

Université de Saïda – Dr. Moulay Tahar
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département : Génie civil et Hydraulique



Polycopié Pédagogique

Intitulé :

TP Résistance des matériaux

Présenté par :

Dr. BENTAHAR Mohammed

Maître de Conférences A (MCA)

Pour les étudiants de la 2ème année Licence en
Génie civil, Hydraulique et Génie
mécanique
Semestre S2

Année universitaire : 2025-2026

Avant-propos

Le polycopié de « TP Résistance des Matériaux » est un support pédagogique des TP, destiné aux étudiants de 2^{ème} année de licence (LMD) de Génie civil, d'Hydraulique et de Génie mécanique. Selon le programme du canevas proposé par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique, assuré au département de génie civil et hydraulique. Ce polycopié est conçu de manière à offrir aux étudiants la possibilité d'assimiler et de mettre en application les différentes notions étudiées dans le module Résistance des matériaux. Ce polycopié comprend six manipulations selon le matériel disponible au laboratoire de résistance des matériaux. Chacune d'elles est représentée par plusieurs unités d'apprentissage.

Contenu de la matière :

TP N°1. Essais de traction – compression simple
TP N°2. Essai de torsion
TP N°3. Essai de flexion simple
TP N°4. Essai de résilience
TP N°5. Essai de dureté

Objectifs de l'enseignement

- À l'issue de ce TP de résistance des matériaux, les apprenants seront capables de :
- Mettre en application les différentes notions étudiées dans le module de résistance des matériaux.
 - Procéder à la détermination des caractéristiques des matériaux à partir des essais mécaniques simples.
 - Rédiger un rapport de compte-rendu en TP de résistance des matériaux d'après les résultats obtenus.

