

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

*Paix - Travail - Patrie*

\*\*\*\*\*

UNIVERSITE DE YAOUNDE I  
ECOLE NORMALE SUPERIEUR  
D'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE  
D'EBOLOWA  
DEPARTEMENT DE GENIE  
MECANIQUE

\*\*\*\*\*



REPUBLIC OF CAMEROUN

*Peace - Work - Fatherland*

\*\*\*\*\*

UNIVERSITY OF YAOUNDE I  
HIGHER TECHNICAL TEACHER  
TRAINING COLLEGE OF  
EBOLOWA  
DEPARTMENT OF  
MECHANICAL  
ENGINEERING

\*\*\*\*\*

**Filière**  
**CONSTRUCTION MECANIQUE**

**DISPOSITIF IN-SITU DE MESURE SURFACIQUE DE  
RUGOSITE ET D'ACQUISITION D'IMAGES SUR  
PIECES FRAISEES**

Mémoire de fin d'étude  
En vue de l'obtention du Diplôme de Professeur d'Enseignement  
Technique et  
Professionnel de 2e grade (DIPET II)

Par : **TOUKAP TAKA Brice Charnel**

Sous la direction de  
**M. NGONGANG Ludovic**  
Enseignant  
**Pr. KANAA Thomas**  
Chef de Département

**Année Académique : 2019 - 2020**



## Dédicace

---

A  
La famille TAKA

## Remerciements

---

L'accomplissement d'un mémoire implique un effort personnel particulier, mais il s'agit d'un travail d'équipe qui implique aussi la participation de divers intervenants. Dans cette page je remercie toutes ces personnes qui ont contribué à l'aboutissement de ce travail.

Je tiens tout d'abord à remercier mon équipe d'encadrement : le superviseur le professeur KANAA Thomas, pour avoir accepté la supervision de nos travaux et pour son suivi permanent ; Mon encadreur monsieur NGONGANG Ludovic, pour ses conseils et son assistance durant ces longs mois de travaux, il a su m'inculquer la rigueur scientifique.

J'exprime aussi toute ma profonde gratitude à l'endroit de madame le directeur, le professeur Salomé NDJAKOMO ESSIANE pour le cadre convivial de notre formation et au personnel enseignant et administratif de l'ENSET d'Ebolowa pour leur encadrement.

Je tiens également à remercier messieurs les membres du jury pour leur collaboration durant l'examen de ce travail et leur participation à la soutenance.

A mes parents, TAKA Augustin et MIPO Laure Gisèle qu'il veuille retrouver ici le témoignage de ma profonde et sincère reconnaissance pour le sacrifice qu'ils consentent à mon égard.

A mes frères : KAMTO Boris, DJOKO Alex, FEUZEU Arnaud, TAKA Arthur et DJAPA Ulrich merci pour votre présence.

Bien entendu, je remercie tous mes camarades de classe qui ont tous contribué, d'une manière ou d'une autre, à la réussite de ce mémoire.

Pour ceux qui n'ont pas trouvé leur nom dans cette liste et qui ont contribué à ce travail, je les en remercie et m'excuse de cet inacceptable oubli.

## Résumé

---

Dans les entreprises du secteur industriel, plus précisément en mécanique, la qualité de l'état de surface est toujours exigée par les clients, conduisant nos technologues à mettre un accent particulier sur le contrôle de la rugosité pendant les usinages. Ceci généralement implique le démontage de la pièce de la machine et son acheminement au poste de métrologie. Après vérification, il est très difficile d'obtenir à nouveau certains critères de mise en position de la pièce démontée. Motivation suffisante pour la conception et la réalisation d'un dispositif permettant d'effectuer la mesure surfacique de rugosité sur site. Aussi, afin de faciliter cette opération par métrologie optique, il a été judicieux de penser au greffage d'un système d'acquisition des images sur ledit dispositif. Pour atteindre cet objectif, le travail a été organisé suivant trois grandes articulations. Une revue de littérature a permis de faire le tour des travaux liés à la surface, son mode d'obtention, ses paramètres, la mesure de rugosité et les conditions d'acquisition d'images des surfaces usinées. L'aspect matériels et méthodes a déployé une présentation exhaustive de tout le matériel mis à contribution et les techniques employées afin de réaliser notre dispositif. En ce qui concerne la mesure surfacique, le protocole de mesure par direction longitudinale et transversale avec un pas  $p=1\text{mm}$  de part et d'autre de la ligne de référence a été implémentée afin d'observer le comportement de la rugosité moyenne par rapport à la référence. L'articulation relative aux résultats a présenté le dispositif constitué en un seul bloc ayant un encombrement de  $320 \times 235 \times 428 \text{ mm}^3$ , qui comporte un système de réglage pour la variation de mesure linéaire afin d'obtenir la mesure surfacique, il (dispositif) possède un système de variation angulaire de  $0^\circ$  à  $180^\circ$  avec un pas angulaire de  $5^\circ$  et un ajustement de distance focale allant de 0 à 80 mm. Ces caractéristiques ont contribué à l'établissement d'une base de données images. Un guide d'utilisation comportant les consignes de sécurité, les étapes de montage et le plan de maintenance du dispositif a été fourni afin d'assurer son utilisation en conditions optimales.

**Mots clés :** Fraisage, Dispositif in-situ, rugosité surfacique, acquisition d'images.

## Abstract

---

In industrial companies and precisely in mechanics, the quality of the surface finish is always required by customers, leading our technologists to put a particular emphasis on controlling roughness during machining. This generally involves dismantling the part on the machine and transporting it to the metrology station. After verification, it is very difficult to again obtain certain criteria for positioning the disassembled part. Sufficient motivation for the design and implementation of a device to perform the surface roughness measurement on site. Also, in order to facilitate this operation by optical metrology, it was wise to think of grafting an image acquisition system on said device. To achieve this objective, the work was organized along three main lines. A literature review made it possible to take a tour of the work related to the surface, its mode of obtaining, its parameters, the roughness measurement and the conditions of acquisition of images of the machined surfaces. The materials and methods aspect deployed an exhaustive presentation of all the equipment used and the techniques used to make our device. With regard to the surface measurement, the measurement protocol by longitudinal and transverse direction with a pitch  $p = 1\text{mm}$  on either side of the reference line was implemented in order to observe the behavior of the average roughness compared to the reference. The articulation relating to the results presented the device constituted in a single block having a size of  $320 \times 235 \times 428 \text{ mm}^3$ , which includes an adjustment system for the variation of linear measurement in order to obtain the surface measurement, it (device) has a system of angular variation from  $0^\circ$  to  $180^\circ$  with an angular step of  $5^\circ$  and an adjustment of focal distance going from 0 to 80 mm. These characteristics have contributed to the establishment of an image database. A user guide containing the safety instructions, the assembly steps and the maintenance plan of the device has been provided to ensure its use in optimal conditions.

**Keywords:** Milling, On-site device, area-based roughness, image acquisition.

## Table des matières

---

Dédicace .....	i
Remerciements .....	ii
Résumé .....	iii
Abstract .....	iv
Table des matières .....	v
Liste des Tableaux .....	viii
Liste des Figures .....	ix
Liste des Symboles et Abréviations .....	xii
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>1</b>
1- Contexte et intérêt de l'étude .....	1
1.1- Contexte de l'étude .....	1
1.2- Intérêt de l'étude .....	1
2- Problème de la recherche .....	2
3- Objectifs de l'étude .....	2
3.1- Objectif général .....	2
3.2- Objectifs spécifiques .....	2
4- Plan de présentation du mémoire .....	3
<b>CHAPITRE 1 : REVUE DE LITTERATURE ET CONCEPTS GENERAUX SUR LA RUGOSITE</b> .....	<b>4</b>
I.1- Les surfaces .....	5
I.1.1- Généralités sur les surfaces .....	5
I.1.2- Différents types de surfaces.....	6
I.1.3- Différents modes d'obtention des pièces mécaniques.....	7
I.2- fraisage .....	8
I.2.1- Généralités sur le fraisage.....	8
I.2.2- Différents types de fraisage.....	8
I.2.3- Mode de travail d'une fraise.....	9
I.3- Etat de surface et Rugosité des surfaces usinées.....	9

I.3.1- Généralités sur l'état de surface et la rugosité.....	9
I.3.2- Irrégularités des surfaces.....	10
I.3.2- Paramètres de surface.....	11
I.4- Mesures de rugosité.....	16
I.4.1- Mesure 2D de rugosité.....	16
I.4.2- Mesure 3D de rugosité.....	18
I.5- Optimisation de la mesure de rugosité.....	20

## **CHAPITRE 2 : ETAT DE L'ART SUR LA METHODOLOGIE DE MESURE IN-SITU DE RUGOSITE** **21**

II.1- Mesure surfacique conventionnelle de rugosité.....	22
II.1.1- Mesure surfacique de rugosité au laboratoire de métrologie.....	22
II.1.2- Mesure surfacique de rugosité sur site.....	26
II.2- Acquisition des images.....	29
II.2.1- Acquisition des images au laboratoire de métrologie.....	29
II.2.2- Acquisition des images sur site.....	33
II.3- Synthèse générale sur la mesure surfacique de rugosité et l'acquisition des images.....	36

## **CHAPITRE 3 : MATERIELS ET METHODES** **42**

PARTIE A - MATERIELS ET CONTRAINTES.....	43
III.1- Matériels des blocs du dispositif.....	43
III.2- Machines-outils.....	43
III.3- Instruments de vérification et de contraintes.....	46
PARTIE B - METHODOLOGIE DE REALISATION DU DISPOSITIF.....	47
III.4- Etude dimensionnelle.....	47
III.5- Etude graphique.....	54
III.6- Etudes de réalisation.....	61
PARTIE C - ETABLISSEMENT DES BASES DE DONNEES PARAMETRES ET IMAGES.....	71
III.7- Base de données de paramètres.....	71
III.8 - Base de Données Images.....	76

## **CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSIONS** **77**

IV.1- Dispositif d'acquisition des données .....	78
IV.1.1- Dispositif in-situ.....	78

IV.1.2- Guide d'utilisation .....	78
IV.1.3- Plan de maintenance .....	81
IV.1.4- Résultats : Mesure surfacique de rugosité sur pièces fraisées.....	82
IV.1.5- Base de données images.....	86
IV.1.6- Interprétation des résultats pris par le rugosimètre.....	86
IV.2- Discussions .....	87
IV.2.1- Avantages et limites du dispositif in-situ .....	87
IV.2.2- Acquisition des données paramètres.....	87
IV.2.3- Acquisition des données images.....	88
IV.3- Coûts estimatifs du dispositif in-situ.....	89
IV.3.1- Estimations du coût de la matière d'œuvre .....	89
IV.3.2- Estimation du coût de production.....	90
IV.3.3- Logistique et transport .....	90
IV.3.4- Estimation du coût de revient du prototype.....	90
<b>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES</b>	<b>93</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>95</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>I</b>
ANNEXE 1 : VALEURS INDICATIVES DES VALEURS DE VITESSE DE COUPE EN FONCTION DU MATERIAU .....	I
ANNEXE 2 : FORMULAIRE DE LA SURFACE ET DU MOMENT QUADRATIQUE.....	II
ANNEXE 3 : SPECTROMETRIE.....	III
ANNEXE 4 : DISPOSITIF EN 3D ET NOM ATTRIBUE.....	VI
ANNEXE 5 : CAHIER DE CHARGE.....	VII



## Liste des Tableaux

---

1.1	Fonctions des surfaces.....	4
1.2	Types de surfaces.....	7
1.3	Rôle des paramètres de rugosité.....	15
2.1	Composition chimique et propriétés mécaniques de l'acier METASCO MC .....	24
2.2	Propriétés physiques et composition chimique du verre sodo-calcique .....	25
2.3	Valeur moyenne des paramètres suivant une décomposition par profil.....	32
2.4	Synthèses sur la mesure conventionnelle au laboratoire de métrologie .....	38
2.5	Synthèses sur la mesure conventionnelle sur site .....	39
2.6	Acquisition des données images au laboratoire de métrologie .....	40
2.7	Acquisition des données image sur site .....	41
3.1	Points forts et limites du dispositif proposé.....	48
3.2	Tableau de détermination des opérations élémentaire.....	64
3.3	Tableau d'association des surfaces élémentaires .....	65
3.4	Tableau d'analyse des surfaces élémentaires .....	65
3.5	Tableau des niveaux d'usinages .....	66
3.6	Tableau de regroupement en phase.....	67
3.7	Avant-projet d'étude de fabrication.....	67
3.8	Contrats de phases 10.....	68
3.9	Contrats de phases 20.....	69
3.10	Contrats de phases 30.....	70
3.11	Contrats de phases 40.....	71
3.12	profil de mesure du Rugosimètre sur le spécimen.....	75
3.13	Caractéristiques de l'ordinateur portable utilisé.....	77
4.1	Taleau des résultats : mesure surfacique de rugosité sur pièces fraisées spécimen 1...82	
4.2	Taleau des résultats : mesure surfacique de rugosité sur pièces fraisées spécimen 2...83	
4.3	Taleau des résultats : mesure surfacique de rugosité sur pièces fraisées spécimen 3...84	
4.4	Estimation du cout de la matière d'œuvre.....	89
4.5	Estimation du cout de production.....	90
4.6	Logistique et transport.....	90

## Liste des Figures

1.1	Etapes de réalisation d'une poulie par moulage [3].....	7
1.2	Schéma de principe du procédé de thermoformage [3].....	7
1.3	Schéma d'obtention d'une pièce par Injection thermoplastique [3].....	8
1.4	Pièce fraisée [3].....	8
1.5	Fraisage en bout .....	8
1.6	Fraisage en roulant [3].....	9
1.7	Fraisage combiné [3].....	9
1.8	Fraisage en opposition [5].....	9
1.9	Fraisage en avalant [5].....	9
1.10	Profil d'une surface rugueuse [6].....	10
1.11	Représentation des différentes irrégularités des surfaces [11].....	11
1.12	Exemple de profil de rugosité [9].....	11
1.13	Hauteur moyenne et écart moyenne des éléments du profil [10].....	13
1.14	Paramètre de rugosité arithmétique liée à la ligne moyenne [13].....	14
1.15	Symbole de base.....	16
1.16	Symbole de rugosité selon la norme (NF E 05-016) [10] .....	16
1.17	Profilomètre [14] .....	17
1.18	Rugosimètre KR 100 [15].....	17
1.19	Schéma de principe de l'AFM [16].....	17
1.20	Comparaison Viso tactile [15].....	18
1.21	Microscope électronique à balayage de l'ÉT [25].....	19
1.22	Principe de la mesure par microscopie confocale [11].....	19
1.23	Microscope à effet tunnel électronique [16].....	19
1.24	Principe de l'ellipsomètre à modulation de phase (adapté de (Benatmane, 2002).....	20
2.1	Station de micro-mesure 3D STIL et Damier mesuré.....	23
2.2	Duromètre ZHU 2.5.....	24
2.3	Variation de la rugosité maximale en fonction de grosseur des grains.....	25
2.4	Variation de $R_t$ en fonction de la vitesse de coupe et de l'avance pour les deux modes de fraisage – acier au carbone – acier au carbone - $p=0,5$ mm.....	26
2.5	Bloc porte Rugosimètre [11].....	27
2.6	Dispositif assemblé.....	28

2.7	Dispositif de test.....	29
2.8	Effet de la hauteur sur l'échelle de gris.....	30
2.9	Effet de l'angle sur l'échelle de gris.....	30
2.10	Topographies d'un échantillon laminé suivant deux angles d'acquisitions, 0° et 90°.....	31
2.11	Images de rugosité R' a du relief illustré à la figure 2.12.....	31
2.12	Représentation schématique de l'acquisition.....	32
2.13	L'image de la texture de surface du spécimen.....	33
2.14	Aciers toutnl 13240.3 surface morphology (sharp and worn-out tool).....	34
2.15	Drilled steel 15230.3 surface morphology (sharp and worn-out tool).....	34
2.16	Bloc porte microscope.....	35
2.17	Dispositif assemblé.....	35
3.1	Perceuse-à-colonne-Silverline-1024x1024.....	43
3.2	Tour horizontale C6150.....	43
3.3	Mortaiseuse ravensburg-s-300 p90117048_2.....	44
3.4	Fraiseuse universelle conventionnelle.....	44
3.5	Outils utilisées en tournage.....	45
3.6	Plaquettes en carbure de tungstène CNMG 1204.....	45
3.7	Fraises 2T .....	45
3.8	Le tourne à gauche METALUVER.....	45
3.9	Outil à tarauder M10 x 150.....	46
3.10	Pied à coulisse.....	46
3.11	Peigne de filetage.....	46
3.12	Jauge de profondeur.....	46
3.13	Marbre.....	46
3.14	Schémas cinématique du dispositif.....	48
3.15	Modélisation des actions mécaniques appliquées à la vis.....	49
3.16	Modélisations des efforts de cohésion.....	49
3.17	Torseurs de cohésion suivant [0 ;126[.....	50
3.18	Torseurs de cohésion suivant [126 ; 253[.....	50
3.19	Diagrammes des efforts tranchants.....	51
3.20	Diagrammes des moments fléchissant.....	51
3.21	Modélisations des actions mécaniques appliquées au support.....	52
3.22	Modélisations des efforts de cohésion.....	52
3.23	Torseurs de cohésion suivant [0 ;126[.....	52

3.24	Torseurs de cohésion [126 ;252]	53
3.25	Diagramme des efforts tranchants	53
3.26	Diagramme des moments fléchissant	53
3.27	Représentation de la chaîne de cote	60
3.28	Graphes de liaison	63
3.29	Fraise 2 T Cylindrique	71
3.30	Fraiseuse universelle	71
3.31	Rugosimètre SRT 6210	72
3.32	protocole de mesure avec le Rugosimètre SRT 6210	73
3.33	Microscope MV-900	76
3.34	Protocole de mesure avec le Microscope MV-900 [28]	77
4.1	Règlomètre MSR.2020	79
4.2	Prise de passe de finition et prélèvement données	79
4.3	graphe d'assemblage aux éléments fonctionnel du dispositif	80
4.4	échantillons d'images de la base de données	86

## Liste des Symboles et Abréviations

<b>LISTE DES SYMBOLES</b>		
<b>SYMBOLE</b>	<b>DEFINITION</b>	<b>UNITE</b>
$V_C$	Vitesse de coupe	m/min
N	Fréquence de rotation	tr/min
$V_f$	Vitesse d'avance	mm/min
f	Avance par tour	mm/tr
$P_P$ ou a	Profondeur de Passe	en mm
Ra	Rugosité arithmétique moyenne	$\mu\text{m}$
Rt	Ecart total, dénivellation la plus importante entre le plus haut sommet d'un pic et le fond le plus bas d'un creux	$\mu\text{m}$
p	Pas de la passe de mesure	mm
Rz	: régularité, c'est la moyenne des écarts totaux de rugosité "Rt" observés sur 5 longueurs	$\mu\text{m}$
E	Module d'Young	Gpa
I (G, z)	Moment quadratique	$\text{mm}^4$
D ou d	Diamètre de la pièce considérée	mm
IT	Intervalle de Tolérance	-
Cf	Cote de fabrication	mm
<b>LISTE DES ABREVIATIONS</b>		
<b>SIGLE</b>	<b>DEFINITION</b>	
ENSET	Ecole Normale Supérieur d'Enseignement Technique	

# INTRODUCTION GENERALE

---

Le but de cette introduction est de présenter le thème qui meublera l'ensemble des travaux de ce mémoire pour cela, il sera question de le situer d'abord dans le contexte de l'étude avant de ressortir le problème de la recherche et les différents objectifs à atteindre.

## 1-CONTEXTE ET INTERET DE L'ETUDE

### 1.1- Contexte de l'étude

Généralement, les entreprises du secteur industriel dans le monde et en particulier au Cameroun sont à la recherche continue du profit. Toutefois, ces industries font face à un souci d'optimisation de l'usinage des pièces mécaniques qui implique toujours le respect des contraintes dimensionnelles et géométriques [20]. C'est l'instar de ce que nous rencontrons le plus souvent dans les entreprises et même dans certains ateliers de fabrication mécanique. Ces dernières se révèlent être plus complexes à respecter. Car, impliquant des expertises plurielles et la manipulation des appareils de hautes précisions. Une contrainte et composante de surface qui attire l'attention des métrologues est bien la rugosité. Elle constitue de façon incontournable un facteur prépondérant d'assemblage et de durabilité des organes en contact pendant le fonctionnement du mécanisme [9]. Plus la valeur de la rugosité est faible, plus il est difficile à obtenir et cela entraîne une augmentation du coût de fabrication. D'autres dans leur système de mesure de paramètres mécaniques actuels, perdent beaucoup de temps qu'il n'en faut par ce qu'ils effectuent la mesure dans un laboratoire de métrologie. La tendance générale étant orientée du côté de la minimisation des coûts de production et sachant que la mesure des valeurs de rugosité s'effectue généralement grâce aux appareils à palpeur à pointe en diamant nommé rugosimètre ou profilomètre et ce, dans un poste de métrologie consommant au passage une main d'œuvre supplémentaire et diminuant la précision du fait du démontage de la pièce ; il convient donc d'œuvrer à diminuer les coûts liés à ce contrôle.

### 1.2- Intérêt de l'étude

Cette étude revêt un grand intérêt car menée à terme, elle permettra :

- Sur le plan industriel de faire un gain en temps en ce qui concerne les mesures des paramètres de rugosité ;
- Dans le cadre des mesures, elle améliorera la précision des mesures de paramètres car les pièces sont mesurées sans démontage ;

- Sur le plan scientifique, ce travail contribuera à l'amélioration des recherches dans le domaine et aussi, il servira de base à d'éventuels travaux de recherche future dans le domaine de la mesure des rugosités ;
- Sur le plan pédagogique, Dispenser un cours de métrologie et assister à la réalisation des pièces pour leur projet de fin de formation.

## **2- PROBLEME DE LA RECHERCHE**

Pour avoir la valeur de la rugosité d'une surface, il faut mesurer avec un rugosimètre. De cette façon pour obtenir une valeur, cela implique plusieurs opérations d'usinage, des démontages et mesures répétitives jusqu'à l'atteinte de la valeur recherchée. Or, lorsqu'on démonte une pièce et on la remonte on n'est plus sûre d'assurer les mêmes mises et maintiens en position. La tâche serait plus facile si on avait un dispositif qui permettait la mesure sur site des différents paramètres ; Dans ce cas il suffirait donc tout simplement qu'après usinage, le rugosimètre soit monter sur le dispositif pour effectuer les mesures jusqu'à atteinte de la valeur désirée.

Donc il est question de répondre à la question : : Comment effectuer sur site la mesure surfacique des paramètres de rugosité sur pièces fraisées et acquérir des images issues des surfaces de ces mêmes pièces sans démontage ?

## **3- OBJECTIFS DE L'ETUDE**

### **3.1- Objectif général**

L'objectif général de ce travail est de concevoir et réaliser un dispositif in-situ qui permettra d'effectuer les mesures linéaire et surfaciques de rugosités sur des pièces fraisées et acquérir des images issues de ces mêmes pièces sans démontage de la pièce.

### **3.2- Objectifs spécifiques**

Dans le but d'atteindre l'objectif général, nous déclinons ainsi qu'il suit les objectifs intermédiaires

- ✓ Assurer le déplacement et graduation du dispositif en translation,  $T_x$ ,  $T_y$ ,  $T_z$  indépendamment de la pièce à mesurer ;
- ✓ Réaliser le système de repérage et de positionnement (blocage) et du palpeur et de la caméra.

## **4- PLAN DE PRESENTATION DU MEMOIRE**

Le présent mémoire est organisé comme suit :

- ✚ Dans le chapitre 1, on introduit les notions nécessaires liées à la compréhension de la problématique traitée dans ce mémoire. Nous présentons en premier, la notion de surface, ensuite, nous abordons les différents modes de fraisage et insistons sur l'état de surface et la rugosité des surfaces usinées, nous parlons également de la mesure de rugosité et finissons par l'optimisation de la mesure de rugosité ;
- ✚ Le chapitre 2, présente une revue de littérature dans laquelle il est essentiellement question de faire une synthèse de certains travaux qui vont nous renseigner sur l'état actuel de la mesure de la rugosité. Pour cela nous organisons le travail en trois grandes parties : tout d'abord nous ferons une synthèse des travaux en accord avec la mesure surfacique conventionnelle de rugosité, ensuite il s'agira des travaux sur l'acquisition des données images pour enfin terminer par une synthèse générale ;
- ✚ Le chapitre 3, renvoie à la présentation de l'ensemble du matériel nécessaire à la réalisation de notre dispositif et les méthodes utilisées pour sa mise en œuvre effective. Ainsi dans cette articulation, la première partie sera réservée au dispositif in-situ de mesure surfacique de rugosité et d'acquisition d'images où seront présentés les matériels et contraintes ainsi que la méthodologie de réalisation du dispositif. La deuxième partie est réservée à l'établissement des protocoles des bases de données paramètres et images ;
- ✚ Enfin au chapitre 4, il est question de présenter les résultats de notre dispositif, des paramètres et images obtenus et d'amorcer une discussion par rapport à ces derniers. La discussion se fera sur la base des résultats présentés dans la revue de littérature.



## Chapitre 1

# REVUE DE LITTÉRATURE ET CONCEPTS GÉNÉRAUX SUR LA RUGOSITÉ

Ce chapitre introduit les notions nécessaires liées à la compréhension de la problématique traitée dans ce mémoire. Nous présenterons en premier, la notion de surface, ensuite, nous aborderons les différents modes de fraisage et insisterons sur l'état de surface et la rugosité des surfaces usinées, nous parlerons également de la mesure de rugosité et finirons par l'optimisation de la mesure de rugosité.

---

I.1- Les surfaces .....	5
I.1.1- Généralités sur les surfaces .....	5
I.1.2- Différents types de surfaces.....	6
I.1.3- Différents modes d'obtention des pièces mécaniques.....	7
I.2- fraisage .....	8
I.2.1- Généralités sur le fraisage.....	8
I.2.2- Différents types de fraisage.....	8
I.2.3- Mode de travail d'une fraise.....	9
I.3- Etat de surface et Rugosité des surfaces usinées.....	9
I.3.1- Généralités sur l'état de surface et la rugosité.....	9
I.3.2- Irrégularités des surfaces.....	10
I.3.2- Paramètres de surface.....	11
I.4- Mesures de rugosité.....	16
I.4.1- Mesure 2D de rugosité.....	16
I.4.2- Mesure 3D de rugosité.....	18
I.5- Optimisation de la mesure de rugosité.....	20

---

## I.1- SURFACE

### I.1.1- Généralité sur la surface

#### a) Définition

D'après le dictionnaire « Larousse » le mot **surface** se définit dans plusieurs contextes et plus précisément dans le contexte des **sciences de l'ingénieur**, on définit le mot **surface** comme étant : « un ensemble des points, limite ou frontière d'une portion d'espace ». Dans un langage plus technique il peut être définie comme la limite extérieur d'un corps.

#### b) Rôle et fonctions d'une surface

Le rôle fonctionnel d'une surface dépend d'un certain nombre de facteurs, notamment de l'état de surface (étanchéité, glissement, etc.) [1]. La surface fonctionnelle d'une pièce peut remplir 16 fonctions.

