

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Mécanique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences appliquées

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Fabrication Mécanique et Productique

Présenté par : RACHEDI Saad Eddine

BACHIRI Khir Eddine

Thème

**ETUDE DES CRITÈRES DE LA RUGOSITÉ EN
TOURNAGE À SEC DE L'ACIER AISI 1045
PAR LOGIQUE FLOUE**

Soutenu le : 11 /06/2018

Devant le jury :

Mr	KHALFI Mehdi	MA (A)	Président	UKM Ouargla
Dr	BENTALEB Fayçal	MC (B)	Encadreur	UKM Ouargla
Mme	REZGUI Imane	MA (A)	Examineur	UKM Ouargla

Année universitaire : 2017/2018

Remerciement

Nous remercions tout d'abord, à ALLAH le tout puissant de nous avoir donné le courage, la patience et la force pour réaliser ce modeste travail. Nous tiens, avant tout, à exprimer notre profonde gratitude à notre

Encadreur Dr. BENTALEB Fayçal, pour la confiance qu'il prodigué pour la direction et tout l'aide qu'il apporté durant toute la durée de ce travail de recherche.

Surtout les maîtres Mr/GHERFI A. Hafid et Dr/BELLOUFI A. El Rahim pour leur conseils et leur générosité

Tous des maîtres de l'université de OUARGLA et spécial les maîtres de département de mécanique.

Nous adresse aussi nos remerciements à tous nos amis et collègues

Surtout ceux qui nous apportés un soutien moral, patience, une amitié inoubliable et précieuse et son dévouement qui fut particulièrement indispensable.

Enfin, nous tiens à remercier tous nos familles pour leurs encouragements et leur soutien inconditionnel.

Merci à tous

Dédicaces

À nos chères mères ;

À mon père Abd El Selam ;

À la mémoire de mon père ;

À tous nos proches de la famille RACHEDI et BACHIRI ;

et plus particulièrement, nos sœurs et nos frères tout à son nom et sans oublier les familles Rachache, Douadi ;

M.MEDAB ;

À tous nos chers amis et mes collègues de l'Université de Ouargla RAACHE Nacer Eddine ; ZEGUIT Mostafa ; SAHÉLI Houssin ; CHEBBI Alla Eddine ; HADJAJDJI El Mondher ; BENFRAIHA El eid ; SAGGAI Abd el moula ; BOUNAOUACHA A. El Rezak

Et à tous ce qui ont enseigné moi au long de ma carrière scolaire et universitaire

Sommaire

Remerciement.....	I
Dédicace.....	II
Sommaire	III
Liste des Figures et Tableaux.....	V
Nomonclature.....	IX
Introduction Générale.....	Page 2

Chapitre I

Généralités sur le tournage

I.1 Introduction.....	Page 4
I.2 Les procédés de l'usinage	Page 4
I.2.1 Le tournage.....	Page 4
I.2.2 Les machines de tournage.....	Page 5
I.2.3 Différents types de tours.....	Page 6
I.2.4 Opérations de tournage.....	Page 7
I.2.5 Les paramètres de coupes.....	Page11
I.3 Généralités sur les états de surface.....	Page13
I.4 Conclusion.....	Page15

Chapitre II

La logique floue

II.1 Introduction.....	Page17
II.1.1. Domaines d'application.....	Page17
II.2 Définitions de la logique floue.....	Page17
II.2.1 Principes de la logique floue.....	Page18
II.2.2 Logique floue et la logique classique.....	Page18
II.3 Les concepts de bases	Page19
II.3.1. Fonction d'appartenance	Page19
II.3.2. Les variables linguistiques.....	Page20
II.3.3 Opérateurs en logique floue.....	Page21
II.4 Commande par logique floue.....	Page22
II.4.1 Description et structure d'une commande par la logique floue.....	Page22
II.4.2 Interface de fuzzification.....	Page23
II.4.3 Base de connaissances.....	Page23
II.4.4 Inférence	Page24
II.4.5 Défuzzification	Page25
II.5 Types de régulateurs flous.....	Page27
II.5.1 Régulateur flou de type Mamdani.....	Page27
II.5.2 Régulateur flou de type Sugeno.....	Page27
II.6 Conclusion.....	Page28

Sommaire

Chapitre III

Résultats et Discussion

III.1 Introduction.....	Page30
III.2 Système flou.....	Page31
III.3 Modélisation floue.....	Page31
III.3.1 Les variables flous.....	Page31
III.3.2 Définition des variable linguistiques.....	Page32
III.3.3 Les fonctions d'appartenance.....	Page35
III.4 Les règles floues.....	Page41
III.4.1 Résultats et discussion.....	Page43
III.5 Etude de la précision et de l'erreur du système flou.....	Page43
III.6 Etude Les critères de la rugosité.....	Page43
III.6.1 Comparaison entre les résultats obtenus avec des fonctions d'appartenance trapézoïdales, triangulaires.....	Page43
III.6.2 Représentation schématique des résultats.....	Page48
III.7 Validation des résultats.....	Page51
III.8 Conclusion.....	Page52
Conclusion Générale.....	Page54
Références Bibliographiques.....	Page56

Chapitre I Généralité sur l'usinage

<i>Figure I.1</i>	Principe de tournage	<i>Page 5</i>
<i>Figure I.2</i>	L'outil de coupe en tournage	<i>Page 5</i>
<i>Figure I.3</i>	Composantes d'un tour	<i>Page 6</i>
<i>Figure I.4</i>	Le chariotage cylindrique et conique	<i>Page 9</i>
<i>Figure I.5</i>	Dressage extérieur et intérieur	<i>Page 9</i>
<i>Figure I.6</i>	Le perçage	<i>Page 9</i>
<i>Figure I.7</i>	L'alésage cylindrique et conique	<i>Page 10</i>
<i>Figure I.8</i>	Le rainurage intérieur et extérieur	<i>Page 10</i>
<i>Figure I.9</i>	Le chan freinage intérieur et extérieur	<i>Page 10</i>
<i>Figure I.10</i>	Le tronçonnage	<i>Page 11</i>
<i>Figure I.11</i>	Le filetage intérieur et extérieur	<i>Page 11</i>
<i>Figure I.12</i>	Représentation et définition des paramètres : vitesse de coupe V_c , avance f et profondeur de passe a_p	<i>Page 12</i>
<i>Figure I.13</i>	L'écart moyen arithmétique du profil (R_a)	<i>Page 14</i>
<i>Figure I.14</i>	Hauteur de profil maximum (R_z)	<i>Page 14</i>
<i>Figure I.15</i>	Hauteur de profil totale (R_t)	<i>Page 15</i>

Chapitre II La logique floue

<i>Figure II.1</i>	Classification des températures d'une pièce en deux ensembles	<i>Page 19</i>
<i>Figure II.2</i>	Intersection des ensembles flous A et B	<i>Page 21</i>
<i>Figure II.3</i>	Union des ensemble flous A et B	<i>Page 22</i>
<i>Figure II.4</i>	Complément de l'ensemble flou A	<i>Page 22</i>
<i>Figure II.5</i>	Représente, à titre d'illustration, la structure d'un régulateur flou à une entrée x et une sortie y	<i>Page 23</i>
<i>Figure II.6</i>	Méthode d'inférence somme-prod pour deux variables d'entrée et deux règles	<i>Page 25</i>

Chapitre III

Résultats et Discussion

<i>Figure III.1</i>	Système flou	<i>Page 31</i>
<i>Figure III.2</i>	Variables linguistiques pour la vitesse de coupe	<i>Page 32</i>
<i>Figure III.3</i>	Variables linguistiques pour l'avance par tour	<i>Page 32</i>
<i>Figure III.4</i>	Variables linguistiques pour la profondeur de passe	<i>Page 33</i>
<i>Figure III.5</i>	Les variables linguistiques pour la rugosité arithmétique	<i>Page 33</i>
<i>Figure III.6</i>	Les variables linguistiques pour la rugosité hauteur de profil total	<i>Page 34</i>
<i>Figure III.7</i>	Les variables linguistiques pour la rugosité hauteur de profil maximum	<i>Page 34</i>
<i>Figure III.8</i>	Fonctions d'appartenance (triangulaires) pour la vitesse de coupe	<i>Page 35</i>
<i>Figure III.9</i>	Fonctions d'appartenances (triangulaires) pour l'avance par tour	<i>Page 36</i>
<i>Figure III.10</i>	Fonctions d'appartenances (triangulaires) pour la profondeur de passe	<i>Page 36</i>
<i>Figure III.11</i>	Fonctions d'appartenances (triangulaires) pour la rugosité arithmétique	<i>Page 37</i>
<i>Figure III.12</i>	Fonctions d'appartenances (triangulaires) pour la rugosité hauteur de profil total	<i>Page 37</i>
<i>Figure III.13</i>	Fonctions d'appartenances (triangulaires) pour la rugosité hauteur de profil maximum	<i>Page 38</i>
<i>Figure III.14</i>	Fonctions d'appartenances (trapézoïdales) pour la vitesse de coupe	<i>Page 38</i>
<i>Figure III.15</i>	Fonctions d'appartenances (trapézoïdales) pour l'avance par tour	<i>Page 39</i>
<i>Figure III.16</i>	Fonctions d'appartenances (trapézoïdales) pour la profondeur de passe	<i>Page 39</i>
<i>Figure III.17</i>	Fonctions d'appartenances (trapézoïdales) pour la rugosité arithmétique	<i>Page 40</i>
<i>Figure III.18</i>	Fonctions d'appartenances (trapézoïdales) pour la rugosité hauteur de profil total	<i>Page 40</i>
<i>Figure III.19</i>	Fonctions d'appartenances (trapézoïdales) pour de la rugosité hauteur de profil maximum	<i>Page 41</i>
<i>Figure III.20</i>	Variation de la rugosité arithmétique (expérimentale et trapézoïdale, triangulaire) en fonction du nombre d'essais	<i>Page 47</i>
<i>Figure III.21</i>	Variation de la rugosité hauteur de profil total (expérimentale et trapézoïdale, triangulaire) en fonction du nombre d'essais	<i>Page 47</i>
<i>Figure III.22</i>	Variation de la rugosité hauteur de profil maximum (expérimentale et trapézoïdale, triangulaire) en fonction du nombre d'essais	<i>Page 48</i>
<i>Figure III.23</i>	Variation de la rugosité arithmétique (Ra) prévue par la logique floue en fonction des paramètres de coupe	<i>Page 49</i>

<i>Figure III.24</i>	Variation de la rugosité hauteur de profil total (Rt) prévue par la logique floue en fonction des paramètres de coupe	<i>Page 50</i>
<i>Figure III.25</i>	Variation de la rugosité hauteur de profil maximum (Rz) prévue par la logique floue en fonction des paramètres de coupe	<i>Page 50</i>
<i>Figure III.26</i>	Variation des critères de la rugosité Ra, Rt, Rz (expérimentale et simulation) en fonction du nombre d'essais	<i>Page 51</i>

Chapitre I
Généralité sur l'usinage

<i>Tableau I.1</i>	Principales opérations de tournage extérieur	<i>Page 8</i>
<i>Tableau I.2</i>	Principales opérations de tournage intérieur	<i>Page 8</i>

Chapitre II
la logique floue

<i>Tableau II.1</i>	Les formes les plus utilisées de la fonction	<i>Page 20</i>
<i>Tableau II.2</i>	Les deux méthodes les plus utilisées de Défuzzification	<i>Page 26</i>

Chapitre III
Résultats et Discussion

<i>Tableau III.1</i>	Résultats de la rugosité (Ra, Rt et Rz) en fonction des paramètres du régime de coupe (Le tableau orthogonal standard de Taguchi L27 ; N=3 ³)	<i>Page 30</i>
<i>Tableau III.2</i>	Valeurs minimales et maximales des variables d'entrées et de sortie	<i>Page 32</i>
<i>Tableau III.3</i>	Les règles floues	<i>Page 42</i>
<i>Tableau III.4</i>	les résultats de la rugosité arithmétique (Ra) obtenus par notre système flou	<i>Page 44</i>
<i>Tableau III.5</i>	les résultats de la rugosité hauteur de profil total (Rt) obtenus par notre système flou	<i>Page 45</i>
<i>Tableau III.6</i>	les résultats de la rugosité hauteur de profil maximum (Rz) obtenus par notre système flou	<i>Page 46</i>

Symbole	Unité	Désignation
V_c	m / min	vitesse de coupe
f	mm / tr	Avance par tour
ap	mm	Profondeur de passe
N	tr / min	vitesse de rotation
d	mm	Diamètre de la pièce exprimée
V_f	mm / min	vitesse d'avance
Ra	µm	la rugosité arithmétique
Rt	µm	la rugosité hauteur de profil total
Rz	µm	la rugosité hauteur de profil maximum
tri	/	triangulaires
tra	/	trapézoïdales
ei	%	Erreur
A	%	Précision
σ	%	L'écart type
TF	/	Très faible
F	/	Faible
TP	/	Très Petite
P	/	Petite
M	/	Moyenne
M+	/	Moyenne Plus
ME	/	Moyenne Elevé
G	/	Grande
TG	/	Très Grande
TTG	/	Très Très Grande
TTG+	/	Très Très Grande Plus
TTG++	/	Très Très Grande deux plus

Nomenclature

TTG+++	/	Très Très Grande trois plus
---------------	---	-----------------------------



Introduction Générale

Introduction Générale

Historiquement, la recherche sur l'usinage s'est concentrée sur deux aspects : le premier aspect concerne le développement technologique qui permet d'améliorer la productivité ainsi que la qualité des pièces finies, le deuxième aspect est la modélisation qui permet la prédiction des efforts de coupe, des champs de température et des propriétés des surfaces finies. Cependant, le processus de fabrication, en particulier l'usinage, joue un rôle important sur la qualité et l'intégrité des surfaces réalisées [1].

Pour prédire l'influence d'une variation des conditions d'usinage sur les surfaces produites pendant l'opération d'usinage on fait appel à des méthodes numériques on utilise des simulations numériques, est cela pour une réduction considérable des délais ainsi que les coûts [2].

La logique floue a contribué dans le développement de plusieurs domaines. En fabrication industrielle, la logique floue est utilisée pour résoudre les problèmes complexes.

L'objectif de ce travail est de proposer une méthode efficace, économique et facile pour le contrôle de la rugosité des surfaces usinées lors des opérations de tournage de l'acier AISI 1045 en se basant sur les paramètres de coupe (vitesse de coupe, profondeur de passe, et avance par tour).

Le présent travail se décompose de la façon suivante :

Dans le premier chapitre nous présentons une étude bibliographique concernant les procédés de tournage, les conditions de coupe ainsi qu'un aperçu sur la rugosité de la surface et les principaux critères de la rugosité.

Le deuxième chapitre présente quelques informations sur l'approche utilisée dans notre travail (la logique floue), les domaines d'application ainsi que leur utilisation dans l'outil Toolboxes MATLAB.

Dans le dernier chapitre, nous allons présenter et examiner les résultats obtenus par la logique floue.

À la fin, nous terminons ce travail par une conclusion.

Chapitre I



Généralité sur le tournage

I.1 Introduction

Le challenge actuel des industriels est de plus en plus basé sur le gain du temps et la diminution des coûts de fabrication tout en respectant l'environnement. Parmi ces industries, L'usinage occupe une place très importante dans la famille de techniques de fabrication de pièces mécaniques. Le principe de l'usinage est d'enlever de la matière de manière à donner à la pièce brute la forme voulue, à l'aide d'une machine-outil. Par cette technique, on obtient des pièces d'une grande précision [3].

L'usinage est un procédé de génération de surfaces. Il consiste à créer une nouvelle surface par enlèvement de matière (formation des copeaux) en utilisant un outil coupant. Les caractéristiques de cette surface dépendent du couple outil-matière, c'est-à-dire des paramètres mis en jeu pendant la coupe (vitesse de coupe, vitesse d'avance, profondeur de passe...). En usinage, il existe plusieurs configurations utilisables selon le procédé de coupe (le fraisage, le rabotage, le tournage.....). Durant notre étude, nous nous intéresserons plus précisément à la technique d'enlèvement de matière (tournage) [4].

I.2 Les procédés de l'usinage

Les procédés d'usinage sont extrêmement variés et leur distinction se fait suivant trois critères essentiels [5] :

- 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 communs 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 détail, donc aux exigences techniques du bureau d'études.

I.2.1 Le tournage

Le tournage est un procédé d'usinage par enlèvement de matière qui consiste à l'obtention de pièces de forme cylindrique ou/et conique à l'aide d'outils coupants sur des machines appelées tours. La pièce à usiner est fixée dans une pince dans un mandrin ou entre pointes. Il est également possible de percer sur un tour.

En tournage, le mouvement de coupe est obtenu par rotation de la pièce serrée entre les mors d'un mandrin ou dans une pince spécifique, tandis que le mouvement d'avance est obtenu par le déplacement de l'outil coupant. La combinaison de ces deux mouvements permet l'enlèvement de matière sous forme de copeaux [6].

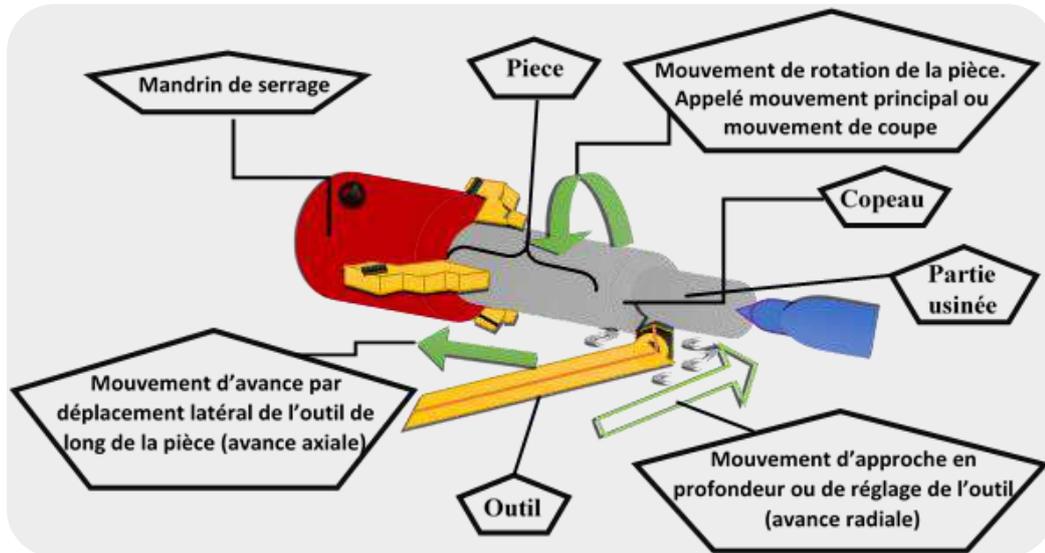


Figure I.1: Principe de tournage [7].



Figure I.2: L'outil de coupe en tournage [8].

I.2.2 Les machines de tournage

Le tour permet de réaliser des surfaces de révolution et hélicoïdales (filetage) cylindres, cônes et plans (génératrice perpendiculaire à l'axe de révolution) ; l'utilisation principale de ces machines est l'usinage des arbres.

La pièce, généralement tenue par le mandrin, a un mouvement de rotation (mouvement de coupe) transmis par la broche ; l'outil peut se déplacer en translation suivant deux directions.

Ces deux directions, perpendiculaires entre elles, appartiennent à un plan auquel l'axe de la broche est parallèle. le premier mouvement de translation est parallèle à l'axe de la broche. Le deuxième mouvement de translation est perpendiculaire à l'axe de la broche [9].

Il existe plusieurs types de tours, ils se distinguent les uns des autres par leurs formes, dimensions, précision d'usinage, puissance et capacité de productions. Néanmoins, ils présentent sensiblement la même disposition générale d'agencement des organes mécaniques

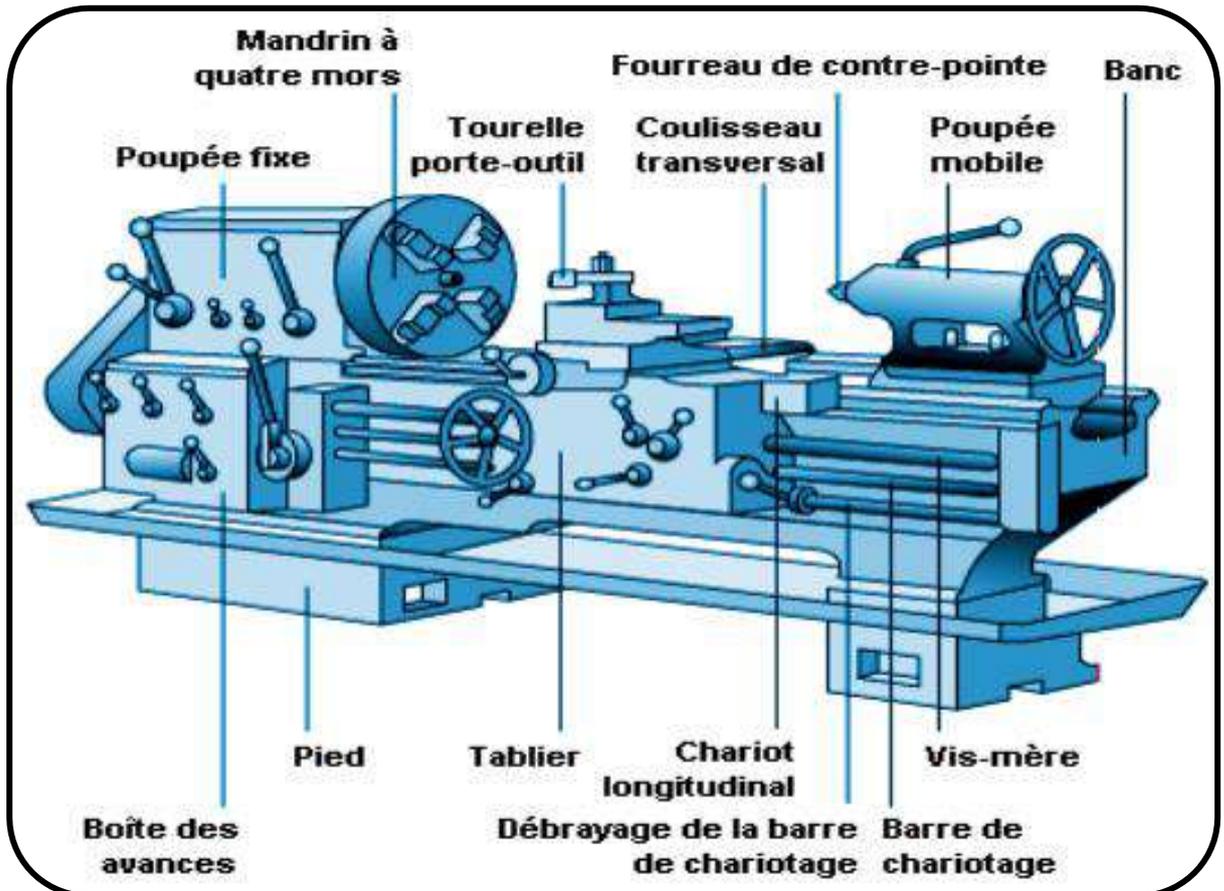


Figure I.3: Composantes d'un tour [1].