Carte conceptuelle de TP Résistances des matériaux

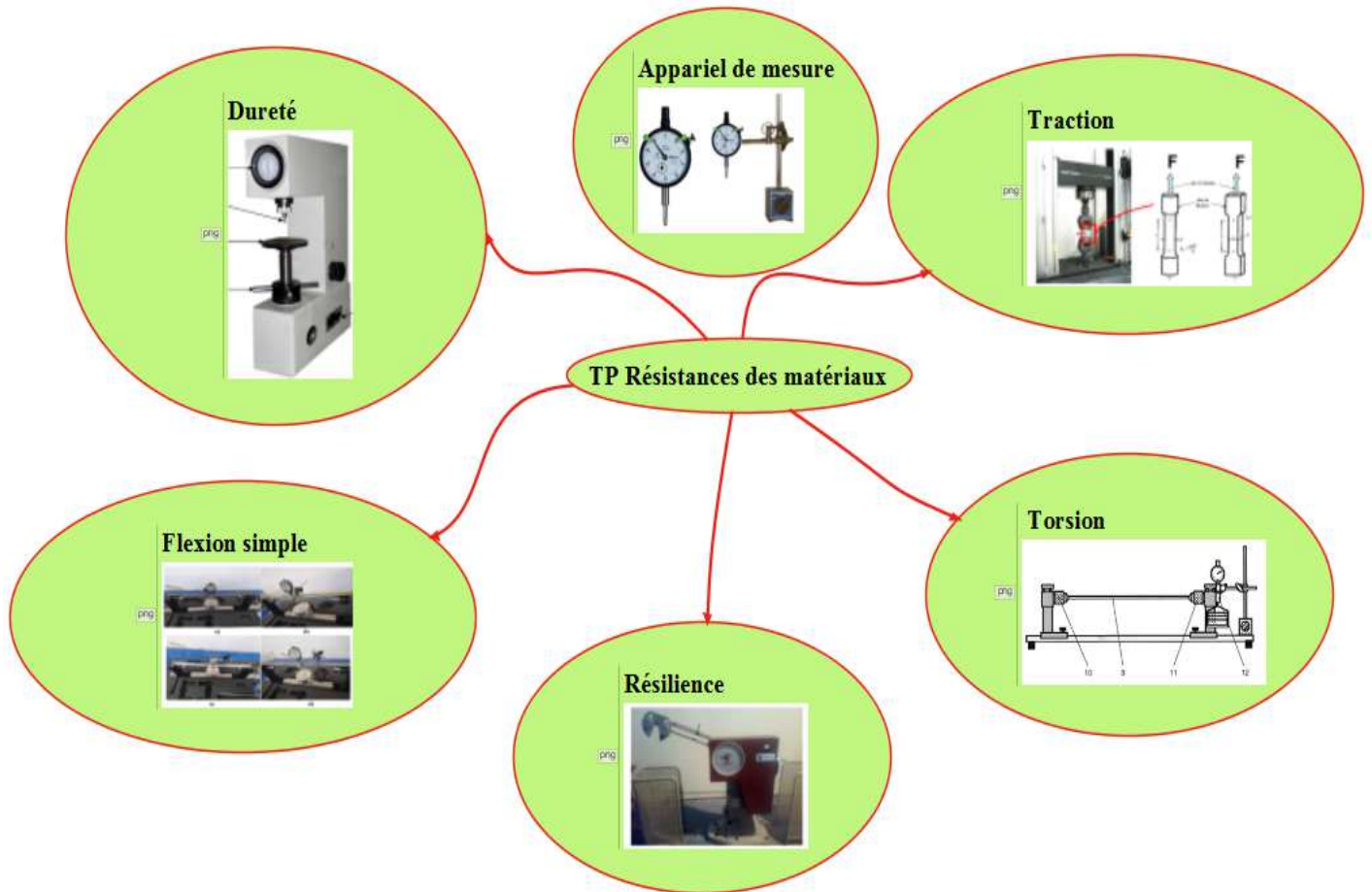


TABLE DES MATIÈRES

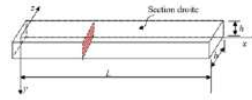
<i>Objectifs de l'enseignement</i>	2
INITIATIONS SUR LA RESISTANCE DES MATERIAUX	7
1. INITIATIONS SUR LA RESISTANCE DES MATERIAUX	8
1.1 INTRODUCTION	8
1.2 DÉFINITION.....	9
1.3 ASPECTS GÉNÉRAUX SUR LA RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX	9
1.4 NOTION DES APPUIS	10
1.4.1 Appui simple	10
1.4.2. Appui double (articulation)	11
1.4.3. Encastrement	11
1.5 LES DIFFERENTS TYPES DE SOLlicitATION.....	12
1.6 HYPOTHÈSES DE LA RDM	13
1.7 CONCLUSION.....	13
ASPECTS MÉTROLOGIQUES	14
2 ASPECTS MÉTROLOGIQUE	15
2.1 INTRODUCTION	15
2.2 CORRÉLATION DE MESURE	15
2.3 Les vocabulaires métrologiques.....	16
2.3.1 Résultats obtenue	16
2.3.2 Opérations métrologiques.....	17
2.3.3 Équipements de mesure.....	17
2.4 LES UNITÉS DE MESURE (selon le système SI)	17
2.5 LES INSTRUMENTS DE MESURE ET DE CONTROLE UTILISES.....	18
2.5.1 Règle	18
2.5.2 Pied à coulisse	19
2.6 CONCLUSION.....	24
ESSAI DE TRACTION	25
3 ESSAI DE TRACTION	26
3.1 INTRODUCTION	26
3.2 BUT PÉDAGOGIQUE DE L'ESSAI DE TRACTION	26
3.3 PARTIE THÉORIQUE	26
3.4 DÉFINITIONS.....	28
3.4.1 Zone élastique.....	28
3.4.2 Zone plastique	28
3.4.3 Caractéristiques mécaniques.....	29
3.5 PARTIE PRATIQUE	29
3.5.1 Les démarches de l'essai.....	30
3.5.2 Travail demandé	30
3.6 CONCLUSION.....	31

ESSAI DE COMPRESSION.....	32
4 ESSAI DE COMPRESSION	33
4.1 INTRODUCTION	33
4.2 POURQUOI EFFECTUER UN ESSAI DE COMPRESSION?	33
4.3 LE BUT PÉDAGOGIQUE DE CE TP.....	34
4.4 DÉFINITION.....	34
4.5 PARTIE THÉORIQUE	34
4.5.1 Éprouvettes standardisées utilisées dans l'essai de compression	35
4.5.2 Comportements des matériaux sous charge de compression	36
4.5.3 Diagramme contrainte -déformation	37
4.6 PARTIE PRATIQUE	38
4.6.1 Réalisation de l'essai	38
4.6.2 Machine de compression	39
4.7 CONCLUSION.....	40
ESSAI DE FLEXION.....	41
5 ESSAI DE FLEXION.....	42
5.1 INTRODUCTION	42
5.2 BUT PÉDAGOGIQUE DE L'ESSAI DE FLEXION	42
5.3 Description de l'appareil	42
5.3.1 Types d'appuis pour les essais de flexion	43
5.3.2 Composition de l'appareil.....	43
5.4 PARTIE THÉORIQUE	44
5.5 PARTIE PRATIQUE	45
5.5.1 Détermination de la flèche maximale.....	45
5.5.2 Réalisation de l'essai	46
5.5.3 L'effet de la nature de la matière.....	46
5.5.4 Effet des paramètres dimensionnels.....	48
5.6 CONCLUSION.....	50
ESSAI DE TORSION.....	52
6 ESSAI DE TORSION	53
6.1 INTRODUCTION	53
6.2 DÉFINITION.....	53
6.3 BUT PÉDAGOGIQUE DE L'ESSAI DE TORSION	53
6.4 PARTIE THÉORIQUE	54
6.4.1 Angle de torsion φ	55
6.4.2 Relation entre le moment de torsion (M_t) et l'angle de torsion φ	56
6.5 PARTIE PRATIQUE	57
6.5.1 Matériels utilisés.....	57
6.5.2 Réalisation de l'essai	58
6.6 CONCLUSION.....	62
ESSAI DE RÉSILIENCE.....	64

