

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur**  
**Et de la recherche scientifique**

**UNIVERSITE Abderrahmane MIRA BEJAIA**  
**Faculté de Technologie**  
**Département de Génie Mécanique**

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**MASTER**

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Fabrication Mécanique et Productique

Par :

**Akkaour Samir**

**Smaili Sidali**

Thème

---

***Analyse de l'effet de l'essai de traction sur le comportement de  
l'alliage d'aluminium AU4G2017A.***

---

Soutenu le .../10/2021 devant le jury composé de :

Mr. AMARI

President

Mr. BENSALD Nasreddine

Rapporteur

Mr. BELAMRI

Examineur

Année universitaire 2020/2021

## *Remerciements*

*Je remercie DIEU le tout puissant, qui m'a éclairé le chemin de la science et de la connaissance et m'a aidé à accomplir ce devoir et m'a accordé la chance pour accomplir ce travail.*

*Le travail présente dans ce rapport a été réalisé au sein de l'université de Bejaia dans le cadre de l'étude analyse de l'effet de l'essai de traction sur le comportement de l'alliage d'aluminium AU4G 2017A.*

*Nous tenons d'abord à remercier Mr. BENSALD Nasreddine (notre encadreur) et Mr A. Belamri (professeur à l'université de Bejaia) pour leur aide et leur suivi tout au long de la réalisation de ce projet.*

*Nous tenons à remercier monsieur le président et les membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont réservés à notre travail.*

*Nous voudrions aussi remercier Mr YOUSFI Rachid (responsable de hall de technologie de l'université de Bejaia) et Mr ATTOUB Nordine (T.S Labo) et Mr Semail Baukou fonctionnaire ici a hall de technologie et tous les travailleurs du hall de technologie (Département de Génie Mécanique).*

*Nous remercions également Nos cher collègue Mr ABDELADIM Oussama et S. Drid et ZEGGAGH Anis et ZIANE Bilal et Nos familles, pour leur soutien le long de nos études.*

*Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail a :*

*Ma chère mère*

*Mon cher père*

*Mes chers grands parents*

*Mon frère Amine*

*Et mes sœurs Sara et Yasmine*

*Et mes cousins*

*Badis, Yacine et Katia, Sofiane, Hicham*

*Et a tous mes amis, de proche ou de loin*

*Khaled, Faysal, Mounir, Rabah, Massi, Lydia, djaguedjiga, Bilal, Yanis.*

*Je veux également dédier ce travail a tous les étudiant(e)s et enseignants du département de génie mécanique et à la section Fabrication Mécanique et Productique promotion 2021 en particulier.*

*Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail a :*

*Ma chère mère*

*Mon cher père*

*Mes frères*

*Sofiane, Bilal, Massi*

*Et mes sœurs*

*Lamia, Nadjjet, Nesrine*

*Et a tous mes ami(e)s, de proche ou de loin*

*Oussama, Samir, Louhab, Lydia, Massi, ikhlef.*

*Je veux également dédier ce travail a tous les étudiant(e)s et enseignants du département de génie mécanique et à la section Fabrication Mécanique et Productique promotion 2021 en particulier.*

# **Sommaire**

# Sommaire

I.1	Introduction .....	2
Chapitre I : Usinage des matériaux par tournage.		
I.2	Usinage.....	3
	I.2.1 Tournage.....	3
	I.2.2 Définition des opération detournage.....	5
I.3	Les outils de coupes .....	6
I.4	Paramètres de coupe.....	6
I.5	Fraisage .....	7
I.6	Généralité sur l'aluminium et ses alliages.....	8
	I.6.1 L'Aluminium .....	8
	I.6.2 Les caractéristique de l'aluminium.....	9
	I.6.3 L'AU4G 2017 A .....	10
	I.6.4 Composition chimique de l'aluminium 2017 A.....	11
	I.6.5 Quelques alliages d'aluminium.....	11
Chapitre II : Essai de traction.		
II.1	Introduction.....	14
II.2	Contrainte et déformations .....	15
II.3	Contraintes résiduelles.....	16
	II.3.1 Definition .....	16
	II.3.2 Les origines des contraintes residuelles .....	16

II.3.3	Types de contraintes résiduelles .....	17
II.4	Essai de traction.....	18
II.4.1	Principe de l'essai de traction .....	19
II.4.2	Module de young .....	20
II.4.3	Coefficient de poisson.....	21
II.5	Coefficient d'érouissage .....	21
II.5.1	Effet de l'érouissage .....	22
II.6	La limite d'élasticité $R_e$ .....	23
II.6.1	La résistance à la traction $R_m$ .....	23
II.6.2	Critère de Tresca .....	25
II.6.3	Critère de von mises .....	26
 Chapitre III : Partie expérimentale. 		
III.1	Introduction .....	26
III.2	Description du tour TOS SN40 .....	26
III.3	Description de la partie expérimental.....	27
III.4	Les étapes de l'essai de traction .....	30
III.4.1	Objectif.....	30
III.4.2	Description de la machine.....	30
III.4.3	Protocole .....	32
III.5	Analyse des résultats .....	35
III.7	Calcul le coefficient et le facteur d'érouissage $n$ et $B$ .....	45

Conclusion Générale.....	50
Bibliographique.....	54
Annexe.....	56
Résumé.....	58



# Liste des figures

# Liste des figures

<b>Figure I.1</b> Tour conventionnel type SN 40 C du hall de technologie. ....	3
<b>Figure I.2</b> Dessin schématisé d'un tour conventionnelle .....	4
<b>Figure I.3</b> Exemple d'opération sur le tournage en phase chariotage. ....	4
<b>Figure I.4</b> outil a plaquette amovible. ....	6
<b>Figure I.5</b> Fraiseuse conventionnel de type ALMO du hall de technologie. ....	7
<b>Figure I.6</b> Dessin schématisé d'une fraise en opération de surfaçage.....	7
<b>Figure I.7</b> des barres d'alliage d'aluminium (AU4G) 2017A .....	10
<b>Figure I.8</b> la maille limostologique cristalline de l'aluminium .....	8
<b>Figure II.1</b> montre les différentes étapes de l'éprouvette a la traction.....	16
<b>Figure II.2</b> courbe de traction conventionnelle .....	19
<b>Figure II.3</b> phénomène observer au cours de l'essai de traction. ....	20
<b>Figure II.4</b> courbe de traction et domaine d'érouissage. ....	22
<b>Figure II.5</b> Effet de l'érouissage.....	23
<b>Figure II.6</b> Courbe contrainte-déformation. Limite d'élasticité et résistance à la traction .....	24
<b>Figure II.7</b> Courbe contrainte-déformation. Deux matériaux avec des rigidités différentes ..	25
<b>Figure II.8</b> Critère de Tresca. ....	25
<b>Figure II.9</b> La représentation graphique de ces deux critères. ....	26
<b>Figure III.1</b> design de l'éprouvette de traction. ....	29
<b>Figure III.2</b> Tour conventionnelle type SN 40 C du hall de technologie. ....	26
<b>Figure III.3</b> Esquisse du brute de $\varnothing = 50$ mm de l'aluminium AU4G. ....	27

<b>Figure III.4</b> esquisse du brute la méthode d'extraire les éprouvette.....	28
<b>Figure III.5</b> Méthode d'usinage sur la fraiseuse.....	28
<b>Figure III.6</b> Machine de traction de type Zwick Roell Z100 ( université Sétif).....	31
<b>Figure III.7</b> Les éprouvettes de Durale (AU4G) 2017A.....	32
<b>Figure III.8</b> éprouvette de traction avant la rupture.....	33
<b>Figure III.9</b> Logiciel pilote testXpert II de la machine de traction Zwick Roell.....	33
<b>Figure III.10</b> éprouvette après la rupture.....	34
<b>Figure III.11</b> Les étapes d'évolution de l'éprouvette durant ca traction.....	34
<b>Figure III.12</b> Courbe de traction : $\sigma=f(\epsilon)$ d'AU4G à $v= 2\text{mm/min}$ de l'éprouvette (1) du centre de brute.....	36
<b>Figure III.13</b> Courbe de traction : $\sigma=f(\epsilon)$ d'AU4G à $v= 2\text{mm/min}$ de l'éprouvette (2) du centre de brute.....	37
<b>Figure III.14</b> Courbe de traction : $\sigma=f(\epsilon)$ d'AU4G à $v= 2\text{mm/min}$ de l'éprouvette (3) du cote du brute.....	38
<b>Figure III.15</b> Courbe de traction : $\sigma=f(\epsilon)$ d'AU4G à $v= 2\text{mm/min}$ de l'éprouvette (6) du centre de brute.....	39
<b>Figure III.16</b> Courbe de traction : $\sigma=f(\epsilon)$ d'AU4G à $v= 2\text{mm/min}$ de l'éprouvette (4) du centre du brute.....	40
<b>Figure III.17</b> Courbe de traction : $\sigma=f(\epsilon)$ d'AU4G à $v= 2\text{mm/min}$ de l'éprouvette (5) du centre de brute.....	41
<b>Figure III.18</b> Courbe de traction : $\sigma=f(\epsilon)$ d'AU4G à $v= 2\text{mm/min}$ des six éprouvettes.....	42
<b>Figure III.19</b> Tracé algorithmique de la zone plastique : $\ln(\sigma)= f(\ln(\epsilon))$ de l'alliage d'aluminium dit <<dural>> (AU4G) a $v= 2\text{mm/min}$ .....	47

# **Liste des tableaux**

# Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> Quelques opérations et outil essentiel en tournage.....	5
<b>Tableau I.2</b> La composition chimique de l'aluminium 2017A.....	11
<b>Tableau I.3</b> Quelques caractéristiques de l'aluminium .....	9
<b>Tableau I.4</b> Les alliages d'aluminium .....	12
<b>Tableau III.1</b> Les caractéristiques de l'aluminium (AU4G) 2017A expérimentale.....	43
<b>Tableau III.2</b> le coefficient de poisson de chaque éprouvette.....	44
<b>Tableau III.3</b> Les caractéristiques de l'aluminium AU4G 2017A expérimentale de celle des côtes du brute.....	45
<b>Tableau III.4</b> Les caractéristiques de l'aluminium AU4G 2017A expérimentale de celle du centre du brute.....	45
<b>Tableau III.5</b> valeur des constante n et B de chaque éprouvette.....	47
<b>Tableau III.6</b> Paramètres du modèle de Johnson Cook.....	48
<b>Tableau III.7</b> Comparaison avec des Coefficient Existant pour l'AU4G.....	48

# **Introduction générale**

# Introduction générale

Depuis sa naissance en 1854, l'aluminium a connu un développement spectaculaire, qui fait qu'aujourd'hui, il présente l'un des matériaux le plus utilisés dans différents secteurs tels que l'industrie automobile, emballage et spatiale.

L'essai le plus fréquemment utilisé afin de déterminer le comportement mécanique d'un matériau est l'essai de traction. On exerce une force de traction sur un barreau de dimension standardisée, jusqu'à sa rupture, en suivant un processus de mise en charge à une vitesse de déformation constante.

L'éprouvette d'essai est prélevée dans le matériau à caractériser et usinée à des dimensions normalisées, afin d'assurer une meilleure comparaison des essais effectués dans différents laboratoires. Pour chaque type de matériau, il existe un type d'éprouvette.

Le tournage est une opération d'usinage très importante dans l'industrie de fabrication de pièces. Il permet de façonner des matériaux pour leur donner des formes voulues pour créer différentes pièces.

L'élaboration et la caractérisation d'un matériau est d'un grand intérêt technologique et pratique, et le moyen le plus utilisé pour la caractérisation des matériaux est l'essai de traction. Notre travail consiste à déterminer la différence de l'effet du diamètre de la pièce, ainsi analyse de l'effet de l'essai de traction sur le comportement de l'alliage d'aluminium AU4G.

Dans le premier chapitre, nous présentons un aperçu du processus d'usinage.

Dans le deuxième chapitre, nous décrivons les essais de traction faits sur des éprouvettes en aluminium.

Le troisième chapitre partie expérimentale, où nous avons utilisé trois pièces brutes en alliage d'aluminium (AU4G) 2017A de diamètre  $\varnothing=50\text{mm}$ , pour extraire six éprouvettes que nous avons élaboré nous même au hall de technologie, puis nous avons extrait quatre éprouvette des côtés du brute et deux autres du centre, puis nous avons fait des essais de traction sur les six éprouvettes sur la machine Zwick Roell Z100, exposons nos résultats des essais de traction et une analyse générale de l'évolution des courbes est donnée.





# **Chapitre I**

## **Usinage des matériaux par tournage**

## I.1 Introduction

L'usinage est un procédé de fabrication qui consiste à réduire progressivement les dimensions des pièces en utilisant un outil de coupe pour enlever à froid la matière sans déformation. La matière enlevée à l'aide d'un outil de coupe est appelée copeaux.

Le tournage fait partie des procédés d'usinage. De par sa simplicité et la possibilité de réaliser un grand nombre de formes géométriques, il occupe une place très importante dans la fabrication mécanique.

Dans ce chapitre, nous présentons des généralités sur le tournage et le fraisage, qui comprend les définitions, les conditions de coupe et la géométrie de l'outil, ainsi que les différentes formes de copeaux.

## I.2 Usinage

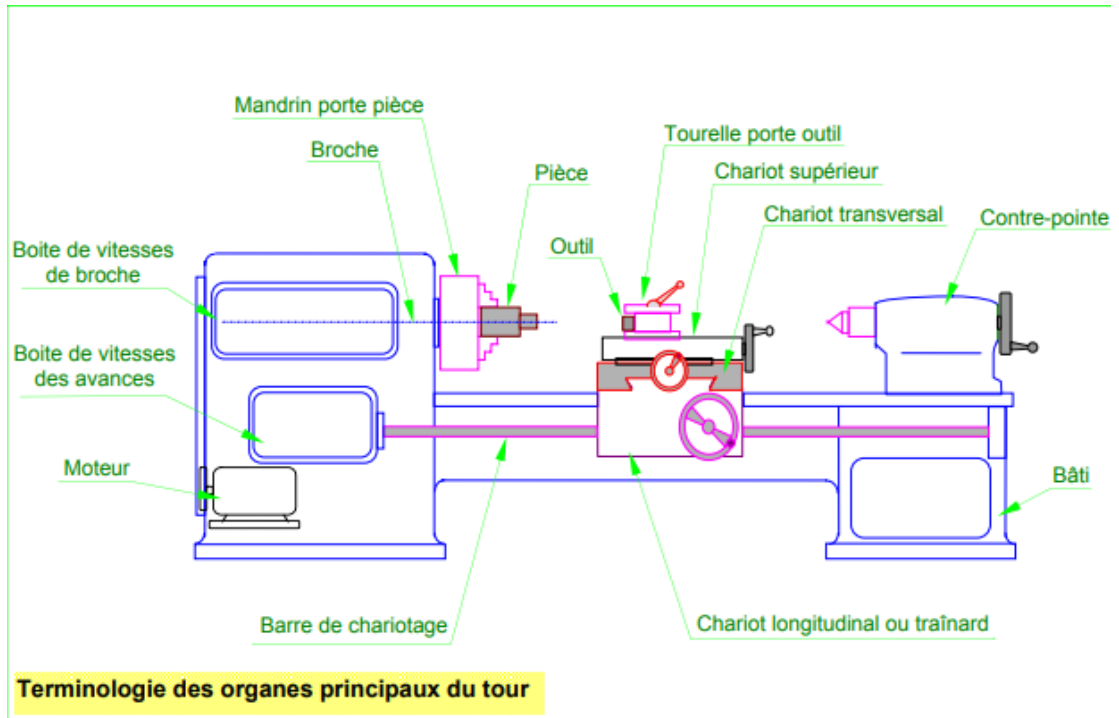
L'usinage est le processus d'enlèvement de matière. Il s'agit de créer de nouvelles surfaces en enlevant de la matière (formation de copeaux) à l'aide d'outils coupants. Les caractéristiques de la surface dépendent du couple outil-matériau, c'est-à-dire des paramètres impliqués dans le processus de coupe (vitesse de coupe, vitesse d'avance, profondeur de coupe, etc.). En usinage, différentes configurations peuvent être utilisées selon le procédé de coupe (fraisage, rabotage, tournage, etc.).