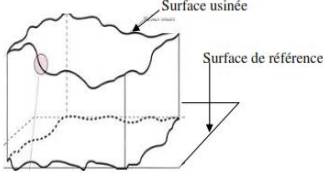
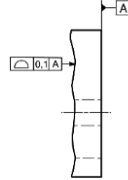
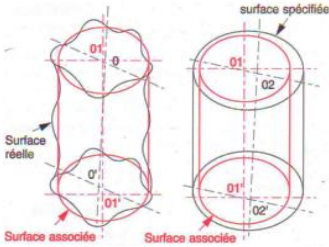
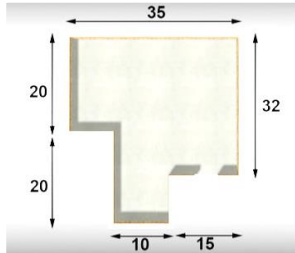

Tableau 1.1 : fonctions des surfaces (source BOUREBIA [1], adapté par nos soins)

	Nature ou fonction de la surface	Abréviations
Surface de contact avec une autre pièce	Frottement de glissement lubrifié	FG
	Frottement à sec	FS
	Frottement de roulement	FR
	Frottement fluide	FF
	Résistance au matage	RM
	Étanchéité dynamique avec ou sans joint	ED
	Étanchéité statique avec ou sans joint	ES
	Ajustement fixe avec contrainte	AC
	Adhérence, collage	AD
Surface libre, indépendante	Générée par la coupe d'un outil	OC
	Résistance aux efforts alternés	EA
	Résistance à la corrosion	RC
	Destinée à recevoir un revêtement, peinture	RE
	Destinée à recevoir un dépôt électrolytique	DE
	Mesure, aspect	ME, AS

### I.1.2- Différents types de surfaces

Il existe différent type de surface que l'on peut classifier dans un tableau comme suit :

**Tableau 1.2 :** types de surfaces (source BOUREBIA [1], Y. SCHOEFS [2], adapté par nos soins)

Types de surface	Définition	Illustrations
<p><b>Surface de référence</b></p>	<p>C'est une surface particulière qui permet de définir ou de contrôler d'autres surfaces</p>	 <p>The diagram shows a 3D view of a milled surface with a wavy top. A dashed line indicates the 'Surface usinée' (milled surface), and a solid line indicates the 'Surface de référence' (reference surface).</p>
<p><b>Surfaces spécifiées</b></p>	<p>Surface parfaite sur le dessin de définition, elle est définie géométriquement par le bureau d'études à l'aide de cotes nominales</p>	 <p>The diagram shows a technical drawing of a surface with a specification symbol: a triangle containing the text '0.1A' and a feature control frame 'A'.</p>
<p><b>Surface associée</b></p>	<p>C'est la surface théorique représentant au mieux la surface réellement fabriquée. Elle est de même nature que la surface nominale ou spécifiée</p>	 <p>The diagram compares a 'Surface réelle' (real surface) with a 'Surface associée' (associated surface). The real surface is shown as a rough, irregular shape, while the associated surface is a smooth, theoretical shape that best approximates the real one. Labels include 'Surface réelle', 'Surface associée', and 'surface spécifiée'.</p>
<p><b>Surface mesurée</b></p>	<p>Surface déterminée à l'aide des instruments de mesure à partir de la surface réelle. La surface mesurée, résultant de l'exploration de la surface réelle devra être l'image la plus rapprochée</p>	 <p>The diagram shows a 2D view of a stepped part with dimensions: 35, 20, 20, 10, 15, and 32. The surface is highlighted in yellow, representing the measured surface.</p>
<p><b>Surface réelle</b></p>	<p>Surface obtenue au cours de la fabrication</p>	 <p>The diagram shows a 3D view of a milled part with a wavy top. A dashed line indicates the 'Surface réelle fabriquée' (real manufactured surface), and a solid line indicates the 'Surface réelle' (real surface).</p>

### I.1.3- Différents modes d'obtention des pièces mécaniques

Il existe deux grands modes d'obtention des pièces mécaniques :

- Les mises en forme ;
- Les usinages.

#### a) Les mises en forme

##### - Moulage

Le moulage permet d'obtenir des pièces complexes en coulant du métal en fusion dans un moule [3]. Nous pouvons prendre comme exemple la fabrication d'une poulie. La fabrication d'une poulie se fait à l'aide d'un moule en 3 parties.

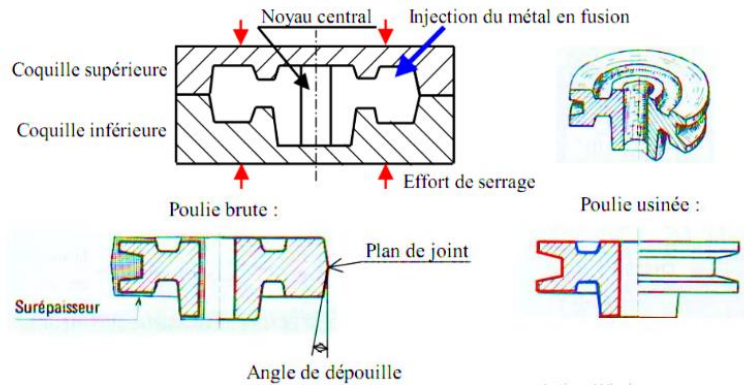


Figure 1.2: étapes de réalisation d'une poulie par moulage [3]

Une fois démoulée, la poulie est brute et **rugueuse** (surface bleue), il faut usiner les surfaces fonctionnelles (surfaces rouges).

##### - Thermoformage des thermoplastiques

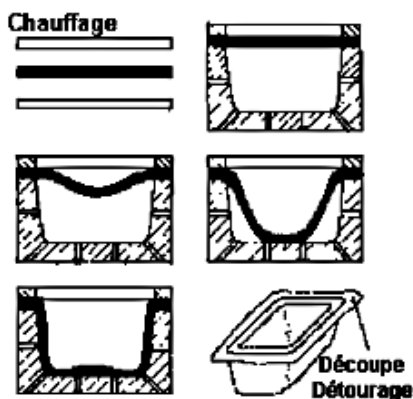


Figure 1.2: schéma de principe du procédé de thermoformage [3]

Le principe du thermoformage consiste à utiliser la pression atmosphérique pour déformer une plaque de thermoplastique suffisamment souple (état obtenu par chauffage).

La plaque est tout d'abord chauffée, puis elle est transférée au-dessus d'un moule et fixée par des serre-flans. On réalise le vide entre la plaque et le moule ; sous l'action de la pression atmosphérique, la plaque se déforme et vient épouser la forme du moule.

Une fois la plaque refroidie, on la démoule. Si nécessaire, on détourne la pièce, c'est-à-dire qu'on retire la bande autour de la pièce qui a servi au maintien de la plaque.

##### - Injection des thermoplastiques

Composition d'une presse d'injection plastique : les granulés de plastique, une fois fondus, sont introduits en force dans le moule.

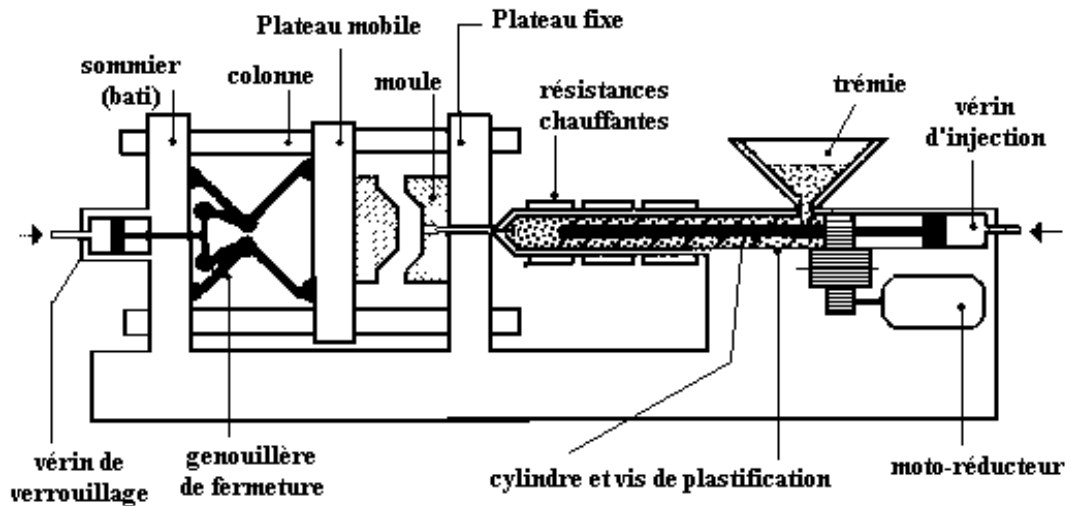


Figure 1.3 : schéma d'obtention d'une pièce par Injection thermoplastique [3]

## b) Usinage

Il existe généralement deux grands modes d'usinage les plus utilisés en fabrication mécanique : le tournage et le fraisage. Ce pendant nous allons nous appesantir sur le fraisage par la suite.

## I.2 - FRAISAGE

### I.2.1- Généralités sur le fraisage

La fraiseuse est une machine-outil permettant de réaliser des opérations d'usinage à l'aide d'une fraise. Elle peut également être équipée d'un foret, de taraud ou d'alésoir pour réaliser des opérations de perçage et taraudage.

Le fraisage est une technique d'usinage qui consiste à enlever, à l'aide d'un outil coupant appelé fraise de la matière sur une pièce initiale pour obtenir une pièce finale. La fraise est munie de dents et est de forme variable.

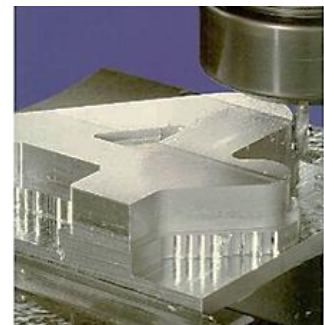


Figure 1.4: pièce fraisée [3]

Une pièce fraisée comporte des surfaces planes ou des contours ayant un très bon état de surface. Le fraisage étant notre domaine d'étude, par la suite nous insisterons sur les types et opération de fraisage

### I.2.2- Différents types de fraisage

#### a) Fraisage de face (ou en bout)

La surface usinée est obtenue en travail enveloppe par la denture du bout de la fraise. On utilise généralement une fraise 2 Tailles pour ce genre d'opérations. Cela permet de faire des épaulements et certaines opérations de contournage.

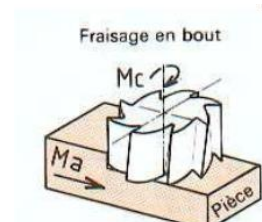


Figure 1.5 : fraisage en bout

### b) Fraisage de profil (ou roulant)

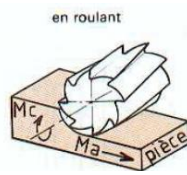


Figure 1.6: fraisage en roulant [3]

La surface usinée est obtenue en travail de forme par la denture latérale de la fraise. Nous pouvons obtenir des formes arrondies et des surfaces planes. Pour ce type d'usinage, la surface à réaliser est parallèle à l'axe de la fraise, elle est réalisée par une génératrice de coupe.

### c) Fraisage combiné à prédominance de face

La surface usinée est obtenue par l'usinage simultané de deux surfaces dont l'une est faite en fraisage de face et l'autre en profil. Le choix de la prédominance est fonction de plusieurs critères : possibilité de l'outillage ; accessibilité des surfaces ...

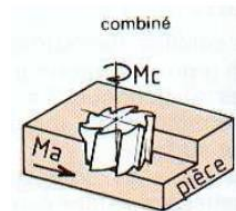


Figure 1.7 : fraisage combiné [3]

## I.2.3- Mode de travail d'une fraise

### ➤ Fraisage en opposition

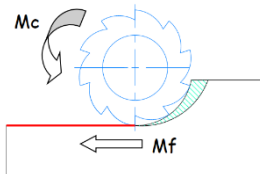


Figure 1.8: fraisage en opposition [5]

L'attaque d'une dent se fait sur une épaisseur de copeau nulle. Donc pas de choc. En début de coupe, il peut y avoir un refus de coupe (copeau minimum), donc un mauvais état de surface.

Le mouvement d'avance  $M_f$  de la pièce et le mouvement de coupe  $M_c$  de la fraise sont dans la zone de fraisage, sens contraire.

Ce procédé est utilisé uniquement sur les fraiseuses conventionnelles.

### ➤ Fraisage en concordance ou en avalant

L'attaque se fait sur un copeau épais donc un bon état de surface. Les dents attaquent directement sur une grande largeur de copeau ce qui occasionne des chocs répétés, donc une usure de l'outil.

Le mouvement d'avance  $M_f$  de la pièce et le mouvement de coupe  $M_c$  de la fraise sont dans la zone de fraisage, de même sens.

Ce procédé est utilisé uniquement sur les machines-outils à commande numérique.

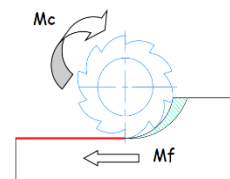


Figure 1.9: fraisage en avalant [5]

## I.3- ETAT DE SURFACE ET RUGOSITE DES SURFACES USINEES.

### I.3.1- Généralités sur l'état de surface et la rugosité

Avant les années 90, les seuls instruments d'exploration du relief des matériaux à une échelle micrométrique étaient les palpeurs mécaniques : ils permettaient d'acquérir des profils de surfaces sur lesquels étaient quantifiés les écarts de profils de relief (ou rugosité) [7].

Certains chercheurs ont étudié et analysé différentes stratégies de finition pour évaluer leur influence sur la rugosité. Parmi eux, Ramos et Relvas [8] qui ont analysé différentes stratégies de fraisage de finition pour une surface concave et une surface convexe. La qualité d'usinage a été évaluée par la comparaison de la rugosité et de la texture extérieure.

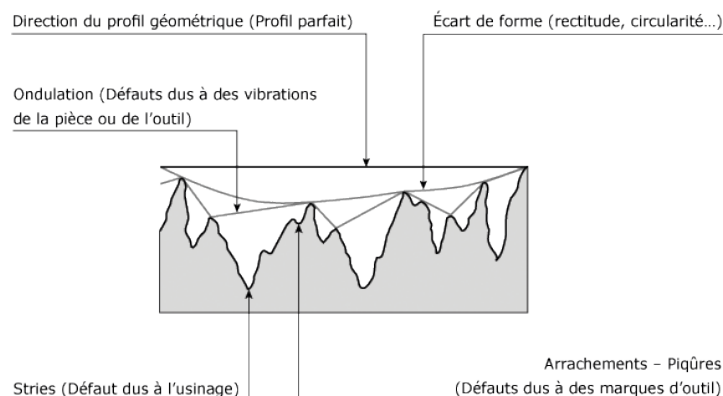


Figure 1.10: profil d'une surface rugueuse [6]

Pour des paramètres de coupe constants trois stratégies de fraisage typiques ont été étudiées : radiale, raster et 3D offset et la stratégie 3D offset était la plus appropriée. Choy et Chan [8], proposent des stratégies d'usinage de coin, le fraisage de poche a été présenté. Le principe pour améliorer la trajectoire de l'outil est d'enlever le matériau faisant le coin progressivement en employant un mouvement qui fait une boucle simple ou double, créant ainsi une trajectoire d'outil pour un meilleur fini de surface. En plus des stratégies de coupe et de l'orientation de l'outil, la vitesse de coupe, la vitesse d'avance et la profondeur de passe peuvent aussi influencer la qualité de la surface générée par fraisage. Il est intéressant d'appréhender la notion de rugosité des surfaces par le biais de l'analyse fréquentielle. Dans ce contexte, une surface usinée peut s'interpréter comme étant la superposition de plusieurs longueurs d'onde de rugosité, dont les amplitudes sont intimement liées aux processus qui sous-tendent la fabrication de la surface [9].

La terminologie et les définitions indiquées dans ce paragraphe sont extraites ou reprises, en grande partie, de la norme NF ISO 4287 (Etats de surface : méthode du profil...). La plupart des paramètres ou critères définis sont liés à la ligne moyenne [10].

### I.3.2- Les irrégularités des surfaces

Il existe 4 ordres pour caractériser l'état de surface, plus l'ordre évolue dans l'ordre croissant alors plus les défauts étudiés sont petits [11].

- Écart de forme (échelle macroscopique) : défaut de planéité, de rectitude, de circularité ;

- Ondulation (échelle macroscopique) : l'écart entre les crêtes est compris entre 0,5 et 2,5mm ;
- Stries et sillons (défauts périodiques ou pseudopériodiques, échelle microscopique) l'écart entre les crêtes est inférieur ou égal à 0,5 mm ;
- Défauts localisés (échelle microscopique) : marque d'outil, arrachement, fente, piquêre.

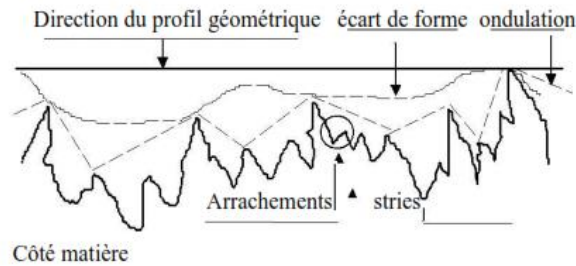


Figure 1.11: Représentation des différentes irrégularités des surfaces [11]

L'irrégularité n°3 renvoie à la notion de rugosité qui est le terme central de notre étude.

### I.3.3- Paramètre de surface

La rugosité d'une surface désigne les aspérités et variations d'altitude qui distinguent cette surface d'une surface totalement lisse. Un certain nombre de critères de rugosité standards sont reconnus internationalement par une norme ISO. Ces paramètres de caractérisation sont généralement obtenus à partir de profils, c'est à dire d'un ensemble de valeurs représentant l'altitude d'une surface selon une droite. Néanmoins, les progrès réalisés en termes d'acquisition et de traitement des données conduisent de plus en plus à considérer des paramètres surfaciques extraits à partir d'une représentation fournissant des altitudes sur une carte bidimensionnelle [9].

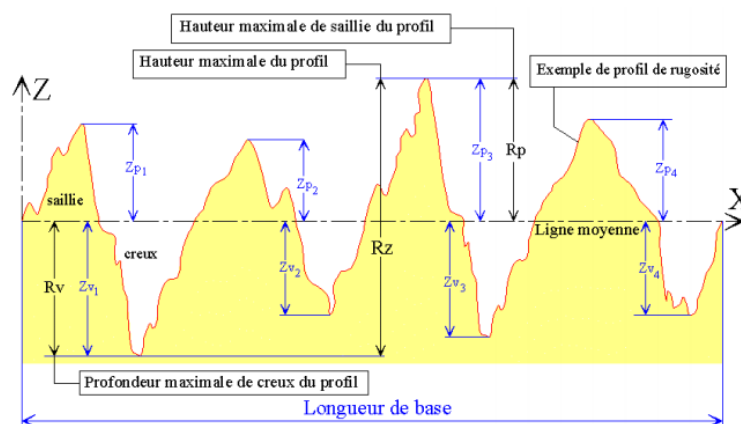


Figure 1.12: exemple de profil de rugosité [9]



- **Hauteur maximale de saillie du profil ( $P_p$ ,  $R_p$ ,  $W_p$ )** : elle correspond à la plus grande des hauteurs de saillie du profil,  $Z_p$ , à l'intérieur d'une longueur de base.  $P_p$  pour le profil primaire,  $R_p$  pour le profil de rugosité et  $W_p$  pour le profil d'ondulation. Figure 1.13 ;
- **Profondeur maximale de creux du profil ( $P_v$ ,  $R_v$ ,  $W_v$ )** : elle est égale à la plus grande des profondeurs de creux du profil,  $Z_v$ , à l'intérieur d'une longueur de base.  $P_v$  pour le profil primaire,  $R_v$  pour le profil de rugosité et  $W_v$  pour le profil d'ondulation. Figure 1.13 ;
- **Hauteur maximale du profil ( $P_z$ ,  $R_z$ ,  $W_z$ )** : elle est égale à la somme de la plus grande des hauteurs de saillie du profil,  $Z_p$ , et de la plus grande profondeur de creux du profil,  $Z_v$ , à l'intérieur d'une longueur de base.

Par exemple :  $R_z = R_p + R_v$ .

$P_z$  pour le profil primaire,  $R_z$  pour le profil de rugosité et  $W_z$  pour le profil d'ondulation

- **Hauteur moyenne des éléments du profil ( $P_c$ ,  $R_c$ ,  $W_c$ )** : c'est la valeur moyenne des hauteurs des éléments du profil (saillie + creux successifs),  $Z_t$ , à l'intérieur d'une longueur de base.  $P_c$  pour le profil primaire,  $R_c$  pour le profil de rugosité et  $W_c$  pour le profil d'ondulation ;
- **Hauteur totale du profil ( $P_t$ ,  $R_t$ ,  $W_t$ )** : somme de la plus grande des hauteurs de saillie du profil,  $Z_p$ , et de la plus grande des profondeurs de creux,  $Z_v$ , à l'intérieur de la longueur d'évaluation.  $P_t$  pour le profil primaire,  $R_t$  pour le profil de rugosité et  $W_t$  pour le profil d'ondulation. Remarque :  $P_t$ ,  $R_t$  et  $W_t$  sont définis sur la longueur d'évaluation alors que  $P_z$ ,  $R_z$  et  $W_z$  le sont sur la longueur de base. Pour tout profil :  $P_t \geq P_z$  ;  $R_t \geq R_z$  ;  $W_t \geq W_z$  ;
- **Ecart moyen arithmétique du profil évalué ( $P_a$ ,  $R_a$ ,  $W_a$ )** : il correspond à la moyenne arithmétique des valeurs absolues des ordonnées  $Z(x)$  à l'intérieur d'une longueur de base.

$$P_a, R_a \text{ ou } W_a = \frac{1}{L} \int_0^L |Z(x)| dx \quad \text{Avec } L = l_p, l_r \text{ ou } l_w \text{ suivant le cas}$$

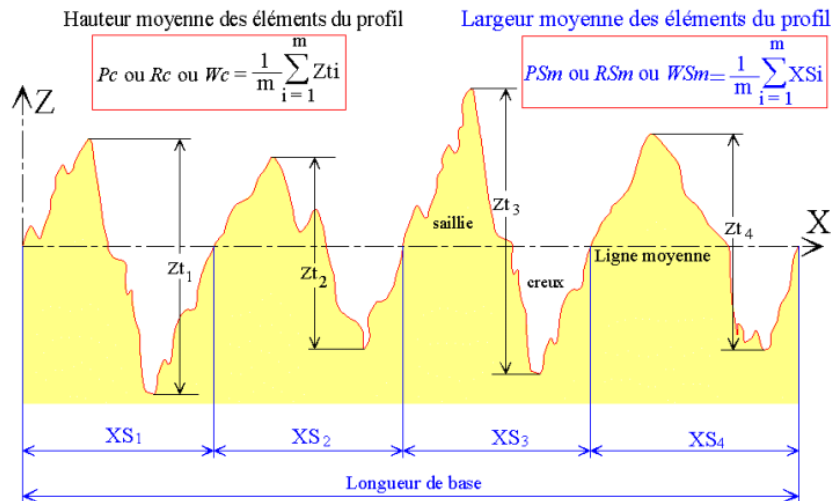


Figure 1.13: hauteur moyenne et écart moyenne des éléments du profil [10].

Aujourd'hui, les paramètres d'état de surface sont définis dans une poignée de normes internationales qui ont parfois de variantes nationales sous la forme de normes sectorielles (ex : l'automobile ou la sidérurgie). Les paramètres d'état de surface utilisés en profilométrie sont séparés en trois groupes selon le type de profil : les paramètres (de préfixe) P qui sont calculés sur le **profil primaire** ; les paramètres R qui sont calculés sur le **profil de rugosité** ; et les paramètres W qui sont calculés sur le **profil d'ondulation** [12].

La rugosité est un domaine d'étude minutieux qui demande une finesse et beaucoup de concentration. Nous l'observons habituellement dans les usinages, la topographie, et bien d'autres... nous allons nous tourner vers l'usinage pour voir ces caractéristiques

- **Rugosité en usinage**

**État de surface** : indice de rugosité

L'aptitude d'une pièce à une fonction donnée dépend d'un ensemble de conditions notamment des caractéristiques de ces états de surface. Toutes fois, on le caractérise généralement par :

**Écart moyen arithmétique du profil ou critère statistique de rugosité.**

**De tous les critères de rugosité, il est le plus utilisé :**

De symbole  $R_a$ , c'est la moyenne arithmétique, sur la longueur de base, de la valeur absolue de l'ordonnée Y entre chaque point du profil et l'axe OX. La figure suivante nous donne les **paramètres de rugosité liés à la ligne moyenne** [13] :

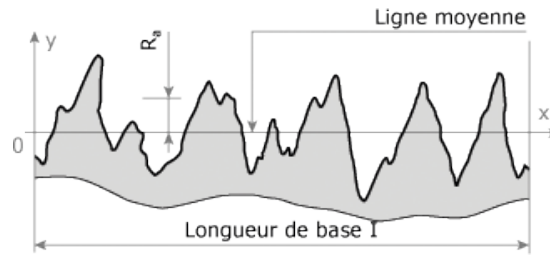


Figure 1.14: paramètre de rugosité arithmétique liée à la ligne moyenne [13]

Nous nous intéressons aux paramètres R qui sont calculés sur le profil de rugosité. Elle définit les termes et les équations des paramètres généraux. Ci-dessous, les définitions sont données pour les paramètres R mais elles s'appliquent également aux paramètres P et W.

- R, profondeur moyenne des motifs de rugosité ;
- AR, largeur moyenne des motifs de rugosité ;
- Rx, profondeur maximale des motifs de rugosité.

Ensuite, une enveloppe supérieure est calculée en joignant les sommets de pics par des segments de droite, et la procédure de segmentation est relancée sur l'enveloppe supérieure afin de calculer les motifs d'ondulation, cette fois avec deux limites. Ceci permettant de calculer les paramètres d'ondulation [12].

**Tableau 1.3** : rôle des paramètres de rugosité (source : guide.digitalsurf.com [12], adapté par nos soins)

Nom	Indice de rugosités	Fonctions
<b>Hauteur totale du profil</b>	<b>Rt</b>	Hauteur entre la vallée la plus profonde et le pic le plus haut sur la longueur d'évaluation
<b>Hauteur maximale des pics</b>	<b>Rp</b>	Hauteur du pic le plus haut par rapport à la ligne moyenne, sur une longueur de base.
<b>Profondeur maximale des vallées</b>	<b>Rv</b>	Profondeur de la vallée la plus profonde par rapport à la ligne moyenne, sur une longueur de base.

<b>Hauteur maximale du profil</b>	<b>Rz</b>	Définie sur une longueur de base, ce paramètre est utilisé fréquemment pour vérifier la présence de pics extrêmes pouvant affecter les contacts statiques ou glissants sur une pièce.
<b>Rugosité moyenne arithmétique du profil :</b>	<b>Ra</b>	Définie sur une longueur de base. <i>Ra</i> est utilisé comme une évaluation globale de l'amplitude de la rugosité du profil mais ne donne aucune information sur la répartition spatiale des irrégularités du profils ni de la forme du profil. <i>Ra</i> est utile pour des surfaces rugueuses aléatoires (stochastiques) usinées avec des outils ne laissant pas trop de marques sur la surface, telles que les surfaces sablées, fraisées ou polies
<b>Rugosité moyenne quadratique du profil</b>	<b>Rq</b>	Correspond à l'écart-type de la distribution des hauteurs, sur la longueur d'évaluation. <i>Rq</i> fournit une information totalement corrélée avec <i>Ra</i> .
<b>Asymétrie du profil</b>	<b>Rsk</b>	Asymétrie de la distribution des hauteurs, définie sur la longueur d'évaluation. Ce paramètre est important car il renseigne sur la morphologie de l'état de surface. Une valeur positive de <i>Rsk</i> correspond à une surface présentant des pics et protubérances dépassant au-dessus de la surface, et donc une distribution décalée vers les points les plus bas, alors qu'une valeur négative correspond à une surface en plateau avec des rayures ou des pores profonds, et une distribution décalée vers les points les plus hauts. C'est donc un paramètre important pour caractériser des fonctions de contact ou de lubrification. Ce paramètre ne dit rien en revanche de l'amplitude de la rugosité contrairement au <i>Ra</i> .
<b>Aplatissement du profil</b>	<b>Rku</b>	Caractérise la largeur de la distribution des hauteurs. Défini sur la longueur d'évaluation.

<p><b>Hauteur moyenne des éléments du profil</b></p>	<p><b>Rc</b></p>	<p>Définie sur la longueur d'évaluation. Ce paramètre peut être calculé sur des surfaces présentant des motifs (texture périodique). Il est proche du paramètre R de la norme ISO 12085 et devrait en ce sens être considéré comme un paramètre de motifs (voir ISO 25178).</p>
--	------------------	---

. Les paramètres les plus utilisés sont : **Ra, Rt, Rz et Rq**

- **Symbole normalisé de la rugosité de surface**

**Symbole de base**



Figure 1.15: symbole de base

Le symbole de base est constitué de deux branches de longueurs inégales, inclinées de 60° environ, comme l'indique la figure ci-après.

**Remarque :** pris individuellement, ce symbole indique que l'état de la surface repérée est pris en considération, sans pour autant avoir d'exigence particulière concernant la rugosité [10]. Cependant, la norme donne une position précise pour les différentes indications de surface (rugosité, ondulation, irrégularités...).

