III.1.CHOIX DE L'ACIER

Le but de notre mémoire était d'étudier l'effet de la rugosité sur la fatigue oligocyclique d'un acier faiblement allié de nuance 42CrMo4, mais pour des raisons de difficulté d'usinage de ce type d'acier commercialisé sous forme prétraité, on n'a pas pu arriver à l'usiner sous la forme d'éprouvettes désirées à ce type de sollicitations, on était donc dans l'obligation de changer le type d'acier. Ce qui nous a mené à choisir l'acier C45 (XC48). Ce type d'acier est commercialisé sous forme de barreaux cylindriques de 20 mm de diamètre sur 5 m de longueur. Il est généralement employé en construction mécanique, on l'utilise dans la fabrication de plusieurs pièces et dispositifs mécaniques (vilebrequins, bielles, arbre à cames, pignons,...). Dans l'état normalisé, l'acier C45 possède une grande résistance comparé aux aciers à faible teneur en carbone mais il est moins ductile.
Les essais de fatigue ont été effectués sur des éprouvettes cylindriques normalisées de 8 mm de diamètre sur 185.7mm de longueur (figure 3.3). Les essais ont été réalisés en flexion rotative à la température ambiante en utilisant une machine d'essai de fatigue modèle GUNT WP140 avec une vitesse de rotation 2750 tr/min.

III.1.1. Composition chimique de l'acier

La détermination de la composition chimique de l'acier choisi a été effectuée dans le laboratoire de mesure de MEI –Sonelgaz au moyen d'un spectromètre de type : SPECTRO de marque thermo- scientifique.

Tableau 3.1 : composition chimique de l'acier C45 (XC48)

Fe	Mn	Sn	Su	Ti	Cr	Mo	Ni	C
98.210	0.795	0.009	0.175	0.046	0.164	0.043	0.115	0.47

III.2 Caractéristiques mécaniques

Pour satisfaire l'étude du phénomène de fatigue sur l'acier retenu, quelques données de traction étaient nécessaires.

III.2.1 Les essais de traction

Il est important de savoir qu'il y a une relation entre la résistance à la traction et la résistance à la fatigue, de ce fait nous étions dans l'obligation de rapporter les résultats des essais de traction de cet acier effectues l'année dernière dans le laboratoire de génie mécanique de l'université de Msila [13]. Les essais ont été effectués sur une machine d'essai de matériaux, modèle WP 310 qui fonctionne selon les conditions suivantes :

III.2.1.1 Conditions de la machine :

Dimensions

L×I×h :	1000 × 750 × 1740 mm
Espace de montage	925 × 300 mm
Poids	280 kg
Alimentation électrique	230 VAC / 50 Hz

Génération de la force d'essai : hydraulique

Force d'essai max :	± 50 kN
Course max du piston :	150 mm
Surface du piston :	3436 mm²
Pression max du système :	175 bars
Vitesse de déplacement, réglable :	0 – 425 mm/min
Force d'essai, réglable :	0 – 50 kN
Puissance motrice :	0,55 kW
Quantité de remplissage :	6 litres
Type d'huile classe de viscosité :	ISO 32

Transducteur de force

Principe de mesure :	Jauges de contrainte en pont intégral
Plage de mesure :	50 kN
Surcharge max :	150 %

Capteur de déplacement

Principe de mesure :	Potentiomètrelinéaire
Plage de mesure :	0 – 150 mm

Affichage numérique pour la force et le déplacement

Affichage :	LED, 6 positions, 14,2 mm
Fréquence de répétition des mesures :	2,5 1/s
Résolution :	40000 pas
Fonctionsspéciales :	Tare, alarme, mémoire de valeur maximale
Interface :	Série, RS232
Vitesse de transmission :	1200 bauds
Protocole :	Impair, 7 bits de données, 1 bit d'arrêt
Fiche, face arrière :	SUB-D 25

Logement pour têtes de serrage et accessoires

Cylindrique :	Ø 30 × 40 mm
Boulon de liaison :	Ø 12 mm

Têtes de serrage à coins

Capacité de serrage pour éprouvettes rondes	Diamètre 5 – 15 mm
Capacité de serrage pour éprouvettes plates	Epaisseur 0 – 10 mm
Force d'essai max :	50 kN

Plateaux de compression

Diamètre :	70 mm

Dispositif de contrôle de la dureté

Principe :	Brinell
Diamètre des billes :	10 mm
Force d'essai :	9,810 kN

Dispositif de cisaillement

Principe :	à cisaillement double
Diamètre des échantillons :	6 mm

Dispositif de flexion

Distance des appuis réglable :	50 – 350 mm
Panne de flexion, rayon :	10 mm
appui de flexion, rayon :	10 mm
Force d'essai max :	50 kN

III.2.2 Conditions relatives à la température

Etendue admise pour la :

- Température ambiante : +18° à 28°c suivant DIN 50 014.
- Humidité de l'air : < 90 %.

III.2.3 Conditions relatives à l'environnement :

Le lieu d'installation est peu poussiéreux et à l'abri de toute humidité (eau, huile), il faut éviter les chocs et les vibrations

III.2.4 Les éprouvettes

Les éprouvettes sont normalisées et dont les dimensions représentées dans la mise en plan (figure 3.2)

III.3 Machine d'essai de fatigue

On distingue plusieurs machines d'essai de fatigue ; selon le mode de sollicitation (flexion plane, flexion rotative, torsion, traction compression, etc.), et selon les facteurs d'influence (température, fatigue sous corrosion, etc.).

Le laboratoire de la résistance des matériaux (RDM) du département de génie mécanique de l'université de M'sila est doté d'une machine d'essai de fatigue en flexion rotative modèle : GUNT, de type : WP 140, qui a les caractéristiques suivantes :

- courant alternatif : 220 V
- fréquence : 50 Hz
- charge maximale : 500 N
- échelle de graduation : 5 N
- environnement : air ambiant
- température : ambiante

III.3.1 Description de la machine

La machine d'essai de fatigue en flexion rotative WP 140 est présentée sur la figure 3.1

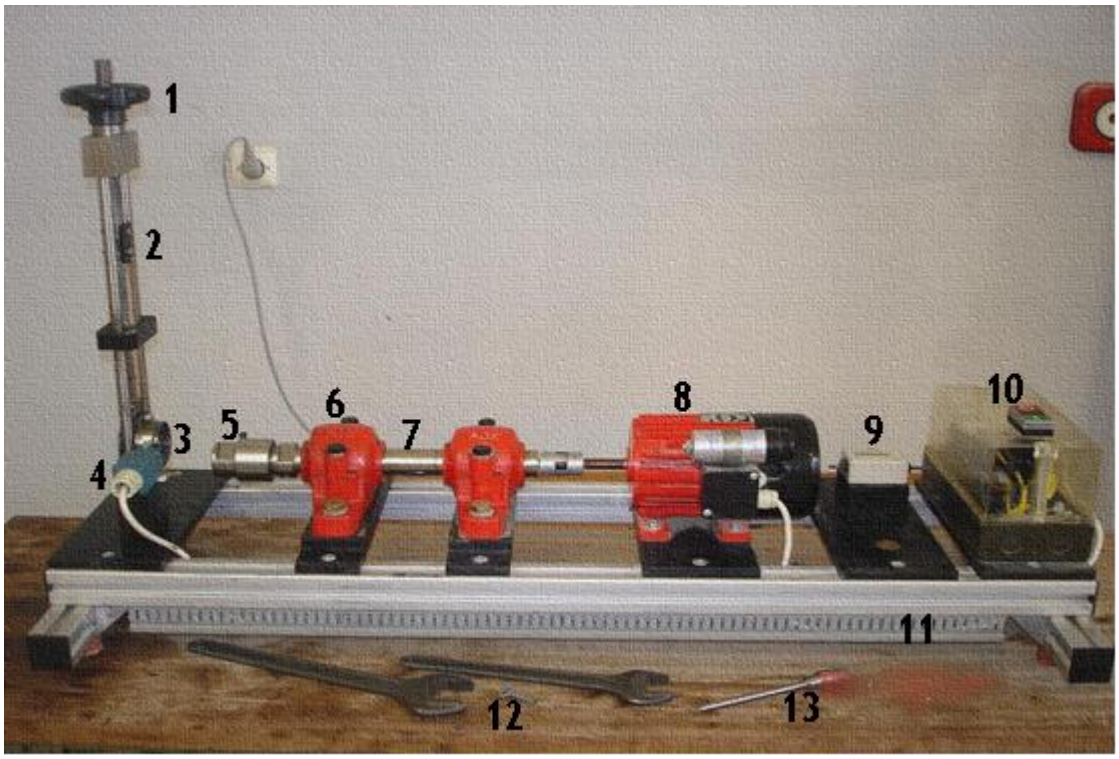


Figure 3.1 La machine d'essai de fatigue GUNT WP 140

1 Volant

2 Chariot transversal gradué

3 Roulement

4 Fin de course

5 Mandrin

6 Palier lisse

7 Arbre de transmission

8 Moteur électrique

9 Compteur

10 Tableau de commande 11 Châssis

12 Clés

13 éprouvettes

III.3.2 Instructions

A. Connecter la machine d'essai de fatigue à l'alimentation électrique.

B.Tourner le volant dans le chariot transversal jusqu'au numéro "0" apparaît dans l'échelle des charges.

C.Soit sûre que l'axe du roulement et celui de l'arbre de transmission sont en alignement.