### I.2.1 Tournage

Un procédé d'usinage par enlèvement de matière (copeaux) Se procédé sert essentiellement à usiner des pièces de forme cylindrique ou conique avec des outils coupants, sur des machines appelées TOURS [1].

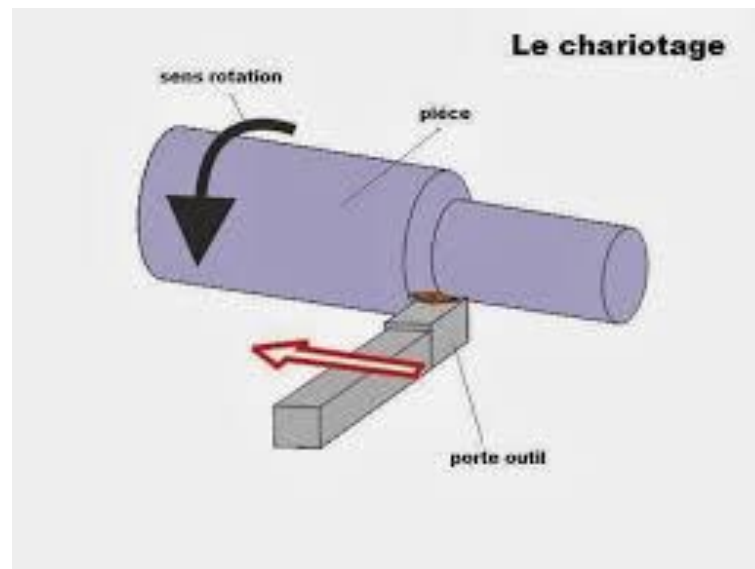


*Figure I.1* Tour conventionnel type SN 40 C du hall de technologie.



*Figure I.2 Dessin schématisé d'une tour conventionnelle [2].*


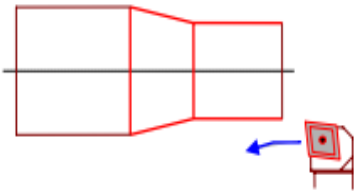

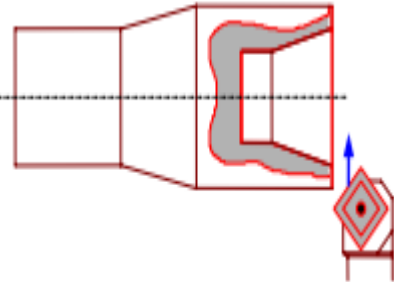

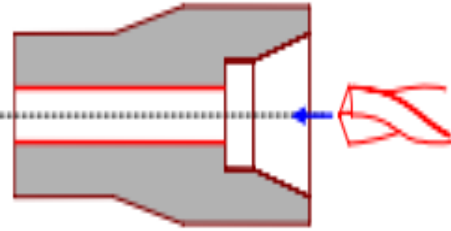

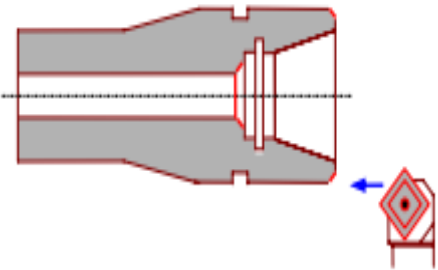
Dans ce procédé la pièce à usiner est fixée dans un mandrin, entre points. Le mouvement de coupe est associé à la pièce sous forme d'une rotation, quant à celui d'avance est associé à l'outil sous forme d'une translation comme il est illustré sur la figure suivante



*Figure I.3 Exemple d'opération sur le tournage en phase chariotage [3].*

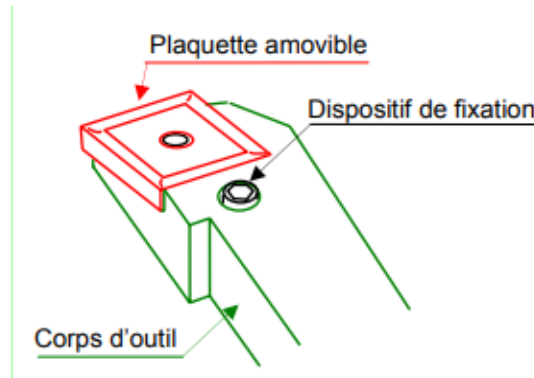
## I.2.2 Définition des opérations de tournage

Tableau I.1 Quelques opérations et outil essentiel en tournage [4].

L'outil	Définition de l'opération	Type d'opération réalisée
 <p>Outil à charioter avec plaquette de carbure.</p>	<p><b>Chariotage :</b></p> <p>Opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique extérieure.</p>	
 <p>Outil à dresser avec plaquette de carbure.</p>	<p><b>Dressage :</b></p> <p>Opération qui consiste à usiner des surfaces planes perpendiculaire à l'axe de la broche extérieur ou intérieur.</p>	
 <p>Outil à perçage en carbure.</p>	<p><b>Perçage :</b></p> <p>Opération qui consiste à usiner un trou à l'aide d'un foret.</p>	
 <p>Outil à chanfrein en plaquette de carbure.</p>	<p><b>Chanfreinage :</b></p> <p>Opération qui consiste à usiner un cône de petite dimension de façon à supprimer un angle vif.</p>	

### I.3 Les outils de coupes

Les outils les plus répandus sont constitué d'une plaquette amovible montée sur un corps d'outil.



*Figure I.4 outil a plaquette amovible.*

### I.4 Paramètres de coupe

- Les paramètres de coupe consistent en

**Vitesse de coup :**

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

**N :** fréquence de broche en tours/min

**V<sub>c</sub> :** vitesse de coupe en m/min

**D :** diamètre usiné en m

**Vitesse d'avance :**

$$V_f = n * f$$

**V<sub>f</sub> :** vitesse d'avance en (mm/min).

**n :** fréquence de la broche ( tr/min).

**f :** avance par tour en mm /tr.

**Le choix d'avance :**

L'avance en tournage est fonction du rayon de bec de l'outil  $R_\epsilon$  et de la puissance de la machine (dans notre cas de machine peu puissante  $f$  sera inférieure à 0.3 mm/tr) [5].

- $f_{\text{Ebauche}} = 0.4 \times R\epsilon$
- $f_{\text{Finition}} = 0.2 \times R\epsilon$

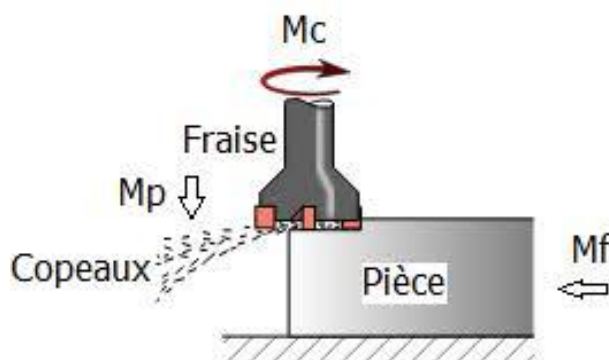
### I.5 Fraisage

Un procédé d'usinage par enlèvement de matière. Il sert essentiellement pour l'usinage des pièces prismatique, à l'aide d'outils coupante sur des machines nomme "Fraiseuse" ce qui est illustrer dans la figure suivante [6].



*Figure I.5 Fraiseuse conventionnelle de type ALMO du hall de technologie.*

Dans le fraisage le mouvement de coupe est un mouvement de rotation de l'outil, quant à celui d'avance est associer à la pièce. Cela est montrer dans la figure suivante.



*Figure 6 Dessin schématisé d'une fraise en opération de surfçage.*

Le fraisage est un procédé d'usinage réalisé au moyen d'un « outil à tranchants multiples » tournant, animé de deux mouvements principaux.

**Choix de l'avance :**

- **fz** ébauche ARS =  $0.15 \times k$
- **fz** ébauche CARBURE =  $0.25 \times k$
- **k= 0.8** pour des opérations de surfacage.

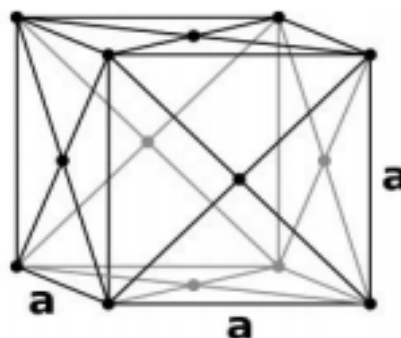
**I.6 Généralité sur l'aluminium et ses alliages****I.6.1 L'Aluminium**

L'alumine est découverte en 1821 au cours d'une étude sur la terre des Beaux de Provence (Bauxite). C'est en 1854 qu'est produit pour la première fois de l'aluminium par électrolyse. Depuis, ce métal occupe notre quotidien (canette, automobile, aéronautique). De par sa faible densité, son esthétique, sa bonne résistance à la corrosion et son faible coût de production, il est devenu le matériau le plus utilisé après le fer [8]

L'aluminium est un élément du troisième groupe de classification de Mendeliev, dont le nombre atomique est 13. Les nombreux attributs et qualités de l'aluminium expliquent sa popularité croissante ; en effet ce métal est malléable, de couleur argentée.

L'aluminium industriel contient généralement 0.5% d'impuretés (principalement Fe+Si), mais il peut être obtenu presque pur par raffinage électrolytique (Al > 99.99%). Ces impuretés ont différents effets sur les propriétés électriques et mécaniques [9].

La structure de l'aluminium émane de celle du CFC, c'est-à-dire Cubique à faces Centrées comme il est montré dans la figure ci-dessous [10].



**Figure I.7** la maille cristalline [10].



### I.6.2 Les caractéristiques de l'aluminium

Le tableau suivant nous donne les valeurs et la symbolisation des propriétés principales de l'aluminium.

*Tableau I.2* Quelques caractéristiques de l'aluminium [14].

Propriété	Symbole	Valeur
Symbole chimique	Al	/
Point de fusion	$\Theta_f$	660°C
Structure cristalline	CFC	/
Masse volumique	$\rho$	2700 kg/m <sup>3</sup>
Conductivité thermique	$\Gamma$	237 W . m <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup>
Coefficient de dilatation linéique	$\alpha$	23,1 . 10 <sup>-7</sup> K <sup>-1</sup>
Résistivité électrique	$\rho$	0,0265 $\mu\Omega \cdot m$
Resistance maximale à la traction	Rm	70 à 80 MPa
Limite d'élasticité	Re	10 à 20 MPa
Module de Young	E	70 000 MPa
Allongement	A%	50 à 60 %
Coefficient de poisson	$\nu$	0.33
Resistance au cisaillement	T	275
Dureté brinell	HB	105

### I.6.3 L'AU4G 2017 A

L'AU4G est très connu sous le nom de **Duralumin**. C'est un alliage qui a été conçu à l'origine (pendant la seconde guerre mondiale) pour l'aéronautique. On le trouve aussi sous sa désignation plus moderne de **2017 A**.

Il présente de bonnes caractéristiques mécaniques. C'est le plus utilisé en mécanique générale. On en trouve partout. Son usinabilité est excellente. Sa soudabilité et son anodisation sont difficiles. Une pièce en **AU4G** soudée peut avoir un bel aspect, mais elle sera cassante.

L'AU4G est très facile à se procurer. Il est commercialisé sous de nombreuses formes : feuille, tôle, barre ronde, méplate, carré, tube mécanique. En générale, on le trouve à l'état de livraison T4. Dans cet état, sa limite à la rupture ( $R_m$ ) est d'environ  $390 \text{ N/mm}^2$  (environ  $40 \text{ kgf/mm}^2$ .) Sa limite élastique pour un allongement de  $R_e 0.2$  est voisine de  $254 \text{ N/mm}^2$  (environ  $25 \text{ kgf/mm}^2$ .) Attention toutefois à la perte des caractéristiques mécanique dès que la température s'élève. Au-delà de  $150^\circ\text{C}$  elle devient très importante.

L'AU4G est l'alliage idéal pour les applications courantes usinée : platines d'ancrages de tirants, entretoises moteur-boite, pédaliers.

Il ne convient pas pour les pièces pliées à faible rayon de courbure, soudées ou moulées [7].



*Figure I.8 des barres d'alliage d'aluminium (AU4G) 2017A.*

### I.6.4 Composition chimique de l'aluminium 2017 A

Dans notre expérience nous avons utilisé un aluminium de décolletage de nuance 2017 A. Sa composition chimique est donnée dans le tableau ci-dessous.

*Tableau I.3 La composition chimique de l'aluminium 2017A [8].*

Alliage	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Autre
2017 A	0,20 / 0,80	0,70	3,50 / 4,50	0,40 / 1	0,40 / 1	0,10	0,25	-	AL : solde

### I.6.5 Quelques alliages d'aluminium

Un alliage est un mélange de deux ou plusieurs métaux purs. Il peut être binaire, ternaire ou quaternaire selon qu'il renferme deux, trois ou quatre éléments d'addition [11].

Les éléments d'addition les plus répandus dans les alliages d'aluminium sont le cuivre, le magnésium, le manganèse, le zinc, le fer et le silicium [12].

On distingue deux familles d'alliage d'aluminium, alliage de fonderie qui sont destinés à être transformés par des techniques de fonderie (méthode au moule permanent et non permanent), et ceux de carroyage qui sont destinés à être transformés par des techniques de forage (laminage, filage, matriçage, forge) [13].

L'Aluminium est le plus utilisé des métaux non ferreux et ceci est dû à ses propriétés intéressantes. Il est utilisé dans différents domaines tels que l'automobile, l'aéronautique et spatiale, armement, construction électrique... etc.

Le tableau ci-dessous résume les différentes normalisations de quelques alliages d'aluminium ainsi que leur aptitude à l'usinage et leur utilisation principale.

Tableau I.4 Les alliages d'aluminium [8].

NFA Nouvelle Norme	NFA Ancienne Norme	DIN	Aptitude à l'usinage		Principales Utilisations
			Fragmentation Copeaux	Brillance Surface	
2017A	AU4G	Al Cu Mg 1	B	B	Pieces de résistances chaudronnerie ou usine. Aéronautique. Armement.
6082	ASGM0.7	Al Mg Si 1	C	--	Pieces mécanique, pièces de machines, industrie textile, plaque de base.
7075	AZ5GU	Al Zn Mg Cu 1.5	B	B	Pieces de fatigue a limite élastique élevée, Aéronautique, boulonnerie.
2030	AU4PB	Al Cu Mg Pb	A	B	Alliage de décolletage donnant des copeaux très fragmentés. Beau fini de surface
5086	AG4CMC	Al Mg 4 Mn	C	A	Bonne résistance à l'atmosphère marine et au milieu marin. Constructions navales et aéronavales.

