

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Mécanique

Mémoire

MASTER ACADIMIQUE

Domaine : Sciences Techniques

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Génie Productique

Présenté par :

MAAMRI Deyaeddine

NECIB Abderrahmane

Thème

**Optimisation des Paramètres de Coupe
pour Minimiser la Consommation
d'Energie Pendant le Tournage**

Soutenu le 07/06/2015

Devant le jury composé de :

Mr	Toufik Ameur	MA (A)	Président
Mr	Faycel Bentaleb	MA (A)	Examineur
Mr	Abderrahim Belloufi	MC (B)	Encadreur

Année Universitaire 2014/2015

Résumé :

L'optimisation, qui concerne toute amélioration économique, technologique et de qualité, est devenue un objectif majeur pour la production mécanique. Le champ d'opportunité de l'optimisation en production mécanique est très étendu. Nous nous sommes intéressés dans notre étude à une seule partie de cette problématique : l'optimisation des conditions de coupe en tournage.

L'intérêt de notre étude réside dans l'amélioration de certains paramètres technologiques ou techno-économique d'usinage, dites critères d'optimisation (consommation d'énergie et coût de production), en tenant compte des limites de performance de la machine, de l'outil de coupe et de la matière usinée.

Mots clés : Tournage, Paramètres de Coupe, Optimisation, Algorithmes Génétiques

الملخص:

التحسين، يتعلق بكل التحسينات الاقتصادية والتكنولوجية والجودة، أصبحت هدفا رئيسيا لإنتاج ميكانيكي. مجال الفرص الميكانيكية الأمثل إنتاج واسع جدا. ركزنا دراستنا فقط على جزء من هذه المشكلة: تحسين شروط القطع أثناء عملية الخراطة. الهدف من دراستنا يكمن في تحسين بعض الشروط التكنولوجية والفنية والاقتصادية في التصنيع المعايير الأمثل (استهلاك الطاقة وتكاليف الإنتاج)، مع الأخذ بعين الاعتبار حدود أداء الجهاز، أدوات قطع ومواد التصنيع

الكلمات المفتاحية: الخراطة، شروط القطع، التحسين، الخوارزميات الجينية

Abstract:

The optimization, with respect to any economic improvement, technology and quality, has become a major goal for the mechanical production. The field of opportunity of mechanical production optimization is very broad. We focused our study to only a part of this problem: optimizing turning in cutting conditions. The interest of our study lies in the improvement of some technological parameters and techno-economic machining, said optimization criteria (energy consumption and production costs), taking into account the performance limits of the machine, of the cutting tool and the machined material.

Key words: Turning, Optimization, Cutting conditions, Genetic algorithms.

Table des Matières

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I

Généralité sur le tournage

I.1	Introduction.....	2
I.2	Procédé de tournage	2
I.2.1	Surfaces de la pièce.....	3
I.3	Les tours	4
I.3.1	Classification des machines de tournage	5
I.3.2	Régimes de coupe	6
I.4	Support et entraînement des pièces sur un tour	7
I.4.1	Montage en l'air	7
I.4.2	Montage mixte	7
I.4.3	Montage entre-pointes	8
I.5	Opérations de tournage.....	8
I.5.1	Chariotage.....	8
I.5.2	Alésage	8
I.5.3	Dressage.....	9
I.5.4	Contournage	9
I.5.5	Gorgeage.....	9
I.5.6	Chanfreinage	10
I.5.7	Tronçonnage.....	10
I.5.8	Filetage	10
I.6	Conditions de coupe	11
I.6.1	Vitesse de coupe V	11
I.6.2	Vitesse d'avance V_f et avance par tour f	12
I.6.3	Profondeur de passe « a ».....	13

I.7	Paramètres géométriques de coupe	13
I.7.1	Éléments d'outil	14
I.7.2	Faces et arêtes de l'outil	15
I.7.3	Angles de l'outil	16
I.8	Paramètres techno-économiques d'usinage	18
I.8.1	Temps d'usinage	18
I.8.2	Coût d'usinage	19
I.8.3	Durée de vie d'un outil de coupe	19
I.9	Efforts de coupe en tournage	21
I.9.1	Composantes de l'effort de coupe	21
I.9.2	Puissance de coupe	22
I.10	Conclusion	22
II.1	Introduction	23
II.2	Formulation mathématique d'un problème d'optimisation	23
II.3	Principe de formulation d'un modèle d'optimisation des conditions de coupe	23
II.4	Formulation d'un modèle d'optimisation des conditions de coup en tournage	24
II.4.1	Choix des variables du modèle	24
II.4.2	Détermination du temps de coupe	24
II.4.3	Temps de coupe en dressage	25
II.4.4	Détermination de la durée de vie de l'outil de coupe	25
II.5	Critères	25
II.5.1	Critère du coût de production	25
II.5.2	Critère d'énergie consommée	26
II.6	Formulation des contraintes	30
II.6.1	Limitation sur l'intervalle des vitesses de coupe	30
II.6.2	Limitation sur l'intervalle des avances	30

II.6.3	Limitation sur l'intervalle de profondeur de passe	31
II.6.4	Limitation sur la durée de vie de l'outil	31
II.6.5	Limitation sur la résistance pratique à la rupture de l'outil de coupe	31
II.6.6	Limitation sur la résistance à la déformation de l'outil de coupe ...	31
II.6.7	Limitation sur la puissance de coupe	32
II.6.8	Limitation sur l'effort de coupe	32
II.7	Conclusion	32
III.1	Introduction.....	34
III.2	Exemple d'application.....	34
III.3	Critères d'optimisation.....	35
III.3.1	Critère d'énergie	35
III.3.2	Critère du coût	37
III.4	Comparaison des paramètres de coupe optimums avec les paramètres recommandés par le fournisseur d'outils.....	38
III.4.1	Représentation graphique des résultats.....	39
III.4.2	Commentaires.....	40
III.5	Conclusion.....	40
	Conclusion générale	42
	Bibliographie.....	43

Liste des Figures

Chapitre I

Généralité Sur le Tournage

Figure I.1	Mouvements de coupe et d'avance en tournage.	2
Figure I.2	Principe de tournage	3
Figure I.3	surfaces de la pièce	4
Figure I.4	Composantes de tour.	5
Figure I.5	Montage en l'air	7
Figure I.6	Montage mixte.	7
Figure I.7	Montage entre-pointe.	8
Figure I.8	Chariotage	8
Figure I.9	Alésage.....	8
Figure I.10	Dressage.....	9
Figure I.11	Perçage	9
Figure I.12	Gorgeage	9
Figure I.13	Chanfreinage.....	10
Figure I.14	Tronçonnage.....	10
Figure I.15	Filetage	10
Figure I.16	Le choix des paramètres de coupe	11
Figure I.17	Vitesse de coupe V_c	12
Figure I.18	Vitesse d'avance V_f	12
Figure I.19	Les profondeurs de passe... ..	13
Figure I.20	Configuration de la coupe.....	14
Figure I.21	Arêtes et parties actives d'un outil de tournage	15
Figure I.22	Mouvement relatif outil/ pièce en tournage	16
Figure I.23	Angles du taillant (outil en main).	17
Figure I.24	Angles du taillant (outil en travail).....	17
Figure I.25	Paramètres de temps technologique	18
Figure I.26	Critère d'usure V_B	20
Figure I.27	Efforts de coupe en tournage.....	22

Chapitre II**Elaboration d'un Modèle Conditions de Coupe en Tournage**

Figure II.1	Temps de coupe en chariotage.....	24
Figure II.2	Temps de coupe en dressage.....	25

Chapitre III**Optimisation des Conditions de Coupe en Tournage**

Figure III.1	Dimensions de la pièce à usiner	35
Figure III.2	Comparaison de l'énergie minimale en fonction des différents critères	39
Figure III.3	Comparaison du coût minimum en fonction des différents critères.	40

Liste des Tableaux

Chapitre III

Optimisation des Conditions de Coupe en Tournage

Tableaux III. 1	Les paramètres d'usinage.....	34
Tableaux III. 2	Les limites des paramètres de coupe.....	35
Tableaux III. 3	Comparaison des paramètres de coupe choisis différents.....	36
Tableaux III. 4	Les paramètres de coupe optimums (Critère de consommation d'énergie)	38
Tableaux III. 5	Comparaison des paramètres de coupe choisis différents.....	39

Nomenclature

Symbole	Unité	Désignation
V_C	(m/min)	Vitesse de coupe
Me		Mouvement de coupe
Mf		Mouvement d'avance
D	(mm)	Diamètre de la pièce
N	(tr/min)	Vitesse de broche
f	(mm/tr)	Avance par tour
V_f	(mm/min)	La vitesse d'avance
a	(mm)	Profondeur de passe
T_u	(min)	Le temps d'usinage unitaire
t_m	(min)	Temps de coupe
t_{CS}	(min)	Temps de changement d'outil
T		La durée de vie
t_R	(min)	Temps de retour
t_h	(min)	Temps de montage et démontage de la pièce
C_u	\$	Coût d'usinage unitaire
C_0	(\$/min)	Coût de machine
C_t	(\$/arrêt)	Coût d'une arrête de coupe
α	Rad	Angle de dépouille
β	Rad	Angle de taillant
γ	Rad	Angle de coupe
L	(mm)	Longueur totale de déplacement de l'outil
n		Exposant de TAYLOR
K		Constant de durée de vie
k, x, y		Exposants dépendants de la nuance de l'outil
$a_1 a_2 a_3$		Constants empiriques
E	J	L'énergie consommée totale
E_1	J	L'énergie consommée par une machine lors de l'installation, elle est évaluée à partir de la puissance consommée par la machine durant l'installation de l'outil et de la pièce
E_2	J	Energie de coupe (énergie consommée pendant l'enlèvement de matière)
E_3	J	L'énergie consommée pendant le changement d'outil
E_4	J	Est évaluée à partir du produit de l'énergie par arrête multiplié par le nombre d'arrêtes de coupe nécessaires pour compléter une passe
P_0	W	Puissance consommée par les éléments de la machine

k	W_s / mm^3	Énergie spécifique dans les opérations de coupe
\dot{v}	mm^3 / s	Taux d'enlèvement de matière
y_E	J	Empreinte énergétique par arête de coupe
y_c	£	Est le coût de l'outillage par arête de coupe
$\frac{1}{\alpha}$		Exposant de la vitesse de coupe dans l'équation de la durée de vie de l'outil
$\frac{1}{\beta}$		Exposant de l'avance dans l'équation de la durée de vie de l'outil
D_{avg}	mm	Diamètre moyenne de la pièce
A		Constante
x	£/min	Taux du coût de la machine

Introduction Générale

Introduction Générale

L'usinage par enlèvement de matière désigne l'ensemble des techniques qui permettent d'obtenir une surface par enlèvement de copeaux à l'aide d'un outil tranchant. Cette technique ancienne reste une technique de fabrication importante et très répandue [9].

Dans la mise en forme des métaux par la coupe, le procédé de tournage représente à lui seul, dans l'industrie, plus du tiers de l'usinage par enlèvement de copeaux. L'optimisation des processus de fabrication prend une place importante au niveau de la recherche scientifique industrielle dans un but de répondre à un double objectif visant l'amélioration de la qualité des produits fabriqués et la réduction des coûts de production. De ce point nous avons commencé à travailler sur la façon de réduire la consommation d'énergie et en réduisant le coût pour les machines de tournage.

Le mot énergie est lié avec le processus de fabrication. Toute la fabrication besoin d'une certaine forme d'énergie. Les machines de tournage nécessitent une grande énergie électrique pour leur fonctionnement. Mise au cours du processus de tournage, il y a une grande consommation d'énergie sera sous de nombreuses formes.

Le travail réalisé au cours de cette étude a pour objectif de proposer une méthode d'optimisation permettant de rechercher les conditions de coupe optimums pour minimiser la consommation d'énergie pendant le tournage.