D. Insérer l'éprouvette désirée.

- Premièrement, desserrer le mandrin de l'arbre de transmission.
- Puis, faire introduire la partie cylindrique de l'éprouvette à travers le trou du mandrin.
- Après, insérer l'extrémité cylindrique de l'éprouvette dans la bague intérieure du roulement, et en fin, insérer l'extrémité conique de l'éprouvette dans le cône dans l'arbre de transmission on serrant bien le mandrin.

E. Utiliser la clé pour retourner le compteur à "0" (le "0" de la dernière colonne du compteur peut retourner on tournant l'arbre de transmission à la main).

F. Charger l'extrémité libre de l'éprouvette (sur le roulement) par la charge désirée on tournant le volant.

G. Allumer la machine.

H. A la rupture, la fin de course arrête automatiquement la machine, changer l'éprouvette rompue et recommencer les essais.

III.3.3 Eprouvette d'essai

Le choix de l'éprouvette d'essai dépend de l'essai que l'on veut effectuer et de la machine dont on dispose.

III.3.4 Forme

On distingue les éprouvettes parallélépipédiques d'épaisseur constante et à section soit constante, soit variable, des éprouvettes axisymétriques à section circulaire, soit cylindriques à section constante, soit toroïdales à section variable.

Dans tous les cas, on distingue les éprouvettes lisses.

III.3.5 Dimensions

Elles dépendent de la capacité de la machine (charge d'essai maximale : 25% de la capacité de la machine) et de ces caractéristiques (fréquence propre de l'éprouvette supérieure à deux fois la fréquence d'essai).

Le tableau 3.1 représente les types d'éprouvettes qui appartiennent à la machine d'essai de fatigue WP 140.

Tableau 3.2 Caractéristiques des éprouvettes de la machine WP 140

Eprouvette n°	Rayon R (mm)	Rugosité de la surface Rt(µm)
1	0.5	3
3	2	4
4	2	25

Dans ce travail nous avons choisi l'éprouvette 1 qui a les dimensions données sur le mise en plan figure3.3

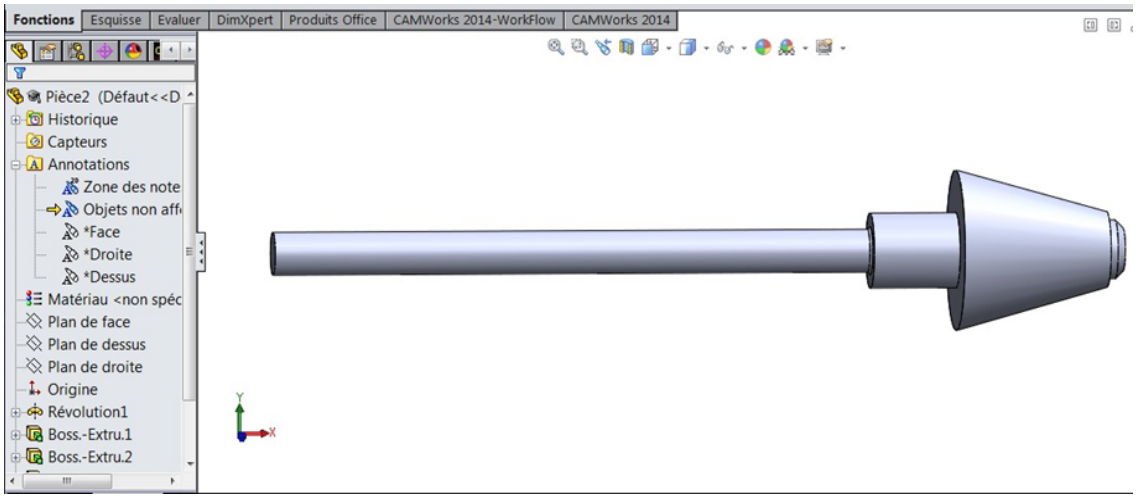


Figure 3.2 Eprouvette d'essai de fatigue réalisée sur Solidworks

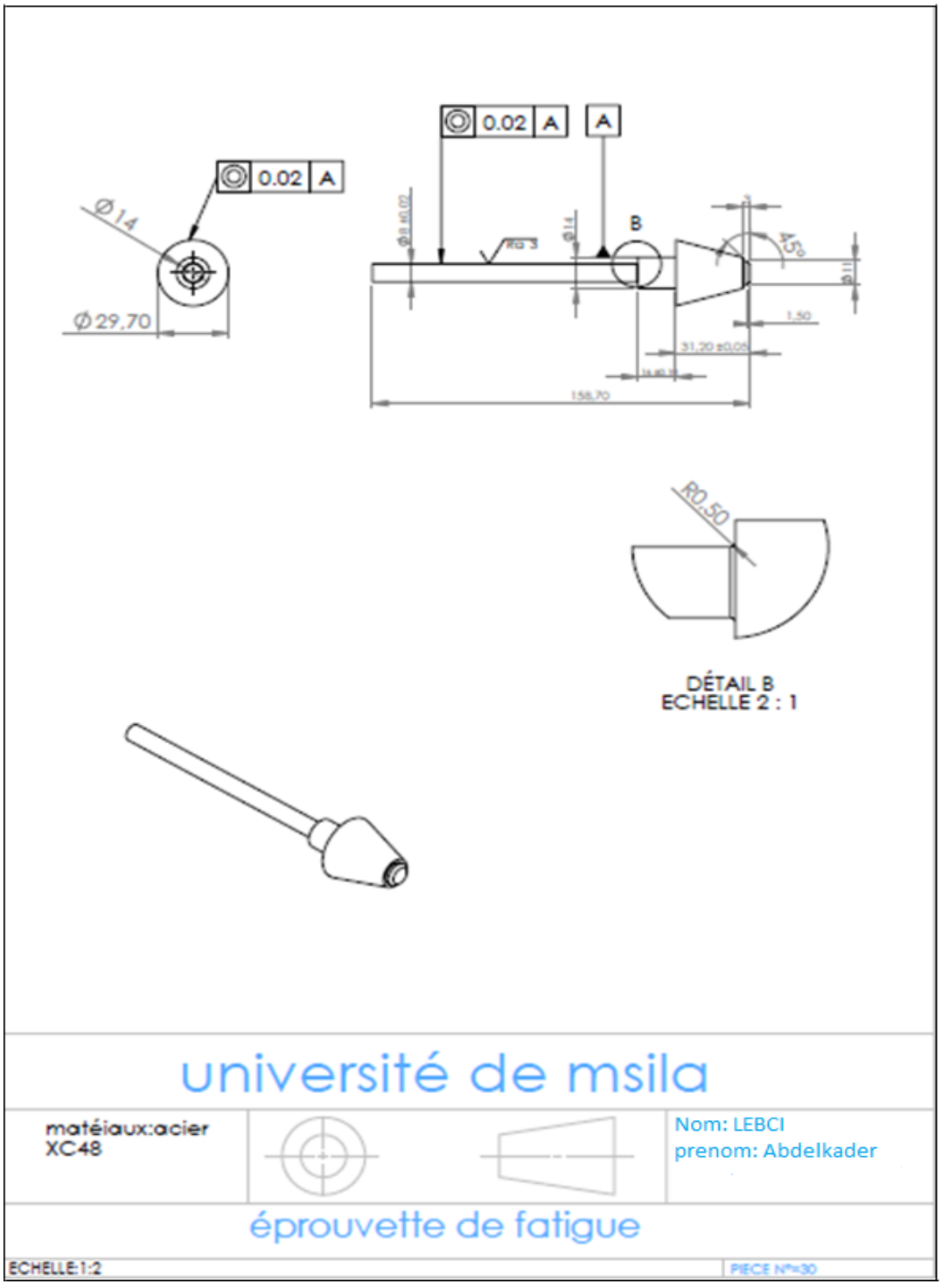


Figure 3.3 mise en plan d'éprouvette d'essai fatigue.

III.4. L'état de surface

III.4.1. Généralités

Par définition, la surface d'un corps est le lieu des points séparant ce corps du milieu environnant. Elle correspond donc à une discontinuité dans l'aménagement périodique des atomes de celui-ci.

La notion d'état de surface comprend :

- L'état physico-chimique (nature, structure, texture des couches superficielles)

- L'état géométrique (ensemble des écarts géométriques de la surface réelle par rapport à la surface géométrique idéale).

En réalité, le terme surface représente une couche d'épaisseur comprise entre 10^{-2} et 10^{-6} mm. La composition chimique et les propriétés mécaniques de cette zone peuvent être très différentes de celles du cœur du matériau. La surface peut être recouverte de films contaminant (gaz absorbés, produits organiques), d'oxydes et dans le cas de métaux, peut être écrouie. La présence de ces écrans va modifier le comportement tribologiques des corps en contact (Fig.3.4).

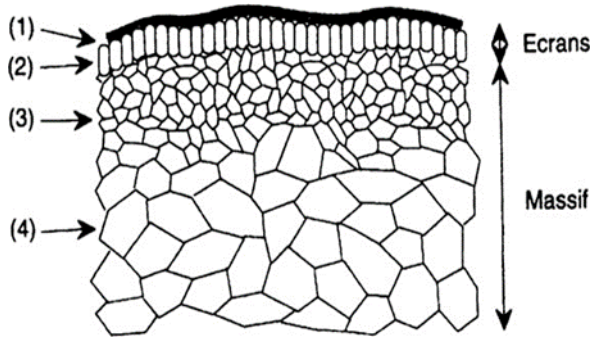


Figure 3.4 Représentation schématique en coupe d'une surface [14].