**A** : Très bon. **B** : Bon. **C** : Assez bon. -- : non applicable.

# **Chapitre II**

## **L'essai de traction**

## II.1 Introduction

Les essais mécaniques sont l'étape indispensable pour accéder aux grandeurs caractéristiques des matériaux, du module d'Young à la limite d'élasticité, en passant par la ténacité ou la résistance à la fatigue, et ce dans des conditions variables, par exemple de température ou de vitesse de sollicitation. Le propos de ce chapitre est de présenter les techniques expérimentales les plus couramment utilisées, aussi bien dans les laboratoires universitaires qu'industriels, pour caractériser le comportement mécanique des matériaux. Les techniques abordées seront : les essais unis axiaux (quasi statique et dynamiques), les essais multiaxiaux, les mesures d'indentation, les essais de fatigue et du phénomène de rupture.[15]

## II.2 Contrainte et déformations

L'effet des forces sur différents matériaux est expliqué par Robert HOOKE (1636-1703), de façon empirique à l'échelle macroscopique : un matériau à l'état solide ne résiste à une force appliquée qu'en se déformant sous l'action de cette force. Les matériaux sont élastiques. Il établit une règle, la loi de HOOKE, selon laquelle l'allongement est toujours proportionnel à la force appliquée. Cette loi n'est rigoureusement vraie que pour la céramique, le verre, la plupart des matériaux et les métaux les plus durs.

La considération des conditions qui règnent en chaque point d'un matériau soumis à des forces mécaniques conduit aux notions des contraintes et de déformation. La définition claire et utilisable de ces deux notions est due à Augustin CAUCHY (1789-1875). Quand on soumet un corps à l'action de forces extérieures, à l'intérieur de ce corps. À ces contraintes sont associées des déformations.

Pour s'affranchir de la dépendance des dimensions du matériau, les paramètres contraintes-déformation sont utilisées.

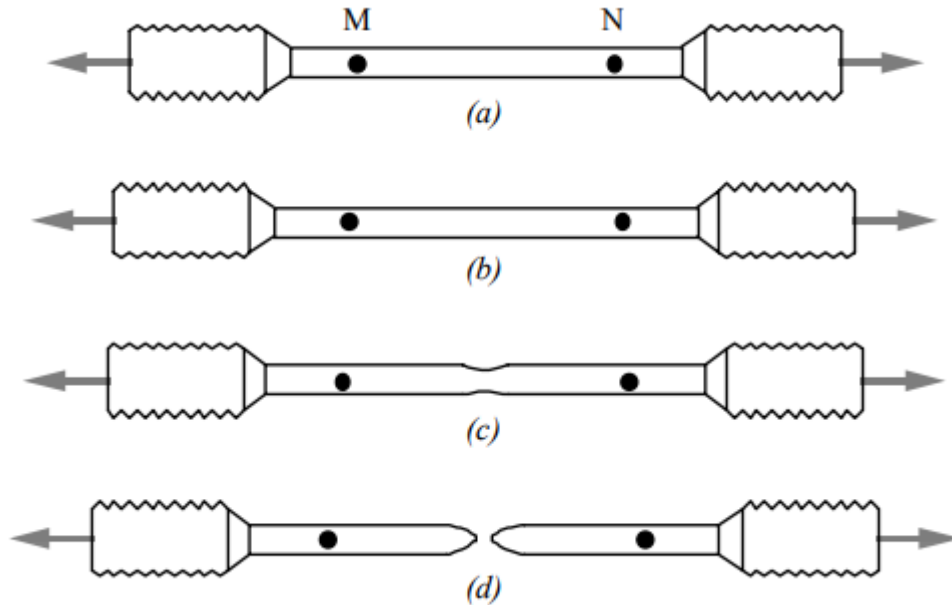
La contrainte détermine avec quelle intensité les atomes du matériau sont écartés les uns des autres ou comprimés les uns sur les autres. Cette contrainte est, pour une traction simple, la force qui agit sur une unité de surfaces du matériau.

$$\sigma = F/S$$

Elle se mesure en pascal (Pa).

La déformation indique dans quelles proportions les liaisons inter atomiques et la structure elle-même (l'objet, à l'échelle macroscopique) ont été déformées. La déformation, pour une traction simple, est le rapport de variation de l'allongement à la longueur initiale [16].

$$\varepsilon = (L - L_0)/L_0$$



*Figure II.1* montre les différentes étapes de l'éprouvette à la traction [17].

La figure 9 (a) représenté l'éprouvette sans charge avec les points de repère marqués M et N pour mesurer l'allongement. En (b) la déformation est élastique, la contrainte part de "0" pour atteindre la limite élastique. Si, à ce moment, on enlève la charge, l'éprouvette reprendra sa longueur initiale. Aussitôt dépassé la contrainte ultime en (c), il y a fluage et la striction commence. Si à ce moment on enlève la charge, l'éprouvette conserve une partie de l'allongement. En (d) il y a tout simplement rupture de l'éprouvette [17].

## II.3 Contraintes résiduelles

### II.3.1 Définition

Les contraintes résiduelles sont le plus souvent définies comme l'état de contraintes qui subsistent dans une pièce mécanique lorsqu'elle n'est sollicitée par aucun effort extérieur. Dans cet état d'équilibre, l'ensemble des effets des contraintes s'annule dans le volume que consiste un composant ou une structure mécanique [24].

### II.3.2 Les origines des contraintes résiduelles

Les origines des contraintes résiduelles sont très diverses et proviennent principalement du procédé de fabrication des tôles, elles peuvent être séparées en quatre catégories [26] :

- les contraintes issues de la déformation plastique hétérogène entre différentes zones d'une pièce soumise à des sollicitations thermiques.



- les contraintes issues de la variation de volume hétérogène et /ou phénomènes de pseudo plastique due à des transformations de phase à l'état solide.
- les contraintes issues de la différence entre les coefficients de dilatation thermique des diverses zones d'une pièce.

Il est connu que les contraintes résiduelles influencent les propriétés mécaniques des matériaux et des composants structurels telles que leurs duretés en fatigue, leurs déformations, leurs stabilités dimensionnelles, etc...

Par conséquent, l'analyse des contraintes résiduelles est une étape obligatoire dans la conception et la fabrication des composants.

Cependant avant de les prendre en compte en conception et en fabrication, il faut pouvoir bien les définir et donc les déterminer [27].

### II.3.3 Types de contraintes résiduelles

Les contraintes résiduelles peuvent être classées en fonction de l'échelle de grandeur auxquelles elles sont significatives et selon les techniques de mesure utilisées pour les étudier. Les contraintes dites macroscopiques agissent sur de longues distances tandis que les contraintes microscopiques agissent à l'échelle du grain ou à l'échelle atomique du matériau. Un système de standardisation a donc été établi pour diviser les contraintes résiduelles en trois types appelés contraintes résiduelles de **types I, II** et **III** (Kandil, 2001), (Physique & Industrie, 2006), (Withers, 2001a). Les contraintes résiduelles de **Type I**, également appelées macros contraintes résiduelles, sont distribuées de façon continue sur une largeur de plusieurs grains et représentent le niveau moyen de contrainte. Un changement dans l'équilibre de ce type de contraintes va toujours engendrer une variation macroscopique des dimensions.

Les contraintes résiduelles de **Type II**, aussi appelées micros contraintes résiduelles, sont uniformes pour une variation inférieure ou égale à la grosseur du grain du matériau. Les contraintes de type II sont pratiquement toujours présentes dans les matériaux polycristallins. Ceci est simplement dû au fait que les différents grains dans un même voisinage sont orientés différemment et par conséquent, leurs propriétés élastiques et thermiques vont être différentes.

Les contraintes résiduelles de **Type III** sont continuées seulement à l'échelle sous microscopique ou atomique. Les dislocations, les vides ainsi que les atomes impurs sont à

l'origine de ce type de contraintes. Un changement dans l'équilibre de ce type n'engendre pas un changement macroscopique de dimensions [28].

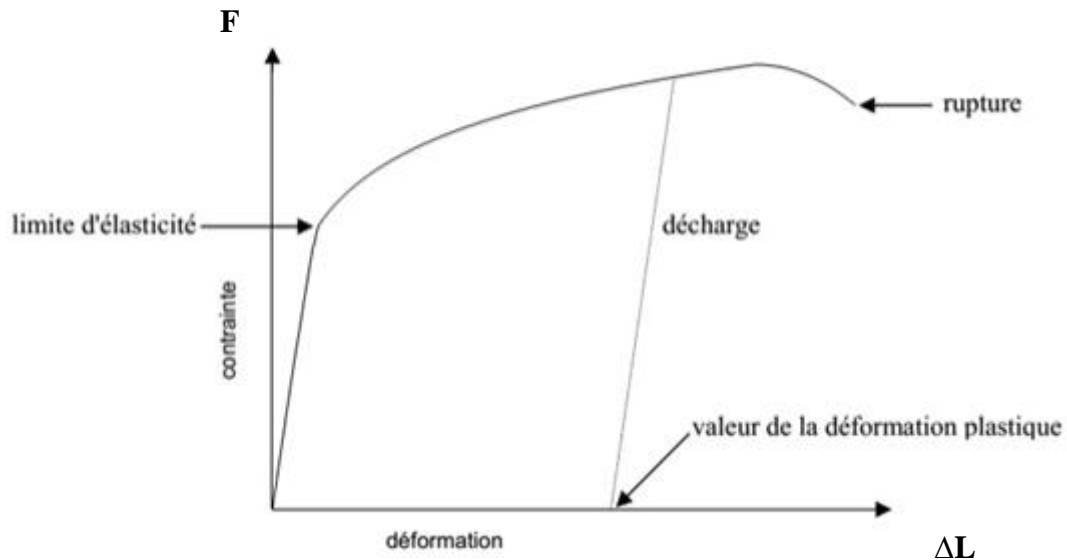
#### II.4 Essai de traction

Parmi tous les essais mécaniques, l'essai de traction est certainement l'essai le plus fondamental. Il sert à déterminer les principales caractéristiques mécaniques telles que 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. Son exécution est facile et les résultats obtenus servent à dimensionner toutes sortes des pièces allant d'un pignon microscopique jusqu'à la structure métallique d'un grand hall. Dans la recherche on l'applique pour la caractérisation de nouveaux matériaux et dans industrie pour les contrôles périodiques servant à surveiller la qualité des alliages, des polymères et des céramiques.

Cet essai a comme objectif :

- de faire connaître le fonctionnement d'une machine de traction et des capteurs qui y sont appliqués ;
- de tracer des courbes de traction sur des alliages d'aluminium, de cuivre et des aciers ;
- d'interpréter les résultats obtenus : déterminer la limite élastique, l'allongement à rupture, etc.
- d'estimer la précision de mesure [18].

Sur un diagramme contrainte –déformation, on observe les phases successives suivantes comme le montre la figure ci-dessous :

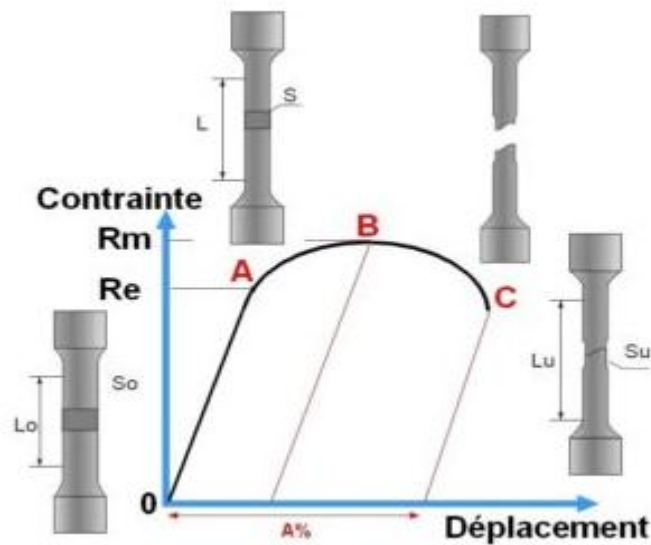


*Figure II.2* courbe de traction conventionnelle [19].

#### II.4.1 Principe de l'essai de traction

Un essai de traction classique consiste à soumettre une éprouvette de forme cylindrique à une charge axiale de traction  $P$ . Un extensomètre axial (ou jauge de déformation) est fixé en deux points  $M$  et  $N$  séparés, avant l'essai, d'une distance  $L_0$ . Après l'application de la charge, cette distance  $L_0$  se trouve augmentée d'une valeur  $\delta$ . Un autre extensomètre peut également mesurer le déplacement radial, car le rayon originel  $r_0$  se trouve diminué  $\delta r$  (la section originelle  $A$  est par conséquent réduite de  $\Delta A$ ). L'essai de traction fournit des renseignements qui permettent de caractériser le matériau. On représente le résultat d'un essai de traction en traçant une courbe appelée "essai de traction" caractérisée par la contrainte normale  $\sigma$  mise en ordonnée (axe  $y$ ) et la déformation unitaire  $\varepsilon$  en abscisse (axe  $x$ ) où la contrainte normale est :  $\sigma = P/A$  et la déformation [29] :

$$\varepsilon = \delta / L_0 = \Delta L / L_0 = L - L_0 / L_0$$



**Figure II.3** phénomène observé au cours de l'essai de traction.

Entre l'origine est le point A :

Un domaine élastique ou la déformation est réversible.

Le point A est la limite d'élasticité apparente (en général, on détermine la limite d'élasticité conventionnelle à 0,2% de déformation de  $L_0$ ).

De A à B : une déformation permanente homogène appelée aussi déformation plastique répartie.

Le point B correspond à la charge maximale et correspond à la résistance mécanique du matériau.

De B à C : la déformation plastique se localise dans une position de l'éprouvette et n'est plus homogène. C'est la striction et on aboutit à la rupture en C [20].

#### II.4.2 Module de Young

Le module de Young ou module d'élasticité (longitudinale) ou, noté « E », encore module de traction est la constante mesurable et qui relie la contrainte de traction (ou de compression) et le début de la déformation d'un matériau élastique. Le module d'Young E décrit le comportement en traction et en compression [21]

Le module de Young  $E$  est la pente de la portion linéaire de la courbe de traction (la partie OA sur la **figure II.3**).

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Avec :

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

$E$  : module de Young (en GPa)

$\sigma$  : contrainte uni axiale ou force uni axiale par unité de surface (en unité de pression)

$\epsilon$  : déformation ou déformation proportionnelle (variation de la longueur divisée par la longueur d'origine) sans dimension

### II.4.3 Coefficient de Poisson

Tout matériau qui va s'allonger dans un sens va forcément rétrécir dans l'autre sens. Cela dû à la conservation de la matière. Une éprouvette qui s'allonge va donc voir son diamètre diminuer. En notant  $(\epsilon)$  allongement longitudinal et  $(\epsilon_r)$  l'allongement transversale. On peut exprimer le coefficient de poisson [22].

$$\nu = \frac{\epsilon_r}{\epsilon}$$

$\nu$  est la deuxième constante élastique du matériau appelé coefficient de poisson  $\nu$  est sans dimension le coefficient du poisson traduit la compressibilité, coefficient de poisson  $\nu$  égal à 0,5 et un matériau parfaitement compressible un coefficient de poisson  $\nu$  égale à 0 [25].

### II.5 Coefficient d'érouissage

Le coefficient d'érouissage  $n$  est un facteur permettant de caractériser le durcissement du matériau.