7	ESSAI DE RÉSILIENCE	64
7.1	INTRODUCTION	64
7.2	But pédagogique de l'essai de résilience	64
7.3	Test de résilience.....	64
7.3.1	Test de résilience Charpy	65
7.3.2	Module de résilience	65
7.4	DIFFÉRENCE ENTRE LA TÉNACITÉ ET LA RÉSILIENCE	66
7.5	PARTIE THÉORIQUE	67
7.6	PARTIE PRATIQUE	68
7.6.1	Le pendule de cet essai est extrêmement dangereux" Avertissements"	68
7.6.2	Application à faire	69
7.6.3	Travail demandé	69
	ESSAI DE LA DURETÉ	71
8	ESSAI DE LA DURETÉ.....	71
8.1	INTRODUCTION	71
8.2	DÉFINITION.....	71
8.3	BUT PÉDAGOGIQUE DE L'ESSAI DE LA DURETÉ.....	72
8.4	PARTIE THÉORIQUE	72
8.4.1	Machine.....	72
8.4.2	Les différents essais de dureté	73
8.5	PARTIE PRATIQUE	77
8.5.1	L'essai Rockwell	78
8.5.2	L'essai Brinell	79
	RÉFÉRENCES.....	80
	ANNEXES	81
	LES PAGES DE GARDES	82
	MODÈLE DE LISTE DE TP	88
	MODÈLE FICHE INDIVIDUEL D'ÉVALUATION DE TP	90

***INITIATIONS
SUR LA
RESISTANCE
DES MATERIAUX***

1. INITIATIONS SUR LA RESISTANCE DES MATERIAUX



1. INITIATIONS SUR LA RESISTANCE DES MATERIAUX

1.1 INTRODUCTION

La résistance des matériaux est le plus vaste des domaines de l'ingénierie en génie mécanique et en génie civil. Ainsi, est la profession d'ingénieur la plus ancienne et la plus essentielle. Il englobe une variété de sous-disciplines et d'emplois. Ce domaine est une discipline professionnelle qui traite de la conception, de la construction et de l'entretien de l'environnement physique et naturel, y compris des travaux tels que des routes, des ponts, des canaux, des barrages et des bâtiments. Ce travail est basé essentiellement sur l'étude de la résistance des matériaux. En effet, la résistance des matériaux considère essentiellement la relation entre les charges externes appliquées à un matériau et la déformation ou la modification des dimensions du matériau qui en résulte. Lors de la conception de structures et de machines, il est important de tenir compte de ces facteurs, afin que le matériau sélectionné ait une résistance suffisante pour résister aux charges ou forces appliquées et conserver sa forme d'origine. La résistance d'un matériau est sa capacité à supporter cette charge appliquée sans défaillance ni déformation plastique.

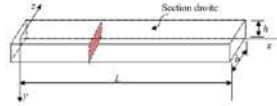
Le polycopié présenté sera organisé de la manière suivante :

La première partie présente une synthèse générale sur la résistance des matériaux qui permettra de donner des aspects généraux sur la résistance des matériaux.

La deuxième partie porte sur des aspects généraux de la science de mesures (la métrologie).

La troisième partie est consacrée aux différents travaux pratiques de la résistance des matériaux qui sont programmés et trouvés dans le canevas de licence de 2^{ème} année (LMD) de Génie civil, hydraulique et génie mécanique. Parmi ces travaux pratiques, on obtient : l'essai de traction, l'essai de compression, l'essai de flexion, l'essai de torsion, l'essai de dureté et l'essai de résilience. Et finalisé par une annexe qui contient quelques fichiers nécessaires et utiles liés aux travaux pratiques en cas général.

