

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR**

**ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE**

**DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE**



**MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**MASTER**

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : **Fabrication mécanique et productive**

**Et**

**Construction mécanique**

Par :

**BOUBAYA Nassim**

**KEDDAR Nassim**

**Thème :**

---

**Etude de la distribution de la dureté et de la rugosité d'un matériau XC42**

---

Soutenu le **03/07/2024** devant le jury composé de :

**Mr.BECHEUR Abdelhamid** Président

**Mr. BENSAID Nasreddine** Rapporteur

**Mr. HARROUCHE Fatah** Examineur

**Année Universitaire 2023-2024**

# Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier en premier lieu **ALLAH**, le tout puissant  
De m'avoir donné autant de courage, de patience et de volonté pour atteindre ce but.

Je tiens à exprimer ma plus profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Je souhaite remercier mon encadrant, **Mr. BENSaid nasreddine**, pour ses conseils avisés et son accompagnement tout au long de cette recherche. Un grand merci à mes professeurs et à l'ensemble de l'équipe pédagogique de Université de Béjaïa pour leur enseignement et leur soutien.

Je remercie également l'équipe de halle de technologie pour leur aide technique et les ressources mises à ma disposition. Leur disponibilité et compétence ont été essentielles à ce projet.

Enfin, je suis reconnaissant envers mes amis et camarades de promotion pour leur soutien moral et leurs discussions enrichissantes. Leur présence à mes côtés a rendu cette expérience plus agréable et stimulante.

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail à*

*Mon Père et Ma Mère pour leur amour, leur soutien constant et leurs encouragements qui m'ont inspiré tout au long de mon parcours académique.*

*Mes frères « OUALID, FAOUZI, ABDELHEK, KHELIFA et NASSIR » et « Mes sœurs » pour m'ont encouragé et soutenues durant la réalisation de ce mémoire*

*Mes chers amis, « NASROU, HOUCINE, OUALID et BASSOU » pour leur présence, leur soutien moral et leurs précieux conseils tout au long de cette aventure.*

*Ma meilleure amie que j'ai rencontré à l'université « Célia »*

*Mes enseignants pour leur dévouement, leur expertise et leur soutien, essentiels à mon apprentissage et à la réalisation de ce projet.*

*Mon binôme, NASSIM, pour sa collaboration, son soutien et son travail acharné tout au long de ce mémoire. Merci également à toute sa famille pour leur accueil chaleureux et leur soutien moral.*

*À tout la promotion 2023/2024, pour les moments partagés, l'entraide et la camaraderie qui ont rendu ces années d'études mémorables et enrichissantes.*

*Nassim.b*

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail à*

*Mon Père et Ma Mère pour leur amour, leur soutien constant et leurs encouragements qui m'ont inspiré tout au long de mon parcours académique.*

*« Mon frères YASSER, Mes deux sœurs, mon grand-père et toute ma familles » qui m'ont encouragé et soutenues durant la réalisation de ce mémoire*

*Mes chers amis, « FOUAD, HOUCINE, NASSROU, OUALID, BASSOU, KOUSOU et YOUSRA » pour leur présence, leur soutien moral et leurs précieux conseils tout au long de cette aventure.*

*Mes enseignants pour leur dévouement, leur expertise et leur soutien, essentiel à mon apprentissage et à la réalisation de ce mémoire.*

*Mon binôme, NASSIM, pour sa collaboration, son soutien et son travail acharné tout au long de la réalisation ce mémoire. Je remercie également toute sa famille pour leur accueil chaleureux et leur soutien moral.*

*À tout la promotion 2023/2024, pour les moments partagés, l'entraide et la camaraderie qui ont rendu ces années d'études mémorables et enrichissantes.*

*Nassim.k*

# Sommaire

---

## Introduction générale

### Chapitre I : Généralités sur les aciers

I.1. Introduction.....	10
I.2. Généralité sur les aciers .....	10
I.2.1. Définitions des aciers .....	10
I.2.2. Type des aciers .....	10
I.2.3. Les différentes classes des aciers .....	11
a. Aciers non alliés et aciers alliés.....	11
I.2.4. Caractérisation des aciers .....	14
a. Caractéristiques physiques .....	14
b. Caractéristiques mécanique .....	14
c. Caractéristiques chimiques .....	15
I.2.5. Composition chimique des aciers.....	15
I.2.6. Symbolisation des aciers .....	15
I.2.7. Structures des aciers .....	16
I.2.8 Alliages à base de fer .....	18
I.2.9. Influence des éléments d'alliage .....	18
I.3. La dureté .....	19
I.3.1 Définition de la dureté.....	19
I.3.2. Notion.....	20
I.3.4 Etude de la dureté.....	20
I.4. La rugosité .....	21
I.4.1. Généralité .....	21
I.4.2. Définition de la rugosité.....	21
I.4.3. Principaux défauts de surface.....	22
I.4.4. Principaux critères de rugosité .....	23

### Chapitre II : Essai de la dureté et rugosité

II.1 Introduction .....	27
II.2 Essai de dureté .....	27
II.2.1Généralités .....	27

## Sommaire

---

II.2.2 Machine d'essai .....	27
II.2.3 Principe de l'essai de pénétration .....	28
II.3 Procédé avec action statique .....	28
II.3.1 Essai de brinell .....	29
II.3.2 Essai de Vickers .....	30
II.3.3 Essai de Rockwell .....	30
II.3.3.1 Rockwell HRC .....	31
II.3.3.2 Rockwell HRB .....	31
II.3.4 Essai Knoop .....	32
II.4 Techniques de mesure de la dureté .....	33
II.5 LA RUGOSITE .....	33
II.5.1 Généralités .....	33
II.5.2 Principaux défauts de surface .....	33
II.5.3 Principaux critères de rugosité .....	34
II.5.4 Mesure de la rugosité .....	36
II.5.5 Méthodes de mesure des états de surface .....	36
a) Méthodes mécaniques .....	36
b) Mesure tridimensionnelle .....	37
c) Méthodes optiques .....	38

## Chapitre III : Expérimentale et Résultats discute.

III.1 Introduction : .....	41
III.2 Les équipements et les instruments des expériences : .....	41
III.2.1 Machine de Découpage : .....	41
III.2.2 Teste de l'analyse chimique : .....	41
III.2.3 La machine de polissage mécanique : .....	42
a. La polisseuse mécanique : .....	42
b. Le papier abrasif : .....	43
III.2.4 L'essai de la dureté : .....	43
III.2.5 La mesure de rugosité .....	44
III.3 Résultats et discussions .....	44
III.3.1 L'analyse de les propriété chimique : .....	44

## Sommaire

---

III.3.2 Analyse des variations :.....	45
a) Surface intérieure de la pièce :.....	45
b) Surface extérieure de la pièce :.....	47
III.3.3 La comparaison de la dureté externe et interne .....	49
III.4 Interprétation .....	49

## Conclusion

## Liste de figure

---

### Chapitre I : Généralités sur les aciers

<b>Figure I.1</b> les tuyaux en acier allié [5].....	13
<b>Figure I.2</b> Microstructure d'un acier hypoeutectoïde [9].....	17
<b>Figure I.3</b> Structure perlitique [9]. ....	17
<b>Figure I.4</b> Microstructure d'un acier hypereutectoïde [9].....	17
<b>Figure I.5</b> Alliage à base de fer .....	18
<b>Figure I.6</b> Appareil d'essai de dureté.....	20
<b>Figure I.7</b> Mesureur de Rugosité [17] .....	22
<b>Figure I.8</b> Principaux défauts de surfaces [18].....	22
<b>Figure I.9</b> Rugosité arithmétique [19].....	23
<b>Figure I.10</b> Principaux critères de rugosité [18].....	24

### Chapitre II : Essai de la dureté et rugosité

<b>Figure II.1</b> Machine d'essai de dureté [22].....	28
<b>Figure II.2</b> Principe de l'essai Brinell. ....	29
<b>Figure II.3</b> Essai de Vickers.....	30
<b>Figure II.4</b> Schéma du principe de la dureté Rockwell HRC [28].....	31
<b>Figure II.5</b> Essai de dureté Rockwell HRB.....	32
<b>Figure II.6</b> Schéma du principe de la dureté Knoop HK [29].....	32
<b>Figure II.7</b> Principaux défauts de surfaces[31]. ....	34
<b>Figure II.8</b> Rugosité arithmétique [32]. ....	35
<b>Figure II.9</b> Principaux critères de rugosité [31]. ....	35
<b>Figure II.10</b> Rugosimètre [34] .....	36
<b>Figure II.11</b> Profilomètre[36].....	37
<b>Figure II.12</b> Appareille de mesure tridimensionnelle [37].....	38
<b>Figure II.13</b> Méthodes de mesure de la rugosité [35]. ....	39

Aucune entrée de table d'illustration n'a été trouvée.

### Chapitre III : Expérimentale et Résultats discute.

<b>Figure III.1</b> la machine de découpage mécanique .....	41
<b>Figure III. 2</b> spectromètre METAVISION-1008i .....	42
<b>Figure III.3</b> Le polissage mécanique .....	42
<b>Figure III.4</b> Le papier abrasif.....	43
<b>Figure III.5</b> Doru-métré. FALCON 400G2O1 .....	43
<b>Figure III.6</b> Rugosimètre LITE SURF.....	44
<b>Figure III.7</b> Points de mesure de la dureté à la surface de la pièce.....	45
<b>Figure III.8</b> Les valeurs de dureté (surface intérieure).....	46
<b>Figure III.9</b> Un exemple de dureté.....	46
<b>Figure III.10</b> des exemple de rugosité de face intérieure .....	47
<b>Figure III.11</b> Hv à la surface externe. ....	48
<b>Figure III.12</b> Des exemples de rugosité de face extérieure.....	48
<b>Figure III.13</b> Comparaison de la dureté externe et externe.....	49



# Liste des tableaux

---

## Chapitre I : Généralités sur les aciers.

<b>Tableau 1</b> Les différentes classes d'aciers [4].....	2
<b>Tableau 2</b> Délimitations entre aciers non alliés et aciers alliés [4] .....	3
<b>Tableau 3</b> Symbolisation de l'acier en fonction du type d'acier utilisé [8].....	7

## Chapitre II : Essai de la dureté et rugosité

<b>Tableau II.1</b> pénétrateurs Brinell, Rockwell, Vickers et Knoop [20].....	26
--	----

## Chapitre III : Expérimentale et Résultats discute.

<b>Tableau III.2</b> les valeur de la dureté.(intérieure).....	45
<b>Tableau III.3</b> Les valeurs de la dureté. (Extérieure).....	47

# **Introduction général**

---

## **Introduction général**

Les essais de dureté et de rugosité sur un acier Xc42 sont des méthodes essentielles pour évaluer les propriétés mécaniques et la qualité de la surface de ce matériau. La dureté d'un matériau est sa résistance à la pénétration, tandis que la rugosité de sa surface est un indicateur de sa finition et de son aspect esthétique.

Dans ce mémoire, nous nous intéresserons à l'importance des essais de dureté et de rugosité sur l'acier Xc42, un matériau largement utilisé dans l'industrie en raison de sa bonne combinaison de résistance et de ductilité.

Nous examinerons les différentes méthodes d'essai disponibles pour mesurer la dureté et la rugosité de cet acier, ainsi que les facteurs qui peuvent influencer ces mesures. En outre, nous discuterons des applications pratiques de ces essais, notamment dans le contrôle de la qualité des pièces fabriquées en acier Xc42 et dans l'optimisation des processus de production. Enfin, nous soulignerons l'importance de la compréhension des résultats des essais de dureté et de rugosité pour garantir des performances optimales et une durabilité accrue des composants en acier Xc42.

Ce mémoire vise donc à fournir une analyse approfondie des essais de dureté et de rugosité sur un acier Xc42, en mettant en lumière leur importance dans l'industrie et en proposant des recommandations pour améliorer la qualité et la fiabilité des produits fabriqués en utilisant ce matériau.

# **Chapitre I :**

## **Généralités sur**

### **Les aciers**

## Chapitre I : Généralités sur les aciers

### I.1. Introduction

L'étude de la dureté et de la rugosité de l'acier est essentielle pour comprendre ses propriétés mécaniques et son comportement en usage. La dureté de l'acier est déterminée par sa capacité à résister à la déformation plastique et à l'indentation, ce qui influence sa résistance à l'usure et à la fatigue. D'autre part, la rugosité de la surface de l'acier influence son adhérence, son comportement tribologique et sa durabilité dans des conditions d'utilisation variées. Ainsi, une analyse approfondie de ces paramètres est cruciale pour garantir la qualité et la performance des produits en acier dans de nombreux secteurs industriels.