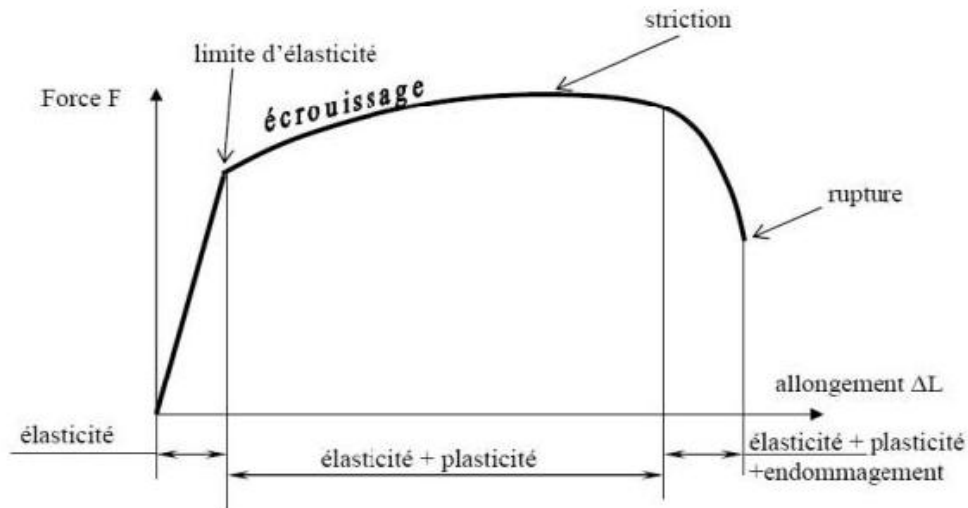
L'érouissage a une influence sur les propriétés mécaniques des matériaux.

Les effets de ce phénomène se traduisent par l'amélioration des caractéristiques telle que :

-sa résistance à la traction augmente et semble vers une limite.

-sa limite d'élasticité croît plus rapidement que la résistance et finit par tendre vers la même valeur.

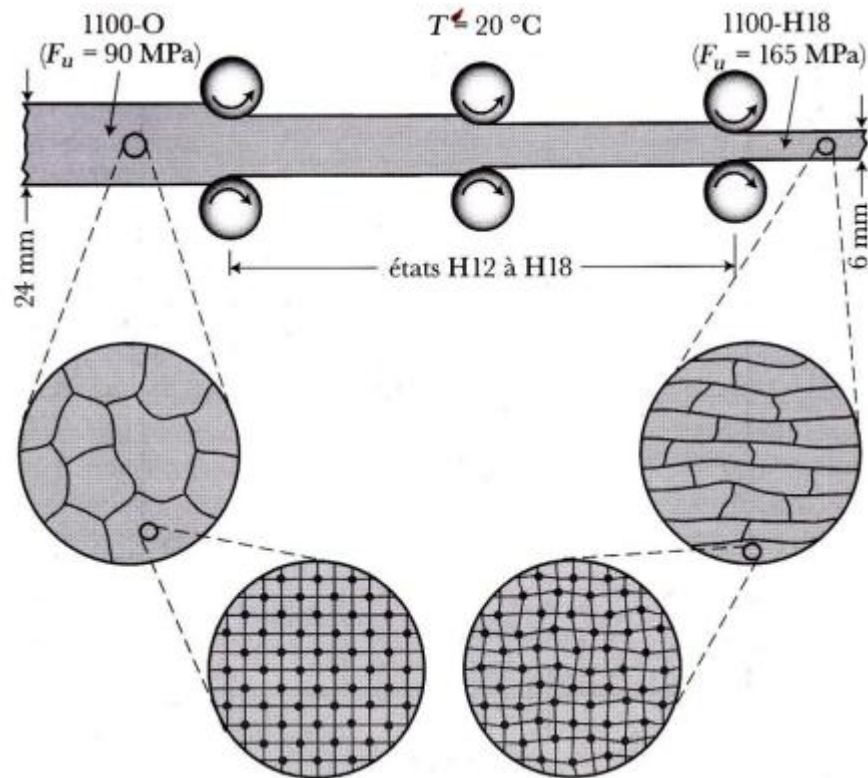
-l'allongement baisse rapidement et ne décroît pas la suite que lentement [23].



*Figure II.4 courbe de traction et domaine d'écrouissage.*

### II.5.1 Effet de l'écrouissage

L'écrouissage, classée à juste titre comme un travail à froid, se fait à basse température. Son effet est d'appliquer et de déformer les grains dans le sens de laminage. Il en résulte que lorsqu'on applique des contraintes à la plaque écrouie, le glissement des plans d'atomes est entravé par la présence des défauts générés et il faut plus d'Énergie pour déformer la plaque, une fois écrouie. Les limites élastiques et ultimes augmentent, de même que la résistance à la déformation, mais la ductilité diminue. La pièce est donc plus rigide. **La figure II.4** illustre l'effort d'écrouissage d'une pièce d'aluminium pur de l'état recuit 1100-0 à l'état écroui dur, c'est-à-dire écroui à 75%. L'écrouissage permet donc d'augmenter la limite élastique et les caractéristiques mécaniques d'une manière très remarquable [32].



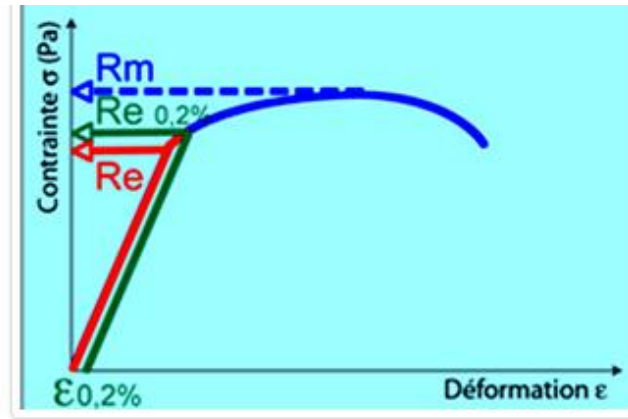
*Figure II.5 Effet de l'écrouissage.*

## II.6 La limite d'élasticité $R_e$

Correspond à la contrainte à partir de laquelle le matériau commence à se déformer plastiquement. Cette limite est difficile à apprécier car le passage du domaine élastique au domaine plastique se fait de façon progressive. La difficulté de lecture donnerait des interprétations erronées de cette limite d'un laboratoire à l'autre. Pour s'en affranchir, on a déterminé une limite conventionnelle d'élasticité à ( $R_{e,0.2\%}$ ). C'est la contrainte pour laquelle on mesure une déformation plastique de 0,2%. [16]

### II.6.1 La résistance à la traction $R_m$

Se définit comme la contrainte maximale atteinte durant l'essai de traction [16]



**Figure II.6** Courbe contrainte-déformation. Limite d'élasticité et résistance à la traction [16].

On peut également définir certaines caractéristiques déterminées par l'essai de traction

:

**La rigidité** : est fonction de l'énergie des liaisons entre les atomes ou les molécules constituant le matériau. On mesure la rigidité principalement par le module d'YOUNG. Plus ce module est élevé, plus le matériau est rigide.

**La résistance** : caractérise la contrainte maximale qu'un matériau supporte avant de se rompre. Cette résistance est fonction de l'intensité des liaisons mais également de la forme des pièces ou de ses défauts.

**La ductilité** : correspond à la capacité d'un matériau à se déformer de façon permanente avant de se rompre. Plus l'allongement à la rupture est élevé, plus le matériau est considéré comme ductile. A l'opposé, lorsque la déformation permanente est très réduite ou nulle, on parle d'un matériau fragile. Un matériau fragile peut présenter une résistance très élevée.



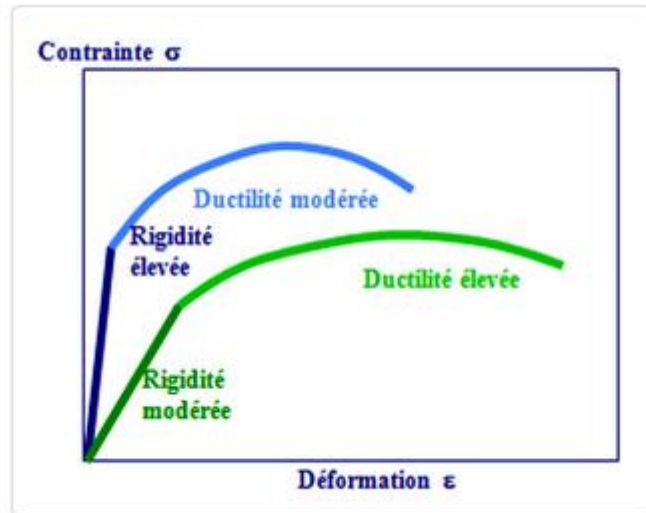


Figure II.7 Courbe contrainte-déformation. Deux matériaux avec des rigidités différentes [16].

### II.6.2 Critère de Tresca

Ce critère s'applique plutôt aux matériaux ductiles, des essais sur des matériaux ductiles confirment que le début de la plastification en traction a lieu suivant des plans inclinés à 45° par rapport à la direction de chargement, cette direction correspond à un état de contrainte de cisaillement maximum et ( $\tau_e$ ) est la contrainte tangentielle de cisaillement [30].

$$\frac{1}{2} \text{Sup} |\sigma_1 - \sigma_{111}| \leq \tau_e \text{ ou } \text{sup} |\sigma_1 - \sigma_{111}| \leq \sigma_e$$

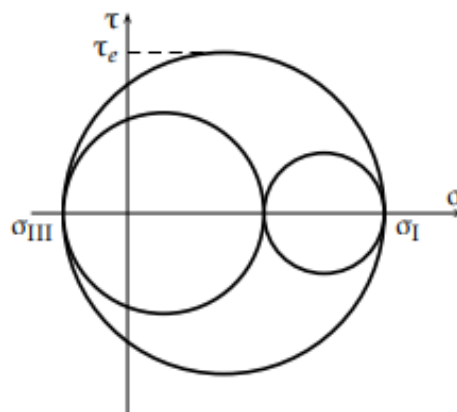


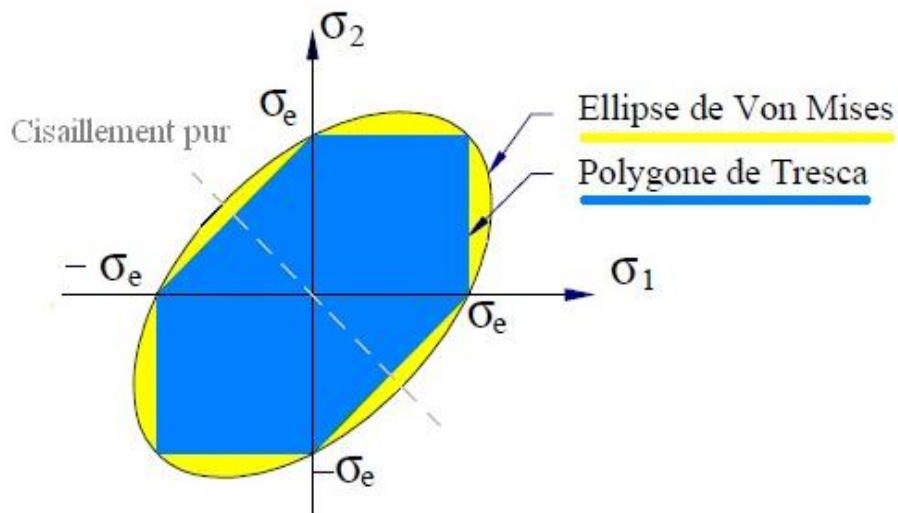
Figure II.8 Critère de Tresca.

### II.6.3 Critère de von mises

Ce critère s'applique également aux matériaux ductiles et met en œuvre l'énergie de distorsion,

Notant qu'un état de contrainte hydrostatique change seulement le volume et non la forme des matériaux, le critère s'écrit [30] :

$$\sqrt{\frac{3}{2}}\text{Tr}(\boldsymbol{\sigma}\mathbf{D}\boldsymbol{\sigma})\leq\sigma_e \quad \text{avec} \quad \sigma_{Dij}=\sigma_{ij}-\frac{1}{3}\text{Tr}(\boldsymbol{\sigma})\delta_{ij}$$



**Figure II.9** La représentation graphique de ces deux critères [31].

C'est en cisaillement pur que la différence entre les critères de Tresca et Von mises est maximale.

Tresca étant plus conservatif (la limite de contrainte admissible est  $\leq$  a von mises), il est préférable de l'utiliser en cisaillement pur.

Nous rappelons que ces deux critères sont valables seulement pour les matériaux isotropes [31].

### **Le but du congé effectuée sur les éprouvettes**

Le but est de favoriser la rupture au niveau de la longueur voulu car sans le congé la rupture va être à l'extrémité de l'éprouvette, car le congé est destiné à raccorder deux surfaces formant un angle rentrant un congé peut être introduit pour réduire la concentration de contrainte que créerait un angle vif, un congé répartit la charge sur une surface plus importante, diminuant ainsi les risques de rupture en particulier dans le cas d'une pièce soumise à la fatigue.

# **Chapitre III**

## **Partie expérimentale**

## PARTIE EXPERIMENTALE

### III.1 Introduction

Ce chapitre rassemble l'ensemble des résultats obtenus et leur discussion : une interprétation de chaque graphe est avancée, le comportement en traction, déduction du module de Young  $E$  et le coefficient de poisson  $\nu$ , et l'écroutissage  $n$  de chaque graphe et sa moyenne.

### III.2 Description du tour TOS SN40

De par leur universalité d'emploi, leur précision de travail, simplicité de conception et modicité de prix. Les tours de la série SN sont destinés tout particulièrement à la fabrication de petites séries et de pièces isolées et rendent d'excellents services dans les ateliers de réparation.

Ces tours de conception récente répondent à toutes les exigences modernes en matière d'usinage. La grande capacité d'usinage des machines ainsi que les accessoires qui les complètent en font des machines très universelles.

Les machines permettent d'effectuer presque toutes les opérations d'usinage telles que le chariotage et surfacage, alésage, tournage conique, copiage hydraulique, fraisage des rainures et des roues dentées, rectification intérieure, extérieur et plane, etc.

Les tours sont livrés en systèmes métrique ou anglais. Les machines destinées aux pays utilisant un courant de 60 périodes sont livrés avec une poulie spéciale.



*Figure III.1* Tour conventionnelle type SN 40 C du hall de technologie.

Tour parallèle.

Entre pointes : 2000 mm

Diamètre au-dessus du banc : 400 mm

Alésage de la broche : 52 mm

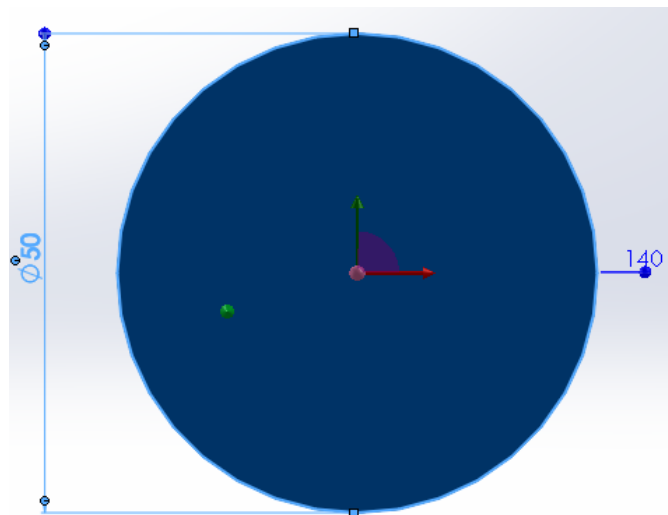
Vitesses de la broche : 22,4-2000 tr/min

Machine munie de :

- Mandrin 3 mors autocensurant
- Tourelle changement rapide
- Lampe halogène

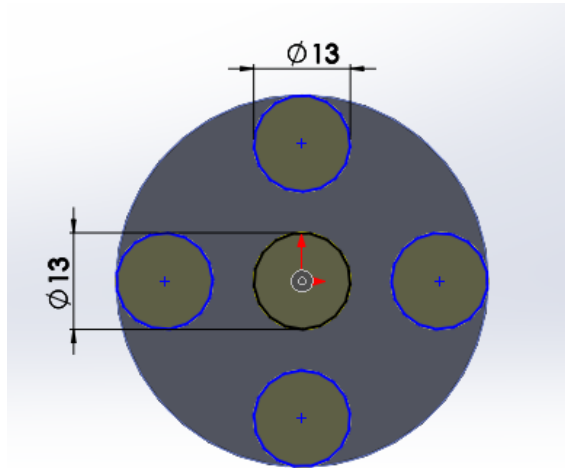
### III.3 Description de la partie expérimentale

Nous avons commencé par usinée un brut de diamètre  $\varnothing = 50$  mm d'alliage d'aluminium AU4G(2017A), sur une fraiseuse (**voir I.5**).