En outre, pour des documents anciens, la norme d'indication des états de surface (NF E 05-016), nous facilite la lecture :

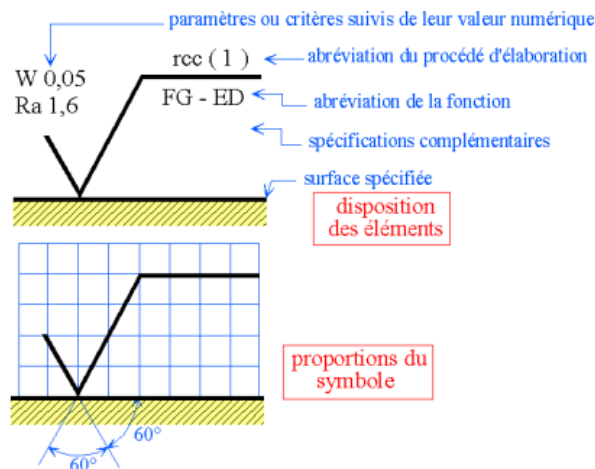


Figure 1.16: symbole de rugosité selon la norme (NF E 05-016) [10]

## I.4- MESURES DE RUGOSITE

### I.4.1- Mesure profilaire ou mesure 2D de rugosité

#### a) profilomètre

Un **profilomètre** est un instrument utilisé pour mesurer le relief d'une surface, dans le but d'évaluer la rugosité d'une surface. Bon nombre de secteur d'activités font usage de cet appareil pour avoir une meilleure précision de mesures du relief.



Figure 1.17 : profilomètre [14]

- **Processus de mesure**

Il existe deux types de profilomètre et son usage dépend du modèle choisi. Pour le profilomètre à contact il est classé comme une référence ancienne. Il fonctionne à l'aide d'un contact physique entre la partie à mesurer et la pointe en diamant. Ce type de profilomètre est particulièrement employé dans les usines de semi-conducteur, mais aussi en atelier

Quant au modèle moderne, il est désigné sous le nom de profilomètre optique. Il est en mesure d'offrir une meilleure précision aux données. Pour se faire, on utilise des faisceaux lumineux sur le long d'une surface.

**b) Rugosimètre**

- **Processus de mesure**

Lorsque le palpeur se déplace d'un mouvement linéaire uniforme le long de la surface à tester, il effectue des mouvements perpendiculaires, vers le haut et vers le bas, tout en gardant un contact avec la surface de travail. Son mouvement est converti en signaux électriques qui sont amplifiés, filtrés et transformés en signaux digitaux par un convertisseur A/D. Les signaux sont ensuite traités par une unité centrale pour obtenir les valeurs Ra et Rz qui s'afficheront alors sur l'écran [15].



Figure 1.18: Rugosimètre KR 100 [15]

**c) Atomic force microscopy (AFM)**

- **Processus de mesure**

C'est un type de microscope à sonde locale permettant de visualiser la topographie de la surface d'un échantillon. Elle a une très belle résolution démontrée de l'ordre de quelques fractions de nanomètre, plus de 1000 fois meilleur que la diffraction optique.

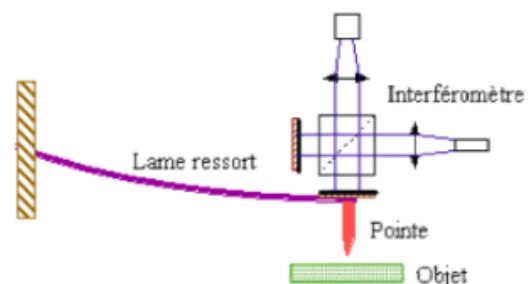


Figure 1.19 : schéma de principe de l'AFM [16]

Le microscope à force atomique explore la surface à l'aide d'une pointe effilée portée par un ressort très souple. La précision des déplacements de cette pointe, dans les trois plans de l'espace couplée à une utilisation dans des solutions physiologiques. Les résolutions latérales et verticales peuvent atteindre quelques angströms. Outils de dissection et de manipulation à l'échelle moléculaire, le microscope à force atomique offre également une nouvelle approche pour la détermination, sur molécules uniques, des forces intra-moléculaires [16].

#### I.4.2- Mesure surfacique ou mesure 3D de rugosité

##### METHODES A CONTACT

###### a) La comparaison Viso-tactile

Ici le principe c'est la Comparaison de la surface analysée avec une série d'échantillons déjà obtenu au paravent lors de l'usinage : Une autre méthode de contrôle consiste à comparer la surface à contrôler à un échantillon de surface correspondant à la valeur exigée et au procédé de fabrication utilisée [15].



Figure 1.20: comparaison Viso tactile [15]

###### b) Microscopie électronique à balayage (MEB)

La microscopie électronique à balayage (MEB) [(Cornet et Deville, 1998), (Martin et Georges, 1998), (Péré, 1994)] permet d'obtenir des images de surfaces de pratiquement tous les matériaux solides, à des échelles allant de celle de la loupe (x10) à celle du microscope électronique en transmission (x500 ou plus). Elle permet d'analyser la morphologie de la surface et la composition chimique de la plupart des matériaux solides. Les images obtenues frappent en premier par le rendu très parlant du relief et une très grande profondeur de champ (plusieurs centaines de microns), et donnant des vues qualitatives des surfaces d'une grande utilité [25].

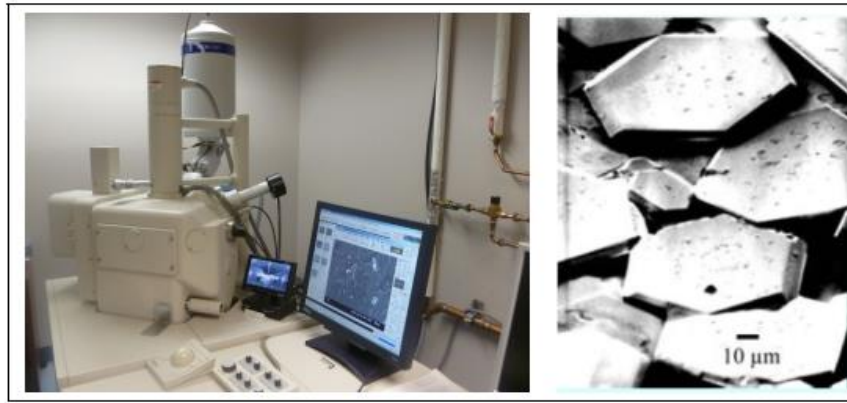


Figure 1.21: Microscope électronique à balayage de l'ÉT [25]

## METHODE OPTIQUE

Elles regroupent les technologies de mesure sans contact des états de surface, et ici dans la pratique cela se passe en bombardant la surface à analyser par des électrons accélérés puis à analyser la réponse de la surface [11]. On utilise :

### a) La microscopie confocale

Le principe ici est qu'à partir d'un microscope optique, l'idée est de détecter les points correspondants aux zones nettes dans le champ de vision de l'objectif et d'y associer la hauteur du plan de focalisation.

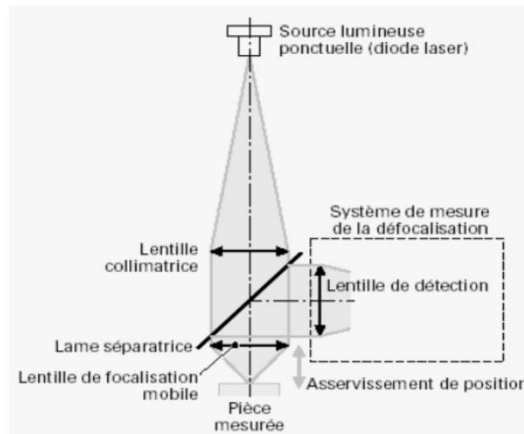


Figure 1.22 : principe de la mesure par microscopie confocale [11]

### b) La microscopie de champ proche.

#### Microscopie à effet tunnel électronique

A la surface d'un conducteur existe un nuage d'électrons dont la densité décroît exponentiellement avec la distance à la surface. En approchant une pointe de dimension théoriquement monoatomique, les nuages d'électrons

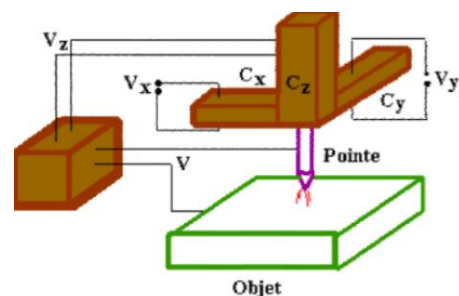


Figure 1.23: microscope à effet tunnel électronique [16]



correspondant aux deux conducteurs se mélangent. Il leur est donc possible de franchir une barrière de potentiel (effet tunnel) [16].

### c) L'ellipsométrie spectroscopique

L'ellipsométrie spectroscopique est une technique optique d'analyse de surface permettant de caractériser les propriétés optiques des matériaux et/ou l'épaisseur des couches minces. Elle est fondée sur la mesure du changement de l'état de la polarisation d'un faisceau de lumière après réflexion sur une surface plane d'un échantillon (Figure 1.14) [(Cornet et Deville, 1998), (Bissuel, 1996), (Castellon, 2002)]. Le type d'information accessible par cette technique dépend de la configuration et du domaine de longueur d'onde utilisé.

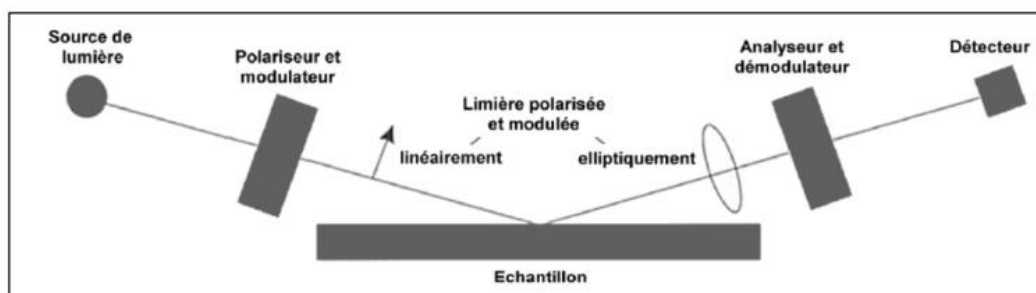


Figure 1.24: Principe de l'ellipsomètre à modulation de phase (adapté de (Benatmane, 2002)).

## I.5- OPTIMISATION DE LA MESURE DE RUGOSITE

Dans la logique actuelle la mesure des paramètres de rugosité implique le démontage des pièces, Or il est très difficile d'assurer la même mise en position d'une pièce après son démontage. Le contrôle ou la mesure conventionnelle de rugosité sur pièce a été pendant longtemps l'apanage d'une mesure linéique qui ne restitue pas fidèlement la rugosité de toute la surface. La mesure à contact avec le Rugosimètre délimite la zone de surface et perd sa précision après le déplacement du palpeur n fois dans diverses parties de la pièce d'où perte de temps, et excès du personnel inutile. Plusieurs techniques ont été mise sur pied pour pouvoir déterminer l'état de surface en fonction de certains paramètres, notamment (la comparaison Viso-tactile, la mesure de ligne, et la mesure par microscopie). Tout en intégrant les techniques qui tiennent compte des limites de la mesure de rugosité, ne peut-on pas construire un dispositif qui permettra la lecture sur site et l'acquisition des données ?

## Chapitre 2

# ETAT DE L'ART SUR LA METHODOLOGIE DE MESURE IN-SITU DE RUGOSITE

Dans ce chapitre, nous nous intéresserons principalement aux travaux effectués par nos prédécesseurs dans le monde en ce qui concerne la mesure in-situ de la rugosité de surface sur une fraiseuse. Nous ferons mention de leurs objectifs, analyserons leur méthodologie et soulignerons leurs résultats et discussions pour chaque auteur. Pour cela nous organiserons le travail en trois grandes parties : tout d'abord nous ferons une synthèse des travaux en accord avec la mesure surfacique conventionnelle de rugosité, ensuite il s'agira des travaux sur l'acquisition des données images pour enfin terminer par une synthèse générale.

---

II.1- Mesure surfacique conventionnelle de rugosité.....	22
II.1.1- Mesure surfacique de rugosité au laboratoire de métrologie.....	22
II.1.2- Mesure surfacique de rugosité sur site.....	26
II.2- Acquisition des images.....	29
II.2.1- Acquisition des images au laboratoire de métrologie.....	29
II.2.2- Acquisition des images sur site.....	33
II.3- Synthèse générale sur la mesure surfacique de rugosité et l'acquisition des images.....	36

---

## II.1- MESURE SURFACIQUE CONVENTIONNELLE DE RUGOSITE

### II.1.1- Mesure surfacique de rugosité au laboratoire de métrologie

Pour chaque travail, nous donnerons les auteurs, l'objectif, les matériels, la méthode et les résultats.

#### A. J.V. ABELLAN-NEBOT, GM BRUSCAS, C VILA, [17]

- **Objectif**

L'article présenté par ces auteurs a pour thème : “ **probabilité des modèles de rugosité de surface dans le fraisage** ”. L'objectif était de maximiser les capacités, contribuant à la rentabilité et à la valeur de l'organisation sur la rugosité des surfaces obtenues en fraisage.

- **Matériels et méthode**

#### 1. Matériels

- ✚ Profilomètre Mitutoyo surfstest SJ-210 ;
- ✚ Une fraise à surfacer Kennametal de 52 mm de diamètre ;
- ✚ Des plaquettes de coupe rondes (code RDHX12T3M0SGN KC715M) de 12 mm de diamètre ;
- ✚ XC55.

#### 2. Méthodes

Dans cette expérimentation, pendant l'enlèvement du copeau axial et radial, un nouveau bord d'outil de coupe est utilisé toutes les six passes de coupe de 250 mm de longueur afin d'éviter l'effet d'usure de l'outil. Le contrôle se fait au poste de métrologie.

- **Résultats**

Les résultats montrent que la prédiction du modèle est déficiente et que l'erreur de prédiction est d'environ 30%. À l'exécution, la rugosité réelle est plus élevée que celle prévue (Ra 0,82  $\mu\text{m}$  au lieu de 0,62  $\mu\text{m}$ ), après plusieurs exécutions, à la cinquième, la rugosité réelle est plus faible que celle prévue (Ra 0,50  $\mu\text{m}$  au lieu de 0,68  $\mu\text{m}$ ). Il montre clairement une évolution différente de Ra et Rz paramètre en raison de la variation de dureté de la pièce.

#### B. NICOLAS GUILLEMOT [18]

- **Objectif**

La thèse présentée par cet auteur avait pour thème : “ **Prise en compte de l'intégrité de surface pour la prévision de la tenue en fatigue de pièces usinées en fraisage** ” et son objectif principal était d'évaluer l'influence des paramètres  $V_c$ ,  $f_z$ ,  $h_c$  et de l'inclinaison d'outil  $\beta_f$  sur la microgéométrie, décrites au travers des topographies 3D mesurées et des paramètres de rugosité surfaciques calculés.

- **Matériels et méthode**

## 1. Matériel

Le matériau étudié est un acier à haute limite élastique, bainitique, resulfuré et de désignation 25MnCrSiVB6. La composition chimique et les caractéristiques mécaniques de cet acier – commercialisé sous le nom de METASCO MC – sont reportées dans le Tableau 2.1. La nuance resulfurée indique que le taux de soufre est de 0.08 wt% au lieu de 0.015 wt% pour une nuance standard. L'appareillage utilisée ici est une station de micro-mesure 3D STIL.

**Tableau 2.1.** Composition chimique et propriétés mécaniques de l'acier METASCO MC([18], par nos soins)

Acier	Composition chimique (% wt)						Propriété mécaniques				
	C	Mn	Si	Cr	S	V	Re <sub>0.2</sub> % (MPa)	Rm (MPa) )	A à 0°(%)	A à 90° (%)	Dureté (HV)
25MnCrSiVB 6	0.24	1.45	0.72	0.80	0.08	0.19	755	1000	25	5	318

Les pièces utilisées pour les essais sont prélevées dans une barre laminée de Ø80 mm. Ces pièces tests sont des blocs parallélépipédiques de dimensions 30 mm × 70mm × 100 mm.

## 2. Méthode

La mesure permet un relevé de la coordonnée Z d'une zone surfacique balayée par le capteur. La résolution du capteur est de 0,01 µm. Le pas minimal de déplacement des axes transverses est de 0,1 µm et la fréquence d'acquisition maximale des points mesurés est de 1000 Hz. Après mesure sur la station, les paramètres d'état de surface (linéaires et surfaciques) sont déterminés à l'aide du logiciel MountainsMap® Topography XT 4.1

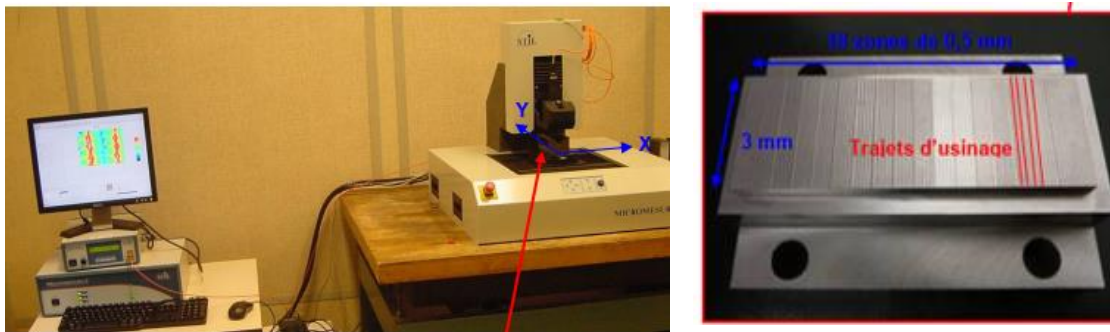


Figure 2.1: Station de micro-mesure 3D STIL et Damier mesuré

### • Résultats

Avant de calculer les paramètres surfaciques, la surface reconstituée à partir des hauteurs mesurées est :

- ✚ Traité puis redressée pour supprimer le défaut d'orientation de la surface par rapport au plan quadratique moyen.
- ✚ Un traitement est réalisé ponctuellement lorsqu'un point n'est pas mesuré localement. Il s'agit généralement d'un problème optique pour lequel le faisceau réfléchi ne parvient pas au capteur de réception du signal.

- ✚ Correction effectuée en moyennant les hauteurs des points voisins.

### C. Lakhdari Fouad [20]

- **Objectif**

La thèse présentée par cet auteur avait pour thème : « **étude de l'endommagement des surfaces optiques par des particules abrasives** » et son objectif principal était d'étudier l'effet de l'endommagement des surfaces optiques doucis par des grains abrasifs libres sur la résistance mécanique, ainsi que l'estimation de la profondeur de la couche fissurée (SSD) du verre douci à l'aide de la courbe d'étalonnage

- **Matériels et méthodes**

#### 1. Matériels

Le type de verre qu'on a utilisé dans cette étude est le verre sodo-calcique dont les propriétés physiques et la composition chimique est inscrite dans le tableau 2.2. le matériel de sure est le Duromètre ZHU2.5

**Tableau 2.2** : Propriétés physiques et composition chimique du verre sodo-calcique ([20], par nos soins)

Propriétés Physiques		$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Tg [0 C]	$\alpha$ [10 <sup>-6</sup> °C <sup>-1</sup> ]	E [GPa]	$\nu$	Hv [GPa]
		2.52	480	8.5	75	0.22	5.73
Composition	Oxydes	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Autre
	% en masse	72.41	13.41	7.48	4.00	1.34	1.36

Les échantillons ont été doucis par des grains abrasifs d'alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dont les fractions sont respectivement F160, F80, F30 et F9.

#### 2. Méthodes

Premièrement on a préparé tous les échantillons en verre sodo-calcique et on leurs donna la forme parallélépipédique (80 x 10 x 4) mm<sup>3</sup> pour qu'ils soient en conformité avec la norme ISO



Figure 2.2: Duromètre ZHU 2.5

3167. Pour évaluer la profondeur de la SSD, on a endommagé certains échantillons par l'indentation avec différentes charges, qui ont créées des fissures médianes, puits des essais de flexion ont été effectués pour calculer la contrainte de rupture de chaque échantillon endommagé. Les autres échantillons ont été doucis sur un rodoir en acier dur en employant les grains abrasifs en Alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Le doucissage a été effectué de la manière suivante :

- Doucissage grossier (Grains abrasifs F160 et F80)
- Doucissage moyen (Grains F30)
- Doucissage Fin (Grains F9)

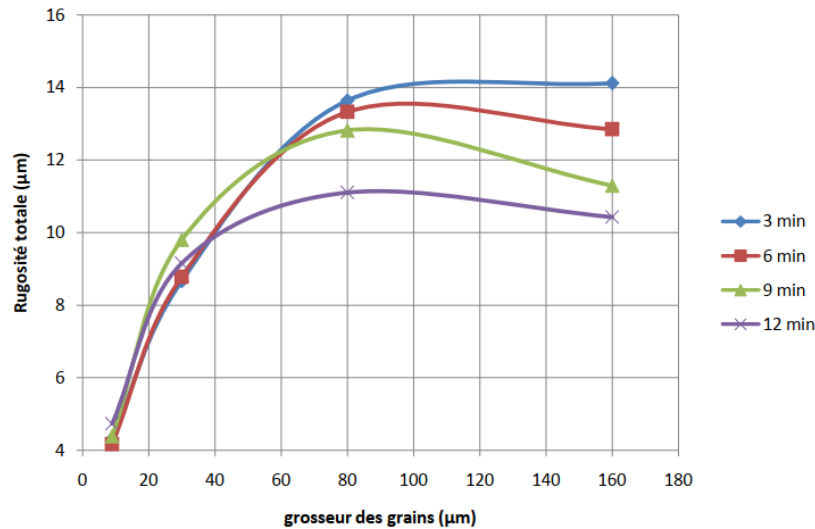


Figure 2.3: Variation de la rugosité maximale en fonction de grosseur des grains

Le temps de doucissage a été varié entre 3 et 12 minutes par pas de 3 minutes. Le doucissage a pour but d'endommager les surfaces afin d'étudier la profondeur de la couche fissurée SSD à l'aide de la courbe d'étalonnage. On a fait l'essai de flexion quatre points pour déterminer la contrainte à la rupture afin d'évaluer la couche fissurée SSD en l'adoptant à la courbe d'étalonnage. La corrélation entre la profondeur de la couche des fissures et la rugosité  $R_t$  a été étudiée.

- **Résultat**

- La rugosité totale augmente avec l'augmentation de grosseur des grains.
- La rugosité totale augmente lorsque le temps de doucissage augmente.

**D. W. Bouzid, A. Zghal, L. Sai, [21]**

- **Objectifs**

La thèse présentée par ces auteurs avait pour thème : « **Optimisation de la rugosité des surfaces fraisées** ». Ce travail a pour objectif d'analyser l'état des surfaces fraisées à travers la rugosité.

- **Matériels et méthodes**

**1) Matériels**

Deux nuances d'acier ont été étudiées :

Un acier au carbone (0,38% C) et un acier inox austénite - ferritique (0,02% C). L'acier duplex est utilisé dans la fabrication des pompes de circulation d'eau de mer des centrales thermiques de production d'électricité qui sont des structures sollicitées à des conditions relativement

sévères liées essentiellement à la présence d'eau de mer. Le Rugosimètre utilisé est de type : MITUTOYO SURFTEST SJ201.

## 2) Méthodes

Les paramètres mis en jeu dans cette étude sont le mode de fraisage (en opposition ou en avalant) la vitesse de coupe  $V_c$  (m/min), l'avance par dent  $f_z$  (mm/tr/dent) et la profondeur de passe  $p$ . L'influence de l'usure de l'outil sur la rugosité est supposée négligeable, vue que, par essai, un outil neuf a été utilisé.

### • Résultats

Le résultat obtenu est dû d'une part aux faibles efforts de coupe pour la profondeur de passe utilisée et d'autre part au fait qu'en fraisage en avalant, l'outil passe plusieurs fois sur un même point de la surface. On retiendra le mode de fraisage en avalant pour la suite des essais. Le plan complet de 25 essais a permis d'analyser l'évolution de  $R_a$  et  $R_t$  en fonction de la vitesse de coupe et de l'avance.

En effet pour des vitesses inférieures à 100 m/min, la rugosité augmente à cause de la formation de l'arête rapportée. Au-delà de cette dernière les efforts de coupe diminuent d'où une diminution de la rugosité. A des vitesses élevées de l'ordre de 300 m/min, la naissance de vibrations fait augmenter légèrement la rugosité. Une augmentation de l'avance fait augmenter la rugosité, due à l'augmentation des efforts de coupe.

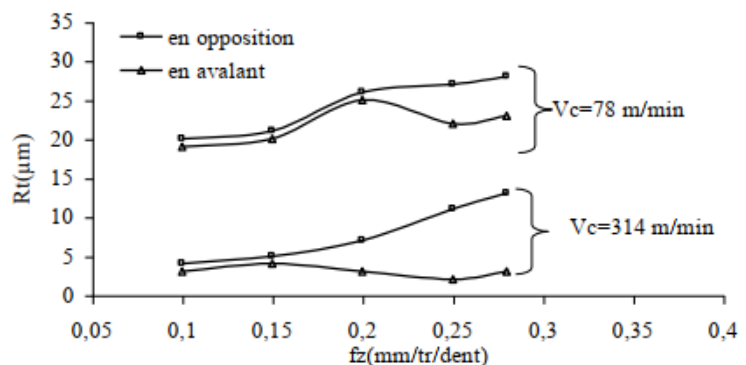


Figure 2.4: Variation de  $R_t$  en fonction de la vitesse de coupe et de l'avance pour les deux modes de fraisage – acier au carbone – acier au carbone -  $p=0,5$  mm

## II.1.2- Mesure surfacique de rugosité sur site

### A. OKOKPUJIE IMHADE P, OKONKWO UGOCHUKWU [22].

#### • Objectif

L'article présenté par ces auteurs avait pour thème : « **effets des paramètres de coupe sur la rugosité de la surface lors du fraisage en fin d'aluminium sous la lubrification en quantité minimale** ». L'objectif est d'effectuer une investigation expérimentale des effets des paramètres de coupe sur la rugosité de la surface lors du fraisage en fin d'aluminium 6061 (20Ni Cr Mo2-2) sous condition de lubrification en quantité minimale.

#### • Matériels et méthodes

##### 1) Matériels

- ✚ Acier haute vitesse (HSS) de 12mm de diamètre ;
- ✚ Plaque en d'aluminium 6061 (Al Mn Cu Zn 5- 2 – 10) ;

- ✚ Un étau ;
- ✚ Fraiseuse verticale ;
- ✚ Testeur de rugosité de surface.

## 2) Méthode

La préparation du système de fraisage vertical CNC prêt à opération d'usinage, découpage de la pièce de travail de la plaque en aluminium 6061(20Ni Cr Mo2-2) rectangle en différentes tailles de 10, 15, 20, 25 et 30mm. Un total de 30 pièces.

### • Résultats

La profondeur de coupe radiale a peu d'effet sur la rugosité de la surface et la profondeur axiale de coupe n'a pas d'effet significatif sur la rugosité de la surface après usinage du métal. La rugosité de surface optimale ou minimale pendant le processus de coupe se produit à la vitesse de la broche de 2000RPM.

## B. TEYOU GUMTE ERIC DONALD [11]

### • Objectif

L'article présenté par cet auteur avait pour thème : « **dispositif d'acquisition online des données en vue de l'étude de l'impact des conditions d'usinage sur la rugosité des surfaces en tournage** ». L'objectif de ce travail est de proposer un dispositif qui facilitera la lecture de la rugosité sur le tour sans démontage de la pièce.

### • Matériel et méthodes

#### 1) Matériel

- ✚ Un tour parallèle
- ✚ Des plaquettes en carbure de tungstène CNMG 1204 (jeu de trois) et dont le corps est un porte outil PCLNR 2525 M 12 ;
- ✚ Un outil en acier rapide supérieur de désignation courante HSS et de désignation Z90WDCV 6.5.4.2 (AFNOR) ;
- ✚ Rugosimètre SRT 6210.

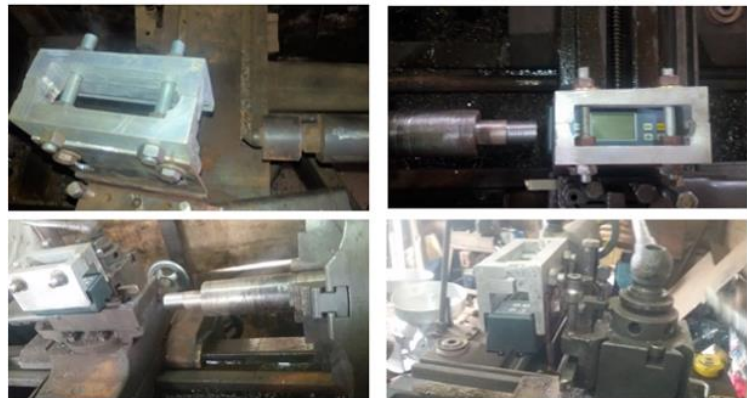


Figure 2.5 : Bloc porte Rugosimètre [11]

Ces matériaux ont servi pour l'usinage du dispositif porte Rugosimètre.