### I.2. Généralité sur les aciers

L'acier est un alliage à base de fer (Fe) et additionnée d'un faible pourcentage de carbone (C) de 0.008% à environ 2.14%. L'acier est contenu aussi une concentration appréciable d'autres éléments (Si, Mn, P, S etc.). Il existe des milliers des alliages de ce type dont la composition est différente, de même que les traitements qu'ils ont subis. Les propriétés mécaniques dépendent de la teneur en carbone, laquelle est normalement inférieure à 1%. [1]

#### I.2.1. Définitions des aciers

L'acier est essentiellement un alliage fer-carbone. On ne le trouve pas à l'état naturel mais il résulte de transformation de minerai de fer extrait des mines. Les conditions matérielles de cette transformation entraînent dans sa composition la présence en très faible proportion d'autres éléments phosphore et soufre, considérés comme des impuretés et nocifs pour l'acier. L'acier peut également contenir d'autres éléments tel que le silicium, le manganèse, le chrome, le nickel, etc.) Introduits volontairement ou non, en vue de modifier sa composition chimique et par suite ses caractéristiques mécaniques. [2]

#### I.2.2. Type des aciers

Les aciers sont classés en fonction de deux critères : la composition chimique et le niveau de qualité (raffinement, pureté).

On distinguera des aciers non alliés (<1% d'alliage), peu alliés (teneur de chaque élément d'alliage <5%) ou fortement alliés  $\geq 5\%$ .

Ils sont en fonction de la garantie qui donne les propriétés d'usage, l'acier de base, de qualité ou les aciers spéciaux. Ces derniers sont placés dans les deux familles :

- Les aciers d'usages courant : Charpente, rond à béton, de constructions mécaniques, à limite élastiques, (Peu ou non alliés).
- Les aciers spéciaux : Aciers à outils, aciers inoxydables, réfractaires... (Peu ou fortement alliés) [3]

**I.2.3. Les différentes classes des aciers**

Il est habituel de classer les aciers en plusieurs groupes correspondant à différentes particularités de composition ou d'emploi. C'est ainsi que la norme NF EN 10020 distingue selon des classes de qualité définies

**Tableau I.1 : Les différentes classes d'aciers [4]**

<b>Aciers</b>	<b>Non alliés</b>	<b>Alliés</b>
<b>De qualité</b>	Aciers de qualité non alliés	Aciers de qualité alliés
<b>Spéciaux</b>	Aciers spéciaux non alliés	Aciers spéciaux alliés
<b>Inoxydable</b>		Aciers inoxydables

Ces notions sont définies comme suit :

**a. Aciers non alliés et aciers alliés**

Pour définir ces 2 classes d'aciers, on prend en compte

- Pour un élément d'alliage autre que Mn, la teneur minimale imposée pour l'analyse de coulée ou 70 % de la teneur maximale imposée si seule cette dernière est fixée ;
- Pour le manganèse, la teneur minimale imposée pour l'analyse de coulée ou la teneur maximale imposée si seule cette dernière est fixée (la limite prévue au tableau suivant est alors portée à 1,80 %)

Les limites des teneurs en éléments d'alliage qui séparent le domaine des aciers non alliés du domaine des aciers alliés sont indiquées dans le tableau 2. Un acier est considéré comme allié dès qu'une de ces limites est atteinte. [4]

**i. Aciers de qualité non alliés**

Tous les aciers non alliés qui ne sont pas des aciers spéciaux [4]

Tableau I.2 Délimitations entre aciers non alliés et aciers alliés [4]

Élément spécifié	Limite %	Élément spécifié	Limite %
Al	0,30	Ni (1)	0,30
B	0,0008	Si	0,60
Cr	0,30	Ti (2)	0,05
Cu	0,40	V (2)	0,10
Mn	1,65(3)	W	0,30
Mo (1)	0,08	Zr (2)	0,05
Nb (2) 0,0	0,06	Autres (exceptés C, P, S, N)	0,10

(1) et (2) lorsque ces éléments sont spécifiés par 2 ou 3 ou 4 la valeur limite de la somme est égale à 70 % de la somme des valeurs individuelles.

(3) Si Mn est défini par un maximum la limite est 1,80.

## ii. Aciers de qualité alliés

Aciers qui contiennent des éléments d'alliage mais ne sont pas, en général, destinés à un traitement thermique. Font partie de cette catégorie :

- Des aciers à grains fins soudables de construction métallique ;
- Des aciers pour tôles magnétiques ;
- Des aciers pour rails, palplanches ou cadres de mine ;
- Des aciers en produits plats destinés à un formage à froid sévère et contenant des éléments d'affinement du grain tels que B, Nb, Ti, V et /ou Zr ;
- Des aciers ne contenant comme élément d'alliage que Cu ;
- Des aciers dits « dual phase » (aciers biphasés ferritiques avec 10 à 35 % de martensite). [4]



**Figure I.1** les tuyaux en acier allié [5]

### iii. Aciers spéciaux

Les aciers spéciaux présentent, par rapport aux aciers de qualité une plus grande pureté, notamment vis-à-vis des inclusions non métalliques. Ils sont généralement destinés à un traitement thermique et se caractérisent par une réponse régulière à ce traitement [4]

#### ❖ Aciers spéciaux non alliés

Font partie de cette catégorie :

- des aciers avec garantie de résilience à l'état trempé et revenu ;
- les aciers avec garantie de réponse aux traitements thermiques ;
- des aciers à teneur faible en inclusions ;
- des aciers à teneur en S et P ne dépassant pas 0,020 % à l'analyse sur coulée et 0,025 % à l'analyse sur produit ;
- des aciers dont la résilience KV en long à  $-50\text{ °C}$  est supérieure à 27J sur éprouvettes prélevées en long et 16 J sur éprouvettes prélevées en travers ;
- des aciers pour réacteurs nucléaires avec  $\text{Cu} \leq 0,10\%$ ,  $\text{Co} \leq 0,05\%$  et  $\text{V} \leq 0,05\%$  ;
- des aciers ferrito-perlitiques micro-alliés au V et/ou Nb dont la teneur en carbone n'est pas supérieure à 0,25 % ;
- des aciers pour armature de précontrainte du béton [4]

#### ❖ Aciers spéciaux alliés

Tous les aciers alliés qui ne sont ni des aciers de qualité ni des aciers inoxydables. Font partie de cette catégorie :

- les aciers de construction mécanique ;

- certains aciers soudables à grains fins pour appareils à pression ;
- certains aciers résistant au fluage ;
- les aciers pour roulement ;
- les aciers à outils et les aciers à coupe rapide ;
- des aciers à propriétés physiques spéciales

## vi. Aciers inoxydables

Les aciers inoxydables sont des aciers contenant au minimum 10,5 % de chrome et au maximum 1,2 % de carbone. On distingue les aciers inoxydables qui contiennent moins de 2,5 % de nickel de ceux qui contiennent au moins 2,5 % de nickel. Font partie de cette catégorie :

- Les aciers résistant à la corrosion
- Les aciers résistant à l'oxydation à chaud
- Certains aciers résistant au fluage [4]

## I.2.4. Caractérisation des aciers

Pour permettre la caractérisation des aciers, les 3 critères principaux sont les caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques [6]

### a. Caractéristiques physiques

La dilatation est une caractéristique physique forte importante pour le constructeur métallique. Le coefficient de dilatation linéaire de l'acier est  $12 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$  [6]

### b. Caractéristiques mécanique

Parmi les caractéristiques mécaniques des aciers, les plus couramment utilisées pour une application dans la construction métallique sont :

- **Limité d'élasticité :  $R_e$  en  $\text{N/mm}^2$  ou MPa**

C'est la limite de la charge au-delà de laquelle le métal se déforme de façon irréversible c'est-à-dire qu'il ne retrouve plus sa géométrie initiale ; la déformation n'est plus élastique et subsiste, elle devient plastique. Elle sert au calcul à la contrainte des éléments travaillant à la flexion, au cisaillement, au flambement. [6]

- **Résistance à la traction(rupture) :  $R_m$  en  $\text{N/mm}^2$  ou MPa**

C'est la plus grande force que le métal peut supporter en traction avant rupture. Elle sert au calcul de fatigue [6]

- **Allongement à rupture :  $A$  en %**

C'est l'allongement maximal tolérable avant la rupture [6]

- **Module d'élasticité :  $E$  en  $\text{N/mm}^2$**



Exprimant la rigidité du métal, c'est le facteur de proportion entre une contrainte appliquée à une barre et l'allongement relatif de cette barre dans le domaine plastique [6]

- **Résilience : KCV en J/cm<sup>2</sup>**

C'est une caractéristique qui permet d'apprécier la résistance d'un métal à une rupture brutale ; l'essai consiste à rompre à l'occasion d'un choc unique une section métallique entaillée en son milieu, reposant sur 2 appuis et sollicitée en flexion. Il s'agit d'un des principaux critères de choix de qualité d'acier pour les constructions soudées [6]

- **Dureté**

C'est la résistance à la déformation. Cette caractéristique permet d'estimer les propriétés mécaniques d'un métal. En effet, des correspondances entre les résultats de mesure de dureté et le niveau de résistance (essentiellement à la traction) ont été établies ; elles dépendent de la nature du métal de base [6].

### c. Caractéristiques chimiques

Les métaux sont susceptibles de réagir chimiquement une fois en contact avec d'autres éléments.

Lorsqu'il y a altération, on parle de corrosion.

La teneur des éléments qui le composent est donnée par les normes ou par les catalogues des producteurs.

La réactivité des aciers avec leur environnement est importante. La corrosion atmosphérique dépend de l'humidité relative et de la pollution de l'air. Elle engendre une dégradation du matériau en termes d'épaisseur, de poids et par conséquent de performances [6].

- **Ténacité**

C'est la capacité d'un métal à résister à la propagation brutale d'une fissure. Comme il est pratiquement impossible de garantir qu'une construction ne comporte aucun défaut, il est indispensable de prendre en compte ces défauts pour estimer la taille critique de ces défauts au-delà de laquelle ils seront responsables de la rupture et en deçà de laquelle la rupture serait évitée [6]

### I.2.5. Composition chimique des aciers

Les aciers sont des alliages de fer et de carbone dont la teneur en carbone est inférieure à 2 % ( $C < 2\%$ ), outre le fer et le carbone qui en sont les éléments principaux rentrant dans sa composition, un acier ordinaire contient principalement du silicium, du manganèse, du soufre et du phosphore [7]

### I.2.6. Symbolisation des aciers

En fonction du type d'acier utilisé, on utilise des symboles différents pour la désignation [8]:

**Tableau I.3** Symbolisation de l'acier en fonction du type d'acier utilisé [8].

Symbole	Acier	Désignation
B	Acier à béton	Générale
C	Acier non allié avec Mn < 1%	Générale
E	Acier de construction mécanique	Générale
H	Acier à haute résistance laminé à froid pour emboutissage à froid	Générale
HS	Acier rapide	Spéciale
HT	Acier à haute résistance laminé à froid pour emboutissage à froid	Générale
L	Acier pour tube de conduite	Générale
M	Acier magnétique	Spéciale
P	Acier pour appareils de pression	Générale
R	Acier pour ou sous forme de rails	Générale
S	Acier de construction	Générale
T	Fer noir, blanc ou chromé à simple réduction de laminage	Générale
TH	Fer noir, blanc ou chromé à simple réduction de laminage	Générale
X	Acier allié avec au moins élément de teneur $\geq 5\%$	Spéciale
Y	Acier pour béton précontraint	Générale
	Acier faiblement allié	Spéciale

**I.2.7. Structures des aciers**

On distingue trois types d'aciers, selon la teneur en carbone :

- ❖ **L'acier du type hypoeutectoïde** : (%C compris entre 0,002% et 0,85%) formé de perlite  $\varpi$  (ferrite  $\alpha$  + cémentite  $Fe_3C$ ) caractérisée par une structure en lamelles enveloppée dans une phase ferritique [9].