La surface est donc l'endroit le plus perturbé d'une pièce. La zone (1) est un film (0,3 à 3 nm) constitués de couches absorbées. La zone (2) est un film d'oxydes (1 à 10 µm). La zone (3) est une zone mécaniquement perturbée (1 à 50 µm) de structure écrouie ou structure de couche de diffusion. La zone (4) partant de 100 µm est le matériau massif.

III.4.3.Rugosité

La rugosité est la représentation des motifs géométriques élémentaires à caractère répétitif, ces motifs correspondent, par exemple, aux traces d'outil générées par l'usinage, aux impacts des projectiles sur une surface grenaillée... etc. La rugosité représente donc un bon paramètre de la qualité de surface. Une surface rugueuse peut être considérée comme un phénomène aléatoire. L'approche statistique est dès lors souvent utilisée pour étudier et modéliser la rugosité. Dans la littérature, on trouve, d'une part les paramètres basés sur la détermination de valeurs moyennes mesurées sur le profil (parexemple, la hauteur moyenne des pics) et, d'autre part les paramètres caractérisant la distribution statistique des hauteurs de pics [14].

III.4.4. Paramètres de rugosité

Les paramètres de rugosité peuvent utiliser différentes notations, en fonction des normes de référence. Il est important de choisir les conditions de mesure du profil (localisation, orientation du plan de mesure... etc.), pour avoir accès aux valeurs représentatives des écarts géométriques qui doivent titre identifies, ce qui conduit souvent dans la pratique à réaliser plusieurs mesures. Parmi les différents paramètres de la rugosité ou de l'état de surface, dans le domaine d'usinage, on utilise surtout les paramètres Rz et Ra ; on choisit généralement Ra parce qu'il est le plus précis ce qui fait sa préférence dans les travaux de laboratoire, Ce critère Ra représente la moyenne arithmétique de toutes les distances absolues du profil de rugosité R mesurée à partir de la ligne médiane du profil sur la longueur d'évaluation lm (fig.3.5) [15].

$$Ra = \frac{1}{L}\int_0^l yi\, dx = \frac{1}{n}\sum_{i=c}^{n} yi$$

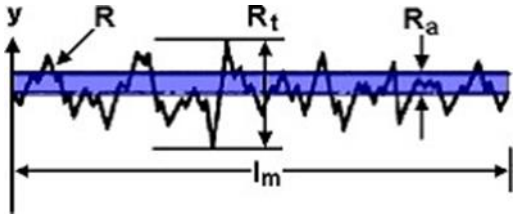


Figure 3.5. Rugosité moyenne arithmétique (Ra).

La rugosité totale moyenne Rz représente la moyenne des profondeurs de rugosité de 5 zones d'évaluations successives lm (fig. 3.6).

$$Rz = \frac{1}{5}\sum_{1}^{5} Rzi$$

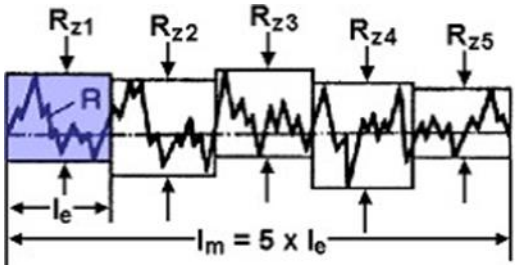


Figure 3.6. Rugosité totale moyenne.

La Rugosité totale (maximale) Rt représente l'écart vertical entre le point le plus haut et le point le plus bas du profil de rugosité R, sur la longueur totale d'évaluation lm. (Fig.3.7).

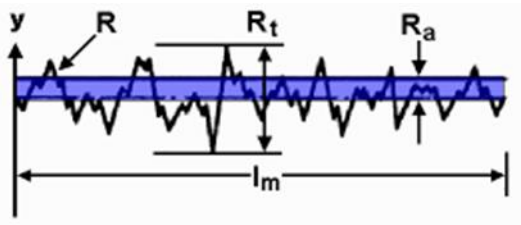


Figure 3.7 Rugosité totale maximale.

$$Rq = \left[\frac{1}{l}\int_0^1 y^2\, dx\right]^{0,5}$$

La rugosité contribue à la concentration des contraintes et à la formation des criques de fatigue, surtout dans le cas des charges alternatives, alors que la décarbonisation et autres défauts de la couche superficielle réduisent la limite de fatigue du métal.

III.5 USINAGES DES EPROUVETTES ;

Lorsqu'il s'agit de déterminer les caractéristiques fondamentales d'un métal en fatigue, il est nécessaire de réduire le plus possible l'influence de l'état de surface de l'éprouvette sur le processus de fatigue oligocyclique qui conduira à la rupture.

Pour cette raison, l'état de surface des éprouvettes a été réalisé par polissage manuelle en utilisant du papier abrasif à différents grains [P180, P320, P400 et P600] dans le but de varier la rugosité de la surface des échantillons.

Un contrôle de la rugosité superficielle après usinage est conseillé. Dans le cas de lots à grand nombre d'éprouvettes, le prélèvement des éprouvettes à contrôler devra être effectué de Manière statistique de façon à avoir une valeur moyenne de rugosité représentative du lot et une indication de la dispersion des mesures. (Figure 3.8).



Figure 3.8 Rugosimètre

Les éprouvettes ont été usinées dans les ateliers de fabrication mécanique en utilisant un tour universelle mode SN40C-50C. (Figure 3.9)



Figure 3.9 Tour universel mode SN40C-50C

III.5.1.Contrainte maximale de flexion

La contrainte maximale de flexion σ sur la fibre externe se calcule par la formule de Navier [16]

$\sigma = \frac{Mf}{Mi}$

avec : Mf : moment fléchissant par rapport à la section considérée.

Mf = FL

F : charge appliquée.

L : longueur du bras de levier

et Mi = $\frac{i}{v}$

I : moment d'inertie de la section par rapport à l'axe neutre, $I = \pi D4\backslash 64$

V: distance de la fibre externe à la fibre neutre. $V = D\backslash 2$

La figure 3.13 montre le point d'application de la charge F sur l'éprouvette 1

Analyse statique d'éprouvette de fatigue sur solidworks.



Figure 3.10. Point d'application de la charge F

$\sigma = \frac{Mf}{Mi}$

Mf = F.L

Mi = $\frac{\pi.d^3}{32}$

$\sigma = \frac{32.F.L}{\pi.d^3}$

$\sigma = \frac{32.F.102.7}{3,14.8^3}$

σ = 2.F(Mpa)

III.6. Résultats expérimentaux

III.6.1. L'état de surface (rugosité) :

Les paramètres de la rugosité (Ra, Rz, Rmax) ont été déterminés après polissage, en utilisant des papiers abrasifs à différents grains (180, 320, 400 et 600).

Quel que soit le degré de polissage utilisé on choisit la rugosité moyenne Ra parce qu'elle est plus précise, de ce fait on la préfère dans les travaux de laboratoire.

III.6.1.1 Lot no : 01

Ce lot est constitué des éprouvettes à l'état brut, les données ont été effectuées par la méthode de reclassement. Pour la mesure de la rugosité on utilise 4 niveaux différents.

Méthode de reclassement des données :

- Matériau : Acier C45(**XC48)**
- Machine d'essai :**Rugosimétre**
- Eprouvette : **1**
- Essai à la température ambiante

Tableau 3.3 : résultats d'essai de rugosité- l'état brut.

Eprouvette	Ra	Rz	Rmax
01	0.5	6.9	12.4
02	1.1	10.2	17.2
03	1.5	13.9	18.3
04	0.6	5.8	10.9

Le tableau suivant montre la moyenne de Ra du premier lot.

Tableau 3.4 : résultats de la moyenne du Ra

Eprouvette	Ra	moyenne
01	0.5	**0.925**
02	1.1	
03	1.5	
04	0.6	

III.6.1.2 Lot no : 02

Ce lot est effectué par la méthode de reclassement des données, les éprouvettes à essayer ont été subir a une opération de polissage avec le papier abrasif **P180**, Les éprouvettes sur ont été utilisées sur différents niveaux.

Méthode de reclassement des données

- Matériau : **Acier C45 (XC48)**
- Machine d'essai : **Rugosimétre**
- Eprouvette : **1**
- Mode de sollicitation : **polissage avec papier abrasif P180**
- Essai à la température ambiante

Tableau 3.5 résultats d'essai de rugosité- polissage P180

Eprouvette	Ra	Rz	Rmax
01	0.2	2.6	3.5
02	0.3	4.0	7.5
03	0.3	3.5	5.6
04	0.4	4.1	5.8

Tableau 3.6 résultats de la moyenne du Ra

Eprouvette	Ra	La moyenne
01	0.2	**0.3**
02	0.3	
03	0.3	
04	0.4	

III.6.1.3 Lot no : 03

Ce lot est effectué par la méthode de reclassement des données, les éprouvettes à essayer ont été subir a une opération de polissage avec le papier abrasif **P320**, Nous avons utilisé 4 éprouvettes sur 4 niveaux différents

Méthode de reclassement des données

- Matériau **: Acier C45 (XC48)**
- Machine d'essai : **Rugosimétre**
- Eprouvette : **1**
- Mode de sollicitation : **polissage avec papier abrasif P320**
- Essai à la température ambiante

Tableau 3.7 résultats d'essai de rugosité- polissage P320

Eprouvette	Ra	Rz	Rmax
01	0.1	2.7	3.3
02	0.1	2.1	2.7
03	0.1	1.8	2.4
04	0.1	2.2	3.3

Tableau 3.8 résultats de la moyenne du Ra

Eprouvette	Ra	moyenne
01	0.1	**0.1**
02	0.1	
03	0.1	
04	0.1	

III.6.1.4 Lot no : 04

Ce lot est effectué par la méthode de reclassement des données, les éprouvettes à essayer ont été subir a une opération de polissage avec le papier abrasif **P400**, Nous avons utilisé 4 éprouvettes sur 4 niveaux différents.

