

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE de Technologie  
DEPARTEMENT de Génie Mécanique  
N° : .....



DOMAINE : Science Technologique  
FILIERE : Génie Mécanique  
OPTION : Construction mécaniques

Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique

Par : \* *Ben zemmouri Lamouri*

\* *Tayeb bey Nacer*

Intitulé

Etude sur la caractérisation de comportement mécanique d'un alliage  
alluminium par les essais mécaniques

Encadreur : *Dr Boudilmi Aissa*

Soutenu devant le jury composé de:

- |                |                      |            |
|----------------|----------------------|------------|
| • Mr Farsi     | Université de M'sila | Président  |
| • Mr Zegane    | Université de M'sila | Rapporteur |
| • Mr Belhocine | Université de M'sila | Examineur  |

**Année universitaire : 2018/2019**

## Remerciements

LOUANGE À ALLAH PAR LA GRÂCE DUQUEL LES BONNE  
CHOSSES SE RÉALISENT .

NOUS TENONS À REMERCIER TOUT D'ABOR NOS TRÈS  
CHERS PARENTS .

NOUS REMERCIER NOTRE ENCADREUR À DR BOUDILMI  
POUR LA QUALITÉ DU SUJET SON SUPPORT ET LES  
ORIENTATIONS DURANT TOUTE LA RÉALISATION DE CE  
TRAVAIL.

NOUS REMERCIONS TOUS LES ENSEIGNANTS QUI ONT  
CONTRIBUÉ À NOTRE FORMATION, AUSSI NOUS VOULONS  
REMERCIER LES TRAVAILLEURS DE L'USINE D'ALGAL+  
POUR NOUS DONNER DE LA GUIDANCE ET L'AIDE ET LES  
CONSEILLES POUR TERMINER NOTRE STAGE



## **Dédicaces**

Avant tout, je tien à remercies le bon dieu,

Et l'unique qui m'offre le

Courage et la volonté nécessaire pour affronter

Les différentes de la vie,

Je dédie ce modeste travail

A ma mère

A mon père

A mes frères et mes sœurs

A tous ma famille

A tous mes amis et mes collègues de la promotion 2019

***Lamouri Ben Zemmouri***

***Tayeb Bey Nacer***

## Liste des figures

### Chapitre II : Méthode de caractérisation par l'essai de traction uni-axiale

Figure (II.1) : Forme d'éprouvette cylindrique.....	17
Figure (II.2) : Forme d'éprouvette cylindrique après rupture.....	18
Figure (II .3) : Allure de la courbe conventionnelle de traction .....	21

### Chapitre III : Techniques expérimentales

Figure(III.1) : vue globale de la machine WP 310.....	27
Figure(III.2) : Utilisation de la machine WP310 .....	27
Figure(III.3) : Affichage de déplacement et la force .....	28
Figure (III .4): System d'acquisition de données de la machine d'essai WP 310 .....	29
Figure(III.5) : Fenêtre principale.....	29
Figure (III.6) : fichier d'enregistrement des courbes.....	30

### Chapitre IV : Résultats et discussion

Figure (IV.1) : Des éprouvettes en aluminium.....	34
Figure (IV.2) : Des éprouvettes d'alliage d aluminium 6063 .....	35
Figure (IV.3) : éprouvette d'alliage d aluminium 6063 après rupture.....	35
Figure (IV.4) : La machine d'essai de traction .....	36
Figure (IV.5) : L'éprouvette dans la machine d'essai de traction.....	36
Figure(IV.6) : Courbes de traction d'aluminium .....	37
Figure(IV.7) : Courbes de traction d'alliage 6063 après homogénéisation .....	37
Figure IV.8 : Courbes d'alliage 6063 chauffé à vitesse 10C°/min .....	37
Figure (IV.9) : Courbes de traction d'alliage 6063 chauffé à.....	38
vitesse 15C°/min .....	38
Figure (IV.10) : Courbes de traction d'alliage 6063 traité à vitesse 20C°/min .....	38

# Liste Des Tableaux

## Chapitre I : Généralités sur l'aluminium et ses alliages

Tableau. I.1 : Désignations et teneur en masse des alliages de corroyage[16-22] .....	8
Tableau. (I.2) : comparaison entre les types d'alliage d'aluminium [16-22] .....	10
Tableau. (I.3) : la composition chimique approximative de l'alliage 6063[16-22]..	15

## Chapitre III : Techniques expérimentales

Tableau(III .1) : composantes chimiques d'alliage 6063 .....	31
--	----

## Chapitre IV : Résultats et discussion

Tableau (IV.1) : Valeurs de les résistance à la rupture ( $R_m$ ) en N/mm <sup>2</sup> .....	39
Tableau (IV.2) : Valeurs de l'allongement (A%).....	40
Tableau (IV.3) : Valeurs de Coefficient de striction (Z%) .....	40

## Nomenclature

$\sigma_e$  : résistance limite élastique

$\sigma_r$  : résistance à la rupture

$A\%$  : coefficient d'allongement

$F$  : la force

$\Delta L$  : la longmont

$S_0$  : Section initiale ( $mm^2$ )

$L_0$  : longueur initiale

$e$  : La déformation

$R_e$  la résistance limite élastique

$E$  : Le module d'Young (module d'élasticité longitudinale).

$\sigma$  : La contrainte

$F_0$  : la force initiale

$\varepsilon$  : La déformation

**$R_m$**  : la résistance de mécanique

**$L_u$**  : longueur ultime (mesurée en raboutant les deux morceaux de l'éprouvette cassée).

**$S_u$**  : Section ultime en  $mm^2$  (mesuré à l'endroit de la cassure de l'éprouvette cassée).

**$Z\%$**  : Valeurs de Coefficient de striction

**$d_0$**  : diamètre initial

**$L_0$**  : longueur de référence

**$L_C$**  : longueur calibrée

**$V$**  : La vitesse

## Référence:

- [1] JM. DORLOT JP. BAILON J. MASOUNAVE. *Des Matériaux*. Montréal, Editions de L'Ecole Polytechnique de Montréal, 1986.
- [2] Develay, R., *Données numériques sur l'aluminium non allié*, Les Techniques de l'ingénieur. M443.
- [3] Michel Dupeux, *Aide-mémoire science des matériaux*, © Dunod, Paris, 2004 ISBN 2 10 005458 9,
- [4] K.R Van Horn, *Aluminium : properties, physical metallurgy and phase diagrams*, American Society for Metals (1971)
- [5] M. Bernard, *Cours de Chimie Minérale*, Ed. Dunod, 18 306-30
- [6] C. Vargel, *Propriétés générales de l'aluminium et de ses alliages*, Techniques de l'Ingénieur
- [7] D.J.Chakrabartia, David E. Laughlin, *Phase relations and precipitation in Al-Mg-Si Alloys with Cu additions*, Progress in Materials Science 49, p.389-410, 2004
- [8] B. CHENAL J. DRIVER, *Ecrouissage d'alliages d'aluminium*, Techniques de l'ingénieur (France) Traité Matériaux métalliques, M230 (2000).
- [9] A. WILM, *Recherche sur la métallurgie physique des alliages d'aluminium-magnésium*, Métallurgie 8, p. 225, 1911
- [10] J.K Park, A.J Ardell, *Precipitation at grain boundaries in the commercial alloy Al 7075*, Acta Metallurgica 34 (1986) 2399-2409
- [11] J.K Park, A.J Ardell, *Effect of retrogression and reaging treatments on the microstructure of Al-7075-T651*, Metallurgical Transactions A 15A (1984) 1531-1543
- [12] D. RACINE, *Effet du temps et de la température sur l'homogénéisation d'un alliage d'aluminium AA6061 destiné au forgeage à chaud*, Mémoire de maîtrise en ingénierie, Université du Québec à Chicoutimi, 2009
- [13] Vargel, *Propriétés générales de l'aluminium et de ses alliages*, Techniques de l'Ingénieur.
- [14] <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2812>
- [15] D.J.Chakrabartia, David E. Laughlin, *Phase relations and precipitation in Al-Mg-Si Alloys with Cu additions*, Progress in Materials Science 49, p.389-410, 2004
- [16] Roger DEVELAY, *Données numériques sur les alliages d'aluminium de transformation*, Forme. M 445 – 1 technique de l'ingénieur

- [17] A. BOUDILMI, *Contribution à la caractérisation des revêtements et des matériaux stratifiés par microdureté et tenue à l'usure*, Thèse de doctorat, Université du setif1, 2017
- [18] Aluminum and Aluminum Alloys, ASM Specialty Handbook, 1996.
- [19] KAUFMAN, J. Gilbert. Introduction to Aluminum Alloys and Tempers, Materials Parks, Ohio, ASM International, 1999, 400 p.
- [20] KAUFMAN, J. Gilbert. Properties of Aluminum Alloys : Tensile, Creep & Fatigue Data, Materials Parks, Ohio, ASM International, 1999, 400 p.
- [21] RICHARD, Michel et TESSIER, Yves. Les traitements thermiques des alliages d'aluminium moulés, Sèvres, ÉTIF, 1992, 92 p.
- [22] VARGEL, Christian. Corrosion de l'aluminium, Paris, Dunod, 1999, 502 p.
- [23] Michel Dupeux, AIDE-MÉMOIRE SCIENCE DES MATÉRIAUX, Dunod, 2004
- [24] ADDAY., DUPOUYJ.M., PHILIBERTJ. et QUÉRÉY, Techniques du laboratoire de science des matériaux (2 volumes). Paris, INSTN-CEA, 1993.
- [25] ASHBYM.F. et JONESD.R.H. – Matériaux, Volume 1 et volume 2. Paris, Dunod, 1991.
- [26] DORLOTJ.-M., BAÏLONJ.-P. et MASOUNAVEJ. – Des matériaux, Éditions de l'École Polytechnique de Montréal, 2000.
- [27] P. AGATI, N. MATTERA, Mécanique appliquée, Dunod, 1990.
- [28] P. AGATI, N. MATTERA, Mécanique 2, Dunod, 1994.
- [29] M. ALBIGES, A. COIN, Résistance des matériaux appliquée, 2 tomes, Eyrolles, 1976.
- [30] J. ARGYRIS, H.P. MLEJNEK, Dynamics of structures, North Holland, 1991.
- [31] Y. BAMBERGER, Mécanique de l'ingénieur, 4 tomes, Hermann, 1997.
- [32] P. AGATI, M. ROSSETTO, F. LEROUGE, Résistance des matériaux, Dunod, 1999.
- [33] A. BAZERGUI, T. BUI-QUOC, A. BIRON, G. McINTYRE, C. LABERGE, Résistance des matériaux, Editions de l'École Polytechnique de Montréal, 1993.
- [34] D. BELLET, J.J. BARRAU, Cours d'élasticité, Cépaduès, 1990.
- [35] B. BOUMARD, F. LAVASTE, Résistance des matériaux, Delagrave, 1984.

- [36] A. BAZERGUI, T. BUI-QUOC, A. BIRON, G. McINTYRE, C. LABERGE, Résistance des matériaux- recueil de problèmes - 2 tomes, Editions de l'Ecole Polytechnique de Montréal, 1991.
- [37] FRANÇOIS D., PINEAU A. Et ZAOUI A. – Comportement mécanique des matériaux, Vol. 1 : élasticité et plasticité. Vol. 2 : viscoplasticité, endommagement, mécanique de la rupture, mécanique du contact. Paris, Hermès, 1992.
- [38] Marion Fourmeau, *Caractérisation et modélisation du comportement anisotrope d'alliage d'aluminium à haute résistance*, thèse de doctorat, l'école normale supérieure de Cachan, 2014
- [39] Philipp Wiechmann, Hannes Panwitt, Horst Heyer, Michael Reich\*, Manuela Sander and Olaf Kessler, *Combined Calorimetry, Thermo-Mechanical Analysis and Tensile Test on Welded EN AW-6082 Joints*, *Materials* **2018**, 11(8), 1396
- [40] L. Aydia, M. Khelifa, C. Bradaia, S. Spigarelli, M. Cabibbo, M. El Mehtedib,\* *Mechanical properties and microstructure of primary and secondary AA6063 aluminum alloy after extrusion and T5 heat treatment*, *Materials Today: Proceedings* 2 ( 2015 ) 4890 – 4897
- [41] Juan Asensio-Lozano\*, Beatriz Suárez-Peña and George F. Vander Voort, *Effect of Processing Steps on the Mechanical Properties and Surface Appearance of 6063 Aluminium Extruded Products*, *Materials* 2014, 7, 4224-4242

## Sommaire

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

### Chapitre I

#### Généralités sur l'aluminium et ses alliages

I. Introduction :.....	2
I.1. L'aluminium : .....	3
I.1.1. Obtention d'aluminium : .....	3
I.1.2. Propriétés principales d'Aluminium : .....	4
I.1.3. Durcissement des produits d'aluminium :.....	4
I.2. Les alliages d'aluminium : .....	6
I.3. Désignations numérique et chimique des alliages d'aluminium :.....	6
I.3.1. Désignations des alliages corroyés :.....	7
I.3.2. Désignations des alliages de moulage :.....	9
I.4. Désignations des états métallurgiques : .....	11
I.4.1. Symboles des traitements métallurgiques : .....	11
I.4.2. Indice de résistance : .....	13
I. 5. Les alliages d'aluminium de série 6000 :.....	13
I. 5.1. L'alliage d'aluminium 6063 :.....	14