**Figure III.2** Esquisse de la brute de  $\varnothing = 50$  mm de l'aluminium AU4G.

Notre objectif est d'extraire cinq échantillons de ce brut



*Figure III.3* esquisse du brut la méthode d'extraire les éprouvettes.

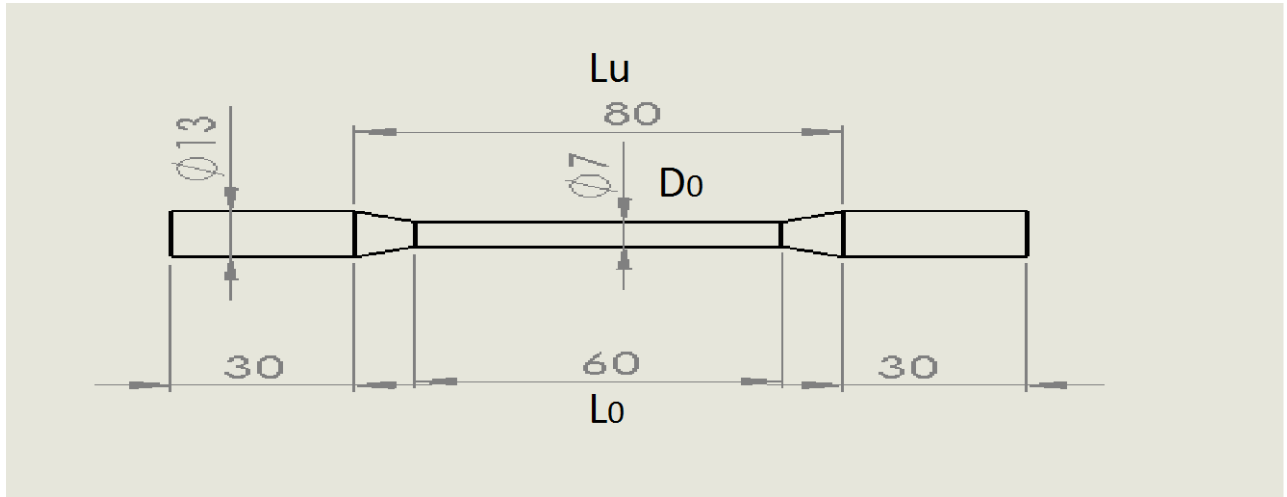
Un schéma représentatif du brute et les désignations des échantillons du centre et de la périphérie, et la méthode d'extraction



*Figure III.4* Méthode d'usinage sur la fraiseuse.

### III.3.1. Définition et dimensionnement de l'éprouvette

L'essai est réalisé sur une éprouvette cylindrique en aluminium (AU4G)2017A de section et diamètre (7 mm)



*Figure III.5 designs de l'éprouvette de traction.*

**L0** : Longueur utile initiale de l'éprouvette

**Lu** : Longueur de la partie

**Lt** : Longueur totale de l'éprouvette

**D0**: diamètre Ø de l'éprouvette



### III.4 Les étapes de l'essai de traction

#### III.4.1 Objectif

Nous allons déterminer les valeurs du module de Young  $E$  et le coefficient de poisson  $\nu$  et la constante  $n$ , de notre matériau. Ceux-ci peuvent être déterminées à partir d'un essai de traction simple.

#### III.4.2 Description de la machine

La machine utilisée est une machine de traction uni axiale de type Allroundline Zwick Roell Z100 de force d'essai  $F_{max}$  est de 100 KN, piloté par le logiciel testXpert II. La Hauteur de l'espace d'essai de la machine est de 1360 mm, sa largeur de l'espace d'essai est de 640 mm, son moteur est de type Moteur servo AC, et son système de retour Hiperface, ça vitesse traverse  $V_{min}$  0,001 mm/min à  $V_{max}$  200mm/min, avec cette machine on peut faire des essais de traction statiques de tous les matériaux à température ambiante ainsi qu'à une température élevée jusqu'à 1200°C.

Cette machine de traction est constituée d'un bâti portant une traverse mobile et d'une traverse fixe. L'éprouvette de traction, fixer entre les mors de la machine, selon sa géométrie, est fixée à sa partie inférieure de la machine et sa partie supérieure à la traverse mobile. Le déplacement de la traverse vers le haut réalise la traction. Elle a une cellule de charge qui permet de mesurer la force exercée sur l'éprouvette, L'utilisation d'un extensomètre facilite l'exécution de la mesure directe du changement de la longueur de l'échantillon pendant les phases sensibles de l'essai de traction.



*Figure III.6* Machine de traction de type Zwick Roell Z100 (université Sétif).

### III.4.3 Protocole

Six essais de traction pour une vitesse de traction de 2mm/min ont été effectués de sorte à pouvoir obtenir une moyenne de résultats pour les éprouvettes du centre et les comparer avec celles des côtés.



*Figure III.7 Les éprouvettes de Durale (AU4G) 2017A.*

On a commencé par remesurer l'éprouvette, ça longueur utile initiale ( $L_0$ ) et la longueur ( $L_c$ ) et le diamètre ( $D_0$ ) et les introduire dans le logiciel de la machine de traction Zwick Roell Z100 et de donner la vitesse d'essai (2mm/min), puis placer l'éprouvette dans les mors de la machine, et on a appliqué un petit serrage avec la main pour maintenir la pièce en place. Puis sur l'ordinateur on a lancé l'extensomètre qui va automatiquement placer ses deux capteurs sur la partie utile de la pièce déjà inscrite dans le logiciel (longueur de 60 mm). Et commence-les essaie une éprouvette puis l'autre.



Figure III.8 éprouvette de traction avant la rupture.

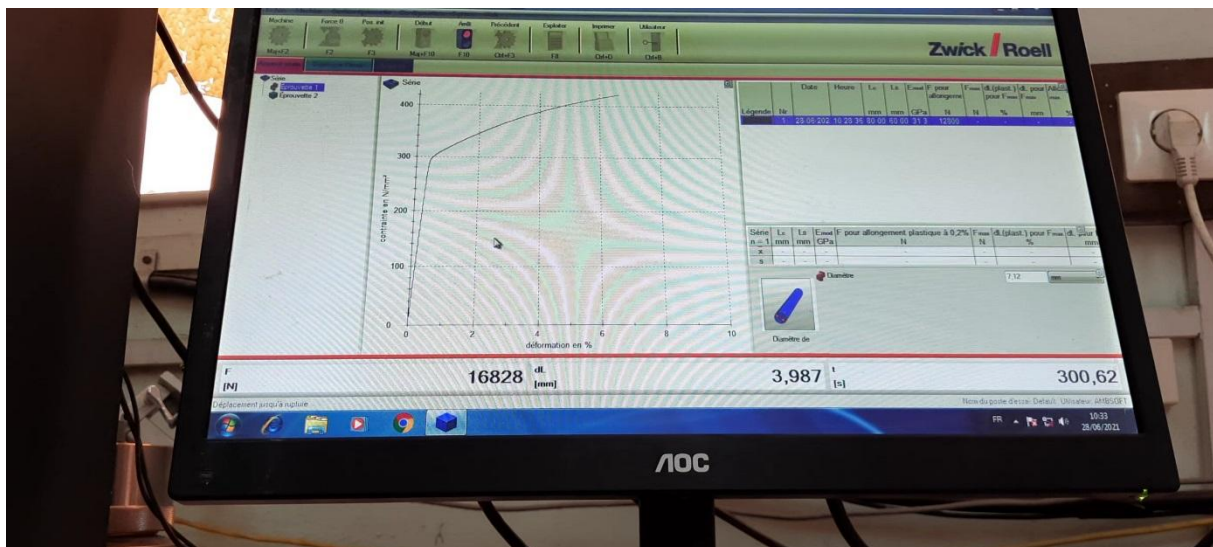
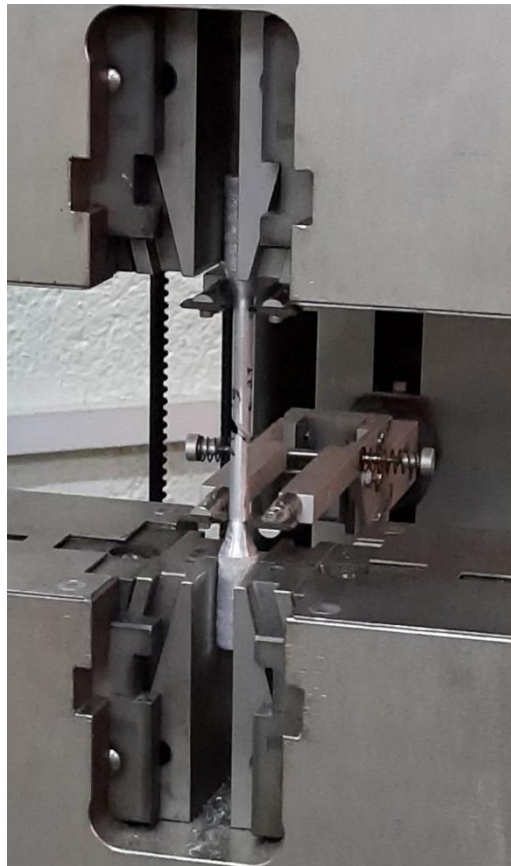


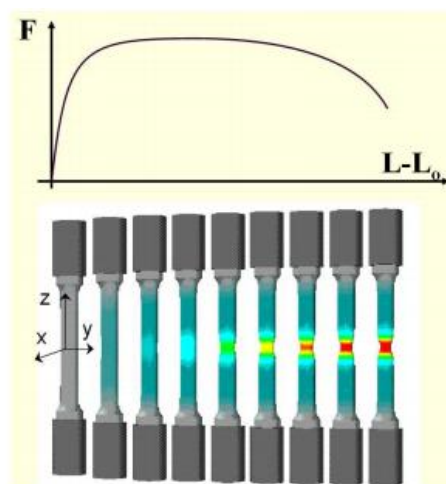
Figure III.9 Logiciel pilote testXpert II de la machine de traction Zwick Roell.

Sur l'écran d'ordinateur on a pu voir l'évolution de la déformation en fonction de la force en temps réel jusqu'à la rupture



*Figure III.10 éprouvette après la rupture.*

Au cours de l'essai de traction l'éprouvette subie plusieurs phénomènes, ces derniers sont représentés sur la figure suivante :



*Figure III.10 Les étapes d'évolution de l'éprouvette durant sa traction.*

Puis après la rupture de l'éprouvette, on a extrait les résultats obtenu (déformation, force et contraintes) sous forme de tableaux sur des fichiers Excel.

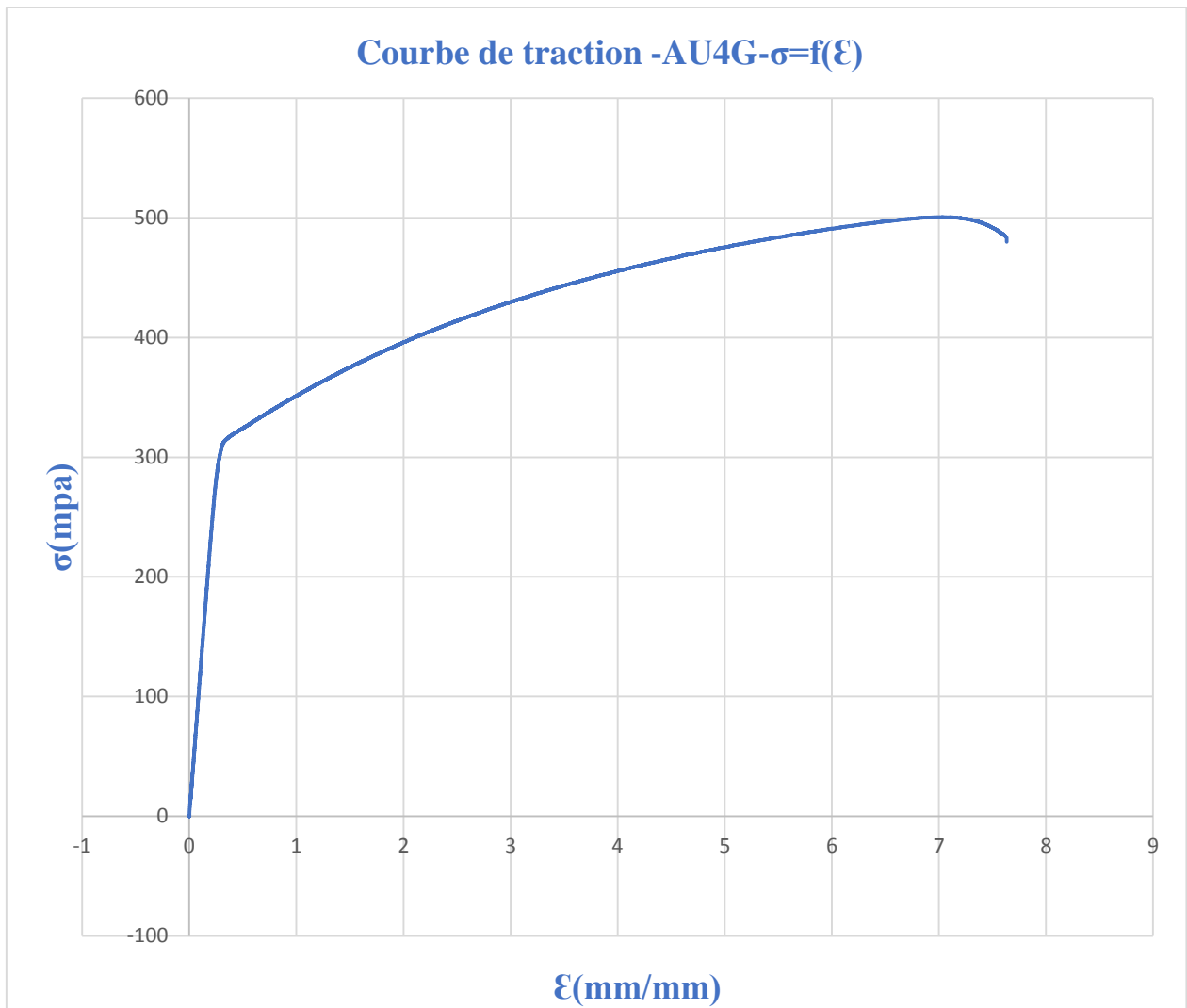
### III.5 Analyse des résultats

Les données brutes issues du logiciel ont été traités grâce au logiciel Microsoft Excel.