I.2.3 Différents types de tours

Afin de répondre à tous les besoins de l'industrie (complexité des pièces, temps d'usinage, capacités), les tours ont évolué. Certains tours sont si complexes qu'ils peuvent être une alternative aux centres d'usinage. Voici les principaux types de tours :

- **Tour conventionnel** : Ce sont les tours de base. Les opérations sont réalisées par un opérateur qui doit régler les différents paramètres et lancer les opérations.

- **Tour automatique:** Le tour automatique permet d'usiner des pièces suivant un réglage, sans aucune intervention de la part de l'opérateur. Lorsqu'il est multibroche, le tour automatique peut réaliser plusieurs pièces en même temps.
- **Tour à commande numérique:** Le tour CNC est équipé d'une commande numérique qui pilote la machine en suivant un programme réalisé manuellement ou automatiquement.

La structure d'un tour CNC est plus complexe et dépend de la configuration de la machine, se trouve l'intérieur d'un tour CNC Bi-broche. Les pièces à usiner sont placées dans les mandrins des broches principales et secondaires.

La commande numérique gère la rotation des 2 broches, le choix des outils coupants (en commandant la rotation des tourelles supérieures et inférieures), les mouvements des outils coupants (en commandant les déplacements des tourelles) [2].

Les tours CNC sont donc caractérisés par (les éléments suivants) :

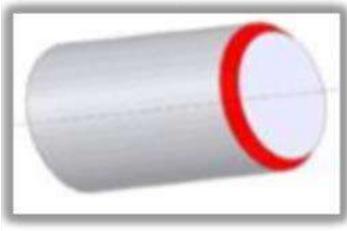
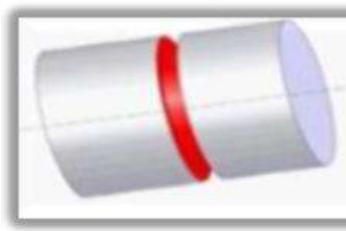
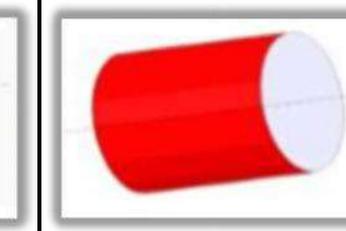
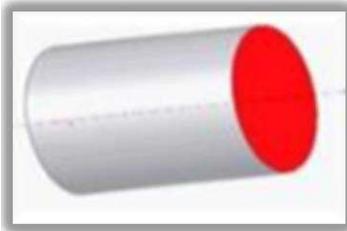
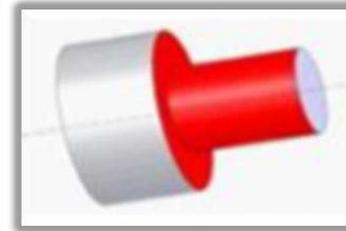
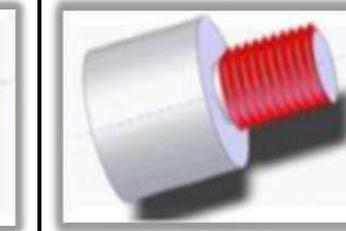
- ❖ Nombre de tourelles ;
- ❖ Tourelles motorisées ou non ;
- ❖ Nombre d'outils sur la tourelle ;
- ❖ Type de la commande numérique.

I.2.4 Opérations de tournage

- ❖ **Le tournage extérieur :** Qui comme son nom l'indique, définit l'enlèvement de copeaux sur l'extérieur de la pièce [10].

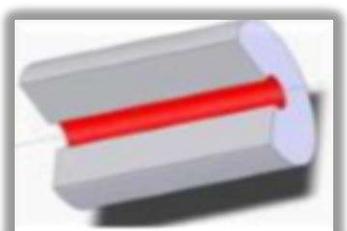
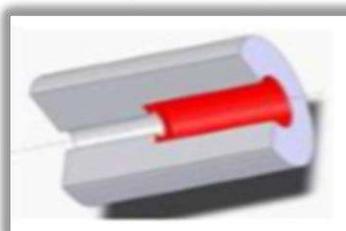
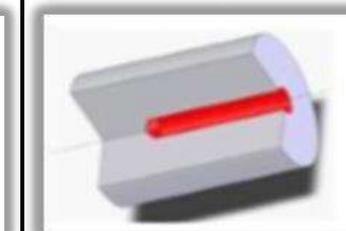
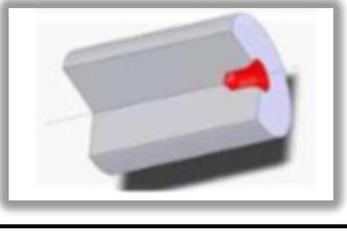
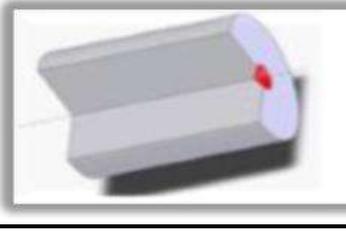
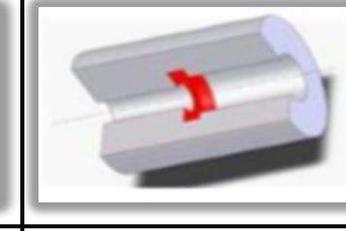
Parmi les opérations de tournage extérieur, nous retrouvons entre-autres le dressage, le chariotage, le chan freinage, le rainurage et le filetage.

Tableau I -1:Principales opérationsde tournage extérieur [10].

		
Chanfreinage	Rainurage Extérieur	Chariotage
		
Dressage	Chariotage et Dressage	Filetage

- ❖ **Le tournage intérieur:** Qui consiste à usiner une pièce de l'intérieur. Ce type d'opération comprend le pointage, le centrage, l'alésage, le rainurage,présage, dressage [10].

Tableau I -2: Principales opérations de tournage intérieur [10].

		
Alésage	Alésage et Dressage	Pérsage
		
Centrage	Pointage	Rainurage

- Le chariotage :**Est l'opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique extérieure [11].

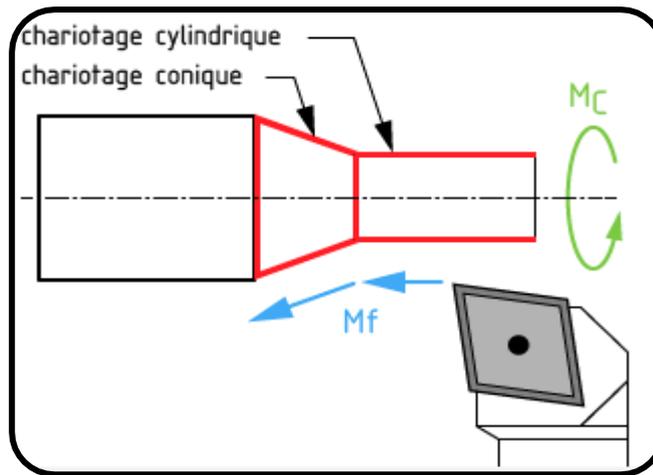


Figure I.4: Le chariotage cylindrique et conique [11].

- b) Le dressage* : Est l'opération qui consiste à usiner une surface plane (extérieure ou intérieure) perpendiculaire à l'axe de la broche [11].

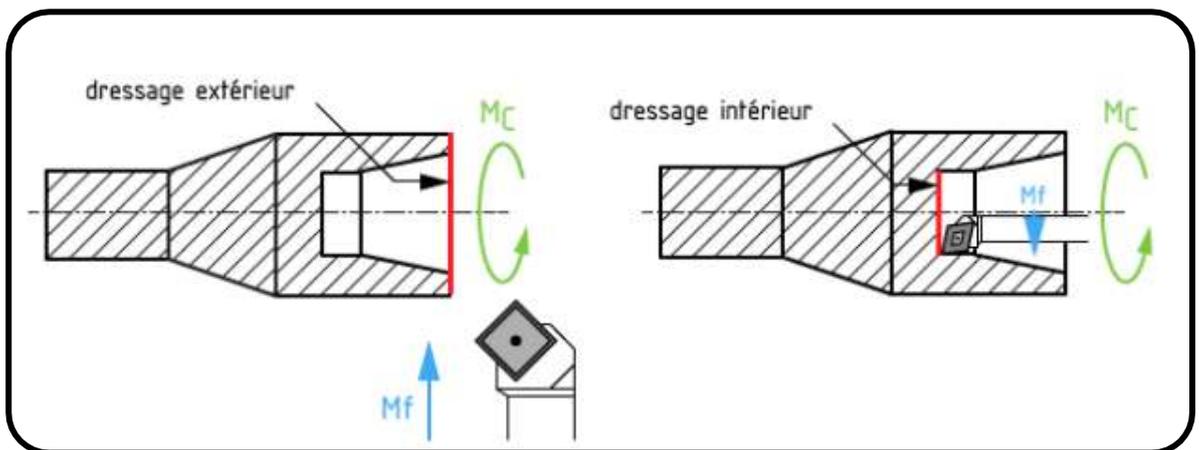


Figure I.5: Dressage extérieur et intérieur [11].

- c) Le perçage* : Est l'opération qui consiste à usiner un trou dans la pièce à l'aide d'une foret. Souvent, l'axe du trou est confondu avec celui de la pièce [11].

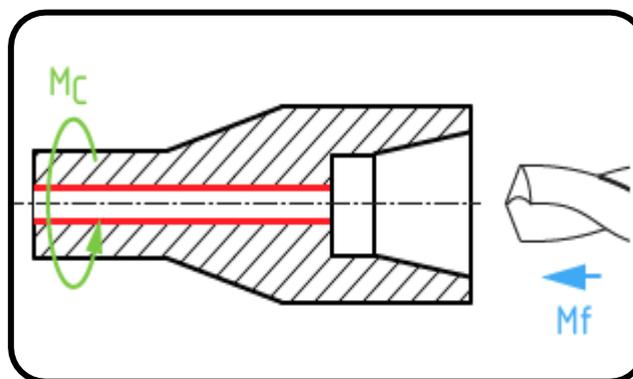


Figure I.6: Le perçage [11].

- d) **L'alésage** : Est l'opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique de qualité à l'intérieur d'une pièce [11].

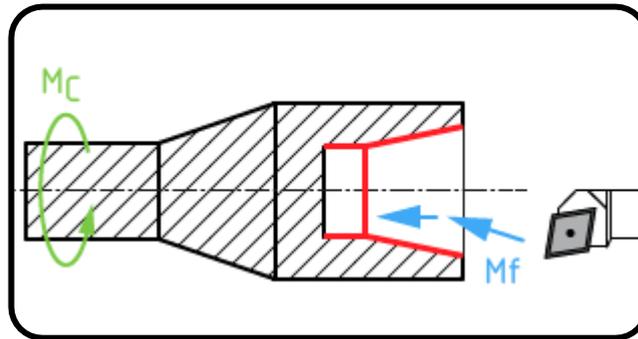


Figure I.7: L'alésage cylindrique et conique [11].

- e) **Le rainurage** : Est l'opération qui consiste à usiner une rainure intérieure ou extérieure. Celle-ci peut servir par exemple pour le logement d'un circlips ou d'un joint torique[11].

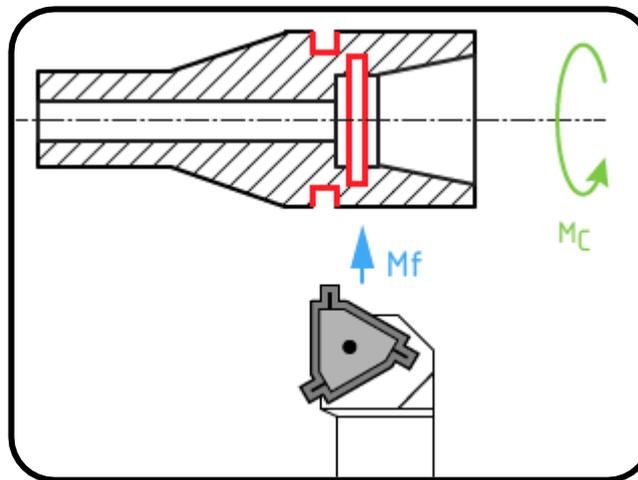


Figure I.8: Le rainurage intérieur et extérieur [11].

- f) **Le chanfreinage** : Est l'opération qui consiste à usiner un cône de petite dimension, de façon à supprimer un angle vif [11].

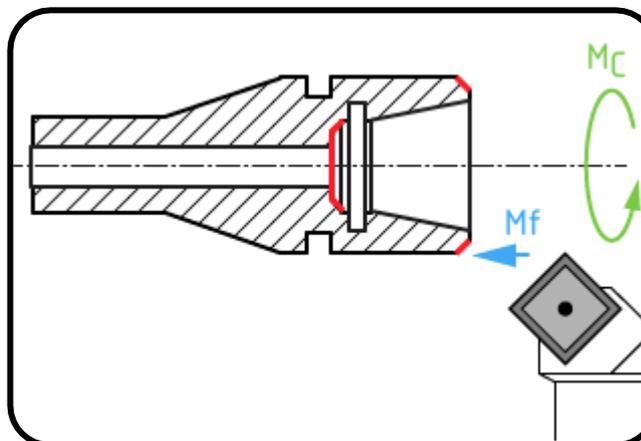


Figure I.9: Le chanfreinage intérieur et extérieur [11].

- g) **Le tronçonnage**: Est l'opération qui consiste à usiner une rainure jusqu'à l'axe de la pièce afin de détacher un tronçon [11].

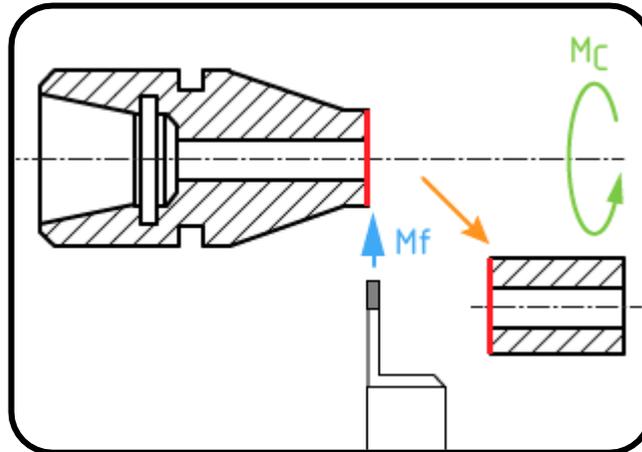


Figure I.10: Le tronçonnage [11].

- h) **Le filetage** : Est l'usinage consistant à réaliser un filetage extérieur ou intérieur [11].

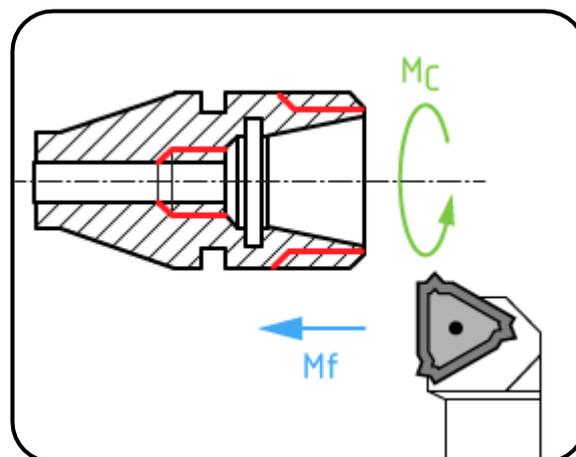


Figure I.11: Le filetage intérieur et extérieur [11].

I.2.5 Les paramètres de coupes

Les conditions de coupe mises en jeu pendant le tournage, hormis les caractéristiques de l'outil, sont:

- V_c : Vitesse de coupe en m/min ;
- f : Avance par tour en mm/tr (tournage) ;
- a_p : Profondeur de passe en mm.

a) Vitesse de coupe

Le choix de la vitesse de coupe (V_c) dépend de la nature de l'opération effectuée et du couple outil-matière (caractéristiques physiques et mécaniques du matériau usiné et

du Matériau usinant). En pratique, la vitesse de coupe est réglée par la vitesse de rotation de la pièce (notée N et exprimée en *tour/mn*). Cette vitesse dépend de la vitesse de coupe et du diamètre de la pièce à usiner. La relation reliant la vitesse de coupe et la vitesse de rotation est donnée par l'équation :

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times d} \quad (\text{I.1})$$

Avec :

- ❖ V_c : vitesse de coupe *m/mn*
- ❖ d : diamètre de la pièce exprimée en *mm*

b) L'avance par tour

L'avance correspond au déplacement de l'outil en fonction de la rotation de la pièce pendant la formation de copeau. L'avance est notée f et est exprimée en *mm* par tour. Comme pour la vitesse de coupe, en pratique, l'avance s'exprime en vitesse d'avance V_f .

Cette dernière représente la vitesse à laquelle l'outil se déplace par rapport au bâti de la machine selon les axes longitudinal et transversal et en fonction du nombre de tours effectués par la pièce. Elle est donnée par l'équation

$$V_f = f \times N \quad (\text{I.2})$$

Avec : V_f vitesse d'avance exprimée en *mm/min*.

c) La profondeur de passe

La profondeur de passe représente la différence des rayons avant et après usinage (profondeur de la matière à enlever). Elle est notée a_p et exprimée en *mm*. En coupe orthogonale, ce paramètre disparaît car il est confondu avec l'avance [3].

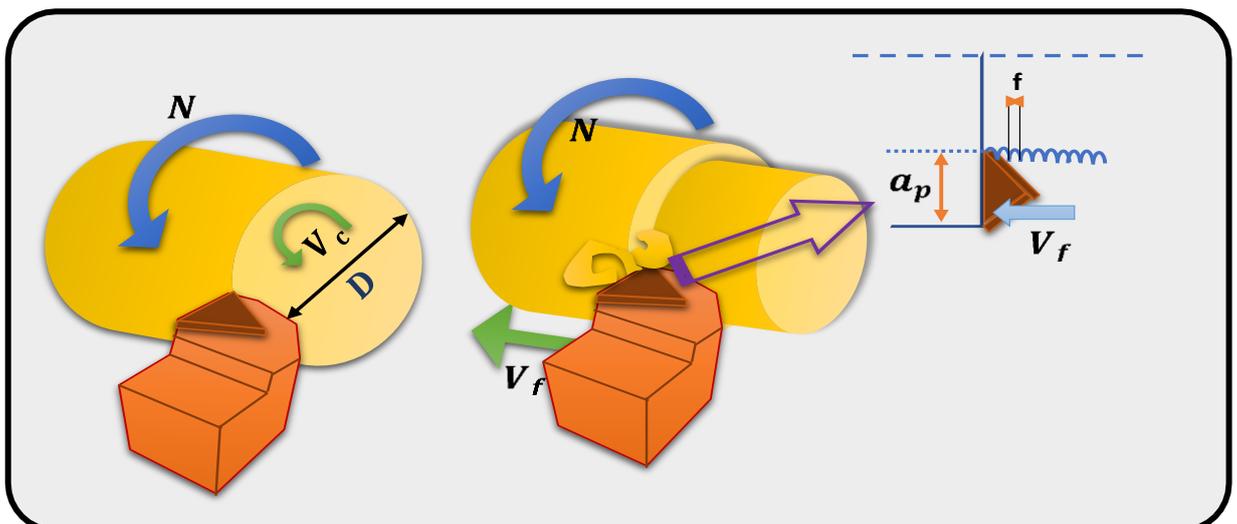


Figure I.12: Représentation et définition des paramètres : Vitesse de coupe V_c , avance f et profondeur de passe a_p [12].

I.3 Généralités sur les états de surface

La structure superficielle lors de l'usinage de métaux par enlèvement de copeaux est déterminée par les irrégularités résultant de la déformation de la face usinée. Elle varie essentiellement selon la méthode d'usinage, les conditions de coupe, la matière à usiner et la stabilité d'ensemble de l'opération [13].

Cette structure est définie par les critères suivants :

- ❖ **La rugosité R** : Exprime les plus petites irrégularités, c'est le fin réseau d'écart micro géométriques mesurés sur la plus petite longueur d'échantillonnage.
- ❖ **L'ondulation W** : Est constituée d'irrégularités de plus grande dimension au niveau suivant de la longueur d'évaluation sur la surface de la pièce.
- ❖ **La direction des traces d'usinage L** : Définit l'orientation du profil superficiel. Elle indique la direction dominante générée par la méthode d'usinage.