### Chapitre II

#### Méthode de caractérisation par l'essai de traction uni-axiale

II .Introduction.....	16
II.1. L'essai de traction :.....	16
II.1-1. principe de l'essai de traction :.....	16
II.1.2. L'éprouvette pour l'essai : .....	16
II.1.3. Vitesses d'essai.....	18
II.1.4. Déroulement d'un essai de traction : .....	18
II.2. Caractéristiques mécanique : .....	19
II.2.1. Limite d'élasticité (la résistance limite élastique) ( <b>Re</b> ) :.....	19
II.2.2. Résistance à la rupture ( <b>Rr</b> ) ou (à la traction <b>Rm</b> ) :.....	19
II.2.3. Allongement (A%) :.....	19
II.2.4. Coefficient de striction (Z%) : .....	20
II.2.5. Module d'élasticité longitudinale (Module d'Young ) (E) : .....	20
II.2.6. Courbes de traction :.....	21

## Chapitre III

## Techniques expérimentales

III . Introduction :	25
III.1. Description générale de la machine de traction :	26
III.1.1. Utilisation de la machine WP310 :	27
III.2. Procédure de l'essai de traction :	29
III.2.1. Préparation de la machine :	29
III.2.2. Réalisation de l'essai de traction :	30
III.2.3. Enregistrement des résultats :	30
III.2. 4. Interprétation des résultats :	30
III.2. 5. Matériau utilisé :	30
III.2.6. Traitement thermique Appliqués :	31
III.3. L'essai de traction :	31
III.3.1. but de l'essai de traction :	31
III.3.2. principe de l'essai de traction:	31
III.3.3. L'éprouvette pour l'essai :	32
III.3.4. Vitesses d'essai :	32
III.3.5. Déroulement d'un essai de traction :	32

## Chapitre IV

## Résultats et discussion

IV. Introduction :	34
IV.1. Résultats de caractérisation de l'aluminium et l'alliage 6063:	34
IV.2. Courbes de traction :	36
IV.2.1. Domaine élastique ( $\sigma < Re$ ) :	38
IV.2.2. Domaine plastique homogène :	39
IV .3. Comportement mécanique :	39
IV.3.1. Caractéristiques mécaniques :	39
IV. 4. Discussion des résultats :	41

## Introduction Générale

Les essais mécaniques sont l'étape nécessaire pour atteindre les grandeurs caractéristiques des matériaux (le module d'Young, la limite d'élasticité, la ténacité, la résistance à la fatigue etc.) dans des différentes conditions.

L'essai de traction permet de déterminer de nombreuses grandeurs normalisées, comme la contrainte à rupture, la contrainte maximale, la limites d'élasticité, etc. nécessaires dans les calculs des structures

Le propos de ce mémoire est de présenter les techniques expérimentales d'essai de traction uni-axial (quasi-Statiques et dynamiques) la plus utilisée dans les laboratoires universitaires ou industriels, pour caractériser le comportement mécanique des matériaux étudiés.

Dans ce mémoire nous avons fait des essais de traction pour comprendre le comportement mécanique d'aluminium et de l'alliage 6063 avant et après des traitements thermiques

La présente mémoire s'organise en quatre chapitres. Nous avons fait, au premier chapitre, un tour d'horizon des alliages d'aluminium tels que la classification et les moyens de renforcement microstructural

Le deuxième chapitre a été consacré à la caractérisation des matériaux par l'essai de traction. Dans ce cas, nous avons présenté :

les techniques conventionnelles de l'essai de traction pour déterminer les différentes caractéristiques des matériaux, les dispositions qui s'ensuivent,

les modèles fréquemment utilisés pour calculer les propriétés mécaniques des matériaux

Le troisième chapitre a été consacré à la description des méthodes et des techniques expérimentales utilisées et la procédure de travail suivi. De point de vue modification de caractéristiques d'alliage d'aluminium 6063, nous avons mis l'accent sur le traitement thermique où nous avons évoqué les diverses opérations de traction des éprouvettes.

Le quatrième chapitre a été réservé à l'exposition des résultats expérimentaux obtenus et leurs interprétations. Les déterminations de caractéristiques d'aluminium et l'alliage 6063 effectués sont basés sur les données tirées des expériences.

Dans ce chapitre, nous avons présenté en premier lieu les courbes de traction résultantes et le calcul de différentes propriétés mécaniques .Selon les différents résultats obtenus, La loi d' Hoke a été vérifiée, ainsi que l'identification de différentes zones de traction. Diverses observations graphiques validant la discussion ont été présentées.

En fin, par une conclusion générale, notre travail est achevé

A red scroll graphic with a white outline, featuring a vertical strip on the left and a horizontal strip on the right, both with rounded ends and a white scroll-like detail. The text is centered on the horizontal strip.

# **Chapitre I**

**Généralités sur l'aluminium  
et ses alliages**

**I. Introduction :**

Dans ce chapitre en proposant de rappeler quelques notions générales sur l'aluminium et ses alliages , ainsi nous avons fait des recherches bibliographiques sur les propriétés mécaniques , physiques et les traitements thermiques d' aluminium et ses alliages .

L'aluminium est un métal blanc tirant légèrement sur le bleu, il est présent en grande quantité dans la croûte terrestre, avec une masse de minerai représentant 8% de la masse de cette dernière. IL vient au second rang des métaux les plus employés après l'acier. Il est léger, robuste, facile à usiner et économique .Techniquement, l'aluminium est un métal pur (faiblement allié), sa structure est de type cubique à faces centrées [1 ,16-22].

A cause de propriétés mécaniques, physiques et chimiques, remarquables du métal et de la variété de ses alliages, l'aluminium est utilisé dans de nombreux secteurs technologiques comme l'industrie des véhicules, des machines, des médicaments et des outils industriel et médicale etc.

Grâce à des additions d'éléments d'alliage tels que le cuivre, le manganèse, le magnésium, le zinc, etc. et grâce à des gammes de transformation adaptées à l'aluminium, les caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques peuvent varier dans une vaste étendue au point qu'on dispose littéralement d'alliages d'aluminium pour des multitudes d'applications. L'emploi de l'aluminium est universel. De ce fait, la désignation des alliages et des états métallurgiques est presque la même partout

**I.1. L'aluminium :**

L'aluminium est un métal blanc tirant légèrement sur le bleu, dont on obtient facilement un beau fini poli. Il vient au second rang des métaux les plus employés après l'acier. Il est léger, robuste, facile à usiner, économique et résistant à la corrosion. L'aluminium n'est pas magnétique, il est bon conducteur de chaleur et d'électricité.

IL est un élément métallique du troisième groupe de classification de Mendeleïev, dont le nombre atomique est 13, la masse atomique vaut 27g et la température de fusion est 660°C [2,3,16-22].

Généralement, l'aluminium industriel contient 0.5% d'impuretés (principalement Fe+Si), mais il peut être obtenu presque pur par raffinage électrolytique ( $Al > 99.99\%$ ) [1]. Ces impuretés ont différents effets sur leurs caractéristiques physique, chimiques et mécaniques. Les propriétés d'aluminium peuvent être améliorées par des traitements thermique et mécanique, ainsi par l'addition des éléments comme le Mg, Si, Mn, etc....

A la température ambiante, l'aluminium forme très vite une couche d'oxyde  $Al_2O_3$  (alumine), épaisse et adhérente, qui protège le métal de les effets, mécaniques et physiques et les attaques chimiques [2].

**I.1.1. Obtention d'aluminium :**

En générale, l'aluminium est obtenu à partir de l'alumine issue de la bauxite, par le procédé d'électrolyse dans un cuve comportant une cathode et une anode. L'aluminium formé par électrolyse se dépose au fond de la cuve (cathode), puis il sera recueilli périodiquement pour en faire des lingots ou des pièces directement moulées

Actuellement les roches des bauxites constituent la source spéciale de métal d'aluminium, elles sont riches en alumine qui est extraite de la bauxite par le procédé Bayer : la bauxite est broyée puis attaquée à chaud par de la soude. On obtient une liqueur qui après séparation des oxydes de fer et de silicium sera envoyé dans des décomposeurs pour précipitation de l'alumine.

---

### I.1.2. Propriétés principales d'Aluminium :

Les propriétés physiques, mécaniques et chimiques d'aluminium et ses alliages dépendent non seulement de leurs compositions chimiques, mais aussi dans une large mesure de leur gamme de transformation y compris celle des différents traitements. Les gammes de transformation aboutissent à des états métallurgiques qui correspondent à des nouvelles caractéristiques bien définies.

L'aluminium pur possède des propriétés mécaniques très réduites et insuffisants pour son utilisation dans quelques d'applications structurales, il est léger, ductile, malléable, mou et résiste à la corrosion. [4-6].

Parmi les propriétés principales d'aluminium, en citant :

- bon conducteur de la chaleur et de l'électricité
- faible masse volumique :  $27000 \text{ kg/m}^3$
- point de fusion :  $660^\circ \text{ C}$
- faible module d'Young :  $70000 \text{ N/mm}^2$  ( $70000 \text{ Mpa}$ )
- le coefficient de rigidité par unité de masse est sensiblement égal à celui de l'acier
- faible limite élastique
- fort allongement à la rupture (tôles minces, feuilles, papier)
- coefficient de dilatation thermique linéaire est de l'ordre de  $23.10^{-6}$

### I.1.3. Durcissement des produits d'aluminium :

Le durcissement d'un métal ou un alliage signifie le renforcé, d'où en modifiant ses caractéristiques, il se fait avec ou sans modification structurale [7].

Parmi les moyens de durcissement d'aluminium et ses alliages en citant :

#### I.1.3.1. Ecouissage à froid :

C'est un moyen de durcissement non structural, Il s'effectue par la déformation plastique à froid d'aluminium ou d'alliage pour le donner les formes voulues et d'augmenter sa dureté et sa résistance mécanique (limite élastique et charge de rupture), avec en contre partie une diminution de sa plasticité (allongement à la rupture, aptitude à la déformation). Le taux

---

d'écroutissage est défini par  $[(E-e)/e].100$  avec  $E$ , c'est l'épaisseur initiale et  $e$ , est épaisseur après écroutissage [8].

### **I.1.3.2. Traitement thermique d'adoucissement (restauration recuit) :**

En durcissement par écroutissage, la structure écrouie est constamment remplacée par une nouvelle structure à grains reformés. Quand la recristallisation est complète, l'alliage ou l'aluminium est dit "recuit". C'est dans cet état qu'il présente une plasticité maximale et une résistance mécanique minimale. L'état recuit est l'état optimal pour réaliser des déformations ou des mises en forme à froid importantes et difficiles. Entre l'état écroui (dur), et l'état recuit (peu dur), il est possible d'obtenir toute une série d'états intermédiaires.

### **I.1.3.3. Traitement thermique de durcissement structural :**

Le phénomène de « durcissement structural », découvert en 1906 par Wilm dans le cas des alliages légers [9], a abouti au premier alliage industriel, le Duraluminen 1916 (l'alliage 2017 A). Il existe de nombreux protocoles de traitement thermique, désigné par la lettre T dans la nomenclature des alliages.

Le principe du durcissement structural est basé sur la précipitation, c'est-à-dire la diminution de la solubilité d'éléments d'addition avec la température. Il permet, lors des processus thermomécaniques, la précipitation de phases appelées phases durcissantes, donc le durcissement structural est très important dans la métallurgie des alliages d'aluminium parce qu'il permet les naissances et les modifications de leurs propriétés [10,11].

Le traitement thermique de durcissement structural s'effectue en trois phases nécessaires:

- La mise en solution: consiste à porter l'alliage à une température suffisamment de manière que tous les atomes de soluté (éléments d'alliages et d'addition) se retrouvent en solution.
- La trempe : c'est un refroidissement rapide après mise en solution, de manière à empêcher la décomposition de la solution solide en précipités d'équilibre grossiers et la garder à température ambiante. Une solution solide sursaturée dite de « substitution » est ainsi obtenue, dans laquelle les atomes de soluté sont positionnés aux nœuds du réseau CFC de l'aluminium.

---

- La maturation ou vieillissement naturel (revenu) : c'est le maintien de la solution, après la trempe, à température ambiante ou inférieure à celle-ci. Cette étape permet une décomposition lente de la solution solide sursaturée et la formation de petites masses d'atomes de soluté. Elle peut s'accompagner d'un écrouissage pour relaxer les contraintes et augmenter la densité de lacunes par déformation plastique et donc à augmenter la densité des sites de germination des précipités durcissant [12].