Méthode de reclassement des données

- Matériau : **Acier C45 (XC48)**
- Machine d'essai : **Rugosimétre**
- Eprouvette **: 1**
- Mode de sollicitation : **polissage avec papier abrasif P400**
- Essai à la température ambiante

Tableau 3.9 résultats d'essai de rugosité- polissage P400

Eprouvette	Ra	Rz	Rmax
01	0.19	2.9	4.2
02	0.11	3.8	4.6
03	0.18	3.1	8.5
04	0.19	3.2	4.2

Tableau 3.10 résultats de la moyenne du Ra

Eprouvette	Ra	Moyenne
01	0.19	**0.1675**
02	0.11	
03	0.18	
04	0.19	

III.6.1.5 Lot no : 05

Ce lot est effectué par la méthode de reclassement des données, les éprouvettes à essayer ont été subir a une opération de polissage avec le papier abrasif **P600**, Nous avons utilisé 4 éprouvettes sur 4 niveaux différents.

Méthode de reclassement des données

- Matériau : **Acier C45 (XC48)**
- Machine d'essai : **Rugosimétre**
- Eprouvette : **1**
- Mode de sollicitation : **polissage avec papier abrasif P600**
- Essai à la température ambiante

Tableau 3.11 résultats d'essai de rugosité- polissage P600

Eprouvette	Ra	Rz	Rmax
01	0.1	1.5	3.5
02	0.05	1.1	1.3
03	0.1	1.8	3.8
04	0.05	2.0	2.9

Tableau 3.12 résultats de la moyenne du Ra

Eprouvette	Ra	Moyenne
01	0.1	**0.075**
02	0.05	
03	0.1	
04	0.05	

III.6.2 Fatigue Oligocyclique :

Pour déterminer la tenue à la fatigue de l'acier retenu, telle que la fatigue oligocyclique, cinq lots d'éprouvettes, de 20 éprouvettes au total ont été utilisés.

III.6.2.1 Lot no : 01

Les éprouvettes à l'état brut ont été testées sous différentes charges en utilisant la méthode de reclassement de données.

Méthode de reclassement des données :

- Matériau : Acier C45 (XC48)
- Machine d'essai : WP 140
- Mode de sollicitation : flexion rotative (2750 tr/mn)
- Eprouvette : 1
- Essai à la température ambiante

Tableau 3.13 résultats d'essai de fatigue à l'état brut.

Eprouvette	Charge (N)	Durée (min)	Nombre de cycle	Résultat
01	280	0.55	1512.5	X
02	250	3.50	9625	X
03	200	8.50	23375	X
04	150	13.40	36850	X

x : éprouvette rompue.

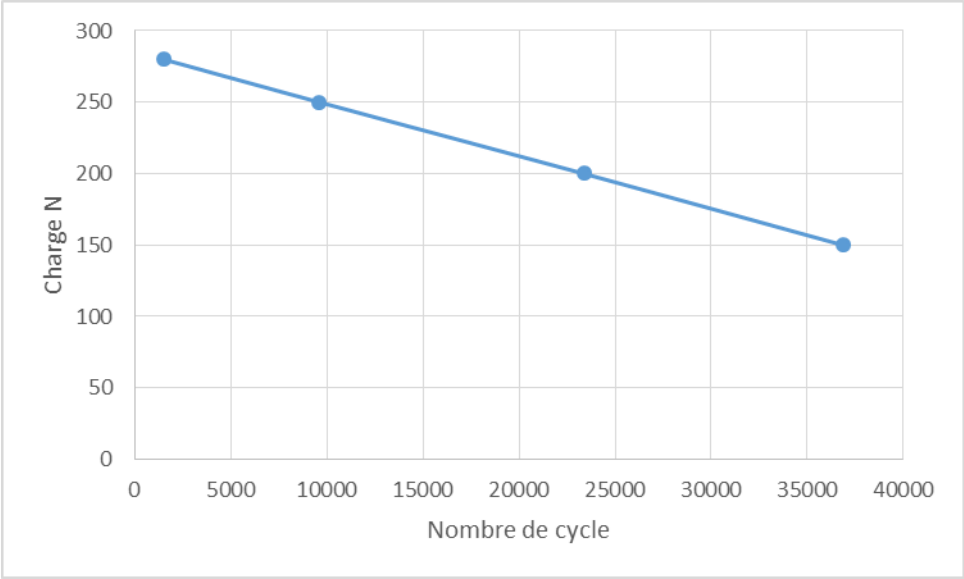


Figure 3.11. Comportement à la fatigue oligocyclique d'un acier **C45** à l'état brut

III.6.2.2 Lot no : 02

Ce lot est effectué par la méthode de reclassement des données, les éprouvettes à essayer ont été subir a une opération de polissage avec le papier abrasif **P180** et résulté une rugosité **Ra = 0.3** Nous avons utilisé 4 éprouvettes sur 4 niveaux différents de la charge.

Méthode de reclassement des données :

- Matériau : Acier C45 (XC48)
- Machine d'essai : WP 140
- Mode de sollicitation : flexion rotative (2750 tr/mn)
- Eprouvette : 1
- Essai à la température ambiante

Tableau 3.14 résultats d'essai de fatigue oligocyclique à rugosité **Ra = 0.3.**

Eprouvette	Charge (N)	Durée (min)	Nombre de cycle	Résultat
01	280	0.23	632.5	X
02	250	1.21	3327.5	X
03	200	4.35	11962.5	X
04	150	6.35	17462.5	X

x : éprouvette rompue.

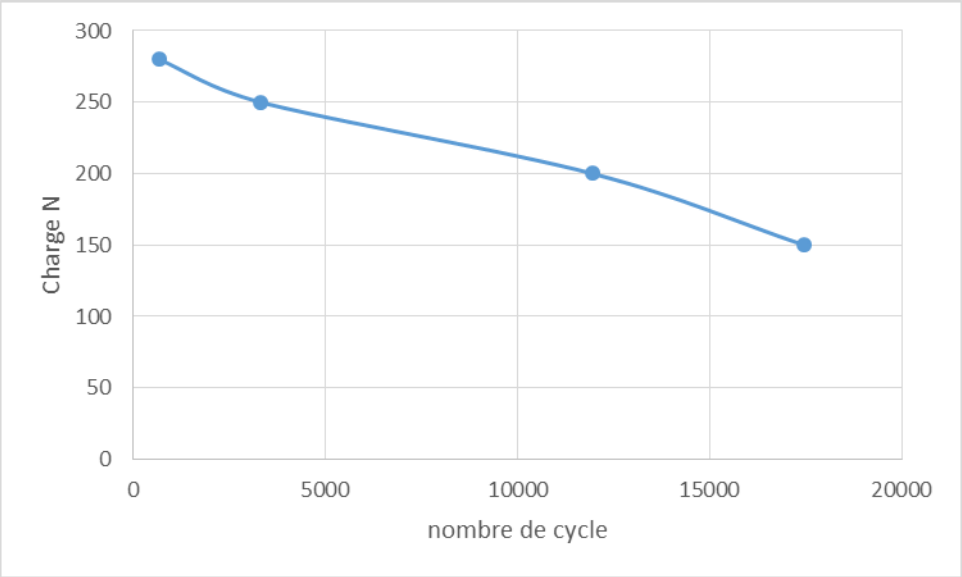


Figure 3.12. Comportement à la fatigue oligocyclique d'un acier C45 à une rugosité **Ra = 0.3**

III.6.2.3 Lot no : 03

Ce lot est effectué par la méthode de reclassement des données, les éprouvettes à essayer ont été subir a une opération de polissage avec le papier abrasif **P320** et résulte une rugosité**Ra = 0.1** Nous avons utilisé 4 éprouvettes sur 4 niveaux différents de la charge.

Méthode de reclassement des données :

- Matériau : Acier C45 (XC48)
- Machine d'essai : WP 140
- Mode de sollicitation : flexion rotative (2750 tr/mn)

- Eprouvette : 1
- Essai à la température ambiante

Tableau 3.15résultats d'essai de fatigue oligocyclique à rugosité **Ra = 0.1.**

Eprouvette	Charge (N)	Durée (min)	Nombre de cycle	résultat
01	280	0.58	1595	X
02	250	2.44	6710	X
03	200	3.48	9570	X
04	150	7.35	20212.5	X

x : éprouvette rompue.