➤ **Rugosité**

Pendant l'usinage, les caractéristiques de la surface de la pièce usinée peuvent être affectées par différentes variables qui sont : vitesse de coupe, avance de coupe, profondeur de coupe, mode de lubrification, géométrie de l'outil, matériau de l'outil, matériau usiné, etc. En général, ces changements et variations sont plus visibles dans la rugosité que dans les autres caractéristiques de la surface usinée. En plus, le changement de rugosité de la surface usinée peut fortement affecter la performance de coupe.

C'est pourquoi la majorité des recherches liées à l'état de la surface usinée et à la performance de coupe ont choisi la rugosité de la surface comme critère principal [1].

Il existe un grand nombre de paramètres pour la définition de la rugosité, certains sont pourtant beaucoup plus employés que d'autres :

a) **Rugosité arithmétique (Ra)**

Valeur moyenne de tous les écarts par rapport à une ligne droite, dans la longueur d'évaluation, indifféremment de la direction verticale.

- Impossible de savoir si les écarts sont des creux ou des bosses ;
- Pas d'altération pas des écarts isolés, donc risque de manquer un sommet important ou une rayure ;
- Valeur de Ra typiques entre $0.02\mu\text{m}$ et 3.5 [13].

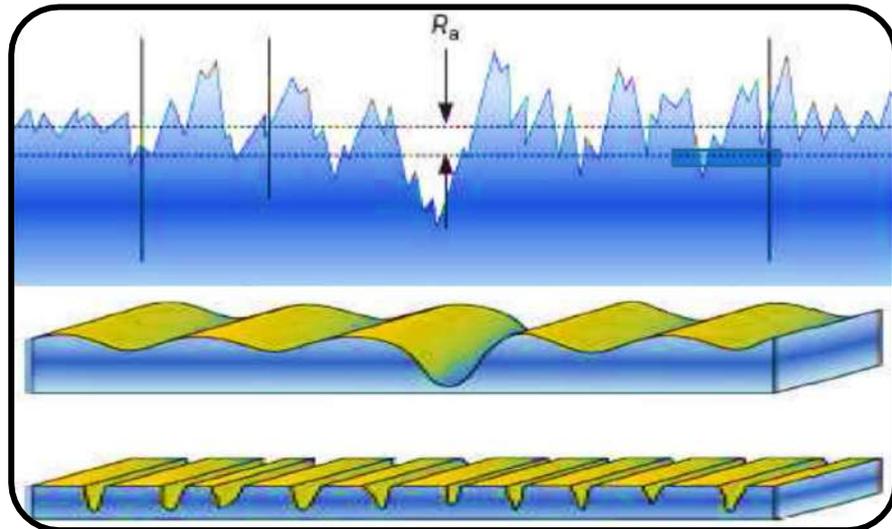


Figure I.13: L'écart moyen arithmétique du profil (R_a) [13].

b) Rugosité Hauteur de profil maximum (R_z)

C'est la moyenne des différentes hauteurs de profil entre la hauteur de crête la plus élevée et la profondeur de creux la plus importante sur des longueurs de référence comprises dans la longueur d'évaluation.

- Il y a couramment 5 longueurs de référence ;
- La valeur affichant la plus grande déviation dans la longueur de Référence = R_{max} ou R_{zmax} [13].

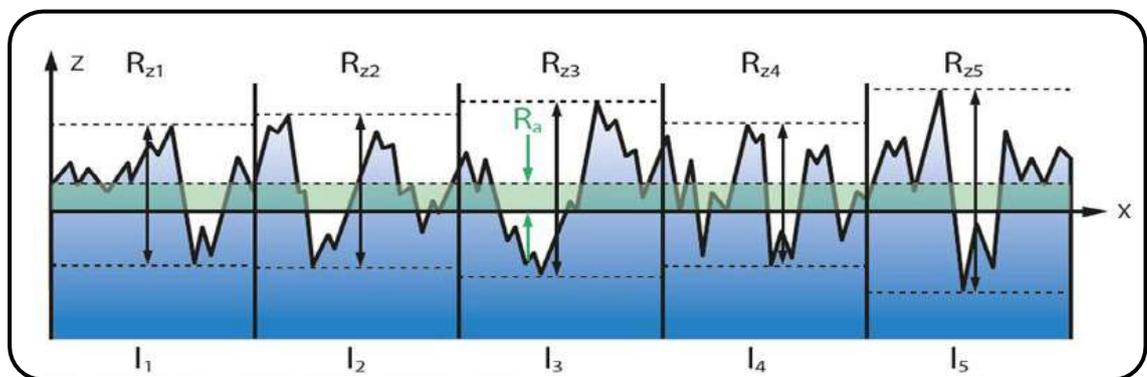


Figure I.14: Hauteur de profil maximum(R_z) [14].

c) Rugosité Hauteur de profil total (R_t)

C'est la somme de la hauteur de la crête la plus élevée et de la profondeur de creux la plus importante dans la longueur d'évaluation.

- Une seule valeur R_t , non combiné à un R_z ou R_a est l'une des exigences les plus strictes du profil R [13].

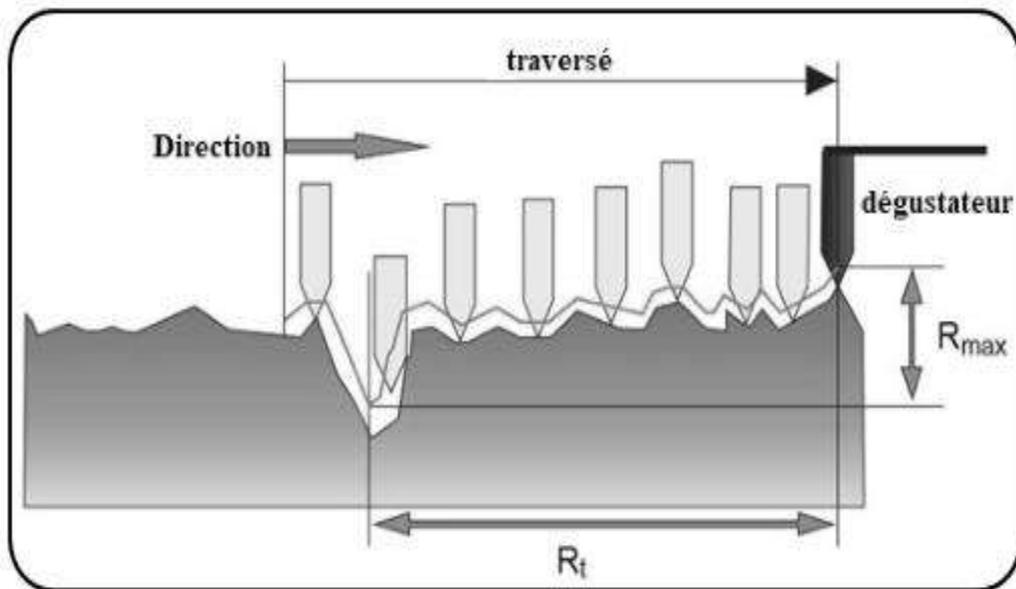


Figure I.15: Hauteur de profil totale (R_t) [15].

I.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le cadre conceptuel de ce mémoire en plus nous avons discuté les différents procédés de fabrication ainsi que les types de machines dans lesquelles ce processus est effectué avec les conditions de coupe, ensuite nous avons donné un aperçu général sur la rugosité de surface et des coefficients de rugosité les plus importants.

Chapitre II



La Logique Floue

II.1 Introduction

L'apparition de la logique floue est datée de 1965 naissance du concept flou avec le Pr. Zadeh Lotfi, il introduit la théorie des sous-ensembles flous.

Ses premières applications et Essor sont :

- **1970** : premières expériences en Europe ;
- **En 1973** : le Pr. « Zadeh » publie un article (dans l'IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics) qui fit date, Il y mentionne pour la première fois le terme de variables linguistiques;
- **En 1974** : le Docteur Mamdani (Université de Londres) réalise un contrôleur flou expérimental sur un moteur à vapeur;
- **En 1978**: F.L. Smidth & Co. A/S (au Danemark), mettent en application la théorie de la logique floue dans le contrôle de fours à ciment;
- **Dans les années 80**, plusieurs applications commencent à immerger (notamment au Japon);
- **1985** : les premiers, les japonais introduisent des produits grand public « Fuzzy Logic Inside »;
- **En 1987**, l'explosion du flou au Japon (avec le contrôle du métro de Sendai), et qui atteint son apogée en 1990.

Aujourd'hui, une vaste gamme de nouveaux produits ont une étiquette « produit flou » (Fuzzy) [16].

II.1.1. Domaines d'application

Les domaines d'applications pratiques déjà connues sont innombrables, nous en citons quelques-uns [17]:

- la communication homme-machine ;
- la reconnaissance des formes ;
- la médecine ;
- les transports ;
- la Sismologie ;
- l'intelligence artificielle ;
- la robotique ;
- le contrôle des machines ;
- l'informatique ;
- le traitement des données.

II.2 Définitions de la logique floue

La logique floue est une extension de la logique booléenne créée par Lotfi Zadeh en 1965 en se basant sur sa théorie mathématique des ensembles flous, qui est une généralisation de la théorie des ensembles classiques. En introduisant la notion de degré dans la vérification

d'une condition, permettant ainsi à une condition d'être dans un autre état que vrai ou faux, la logique floue confère une flexibilité très appréciable aux raisonnements qui l'utilisent, ce qui rend possible la prise en compte des imprécisions et des incertitudes [18].

II.2.1 Principes de la logique floue

La logique floue (Fuzzy logic) propose, une approche des problèmes beaucoup plus pragmatique que mathématique, dans certains problèmes où les mathématiques peinent par impossibilité ou difficulté de modélisation, la logique floue apporte une étonnante efficacité.

La logique floue est très proche du processus de la pensée humaine. Elle met en œuvre un jeu de règles comme, implicitement, nous en utilisons chaque jour.

Elle apprécie les variables d'entrées de façon approximative (faible, élevée, loin, proche), fait de mêmes pour les variables de sorties (freinage léger ou fort) et édicte un ensemble de règles permettant de déterminer les sorties en fonction des entrées [19].

II.2.2 Logique floue et la logique classique

Dans le cadre de la logique classique, une proposition est soit vraie, soit fausse (1 ou 0). Par exemple, la logique classique peut facilement partitionner la température d'une pièce en deux sous-ensembles, «moins de 15 degrés» et «15 degrés ou plus». La figure (II.1) a montré le résultat de cette partition.

Toutes les températures de moins de 15 degrés sont alors considérées comme appartenant à l'ensemble «moins de 15 degrés». On leur affecte une valeur de 1.

Toutes les températures atteignant 15 degrés ou plus ne sont pas considérées comme appartenant à l'ensemble «moins de 15 degrés». On leur attribue une valeur de 0. Cependant, le raisonnement humain s'appuie fréquemment sur des connaissances ou des données inexacts, incertaines ou imprécises.

Une personne placée dans une pièce dont la température est soit de 14.95 degrés soit de 15.05 degrés, ne fera certainement pas de distinction entre ces deux valeurs. Cette personne sera pourtant capable de dire si la pièce est «froide» ou «chaude», sans pour cela utiliser de température limite ni de mesure précis [20].

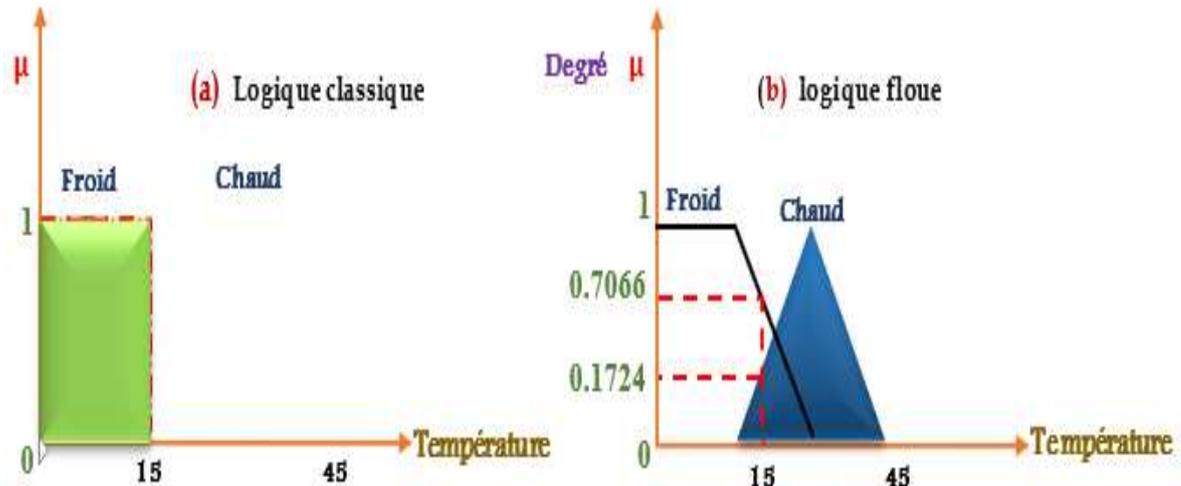


Figure II.1 : Classification des températures d'une pièce en deux ensembles :

(a) Deux ensembles selon la logique classique (b) Deux ensembles selon la logique floue [20].

II.3 Les concepts de bases

II.3.1 Fonction d'appartenance

Une fonction d'appartenance d'un ensemble flou A définie sur l'univers de discours X , notée $\mu_A(x)$ tel que $x \in X$, est une courbe qui définit comment chaque point dans l'univers de discours est tracé avec une valeur d'appartenance comprise dans l'intervalle $[0, 1]$.

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0; 1] \quad (\text{II.1})$$

$$x \rightarrow \mu_A(x) \quad (\text{II.2})$$

La valeur $\mu_A(x)$ mesure l'appartenance ou le degré avec lequel un élément x appartient à l'ensemble A . Il n'y a pas de règle précise pour la définition de fonction d'appartenance. Alors, chaque ensemble flou peut être représenté par sa fonction d'appartenance.

Les fonctions d'appartenance peuvent être symétriques, régulièrement distribuées ou avoir une distribution non uniforme. En général, la forme des fonctions d'appartenance dépend de l'application et de la grandeur à modéliser et peuvent avoir différentes formes [21]:

Tableaux II-1 : Les formes les plus utilisées de la fonction [21].

<i>Fonction</i>	<i>La forme algébrique</i>	<i>La forme graphique</i>
♦ Fonction Triangulaire	$u(x) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right)$	
♦ Fonction Trapézoïdale	$u(x) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{d-x}{d-c}\right), 0\right)$	
♦ Fonction Gaussienne	$u(x) = \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\delta^2}\right)$	

II.3.2. Les variables linguistiques

La notion de variable linguistique permet de modéliser les connaissances imprécises ou vagues sur une variable dont la valeur précise est inconnue. Une variable linguistique, ou variable floue, est donc une variable dont les valeurs floues appartiennent à des ensembles flous pouvant représenter des mots du langage naturel. Ainsi une variable floue peut prendre simultanément plusieurs valeurs linguistiques.

Le domaine sur lequel ces termes et ces variables sont définies, constitue l'univers de discours. Le découpage de cet univers de discours par les termes flous est appelé une partition floue. Lorsque l'univers de discours est totalement recouvert par les termes flous, et que pour toutes valeurs, la somme des degrés d'appartenance est égale à 1, on parle alors de partition floue forte [22].

Une variable linguistique est caractérisée par un triplet $(x, T(x), u)$ ou :

- **X** : le nom de variable ;
- **T(x)**: ensemble de terme de variable, c'est l'ensemble des noms des valeurs linguistiques de x dont Chaque valeur est un sous ensemble flou défini dans U ;
- **U**: l'univers de discours Comme exemple de la variable linguistique, on prend la vitesse de rotation du moteur. Son ensemble de terme T (vitesse) peut être :
T (vitesse) = (lente, moyenne, rapide, ...) Où chaque terme dans T (vitesse) est caractérisé par un ensemble flou dans l'univers de discours $U = [0, 200]$ [23].

II.3.3 Opérateurs en logique floue

Si A et B sont deux sous-ensembles flous et $\mu(A)$ et $\mu(B)$ leur fonction d'appartenance, on définit [24].

a) Intersection A et B

Est un sous-ensemble $A \cap B$ de U, par la fonction d'appartenance définie par :

$$\text{minimum} \quad \mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad \forall x \in U \quad (\text{II.3})$$

$$\text{ou bien la produite :} \quad \mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) \quad \forall x \in U \quad (\text{II.4})$$

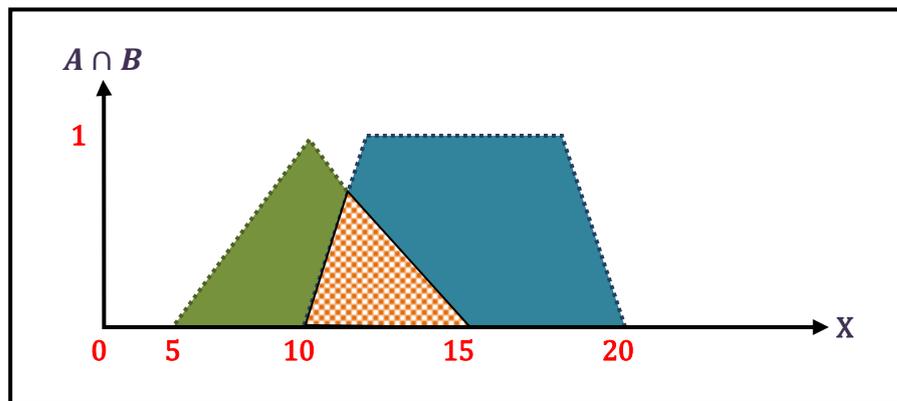


Figure II.2 : Intersection des ensembles flous A et B [23].

b) Union A ou B

Est un sous-ensemble $A \cup B$ de U, par la fonction d'appartenance définie par :

$$\text{Maximum} \quad \mu_{A \cup B} = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad \forall x \in U \quad (\text{II.5})$$

$$\text{ou bien la somme :} \quad \mu_{A \cup B} = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) * \mu_B(x) \quad \forall x \in U \quad (\text{II.6})$$

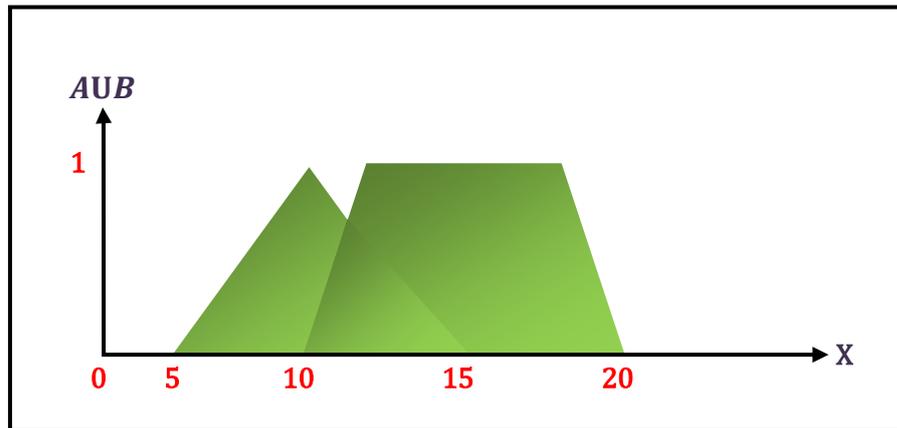


Figure II.3 : Union des ensemble flous A et B [23].

c) Complémentation de A

Est un sous-ensemble \bar{A} de U, par la fonction d'appartenance définie par :

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \forall x \in U \quad (\text{II.7})$$

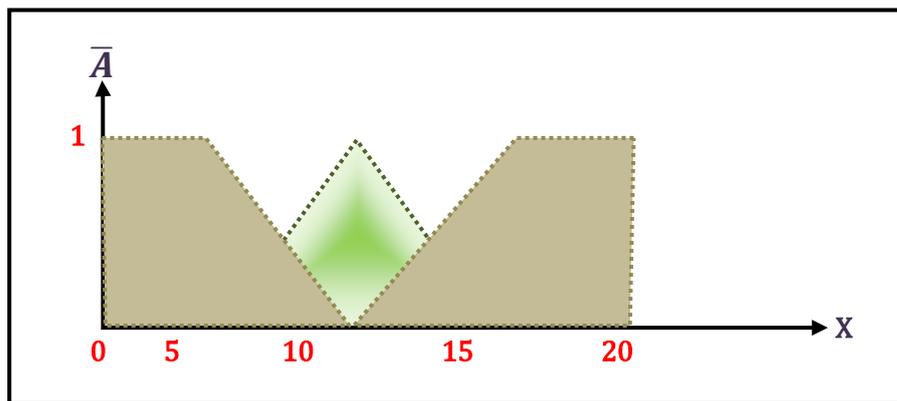


Figure II.4 : Complément de l'ensemble flou A [23].

II.4. Commande par logique floue

II.4.1 Description et structure d'une commande par la logique floue

Contrairement aux techniques de réglage classique, le réglage par la logique floue n'utilise pas des formules ou des relations mathématiques bien déterminées ou précises. Mais, il manipule des inférences avec plusieurs règles floues à base des opérateurs flous (ET, OU, ALORS,...) appliquées à des variables linguistiques.

On peut distinguer trois parties principales constituant la structure d'un régulateur flou :

- Une interface de Fuzzification ;
- Un mécanisme d'Inférence ;
- Une interface de Défuzzification [21].