### I.2. Les alliages d'aluminium :

L'ajout des éléments cuivre, silicium, magnésium, manganèse, titane et ses associations à l'aluminium non allié en différentes teneurs, et les traitements thermiques et mécaniques permettent de construire des alliages d'aluminium ayant des caractéristiques et des structures différentes de celles de l'aluminium [7].

Les éléments ajoutés peuvent additionner dans les états suivants :

- ✓ être en solution solide de substitution : dans ce cas les éléments d'addition (des atomes) prennent la place des atomes d'aluminium dans le réseau. Leur taille est différente de celle de l'atome d'aluminium ce qui perturbe le réseau qui devient plus difficile à déformer.
- ✓ former des précipités hors solution solide : cohérents ou incohérents avec la matrice d'aluminium. Aussi, l'effet provoqué est la difficulté de déformation du réseau.

On peut distinguer deux grandes classes des alliages d'aluminium :

- les alliages de déformation (écrouis) : produits obtenus par des procédés de déformation plastique à chaud ou à froid tels que le filage, le laminage
- les alliages de fonderie (moulage) : obtenus par fonderie seulement écrouis.

---

### I.3. Désignations numérique et chimique des alliages d'aluminium :

La désignation permet l'utilisateur de renseigner sur les teneurs des éléments constituant l'alliage et les différents traitements métallurgiques qui a le subir.

Selon les normes des désignations numérique et chimique des alliages d'aluminium, les alliages d'aluminium sont classés en deux grandes parties :

- désignation des alliages corroyés : qui est pour les alliages obtenus par des procédés de déformation plastique à chaud ou à froid tels que le filage, le laminage.
- désignation des alliages de moulage : est pour les alliages obtenus par fonderie seulement

#### I.3.1. Désignations des alliages corroyés :

##### I.3.1.1. Désignation numérique :

Les alliages d'aluminium pour carroyage sont communément classés en différents familles selon l'élément principal d'addition. Dans chaque famille, les différents alliages ont des caractères communs mais ont aussi chacun leur propre personnalité.

Ils sont référencés par une désignation de quatre chiffres. Cette désignation est conforme aux directives de l'Aluminium Association (Washington DC 20006, USA). Les quatre chiffres sont parfois précédés par les lettres AA (exemple : AA 6061), acronyme de « Aluminium Association ». Les quatre chiffres sont parfois suivis par une lettre qui indique une variante nationale d'une composition existante[17-22] .

Cette désignation a été reprise en Europe par la norme EN 573-3 en ajoutant au quarte chiffres les préfixes EN, la lettre A (signifier l'aluminium), la lettre W (wrought : mot anglais signifiant corroyage) et un tiret(-). En général désignation numérique des alliages de carroyage est simplifiée seulement en quatre chiffres qui représenter les éléments de la composition chimique d'alliage, ils sont désignés de 1000 à 8000, d'où le premier chiffre étant associé à un élément d'alliage, comme on peut le voir dans le Tableau I.1 [13].

**Tableau. I.1** : Désignations et teneur en masse des alliages de corroyage[16-22]

Famille	Durcissement par écrouissage				Durcissement structural			
	1000	3000	5000	8000	2000	4000	6000	7000
Eléments d'alliage	aucun	Mn	Mg	Si+Fe	Cu	Si	Mg+Si	Zn+Mg
Teneur en masse (%)	0	0,5-1,5	0,5-5	Si: 03-1 Fe: 0,6-2	2-6	0,8-1,7	Mg : 0,5-1,5 Si: 0,5-1,5	Zn : 5-7 Mg : 1-2

➤ le premier chiffre désigne la famille d'alliage comme la suite :

-Aluminium sans élément d'addition : (série 1000)

.-Aluminium + cuivre : (série 2000)

.-Aluminium + manganèse : (série 3000).

-Aluminium + silicium (alliages de moulage) : (série 4000).

-Aluminium + magnésium : (série 5000).

-Aluminium + magnésium + silicium : (série 6000).

-Aluminium + zinc + magnésium :( série 7000)

-Autres alliages d'aluminium : (série 8000)

- ✓ Le deuxième chiffre : pour famille d'aluminium non allie (1000) indique les limites de certaines impuretés, mais pour les autres familles représente les modifications successives de l'alliage
- ✓ Le troisième chiffre : indique pour la famille 1000, le pourcentage d'aluminium au-delà de 99% et pour les autres familles, l'identification de l'alliage.
- ✓ Le quatrième chiffre indique comme le troisième

Nota1 : dans cette désignation, la seule exception est la série 1000, ces deux derniers chiffres y indiquant le pourcentage d'aluminium (exemple : 1050 qui comporte au minimum 99,50% d'aluminium).

---

Nota2 : Parmi les familles d'alliages d'aluminium de corroyage, trois sont à durcissement structural : les séries 2000, 6000 et 7000, les autres sont à durcissement par écrouissage : les série 1000, 3000, 5000, en ce sens leurs propriétés mécaniques dépendent de la gamme de fabrication

Nota3 : la lettre A peut accompagner la désignation numérique (ex. : 2017 A) ; elle représente une composition légèrement différente de la composition de base.

### **I.3.1.2. Désignation symbolique :**

#### **I.3.1.2.1. Désignation ISO :**

La désignation iso est employée pour compléter la désignation numérique, elle est représentée par des symboles chimiques dite souvent ISO (suivant ISO 209-1 : aluminium et alliages d'aluminium corroyés - Composition chimique et formes des produits. Partie 1 : composition chimique). Par exemple : Al Cu4 Mg Si

#### **I.3.1.2.2. Désignation alphanumérique européenne :**

C'est une norme européenne décrit des désignations très proches des appellations de type ISO. Cette norme porte la référence EN 573-2 (Aluminium et alliages d'aluminium - Composition chimique et forme des produits corroyés - Partie 2 : système de désignation fondé sur les symboles chimiques) [13,16-22]. En principe, cette appellation ne doit pas être utilisée seule mais doit être mise derrière l'appellation numérique, entre crochets. Exemples : EN AW-6060 [Al Mg Si], EN AW-7075 [Al Zn5, 5MgCu], EN AW-1199 [Al 99,99]

### **I.3.1.3. Correspondance entre les désignations normalisées**

La tendance mondiale actuelle est d'utiliser la désignation internationale de l'Aluminium Association (désignation retenue entre autres par la France, les États-Unis, la Grande-Bretagne, le Canada, le Japon) : désignation numérique qui remplace une désignation alphanumérique bien souvent encore très utilisée dans la pratique.

### I.3.2. Désignations des alliages de moulage :

#### I.3.2.1. Désignation numérique :

La désignation numérique des alliages de moulage en norme européenne NF EN 1780-1, est composée d'ensemble de cinq chiffres précédés par : le préfixe (EN) suivi d'un espace, la lettre (A) qui indiquant l'aluminium, la lettre (C) qui indiquant les produits moulés et un tiret(-). Dans les faits, très souvent, elle est simplifiée seulement en cinq chiffres qui représentent les éléments de la composition chimique d'alliage, [13] dont :

Le premier chiffre indique l'élément d'addition principal de l'alliage :

- Aluminium + cuivre : (série des 20000)
- Aluminium + silicium : (série des 40000)
- Aluminium + magnésium : (série des 50000)
- Aluminium + zinc : (série des 70000)

Le deuxième chiffre indique le groupe de l'alliage, il présente un ensemble de caractéristiques mécaniques et/ou physiques similaires. Les trois chiffres suivant indiquent une variante deux alliages, dans des proportions similaires). Les trois chiffres suivant sont des numéros d'ordre et servent à identifier la composition chimique de l'alliage.(exemple : 43100 comporte 0,10 % de cuivre et le 43200 plus pur comporte 0,35% de cuivre, les proportions de zinc et nickel, de plomb et de titane varient aussi entre ces

**Tableau. (I.2) :** comparaison entre les types d'alliage d'aluminium [16-22]

Série d'aluminium de fonderie	Série d'aluminium corroyé
1xx.x Aluminium pur (>99,0%)	1xxx Aluminium pur (>99,0%) E
2xx.x Cu (4% à 4,6 %) TT	2xxx Cu (1,9% à 6,8 %) TT
3xx.x Si (5% à 17 %) +Cu et/ou Mg(TT)	3xxx Mn (0,3% à 1,5%) E
4xx.x Si (5% à 12 %)	4xxx Si (3,6% à 13,5%) E
5xx.x Mg (4% à 10 %)	5xxx Mg (0,5% à 5,5%) E
6xxx Mg (0,4%...1,5%)	6xxx Si (0,2%...1,7 %) TT
7xx.x Zn (6,2% à 7,5%) TT	7xxx Zn (1 % à 8,2%) TT
8xx.x Sn	8xxx Autre

---

### I.3.2.2. Désignation symbolique :

C'est une désignation chimique, il s'agit d'une désignation utilisant les symboles chimiques (suivant la norme européenne EN 1780-2 : Aluminium et alliages d'aluminium - Système de désignation applicable aux lingots pour refusions en aluminium allié, aux alliages-mères et aux produits moulés - Partie 2 : système de désignation basé sur les symboles chimiques.).

Elle comporte les éléments suivants :

- le préfixe (EN) suivi d'un espace
- la lettre (A) indique l'aluminium
- la lettre (C) indique les produits moulés
- un tiret (-)
- Les symboles chimiques des éléments d'addition, successivement suivis de leur teneur dans l'ordre décroissant de celle-ci. Par exemple : EN AC-AlCu4MgTi : c'est désignation d'un alliage d'aluminium de 4% de cuivre avec des traces de manganèse et de titane.

### I.4. Désignations des états métallurgiques :

Selon la normalisation AFNOR (NF A 02-006 de novembre 1985) on distingue deux modes de désignation, selon le symbole des traitements métallurgiques (thermiques et/ou mécaniques) et l'indice de résistance.

#### I.4.1. Symboles des traitements métallurgiques :

Cette désignation est ajoutée aux celle de numérique, elle est composée de groupe des lettres (F, O, H, T, W) indiquent l'état métallurgique de base suivi parfois par un ou plusieurs chiffres indiquent le moyen principal d'obtention. Elle représente le déroulement de traitements utilisés pour obtenir les différents états métallurgiques d'aluminium et ses alliages .

##### I.4.1.1. L'état brut(F):

L' état métallurgique brut de fabrication des produits réalisés par déformation plastique sans que soient particulièrement maîtrisés les taux de durcissement ou d'adoucissement par déformation ou par traitement thermique éventuel . Il est symbolisé par la lettre, F et n'est pas suivi d'aucun chiffre

**I.4.1.2. L'état recuit(O):**

L'état métallurgique recuit ou recristallisation, c'est l'état des produits obtenus par traitement thermique dit recuit, il est indiqué par la lettre, O et n'est pas subdivisé.

**I.4.1.3. L'état trempé (W):**

L'état trempé représente l'état métallurgique des produits obtenus par mis en solution trempé, son symbole est la lettre W. Elle n'est pas subdivisée.

**I.4.1.4. L'état écroui(H) :**

L'état écroui représente l'état des produits durcis par déformation, avec ou sans maintien ultérieur à une température suffisante pour provoquer un adoucissement partiel du métal. Son symbole est la lettre H. La désignation des états métallurgiques des alliages d'aluminium à durcissement par écrouissage peut subdiviser comme la suite :

--Le premier chiffre après la lettre H symbolise le moyen essentiel d'obtention des alliages d'aluminium tel que ; H1XX, indique l'état écroui seulement (écrouissage), H2XX, c'est l'état d'écrouissage puis restauration et H3XX, représente l'écrouissage puis stabilisation.

--Le deuxième chiffre après la lettre H représente le niveau de dureté du produit, il est de 1 à 9

--Le troisième chiffre est ajouté pour des cas spéciaux

**I.4.1.5. L'Etat durci(T):**

Dans l'état de durcissement par traitement thermique (durcissement structurale), les traitements thermiques considérés sont des combinaisons de tout ou partie des traitements de mise en solution, trempe, maturation, revenu avec application éventuelle de déformations plastiques. Il est symbolisé par la lettre T. Le premier chiffre (1 à10) suivant la lettre T sert à identifier les séquences des traitements thermiques de base du durcissement structural, alors les désignations des états métallurgiques des alliages d'aluminium à durcissement structural (états T) sont subdivisées ci-après [16-22] :

- T1, désigne les produits refroidis depuis la température élevée de mise en forme et muris dans des conditions stables

- 
- T2 : désigne les produits refroidis depuis la température élevée de mise en forme, écrouis à froid et muris dans des conditions stables
  - T3 ; c'est la désignation des produits mis en solution, écrouis et muris dans des conditions stables
  - T4, cette désignation est employée aux produits mis en solution et muris dans des conditions stables
  - T5 : c'est la désignation appliquée à des produits refroidis depuis la température élevée de mise en forme par filage ou autre et revenus
  - T6 : cette désignation indique les produits mis en solution, trempés et revenus
  - T7 : cette désignation est utilisée aux produits mis en solution, trempés et sur revenus
  - T8: cette désignation est utilisée aux produits mis en solution, écrouis et revenus
  - T9: cette désignation est utilisée aux produits mis en solution, revenus et écrouis
  - T10 : cette désignation est utilisée aux produits refroidis depuis la température élevée de mise en forme, écrouis et revenus

#### **I.4.2. Indice de résistance :**

La désignation selon l'indice de résistance s'exprime par la lettre R suivie de 1/10 de la valeur expérimentale de la résistance minimale à la traction exprimée en MPa (ou N/mm<sup>2</sup>).