Le travail réalisé et présenté dans ce mémoire s'articule de la façon suivante :

Le chapitre I : porte sur une recherche bibliographique sur le procédé de tournage dans un premier temps permet de rappeler les principales notions de base de tournage, ensuite les différents phénomènes liés au procédé, ainsi que les paramètres technico-économiques.

Dans le chapitre II on s'intéresse à la modélisation à passe simple d'un problème d'optimisation des conditions de coupe en tournage en se basant sur les critères de l'énergie consommée et du coût de production.

Dans le chapitre III, nous utilisons l'algorithme génétique sur MATLAB pour l'optimisation des paramètres de coupe en vue de minimiser la consommation d'énergie pendant le tournage.

Chapitre I

Généralités sur le Tournage

I.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 copeaux 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 très importante place dans la fabrication mécanique à cause de sa simplicité et la possibilité de produire par lequel un grand nombre de forme géométrique [1].

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

I.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 [2].

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) [2].

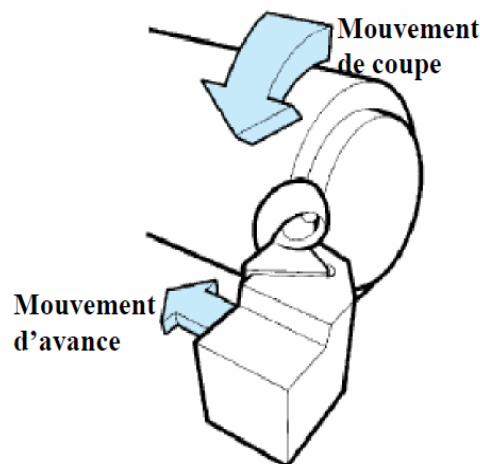


Figure .I.1 Mouvements de coupe et d'avance en tournage [2].

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 [3].

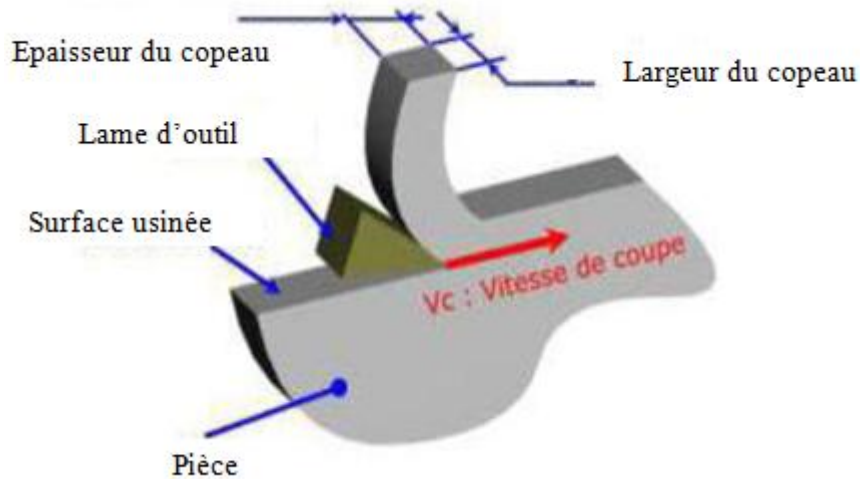


Figure I.2 Principe de tournage [4].

L'utilisation principale des 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 [5].

I.2.1 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 [2].

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 I.3).

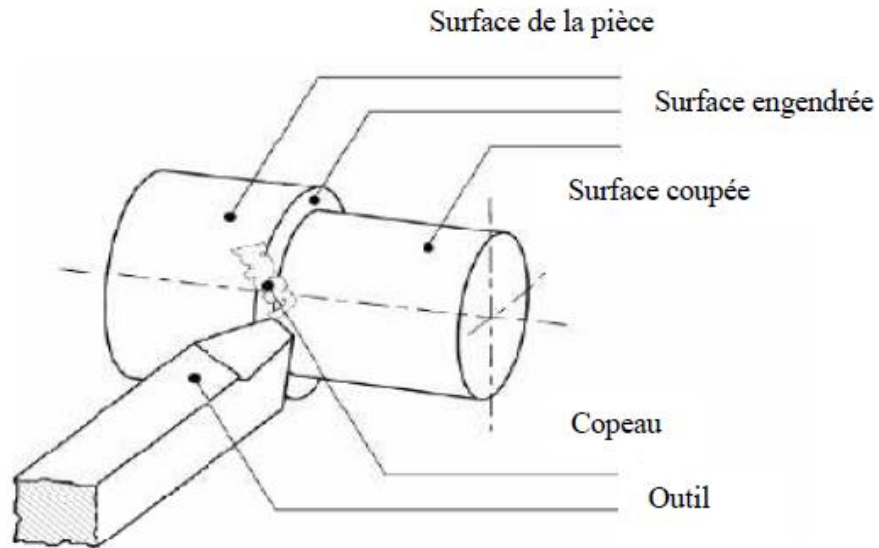


Figure. I.3 surfaces de la pièce [2].

I.3 Les tours

Les tours (voir Figure .I.4) permettent de réaliser des surfaces de révolution et hélicoïdales (filetage) : cylindres, cônes et plans (génératrice perpendiculaire à l'axe de révolution). L'utilisation principale des 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 [6].

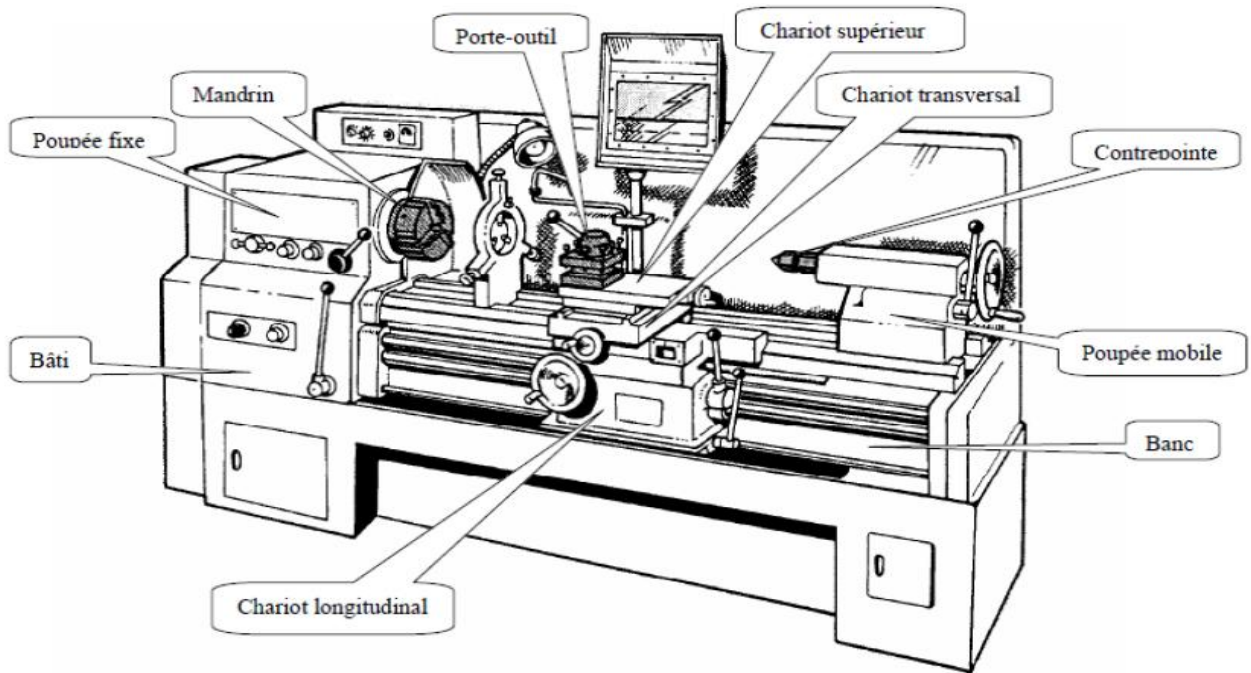


Figure. I.4 Composantes d'un tour [7].

I.3.1 Classification des machines de tournage

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

a 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 [8].

b 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 [8].

c 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 [8].

d 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 effectuées 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 [8].

e 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 [8].

I.3.2 Régimes de coupe**a 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 [9].

b Finition

C'est l'opération qui consiste à finir la pièce aux cotes prescrites. Il faut donc choisis des grandes vitesses de coupe et de petites avances en obtiens des surfaces de grandes qualité [9].

I.4 Support et entraînement des pièces sur un tour

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

I.4.1 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 [9].

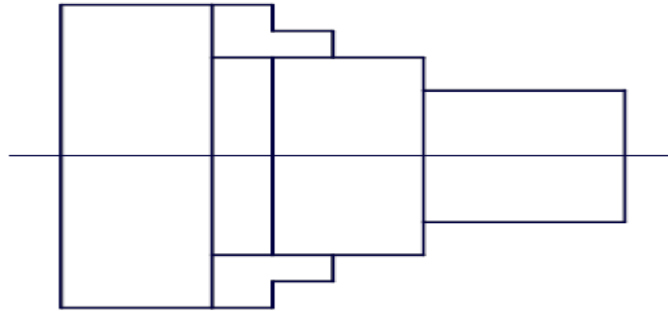


Figure. I.5 : Montage en l'air [9].

I.4.2 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 [9].

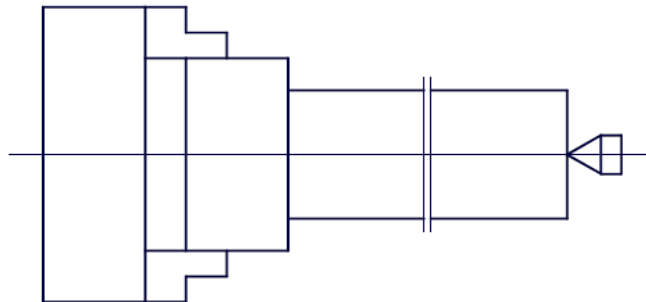


Figure. I.6 : Montage mixte [9].

I.4.3 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 [9].

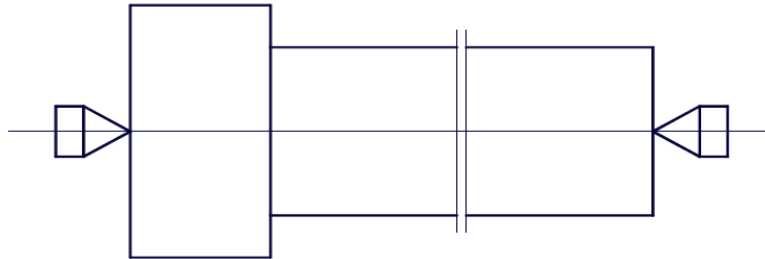


Figure. I.7 : Montage entre-pointe [9].

I.5 Opérations de tournage

I.5.1 Chariotage

Le mouvement d'avance (mouvement de l'outil) est une translation rectiligne parallèle à l'axe de révolution de la pièce, et cet usinage aura pour effet de réduire le diamètre de la pièce [8].

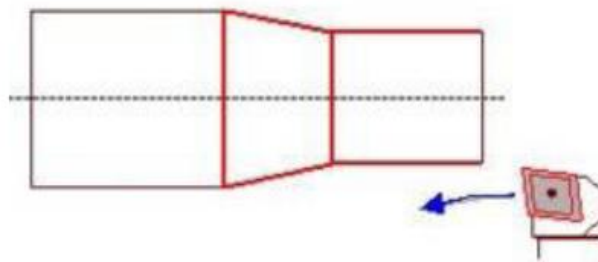


Figure. I.8: Chariotage [8].

I.5.2 Alésage

Cette opération consiste à usiner une surface cylindrique ou conique intérieure. Le mouvement d'avance est similaire à celui en chariotage [8].