Une interprétation sous chaque courbe est présentée, L'exploitation des courbes de traction permet d'obtenir les caractéristiques suivantes :

- Module de Young (E)
- Coefficient de poisson ( $\nu$ )
- A Limite d'élasticité ( $R_{e0,2}$ )
- Force de rupture  $R_m$
- Contrainte déformation
- Coefficient d'écroutissage ( $n$ )

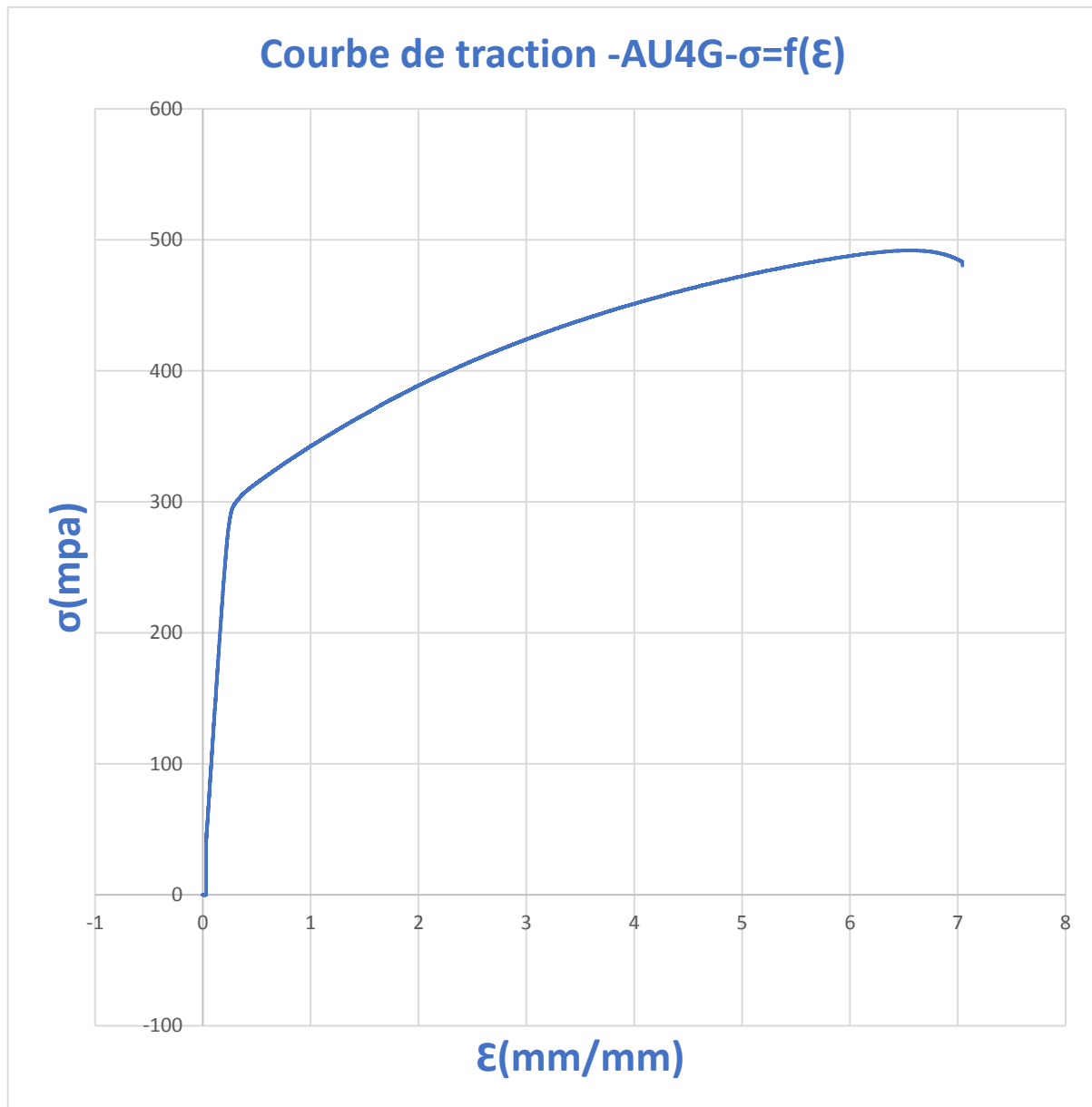




**Figure III.11** Courbe de traction :  $\sigma=f(\epsilon)$  d'AU4G à  $v= 2\text{mm/min}$  de l'éprouvette (1) du centre de brute.

La courbe possède une droite ayant une pente de cette valeur désigne le module d'YOUNG exprimée en GPa.  $E= 62,14$  GPa

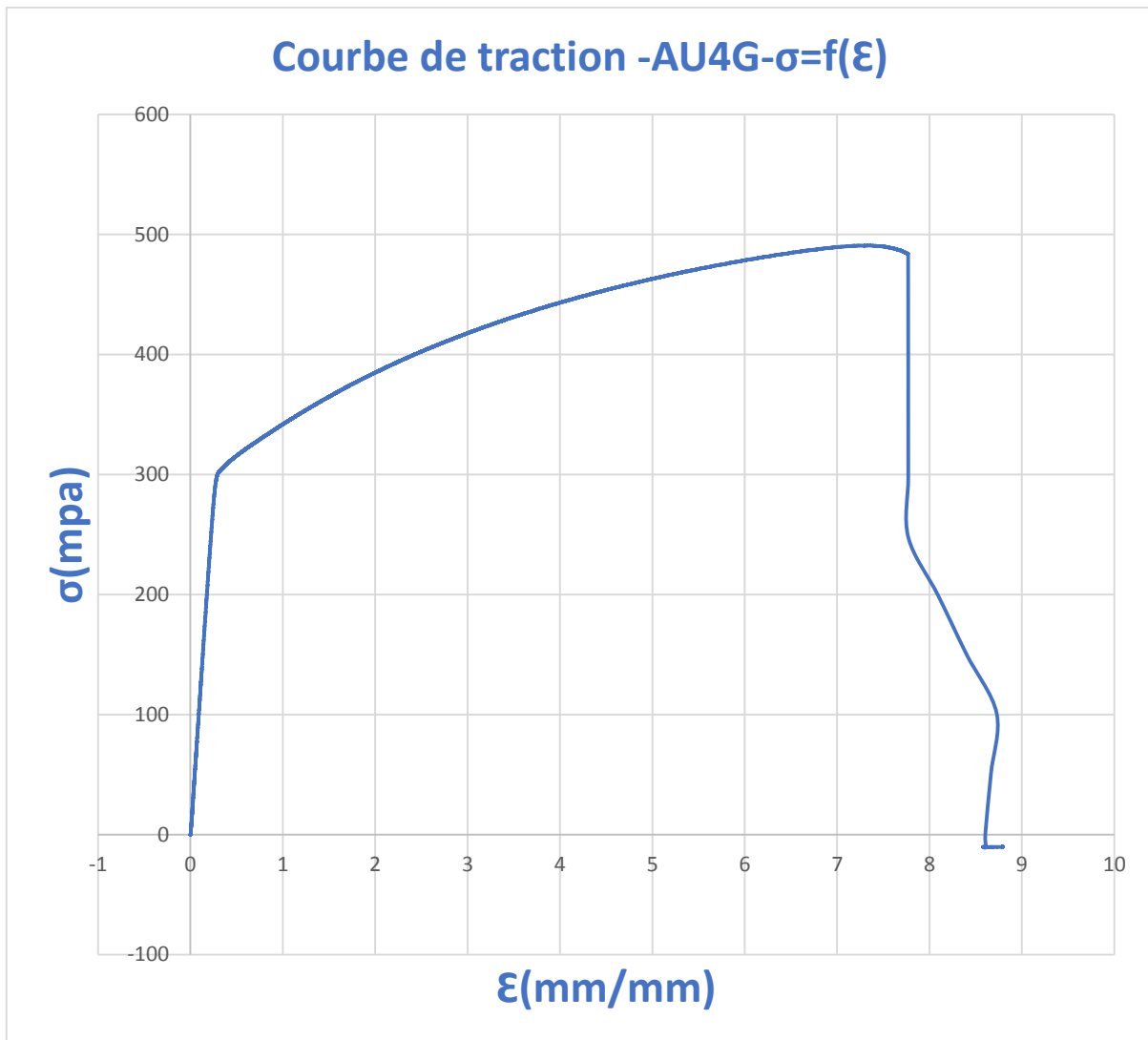
Cette droite cesse d'exister à une certaine valeur  $R_e$  égale à 310 Mpa, et la mesure de la limite élastique est un paramètre essentiel pour l'identification d'un critère de plasticité pour mesurer la limite élastique, une méthode graphique est utilisée, une tangente est tracée sur la partie élastique est  $R_{e0,2}$  est 322 Mpa. Puis y a une valeur très essentielle qu'on peut tirer de cette courbe c'est  $R_m$  502 Mpa qui présente la résistance maximum à la traction et c'est là que commence la striction c'est à dire la concentration de contrainte en une région ce qui va diminuer progressivement la surface de cette partie jusqu'à la rupture de l'éprouvette.



**Figure III.12** Courbe de traction :  $\sigma=f(\epsilon)$  d'AU4G à  $v= 2\text{mm/min}$  de l'éprouvette (2) du centre de brute.

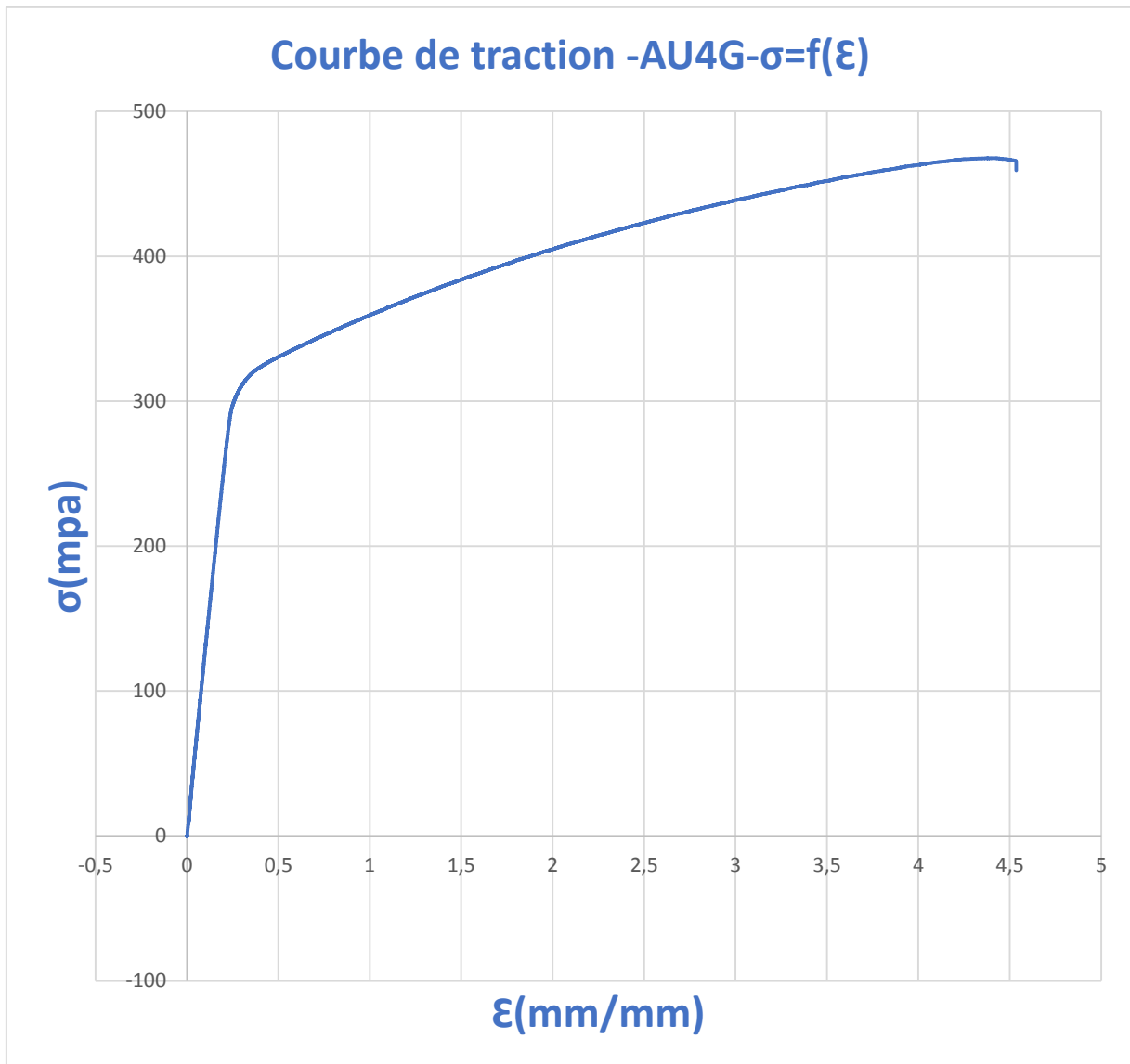
De même pour l'éprouvette N° 2, La pente dans cette courbe a une valeur est de 62,30 GPa module de Young. Sa résistance élastique 300 Mpa et ça la limite d'élasticité A est de 350 Mpa et sa résistance Rm est de 490 Mpa, les valeurs sont assez proches par rapport aux autres éprouvettes et les petites différences reviennent aux défauts d'usinage et de l'essai lui-même.





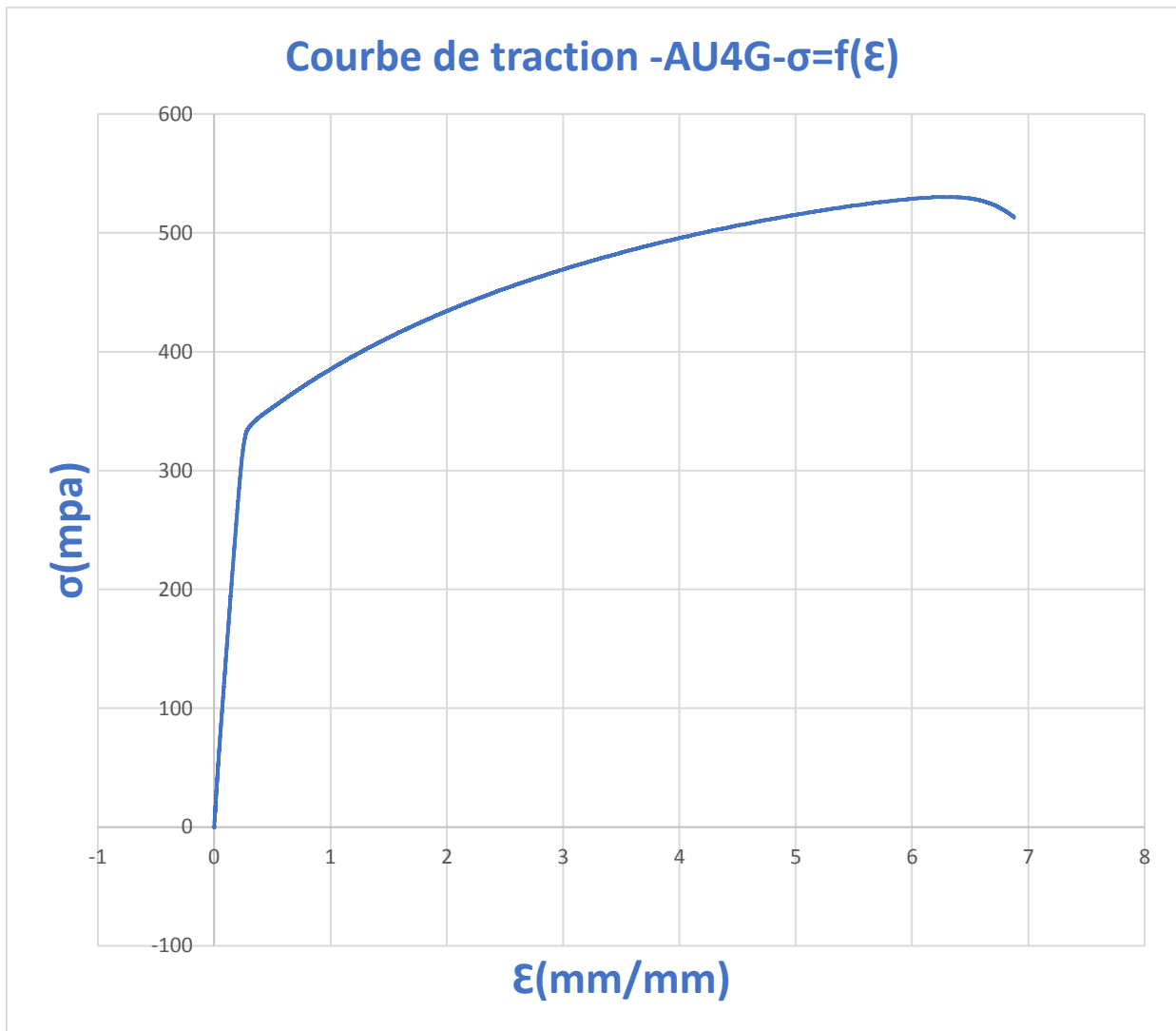
**Figure III.13** Courbe de traction :  $\sigma=f(\epsilon)$  d'AU4G à  $v= 2\text{mm/min}$  de l'éprouvette (3) du côté du brute.

