



**UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA**

**Faculté des sciences appliquées**

**Département de Génie mécanique**

**Mémoire**

**MASTER ACADEMIQUE**

**Domaine : Sciences et Technologie**

**Filière : Génie Mécanique**

**Spécialité : Fabrication Mécanique et production**

**Présenté par : Ati Mohamed Lamin**

**Mokrani Abdennour**

**Thème :**

**Etude Analytique des Essais mécaniques  
Investigation sur les essais de traction**

**Mr. Aneur Toufik**

**MCA**

**UKM OUARGLA**

**Président**

**Mr. Chaib Hachm**

**MCA**

**UKM OUARGLA**

**Examineur**

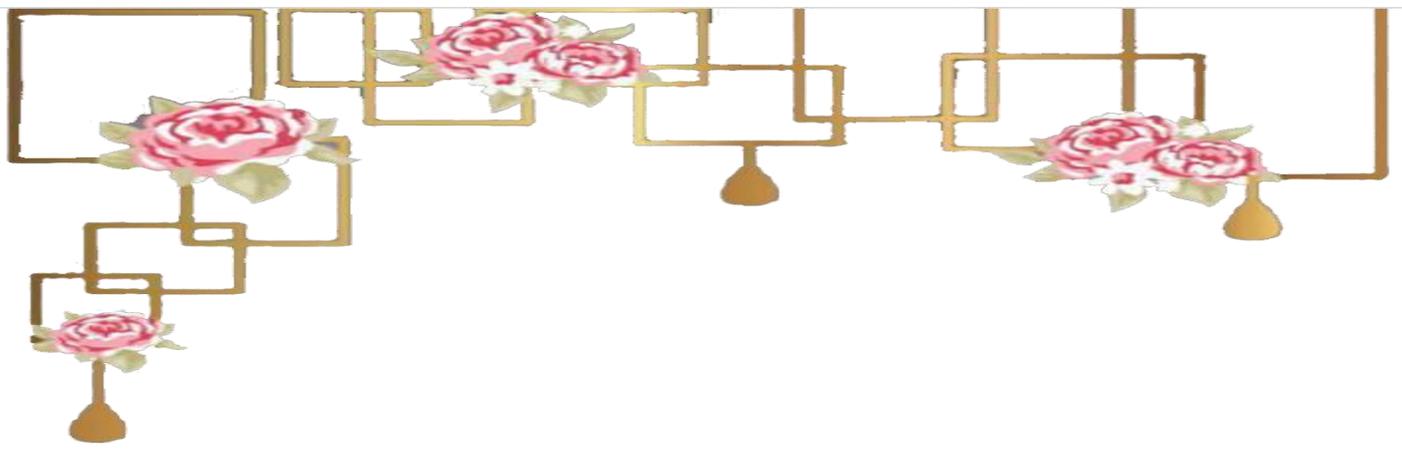
**Mr. Gareh Salim**

**MCA**

**UKM OUARGLA**

**Encadreur**

**Année universitaires : 2021/2022**



**Dédicace :**

**Je dédie ce modeste travail à nos parents en particulier qui m'ont aidé dans ce travail moralement et financièrement, et à toute la famille du génie mécanique et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.**



# Remerciement

*Au terme de ce travail, il est agréable d'exprimer nos remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire. Nos remerciements vont tout particulièrement à Monsieur*  
**GAREH SALIM**

On lui doit une immense reconnaissance et un très grand.

*- Nos remerciements vont également à tous les membres de jury, pour avoir Accepté d'en faire partie et pour l'intérêt qu'ils ont porté au sujet de ce travail*

*Enfin, Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce document, trouvent ici mes profondes reconnaissances*

et remerciements. A tous ceux que j'ai cité ou je n'ai pas pu citer, toutes mes excuses, que Dieu vous bénisse et vous récompense, Amen !



# Sommaire

**DEDICACE**

**REMERCIEMENT**

**TABLE DES ABREVIATIONS**

**LISTE DE FIGURE**

**LISTE DES TABLEAUX ET GRAPHIQUES**

**INTRODUCTION GENERAL**

Chapitre I.....	4
I-1-Introduction .....	5
I -3-1-but de l'essai .....	5
I -3-2-principe .....	5
I -4-essai de compression .....	5
I -4-1-Réalisation de l'essai.....	5
I -4-2- but de l'essai .....	6
I -5-essai de flexion .....	6
I -5-1-Introduction.....	7
I -5-2-Principe de l'essai .....	7
I -5-3-But de l'essai de flexion .....	7
I -6-Essai de torsion.....	8
I -6-1-Introduction.....	8
I -6-2-Machine d'essai .....	8
I -6-3-Ingrédients.....	8
I -6-4-But de l'essai.....	9
I -6-5-Courbe de torsion.....	10
I -7-Essai de cisaillement .....	10
I -8-Conclusion.....	11
chapitre II .....	13
II -1-Introduction.....	13
II -2-Définition de traction .....	13
II -3-Essai de traction .....	14
II -3-1-Essais de traction plane.....	17
II -3-2-Essais de traction uniaxiale.....	18
II -4-Description générale d'une machine de traction.....	19
II -5-Type de machine de traction .....	20
II-5-1-Machine de traction classique.....	20
II-5-2- Machine de traction dynamique .....	22
II-5-3 -Machine de traction centrifugation.....	22

II -6-Caractéristiques mécaniques .....	22
II -6-1-Allongement d'une barre (loi de hooke).....	22
II -6-2-Module d'elasticite .....	23
II -7-Exploitation de l'essai.....	24
II -7-1-Interpretation qualitative.....	25
II -7-1-1-Cas d'un materiau ductile.....	26
II -7-1-2-Cas d'un materiau fragile .....	27
II -8-Conclusion .....	27
Chapitre III .....	28
III -1-Introduction .....	29
III -2- Définition du modele .....	29
III -2-1-Définition du matériau .....	29
III -2-1-1-Loi de comportement de Johnson-Cook .....	29
III -2-1-2-Critère d'endommagement de Johnson-Cook.....	30
III -2-2-Méthodes de calcul.....	31
III -3-Détermination des coefficients des lois de johnson cook.....	31
III -3-1-Détermination des coefficients de la loi de comportement de johnson-cook par un essai de traction .....	32
III -3-1-1- Objectif.....	32
III -3-1-2- Strategie.....	32
III -4-Elasticite lineaire .....	35
III -5-Modeles de steinberg-cochran-guinan.....	36
III -5-1-Modele de steinberg – lund .....	36
III -5-2-Modele de zerilli-armstrong .....	37
remarque.....	37
III -6-L'effet de la vitesse de deformation .....	38
III -7-L'effet de la temperature .....	41
III -8-Conclusion : conclusion general .....	42
Reference.....	44
Resume .....	45

## liste de figure

<b>Figure I-1</b> -processus de traction.....	5
<b>Figure I-2</b> principe d'essai de compression.....	6
<b>Figure I-3</b> – flexion .....	7
<b>Figure I-4</b> -machin de torsion.....	9
<b>Figure I-5</b> -concept du cisaillement.....	10
<b>Figure I-6</b> -machine de cisaillement manuelle .....	11
<b>Fig.II.1</b> une barre soumise à un effort suivant son axe neutre.....	13
<b>Fig.II-2</b> -représentation de l'effort normal avec la méthode des sections.....	13
<b>Fig. II-3</b> -représentation de la contrainte normale avec la méthode des sections .....	13
<b>Figure II-4</b> -éprouvette de traction.....	14
<b>Figure :II-5</b> mesure du module de young par un essai de vibration.....	16
<b>Fig. II-6</b> - machine de traction .....	21
<b>Fig.II-7</b> - représentation de l'allongement après chargement .....	22
<b>Fig.II-8</b> - etude de l'allongement longitudinal d'une barre .....	23
<b>Fig. II-9</b> - diagramme effort – déformation .....	25
<b>Fig.II-10</b> -la striction.....	26
<b>Fig. II-11</b> -comportement d'un matériau ductile et d'un matériau fragile en traction.....	27
<b>Figure III-1</b> -machine de traction intron .....	32
<b>Figure III-2</b> - eprouvette de dural (au4g) – épaisseur =1mm, largeur = 6mm, longueur =50mm .....	32
<b>Figure III-3</b> -a droite 3 éprouvettes ayant des géométries différentes mais de section égale .....	34
<b>Figure III-4</b> -exemple de courbe obtenu dans un article de recherche de o. pantale .....	35

## liste des tableaux et graphiques

<b>Tab : III-1</b> -les parametres du modele utilises pour la simulation de l'essai de traction (cu) .....	38
<b>Graphe I-1</b> courbe de torsion .....	10
<b>Graphe II-1</b> -diagramme contrainte/deformation .....	15
<b>Graphe. II-2</b> essais de traction monotone a 0°, 45° et 90° par rapport ` a la dl .....	19
<b>Graphe. II-3</b> -courbe de comportement d'un materiau fragile.....	27
<b>Graphe III 1</b> -courbe de traction : $\sigma=f(\epsilon)$ d'au4g a v =5, 10 et 15 mm/min .....	33
<b>Graphe.III-2</b> :- courbe de traction contrainte-deformation avec t = 293 k, $\epsilon = 2$ m/s .....	38
<b>Graphe.III-3</b> : courbe de traction contrainte-deformation avec t = 293 k, $\epsilon = 0.2$ m/s .....	39
<b>Graphe.III-4</b> : courbe de traction contrainte-deformation avec t = 293 k, avec differentes vitesses de deformations.....	39
<b>Graphe .III-5</b> -courbe de traction contrainte-deformation avec t = 343 k, avec differentes vitesses de deformations.....	40
<b>Graphe.III.6.</b> courbe de traction contrainte-deformation avec t = 473 k, avec differentes vitesses de deformations.....	40
<b>Graphe.III-7</b> -courbe de traction contrainte-deformationavec vitesse de deformation constants 0.2 m/s, et avec differentes temperatures 293,343,473 et 618 k .....	41
<b>Graphe.III-8</b> -courbe de traction contrainte-deformation avec vitesse de deformation constants 0.02 m/s, et avec differentes temperatures 293, 343,473 et 618 k .....	41
<b>Graphe.III-9</b> -courbe de traction contrainte-deformation avec vitessedede deformation constants 0.02 m/s, et avec differentes temperatures 293, 343,473 et 618 k .....	42

## Liste Des Symboles

<b>Symbole</b>	<b>Désignation</b>
<b><math>\sigma</math></b>	Étant la contrainte normale.
<b><math>N</math></b>	désigne l'effort normal appliqué au centre de gravité de S
<b>E</b>	Le module de Young
<b><math>R_e</math></b>	La limite élastique
<b><math>R_m</math></b>	La résistance à la rupture
<b><math>R_{0.2}</math></b>	la limite élastique conventionnelle.
<b><math>\epsilon</math></b>	allongement relatif
<b><math>sp_f</math></b>	la déformation équivalente de frac
<b><math>S_0</math></b>	la section de l'éprouvette.
<b>F</b>	la force appliquée
<b>A</b>	L'allongement à la rupture
<b>l</b>	la longueur de la barre
<b>B</b>	le module d'écrouissage
<b>n</b>	le coefficient d'écrouissage
<b><math>\Delta sp</math></b>	est l'incrément de la déformation plastique équivalente.
<b>P</b>	la pression hydrostatique
<b>T</b>	la température
<b><math>\sigma_p</math></b>	la contrainte de Peierl

## Introduction Général

Le sujet de nos recherches s'articule autour des essais mécaniques et de traction notamment, très répandus dans le XXI<sup>e</sup> siècle, qui dépend de l'industrie et soumet les matériaux à leur élaboration, sachant que tous les essais partagent un même principe, qui est la description du comportement des matériaux et des minéraux lorsqu'ils sont exposés à une ou plusieurs forces et en les fixant avec des contraintes différentes, où l'intensité et la direction de la force se ramifient en changeant de test, car les tests mécaniques sont restés longtemps inconnus jusqu'à ce qu'il réalise Certains scientifiques tels que Lionel de Vinci, Galilée et Robert ont fait un saut qualitatif dans le monde du génie mécanique, mais ils n'ont pas été en mesure de comprendre pleinement ses propriétés, car ils n'ont pas abordé deux paramètres de base qui ont un impact significatif sur les essais de traction, à savoir la température et la vitesse de déformation, grâce auxquelles nous pouvons modifier les performances de la pièce dans ses utilisations.

Où en négligeant à la fois la vitesse et la température de traction avec la contrainte de coupe et la période de résistance, de sorte que nous puissions tester la traction dans différentes conditions similaires à celles auxquelles la pièce est exposée pendant son travail. Le but de cette étude est de produire une pièce adaptée et plus durable pour contribuer au développement du domaine mécanique.

# **Chapitre I :**

**Essai de mécanique.**

## I-1-Introduction :

Les propriétés mécaniques des métaux et alliages sont d'un intérêt considérable puisqu'elles conditionnent non seulement tous les problèmes de mise en forme des matériaux mais aussi leur comportement en service dans des applications extrêmement diversifiées. Pour un problème déterminé, le choix d'un matériau dépendra de propriétés mécaniques telles que résistance, dureté ou ductilité, et il est donc nécessaire de les mesurer avec un certain nombre d'expériences que l'on appelle les essais mécaniques.

Ces essais ont plusieurs objectifs : Ils permettent, tout d'abord, d'étudier les lois physiques qui régissent le comportement mécanique des matériaux et constituent à ce titre un outil de recherche très efficace. Ils conduisent à des expériences où l'on reproduit le mieux possible les conditions d'emploi prévues d'un matériau particulier, sous une forme simplifiée et normalisée, ce qui permet de déterminer ainsi la plupart des propriétés mécaniques ; les résultats obtenus aidant par ailleurs à la mise au point de matériaux nouveaux et d'applications plus vastes. Ils servent, d'autre part, à dresser des tables de valeurs des différentes caractéristiques mécaniques destinées à la fois à l'ingénieur qui réalise un projet et au chercheur penché sur une étude particulière. Ils déterminent, enfin, si un alliage est conforme aux propriétés requises.

Ce type d'essai est fréquemment utilisé dans l'industrie : c'est l'essai de contrôle dont l'objectif est d'obtenir avec rapidité des renseignements courants sur la qualité des produits, la précision étant reléguée au second plan. L'analyse des résultats est alors pour une grande part un problème de statistique.

Les essais mécaniques peuvent se diviser en deux grands groupes : Le premier correspond aux essais qui ne dépendent pas du temps de façon fondamentale, l'essai de traction ou décompression détermine l'aptitude à la déformation d'un matériau soumis à un effort variable ; l'essai de dureté fournit renseignements sur la résistance à la pénétration d'une pièce dure soumise à un effort constant et l'essai de résilience caractérise sa résistance au choc.

Dans le second groupe, qui rassemble les essais où le temps est un facteur principal, l'essai de fatigue étudie le comportement du métal vis-à-vis de sollicitations alternées bien inférieures à sa charge de rupture, l'essai de fluage mesure la déformation, en fonction du temps, du métal sous charge constante à température élevée, et le frottement intérieur met en évidence la dissipation d'énergie par un corps en vibration.