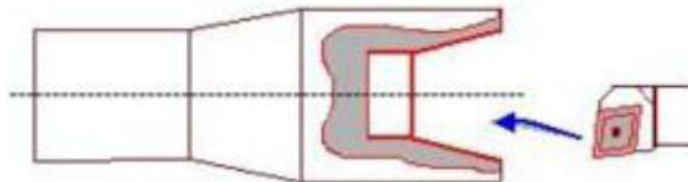


Figure. I.9: Alésage [8].

I.5.3 Dressage

Opération qui consiste à usiner une surface plane perpendiculaire à l'axe de la broche extérieure ou intérieure, ce qui diminue la longueur [8].

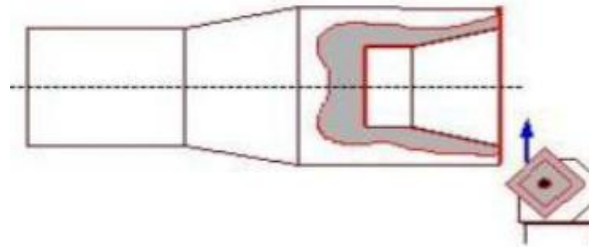


Figure. I.10: Dressage [8].

I.5.4 Contournage

On donnant à l'outil une trajectoire plane quelconque, on peut obtenir une forme de révolution quelconque [8].

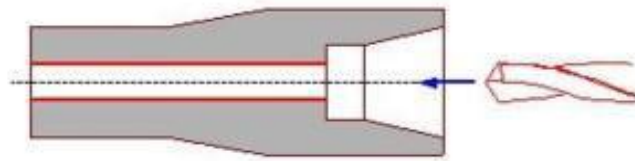


Figure I.11: Perçage [8].

I.5.5 Gorgeage

Opération qui consiste à usiner une gorge intérieure ou extérieure pour le logement d'un circlips ou d'un joint torique par exemple [8].

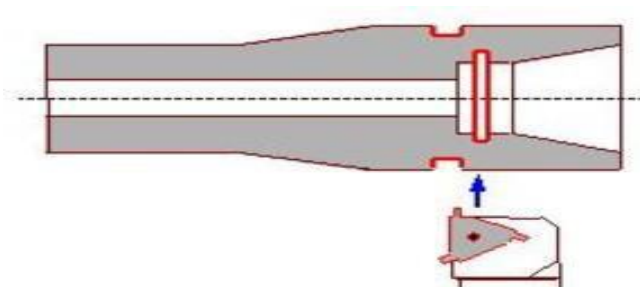


Figure. I.12: Gorgeage [8].

I.5.6 Chanfreinage

Opération qui consiste à usiner un cône de petite dimension de façon à supprimer un angle vif [8].

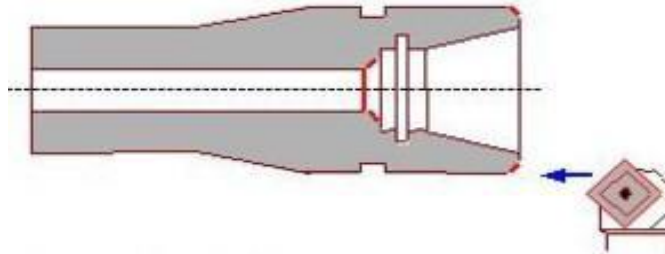


Figure. I.13: Chanfreinage [8].

I.5.7 Tronçonnage

Opération qui consiste à usiner une rainure jusqu'à l'axe de la pièce afin d'en détacher un tronçon [8].

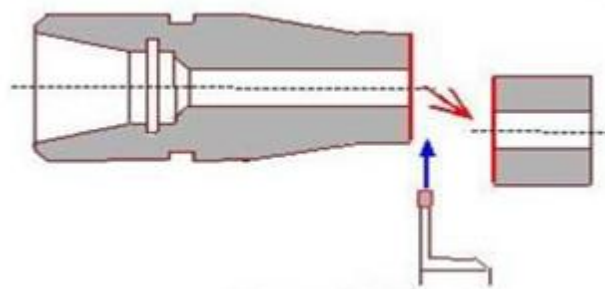


Figure. I.14: Tronçonnage [8].

I.5.8 Filetage

Opération qui consiste à réaliser un filetage extérieure ou intérieure, le mouvement d'avance est combine avec le mouvement de coupe [8].

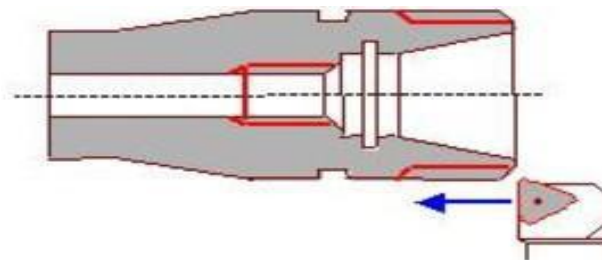


Figure. I.15: Filetage [8].

I.6 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, surfacage...)
- L'utilisation éventuelle de lubrification (destiné à refroidir ou/et à diminuer le frottement) [10].

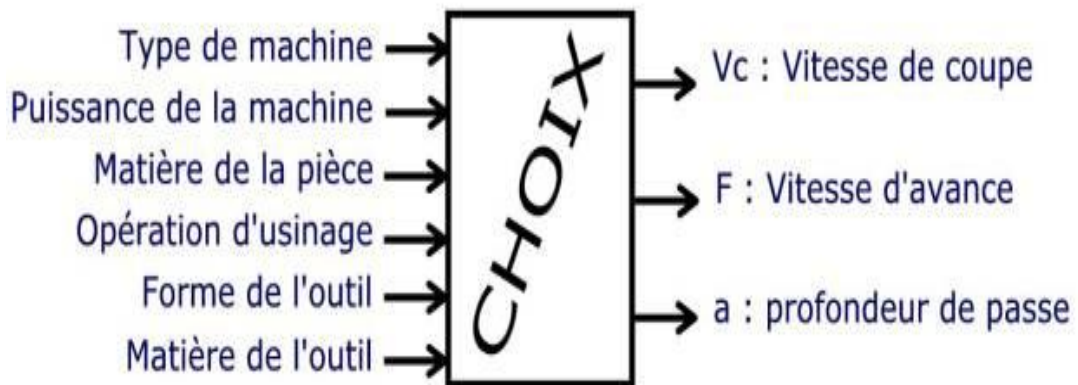


Figure. I.16 : Les choix des paramètres de coupe [11].

I.6.1 Vitesse de coupe V

La pièce est entraînée sur le tour à une certaine vitesse angulaire ω , 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 :

$$V_c \text{ (m/min)} = \frac{D}{2} \text{ (m)} \times \omega \text{ (red / min)} \quad (\text{I-1})$$

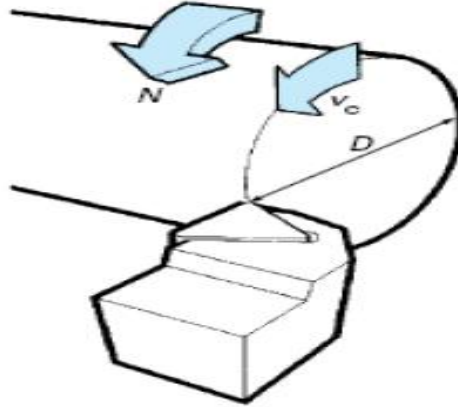


Figure. I.17 : Vitesse de coupe V_c [12].

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

$$N(tr/min) = \frac{1000 \times V_c(m/min)}{\pi D(mm)} \quad (I-2)$$

I.6.2 Vitesse d'avance V_f et avance par tour f

La vitesse d'avance $V_F(mm/min)$, que la figure (I. 18) 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 [12]:

$$V_F(mm) = f(mm/tr) \times N(tr/min) \quad (I-3)$$

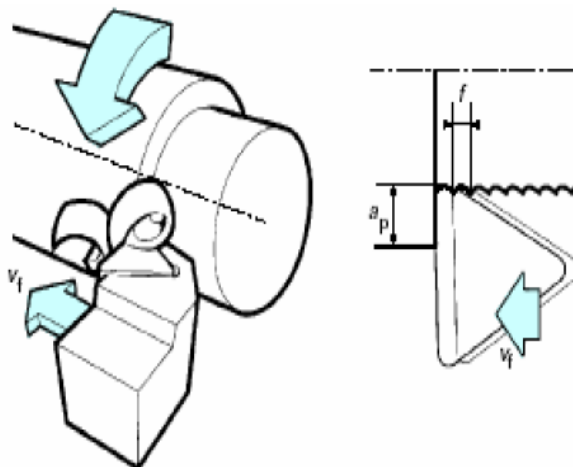


Figure. I.18 Vitesse d'avance V_F [12].

I.6.3 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 [8].

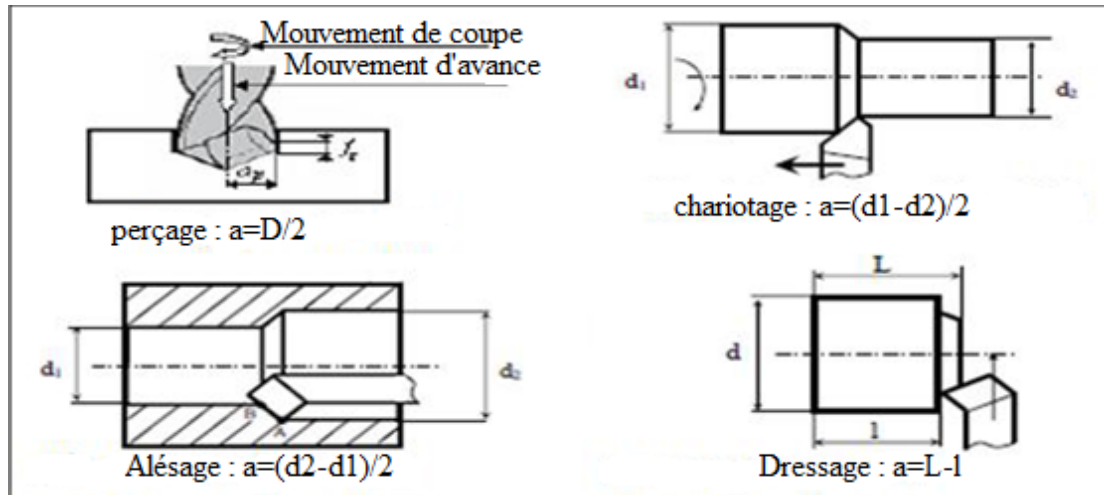


Figure. I.19 : Les profondeurs de passe [8].

I.7 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 (I.20).