Exemple: 6060-R 19, c'est l'alliage 6060 qui présente une résistance à la rupture par traction supérieure ou égale à 190 MPa.

#### **I. 5. Les alliages d'aluminium de série 6000 :**

Les alliages de la série 6000 sont les alliages aluminium-magnésium-silicium à durcissement structural, ils se différencient par leurs teneurs en Mg (elle peut varier entre 0,3 et 1,5 %), en Si (elle peut varier de 0,3 à 1,4 %) et par la présence d'additions secondaires (Mn, Cr, Cu, Pb, Bi...)[14]. Ils ont une grande importance dans l'industrie, car ils représentent d'environ de 80 % des alliages d'aluminium utilisés dans le monde de la fabrication des profilés. En générale, ils présentent néanmoins les propriétés ci-après :

---

une très bonne aptitude à la déformation à chaud par laminage et surtout par filage et matriçage ;

- ✓ un bon comportement aux basses ou très basses températures mais résistance à chaud limitée à partir de 150° à 200°c suivant la durée du maintien à chaud
- ✓ la possibilité d'obtenir de beaux états de surface dès la sortie de la presse à filer, états de surface qui peuvent être améliorés par brillantage et anodisation ;
- ✓ une bonne aptitude au soudage
- ✓ une très bonne résistance à la corrosion pouvant être renforcée par des traitements d'anodisation [14-22] .

Alors, les séries 6000 sont polyvalentes, therm durcissables, hautement malléables, soudables et possèdent une bonne résistance mécanique ainsi qu'une bonne résistance à la corrosion. Les produits d'extrusion des séries 6000 sont le premier choix pour les applications architecturales et structurelles. L'alliage 6063 est utilisé pour les applications architecturales puisqu'il est facilement extrudable.

### **I. 5.1. L'alliage d'aluminium 6063 :**

L'alliage de la série **6063** est un alliage d'aluminium de carroyage, il a une très bonne aptitude à la transformation à chaud par filage et il a bel aspect après anodisation. Il est utilisé dans les domaines : Menuiserie métallique, Articles de ménages, décoration et Panneaux de signalisation.

Il est utilisé à la fabrication des produits filés : barres, tubes...etc. Ainsi il est très utile à la réalisation des nombreux types de profilés destinés à la menuiserie métallique.

#### **I.5.1.1. Caractéristiques générale d'alliage 6063 :**

Puisque le produit 6063 est de la famille d'alliage d'aluminium sérié 6000, alors il a des propriétés de celle-ci de l'alliage (aluminium-magnésium-silicium). Il est utilisé dans la menuiserie métallique [15]. En générale, cet alliage est connu par une excellence malléabilité, une résistance moyenne, une bonne résistance à la corrosion etc....

On peut regrouper les propriétés les plus important qui caractérisant l'alliage d'aluminium 6063, par la suite :

**I.5.1.1.1. Propriétés physiques :**

Parmi les propriétés physiques d'alliage d'aluminium 6063, en citant [15] :

- ✓ La densité à la température ambiante vaut :  $2,7 \text{ g/cm}^3$
- ✓ La température de fusion vaut :  $600^\circ\text{C}$
- ✓ Module d'élasticité à la température ambiante vaut :  $69500 \text{ N/mm}^2$
- ✓ Résistivité (à  $20^\circ\text{C}$ ) vaut :  $3,5 \mu\Omega \text{ cm}$
- ✓ Conductivité thermique :  $200 \text{ W/m.K}$

**I.5.1.1.2. Propriétés technologiques :**

En général, l'alliage 6063 présente une bonne finition de surface, une résistance élevée à la corrosion, convient facilement au soudage et peut être facilement anodisé [14]

**I.5.1.1.3. Composition chimique :**

Le pourcentage de Masse des éléments minéraux dominants qui ajoutés à l'aluminium pour construire l'alliage 6063, sont comprises entre : 0,10 % du cuivre et une valeur tolérée entre : 0,45 et 0,9 % du Magnésium. Le tableau I.3 regroupe tous les pourcentages de masse des éléments ajoutés à l'aluminium pour construire l'alliage [14-22]:

**Tableau. (I.3) :** la composition chimique approximative de l'alliage 6063[16-22]

Eléments	Cuivre Cu	Magnésium Mg	Manganèse Mn	Fer Fe	Silicium Si	Zinc Zn	Titan Ti	Chrome Cr	Autre	Aluminium Al
Pourcentage de Masse %	0,1	0.45~0.9	0,1	0,35	0.2~0.6	0,1	0,1	0,1	0,15	Reste

A red scroll graphic with a white outline, featuring a vertical strip on the left and a horizontal strip at the bottom, both with rounded ends. The scroll is partially unrolled, with the top edge curving upwards on the left and right sides.

# **Chapitre II**

**Méthode de caractérisation par  
l'essai de traction uni-axiale**

## II .Introduction

L'essai de traction est un moyen fondamental de caractérisation des matériaux. Il permet d'illustrer plusieurs lois de comportement mécaniques de différents matériaux .Donc, par l'intermédiaire de l'essai de traction, on peut déterminer où vérifies les valeurs du module d'élasticité longitudinal (E), ( le coefficient du Young), la résistance limite élastique ( $\sigma_e$ ), la résistance à la rupture ( $\sigma_r$ ),le coefficient d'allongement (A%), de la dureté de quelques matériaux etc.

Ainsi, l'essai de traction nous permet de familiariser avec les notions de tension, résistance à la traction, allongement à la rupture , déformation élastique et plastique, diagramme tension-allongement etc.

### II.1. L'essai de traction :

#### II.1-1. principe de l'essai de traction :

L'essai de traction est le moyen employé pour déterminer quelques propriétés mécaniques (le module de Young, la résistance a la limite l'allongement etc.) d'un matériau sous une sollicitation progressive à vitesse de chargement faible ou modérée[23-41].

Il se fait par l'application d'une charge croissante de l'éprouvette du matériau à étudier de forme d'un barreau cylindrique et comporte une partie centrale raccordée à chaque extrémité à deux têtes de section plus importante et qui sont fixées dans la machine de traction, et au cours de l'essai, on enregistre les valeurs des contraintes et les courbes des allongements correspondants.

Donc, notre essai de traction consiste à soumettre une éprouvette normalisée de forme cylindrique à un effort de traction jusqu'à sa rupture. L'essai est réalisé à température ambiante .Il est réalisé sur une machine hydraulique d'essai universelle WP310 qui enregistre simultanément les efforts (F) et les allongements ( $\Delta L$ ) en valeur numériques et sous forme des courbes à l'aide d'un microordinateur lie à elle.

#### II.1.2. L'éprouvette pour l'essai :

Pour rendre comparables les résultats d'essais, on a défini le nombre de promotions à respecter dans les éprouvettes d'essai de tractions. Puisque, on utilisant des éprouvettes cylindrique, on doit respecter un rapport bien précis entre la longueur de référence ( $L_0$ ) et le diamètre initial ( $d_0$ ) de la section droite de l'éprouvette.

La longueur calibrée ( $L_C$ ) de l'éprouvette est toujours supérieur à la longueur de référence

( $L_0$ ). La partie utile de l'éprouvette est terminée par deux têtes d'amarrages destinées à la fixation et ayant la longueur,  $D$  pour éviter la rupture dans les parties fixées dans la machine hydraulique à traction.

Les arrondis à l'extrémité de la longueur calibrée ( $L_C$ ) sont prévus pour éviter les concentrations de contraintes à la traction entre les deux parties de section.

La fixation de l'éprouvette est réalisée au moyen de dispositifs (les têtes de serrage à coin) assurant le centrage de la charge et évitant la flexion transversale de l'éprouvette.

L'allongement de l'éprouvette peut être mesuré en enregistrant le déplacement relatif des têtes de serrage à coin.

Généralement on prend :  $L_0 = 5d_0$  ( norme ISO 6892-1)

Sachant que la section  $S_0 = \pi.d_0^2/4$ , donc :  $d_0 = 1,13\sqrt{S_0}$

Alors, On peut exprimer la longueur de référence  $L_0$  comme suite :

On a : 
$$L_0 = 5,65\sqrt{S_0}$$

$d_0 = 6mm$  : Diamètre initiale de l'aire de la section droite de l'éprouvette

$L_0 = 30mm$  : La longueur de référence

La longueur calibrée,  $L_C$  est donnée par la formule suivante :

$$L_0 + 2 d_0 \geq L_C \geq L_0 + 0,5 d_0$$

Le diamètre de la tête d'amarrage l'éprouvette est :

$$2 d_0 \geq D \geq d_0$$

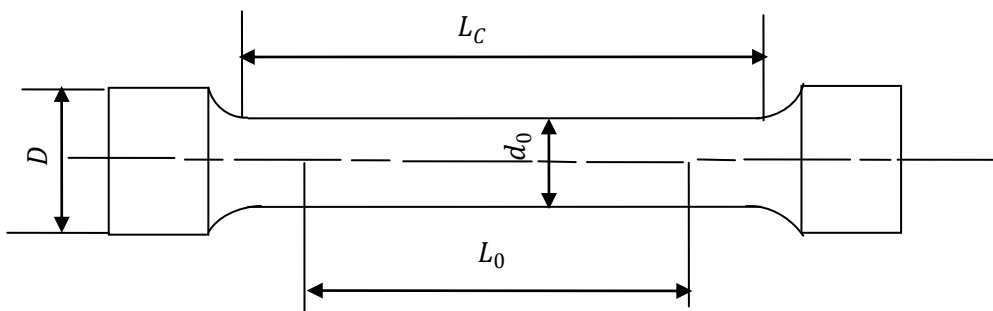
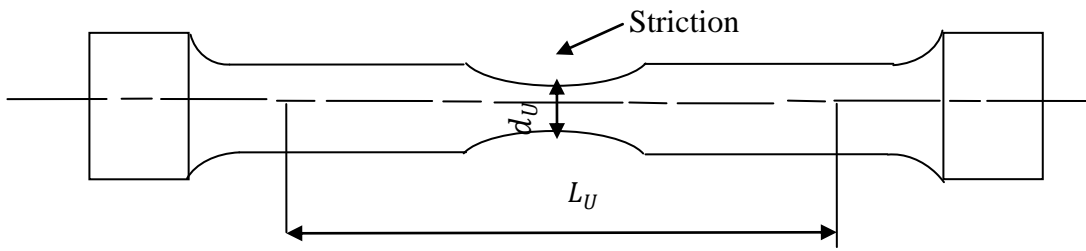


Figure (II.1) : Forme d'éprouvette cylindrique



**Figure (II.2) :** Forme d'éprouvette cylindrique après rupture

$L_U$  : Longueur ultime entre deux repères (après rupture de l'éprouvette et reconstitution de celle-ci en rapprochant soigneusement les deux fragments)

$d_U$  : Diamètre de la Section ultime (la section minimale après la rupture de l'éprouvette).

### II.1.3. Vitesses d'essai :

Elle désigne la vitesse d'éloignement de deux têtes d'amarrage, elle peut être lente et constante. Elle conduit à la rupture de l'éprouvette.

La machine enregistre une courbe et des valeurs donnant la charge de traction en fonction de déplacement des têtes d'amarrage (l'allongement de l'éprouvette).

Dans notre cas, d'où le matériau des éprouvettes utilisé dans l'essai de traction est d'aluminium, alors la vitesse de traction est inférieure ou égale à la valeur de  $0,009L_0$

$$(V \leq 0,009L_0 \text{ mm/min}), \text{ ou } V \leq 10 \text{ N/mm}^2/\text{sec}$$

$$\text{Donc on a : } V \leq 0,27 \text{ mm/mi}$$

### II.1.4. Déroulement d'un essai de traction :

Nos essais de traction sont réglementés par la norme EN 10002-1. Chaque essai de traction consiste à exercer, sur une éprouvette normalisée cylindrique  $d = 6 \geq 4 \text{ mm}$  lisse et bien calibrée dans le matériau à tester (Figure II.2), deux actions mécaniques opposées qui vont la déformer progressivement, puis la rompre.

La traction s'exerce légèrement suivant l'axe géométrique de l'éprouvette, qui va s'allonger. A un moment donné, un endroit de la tranche médiane se ternit, l'éprouvette s'étrangle et le métal semble s'écouler à la façon d'un liquide très visqueux. C'est le phénomène de striction qui est rapidement suivi de la rupture.