Tous ces essais, qui mettent en œuvre des techniques particulières, sont en relation étroite avec la structure des matériaux et permettent de prévoir leur comportement dans des conditions réelles d'utilisation. [2]

## I-1-Introduction :

Les propriétés mécaniques des métaux et alliages sont d'un intérêt considérable puisqu'elles conditionnent non seulement tous les problèmes de mise en forme des matériaux mais aussi leur comportement en service dans des applications extrêmement diversifiées. Pour un problème déterminé, le choix d'un matériau dépendra de propriétés mécaniques telles que résistance, dureté ou ductilité, et il est donc nécessaire de les mesurer avec un certain nombre d'expériences que l'on appelle les essais mécaniques.

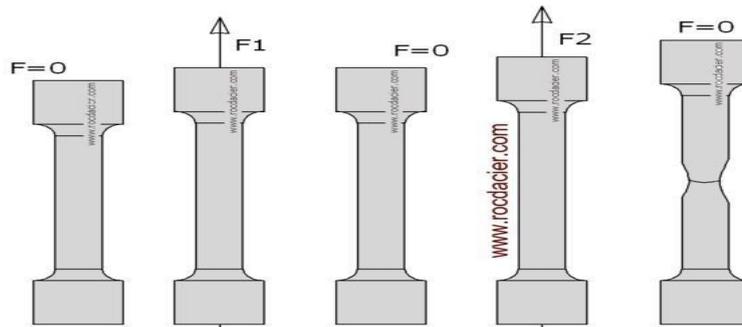
Ces essais ont plusieurs objectifs : Ils permettent, tout d'abord, d'étudier les lois physiques qui régissent le comportement mécanique des matériaux et constituent à ce titre un outil de recherche très efficace. Ils conduisent à des expériences où l'on reproduit le mieux possible les conditions d'emploi prévues d'un matériau particulier, sous une forme simplifiée et normalisée, ce qui permet de déterminer ainsi la plupart des propriétés mécaniques ; les résultats obtenus aidant par ailleurs à la mise au point de matériaux nouveaux et d'applications plus vastes. Ils servent, d'autre part, à dresser des tables de valeurs des différentes caractéristiques mécaniques destinées à la fois à l'ingénieur qui réalise un projet et au chercheur penché sur une étude particulière. Ils déterminent, enfin, si un alliage est conforme aux propriétés requises.

Ce type d'essai est fréquemment utilisé dans l'industrie : c'est l'essai de contrôle dont l'objectif est d'obtenir avec rapidité des renseignements courants sur la qualité des produits, la précision étant reléguée au second plan. L'analyse des résultats est alors pour une grande part un problème de statistique.

Les essais mécaniques peuvent se diviser en deux grands groupes : Le premier correspond aux essais qui ne dépendent pas du temps de façon fondamentale, l'essai de traction ou décompression détermine l'aptitude à la déformation d'un matériau soumis à un effort variable ; l'essai de dureté fournit renseignements sur la résistance à la pénétration d'une pièce dure soumise à un effort constant et l'essai de résilience caractérise sa résistance au choc.

Dans le second groupe, qui rassemble les essais où le temps est un facteur principal, l'essai de fatigue étudie le comportement du métal vis-à-vis de sollicitations alternées bien inférieures à sa charge de rupture, l'essai de fluage mesure la déformation, en fonction du temps, du métal sous charge constante à température élevée, et le frottement intérieur met en évidence la dissipation d'énergie par un corps en vibration.

Tous ces essais, qui mettent en œuvre des techniques particulières, sont en relation étroite avec la structure des matériaux et permettent de prévoir leur comportement dans des conditions réelles d'utilisation. [2]



**I-1-Processus de traction [9]**

### **I-3-1-But de l'essai :**

Cet essai ou expérience consiste à placer une petite barre du matériau à étudier (éprouvette) entre les mâchoires d'une machine de traction qui tire sur la barre jusqu'à sa rupture. On enregistre l'allongement et la force appliquée, que l'on convertit en déformation et contrainte. [5]

- Contrainte et déformation conventionnelles ; contrainte et déformation réelles.
- Courbes contrainte-déformation réelle et conventionnelle. [2]

### **I-3-2-Principe :**

Elle consiste à soumettre l'éprouvette normalisée du matériau concerné, en forme de barreau cylindrique ou prismatique à une force de croissance relativement faible dans l'intention de déterminer les caractéristiques mécaniques.

Avant que la striction ne débute, l'éprouvette présente un état de contrainte axiale : l'essai est effectué à la température ambiante dans les limites comprises entre 10°C et 35°C. Des essais de traction peuvent être effectués à des différentes températures allant de la température cryogénique à celle des hautes températures inférieures à la moitié de la température de fusion. [5]

## **I-4-Essai de compression :**

### **I-4-1-Réalisation de l'essai :**

L'essai de compression est l'un des essais les plus faciles à réaliser : il consiste à soumettre une éprouvette de forme cylindrique ou prismatique, placée entre les plateaux d'une presse, à deux forces axiales égales et directement opposées, qui tendent à la comprimer (La figure I-2). Si le matériau étudié est ductile, la rupture ne peut être atteinte avec ce test.

L'essai de compression est surtout utilisé pour déterminer la contrainte de rupture des matériaux fragiles (céramiques, verres, pierres, fonte, ...).

Les machines utilisées pour l'essai de compression sont similaires à celles utilisées pour les essais de traction ; souvent la même machine peut être employée pour effectuer les deux essais.

Bien que les essais de compression soient simples et faciles à réaliser, ils sont rarement effectués en comparaison des essais de traction. Cela peut être expliqué de la manière suivante :

En ce qui concerne les matériaux ductiles, les deux essais (traction et compression) fournissent presque les mêmes valeurs pour le module de Young  $E$ , la limite d'élasticité et la limite  $\sigma_e$  d'écoulement  $\sigma_{ec}$ .

De plus, il est impossible d'obtenir la résistance ultime pour ces matériaux, puisque l'éprouvette ne se détruit guère, mais elle s'élargit avec l'accroissement de la force de compression tout en prenant la forme d'un tonneau. Il en est de même des propriétés de ductilité qui ne peuvent pas être obtenues pour les matériaux ductiles. De sorte que l'essai de compression est, souvent, réalisé sur les matériaux fragiles pour lesquels la résistance à la compression est beaucoup plus importante que la résistance à la traction. [2]

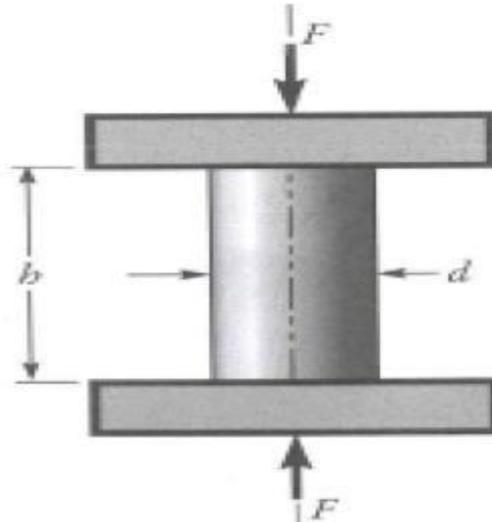


Figure I-2 : principe d'essai de compression [2]

#### I-4-2- But de l'essai :

- Détermination de la contrainte limite en compression pour les matériaux fragiles
- Construction de la courbe de compression
- Tracer le schéma de l'éprouvette avant et après déformation ou rupture. [2]

## I-5-Essai de flexion :

### I-5-1-Introduction :

Il existe plusieurs types de flexions selon la nature du torseur de cohésion. Ceux-ci dépendent entre autres de la nature de la poutre, des configurations des actions mécaniques extérieures

Appliquées, On cite la flexion pure, la flexion simple, la flexion composée et enfin la flexion déviée.

Dans ce document, il est question uniquement d'exposer le cas de la flexion simple, car il correspond au cas le plus fréquemment rencontré et aussi pour l'exigence des essais au laboratoire, néanmoins, un bref aperçu sur ces différents types sera exposé.

Il est à noter qu'une poutre est sollicitée en flexion simple lorsque le système des forces extérieures se réduit à un système en configuration plane et que toutes les forces sont perpendiculaires à la fibre moyenne (Figure I-3). [10]

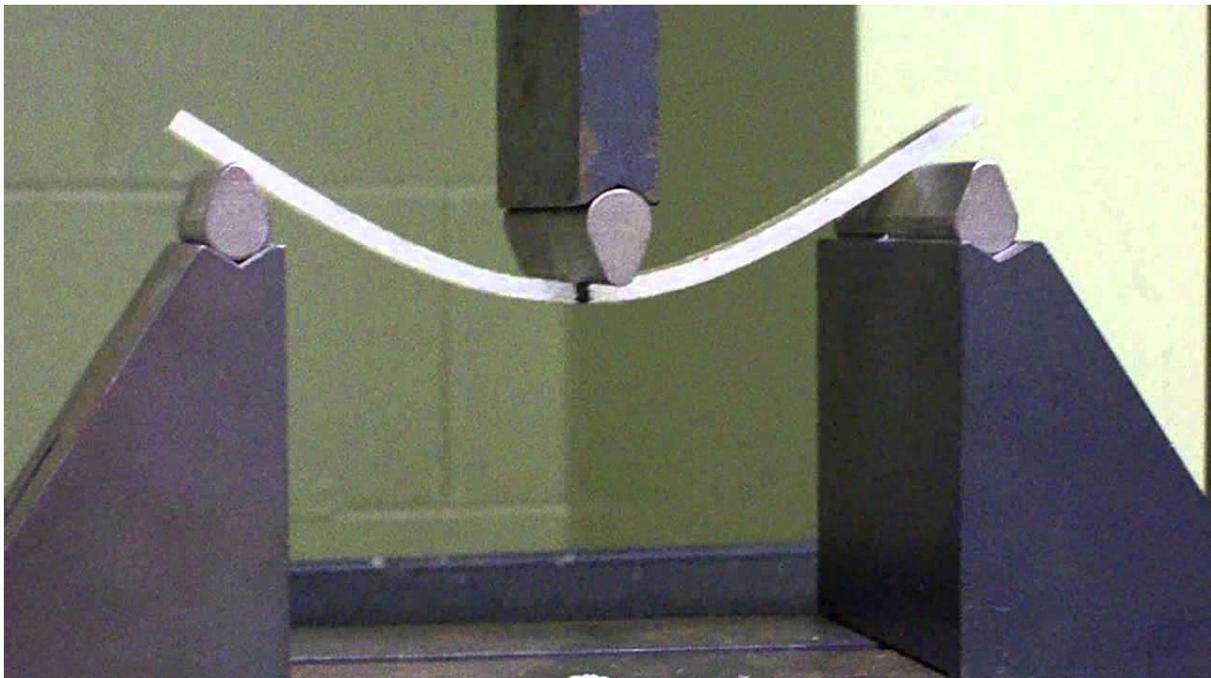


Figure I-3 – Flexion [10]

### I-5-2-Principe de l'essai

Considérons une éprouvette reposant sur deux appuis simples. Etant fléchie sous l'action d'une force agissant au centre de la barre. La flèche expérimentale est mesurée à l'aide d'un comparateur à cadran.

Le module d'élasticité est déterminé à partir de la flexion et des données géométriques de la barre. D'autre part, l'essai de flexion démontre le rapport qui existe entre la charge appliquée sur une poutre en flexion et sa déformation élastique. Il met en évidence l'influence exercée par le module d'élasticité et le moment d'inertie géométrique. [5]

## I-5-3-But de l'essai de flexion :

L'essai de flexion simple a pour but de déterminer la variation de la flèche ( $F_m$ ) causée par l'application d'une charge sur une poutre développant ainsi une flexion simple. En variant les nuances de la poutre et ses dimensions, la flèche maximale ( $F_m$ ) est mesurée expérimentalement ainsi nous pourrons la comparer à la valeur théoriquement calculée. [10]

- Détermination du module de Young de différents matériaux (acier, aluminium, cuivre).
- Détermination des flèches des poutres droites, isostatiques et hyperstatiques, de sections droites constantes sous différents modes de fixation.
- Vérification du principe de superposition.
- Vérification du théorème de réciprocité des travaux et déplacements virtuels. [2]

## I-6-ESSAI DE TORSION :

### I-6-1-Introduction :

La torsion constitue des sollicitations typiques pour les composants des structures. Les contraintes et déformations qui en résultent peuvent entraîner une défaillance. Le choix de différents facteurs tel que : le matériau, la section, la longueur et le type d'appui peut avoir une influence capitale sur la stabilité des structures.

Le présent document étudie l'influence de ces facteurs sur la déformation d'une barre soumise à une sollicitation de torsion. Si de tous les efforts internes seul le moment  $M_x$  ( $M_t$ ) est présent, il provoque une torsion. Ce type de sollicitation est très répandu dans les structures de mécanique.

L'analyse des éléments des structures de génie civil soumis à la torsion est moins fréquente car l'existence du moment de torsion entraîne que les forces extérieures doivent obligatoirement appartenir à un plan perpendiculaire à celui de l'élément, et cela n'est pris en compte que lors de l'analyse des structures en 3-dimensions, comme par exemple l'installation de tuyauterie d'un système de refroidissement d'une centrale nucléaire.

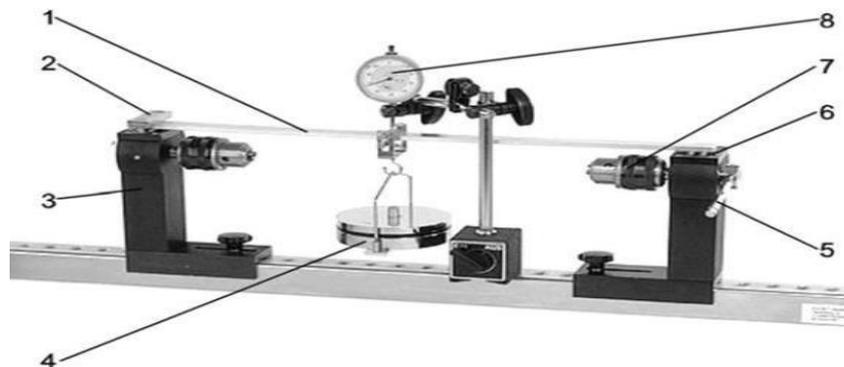
Lors de l'application de sollicitation par un moment de torsion, les barres se tordent autour de leur axe. La déformation de torsion est aussi décrite par son angle de torsion. Selon la loi de Hooke, l'angle de torsion est proportionnel au moment de torsion extérieur. [10]

### I-6-2-Machine d'essai :

Constitué d'un bâti, de deux supports mobiles qui contiennent des mandrins permettant de fixer les barres de torsion et des appuis pour les barres lors de l'essai de flexion, d'un comparateur à cadran avec support et enfin d'un dispositif, sur un support, permettant de déclencher le moment de torsion et un jeu de poids pour générer les moments de flexion ou de torsion.

Les appuis pour l'essai de flexion offrent différentes possibilités d'encastrement permettant d'étudier les montages isostatiques ou hyperstatiques. L'essai de torsion est réalisé sur un système isostatique. Le point d'application de la charge utilisée pour générer le moment de flexion peut être déplacé.