1. INITIATIONS SUR LA RESISTANCE DES MATERIAUX



1.2 DÉFINITION

La résistance des matériaux vient de la mécanique classique, mais dans ce cas son applicabilité consiste à déterminer la capacité d'un matériau à se dissiper ou à adopter des comportements équilibrés en fonction des charges imposées. Dans ce domaine, des comportements élastiques et inélastiques peuvent être supposés. Bien entendu, la caractérisation du matériau lorsqu'il est soumis à une contrainte se résume à l'indication des déformations obtenues lorsque des forces sont appliquées à un objet fabriqué avec un matériau donné. Après cela, en tenant compte des caractéristiques géométriques, des relations de rigidité peuvent être établies.

Il est extrêmement important en la matière de connaître les notions de base telles que la stabilité, la rigidité et la résistance, donc la ductilité, les déformations et les contraintes. La résistance des matériaux repose fondamentalement sur cela pour observer le comportement des éléments structuraux en fonction de leur résistance.

D'autre part, la résistance des matériaux est basée sur les propriétés des matériaux pour évaluer les dimensions de pièces structurales ou d'éléments de machines [1]. Au moyen de la résistance des matériaux, la résistance physique des ponts est vérifiée afin de :

- Assurer sa résistance aux véhicules lourds et assurer sa résistance en cas de fortes tempêtes [2].

1.3 ASPECTS GÉNÉRAUX SUR LA RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

Une poutre est une barre d'une charpente, une membrure d'une structure ou un élément d'une machine. Les poutres sont placées dans la position horizontale et supportent des charges. Les charges sur les poutres tendent à les trancher (cisailier) et à les courber ou plier.

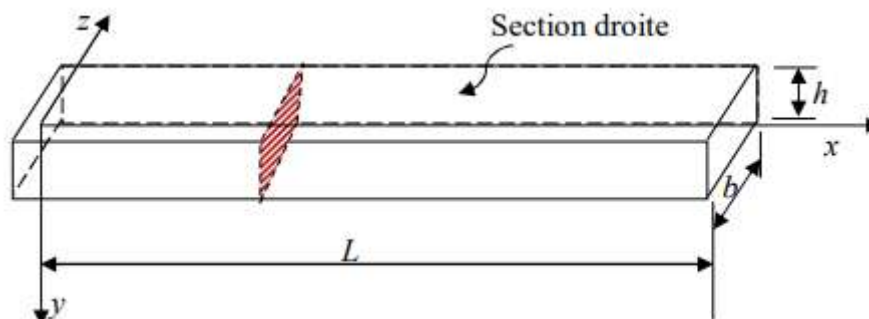
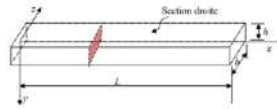


Figure 1.1 Schéma d'une poutre [3]

L : longueur,

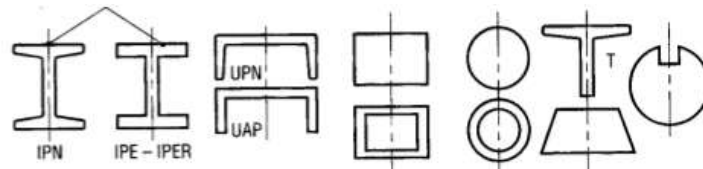
1. INITIATIONS SUR LA RESISTANCE DES MATERIAUX



h, b : dimensions de la section.

Dans les schémas de calcul, la poutre est représentée par son axe, qui est par convention l'axe x . La section est l'intersection de la poutre avec un plan perpendiculaire à son axe. Celle-ci peut avoir plusieurs formes [2].

Plan de symétrie et plans des charges



Exemples de poutres ne satisfaisant pas l'hypothèse de symétrie :



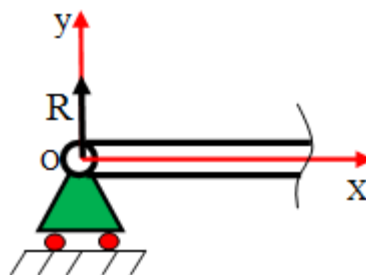
Figure 1.2 Différentes formes des sections droites [3]

1.4 NOTION DES APPUIS

Une structure est reliée au monde extérieur par un certain nombre de liaisons. Une liaison impose des conditions cinématiques en un point. Pour maintenir ces liaisons, il faut exercer des efforts de liaison qui sont des inconnues du problème. Dans le cas des problèmes plans (systèmes de forces coplanaires), la schématisation des liaisons et des efforts exercés se ramène à trois cas types : appui simple (ponctuel ou plan sans frottement), articulation (pivot) et encastrement.