Un ordinateur enregistre la courbe de traction qui mesure l'allongement de l'éprouvette en fonction de la contrainte ( $\sigma$ ). On obtient une courbe de traction (contrainte-déformation) ( $\sigma = f(\varepsilon)$ )

## II.2. Caractéristiques mécanique :

En général, l'essai de traction nous a permis de déterminer les propriétés mécaniques suivantes

### II.2.1. Limite d'élasticité (la résistance limite élastique) ( $R_e$ ) :

La limite élastique ( $R_e$ ) indique la contrainte à partir de laquelle les allongements deviennent permanents et qui correspond sensiblement au seuil à partir duquel il n'y a plus de proportionnalité entre contrainte et allongement. Dans le cas d'aluminium, la limite d'élasticité n'est pas apparente, alors par convention, la limite élastique apparente, ( $R_{p0,2}$  ou  $R_{e0,2}$ ) est définie comme étant la contrainte correspondant à un allongement permanente égale à 0,2 % de la longueur initiale de l'éprouvette ( $L_0$ ).

On définit une résistance limite élastique comme étant le rapport de  $F_e$  par l'aire la section utile  $S_0$  de l'éprouvette [23-36]

$$R_e = \frac{F_e}{S_0}$$

### II.2.2. Résistance à la rupture ( $R_r$ ) ou (à la traction $R_m$ ) :

La résistance à la rupture est la charge maximale appliquée à la section d'éprouvette sollicitée en traction pure sans rupture, elle est définie par :

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

### II.2.3. Allongement (A%) :

L'allongement (A%) indique l'aptitude d'un matériau à se déformer plastiquement sans se rompre, donc l'allongement est un indicateur de la ductilité du matériau. Elle est caractérisée par l'allongement pour cent A% (plus A% est grand, plus le matériau est ductile.) [37-41]

- -si  $A\% > 5\%$  le matériau est considéré comme ductile.
- - si  $A\% < 5\%$  le matériau est considéré comme fragile «cassant».

On définit un indicateur sur la ductilité du matériau en calculant le coefficient d'allongement noté (A%)

$$A\% = \frac{L_U - L_0}{L_0} \times 100$$

$L_u$  : longueur ultime (mesurée en raboutant les deux morceaux de l'éprouvette cassée).

$L_0$  : longueur initiale ou référence (la distance entre deux repères tracés sur l'éprouvette avant l'essai).

**Remarque :** La ductilité est une propriété déterminante pour les matériaux devant être déformés à froid (emboutissage, pliage...).

#### II.2.4. Coefficient de striction ( $Z\%$ ) :

Le coefficient de striction ( $Z\%$ ) est aussi considéré comme un autre indicateur de ductilité du matériau.

En calculant le coefficient de striction noté  $Z\%$ .

$$Z\% = \frac{(S_0 - S_U)100}{S_0}$$

$S_0$ : Section initiale (calculée en  $mm^2$  à partir du diamètre «  $d_0$  » mesuré entre deux repères tracés sur l'éprouvette avant l'essai).

$S_U$ : Section ultime (calculée en  $mm^2$  à partir du diamètre «  $d_U$  » mesuré à l'endroit de la cassure de l'éprouvette cassée).

#### II.2.5. Module d'élasticité longitudinale (Module d'Young) (E) :

Le module d'élasticité longitudinale (E) est la pente de la courbe contrainte - déformation dans le domaine élastique en traction pure, son unité est le pascal, il est défini par la loi de Hooke (l'effort F de traction est proportionnel à l'allongement  $\Delta L$ ) [23-38] :

$$E = \frac{F_0 L_0}{S_0 \Delta L} = \frac{\sigma}{e}$$

Avec :

$\Delta L = l - L_0$  : L'allongement

$\sigma = \frac{F_0}{S_0}$  : La contrainte

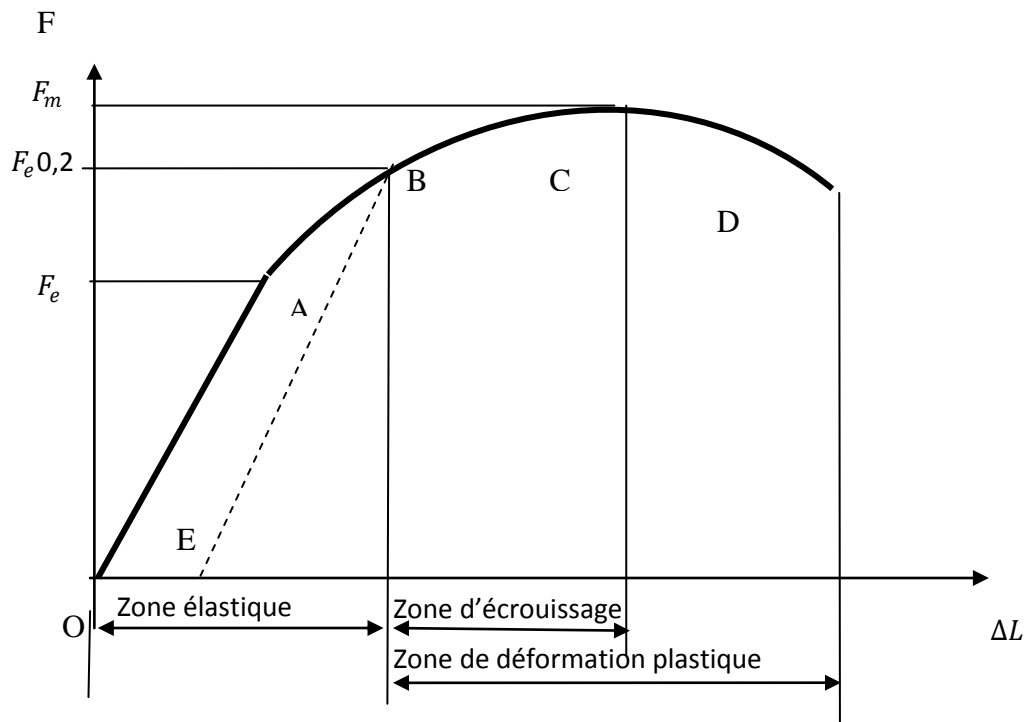
$e = \frac{\Delta L}{L_0}$  : La déformation

## II.2.6. Courbes de traction :

### II.2.6.1. Courbe conventionnelle :

La courbe conventionnelle de traction est la courbe obtenue à partir de l'enregistrement ( $F - \Delta L$ ) effectué en cours d'essai en rapportant la force à la section initiale pour raisonner en termes de contrainte  $R = \frac{F}{S_0}$ , et en rapportant l'allongement à la longueur initiale pour raisonner en termes d'allongement relatif  $e = \frac{\Delta L}{L_0}$ .

On obtient ainsi une courbe intrinsèque au matériau (figure 4), indépendante des dimensions de l'éprouvette utilisée.



**Figure (IV.4) :** Allure de la courbe conventionnelle de traction

Elle présente en abscisses et en ordonnées, la résistance unitaire et l'allongement provoqué par la charge, aux valeurs  $S_0$  et  $L_0$  de l'éprouvette.

De la courbe conventionnelle de traction, la zone linéaire OA représente le domaine élastique, dans cette zone si en diminuant la charge  $F_e$ , on revient en point O suivant le même chemin. Mais, si on diminue la charge  $F_e$ , en un point B situé entre A et C, on revient en E suivant une droite parallèle au segment OA : il subsiste une déformation rémanente OE.

A partir du point B, on augmente à la charge jusque à la valeur,  $F_m$  au point C, C'est le cas du phénomène d'écroutissage. Au point C, apparition de la striction (diminution visible d'une section) En D, la rupture de l'éprouvette.

### II.2.6.2. Courbe rationnelle (vraie) :

En réel, la section droite de l'éprouvette change instantanément. On peut tracer la courbe de traction rationnelle, qui utilise les sections et déformations réelles à chaque instant et met en évidence le durcissement du matériau (écroutissage) au cours de la déformation plastique.

La courbe rationnelle (qui tient compte de la variation de la section au cours de l'essai) porte en abscisses la déformation réelle  $\varepsilon_r$  et en ordonnées la contrainte vraie  $\sigma$

#### 1-Relation entre $\sigma_r$ , R et e :

On admet en première approximation, que la déformation plastique n'entraîne pas de variation de volume.

Ce qui fait que :  $L_0 S_0 = L S = S(L_0 + \Delta L)$

$$\text{Alors } S = S_0 \left( \frac{L_0}{L_0 + \Delta L} \right) = \frac{S_0}{1+e}$$

$$\text{Or: } \sigma_r = \frac{F}{S} = \frac{F(1+e)}{S_0} = R(e + 1)$$

Ou

$e$  : Déformation conventionnelle

$\sigma_r$  : Contrainte réelle.

R : Contrainte conventionnelle.

#### 2- Relation entre $\varepsilon_r$ et e :

L'incrément de déformation s'écrit :

$$d\varepsilon_r = \frac{dL}{L} \rightarrow \varepsilon_r = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = \ln(1 + e)$$

Avec :

$\varepsilon_r$  : Déformation rationnelle.

$e$  : Déformation conventionnelle

#### 3- Domaine élastique ( $\sigma < R_e$ ) :

Dans le domaine élastique la relation entre la contrainte et la déformation est linéaire. La déformation est réversible c.a.d , si on enlève la charge, l'éprouvette revient à sa longueur initiale.

Le domaine élastique linéaire est décrit par la loi de Hooke suivante :

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Avec

$E$  : Le module d'Young (module d'élasticité longitudinale).

$\sigma$  : La contrainte

$\varepsilon$  : La déformation

#### 4- Domaine plastique homogène :

Dans le domaine plastique homogène la déformation est permanente et la limite d'élasticité augmente c.a.d si on enlève la charge, l'éprouvette ne revient pas à sa longueur initiale.

Les lois simples les plus courantes décrivant le comportement plastiques sont :

- Loi de Hollomann :  $\sigma_r = K(\varepsilon_r^n)$
- Loi de Ludwick :  $\sigma_r = \sigma_0 + K^*(\varepsilon_r^m)$

Avec  $\sigma_r = K^*$ ,  $K$  et  $\sigma_0$  des constantes,  $n$  et  $m$  sont les coefficients d'écrouissage. Le coefficient d'écrouissage peut être déterminé au point c sur la courbe de traction.

En partant de la conservation du volume on trouve :

Puisque,  $V = S \cdot L = cte$ , donc on peut écrire

$$dV = S \cdot dL + L \cdot dS = 0.$$

$$d\varepsilon_r = \frac{dL}{L} = -\frac{dS}{S}, \text{ alors } \int_0^\varepsilon d\varepsilon_r = -\int_{S_0}^S \frac{dS}{S} \rightarrow S = S_0 \cdot e^{-\varepsilon_r}$$

$$\text{Or } F = \sigma_r \cdot S = S_0 \cdot \sigma_r \cdot e^{-\varepsilon_r}$$

Puisque,  $F$  est une fonction d'état donc on peut la différencier comme suit :  $dF = \frac{\partial F}{\partial \sigma_r} d\sigma_r +$

$$\frac{\partial F}{\partial \varepsilon_r} d\varepsilon_r$$

$dF$ , s'annule au point maximum (C)

Donc d'après l'expression de  $F$  on trouve

$$dF = S_0 \cdot e^{-\varepsilon_r} d\sigma_r - S_0 \cdot \sigma_r \cdot e^{-\varepsilon_r} d\varepsilon_r = 0$$

$$\text{Alors : } \left( \frac{d\sigma_r}{d\varepsilon_r} \right)_{\varepsilon_r = \varepsilon_s} = \sigma_r = K(\varepsilon_s^n)$$

D'ou  $\varepsilon_s$  la déformation au point d'apparition de la striction (le point C)

Puis, on peut déduire que :

$$nK(\varepsilon_s^{n-1}) = K(\varepsilon_s^n) \rightarrow n = \varepsilon$$

Alors :  $n = \varepsilon_s$

Puisque  $S = S_0 \cdot e^{-\varepsilon_r}$  donc  $S_s = S_0 \cdot e^{-\varepsilon_s}$

Donc, on peut conclure :

- n, représente la déformation à l'apparition de la striction.
- n, est aussi la limite des allongements permanents répartis.

**Remarque** : dans la bibliographie, l'ordre de grandeur de n est supérieur à 0,1. Il est grand plus le matériau est ductile.

### 5- Striction :

Le domaine de la striction est considéré à partir que la section d'une partie de l'éprouvette se réduit considérablement jusqu'à la rupture

A red scroll graphic with a white outline, featuring a vertical strip on the left and a horizontal strip on the top right, both with rounded ends and a white scroll-like detail. The text is centered on the horizontal strip.

# **Chapitre III**

**Techniques expérimentales**

### III . Introduction :

L'essai de traction est un essai destructif, son exécution est facile. Il est le plus fondamental pour la caractérisation des matériaux. Il sert à déterminer les caractéristiques mécaniques suivantes : le module d'élasticité, le coefficient de Poisson, la limite d'élasticité, la résistance à la rupture, l'allongement après rupture et le coefficient de striction.