Permet d'étudier l'influence de différents facteurs, par exemple : le matériau, la section, la longueur d'encastrement et le type d'appui sur la déformation d'une barre soumise à une charge de flexion ou à un moment de torsion. [2]



La figure I-4-Machin de torsion

### I-6-3-Ingrédients :

- 1-Poutre.
- 2-Encastrement pour essai de flexion.
- 3-Support.
- 4-Poids.
- 5- Dispositif de déclenchement du moment de torsion.
- 6-Appuis pour essai de flexion.
- 7-Mandrin pour essai de torsion.
- 8-Comparateur à cadran. [5]

### I-6-4-But de l'essai :

L'essai de torsion simple a pour but de déterminer la variation de l'angle de rotation d'une barre causée par l'application d'une charge en extrémité de cette barre développant ainsi un moment appelée moment de torsion.

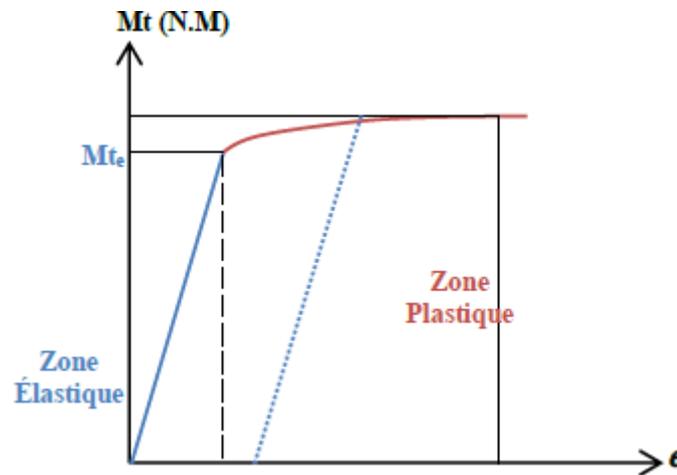
En variant les paramètres de la barre, l'angle de torsion sera mesuré expérimentalement et comparé à la valeur théoriquement calculée.

Cet essai de torsion permet aux étudiants d'assimiler les notions suivantes :

- Comprendre le phénomène de Torsion.
- Comparer les résultats expérimentaux à ceux théoriques.
- Étudier l'impact de la variation de la longueur, la section des barres et leurs matériaux sur l'angle de Torsion. [10]
- Détermination expérimentale de la relation entre le moment de torsion  $Mt$  et l'angle de torsion  $\theta$  d'une barre de section circulaire.
- Détermination expérimentale de la valeur du module de glissement (Module de coulomb). [5]

## I-6-5-Courbe de torsion :

En rapportant les valeurs du moment de torsion en fonction de l'angle de torsion unitaire  $\theta$  sur un graphe, le résultat suivant sera obtenu. (Voir figure I-4).



Graphe I-1 Courbe de Torsion [5]

Comme pour le cas de l'essai de traction, en analysant la courbe de torsion, les résultats suivants seront déduites (RDM bureau) :

- Zone OA : c'est la zone des déformations élastiques. Si l'on réduit la valeur du moment jusqu'à une valeur nulle, l'éprouvette retrouve sa forme initiale.

Dans cette zone, l'angle  $\alpha$  de torsion est proportionnel au couple appliqué. Les sections droites et planes de l'éprouvette restent droites et planes pendant l'essai.

- Zone AB : appelée zone plastique, les déformations augmentent rapidement et deviennent permanentes. L'éprouvette ne retrouve plus son état initial.[5]

## I-7-Essai de cisaillement :

Le concept de cisaillement est utilisé dans plusieurs domaines. On dit qu'une poutre subit une sollicitation de cisaillement simple lorsqu'elle est soumise à deux forces de liaison égales et directement opposées dont le support est contenu dans un plan (P) perpendiculaire à la ligne moyenne. Sous l'action de ces deux forces la poutre tend à se séparer en deux tronçons E1 et E2 glissant l'un par rapport à l'autre dans le plan de section droite (P). (Voir Figure I-5). [5]

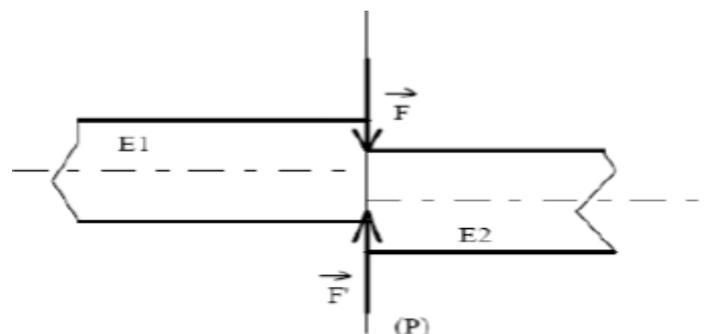


Figure I-5-Concept du cisaillement [5]



Figure I-6-Machine de cisaillement manuelle. [5]

## I-8-Conclusion :

Ce chapitre nous a permis d'identifier les maillons importants de toute série d'essais de traction, de compression et de flexion.... Et nous avons appris certains des objectifs, des machines, des échantillons et des méthodes de mesure.

Nous nous inspirerons de ces données bibliographiques pour concevoir et fabriquer des machines d'essais et apprendre à les utiliser.

# **Chapitre II**

## **Essai de traction**

**II-1-Introduction**

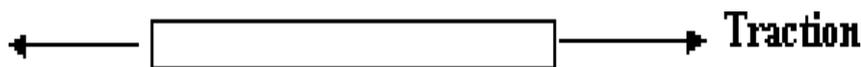
Les propriétés mécaniques sont d'une grande importance car ce n'est pas seulement une condition Tous les problèmes de mise en forme des matériaux mais aussi leur comportement dans celui-ci Entretien dans des applications très diverses de matériaux tels que (module d'Young, module Coulomb, Coefficient de Poisson, limite d'élasticité, limite terminale, allongement, Distorsion...). D'où le choix du matériel Dépend des propriétés mécaniques, il est donc nécessaire de les spécifier ensemble Nombre d'expériences appelées essais mécaniques.

Essais mécaniques Ce sont des expériences importantes dans le domaine des sciences de l'ingénieur L'objectif est de caractériser les lois de comportement des substances.

L'essai de traction seul permet de déterminer les propriétés mécaniques Couramment utilisé dans RDM. [2]

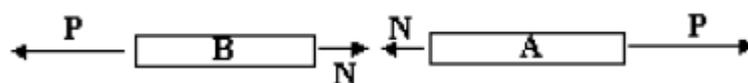
**II-2-Définition de traction**

Une barre est soumise à la traction lorsqu'elle soumise à deux forces opposées, qui tendent à l'allonger.



**Fig.II.1 Une barre soumise à un effort suivant son axe neutre.** [2]

Pour déterminer l'effort normal dans une barre, il est nécessaire d'utiliser la méthode des sections. Dans le cas d'une barre homogène, on suppose que les forces intérieures sont uniformément réparties dans toute la section alors que la contrainte normale est la même par tous les points de la section. [7]



**Fig.II-2-Représentation de l'effort normal avec la méthode des sections.** [2]

Avec l'étude du tronçon A, il est à noter que : La masse (le poids) de la barre est négligée devant P. Le tronçon a été soumis à la force P et à l'action du tronçon B forces intérieures qui se traduit par :



**Fig.II-3-Représentation de la contrainte normale avec la méthode des sections.** [2]

$$N = \sum \sigma \cdot \Delta s = \sigma \cdot \sum \Delta s = \sigma \cdot S \dots\dots\dots \text{II.1}$$

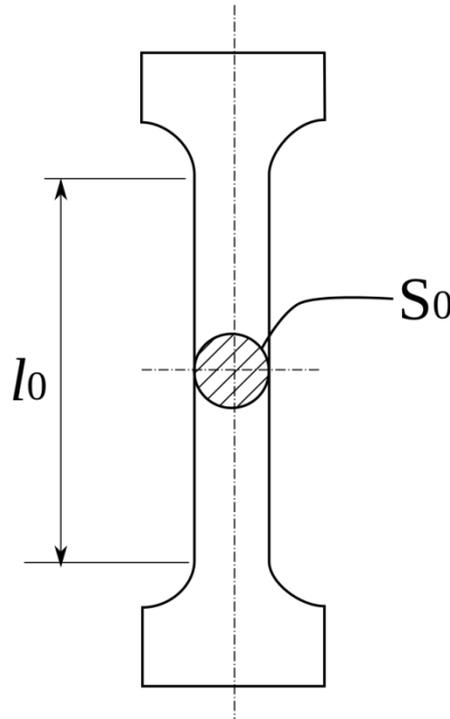
$\sigma$  : Étant la contrainte normale.

$N$  : désigne l'effort normal appliqué au centre de gravité de  $S$ . [7]

$$\sum F_{xi} = 0 \rightarrow N - P = 0 \dots\dots\dots \text{II.2}$$

$$N = P = \sigma \cdot S \dots\dots\dots \text{II.3}$$

**II-3-Essai de traction :**



**Figure II-4-Éprouvette de traction. [7]**

Le plus connu des essais de matériaux est l'essai de traction. L'éprouvette classique de traction a la forme représentée en figure II.4. Outre la portion cylindrique sur laquelle porte la mesure, il faut en eet prévoir des têtes permettant la prise de l'éprouvette dans les mâchoires de la machine. Entre les têtes et la portion cylindrique, on ménage une section conique pour limiter les concentrations de contrainte, an d'éviter que la rupture ne se fasse à la jonction de la tête au corps de l'éprouvette. Les éprouvettes courantes ont un rapport  $l_0/d_0$  entre leur longueur et leur diamètre égal à 5 1. Dans le cas où l'on utilise des éprouvettes non circulaires, la condition est

$$l_0 = 5,65 \sqrt{S_0} \dots\dots\dots \text{II.4}$$

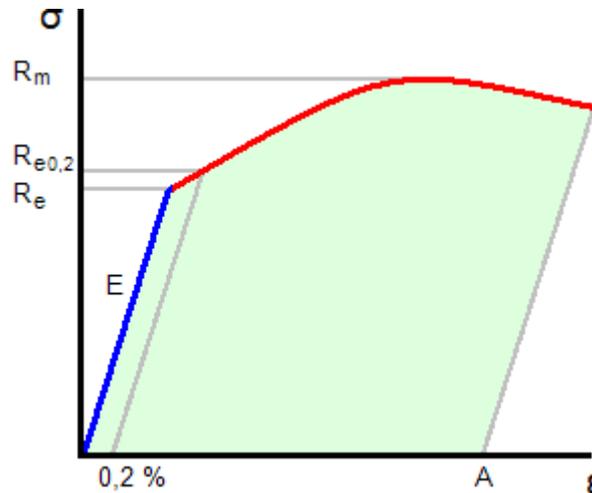
Où  $S_0$  est la section de l'éprouvette. La machine de traction permet d'enregistrer le diagramme force/allongement. Dévissant la contrainte par le rapport entre la force appliquée  $F$  et la section de départ  $S_0$ .

$$\sigma = F / S_0 \dots\dots\dots \text{II.5}$$

Et la déformation par le rapport entre l'allongement  $\Delta l$  et la longueur initiale  $l_0$ .

$$\varepsilon = \Delta l / l_0 \dots\dots\dots \text{II.6}$$

On peut élever un changement d'échelle menant au diagramme contrainte/ déformation (figure II.5). Les grandeurs importantes que l'on peut en principe. [7]



**GraphieII-1-Diagramme contrainte/déformation.**

[7] Mesurer sur ce diagramme sont :

- Le module de Young E.
- La limite élastique  $R_e$  ou, si elle n'est pas nettement marquée, la limite élastique conventionnelle à 0,2% d'allongement permanent  $R_{0.2}$ .
- La résistance à la rupture  $R_m$ , contrainte correspondant au maximum du diagramme ( $\sigma$  ;).
- L'allongement à la rupture A. Si celui-ci est supérieur à 5%, le matériau est réputé ductile. Dans le cas contraire, le matériau est réputé fragile. Cependant, il convient de noter que la droite de Hooke est quasiment verticale sur les diagrammes de traction courants<sup>2</sup>, ce qui rend l'évaluation du module de Young très imprécise. C'est pourquoi on préfère généralement mesurer le module de Young par un essai de vibration. Un essai encaque de ce type consiste à placer un barreau cylindrique sur un tripode central et à l'exciter en extension, en phase à ses deux bouts (figure. II.6). En mordant la fréquence d'excitation. [7]

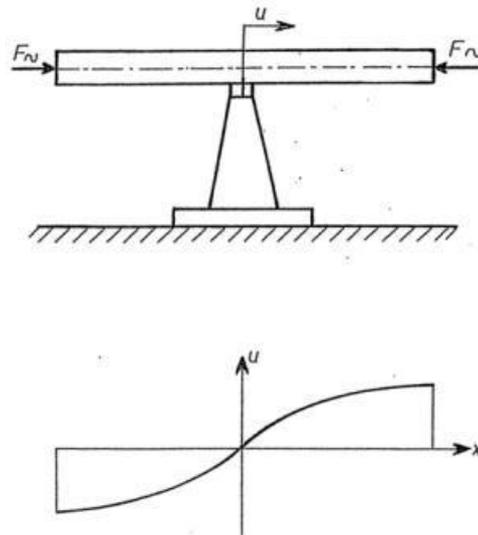


Figure :II-5 Mesure du module de Young par un essai de vibration. [7]

On peut déterminer la fréquence de résonance  $V_p$ . La théorie du phénomène est simple à établir. Le mode propre correspondant est la demi-sinusoïde d'équation spatiale.

$$u(x) = A \cdot \sin \frac{\pi x}{l} \dots\dots\dots \text{II.7}$$

Pour une variation temporelle en  $\sin \omega t$ , l'énergie de déformation vaut :

$$V = \frac{1}{2} \int_{-l/2}^{l/2} ES_0 u^2 dx \cdot \sin^2 \omega t = \frac{1}{2} ES_0 \frac{\pi^2 A^2 l}{l^2} \frac{l}{2} \sin^2 \omega t \dots\dots\dots \text{II.8}$$

Et l'énergie cinétique s'écrit, si  $\rho$  est la masse volumique.

$$T = \frac{1}{2} \int_{-l/2}^{l/2} \rho S_0 u^2 dx \cdot \omega^2 \cdot \cos^2 \omega t = \frac{1}{2} \rho S_0 A^2 \frac{l}{2} \cos^2 \omega t \dots\dots\dots \text{II.9}$$

La vibration est caractérisée par un échange constant entre ces deux énergies, l'une étant maximale quand l'autre est nulle. On a donc

$$V_{\max} = T_{\max} \dots\dots\dots \text{II.10}$$

ce qui donne la relation suivante pour la pulsation propre  $\omega$  :

$$\omega^2 = \frac{\pi^2 E}{l^2 \rho} \dots\dots\dots \text{II.11}$$

Connaissant la fréquence propre  $V_p = \omega / 2\pi$ , on peut donc déduire le module de Young par la relation

$$E = \frac{\omega^2}{\pi^2} \cdot l^2 = 4\rho v_p^2 l^2 \dots\dots\dots \text{II.12}$$