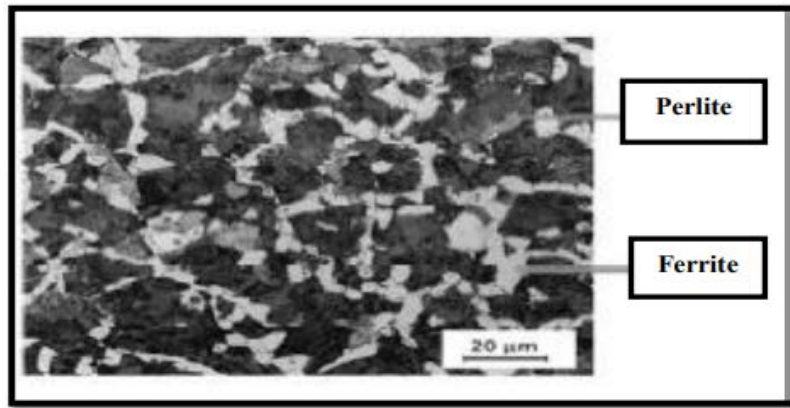


Figure I.2 Microstructure d'un acier hypoeutectoïde [9].

- ❖ **L'acier du type eutectoïde** : (%C = 0,85%) formé de 100% perlite (ferrite  $\alpha$  + cémentite Fe<sub>3</sub>C) caractérisée par une structure en lamelles [9].

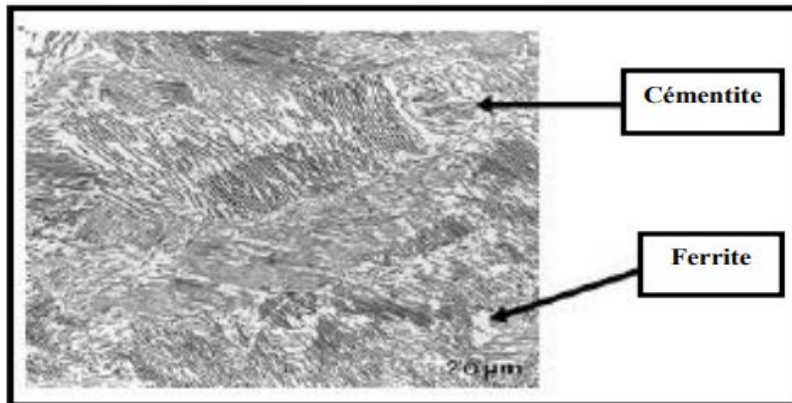


Figure I.3 Structure perlitique [9].

- ❖ **L'acier du type hypereutectoïde** : (%C = [0.85% - 2.1%]) formé de perlite (ferrite  $\alpha$  + cémentite Fe<sub>3</sub>C) caractérisée par une structure en lamelles enveloppée dans de la cémentite [9].

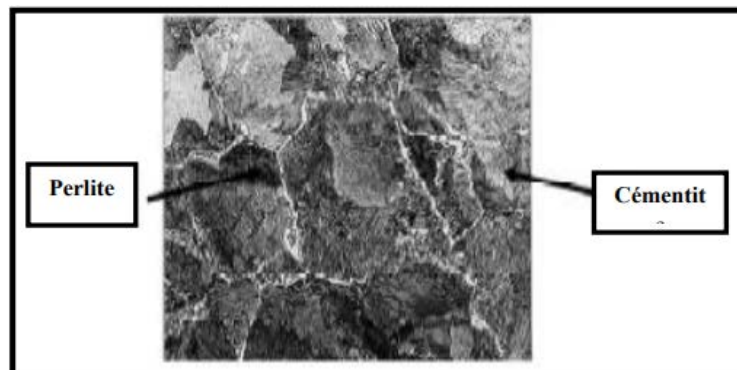


Figure I.4 Microstructure d'un acier hypereutectoïde [9].

## I.2.8 Alliages à base de fer

Les alliages ferreux se prêtent facilement à une production en masse, ils sont bon marché et on peut les acquérir sous des formes très variées grâce à la diversité des traitements thermiques et des éléments d'addition. Nous pouvons distinguer :

- ✓ Les fontes.
- ✓ Les aciers d'usage général ;
- ✓ Les aciers de traitement thermique ;
- ✓ Les aciers à outils ;
- ✓ Les aciers inoxydables ;



Figure I.5 Alliage à base de fer

## I.2.9. Influence des éléments d'alliage

La métallurgie actuelle fait de plus en plus appel à des aciers ayant des caractéristiques de plus en plus complexes. Si l'ajout de certains éléments confère à ces aciers des propriétés intéressantes, ceux-ci vont modifier les réactions au soudage(ZAT).

Quant aux impuretés, elles jouent toujours un rôle important sur les résultats mécaniques. Les principaux éléments d'addition utilisés dans ce genre d'application sont :

- ❖ **Carbone (C)** : C'est l'élément prépondérant lors du soudage. Quoique nécessaire pour augmenter la résistance à la rupture, son rôle sera à la fois actif et défavorable. Son influence sur l'effet de trempe du métal de base et dans la ZAT est importante. Il peut agir seul, mais très souvent en relation avec d'autres éléments trempant tels que le Mn; Cr et Mo par exemple [10].
- ❖ **Manganèse (Mn)** : Comme pour le carbone, il augmente la résistance à la traction mais ne diminue pas l'allongement. Par son rôle désoxydant, les caractéristiques sont donc améliorées. Il confère à l'acier une forte résistance aux chocs et à l'usure. Dans le cas des aciers ordinaires, sa teneur varie de 0,3 à 0,9% et pour les aciers à haute limite élastique (HLE) de 1 à 1,8% [10]
- ❖ **Chrome (Cr)** : Le chrome est un élément dont on doit tenir compte lors du soudage. Élément trempant très actif, c'est la raison pour laquelle sa teneur reste inférieure à 1% dans les aciers au carbone, de la classe des soudables. A forte teneur en (C) et de (Cr), les aciers sont durs et résistent à l'usure [10]
- ❖ **Molybdène (Mo)** : Très actif au point de vue trempe, élément noble. Dans les aciers de construction, la teneur est en générale de 0,5 à 1%, dans ce cas, il augmente la résistance à chaud (fluage) et diminue les risques de fragilité. Il améliore la résistance

à la corrosion dans les aciers inoxydables (ex. tuyauterie véhiculant de l'UREE dans l'industrie chimique) [10].

- ❖ **Silicium (Si)** : Agent désoxydant, se retrouve en faible pourcentage ( $\leq 0,2\%$ ) sans influence néfaste. Au-delà, il augmente la résistance à la traction, mais diminue l'allongement [10].
- ❖ **Cuivre (Cu)** : Toujours à faible teneur (0,5%), il améliore la résistance à la corrosion à l'eau de mer (ex. palplanches). Il provoque néanmoins des porosités lors du soudage avec des électrodes de qualité médiocre [10].
- ❖ **Nickel (Ni)** : Sans conférer un rôle trempant aux aciers, il améliore les propriétés générales. Allié au chrome, il constitue les aciers inoxydables. Il est utilisé dans les aciers autotrepant allié au (Cr) et au (C) et surtout dans les aciers travaillant à basse température (3 à 9% et  $t^{\circ} \approx -190^{\circ}\text{C}$ ) [10].
- ❖ **Aluminium (Al)** : Affine le grain, il est retenu dans la composition du métal d'apport pour le soudage oxyacétylénique des aciers. C'est un désoxydant efficace [10].
- ❖ **Titane (Ti)** : Il s'oppose à la trempabilité à l'air des aciers au chrome courants. C'est un élément puissant de résistance à la surchauffe. Il combat la précipitation du (C) et réduit la corrosion inter granulaire. Il donne une meilleure résistance à chaud à l'oxydation (soudures). C'est un agent stabilisant dans les aciers inoxydables [10].
- ❖ **Niobium (Nb)** : Même avantage que le titane mais beaucoup moins volatile, il le remplace donc dans les métaux d'apport lors du soudage [10].
- ❖ **Phosphore (K)** : augmente fortement la trempabilité et la résistance à la corrosion. Peut contribuer à la fragilité de revenu des soudures [10].

### **I.3. La dureté**

#### **I.3.1 Définition de la dureté**

La définition valable pour la dureté est la résistance qu'oppose un corps à la pénétration d'un corps plus dur. La dureté est un complément indispensable de l'examen métallographique, qui donne une première impression sur les caractéristiques mécaniques et corrobore souvent l'interprétation des textures. Selon le type de charge du corps d'essai lors de la pénétration dans le matériau, on distingue deux procédés : [11]

- ✓ Procédé avec action statique (par pénétration)
- ✓ Procédé par action dynamique (par rebondissement) [11]



Figure I.6 Appareil d'essai de dureté

### I.3.2. Notion

Il existe une grande variété d'essais de dureté possibles, les plus courants et les plus familiers sont les essais de pénétration ou de rebondissement pour caractériser la dureté des métaux, des matières plastiques et des élastomères, mais les essais par rayage peuvent dans certains cas offrir des possibilités intéressantes pour caractériser la dureté des minéraux. Ces essais ont l'avantage d'être plus simples à réaliser, rapides et généralement non destructifs. Par ailleurs, ils permettent d'apprécier et d'estimer dans certaines mesures la résistance mécanique des matériaux, leur rigidité, la résistance des corps fragiles, etc. [12]

Pour mesurer la dureté d'un matériau dur par pénétration, un pénétrateur de faible déformabilité (cône ou sphère en diamant, carbure de tungstène lié au cobalt ou acier extra-dur) est enfoncé à la surface du matériau à tester avec une force connue pendant un temps donné. Plus l'empreinte laissée est petite, plus le matériau est dur. La dureté se mesure sur différentes échelles selon le type de matériau considéré. [12]

### I.3.4 Etude de la dureté

La valeur de la dureté mesurée par indentation dépend considérablement des conditions d'essai.

Ainsi la dureté Vickers HV de l'état hyperefflué est de l'ordre de 360 pour une force  $P=10$  N, décroît pour des forces supérieures, se stabilisant à HV 220 environ pour  $P>50$  N [13].

Des mesures de la dureté à 500 N ont été effectuées par Collette et al. [14] sur des échantillons écrouis par compression à 20°C. La dureté augmente linéairement avec la déformation comme dans l'essai de compression, passant de 220 à 600 pour un échantillon comprimé de 50 % environ, la pente  $dHV/d\epsilon$  étant égale en première approximation à 3 fois la pente d'écrouissage  $d\sigma/d\epsilon$  en compression.

Le taux d'érouissage très élevé explique que l'emploi des aciers Hadfield sera indiqué dans les cas suivants :

- Nécessité d'encaisser des chocs (résilience élevée) avec un durcissement progressif et important à l'endroit des impacts (pièces soumises à des chocs répétés) ;
- Déformation locale dans une couche superficielle devant ensuite résister à une force d'arrachement tangentielle (pièce d'usure). Leur résistance à la décohésion n'étant pas extraordinaire, on comprend que les aciers Hadfield résistent bien mieux dans le cas de sollicitations sous des contraintes de compression, qui évitent les amorces locales de décohésion qui pourraient se produire sous traction. [14]

## I.4. La rugosité

### I.4.1. Généralité

On la mesure avec un rugosimètre ou un Profilomètre. La rugosité concerne les défauts micro géométriques de la surface. Ils sont évalués après filtrage de la surface réelle à l'aide d'un filtre passe-haut ne retenant que les longueurs d'onde latérales les plus courtes.

Les paramètres de rugosité en profilométrie commencent par la lettre majuscule R suivie d'une ou plusieurs lettres déterminant le type de paramètre. Par exemple, le paramètre 'Ra' est la rugosité moyenne arithmétique du profil. 'Rz' est la rugosité maximale du profil. La rugosité d'une pièce usinée est une signature du type d'usinage (tournage, polissage, pierrage, etc.) La cotation des états de surface en mécanique fait essentiellement référence à l'usinage par enlèvement de matière. Les défauts sont des stries et des sillons creusés par les arêtes coupantes des outils (outils de tournage, fraises, meules, etc.) [15]

### I.4.2. Définition de la rugosité

C'est l'ensemble des irrégularités d'une surface à caractère micrographique et macrographique.

Les surfaces usinées ne sont pas parfaites, elles présentent des irrégularités dues aux procédés d'usinage, aux outils, à la matière, etc.

Le rôle fonctionnel d'une surface dépend d'un certain nombre de facteurs, notamment de l'état de surface (étanchéité, glissement, etc.).