1.4.1 Appui simple

Ce type d'appui laisse à la structure toute liberté de pivoter autour de O (extrémité de la poutre) et de se déplacer perpendiculairement à la droite joignant les points de contact. Si on néglige les frottements, la réaction d'appui a la direction de la droite précitée et introduit une seule inconnue dans l'étude de la poutre.



1. INITIATIONS SUR LA RESISTANCE DES MATERIAUX

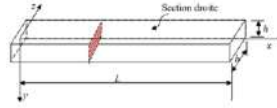


Figure 1.2 Appui simple

1.4.2. Appui double (articulation)

Matérialisé par une rotule. Cet appui autorise les rotations d'une extrémité de la poutre ou d'un des éléments constituant la structure. La direction de la réaction (R) est inconnue, mais la ligne d'action passe par le centre de l'articulation. L'articulation introduit 2 inconnues, par exemple les projections sur deux directions du plan moyen.

Cet appui autorise la rotation d'une extrémité de la poutre ou d'un des éléments constituant la structure. L'articulation introduit deux inconnues, par exemple les projections sur deux directions du plan moyen [4].

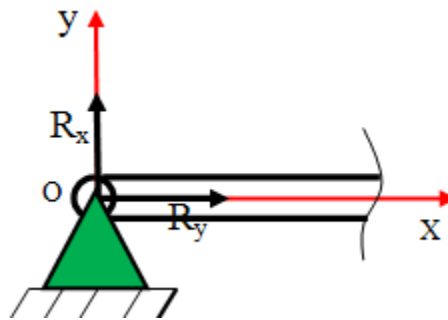


Figure 1.3 Appui double

1.4.3. Encastrement

L'encastrement interdit tout déplacement de la section droite de l'appui. Sa réaction est une force de densité variable répartie sur toute l'étendue de la section. En vertu du principe de Saint-Venant, ces forces peuvent être remplacées par leur résultante générale (R) et leur moment (M) rapportés au centre de gravité (G). Ce type d'appui introduit donc 3 inconnues, les deux projections de (R) sur deux axes du plan moyen et l'intensité du moment (M) qui est perpendiculaire au plan moyen [5].

1. INITIATIONS SUR LA RESISTANCE DES MATERIAUX

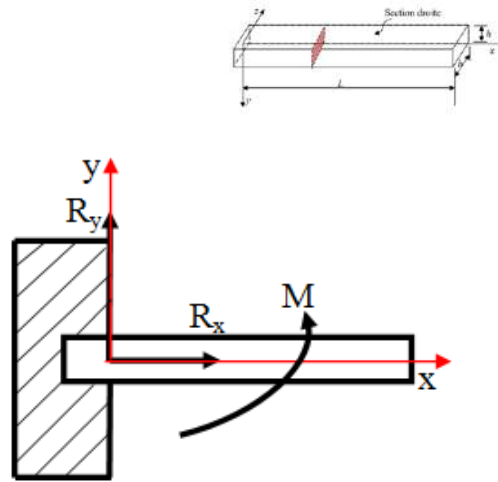
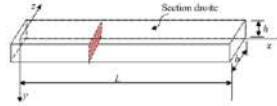


Figure 1.4 Encastrement

1.5 LES DIFFERENTS TYPES DE SOLLICITATION

	Sollicitation	Schéma	Effort de cohésion
1	Traction ou Extension / Compression		$_{Gs}\{T_{coh}\}_R = \begin{Bmatrix} N & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_R$
2	CISAILLEMENT		$_{Gs}\{T_{coh}\}_R = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ T_y & 0 \\ T_z & 0 \end{Bmatrix}_R$
3	Torsion		$_{Gs}\{T_{coh}\}_R = \begin{Bmatrix} 0 & Mt \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_R$
4	Flexion pure		$_{Gs}\{T_{coh}\}_R = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & Mf_z \end{Bmatrix}_R$
5	Flexion simple		$_{Gs}\{T_{coh}\}_R = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ T_y & 0 \\ 0 & Mf_z \end{Bmatrix}_R$
6	Flexion + traction		$_{Gs}\{T_{coh}\}_R = \begin{Bmatrix} N & 0 \\ T_y & 0 \\ 0 & Mf_z \end{Bmatrix}_R$
7	Flexion + torsion		$_{Gs}\{T_{coh}\}_R = \begin{Bmatrix} 0 & Mt \\ T_y & 0 \\ 0 & Mf_z \end{Bmatrix}_R$

1. INITIATIONS SUR LA RESISTANCE DES MATERIAUX



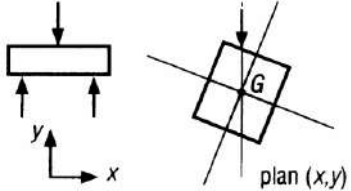
8	Flambage		$_{Gs} \{T_{coh}\}_R = \begin{Bmatrix} N & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & Mfz \end{Bmatrix}_R$
9	Flexion déviée		$_{Gs} \{T_{coh}\}_R = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Ty & 0 \\ 0 & Mfz \end{Bmatrix}_R$ $_{Gs} \{T_{coh}\}_R = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & Mfy \\ Tz & 0 \end{Bmatrix}_R$

Tableau1.1 : Différentes sollicitations simples en résistance des matériaux [6]

1.6 HYPOTHÈSES DE LA RDM

L'étude des pièces en résistance des matériaux nécessite les hypothèses simplificatrices suivantes.