Cette mesure est assez précise. Cependant, on peut lui reprocher une erreur de principe. En eet, les vibrations sont des phénomènes rapides, si bien que la chaleur n'a pas le temps de se

propager au cours des oscillations. Le phénomène est donc pratiquement adiabatique et le module de Young mesuré est le module adiabatique

$$E_{ad} = \frac{\partial^2(\text{énergie interne volumique})}{\partial \epsilon^2} \dots\dots\dots \text{II.13}$$

Au contraire, l'essai de traction est lent et on peut considérer qu'il est isotherme. Le module de Young correspondant est le module isotherme

$$E_{is} = \frac{\partial^2(\text{énergie libre volumique})}{\partial \epsilon^2} \dots\dots\dots \text{II.14}$$

Et n'a aucune raison d'être égal au précédent. Cette question a fait l'objet de longs débats au XIXe siècle, jusqu'à ce que Lord Kelvin démontre la relation suivante : si  $\alpha$  est le coefficient de dilatation thermique, si  $C_p$  est la chaleur massique à contrainte constante et si  $T$  est la température absolue, on a :

$$\frac{1}{E_{ad}} = \frac{1}{E_{is}} - \frac{\alpha^2 T}{\rho c_p} = \frac{1}{E_{is}} \left(1 - \frac{E_{is}}{\rho c_p} \alpha^2 T\right) \dots\dots\dots \text{II.15}$$

Prenons pour exemple un acier courant, pour lequel on peut admettre les valeurs suivantes :

$$E_{is} = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Pa} \dots\dots\dots \text{II.16}$$

$$\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \dots\dots\dots \text{II.17}$$

$$\rho = 7800 \text{ kg/m}^3 \dots\dots\dots \text{II.18}$$

$$C_p = 450 \text{ J/(K} \cdot \text{kg)} \dots\dots\dots \text{II.19}$$

À une température de 293K. Le groupe entre parenthèses de la formule de Kelvin vaut alors

Ce qui donne une déviance de 0,25% entre les deux modules. Cette erreur systématique est bien inférieure à l'erreur de précision de l'évaluation du module de Young à partir de la courbe de traction. Cependant, il faut encore tenir compte des imprécisions sur  $\rho$  et  $\alpha$ , ce qui fait dire à l'O.T.U.A. (Oc-Èo Technique pour l'Utilisation de l'Acier, France) qu'il est illusoire d'espérer une précision sur le module de Young meilleure que 5%. [4]

**II-3-1-Essais de traction plane :**

Un dispositif de traction plane a été conçu pour cette étude. En effet, une forme

d'éprouvette particulière [Végéter et al. (1999)] a été choisie pour obtenir un état de déformation plane selon la figure (II.6). Une des difficultés de cet essai est de garantir un état de déformation plane uniforme sur toute l'éprouvette, à savoir  $\epsilon_{22} = 0$ .

En effet, à cause de l'état de contrainte uniaxiale existant sur les bords de la zone utile de l'échantillon, il est nécessaire d'utiliser des éprouvettes dont la largeur est beaucoup plus grande que la longueur. La mesure de la déformation par camera permet alors de vérifier que dans la zone centrale de l'éprouvette, la déformation transverse est quasiment nulle.

Les essais ont été réalisés dans la DL uniquement. Lors d'un essai de traction plane, le gradient de la transformation est tel que seule  $F_{11}$  est imposée. Un essai de traction plane est

considéré comme idéal lorsque  $F_{22} = 1$ . Cette condition n'étant pas imposée, le rapport longueur/largeur important permet de s'en approcher. Le tenseur des contraintes de Cauchy est :

$$\sigma = \sigma_{11} b_1 \otimes b_1 + \sigma_{22} b_2 \otimes b_2 \dots\dots\dots \text{II.20. [6]}$$

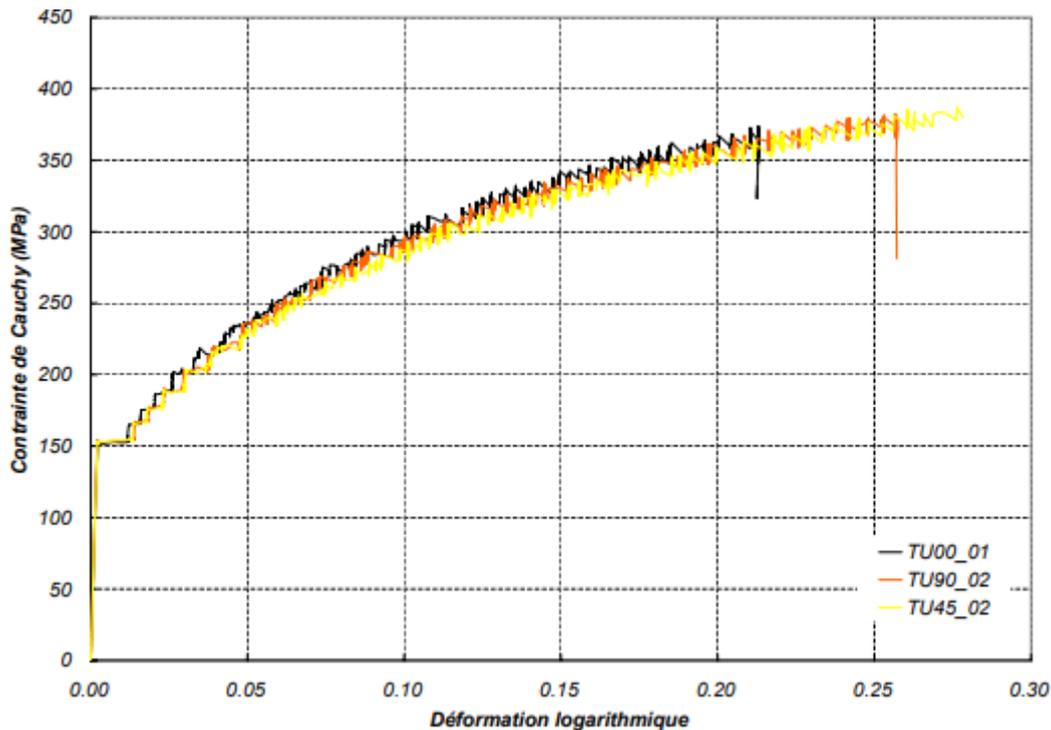
**II-3-2-Essais de traction uniaxiale :**

Les essais de traction ont été réalisés sur des éprouvettes rectangulaires de dimension  $20 \times 180 \times 1.2 \text{ mm}^3$  Découpées initialement à la cisaille. Les bords ont ensuite été usinés de façon à diminuer la zone écaillée par-là découpe et augmenter ainsi le domaine de déformation homogène. Une série d'essais de traction monotones est réalisée dans une direction de sollicitation à  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  et  $90^\circ$  de la direction de laminage (DL) pour étudier l'anisotropie du matériau. La déformation logarithmique est choisie comme mesure de la déformation, à savoir  $\epsilon = \ln(1 + \Delta L/L_0)$  ou  $L_0$  désigne la base de mesure initiale et  $\Delta L$  l'allongement de l'éprouvette. Cette mesure de la déformation est cohérente avec le fait que l'intégration temporelle de  $D$  dans le repère corotationnel donne une bonne approximation de la mesure de déformation logarithmique [Mora (2004)]. Les déformations longitudinale et transverse sont mesurées par caméra numérique et par extensomètre. Lors d'un essai de traction simple, lorsque les champs mécaniques sont considérés comme homogènes, le tenseur du gradient de la transformation  $F$  s'écrit :

$$F = \sum_{i=1}^3 f_{ii} b_i \otimes b_i \dots\dots \text{II.21}$$

Où les  $b_i$  sont les vecteurs de base du repère associé au laboratoire. Les axes  $\vec{1}$ ,  $\vec{2}$  et  $\vec{3}$  désignent respectivement la direction de traction, la direction normale au plan de la tôle. Si la traction est réalisée suivant l'axe 1, seule la composante  $F_{11}$  est imposée. Pour les tôles minces, on mesure la composante  $F_{22}$  par l'intermédiaire de la caméra numérique. Le tenseur des contraintes de Cauchy se réduit donc à :

$$\sigma = \frac{F}{S} b_1 \otimes b_1 \dots\dots\dots \text{II.22}$$



**Grphe. II-2 Essais de traction monotone à 0°, 45° et 90° par rapport `a la DL Les variables observables sont le temps t, l’allongement relatif longitudinal [07]**

$$\Delta L/L_0 = F_{11} - 1 \dots\dots\dots \text{II.23}$$

Le rétrécissement transversal  $\Delta l/l_0 = F_{22} - 1$  et la contrainte de Cauchy

$$\sigma = F/S \dots\dots\dots \text{II.24}$$

Avec  $S$  la section courante. Pour ces essais, une vitesse de déformation constante est imposée à :

$$\dot{\epsilon} = 10^{-3} \text{ s}^{-1} \dots\dots\dots \text{II.25}$$

En considérant que les matériaux métalliques sont en général incompressibles ( $\det F = 1$ ), à partir de la mesure de la force  $F$ , de la section  $S_0$  et longueur  $L_0$  initiales de l’éprouvette, ainsi que de celle de l’extensomètre longitudinal ( $L$ ), on peut calculer la contrainte de Cauchy. La figure (I.8) présente les résultats expérimentaux obtenus pour les orientations 0°, 45° et 90° de la DL. L’effet discontinu observe sur ces courbes est dû à un phénomène de vieillissement dynamique caractéristique des alliages d’aluminium de la série 5000. En effet, sous certaines conditions de température  $T$  et de vitesse de déformation  $\dot{\epsilon}$ , ce phénomène résulte de l’interaction entre les dislocations mobiles et les atomes interstitiels ou substitutionnels, ici les atomes de magnésium [Baird(1973)]. Dans une partie du domaine ( $T, \dot{\epsilon}$ ), il apparaît donc sur la courbe de traction des discontinuités qui portent le nom de Porte-vin-Le Chatelier (PLC) et qui résultent de la propagation de bandes de déformation

plastique localisée [Caddy et Leslie(1972)] [McCormick et al. (1993)].

En ce qui concerne l'anisotropie de contrainte, on observe sur les courbes de la figure (I.9) que les caractéristiques mécaniques sont légèrement supérieures pour les essais réalisés sur des éprouvettes prélevées dans la DL. Celles-ci sont sensiblement identiques pour les essais réalisés sur les éprouvettes à 45° et 90° de la direction de laminage.

Cependant, l'anisotropie de contrainte est peu marquée pour cet alliage. En ce qui concerne l'anisotropie de déformation, le suivi de la déformation transverse permet de calculer les coefficients d'anisotropie à 0°, 45° et 90° par rapport à la DL. La déformation transverse est mesurée par la caméra et la déformation dans l'épaisseur est calculée par la relation d'invariance du volume plastique  $t(\epsilon^p) = 0$ . Les coefficients d'anisotropie peuvent être mesurés de deux façons :

- soit par le rapport  $\epsilon_{22}^p / \epsilon_{33}^p$  pris pour une valeur de déformation longitudinale  $\epsilon_{11}^p = 0.1$ . Ces coefficients sont les coefficients de Lankford.
- soit comme la pente de la courbe déformation transverse en fonction de la déformation dans l'épaisseur. Ces coefficients sont les coefficients de Hill.

Au cours de nos essais, ces deux méthodes ont donné des résultats très proches. Cependant, la méthode de Hill a été retenue car elle donne des résultats plus reproductibles. Les caractéristiques mécaniques mesurées pour le module d'Young  $E$ , la limite d'élasticité conventionnelle  $Rp_{0.2}$  et les coefficients de Hill  $r_a$  représentent une moyenne obtenue sur 5 essais. [12]

#### **II-4-Description générale d'une machine de traction :**

Une machine de traction est constituée d'un bâti portant une traverse mobile. L'éprouvette de traction, vissée ou enserrée entre des mors, selon sa géométrie, est attachée à la partie inférieure de la base de la machine et à la partie supérieure de la traverse mobile (dans le cas d'une machine mécanique) ou au vérin de traction (dans le cas d'une machine hydraulique). Le déplacement de la traverse vers le haut réalise la traction.

Une machine de traction comporte une cellule de charge, qui permet de mesurer l'effort appliqué à l'éprouvette et le déplacement de l'éprouvette peut être suivi de diverses façons. Les dispositifs expérimentaux sont généralement asservis et peuvent être pilotés à vitesse de montée en charge, à charge constante, à vitesse de déformation constante, etc. selon ce qui peut être proposé par le système de pilotage. [12]



Fig. II-6- Machine de traction [12]

## II-5-Type de machine de traction :

### II-5-1-machine de traction classique :

Une machine de traction classique est équipée d'un capteur de force interchangeable, fixé sur la traverse mobile ou sur la traverse basse, d'un capteur de déplacement, de deux attaches (mors) mobiles idéalement auto-serrantes pour réaliser un essai de traction et d'un enregistreur graphique. Dans le cas d'un bâti bi colonne, la traverse mobile est entraînée par deux vis latérales, actionnées par un motoréducteur à courant continu. La liaison entre les vis et le réducteur s'effectue en général par poulies et courroie crantée. La vitesse du mors mobile, en général constante, peut être réglée de 1  $\mu\text{m}/\text{min}$  à 3 000 mm/min (valeur typique : 10 mm/min).

Le type de sollicitation, tel la traction uni axiale, la traction-cisaillement, la compression ou la flexion trois points ou quatre points, dépend du porte-échantillon choisi et des dimensions de l'échantillon. Le montage peut être disposé dans une enceinte thermo régulée (disponible en option, pour essais à l'ambiante/chaud/froid) de  $-80$  à  $250$  °C ; l'éprouvette de traction peut aussi être disposée dans un four ouvrant (en option, température maximale d'utilisation de 1 000 °C par exemple).

L'échelle de charges du capteur de force peut être de quelques milli newtons à plusieurs centaines de kilo newtons selon le type de produit examiné et le type de sollicitation.

Une contrainte (ex. : de rupture en traction-cisaillement) ou une force d'emboîtement peuvent être mesurées. Les machines d'essais modernes disposent d'un logiciel de calcul approprié. [7]

**II-5-2- machine de traction dynamique :**

Pour réaliser certains essais, en particulier des essais à des vitesses rapides, il est d'usage d'utiliser des bâtis munis de vérins hydrauliques. Ces derniers permettent d'atteindre des vitesses de plusieurs m/s avec des courses de plusieurs dizaines de cm. Le pilotage du vérin est réalisé au moyen d'une servovalve commandée par un système de régulation de type PID. [7]

**II-5-3 -machine de traction centrifugation :**

Une variante moderne des essais de traction est apparue en Allemagne en 2013 et consiste à utiliser la force centrifuge sur un assemblage pour générer une contrainte de traction. Lorsque la valeur limite de résistance à la traction (exprimée en MPA ou N) d'un assemblage ou d'un collage est égale à la force centrifuge appliquée, on génère la rupture de ceux-ci et enregistre la limite de rupture. L'avantage consiste à réaliser des tests en batterie sur plusieurs éprouvettes soumises à une contrainte strictement identique lors de l'essai.