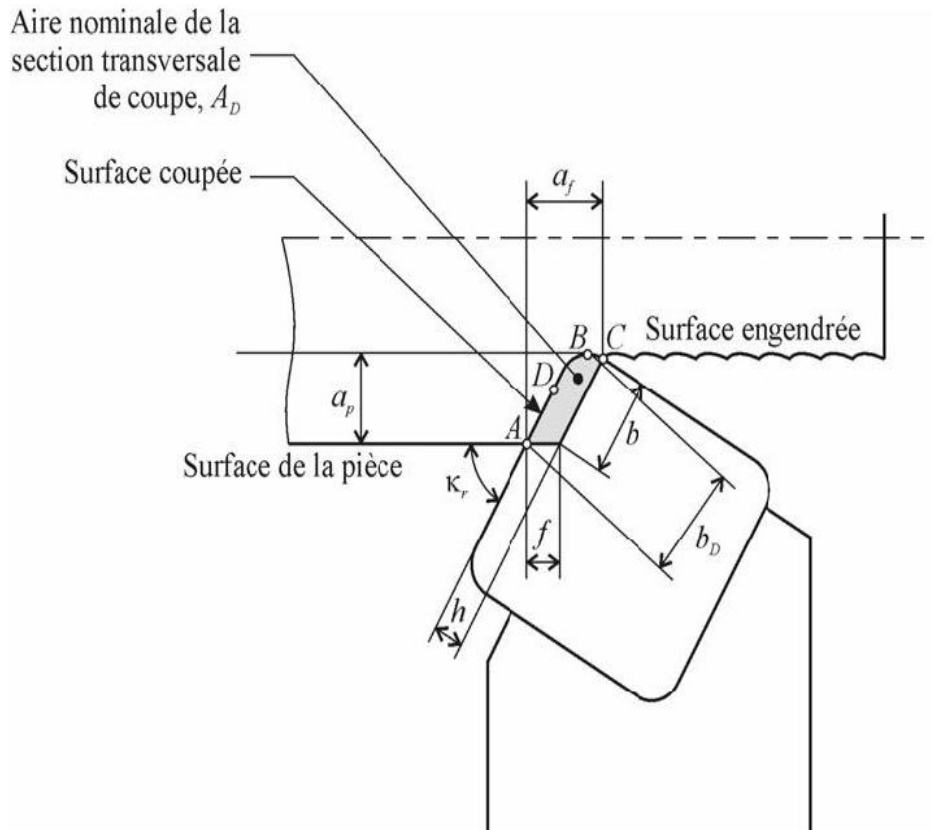


Figure. I.20 Configuration de coupe [13].

Où :

a_p : Profondeur de coupe

a_f : Engagement de l'arête,

f : Avance

h : Épaisseur de coupe

b : Largeur de coupe.

b_D : Largeur nominale de coupe

κ_r : Angle de direction d'arête

D : Point principal de l'arête.

I.7.1 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 [13].

I.7.2 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 I. 21). 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 I. 21) 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) [3].

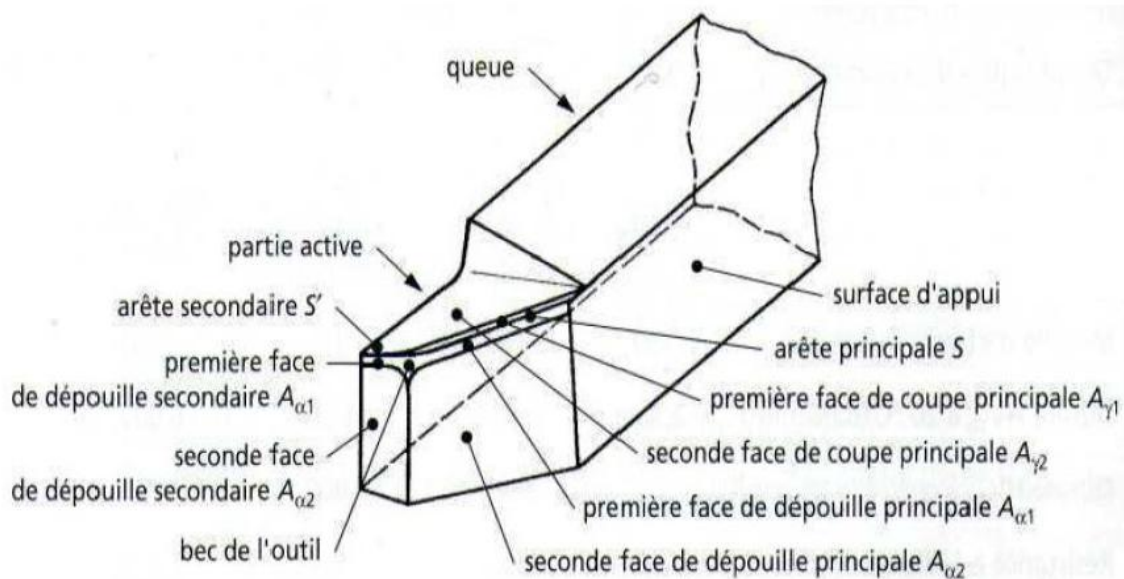


Figure. I.21 : Arêtes et parties actives d'un outil de tournage [3].

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 [3].

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 [3].

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 V_c (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 [3].

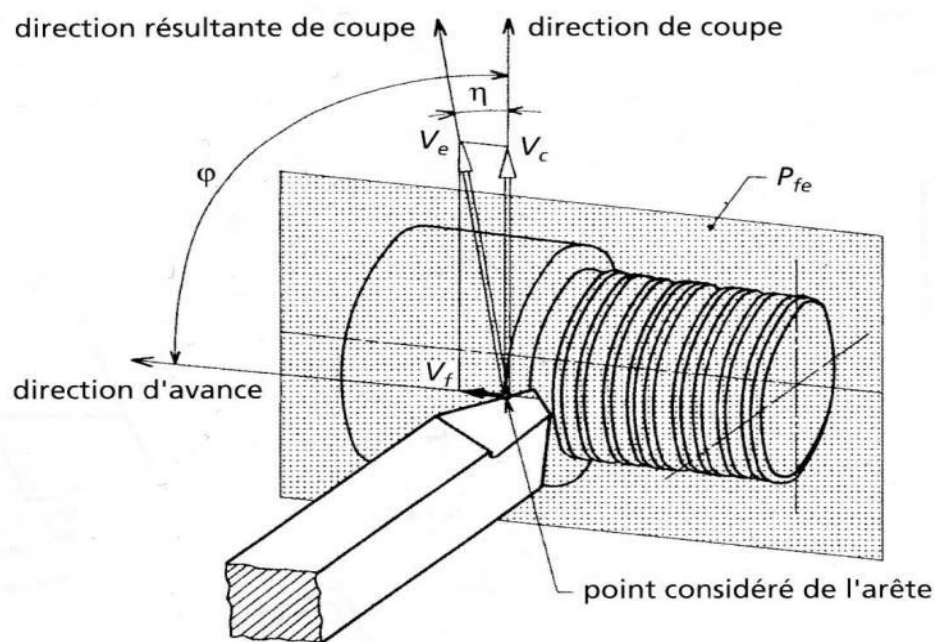


Figure. I.22 : Mouvement relatif outil/ pièce en tournage [7].

I.7.3 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 I.23) illustre, dans le système de référence outil en main, les trois angles principaux, l'angle de dépouille α , l'angle de taillant β et l'angle de coupe γ [7].

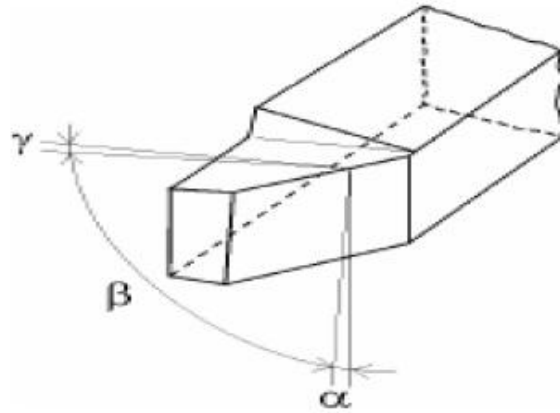


Figure. I.23: Angles du taillant (outil en main) [7].

La (figure I.24) 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).

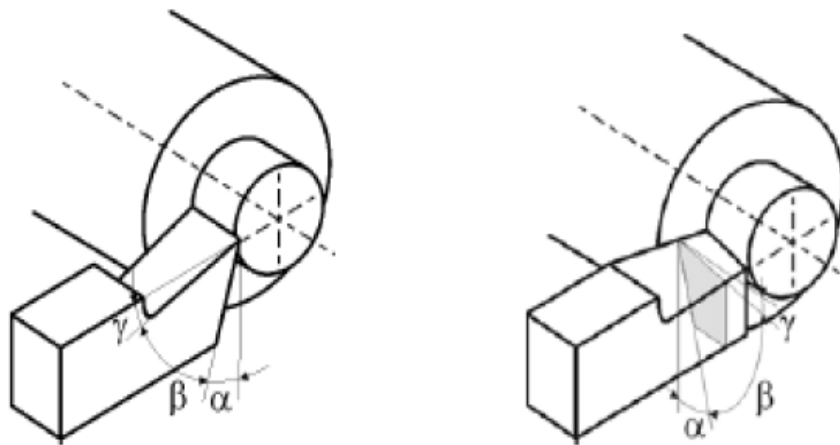


Figure. I.24 : Angles du taillant (outil en travail) [7].

Globalement, l'angle de dépouille α influe sur le frottement entre l'outil et la pièce et donc la durée utile de l'outil. L'angle de coupe γ 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 β affecte la résistance à la rupture du taillant. La somme de ces trois angles est toujours égale à 90° [7].

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

(I-4)

Dans le cas où la somme est supérieure à 90° , on parle de coupe négative (γ négatif).

I.8 Paramètres techno-économiques d'usinage

Le coût d'usinage et le temps d'usinage sont les paramètres techno-économiques d'usinage. Ces les paramètres qui déterminent L'importance économique des pièces usinées [13].

I.8.1 Temps d'usinage

Le temps d'usinage unitaire est le temps nécessaire à la réalisation d'une passe sur une pièce. Il s'exprime par la relation [15]:

$$T_u = T_m + T_{cs} \left(\frac{T_m}{T} \right) + T_r + T_h \quad (\text{I-5})$$

t_{cs} (Temps outil) : temps de changement d'outil y compris le temps de réaffûtage si nécessaire,

T : Durée de vie de l'outil de coupe.

t_r : Temps de retour.

t_m : (Temps technologique) : temps de machine (temps de coupe avec une avance), puis : On détermine le temps technologique comme suite :

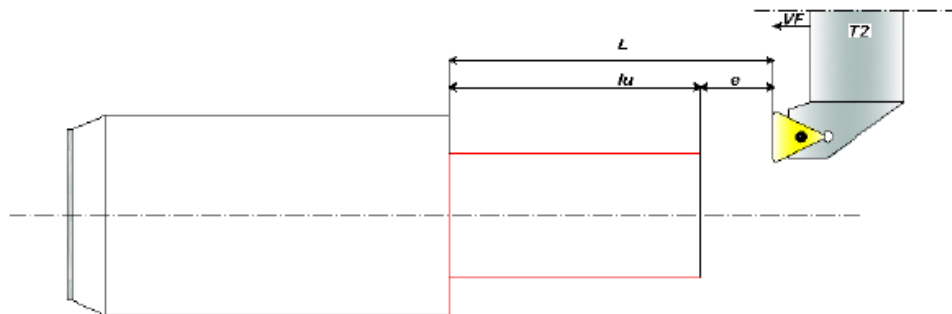


Figure. I.25: Paramètres du temps technologique [15].

Lu : Longueur usinée.

e : Distance de sécurité

V_f : vitesse d'avance

Longueur totale de déplacement de l'outil :

$$L = lu + e \quad (\text{I-6})$$

Temps technologique d'usinage d'une pièce est:

$$t_m = \frac{L}{v_f} \quad (\text{I-7})$$

$$t_m = \frac{\pi \times D \times N}{1000 \times V_c \times f} \quad (\text{I-8})$$

I.8.2 Coût d'usinage

Généralement, la formule du coût d'usinage Est donnée par :

$$\text{Coût total} = \text{frais fixes} + \text{coût machine} + \text{coût outil} \quad (\text{I-9})$$

Le coût d'usinage unitaire est le coût nécessaire à la réalisation d'une passe sur une pièce, il s'écrit comme suit:

$$C_u = C_0 \cdot t_m + \left(\frac{t_m}{T}\right) \cdot (C_0 \cdot t_{cs} + C_t) + C_0 (t_h + t_R) \quad (\text{I-10})$$

C_u : Coût d'usinage unitaire.

C_0 : Coût de machine en \$/ min.

C_t : Coût d'une arrête de coupe en \$/ arrête.

I.8.3 Durée de vie d'un outil de coupe

Compte tenu de la complexité du phénomène, il n'existe pas de loi mathématique simple permettant de calculer la "durée de vie" de l'outil.

