux. Pendant la course de travail.

1.11.2 Mouvement d'avance M_a

Au mouvement de coupe, vient s'ajouter un autre mouvement relatif entre l'outil et la pièce, le mouvement d'avance, nécessaire à la génération de la surface de la pièce. Il peut être composé de plusieurs mouvements mais seulement de façon à ce qu'au moins une de ses composantes soit rectiligne. Le mouvement d'avance a pour but de décaler latéralement une quantité f dite avance, pour que l'outil puisse à la nouvelle course de travail détacher d'autres copeaux.

Le mouvement de coupe et le mouvement d'avance combinés constituent le mouvement résultant de coupe (v_e), alors que l'angle contenu entre ces deux mouvements est appelé angle de direction d'avance (ϕ).

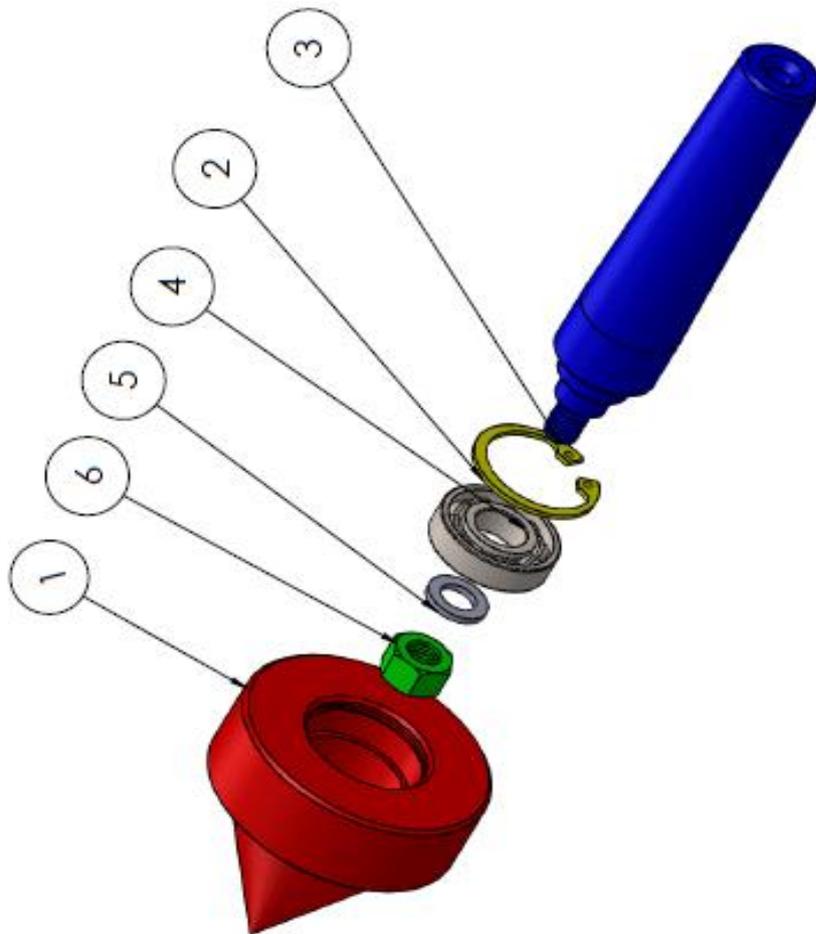
1.11.3 Mouvement de pénétration M_p

C'est le mouvement qui détermine l'épaisseur de la couche de métal à enlever à chaque opération qui prend le nom de passe. [19]

Chapitre II

Modalisation sous SolidWorks d'une Contre-Pointe Tournante

2.2 Vue éclatée



| No. ARTICLE | NUMERO DE PIECE | DESCRIPTION | QTE |
|-------------|------------------------------------|-------------|-----|
| 1 | POINTE | | 1 |
| 2 | Circip DIN 472 - 28 x 1,2 | | 1 |
| 3 | arbre | | 1 |
| 4 | ISO 15 ABB - 0012 - 10,DE,AC,10_68 | | 1 |
| 5 | rond | | 1 |
| 6 | Hexagon Nut ISO - 4034 - M8 - S | | 1 |

| | | | | |
|---|------------------------------|---|------------------------------|------------------------------|
| LE PLAN DOIT ÊTRE COMPLETÉ PAR LES CHANGEMENTS SUIVANTS: TOUS CHANGEMENTS DE LIBRAIRIE LES CHANGEMENTS DE LIBRAIRIE LES CHANGEMENTS DE LIBRAIRIE | | FONCTION COLLEGE DE FONCTIONNAIRE | N° DE PROJET N° DE PROJET | N° DE PROJET N° DE PROJET |
| AUTEUR DATE APPR. DATE QUAL. | DESIGNER DATE MATERIAL | N° DE PROJET N° DE PROJET | N° DE PROJET N° DE PROJET | N° DE PROJET N° DE PROJET |
| vue éclatée | | | | |
| | | | A3 | |

Chapitre III

Etudes de fabrication

3.1 Quelques informations sur la composition chimique de la matière à usiner

La matière à usiner est un acier faiblement allié de nuance 36NiCrMo16, la composition chimique et les propriétés mécaniques sont données dans les tableaux suivants :

Tableau 2.1 : composition chimique. [20]

| Nuance | Type d'acier | % carbone | % nickel | % chrome | % molybdène |
|------------|------------------|-----------|----------|----------|-------------------------|
| 36NiCrMo16 | Faiblement allié | 0.36 | 4 | 2.5 | Des traces de Molybdène |

Tableau 2.2 : propriétés mécaniques [20]

| Nuance | Densité kg/m^3 | Forgeage C° | Recuit C° | Dureté HB |
|------------|------------------|--------------------|------------------|-----------|
| 36NiCrMo16 | 7.8 | 900-1100 | 680 | 285 |

3.2 Autres appellations

Françaises (AFNOR) : 35 NCD 16

Européennes (NF EN/EN) : 36 Ni Cr Mo 16

4.3 Domaines d'applications

Pièces fortement sollicitées soumises à de très gros efforts de fatigue : organes de transmission, pignons, machines-outils, ... etc.