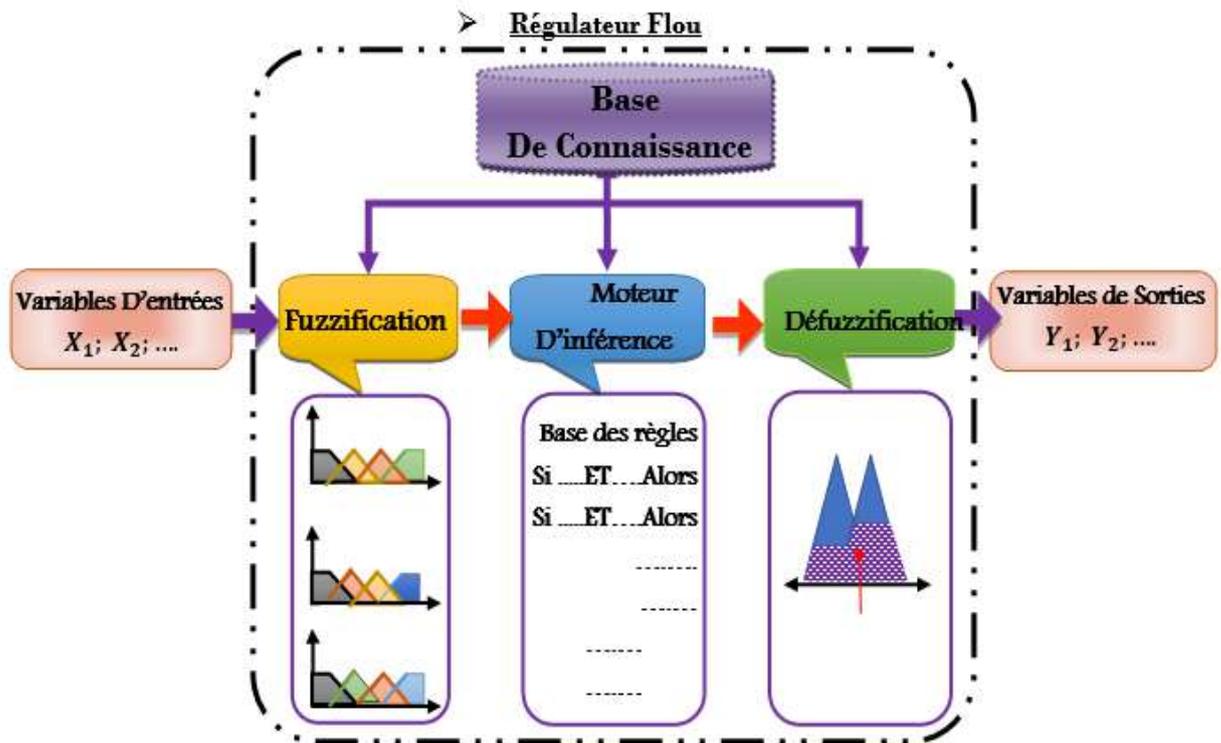


Figure II.5 : Représente, à titre d'illustration, la structure d'un régulateur flou à une entrée x et une sortie y [19].

II.4.2 Interface de fuzzification

La fuzzification proprement dite consiste à définir des fonctions d'appartenance pour les différentes variables linguistiques. Ceci a pour but la conversion d'une grandeur physique en une linguistique. Il s'agit d'une projection de la variable physique sur les ensembles flous caractérisant cette variable.

Cette opération permet d'avoir une mesure précise sur le degré d'appartenance de la variable d'entrée à chaque ensemble flou. D'une autre manière, l'entrée x varie dans l'univers de discours qui est partagé en un nombre fini d'ensembles flous de telle sorte que dans chaque zone il y ait une situation dominante.

Afin de faciliter le traitement numérique et l'utilisation de ces ensembles, on les décrit par les fonctions d'appartenance. Elles admettent comme argument la position de x dans l'univers de discours, et comme sortie le degré d'appartenance de x à la situation décrite par la fonction [21].

II.4.3 Base de connaissances

La conception d'une base de connaissances représente la phase principale dans la conception des systèmes experts. Elle comprend la base de données et la base des règles floues.

a) Base de données

La base de données consiste à établir :

- **La formulation des fonctions d'appartenance :** On utilise en générale les formes triangulaires et gaussiennes. Bien qu'il n'existe pas de règle précise pour la définition des fonctions d'appartenance, mais cette définition est élaborée à partir de l'expérience d'opérateur ou des connaissances expertes d'ingénieur de contrôle.
- **Le nombre des fonctions d'appartenance:** Habituellement, on introduit pour une variable linguistique trois, cinq ou sept sous-ensembles flous. Le nombre des ensembles dépend de la résolution et l'intervention de la commande désirée.
- **La distribution des fonctions d'appartenance:** Les fonctions d'appartenance peuvent être symétriques et distribuées de manière équidistante. Il est opportun de choisir cette forme pour la première implantation.

b) Base des règles floues

Elle rassemble l'ensemble des règles floues de type «*Si-Alors* » décrivant en termes linguistiques bases sur la connaissance d'un expert le comportement dynamique du système.

II.4.4 Inférence

Elle lie les grandeurs mesurées transformées en variables linguistiques à l'aide de la fuzzification, à la variable de sortie exprimée comme variable linguistique. La règle compositionnelle d'inférence de Zadeh (SI-ALORS) est utilisée à cet effet.

Il existe plusieurs méthodes pour réaliser ces opérateurs dans une inférence et qui s'appliquent aux fonctions d'appartenance a savoir.

- La méthode d'inférence somme-produit ;
- La méthode d'inférence max-min ;
- La méthode d'inférence max-produit.

Nous avons utilisé La méthode d'inférence somme-produit

c) La méthode d'inférence somme-prod

On réalise au niveau de la condition, l'opérateur OU par la formation de la somme (valeur moyenne), et l'opérateur ET par la formation du produit. Pour la conclusion, l'opérateur ALORS est réalisé par un produit. La méthode est représentée graphiquement à la figure (II.6) [24].

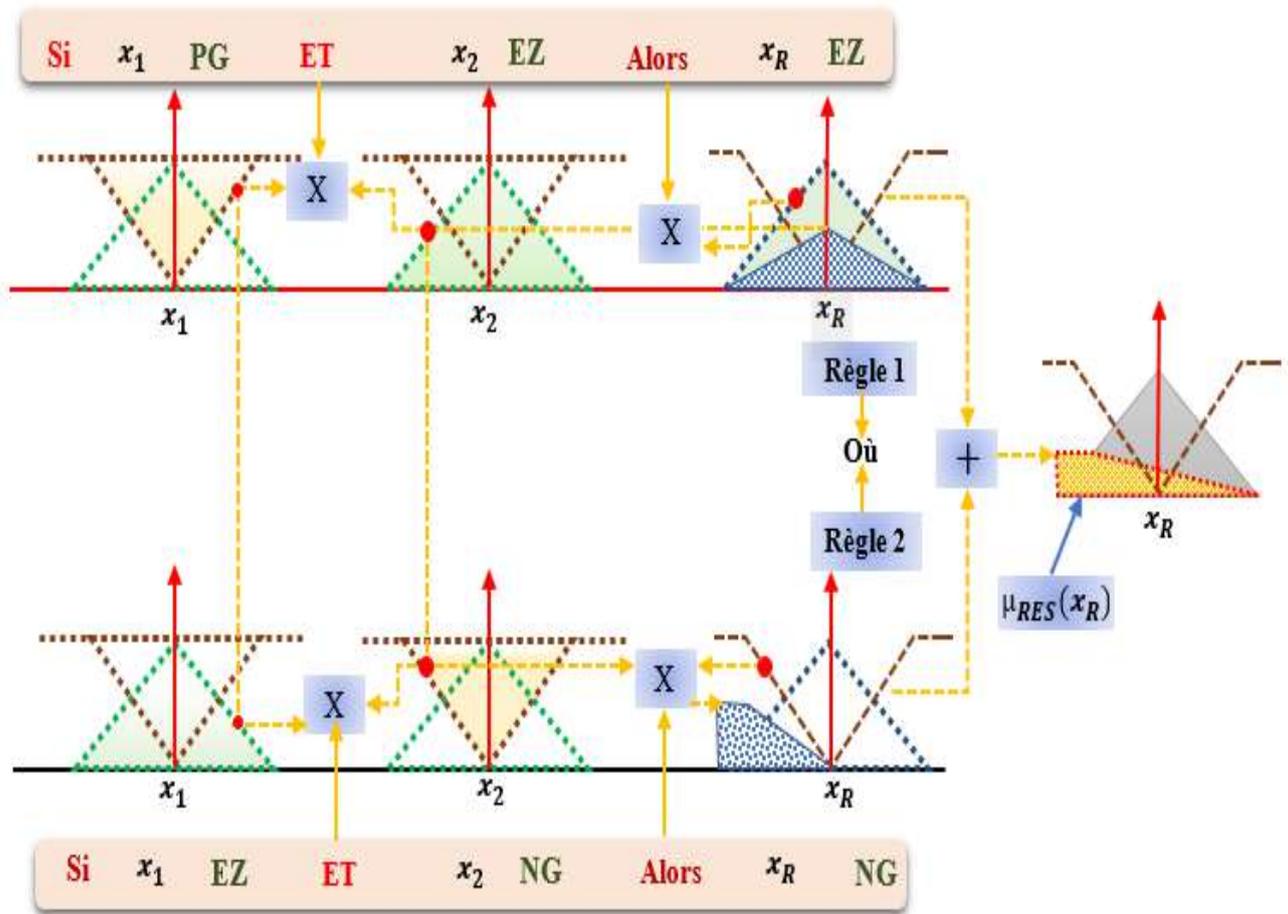


Figure II.6 : Méthode d'inférence somme-prod pour deux variables d'entrée et deux règles [24].

II.4.5 Défuzzification

Comme nous avons vu dans la section précédente, les méthodes d'inférence fournissent Un résultat qui est une fonction d'appartenance. Or, la sortie du contrôleur est en général une grandeur continue, prenant sa valeur dans un intervalle.

La défuzzification est le traitement qui permet de définir une correspondance entre le résultat de l'inférence et la grandeur continue fournie en sortie [18].

❖ **Défuzzification par centre de gravité**

La défuzzification par centre de gravité consiste à calculer l'abscisse du centre de gravité de la fonc

$$y_{cg} = \frac{\int_y y \cdot \mu_{B_{res}}(y) dy}{\int_y y \cdot B_{res}(y) dy} \tag{II.8}$$

En pratique, on estime le centre de gravité en calculant la moyenne d'un certain nombre De points échantillonnés sur la fonction :

$$y_{cg} = \frac{\sum y_i \cdot \mu_{B_{res}}(y_i)}{\sum \mu_{B_{res}}(y_i)} \tag{II.9}$$

Le temps nécessaire au traitement est directement proportionnel au nombre de points retenus pour le calcul de la moyenne.

Selon les contraintes fixées par l'application, il y a un compromis à réaliser entre la précision souhaitée et le temps de calcul disponible.

❖ **Défuzzification par valeur maximum**

Cette méthode ne s'utilise que dans le cas discret. On choisit comme sortie y_m l'abscisse de la valeur maximale de la fonction d'appartenance résultante $\mu_{B_{res}}(y)$. Lorsque $\mu_{B_{res}}(y)$ est échantillonnée, on prend la moyenne des abscisses du maximum :

$$y_m = \frac{\sum_{y_i \in M} Y_i}{|M|} \tag{II.10}$$

M est l'ensemble des points pour lesquels la fonction d'appartenance est maximale [18]:

$$M = \{y \in [-c, c] / \mu_{B_{res}}(y) = H(B_{res})\} \tag{II.11}$$

Tableaux II-2 : Les deux méthodes les plus utilisées de Défuzzification [19].

Méthode	Formule	Schéma Significatif
<p>• <i>La moyenne des maximas</i></p>	$u = \frac{\sum_{i=1}^n h_A(x_i) * x_i}{\sum_{i=1}^n h_A(x_i)}$	
<p>• <i>Centre de gravité</i></p>	$u = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^* v_i}{\sum_{i=1}^n v_i}$	

❖ **Remarque:** La méthode de Centre de Gravité est la plus utilisée car quoiqu'elle est coûteuse en termes de calcul, mais elle est plus performante que les autres méthodes [19].

II.5 Types de régulateurs flous

II.5.1 Régulateur flou de type Mamdani

Dans ce type, les conclusions sont symboliques ou linguistiques et le calcul de la sortie nécessite l'utilisation d'une méthode de défuzzification.

II.5.2 Régulateur flou de type Sugeno

Ce modèle de T-S Devient la technique la plus utilisée car sa simplification de représenter n'importe quel système non-linéaire complexe avec des règles floues réduite par rapport au type de Mamdani, et aussi la conséquence qu'été fonction numérique.

Un modèle Takagi-Sugeno flou est défini par la notion des règles floues sous la forme suivante :

Règle : **Si** $z_1(t)$ est Mi_1 **et** ... **et** $z_p(t)$ est Mip

$$\text{Alors } y_i = a_0^i + a_1^i z_1(t) + a_2^i z_2(t) + \dots + a_p^i z_p(t)$$

Alors, que Mi_1, \dots, Mip sont les ensembles flous, a_0^i, \dots, a_p^i , sont les coefficients des i eme conséquence linéaire et aussi c'est la sortie de i eme valeur numérique de la sortie pour le modèle flou de T-S est calculée comme suit :

$$\mathbf{y} = \frac{\sum_{i=1}^r w_i(t) y_i}{\sum_{i=1}^r w_i(t)} \quad (\text{II.12})$$

Le degr de la fonction d'appartenance de $z_j(t)$ en equation (II.12) donne un modèle T-S flou affine, pour $a_0^i = 0$, on obtient un modèle T-S linéaire. Le modèle T-S représente un système dynamique, avec des règles floues Si-Alors (If-Then) qui représente des relations localement linéaire entre l'entré et la sortie du système dynamique non-linéaire. L'aspect principal du modèle T-S floue est de représenter chaque règle floue locale dynamique par un sous-modèle linéaire, après le système flou global est obtenu par le calcul de la somme floue des sous-modèles linéaires [19].

II.6 Conclusion

Dans ce chapitre, on a parlé de la théorie des ensembles flous extrêmes fructueuse sur laquelle repose la logique floue ; après un passage bref, sur l'historique et les différents domaines d'application de la logique floue, nous revenons au principe et étapes de mise en œuvre des mécanismes d'inférence floue. Plusieurs notions de base de la théorie de la logique floue, les propriétés des ensembles flous, les opérations sur ces ensembles, et l'influence de la logique floue sur les résultats et les calculs par rapport à la logique classique.

Chapitre III



Résultats et Discussion

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous utilisons la logique floue pour étudier les critères de la rugosité pendant le chariotage de l'acier AISI 1045 avec un outil en carbure métallique en fonction des paramètres de coupe (V_c , f et a_p) en se basant sur une base de données élaboré par Bakkari Lehibib et Gherib Hamza[25] .

Les résultats expérimentaux sont illustrés dans le tableau III-1.

Tableau III-1 : Résultats de la rugosité (R_a , R_t et R_z) en fonction des paramètres du régime de coupe (Le tableau orthogonal standard de Taguchi L27 ; $N= 3^3$).

Essais	Facteurs			Rugosité		
	V_c [m/min]	f [mm/tr]	a_p [mm]	R_a [μm]	R_t [μm]	R_z [μm]
1	116	0.08	1.5	0.46	2.21	2.12
2	116	0.08	2	0.45	2.53	2.33
3	116	0.08	2.5	0.43	2.74	2.37
4	116	0.12	1.5	0.53	2.73	2.28
5	116	0.12	2	0.51	3.19	2.48
6	116	0.12	2.5	0.52	3.11	2.55
7	116	0.15	1.5	0.6	3.53	2.64
8	116	0.15	2	0.57	3.77	2.84
9	116	0.15	2.5	0.58	3.73	2.92
10	141	0.08	1.5	0.36	2.19	1.71
11	141	0.08	2	0.37	2.37	1.87
12	141	0.08	2.5	0.4	2.42	1.94
13	141	0.12	1.5	0.43	2.69	1.86
14	141	0.12	2	0.44	2.95	2.04
15	141	0.12	2.5	0.45	3.29	2.11
16	141	0.15	1.5	0.54	3.21	2.2
17	141	0.15	2	0.53	3.36	2.4
18	141	0.15	2.5	0.54	3.33	2.47
19	193	0.08	1.5	0.28	1.72	1.17
20	193	0.08	2	0.32	1.97	1.31
21	193	0.08	2.5	0.34	2.05	1.38
22	193	0.12	1.5	0.33	1.98	1.27

23	193	0.12	2	0.4	2.14	1.44
24	193	0.12	2.5	0.42	2.22	1.5
25	193	0.15	1.5	0.41	2.35	1.45
26	193	0.15	2	0.42	2.54	1.72
27	193	0.15	2.5	0.46	2.51	1.78

III.2 Système flou

Nous avons choisi, un système d'inférence flou de type Mamdani avec trois variables à l'entrée (vitesse de coupe, avance par tour, et profondeur de passe), et trois variables de la sortie (rugosité arithmétique, rugosité hauteur de profil total, et rugosité hauteur de profil maximum).

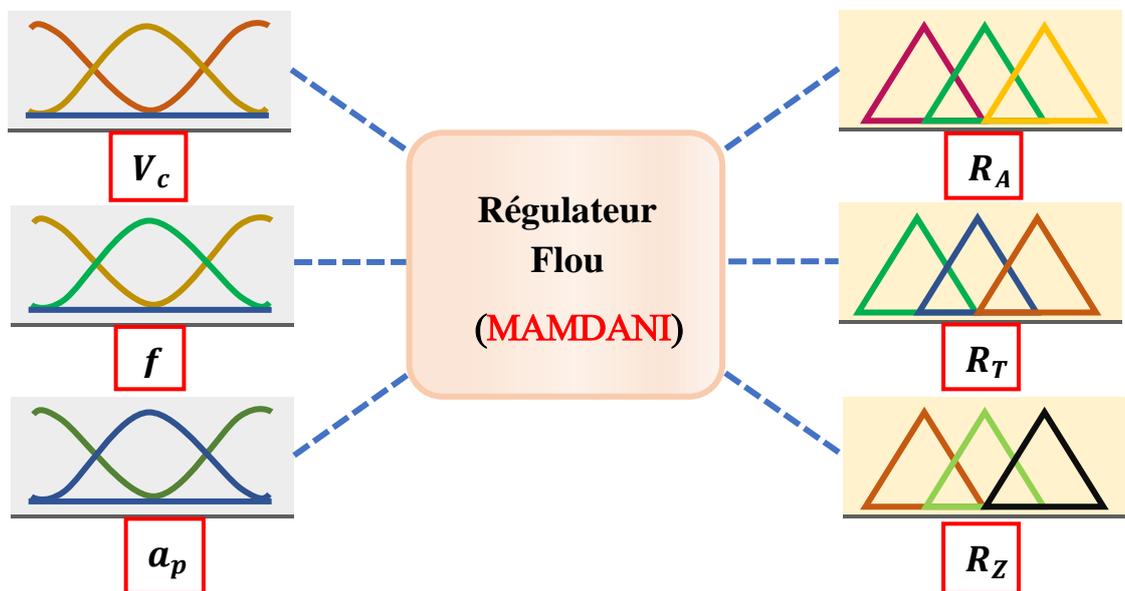


Figure III.1: Système flou.

III.3 Modélisation floue

III.3.1 Les variables floues

Pour la construction du premier modèle nous avons choisi comme paramètres d'entrée la profondeur de passe, l'avance par tour et la vitesse de coupe, et comme variables de sortie nous avons choisi la rugosité arithmétique, la rugosité hauteur de profil total et la rugosité hauteur de profil maximum.

Le tableau III-2 présente l'univers du discours pour les variables d'entrée et de sortie.

Tableau III-2 : Valeurs minimales et maximales des variables d'entrées et de sortie.

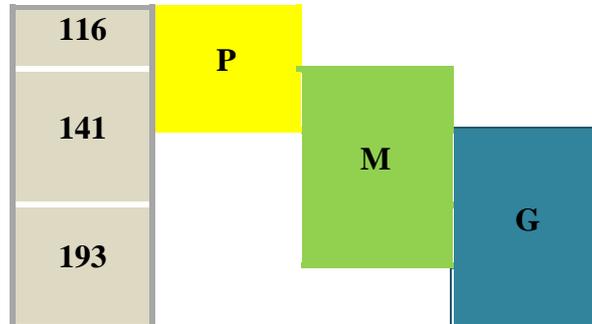
	Valeur MIN	Valeur MAX
Vitesse de coupe (V_c) (m / min)	116	193
Avance par tour (f) (mm / tr)	0.08	0.15
Profondeur de passe (a) (mm)	1.5	2.5
Rugosité arithmétique R_a (μm)	0.28	0.6
Rugosité hauteur de profil total R_t (μm)	1.72	3.77
Rugosité hauteur de profil maximum R_z (μm)	1.17	2.92

III.3.2 Définition des variable linguistiques

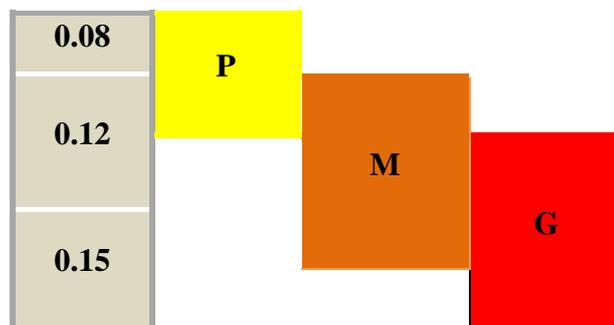
L'ensemble des variables utilisés dans notre étude sont découpée en catégories appelées variables linguistiques. Chaque variable linguistique correspond à un intervalle de donnée numérique.

a) Variables d'entrée

Les variables linguistiques pour la première variable (vitesse de coupe) sont choisis comme il est indiqué dans la figure III.2.