Plus l'indice de rugosité est faible, plus il est difficile à obtenir, ce qui augmente nécessairement le coût de fabrication. [16]



Figure I.7 Mesureur de Rugosité [17]

### I.4.3. Principaux défauts de surface

L'aptitude d'une pièce à une fonction donnée dépend d'un ensemble de conditions notamment des caractéristiques de ses états de surface. En général les défauts de surface jouent un rôle important pour une pièce à remplir une fonction donnée. Ces défauts sont de nature géométrique ou physico-chimique. On ne s'intéresse ici qu'aux défauts géométriques, qui sont classés conventionnellement sous quatre numéros d'ordre (figure I.6) [18]

- **Défauts du premier ordre** : Ce sont des défauts de forme (écart de rectitude, écarts de circularité), défaut aperiodique.
- **Défauts du deuxième ordre** : Ils sont caractérisés par une ligne ondulée à un caractère périodique du essentiellement à des vibrations de basses fréquence de la pièce et de l'outil générateur.
- **Défauts du troisième et quatrième ordre** : Ils caractérisent la rugosité de la surface, les défauts du 3ème ordre sont constitués par des stries ou sillons, ce type de défaut à un caractère périodique ou pseudo périodique. Par contre les défauts du quatrième ordre sont constitués par des arrachements, fente, piquûre ... etc. Ce type de défaut a un caractère aperiodique [18]

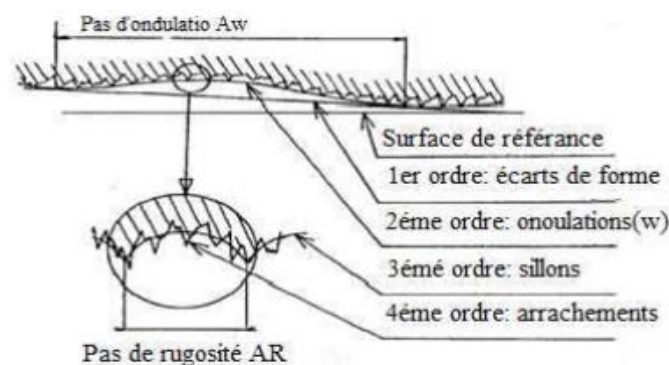


Figure I.8 Principaux défauts de surfaces [18].



#### I.4.4. Principaux critères de rugosité

Considérons une coupe locale de la surface usinée perpendiculairement aux sillons d'usinage (figure I.7) soit OX la ligne moyenne tel que :

$$\int_0^1 y dx = 0 \quad \text{I.1}$$

Les principaux critères de rugosité sont définis par rapport à cette ligne moyenne [18].

**a. Rugosité totale  $R_t$**

$R_t$  Représente l'écart total entre le point le plus haut et le point le plus bas du profil.

**b. Rugosité  $R_z$**

$R_z$  Représente la distance moyenne entre les cinq sommets les plus élevés et les cinq creux les plus bas.

**c. Rugosité moyenne arithmétique  $R_a$**

$R_a$  Représente la moyenne arithmétique des écarts (en valeur absolue) par rapport à OX.

$R_a$  Est calculée sur une longueur d'évaluation :

$$R_a = \frac{1}{L} \int_L^L |y| dx \quad \text{I.2}$$

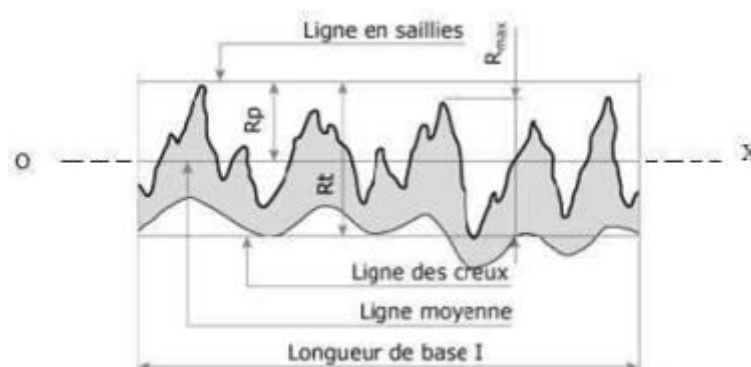


Figure I.9 Rugosité arithmétique [19].

**d. Rugosité maximum  $R_{max}$**

C'est le maximum de la hauteur des irrégularités du profil de rugosité  $R_{max}$  étant pris sur une saillie et un creux consécutif.

**e. Rugosité  $R_p$**

C'est la hauteur maximale de saillie de rugosité.  $R_p$  Est la distance entre la ligne des saillies et la ligne moyenne pour une longueur (L).

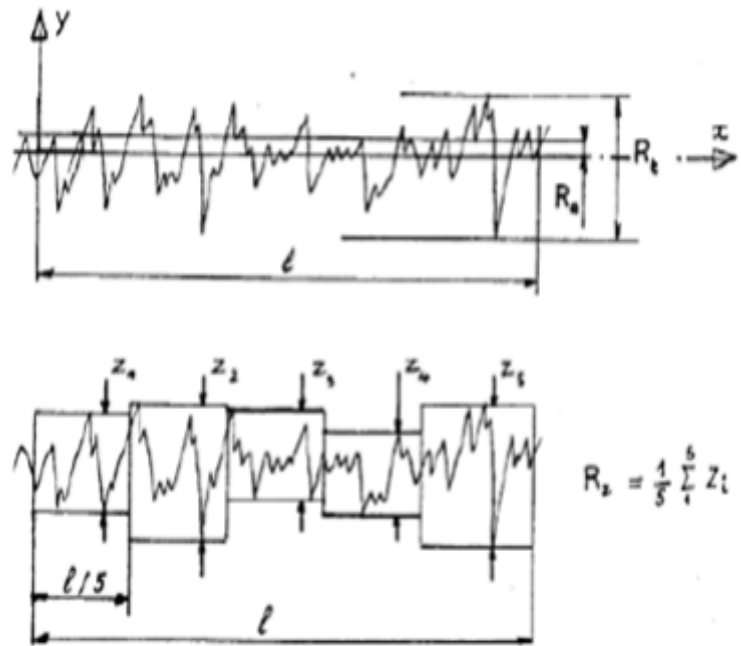


Figure I.10 Principaux critères de rugosité [18].

**Chapitre II :**  
Essai de la dureté  
Et rugosité

**Chapitre II : Essai de la dureté et rugosité****II.1 Introduction**

Dans ce chapitre, nous explorerons les méthodes de mesure de la dureté et de la rugosité, les facteurs influençant ces propriétés, ainsi que leurs implications pratiques dans divers domaines industriels. Nous examinerons également les relations complexes entre dureté, rugosité et coefficient de frottement, offrant ainsi une compréhension complète des performances des matériaux en conditions réelles d'utilisation.

**II.2 Essai de dureté****II.2.1 Généralités**

Si la notion de dureté est l'une des plus intuitives, sa mesure correspond en pratique à celle de la résistance à la pénétration locale du matériau considéré. Les essais de la dureté permettent de définir quelques caractéristiques des matériaux tels que ; (les modules d'Young et de Coulomb, coefficient de poisson, dureté, viscosité, forces d'adhésion (entre la pointe et le substrat) ou encore ténacité et énergie de rupture, etc.), mais aussi de la nature et de la forme du pénétrateur et du mode de pénétration [20].

**II.2.2 Machine d'essai**

La plus courante est schématisée (Figure. II.1). L'éprouvette à tester est placée sur le plateau P. L'opérateur amène la bille au contact grâce au volant V agissant sur la vis. Une friction entre la vis et le volant limite l'effort de façon à éviter toute pénétration de la bille due à cette manœuvre.

L'action sur le bras B, détermine la rotation de la came qui agit sur le levier L.

L'articulé sur les couteaux C, comprime les rondelles « Belleville » qui forment ressort de compression, assurant ainsi la force de pénétration [21].

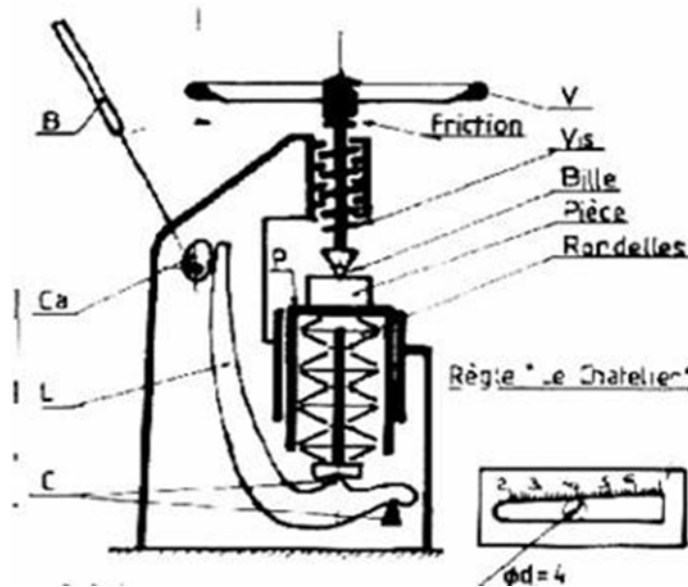


Figure II.1 Machine d'essai de dureté [22].






### II.2.3 Principe de l'essai de pénétration

Il consiste à enfoncer un pénétrateur dans le métal à essayer. La charge est constante et on mesure la dimension de l'empreinte. L'empreinte est d'autant plus grande que le métal est moins dur. La dureté  $H$  s'exprime par le rapport de la force sur la surface de l'empreinte :

$$H = \frac{F}{S} \text{ II.1}$$

Les essais les plus classiques sont les essais Brinell, Vickers et Rockwell (Tableau. II.1) [23].

Tableau II.1 pénétrateurs Brinell, Rockwell, Vickers et Knoop [20].

Pénétrateur	Brinell	Rockwell		Vickers	Knoop
Nature	Acier trempé ou carbure de tungstène	Diamant	Acier trempé	Diamant	Diamant
Forme	Sphère	Cône	Sphère	Pyramide à base carrée	Pyramide à base losange
Dimensions	 $D = 10 \text{ mm} ; 5 \text{ mm} ; 2,5 \text{ mm} ; 1 \text{ mm}$	 $\theta = 120^\circ$	 $D = 1/16'' (1,587 \text{ mm})$ $D = 1/8'' (3,175 \text{ mm})$	 $\theta = 136^\circ$	 $\alpha = 130^\circ$ $\theta = 172^\circ 30'$

### II.3 Procédé avec action statique

Les différentes méthodes d'essai faisant partie de ce procédé sont les essais du domaine macro avec force d'essai  $F > 30 \text{ N}$  tels que [24]:

- Essai Brinell
- Essai Rockwell
- Et l'essai Vickers.

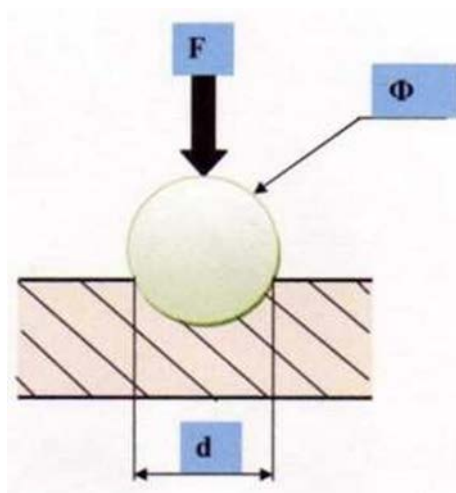
### II.3.1 Essai de Brinell

Le pénétrateur est une bille en acier trempé (dureté HBS) ou en carbure de tungstène (dureté HBW) de diamètre  $D$  (mm). L'empreinte est une calotte sphérique moyen  $d$  [mm] ; moyenne de deux diamètres orthogonaux mesurés à l'aide d'un appareil optique approprié. La charge d'essai  $F$  (N) est choisie dans une gamme normalisée adaptée à  $D$  et au matériau testé. La dureté est donnée par le rapport de la charge (en Kg force à l'origine) à la surface de l'empreinte, exprimée sans dimension [25] :

$$\text{HBS OU HBW} = 0,102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad \text{II.2}$$

Avec :

- $F$  : Charge d'essai en Newtons.
- $D$  : Diamètre de la bille en millimètres.
- $d$  : Diamètre de l'empreinte en millimètre.



**Figure II.2** Principe de l'essai Brinell.

Pour éviter la déformation et la détérioration de la bille, l'usage de l'essai Brinell est limité

Aux matériaux tels que  $\text{HBS} < 350$  ou  $\text{HBW} < 650$ .