4.4 Mode d'obtention de l'ébauche

Ronds laminés

Longueur : 3,6-4 m

Diamètre, mm 10 jusqu'à 440 [20]

4.5 Routage d'usinage d'arbre

PHASE N°100

Contrôle de brute

$D = A = 30 \pm 0.1$

$L = B = 120 \pm 0.2$

PHASE N°200

S. PHASE 210

Montage : en l'air

211 Dressage $L=94.20\text{mm}$

212 Centrage D 6

S. PHASE 220

Montage : mixte

221 Chariotage $\varnothing 24.05$ $L = 94.20$

S. PHASE 230 240

Montage : en l'air

231 Dressage face $L 23.6$

232 Chariotage ébauche $\varnothing 18$ $L 23.6$

233 Chariotage finition $\varnothing 17$ $L 23.6$

234 Chariotage ébauche $\varnothing 14$ $L 17.6$

235 Chariotage $\frac{1}{2}$ finition $\varnothing 13$ $L 17.6$

236 Chariotage finition $\varnothing 12$ $L 17.6$

237 Chariotage ébauche $\varnothing 9$ $L 10.6$

238 Chariotage finition $\varnothing 8$ $L 10.6$

239 Gorge $\varnothing 5.37$ $L 9$

240 Chanfreinages $1 \times 45^\circ$ $L 23.6$ $L 17.6$ $L 10.6$ $L 9$

241 Filetage, ébauche $\frac{1}{2}$ finition et finition M8 $L 9$

S. PHASE 250

Montage : mixte

251 Tournage conique C=1.76° L 79.20

252 Chanfreinage 1X45°

PHASE N°300

Traitement thermique

Trempe +revenu

Tremper pièce

T. thermique =880°

Temps de maintien 30min

Refroidissement à l'huile

Revenu à 650°

Duré de revenu 30min

Refroidissement à l'air libre

Atteindre une dureté de : 40 HRC

PHASE N°400

S. PHASE 410

Montage : en l'air

411 Rectification cylindrique Ø12g6 L 17.6

PHASE N°500

S. PHASE 510

Montage: mixte

411 Rectification de cône C=1.76° L 79.20

PHASE N°600

Contrôle final

4.6 Routage d'usinage de la pointe

PHASE N°100

Contrôle de brute

$D = A = 62$ $L = B = 60 \pm 0.1$

PHASE N°200

S. PHASE 210 220

Montage : en l'air

211 Dressage $L = 24.3$

212 Centrage $\varnothing 6$

213 Chariotage $\varnothing 58.5$ $L = 20$

214 Chanfreinage $1 \times 45^\circ$

215 Perçage $\varnothing 16$ $L = 27$

216 Alésage $\varnothing 25$ $L = 24.3$

217 Alésage ébauche $\varnothing 26$ $L = 10.3$

218 Alésage $\frac{1}{2}$ finition $\varnothing 27$ $L = 10.3$

219 Alésage finition $\varnothing 28$ $L = 10.3$

220 Alésage $\varnothing 28.5$ $L = 2$

221 Chanfreinage $1 \times 45^\circ$

222 Gorge $\varnothing 29.40$ $L = 3.3$ $E = 1.3$

S. PHASE 230

231 Dressage $L = 37.3$

232 Chariotage $\varnothing 48.5$ $L = 37.3$

231 Chanfreinage $1 \times 45^\circ$ $\varnothing 58.50$ $L = 42$

233 Tournage conique $C=30^\circ$ $L = 37.3$

PHASE N°300

Traitement thermique

Trempe +revenu

Tremper pièce

T. thermique =880°

Temps de maintien 30min

Refroidissement à l'huile

Revenu à 650°

Duré de revenu 30min

Refroidissement à l'air libre

Atteindre une dureté de : 40 HRC

PHASE N°400

S. PHASE 410

411 Rectification cylindrique Ø12 N7 L = 10.3

PHASE N°500

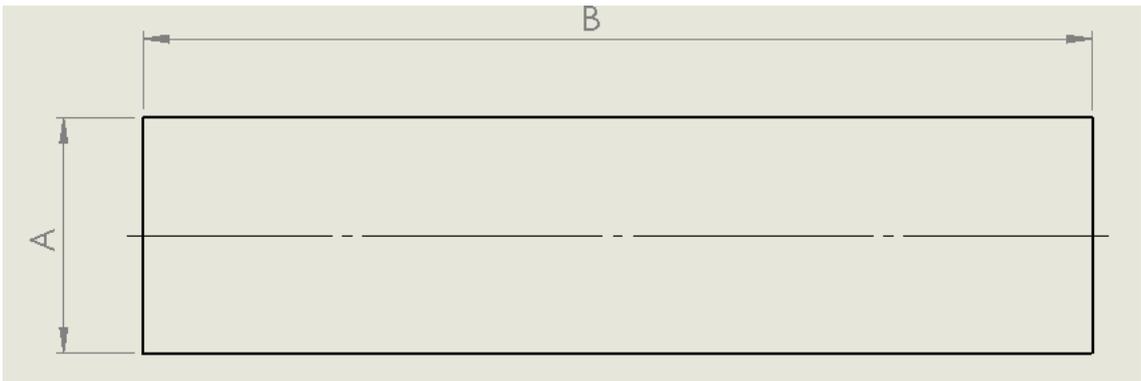
Contrôle final

Chapitre IV

GAMME D'USINAGE

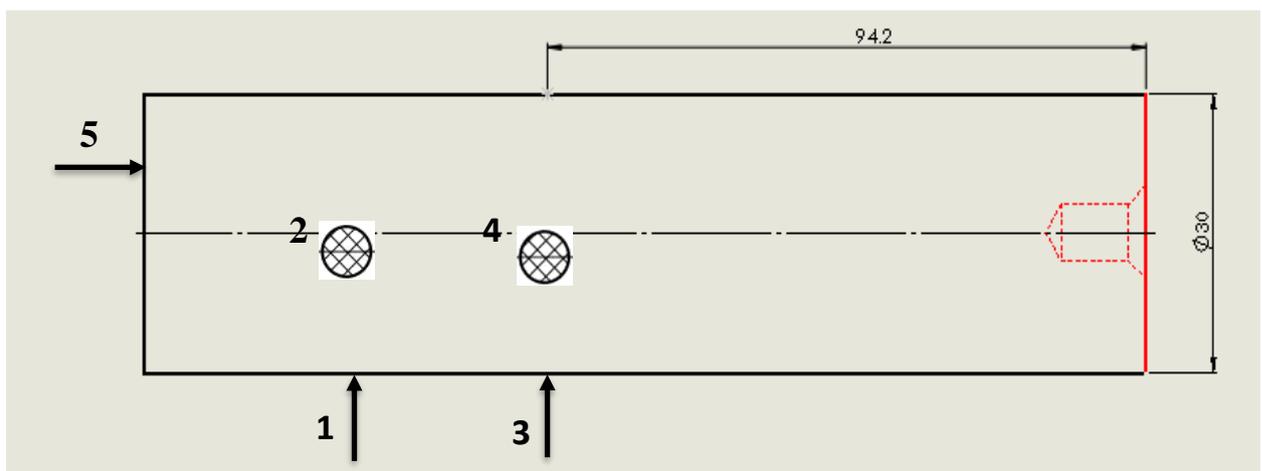
4.1 Gamme d'usinage d'arbre

| | | | | | | | | |
|--|---|----------------------|---------------------------|----------|----------------------|----------|----------------------|----------|
| Nom : CHAIB Hamza | CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°100 | | Classe : | | | | | |