Homogène : le matériau a les mêmes propriétés en tout point.

Isotrope : en chaque point, les propriétés du matériau sont les mêmes dans toutes les directions. Continu : il n'y a pas de distances interstitielles dans le matériau, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de « lacunes » dans le matériau, quel que soit le volume prélevé. [7]

La résistance des matériaux a pour objectif ou but de développer des méthodes de calcul simples, acceptables d'un point de vue pratique, c'est-à-dire qu'elle étudie le comportement des solides déformables lorsqu'ils sont soumis à différentes actions et établit les critères qui permettent de déterminer le matériau le plus pratique, la forme et les dimensions les plus appropriées, qui sont données à certains solides lorsqu'ils sont utilisés en ingénierie (dans notre cas, l'ingénierie minière), ainsi qu'en essayant d'obtenir les meilleurs résultats et de la manière la plus économique possible.

1.7 Conclusion

Dans cette partie, nous avons étudié les différents points nécessaires concernant la résistance des matériaux. On a rappelé les principaux points pour définir une poutre. Tout d'abord, l'étude des poutres est un phénomène très complexe dans l'étude d'une durée de vie d'une structure. Pour cela, nous avons cité les éléments essentiels à l'étude du comportement des poutres, à savoir les différents types de poutres, la notion des charges, la notion des appuis et les efforts extérieurs.

ASPECTS MÉTROLOGIQUES



2 ASPECTS MÉTROLOGIQUES

2 ASPECTS MÉTROLOGIQUE

2.1 INTRODUCTION

Les travaux pratiques basés sur les sciences expérimentales. Contrairement aux autres types de cours qui se passent exclusivement à l'oral ou à l'écrit, les séances de travaux pratiques nécessitent souvent un matériel spécifique (verrerie et produits chimiques, circuits électriques, ordinateurs...).

Il existe un ensemble de précautions à prendre en considération car le travail dans les laboratoires est relativement dangereux. Il peut se produire des accidents parfois très graves. Un minimum d'organisation permet souvent de les éviter ou du moins d'en diminuer le risque. Voici quatre règles fondamentales à respecter durant les séances de travaux pratiques :

- Le port de la blouse, des chaussures fermées sans talon, des lunettes (dans des cas précis) est obligatoire pendant toute la durée de la séance.
- Interdiction de toucher au banc d'essai autre que celui qui vous a été destiné.
- Ne pas commencer les manipulations avant de recevoir les explications nécessaires au bon déroulement des expériences.
- Interdiction de boire et de manger dans les laboratoires.

Le travail appliqué est une classe dans laquelle le professeur explique le plan de travail de l'étudiant, qui à son tour effectue les étapes du plan.

2.2 CORRÉLATION DE MESURE

- C'est la comparaison ou la corrélation des mesures d'un système de mesure avec les valeurs rapportées par un ou plusieurs systèmes de mesure différents.
- Un système ou un appareil de mesure peut être utilisé pour comparer des valeurs par rapport à un étalon connu ; à son tour, il peut être comparé à la moyenne et à l'écart-type d'autres appareils similaires.
- Vous pouvez également comparer les valeurs obtenues à partir de différentes méthodes de mesure utilisées pour mesurer différentes propriétés. Par exemple, la mesure de la dureté et de la résistance d'un métal, la température et l'expansion linéaire d'un article lorsqu'il est chauffé, le poids et le nombre de petites pièces.



2 ASPECTS MÉTROLOGIQUES

2.3 Les vocabulaires métrologiques

En effet, un vocabulaire est un dictionnaire terminologique contenant les désignations et définitions concernant un ou plusieurs domaines spécifiques. Les vocabulaires métrologiques basés sur les trois axes principaux, les vocabulaires des résultats obtenus, les vocabulaires des opérations métrologiques et les vocabulaires des équipements de mesure.

Vocabulaire fournit un ensemble de définitions et de termes associés, pour un système de concepts fondamentaux et généraux utilisés en métrologie.