## 2) Méthodes



Le processus de fonctionnement ici concerne principalement le bloc porte Rugosimètre qui assure tout simplement le maintien en position du Rugosimètre pendant le processus de mesure. Une fois le montage du bloc porte Rugosimètre effectif, il convient de procéder à la variation du palpeur sur différentes positions de la pièce afin contrôler l'état de surface de la pièce.

- **Résultats**

L'auteur a obtenu un dispositif de longueur 145 mm, de largeur 75 mm et de hauteur 130 mm, en aluminium qui permet de mesurer la rugosité sur la machine sans démontage. Ce dispositif à la possibilité de porter un Rugosimètre SRT 6210.

### C. NGNIMBOHA NGUEPI STEPHANE [15]

- **Objectif**

L'article présenté par cet auteur avait pour thème : « **Système d'acquisition online des données en vue de l'étude de l'impact des conditions d'usinage sur la rugosité des surfaces en fraisage** ». L'objectif de ce travail est de proposer un dispositif qui facilitera la lecture de la rugosité sur la fraiseuse sans démontage de la pièce.

- **Matériel et méthodes**

#### 1) Matériel

- ✚ L'acier étant un alliage à base de fer additionné d'un faible pourcentage de carbone (de 0,008 à environ 2% de masse).
- ✚ Fraiseuse universelle
- ✚ Une fraise en carbure au tungstène (S50% WNiCu)
- ✚ Une fraise en Acier à rapide;(ENHS8-5- 4C).

#### 2) Méthodes

Une fois le dispositif assemblé, on le pose sur la table de la fraiseuse. En ce qui concerne comment régler la profondeur de passe avec le Rugosimètre SRT6210 après usinage des différentes nuances sur le dispositif d'acquisition et Sachant que notre arbre fileté est M24 et que le pas est de 3mm, donc en effectuant un tour complet avec notre bague porte Rugosimètre nous aurions effectué 3mm de déplacements. Nous aurions à diviser l'angle de  $360^\circ$  par 3 ce qui nous donnera l'angle de  $120^\circ$ . L'angle de  $120^\circ$  est la valeur avec laquelle il faudra faire pivoter la bague du porte Rugosimètre dans le sens trigonométrique pour obtenir la valeur 1mm en profondeur pour que le palpeur puisse être à fleur après l'usinage de 1mm, Et pour obtenir la valeur de 0,5mm en profondeur il faudra diviser l'angle de  $120^\circ$  par 2 ce qui donnera l'angle de  $60^\circ$ . Donc pour



Figure 2.6 : Dispositif assemblé

obtenir la valeur de 0,5 mm en profondeur nous aurions à faire varier la bague porte Rugosimètre de l'angle de 60° dans le sens trigonométrique.

- **Résultat**

L'auteur a obtenu un dispositif de poids 7,5 kg de hauteur 240 mm de longueur 80 mm et de largeur 80 mm, permet de mesurer de façon précise la rugosité d'une pièce sur une profondeur d'intervalle [0 à 10 mm] grâce au pas de 3mm de la colonne filetée.

## II.2- ACQUISITION DES IMAGES

### II.2.1- Acquisition des images au laboratoire de métrologie

#### A. OMAR MONIR KOURA [23]

- **Objectif**

L'article présenté par cet auteur avait pour thème : « **applicabilité du traitement d'image pour l'évaluation de la surface en rugosité** » L'objectif principal est de se concentrer sur les effets de certains paramètres tels que les Propriétés de la caméra numérique représentée par ses pixels, le réglage relatif de la caméra par Rapport aux surfaces mesurées.

- **Matériels et méthodes**

#### 1) Matériels

- ✚ Appareil photo Nikon (Coolpix P510) 16,1 méga pixels) ;
- ✚ Sony cyber shot 12,1 méga pixels ;
- ✚ Matlab 2011 ;
- ✚ Sony 9,1 méga pixels.

#### 2) Méthodes

Certains facteurs affectent la luminosité et la qualité de l'image, tels que l'ouverture, la vitesse et le temps qui affectent directement la luminosité de l'image capturée en contrôlant la quantité des photons. D'autres peuvent affecter la résolution et la précision des données obtenues, notamment celles des appareils photo numériques. Le capteur d'image détecte l'intensité du photon et le convertit en informations numériques avant de stocker les données.

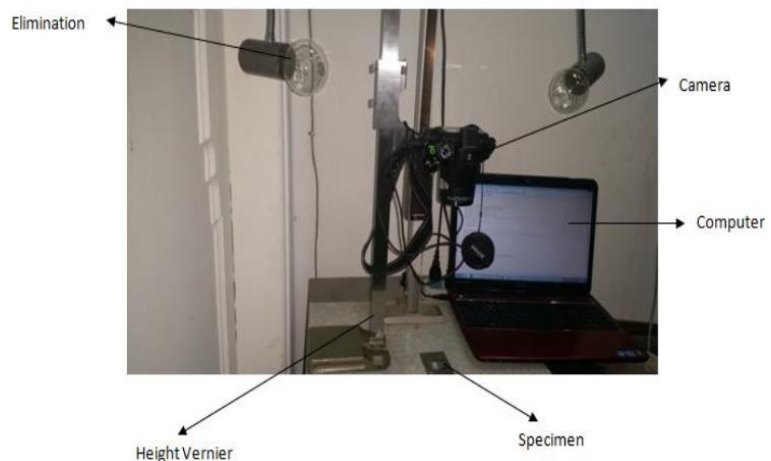


Figure 2.7 : Dispositif de test

• **Résultats**

La figure ci-dessous montre l'évolution de l'échelle de gris lorsque la hauteur augmente. Toutes les images ont été prises pour les trois la caméra à 0.5 sec. briser la vitesse et à l'éclairage ambiant. Comme la hauteur a été élevée de 250 mm à 350 mm, l'échelle de gris a été réduite de plus de 33% par rapport aux valeurs initiales. Cela peut être dû à une réflexion des vallées plus profondes réfléchies par le capteur de la caméra.

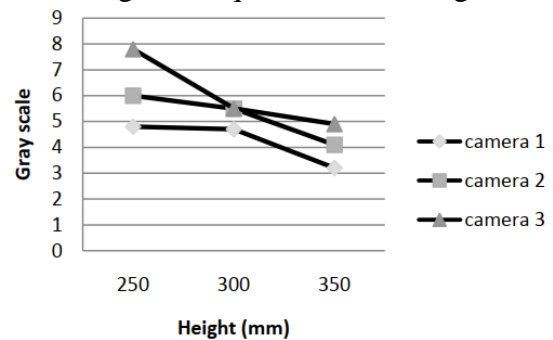


Figure 2.8: Effet de la hauteur sur l'échelle de gris

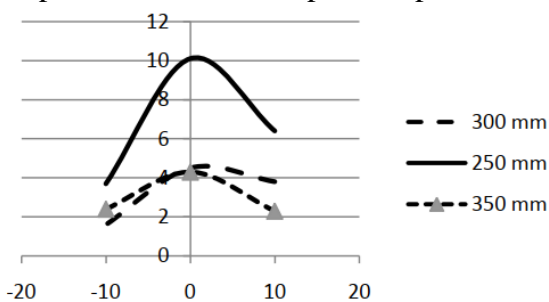


Figure 2.9: Effet de l'angle sur l'échelle de gris

Les résultats pour l'angle de réglage ont été pris par la caméra 1 dans l'éclairage ambiant. Tous les résultats a différents hauteur ont montré une pointe de gris lorsque la caméra a été réglée avec son axe optique, comme d'habitude sur la surface testée qui indique que la lumière a été réfléchié par un plus grand nombre de pics et de vallées de la

surface rugueuse.

**B. Sandrine Martinez, Michel Jourlin [24]**

• **Objectif**

L'article présenté par ces auteurs avait pour thème : « **Approche de la rugosité surfacique par analyse d'image** » l'objectif visé est d'effectuer la mesure surfacique par une nouvelle méthode de caractérisation des écarts de relief.

• **Matériels et méthodes**

1) **Matériels**

- ✚ Microscopie confocale à disque tournant (ou TSM pour Tandem Scanning Microscope) ;
- ✚ Caméra CCD ;
- ✚ Ordinateur ;
- ✚ Échantillon métallique

2) **Méthodes**

Pour chaque descripteur statistique connu, tel que  $R_a$ ,  $R_t$  ou  $R_q$ , son opérateur équivalent en trois dimensions sous forme d'un masque de filtrage très simple à créer et à utiliser. La taille et la forme de ce masque délimiteront la région élémentaire choisie, ou voisinage, pour laquelle l'opérateur sera calculé. Quand tous les voisinages sont traités, ce filtrage particulier génère une

nouvelle image, que nous appellerons l'image de rugosité, illustrant les écarts de rugosité de régions élémentaires au sein du relief acquis.

Ce type d'image est un bon outil d'appréciation de la rugosité surfacique d'un matériau : il permet, dans une première étape, une estimation visuelle immédiate des écarts de relief et = donne les résultats d'acquisition d'un métal laminé, placé suivant deux directions perpendiculaires sous le microscope TSM. On y observe notamment les stries dues au laminage.

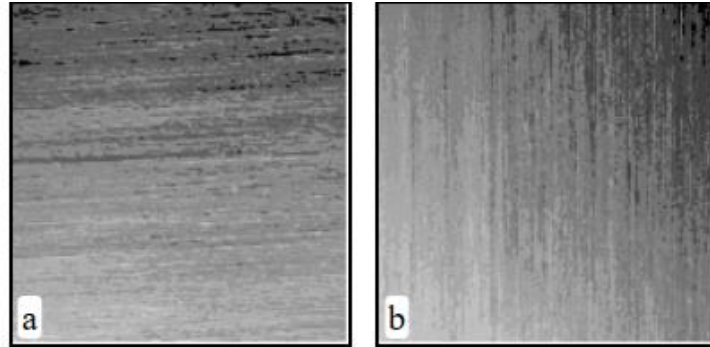


Figure 2.10 : topographies d'un échantillon laminé suivant deux angles d'acquisitions, 0° et 90°

- **Résultats**

Leurs images R'a respectives (dont une seule a été représentée ici) sont très similaires et homogènes. On peut donc déduire de cette simple observation que les écarts de relief sont assez uniformes et faibles.

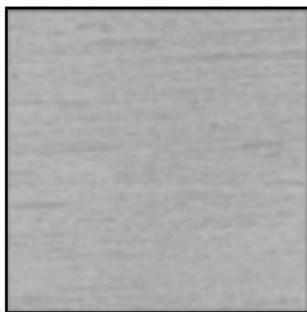


Figure 2.11 : image de rugosité R'a du relief illustré à la figure 2.12

Tableau 2.3 : valeur moyenne des paramètres suivant une décomposition par profils (adaptée par nos soins)

	Acq 0°	Acq 90°	Ecart
Ra (µm)	0.69	1.07	55.54%
Rt (µm)	0.83	1.04	24.71%
Rq(µm)	57.48	69.56	21.02%

Les différences de mesure sur le même relief, acquis suivant deux directions perpendiculaires, apparaissent beaucoup plus réduites dans ce dernier cas. La direction des stries de laminage n'a que très peu d'influence sur ces nouveaux paramètres surfaciques.

### C. René KAMGUEM [25]

- **Objectif**

L'article présenté par cet auteur avait pour thème : « **inspection automatique et sans contact de la rugosité des pièces usinées** ». L'objectif principal de cette thèse est de développer des

stratégies pour évaluer la rugosité de surface automatiquement, sans contact et qui peuvent être intégrées directement dans un centre d'usinage.

- **Matériels et méthodes**

- 1) **Matériels**

Les expériences ont été effectuées sur un alliage à base d'aluminium de désignation numérique 6061, Les outils de coupe utilisés avaient pour référence ISO DPGT-11T304HP et TiB2 PVD.

L'appareil de mesure de la rugosité était le profilomètre Mitutoyo® SurfTest SJ-400

Le système d'acquisition des images était constitué d'un **microscope VHX-500FE Keyence**

- 2) **Méthodes**

L'acquisition de l'image est faite dans un poste de métrologie et enregistrée à la résolution de  $1600 \times 1200$  pixels avec une luminosité de 24-bit pixel. Le principe d'acquisition est illustré sur le schéma ci-dessous :

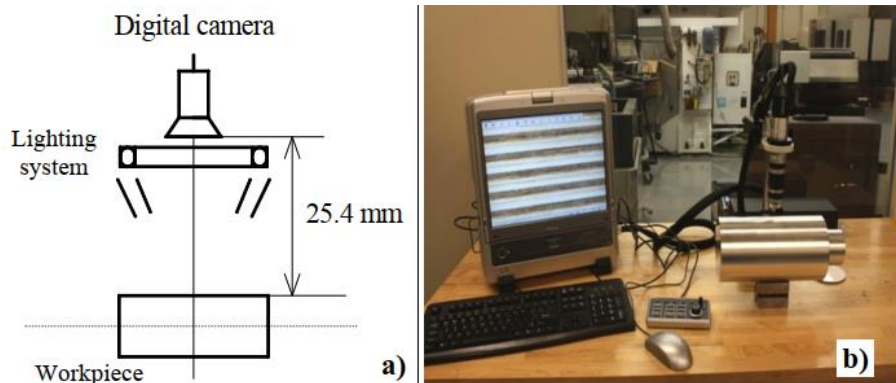


Figure 2.12: Représentation schématique de l'acquisition

- **Résultats**

✚ De ce travail, Il ressort clairement que :

Il y'a une très bonne corrélation entre la valeur estimée et celle mesurée, elle va jusqu'à 93%, 97% et 98% dépendamment des paramètres ;

✚ Les autres paramètres  $R_t$ ,  $R_q$  et  $R_z$  peuvent également être estimés.

**D. SRIVATSA, RAVI KEERTHI C, Dr SRINIVAS HK, RAVI KUMBAR (2016) [26]**

- **Objectif**

L'article présenté par ces auteurs avait pour thème : « **évaluation de la rugosité de surface en utilisant la transformation des paquets** ». L'objectif ici est de supprimer les perturbations de l'image qui n'améliorent pas la qualité de l'image par le traitement d'image, et qui ne donnent pas des détails d'informations d'une image numérique et utilisé pour améliorer la qualité, Les opérations utilisées dans l'image, le traitement inclut, le débruitage et le filtrage des images.

- **Matériel et méthode**

- 1) **Matériels**

- ✚ Fraise HMT ;
- ✚ Outil de pointe en carbure ;
- ✚ Acier doux ;
- ✚ Appareil photo reflex numérique Nikon D5500 ;
- ✚ Les images ont été réalisées dans une pièce sombre.

## 2) Méthodes

Méthodologie utilisée par Ravi Keerthi, Dr. Srinivas.H et les autres, la texture de la surface d'un acier doux spécimen est étudié. Les opérations de fraisage ont été effectuées sur le spécimen sur une machine à fraiser HMT avec outil de pointe en carbure. Les paramètres tels que la vitesse, l'alimentation et la profondeur de coupe ont été variés pour chaque opération. L'image de la texture de surface du spécimen était capturée et utilisé pour le traitement d'image.

### • Résultats

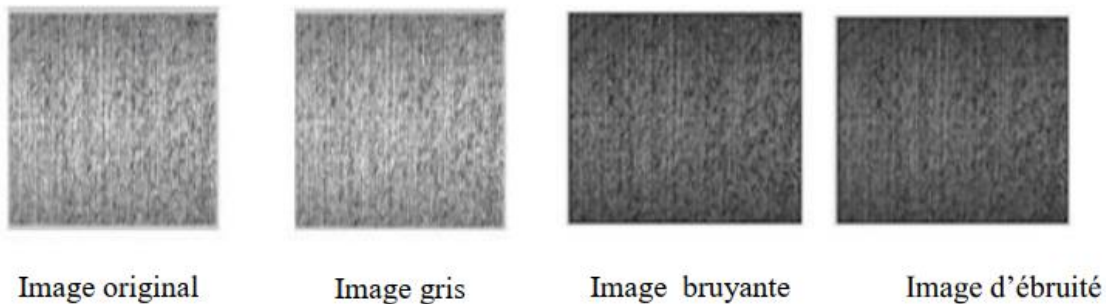


Figure 2.13 : L'image de la texture de surface du spécimen

Les résultats ont été tracés avec des prédictions comme valeurs expérimentales de la rugosité de surface  $R_a$  et la corrélation nécessaire a été obtenue en utilisant la méthode des moindres carrés.

## II.2.2- Acquisition des images sur site

### A. J. ONDRA (1999) [27]

#### • Objectif

L'article présenté par cet auteur avait pour thème : « **mesure de la rugosité à l'aide d'un traitement d'image** » L'objectif visé est la sélection et l'investigation des techniques modernes. Principales technologies permettant le traçage de l'image, la surveillance et l'évaluation du processus d'usinage.

#### • Matériels et méthodes

##### 1) Matériels

- ✚ Les aciers 13 240 (Mn-Si) ;
- ✚ Les aciers 15 230 (Cr-Mn-Si-Mo) ;

- ✚ Une caméra CCD monochrome 752x582 points avec le panneau de commande latéral.

## 2) Méthodes

La méthode, il est nécessaire de lier les informations obtenues au moyen de méthodes optiques de manière fiable un grand nombre d'imperfections et de défauts des pièces produites.

L'application de ces systèmes consiste à :

- ✚ La vérification de la qualité de la surface ;
- ✚ Vérifier l'apparence et l'exhaustivité des produits ;
- ✚ La vérification du respect des dimensions du produit ;
- ✚ L'identification des produits ;
- ✚ Déterminer la position correcte de la pièce.

### • Résultats

Les expériences réalisées ont confirmé les hypothèses sur les possibilités d'exploiter la technologie de traitement numérique d'image pour la surveillance en cours de processus de l'état de surface ou de la rugosité, L'évaluation visuelle d'une image a permis de trouver les différences remarquables dans la morphologie de surface des aciers individuels après usinage.

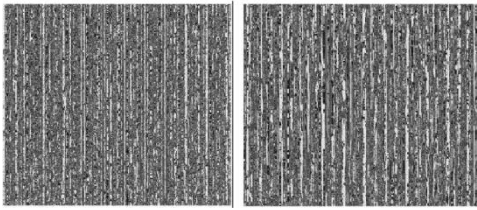


Figure 2.14: acier toutnl 13240.3 surface morphology (sharp and worn-out tool)

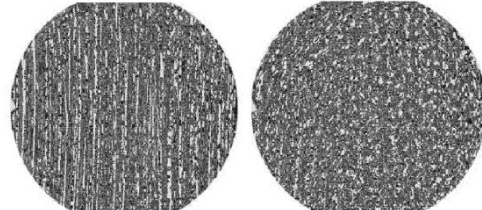


Figure 2.15: Drilled steel 15230.3 surface morphology (sharp and worn-out tool)

## B. TEYOU GUMTE ERIC DONALD [11]

### • Objectif

L'article présenté par cet auteur avait pour thème : « **dispositif d'acquisition online des données en vue de l'étude de l'impact des conditions d'usinage sur la rugosité des surfaces en tournage** ». L'objectif de ce travail est de proposer un dispositif qui facilitera l'acquisition des données sous différents angles.

### • Matériel et méthodes

#### 1) Matériel

- ✚ Un tour parallèle ;
- ✚ Des plaquettes en carbure de tungstène CNMG 1204 (jeu de trois) et dont le corps est un porte outil PCLNR 2525 M 12 ;
- ✚ Un outil en acier rapide supérieur de désignation courante HSS et de désignation Z90WDCV 6.5.4.2 (AFNOR) ;

✚ Microscope MV-900.

## 2) Méthodes

Une fois le montage du bloc porte microscope effectif, tel que présenté, il convient de procéder à l'acquisition des données images. Ici on a la possibilité de varier les angles d'acquisition : pour cela il suffit de desserrer l'écrou M12 de la tige filetée 10x80 et de positionnée cette dernière suivant l'angle voulu.

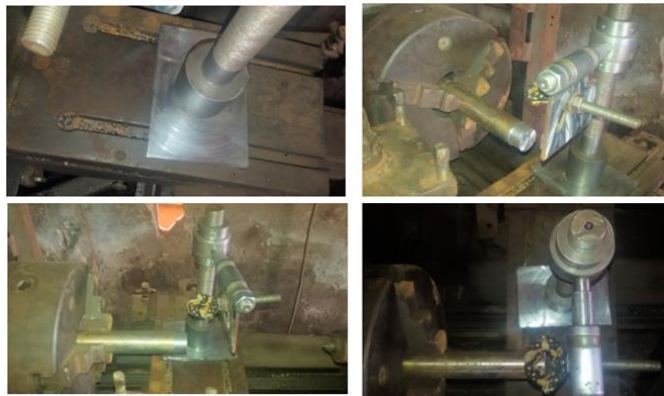


Figure 2.16 : bloc porte microscope

### • Résultats

Ce bloc est en acier avec un encombrement de 290x240x100, il favorise un ajustement de la distance focale de la caméra sur 100 mm et une variation de l'angle d'acquisition des surfaces sur l'intervalle  $[-90^\circ ; 10^\circ]$ .

### C. NGNIMBOHA NGUEPI STEPHANE [15]

### • Objectif

L'article présenté par cet auteur avait pour thème : « **Système d'acquisition online des données en vue de l'étude de l'impact des conditions d'usinage sur la rugosité des surfaces en fraisage** ». L'objectif de ce travail est de proposer un dispositif qui facilitera la lecture de la rugosité sur la fraiseuse sans démontage de la pièce.

### • Matériel et méthodes

#### 1) Matériel

L'acier étant un alliage à base de fer additionné d'un faible pourcentage de carbone (de 0,008 à environ 2% de masse).

Fraiseuse universelle

Une fraise en carbure au tungstène (S50% WNiCu)

Une fraise en Acier à rapide;(ENHS8-5- 4C).



Figure 2.17 : Dispositif assemblé

#### 2) Méthodes

Une fois le dispositif assemblé, on le pose sur la table de la fraiseuse. En ce qui concerne comment régler la distance focale avec le microscope MV-900 après usinage des différentes nuances sur le dispositif d'acquisition nous allons procéder comme suit :

✚ Sachant que notre arbre fileté est M24 et que le pas est de 3mm ;



- ✚ Donc en effectuant un tour complet avec notre bague porte microscope nous aurions effectué 3mm de déplacements ;
- ✚ Et sachant que la base de notre arbre porte dispositif est cylindrique et l'angle est  $360^\circ$  ;
- ✚ Nous aurions à diviser l'angle de  $360^\circ$  par 3 ce qui nous donnera l'angle de  $120^\circ$  ;
- ✚ L'angle de  $120^\circ$  est la valeur avec laquelle il faudra faire pivoter la bague du porte microscope dans le sens trigonométrique pour obtenir la valeur 1mm en réglage de la distance focale ;
- ✚ Et pour obtenir la valeur de 0,5mm en distance focale il faudra diviser l'angle de  $120^\circ$  par 2 ce qui donnera l'angle de  $60^\circ$  ;
- ✚ Donc pour obtenir la valeur de 0,5 mm en distance focale nous aurions à faire varier la bague porte microscope de l'angle de  $60^\circ$  dans le sens trigonométrique.

### 3) Résultat

L'auteur a obtenu un dispositif de poids 7,5 kg de hauteur 240 mm de longueur 80 mm et de largeur 80 mm, permettant de mesurer de façon précise avec une variation de distance focale sur une hauteur de « 80mm » et une capture d'incidence variant de «  $60^\circ, 65^\circ, 70^\circ, 75^\circ$  et  $105^\circ, 110^\circ, 115^\circ, 120^\circ$  ».

## II.3 – SYNTHÈSE GÉNÉRALE SUR LA MESURE SURFACIQUE DE RUGOSITÉ ET L'ACQUISITION DES IMAGES

Des paragraphes précédents, il ressort que de nombreuses études ont été menées pour la mesure surfacique de rugosités, l'acquisition des données images. Nous nous proposons ici de faire une synthèse générale des articles et thèses présentés ci-haut.

**a) Synthèse générale sur la mesure surfacique conventionnelle de rugosité en fraisage**

Tableau 2.4 : synthèse sur la mesure conventionnelle au laboratoire de métrologie (source : auteur)

Auteurs	Matériels	Outils	Instruments De Mesure	Paramètres Mesurés	Observations
J.V. ABELLAN-NEBOT, GM BRUSCAS, C VILA	XC55	Une fraise à surfacer Kennametal de 52 mm de diamètre	Profilomètre Mitutoyo surfest SJ-2	Ra, Rz	$A_p : 0, 52\text{mm}$ $V_c : 200-335\text{mm/min}$
NICOLAS GUILLEMOT	25MnCrSiVB6	Station de micro-mesure 3D STIL et Damier mesuré	MountainsMap® Topography XT 4.1	Ra, Rq, Rz, Rt	
LAKHDARI FOUAD	le verre sodo-calcique	Grains abrasifs d'alumine (AL2O3)	Duromètre ZHU 2.5	Rt	Rt augmente avec l'augmentation de grosseur des grains
W. Bouzid, A. Zghal, L. Sai	Un acier au carbone (0,38%C) ; et un acier inox austénite - ferritique (0,02% C)	L'outil utilisé est une fraise « Sandvik » à plaquettes amovibles en carbure métallique	Rugosimètre utilisé est de type : MITUTOYO SURFTEST SJ201	Ra, Rt	Vc, Fz, Profondeur de passe (p)

Tableau 2.5 : synthèse sur la mesure conventionnelle sur site (source : auteur)

Auteurs	Matériels	Outils	Instruments de mesure	Paramètres mesurés	Observations
OKOKPUJIE IMHADE P, OKONKWO UGOCHUKWU	20Ni Cr Mo2-2	Acier haute vitesse (HSS) de 12mm de diamètre	Testeur de rugosité de surface	Ra, Rq	La vitesse de la broche de 2000RPM
TEYOU GUMTE ERIC DONALD	Acier fortement allié (trempée)	Acier rapide supérieur HSS et de désignation Z90WDCV 6.5.4.2	Rugosimètre		Bloc porte Rugosimètre
NGNIMBOHA NGUEPI STEPHANE	L'acier étant un alliage à base de fer additionné d'un faible pourcentage de carbone (de 0,008 à environ 2% de masse).	-Une fraise en carbure au tungstène (S50% WNiCu)  -Une fraise en Acier à rapide;(ENHS8-5-4C).	Rugosimètre		Bloc porte Rugosimètre

**b) Synthèse générale sur l'acquisition des données images en fraisage**

Tableau 2.6 : Acquisition des données images au laboratoire de métrologie (adapté par nos soins)

Auteurs	Elément d'acquisition	Système d'éclairage	Angle d'acquisition	Observations
OMAR MONIR KOURA	Trois (3) Appareils photo Nikon (Coolpix P510) 16,1 méga pixels	Deux sources lumineuses	Cameras réglées sur la plage de -12 à +12	
SANDRINE MARTINEZ, MICHEL JOURLIN	CAMERA CCD		Microscopie confocale à disque tournant (ou TSM pour Tandem Scanning Microscope)	
René KAMGUEM-	Microscope VHX-500FE Keyence	Luminosité à 24-bit pixel	Invariant	
SRIVATSA, RAVI KEERTHI C, Dr SRINIVAS HK, RAVI KUMBAR	Appareil photo reflex numérique Nikon D5500	Une ombre sombre		

**Tableau 2.7** : Acquisition des données image sur site (adapté par nos soins)

Auteurs	Elément d'acquisition	Système d'éclairage	Angle d'acquisition	Observations
J. ONDRA	Une caméra CCD monochrome 752x582 points	Deux sources lumineuses	Cameras réglées sur la plage de -12 à +12	
TEYOU GUMTE ERIC DONALD	Microscope MV-900		Camera réglée sur la plage de -90° à 10°	
NGNIMBOHA NGUEPI STEPHANE	Microscope MV-900		La variation d'angle est fonction de la distance focale	

Rendu au terme de ce chapitre, nous pouvons dire avec aisance que dans la mesure conventionnelle au laboratoire de métrologie et sur site, que la plupart d'auteurs utilisent beaucoup plus l'acier comme matériel. Aussi, comme instrument de mesure le plus utilisé on a le Rugosimètre. Ensuite dans l'acquisition d'images, nous avons constaté que l'élément d'acquisition d'images le plus utilisé est le microscope qui est exploité avec plusieurs systèmes d'éclairages et des angles d'acquisitions variant. Aux vues de toutes ces remarques faites au travers de ces différents travaux, nous adopterons dans le chapitre suivant comme matériel l'acier et nous utiliserons pour la mesure conventionnelle un Rugosimètre et pour l'acquisition d'images un microscope.