| AP | | | Date : | | | | | |
| Matière : 36 Ni Cr Mo 16 Machine : laminage | | Pièce : BRUTE | | | Doc : / | | | |
| Désignation des opérations | Outillage : Montage : Usinage : Vérification : | | Paramètre de coupe | | | | | |
| | | | V_C | f | a_p | N | V_f | L |
| Contrôle de brute D = A = 30 ±0.1 L = B = 120±0.2 | Pied à coulisse réglet | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |



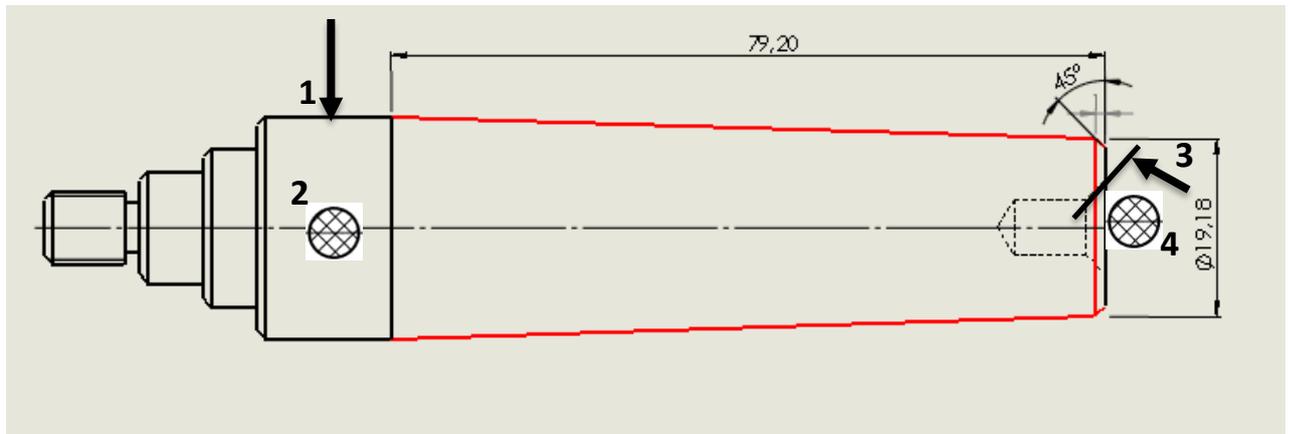
The diagram shows a rectangular workpiece with a horizontal centerline. Dimension A is indicated by a vertical arrow on the left side, representing the height. Dimension B is indicated by a horizontal arrow at the top, representing the length.

| | | | | | | | | |
|---|--|---------------------------|----------|----------------|---|----------------|---|----------------|
| Nom : CHAIB Hamza | CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°200 | | Classe : | | | | | |
| AP | | | Date : | | | | | |
| Matière : 36 Ni Cr Mo 16 Machine : Tour | Pièce : Arbre | | | Doc : / | | | | |
| Désignation des opérations S. PHASE 210 | Outillage : Montage : en l'air Usinage : | Paramètre de coupe | | | | | | |
| | | V _C | f | a _p | N | V _f | L | T _t |
| 211 Dressage L=94.20mm | Outil à dresser carbure métallique | 160 | 0.35 | 1 | | | | |
| 212 Centrage Ø6 | Foret à centrer | 60 | 0.05 | | | | | |



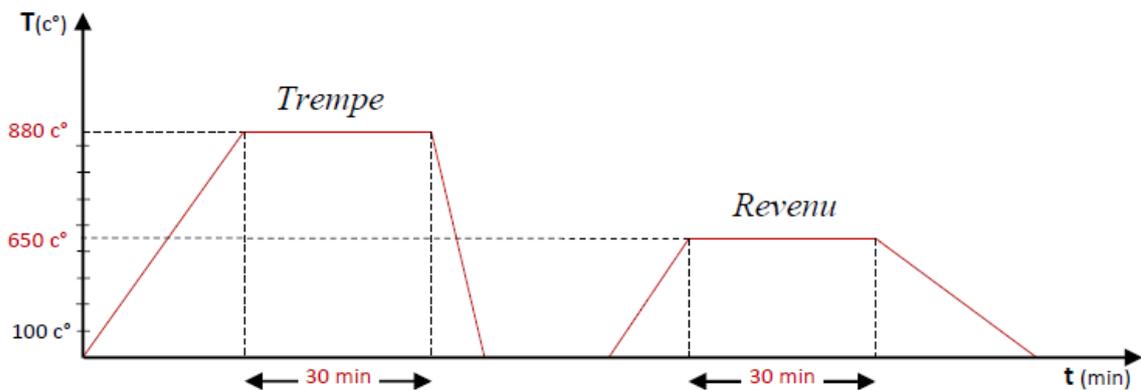
| | | | | | | | | |
|--|--|---------------------------|----------|----------------|---|----------------|---|----------------|
| Nom : CHAIB Hamza | CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°200 | | Classe : | | | | | |
| AP | | | Date : | | | | | |
| Matière : 36 Ni Cr Mo 16 Machine : Tour | Pièce : Arbre | | Doc : / | | | | | |
| Désignation des opérations S. PHASE 230 240 | Outillage : Montage : en l'air Usinage : | Paramètre de coupe | | | | | | |
| | | V _c | f | a _p | N | V _f | L | T _t |
| 231 Dressage face L23.6 | Outil à dresser carbure métallique | 160 | 0.35 | 2 | | | | |
| 232 Chariotage ébauche Ø18 L 23.6 | Outil à charioter carbure métallique | 140 | 1.2 | 1 | | | | |
| 233 Chariotage finition Ø17 L 23.6 | Outil à charioter carbure métallique | 200 | 0.2 | 1 | | | | |
| 234 Chariotage ébauche Ø14 L17.6 | Outil à charioter carbure métallique | 140 | 1.2 | 2 | | | | |
| 235 Chariotage ½ finition Ø13 L 17.6 | Outil à charioter carbure métallique | 160 | 0.05 | 1 | | | | |
| 236 Chariotage finition Ø12 L 17.6 | Outil à charioter carbure métallique | 200 | 0.2 | 0.5 | | | | |
| 237 Chariotage ébauche Ø9 L10.6 | Outil à charioter carbure métallique | 140 | 1.2 | 3 | | | | |
| 238 Chariotage finition Ø8 L 10.6 | Outil à charioter carbure métallique | 200 | 0.05 | 1 | | | | |
| 239 Gorge Ø5.37 L 9 | Outil à saigner carbure métallique | 120 | 0.05 | 1 | | | | |
| 240 Chanfreinages 1X45° L 23.6 L 17.6 L 10.6 L 9 | Outil à chanfreiner carbure métallique | 120 | 0.05 | 1 | | | | |
| 241 Filetage, ébauche ½ finition et finition M8 L 9 | Outil à filetage intérieur carbure métallique | 65 | 1.25 | | | | | |