La durée de vie d'un outil est caractérisée par le temps mis pour atteindre la valeur limite du critère d'usure considérée dans des conditions de coupe données [2].

Généralement on choisit comme critère d'usure l'un des trois critères suivants :

- ✓ Défaillance brutale due à la déformation plastique de l'arête. Ce critère n'est employé que pour les outils en acier rapide ou les outils en céramique.
- ✓ Usure frontale, employé pour tous les outils, caractérisés soit par l'usure frontale Moyenne soit par l'usure frontale maximale.
- ✓ Usure en cratère, employé seulement pour les outils en carbure métallique, caractérisé par la profondeur du cratère [2].

La durée de vie est mesurée sur l'usure en dépouille dans la zone b (figure I.26)
 V_B en mm.

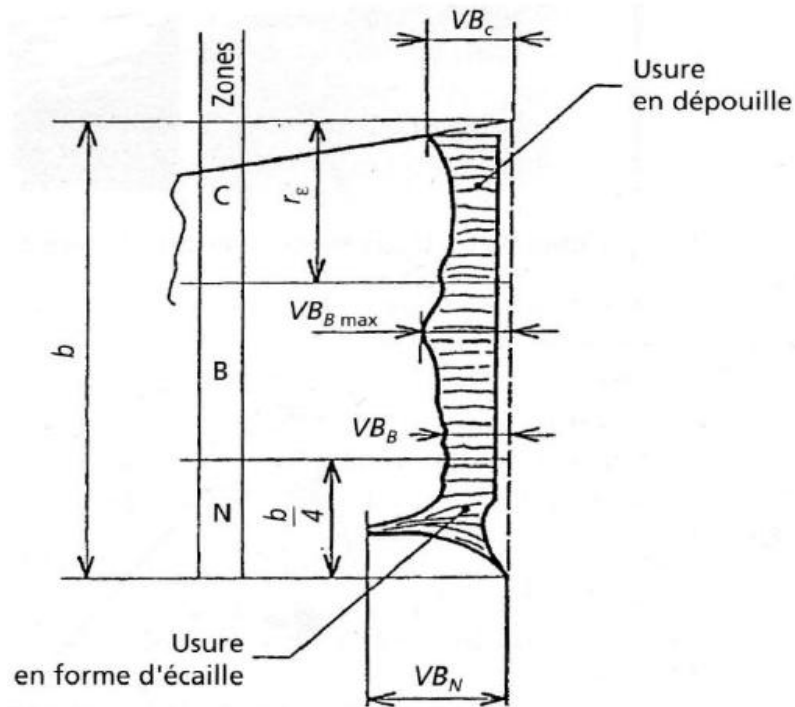


Figure I.26: Critère d'usure V_B [8].

En fait la durée de vie de l'outil est fonction des différents paramètres, soit:

- Les conditions de coupe.
- Le matériau et la géométrie de l'outil.
- Le matériau et l'état physique de la pièce.
- La lubrification.
- Généralement seules les conditions de coupe sont prises en considération et on établit des lois d'usure pour des outils parfaitement définis pour un matériau usiné donné et dans des conditions de lubrification déterminées.

On arrive donc des lois d'usure de la forme :

$$T = f(v_c, f, a_p) \quad (I-11)$$

Remarque : La vitesse de coupe étant en fait le paramètre le plus important on trouve aussi des lois d'usure sous la forme :

$$T = f(v_c, f, a_p) \quad (I-12)$$

I.9 Efforts de coupe en tournage

L'effort de coupe F_c dépend de la résistance spécifique à la rupture par Compression R_r de la matière travaillée et de son usinabilité, des dimensions du copeau, de l'outil utilisé ainsi que du mode de travail (Fig. I.27). Généralement, l'effort de coupe est calculé par la relation suivante [21]:

$$F_c = K \times S \times R_r \quad (\text{I-13})$$

Avec :

R_r : La Résistance spécifique à la rupture par compression ;

S : Section du copeau définie par l'avance f et la profondeur de passe ap , soit :

$$S = ap \times f \quad (\text{I-14})$$

K : Coefficient qui tient compte de l'usinabilité de la matière, de l'épaisseur du Copeau, (il est plus fort en finition qu'en ébauche) et de la géométrie de l'outil de coupe.

On adopte généralement les valeurs suivantes :

$K = 2,5$ à 4 pour les aciers et $K = 4$ à 5 pour les fontes [21].

I.9.1 Composantes de l'effort de coupe

Les composantes de l'effort de coupe (figure I.27), l'effort d'avance et l'effort de pénétration sont donnés par les relations suivantes [21]:

$$F_f = (0.2 \text{ à } 0.3) F_c \quad (\text{I-15})$$

$$F_{a_p} = (0.4 \text{ à } 0.5) F_c \quad (\text{I-16})$$

Etant donné que les trois efforts forment un trièdre trirectangle alors :

$$F = \sqrt{(0.25 \times F_c)^2 + (0.45 \times F_c)^2 + F_c^2} \cong 1.12 F_c \quad (\text{I-17})$$

Généralement il est admis que : $F \approx F_c$

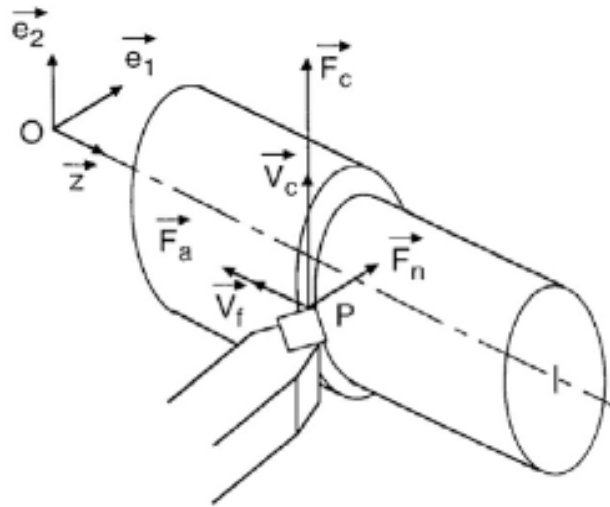


Figure. I.27 : efforts de coupe en tournage [21].

I.9.2 Puissance de coupe

On a définie la puissance dans le cas générale comme un le produit scalaire du Vecteur d'effort et vitesse :

$$P = \vec{F} \cdot \vec{V}$$

$$P = \begin{vmatrix} F_a & V_a \\ F_f & V_f \\ F_c & V_c \end{vmatrix} \tag{I-18}$$

$$P = F_a \cdot V_a + F_f \cdot V_f + F_c \cdot V_c$$

En chariotage nous négligeons l'effort d'avancement et l'effort radial Donc :

$$P_c = F_c \times V_c \tag{I-19}$$

I.10 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre de notre étude le procédé de tournage ainsi que les opérations de tournage (Chariotage, Dressage...), ainsi la condition de coupe est la Paramètres techno-économiques d'usinage (le coût, le temps d'usinage et la rugosité), ensuite Puissance et Efforts de coupe en tournage.

Chapitre II

Elaboration d'un Modèle d'Optimisation des Conditions de Coupe

II.1 Introduction

L'optimisation des conditions de coupe en fabrication sérielle de produits industriels par enlèvement de matière est une étape indispensable dans le cadre de l'automatisation complète de la chaîne cinématique de la production de produits manufacturés [16].

A ce jour, les méthodes et les stratégies d'optimisation proposées et utilisées dans l'industrie se basent en général sur une optimisation partielle.

Dans ce chapitre nous résolvons le problème d'optimisation des conditions de coupe en tournage par deux méthodes : l'algorithme génétique et la programmation passe simple en vue d'obtention des conditions de coupe optimums (la vitesse de coupe, l'avance et la profondeur de passes).

II.2 Formulation mathématique d'un problème d'optimisation

Un problème d'optimisation est exprimé comme une fonction « objectif » à une ou plusieurs variables, pour être maximisée ou minimisée sous un certain nombre de contraintes indiquées. Les fonctions de contraintes définissent le domaine acceptable des variables pour le processus d'optimisation. Les telles contraintes, pouvant être de types égalité ou inégalité, permettent la limitation des domaines sur les variables, dans la recherche de la (ou les) solution(s) optimale(s) [15].

II.3 Principe de formulation d'un modèle d'optimisation des conditions de coupe

Toute sortes de choses peuvent être optimisées, il suffit pour cela de savoir écrire la relation mathématique relie cette chose à toutes les variables à déterminer.

La formulation mathématique d'un modèle d'optimisation comporte toujours 3 étapes [17]:

- Choix des variables du modèle.
- Formulation de l'objectif.
- Formulation des contraintes.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Minimiser } f(x) \quad f \in R \\ \text{ou} \\ f(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)] \\ \text{sous les contraintes :} \\ h_j(x) \leq 0 \quad j = 1, \dots, m \\ x \in S \subset R^n \end{array} \right. \quad (\text{II-1})$$

Où le vecteur $x \in R^n$ a pour composantes (X_1, X_2, \dots, X_n) qui sont les inconnues du problème.

S : est l'ensemble des solutions de x dans R^n .

II.4 Formulation d'un modèle d'optimisation des conditions de coup en tournage.

II.4.1 Choix des variables du modèle

Les variables que l'on prend dans ce modèle sont : la vitesse de coupe V_c , la vitesse d'avance f et la profondeur de passe a .

a Formulation de l'objectif

Dans cette étude on prend comme objectif de :

- Minimiser le coût de production.
- minimiser la consommation d'énergie

II.4.2 Détermination du temps de coupe

Nous déterminons ici le temps de coupe dans les deux opérations principales de tournage (chariotage et dressage) [18].

a Temps de coupe en chariotage

$$t_c = \frac{(L+l) \cdot \pi \cdot D}{1000 \cdot F \cdot V_c} \quad (\text{II-3})$$

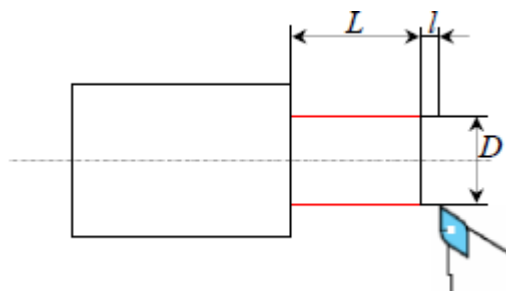


Figure. II.1 : Temps de coupe en chariotage [18].

L : Longueur de tournage.

l : Distance d'approche.

II.4.3 Temps de coupe en dressage

$$t_c = \frac{[(D-d)+1] \cdot \pi \cdot D}{1000 \cdot F \cdot V_c} \quad (II-4)$$

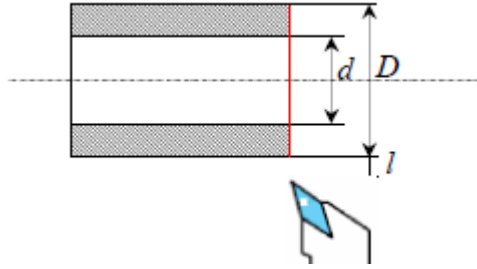


Figure. II.2 : Temps de coupe en dressage [18].

II.4.4 Détermination de la durée de vie de l'outil de coupe

Pour un type de machine, la loi d'usure d'un couple outil - matière usinée est donnée par la loi généralisée de Taylor (ou loi de Gilbert) [19].

Le modèle de Gilbert complète et le modèle de Taylor en introduisant l'influence de la vitesse d'avance et de profondeur de passe [20].

$$T = K \frac{1}{v_c^{a_3}} \frac{-1}{f^{a_3}} \frac{-a_1}{a^{a_3}} \frac{-a_2}{a^{a_3}} \quad (II-5)$$

a_1, a_2, a_3 : Constantes trouvées expérimentalement.

K : Constante dépendant du matériau usiné.