La technologie Adhésion par Technologie de Test Centrifuge (CATT) brevetée en 2013 permet la détermination absolue des forces d'adhésion et de résistance mécanique à la traction ou au cisaillement des adhésifs, revêtements et composites. Le principe de CATT est d'appliquer directement une force (en N) qui augmente progressivement sur les éprouvettes à tester avec la vitesse de rotation du rotor, pour mesurer la contrainte mécanique par rapport à la force à rupture en temps réel. [Wikipédia]

**II-6-Caractéristiques mécaniques :**

Les caractéristiques mécaniques tirées de l'essai sont :

- Limite élastique : Elle peut être apparente (**Ré** ou **σe**) ou conventionnelle (**Re0,2**)
- Module d'élasticité longitudinale ou module de Young : **E**.
- Résistance à la rupture : **σr** ou **Rr**.
- Contrainte maximale : **σm** ou **Rm**.
  
- Allongement :  $A\% = [(Lu - L) / L] * 100$ . [3]..... II.28

**II-6-1-Allongement d'une barre (loi de HOOKE) :**

Les dimensions d'une barre tendue (comprimé) varient en fonction de la grandeur des forces appliquées.



Fig.II-7- Représentation de l'allongement après chargement. [7]

Supposant que :

Avant de placer la charge, la longueur de la barre est  $l$ . Après chargement, la longueur est devenue  $l+\Delta l$ .

$\Delta l$  : Allongement absolue de la barre.

Pour la barre chargée, l'état de contrainte est homogène, la déformation  $\epsilon$  suivant l'axe de la barre est par tout la même égale à :

$$\epsilon = \Delta l / l \dots\dots\dots \text{II.29}$$

$\epsilon$  : allongement relatif.

Dans le cas des allongements petits pour la plus part des matériaux on utilise la loi de Hooke. Cette dernière exprime la dépendance linéaire entre les contraintes et les déformations. [7]

$$\sigma = \epsilon \cdot E \dots\dots\dots \text{II.30}$$

**II-6-2-Module d'élasticité :**

Dans le cas d'un état de contrainte non homogène, on détermine la déformation de la section A :

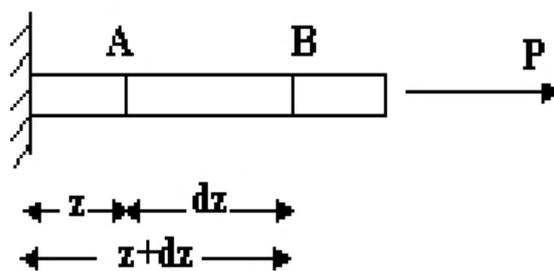


Fig.II-8- Etude de l'allongement longitudinal d'une barre.

$$\sigma = \epsilon \cdot E \quad \text{avec} \quad \sigma = N/S = P/S \dots\dots\dots \text{II.31}$$

$$\epsilon = \Delta (dz) / dz \dots\dots\dots \text{II.32}$$

$$\sigma = N / S = \epsilon \cdot E = [\Delta (dz) / dz] \cdot E \rightarrow \Delta (dz) = (N / E \cdot S) dz \dots\dots\dots \text{II.33}$$

$$\Delta l = \int_0^1 \frac{N}{ES} dz \dots\dots\dots \text{II.34}$$

Lorsque la barre est chargée seulement en ces extrémités  $N=P$  ne dépend pas de  $z$ , on déduit :

$$\Delta l = (P / E \cdot S) \cdot \int_0^1 dz = (P/E \cdot S) \cdot l \dots\dots\dots \text{II.35}$$

Si on tient compte en plus des allongements dus à la variation de la température, on se sert de la méthode de superposition pour une barre uniformément chargée en ses extrémités et uniformément chargée, on a :

$$\Delta l = (P/E.S).l + \alpha.l. \Delta\theta. \dots\dots\dots II.36$$

$\alpha$  : Coefficient de dilatation thermique du matériau. [7]

## **II-7-Exploitation de l'essai**

### **II-7-1-Interprétation qualitative**

Sur un diagramme effort-déformation, on observe les phases successives suivantes :

#### **II-7-1-1-Cas d'un matériau ductile**

Zone OA : partie rectiligne de la courbe, domaine des déformations élastiques ou réversibles (zone parfois linéaire) si l'on cesse la charge, l'éprouvette retrouve ses dimensions initiales, il y a proportionnalité entre la contrainte et la déformation (au moins en première approximation), c'est la loi de HOOKE, caractérisée par la pente de cette droite (OA) qui est le module d'élasticité.

Zone AB : la déformation est irréversible. La déformation est plastique (ou permanente) homogène ; appelée aussi déformation plastique répartie. Les allongements croissent plus vite que les charges. L'allongement provoque une diminution régulière de la section tout au long de l'éprouvette.

Zone BC : la déformation plastique se localise dans une petite portion de l'éprouvette et n'est plus homogène, c'est la striction on aboutit à la rupture en C. Les allongements croissent avec une diminution de la charge. [5]

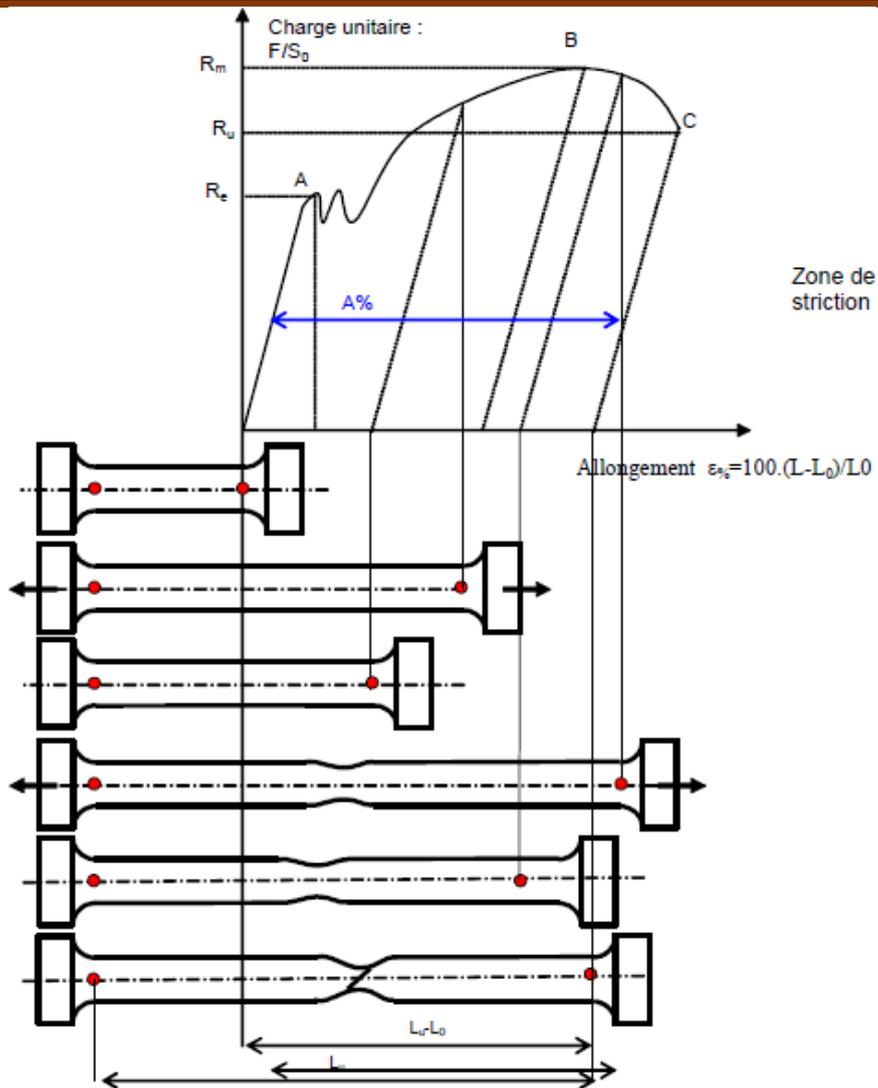


Fig.II-9- Diagramme effort – déformation (04)

➤ **Définition de courbe :**

Sur le diagramme charge-allongement, qui peut être enregistré ou tracé par points, on utilise les coordonnées suivantes :

Le module de Young, module d'élasticité ou module de traction (E)

$$E = \sigma / \epsilon \text{ en } N/mm^2 \dots\dots\dots II.37$$

En abscisse, l'allongement relatif  $\Delta L/L_0$  de l'éprouvette ou plutôt d'une certaine base de mesure  $L_0$  ( $L_0$  est la longueur initiale de l'éprouvette) ;

$$\epsilon\% = 100 ((L - L_0) / L_0) \dots\dots\dots II.38$$

En ordonnée : la charge unitaire, définie à tout instant de l'essai, c'est le quotient de la charge par la section initiale de l'éprouvette  $S_0$ .

$$\sigma = F / S_0 \text{ en N/mm}^2 \dots\dots\dots \text{II.39}$$

Le point A est la limite d'élasticité (ou résistance élastique à la traction) :

$$Re = Fe / S_0 \text{ en N/mm}^2 \dots\dots\dots \text{II.40}$$

Le point B correspond à la charge maximale ; il est appelé résistance à la traction ou résistance à la rupture (bien qu'il n'y ait pas encore rupture) ;

$$Rm = Fr / S_0 \text{ en N/mm}^2 \dots\dots\dots \text{II.41}$$

C'est la charge maximale atteinte durant l'essai de traction. A partir de ce point, la déformation commence à se localiser sous forme de striction, ce qui explique la décroissance de l'effort nécessaire aux déformations au-delà du point B.

Un processus de mise en forme qui conduirait à franchir ce point se traduirait par des risques difficiles à contrôler de rupture ou de non-conformité géométrique. Le point C, correspondant à la charge ultime.

Après rupture de l'éprouvette et reconstitution de celle-ci, on mesure  $Lu$  et  $Su$  respectivement longueur entre repères et section minimale ultimes. L'allongement relatif total ou A% de l'éprouvette est l'allongement de rupture :

$$A\% = 100 (Lu - L_0) / L_0 \dots\dots\dots \text{II.42}$$

Où  $Lu$  est la longueur de l'éprouvette après rupture. Il caractérise la ductilité du matériau. Cet allongement est la somme de l'allongement réparti  $Ar$  jusqu'au maximum de la charge et de l'allongement localisé de striction

$$Az : A = Ar + Az \dots\dots\dots \text{II.43}$$

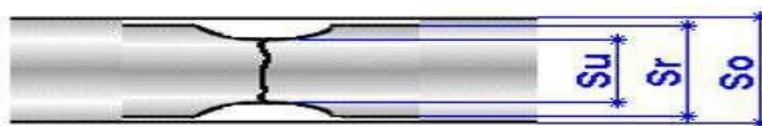
La striction est la réduction de section maximale de l'éprouvette rompue c'est-à-dire dans la section de rupture. Le coefficient de striction traduit l'aptitude à la déformation à froid.

$$Z = [(S_0 Su) / S_0] \dots\dots\dots \text{II.44}$$

Avec  $S_0$  : Section initiale

$Su$  : Section après rupture.

$Sr$  : Section après striction



**Fig.II-10-La striction [4]**

$S_0$  : Dimension éprouvette initiale

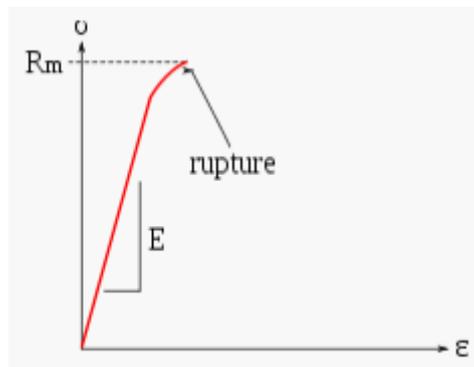
$S_u$  : Dimension éprouvette après rupture

$S_r$  : Dimension de la striction après rupture. [5]

**II-7-1-2-Cas d'un matériau fragile :**

Dans le cas d'un matériau fragile, la rupture survient en fin de domaine élastique.

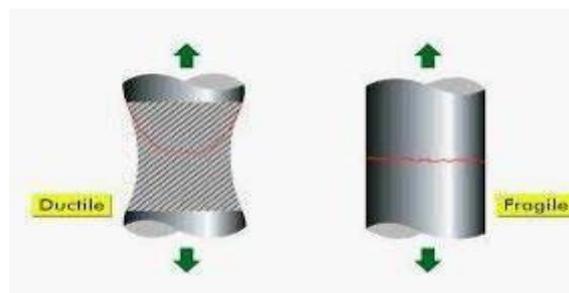
L'allongement à la rupture est nul ou très faible. On ne peut déduire de la courbe que le module de Young  $E$ , et la résistance à la traction maximale  $R_m$ .



**Graph. II-3-Courbe de comportement d'un matériau fragile. [5]**

La courbe rouge est donc obtenue à partir d'enregistrement contrainte déformation effectué lors de l'essai en rapportant la force à la section initiale pour raisonner en termes de contrainte, et en rapportant l'allongement à la longueur initiale pour raisonner en termes d'allongement relatif.

- Illustration du comportement d'un matériau ductile et fragile soumis à un essai de traction.



**Fig. II-11-Comportement d'un matériau ductile et d'un matériau fragile en traction. [5]**

**II-8-Conclusion :**

mécanique Dans ce chapitre, il a été initié à une expérience de base dans le monde de la et des expériences mécaniques. Grâce à elle, nous nous sommes familiarisés avec les propriétés des matériaux et les capacités portantes des métaux grâce à l'application d'expériences dans plusieurs modes de tension, y compris classique tension, tension dynamique, et la plus récente, qui est la tension centrale, et à travers elles nous avons obtenu des courbes qui nous montrent des résultats.

# **Chapitre III**

**Simulation de l'essai de  
traction**

**III-1-Introduction :**

Pour en savoir plus et pouvoir appliquer et comprendre les courbes et les données du terrain, il faut les soumettre aux lois qui sont les lois expérimentales liées aux expériences mécaniques pour la traction. Nous aborderons les lois les plus courantes et les plus fiables.

**III-2- Définition du modèle :****III-2-1-Définition du matériau :**

Après recherches bibliographiques sur le sujet, nous avons remarqué que nombreux sont ceux qui ont tenté de réaliser cette simulation numérique. Beaucoup semblaient centrer leurs travaux sur la définition du matériau, c'est ainsi que nous nous sommes rendu compte que cette dernière été l'un des points clef de l'étude.

Dans un premier temps, selon les consignes de nos encadrants, nous avons porté notre étude sur une loi de comportement et une loi d'endommagement très répandu dans l'usage. Ainsi nous utiliserons la loi de comportement de Johnson-Cook et le critère d'endommagement de Johnson-Cook. De plus, les modèles numériques existant peuvent être classés selon trois méthodes de calcul bien spécifique, à savoir :

- Les modèles Eulériens
- Les modèles Lagrangiens
- Les modèles Arbitraires Lagrangiens Eulériens (ALE)

Nous détaillerons également ces différentes formulations, leurs différences et enfin laquelle nous avons choisi. [8]

**III-2-1-1-Loi de Comportement de Johnson-Cook :**

Le modèle de Johnson-Cook exprime la contrainte équivalente sous forme d'une fonction de 3 constantes du matériau :

- La déformation plastique
- La vitesse de déformation
- Les températures caractéristique (Ambiante, transition et fusion du matériau)

$$\sigma = [A + B \varepsilon^n] \times [1 + C \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}] \times [1 - (\frac{T - T_r}{T_m - T_r})^m] \dots\dots\dots \text{III.1}$$

Elle est composée, dans l'ordre d'apparition, d'un terme d'écrouissage, d'un terme dynamique et d'un terme d'adoucissement thermique.