**Figure III.2:** Variables linguistiques pour la vitesse de coupe.

Les variables linguistiques pour la deuxième variable (avance par tour) sont choisis comme il est indiqué dans la figure III.3

**Figure III.3:** Variables linguistiques pour l'avance par tour.

Les variables linguistiques pour la troisième variable (profondeur de passe) sont choisies comme il est indiqué dans la figure III.4.

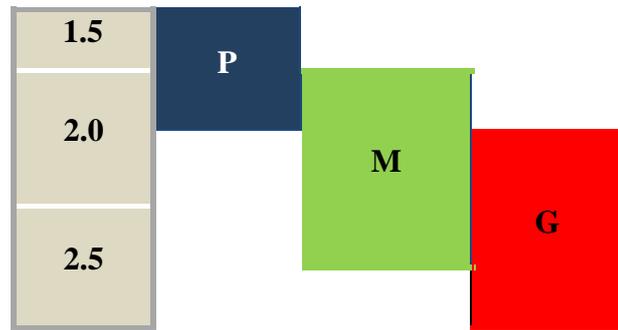


Figure III.4: Variables linguistiques pour la profondeur de passe.

b) Variables de sortie

Les variables linguistiques pour la première variable de sortie (rugosité arithmétique) sont choisies comme il est indiqué dans la figure III.5.

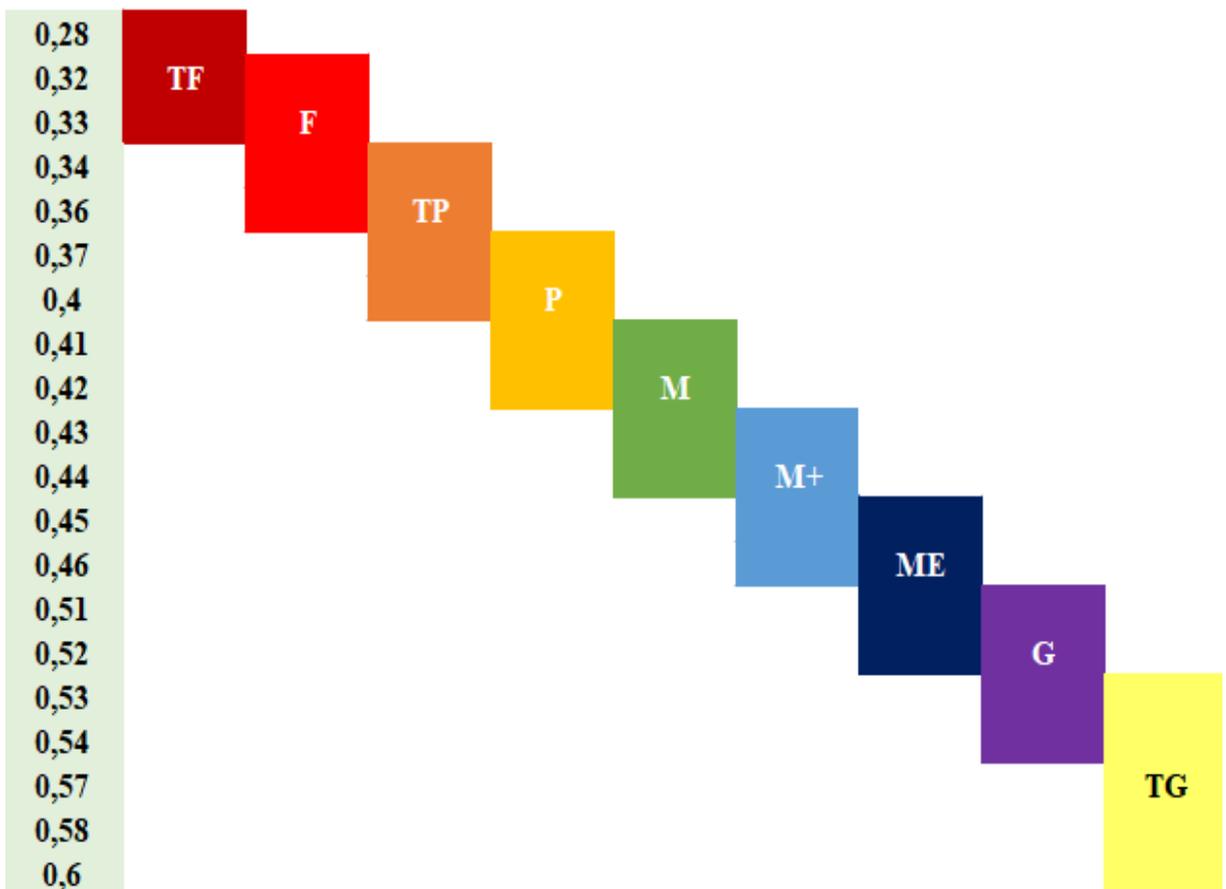


Figure III.5: Les variables linguistiques pour la rugosité arithmétique.

Les variables linguistiques pour la deuxième variable (la rugosité hauteur de profil total) sont choisies comme il est indiqué dans la figure III.6.

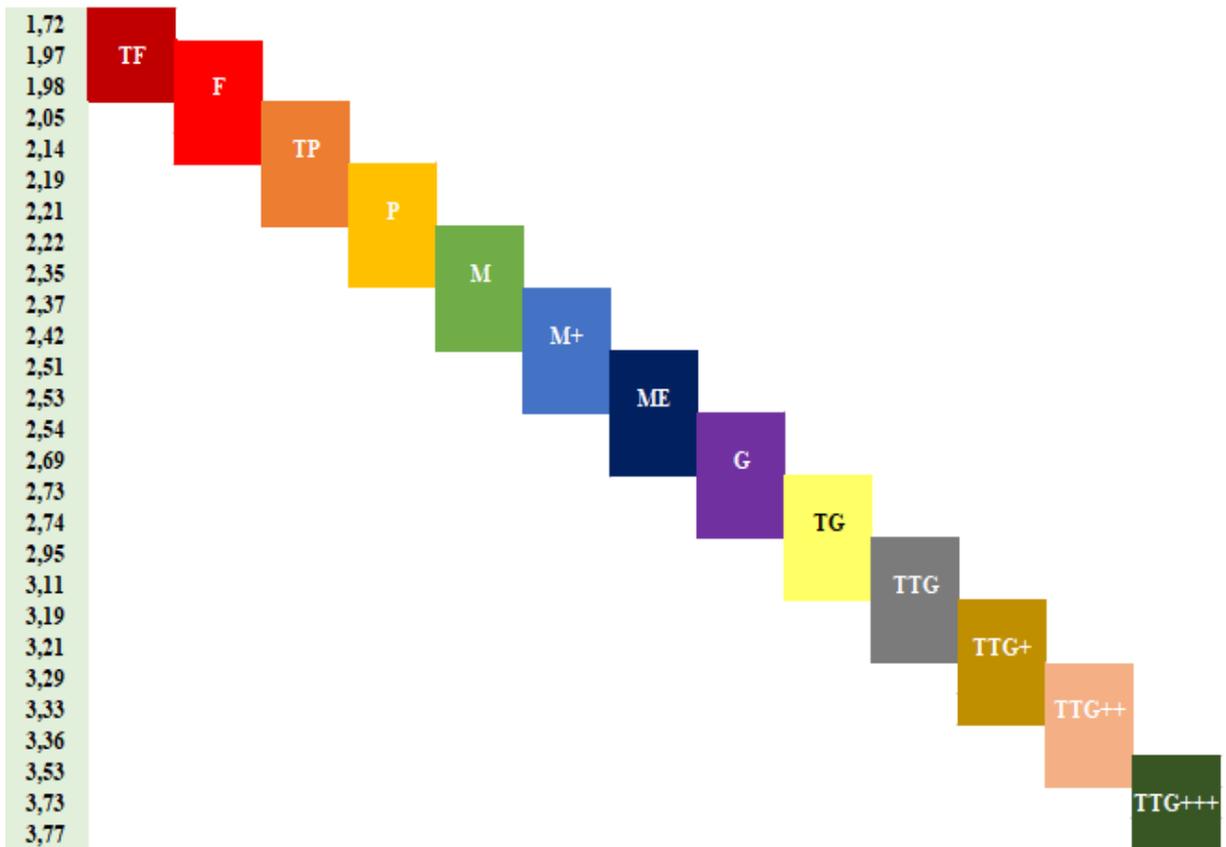


Figure III.6: Les variables linguistiques pour la rugosité hauteur de profil total.

Les variables linguistiques pour la troisième variable (la rugosité hauteur de profil maximum) sont choisies comme il est indiqué dans la figure III.7.

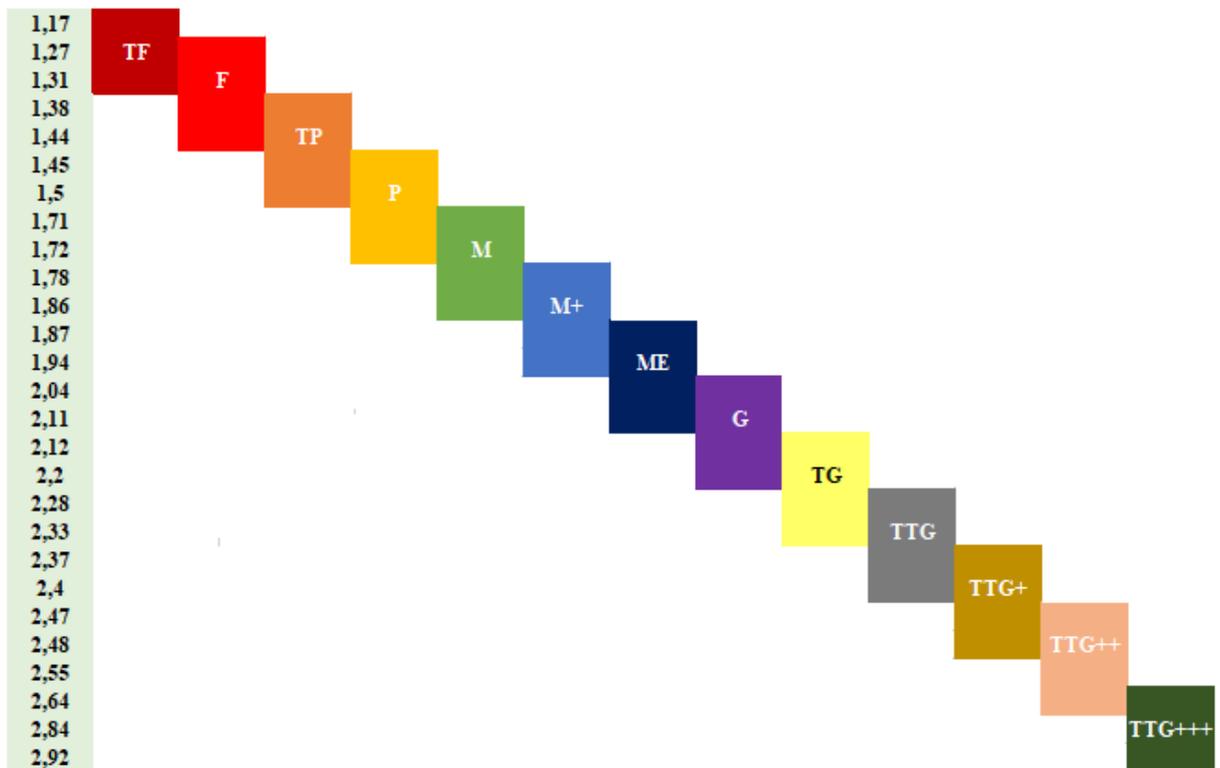


Figure III.7: Les variables linguistiques pour la rugosité hauteur de profil maximum.

III.3.3 Les fonctions d'appartenance

On associe à chacune des variables un ensemble de termes caractérisés par des fonctions d'appartenances définies sur le même univers de discours.

La fonction d'appartenance permet de définir pour chaque variable son pourcentage de véracité à l'affirmation. Les fonctions d'appartenance se présentent sous différentes formes, y compris triangulaire, trapézoïdale, gaussienne et sigmoïde. Dans la présente étude, les fonctions d'appartenance triangulaire et trapézoïdale ont été utilisées pour les paramètres d'entrée et le paramètre de sortie.

a) Utilisation des fonctions d'appartenance triangulaires

Dans cette partie, les fonctions d'appartenance triangulaire ont été utilisées pour les paramètres d'entrée et le paramètre de sortie.

- **Les paramètres d'entrées**

Les fonctions d'appartenance utilisées pour les paramètres d'entrées sont représentées dans les figures III.8, III.9 et III.10.

En se basant sur le choix des variables linguistiques pour la vitesse de coupe effectué dans la figure III.2, la fonction d'appartenance pour la première variable d'entrée est donnée comme suit :

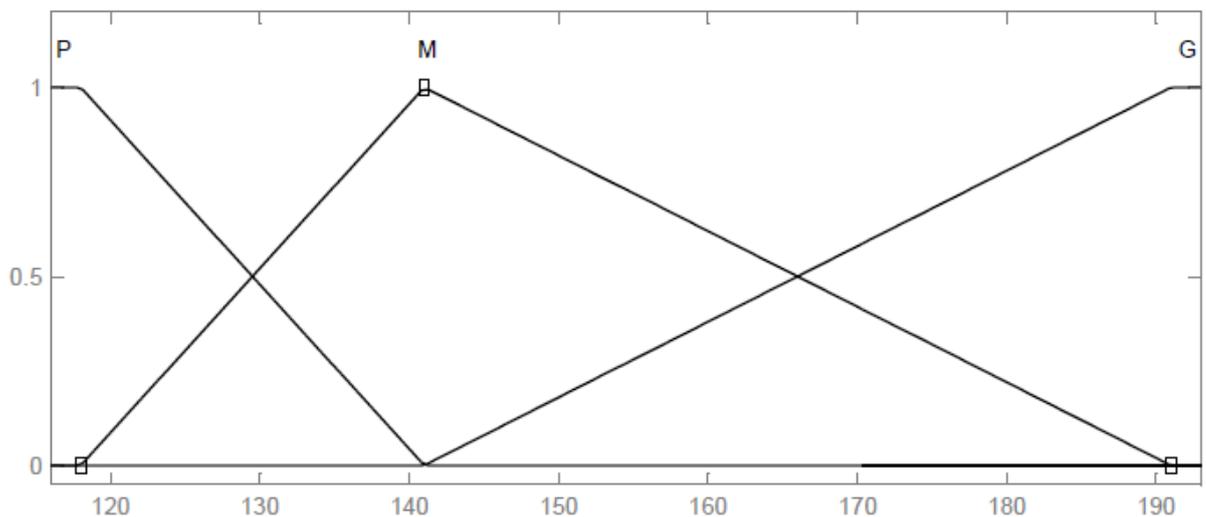


Figure III.8: Fonctions d'appartenance (triangulaires) pour la vitesse de coupe.

En se basant sur le choix des variables linguistiques pour l'avance par tour effectué dans la figure III.3, la fonction d'appartenance pour la deuxième variable d'entrée est donnée comme suit :

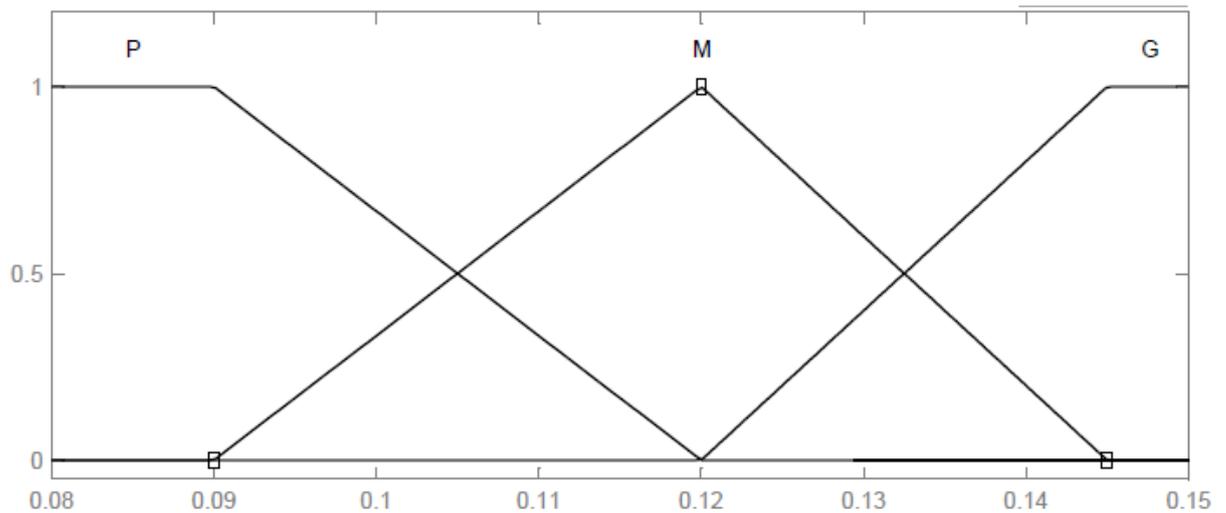


Figure III.9: Fonctions d'appartenances (triangulaires) pour l'avance par tour.

En se basant sur le choix des variables linguistiques pour la profondeur de passe effectué dans la figure III.4, la fonction d'appartenance pour la troisième variable d'entrée est donnée comme suit:

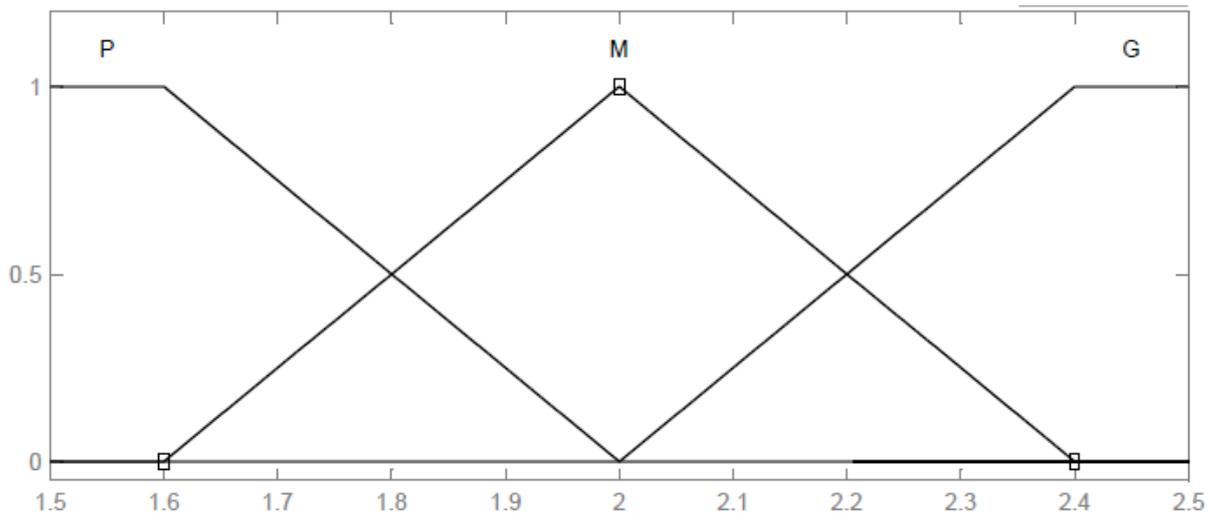


Figure III.10: Fonctions d'appartenances (triangulaires) pour la profondeur de passe.

- **Les paramètres de sortie**

La fonction d'appartenance utilisée pour le paramètre de sortie (rugosité arithmétique, la rugosité hauteur de profil total, la rugosité hauteur de profil maximum) est représentée dans les figures III.11, III.12 et III.13

En se basant sur le choix des variables linguistiques pour la rugosité arithmétique effectué dans la figure III.5, la fonction d'appartenance pour la première variable d'entrée est donnée comme suit :

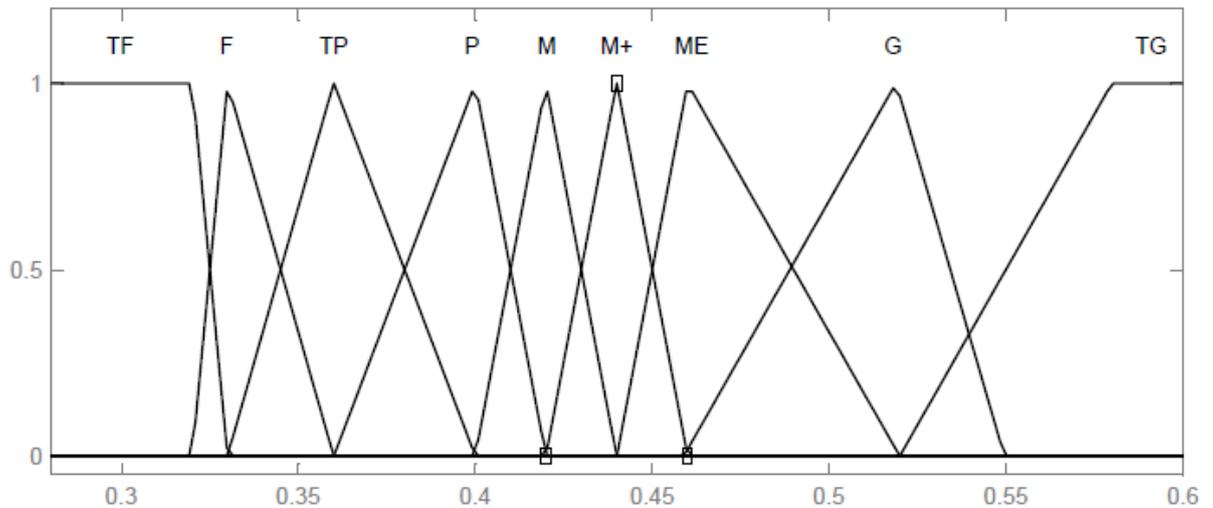
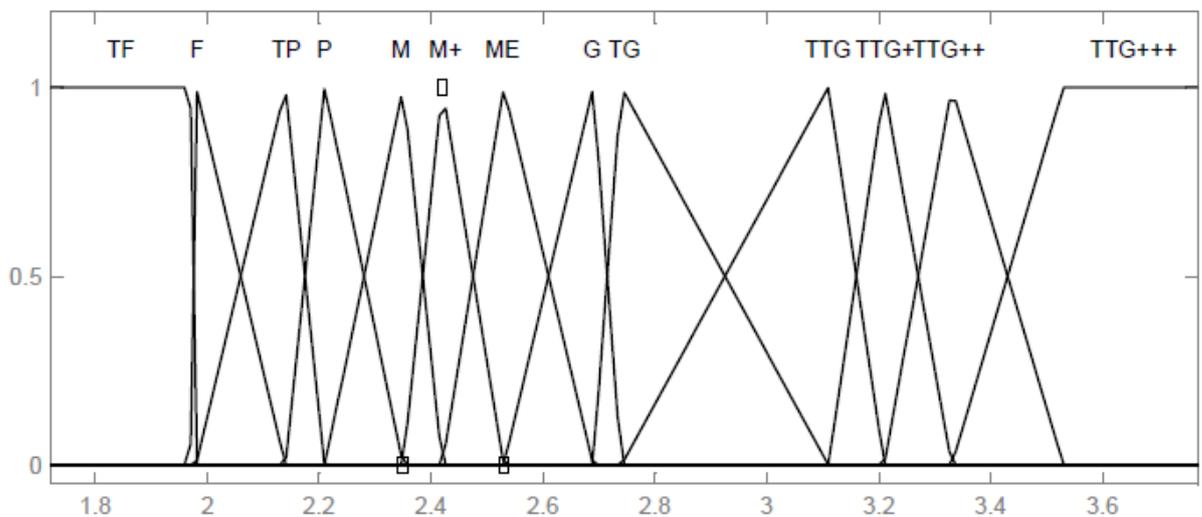


Figure III.11: Fonctions d'appartenances (triangulaires) pour la rugosité arithmétique.