| | | | | | | | | |
|--|--|---------------------------|------|----------------|---|----------------|---|----------------|
| Nom : CHAIB Hamza | CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°200 | Classe : | | | | | | |
| AP | | Date : | | | | | | |
| Matière : 36 Ni Cr Mo 16 Machine : Tour | Pièce : Arbre | | | | | Doc : / | | |
| Désignation des opérations S. PHASE 250 | Outillage : Montage : mixte Usinage : | Paramètre de coupe | | | | | | |
| | | V _c | f | a _p | N | V _f | L | T _t |
| 251 Tournage conique C=1.76° L 79.20 | Outil à charioter carbure métallique | 80 | 0.1 | 0.5 | | | | |
| 252 Chanfreinage 1X45° | Outil à chanfreiner carbure métallique | 120 | 0.05 | 1 | | | | |



| | | |
|--|--|----------|
| Nom : CHAIB Hamza | CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°300 | Classe : |
| AP | | Date : |
| Matière : 36 Ni Cr Mo 16 Machine : Four de traitement thermique | Pièce : Arbre | Doc : / |

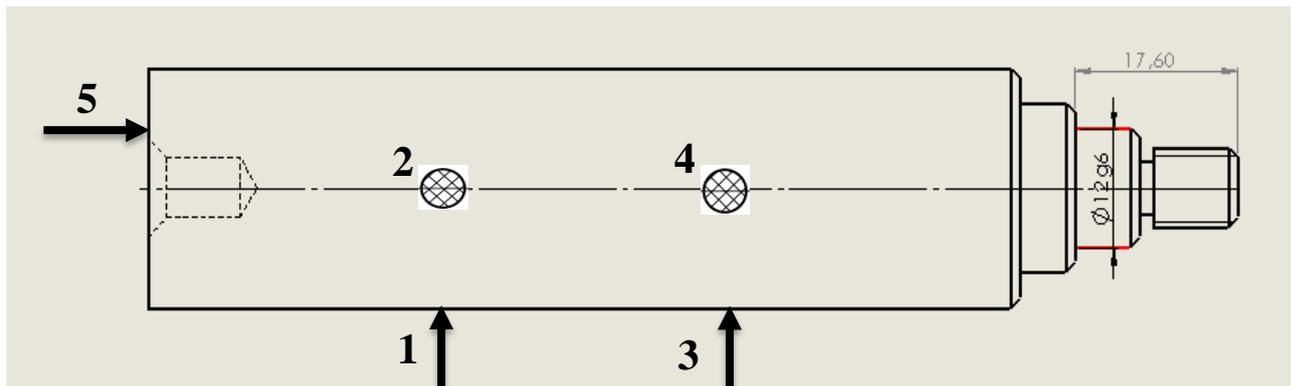
| Désignation des opérations | Outillage : Montage : Usinage : | Paramètre de coupe | | | | | | |
|---|---------------------------------------|--------------------|---|----------------|---|----------------|---|----------------|
| | | V _C | f | a _p | N | V _f | L | T _t |
| Traitement thermique Trempe +revenu Tremper pièce T. thermique =880° Temps de maintien 30min Refroidissement à l'huile Revenu à 650° Duré de revenu 30min Refroidissement à l'air libre Atteindre une dureté de : 40 HRC | Four de traitement thermique | | | | | | | |



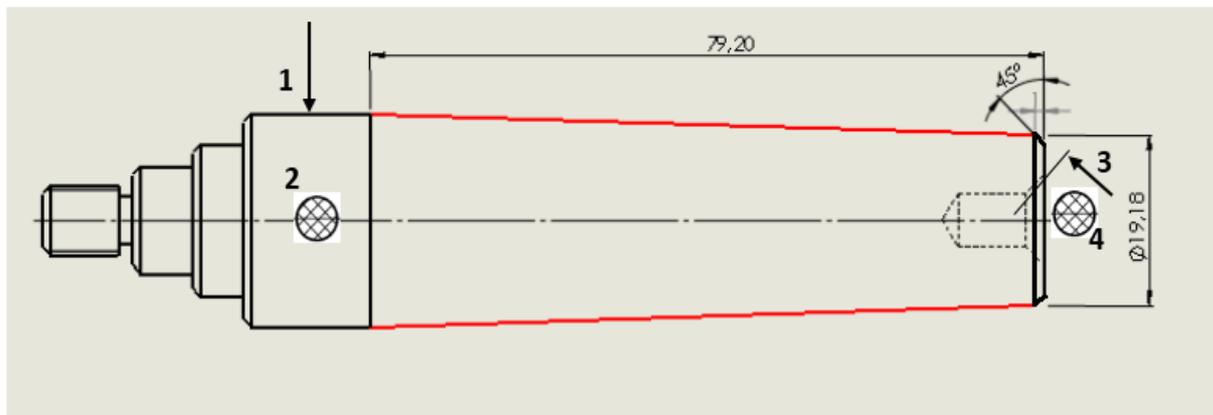
| | | |
|-------------------|--|----------|
| Nom : CHAIB Hamza | CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°400 | Classe : |
| AP | | Date : |