## Chapitre 3

# MATERIELS ET METHODES

Ce chapitre renvoie, à la présentation de l'ensemble du matériel nécessaire à la réalisation de notre dispositif et les méthodes utilisées pour sa mise en œuvre effective. Ainsi dans cette articulation, la première partie sera réservée au dispositif in-situ de mesure surfacique de rugosité et d'acquisition d'images où seront présentés les matériels et contraintes ainsi que la méthodologie de réalisation du dispositif. La deuxième partie est réservée à l'établissement des bases de données paramètres et images.

---

PARTIE A - MATERIELS ET CONTRAINTES.....	43
III.1- Matériels des blocs du dispositif.....	43
III.2- Machines-outils.....	43
III.3- Instruments de vérification et de contraintes.....	46
PARTIE B - METHODOLOGIE DE REALISATION DU DISPOSITIF.....	47
III.4- Etude dimensionnelle.....	47
III.5- Etude graphique.....	54
III.6- Etudes de réalisation.....	61
PARTIE C - ETABLISSEMENT DES BASES DE DONNEES PARAMETRES ET IMAGES.....	71
III.7- Base de données de paramètres.....	71
III.8 - Base de Données Images.....	76

---

---

## PARTIE A : MATERIELS ET CONTRAINTES

---

Le dispositif choisi a été conçu en deux blocs, Ainsi ça réalisation conduit à l'utilisation de plusieurs ressources tant au niveau du matériel, des machines-outils que des instruments de vérification et de contrôle.

### III.1- MATERIELS DES BLOCS DU DISPOSITIF

Le dispositif devant servir dans les ateliers de fabrication mécanique, fera face à deux contraintes principales : la nature du matériau à utiliser et le poids du dispositif.

Le matériau sera en **acier pour construction** et les pièces seront **dimensionnées** dans le but d'**alléger** aux maximum le poids du dispositif tout en étant fonctionnel.

### III.2- MACHINES-OUTILS

#### III.2.1- MACHINES

La réalisation du dispositif entier mobilisera 05 machines-outils à savoir :

- Une perceuse à colonne pour la réalisation des différents trous ;



Figure 3.3: Perceuse-à-colonne-Silverline-1024x1024

- Une scie mécanique pour débitage des différents matériaux ;
- Un tour parallèle pour l'usinage des différentes opérations que constitue le dispositif ;



Figure 3.2: Tour horizontale C6150

#### Tour Universel

- Numéro de modèle : C6150 ;
- Type : tour Horizontale ;
- Marque déposée : Luzhong Machine Tool
- Standard : 2100\*1150\*1550 mm.



- Une mortaiseuse pour l'usinage de la rainure de clavette en bout de l'arbre ;



Figure 3.3 : mortaiseuse ravensburg-s-300 p90117048\_2

- Une fraiseuse universelle pour l'usinage des différentes opérations que constitue le dispositif.



**FRAISEUSE UNIVERSELLE  
CONVENTIONNELLE VERNIER FV.**

- Courses : 710\*250\*470 mm ;
- Table dimensions : 1060\*250 mm
- 3 Automatiques et 3 Rapides ;
- Broche SA40 Maxi 2000tr.mn.

**AUX NORMES DE SECURITE**

- 1000 heures de marche ;
- Année : 1980 ;
- Millings machines

Figure 3.4 : Fraiseuse universelle conventionnelle

### III.2.2- OUTILS

Dans le cadre de ces travaux, les outils requis pour l'exécution des usinages sont notamment :

#### 1. Les outils utilisés en tournage

Les outils citer ci-dessous ont permis d'avoir des surfaces cylindriques à savoir : L'outil à tronçonner ayant une longueur de 7mm et pour désignation EN-GJS-400-18. L'outil à fileter ayant une Longueur de 8 mm et pour désignation X6 Cr Mo -S20.



Figure a : outil à fileter



Figure b : outil à tronçonner

Figure 3.5 : Outils utilisées en tournage

Des plaquettes en carbure de tungstène CNMG 1204 (jeu de trois) et dont le corps est un porte outil PCLNR 2525 M 12 utilisé pour le dressage, le chariotage.

Porte outil : PCLNR 2525 M12

Plaquettes CNMG 1204

Modèle : outil à droite

L=150mm

L1=33mm

X=32 mm

Angle ISO : 95°



Figure 3.6 : plaquettes en carbure de tungstène CNMG 1204

## 2. Outils utilisés en fraisage

Une fraise 2T en carbure mono bloc au tungstène (S50% WNiCu)



Figure 3.7 : fraise 2T

## 3. Le tourne à gauche METALUVER



### Tourne à gauche

- la longueur totale 180 mm
- le poids 0,096 Kg
- Carrée min 12 mm
- Carrée max 18 mm

Figure 3.8 : le tourne à gauche METALUVER

#### 4. Le taraud manuel



Figure 3.9 : Outil à tarauder M10 x 150

Également, pour les différentes nuances M6, M8, et M12.

### III.3- INSTRUMENTS DE VERIFICATION ET DE CONTROLES

Pendant le processus d'usinage pour la vérification des surfaces, les instruments suivants seront nécessaires. Il s'agit d'un pied à coulisse au 1/50 de marque MUTUTOYO ayant une capacité de 200 mm, une jauge de profondeur au 1/50 en inox chromé de la même marque et de longueur 150 mm, d'un peigne de filetage comportant 25 lames portant le marquage clair du calibre de 0,4 à 6 mm et les mesure se feront sur le marbre de l'atelier de fabrication.



Figure 3.10 : Pied à coulisse



Figure 3.11 : Peigne de filetage



Figure 3.12 : Jauge de profondeur



Figure 3.13 : Marbre

## PARTIE B : METHODOLOGIE DE REALISATION DU DISPOSITIF

### III.4- ETUDE DIMENSIONNELLE

Cette partie est réservée au schéma cinématique du dessin d'ensemble du dispositif In-Situ, du dessin d'ensemble, dessin de définition, et d'un dessin de fabrication qui nous permettra par la suite de faire une analyse de fabrication sur la(es) pièce(s) qui seront beaucoup plus sollicitée(s) dans le mécanisme. Cette(es) pièce(s) sera(ont) dimensionnée(s) dans l'optique de respecter les contraintes de moindre usinage, les contraintes économiques, et technologiques émises dans le cahier de charge.

**Ce dispositif doit respecter un ensemble de contraintes à savoir :**

- Il doit être capable de supporter le Rugosimètre SRT6210 ;
- Il doit être capable de supporter le microscope MV- 900 requis pour nos travaux ;
- Les surfaces qui portent le Rugosimètre doivent respecter les contraintes de planéité et même de perpendicularité suivant la conception ;
- Faire varier la distance focale ;
- Faire varier l'angle d'acquisition
- Il doit être capable d'effectuer les déplacements contrôlés en translation du bloc microscope-Rugosimètre.

En respectant ces différentes contraintes nous avons adopté un dispositif en un seul bloc. Le bloc porte microscope – Rugosimètre.

Le choix de ce dispositif pour nos travaux a été guidé par le tableau 3.1 ci-dessous donnant les points forts et les limites de ce dernier.

**Tableau 3.1 :** points forts et limites du dispositif proposé (source : auteur).

Dispositif	Points forts	Limites
Dispositif in-situ de mesure surfacique de rugosité et d'acquisition de données	Réalisation du système en un seul ensemble	Prix très coûteux  Dispositif effectue des déplacements sur une courte distance
	Possibilité d'obtenir l'état de surface juste après l'usinage sans démonter la pièce sur la machine	
	Possibilité de faire varier l'angle d'acquisition	
	Possibilité de faire varier la distance focale	
	Possibilité de faire un déplacement contrôlé en translation dans deux axes pour le Rugosimètre.	

#### III.4.1- Schéma cinématique du dispositif In-Situ

Le schéma cinématique est l'ensemble de pièces mécaniques reliées entre elles par des liaisons.

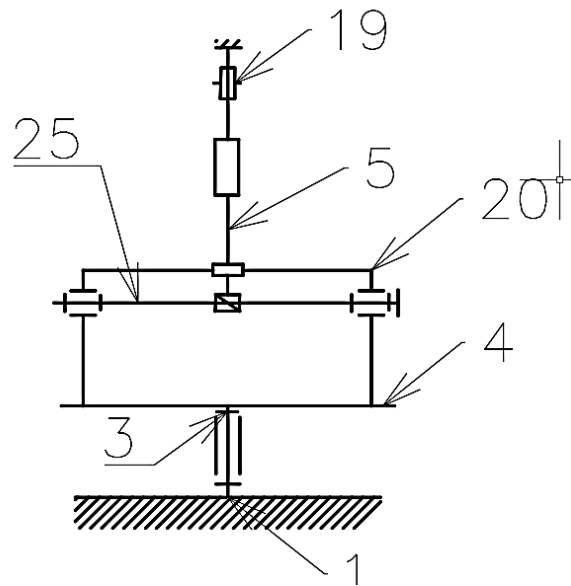


Figure 3.14: schéma cinématique du dispositif

- 1 : plateau fixe ;
- 3 : arbre tournant ;
- 4 : support de réglage ;
- 5 : support (bloc porte Rugosimètre et microscope) ;
- 19 : support de variation angulaire ;
- 20 : support de réglage du déplacement contrôlé ;
- 25 : vis de réglage.

### III.4.2- Analyse dimensionnelle

Il est important de procéder au dimensionnement de la vis 25 car elle est primordiale du fait des efforts qu'elle subit par le bloc porte microscope-Rugosimètre, et du support de réglage 4. Pour réaliser cette analyse il convient de connaître certains paramètres comme les efforts appliqués à cette structure, la nature de la liaison avec l'extérieur, le type de matériau utilisé et ses caractéristiques.

- **Hypothèses de calcul**

L'objectif est de déterminer au terme de ce dimensionnement le diamètre minimal de cette vis, pour cela nous admettons les hypothèses suivantes :

- La charge engendrée par le bloc porte microscope-Rugosimètre, le microscope, le Rugosimètre est notée **P=5kg** ;
- La vis et le support sont en acier pour construction S355 de module d'Young  $E=210000$  MPa et de résistance limite à l'élasticité  $Re=355$  MPa ;
- Les déformations sont élastiques et suffisamment petites pour ne pas modifier l'intensité des forces ni leurs distances respectives ;

- L'hypothèse de Navier-Bernoulli (1705) est prise en compte c'est-à-dire que les sections droites de la poutre demeurent planes et perpendiculaires à l'axe de celle-ci après déformation ;
- L'accélération de la pesanteur  $g=10\text{N/kg}$ .
- Le système est symétrique.

Pour réaliser ce dimensionnement, on va utiliser deux types de critères : un critère en contrainte normale (condition de résistance) et un critère sur la flèche maximale (condition de rigidité).

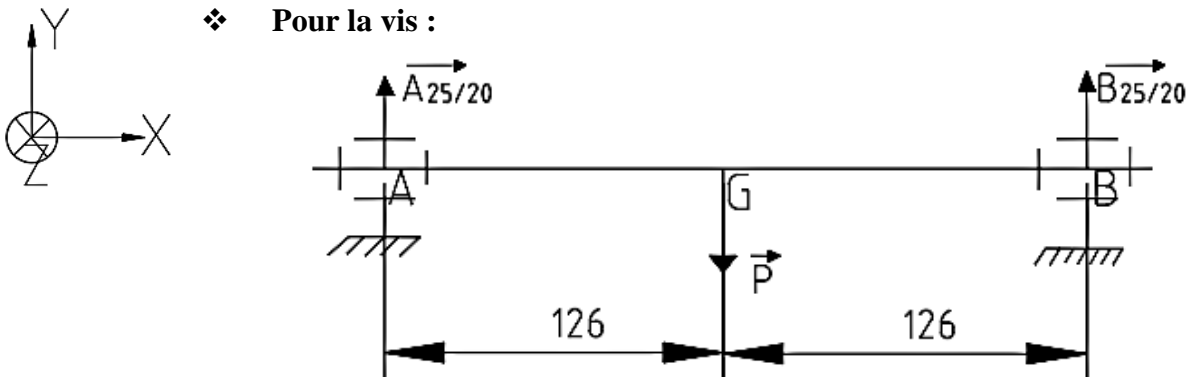


Figure 3.15 : Modélisation des actions mécaniques appliquées à la vis

- $\vec{A}_{25/20}$  est l'action mécanique que la vis exerce sur le support en A ;
- $\vec{B}_{25/20}$  est l'action mécanique que la vis exerce sur le support en B ;
- $\vec{P}$  est le poids de l'ensemble appliqué en G.

**En appliquant le principe fondamental de la statique (PFS) a la vis, on a :**

$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \Rightarrow \vec{A}_{25/20} + \vec{B}_{25/20} + \vec{P} = \vec{0}$$

$$\Rightarrow /oy : \quad A_{25/20} + B_{25/20} - P = 0 \Rightarrow \quad P = A_{25/20} + B_{25/20}$$

$$\Rightarrow \text{Comme le système est symétrique } A_{25/20} = B_{25/20} = P/2.$$

On a donc :  $A_{25/20} = B_{25/20} = 25\text{N}$ .

**Nous allons déterminer les efforts de cohésion appliqués à la vis.**

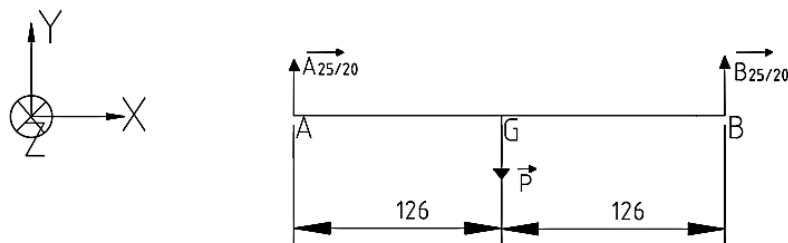


Figure 3.16 : modélisation des efforts de cohésion

Dans le tronçon  $x \in [0 ; 126[$  nous avons :

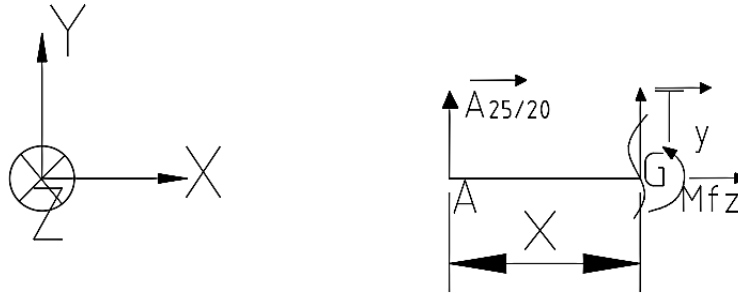


Figure 3.17 : torseur de cohésion suivant  $[0 ; 126[$

Torseur de cohésion au point A,  $T_Y$ , et G.

$$\{A_{25/20}\}_G = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 25 & 0 \\ 0 & -25x \end{Bmatrix}; \quad \{T_{cohe}\}_G = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Ty & 0 \\ 0 & Mfz \end{Bmatrix}$$

D'après le PFS,  $A_{25/20} + T_{cohe} = 0 \Rightarrow T_{cohe} = -A_{25/20}$

$$\Rightarrow \{T_{cohe}\}_G = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -25 & 0 \\ 0 & 25x \end{Bmatrix}.$$

Dans le tronçon  $x \in [126 ; 252[$  nous avons :

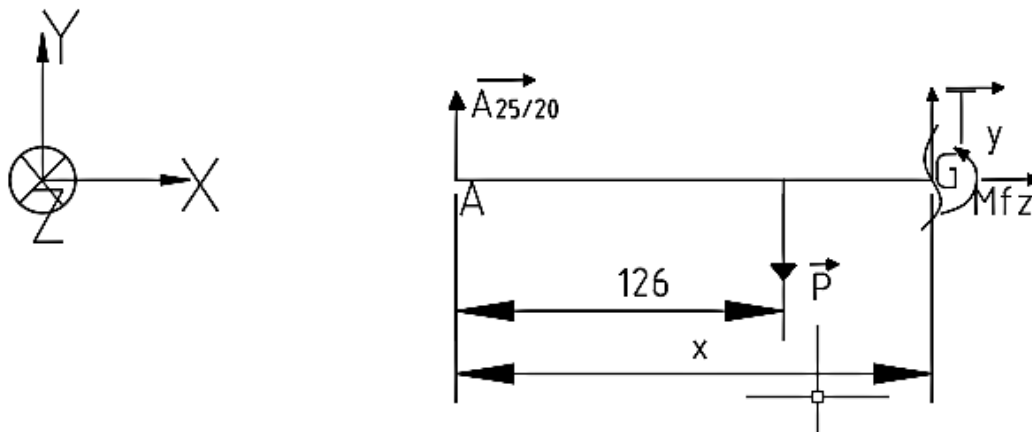


Figure 3.18: torseur de cohésion suivant  $[126 ; 253[$

Torseur de cohésion au point A,  $T_Y$ , et G.

$$\{A_{25/20}\}_G = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 25 & 0 \\ 0 & -25x \end{Bmatrix}; \quad \{T_{cohe}\}_G = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Ty & 0 \\ 0 & Mfz \end{Bmatrix}; \quad \{P\}_G = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -50 & 0 \\ 0 & (x - 126)50 \end{Bmatrix}$$

D'après le PFS,  $A_{25/20} + T_{cohe} = 0 \Rightarrow T_{cohe} = -A_{25/20}$

$$\Rightarrow \{T_{cohe}\}_G = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 25 & 0 \\ 0 & -25x + 6300 \end{Bmatrix}.$$

- **Le diagramme des efforts tranchants et des moments fléchissant nous donne :**
- Diagramme des efforts tranchants

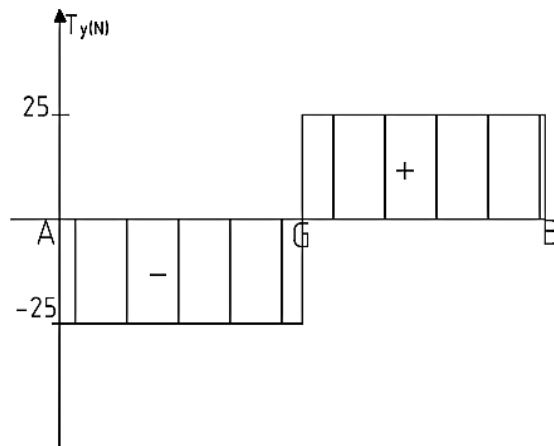


Figure 3.19 : diagramme des efforts tranchants

- Diagramme des moments fléchissant

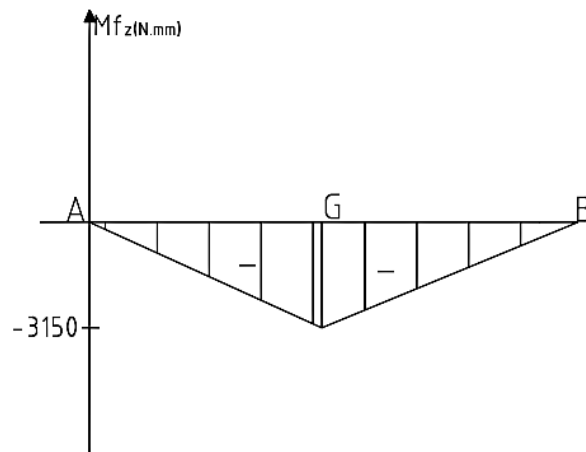


Figure 3.20 : diagramme des moments fléchissant

• La condition de résistance

Critère de rigidité :

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{pe} \Rightarrow \sigma_{\max} = \frac{|Mfz_{\max}|}{I(GZ)} \cdot Y \leq \sigma_{pe} = \frac{Re}{s} \quad \text{en prenant } s=1.5 \text{ (coefficient de sécurité), } y=d/2, \text{ et}$$

$$I(G,z) = \frac{\pi d^4}{64} \text{ on obtient : } d \geq \sqrt[3]{\frac{32 Mfz \cdot s}{\pi \cdot Re}} \Rightarrow d \geq 4.056 \text{ mm.}$$

Compte tenu du matériel de fabrication mis à notre disposition, aux ateliers nous avons opté prendre un \$d=22\text{mm}\$ pour la vis de réglage.

❖ Pour le support 4 :



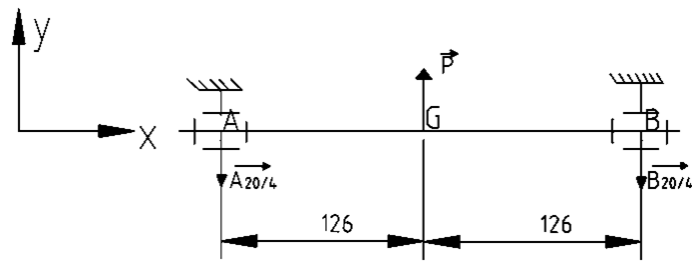


Figure 3.21 : modélisation des actions mécaniques appliquées au support

- $\vec{A}_{20/4}$  est l'action mécanique que la vis exerce sur le support en A ;
- $\vec{B}_{20/4}$  est l'action mécanique que la vis exerce sur le support en B ;
- $\vec{P}$  est la réaction du support appliqué en G.

En appliquant le principe fondamental de la statique (PFS) au support 4, on a :

$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \Rightarrow \vec{A}_{20/4} + \vec{B}_{20/4} + \vec{P} = \vec{0}$$

$$\Rightarrow /oy : \quad -A_{20/4} - B_{20/4} + P = 0 \Rightarrow \quad P = A_{20/4} + B_{20/4}$$

\(\Rightarrow\) Comme le système est symétrique  $A_{20/4} = B_{20/4} = 45 \text{ N}$ .

On a donc :  $P = 90 \text{ N}$ .

Nous allons déterminer les efforts de cohésion appliqués au support 4

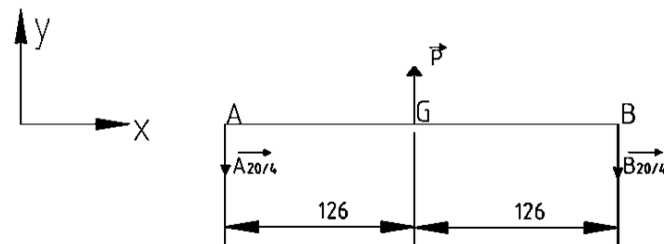


Figure 3.22 : modélisation des efforts de cohésion

Dans le tronçon  $x \in [0 ; 126[$  nous avons :

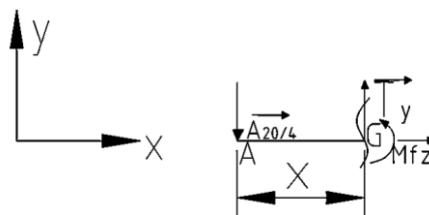


Figure 3.23 : torseur de cohésion suivant  $[0 ; 126[$

Torseur de cohésion au point A,  $T_y$ , et G.

$$\{A_{20/4}\}_G = \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ -45 & 0 \\ 0 & 45x \end{array} \right\}; \quad \{T_{cohe}\}_G = \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ T_y & 0 \\ 0 & M_{fz} \end{array} \right\}$$

D'après le PFS,  $-A_{20/20} + T_{cohe} = 0 \Rightarrow T_{cohe} = A_{20/4}$

$$\Rightarrow \{T_{cohe}\}_G = \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ 45 & 0 \\ 0 & -45x \end{array} \right\}.$$

Dans le tronçon  $x \in [126 ; 252]$  nous avons :

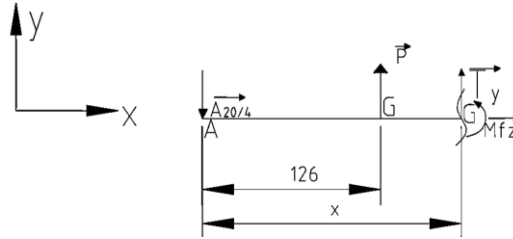


Figure 3.24 : torseur de cohésion [126 ; 252]

Torseur de cohésion au point A,  $T_Y$ , et G.

$$\{A_{25/20}\}_G = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -45 & 0 \\ 0 & 45x \end{Bmatrix}; \quad \{T_{cohe}\}_G = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ T_y & 0 \\ 0 & Mfz \end{Bmatrix}; \quad \{P\}_G = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 90 & 0 \\ 0 & -(x - 126)90 \end{Bmatrix}$$

D'après le PFS,  $A_{25/20} + T_{cohe} = 0 \Rightarrow T_{cohe} = -A_{25/20}$

$$\Rightarrow \{T_{cohe}\}_G = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -45 & 0 \\ 0 & 45x - 11340 \end{Bmatrix}.$$

- Le diagramme des efforts tranchants et des moments fléchissant nous donne :

- Diagramme des efforts tranchants

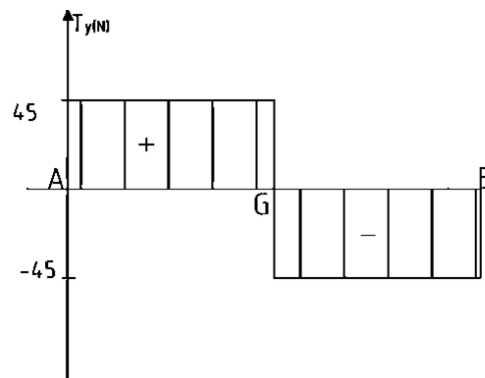


Figure 3.25 : diagramme des efforts tranchants

- Diagramme des moments fléchissant

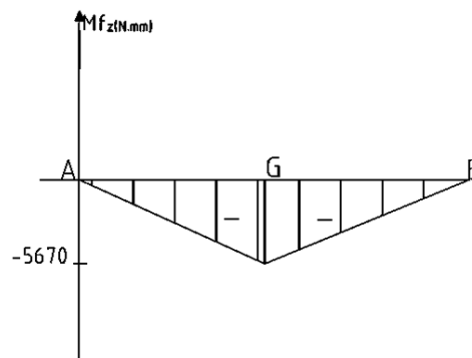


Figure 3.26 : diagramme des moments fléchissant

- La condition de résistance

Critère de rigidité :

$\sigma_{\max} \leq \sigma_{pe} \Rightarrow \sigma_{\max} = \frac{|Mfz_{\max}|}{I(GZ)} \cdot Y \leq \sigma_{pe} = \frac{Re}{s}$  en prenant  $s=1.5$  (coefficient de sécurité),  $y=h/2$ , et

$I(G,z) = \frac{bh^3}{12}$ , et sachant que  $b=65$  mm on obtient :

$$h \geq \sqrt{\frac{(6 * Mfz * s)}{(b * Re)}} \Rightarrow h \geq 2.2115 \text{ mm.}$$

Compte tenu du matériel de fabrication mis à notre disposition, aux ateliers nous avons opté prendre un  $h=10$  mm pour le support de réglage 4.

### III.5- ETUDE GRAPHIQUE

Les dessins des différents blocs mère de ce dispositif sont présentés ci-dessous :

- Le dessin d'ensemble du dispositif in-situ ;
- Nomenclature ;
- Le dessin de définition du support 4 ;
- Le dessin de définition de support de réglage 20 ;
- Le dessin de définition de la vis de réglage ;
- Le dessin de définition du bloc porte microscope-Rugosimètre.