Les diamètres de la bille sont :  $D = 10-5-2.5-1$  en mm et les charges  $P$  valent  $30 D^2$  pour les aciers. La bille est en acier dur trempé, et ne doit pas être déformée.

par l'essai. Le diamètre  $D$  de l'empreinte est mesuré au  $1/100$  de mm près (en général au microscope) [26].

### II.3.2 Essai de Vickers

Le pénétrateur est une pyramide en diamant, à base carré et d'angle au sommet entreface opposé égal à  $136^\circ$ . L'empreinte est une pyramide en creux de diagonale moyenne  $D$  (en mm, moyenne de deux diagonales du carré de base, mesurées à l'aide d'un appareil optique approprié). La charge d'essai  $F$  (N) est choisie dans une gamme normalisée. La dureté est donnée par le rapport de la charge (en Kg force à l'origine) à la surface latérale de l'empreinte pyramidale, exprime sans dimension [27] :

$$HV = 0,102 \times \frac{2F \sin(136^\circ/2)}{d^2} \quad \text{II.3}$$

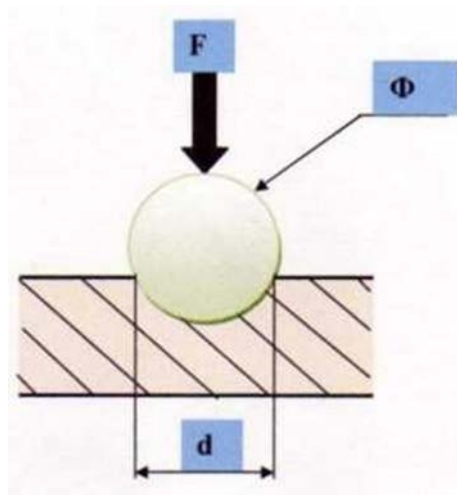


Figure II.3 Essai de Vickers.

Les duretés brinell et Vickers donnent des résultats du même ordre, variant de quelque unité pour des matériaux très mous. Jusqu'à quelques milliers pour les matériaux très durs (Céramique, carbures métalliques).

### II.3.3 Essai de Rockwell

Mesure de la dureté d'un métal selon l'enfoncement d'une bille d'acier, appelé dureté Rockwell B (HRB) ou d'un cône de diamant de  $120^\circ$ , dureté Rockwell C (HRC). L'essai consiste à appliquer un pré charge de 10 Kg (100N) sur le pénétrateur qui s'enfonce d'une profondeur  $e_0$ . On applique une force supplémentaire  $F$ , pendant 3 à 8 s, le cône s'enfonce d'une profondeur  $e_1$ . On supprime la force  $F$ , le cône reste enfoncé d'une profondeur  $e_2$ . La

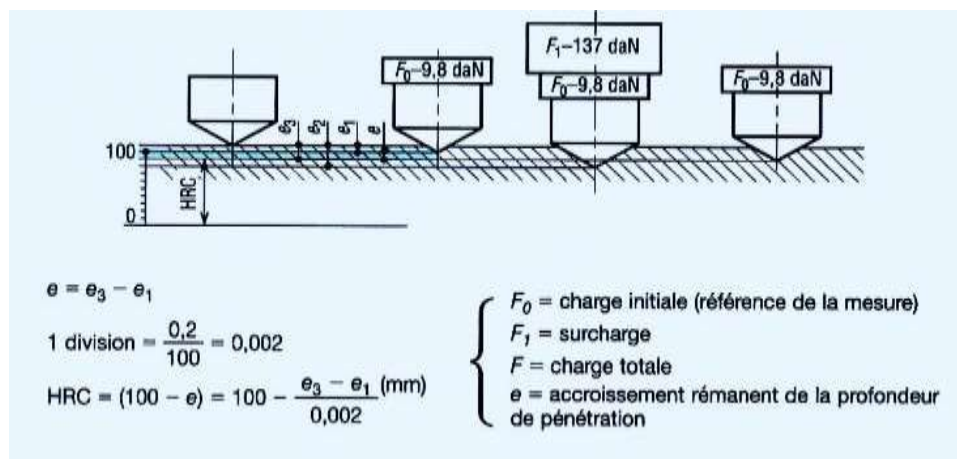
profondeur rémanente ( $e_2 - e_0$ ) permet le calcul de la dureté. Les indices Rockwell peuvent se lire directement sur un cadran gradué.

### II.3.3.1 Rockwell HRC

La figure 4 montre le principe de dureté Rockwell. Il consiste à mesurer la profondeur de pénétration. Le pénétrateur a une forme conique diamanté de  $120^\circ$  et arrondi de 0,2 mm, La charge appliquée est de 1370N.

Plus précisément l'essai de dureté Rockwell HRC se réalise comme suit :

- On effectue un pré-charge avec une force  $F_0$  ;
- On applique une force supplémentaire  $F_1$  puis on la relâche ;
- On regarde la profondeur que l'on a gagnée [28].



**Figure II.4** Schéma du principe de la dureté Rockwell HRC [28].

### II.3.3.2 Rockwell HRB

Le pénétrateur est une bille en d'acier trempé de diamètre 1,59 mm. L'accroissement se mesure en unités égales à 0,002 mm. Cet essai est utilisé pour les aciers doux, non trempé et les métaux et alliages non ferreux.

La charge  $F$  utilisée est de 100 kg (900 N).

$$HRB = 130 - r$$



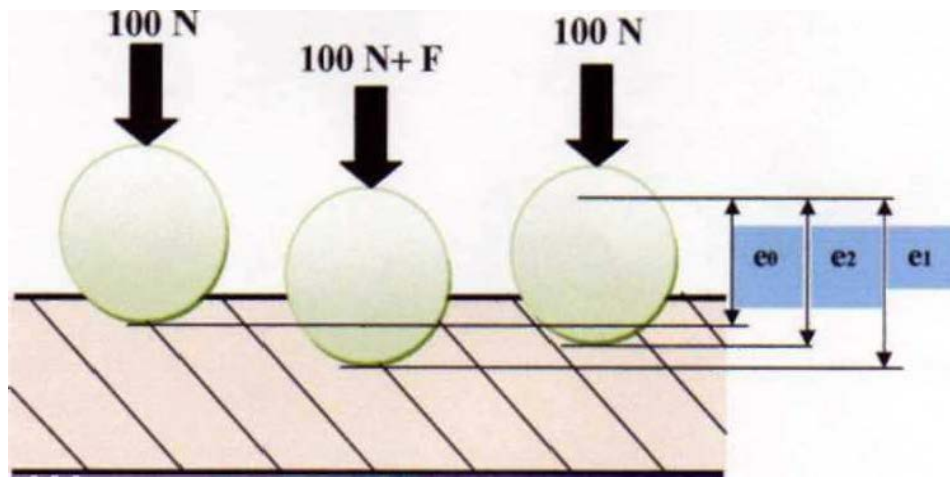


Figure II.5 Essai de dureté Rockwell HRB.

**II.3.4 Essai Knoop**

La figure 5 montre le principe de dureté Knoop. Le pénétrateur est en diamant de forme géométrique pyramidal à base losange. L'angle au sommet dans le sens de la grande diagonale est de  $172^{\circ}.30'$  et l'angle transversal est de  $130^{\circ}$ .

L'avantage du pénétrateur Knoop permet de donner une empreinte suffisamment grande pour une très faible charge, en sollicitant donc un volume très réduit de matière [29] . La dureté Knoop HK s'exprime par le rapport de la charge appliquée  $F$  à la surface projetée  $A$  de l'empreinte :

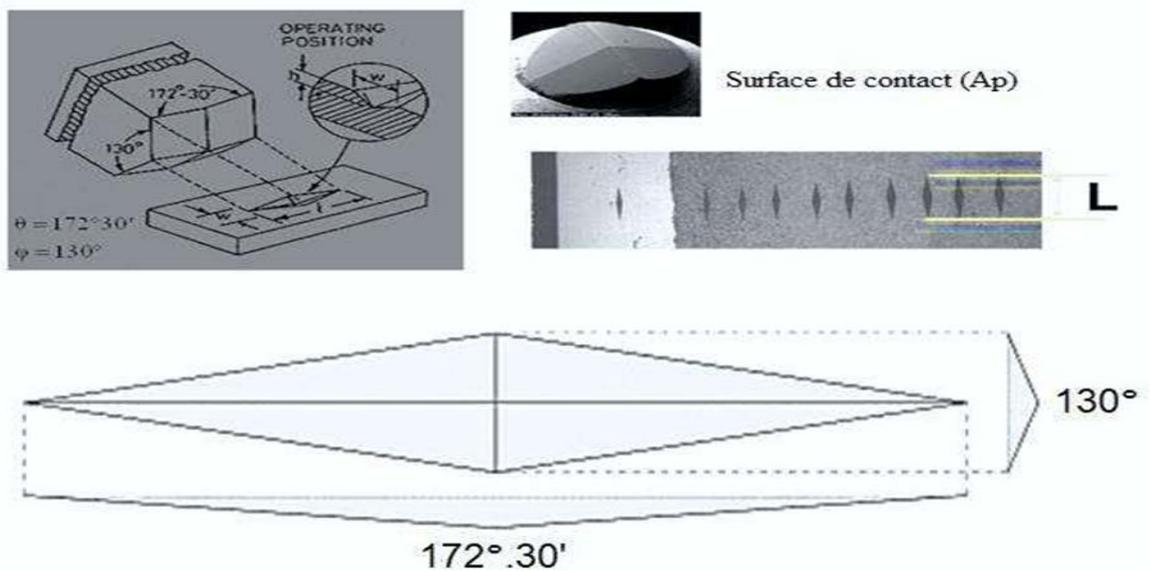


Figure II.6 Schéma du principe de la dureté Knoop HK [29].

## II.4 Techniques de mesure de la dureté

Les techniques de mesure de la dureté des matériaux évaluent leur résistance à la déformation et à l'usure. Les principales méthodes incluent l'essai Brinell, qui utilise une bille en acier pour créer une empreinte, et l'essai Vickers, qui utilise un pénétrateur en forme de pyramide en diamant. L'essai Rockwell détermine la dureté par la profondeur résiduelle de l'empreinte avec des pénétrateurs en bille ou en cône. L'essai Knoop est utilisé pour les matériaux fragiles avec un pénétrateur en losange, tandis que l'essai Shore mesure la dureté des polymères et des élastomères à l'aide d'un duromètre. Ces techniques fournissent des informations cruciales pour la sélection et la conception de matériaux dans diverses applications industrielles.

## II.5 LA RUGOSITE

### II.5.1 Généralités

On la mesure avec un rugosimètre ou un Profilomètre. La rugosité concerne les défauts micro géométriques de la surface. Ils sont évalués après filtrage de la surface réelle à l'aide d'un filtre passe-haut ne retenant que les longueurs d'onde latérales les plus courtes. Les paramètres de rugosité en profilométrie commencent par la lettre majuscule Suivie d'une ou plusieurs lettres déterminant le type de paramètre. Par exemple, le paramètre 'Ra' est la rugosité moyenne arithmétique du profil. 'Rz' est la rugosité maximale du profil. La rugosité d'une pièce usinée est une signature du type d'usinage (tournage, polissage, pierrage, etc.) La cotation des états de surface en mécanique fait essentiellement référence à l'usinage par enlèvement de matière. Les défauts sont des stries et des sillons creusés par les arêtes coupantes des outils (outils de tournage, fraises, meules, etc.) [30].

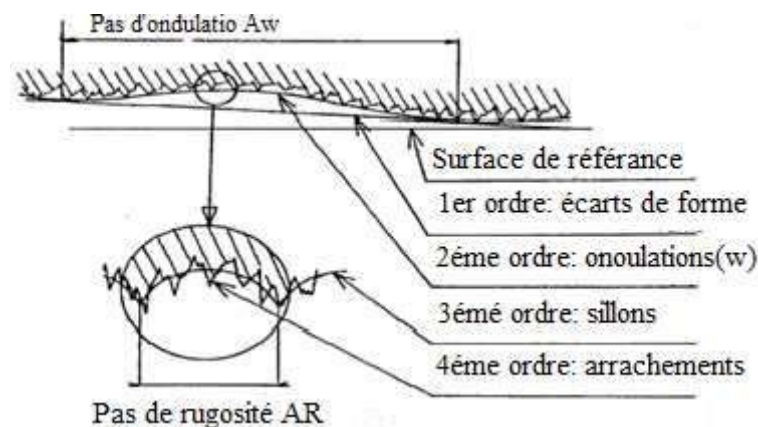
### II.5.2 Principaux défauts de surface

L'aptitude d'une pièce à une fonction donnée dépend d'un ensemble de condition notamment des caractéristiques de ses états de surface. En général les défauts de surface jouent un rôle important pour une pièce à remplir une fonction donnée. Ces défauts sont de nature géométrique ou physico-chimique. On ne s'intéresse ici qu'aux défauts géométriques, qui sont classés conventionnellement sous quatre numéros d'ordre (figure I.7) [31].