En se basant sur le choix des variables linguistiques pour la rugosité hauteur de profil total effectué dans la figure III.6, la fonction d'appartenance pour la première variable



d'entrée est donnée comme suit :

Figure III.12: Fonctions d'appartenances (triangulaires) pour la rugosité hauteur de profil total.

En se basant sur le choix des variables linguistiques pour la rugosité hauteur de profil maximum effectué dans la figure III.7, la fonction d'appartenance pour la première variable d'entrée est donnée comme suit:

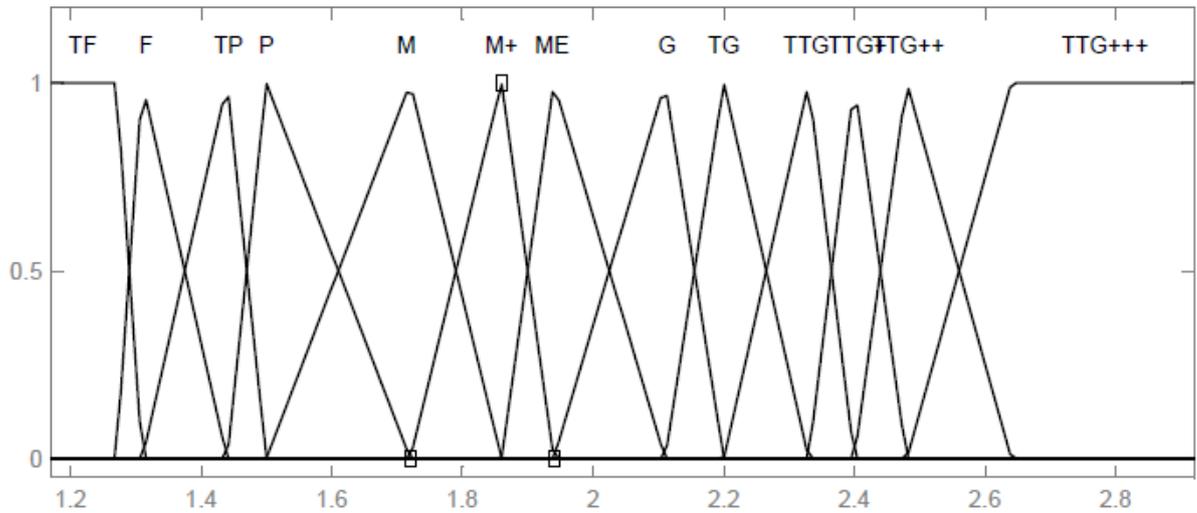


Figure III.13: Fonctions d'appartenances (triangulaires) pour la rugosité hauteur de profil maximum.

b) Utilisation des fonctions d'appartenance trapézoïdales

La fonction d'appartenance trapézoïdale est définie dans un univers du discours limité par les limites de chaque variable. Cette fonction est définie par quatre valeurs

- **Les paramètres d'entrées**

En se basant sur le choix des variables linguistiques pour la vitesse de coupe effectué dans la figure III.2, la fonction d'appartenance pour la première variable d'entrée est donnée comme suit :

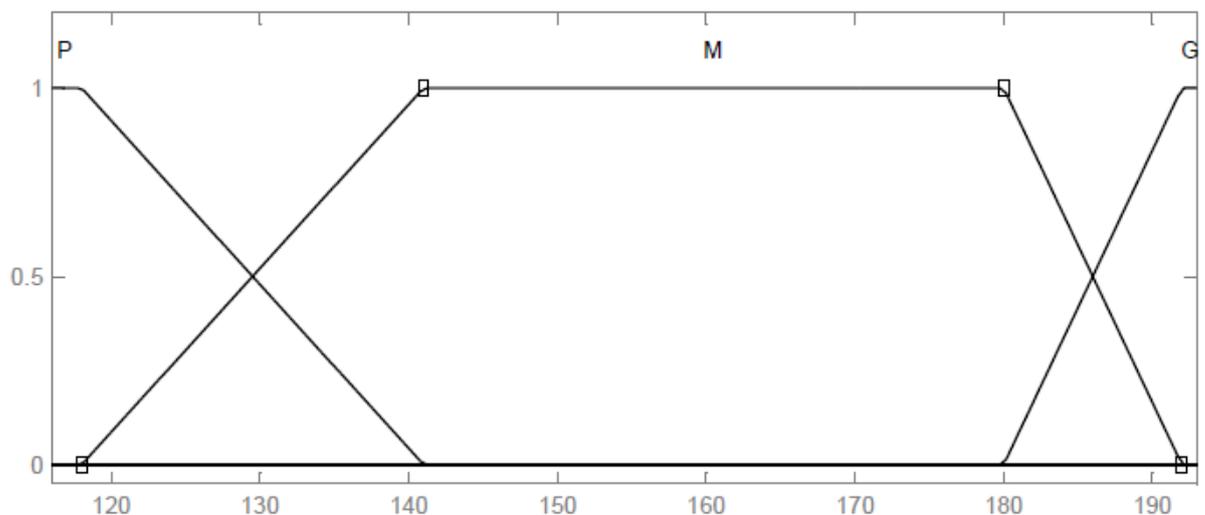


Figure III.14: Fonctions d'appartenances (trapézoïdales) pour la vitesse de coupe.

En se basant sur le choix des variables linguistiques pour la profondeur de passe effectué dans la figure III.4, la fonction d'appartenance pour la première variable d'entrée est donnée comme suit :

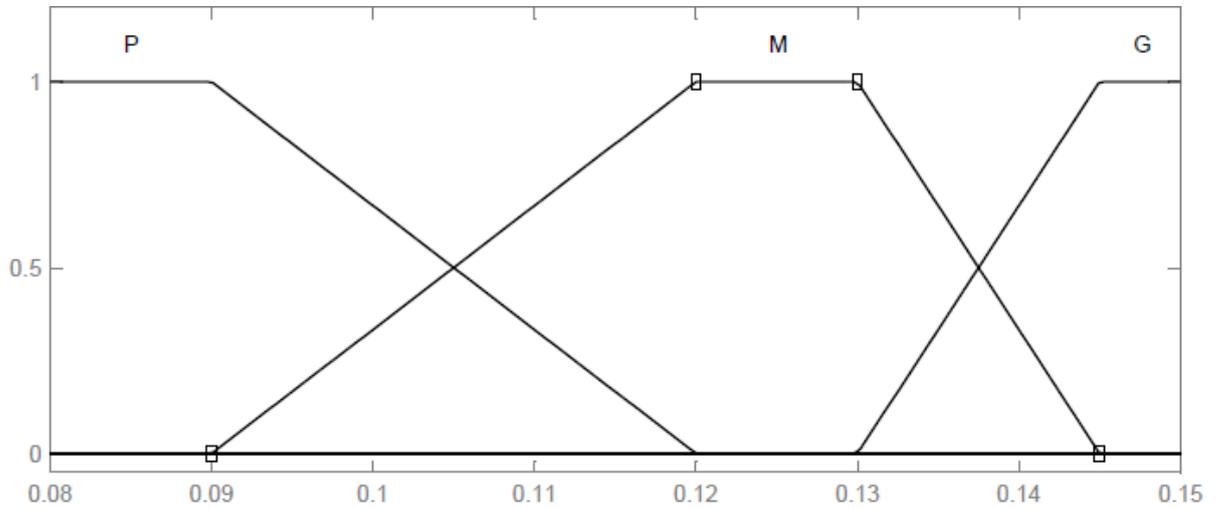


Figure III.15: Fonctions d'appartenances (trapézoïdales) pour l'avance par tour.

En se basant sur le choix des variables linguistiques pour la profondeur de passe effectué dans la figure III.4, la fonction d'appartenance pour la première variable d'entrée est donnée comme suit :

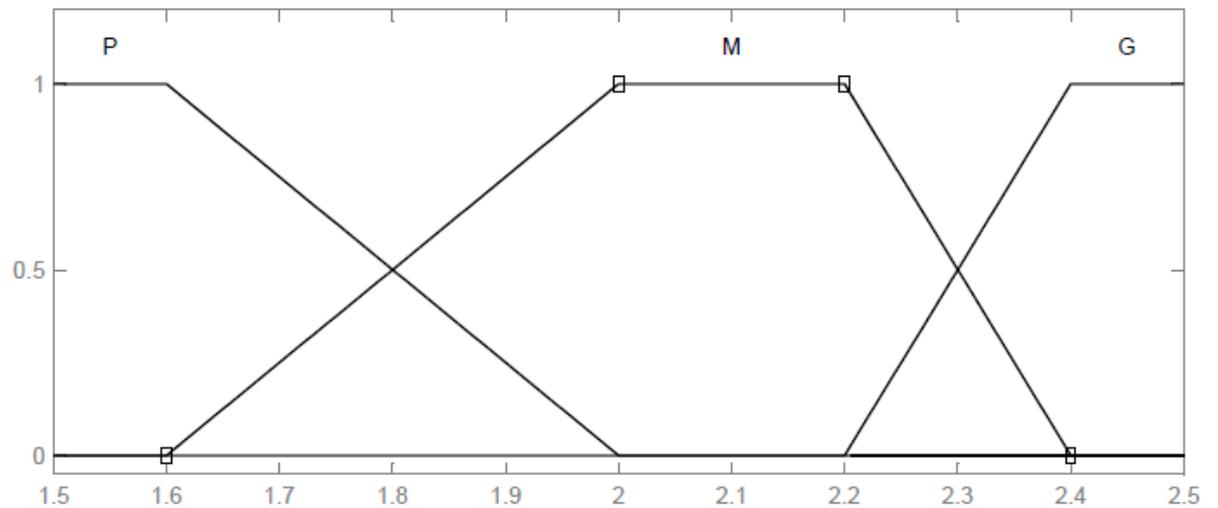


Figure III.16: Fonctions d'appartenances (trapézoïdales) pour la profondeur de passe.

- **Les paramètres de sortie**

La fonction d'appartenance utilisée pour le paramètre de sortie (la rugosité arithmétique, la rugosité hauteur de profil total, la rugosité hauteur de profil maximum) est représentée dans les figures III.17, III.18 et III.19

En se basant sur le choix des variables linguistiques pour la rugosité arithmétique effectué dans la figure III.5, la fonction d'appartenance pour la première variable d'entrée est donnée comme suit :

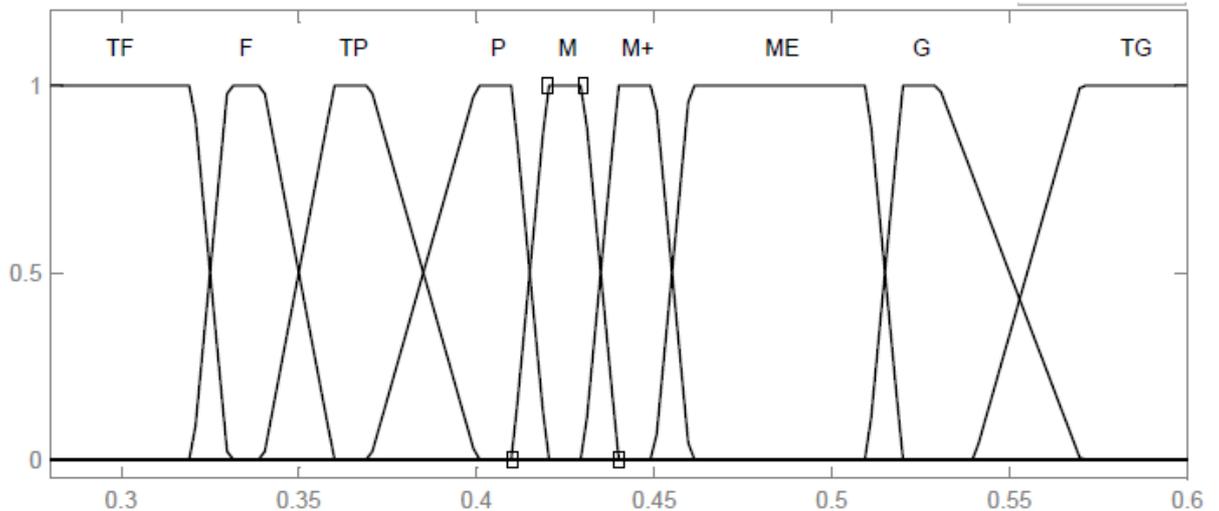


Figure III.17: Fonctions d'appartenance (trapézoïdales) pour la rugosité arithmétique.

En se basant sur le choix des variables linguistiques pour la rugosité hauteur de profil total effectué dans la figure III.6, la fonction d'appartenance pour la première variable d'entrée est donnée comme suit :

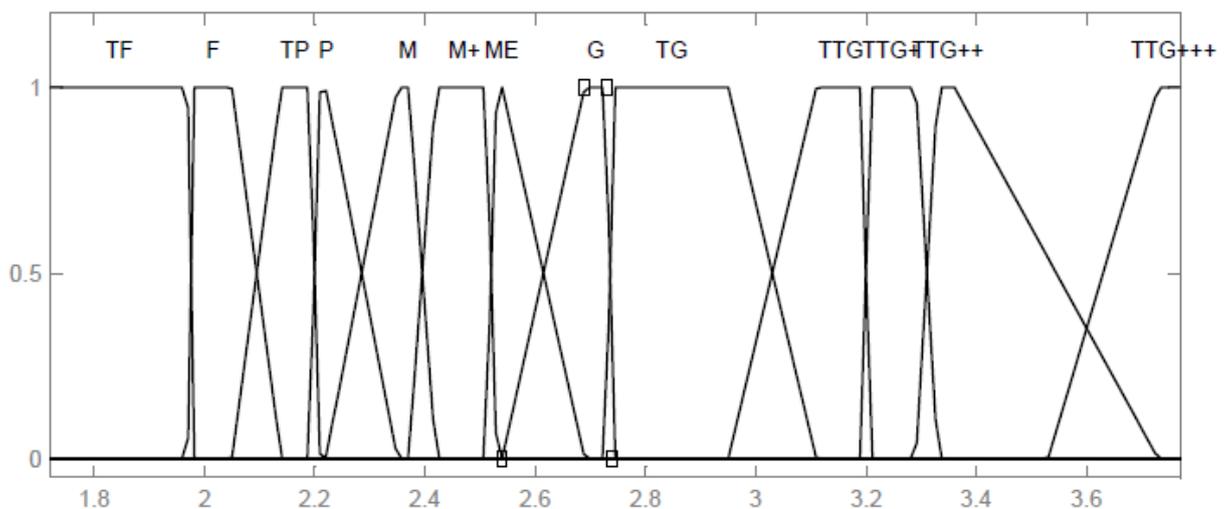
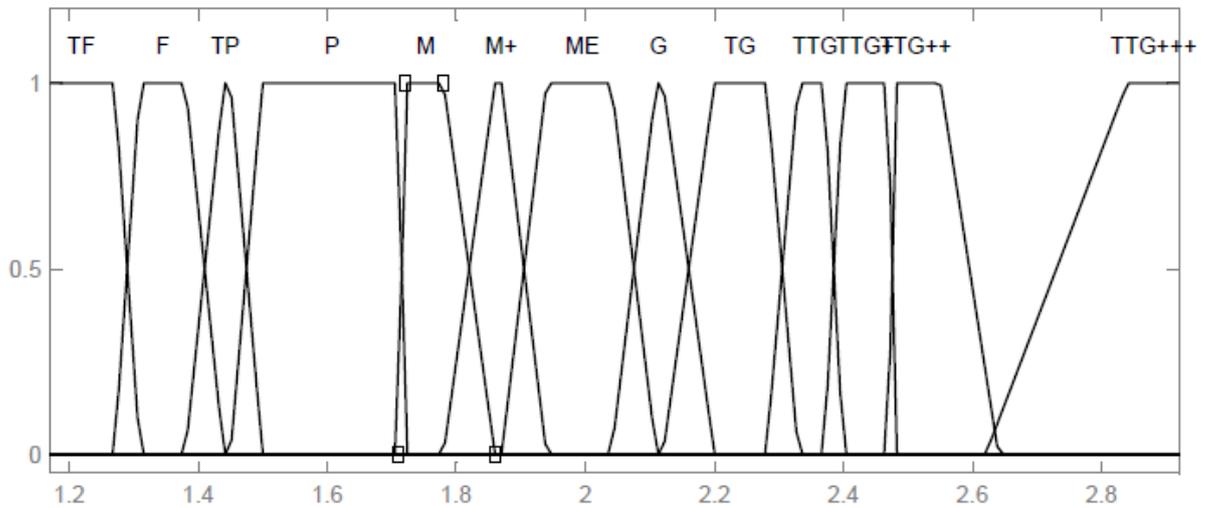


Figure III.18: Fonctions d'appartenance (trapézoïdales) pour la rugosité hauteur de profil total.

En se basant sur le choix des variables linguistiques pour la rugosité hauteur de profil maximum effectué dans la figure III.7, la fonction d'appartenance pour la première variable



d'entrée est donnée comme suit :

Figure III.19: Fonctions d'appartenances (trapézoïdales) pour de la rugosité hauteur de profil maximum.

III.4 Les règles floues

27 valeurs ont été établies en fonction d'une base de données élaboré par Bakkari Lehib et Gherib Hamza sont indiquées dans le tableau III-1. En adhérant au processus de composition maximum-minimum (plan d'expirations) la logique floue de ces règles a produit une sortie floue

Chaque règle prend la forme suivante:

- **Si** $V_{c,f}$ et a_p est (variable linguistique)
- **Alors** R_a, R_t et R_z est (variable linguistique)

L'ensemble de règles floues élaborées sont regroupées dans le tableau ci-dessous:

Tableau III-3: Les règles floues.

Essai	Vc	f	Ap	Ra	Rt	Rz
1	P	P	P	M+	TP	G
2	P	P	M	M+	M+	TG
3	P	P	G	M	G	TTG
4	P	M	P	G	G	TG
5	P	M	M	ME	TTG	TTG+
6	P	M	G	ME	TG	TTG++
7	P	G	P	TG	TTG++	TTG++
8	P	G	M	TG	TTG+++	TTG+++
9	P	G	G	TG	TTG+++	TTG+++
10	M	P	P	F	TP	P
11	M	P	M	TP	M	M+
12	M	P	G	TP	M	M+
13	M	M	P	M	ME	M
14	M	M	M	M	TG	ME
15	M	M	G	M+	TTG+	ME
16	M	G	P	G	TTG	G
17	M	G	M	G	TTG++	TTG
18	M	G	G	G	TTG+	TTG+
19	G	P	P	TF	TF	TF
20	G	P	M	TF	TF	TF
21	G	P	G	F	F	F
22	G	M	P	TF	TF	TF
23	G	M	M	TP	F	F
24	G	M	G	P	P	TP
25	G	G	P	P	P	TP
26	G	G	M	P	ME	P
27	G	G	G	M+	M+	M

III.4.1 Résultats et discussion

Les résultats sont obtenus lors de la défuzzification qui est la dernière étape dans la logique floue. Cette étape consiste à transformer la valeur linguistique issue de régulateur flou en valeur numérique.

III.5 Etude de la précision et de l'erreur du système flou

Les erreurs ont été calculées en mesurant l'écart entre la valeur mesurée et la valeur prédite. Les erreurs peuvent être calculées à l'aide de l'équation III-1. Le pourcentage d'erreurs individuelles a été obtenu en divisant la différence absolue de la prédiction par la valeur de mesure [18].

$$e_i = \left(\frac{|R_{exp} - R_{sim}|}{R_{exp}} \right) \times 100 \quad (\text{III-1})$$

La précision est calculée en trouvant l'approchement de la valeur prédite à la valeur mesurée. Dans l'équation III-2, A est la précision du modèle et N est le nombre total de jeux de données testés. La précision du modèle est la précision individuelle moyenne [18].

$$A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{|R_{exp} - R_{sim}|}{R_{exp}} \right) \times 100 \quad (\text{III-2})$$

Dans notre cas N = 27 essais

L'écart-type est donnée par la relation suivante : [18]

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (R_{sim} - R_{exp})^2} \quad (\text{III-3})$$

R_{sim} = la rugosité prédite.