Le premier terme, faisant référence à l'écrouissage, correspond à la contrainte d'écoulement à vitesse de déformation constante. **A** étant la limite d'élasticité, **B** le module d'écrouissage (paramètre linéaire de l'écrouissage) et **n** le coefficient d'écrouissage (paramètre non linéaire de l'écrouissage).

Le second terme caractérise le durcissement dynamique du matériau. Ce terme est fonction de la vitesse de déformation plastique et du coefficient **C** qui correspond au coefficient de dépendance à la vitesse d'écroutissage.

Le dernier terme de cette loi correspond lui au phénomène d'adoucissement thermique ayant lieu à partir du moment où la température du matériau est plus élevée que la température de transition, le coefficient **m** représentant donc l'exposant d'adoucissement thermique. (De plus amples détails sont fournis dans la seconde partie de ce rapport). [8]

### **III-2-1-2-Critère d'endommagement de Johnson-Cook :**

Allant de pair avec la loi de comportement de Johnson-Cook, ce critère d'endommagement fait apparaître les trois mêmes termes :

- La contrainte équivalente
- La vitesse de déformation
- Et les températures (Ambiante, transition et fusion du matériau)

$$\varepsilon_f = [ D_1 + D_2 \exp(-D_3 \eta) ] \times [ 1 + D_4 \ln\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}\right) ] \times [ 1 + D_5 \left( \frac{T - T_t}{T_{fusion} - T_t} \right) ] \dots\dots III.2$$

Ce critère permet de calculer l'endommagement du matériau, constituant la pièce, ayant lieu au voisinage de l'arête de coupe. Cette zone étant très infime, nous atteignons ici la limite de la mécanique des milieux continus. [8]

### **III-2-2-Méthodes de calcul :**

#### **III-2-2-1-Formulation Eulérienne :**

Le système de référence associé à une description Eulérienne est fixé à l'espace, il est appelé Système de Référence Spatial (SRS). Elle étudie le passage d'une certaine quantité de matière à travers une région donnée de l'espace.

La formulation Eulérienne impose un maillage fixe dans l'espace. Ce maillage définit un volume invariable au cours de l'étude et une particule matérielle peut migrer d'un élément vers un autre voir même quitter le domaine défini initialement. Dans ce cas toutes les informations ultérieures relatives à ces particules sont perdues.

De par cette perte d'informations possible, la formulation Eulérienne limite beaucoup les résultats de l'étude mais autorise d'importantes distorsions de la matière. Cette formulation est donc souvent adoptée en mécanique des fluides

#### **III-2-2-2-Formulation Lagrangienne :**

La description Lagrangienne étudie le mouvement d'une quantité de matière se déplaçant dans la matière. Le système de référence ici est attaché à la matière, il est appelé Système de Référence Matériel (SRM).

Dans ce cas, les résultats obtenus sont les évolutions des propriétés de la particule, ou de la quantité de matière au cours de son déplacement.

Un avantage de cette formulation est qu'un élément contient toujours les mêmes particules et de ce fait, elles sont donc entraînées par la déformation. Par exemple, un nœud se situant à la limite du corps étudié, ou de la pièce dans notre cas, reste sur cette limite au cours de la simulation et, dans ce cas, le suivi des bords de la pièce ne présente pas de difficultés durant l'étude.

Seulement, lors d'un essai entraînant de grandes déformations, le maillage de la pièce peut se retrouver très fortement distordu et entraîner une imprécision des résultats ou encore conduire à des erreurs de calcul. On rencontre généralement cette formulation dans des problèmes de mécanique des solides. [8]

### **III-2-2-3-Formulation ALE :**

Cette formulation est une somme des deux formulations précédentes, un choix arbitraire est fait entre les deux suivant le cas où l'étude se situe. Elle permet de combiner les avantages de la représentation Lagrangienne (bonne définition des limites physique de la pièce) et ceux de la formulation Eulérienne (possibilité de prise en compte de grandes déformations).

Le principe de cette formulation mixte est le développement de maillages se déplaçant indépendamment de la matière.

De ce fait, la matière se déplace par rapport au maillage, comme dans une formulation Eulérienne simple, mais la forme extérieure des éléments est contrôlée par les conditions aux limites de l'étude, comme dans une formulation Lagrangienne. [8]

### **III-3-Détermination des coefficients des lois de Johnson Cook :**

#### **III-3-1-Détermination des coefficients de la Loi de Comportement de Johnson-Cook par un essai de traction :**

##### **III-3-1-1- Objectif :**

Nous allons déterminer les constantes A, B, n, C et m de l'équation de Johnson-Cook. Ceux-ci peuvent être déterminés à partir d'un essai de traction simple.

##### **III-3-1-2-Stratégie :**

La machine utilisée est une machine de traction uniaxiale de marque Instron, piloté par le logiciel Blue Hill 3. [8]



**Figure III-1-Machine de traction Instron [8]**

### **III-3-1-3-Protocole :**

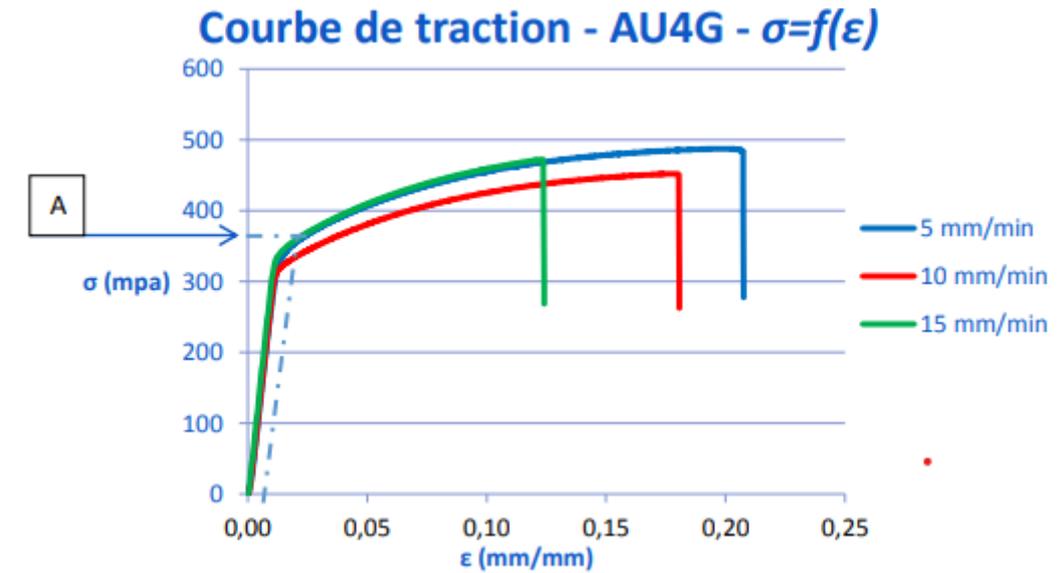
Trois essais de traction pour chaque vitesse de traction (2, 5, 10 et 15 mm/min) ont été effectués de sorte à pouvoir obtenir une moyenne de résultats.



**Figure III-2- Epreuve de dural (AU4G) – épaisseur =1mm, largeur = 6mm, Longueur =50mm [8]**

### **III-3-1-4- Analyse des résultats :**

Les données brutes issues du logiciel ont été traitées grâce au logiciel Microsoft Excel. - Le paramètre A correspond à la limite élastique de la courbe de traction à 0.2% de déformation. [8]



Graphe III-1-Courbe de traction :  $\sigma=f(\epsilon)$  d'AU4G à  $v=5, 10$  et  $15$  mm/min .[07]

Ici nous avons donc la limite d'élasticité  $A = 350$

### 3-2-Détermination des coefficients du critère d'endommagement de Johnson-Cook :

L'endommagement d'un élément est défini par :

$$D = \sum \frac{\Delta \epsilon_p}{\epsilon_f} \dots \dots \dots \text{III.5}$$

$\Delta \epsilon_p$  : est l'incrément de la déformation plastique équivalente.

$\epsilon_f$  : est la déformation équivalente de fracture.

Pour déterminer les coefficients de cette loi, il est nécessaire d'effectuer trois types de tests en vue d'obtenir une courbe exponentielle de la déformation à la fracture en fonction de l'état de contrainte.

Les trois tests à effectuer sont des essais de traction axisymétrique. Ils sont à effectuer sur trois éprouvettes ayant des formes différentes. En effet, leurs géométries vues de face diffèrent, mais leur section et diamètre de section restent identiques. [8]

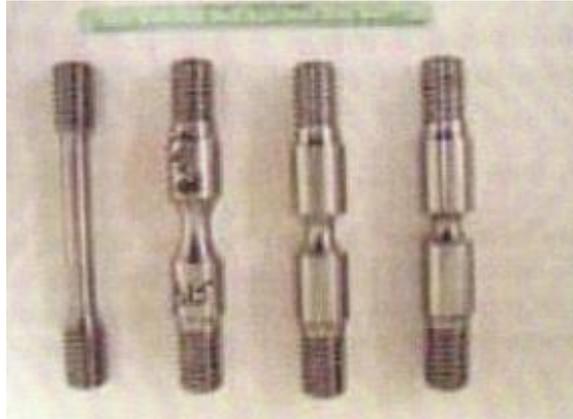


Figure III-3-A droite 3 éprouvettes ayant des géométries différentes mais de section égale [8]

Pour construire la courbe il faut également se munir d'une caméra à acquisition rapide qui filmiera les essais de traction, afin de pouvoir corréler les états de déformation avant et après rupture. (Ici, le souci est de pouvoir déterminer avec précision la date à laquelle la rupture s'initie au sein de l'éprouvette).

Voici un protocole expliquant comment déterminer les coefficients dont nous avons besoin :

- Effectuer les essais de traction avec les différents types d'éprouvette et tracer les courbe contrainte-déformation. Surveiller l'état de déformation en surface des éprouvettes grâce à l'équipement vidéo dont vous disposer.
- Calculer l'évolution de la déformation équivalente et l'état de contraintes à l'emplacement de la fissure sur chaque éprouvette lors de l'initiation de la zone de striction. (Grâce à la vidéo et à la date d'effet dans les données brutes de l'essai de traction)
- Déterminer la déformation équivalente à la rupture et l'état de contraintes moyen.
- Tracer les résultats obtenus dans un graphe

$$\varepsilon_{eq} = f \left( \frac{\sigma_m}{\varepsilon_{eq}} \right) \dots\dots\dots \text{III.6}$$

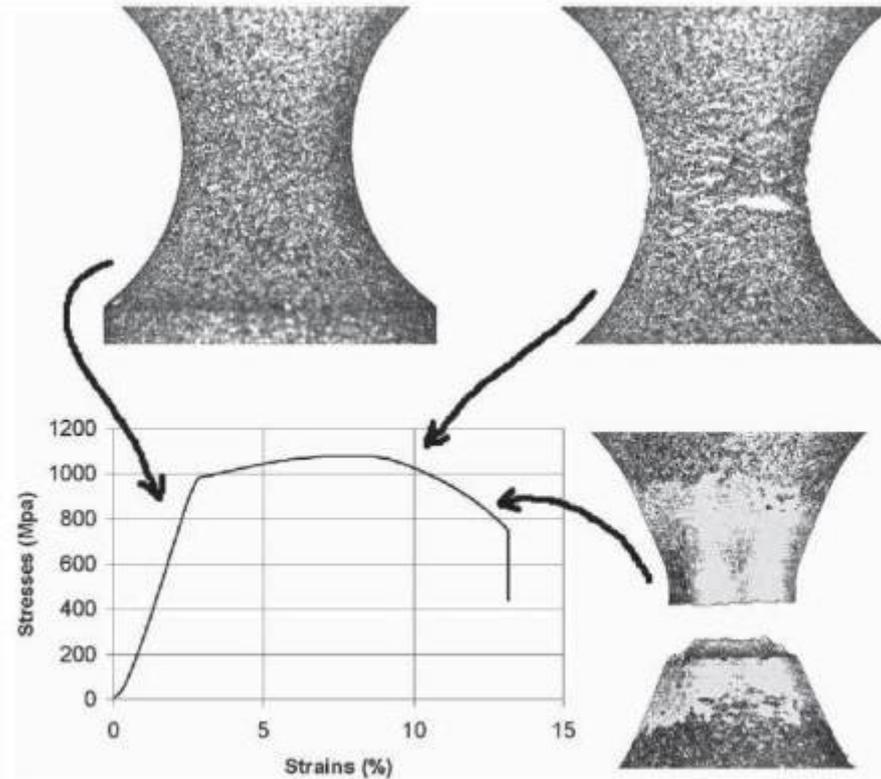


Figure III-4-Exemple de courbe obtenu dans un article de recherche de O. PANTALE [8]

Les paramètres  $\sigma^* = \frac{\sigma_m}{\sigma_{eq}}$  et  $\epsilon_{eq}$  du matériau étant maintenant défini, le paramètre

peuvent être évalué grâce à un essai de traction similaire à celui de la loi d'endommagement. Nous n'avons pas effectué ces essais, (pour des raisons de compréhension de cette méthode qui reste très obscure) cette méthode ne peut donc malheureusement pas être validée de notre part.

Lors de notre recherche bibliographique, nous avons rencontré une autre méthode utilisant un essai d'impact entre une bille et une tôle mince. Par soucis de matériel, elle n'a pas retenu notre attention. (Ayant perdu la source, elle ne figure pas non plus dans nos références bibliographiques)

Les paramètres Di utilisés lors de notre simulation sous ABAQUS sont ceux fourni en Annexe de ce rapport. [8]

**III-4-Elasticité linéaire :**

III-4-1-Loi de Hooke généralisée :

La loi de Hooke a été généralisée par Cauchy (1789-1857), qui a proposé d'exprimer chaque composante du tenseur des contraintes comme une fonction linéaire des composantes du tenseur des déformations. La loi de Hooke est donc aujourd'hui souvent écrite sous la forme :

$$\sigma = C : \epsilon \dots\dots\dots\text{III.7}$$

**III-4-2-Energie de déformation élastique :**

Nous avons jusqu'à présent utilisé la symétrie des tenseurs de contraintes et de déformations, ainsi que leur relation linéaire via la loi de Hooke. Nous pouvons maintenant utiliser l'autre caractéristique de la déformation élastique, qui est sa réversibilité. [13]

**III-5-Modèles de Steinberg-Cochran-Guinan et de Steinberg-Lund :**

Ce modèle empirique (appelons le modèle SCG) a été développé au début des années 80, et était destiné à l'origine à la restitution du comportement élastoplastique des matériaux sous choc, c'est à dire pour des vitesses de déformation supérieures à  $10^5 \text{s}^{-1}$ .