| | | |
|---|---------------|---------|
| Matière : 36 Ni Cr Mo 16 Machine : Rectifieuse cylindrique | Pièce : ARBRE | Doc : / |
|---|---------------|---------|

| Désignation des opérations S. PHASE 410 | Outillage : Montage : en l'air Usinage : | Paramètre de coupe | | | | | | |
|---|--|--|------|----------------|---|----------------|---|----------------|
| | | V _c | f | a _p | N | V _f | L | T _t |
| 411 Rectification cylindrique Ø12g6 L 17.6 | Meule cylindrique Ø10 | V _m 10m/s V _p 15m/min | 0.01 | 0.05mm | | | | |



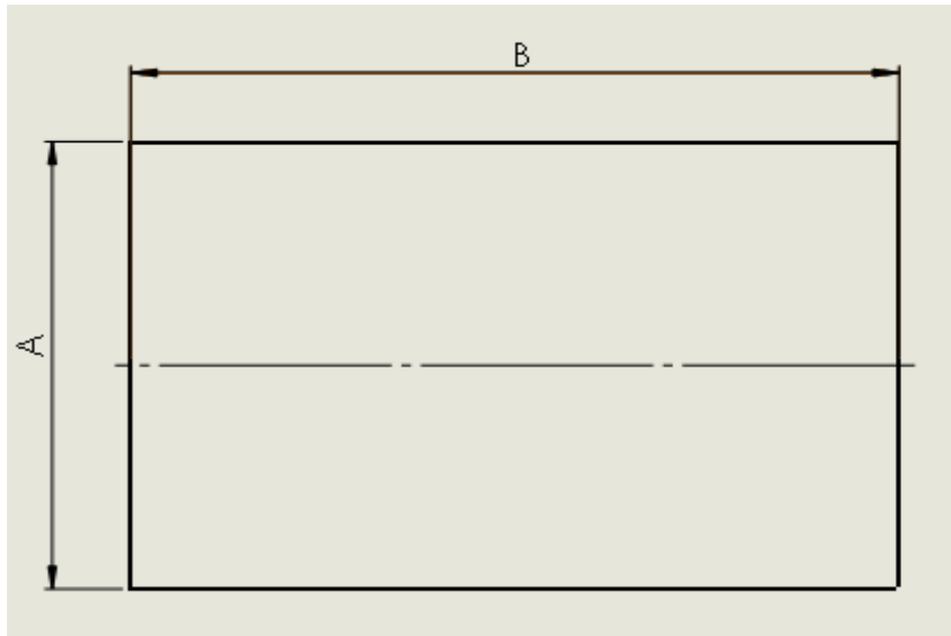
| | | | | | | | | |
|---|--|--|----------|----------------|---|----------------|---|----------------|
| Nom : CHAIB Hamza | CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°500 | | Classe : | | | | | |
| AP | | | Date : | | | | | |
| Matière : 36 Ni Cr Mo 16 Machine : RECTIFIEUSE SPECIALE | Pièce : ARBRE | | Doc : / | | | | | |
| Désignation des opérations S. PHASE 510 | Outillage : Montage : mixte Usinage : | Paramètre de coupe | | | | | | |
| | | V _c | f | a _p | N | V _f | L | T _t |
| 411 Rectification de cône C=1.76° L 79.20 | Meule Ø100 | V _m 10m/s V _p 15m/min | 0.01 | 0.05mm | | | | |



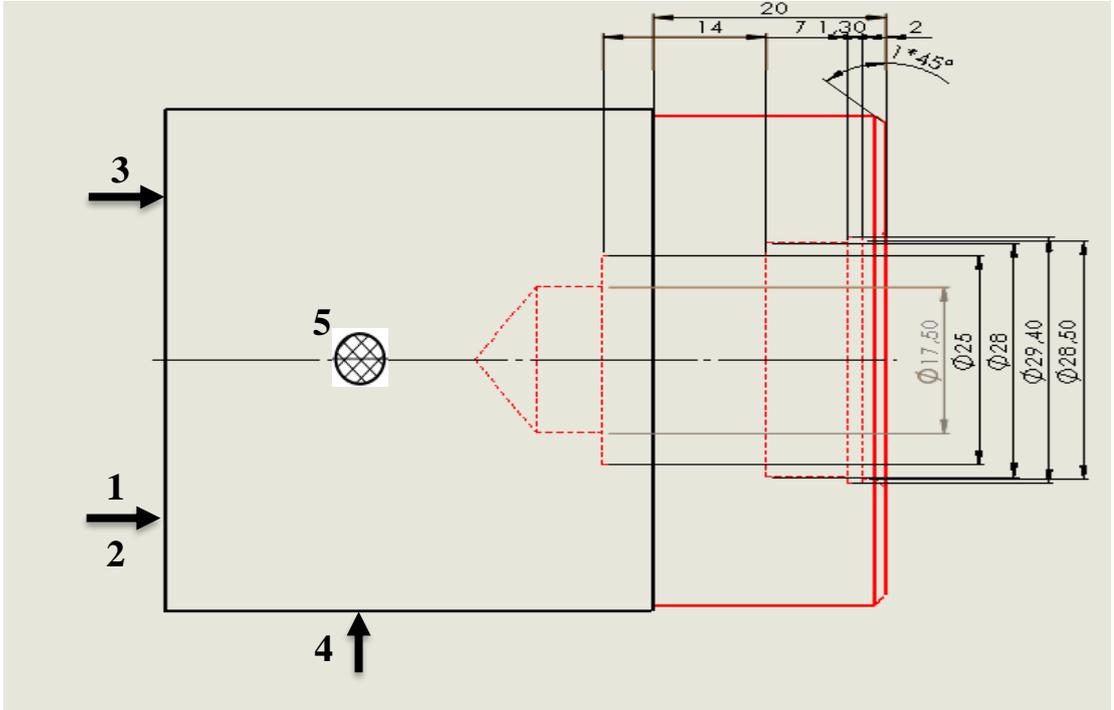
| | | | | | | | |
|--|--|---------------------------|----------|----------------|---|----------------|---|
| Nom : CHAIB Hamza | CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°600 | | Classe : | | | | |
| AP | | | Date : | | | | |
| Matière : 36 Ni Cr Mo 16 Machine : | Pièce : Arbre | | | Doc : / | | | |
| Désignation des opérations | Outillage : Montage : Usinage : Vérification : | Paramètre de coupe | | | | | |
| | | V _c | f | a _p | N | V _f | L |
| Contrôle final de dimension de la pièce selon le dessin de définition. | Pied à coulisse réglet | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