R_{exp} = la rugosité expérimentale [18].

III.6 Etude Les critères de la rugosité

III.6.1 Comparaison entre les résultats obtenus avec des fonctions d'appartenance trapézoïdales, triangulaires

La comparaison entre les résultats obtenus en utilisant des fonctions d'appartenance triangulaires et les résultats obtenus en utilisant des fonctions d'appartenance trapézoïdales nous a permis de choisir le type de fonctions la plus approprié pour notre problème.

Les tableaux III-4, III-5 et III-6 ci-dessous montre une comparaison directe entre les résultats obtenus avec les deux types de fonctions d'appartenance.

Tableau III-4: Les résultats de la rugosité arithmétique (Ra) obtenus par notre système flou.

Essais	Vc [m/min]	f [mm/tr]	ap [mm]	Ra exp [μ m]	Ra tri	Erreur ei (%)	Précision A (%)	Ra tra	Erreur ei (%)	Précision A (%)
1	116	0.08	1.5	0.46	0,44	4.347	95.652	0.445	3.260	96.739
2	116	0.08	2	0.45	0,44	2.222	97.777	0.445	1.111	98.888
3	116	0.08	2.5	0.43	0,42	2.325	97.674	0.425	1.162	98.837
4	116	0.12	1.5	0.53	0,507	4.339	95.660	0.534	0.754	99.245
5	116	0.12	2	0.51	0,473	7.254	92.745	0.485	4.901	95.098
6	116	0.12	2.5	0.52	0,473	9.038	90.961	0.485	6.730	93.269
7	116	0.15	1.5	0.6	0,579	3.5	96.500	0.577	3.833	96.166
8	116	0.15	2	0.57	0,579	1.578	98.421	0.577	1.228	98.771
9	116	0.15	2.5	0.58	0,579	0.172	99.827	0.577	0.517	99.482
10	141	0.08	1.5	0.36	0,337	6.388	93.611	0.338	6.111	93.888
11	141	0.08	2	0.37	0,363	1.891	98.108	0.368	0.540	99.459
12	141	0.08	2.5	0.4	0,363	9.25	90.750	0.368	8.000	92.000
13	141	0.12	1.5	0.43	0,42	2.325	97.674	0.425	1.162	98.837
14	141	0.12	2	0.44	0,42	4.545	95.454	0.425	3.409	96.590
15	141	0.12	2.5	0.45	0,44	2.222	97.777	0.445	1.111	98.888
16	141	0.15	1.5	0.54	0,507	6.111	93.888	0.534	1.111	98.888
17	141	0.15	2	0.53	0,507	4.339	95.660	0.534	0.754	99.245
18	141	0.15	2.5	0.54	0,507	6.111	93.888	0.534	1.111	98.888
19	193	0.08	1.5	0.28	0,302	7.857	92.142	0.302	7.857	92.142
20	193	0.08	2	0.32	0,302	5.625	94.375	0.302	5.625	94.375
21	193	0.08	2.5	0.34	0,337	0.882	99.117	0.338	0.588	99.411
22	193	0.12	1.5	0.33	0,302	8.484	91.515	0.302	8.484	91.515
23	193	0.12	2	0.4	0,363	9.25	90.750	0.368	8.000	92.000
24	193	0.12	2.5	0.42	0,393	6.428	93.571	0.399	5.000	95.000
25	193	0.15	1.5	0.41	0,393	4.146	95.853	0.399	2.682	97.317
26	193	0.15	2	0.42	0,393	6.428	93.571	0.399	5.000	95.000
27	193	0.15	2.5	0.46	0,44	4.347	95.652	0.445	3.260	96.739
							95.132			96.544

Tableau III-5: Les résultats de la rugosité hauteur de profil total(Rt) obtenus par notre système flu.

Essais	Vc [m/min]	f [mm/tr]	ap [mm]	Rt exp [μ m]	Rt tri	Erreur ei (%)	Précision A (%)	Rt tra	Erreur ei (%)	Précision A (%)
1	116	0.08	1.5	2.21	2.11	4.524	95.475	2.14	3.167	96.832
2	116	0.08	2	2.53	2.43	3.952	96.047	2.46	2.766	97.233
3	116	0.08	2.5	2.74	2.65	3.284	96.715	2.67	2.554	97.445
4	116	0.12	1.5	2.73	2.65	2.930	97.069	2.76	1.098	98.901
5	116	0.12	2	3.19	3.02	5.329	94.670	3.11	2.507	97.492
6	116	0.12	2.5	3.11	2.85	8.360	91.639	2.89	7.073	92.926
7	116	0.15	1.5	3.53	3.36	4.815	95.184	3.45	2.266	97.733
8	116	0.15	2	3.77	3.6	4.509	95.490	3.69	2.122	97.877
9	116	0.15	2.5	3.73	3.6	3.485	96.514	3.69	1.072	98.927
10	141	0.08	1.5	2.19	2.11	3.652	96.347	2.14	2.283	97.716
11	141	0.08	2	2.37	2.33	1.687	98.312	2.33	1.687	98.312
12	141	0.08	2.5	2.42	2.33	3.719	96.280	2.33	3.719	96.280
13	141	0.12	1.5	2.69	2.55	5.204	94.795	2.58	4.089	95.910
14	141	0.12	2	2.95	2.85	3.389	96.610	2.89	2.033	97.966
15	141	0.12	2.5	3.29	3.22	2.127	97.872	3.26	0.911	99.088
16	141	0.15	1.5	3.21	3.02	5.919	94.081	3.11	3.115	96.884
17	141	0.15	2	3.36	3.36	0.000	100.00	3.45	2.678	97.321
18	141	0.15	2.5	3.33	3.22	3.303	96.696	3.26	2.102	97.897
19	193	0.08	1.5	1.72	1.84	6.976	93.023	1.84	6.976	93.023
20	193	0.08	2	1.97	1.84	6.598	93.401	1.84	6.598	93.401
21	193	0.08	2.5	2.05	2.03	0.975	99.024	2.04	0.487	99.512
22	193	0.12	1.5	1.98	1.84	7.070	92.929	1.84	7.070	92.929
23	193	0.12	2	2.14	2.03	5.140	94.859	2.04	4.672	95.327
24	193	0.12	2.5	2.22	2.23	0.450	99.549	2.25	1.351	98.648
25	193	0.15	1.5	2.35	2.23	5.106	94.893	2.25	4.255	95.744
26	193	0.15	2	2.54	2.55	0.393	99.606	2.58	1.574	98.425
27	193	0.15	2.5	2.51	2.43	3.187	96.812	2.46	1.992	98.007
							96.070			96.945

Tableau III-6: Les résultats de la rugosité hauteur de profil maximum (Rz) obtenus par notre système flou.

Essais	Vc [m/min]	f [mm/tr]	ap [mm]	Rz exp [μm]	Rz tri	Erreur ei (%)	Précision A (%)	Rz tra	Erreur ei (%)	Précision A (%)
1	116	0.08	1.5	2.12	2.08	1.886	98.113	2.12	0	100
2	116	0.08	2	2.33	2.21	5.150	94.849	2.23	4.291	95.708
3	116	0.08	2.5	2.37	2.31	2.531	97.468	2.34	1.265	98.734
4	116	0.12	1.5	2.28	2.21	3.070	96.929	2.23	2.192	97.807
5	116	0.12	2	2.48	2.4	3.225	96.774	2.43	2.016	97.983
6	116	0.12	2.5	2.55	2.51	1.568	98.431	2.54	0.392	99.607
7	116	0.15	1.5	2.64	2.51	4.924	95.075	2.54	3.787	96.212
8	116	0.15	2	2.84	2.74	3.521	96.478	2.82	0.704	99.295
9	116	0.15	2.5	2.92	2.74	6.164	93.835	2.82	3.424	96.575
10	141	0.08	1.5	1.71	1.55	9.356	90.643	1.6	6.432	93.567
11	141	0.08	2	1.87	1.84	1.604	98.395	1.86	0.534	99.465
12	141	0.08	2.5	1.94	1.84	5.154	94.845	1.86	4.123	95.876
13	141	0.12	1.5	1.86	1.69	9.139	90.860	1.77	4.838	95.161
14	141	0.12	2	2.04	1.97	3.431	96.568	1.99	2.450	97.549
15	141	0.12	2.5	2.11	1.97	6.635	93.364	1.99	5.687	94.312
16	141	0.15	1.5	2.2	2.08	5.454	94.545	2.12	3.636	96.363
17	141	0.15	2	2.4	2.31	3.750	96.250	2.34	2.500	97.500
18	141	0.15	2.5	2.47	2.4	2.834	97.165	2.43	1.619	98.380
19	193	0.08	1.5	1.17	1.23	5.128	94.871	1.23	5.128	94.871
20	193	0.08	2	1.31	1.23	6.106	93.893	1.23	6.106	93.893
21	193	0.08	2.5	1.38	1.34	2.898	97.101	1.35	2.173	97.826
22	193	0.12	1.5	1.27	1.23	3.149	96.850	1.23	3.149	96.850
23	193	0.12	2	1.44	1.34	6.944	93.055	1.35	6.250	93.750
24	193	0.12	2.5	1.5	1.42	5.333	94.666	1.44	4.000	96.000
25	193	0.15	1.5	1.45	1.42	2.068	97.931	1.44	0.689	99.310
26	193	0.15	2	1.72	1.55	9.883	90.116	1.6	6.976	93.023
27	193	0.15	2.5	1.78	1.69	5.056	94.943	1.77	0.561	99.438
							95.334			96.854

Les Figure III.20, III.21 et III.22 ci-dessous montre une comparaison directe entre les résultats obtenus avec les deux types de fonctions d'appartenance:

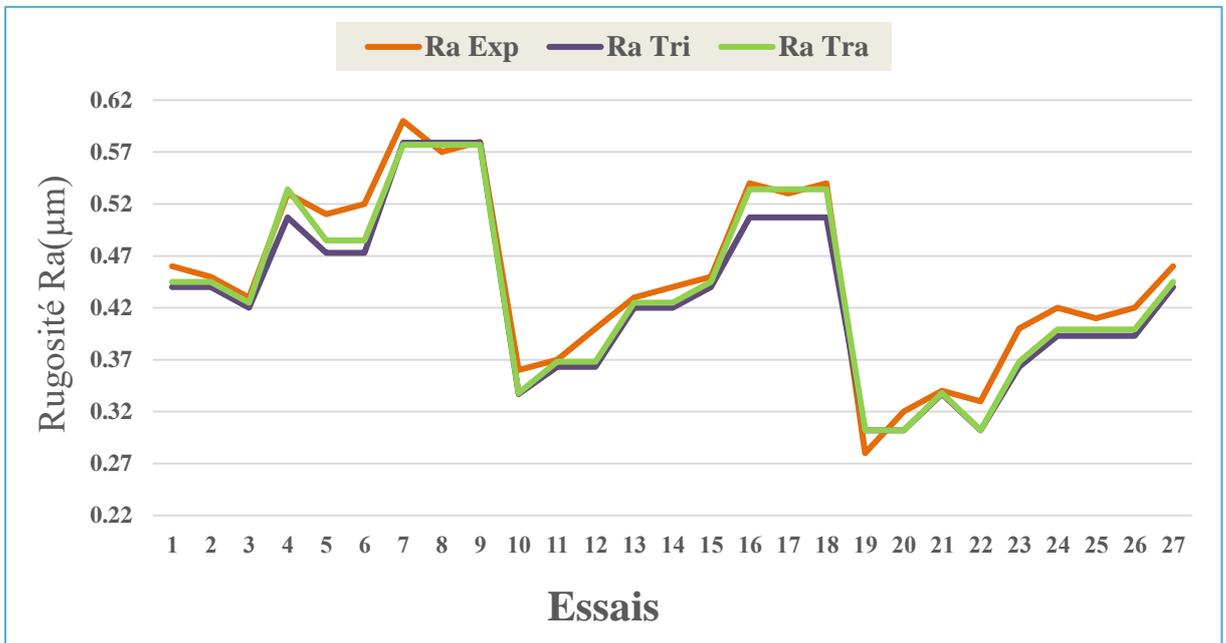


Figure III.20: Variation de la rugosité arithmétique (expérimentale et trapézoïdale, triangulaire) en fonction du nombre d'essais.

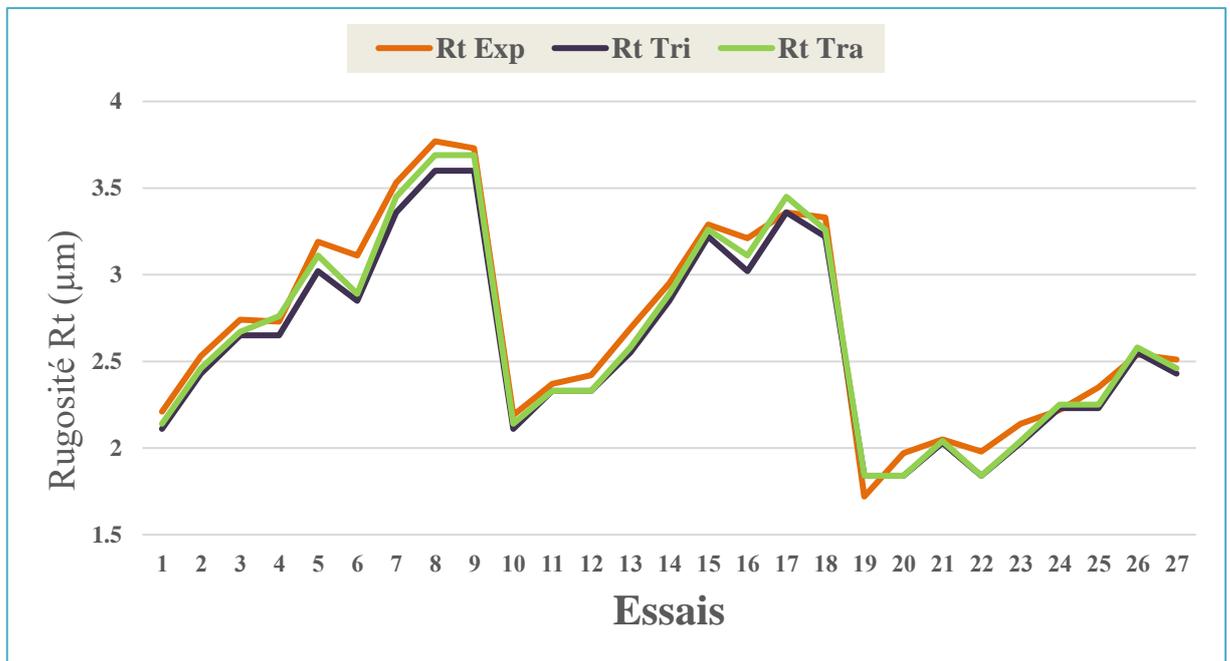


Figure III.21: Variation de la rugosité hauteur de profil total (expérimentale et trapézoïdale, triangulaire) en fonction du nombre d'essais.

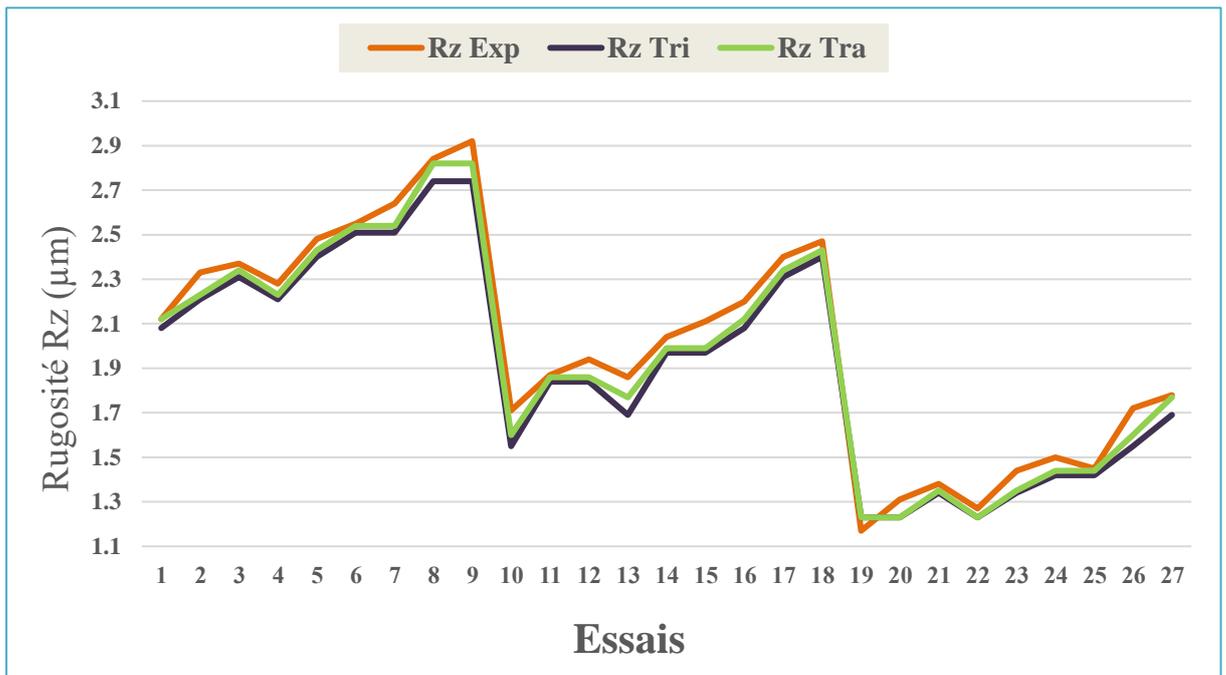


Figure III.22: Variation de la rugosité hauteur de profil maximum (expérimentale et trapézoïdale, triangulaire) en fonction du nombre d'essais.

Les figures III.20, III.21 et III.22 représentent la variation descriptives de la rugosité (expérimentale, trapézoïdale et triangulaire) en fonction du nombre d'essais. Par comparaison on observe que les valeurs de la courbe trapézoïdale sont plus proches des valeurs de la courbe expérimentale.

Les résultats obtenus des écart type valide nos résultats obtenus puisque :

- Pour Ra Tri $\sigma = 0.024$;
- Pour Ra Tra $\sigma = 0.017$;
- Pour Rt Tri $\sigma = 0.120$;
- Pour Rt Tra $\sigma = 0.088$;
- Pour Rz Tri $\sigma = 0.101$;
- Pour Rz Tra $\sigma = 0.069$.

Donc les résultats proches aux résultats expérimentaux sont celles obtenues avec des fonctions d'appartenance trapézoïdale.

III.6.2 Représentation schématique des résultats

Les fonctions obtenues par simulation par logique floue sont représentées dans les figures III.22, III.23 et III.24

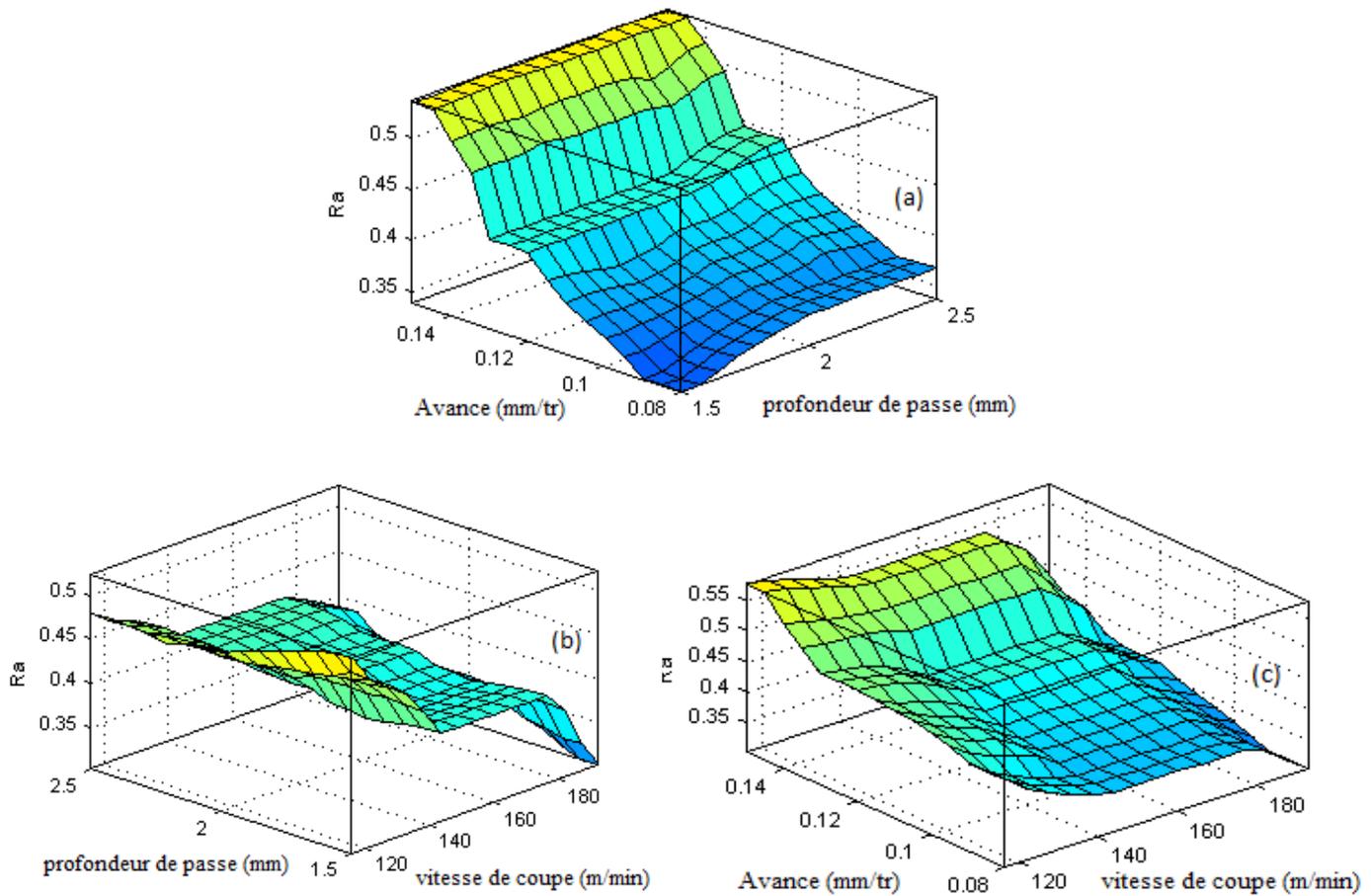
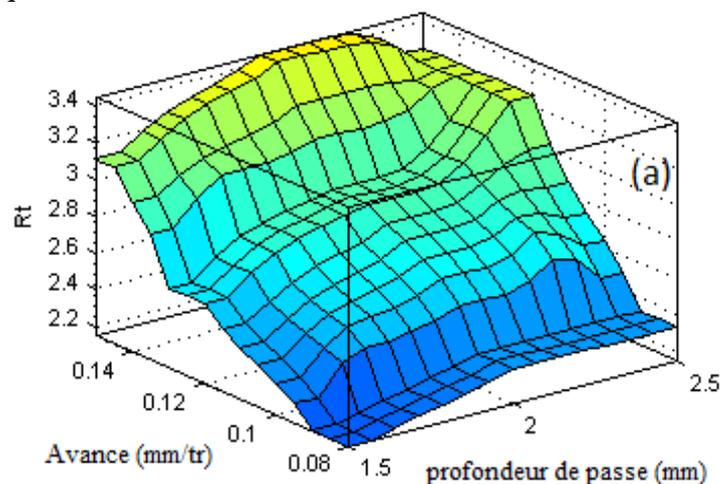


Figure III.23: Variation de la rugosité arithmétique (R_a) prévue par la logique floue en fonction des paramètres de coupe.