Sa résistance élastique est 300 Mpa et ça la limite d'élasticité A est de 350 Mpa et sa résistance Rm est de 489 Mpa.



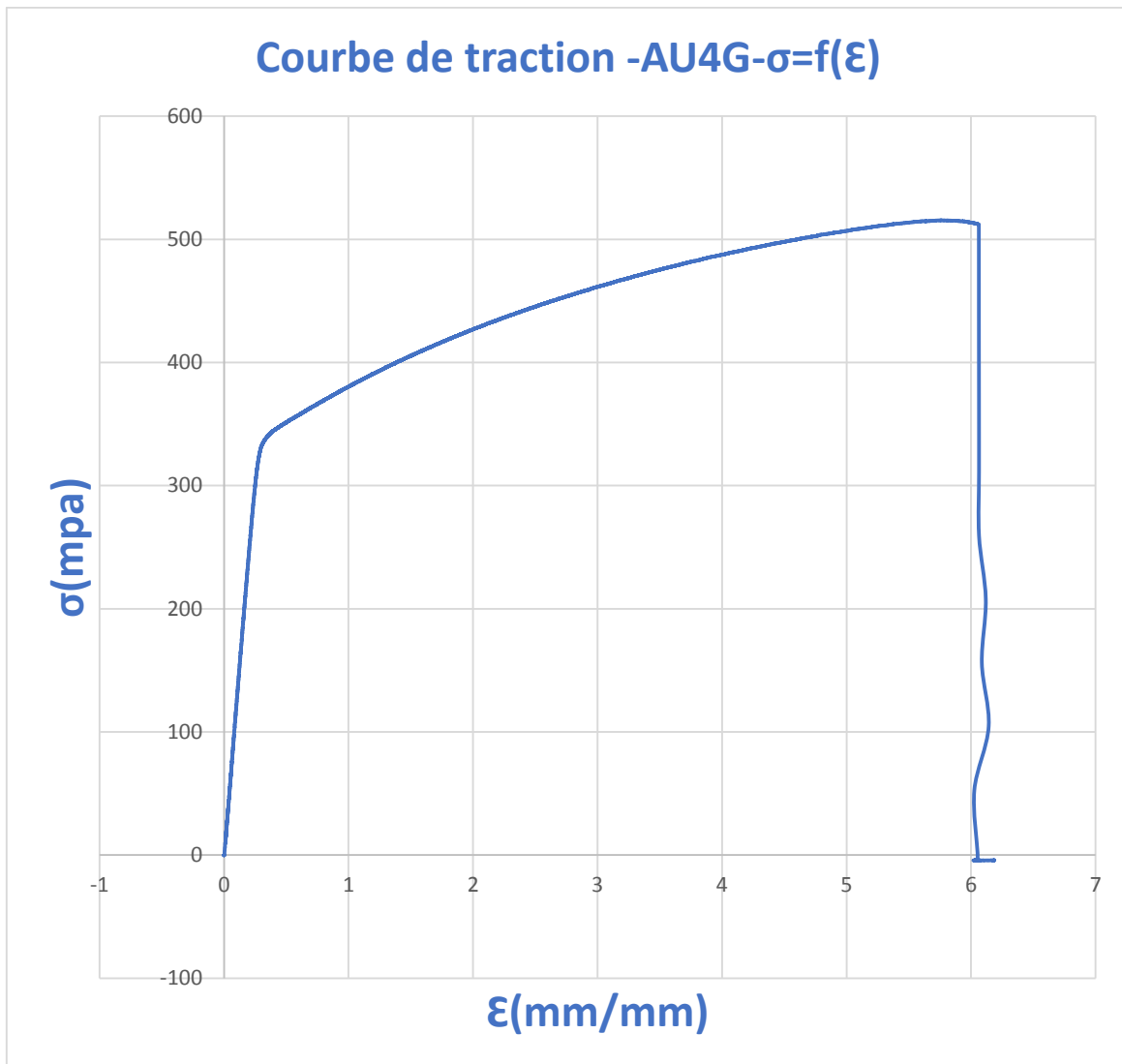
**Figure III.14** Courbe de traction :  $\sigma=f(\epsilon)$  d'AU4G à  $v=2\text{mm/min}$  de l'éprouvette (6) du centre de brute.

De même pour l'éprouvette (6), sa résistance élastique est 300 Mpa et ça la limite d'élasticité A est de 350 Mpa et sa résistance  $R_m$  est de 470 Mpa. Et en voit que les résultats des éprouvettes du cotés sont tous presque pareil.



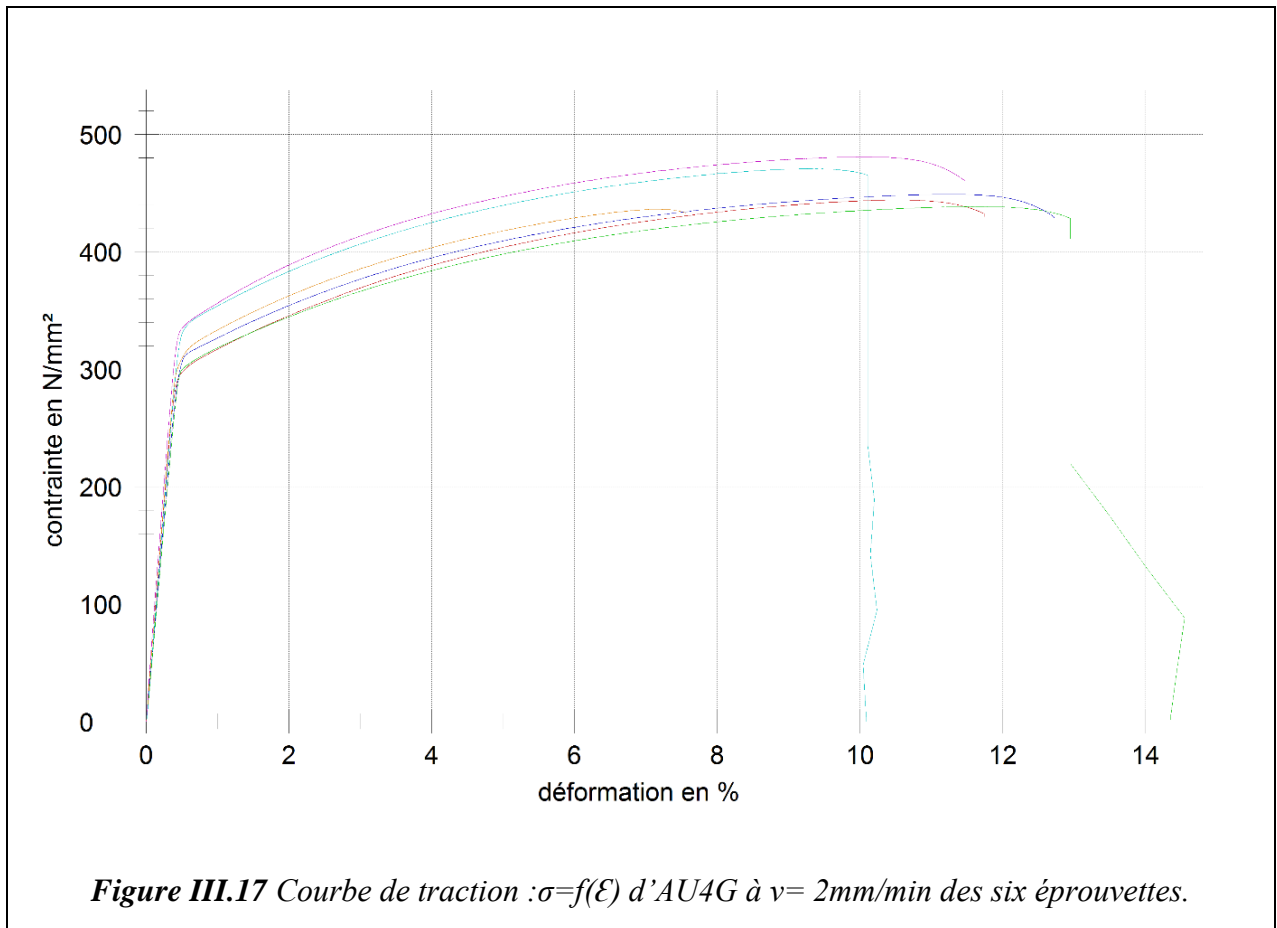
**Figure III.15** Courbe de traction :  $\sigma=f(\epsilon)$  d'AU4G à  $v=2\text{mm/min}$  de l'éprouvette (4) du centre du brut.

Dans l'éprouvette (4) celle du centre on voit clairement que sa résistance élastique est de 328 MPa et ça la limite d'élasticité A est de 350 Mpa et la résistance Rm est de 528 Mpa.



**Figure III.16** Courbe de traction :  $\sigma=f(\epsilon)$  d'AU4G à  $v= 2\text{mm/min}$  de l'éprouvette (5) du centre de brute.

Dans l'éprouvette (5) celle du centre on voit clairement que sa résistance élastique et de 333 Mpa ça la limite d'élasticité A est de 350 Mpa et la résistance  $R_m$  est de 517 Mpa



### Discussion des résultats

D'après les graphes nous avons remarqué que les pentes  $E$  (Module de Young), et les valeurs  $R_{e0,2}$  (limite d'élasticité),  $R_m$  (contrainte à la rupture) sont un peu différentes et ça à cause de plusieurs paramètres comme les défauts de dimensions (les éprouvettes n'ont pas parfaitement la même dimension), et les défauts des contraintes résiduelles. les éprouvettes extraites des côtés du brute sont inférieures à celles extraites du centre, et également nous avons calculer leur module de chacune des éprouvette et leur coefficient de poisson  $\nu$  est nous avons déterminer que les modules de Young  $E$  des éprouvettes du centre du brute sont élevé par rapport à celles des côtés, si on les compare aux autres résultats ils sont approximativement proche et on dit que un matériau dont le module de Young  $E$  est très élevé est dit rigide, nous observons une évolution de la limite d'élasticité en traction due à l'écrouissage.

À partir de ce point, la déformation est concentrée dans une zone, c'est la striction (étranglement). La force enregistrée diminue, puisque la section diminue dans la zone de striction.

Lorsque la rupture se produit l'éprouvette se contracte de manière brutale en restituant l'énergie stockée.

Cette contraction s'accompagne d'une émission sonore qui a pour origine la transformation de l'énergie élastique en énergie cinétique.

Les résultats correspondants à ses graphes sont présentés dans ce tableau ci-dessous :

**Tableau III.1** Les caractéristiques de l'aluminium (AU4G) 2017A expérimentale.

Les éprouvettes	1	2	3	4	5	6
Module de Young <b>E</b> (Gpa)	62,14	62,30	51,51	59,40	64,50	65,50
Résistance élastique <b>Re</b> (Mpa)	310	300	300	328	333	300
<b>A</b> Limite élastique <b>R0,2</b> (Mpa)	322	320	319	350	350	331
Contrainte rupture <b>Rm</b> (Mpa)	502	490	489	528	517	470
$\epsilon$ a Rm(mm)	7	6,5	7,4	6,4	5,7	4,3
$\epsilon$ Max (mm)	7,6	7,1	7,78	6,9	6,1	4,5

Le module de Young (E) peut directement être, déduit de la courbe de traction. Il est proportionnel à la pente de la droite dans la zone élastique.

On remarquera toutefois que cette valeur est, dans notre cas, difficilement exploitable en raison d'une pente très raide avec une imprécision sur la valeur de l'allongement. Ou bien en appliquant la loi de Hook.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Avec :

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Calcul de la moyenne du module de Young E

$$E_{moy} = \frac{E1+E2+E3+E6}{4}$$

$$E_{moy} = \frac{62,14+62,30+51,51+65,50}{4}$$

La moyenne du Module de Young E des éprouvettes extraite des côtes du brute : **60,36 GPa**

$$E_{moy} = \frac{E3+E4}{2}$$

$$E_{moy} = \frac{59,40+64,50}{2}$$

La moyenne du Module de Young E des éprouvettes extraite du centre du brute : **61,95 GPa**

On constate que la moyenne du module de Young E celles du centre est plus grande que celles des cotés

### III.6 Calcul du coefficient de poisson

Le coefficient de poisson est calculé suivant cette relation

$$\nu = \frac{\text{Rétrécissement transversal relatif}}{\text{Rétrécissement longitudinal relatif}} = \frac{(D0 - D)/D0}{(L - L0)/L0}$$

Les résultats trouvés sont présentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III.2** le coefficient de poisson de chaque éprouvette.

N° d'éprouvette	1	2	3	4	5	6
Coef de poisson $\nu$	0,29	0,36	0,25	0,33	0,34	0,32

$$\nu_{moy} = \frac{\nu1+\nu2+\nu3+\nu6}{4}$$

$$\nu_{moy} = \frac{0,29+0,36+0,25+0,32}{4}$$

La moyenne du Coefficient de poisson  $\nu$  des éprouvettes extrait des côtes du brut : **0,30**

**Tableau III.3** Les caractéristiques de l'aluminium AU4G 2017A expérimentale de celle des côtes du brut.

Les éprouvettes	1	2	3	6	Moyenne
Coefficient de poisson $\nu$	0,29	0,36	0,25	0,32	0,30

$$\nu_{\text{moy}} = \frac{\nu_3 + \nu_4}{2}$$

$$\nu_{\text{moy}} = \frac{0,34 + 0,33}{2}$$

La moyenne du Coefficient de poisson  $\nu$  des éprouvettes extraits du centre du brute : **0,33**

**Tableau III.4** Les caractéristiques de l'aluminium AU4G 2017A expérimentale de celle du centre du brut.

Les éprouvettes	4	5	Moyenne
Coefficient de poisson $\nu$	0,33	0,34	0,33

### III.7 Calcul le coefficient et le facteur d'écrouissage $n$ et $B$

L'équation suivante représente la fonction de la loi de comportement Johnson Cook :

$$\sigma = [A + B\varepsilon^n] \times \left[ 1 + C \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right] \times \left[ 1 - \left( \frac{\theta - \theta_t}{\theta_{fusion} - \theta_t} \right)^m \right]$$

#### *Loi de comportement de Johnson Cook.*

La loi est exprimée sous forme de trois constantes du matériau, la déformation plastique, la vitesse de déformation et les températures caractéristiques. Plusieurs paramètres constituent cette loi et notamment  $n$  et  $B$  [34].