**Défauts du premier ordre :** Ce sont des défauts de forme (écart de rectitude, écarts de circularité), défaut apériodique.

**Défauts du deuxième ordre** : Ils sont caractérisés par une ligne ondulée à un caractère périodique du essentiellement à des vibrations de basses fréquence de la pièce et de l'outil générateur.

**Défauts du troisième et quatrième ordre** : Ils caractérisent la rugosité de la surface, les défauts du 3ème ordre sont constitués par des stries ou sillons, ce type de défaut à un caractère périodique ou pseudo périodique. Par contre les défauts du quatrième ordre sont constitués par des arrachements, fente, piqûre ... etc. Ce type de défaut a un caractère apériodique.



**Figure II.7** Principaux défauts de surfaces[31].

### II.5.3 Principaux critères de rugosité

Considérons une coupe locale de la surface usinée perpendiculairement aux sillons d'usinage (figure I.9) soit OX la ligne moyenne tel que :  $\int_0^l y dx = 0$  II. 4

Les principaux critères de rugosité sont définis par rapport à cette ligne moyenne [31].

#### a) Rugosité totale $R_t$

$R_t$  Représente l'écart total entre le point le plus haut et le point le plus bas du profil.

#### b) Rugosité $R_z$

$R_z$  Représente la distance moyenne entre les cinq sommets les plus élevés et les cinq creux les plus bas.

#### c) Rugosité moyenne arithmétique $R_a$

$R_a$  Représente la moyenne arithmétique des écarts (en valeur absolue) par rapport à OX.

$R_a$  Est calculée sur une longueur d'évaluation :

$$R_a = \frac{1}{L} \int_L^L |y| dx$$

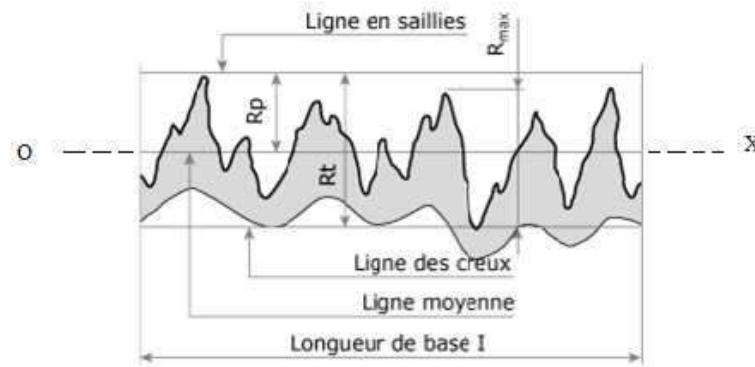


Figure 11.8 Rugosité arithmétique [32].

d) **Rugosité maximum**  $R_{max}$

C'est le maximum de la hauteur des irrégularités du profil de rugosité  $R_{max}$  étant pris sur une saillie et un creux consécutif.

e) **Rugosité**  $R_p$

C'est la hauteur maximale de saillie de rugosité.  $R_p$  Est la distance entre la ligne des saillies et la ligne moyenne pour une longueur (L).

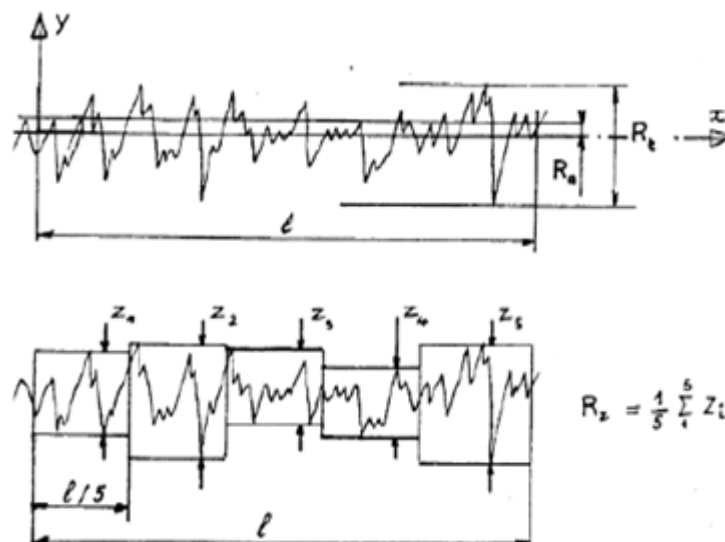


Figure II.9 Principaux critères de rugosité [31].

### II.5.4 Mesure de la rugosité

Lorsque les comparaisons visuelles et tactiles ne pas sont suffisantes pour distinguer une différence de rugosité entre deux surfaces, on utilise un rugosimètre qui détermine de manière sure et précise un certain nombre de paramètres de rugosité (Ra, Rz...). Parmi les applications industrielles nécessitant l'utilisation d'un rugosimètre on peut citer les domaines suivants :

- Mécanique : l'optimisation de la rugosité permet un meilleur ancrage mécanique, notamment au sein de dispositifs où les forces de friction jouent un rôle fonctionnel prépondérant (ex: cônes morses).
- Qualité : l'utilisation d'un rugosimètre permet le contrôle de la qualité de finition en bout de chaîne de production, permettant de détecter et de corriger d'éventuels problèmes survenus durant l'usinage [33].



Figure II.10 Rugosimètre [34]

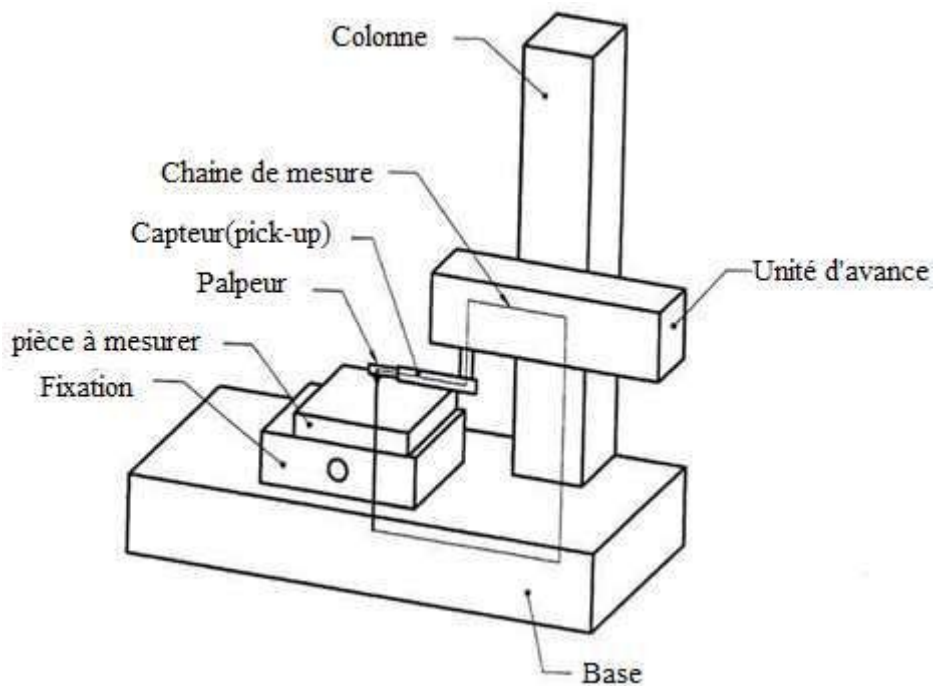
### II.5.5 Méthodes de mesure des états de surface

#### a) Méthodes mécaniques

En raison de leurs simplicités et leurs grandes diversités, les méthodes mécaniques peuvent englober une vaste gamme de paramètres de rugosité, les instruments conventionnels de mesure de surfaces utilisant ces méthodes présentent certains inconvénients tels que :

- Technique relativement lente.
- La force du palpeur peut parfois endommager la surface.
- Limitation sur des secteurs de mesure. Les avantages évidents sont :
- Souplesse pour adopter une large diversité de forme.
- Très haute résolution dans la direction verticale.

Dans l'industrie le moyen le plus utilisé est l'appareil de mesure d'état de surface à palpeur, avec contact de ce dernier sur la surface à caractériser (Profilomètre mécanique 2D). Suivant son degré de perfectionnement, ce type d'équipement permet la mesure de tous ou parties des paramètres d'états de surface. En effet, l'évaluation des paramètres de profil primaire et d'ondulation nécessite une référence de guidage externe. La figure II.11 représente, de façon schématique, un appareil à palpeur dont les différents composants [35].



**Figure II.11** Profilomètre[36].

### **b) Mesure tridimensionnelle**

La caractérisation de l'état d'une surface ne peut se limiter à l'analyse d'une trajectoire. L'objectif recherché est la caractérisation et l'analyse de l'intégralité d'une surface ou d'une portion de surface est pour connaître son relief, sa texture et ses défauts de surface. Les avancées technologiques repoussent toujours la connaissance et la mesure des états de surface. Ces dernières années ont vu un grand développement d'équipements destinés à la quantification de la topographie de surface, grâce à l'évolution :

- Des appareils de mesure à contact (ajout d'un troisième axe de mesure).
- De la microscopie à haute résolution.
- Du traitement de l'information et du traitement d'image.

La mesure tridimensionnelle des états de surface dépasse le cadre du contrôle qualité des surfaces sur des produits industriels. L'image tridimensionnelle permet d'augmenter les possibilités d'analyse de la texture des surfaces [36].

Vue par l'œil, chaque maxima correspond à une différence de marche de  $\lambda/2$  entre I1 et I2, le balayage des deux miroirs M1 et M2 est normal (perpendiculaire) [36].



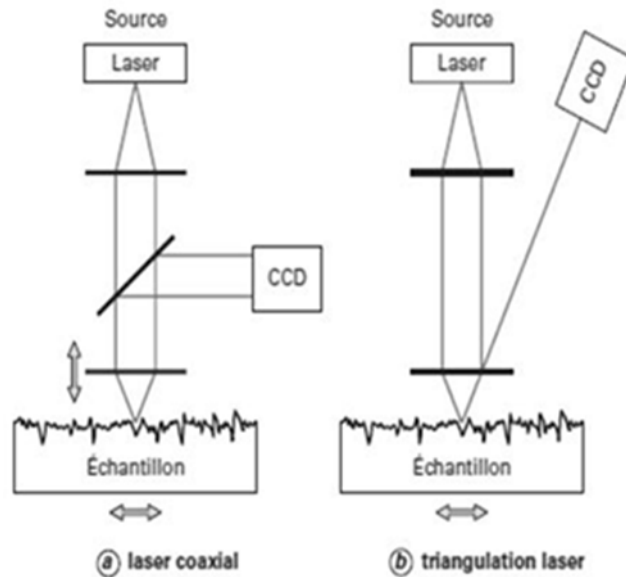
**Figure II.12** Appareille de mesure tridimensionnelle [37].

### c) Méthodes optiques

#### Profil mètre laser

Ces méthodes sont très proches de la méthode par contact, à savoir qu'elles nécessitent l'exploration de la surface au moyen d'une série de trajectoires parallèles régulièrement espacées par déplacement de l'échantillon ou de la source. Les coordonnées Z sont acquises à l'aide d'un capteur optique à source laser. La méthode peut être coaxiale ou basée sur le principe de la triangulation suivant que le faisceau émis et le faisceau réfléchi suivent le

même trajet ou une trajectoire différente. La figure II.13 illustre le principe d'un Profilomètre laser. La méthode coaxiale nécessite un système de déplacement vertical permettant l'asservissement du point de focalisation du faisceau laser sur la surface. L'exploitation des données, calcul des paramètres et visualisation de la surface, se fait avec les mêmes outils que ceux utilisés par la méthode avec contact [20].