L'évolution de la contrainte d'écoulement au sens de Von Mises  $\sigma$  et du module de cisaillement  $\mu$  est fonction de la pression hydrostatique  $P$ , de la température  $T$  et de la déformation plastique équivalente  $\epsilon^p$ . [13]

$$\sigma = \sigma_u [ 1 + \beta(\epsilon^p + \epsilon_i^p) ]^n [ 1 + \left(\frac{\sigma'_p}{\sigma_0}\right) \frac{P}{\eta^{\frac{1}{3}}} + \left(\frac{\sigma'_T}{\sigma_0}\right) (T - 300) ] \dots\dots\dots\text{III.8}$$

$$\mu = \mu_0 [ 1 + \left(\frac{\mu'_p}{\mu_0}\right) \frac{P}{\eta^{\frac{1}{3}}} + \left(\frac{\mu'_T}{\mu_0}\right) (T - 300) ] \dots\dots\dots\text{III.9}$$

avec  $\left(\frac{\mu'_T}{\mu_0}\right)_0 = \left(\frac{\sigma'_T}{\sigma_0}\right)_0$  et  $\left(\frac{\mu'_p}{\mu_0}\right)_0 = \left(\frac{\sigma'_p}{\sigma_0}\right)_0$ .

où  $\sigma_0$  est la limite élastique,  $\beta$  et  $n$  les paramètres d'écroutissage,  $\eta$  le taux de compression, défini comme le volume spécifique initial divisé par le volume spécifique courant et  $\epsilon_i^p$  la déformation plastique équivalente initiale (nulle en général). L'indice 0 correspond à l'état de référence ( $T = 300 \text{ K}$ ,  $P = 0$ ,  $\epsilon^p + \epsilon_i^p = 0$ ). Le facteur  $\eta^{1/3}$  permet d'ajuster le comportement de  $p$  lorsque  $P$  tend vers l'infini. [13]

**III-5-1-Modèle de Steinberg – Lund :**

Le modèle SCG ne faisant pas intervenir la vitesse de déformation dans ses équations constitutives, Steinberg et Lund modifient la formulation originale en s'inspirant des travaux de Hoge et Mukherjee, pour étendre sa validité à une large gamme de vitesses de déformation. La contrainte d'écoulement au sens de Von Mises s'écrit :

$$\sigma = [ \dot{\sigma} (\dot{\epsilon}^1 T) + \sigma_\alpha f(\epsilon^p) ] \left[ \frac{\mu(P,T)}{\mu_0} \right] \dots\dots\dots\text{III.10}$$

Où  $\sigma^*(\dot{\epsilon}, T)$  est la partie thermiquement activée de la contrainte d'écoulement, qui dépend de la vitesse de déformation et de la température. Le second terme de l'expression (1.34) correspond à la contrainte athermique, indépendante de la température, à la légère décroissance près du module de cisaillement  $p$ . La fonction d'écroutissage  $f(\epsilon^p)$  reste identique à celle du modèle SCG initial, i.e.

$$f(\epsilon^p) = [ 1 + \beta(\epsilon^p + \epsilon_i^p) ]^n \dots\dots\dots\text{III.11}$$

Lorsque la contrainte thermiquement activée  $\sigma^*$  est faible (plateau athermique), la relation (1.34) se réduit au modèle SCG initial, avec  $\sigma_\alpha = \sigma_0$ . Cependant, notamment pour les matériaux de structure cristallographique cubique centrée, cette composante thermiquement activée peut être importante. Suivant Hoge et Mukherjee, Steinberg et Lund écrivent la vitesse de déformation plastique comme une combinaison de mécanismes thermiquement activés et de frottement visqueux :

$$\dot{\epsilon} = \frac{1}{\frac{1}{c_1} \exp\left[\frac{2U_k}{kT} \left(1 - \frac{\dot{\sigma}}{\sigma_p}\right)^2\right] + \frac{c_2}{\dot{\sigma}}} \dots\dots\dots \text{III.12}$$

Où  $\sigma_p$  est la contrainte de Peierls,  $2U_k$  l'énergie requise pour créer un double décrochement de dislocations (double kink »),  $k$  la constante de Boltzmann,  $T$  la température, et  $C_1$  et  $C_2$  des constantes du modèle. [13]

**III-5-2-Modèle de Zerilli-Armstrong :**

Il s'agit d'un modèle semi-physique, dont les relations constitutives sont basées sur la cinétique des dislocations. L'analyse de l'activation thermique permet de prendre en compte les effets conjugués de l'écroutissage, de la vitesse de déformation, et de la température. De plus, ce modèle tient compte de la taille des grains ainsi que de la structure cristalline du matériau.

Les auteurs différencient le comportement des matériaux à structure cubique faces centrées (CFC) et cubique centré (CC) par l'influence de l'écroutissage sur la contrainte thermiquement activée  $\sigma^*$ . Cette influence n'existe pas pour les matériaux CC. [13]

**a) Matériau cubique centré :**

Ces matériaux présentent une forte dépendance de la contrainte d'écoulement vis-à-vis de la température et de la vitesse de déformation. Cette dépendance agit au travers de l'énergie d'activation thermique et donc de la contrainte thermiquement activée qui s'écrit :

$$\sigma^* = C_1 \exp(-C_3T + C_4T \ln \dot{\epsilon} \dots\dots\dots \text{III.13}$$

Où  $\dot{\epsilon}$  est la vitesse de déformation, et  $T$  la température.  
La contribution de la déformation est évaluée indépendamment, par une loi puissance. [13]

$$\sigma_{\text{déf}} = C_5 \epsilon^n \dots\dots\dots \text{III.14}$$

**Remarque**

Noble et Harding proposent une formule modifiée dans le cas des matériaux CC. Afin de tenir compte de la dépendance en température du terme représentant l'écroutissage

$$\epsilon_{\text{déf}} = (s_{m1} - s_{m2}T)C_5 \epsilon^n \dots\dots\dots \text{III.15}$$

La contrainte d'écoulement équivalente s'écrit finalement :

$$CC: \sigma = \Delta\delta_G + kd^{-1/2} + C_1 \exp(-C_3T + C_4 T \ln \dot{\epsilon}) + C_5 (\epsilon^n) \dots \dots \text{III.16}$$

Où k est le facteur de Petch, d le diamètre moyen des grains, et  $\Delta\sigma'_G$  l'augmentation de la limite d'élasticité imputable à la densité de dislocations initiale ou à la présence de solutés. [13]

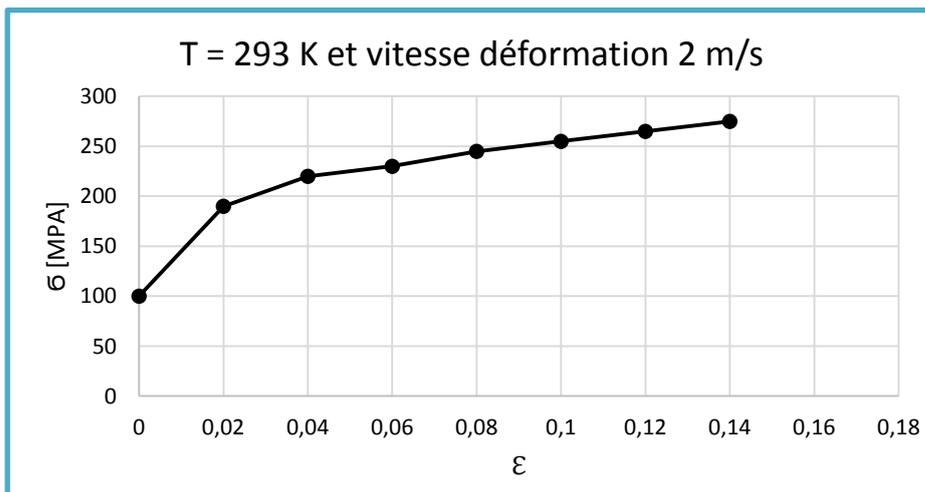
**III-6-L'effet de la vitesse de déformation :**

Les figures IV-1-2 représentent la courbe de traction contrainte –déformation avec la loi empirique de Jonson-Cook, bien sûr pour une pièce en cuivre. Et aussi on applique ces lois avec une température constante  $T = 293 \text{ k}$  et avec différentes vitesses de déformation  $\dot{\epsilon} = 2$  et  $0.2 \text{ m/s}$ . On regroupe plusieurs des résultats au la température  $T = 293 \text{ k}$  et différentes vitesses de déformation  $\dot{\epsilon} = 2, 0.2, 0.02$  et  $0.002 \text{ m/s}$  (Fig.IV.3).

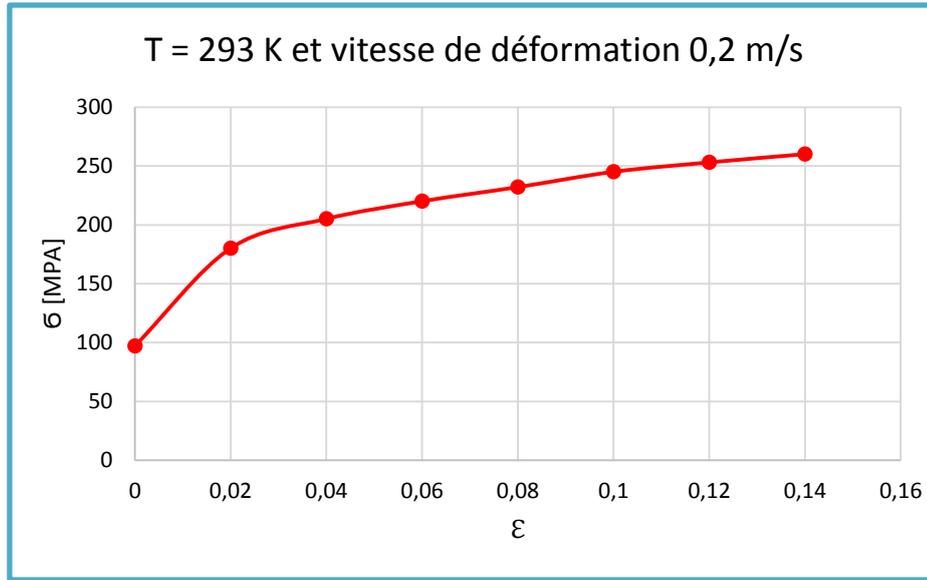
Les figures IV-4 et IV-5 représentées représentent la courbe de traction contrainte – déformation avec la loi empirique de Jonson-Cook avec des températures constantes  $343$  et  $473 \text{ K}$  respectivement.

Parameters	A(Mpa)	B(Mpa)	n	m	c	$\dot{\epsilon}_0$	$T_{room}$	$T_{melt}$
Simulation	90	292	0.31	0.31	0.025	$10^{-5}$	298	1356

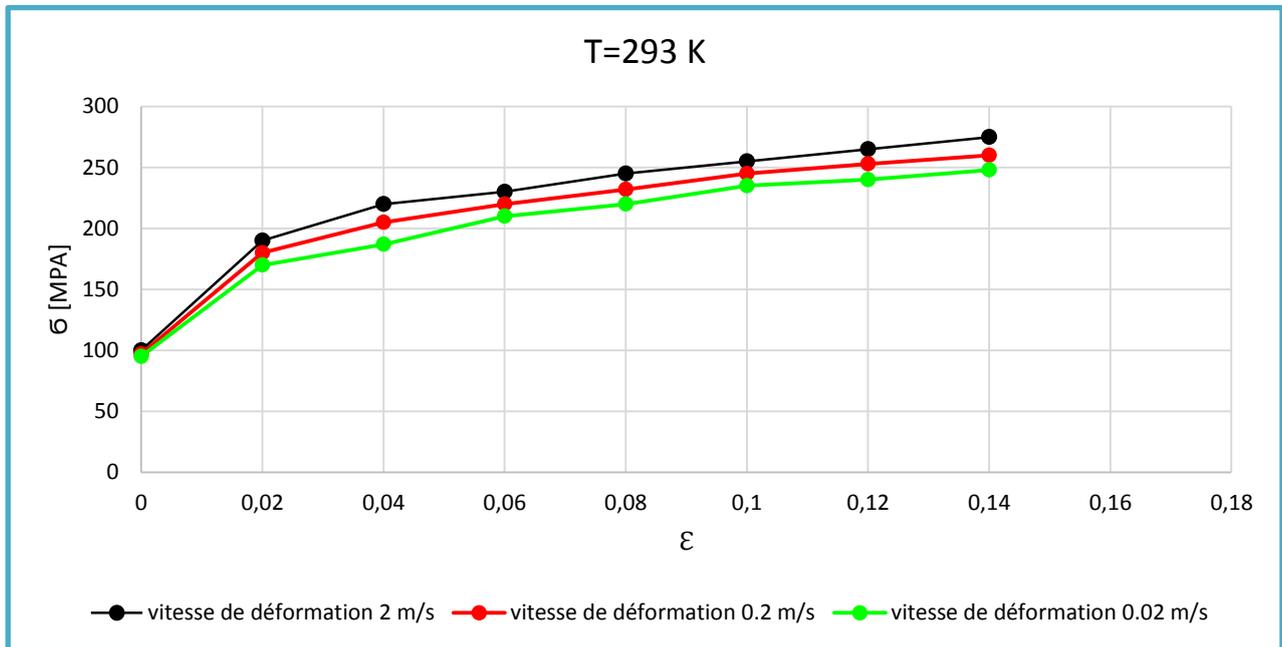
**Tab : III-1-Les paramètres du modèle utilisés pour la simulation de l'essai de traction (Cu)[jc83]**



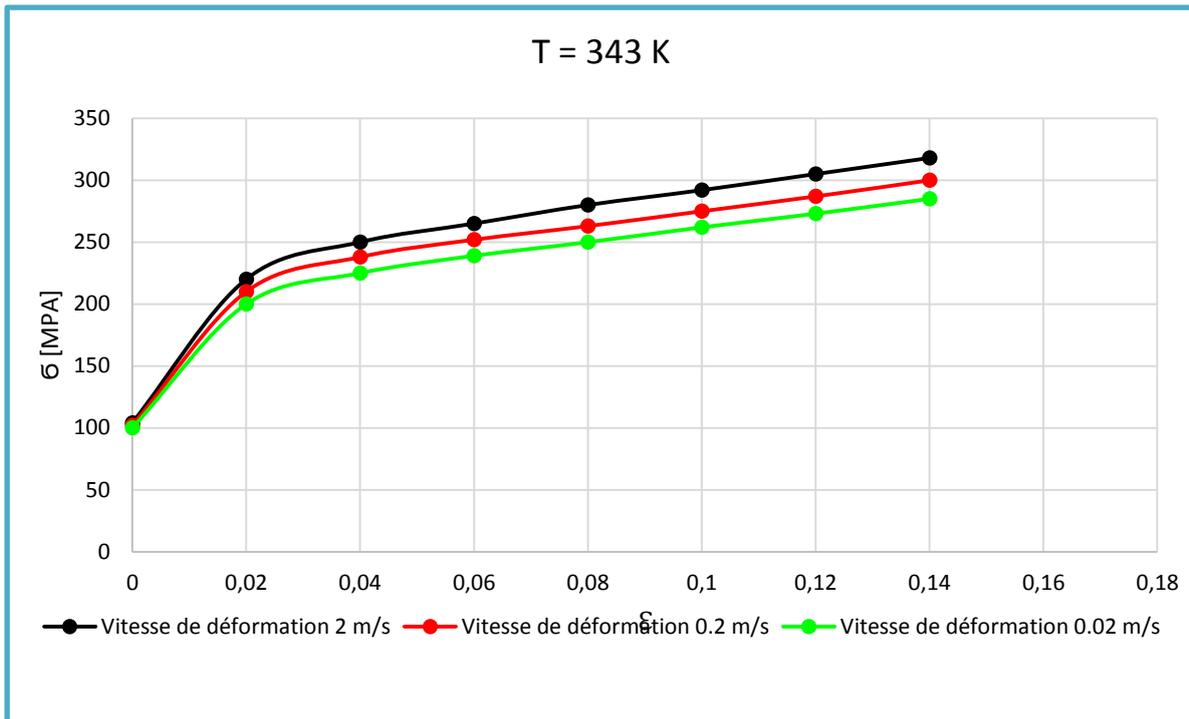
**Graphie.III-2-: Courbe de traction contrainte-déformation avec  $T = 293 \text{ k}$ ,  $\dot{\epsilon} = 2 \text{ m/s}$**