Les figures III.22 (a) et III.22 (c) présentent l'influence de l'avance et la profondeur de passe sur la rugosité arithmétique.

On observe une augmentation de la valeur de la rugosité arithmétique en fonction des paramètres mentionner ci-dessus jusqu'à une valeur maximale, tandis que La figure III.22 (b) montre que la vitesse de coupe influe proportionnellement inverse avec l'augmentation de la rugosité arithmétique.



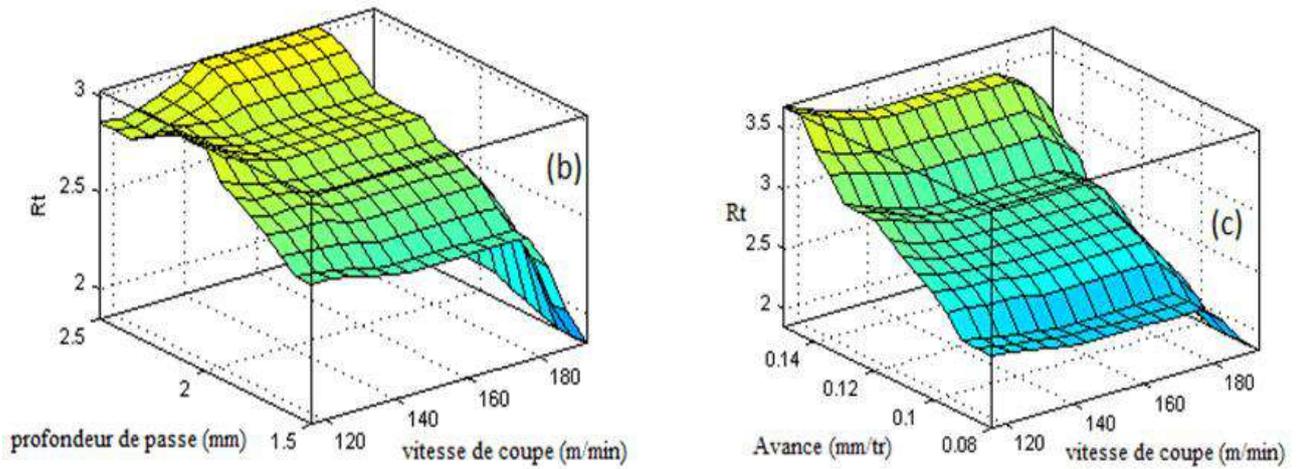


Figure III.24: Variation de la rugosité hauteur de profil total (R_t) prévue par la logique floue en fonction des paramètres de coupe.

On observe une augmentation de la valeur de la rugosité R_t en fonction des paramètres (f, a_p) jusqu'à une valeur maximale, tandis que la vitesse de coupe influence proportionnellement inverse avec l'augmentation de la rugosité hauteur de profil total.

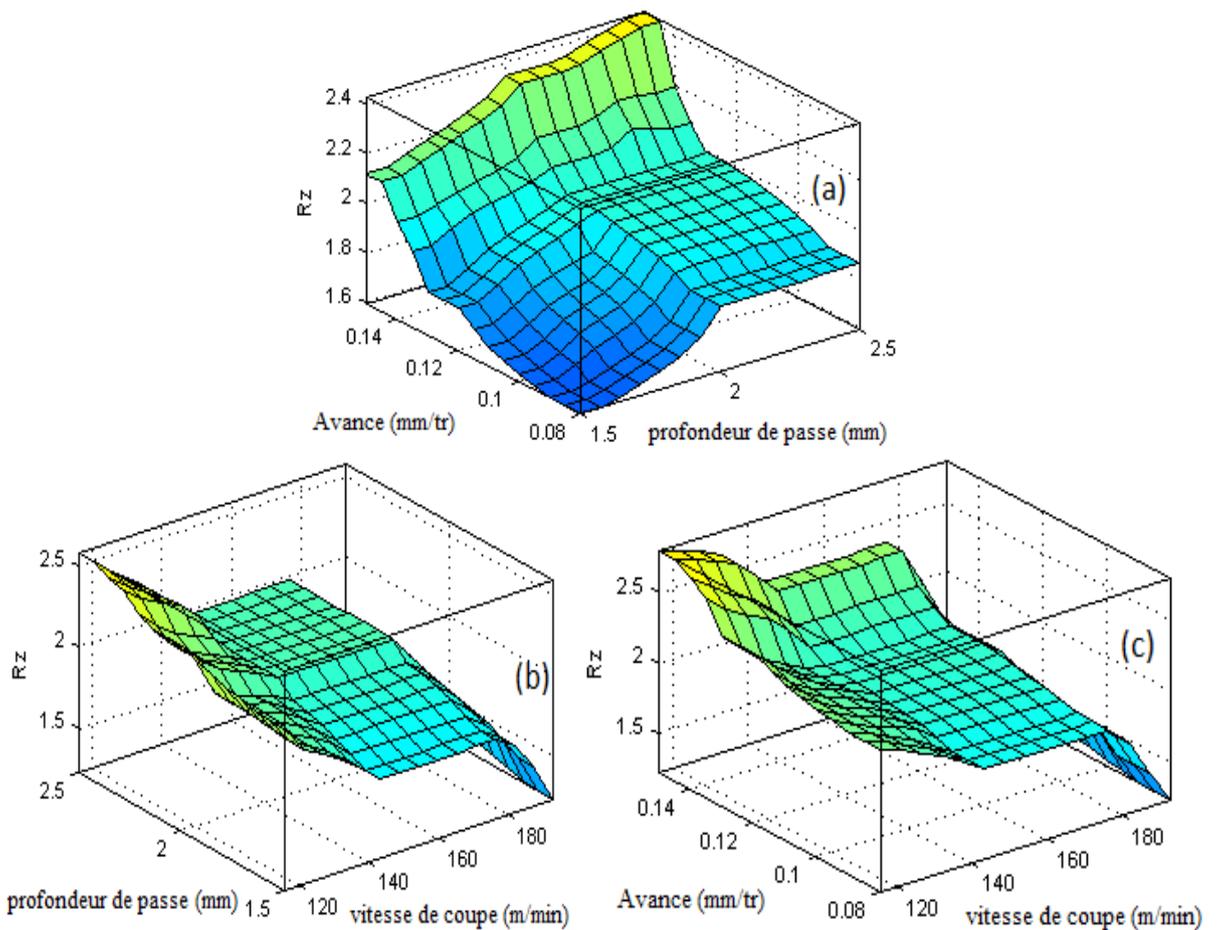


Figure III.25: Variation de la rugosité hauteur de profil maximum (R_z) prévue par la logique floue en fonction des paramètres de coupe.

On observe une augmentation de la valeur de la rugosité hauteur de profil maximum en fonction des paramètres (f, a_p) jusqu'à une valeur maximale, tandis que la vitesse de coupe influence proportionnellement inverse avec l'augmentation de la rugosité hauteur de profil maximum.

Nous remarquons que les paramètres de coupe les plus influents sur la rugosité R_z sont l'avance et la profondeur de passe.

III.7 Validation des résultats

La Figure (III.25) représente une superposition des courbes de la variation des critères de la rugosité (R_a, R_t, R_z): expérimentale et prédite respectivement.

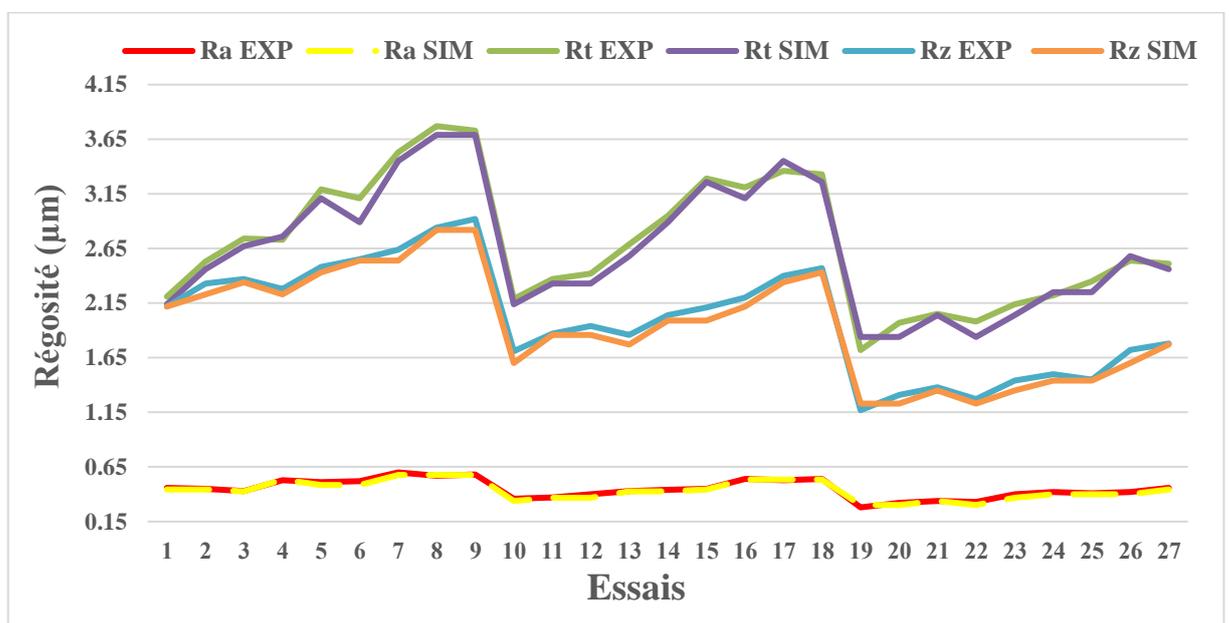


Figure III.26 : Variation des critères de la rugosité R_a, R_t, R_z (expérimentale et simulation) en fonction du nombre d'essais.

Dans le but de vérifier la validité des résultats nous avons calculé le pourcentage d'erreur et déterminé la précision des modules de la logique floue.

Les trois (III.4, III.5, III.6) tableaux suivants présentent les résultats expérimentaux des critères de la rugosité et les valeurs prédites du modèle flou. Les valeurs de pourcentage d'erreurs obtenues dans le modèle flou sont comme suit : (R_a : 3.45%, R_t : 3.04% et R_z : 3.14%) .

Ce résultat nous indique que la prédiction de modèle flou est très proche aux résultats expérimentaux.

Les tableaux (III.4, III.5, III.6) présentent le pourcentage de la précision du modèle flou. la pourcentage de précision (Ra : 96.54%, Rt : 96.95% et Rz : 96.85%) montrent que les modèles proposés peuvent être utilisés avec succès pour prédire les critères de la rugosité.

Le niveau d'erreur faible indique que les résultats prédits par le modèle de la logique floue étaient très proches des résultats expérimentaux réels.

III.8 Conclusion

D'après les résultats obtenus à partir de l'application de la méthode de la logique floue et en se basant sur une base de données élaborée par Bakkari Lehib et Gherib Hamza. Nous avons constaté que la profondeur de passe a_p et l'avance f influent clairement sur les critères de la rugosité.



Conclusion Générale

Conclusion Générale

Dans le présent mémoire, nous avons procédé à l'étude des critères de la rugosité par l'utilisation de la logique floue. Selon les paramètres de coupe (vitesse de coupe, avance par tour, et profondeur de passe) pendant le tournage de l'acier AISI 1045, notre étude est basée sur des données élaborées par Bakkari Lehbib et Gherib Hamza.

Les résultats obtenus ont montré que les paramètres de coupe (avance par tour, profondeur de passe) augmentent proportionnellement avec les critères de la rugosité. Par contre nous avons remarqué que lorsque la vitesse de coupe augmente, les critères de rugosité diminuent.

Cette étude nous a permis de faire une comparaison entre les résultats obtenus en utilisant des fonctions d'appartenance triangulaires et trapézoïdales, est cela pour faire le choix du type de la fonction la plus approprié pour notre problème.

On se basant sur les résultats des écarts types obtenus, les résultats proches aux résultats expérimentaux sont celles obtenues avec des fonctions d'appartenances trapézoïdales.

Après l'examinations du pourcentage de précision des modèles proposés (R_a : 96,54%, R_t : 96,95% et R_z : 96,85%) et sur la base des résultats obtenus, on peut conclure que le modèle flou élaboré peut être utilisés comme méthode alternative pour les études expérimentales, donc dans notre étude on peut considérer le modèle flou comme une méthode efficace et économique pour l'étude des critères de la rugosité pendant le tournage de l'acier AISI 1045.



Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] REMLI Fethi, L'effet d'usinage par tournage sur un acier XC18, THÈSE DE Docteur, Université Mohamed Khider – Biskra 2016.
- [2] Gouasmia-Chaib, mémoire de master Université Kasdi Merbah Ouargla 2017.
- [3] Hicham Chibane, Contribution à l'optimisation multi-objectif des paramètres de coupe en usinage et apport de l'analyse vibratoire Application aux matériaux métalliques et composites, Thèse de doctorat, Université François Rabelais de Tours 2013.
- [4] NECIB Djilani, Contribution à l'optimisation de la durée de vie d'un outil de coupe par l'application d'un champ magnétique, Thèse de doctorat, Université Mentouri Constantine 2011.
- [5] BERGHIDA RIAD, Impact de la signature des outils de coupe sur la variation de la géométrie des pièces mécaniques, Mémoire de magister, Université Mentouri Constantine 2006.
- [6] <https://fr.slideshare.net/LaylaZerhoun/tp-tournage>
- [7] <http://www.larousse.fr/archives/grande-encyclopedie/page/13783>
- [8] <https://www.mmsonline.com/products/steel-turning-grade-increases-tool-lifet>
- [9] SEBBAK Ahmed, Etude cinématique d'une machine-outil à structure parallèle, Mémoire de master Université Kasdi Merbah Ouargla 2013.
- [10] <https://www.commerce-machines-occasion.fr/differents-procedes-tournage-mecanique/>
- [11] http://analyse-fabrication.univ-lille1.fr/co/chapitre_2_4_1_1.html
- [12] Alexandre MONDELIN, Modélisation de l'intégrité des surfaces usinées Application au cas du tournage finition de l'acier inoxydable 15-5PH, THÈSE DE Docteur l'Université de Lyon 2012.
- [13] Les solutions Sandvik Coromant aux problématiques d'états de surface, Antoine SARAZIN – 2010.
- [14] <https://www.equip-prod.com/metrologie/un-nouveau-palpeur-de-rugosite-des-surfaces/>
- [15] <http://www.elcometer.com/de/beschichtungskontrolle/oberflchenreinheit-oberflchenprofil/rauheitsmessgerte/elcometer-7062-marsurf-ps10-rauheitsmessgerat.html>

- [16] Harrouche fateh, Application de la logique floue aux machines tournantes, Mémoire de magister, Université Ferhat Abbas-Setif
- [17] Bensenji Hacene -Zerrouki Khaled, Commande adaptative basée sur l'approximation floue pour une classe de systèmes non linéaires discrets, Mémoire de master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila 2016.
- [18] Arbaoui Mohamed El Hacem -Tebib Asma, Surveillance de la Température de Coupe Pendant le Tournage de l'Acier AISI 1060 en Utilisant la Logique Floue, Mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla 2017.
- [19] Saggai Abd El Moula -Medab Abd El Malek , Commande floue mod glissant application sur le système de grue 3D, Mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla 2017.
- [20] Mokeddem Diab, Contrôle Flou des Processus Biotechnologiques à Base d'Algorithmes Génétiques, Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas De Setif 2010.
- [21] Hamid Ouakka, Contribution à l'Identification et la Commande Floue d'une Classe de Systèmes Non Linéaires, Thèse de doctorat, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah 2009.
- [22] Halloufi Salim-Gheribi Hadjer, Modélisation et Optimisation des Paramètres de Coupe pour Minimiser la Rugosité de Surfaces Usinées en Tournage, Mémoire de master, Université Batna 2017.
- [23] Mohamed Assaad Hamida, Introduction à la commande par logique floue
- [24] Barka Khaled-Boukhris Youcef , Système d'identification biométrique à base d'un modèle flou , Mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla 2015.
- [25] Bakkari Lehibib - Gherib Hamza, Modélisation Des Critères De La Rugosité Par La Méthode De Surface De Réponse En Tournage A Sec, Mémoire De Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2016

Résumé

Dans cette étude nous avons présenté la technique de la logique floue pour étudier les critères de la rugosité en fonction des paramètres de coupe pendant le tournage de l'acier AISI 1045. Nous avons développé un modèle de trois entrées (V_c , f et a_p) et trois sorties (R_a , R_t et R_z). Après la comparaison entre les résultats obtenus en utilisant des fonctions d'appartenance triangulaires et trapézoïdales ; et on se basant sur les résultats des écarts types obtenus, les résultats proches aux résultats expérimentaux sont celles obtenues avec des fonctions d'appartenances trapézoïdales.

Par la comparaison entre les résultats obtenus à partir de la logique floue et les résultats expérimentaux, nous avons trouvé que le pourcentage d'erreur est (R_a : 3.45%, R_t : 3.04%, R_z : 3.14%) ce dernier correspond à un pourcentage de précision de (R_a : 96.54%, R_t : 96.95%, R_z : 96.85%).

Les résultats des tests obtenus ont montré que le modèle floue proposé peut être utilisé pour étudier les critères de la rugosité en tournage de l'acier AISI 1045.

Les mots clés : tournage - les paramètres de coupes - la rugosité - logique flou

Abstract

In this study we presented the fuzzy logic technique to study the roughness criteria according to the cutting parameters during the turning of the AISI 1045 steel. We developed a model of three inputs (V_c , f and a_p) and three outputs (R_a , R_t and R_z).

After comparing the results obtained using triangular and trapezoidal membership functions. And based on the results of standard deviations obtained, the results close to the experimental results are those obtained with trapezoidal membership functions.

By comparing the results obtained from the fuzzy logic and the experimental results, we found that the error percentage is (R_a : 3.45%, R_t : 3.04%, R_z : 3.14%) the latter corresponds to a percentage Accuracy of (R_a : 96.54%, R_t : 96.95%, R_z : 96.85%).

The results of the tests obtained showed that the fuzzy model proposed can be used to study the criteria of the roughness in turning of steel AISI 1045.

Key words: turning - cutting parameters - roughness - fuzzy logic

ملخص

في هذه الدراسة قدمنا تقنية المنطق الضبابي لدراسة معايير خشونة السطح على أساس معلمات القطع أثناء خراط AISI 1045. قمنا بتطوير نموذج من ثلاثة مداخل (V_c , f et a_p) وثلاثة مخارج (R_a , R_t et R_z). بعد مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام وظائف العضوية الثلاثية وشبه المنحرف. وبناءً على نتائج الانحرافات المعيارية التي تم الحصول عليها، فإن النتائج القريبة من النتائج التجريبية هي تلك التي تم الحصول عليها من خلال وظائف عضوية شبه منحرف. وبمقارنة النتائج التي تم الحصول عليها من المنطق الضبابي والنتائج التجريبية، وجدنا أن نسبة الخطأ هي (R_a : 3.45%, R_t : 3.04%, R_z : 3.14%) هذا الأخير يتوافق مع نسبة من الدقة (R_a : 96.54%, R_t : 96.95%, R_z : 96.85%). أظهرت نتائج الاختبارات التي تم الحصول عليها أن النموذج المقترح يمكن استخدامه لدراسة معايير الخشونة في تحويل الصلب AISI 1045.

الكلمات المفتاحية: خراطة - معلمات القطع - خشونة - منطق ضبابي