4.2 Gamme d'usinage de la pointe

| Nom : CHAIB Hamza | CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°100 | Classe : | | | | | | |
|---|--|--------------------|---|----------------|---|----------------|---|----------------|
| AP | | Date : | | | | | | |
| Matière : 36 Ni Cr Mo 16 Machine : laminage | Pièce : BRUTE | | | Doc : / | | | | |
| Désignation des opérations | Outillage : Montage : Usinage : Vérification : | Paramètre de coupe | | | | | | |
| | | V _C | f | a _p | N | V _f | L | T _t |
| Contrôle de brute D = A = 62 L = B = 60±0.1 | Pied à coulisse réglet | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

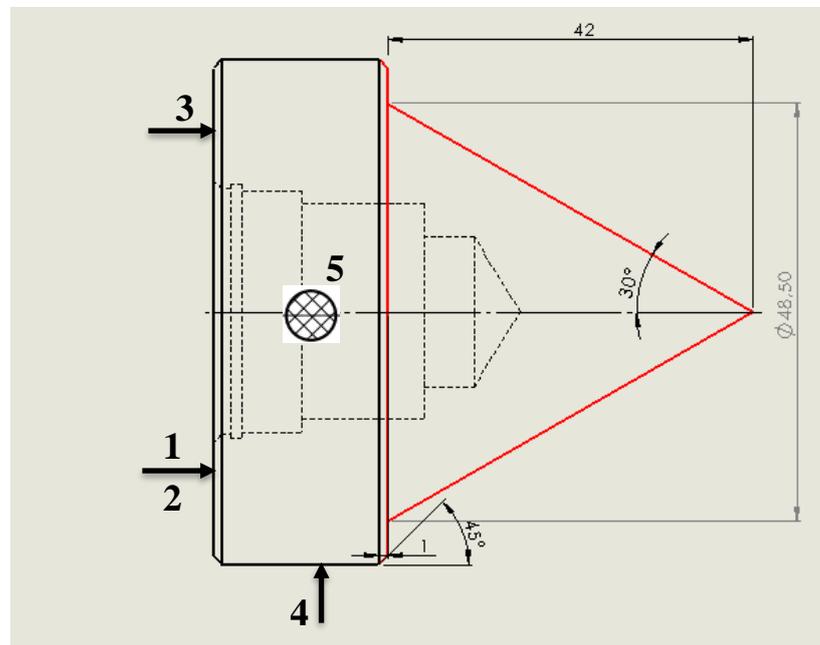


| | | | | | | | | |
|---|--|--------------------|----------|------|---|----|---|----|
| Nom : CHAIB Hamza | CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°200 | | Classe : | | | | | |
| AP | | | Date : | | | | | |
| Matière : 36 Ni Cr Mo 16 Machine : Tour | Pièce : pointe | | Doc : / | | | | | |
| Désignation des opérations S. PHASE 210 220 | Outillage : Montage : en l'air Usinage : | Paramètre de coupe | | | | | | |
| | | Vc | f | ap | N | Vf | L | Tt |
| 211 Dressage L= 24.3 | Outil à dresser carbure métallique | 80 | 0.1 | 1 | | | | |
| 212 Centrage Ø 6 | Foret à centrer | 60 | 0.05 | | | | | |
| 213 Chariotage Ø 58.5 L = 20 | Outil à charioter carbure métallique | 120 | 0.05 | 1 | | | | |
| 214 Chanfreinage 1 ×45° | Outil à chanfreiner carbure métallique | 120 | 0.05 | 1 | | | | |
| 215 Perçage Ø 16 L = 27 | Foret Ø16 | 60 | 0.32 | | | | | |
| 216 Alésage Ø 25 L = 24.3 | Outil à aléser carbure métallique | 15 | 0.5 | 1 | | | | |
| 217 Alésage ébauche Ø 26 L = 10.3 | Outil à aléser carbure métallique | 15 | 0.52 | 1 | | | | |
| 218 Alésage ½ finition Ø 27 L = 10.3 | Outil à aléser carbure métallique | 18 | 0.54 | 0.75 | | | | |
| 219 Alésage finition Ø 28 L = 10.3 | Outil à aléser carbure métallique | 18 | 0.56 | 0.25 | | | | |
| 220 Alésage Ø 28.5 L = 2 | Outil à aléser carbure métallique | 18 | 0.6 | 0.5 | | | | |
| 221 Chanfreinage 1 ×45° | Outil à chanfreiner carbure métallique | 120 | 0.05 | 1 | | | | |
| 222 Gorge Ø 29.40 L = 3.3 E = 1.3 | Outil à saigner carbure métallique | 120 | 0.05 | 0.5 | | | | |

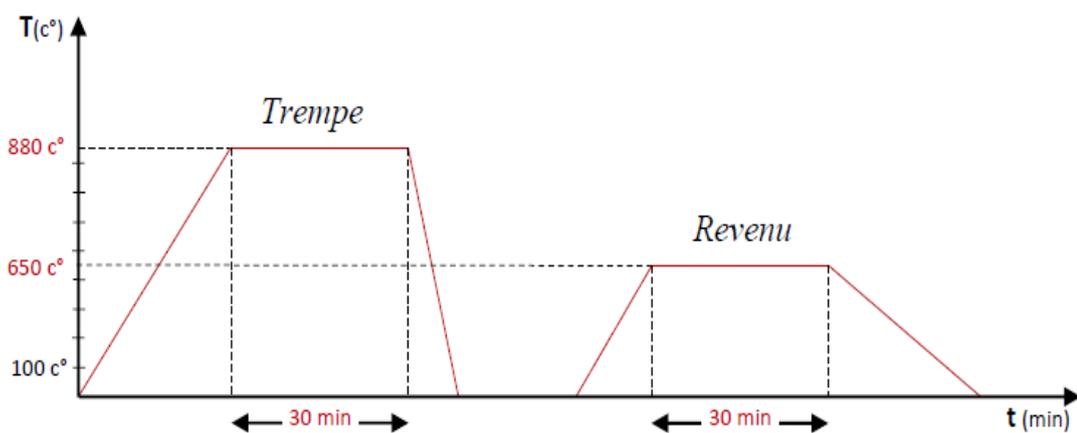


| | | |
|--|--|----------|
| Nom : CHAIB Hamza | CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°200 | Classe : |
| AP | | Date : |
| Matière : 36 Ni Cr Mo 16 Machine : tour | Pièce : pointe | Doc : / |