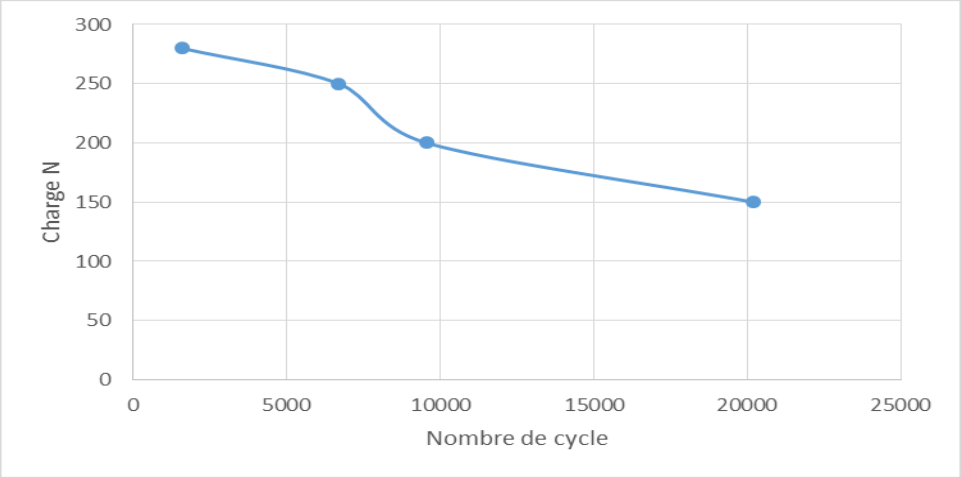


Figure 3.13. Comportement à la fatigue oligocyclique d'un acier **C45** à une rugosité **Ra = 0.1**

III.6.2.4 Lot no : 04

Ce lot est effectué par la méthode de reclassement des données, les éprouvettes à essayer ont été subir a une opération de polissage avec le papier abrasif **P400** et résulte une rugosité **Ra = 0.1675** Nous avons utilisé 4 éprouvettes sur 4 niveaux différents de la charge.

Méthode de reclassement des données :

- Matériau : Acier C45 (XC48)
- Machine d'essai : WP 140
- Mode de sollicitation : flexion rotative (2750 tr/mn)

- Eprouvette : 1
- Essai à la température ambiante

Tableau 3.16résultats d'essai de fatigue oligocyclique à rugosité Ra = 0.1675.

Eprouvette	Charge (N)	Durée (min)	Nombre de cycle	Résultat
01	280	1.47	4042.5	X
02	250	2.53	6957.5	X
03	200	11.00	30250	X
04	150	13.05	35887.5	X

x : éprouvette rompue.

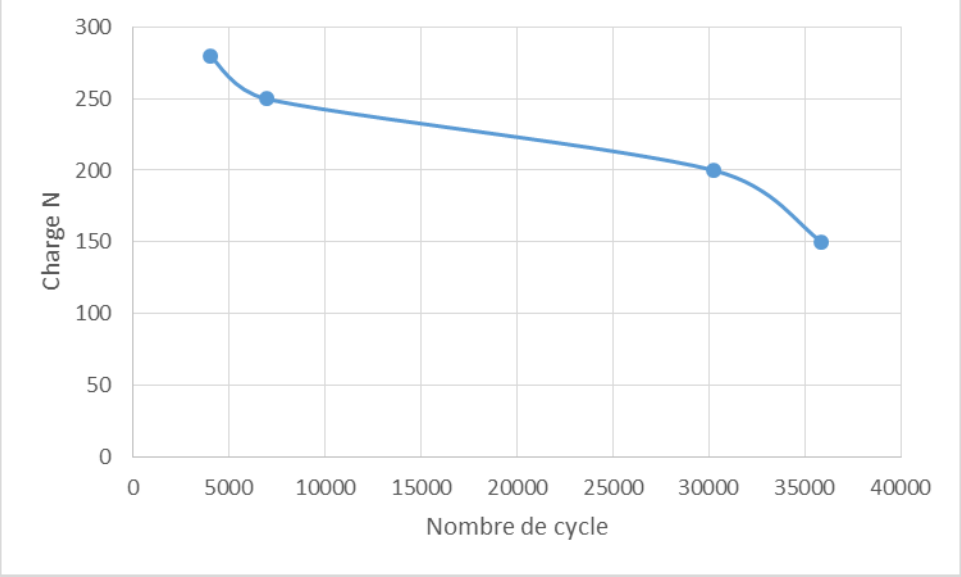


Figure 3.14. Comportement a la fatigue oligocyclique d'un acier **C45** à une rugosité **Ra = 0.1675**

III.6.2.5 Lot no : 05

Ce lot est effectué par la méthode de reclassement des données, les éprouvettes à essayer ont été subir a une opération de polissage avec le papier abrasif **P600** et résulte une

rugosité **Ra = 0.075** Nous avons utilisé 4 éprouvettes sur 4 niveaux différents de la charge.

Méthode de reclassement des données :

- Matériau : Acier C45 (XC48)
- Machine d'essai : WP 140
- Mode de sollicitation : flexion rotative (2750 tr/mn)
- Eprouvette : 1
- Essai à la température ambiante

Tableau 3.17 : résultats d'essai de fatigue oligocyclique à rugosité **Ra = 0.075**

Eprouvette	Charge (N)	Durée (min)	Nombre de cycle	Résultat
01	280	1.17	3217.5	X
02	250	4.05	11137.5	X
03	200	5.54	15235	X
04	150	17.55	48262.5	X

x : éprouvette rompue.

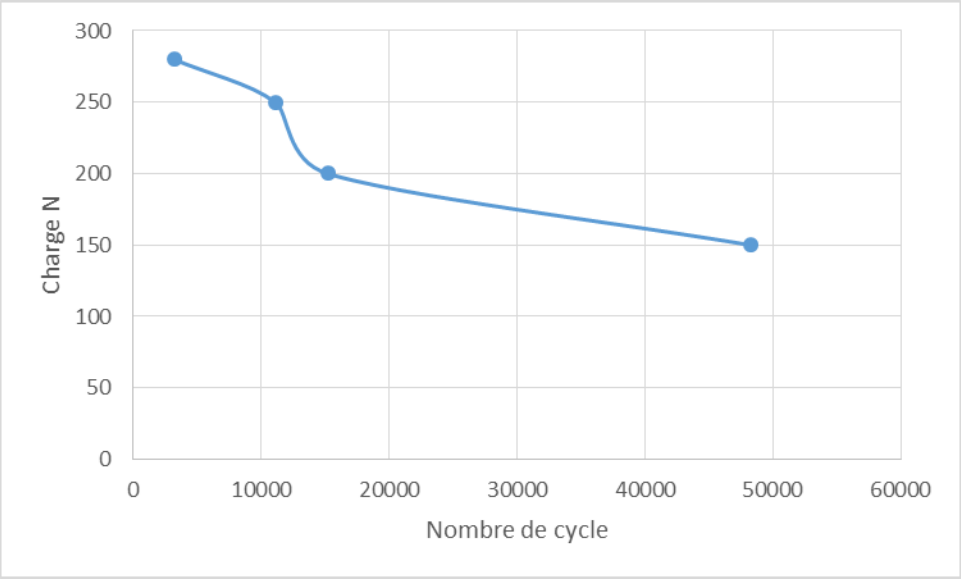


Figure 3.15. Comportement a la fatigue oligocyclique d'un acier C45 à une rugosité **Ra = 0.075**

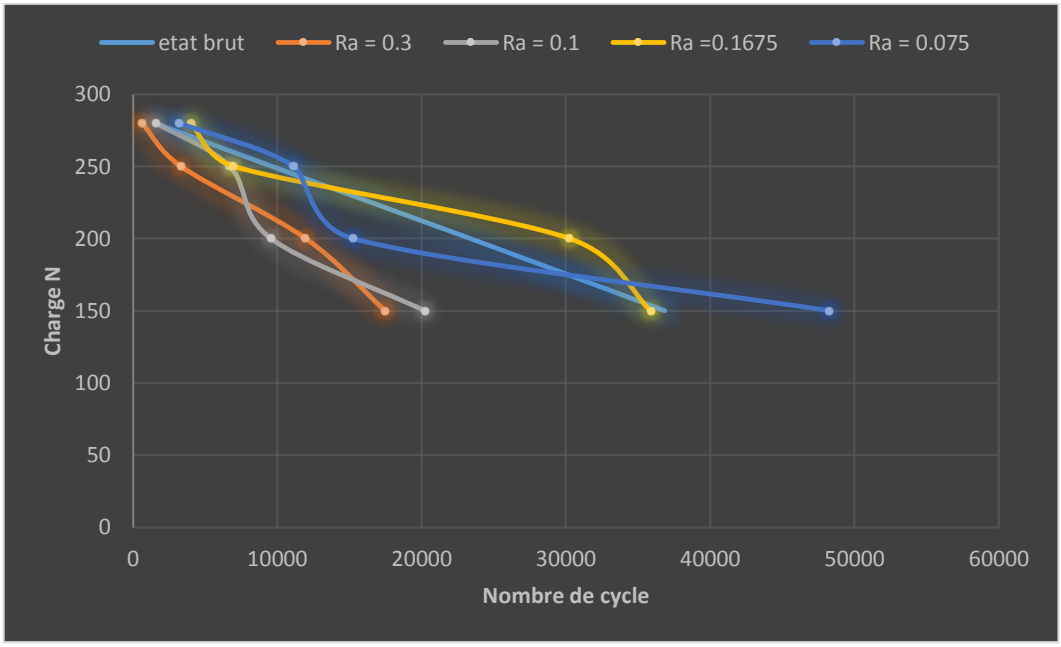


Figure 3.16. Comparaison entre les différentes rugosités.

III.6.3.Etude micrographique

Un examen microscopique (microscope optique modèle **: LeitzWETZLAR**) montre que la structure est ferrito-perlitique ; perlite lamellaire.