Dans notre cas, le but de l'évaluation des caractéristiques d'un matériau en aluminium par l'essai de traction est le contrôle périodique qui nous servons à surveiller la qualité d'aluminium et son alliage 6063.

Le principe de l'essai de traction consiste à exécuter sur une éprouvette de matériaux étudiés (de formes cylindriques) des forces croissantes qui vont la déformer progressivement puis la rompre.

Dans ce travail, nous avons caractérisé l'aluminium et ses alliages par l'intermédiaire de l'essai de traction réalisée grâce à la machine hydraulique d'essai universelle WP310

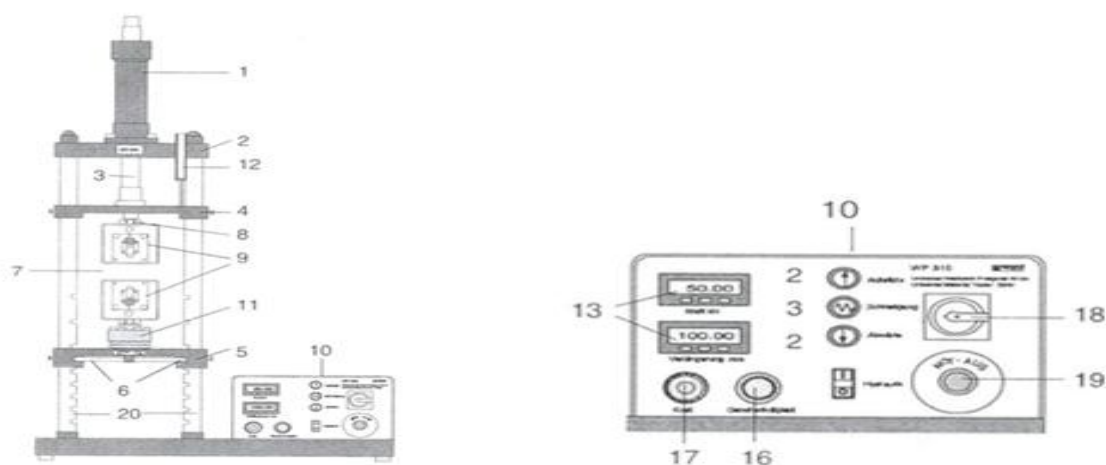
Nous donnons ici tout d'abord la description générale d'une machine de traction, puis des éléments concernant les éprouvettes, les mesures de déformation et de charge appliquée

### III.1. Description générale de la machine de traction :

La machine hydraulique d'essai universelle WP310 permet la réalisation d'essai de traction. Grâce à la clarté du montage et à la facilité d'utilisation, nous pouvons observer tous les détails et les phases de l'essai. Des données techniques des matériaux et des lois fondamentales peuvent être vérifiées à l'aide de valeurs de mesure que l'on a déterminées soi-même.

Cette machine est un appareil d'essai vertical à colonne à entraînement hydraulique avec génératrice directe d'énergie. La force de traction maximale peut atteindre 50 KN dans les deux directions.

Cette machine est constituée d'un vérin hydraulique à double effet (1) se trouve sur la traverse (2). La tige de piston (3) agit sur la traverse supérieure (4). La traverse inférieure (5) peut être déplacée en plusieurs positions pour le réglage de la hauteur. elle est fixée à l'aide de rainures et languettes (6) aux deux colonnes (20). Entre la traverse inférieure et la traverse supérieure se trouve l'espace de travail (7). les logements cylindriques (8) permettent de changer les différents éléments, comme les têtes de serrage à coin (9). Les indicateurs pour la force et le déplacement, le groupe hydraulique et la commande de la machine sont logés dans la boîte (10). La mesure de force se fait via un transducteur de force (11) à la traverse inférieure. A la traverse supérieure, on mesure la course via un capteur de déplacement (12). La force et le déplacement sont affichés numériquement (13) et peuvent être envoyés à ordinateur pour exploitation via une interface série. Le mouvement de déplacement de la traverse supérieure est commandé à l'aide de boutons-poussoirs (14). Les deux directions possèdent un circuit d'avance rapide (15). La vitesse de déplacement (16) la force maximale (17) peuvent être réglées en continu. En plus de l'interrupteur principal (18), la machine WP310 possède un bouton-poussoir d'arrêt d'urgence (19).



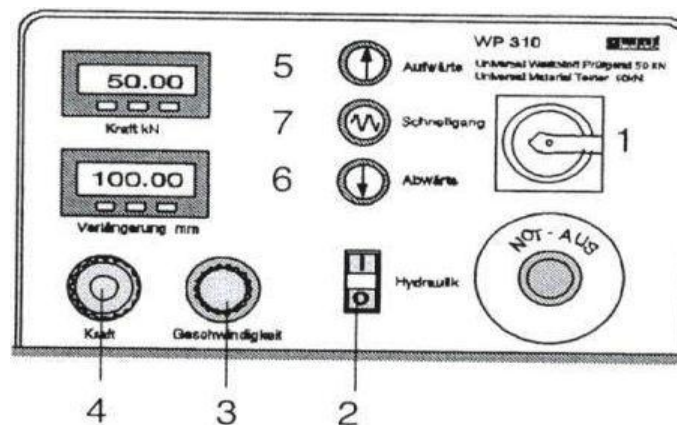
**Figure(III.1) : vue globale de la machine WP 310**

### III.1.1. Utilisation de la machine WP310 :

#### a : entraînement hydraulique :

La manipulation de la machine WP310 se fait par les étapes suivantes :

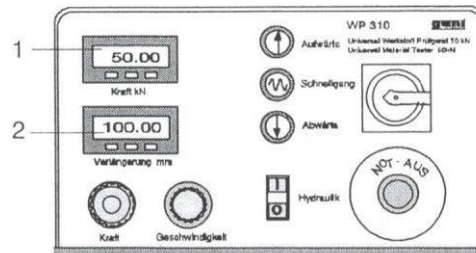
- Engrenage de la machine avec l'interrupteur principal (1)
- Engrenage de la pompe hydraulique avec l'interrupteur (2)
- Réglage de la vitesse avec le régleur de la vitesse (3)
- Réglage de la force avec le régleur de la force (4)
- Avec le bouton (5), on peut déplacer la traverse supérieure vers le haut
- Pour le mouvement rapide de la traverse, en appuyant simultanément sur la touche (5) et sur la touche (7)



**Figure(III.2) : Utilisation de la machine WP310**

#### b. Mesure de déplacement et la force :

La mesure du déplacement peut se faire de deux façons: soit en mesurant le déplacement de la traverse, soit en plaçant un dispositif de mesure sur la section utile de l'éprouvette. Dans notre cas, l'affichage de la force (1) et du déplacement (2) se fait numériquement



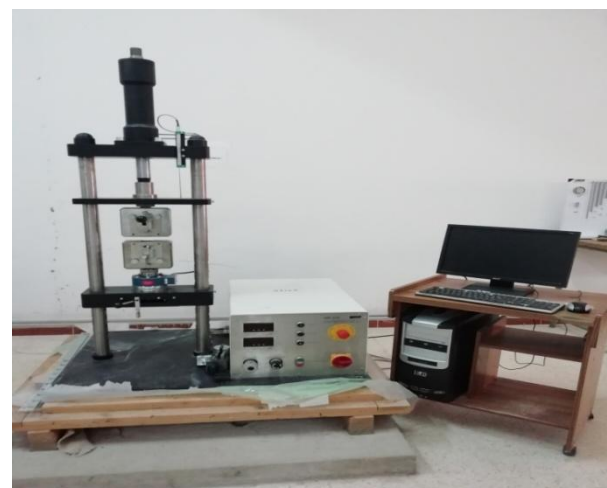
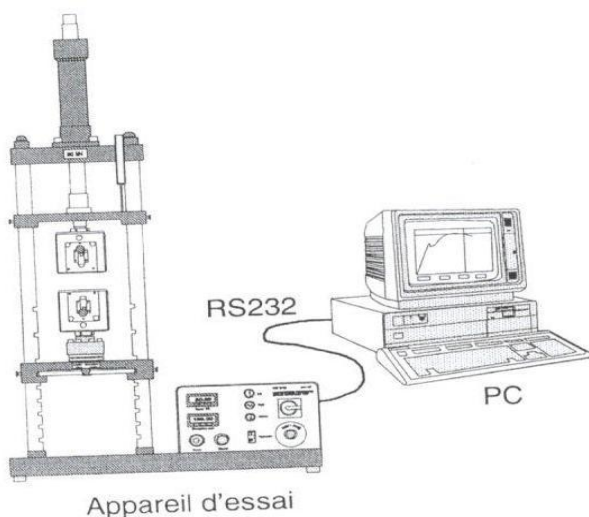
**Figure(III.3) :** Affichage de déplacement et la force

### c. Acquisition de données assistées par ordinateur :

Elle permet la saisie et l'exploitation des données de mesure avec un ordinateur. Le logiciel approprié assiste la mémorisation, l'élaboration et l'impression de diagrammes force / allongement

Le système d'acquisition de données de la machine d'essai WP 310 comprend les composants suivants :

- Capteur de déplacement électrique
- Boîte dynamométrique électrique selon le principe des jauges de contrainte
- amplificateur de mesure pour la force et le déplacement avec affichage numérique et interface série pour la communication avec l'ordinateur
- un pc et imprimante pour faire tourner le logiciel de traitement



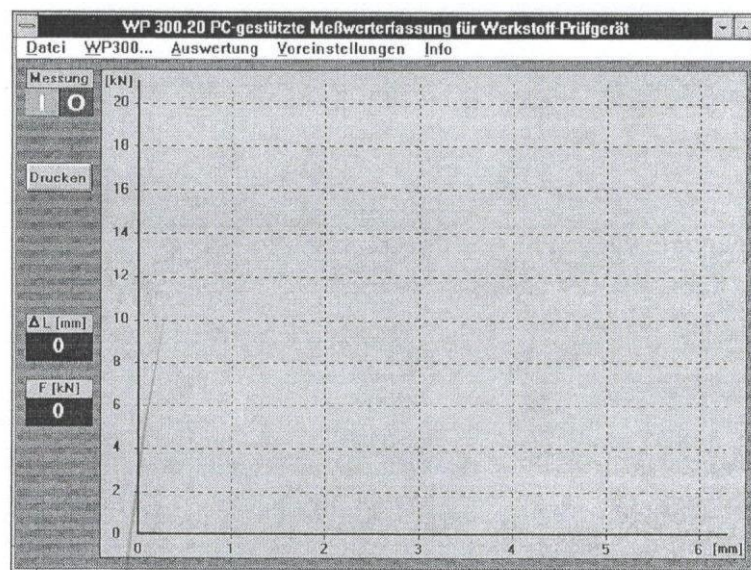
**Figure (III .4):** System d'acquisition de données de la machine d'essai WP 310

### d. Interface utilisateur :

Après le démarrage du programme, la fenêtre principale est affichée.

A partir de celle-ci, on peut exécuter les actions suivantes :

- Exécuter l'essai de traction
- Terminer l'essai
- Imprimer le contenu de l'écran
- Appeler le menu
- Déterminer une courbe



**Figure(III.5) :** Fenêtre principale

## III.2. Procédure de l'essai de traction :

Les étapes de l'essai de traction sont faites comme la suite

### III.2.1. Préparation de la machine :

Avant de faire l'essai de traction, on fait placer l'éprouvette de traction verticalement dans la tête de serrage à coin inférieur puis dans la tête supérieure et la serrer, puis en faisant l'affichage à zéro et mettant l'éprouvette sous légère précontrainte (1 kN)

### III.2.2. Réalisation de l'essai de traction :

Après placer l'éprouvette, on fait lancer la saisie des données par un clic sur le champ vert, en suite l'essai peut commencer et le diagramme force-déplacement se dessine en direct à l'écran jusqu'à la valeur de rupture de l'éprouvette. Ainsi, on peut voir l'affichage des valeurs numériques de la force et l'allongement.