On distingue dans la métrologie trois vocabulaires essentiels : le vocabulaire des résultats obtenus, le vocabulaire des opérations métrologiques et le vocabulaire des équipements de mesure.

2.3.1 Résultats obtenus

On métrologie les résultats obtenus basées sur les vocabulaires suivantes :

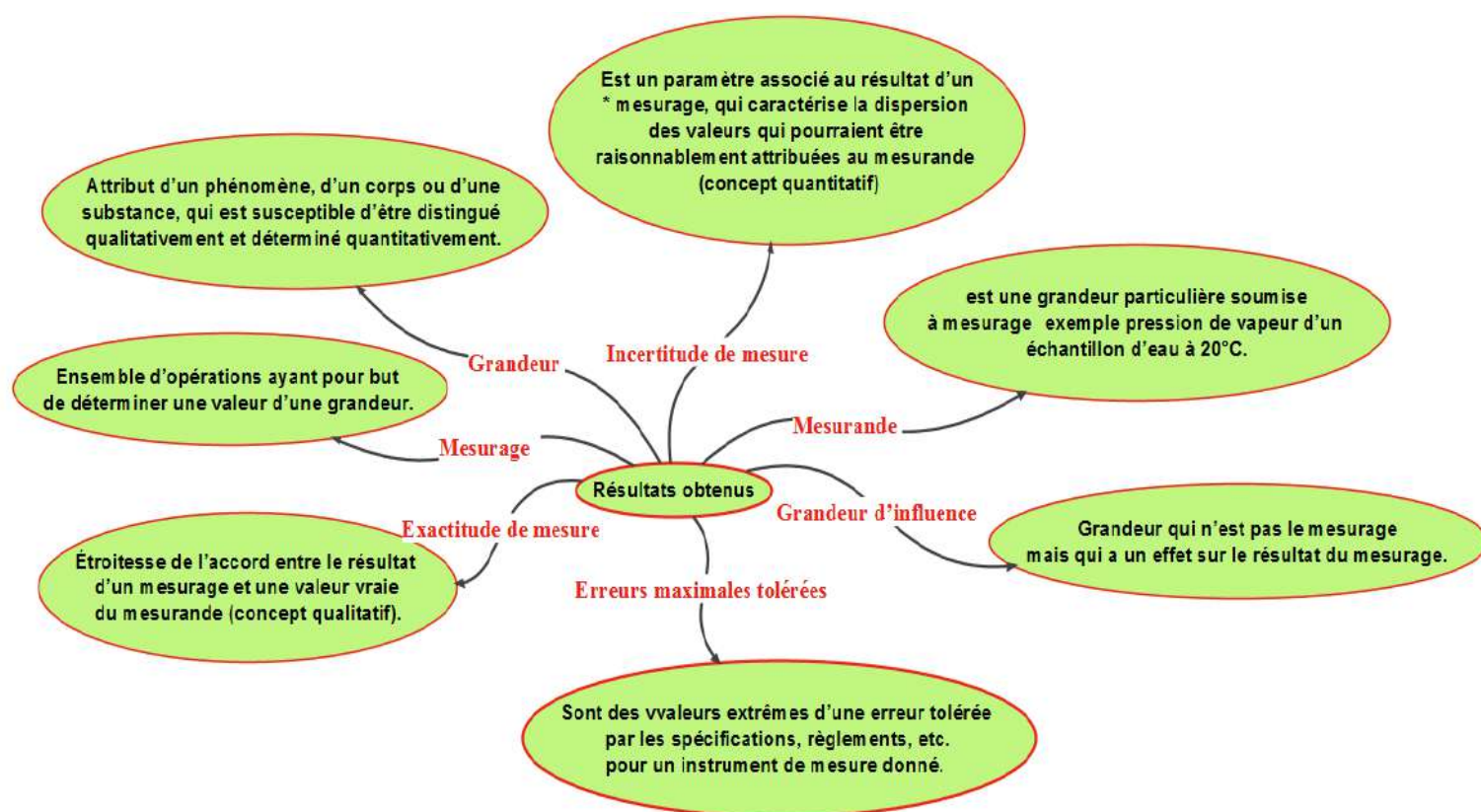


Figure 2. 1. Vocabulaires des résultats obtenus



2 ASPECTS MÉTROLOGIQUES

2.3.2 Opérations métrologiques

On métrologie les opérations métrologiques basées sur les vocabulaires suivantes :