## **Le dessin d'ensemble du dispositif in-situ**

## Le dessin de définition du support 4

**Le dessin de définition de support de réglage 20**

**Le dessin de définition de la vis de réglage**

- **Le dessin de définition du bloc porte microscope-Rugosimètre.**



- **Calcul du jeu fonctionnel**

En mécanique, le jeu est l'espace laissé entre deux pièces assemblées. Sur notre dessin d'ensemble entre les pièces 11 et 19 existe un jeu minimal qui permet le positionnement facile de la clavette 10. Nous allons calculer le jeu fonctionnel entre ces deux pièces. Le dessin suivant montre la représentation de la chaîne de cote :

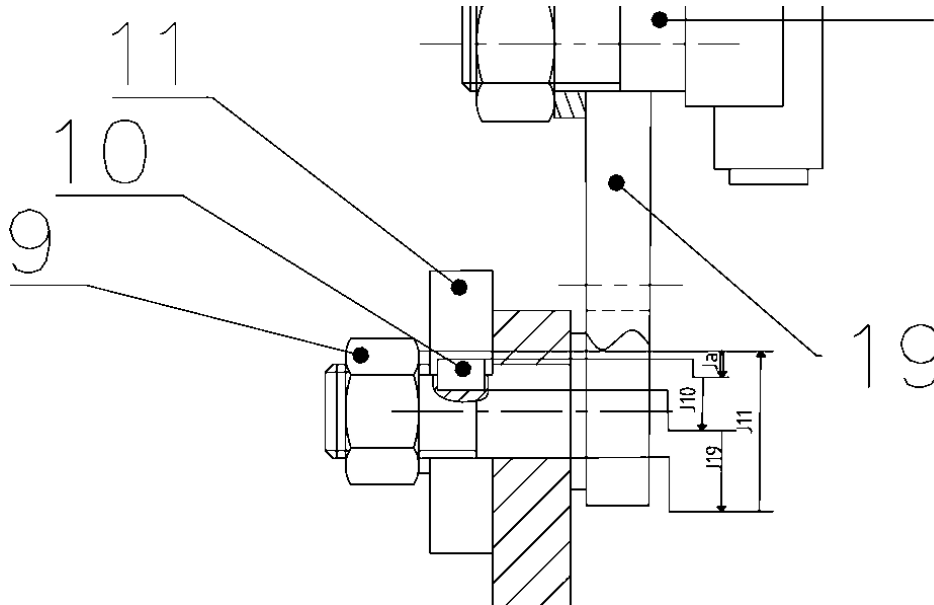


Figure 3.27 : représentation de la chaîne de cote

Pour calculer  $J_a$ , on a deux méthodes : celle par tableau ou celle par calcul. Dans le cadre de ce travail nous utiliserons la deuxième méthode.

$$J_{a \max} = J_{10 \max} + J_{19 \max} - J_{11 \min}$$

$$J_{a \min} = J_{10 \min} + J_{19 \min} - J_{11 \max}$$

On a :  $J_{10} = 4^{\pm 0.02}$  ;  $J_{19} = 12^{\pm 0.01}$  ;  $J_{11} = 14^{\pm 0.01}$

L'intervalle de tolérance du jeu ( IT  $J_a$ ) doit être :

$$IT J_a \geq \sum IT \text{ cotes composantes ainsi : } IT J_a \geq IT J_{10} + IT J_{19} + IT J_{11}$$

$$IT J_a \geq 0.04 + 0.02 + 0.02$$

$$IT J_a \geq 0,08.$$

$$J_{a \max} = 4.02 + 12.01 - 13.99$$

$$= 2.04$$

$$J_{a \min} = 3.98 + 11.99 - 14.01$$

$$= 1.96$$

Par conséquent  $J_a = 2^{\pm 0.04}$  est le jeu qu'il faut prévoir pour le passage de la clavette parallèle 10 entre 11 et 19.

- **Choix des conditions de coupe à utiliser**

Puisque le travail s'effectue sur de l'acier, en se référant au tableau donnant les conditions de coupe pour les travaux en tournage (ANNEXE 1) le choix sera de :

➤  $V = 30$  m/min pour l'outil en acier rapide ;

L'utilisation d'un lubrifiant constitué d'eau et d'huile soluble en proportion équitable sera requise pour l'usinage.

On sait que la vitesse de coupe est liée à la fréquence de rotation par la formule

$$N = \frac{1000 V_c}{\pi D}$$

Pour la pièce de diamètre 20 mm, en utilisant l'outil en acier rapide nous avons :

$$AN : N = \frac{1000 \times 30}{\pi \times 20}$$

$$N \approx 477,07 \text{ tr/min}$$

En utilisant l'outil en carbure nous avons :

$$AN : N = \frac{1000 \times 140}{\pi \times 20}$$

$$N \approx 2229,30 \text{ tr/min.}$$

En plus la vitesse d'avance  $V_f$  est :  $V_f = N \times f$

Où  $N$  est fréquence de rotation en tr/min et  $f$  est l'avance par tour en mm/tr

En se référant au tableau donnant les conditions de coupe pour les travaux en tournage (ANNEXE 1),  $f$  est pris entre 0,1 et 0,2 pour l'outil en acier rapide (nous prendrons **0,2mm/tr**) et entre 0,2 et 0,3 pour les outils en carbure (nous prendrons **0,3mm/tr**).

AN :  $V_f = 477,07 \times 0,2 = 95,414$  mm/min avec l'outil en acier rapide.

Et  $V_f = 2229,30 \times 0,3 = 668,79$  mm/min avec l'outil en carbure.

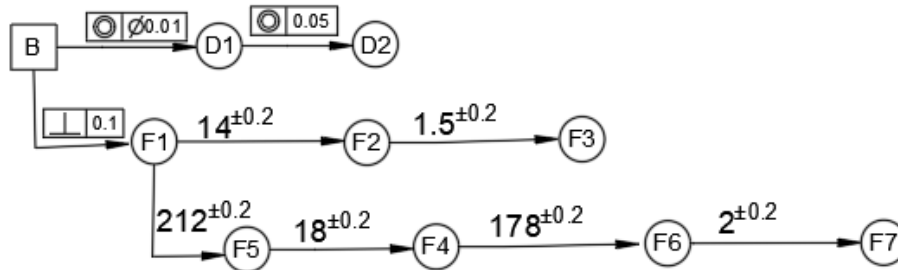
### III.6- ETUDE DE REALISATION DE LA VIS DE REGLAGE

- Dessin de fabrication ;
- Graphe de liaison ;
- Tableau de détermination des opérations élémentaires ;
- Tableau d'association des surfaces élémentaires ;
- Tableau d'analyse des surfaces élémentaires ;
- Tableau des niveaux d'usinages ;
- Tableau de regroupement en phase ;
- Avant-projet d'étude de fabrication ;
- Les contrats de phases

– **Dessin de fabrication de la vis de réglage**

GRAPHE DE LIAISON DE LA VIS

Direction OX



Direction OY

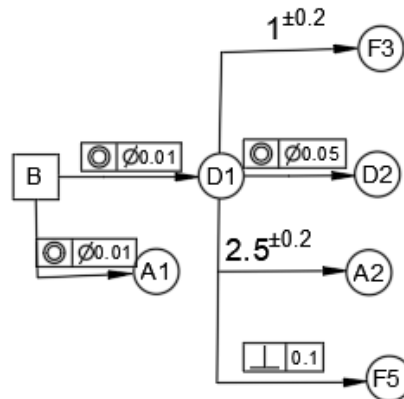


Figure 3.28: graphe de liaison

**Tableau 3.2** : Tableau de détermination des opérations élémentaires (sources : auteur ; adapté par nos soins)

**TABLEAU DE DETERMINATION DES OPERATIONS ELEMENTAIRES**

Rep Surface	Exigence fonctionnelle			Exigence technologiques	Opérations élémentaires	
	IT	Ra	Particulier		Nombre	Symbolisation
F1	0.1	3.2			01	F1F
F2	0.4	3.2			01	F2F
F3	0.4	3.2			01	F3F
F4	0.4	3.2			01	F4F
F5	0.4	3.2			01	F5F
F6	0.4	3.2			01	F6F
F7	0.4	3.2			01	F7F
D1	0.01	1.6			02	D1E, D1F
D2	0.05	1.6			02	D2E, D2F
D3	0.4	3.2			01	D3F
A1	0.01	3.2		Foret $\phi 8$ et taraud M10	02	A1E, A1F
A2	0.4	3.2		Charioter avant de fileter	02	A2E, A2F

**Tableau 3.3** : tableau d'association des surfaces élémentaires (sources : auteur ; adapté par nos soins)

TABLEAU D'ASSOCIATION DES SURFACES ELEMENTAIRES		
Surfaces élémentaires	Justifications (Nature des outils, etc....)	Nouvelle désignation
F6F, F7F, D3F	Outil à tronçonner	G1F

**Tableau 3.4** : Tableau d'analyse des contraintes d'antériorité (sources : auteur ; adapté par nos soins)

TABLEAU D'ANALYSE DES CONTRAINTES D'ANTERIORITE													
Surfaces élémentaire	Dimension nelle	Contraintes											
		Géométriques							Technologique			Économique	
		//	⊥	⊙	⊕	∠	≡	Autres	Reprise	Opération	Bavure	Moindre usage	Outils de finition
F1F			B	B									
F2F	F1F												
F3F	F2F												
F4F	F5F												
F5F	F1F		D1F										
G1F	D1F, F4F												
D1E				B									
D1F										D1E			
D2E	D1F			D1F									
D2F										D2E			
A1E				B									
A1F										A1E			
A2E	D1F												
A2F										A2E			

**Tableau 3.5** : Tableau de niveau d'usinage (sources : auteur ; adapté par nos soins)

		ENTREE														Total	NIVEAU					
		B	F1F	F2F	F3F	F4F	F5F	G1F	D1E	D1F	D2E	D2F	A1E	A1F	A2E		A2F	1	2	3	4	5
SORTIE	B	1															0					
	F1F		1														1	0				
	F2F			1													1	1	0			
	F3F				1												1	1	1	0		
	F4F					1											1	1	1	1	0	
	F5F						1				1						2	2	1	0		
	G1F							1				1					2	2	2	1	1	0
	D1E								1								1	0				
	D1F									1							1	1	0			
	D2E										1						1	1	1	0		
	D2F											1					1	1	1	1	0	
	A1E												1				1	0				
	A1F													1			1	1	0			
	A2E										1						1	1	1	0		
	A2F														1		1	1	1	1	0	
																	F1F D1E A1E	F2F D1F A1F	F3F F5F D2E A2E	F4F D2F A2F	G1F	

**Tableau 3.6** : Tableau de regroupement en phase (sources : auteur ; adapté par nos soins)

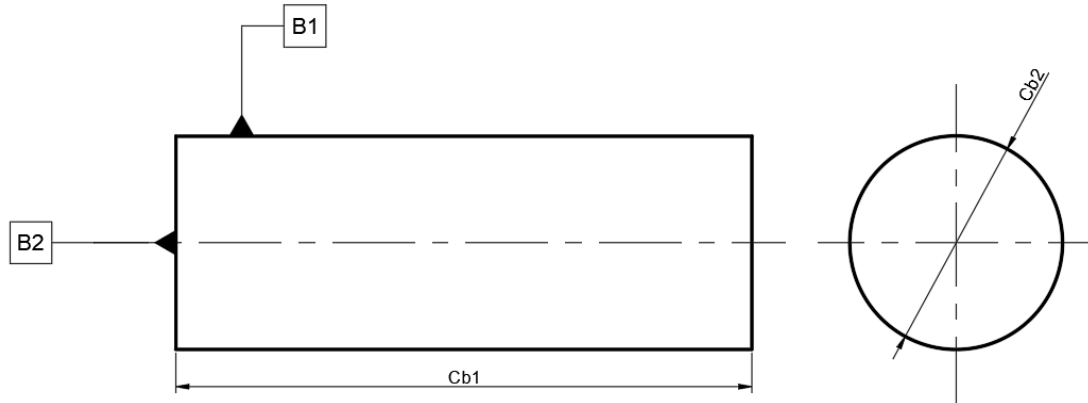
TABLEAU DE REGROUPEMENT EN PHASE	
NIVEAU D'USINAGE	OPERATION ELEMENTAIRE
1	F1F, D1E, A1E
2	F2F, D1F, A1F
3	F3F, F5F, D2E, A2E
4	F4F, D2F, A2F
5	G1F

**Tableau 3.7** : Avant-projet d'étude de fabrication (sources : auteur ; adapté par nos soins)

AVANT PROJET D'ETUDE DE FABRICATION			
N° de phase	Sous-phase	Désignations	Surfaces usinées (dans l'ordre logique)
10		Contrôle du brute	
20	20 A	Tournage 1	F1F, D1E, D1F, F3F
	20 B	Perçage	A1E
	20 C	Taraudage	A1F
30	30 A	Tournage 2	F2F, F5F, A2E, D2E, F4F, D2F
	30 B	Tronçonnage	G1F
	30 C	Filetage	A2F
40		Contrôle final	

<b>ENSET D'EBOLOWA</b>	<b>CONTRAT DE PHASE</b>	<b>Cadence :</b>	<b>Date :</b>
<b>Nombre de pièces : 01</b>	<b>Machine outils : marbre</b>	<b>Matière : S355</b>	
<b>Désignation : Vis de réglage</b>	<b>PHASE 10 : CONTROLE DU BRUTE</b>	Tableau 3.8	

Référentiel de mise en position :

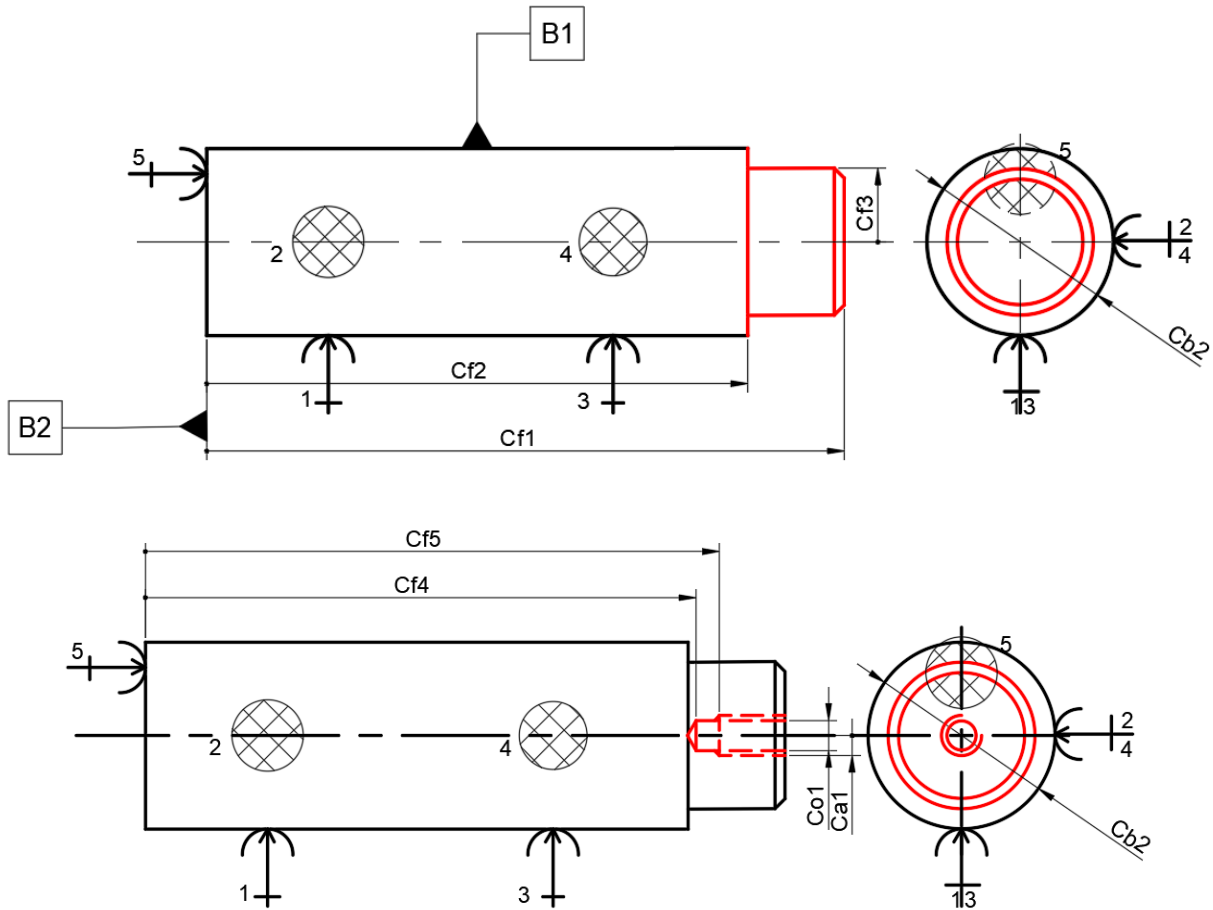


Opération d'usinage		Outillages		Eléments de coupe				
Rep	Désignation	Outils de coupe	Vérificateur	Vc m/mn	N Tr/mn	f mm/tr	ap mm	Lc Mm
1	Cb1=228 <sup>±0.2</sup>		-PC au 1/50° -Le marbre					
2	Cb2=28 <sup>±0.2</sup>		-PC au 1/50° -Le marbre					



<b>ENSET D'EBOWLA</b>	<b>CONTRAT DE PHASE</b>	<b>Cadence :</b>	<b>Date :</b>
<b>Nombre de pièces : 01</b>	<b>Machine outils : marbre</b>	<b>Matière : S355</b>	
<b>Désignation : Vis de réglage</b>	<b>PHASE 20 : TOURNAGE 1</b>	Tableau 3.9	

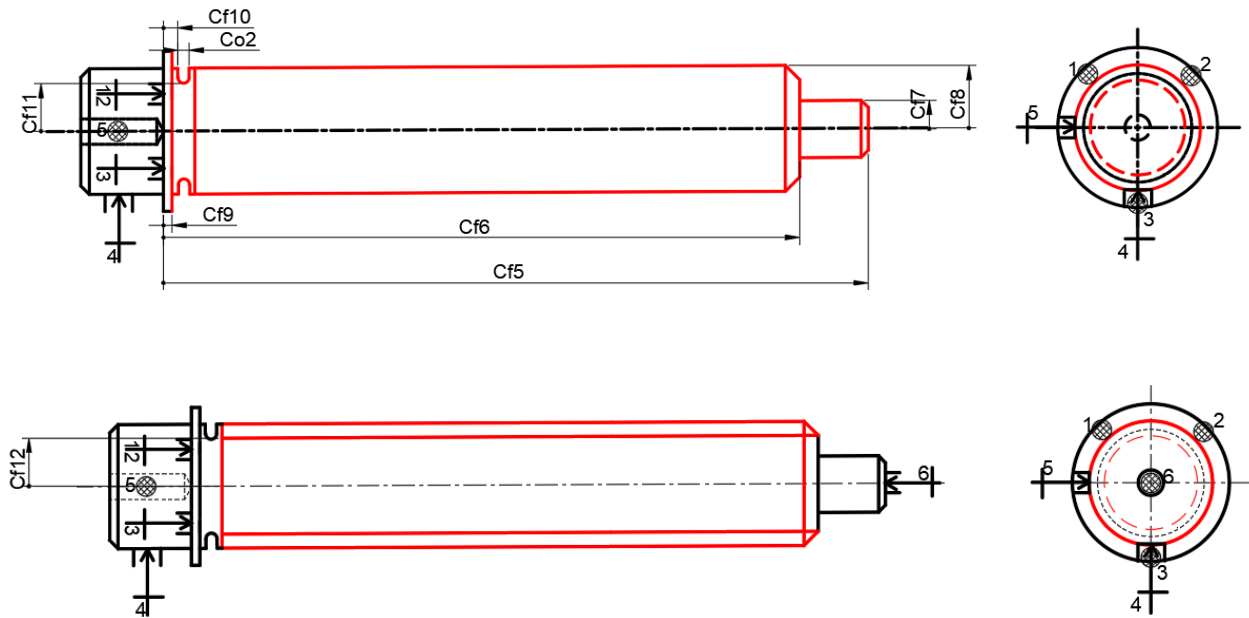
**Référentiel de mise en position :** Centrage Long sur B1 et butée sur B2



Sous - Phase	Opération D'usinage	Outillages		Éléments de coupe				
	Désignation	Outils de coupe	Vérificateur	Vc m/ mn	N Tr/mn	f mm/ tr	ap m m	Lc Mm
A	Dresser F1F	Outil à dresser et à charioter	-PC au 1/50° -jauge de profondeur	30	2229.30	0.3		Cf1=224 <sup>±0.2</sup>
	Charioter D1E, D1F et dresser F3F			30	2229.30	0.3		Cf2=28 <sup>±0.2</sup> Cf3=22 <sup>±0.015</sup>
B	Percer A1E	Foret Ø8		25	150	0.2		Co1=Ø8 <sup>±0.2</sup>
C	Tarauder A1F	Taraud M10	Peigne à filet					Ca1=10 <sup>±0.2</sup>

<b>ENSET D'EBOWLA</b>	<b>CONTRAT DE PHASE</b>	<b>Cadence :</b>	<b>Date :</b>
<b>Nombre de pièces : 01</b>	<b>Machine outils : marbre</b>	<b>Matière : S355</b>	
<b>Désignation : Vis de réglage</b>	<b>PHASE 30 : TOURNAGE 2</b>	Tableau 3.10	

**Référentiel de mise en position :** Appui plan sur, centrage court sur et butée



Sous - Phase	Opération D'usinage	Outillages		Éléments de coupe				
	Désignation	Outils de coupe	Vérificateur	Vc m/mn	N Tr/mn	f mm/tr	ap m m	Lc Mm
A	Dresser F5F	Outil à dresser et à charioter	-PC au 1/50 <sup>e</sup>	30	2229.30	0.3		Cf5=197.5 <sup>±0.5</sup>
	Charioter D2E, D2F et dresser F4F			30	2229.30	0.3		Cf6=179.5 <sup>±0.2</sup> Cf7=10 <sup>±0.2</sup>
	Charioter A2E, dresser F2F			25	150	0.2		Cf8=22 <sup>±0.2</sup> Cf9=1.5 <sup>±0.2</sup>
B	Tronçonner G1F	Outil à tronçonner	Jauge de profondeur	25	100	02		Co2=2 <sup>±0.2</sup> Cf10=2 <sup>±0.2</sup> Cf11=16 <sup>±0.2</sup>
C	Fileter A2F	Outil à fileter	Peigne à filet	25	150	02		Cf12=17 <sup>±0.2</sup>



## PARTIE C : ETABLISSEMENT DES BASES DE DONNEES PARAMETRES ET IMAGES

### III.7- BASE DE DONNEES DES PARAMETRES

#### a) Matériels

Pour constituer notre base de données de paramètres, nous allons utiliser un ensemble de matériel notamment : les nuances d'acier à usiner, les outils pour l'usinage, une machine-outil, le dispositif in-situ de mesure surfacique de rugosité et les instruments de mesure.

- **Les nuances d'acier**

Pour nos travaux nous allons utiliser les aciers C10, C30, C35 dont les tests de spectrométrie ont été effectués dans le laboratoire de la société « LES ACIERIES DU CAMEROUN S.A », L'imprimé des résultats de ces tests est présenté en annexe du document et le dispositif in-situ de mesure surfacique de rugosité.

- **Les outils**

Afin d'analyser l'impact de la nature de l'outil sur la valeur de la rugosité des surfaces, nous utiliserons deux outils identiques (fraise 2T cylindrique) pour les travaux expérimentaux :



Figure 3.29 : fraise 2 T Cylindrique



Fraiseuse verticale, G VERNIER PARIS, table à fentes 1200\*300 mm, débattement de 500 mm, prise triphasée 415V, avec tête de séparation, pince et tête supplémentaire, d'environ 2 tonnes, acheteur à charger, situé : 143 Oxford St, Cambridge Park NSW.

- **La machine-outil**

Les usinages se feront avec la fraiseuse universelle d'un atelier de fabrication mécanique de Yaoundé dans la région du Centre Cameroun.

Figure 3.30 : fraiseuse universelle

- **Instrument de mesure**

Pour l'obtention des valeurs de rugosité, nous utiliserons le Rugosimètre : Surface Roughness Tester 6210 (SRT 6210)



Paramètres mesurés :  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_q$  et  $R_t$

Précision : Pas plus de 10%

Profil digital des filtres : RC, PC-RC, Gauss, D-P

Longueurs d'onde de coupure : 0,25 ; 0,8 et 2,5

Figure 3.31 : Rugosimètre SRT 6210

- b) **Protocole d'usage**

- **Choix des conditions de coupe à étudier**

D'après les conclusions des travaux de Girish Tilak Shet, N. Lashmana Swamy, H. Somashekar en 2014, les conditions de coupe influençant grandement l'état des surfaces sont : la vitesse de coupe, l'avance et la profondeur de passe comme le montre l'équation suivante :

$$\text{Rugosité } (\mu\text{m}) = 3.33 - 0.000217 \text{ vitesse de coupe (m/min)} + 3.77 \text{ avances (mm/trs)} + 0.142 \text{ profondeur de passe (mm)}$$

Ainsi dans le cadre de nos travaux nous prendrons en compte l'influence de :

- La vitesse d'avance (f) ;
- La profondeur de passe ( $P_p$ ).

Puisque nous travaillons sur de l'acier, en se référant au tableau présent en annexe donnant les conditions de coupe pour les travaux en fraisage, nous choisirons :

- $V_c = 160$  m/min pour la fraise 2T cylindrique ;
- $f = 0.125$  mm/dents ;
- $P_p = 1$  mm.

Aussi les conclusions des travaux de Stéphanie Bissey-Breton, José Farré, Vincent Vignal et Nicolas Mary de 2007 révèlent clairement l'influence de la lubrification dans le processus d'usinage pour cela nous ferons les usinages d'abord sans lubrification ensuite avec lubrification.

Avec lubrification nous utiliserons un lubrifiant constitué d'eau et de l'huile soluble en proportion équitable pour l'usinage de chaque échantillon.

- **Préparation des spécimens**

- **Détermination de la longueur de chaque spécimen**

La longueur maximale de course de la sonde étant de 17,5mm, nous allons prendre pour chaque échantillon une longueur de 20 mm.

• **Méthodologie de réalisation des expériences**

Le Protocole expérimental défini ici permet de déterminer le nombre de passe à effectuer sur chaque spécimen, et de faire une moyenne des valeurs obtenues.

**Protocole de mesure**

Nous utiliserons le Rugosimètre SRT 6210 décrit plus haut pour les mesures, les étapes du Grafcet ci-dessous sont exploitées :

Mais avant il faut retirer avec soin tout résidu d’huile ou particule de poussière de la surface cible.