### III.2.3. Enregistrement des résultats :

A la fin de l'essai et après avoir supprimé les résultats des essais précédentes, on peut enregistrer les nouveaux résultats (des valeurs numériques ou des courbes) dans des fichiers. Ainsi, On enregistre les dimensions des éprouvettes, le type de matériau et la date de déroulement de l'essai

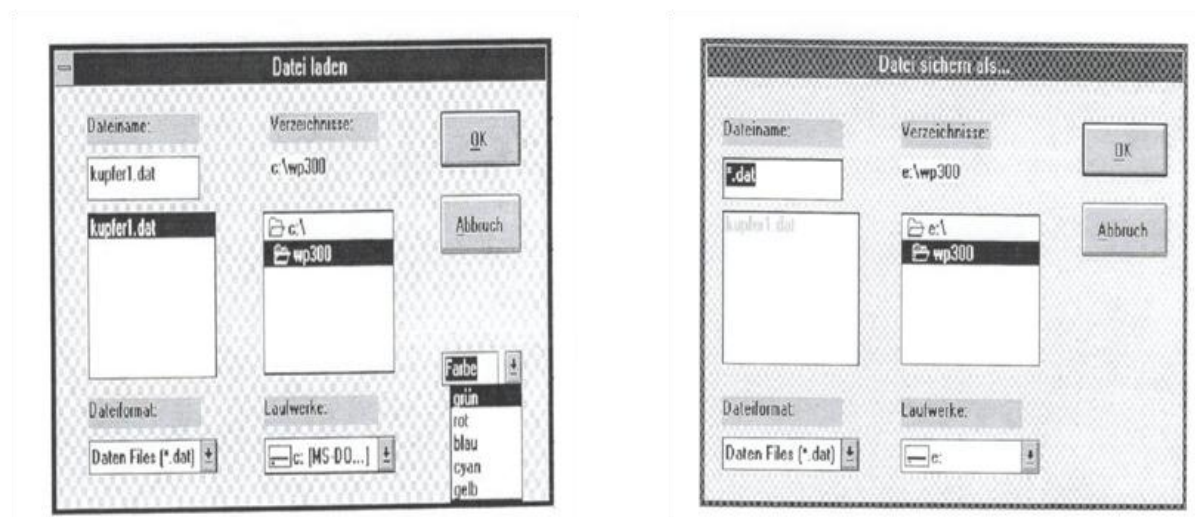


Figure (III.6) : fichier d'enregistrement des courbes

### III.2. 4. Interprétation des résultats :

Dans la phase d'interprétation on élabore et on affiche les courbes et les tableaux tension – allongement et force-allongement puis on les interprètes

### III.2. 5. Matériau utilisé :

Dans notre étude, nous avons utilisé un alliage d'aluminium de la série 6000 (l'alliage 6063) de composantes chimiques suivantes

**Tableau(III .1) : composantes chimiques d'alliage 6063**

Eléments	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Pb	Sn	Al
Teneur en masse (%)	0,43	0,163	0,0017	0,0269	0,5071	0,00688	0,00226	0,00671	0,00215	98,8786

### III.2.6. Traitement thermique Appliqués :

Les alliages d'aluminium de la série 6000. Constituent une catégorie importante d'alliages industriels à propriétés mécanique moyennes, qui sont obtenues par application de différents traitements thermiques. Ces traitements thermique jouent un rôle fondamentale dans l'amélioration des caractéristiques des notre alliage étudié (6063). Initialement, les échantillons sont soumis a un traitement d'homogénéisation, qui est un traitement comportant un chauffage de l'alliage 6063 en état brut (corroyé) à des températures relativement élevées 450°C et le maintien pendant 7 heures. Après, nous avons le suivre par des traitements thermiques comportant les trois étapes suivantes :

- Chauffage à une température 400°C dans les vitesses 20C°/min,15C°/min et10C°/min
- Temps maintien d'une demi-heure
- Trempe à huile

### III.3. L'essai de traction :

#### III.3.1. but de l'essai de traction :

Le but de notre travail est :

- De faire connaître le fonctionnement de la machine de traction hydraulique d'essai universelle WP310 et des capteurs qui y sont appliqués.
- De mesurer des courbes de traction sur des alliages d'aluminium et des aciers.
- De déterminer les résultats obtenus (la limite élastique, l'allongement à rupture etc.. )
- D'interpréter et d'estimer la précision de mesure de valeurs obtenues.

#### III.3.2. principe de l'essai de traction:

Donc, notre essai de traction consiste à soumettre une éprouvette normalisée de forme cylindrique à un effort de traction jusqu'à sa rupture. L'essai est réalisé à température ambiante .Il est réalisé sur une machine hydraulique d'essai universelle WP310 qui enregistre simultanément les efforts (F) et les allongements ( $\Delta L$ ) en valeur numériques et sous forme des courbes à l'aide d'un microordinateur lie à elle.

### III.3.3. L'éprouvette pour l'essai :

#### III.3.3.1. Epreuves :

Les éprouvettes de l'essai de traction sont de formes cylindriques de sections transversales circulaires de diamètre 6 mm et longueur 132mm.

Pour rendre comparables les résultats d'essais, on a défini le nombre de promotions à respecter dans les éprouvettes d'essai de tractions. Puisque, on utilisant des éprouvettes cylindrique, on doit respecter un rapport bien précis entre la longueur de référence ( $L_0$ ) et le diamètre initial ( $d_0$ ) de la section droite de l'éprouvette.

La fixation de l'éprouvette est réalisée au moyen de dispositifs (les têtes de serrage à coin) assurant le centrage de la charge et évitant la flexion transversale de l'éprouvette. L'allongement de l'éprouvette peut être mesuré en enregistrant le déplacement relatif des têtes de serrage à coin.

On peut exprimer la longueur de référence  $L_0$  comme suite :

$$L_0 = 5,65\sqrt{S_0}$$

Donc ,dans cas nous avons :

$d_0 = 6mm$  : Diamètre initiale de l'aire de la section droite de l'éprouvette

$L_0 = 30mm$  : La longueur de référence

#### III.3.4.Vitesses d'essai :

Elle désigne la vitesse d'éloignement de deux têtes d'amarrage, elle peut être lente et constante. Elle conduit à la rupture de l'éprouvette.

Dans notre cas, le matériau des éprouvettes utilisé dans l'essai de traction est d'aluminium, alors la vitesse de traction est inférieur ou égale à la valeur de  $0,009L_0$  ( $V \leq 0,009L_0 \text{ mm/min}$ ).

#### III.3.5. Déroulement d'un essai de traction :

Nos essais de traction sont réglementés par la norme EN 10002-1. Chaque essai de traction consiste à exercer, sur une éprouvette normalisée cylindrique lisse et bien calibrée dans le matériau à tester (Figure II.2 La traction s'exerce légèrement suivant l'axe géométrique de l'éprouvette, qui va s'allonger. A un moment donné, un endroit de la tranche médiane se ternit, l'éprouvette

s'étrangle et le métal semble s'écouler à la façon d'un liquide très visqueux. C'est le phénomène de striction qui est rapidement suivi de la rupture.

Un ordinateur enregistre la courbe de traction qui mesure l'allongement de l'éprouvette en fonction de la contrainte ( $\sigma$ ). On obtient une courbe de traction (contrainte-déformation) ( $\sigma = f(\epsilon)$ )

A red scroll graphic with a white outline, featuring a vertical strip on the left side and a small circular detail at the top right corner. The text is centered on the scroll.

# **Chapitre IV**

**Résultats et discussion**

## IV. Introduction :

L'aluminium et ses alliages sont aujourd'hui largement utilisés pour leurs propriétés fondamentaux, il convient de souligner que les traitements thermique permettent d'y ajouter et modifier des propriétés très spécifiques telles que : la résistance limite élastique ( $\sigma_e$ ), la résistance à la rupture ( $\sigma_r$ ), le coefficient d'allongement (A%), de la dureté de quelques matériaux etc.

L'objectif de notre travail réside dans la caractérisation par essai de traction uni-axiale de l'aluminium et son alliage 6063. Les caractéristiques mécaniques seront calculées selon des modèles bien définies.

### IV.1. Résultats de caractérisation de l'aluminium et l'alliage 6063:

L'essai de traction figures(IV.4, 5) sur des éprouvettes différentes(IV,1,2) nous permet de déterminer les caractéristiques mécaniques et comprendre les comportements d'aluminium et de l'alliage 6063 à l'essai de traction. De nos essais, nous avons déterminé les propriétés suivantes :



**Figure (IV.1) :** Des éprouvettes en aluminium



**Figure (IV.2) :** Des éprouvettes d'alliage d'aluminium 6063



**Figure (IV.3) :** éprouvette d'alliage d'aluminium 6063 après rupture



**Figure (IV.4) :** La machine d'essai de traction



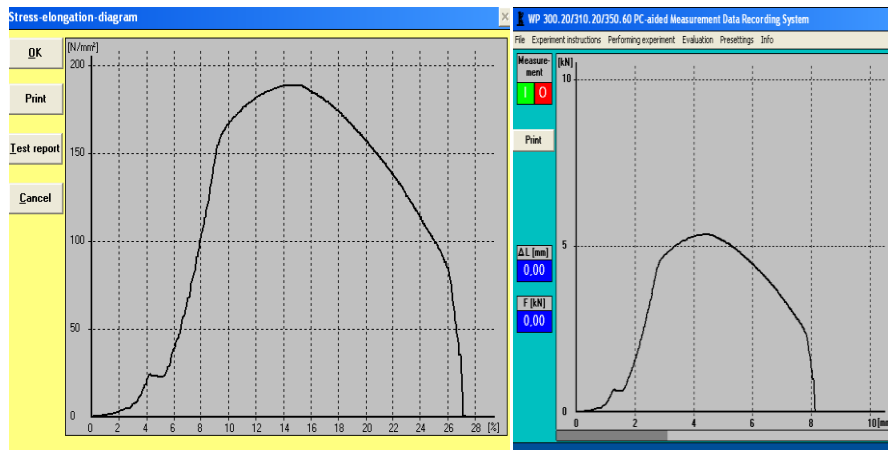
**Figure (IV.5) :** L'éprouvette dans la machine d'essai de traction

#### **IV.2.Courbes de traction :**

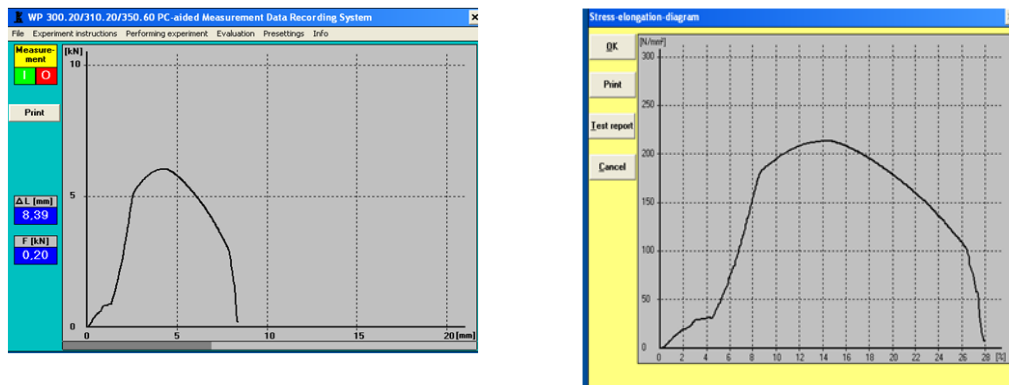
La courbe de traction est la courbe obtenue à partir de l'enregistrement ( $F - \Delta L$ ) ou ( $\sigma - A\%$ ).

Elle présente en abscisses et en ordonnées, la résistance unitaire et l'allongement provoqué par la charge, aux valeurs  $S_0$  et  $L_0$  de l'éprouvette (figures IV.6,7,8,9,10).

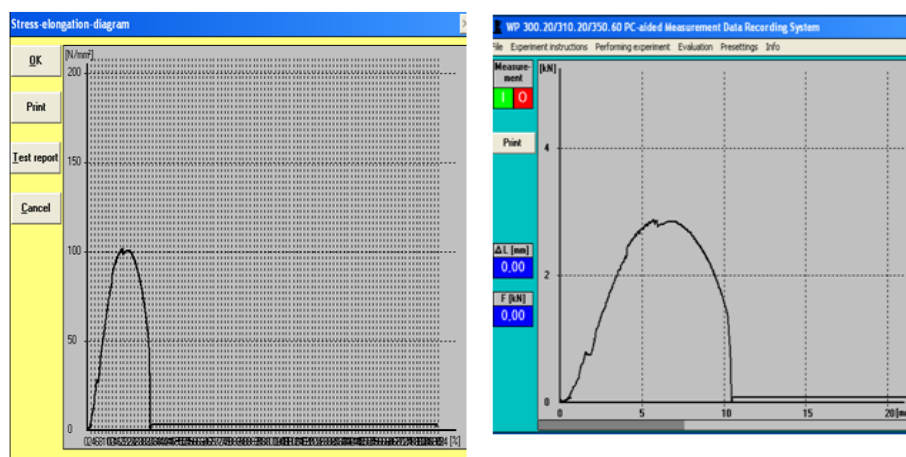
En regroupant les résultats des essais de traction d'aluminium et leur alliage 6063 ,avant et après les traitement thermique comme le suit :