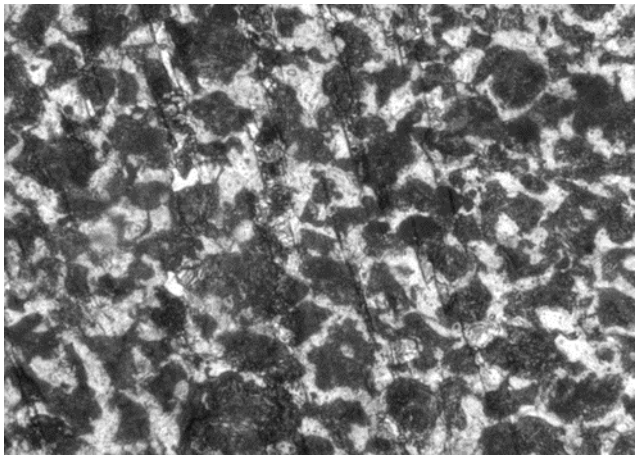


Figure 3.17 Structure métallographique de l'acier **C45** [17].

La présence d'une zone lisse périphérique et d'une zone centrale grenue est caractéristique des ruptures développées en fatigue sous sollicitation de flexion rotative.

La présence de nombreuses lignes radiales sur tout le pourtour de la cassure témoigne de la multitude d'amorçages superficiels [18].

La position centrale de la rupture finale est liée aux fortes concentrations de contraintes qui affectent la pièce au niveau du congé, mais sa faible étendue indique que la pièce est peu chargée.

L'examen de la zone d'amorçage permet enfin de constater la présence de nombreuses microfissures à la surface du congé. Ces défauts, provoqués lors de l'usinage (sans doute par le «broutage» de l'outil), sont à l'origine de la rupture qui s'est ensuite développée sous l'effet des sollicitations normale de service (figure 3.18)

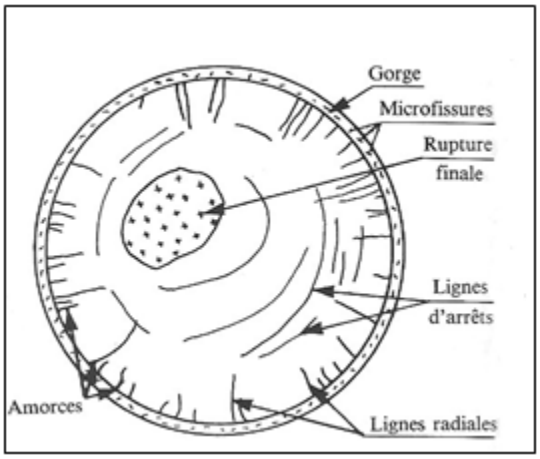


Figure 3.18 Caractéristiques des ruptures développées en fatigue sous sollicitation de flexion rotative [18].

La présence de nombreuses lignes radiales sur tout le pourtour de la cassure témoigne de la multitude d'amorçages superficiels [18].

La position centrale de la rupture finale est liée aux fortes concentrations de contraintes qui affectent la pièce au niveau du congé, mais sa faible étendue indique que la pièce est peu chargée. L'examen de la zone d'amorçage permet enfin de constater la présence de nombreuses microfissures à la surface du congé. Ces défauts, provoqués lors de l'usinage

(sans doute par le «broutage» de l'outil), sont à l'origine de la rupture qui s'est ensuite développée sous l'effet des sollicitations normale de service (figure 3.18)

Et voici quelques faciès de rupture observés lors des essais de fatigue :

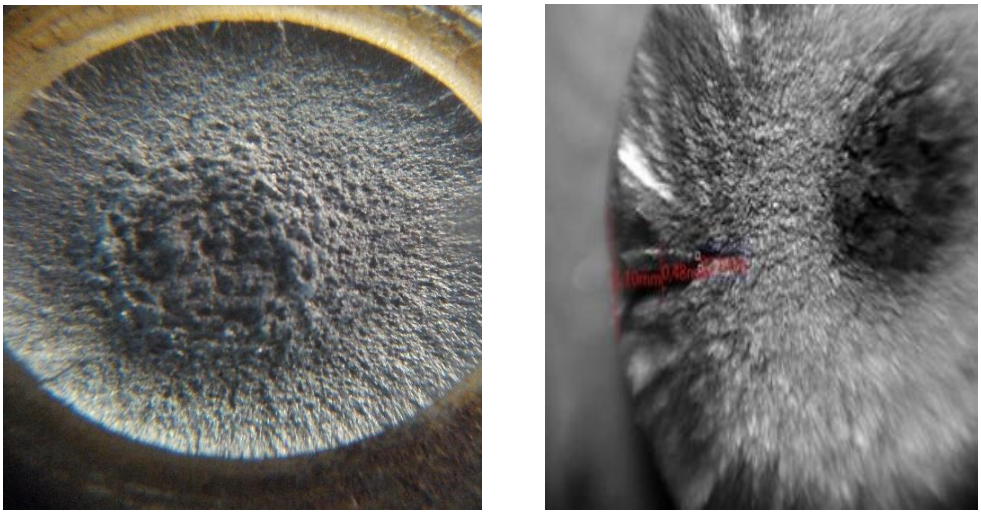


Figure 3.19 Faciès de rupture d'une éprouvette d'essai de fatigue oligocyclique sous une charge de 250N après 9625 cycles (état brut) [13].

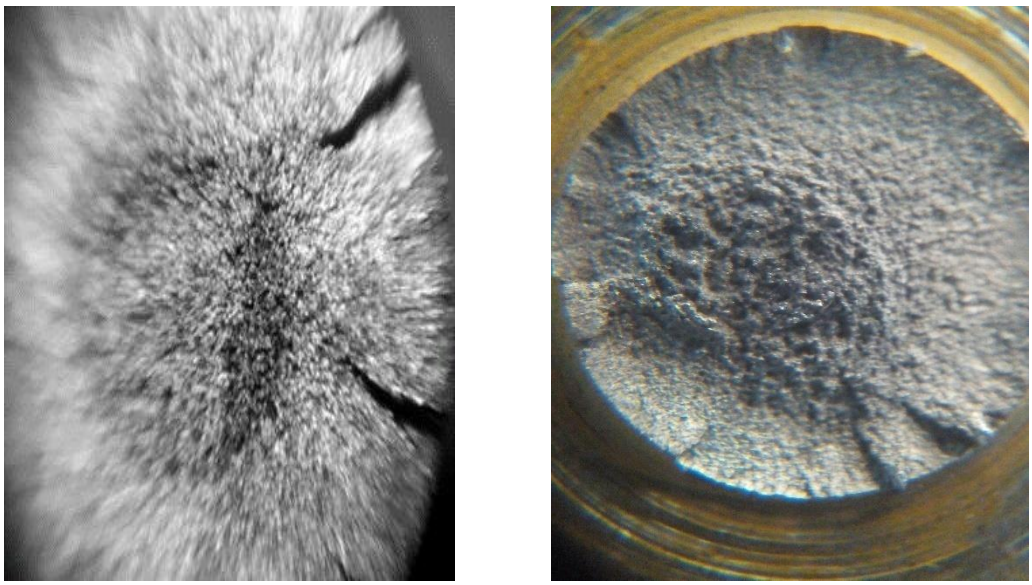


Figure 3.20 Faciès de rupture d'une éprouvette d'essai de fatigue oligocyclique sous une charge de 250N après 3327.5 cycles a une rugosité **Ra = 0.3**

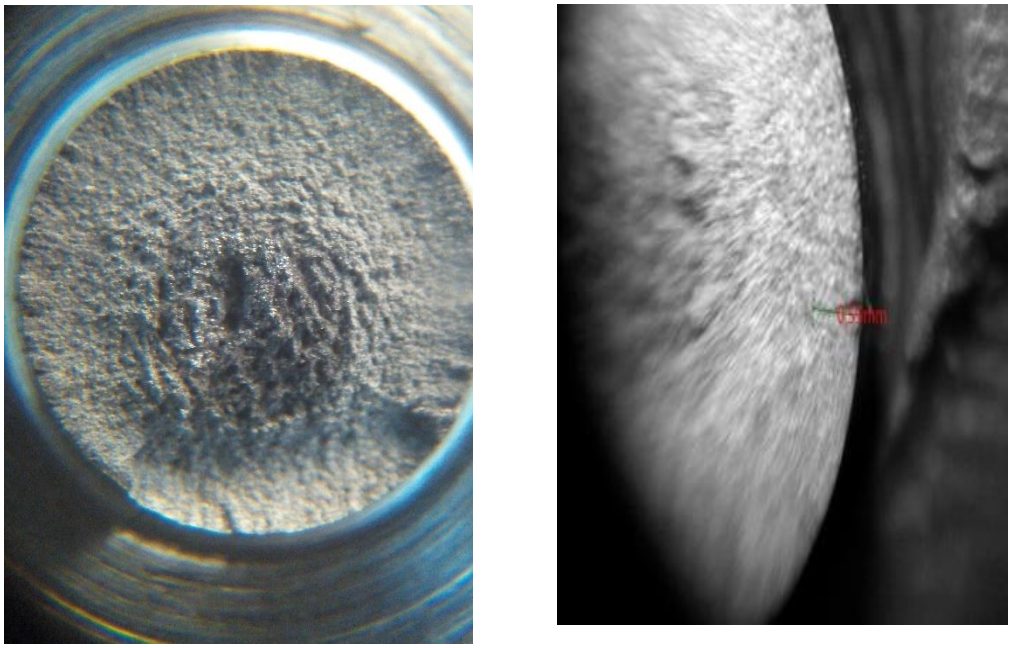


Figure 3.21 Faciès de rupture d'une éprouvette d'essai de fatigue oligocyclique sous une charge de 250N après 4042.5 cycles a une rugosité **Ra = 0.1** [13]