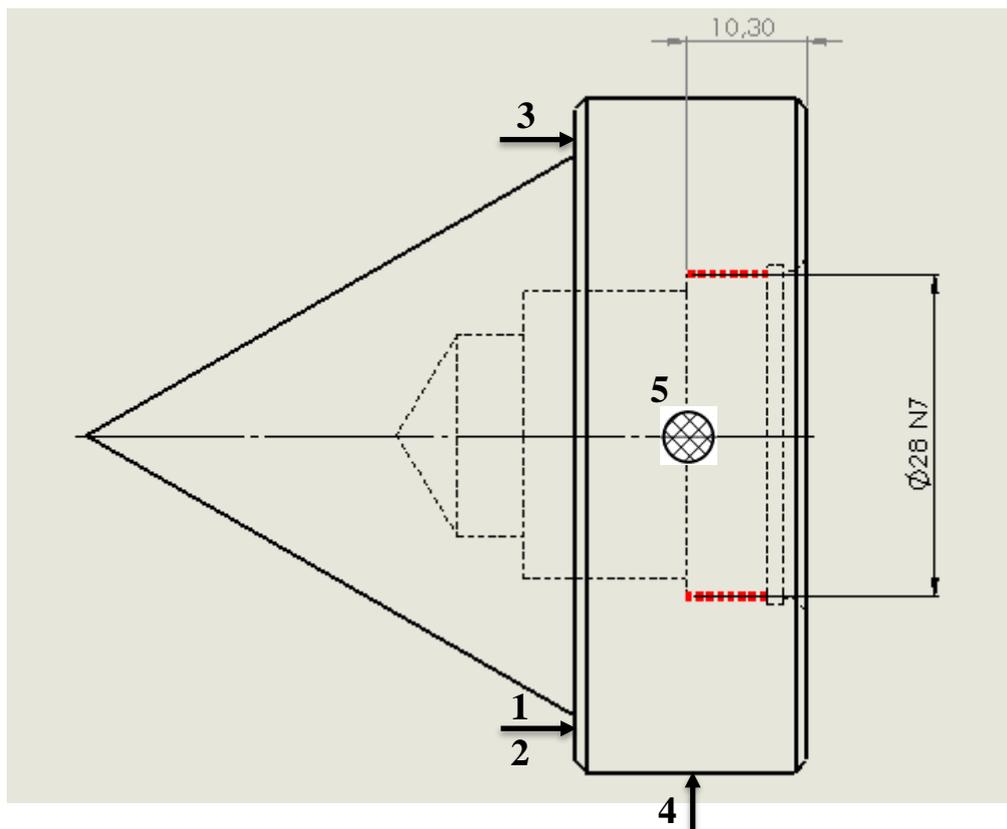
| Désignation des opérations S. PHASE 230 | Outillage : Montage : en l'air Usinage : Vérification : | Paramètre de coupe | | | | | | |
|---|--|--------------------|------|----------------|---|----------------|---|----------------|
| | | V _C | f | a _p | N | V _f | L | T _t |
| 231 Dressage L= 37.3 | Outil à dresser carbure métallique | 80 | 0.1 | 1 | | | | |
| 232 Chariotage Ø 48.5 L = 37.3 | Outil à charioter carbure métallique | 120 | 0.05 | 1 | | | | |
| 231 Chanfreinage 1×45° Ø58.50 L = 42 | Outil à chanfreiner carbure métallique | 120 | 0.05 | 1 | | | | |
| 233 Tournage conique C=30° L = 37.3 | Outil à charioter carbure métallique | 80 | 0.1 | 0.5 | | | | |



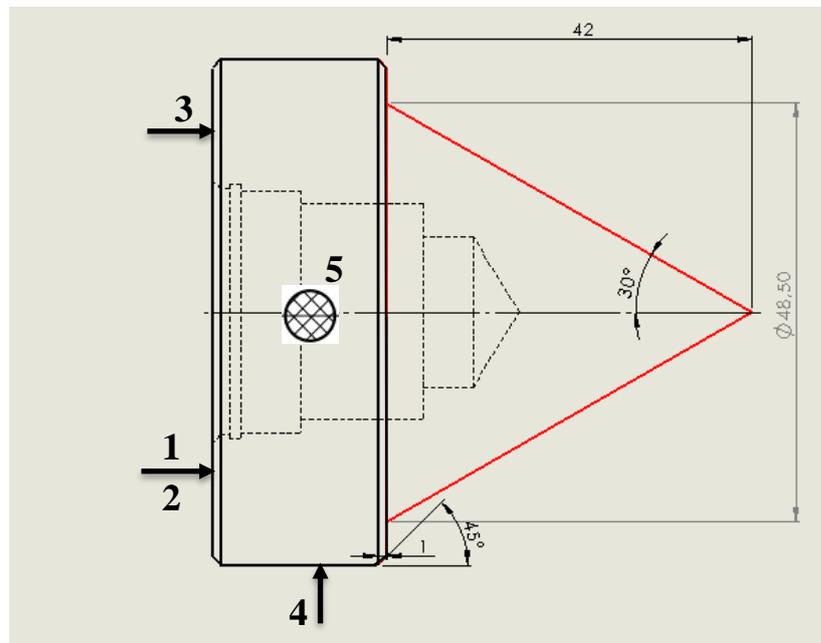
| | | | | | | | | | |
|---|--|---------------------------|----------|---------|---|----|---|----|--|
| Nom : CHAIB Hamza | CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°300 | | Classe : | | | | | | |
| AP | | | Date : | | | | | | |
| Matière : 36 Ni Cr Mo 16 Machine : Four de traitement thermique | Pièce : pointe | | | Doc : / | | | | | |
| Désignation des opérations | Outillage : Montage : Usinage : | Paramètre de coupe | | | | | | | |
| | | Vc | f | ap | N | Vf | L | Tt | |
| Traitement thermique Trempe +revenu Tremper pièce T. thermique =880° Temps de maintien 30min Refroidissement à l'huile Revenu à 650° Duré de revenu 30min Refroidissement à l'air libre Atteindre une dureté de : 40 HRC | Four de traitement thermique | | | | | | | | |