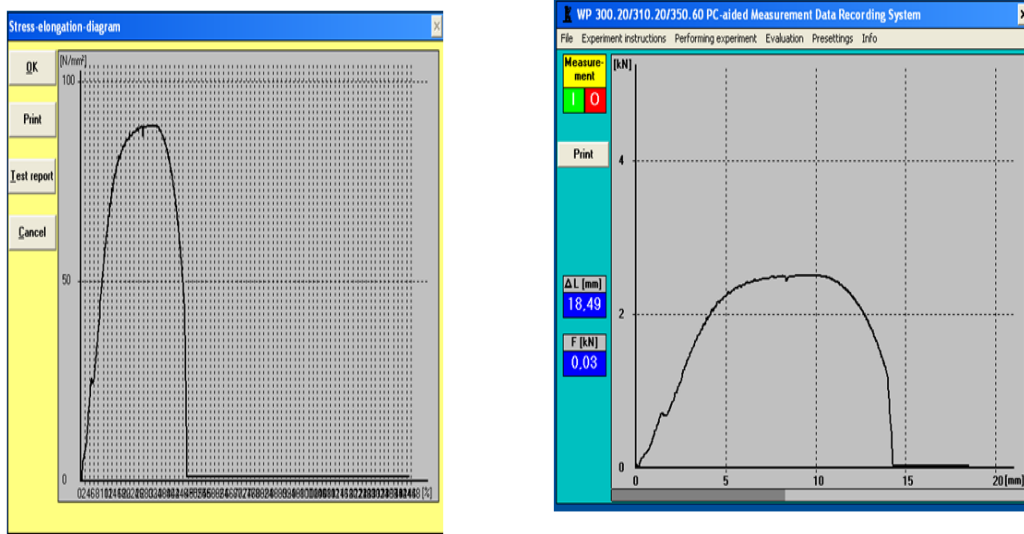
**Figure(IV.6) :** Courbes de traction d'aluminium



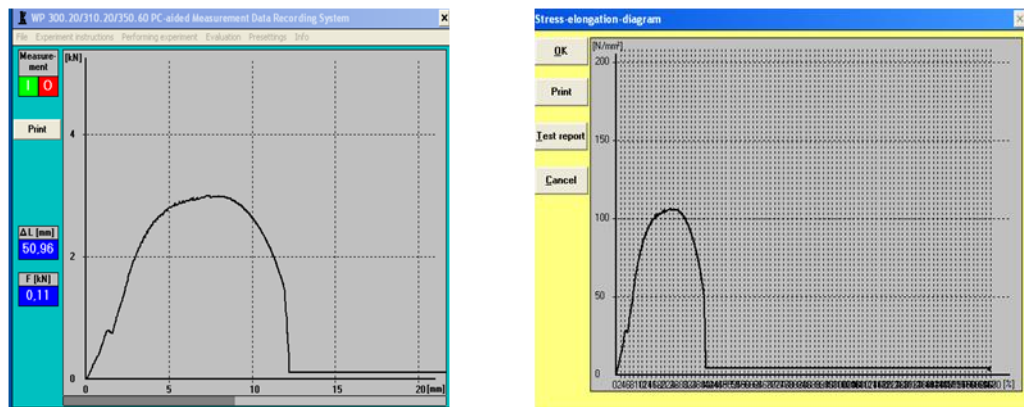
**Figure(IV.7) :** Courbes de traction d'alliage 6063 après homogénéisation



**Figure IV.8 :** Courbes d'alliage 6063 chauffé à vitesse 10C°/min



**Figure (IV.9) :** Courbes de traction d’alliage 6063 chauffé à vitesse 15C°/min



**Figure (IV.10) :** Courbes de traction d’alliage 6063 traité à vitesse 20C°/min

Des courbes de traction, on obtient :

**IV.2.1. Domaine élastique (  $\sigma < R_e$  ) :**

La zone linéaire représente le domaine élastique. Dans cette zone, la relation entre la contrainte et la déformation est linéaire. La déformation est réversible c.a.d , si on enlève la charge, l’éprouvette revient à sa longueur initiale. Le domaine élastique linéaire est décrit par la loi de Hooke suivante :

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Avec

$E$  : Le module d'Young (module d'élasticité longitudinale).

$\sigma$  : La contrainte

$\varepsilon$  : La déformation

## IV.2.2 Domaine plastique homogène :

Dans le domaine plastique homogène la déformation est permanente et la limite d'élasticité augmente c.a.d si on enlève la charge, l'éprouvette ne revient pas à sa longueur initiale.

## IV .3. Comportement mécanique :

### IV.3.1.Caractéristiques mécaniques :

En général, l'essai de traction nous a permis de déterminer les propriétés mécaniques suivantes

#### IV.3.1.1. Limite d'élasticité (la résistance limite élastique) ( $R_e$ ) :

Dans le cas d'aluminium, la résistance limite élastique n'est pas apparente, alors par convention, la limite élastique apparente, ( $R_p 0,2$  ou  $R_e 0,2$ ) est définie comme étant la contrainte correspondant à un allongement permanente égale à 0,2 % de la longueur initiale de l'éprouvette ( $L_0$ ).

#### IV.3.1. 2 . Résistance à la rupture ( $R_r$ ) ou (à la traction $R_m$ ) :

La résistance à la rupture est la charge maximale appliquée à la section d'éprouvette sollicitée en traction pure sans rupture .D'après nous essai, les valeurs de la résistance à la traction sont regroupés dans le tableau suivant

**Tableau (IV.1) :** Valeurs de les résistance à la rupture ( $R_m$ ) en N/mm<sup>2</sup>

Aluminium	Alliage d'aluminium 6063 après homogénéisation			
	Sans traitement	Chauffé à vitesse 10C°/min	Chauffé à vitesse 15C°/min	Chauffé à vitesse 20C°/min
190N/mm <sup>2</sup>	210N/mm <sup>2</sup>	100N/mm <sup>2</sup>	90N/mm <sup>2</sup>	108N/mm <sup>2</sup>

### IV.3.1. 3 . Allongement (A%) :

L'allongement (A%) indique l'aptitude d'un matériau à se déformer plastiquement (plus A% est grand, plus le matériau est ductile.).

On définit le coefficient d'allongement (A%) par :

$$A\% = \frac{L_U - L_0}{L_0} \times 100$$

Lu : longueur ultime (mesurée en raboutant les deux morceaux de l'éprouvette cassée).

Lo : longueur initiale

**Tableau (IV.2) :** Valeurs de l'allongement (A%)

Aluminium	Alliage d'aluminium 6063 après homogénéisation			
	Sans traitement	Chauffé à vitesse 10C°/min	Chauffé à vitesse 15C°/min	Chauffé à vitesse 20C°/min
21%	21%	27%	45%	40%

### IV.3.1. 4. Coefficient de striction (Z%) :

Le coefficient de striction (Z%) est aussi considéré comme un autre indicateur de ductilité du matériau.

le coefficient de striction est donné par :

$$Z\% = \frac{(S_0 - S_U)100}{S_0}$$

So : Section initiale ( $mm^2$ )

Su : Section ultime en  $mm^2$  (mesuré à l'endroit de la cassure de l'éprouvette cassée).

**Tableau (IV.3) :** Valeurs de Coefficient de striction (Z%)

Aluminium	Alliage d'aluminium 6063 après homogénéisation			
	Sans traitement	Chauffé à vitesse 10C°/min	Chauffé à vitesse 15C°/min	Chauffé à vitesse 20C°/min
88%	82%	93%	93%	91%

## IV. 4. Discussion des résultats :

### 1. Courbes :

D'allures des courbes de traction de différents échantillons des éprouvettes, on peut observer :

#### 1.1. Zone élastique :

Des zones élastiques de courbes des différentes éprouvettes on déduit :

- L'allongement de l'éprouvette du cas d'aluminium est plus proche de celle-là de l'alliage 6063.
- L'augmentation de l'allongement après les différents traitements thermiques par rapport d'aluminium et leur alliage 6063.
- L'allongement du cas d'alliage d'aluminium 6063 ne dépend pas avec la vitesse d'échauffements des éprouvettes traitées
- Des courbes de traction en zone élastique, on observe qu'ils sont plus inclinés dans les cas des échantillons traités, qu'implique la diminution du module de Young (module d'élasticité longitudinale)

#### 1.2. Zone de déformation plastique :

- L'allongement avant la rupture de l'éprouvette du cas d'aluminium est le même de celle-là de l'alliage 6063.
- Dans le cas d'échauffement à vitesse de  $20\text{C}^\circ/\text{min}$ , l'allongement avant rupture est le plus grand

### 2. Tableaux :

Des tableaux de différents échantillons des éprouvettes, on peut déduire :

- La valeur de la résistance à la rupture ( $R_m$ ) de l'éprouvette du cas d'aluminium est plus proche de celle-là de l'alliage 6063. Mais, elle est plus grande que dans les cas des échantillons qui ont subi aux traitements thermiques considérés
- L'allongement (A%) de l'éprouvette du cas d'aluminium est le même de celle de l'alliage 6063. Par contre, il est plus considéré dans les cas d'alliage traité
- L'augmentation de coefficient de striction après les différents traitements thermiques par rapport l'aluminium et leur alliage 6063

## Conclusion Générale

De notre travail dans ce mémoire de master, nous avons conclu la suit :

- Dans ce travail, nous avons appris le fonctionnement de la machine hydraulique d'essai universelle WP310 , leur constituant éléments et les capteurs qui y sont appliqués, nous avons aussi enregistré les courbes de traction d'aluminium et l'alliage 6063.
- Ce travail, nous a permis de mieux comprendre le comportement d'aluminium et son alliage 6063 à la traction.
- Les résultats des valeurs de comportement d'aluminium que nous avons obtenus expérimentalement sont très proches aux valeurs théoriques et recherche précédentes et ça revient aux incertitudes causé par la nature de matériau des éprouvettes et l'utilisateur.
- Nous avons conclu que les traitements thermiques ont un rôle très important de change plusieurs propriétés mécaniques des matériaux telles que ; les coefficients d'allongement et de la striction, la résistance à la rupture et la limite d'élasticité
- Le métal d'aluminium est très important dans les différents secteurs technologiques dans le monde, à cause de ses propriétés physique, chimique et technologique ect ...Ainsi de ses variantes alliage qui lui peuvent donner aussi de plusieurs comportements (tribologique, mécanique et physique ect...)
- Les traitements thermique d'aluminium et ses alliages d'aluminium sont des problèmes d'actualité qui déjà faits l'objet de plusieurs recherches .Ils sont utilisés pour modifier les propriétés du matériau dans le but de lui donner des aptitudes nouvelles.
- D'après nos recherches bibliographiques et expérimentales, nous avons conclu que les essais de tractions sont très importants dans les caractérisations des matériaux et la détermination de ses propriétés mécaniques (la dureté, le coefficient allongement, la résistance de la rupture, la limite d'élasticité et le module du Youg etc...).
- La détermination de propriétés mécaniques par l'essai de traction est plus complexe et plus difficile à interpréter qu'elle n'apparaît qu'a première vue, à cause de la dépendance de plusieurs facteurs et phénomènes influant pendant et après les essais (qualité d'appareil de traction et d'éprouvette, formation des microfissures, la température etc ...).

- Les essais de la traction effectués lors de l'expérimentation montrent la différence entre les propriétés mécaniques d'aluminium et d'alliage 6063 avant et après le traitement thermique
- En, fin nous croyons que nous avons fait une contribution dans le domaine de caractérisation d'alliage d'aluminium 6063 traité qui peut être élargi le comportement de l'alliage 6063

## Résumé :

Les différents traitements thermiques ont un rôle très important à la naissance de nouveaux matériaux qui avaient des propriétés spectaculaires. La détermination de leurs propriétés mécanique, physique et chimique nécessite des essais destructifs et non destructifs, parmi les essais destructifs on a l'essai de traction qui permet de trouver les caractéristiques mécaniques d'un matériau (coefficient d'allongement, module d'Young, la limite d'élasticité etc.)

Ce travail de master consacre à la détermination de propriétés mécaniques d'aluminium nu et allié (alliage 6063) par l'essai de traction. En premier lieu, nous avons préparé des éprouvettes de formes cylindriques du métal désiré. Des échantillons d'elles ont subi aux essais de traction avant traitement thermique et les autres éprouvettes en alliage 6063 ont subi à des traitements thermiques (échauffement à différentes vitesses - trempe à huile) puis elles ont soumis à l'essai de traction. En fin, nous avons regroupé les résultats sous des courbes et des valeurs dans des tableaux

## ملخص :

تلعب المعالجات الحرارية المختلفة دورًا مهمًا للغاية في ولادة مواد جديدة لها خصائص مذهلة. يتطلب تحديد خواصها الميكانيكية والفيزيائية والكيميائية اختبارات مدمرة وغير مدمرة، ومن بين الاختبارات المدمرة، يتم استخدام اختبار الشد للعثور على الخصائص الميكانيكية للمادة (معامل الاستطالة، معامل يونغ، المرونة الخ..... ) في. يكرس عمل هذا الماستير لتحديد الخواص الميكانيكية للألمنيوم والسبائك (سبيكة 6063) عن طريق اختبار الشد خضعت عينات منها لاختبارات الشد قبل المعالجة الحرارية، المقام الأول، تم تحضير عينات أسطوانية من المعدن المطلوب وتعرضت العينات الأخرى المكونة من 6063 سبيكة للمعالجات الحرارية (التدفئة بسرعات مختلفة - تبريد الزيت)، ثم خضعت في النهاية، قمنا بتجميع النتائج في منحنيات وقيم. لاختبار الشد