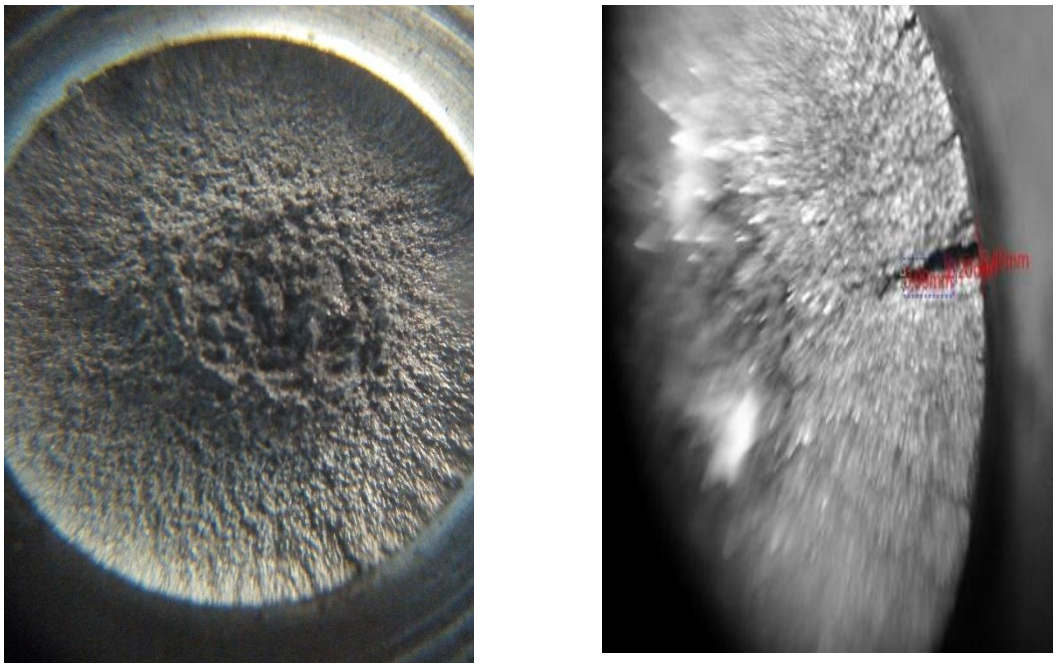


Figure 3.22 Faciès de rupture d'une éprouvette d'essai de fatigue oligocyclique sous une charge de 250N après 4042.5 cycles a une rugosité **Ra = 0.1675** [13].

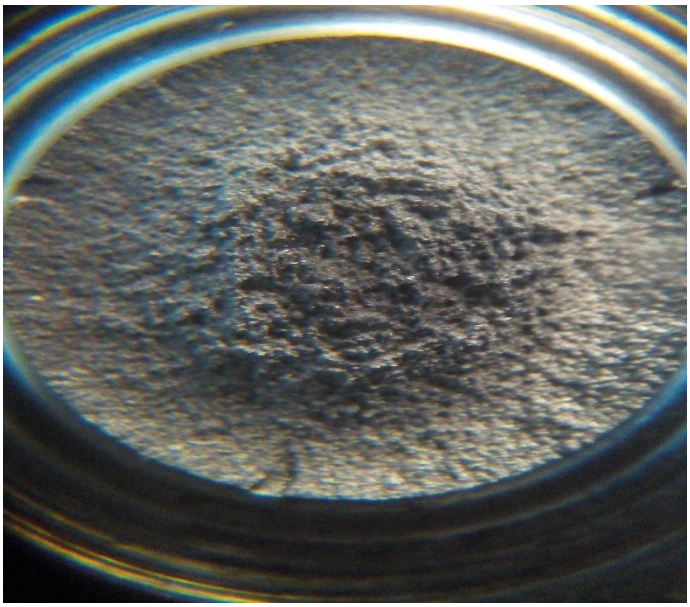


Figure 3.23 Faciès de rupture d'une éprouvette d'essai de fatigue oligocyclique sous une charge de 250N après 3217.5 cycles a une rugosité **Ra = 0.075.**

III.7Interprétation des résultats

L'acier utilisé est un acier au carbone non allié. Comme il a été mentionné en haut, Cet acier s'emploi dans la construction mécanique après normalisation, amélioration pour une variété de pièces (vilebrequins, bielles, arbre à cames, pignons,...).

Ces pièces travaillent souvent en rotation ou dans des conditions de vibration. Donc, ils sont soumis au phénomène de fatigue.

Pour comprendre ce phénomène, on a étudié le comportement de cet acier à la fatigue oligocyclique, et comprendre ce comportement dans le cas où les pièces soumises aux sollicitations cycliques peuvent subir des changements brusques de charges ou de vitesse de rotation. Pour faire une comparaison adéquate entre les différents états de surface, il est nécessaire d'étudier le comportement de cet acier lorsqu'il est à l'état brut.

III.7.1. Détermination de la rugosité

Avant d'effectuer les essais de fatigues, les éprouvettes ou échantillons ont subit un polissage manuel à différents grains (P180, P320, P400 et P600), afin de déterminer leur état de surface. Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux [3.4, 3.6, 3.8, 3.10, 3.12]. Les résultats obtenus montrent que plus le nombre de grain du papier abrasif augmente et plus la rugosité diminue.

III.7.2. Comportement de l'acier C45 à la fatigue oligocyclique :

Les résultats des différents essais de fatigue sont montrés sur les figures (3.14, 3.15, 3.16, 3.17, 3.18), qui montrent l'évolution des charges appliquées en fonction du nombre de cycles (en d'autres termes, la courbe de S-N).). Il apparait que la résistance à la rupture dans le cas des éprouvettes utilisées à l'état brut est faible aux hautes charge, on constate que la rupture à une charge équivalente à 280Napparaisse après une très courte durée (≈ 0.55 min), ceci peut être expliqué par le fait que l'acier à l'état brut a en général une structure hétérogène et très rugueuse. Par contre dans le cas de l'acier possédant une rugosité Ra = 0.3, la rupture de l'acier à la même charge (280 N), n'est observée qu'après 1.21 min. D'autre part l'acier poli avec le papier abrasif P320 donne une rugosité

Ra =0.1. Cet acier échoue après 6710 cycles sous une charge équivalente à 200N, compare à l'acier de rugosité équivalente à 0.3 et a la même charge l'acier échoue après 6670 cycles, ce qui ne présente pas une grande différence. En outre l'acier poli avec le papier abrasif P400 permet d'avoir une rugosité Ra = 0.1675, dans ce cas l'acier échoue après 4042.5 sous la même charge (200N). D'ailleurs le dernier lot qui a été poli avec un papier abrasif de grain P600 a permis d'avoir une rugosité Ra = 0.075. Dans ce cas l'acier se rompe après un nombre de cycle significatif (11137.5 cycles) sous la même charge 200N.

Conclusion

L'état de surface des pièces travaillant en flexion rotative, est un facteur primordial parmi d'autres dans la connaissance du comportement de ces dernières vis-à-vis de la résistance à la fatigue. Dans un travail précédent (13), il a été rapporté que l'état de surface a une influence importante sur la fatigue des pièces et que les pièces moins rugueuses montrent un comportement meilleur.

De ce fait, on a étudié l'effet de la rugosité sur le comportement d'un acier au carbone C45(XC48), à la fatigue oligocyclique (aux hautes charges). La préparation des éprouvettes destinées à la fatigue nous a pris beaucoup de temps du fait des difficultés rencontrées durant leur préparation. Néanmoins, les éprouvettes à différentes rugosités ont subis des essais cycliques sous hautes charges.

En fait, et après avoir effectué les différents essais, on a pu tirer les conclusions suivantes:

Il est noté que la résistance à la rupture dans les différentes conditions de rugosité aux très hautes charges est presque identique. Mais en diminuant les charges on remarque une petite amélioration de la résistance à la fatigue lorsque la rugosité diminue.

L'influence de la rugosité de la surface sur le comportement à la fatigue dans le domaine oligocyclique ne nous parait pas bien claire. Cela nous mène à dire qu'il ya d'autres paramètres à prendre en considération simultanément avec les paramètres de l'état de surface.

Cependant, il est nécessaire de rapporter les conditions non adéquates dans lesquelles ont été réalisées les éprouvettes et les essais de fatigue.

Malgré, les difficultés rencontrées durant ce travail, on espère qu'on a contribué quand même à clarifier certains points concernant la fatigue de ce type d'acier.

Il est à noter enfin, qu'en plus de la rugosité, il faut prendre en considération d'autres paramètres qui ont en lien direct avec l'état de surface.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Métallurgie mécanique du microscopique au macroscopique ; science des matériaux niveau B &C2eme edition

[2] « Essential of materials science and enigineering », Donald R. Askeland, Pradeepp. Fulay, D.K. Bhattacharya, Cengage Learning (2010).

[3] Elaboration des métaux ferreux (fontes et aciers). Dr.s.bensaada.

[4] Stainless steel: welded tubes and pipes, Van Meerbeeck export.

[5] Effet des traitements mécaniques de surface (TMS) sur l'écrouissage et la ténacité d'un acier, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA, TaâmallahOuahiba, 2012.

[6] Arnaud Verleene. Comportement en fatigue de l'acier martensitique T91 à 300°C dans l'eutectique plomb-bismuth liquide. Mécanique [physics.med-ph]. Université des Sciences et Technologie de Lille - Lille I, 2005.