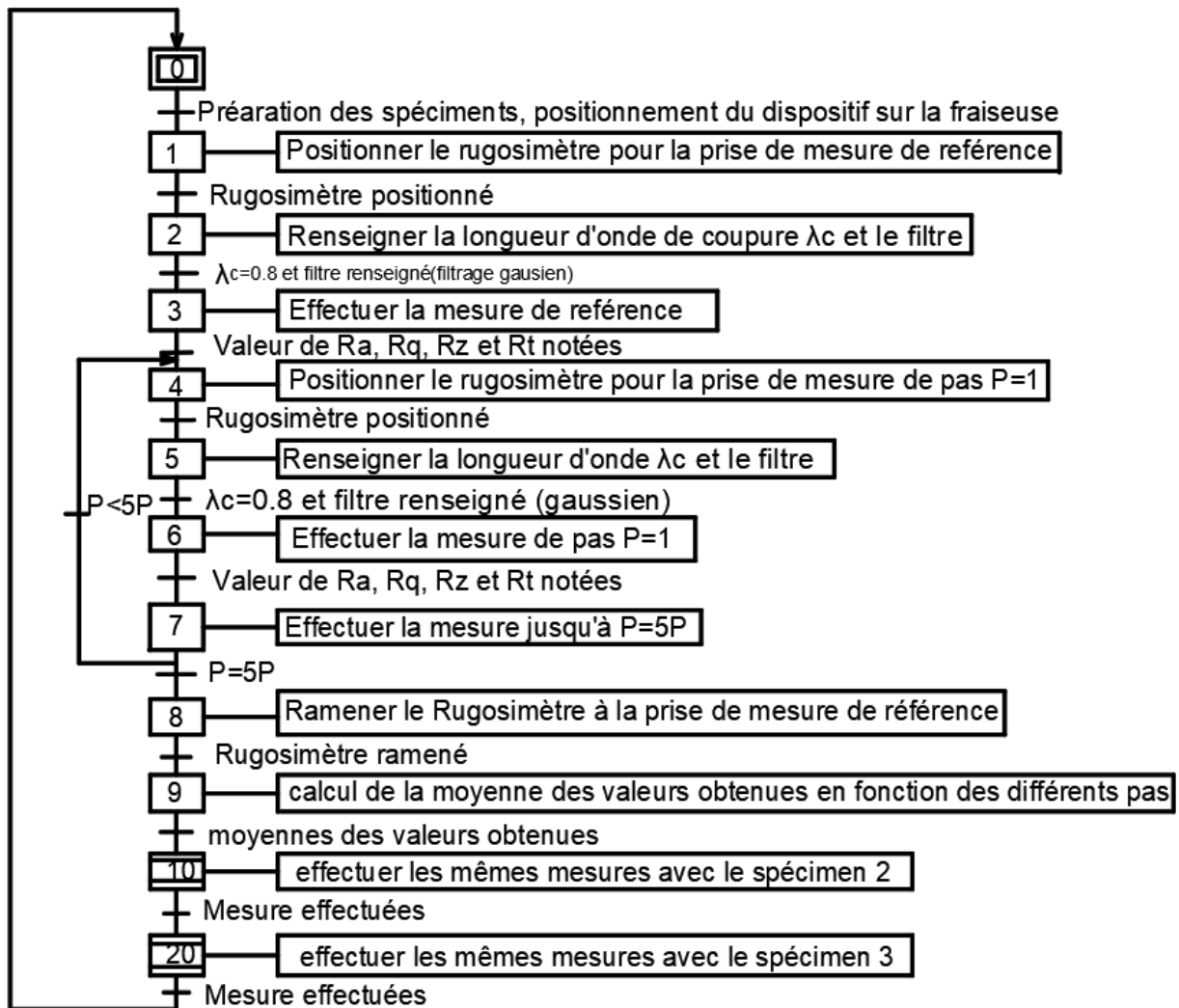
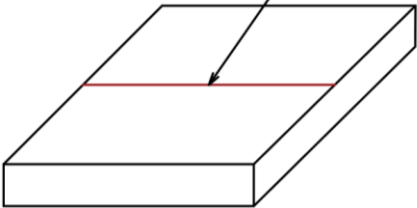
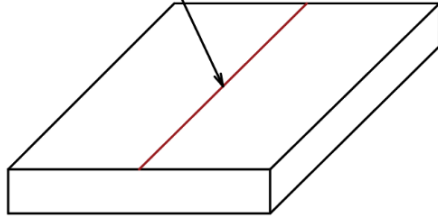
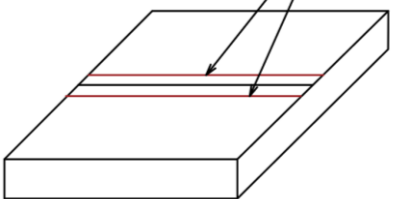
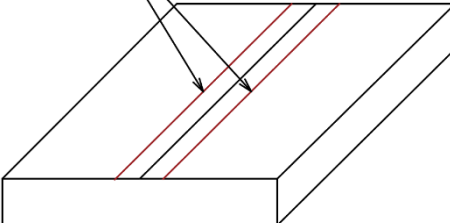
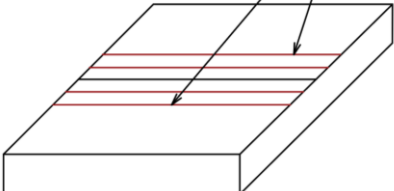
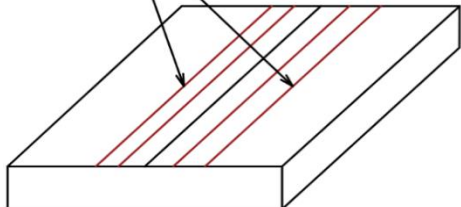
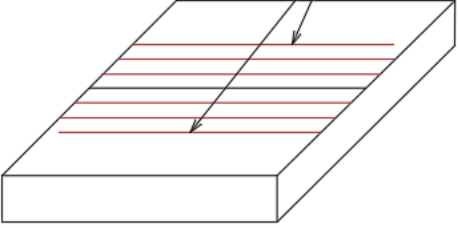
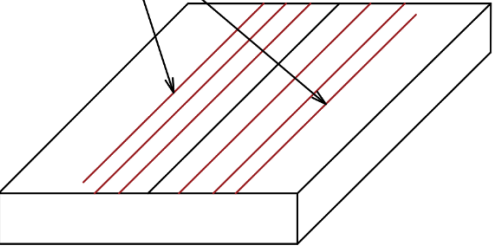
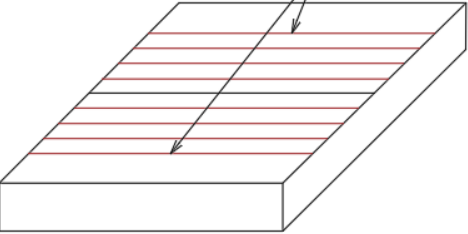
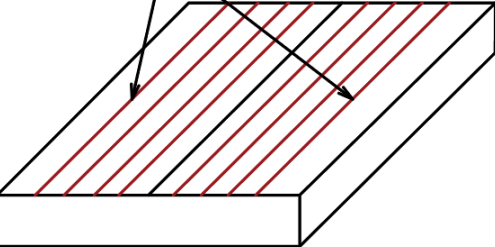
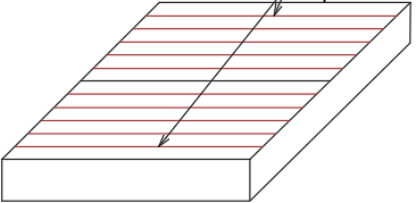
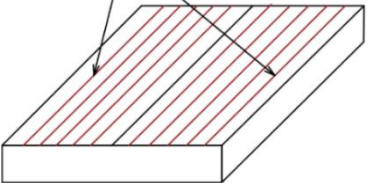


Figure 3.32: protocole de mesure avec le Rugosimètre SRT 6210.

Tableau 3.12 : profil de mesure du Rugosimètre sur le spécimen (source : auteur)

	Direction horizontale	Direction transversal
Mesure de référence du Rugosimètre	<p>passage du Rugosimètre (mesure profilaire de référence)</p> 	<p>passage du rugosimètre (mesure profilaire de référence)</p> 
Mesure de pas p=1	<p>mesure profilaire autour de la référence de pas P=1</p> 	<p>mesure profilaire autour de la référence de pas P=1</p> 
Mesure de pas P=2P	<p>mesure profilaire autour de la référence de pas P=2P</p> 	<p>mesure profilaire autour de la référence de pas P=2P</p> 

<p>Mesure de pas <math>P=3P</math></p>	<p>mesure profilairé autour de la référéncé de pas <math>P=3P</math></p> 	<p>mesure profilairé autour de la référéncé de pas <math>P=3P</math></p> 
<p>Mesure de pas <math>P=4P</math></p>	<p>mesure profilairé autour de la référéncé de pas <math>P=4P</math></p> 	<p>mesure profilairé autour de la référéncé de pas <math>P=4P</math></p> 
<p>Mesure de pas <math>P=5P</math></p>	<p>mesure profilairé autour de la référéncé de pas <math>P=5P</math></p> 	<p>mesure profilairé autour de la référéncé de pas <math>P=5P</math></p> 



### III.8 - BASE DE DONNEES IMAGES

#### a) Matériels

Pour l'acquisition des données images, nous utiliserons :

Un microscope MV-900 dont les caractéristiques sont les suivantes :



Frame Rate : Max 30Fps under 600 lux brightness  
 Magnifying power : 10X-200X  
 Resolution : 640\*480 up to 3200\*2400  
 Hardware interface : USB2.0  
 Image sensor : Color CMOS sensor 1280\*1024 pixel  
 Focus Range : Manual focus from 10mm-infinite  
 Light source : White light LED\*4

Figure 3.33: Microscope MV-900

➤ Un ordinateur portable dont les caractéristiques sont les suivantes :

Tableau 3.13 : Caractéristiques de l'ordinateur portable utilisé (source : auteur)

Marque	Système d'exploitation	Type du système	RAM	Disque dur	Processeur
ASUS	Windows 10 professionnel	Système d'exploitation 64 bit	8.00 Go	1000 Go	Intel(R) Core (TM) i5-5200U CPU @ 2.20 GHz

#### b) Protocole d'acquisition

Nous présenterons cette méthodologie sous forme d'un Grafset et il est applicable sur chaque prise. Cette méthode d'acquisition est basée sur les travaux de Ngongang [28] et le choix des intervalles d'angles qui seront précisés dans le protocole de mesure résultent du résultats et perspectives issues du même travail.

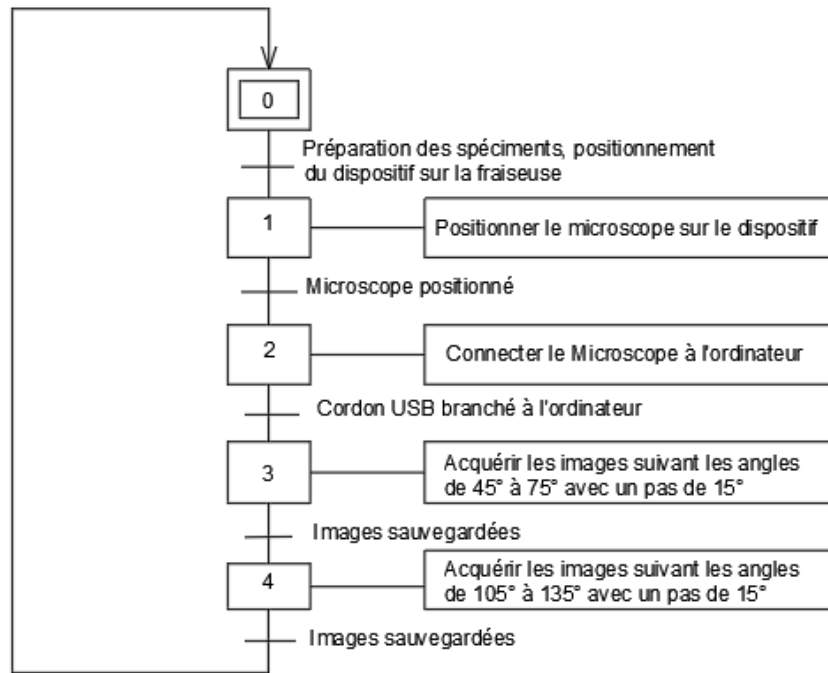


Figure 3.34: Protocole de mesure avec le Microscope MV-900 [28].

Une fois les valeurs des paramètres de rugosité obtenues, nous les introduisons dans les tableaux présentés au chapitre 4.

Parvenu au terme de ce chapitre dont l'objet était la présentation de l'ensemble du matériel nécessaire à la réalisation de notre dispositif et les méthodes utilisées pour sa mise en œuvre effective, il ressort que pour mieux faire cette présentation nous avons organisé le chapitre en trois grandes parties : D'abord nous avons travaillé sur le dispositif d'acquisition partant de son étude dimensionnelle, étude graphique jusqu'à son étude de réalisation. Au cours de cette démarche nous avons fait l'analyse de fabrication de la vis de réglage. (Pièce très importante du bloc). Par la suite, nous avons travaillé sur l'établissement des bases de données paramètres et images et là nous notons que trois nuances d'acier (C10, C30 et C35), deux outils (en acier et en carbure de tungstène), un microscope MV900, un Rugosimètre SRT 6210 et un dispositif d'acquisition (dont la conception a été présentée) seront utilisées pour l'acquisition des paramètres suscités. Les acquisitions se dérouleront comme présenter dans les différents protocoles.

## **Chapitre 4**

---

# **RESULTATS ET DISCUSSIONS**

Dans ce chapitre il est question de présenter les résultats de notre dispositif, des paramètres et images obtenus et d'amorcer une discussion par rapport à ces derniers. La discussion se fera sur la base des résultats présentés dans la revue de littérature.

---

IV.1- Dispositif d'acquisition des données .....	79
IV.1.1- Dispositif in-situ.....	79
IV.1.2- Guide d'utilisation .....	80
IV.1.3- Plan de maintenance .....	81
IV.1.4- Résultats : Mesure surfacique de rugosité sur pièces fraisées.....	82
IV.1.5- Base de données images.....	86
IV.1.6- Interprétation des résultats pris par le rugosimètre.....	86
IV.2- Discussions .....	86
IV.2.1- Avantages et limites du dispositif in-situ .....	86
IV.2.2- Acquisition des données paramètres.....	87
IV.2.3- Acquisition des données images.....	88
IV.3- Coûts estimatifs du dispositif in-situ.....	88
IV.3.1- Estimations du coût de la matière d'œuvre .....	88
IV.3.2- Estimation du coût de production.....	89
IV.3.3- Logistique et transport .....	89
IV.3.4- Estimation du coût de revient du prototype.....	89

---

## **IV.1- DISPOSITIF D'ACQUISITION DES DONNEES**

### **IV.1.1- DISPOSITIF IN-SITU**

Le dispositif in-situ est un ensemble d'éléments assemblées entre elles par des vis pour respecter certaines contraintes à savoir la perpendicularité et la coaxialité de plusieurs éléments ainsi que la planéité. Nous lui avons appelé **REGLOMETRE MSR.2020**. Nous illustrons cela par cette figure 4.1. Ce pendant nous avons sorti une fiche descriptive de ce dernier présenté en annexe.



*Figure 4.1: Règlo-mètre MSR.2020*



*Figure 4.2 : Prise de passe de finition et prélèvement données*

## IV.1.2- GUIDE D'UTILISATION DU DISPOSITIF IN-SITU

### a) Méthode d'assemblage du dispositif in-situ

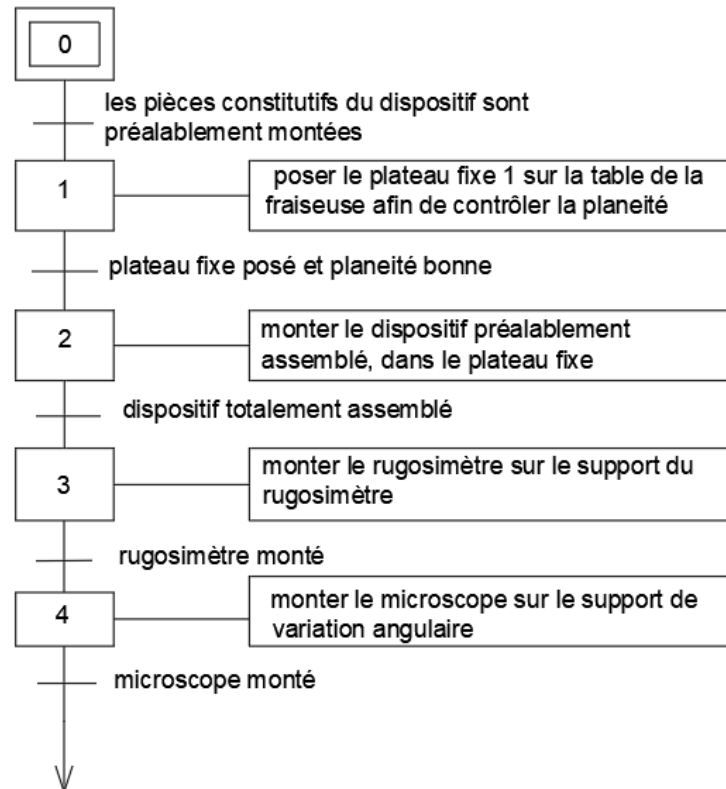


Figure 4.3 : graphe d'assemblage aux éléments fonctionnel du dispositif

Une fois ce dispositif monté il fonctionne selon le protocole de mesure établi dans notre troisième articulation.

### Règles de sécurité

- Ne pas plonger le dispositif dans de l'eau, ni dans aucun autre liquide car il y'a risque de corrosion ;
- Disposer le dispositif sur un endroit sec ;
- Attention au risque de blessure pendant la manipulation du bloc porte microscope puisqu'il est en acier pour construction ;
- Eviter la manipulation pendant le processus d'acquisition ;
- Respecter les règles de sécurité relatives au travail sur une fraiseuse universelle (l'utilisation des équipements de protection individuels (EPI) est exigée ).

### b) Description du fonctionnement du dispositif

Le processus de fonctionnement ici concerne comment utiliser le dispositif in-situ pour prendre les passes pour les différentes mesures sur une surface à l'aide du rugosimètre et effectuer l'acquisition des données.

Une fois le dispositif assemblé, tel que présenté à la figure 4.1 précédente ; il convient de procéder au positionnement du rugosimètre sur le support du rugosimètre et procéder aux différentes prises de passe telles que illustrées dans la troisième articulation du mémoire et ainsi de même pour l'acquisition des données images.

- Après l'usinage de la première passe, tourner le volant du dispositif de  $P=1$  mm et recommencer la mesure ;
- Si la pièce à plusieurs surfaces disposées, faire monter ou descendre le support du rugosimètre à l'aide des trous oblongs afin de pouvoir tangenter sur la surface concernée ;
- Prendre plusieurs passes jusqu'à l'ordre de  $n$  passe, tous fonctions d'un pas  $P$  ( $P$  est la distance de décalage effectuée après chaque prise de passes) dans toutes les directions à savoir : direction horizontale, et transversale ;
- Prendre l'image à l'aide du microscope et l'envoyer dans la machine (ordinateur) afin de créer une base de données images.

#### **IV.1.3- Plan de maintenance**

La maintenance a pour rôle principal de maintenir ou de rétablir un bien dans un état où il peut accomplir sa fonction requise. Ainsi, dans l'optique d'assurer la longévité et la disponibilité de ce dispositif une série d'opérations de maintenance préventive doit être exécutée. Il faut :

- Après chaque utilisation, nettoyer à l'aide d'un tissu propre les surfaces de prises du rugosimètre ;
- Avoir toujours un peu de graisses pour faciliter le déplacement du bloc porte rugosimètre -microscope.

**IV.1.4- Résultats : Mesure surfacique de rugosité sur pièces fraisées**







#### IV.1.5 - Interprétation des résultats pris par le rugosimètre

##### a) Spécimen 1

- **Trajectoire longitudinale** : les valeurs de rugosités, de part et d'autre de la ligne de référence augmentent lorsque l'on augmente progressivement le pas  $p=1$  sur tout le long de la surface. Plus on s'éloigne de la ligne de référence, plus les valeurs de rugosité s'accroissent.
- **Trajectoire transversale** : les valeurs de rugosités, de part et d'autre de la ligne de référence diminuent lorsque l'on augmente progressivement le pas  $p=1$  sur tout le long de la surface. Plus on s'éloigne de la ligne de référence, plus les valeurs de rugosité se rapprochent de la valeur de référence.

##### b) Spécimen 2

- **Trajectoire longitudinale** : les valeurs de rugosités, de part et d'autre de la ligne de référence augmentent lorsque l'on augmente progressivement le pas  $p=1$  sur tout le long de la surface. Plus on s'éloigne de la ligne de référence, plus les valeurs de rugosité s'accroissent et diminuent.
- **Trajectoire transversale** : les valeurs de rugosités, de part et d'autre de la ligne de référence diminuent lorsque l'on augmente progressivement le pas  $p=1$  sur tout le long de la surface. Plus on s'éloigne de la ligne de référence, plus les valeurs de rugosité s'éloignent en étant inférieur à la valeur de référence.

##### c) Spécimen 3

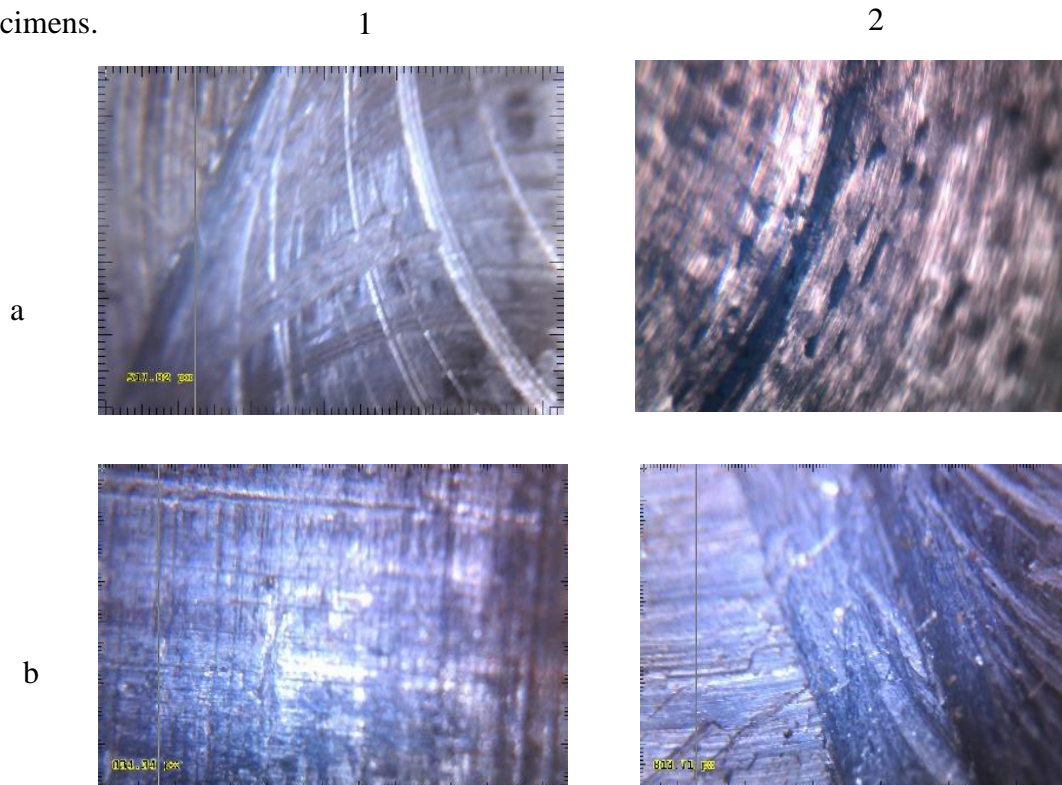
- **Trajectoire longitudinale** : les valeurs de rugosités, de part et d'autre de la ligne de référence augmentent lorsque l'on augmente progressivement le pas  $p=1$  sur tout le long de la surface. Plus on s'éloigne de la ligne de référence, plus les valeurs de rugosité sont proches.
- **Trajectoire transversale** : les valeurs de rugosités, de part et d'autre de la ligne de référence augmentent lorsque l'on augmente progressivement le pas  $p=1$  sur tout le long de la surface. Plus on s'éloigne de la ligne de référence, plus les valeurs de rugosité s'éloignent de la valeur de référence.

**En somme, nous avons pu remarquer que la mesure de référence nous donne des valeurs précises. Pourtant en variant le pas  $p=1$  sur toutes la surface on obtient des valeurs qui pour la plupart s'éloignent de la première mesure. Cela signifie donc que lorsqu'on effectue la mesure surfacique, la rugosité sur la surface est la moyenne des différentes mesures profilare de cette même surface.**

#### IV.1.6- Base de données images

Les travaux effectués aux ateliers de fabrication mécaniques nous ont permis d'établir une base de données d'images pris entre différents angles d'acquisition variant de 45° - 75° et de 105° à 135°.

Nous présentons ci-dessous quelques images issues du microscope MV 900 des différents spécimens.



1a) C10, 60°, Fraisage, ARS - 2a) C30, 75°, Fraisage, ARS.

1b) C35, 105°, Fraisage, ARS – 2b) C35, 45°, Fraisage, ARS.

(Poids : 800, Taille/ 640\*480 pixels, Format : Bitmap)

Figure 4.4: échantillons d'images de la base de données

#### IV.2- DISCUSSIONS

##### IV.2.1- Avantages et limites du dispositif in-situ

###### a) Avantages

- Ce système est assemblé en un seul bloc ;
- Il permet de mesurer la rugosité des surfaces sans démonter la pièce ;
- Permet l'acquisition directe des différentes nuances après usinage au fraisage ;
- Permet de faire varier les différents angles d'acquisition pour la capture d'image ;
- Moins encombrant ;
- Possibilité d'être monté sur toutes les fraiseuses ;

- Possède un dispositif de réglage du pas pour chaque passe afin de faire une mesure surfacique.

**b) Inconvénients**

- Système couteux ;
- Entretien délicat.

**IV2.2- Acquisition des données paramètres**

Le dispositif réalisé permettant la mesure sur site des paramètres de rugosité, favorise donc plusieurs prises sans déplacement de celui-ci car sur la fraiseuse, il sera juste question de positionner le rugosimètre et prendre les valeurs de rugosité jusqu'à atteindre la position de la prochaine prise. Cela rejoint les travaux de Bourebia MOUNIRA [1] qui a fait ses mesures sur différents angles.

Les limites que nous relevons par rapport à notre dispositif dans l'ensemble sont liées à :

- Son volume, cela implique un grand encombrement. Par contre, les dimensions de notre dispositif ont été choisi par expérimentation de la hauteur maximale et minimale des étaux montés sur différentes marques de fraiseuses (grands et petits) ;
- Sa précision, car la graduation du bloc porte rugosimètre n'est pas explicitement représentée. Contrairement à notre dispositif qui est extrêmement précis dans ces déplacements suivants les axes de mesures ;
- Son poids, ce critère est étroitement lié aux facteurs encombrement mentionné ci-haut. Même s'il est vrai que les supports du porte rugosimètre sont usinés en tôles d'épaisseur 3mm ce qui allège quand même ce bloc.

D'après J.V. ABELLAN ; NEBOT ; GM BRUSCAS sur leurs travaux ils ont utilisé un dispositif qui permettez de mesurer de la rugosité des surfaces sans l'acquisition d'image, d'où l'importance d'avoir un système comme le nôtre. Pour faire varier les angles d'acquisition après usinage sans démonter la pièce pour éviter le désaxage de la pièce.

D'après NGNIMBOHA NGUEPI STEPHANE en 2019, qui a travaillé sur le Système d'acquisition online des données en vue de l'étude de l'impact des conditions d'usinage sur la rugosité des surfaces en fraisage, ce système ne permettait pas le réglage des déplacements du rugosimètre dans les trois axes. D'où un dispositif comme le nôtre qui assure tous ces déplacements avec une extrême précision.

Le paramètre de mesure utilisé ici est  $\lambda_c = 0.8$ , parce que nous nous sommes rendu compte d'après certains travaux déjà fait par certains auteurs que la plupart des mesures en fraisage sont faites avec une longueur d'onde de 0.8. Alors nous avons optés cela pour pouvoir comparer les

données avec celle de Ludovic NGONGANG [28] qui a utilisé  $\lambda_c = 0.25$ . Et nous pouvons donc dire que ces données sont pour des cotes moins précises par rapport à celles obtenues avec  $\lambda_c = 0.25$  car celles-là sont mieux précises.

#### **IV.2.3- Acquisition des données images**

Dans ses travaux tels que présentés dans la revue de littérature, Omar Monir Koura [23] utilise trois cameras pour effectuer ses acquisitions alors que nous n'utilisons qu'un seul microscope ainsi sur ce point son dispositif présente l'avantage de réduire considérablement les délais d'acquisition.

Notre dispositif offre des avantages significatifs par rapport au stade actuel de l'acquisition des données images. On a pu constater par exemple dans la revue de littérature que les auteurs ayant travaillé sur l'acquisition online des images [27, 25, 24] n'envisageaient pas l'acquisition sur différents angles or, comme le montre les travaux de Ludovic NGONGANG (2018) [28] l'acquisition des meilleures images pour appréciation des paramètres de rugosité s'effectue à des angles différents de la normale ( $90^\circ$ ). En mettant la rainure oblongue sur le bloc porte rugosimètre cette contrainte est assurée.

D'après LAKSHMIPATHI TAMMINENI ; HARI PRASADA dans leurs travaux ils ont utilisé un testeur de rugosité de surface (TR 200) avec un système d'acquisition ayant 3 camera pour l'acquisition d'image suivant plusieurs angles d'où il est important d'avoir pour modèle notre système d'acquisition puisqu'il peut prendre des images suivant plusieurs angles contrôlés sans démonter le porte microscope pour l'acquisition d'image

D'après j. ONDRA la capture d'image s'effectue à l'aide d'un système ne respectant par un certain nombre d'acquisition d'où l'importance de notre dispositif pour la capture d'image en fonction des différents angles d'acquisition choisit.

### **IV.3- COUTS ESTIMATIFS DU DISPOSITIF IN-SITU**

Cette partie nous permet de déterminer une étude estimative des couts de réalisation pour le budget de notre prototype pour la mesure de rugosité l'acquisition d'image après fraisage.

#### **IV.3.1 Estimations du cout de la matière d'œuvre**

Le tableau ci-dessous présente le matériel utilisé pour la réalisation de notre dispositif d'acquisition online des données et les différents prix d'achats de ce matériel.

Tableau 4.4 : estimation du cout de la matière d'œuvre (source : auteur)

N°	Désignation	Qte	Prix unitaire	Prix total
1	Acier S350 de Ø28 mm	1	5000	5000
2	Acier S325 de Ø50 mm	1	10000	10000
3	Plaque rectangulaire e=23mm	1	2500	2500
4	Tôles plates e=3.5 mm, 5mm et 7mm (L=200mm chacune et l=68mm, 90mm)	1	15000	15000
5	Coussinets	1	5000	5000
6	Rondelle plate	4	500	2000
7	Ecrou H M8	5	500	2500
8	Vis C H M8 16-8	5	500	2500
9	Ecrou H M22	2	1000	2000
<b>Total 1 : cout de la matière d'œuvre</b>				<b>46500</b>
<b>Arrêter la présente somme : quarante-six mille cinq cent franc CFA</b>				

### IV.3.2 Estimation du cout de production

Tableau 4.5 : estimation du cout de production (source : auteur)

N°	Opération	Tarif par heure (F CFA)	Nombre d'heures utilisées	Montant
1	Tournage	5000	4H	20000
2	Fraisage	5000	3H	15000
3	Perçage	1500	2H	3000
4	Taraudage	1000	2H	2000
5	Découpage	1500	3H	4500
6	Filetage	3000	1H	3000
7	Soudage	5000	3H	15000
<b>Total 2 : cout de production</b>				<b>62500</b>
<b>Arrêter la présente somme : soixante-deux mille cinq cent franc CFA</b>				

### IV.3.3 Logistique et transport

Tableau 4.6 : estimation de la logistique et transport (source : auteur)

Logistique et transport	Montant (FCFA)
Transport	10000
Facture d'électricité	10000
Connexion internet pendant 06 mois	10000
Autres dépenses diverses	15000
<b>Total 3 : logistique et transport</b>	<b>45000</b>
<b>Arrêter la présente somme : quarante-cinq mille franc CFA</b>	

### IV.3.4 Estimation du cout de revient du prototype

Montant total ( $M_T$ )= $T_1+T_2+T_3$

$M_T= 154000$  FCFA

TVA= **19, 25%**.  $M_T$

TVA= 29645 **FCFA**

Montant Total ( $M_{TF}$ )= $M_T$  + **TVA**

Total ( $M_{TF}$ )= 183645 **FCFA**

D'où le cout de fabrication d'un prototype est estimé à **cent quatre-vingt-trois mille six cent quarante-cinq franc CFA.**

Parvenu au thème de ce chapitre, d'où il était question pour nous de faire une analyse des résultats et des discussions de notre système d'acquisition in-situ des données, nous pouvons dire que nos objectifs ont été atteints par la présentation de notre système et les résultats obtenus pendant la mesure de rugosité sur des surfaces usinées sur site, présenté avec un manuel d'utilisation pour faciliter une meilleure compréhension de notre système ainsi que les avantages et les limites liées au système d'acquisition puis une étude comparative de notre système avec les travaux déjà effectués par certains auteurs dans le cadre de leurs travaux en ce qui concerne la rugosité et l'acquisition d'image au fraisage et nous avons fini par un cout estimatif de notre dispositif in-situ.

## CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

---

Ce mémoire a été élaboré face aux difficultés rencontrées par nos technologues sur la mesure de la rugosité d'une surface. Qui nous a permis de mettre sur pieds un dispositif permettant la mesure sur site et l'acquisition des données : DISPOSITIF IN-SITU DE MESURE SURFACIQUE DE RUGOSITE ET D'ACQUISITION D'IMAGES SUR PIECES FRAISEES. Pour le mener à bien, le travail a été organisé en quatre chapitres : d'abord dans le premier, il a été question d'introduire les notions nécessaires à la compréhension de la problématique traitée. Dans ce chapitre, la notion de surface, ses différentes irrégularités après usinage, les méthodes de contrôle et de mesure des états de surface ont été présentés. Dans le deuxième chapitre est présentée une étude bibliographique mettant en relief les travaux sur l'état actuel de la mesure de la rugosité. Le troisième chapitre consacré aux matériels et méthodes, renvoie à la conception et la présentation de l'ensemble du matériel nécessaire à la réalisation du dispositif ainsi que les méthodes utilisées pour sa mise en œuvre effective; il a été présenté dans ce chapitre, le dessin d'ensemble du dispositif et de définition de certaines pièces, une analyse de fabrication complète de la vis de réglage du dispositif et l'élaboration d'un protocole de mesure surfacique de rugosité et d'acquisition d'images sur différents spécimens (C10, C30, C35) . Enfin, dans le quatrième chapitre, il a été question de présenter le dispositif réalisé, les résultats obtenus pendant la mesure surfacique, effectué une interprétation de ces différents résultats, amorcer une discussion par rapport à ce dernier face aux différents travaux présentés dans l'état de l'art, et effectuer une analyse financière sur la réalisation de ce dispositif.

La discussion a été faite sur la base des résultats présentés dans l'état de l'art et il ressort que ce dispositif permet de mesurer l'état de surface d'une pièce avec précision tout en permettant son réglage (déplacement en translation et en rotation) dans les trois axes. Également ce dispositif acquiert les images sous différents angles tout en variant les angles d'acquisition par pas de 5° de 0° à 180° et la distance focale de 0 à 80mm.

Ce mémoire a été fait dans l'optique de renforcer la recherche scientifique et de résoudre une situation réelle que l'on rencontre dans nos différentes entreprises industrielles internationales et locales concernant la mesure surfacique de la rugosité. Toute fois le comportement des valeurs des paramètres de rugosités suscite des questions de fonds :

- ✚ Serait-il possible de réaliser l'ensemble du dispositif en aluminium ceci pour palier à la difficulté liée au poids ?



- ✚ Comment choisir les paramètres d'usinage de manière à obtenir une uniformité des valeurs de pics sur toute la surface de la pièce ?
- ✚ Comment se comporteraient les paramètres de rugosité si l'on avait effectué la mesure de rugosité sur des trajectoires obliques et circulaires ?
- ✚ Serait-il possible de réaliser un dispositif qui pourra effectuer des mesures surfaciques dans quatre trajectoires : transversales, longitudinales, obliques et circulaires tout en acquérant des images ?
- ✚ Serait-il possible d'obtenir des mêmes valeurs de paramètre si l'on usinait en opposition avec les mêmes conditions expérimentales ?

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [1] - BOUREBIA MOUNIRA (2010), influence des procédés d'usinage sur les rugosités de surface et leurs répercussions sur un contact mécanique, université BADJI Mokhtar Annaba, Algérie.
- [2] -Y. SCHOEFS, S. Fournier, j-j Léon, productique mécanique, Delagrave 1999.
- [3] - Cours procédés d'obtention de pièces, lycée Jules Ferry Versailles.
- [4] - <http://www.cooling-masters.com/forum/sujet-4128-guide-bases-et-astuces-de-l-usinage.html>. Vue le 05/10/2019 à 19h25.
- [5] – fiche de cours du BAC Pro technicien d'usinage 3 modes de fraisage.
- [6] - Fiches de cours du CP à la Terminale > cours de Mécanique industrielle > Etat de surface et indice de rugosité, source : Mémotech Productique.
- [7] – Michel A. “caractérisation et mesure des micro géométries de surface”, techniques de l'ingénieur, traité mesures et contrôle, R 1230, pp. 1-20, 1989.
- [8] - Ahmed Hadj Ali, étude de l'influence des conditions de coupe en usinage 5 axes sur l'intégrité des surfaces par la méthode des surfaces de réponses. Montréal : mémoire de Master présenté à l'école de technologie supérieure le 04 mai 2005. Canada.
- [9] - Bruno FIGLIUZZI. Modélisation de la rugosité et de l'aspect de surfaces d'acier peintes. Thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur. Ecole nationale supérieure des mines de Paris Spécialité « Morphologie Mathématique ». Le 28 octobre 2011.
- [10] - <http://joho.monsite.orange.fr/> cotation : état de surface, Etats de surface résumée.
- [11] - TEYOU GUMTE Éric Donald. Dispositif d'acquisition online des données en vue de l'étude de l'impact des conditions d'usinage sur la rugosité des surfaces en tournage. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de professeur des lycées de l'enseignement technique II : Construction Mécanique, soutenu en juin 2019 ; Université de Yaoundé 1, ENSET D'EBOLOWA, Cameroun.
- [12] - [https:// guide.digitalsurf.com](https://guide.digitalsurf.com) © 2006-2019 [Digital Surf](#), France (rédaction : François Blateyron).
- [13] – Cours de Mécanique industrielle - Etat de surface et indice de rugosité (1), Source : guide du dessinateur.
- [14] - <http://194.27.49.11/makine/SEBREG/lab/profilomètre.html>. Vue le 05/10/2019 à 18h50.
- [15] - NGNIMBOHA NGUEPI Stéphane. Système d'acquisition online des données en vue de l'étude de l'impact des conditions d'usinage sur la rugosité des surfaces en fraisage. mémoire

présenté pour l'obtention du diplôme de professeur des lycées de l'enseignement technique II : Construction Mécanique, soutenu en juin 2019 ; Université de Yaoundé 1, ENSET D'EBOLOWA, Cameroun.

[16].[http://www.lerepairedessciences.fr/sciences/optique/microscopie\\_fichier/champ\\_proche.htm](http://www.lerepairedessciences.fr/sciences/optique/microscopie_fichier/champ_proche.htm). Vue le 12/10/2019 à 11h05.

[17] - J.V. ABELLAN-NEBOT, GM BRUSCAS, C VILA ,probabilité des modèles de rugosité de surface dans le fraisage. Du (28-30 juin 2017).

[18] - Nicolas Guillemot. Prise en compte de l'intégrité de surface pour la prévision de la tenue en fatigue de pièces usinées en fraisage. THESE présentée pour l'obtention du titre de DOCTEUR ; Ecole Normale Supérieure De Cachan.

[19] - Ressource publiée sur EDUSCOL-STI : <http://eduscol.education.fr/sti/si-ens-cachan/> le 21/12/2009

[20] - Lakhdari Fouad, Etude de l'endommagement des surfaces optiques par des particules abrasives, mémoire de magister de l'École doctorale des technologies et des applications spatiales, soutenu le 07 Mars 2010 à L'UNIVERSITÉ FERHAT ABBAS – SÉTIF UFAS (ALGERIE).

[21] -W. Bouzid, A. Zghal, L. Sai, Optimisation de la rugosité des surfaces fraisées, Laboratoire de Corrosion et Protection des Métalliques, ENIT, BP 37 Le belvédère, 1002 Tunis, Tunisie

[22] - OKOKPUJIE IMHADE P, OKONKWO UGOCHUKWU (2013) effets des paramètres de coupe sur la rugosité de la surface lors du fraisage en fin d'aluminium sous la lubrification en quantité minimale.

[23] - OMAR MONIR KOURA (2015), applicabilité du traitement d'image pour l'évaluation de la surface en rugosité. IOSR journal of engenering vol.05 .ISSUE PP 183-190.

[24] - SANDRINE MARTINEZ, MICHEL JOURLIN, Approche de la rugosité surfacique par analyse d'image. SEIZIÈME COLLOQUE GRETSI - 15-19 SEPTEMBRE 1997 – GRENOBLE.

[25] - René KAMGUEM, inspection automatique et sans contact de la rugosité des pièces usinées, Thèse Par Articles Présentée À L'école De Technologie Supérieure UNIVERSITÉ DU QUÉBEC.

[26] - SRIVATSA, RAVI KEERTHI C, Dr SRINIVAS HK, RAVI KUMBAR (2016), évaluation de la rugosité des surfaces en utilisant la transformation des paquets d'ondelettes, département of mechanical engenering, bengaluru, kamataru, india.

## *BIBLIOGRAPHIE*

[27] - J. ONDRA. (1999) mesure de la rugosité à l'aide d'un traitement d'image département of mechanical technology military academy, BRNO 61200 BRNO, czech republic.

[28] - NGONGANG Ludovic. Mesure non-conventionnelle des paramètres de rugosité. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master 2 recherche ; spécialité : Fabrication Assistée par Ordinateur, soutenu le 20 Avril 2019 ; Université de Douala, Cameroun.

## ANNEXE

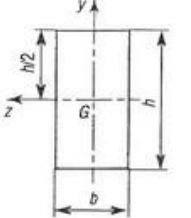
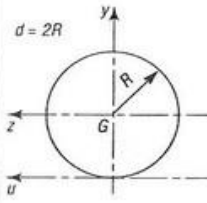
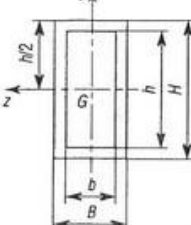
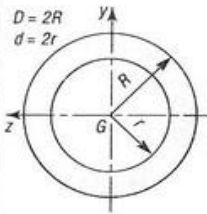
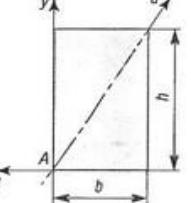
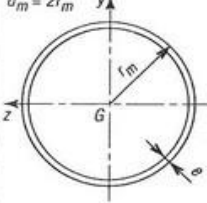
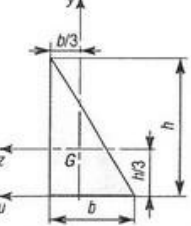
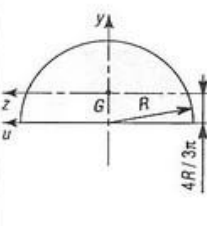
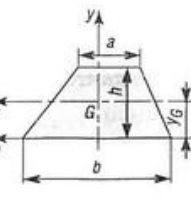
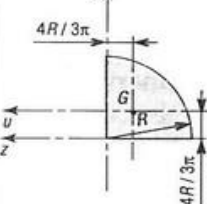
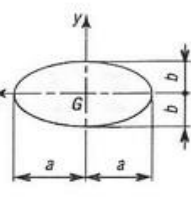
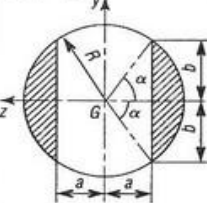
---

ANNEXE 1 : VALEURS INDICATIVES DES VALEURS DE VITESSE DE COUPE EN FONCTION DU MATERIAU

Nuance ISO	Matériaux à usiner  Avance f en mm/tr	Fraisage en bout			
		Acier Rapide		Carbure	
		0.05 à 0.1	0.1 à 0.2	0.05 à 0.2	0.2 à 0.3
P	Acier Non Allié	50	40	250	200
	Acier Faiblement Allié	30	20	150	130
	Acier Fortement Allié	20	15	120	100
	Acier Moulé Faiblement Allié	30	20	150	120
M	Acier inoxydable	25	20	150	130
K	Fonte lamellaire (EN-GJL...)	40	30	80	60
	Fonte Modulaire (EN-GJM...)	30	25	100	80
	Fonte Sphéroïdale (EN-GJS...)	55	45	90	70
K-N	Alliages d'aluminium de faible dureté sans silicium (AW 2030 ...)	250	200	550	400
	Alliages d'aluminium durs sans silicium ou %Si moyen (AW2017, AW 6060 ...)	120	80	250	200
	Alliages d'aluminium à haute teneur en silicium > 12%	80	40	120	100

## ANNEXE 2 : FORMULAIRE DE LA SURFACE ET DU MOMENT QUADRATIQUE

# FORMULAIRE Moments quadratiques

 $S = b h$ $I_y = \frac{b h^3}{12}$ $I_z = \frac{h b^3}{12}$ $I_G = \frac{b h}{12} (h^2 + b^2) = I_y + I_z$	 $S = \pi R^2$ $I_y = I_z = \frac{\pi R^4}{4} = \frac{\pi d^4}{64}$ $I_G = \frac{\pi R^4}{2} = \frac{\pi d^4}{32} = I_y + I_z$
 $S = BH - bh$ $I_y = \frac{HB^3 - hb^3}{12}$ $I_z = \frac{BH^3 - bh^3}{12} = I_y + I_z$	 $S = \pi (R^2 - r^2)$ $I_y = I_z = \frac{\pi}{4} (R^4 - r^4)$ $= \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$ $I_G = \frac{\pi}{2} (R^4 - r^4)$ $= \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4) = I_y + I_z$
 $I_y = \frac{hb^3}{3}$ $I_z = \frac{bh^3}{3}$ $I_G = \frac{b^3 h^3}{6(b^2 + h^2)}$ $I_A = \frac{b h}{3} (h^2 + b^2) = I_y + I_z$	 <p><b>cas où e est faible</b></p> <p>formules approchées</p> $S = 2 \pi r_m e = \pi e d_m$ $I_y = I_z = \pi e r_m^3 = \frac{\pi}{8} e d_m^3$ $I_G = 2 \pi e r_m^3 = \frac{\pi}{4} e d_m^3$
 $S = \frac{bh}{2}$ $I_y = \frac{h b^3}{36}$ $I_z = \frac{b h^3}{36}$ $I_G = \frac{b h}{36} (h^2 + b^2) = I_y + I_z$	 <p><b>1/2 cercle</b></p> $S = \frac{\pi R^2}{2}$ $I_y = \frac{\pi R^4}{8}$ $I_z \approx 0,1098 R^4$ $I_G = \frac{\pi R^4}{8}$
 $S = \frac{h}{2} (a + b)$ $y_G = \frac{h (2a + b)}{3 (a + b)}$ $I_z = \frac{h^3 (a^2 + 4ab + b^2)}{36 (a + b)}$ $I_y = \frac{h^3 (3a + b)}{12}$	 <p><b>1/4 de cercle</b></p> $S = \frac{\pi R^2}{4}$ $I_y = I_z = \frac{\pi R^4}{16}$ $I_G = 0,05488 R^4$
 <p><b>ellipse</b></p> $S = \pi a b$ $I_z = \frac{\pi a b^3}{4}$ $I_y = \frac{\pi b a^3}{4}$ $I_G = \frac{\pi a b}{4} (a^2 + b^2) = I_y + I_z$	 <p><b>cercle + trou de perçage</b></p> $b = \sqrt{R^2 - a^2}; \alpha \text{ en radian}$ $S = 2 R^2 \left( \alpha - \frac{a b}{R^2} \right)$ $I_z = \frac{R^4}{6} \left( 3 \alpha - \frac{3 a b}{R^2} - \frac{2 a b^3}{R^4} \right)$ $I_y = \frac{R^4}{2} \left( \alpha - \frac{a b}{R^2} + \frac{2 a b^3}{R^4} \right)$

## ANNEXE 3 : SPECTROMETRIE


**Oxford Instruments Analytical GmbH**  
**Sample Testing of different Qualities**
**Chemical Results**

Sample ID :	FUSIONS	Material :	ACIER
Customer :	ACIERIES LAMINOIR	Dimension :	5 m
Lab-no. :	LABORATOIRE COULEE CONTINUE	Heat treatment :	
Date :	14/01/2020	Heat-no. :	ECHANTILLON 01
Melter :	ESSIANE-BEN	Tester :	Victor Fosso
Grade :			

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	97.9	0.346	0.322	0.590	0.0301	0.0177	0.149	0.0293
2	97.8	0.345	0.321	0.598	0.0309	0.0181	0.155	0.0293
Ave	97.9	0.345	0.322	0.594	0.0305	0.0179	0.152	0.0293
	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
1	0.155	0.0050	0.0140	0.277	0.0033	0.0053	0.0035	< 0.0150
2	0.162	0.0047	0.0143	0.276	0.0033	0.0040	0.0027	0.0195
Ave	0.159	0.0048	0.0141	0.276*	0.0033	0.0047	0.0031	0.0151
	Pb	Sn	B	Ca	Zr	Bi	As	Sb
1	< 0.0100	0.0549	0.0010	0.0006	0.0103	< 0.0100	0.0254	0.0601
2	< 0.0100	0.0563	0.0010	0.0006	0.0110	< 0.0100	0.0262	0.0812
Ave	< 0.0100	0.0556	0.0010	0.0006	0.0106	< 0.0100	0.0258	0.0706



GET /dev/mt/DiscoveryTree.xml HTTP/1.1  
Host: 127.0.0.1:8080



**Oxford Instruments Analytical GmbH**  
**Sample Testing of different Qualities**

**Chemical Results**

Sample ID : FUSIONS Material : ACIER  
Customer : ACIERIES LAMINOIR Dimension : 5 m  
Lab-no. : LABORATOIRE COULEE CONTINUE Heat treatment :  
Date : 14/01/2020 Heat-no. : ECHANTILLON 02  
Melter : ESSIANE-BEN Tester : Victor Fosso  
Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	97.5	0.327	0.254	0.825	0.0306	0.0640	0.167	0.0316
2	97.6	0.312	0.248	0.786	0.0291	0.0396	0.167	0.0315
Ave	97.6	0.320	0.251	0.806	0.0298	0.0518	0.167	0.0315
	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
1	0.131	0.0153	0.0109	0.409	0.0044	0.0032	0.0033	0.0211
2	0.134	0.0119	0.0109	0.401	0.0060	0.0027	0.0017	0.0240
Ave	0.132	0.0136	0.0109	0.405 *	0.0052	0.0029	0.0025	0.0225
	Pb	Sn	B	Ca	Zr	Bi	As	Sb
1	< 0.0100	0.0419	0.0010	0.0006	0.0080	< 0.0100	0.0241	0.0806
2	< 0.0100	0.0388	0.0010	0.0006	0.0063	< 0.0100	0.0207	0.0794
Ave	< 0.0100	0.0403	0.0010	0.0006	0.0071	< 0.0100	0.0224	0.0800

GET: /Dev/Module/DiscoveryTree.xml HTTP/1.1  
 Host: 192.168.1.8080



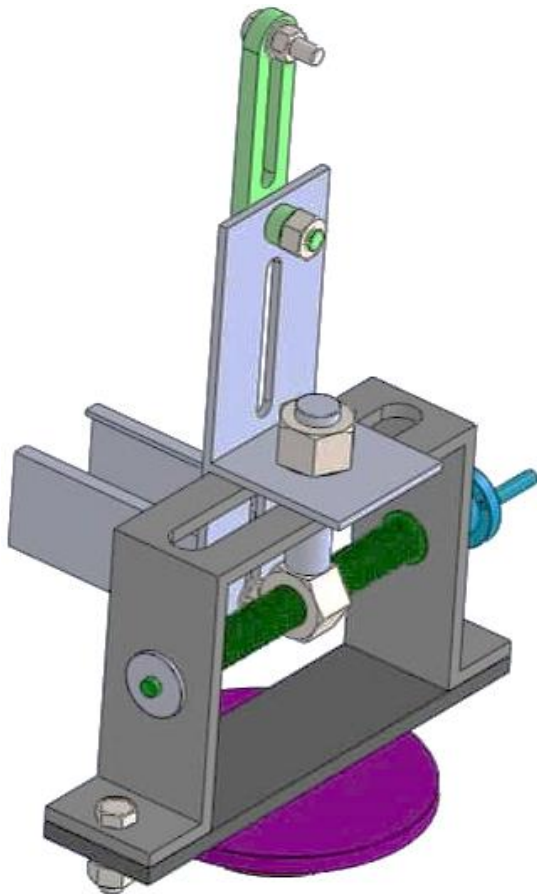
**Oxford Instruments Analytical GmbH**  
**Sample Testing of different Qualities**

**Chemical Results**

Sample ID :	FUSIONS	Material :	ACER
Customer :	ACIERIES LAMINOIR	Dimension :	5 m
Lab-no. :	LABORATOIRE COULEE CONTINUE	Heat treatment :	
Date :	14/01/2020	Heat-no. :	ECHANTILLON 03
Melter :	ESSIANE-BEN	Tester :	Victor Fosso
Grade :			

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	99.3	0.0059	0.0332	0.232	0.0516	0.0159	0.0272	0.0072
2	99.3	< 0.0050	0.0342	0.236	0.0515	0.0160	0.0265	0.0076
Ave	99.3	0.0050	0.0337	0.234	0.0516	0.0159	0.0269	0.0074
	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
1	0.0365	0.0626	0.0042	0.0234	0.0047	0.0027	0.0049	< 0.0150
2	0.0320	0.0616	0.0047	0.0232	0.0049	0.0031	0.0039	0.0151
Ave	0.0343	0.0621	0.0045	0.0233	0.0048	0.0029	0.0044	< 0.0150
	Pb	Sn	B	Ca	Zr	Bi	As	Sb
1	< 0.0100	0.0053	0.0015	0.0006	0.0075	< 0.0100	0.0071	0.0582
2	< 0.0100	0.0049	0.0017	0.0006	0.0089	< 0.0100	0.0088	0.0885
Ave	< 0.0100	0.0051	0.0016	0.0006	0.0082	< 0.0100	0.0080	0.0734

ANNEXE 4 : DISPOSITIF EN 3D ET NOM ATTRIBUE



**Règlomètre MSR.2020**

**Appareil permettant la mesure linéaire et surfacique sur site sur une fraiseuse.**

**Appareil permettant l'acquisition des données images sur site sur une fraiseuse.**

- Dispositif constitué en un seul bloc ayant un encombrement de **320x235x428 mm<sup>3</sup>**.
- Il possède un système de variation angulaire de **0° à 180°** avec un pas angulaire de **5°** et un ajustement de distance focale allant de **0 à 80 mm**.
- Il a un système de réglage de **200 mm** sur la longitudinale, et **380 mm** sur la verticale.
- Sureté et simplicité d'emploi.
- Propreté assurée.
- Accroissement de la production.

## ANNEXE 5 : CAHIER DE CHARGE

### - Contexte et intérêt de l'étude

L'optimisation de l'usinage des pièces mécanique implique toujours le respect des contraintes dimensionnelles et des contraintes géométriques [1]. Ces dernières se révèlent être plus complexes à respecter car impliquant des expertises plurielles et la manipulation des appareils de hautes précisions. Une contrainte et composante de surface qui attire l'attention des métrologues cette dernière décennie est bien la rugosité. Elle (rugosité) constitue de façon incontournable un facteur prépondérant d'assemblage et de durabilité des organes en contact pendant le fonctionnement du mécanisme. Ce défaut a une influence sur l'étanchéité et le contact entre les pièces comme l'a montré TROTIER LUC en 1999 [2].

### - Problématique liée à la recherche

Habituellement, ce contrôle s'effectue à l'aide des appareils à palpeur à pointe de diamant appelés rugosimètre ou profilomètre et dans un poste de métrologie, Ce qui devient difficile pour les travaux en série. De plus, le contrôle ou la mesure conventionnelle de rugosité sur pièce a été pendant longtemps l'apanage d'une mesure linéique qui ne restitue pas fidèlement la rugosité de toute la surface. Par ailleurs, les systèmes d'acquisition des images de surfaces usinées n'intègrent ni la considération des surfaces en cours d'usinage ni la dynamique économique des entreprises. Dans la logique actuelle la mesure des paramètres de rugosité implique le démontage des pièces, Or il est très difficile d'assurer la même mise en position d'une pièce après son démontage. Toutes ces réalités poussent à s'interroger sur : Comment effectuer sur site la mesure surfacique des paramètres de rugosité sur pièces fraisées et acquérir des images issues des surfaces de ces mêmes pièces sans démontage ?

### - Enoncé des objectifs

#### Objectif général

L'objectif général de cette étude est de concevoir et de réaliser un dispositif porte rugosimètre, comparateur numérique et microscope.

#### Objectifs spécifiques

Dans le but d'atteindre l'objectif général, nous déclinons ainsi qu'il suit les objectifs intermédiaires

- ✓ Assurer le déplacement et graduation du dispositif en translation,  $T_x$ ,  $T_y$ ,  $T_z$  indépendamment de la pièce à mesurer ;
- ✓ Réaliser le système de repérage et de positionnement (blocage) et du palpeur et de la caméra.

## **- CADRE METHODOLOGIQUE**

Pour l'atteinte de nos objectifs, nous ferons progressivement :

- ✓ Une revue de littérature sur les mots clés et les concepts généraux de la thématique ;
- ✓ Un Etat de l'art sur la méthodologie de mesures in-situ des paramètres de rugosités et l'acquisition d'images ;
- ✓ L'articulation relative aux matériels et méthodes présentera de façon exhaustive l'ensemble du matériel et la méthode mise à contribution pour la réalisation de notre dispositif ;
- ✓ La présentation des résultats et l'ouverture de quelques pistes de discussions.

## **- EXIGENCES DE DEVELOPPEMENT**

### **Contraintes technologiques et d'encombrement**

Notre dispositif doit :

- ✓ Être en Acier ;
- ✓ Être portatif ;
- ✓ Avoir une mise en place simple.

### **Contraintes économiques**

Notre dispositif doit :

- ✓ Être facilement réalisable
- ✓ Faciliter les méthodes de contrôles

### **Contraintes pédagogiques**

Le dispositif ainsi réalisé pourra aussi servir à :

- ✓ Dispenser un cours de métrologie ;
- ✓ Assister à la réalisation des pièces pour leur projet de fin de formation ;
- ✓ Améliorer les recherches dans le domaine et aussi, il servira de base à d'éventuels travaux de recherche future dans le domaine de la mesure des rugosités.

## **- RESULTATS ESCOMPTEES**

Au terme des travaux, nous envisageons avoir un dispositif in-situ de mesure surfacique de rugosité et d'acquisition d'images sur pièces fraisées

## **- PLAN DE TRAVAIL**

Notre travail s'organisera en suivant l'échéancier du tableau 1 suivant :

Tableau 1 : Plan de travail

PHASES	CONTENU	SEMAINES
1	Thème de mémoire	Juillet 2019
2	Présentation du cahier de charge n°1	Juillet 2019
3	Revue de littérature et généralités sur la Thématique	09 Septembre 2019
4	Un Etat de l'art sur la méthodologie de mesures in-situ	07 Octobre 2019
5	-Matériels ; -Méthodes	21 novembre 2019
6	Résultats et discussions	28 décembre 2020
7	Réalisation du dispositif	20 janvier 2020
8	Achèvement de la rédaction du mémoire	Fin mai 2020
9	Pré soutenance	-
10	Soutenance	-

## VII- REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] - LAKHDARI FOUAD (2010), mémoire de magister intitulé : « étude de l'endommagement des surfaces optiques par des particules abrasives », soutenue le 07 mars 2010 à l'université Ferhat Abbas – Sétif. Algérie.

[2] - TROTIER LUC (1999), « Eléments de fabrication mécanique », GPA-210, école de technologie supérieure, Université du Québec