Tous les paramètres de la loi représentent respectivement :

**A** : limite élastique de la courbe de traction.

**B** : Facteur de résistance.

**n** : coefficient d'écroutissage.

**C** : coefficient de dépendance à la vitesse d'écroutissage.

**m** : Coefficient de dépendance à la température.

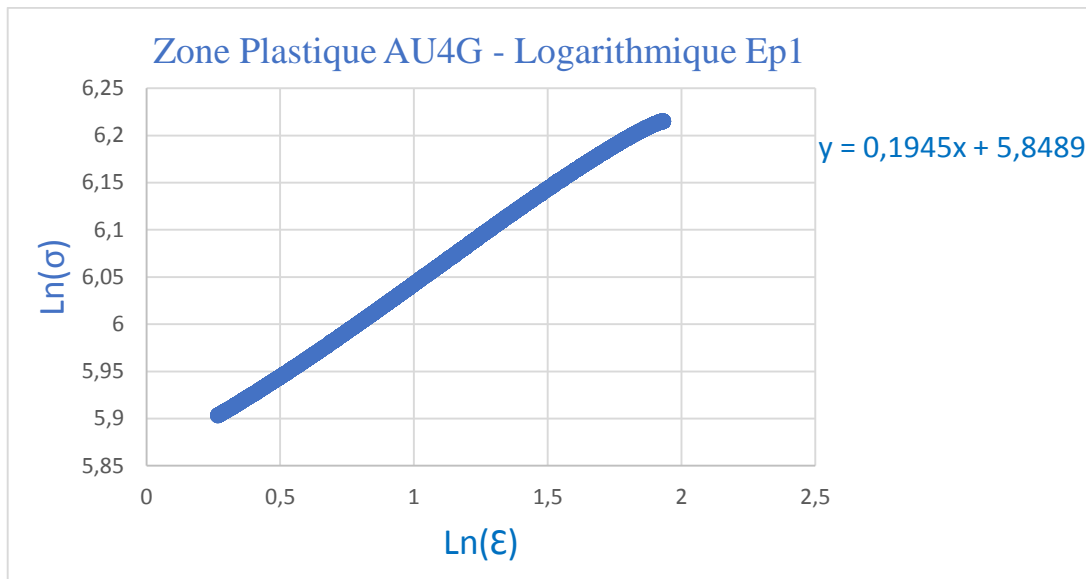
**A** est donc la limite d'élasticité  $Re_{0,2\%}$ .

Pour obtenir les paramètres **B** et **n**, il faut avant tout manipuler la courbe de traction. En effet, pour ces paramètres il ne faut que conserver la partie << plastique >> de la courbe, transformer la contrainte et déformation en contrainte vraie et déformation vraie, et tracer les nouvelles valeurs obtenues sous forme logarithmique afin d'obtenir une fonction linéaire de forme :  $y = ax + b$

Le terme **B** est donc la valeur de la contrainte vraie quand  $\epsilon_{\text{plastique}} = 1$ . Tandis que **n** est la pente de la courbe tracée dans le graphe logarithmique [34].

Note :

$$\epsilon_{\text{vrai}} = \frac{\ln(1 + \epsilon_{\text{mesurée}})}{100} * 100 \quad \text{et} \quad \sigma_{\text{vrai}} = \sigma_{\text{mesurée}} * \frac{1 + \epsilon_{\text{mesurée}}}{100}$$



**Figure III.18** Tracé algorithmique de la zone plastique :  $\ln(\sigma) = f(\ln(\epsilon))$  de l'alliage d'aluminium dit <<dural>> (AU4G) à  $v = 2\text{mm/min}$ .

Ici nous avons donc le coefficient d'érouissage  $n = 0,1945$ .

Et le module d'érouissage  $B = e^{6,045} = 421\text{ Mpa}$ .

On refait la même chose sur les 5 autres éprouvettes pour extraire la valeur moyenne, les résultats trouvés sont présentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III.5** valeurs des constante  $n$  et  $B$  de chaque éprouvette.

N° ép.	1	2	3	4	5	6
<b>n</b>	0,1945	0,2017	0,1937	0,1861	0,1867	0,1879
<b>B</b>	421	424	412	464	454	430

Nous constatons que le module d'érouissage  $B$  des éprouvettes 4 et 5 du centre du brute et supérieur que celles des périphéries du brute et le coefficient d'érouissage  $n$  se varie de chaque éprouvette, et donc on peut dire que le  $n$  variée quand le diamètre diminue.

**Tableau III.6 Paramètres du modèle de Johnson Cook.**

N° ép.	1	2	3	4	5	6
<b>A (Mpa)</b>	322	320	319	350	350	331
<b>B (Mpa)</b>	421	424	412	464	454	430
<b>n</b>	0,1945	0,2017	0,1937	0,1861	0,1867	0,1879

D'après nos résultats obtenus dans ce tableau on constate que les éprouvettes du centre du brute 4 et 5 que leur paramètre est supérieur que celles de la périphérie de la brute, d'où l'influence de la vitesse de refroidissement lors de la mise en forme de la pièce qui n'est pas la même au centre et à la périphérie de la pièce.

**Tableau III.7 Comparaison avec des coefficients Existants pour l'AU4G.**

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>n</b>
<b>AU4G A2024-T351(réf. Fikret KALAY)</b>	352	440	0,42
<b>AU4G (réf. LAROCHE Yohann &amp; NARCISSE Julien)</b>	350	421	0,21
<b>Nos paramètre</b>	332	434	0,19

Nous pouvons constater que les résultats obtenus se rapprochent de ceux trouvés par Fikret Kalay et LAROCHE Yohann & NARCISSE Julien (que vous pouvez retrouver dans nos références bibliographiques à la fin de ce mémoire).

# **Conclusion générale**

# Conclusion générale

Notre travail se focalise sur l'étude du comportement de l'alliage d'aluminium (AU4G)2017A soumis à l'essai de traction. L'étude a été faite sur six éprouvettes normalisées réalisé par opération de tournage, deux échantillons extraits du centre du brute et quatre autres des extrémités.

Les travaux de ce mémoire ont été orientés pour voir comment exploiter l'essai de traction et déterminer les caractéristiques mécaniques de l'alliage d'aluminium tels que la résistance élastique  $R_e$ , la limite d'élasticité  $A$ , la résistance mécanique  $R_m$ , l'allongement  $A\%$ , et l'écrouissage. Notre étude a été menée en s'appuyant sur une recherche bibliographique qui met en évidence ces propriétés mécaniques et un aperçu sur les essais mécaniques (essai de flexion, dureté). Une présentation sur le phénomène d'écrouissage et les contraintes résiduelles, et une comparaison entre les éprouvettes du centre et celles des côtés du brute ont été réalisées pour mieux comprendre le comportement de l'alliage.

Les résultats obtenus après les essais de traction sur les six éprouvettes en alliages d'aluminium AU4G2017A nous ont permis de :

- Les propriétés mécaniques des éprouvettes du centre du brute sont supérieures à celles des extrémités.
- Les éprouvettes du centre sont plus rigides et plus ductiles que les éprouvettes des extrémités.

La différence est due aux procédés de mise en forme de l'alliage d'aluminium et durant son élaboration et sa préparation. Les grains présents dans l'alliage ont tendance à grossir sous l'effet de deux facteurs, une température élevée et une longue durée de chauffage. Plus le grain grossit, plus la densité des joints de grains augmente. Et inversement le refroidissement de l'alliage fait diminuer la taille des grains mais n'affecte pas la densité des joints. Ce qui a permis d'observer l'influence des paramètres sur nos résultats.

# **Bibliographie**

# Bibliographie

- [1] B. Vielle, méthode et fabrication, conservatoire national des arts et métiers.
- [2] robert. Cireddu, Ressources, Le tournage
- [3] Cours de fabrication mécanique en génie mecanique-2013/10/le-chariotage
- [4] Catalogue Sandvik coromant.
- [5] Kera industry, Les-conditions de coupes.
- [6] Gaëtan Albert, identification du torseur des actions de coupe en fraisage, 2010, Ecole Doctorale Des Sciences Physique et De l'Ingénieur, Université Bordeaux 1.
- [7]Thomas-racing.Alliages-d-aluminium-utilises-couramment-pour-la-fabrication-des-monoplaces-de-competition.
- [8] Métaux détail service, propriété physique des alliages d'aluminium.
- [9] H. Leiris, Metaux et alliages autres que les aciers et les fontes, Tome II, Masson et c Éditeurs. Pp.71-92, 1971 IE
- [10] Projet Tutoré : Aluminium, IUT Saint-Jérôme
- [11] A. FEKRACHE, étude microstructurale des alliages aluminium fer, Université Badji Mokhtar-Annaba, Année 2008
- [12] C. Varel, le comportement de l'aluminium et de ses alliages, Ed. Dunod technique, paris (2004) 25.
- [13] R. vennekens et EWE. Fweldl, notice d'information sur l'aluminium, deuxième partie, institue de la belge de la soudure, avril 2003.
- [14] Michel De Quatremare et Thierry Devers, precis des materiau, 2012, paris, DUNOD.
- [15] Blétry, M. Méthodes de caractérisation mécanique des matériaux. 2006.
- [16] Société Francophone des Biomatériaux Dentaires (SFBD) - Dr. B. JACQUOT

- [17] contrainte déformation/Villeneuve/matériaux/chap6
- [18] Dieter, G. E., & Bacon, D. J. (1986). Mechanical metallurgy (Vol. 3). New York: McGraw-Hill.
- [19] Y. Quéré «Physique des Matériaux », Edition Paris (1988)
- [20] Propriétés du matériaux, Centre de vérification de Metz.
- [21] j. Michel baes max B. Christian. (Mai 2004).la goutte essai de tractions. Institut des techniques d'ingénieur de l'industrie.
- [22] Document usine N2 contrôle de qualité des matériaux métallique, essai de traction – NF10002-1(1990)
- [23] F. yahamdi, modélisation des courbes de traction et évaluation du coefficient d'érouissage université Badji Mokhtar Annaba ; 2008
- [24] Ruud, C.AO review of selected non-destructive methods for residual stress measurement. NDT international, vol, no.1page 15-23, 1982.
- [25] Cour résistance des matériaux page 33 université de limoges 11 november2020, Damien André
- [26] Das. S, et Chandra, U. Residual stress and distortion. Physical Metallurgy and Processes, Handbook of aluminum, vol. 1 pages 305-349, 2003.
- [27] Lefebvre, E. Wisniewski (CETIM) Paris Saclay
- [28] LALONDE\_jean-francois.pdf
- [29] Principe de l'essai de traction, roc Dacier, 2017
- [30] Introduction à la résistance des matériaux centrale Nantes (Jean-Pierre basset, Patrice Cartraud, Christian Jacquot, Antoine Leroy, Bernard Peseux, pierre Vaussy)
- [31] Développeur de solutions ingénieuses- Méthode du calcul de structure par élément finis
- [32] Les caractéristiques de l'aluminium structural, Denis Beaulien, les presses de l'université de Laval.



[33] Fikret KALAY, Simulation numérique de l'usinage Application à l'aluminium AU4G : A2024-T351.

[34] Rapport : Projet de Fin d'Etude Simulation numérique de l'usinage avec ABAQUS/LAROCHE Yohann & NARCISSE Julien 5A DMS polytech tours- 2011/2012.

# Annexe

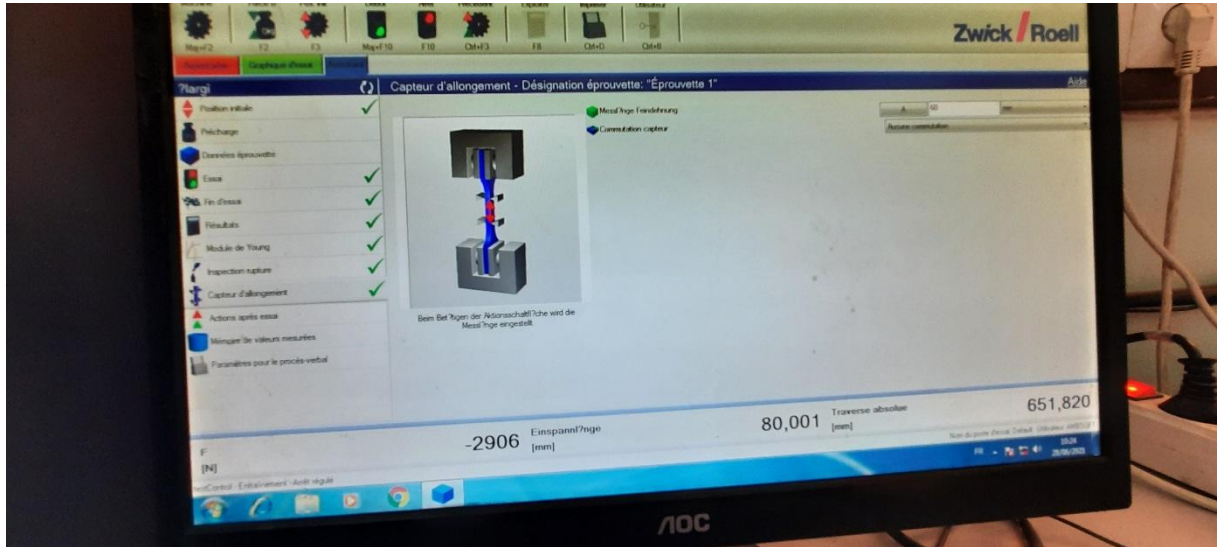


Figure Logiciel pilote

## **RESUME**

L'objectif de ce travail est l'étude du comportement de l'alliage d'aluminium AU4G soumis à l'essai de traction simple sur des éprouvettes extraite au centre du brute et aux périphéries. En s'appuyant sur les résultats extraits de cet essai et sur des théories concernant les domaines élastique et plastique de l'alliage d'aluminium on a pu déterminer plusieurs caractéristiques concernant l'alliage d'aluminium AU4G comme le module d'YOUNG, la limite d'élasticité et le coefficient de poisson et surtout déterminer les paramètres de Johnson Cook. On a pu trouver des résultats intéressants tels que l'influence de certains paramètres sur le mode d'usinage et l'influence des contraintes résiduelles durant l'opération de tournage et les différents caractères mécanique des éprouvettes du centre et des côtés.

## **ABSTRAT**

The objective of this work is to study the behavior of aluminum alloy AU4G subjected to the simple tensile test on specimens extracted at the center of the crude and at the periphery. By relying on the results extracted from this test and on theories concerning the elastic and plastic domains of the aluminum alloy we can determine several characteristics concerning the AU4G aluminum alloy such as the YOUNG modulus, the yield strength and Poisson's ratio, and above all to determine the Johnson Cook parameters. Interesting results have been found such as the influence of certain parameters on the machining mode and the influence of residual stresses during the turning operation and the different mechanical character of the center and side specimens.