**Figure II.13** Méthodes de mesure de la rugosité [35].



**Chapitre III :**  
Expérimentale et  
Résultats discuté

**Chapitre III** : Expérimentale et Résultats discute.

### **III.1 Introduction :**

Dans ce chapitre, nous présentons l'ensemble d'équipement utilise pour notre expérience nous présentons aussi les déférent essais réalise et les différents instruments utiliser et les différentes opérations pour fini nos essais. Les mesures concernent la rugosité de surface et ainsi que des informations concernant la dureté de matériau.

### **III.2 Les équipements et les instruments des expériences :**

Pour finaliser notre travail en à passer durent plusieurs étapes comme suite :

#### **III.2.1 Machine de Découpage :**

Pour préparer notre enchantaient on la découper avec une cisaille électrique comme indique dans la figure 1 à partir d'un bar de 1000 /55 mm.



**Figure III.1** la machine de découpage mécanique

#### **III.2.2 Teste de l'analyse chimique :**

Dans cette partie on a fait un test de l'analyse chimique pour notre matériau avec un spectromètre comme indique dans **la figure 2** ci-dessous.



**Figure III. 2 spectromètre METAVISION-1008i**

### **III.2.3 La machine de polissage mécanique :**

#### **a. La polisseuse mécanique :**

Après le découpage de la pièce on a fait un polissage mécanique avec du papier abrasif afin d'attendre un état de surface acceptable pour les essais de dureté comme présenter dans la **figure 3**



**Figure III.3 Le polissage mécanique**

**b. Le papier abrasif :**

Dans nos essais en a fait un polissage de différent étapes et de différent degré entre 80 à 4000 jusqu'à avoir un état de surface mémoire comme indique dans la **figure 4**.



**Figure III.4** Le papier abrasif.

**III.2.4 L'essai de la dureté :**

Après la finition de polissage mécanique en a fait un essai de dureté pour voir le pourcentage de dureté avec un Doru-métré présenter dans la **figure 5**.



**Figure III.5** Doru-métré. FALCON 400G201

### III.2.5 La mesure de rugosité

Dans cette partie on a mesuré la rugosité à l'aide d'un rugosimètre comme indiqué dans la figure 5



Figure III.6 Rugosimètre LITE SURF.

### III.3 Résultats et discussions

#### III.3.1 L'analyse de la propriété chimique :

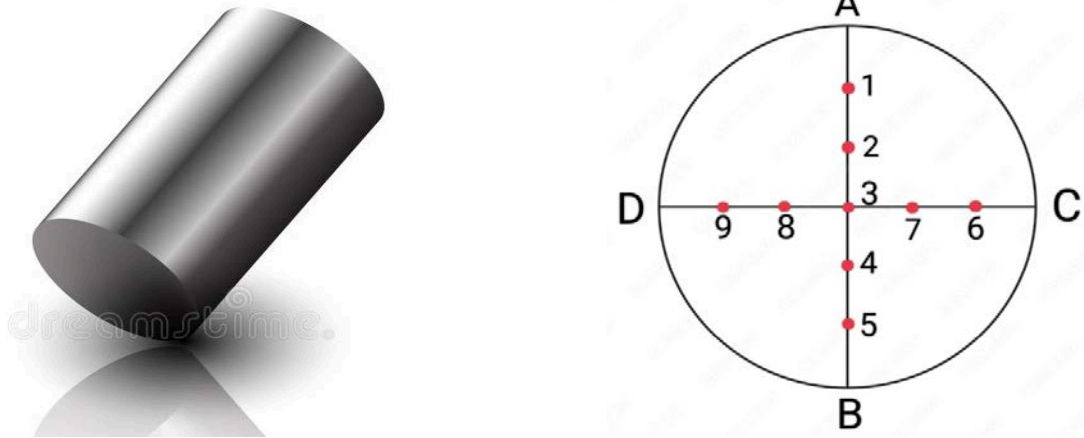
Eléments	Bum1	Bum2	Bum3	Bum4	Mean	SD
C %	0.2671	0.3629	0.2768	0.3628	0.3174	0.0526
Si %	0.2075	0.2029	0.1967	0.2142	0.2053	0.0074
Mn %	0.6462	0.6987	0.6027	0.5775	0.6313	0.0531
P %	0.0428	0.0439	0.0443	0.0425	0.0434	0.0008
S %	0.0357	0.0358	0.0247	0.0373	0.0359	0.0011
Cr %	0.1679	0.1813	0.1527	0.1468	0.1622	0.0155
Ni %	1.5370	1.5837	1.5514	1.5108	1.5457	0.0304
Cu %	0.6217	0.6268	0.6564	0.6085	0.6288	0.0202
Al %	0.0686	0.0706	0.0663	0.0620	0.0669	0.0037
As %	0.0037	0.0050	0.0077	<0.0020	0.0043	0.0029
B %	0.0022	0.0025	<0.0001	0.0023	0.0023	0.0001
Nb %	0.0169	0.0191	0.0179	0.0162	0.0175	0.0013
Ti %	0.0210	0.0183	0.0195	0.0233	0.0205	0.0022
V %	0.3577	0.3745	0.3101	0.3008	0.3358	0.0359
W %	0.0437	0.0431	0.0303	0.0867	0.0510	0.0246
N %	0.0147	0.0126	0.0120	0.0173	0.0142	0.0024
Se %	0.0282	0.0287	0.0280	0.0349	0.0299	0.0033
Sb %	0.0608	0.0944	0.0747	0.0702	0.0825	0.0119
Zr %	0.0487	0.0479	0.0476	0.0491	0.0483	0.0007
Fe %	Ref	Ref	Ref	Ref	Ref	Ref

**III.3.2 Analyse des variations :**

D'après les teste qui on a fait on a obtenu les résultats suivant :

**a) Surface intérieure de la pièce :****a.1 Analyse de la dureté :**

Désignation : XC 42 /  $\varnothing 55/110$  mm



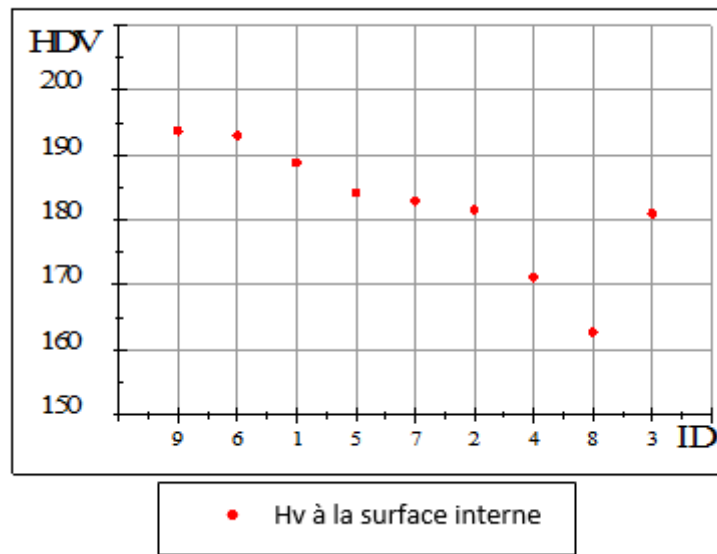
**Figure III.7** Points de mesure de la dureté à la surface de la pièce.

D'après les essais que on a fait dans les point présenter dans la figure 1 on a trouvé les résultats de dureté présentera dans le tableau 1 comme suite :

**Tableau III.1** les valeur de la dureté.(intérieure)

ID	Dureté HV2
9	193.67
6	192.99
1	188.80
5	184.17
7	182.85
2	181.57
4	171.14
8	162.66
3	180.93

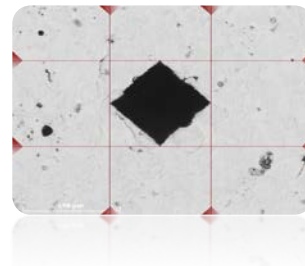
Les valeurs sont été présenté dans un graphe comme suite la figure 2.



**Figure III.8** Les valeurs de dureté (surface intérieure)

**Exemple :**

**Dureté 180.93 HV 2**



**Figure III.9** Un exemple de dureté

## a.2 Analyse de la rugosité :



Figure III.10 des exemple de rugosité de face intérieure

## b) Surface extérieure de la pièce :

## b.1 Analyse de la dureté :

D'après les essais que on a fait dans les point présenter dans la **figure 11** on a trouvé les résultats de dureté présentera dans le tableau 2 comme suite :

Tableau III.2 Les valeurs de la dureté. (Extérieure).

ID	Dureté HV 2
6	199.44
1	198.00
9	189.70
5	186.36
2	195.83
8	195.12
4	194.41
7	192.17
3	200.49

Les valeurs sont été présenté dans un graphe comme suite la figure 3.

Représentation graphique de la dureté HV à partir du diamètre vers le centre de la pièce



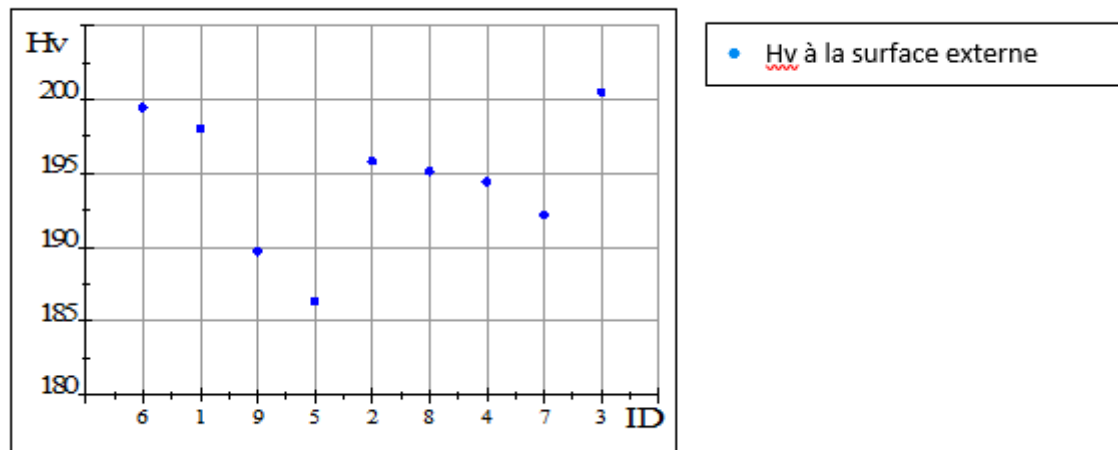


Figure III.11 Hv à la surface externe.

## b.2 Analyse de la rugosité

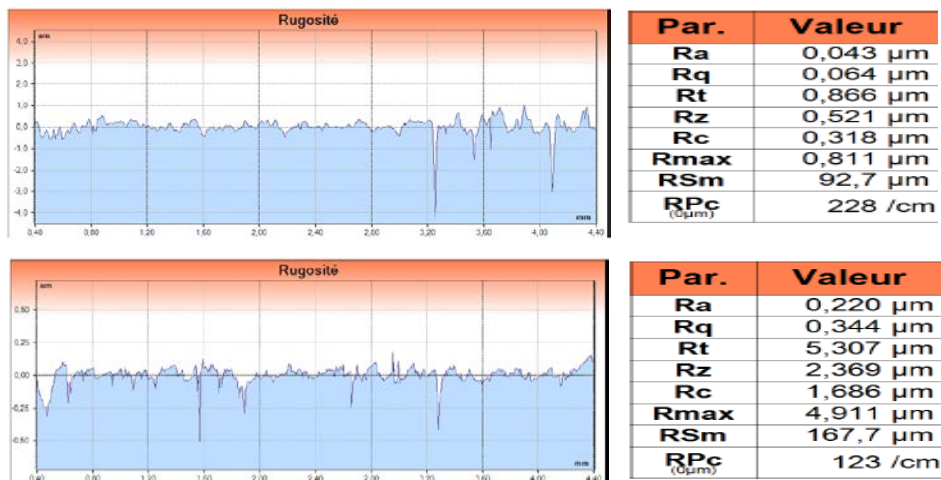


Figure III.12 Des exemples de rugosité de face extérieure

Les rugosités de la face externe sont beaucoup plus fortes en valeurs que celles de la face interne et cela est dû aux contraintes résiduelles chassées du cœur de la pièce vers l'extérieur par un gradient de température de refroidissement lors de la mise en forme du brut.

Ces défauts de surface représentés par des inclusions gazeuses, des impuretés, des pores, ou des bulles d'air se logent d'une façon aléatoire dans le réseau cristallin du matériau, pour constituer les zones critiques d'initiations de microfissures.