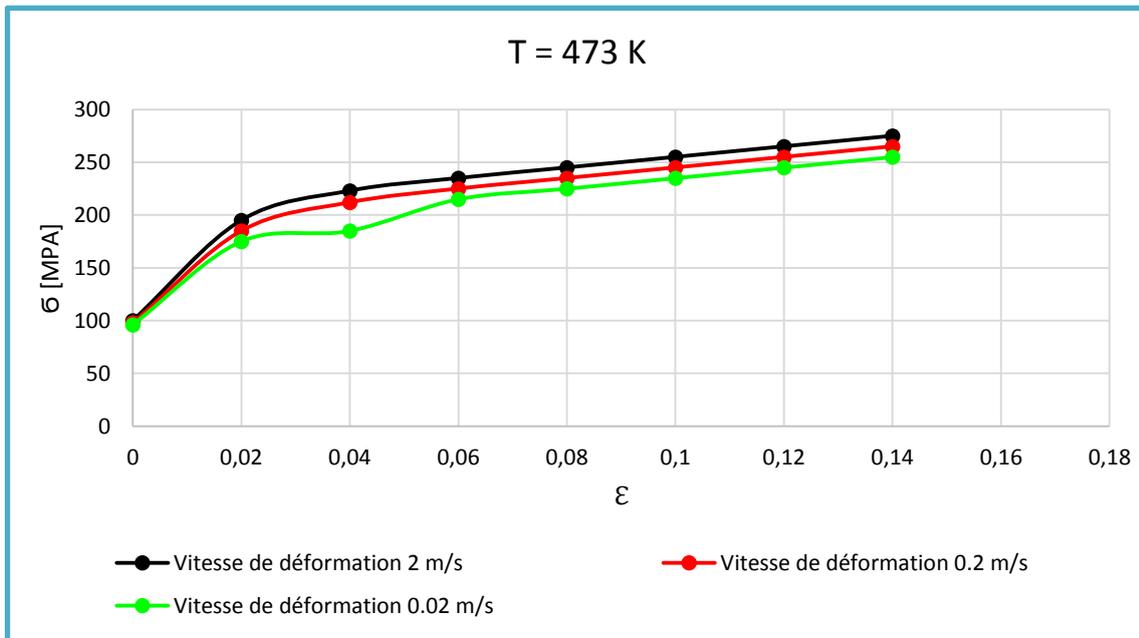
Graphes.III-3 : Courbe de traction contrainte-déformation avec T = 293 k,  $\dot{\epsilon} = 0.2$  m/s



Graphes.III-4 : Courbe de traction contrainte-déformation avec T = 293 k, avec différentes vitesses de déformations



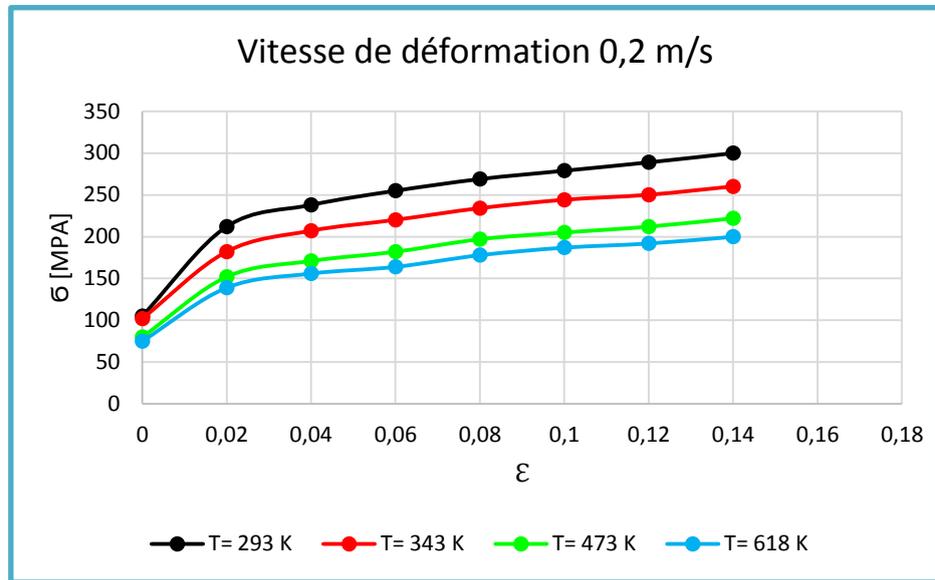
Graph III-5-Courbe de traction contrainte-déformation avec T = 343 k, avec différentes vitesses de déformations



Graph III.6.Courbe de traction contrainte-déformation avec T = 473 k, avec différentes vitesses de déformations

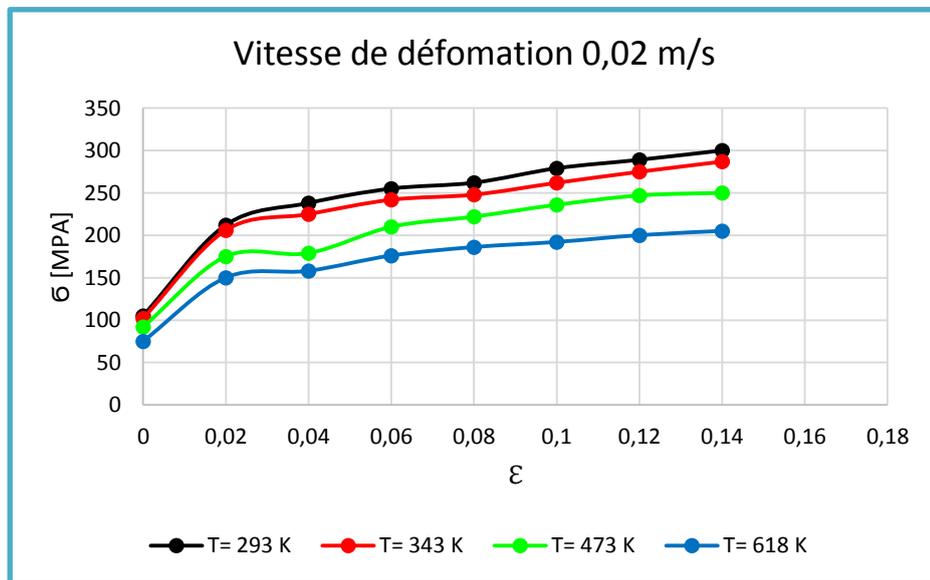
III-7-L'effet de la température :

Les figures IV-6 représentent la courbe de traction contrainte –déformation avec la loi empirique de Jonson-Cook, bien sûr pour une pièce en cuivre. Et aussi on applique ces lois avec une vitesse de déformation constante  $\dot{\epsilon} = 0.2 \text{ m/s}$  et avec différentes températures.

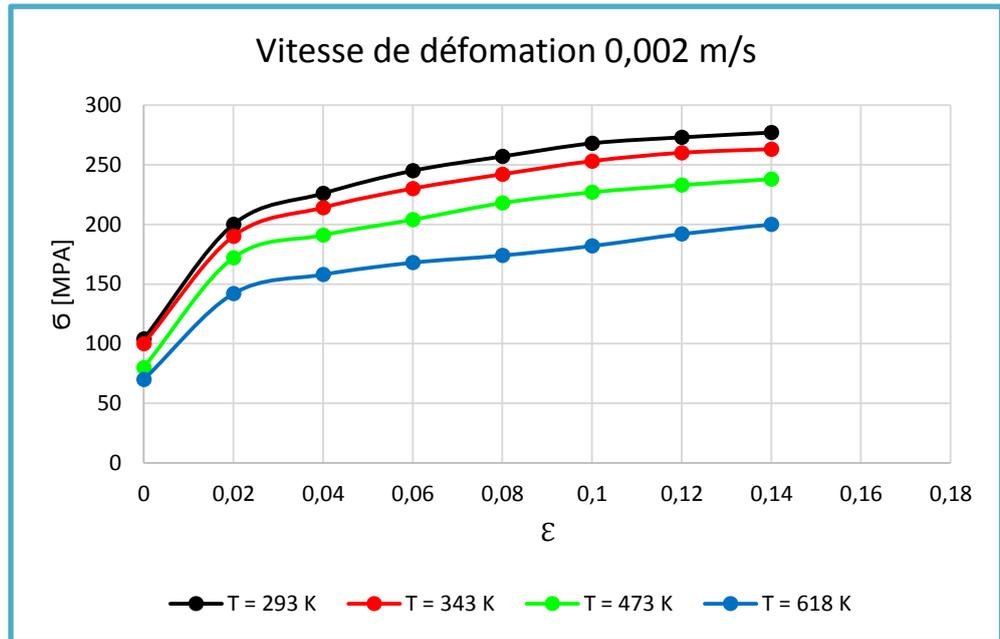


T = 293,343, 473 et 618 K. la même chose pour les figures IV-7 et 8.

**Graph III-7-Courbe de traction contrainte-déformation avec vitesse de déformation constants 0.2 m/s, et avec différentes températures 293,343,473 et 618 K**



**Graph III-8-Courbe de traction contrainte-déformation avec vitesse de déformation constants 0.02 m/s, et avec différentes températures 293, 343,473 et 618 K**



**Grphe.III-9-Courbe de traction contrainte-déformation avec vitesse de déformation constants 0.02 m/s, et avec différentes températures 293, 343,473 et 618 K.**

## **Conclusion général**

Cette étude vise à faire la lumière sur les essais mécaniques, car nous avons abordé leurs types et ils diffèrent selon les règles et les résultats émis par eux tels que le cisaillement, la compression, la torsion, les principes et les objectifs, et comment les appliquer à divers matériaux dans afin de les exploiter dans les services mécaniques et les industries mécaniques Attirer l'attention des scientifiques et des ingénieurs mécaniciens dès les débuts des essais mécaniques, car les mécanismes de cet essai sont divisés en trois types (classique - dynamique - axial).

Et sur les surfaces sur lesquelles l'essai peut être appliqué, et c'est l'axial, ainsi qu'il est connu dans les zones de la courbe de déformation qui a obtenu l'essai de traction, que ce soit sur des matériaux durs ou mous, et il a atteint un champ plastique et un champ non retournable Sur l'impact direct sur l'essai, car nos recherches portent sur deux éléments (température et vitesse de déformation), qui sont des données sensibles dans les équations d'essai de traction, et cela n'apparaissait pas dans les études précédentes .

## Référence :

- [1] : **ROLAND.R** ;comportement Mécanique des matériaux ;école nationale supérieure ;2003.
- [2] : **SAIM.A et BOUZIANE.A** ;Etude et réalisation d'une machine de traction manuelle ;mémoire de master ;2017-2018
- [3] : **AUMER.U** ;Traction et comprissions ;résistons des matériau ;2012-2013.
- [4] : **DELONGNIE.J.F** ;Conception et calcul des éléments de machine ;Jean-François ;2011.
- [5] : **KUETED.C** ;Conception et réalisation d'une machine d'essai de traction comprissions et flexion semi automatique ;mémoire de master ;2018-2019.
- [6] : **PIERRE-Y.M** ;Lois de comportement et mise en forme des matériaux métalliques ;Hal open science ;1 apr 2008.
- [7] : **BOUSMAHA.M** ;Résistance des matériau ;USTOMB ;2018-2019.
- [8] : **LAROCHE.Y et NARCISSE.J** ;Simulation numérique ; de l'ingé avec ABAQUS ;Poly Tech ;2011-2012.
- [9] : **LEVESQVE.M** ;l'essai de traction de matériaux composites ;mémoire de master ;2000.
- [10] : **ELHOUARI.N** ;Travaux pratiquées résistance des matériaux ;UABT ;2017-2018.
- [11] : **BRARA.A** ;Etude expérimentale de la traction dynamique par collage ;Hal openscience ;1999.
- [12] : **RASSOUL.L et FERHI.M** ;Etude conception et fabrication d'un dispositif d'essais en traction bi axiale sur des éprouvettes cruciforme ;mémoire de master ;2015-2016.
- [13] : **ANTOINE.J** ;Etude thermique et expérimentale du comportement Vix plastique des matériaux a grandes déformations et grande vitesses de déformation application a l'acier marc 190 et aut analé ;Rapport CEA.R5816 ;1998.

## ملخص

تعتبر الدراسة التحليلية للاختبارات الميكانيكية الأساس لتحقيق اختبارات الشد والضغط والالتواء. حيث يعتبر اختبار الشد هو الدراسة الأفضل للتعرف على الخصائص الميكانيكية للمواد من خلال التجارب الميكانيكية، تم اخذ قانون التجريبي للجر "جونسون كوك" للحصول على تغير الاجهاد بي تغيير درجة الحرارة وسرعة التشوه على القطعة الميكانيكية وتم الحصول على منحنيات الشد المختلفة تحت حرارة (t=293k.t=343k.t=473k.t=618k) وسرعة تشوه  $\epsilon$  (  $2\text{m/s}$ .  $\epsilon=0.2\text{m/s}$  =  $\epsilon$  )

الكلمات المفتاحية : درجة الحرارة – مواد ميكانيكية – الشد-الضغط

## Résumé

L'étude analytique des essais mécaniques est à la base de la réalisation des essais de traction, compression et torsion. Là où l'essai de traction est la meilleure étude pour identifier les propriétés mécaniques des matériaux à travers des expériences mécaniques, la loi expérimentale de traction "Johnson Cook" a été prise pour obtenir le changement de contrainte en modifiant la température et la vitesse de déformation sur la pièce mécanique, et différentes courbes de traction ont été obtenues sous la température (t= 293k.t=343k.t=473k.t=618k) et la vitesse de déformation  $\epsilon$  (  $2\text{m/s}$ .  $\epsilon =0.2\text{m/s}$  =  $0.02\text{m/s}$ )

**Mots clés :** température - matériauxmécanique - traction - compression

## Abstract

The analytical study of mechanical tests is the basis for achieving tensile, compression and torsion tests. Where the tensile test is the best study to identify the mechanical properties of materials through mechanical experiments, the experimental law of traction "Johnson Cook" was taken to obtain the stress change by changing the temperature and the speed of deformation on the mechanical piece, and different tensile curves were obtained under the temperature (t= 293k.t=343k.t=473k.t=618k) and deformation velocity  $\epsilon$  (  $2\text{m/s}$ .  $\epsilon =0.2\text{m/s}$  =  $0.02\text{m/s}$ )

**Key words:** bending, traction, shear, deformation, breaking point