La formule (II-2) devient :

$$T_t = \frac{(L+l)\pi D}{1000 f v_c} + t_a + \frac{(L+l)\pi D}{1000 K \frac{1}{v_c^{a_3}} \frac{-1}{f^{a_3}} \frac{-a_1+1}{a^{a_3}} \frac{-a_2}{a^{a_3}}} t_{vb} \quad (II-6)$$

II.5 Critères

II.5.1 Critère du coût de production

L'optimisation d'usinage est rapportée sur la base de critère de coût minimum et des considérations technologiques.

Un exemple classique est de considérer la sélection des conditions de coupe optimales pour satisfaire le critère de coût minimum dans les opérations de passage tournant simples.

Par exemple, le coût total, C , représentée dans l'équation (II-7), pour les opérations de tournage de passe unique est obtenu à partir de l'addition du coût non-productive, le coût de coupe réelle, le coût de changement d'outil et le coût de l'outillage.

Dans cette équation, le coût matériel est négligé depuis cela est indépendant de la vitesse de coupe.

L'idée est de sélectionner des conditions de coupe pour les matériaux des pièces spécifiées et la géométrie des composants [22].

$$C = x \left(t_1 + \frac{\pi \cdot D_{avg} \cdot l}{f \cdot V_c} + t_3 \frac{\pi \cdot D_{avg} \cdot l}{A_t} V_c^{\left(\frac{1}{\alpha}-1\right)} f^{\left(\frac{1}{\beta}-1\right)} \right) + \frac{y_c \cdot D_{avg} \cdot l}{A_t} V_c^{\left(\frac{1}{\alpha}-1\right)} f^{\left(\frac{1}{\beta}-1\right)} \quad (II-7)$$

x : est le taux du coût de la machine [£/min]

t_1, t_2 et t_3 : sont le temps d'installation, le temps de coupe réelle et changement d'outil respectivement le temps [s]

D_{avg} : Est le diamètre moyen de la pièce

l : Est la longueur de coupe [mm]

f : Est de fédérer [mm / tr]

V_c : Est la vitesse de coupe [m / min]

$\frac{1}{\alpha}$: Est l'exposant de la vitesse de coupe

$\frac{1}{\beta}$: Est l'exposant d'alimentation dans l'équation outil de la vie de l'étendue Taylor

y_c : est le coût de l'outillage par arête de coupe

A : est une constante

II.5.2 Critère d'énergie consommée

a Énergie spécifique consommée

Le rendement de la machine-outil ne donne aucune information sur la manière dont la puissance de la machine est utilisée pour la coupe. Par exemple,

la machine-outil peut être chargée à une efficacité maximale, sans usinage, le fonctionnement et le couple de rotation de la broche principale sont les mêmes que dans l'opération d'usinage [22].

Afin d'apprécier la façon dont la consommation d'énergie absorbée à partir du réseau d'alimentation est utilisée pour la coupe, il est nécessaire de diviser cette puissance par la quantité de matière enlevée.

Compte tenu de la relation connue entre les puissances, l'énergie et le volume de matière enlevée, une expression de l'énergie consommée spécifique dans l'usinage est donnée par [22]:

$$E_{cs} = \frac{P_c}{60\eta Z} \quad (\text{II-10})$$

E_{cs} : Énergie spécifique consommée (kWh / cm³).

P_c : La puissance de coupe nécessaire à la broche principale (kW)

Z : Le débit d'enlèvement de matière (cm³ / min)

η : Le rendement de la machine-outil.

b Critère d'énergie minimale

Dans notre travail, le critère d'énergie minimale d'un processus de tournage à sec a été considéré. Ceci est le bon choix lorsque cela est possible, parce que l'utilisation de fluides à base d'huile de refroidissement / lubrifiant est l'un des éléments les plus insoutenables du processus d'usinage [23].

L'énergie totale E utilisée dans les opérations de tournage peut être évaluée à partir de l'énergie consommée par la machine pendant :

- le fonctionnement E1.
- les opérations de coupe E2.
- le changement d'outil E3.
- le changement d'une arrête tranchante E4.
- le chargement et le déchargement d'une pièce E5.

L'énergie dans l'opération de tournage à passe simple peut être calculée comme indiqué dans l'équation suivante [23]:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 \quad (\text{II-11})$$

E : L'énergie consommée totale (J)

E_1 : L'énergie consommée par une machine lors de l'installation, elle est évaluée à partir de la puissance consommée par la machine durant l'installation de l'outil et de la pièce, (J)

E_2 : Energie de coupe (énergie consommée pendant l'enlèvement de matière), (J)

E_3 : L'énergie consommée pendant le changement d'outil, (J)

E_4 : Est évaluée à partir du produit de l'énergie par arête multiplié par le nombre d'arrêtes de coupe nécessaires pour compléter une passe, (J)

L'énergie E_2 lors de l'usinage est évaluée à partir de l'énergie consommée pour l'alimentation des éléments de la machine et de l'énergie d'enlèvement de matière[23]:

$$E_2 = (P_0 + k\dot{v})t_2 \quad (\text{II-12})$$

P_0 : Puissance consommée par les éléments de la machine, (W)

k : Énergie spécifique exigée par les opérations de coupe, (W_s / mm^3)

\dot{v} : Taux d'enlèvement de matière

t_2 : Temps de coupe réelle

c Les modèles d'énergie consommée

Le modèle de consommation de puissance P (Wh) d'une machine-outil pendant le fonctionnement normal est donné par [24]:

$$E = P_1.(T_1 + T_2) + P_2.T_2 + P_3.T_3 \quad (\text{II-13})$$

P_1 : est la puissance constante consommée durant le fonctionnement de la machine, (W)

P_2 : est la puissance consommée durant la coupe par le moteur de la broche et d'asservissement, qui varie avec les conditions de coupe, (W)

P_3 : est la puissance consommée pour positionner le travail et d'accélérer / décélérer la broche à la vitesse spécifiée, (W)

T_1 : Cycle du temps hors coupe, (h)

T_2 : Cycle du temps de coupe, (h)

T_3 : est le temps utilisé nécessaire pour positionner le travail et d'accélérer la broche
(h)

Une nouvelle équation pour l'énergie consommée en une seule passe pour les opérations de tournage est représentée dans l'équation suivante [23]:

$$E = P_0 t_1 + (P_0 + k\dot{v})t_2 + P_0 t_3 \left(\frac{t_2}{T} \right) + y_E \left(\frac{t_2}{T} \right) \quad (\text{II-14})$$

E : L'énergie consommée totale (J)

P_0 : Puissance consommée par les éléments de la machine, (W)

t_1 : Temps de préparation de la machine, (s)

t_2 : Temps de coupe réelle, (s)

t_3 : Temps de changement d'outil, (s)

T : La durée de vie de l'outil, (s)

k : Énergie spécifique dans les opérations de coupe, (W_s / mm^3)

\dot{v} : Taux d'enlèvement de matière (mm^3/s)

y_E : Empreinte énergétique par arête de coupe, (J)

Pour les opérations de tournage à passe simples, l'effet de profondeur de passe peut être négligé, et une forme modifiée de l'équation de Taylor généralisée est utilisée [25]:

$$T = \frac{A}{V_c^{\frac{1}{\alpha}} f^{\frac{1}{\beta}}} \quad (\text{II-15})$$

A : Constante

V_c : La vitesse de coupe, (m / min)

$\frac{1}{\alpha}$: Exposant de la vitesse de coupe dans l'équation de la durée de vie de l'outil.

$\frac{1}{\beta}$: exposant de l'avance dans l'équation de la durée de vie de l'outil.

f : Avance, (mm / tr).

Le temps de coupe pour une passe simple est donné par :

$$t = \frac{\pi D_{avg} \cdot l}{f v_c} \quad (\text{II-16})$$

D_{avg} : Diamètre moyenne de la pièce, (mm)

l : Longueur de coupe, (mm)

En remplaçons dans l'équation (II-14) on trouve :

$$E = P_0 t_1 + P_0 \frac{\pi D_{avg} l}{f V_c} + k \frac{\pi}{4} (D_i^2 - D_f^2) \frac{f V_c}{\pi D_{avg}} \frac{\pi D_{avg} l}{f V_c} + P_0 t_3 \left(\frac{\frac{\pi D_{avg} l}{f V_c}}{A} \right)^{\frac{1}{V_c^\alpha f^\beta}} + y_E \left(\frac{\frac{\pi D_{avg} l}{f V_c}}{A} \right)^{\frac{1}{V_c^\alpha f^\beta}} \quad (II-17)$$

L'équation précédente est simplifié comme suit :

$$E = P_0 t_1 + \frac{P_0 \pi D_{avg} l}{f V_c} + \frac{k \pi l (D_i^2 - D_f^2)}{4} + \frac{P_0 t_3 \pi D_{avg} l V_c^{\left(\frac{1}{\alpha}-1\right)} f^{\left(\frac{1}{\beta}-1\right)}}{A} + \frac{y_E \pi D_{avg} l V_c^{\left(\frac{1}{\alpha}-1\right)} f^{\left(\frac{1}{\beta}-1\right)}}{A} \quad (II-18)$$

II.6 Formulation des contraintes

L'optimisation de la fonction objectif nécessite souvent des limitations pratiques des conditions de coupe (puissance de coupe, force de coupe, température, l'état de surface, gammes des vitesses et des avances, etc..).

Les limitations additionnelles sont nécessaires pour la stabilité du processus de coupe et le respect de la qualité de la pièce à usiner [23].

II.6.1 Limitation sur l'intervalle des vitesses de coupe

La vitesse de coupe doit être comprise entre une valeur minimale et une valeur maximale pouvant être assurées par la cinématique de la machine [17]:

$$V_{cmin} \leq V_c \leq V_{cmax} \quad (II-19)$$

II.6.2 Limitation sur l'intervalle des avances

L'avance par tour doit être aussi comprise entre une valeur minimale et une valeur maximale [17]:

$$f_{min} \leq f \leq f_{max} \quad (II-20)$$

II.6.3 Limitation sur l'intervalle de profondeur de passe

La profondeur de passe doit être aussi comprise entre une valeur minimale et une valeur maximale [17]:

$$a_{\min} \leq a \leq a_{\max} \tag{II-21}$$

II.6.4 Limitation sur la durée de vie de l'outil

$$K^{a_3} V_C^{-1} f^{-a_1} a^{-a_2} \leq T \tag{II-22}$$

II.6.5 Limitation sur la résistance pratique à la rupture de l'outil de coupe

Considérons la résistance pratique d'un métal constituant l'outil de coupe R_p . La condition de résistance pratique s'écrit par [17]:

$$\frac{M_f}{W_x} \leq R_p \tag{II-23}$$

M : Le moment fléchissant,

W_x : Le module de résistance de section du corps d'outil.

$$W_x = \frac{bh^2}{6} \tag{II-24}$$

b : Largeur du corps de l'outil,

h : Hauteur de corps de l'outil.

$$M_f = F_c \cdot l = K_s a f l' \tag{II-25}$$

l' : Longueur de la porte à faux.

On remplace $f M$ et $x W$ dans (II.23), on trouve :

$$\frac{6K_s a f l'}{bh^2} \leq R_p \tag{II-26}$$

II.6.6 Limitation sur la résistance à la déformation de l'outil de coupe

La condition de résistance à la déformation s'écrit [17]:

$$F_{\max} \leq [f] \tag{II-27}$$

F_{\max} : La flèche maximale.

$[f]$: La flèche admissible.

$EI_x y'' = -M_f$, Ou $y = f$ flèche en fonction de x et E étant le module de Young.