| | | | | | | | | |
|---|--|--|----------|--------|--|--|--|----------------|
| Nom : CHAIB Hamza | CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°400 | | Classe : | | | | | |
| AP | | | Date : | | | | | |
| Matière : 36 Ni Cr Mo 16 Machine : RECTIFIEUSE SPECIALE | Pièce : pointe | | Doc : / | | | | | |
| Désignation des opérations S. PHASE 410 | Outillage : Montage : Usinage : Vérification : | Paramètre de coupe | | | | | | |
| | | | | | | | | V _c |
| 411 Rectification cylindrique Ø12 N7 L = 10.3 | Meule Cylindrique Ø 8 | V _m 10m/s V _p 15m/min | 0.01 | 0.05mm | | | | |



| | | | | | | | | |
|--|--|--|----------|----------------|---|----------------|---|----------------|
| Nom : CHAIB Hamza | CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°500 | | Classe : | | | | | |
| AP | | | Date : | | | | | |
| Matière : 36 Ni Cr Mo 16 Machine : tour | Pièce : pointe | | Doc : / | | | | | |
| Désignation des opérations S. PHASE 510 | Outillage : Montage : en l'air Usinage : Vérification : | Paramètre de coupe | | | | | | |
| | | V _c | f | a _p | N | V _f | L | T _t |
| 511 Rectification conique C = 30° L = 41 | Meule Cylindrique Ø100 | V _m 10m/s V _p 15m/min | 0.01 | 0.05mm | | | | |



| | | | | | | | | | |
|--|--|--|---------------------------|---|----------------|---|----------------|---|----------------|
| Nom : CHAIB Hamza | CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N°600 | | Classe : | | | | | | |
| AP | | | Date : | | | | | | |
| Matière : 36 Ni Cr Mo 16 Machine : laminage | Pièce : pointe | | Doc : / | | | | | | |
| Désignation des opérations | Outillage : Montage : Usinage : Vérification : | | Paramètre de coupe | | | | | | |
| | | | V _C | f | a _p | N | V _f | L | T _t |
| Contrôle final de dimension de la pièce selon le dessin de définition. | Pied à coulisse réglet Tampon Jauge de profondeur | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

4.3 Conclusion

A l'issue de ce travail effectué dans le cadre de la formation du master productique, je peux affirmer qu'il m'a non seulement permis de mieux comprendre comment résoudre une problématique mais aussi l'approche technique pour traiter un sujet technique.

Durant le traitement de mon thème j'ai entrepris une étude de conception d'une contre pointe tournante. La modélisation des différentes pièces de l'ensemble sous SolidWorks, et proposer la gamme d'usinage de l'arbre et la pointe pour un type de production de moyenne série.

Finalement, je souhaite que ce modeste travail trouve une bonne appréciation et sera un support d'information pour toutes personnes désirant en savoir plus sur la fabrication mécanique avancée.

Références Bibliographique

- [1] ÉRIC FELDER, « Procédés d'usinage », Article B7000, Technique de l'ingénieur 1997.
- [2] Cours de « Fabrication mécanique », 3^e année ingénieur, génie mécanique.
- [3] RAYNALD LAHEURTE, « Application de la théorie de second gradient a la coupe des matériaux », thèse de doctorat, Université Bordeaux I, France, 2004.
- [4] Cour Industrialisation de produits. Mécatronique PAULIAT – LAPOIRIE.
- [5] Cours atelier machine-outil I. S.B.A-site cobegge
- [6] K. Ueda, K. MANABE, J. OKIDA; A survey and recent investigations on computational mechanics in cutting; IIND CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations; 1999; pp. 39-55
- [7] <http://vfarineau.thomasfar.fr/P2/2/7%20Percages.pdf>
- [8] GRUESCU, F. DEFOURNE, P. QUAEGERBEUR et J. F. ANTOINE, Préparation de production en productique mécanique - étude de fabrication et analyse d'usinage (3PM-EFAU), SEMM (service enseignement et multimédia) / université lille1 – France, 2015.
- [9] http://analyse-fabrication.univ-lille1.fr/res/F2_Les_usinages.pdf
- [10] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Rectification_\(m%C3%A9canique\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Rectification_(m%C3%A9canique))
- [11] Rectification (mécanique) *Source* : <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=74390430> *Contributeurs* : 16@r, Arnaud.Serander, Bobblewik, Dhatier, Dojada, Dr Brains, Givet, Haha, Numbo3, Ratigan, SimonDenel, Snipre, Tamfang, Woww, YSidlo, 24 modifications anonymes
- [12] http://www.capfusion.ma/wa_files/trempe_20revenu_20recuit.pdf
- [13] Alexandre Toumine, « Cours D'Usinage », Groupe Conception Production, INSA de Lyon, France
- [14] Technique ingénieur –quelques graphe et photo
- [15] Procédés d'usinage souhir gara ingénieur de l'ENI de Tunis Les pages : 10.11.12.13..16.17.18.19.45.140.141.142

- [16] John Wiley & Sons, Fundamentals of Modern Manufacturing, 2nd edition Inc. M. P. Groover, 2002.
- [17] R. MOHAMMAD, Etude de l'évolution des caractéristiques des plaquettes de coupe en tournage à sec. Mise en place de critères d'aide à la décision du changement de plaquette. Application au cas de l'ébauche de turbines de pompage, thèse doctorat de l'Université Toulouse III - Paul Sabatier – Toulouse – France, 2011.
- [18] H.BEN ABDELALI, Caractérisation et modélisation des mécanismes tribologiques aux interfaces outils-pièces-copeaux en usinage à sec de l'acier C45, Ecole Centrale de Lyon – France, 2013.
- [19] P. BOURDET, Coupe des métaux, Ecole normale supérieure de Cachan – France – 2004.
- [20] https://www.thyssenkrupp-materials.fr/media/products_4/7488_fr.pdf