[7] Fatigue des matériaux Cours & Exercices. MeddourBelkacem, Unversity Abbas Laghrour (khenchla) September 2016.

[8] Au Coeur des materiaux cristallins Philipe lours Fabien baillon 2.1 24\03\2015.

[9] Etude de la competitiondechirure ductile / rupture fragile : application a la tenue mecanique des tubes en acier c-mn et de leurs joints soudes par vincent le corre.

[10] concepts fondamentaux de la mécanique de la rupture, AbderahimZeghloul. 2016-2017.

[11] Fatigue des materiaux et des structures part 3 (terminologie et notion des base) 5.10.2010.

[12] A. BRAND, J-F. FLAVENOT, R. GREGOIRE et C. TOURNIER, Donnés technologiques sur la fatigue, CETIM 3e édition (1992).

[13] Comportement a la fatigue d'un acier au carbone après traitement thermique, AOUFI BELKACEM, 2016\2017.

[14] Effet des traitements mécaniques de surface (TMS) sur l'écrouissage et la ténacité d'un acier. TaâmallahOuahiba, 2012.

[15] H. LEGRAIN, Etude de l'influence de la rugosité Sur l'écoulement de fluide dans les Fissures rocheuses. Thèse doctorat, 2006.

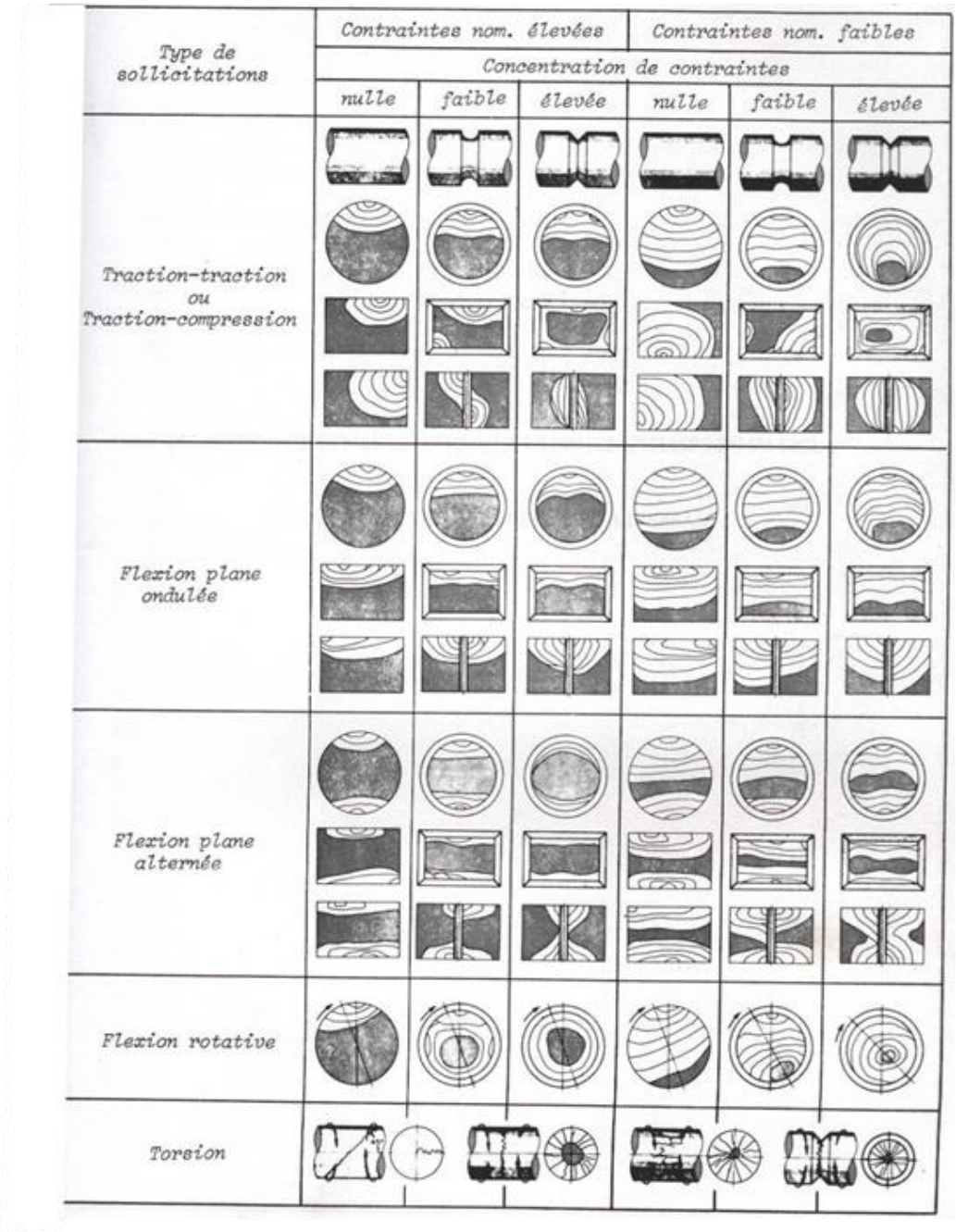
[16] Mesures thermographiques de champs de dissipation accompagnant de fatigue `à grand nombre de c y c l e s des aciers brunoBerthle

[17] Métaux : corrosion-industries volume 32 », Louise Delville.publié 1957

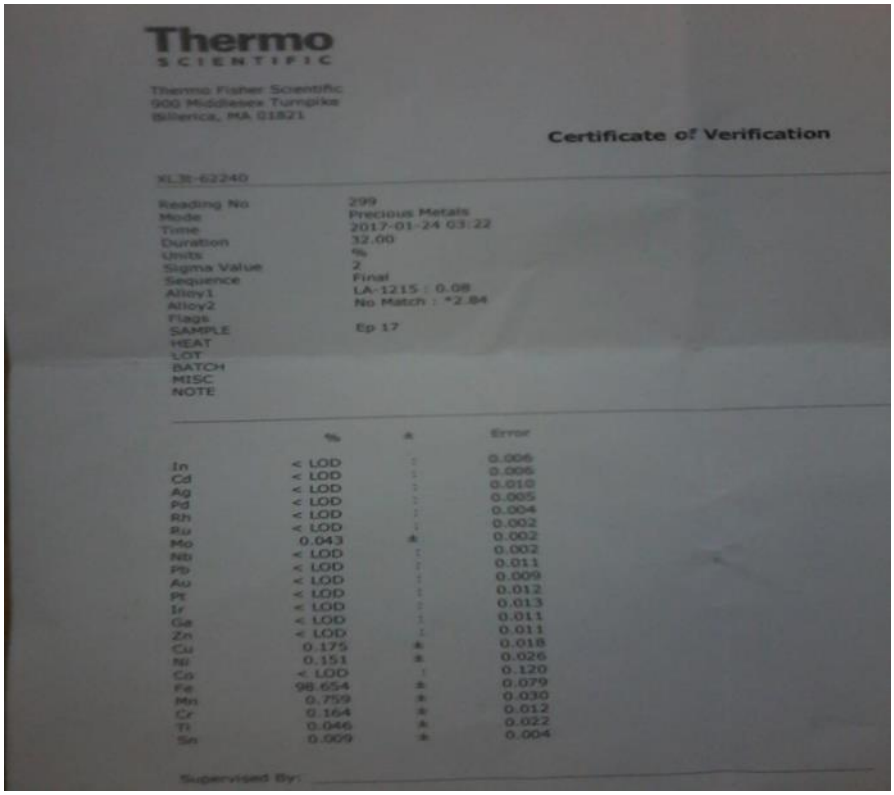
[18] G. BARATTO, J-J. GUERIN, J. MONGIS, C. TOURNIER et A. VIEU, Analyse morphologique des défaillances d'organe de machines, CETIM (1996).

ANNEXE

Annexe 1 : Tableau récapitulatif des faciès de rupture en fatigue



Annexe 2 : Composition chimique de l'acier C45 (XC48)



Thermo SCIENTIFIC

Thermo Fisher Scientific
900 Middlesex Turnpike
Billerica, MA 01821

Certificate of Verification

KL3I-62240

Reading No	299
Mode	Precious Metals
Time	2017-01-24 03:22
Duration	32.00
Units	%
Sigma Value	2
Sequence	Final
Alloy1	LA-1215 : 0.08
Alloy2	No Match : *2.84
Flags	
SAMPLE	Ep 17
HEAT	
LOT	
BATCH	
MISC	
NOTE	

	%		Error
In	< LOD		0.006
Cd	< LOD		0.006
Ag	< LOD		0.010
Pd	< LOD		0.005
Rh	< LOD		0.004
Ru	< LOD		0.002
Mo	0.043	*	0.002
Nb	< LOD		0.002
Pb	< LOD		0.011
Au	< LOD		0.009
Pt	< LOD		0.012
Ir	< LOD		0.013
Ga	< LOD		0.011
Zn	< LOD		0.011
Cu	0.175	*	0.018
Ni	0.151	*	0.026
Co	< LOD		0.120
Fe	98.654	*	0.079
Mn	0.759	*	0.030
Cr	0.164	*	0.012
Ti	0.046	*	0.022
Sn	0.009	*	0.004

Supervised By:

Annexe 3 : Montage d'éprouvette pendent l'usinage



Annexe 4 : Les éprouvettes après la fabrication





Annexe 5 : Rugosimetre





Annexe 6 : La machine d'essai de fatigue GUNT WP 140