Cette équation donne après intégrations successives :

$$f = \frac{F_c l^3}{3EI_x} \quad (\text{II-28})$$

En tenant compte des résultats précédents où $I_x = \frac{bh^3}{12}$, (II.32) devient :

$$\frac{4K_s a f l^3}{Ebh^3} \leq [f] \quad (\text{II-29})$$

II.6.7 Limitation sur la puissance de coupe

La puissance nécessaire à la coupe doit être inférieure à une puissance limite, soit [23]:

$$\frac{F_v V_c}{60} + 2294 + 1.78N \leq P_{\max} \quad (\text{II-30})$$

P_{\max} : Le maximum autorisé de puissance pour l'opération.

N : vitesse de la broche

II.6.8 Limitation sur l'effort de coupe

L'effort de coupe doit être inférieur à une force de coupe limite, soit [23]:

$$F_v = 1717 f^{0.75} a_p \quad (\text{II-31})$$

$$F_f = 650 f^{0.35} a_p \quad (\text{II-32})$$

$$F_a = 350 f^{0.25} a_p \quad (\text{II-33})$$

$$\sqrt{F_v^2 + (F_f^2 + F_a^2)} \leq F_{\max} \quad (\text{II-34})$$

F_v : La force d'avance dans la direction d'avance

F_f : La force dans la profondeur de la direction de coupe

F_{\max} : Force maximale

II.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une formulation d'un modèle d'optimisation des conditions de coupe (Choix des variables du modèle, Formulation de l'objectif, Formulation des contraintes), basé sur deux critères : la minimisation du coût de coupe et la minimisation de l'énergie pendant le tournage.

Chapitre III

Optimisation des Conditions de Coupe en Tournage

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous utilisons l'algorithme génétique, pour résoudre les problèmes d'optimisation des conditions de coupe en se basant sur les deux critères du coût et d'énergie.

III.2 Exemple d'application

Nous proposons d'étudier une opération de tournage sur une pièce brute. Les dimensions et les paramètres d'usinage illustré dans le tableau ci-dessous :

Tableau III. 1 Les paramètres d'usinage [25].

Paramètre	Valeur	Paramètre	Valeur
P_0	3594 KW	D_i	100 mm
t_1	120 s	D_f	92 mm
π	3.14	t_3	174 s
D_{avg}	99 mm	$\frac{1}{\alpha}$	3.02
L	49 mm	$\frac{1}{\beta}$	1.15
K	4.3 Ws/mm^2	A	1.42×10^9
y_E	$1325 \times 10^3 j$	x	1.39 £/min
y_c	2.5		

Nous proposons comme exemple d'application l'usinage d'un arbre de longueur 49 mm et d'un diamètre initial de 100 mm jusqu'à un diamètre de 92 mm. Les propriétés de la matière EN8 acier (AISI 1040) (voir la figure III.1)

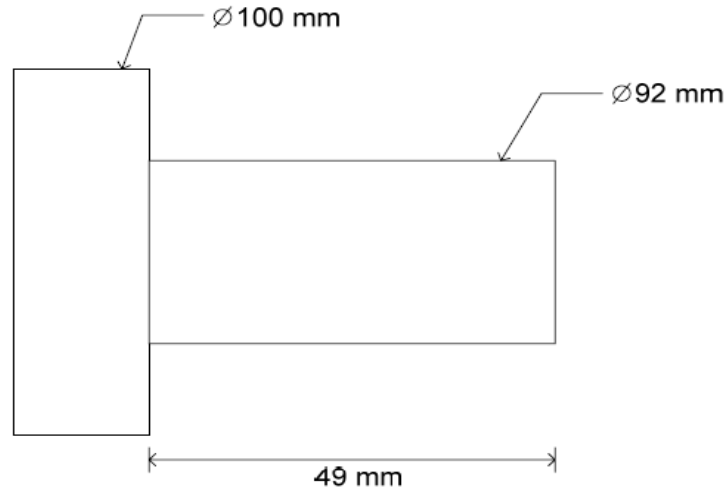


Figure. III.1 : Dimensions de la pièce à usiner

Les limites sur les variables à optimiser sont regroupées dans le tableau III.2

Tableau III. 2 : Les limites des paramètres de coupe

	Minimum	Maximum
$V_c = [m/min]$	355	555
$f = [mm/rev]$	0.1	0.5
$a_p = [mm]$	0.25	4.0

III.3 Critères d'optimisation

III.3.1 Critère d'énergie

Comme nous avons vu dans le chapitre précédent l'énergie de production s'exprime comme suit :

$$E = P_0 t_1 + \frac{P_0 \pi D_{avg} l}{f V_c} + \frac{k \pi l (D_i^2 - D_f^2)}{4} + \frac{P_0 t_3 \pi D_{avg} l V_c^{\left(\frac{1}{\alpha}-1\right)} f^{\left(\frac{1}{\beta}-1\right)}}{A} + \frac{y_E \pi D_{avg} l V_c^{\left(\frac{1}{\alpha}-1\right)} f^{\left(\frac{1}{\beta}-1\right)}}{A} \quad (III-1)$$

Avant de commencer le travail, nous remplaçons les différents paramètres avec les données de la table III.1:

$$E = 68.54 \times 10^4 + \frac{54.76 \times 10^6}{f V_c} + \frac{95.28 \times 10^8 \times V_c^{(2.02)} f^{(0.15)}}{15.072} + \frac{20.18 \times 10^6 \times 10^3 \times V_c^{(2.02)} f^{(0.15)}}{15.072} \quad (III-2)$$

Donc le problème d'optimisation des conditions de coupe (avec le critère d'énergie de production) devient sous cette forme:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Minimiser } E = 68.54 \times 10^4 + \frac{54.76 \times 10^6}{f V_c} + \frac{95.28 \times 10^8 \times V_c^{(2.02)} f^{(0.15)}}{15.072} + \frac{20.18 \times 10^6 \times 10^3 \times V_c^{(2.02)} f^{(0.15)}}{15.072} \\ \text{sous contraintes} \\ \frac{F_v \times V_c}{60} + 4668,52 \leq P_{\max} \\ \sqrt{(1717 \cdot f^{0.57} a_p)^2 + (650 \cdot f^{0.35} a_p)^2 + (350 \cdot f^{0.25} a_p)^2} \leq F_{\max} \\ 335 \leq V_c \leq 555 \\ 0.1 \leq f \leq 0.5 \end{array} \right. \quad \text{(III-3)}$$

a Les résultats

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau III.3

Tableau III. 3 : Les paramètres de coupe optimums (Critère de consommation d'énergie)

Passé	a (mm)	V_c (m / min)	f (mm / tr)	E (kW _s)	C (€)
1	4	335	0.4623	3.1451e+06	0.9258

b Calcul du taux d'enlèvement de matière

Le taux d'enlèvement de la matière est calculé comme suit :

$$MRR = \frac{V_c \cdot a_p \cdot f_n \times 1000}{60} \quad \text{(III-4)}$$

$$MRR = \frac{335 \times 2 \times 0.4623 \times 1000}{60} = 5162.35 \text{ (mm}^3 / \text{s)}$$

c L'énergie totale

Afin de calculer l'énergie totale, nous devons d'abord calculer la durée de vie de l'outil de coupe. La durée de vie de l'outil de coupe est calculée comme suit :

$$T = \frac{A}{V_c^{\frac{1}{\alpha}} f^{\frac{1}{\beta}}} \quad \text{(III-5)}$$

$$T = \frac{1.42 \times 10^9}{335^{3.02} 0.4623^{1.15}} = 81.70 \text{ (min)}$$

L'énergie totale est donnée par cette relation :

$$E = \left(P_0 \cdot 60 \cdot t_1 + (P_0 + k \dot{v}) 60 t_2 + P_0 \cdot 60 \cdot t_3 \left(\frac{60 t_2}{60 T} \right) + y \left(\frac{60 t_2}{60 T} \right) \right) \div 1000 \quad \text{(III-6)}$$

$$E = 788.86 \text{ kW}_s$$

d Volume de matière enlevée par une passe V_{sp}

Nous calculons la valeur du volume enlevée par une passe en utilisant cette relation :

$$V_{sp} = \pi \times L \times (r_i^2 - (r_i - a_i^2)) \quad \text{(III-7)}$$

$$V_{sp} = \pi \times 49 \times (50 - (50 - 2^2)) = 30171.85 \quad (\text{mm}^3)$$

e Energie totale par le volume de matière enlevée $\text{mm}^3 (W_s / \text{mm}^3)$

Pour calculer la valeur de l'énergie totale par $\text{mm}^3 (W_s / \text{mm}^3)$ on doit diviser la valeur de l'énergie totale sur le volume de matière enlevée.

$$\text{L'énergie totale} = \frac{E \times 1000}{\text{volume removed}} \quad \text{(III-8)}$$

$$\text{L'énergie totale} = 13.34 \quad (W_s / \text{mm}^3)$$

III.3.2 Critère du coût

Le coût de production est donné par [23] :

$$C = x \left(t_1 + \frac{\pi \cdot D_{avg} \cdot l}{f \cdot V_c} + t_3 \frac{\pi \cdot D_{avg} \cdot l}{A_t} V_c^{\left(\frac{1}{\alpha}-1\right)} f^{\left(\frac{1}{\beta}-1\right)} \right) + \frac{y_c \cdot D_{avg} \cdot l}{A_t} V_c^{\left(\frac{1}{\alpha}-1\right)} f^{\left(\frac{1}{\beta}-1\right)} \quad \text{(III-9)}$$

Donc le problème d'optimisation des conditions de coupe (avec le critère du coût de production) devient sous cette forme:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Minimiser } C = 2.12 \left(120 + \frac{15.23 \times 10^3}{f \cdot V_c} + 1.86 \times 10^{-3} V_c^{2.02} f^{0.15} \right) + 4.66 \times 10^{-5} V_c^{2.02} f^{0.15} \\ \text{sous contraintes} \\ \frac{F_v \times V_c}{60} + 4668.52 \leq P_{\max} \\ \sqrt{(1717 \cdot f^{0.57} a_p)^2 + (650 \cdot f^{0.35} a_p)^2 + (350 \cdot f^{0.25} a_p)^2} \leq F_{\max} \\ 335 \leq V_c \leq 555 \\ 0.1 \leq f \leq 0.5 \end{array} \right. \quad \text{(III-10)}$$

a Les résultats

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau III.4

Tableau III. 4 : Les paramètres de coupe optimums (Critère du Coût de production)

Passé	a (mm)	V_c (m / min)	f (mm / tr)	E (kW _s)	C (€)
1	4	335	0.5	3.1463e+06	0.9153

b Le taux d'enlèvement de matière

Le taux d'enlèvement de la matière est calculé comme suit :

$$MRR = \frac{V_c \cdot a_p \cdot f_n \times 1000}{60} = \frac{335 \times 2 \times 0.4623 \times 1000}{60} = 5162.35 \text{ (mm}^3 / \text{s)} \quad \text{(III-6)}$$

c Coût totale

Le coût de production est donné par :

$$C = x \left(t_1 + \frac{\pi \cdot D_{avg} \cdot l}{f \cdot V_c} + t_3 \frac{\pi \cdot D_{avg} \cdot l}{A_t} V_c^{\left(\frac{1}{\alpha}-1\right)} f^{\left(\frac{1}{\beta}-1\right)} \right) + \frac{y_c \cdot D_{avg} \cdot l}{A_t} V_c^{\left(\frac{1}{\alpha}-1\right)} f^{\left(\frac{1}{\beta}-1\right)} \quad \text{(III-7)}$$

$$C = 801.89 \text{ €}$$

d Calcul du Coût total par le volume de matière enlevée mm³. (W_s / mm³)

Pour calculer la valeur du coût totale par mm³ (W_s / mm³) on doit diviser la valeur du coût totale sur le volume de matière enlevée.

$$\text{Coût totale} = \frac{C \times 1000}{\text{volume removed}} \quad \text{(III-8)}$$

$$\text{Coût totale} = 13.65 \text{ (W}_s / \text{mm}^3\text{)}$$

III.4 Comparaison des paramètres de coupe optimum avec les paramètres recommandés par le fournisseur d'outils

Afin de valider nos résultats nous comparons les résultats trouvés avec les paramètres recommandés par le fournisseur d'outils.