### III.3.3 La comparaison de la dureté externe et interne

Après l'étude de la variation qui on a fait on va faire en petit comparaison de la dureté entre la face intérieure et la face extérieure de la pièce pour voir la différence de dureté de matériaux.

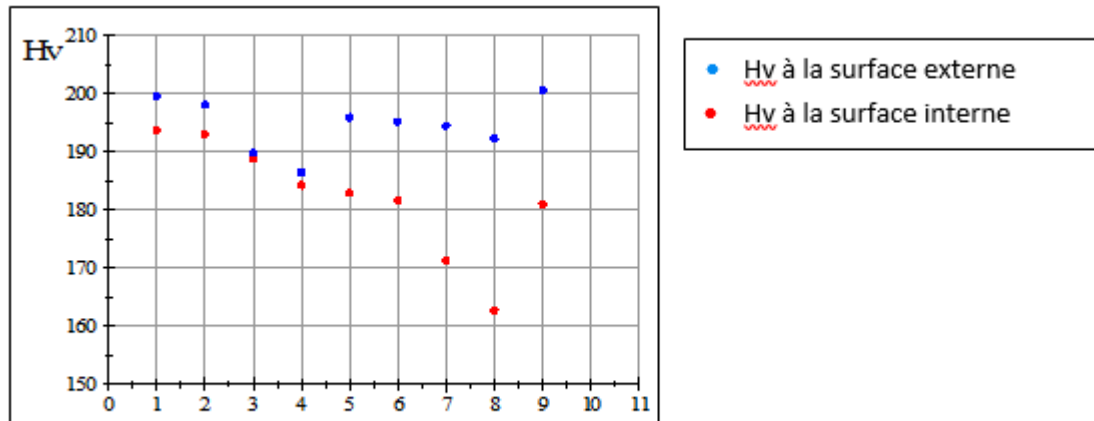


Figure III.13 Comparaison de la dureté externe et interne.

### III.4 Interprétation

Les défauts de surface s'accroissent autour des empreintes laissés par le cœur de la pièce lors de la mise en forme, un état de compression s'installe sur les couches extérieures du aux gradient de température entre le milieu et l'extérieur de la pièce qui est en contact direct avec l'air refroidissant on constate des valeurs de dureté un peu plus supérieures à celles relevées à l'intérieur de la même pièce

Les contraintes agissant comme facteurs source de l'initiation et de propagation des fissures  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  appelés contraintes principales, ou valeurs propres  $\lambda$  déterminés par l'équation :

$$\det(A - \lambda I) = 0$$

A : tenseur des contraintes

I : matrice identité.

$$D'où : (\lambda - \sigma_1)(\lambda - \sigma_2)(\lambda - \sigma_3) = 0$$

Par convention  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ .

Si la contrainte principale minimale est négative elle correspond à un état de compression.

Ces défauts de surfaces constituent une source d'initiation de microfissures qui peuvent se propager selon la zone qui l'entoure, les valeurs relevées de la dureté sup montrent une

résistance aux différentes agressions extérieures cela nous permet d'avancer que les couches des zones qui entourent.

Ces défauts tendent à refermer toute microfissure présentant une source de propagation.

D'ici on peut dire que ces zones-là d'après la théorie de la mécanique de rupture linéaire sont des zones de nature élastique c'est-à-dire la réponse aux (déplacements, déformations et contraintes) Soumis à des actions extérieures peuvent revenir à leur état initial.

Notre conclusion est basée sur le concept D'Irwin qui note que dans les matériaux ductiles, la propagation du défaut est due à une plastification développée à l'extrémité de cette fissure.

Pour le critère de Von Mises, la contrainte équivalente correspondant au domaine élastique d'un matériau est :

$$\sigma_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$

$\sigma_e$  : Contrainte équivalente

$R_e$  : Résistance élastique

et  $\sigma_e \leq R_e$  : domaine élastique

$\sigma_e > R_e$  : domaine plastique

Autrement dit d'après "Rankine" on peut dire tant que le max des contraintes principales est inférieur à  $R_e$  on est dans le domaine élastique (fissure stable).

Les couches dont on a relevé la dureté sont donc des zones élastiques.

## **Conclusion générale**

---

### **Conclusion générale**

Les essais de dureté et de rugosité sur un acier Xc42 sont des outils essentiels pour évaluer la qualité et les performances de ce matériau en industrie. La dureté et la rugosité de la surface sont des paramètres clés qui influent sur la résistance, la durabilité et l'esthétique des composants en acier Xc42.

Comprendre et interpréter correctement les résultats de ces essais permettent d'optimiser la conception des pièces, de contrôler la qualité des produits et d'améliorer les processus de fabrication.

Ces données sont cruciales pour garantir des performances optimales, une durabilité accrue et la satisfaction des clients. En mettant en avant l'importance de ces essais, ce mémoire souligne leur rôle primordial dans l'industrie et propose des recommandations pour maximiser les avantages tirés de l'utilisation de l'acier Xc42.

# Références

---

## Références

- [1] Michel Bramat, Martin Villeneuve, Technologie des métaux, contrôles et essais des soudures, De Boeck, Canada juillet 2007.
- [2] G. Murry, «Aciers. Généralités», Techniques de l'ingénieur. Matériaux métallique, n° M300, p. M300-1, 1993.
- [3] B. Zouidja, Caractérisation mécanique et microstructurale d'un cordon soude pour un acier X60 destiné à l'installation des hydrocarbures, Université Amar Thelidji-Laghouat, 2012.
- [4] G. Murry, «Aide-mémoire Métallurgie 2e édition Métaux . Alliages . Propriétés, Dunod», Paris, 2004, 2010
- [5] <https://www.abtersteel.com/fr/1/differences-between-the-characteristics-of-different-grades-of-alloy-steel-pipes-and-application-cases/>.
- [6] <https://fr.scribd.com/document/243951940/Acier-annexes1-pdf>
- [7] H. GAYE et P.-V. RIBOUD; «Modèle d'optimisation physico-chimique et économique de l'enfournement en aciérie»; Rev. De Métal. p. 131-136, CIT février 1982.
- [8] <http://docs-avms.com/FICHES/20%20-%20Acier.pdf>
- [9] A. BOUBAKER, « Effet de traitement de recuit sur les caractéristiques structurelles et mécaniques d'un acier faiblement allié de type BS2 soudé : Cas de bouteille à gaz (BAG Batna) », mémoire de master, université Mohamed Khider de Biskra, 2019.
- [10] Y. BOUGUERRA, S. BOURAHLA, «Thème analyse structurale de l'acier XC42 du point de vue fissuration à froid en soudage», mémoire de master, université Mouloud Mammeri e Tizi-Ouzou, 2017.
- [11] A. P. G. Doubenski, "Résistance des matériaux," université d'Annaba, (1977).
- [12] Dominique François, « Essais mécaniques sur les métaux et alliages [archive] », sur [techniques-ingenieur.fr](http://techniques-ingenieur.fr).
- [13] Taotsung shun, C.M. Wan and J.G. Byrne : A study of work hardening in austenitic Fe-Mn-C and Fe-Mn-C-Al alloys. Acta Materialia : 12, 3407-3412, 1992
- [14] M. Wiest, E. Kassa, W. Davas, J.C.O Nielsen and H. Ossberger : assessment of methods for calculating contact pressure in wheel-rail/switch contact. wear
- [15] [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=%C3%89tat\\_de\\_surface&oldid=143285569](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=%C3%89tat_de_surface&oldid=143285569)
- [16] conception et dessin (memontech) 7e édition rue MICHAEL FARADAY, 78184 Saint-Quentin en Yvelines
- [17] <https://www.qnde.ca/fr/produit/tr-plus-fr>
- [18] A. Chaiba, Commande de la Machine Asynchrone à Double Alimentation par des Techniques de L'intelligence Artificielle, Thèse de Doctorat, Université de Batna, 2010.

## Références

---

- [19] C. Barlier, L. Girardin, Memotech Productique : Matériaux et usinage, ISBN13 : 978-2713507564, Casteilla, 2ème édition, 1986.
- [20] D. François, "Essais mécaniques des métaux, Essais de dureté," Techniques de l'Ingénieur M 123, (1995).
- [21] L. é. d. C. G. Mécanique, guide de travaux pratiques, ed Royaume du Maroc, (2002)
- [22] S. Antoine F, Essai de fluage, Technique de l'ingénieur M140, Vol.M1II, (1995).
- [23] A. D. A. Castell, "Technologie, Professionnelle générale, 3ème livre," (1978).
- [24] A. P. G. Doubenski, "Resistance des matériaux," université d'Annaba, (1977).
- [25] Jean BARRALIS et Gérard MEADER: Précis métallurgique, AFNOR NATHAN, Paris 2000.
- [26] Tabor, "The Hardness of Metals," Clarendon Press Oxford, 1951.
- [27] P. Kempe, "Nano indentation et micro rayage en environnement contrôlé Colloque, SF2M Section-Ouest," Surfaces et Interfaces, indentation, rayage et abrasion, Angers, 16 et 17 mars 2005.
- [28] P.L. Larsson, A.E. Giannakopoulos, E. Söderlund, D.J. Rowcliffe., R. Vestergaard, "Analysis of Berkovich Indentation," Int. Jour. Solids Structures, Vol. 33, N°2, pp. 221- 248, 1996.
- [29] JR. Tuck, AM. Korsunsky, SJ. Bull, R. Davidson, "On the application of the work-of-indentation approach to depth-sensing indentation," Surface and coating technology, Vol.137, N°2, pp.217-224, 2001.
- [30] [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=%C3%89tat\\_de\\_surface&oldid=143285569](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=%C3%89tat_de_surface&oldid=143285569)
- [31] M. A. Yellas, Etude du Comportement à l'Usure des Matériaux de Coupe Moderne en Tournage Dur, Thés de Doctorat d'état, Université de Annaba, 2005.
- [32] C. Barlier, L. Girardin, Memotech Productique : Matériaux et usinage, ISBN- 13 : 978-2713507564, Casteilla, 2ème édition, 1986.
- [33] conception et dessin (memotech) 7e édition rue MICHAEL FARADAY, 78184 Saint-Quentin en Yvelines
- [34] génie mécanique (memotech) troisième édition casteilla-25 rue -75005 paris de CLAUDE BARLIE ET BENOIT POULET
- [35] F. Lakhdari, Etude de l'Endommagement des Surfaces Optiques par des Particules Abrasives, Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas, Sétif, 2010.
- [36] <http://mip2.insa-lyon.fr/>
- [37] <http://3dcolors.fr/machine-mesure-tridimensionnelle-2/>

## Résumé :

Le mémoire aborde l'importance des essais de dureté et de rugosité sur un acier Xc42, en mettant en avant leur rôle crucial dans l'évaluation de la qualité et des performances de ce matériau. Ces essais permettent d'optimiser la conception des pièces, de contrôler la qualité des composants fabriqués et d'améliorer les processus de production. En comprenant et interprétant correctement les résultats de ces essais, il est possible d'assurer des performances optimales, une durabilité accrue et la satisfaction des clients. En fin de compte, ce mémoire souligne l'importance de ces méthodes d'essai dans l'industrie et offre des recommandations pour maximiser les avantages de l'utilisation de l'acier Xc42

## Abstract

The research addresses the importance of hardness and roughness tests on Xc42 steel, highlighting their critical role in evaluating the quality and performance of this material. These tests serve as a means to optimize part design, control the quality of manufactured products, and improve production processes. By understanding and correctly interpreting the results of these tests, it is possible to ensure optimal performance, increased durability, and customer satisfaction. Ultimately, this research underscores the importance of these testing methods in the industry and provides recommendations to maximize the benefits of using Xc42 steel.

## ملخص :

يتناول البحث أهمية اختبارات الصلادة والخشونة على الفولاذ مبرزا دورها الحاسم في تقييم جودة وأداء هذا المادة. تمثل هذه الاختبارات وسيلة لتحسين تصميم القطع، ومراقبة جودة المنتجات المصنعة، وتحسين عمليات الإنتاج. من خلال فهم وتفسير نتائج هذه الاختبارات بشكل صحيح، يمكن ضمان أداء مثالي، ورفع مستوى التحمل، وتحقيق رضا العملاء. في النهاية، يسلط هذا البحث الضوء على أهمية هذه الطرق الاختبارية في الصناعة ويقدم توصيات لتحقيق أقصى استفادة من استخدام الفولاذ XC42