Tableaux III. 5 : Comparaison des paramètres optimaux en fonction des différents critères.

	Paramètres recommandés par le fournisseur d'outils	Paramètres optimaux (critère du coût de production)	Paramètres optimaux (critère de consommation d'énergie)
Nombre de passes	4	1	1
Le volume total de matière enlevée (mm^3)	59112	59112	59112
L'énergie totale (KW_s)	2138.5	801.89	788.86
Energie totale par (KW_s / mm^3)	36.18	13.65	13.34
% différence à partir des paramètres recommandés par le fournisseur d'outils	—	62.27 %	63.12 %
Coût total par mm^3 ($€ / mm^3$)	7.36×10^{-5}	1.55×10^{-5}	1.57×10^{-5}
Coût total (€)	4.35	0.9153	0.9258

III.4.1 Représentation graphique des résultats

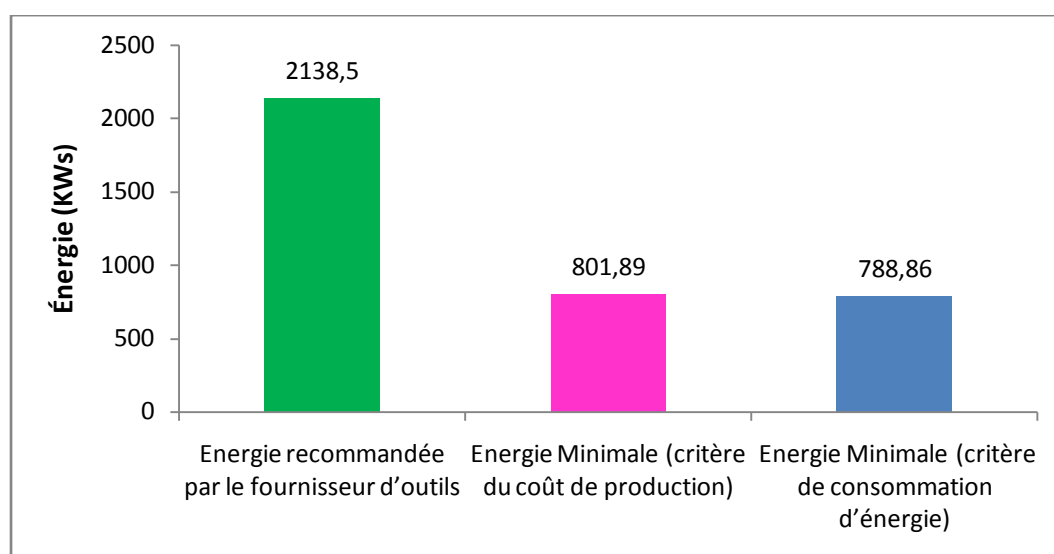


Figure. III.2 : Comparaison de l'énergie minimale en fonction des différents critères.

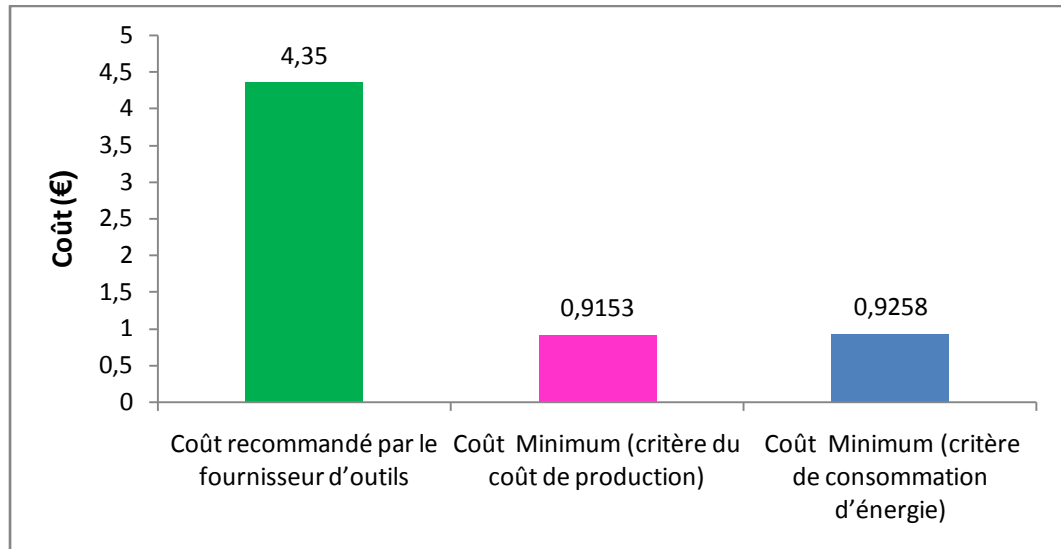


Figure. III.3 : Comparaison du coût minimum en fonction des différents critères.

III.4.2 Commentaires

- ✓ La comparaison est faite avec les paramètres recommandés par le fournisseur d'outils
- ✓ L'énergie consommée par la machine dépend de la vitesse de rotation de la broche.
- ✓ L'étude a montré que la sélection de conditions de coupe basée sur le critère de la minimisation de l'énergie consommée peut conduire à une réduction de 63.12 % de l'empreinte énergétique d'un produit usiné par rapport aux paramètres recommandés par le fournisseur d'outils.
- ✓ L'étude a montré que la sélection de conditions de coupe basée sur le critère du coût de production peut conduire à une réduction de 62.27 % de l'empreinte énergétique d'un produit usiné par rapport aux paramètres recommandés par le fournisseur d'outils.
- ✓ Cette réduction de la consommation d'énergie aidera les industries à faire un processus d'usinage plus durable et contribuer à réduire le coût de production.

III.5 Conclusion

Après cette application, on peut dire que les résultats trouvés sont venus dans le même sens de l'étude théorique du phénomène de coupe. Ainsi, on trouve que cette optimisation renforce l'idée expliquée dans le mémoire concernant la commande des paramètres de sortie en usinage.

Il n'y a pas une grandes différence dans les résultats obtenus en se basant sur l'énergie consommée comme critère et celles obtenus en se basant sur le coût de production comme critère.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Ce présent mémoire nous permet de constater que l'optimisation des régimes de coupe à un intérêt indispensable pour le développement de la production mécanique, d'après l'étude bibliographique que nous avons effectué, nous pouvons conclure qu'avec l'algorithme génétique on peut obtenir des bons résultats en termes de réduction de la consommation d'énergie pendant le tournage.

Nous avons fixé pour objectif de ce travail d'utiliser l'algorithme génétique sur MATLAB pour l'optimisation des conditions de coupe en tournage, Nous avons utilisé un programme qui nous permet d'optimiser les conditions d'usinage, avec les critères de la minimisation de la consommation d'énergie et la minimisation du coût de production.

Étant donné que les opérations hors-coupe consomment la plus part d'énergie dans l'usinage, en gardant les machines sous tension, alors il faut réduire les pertes d'énergie si possible. Ainsi la planification des processus peut jouer un rôle clé dans la réduction de la demande d'énergie pour un atelier d'usinage.

Notre étude a montré que, en général, les machines manuelles consommé moins d'énergie par rapport aux machines CNC lors de l'enlèvement de la même quantité de matière à des vitesses de broche identiques. Les machines à commande numérique ont plus de modules et de la fonctionnalité par rapport aux machines manuelles.

Pour réduire la consommation d'énergie d'un atelier d'usinage, il peut être essentiel d'utiliser des machines manuelles quand autant que possible où les exigences de qualité et des objectifs de productivité peuvent être satisfaites.

L'optimisation des paramètres de coupe basée sur le critère de la minimisation de la consommation d'énergie peut avoir un impact significatif sur la réduction de l'empreinte énergétique d'un produit usiné.

Bibliographie

- [1]. **M. Benglia**, Sélection Optimale des Conditions Coupe d'Opération de Tournage à Passe Multiple, Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2014
- [2]. **Passeron**, Tournage, Techniques de L'Ingénieur, BM7086, 1997
- [3]. **J.P. Cordebois, Coll**, Fabrication Par Usinage, DUNOD, Paris 2003.
- [4]. **F. Amier**, Etude Comportementale de l'Outil – Pièce en Tournage, Ecole Nationale Polytechnique d'Oran,
- [5]. **A. Toumine**, Cours de Fabrication, Usinage par Enlèvement de Copeaux, 2007
- [6]. **H. Hadjsad**, Choix Optimal d'une Technique D'optimisation des Conditions de Coupe en Tournage, Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2014
- [7]. «Cours de Fabrication», Génie Mécanique, 2005
- [8]. **Rocdacier**, Cours sur le Tournage - Usinage Cours Technologie, 2011
- [9]. **S. Benlahmidi, H. Aouici**, Tournage, TP Production/ 2ème année GM&P, Ecole Nationale Supérieure de Technologie
- [10]. **M. Madani, R. Ghouini**, Amélioration des Paramètres Technologiques de Coupe en Tournage, Mémoire de Master Université, kasdi Merbah de Ouargla, 2011.
- [11]. Détermination Des Paramètres De Coupe, Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail-maroc-,
- [12]. **M. Rahou, F. Sebaa**, Automatisation des Instruction d'Usinage Cas Paramètres de Coupe, Mémoire de Master Université, Abou Baker Belkaid, Tlemcen, 2007
- [13]. **J. Vergnas**, Usinage, Technologie et Pratique, Génie Mécanique Dunod, Isbn 2-04-011186-7, Bordas, Paris 1982
- [14]. **A. Bali**, Méthodologie de choix des paramètres d'usinage en coupe des métaux, Mémoire de Magistère, Université ABOU-Bakr Belkaïd Tlemcen,2008
- [15]. **A. Debbache, M. Benglia**, Optimisation Multi-Passe des Régimes de Coupe En Chariotage, Mémoire de Master Université kasdi Merbah de Ouargla, 2011.
- [16]. **B. Merdjaoui**, Optimisation Multi-objectif par Algorithmes Génétiques et Approche Pareto des Paramètres D'usinage sous Contraintes des Limitations de Production, Mémoire de Magistère, Université de Boumerdes, 2006
- [17]. **A. Belloufi**, Optimisation de Processus D'usinage a l'Aide de la Programmation Non Linéaire (P.N.L), Mémoire de Magistère, Université Mohammed Khider Biskra, 2008

-
- [18]. **P. Padella, A. Thély**, Guide des Fabrication Mécanique, Deuxième Edition Ravine et Augmentée, Dunod INSBN ,2-24-01587-0, Bordas ,paris 1981.
- [19]. **Y. Shoefs , S. Fournie, j.j. Leon**, Production Mécanique, Espace Technologique, 1994
- [20]. **H. zuperl , Francicus**, Optimization of Cutting Conditions During Cutting Byusing Neural Networks Robotics and Computer Integrated Manufacturing 19 ,((189-199).2003)
- [21]. **A.F. Djilali**, Etude Comportement de L’outil-Pièce En Tournage, Mémoire de Magistère, Ecole Nationale Polytechnique D’oran, 2014
- [22]. **F. Draganescu, M. Gheorghe, C.V. Doicin**, Models Of Machine Tool Efficiency And Specific Consumed Energy, University of Bucharest, Romania, 2002
- [23]. **M.F. Rajemi, P.T. Mativenga, A. Aramcharoen**, Sustainable Machining, Selection Of Optimum Turning Conditions Based On Minimum Energy Considerations, The University of Manchester,2010
- [24]. **S. Kalpakjian, S.R Schmid**, , Manufacturing Processes for Engineering Material, Prentice Hall, New Jersey, 2003
- [25]. **M. Rajemi** Energy Analysis in Turning and Milling, Doctorat, The University of Manchester, 2010