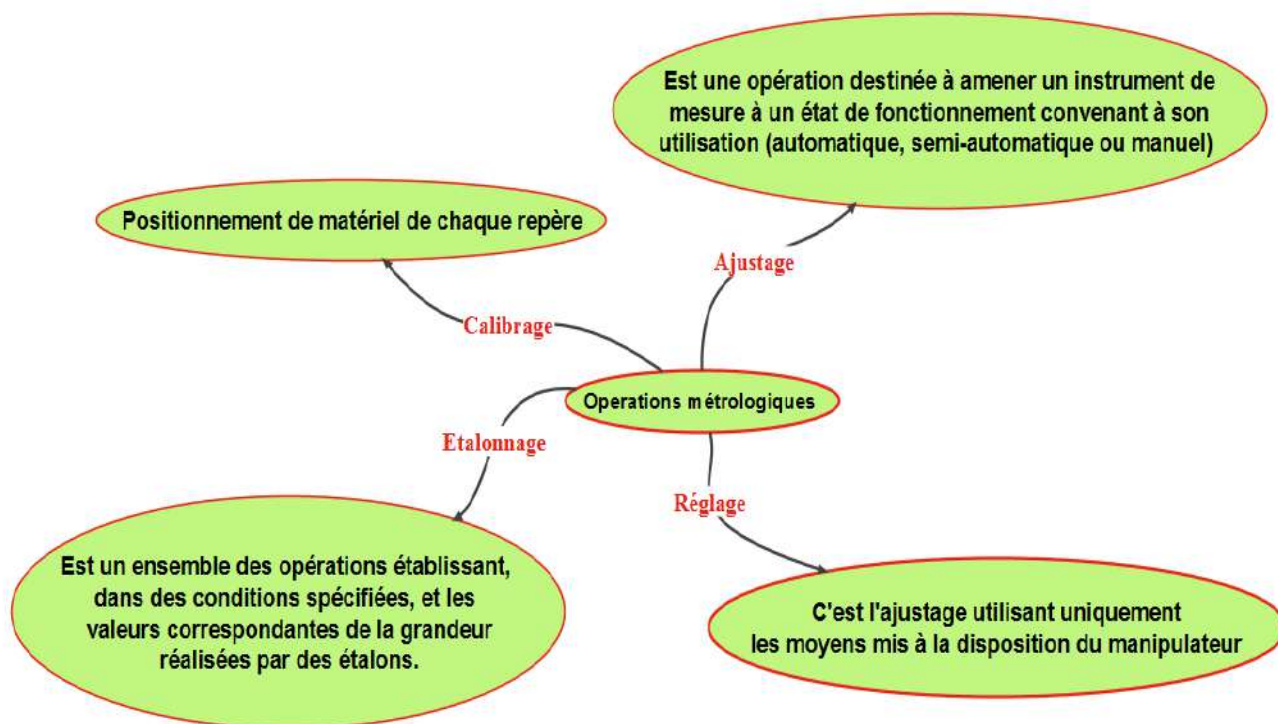


Figure 2.2. Vocabulaires des opérations métrologiques

2.3.3 Équipements de mesure

On métrologie les équipements de mesure basées sur les vocabulaires suivantes :

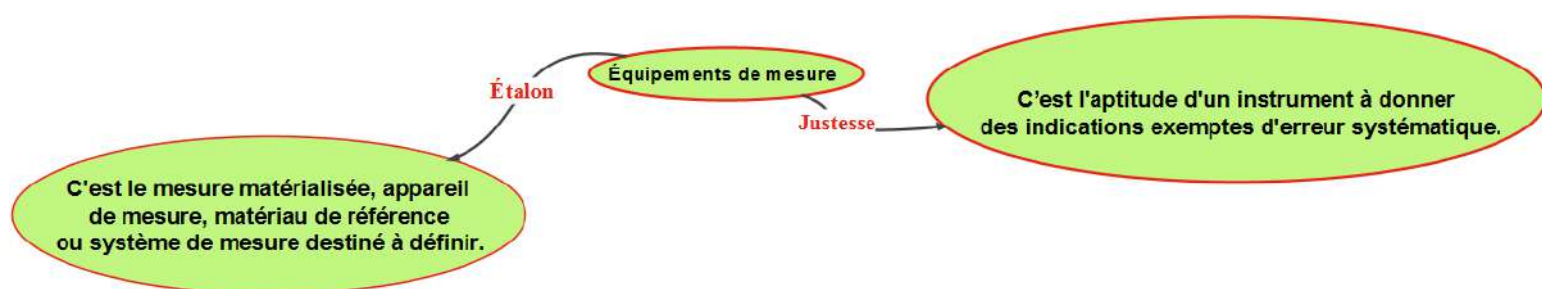


Figure 2.3. Vocabulaires des équipements de mesure

2.4 LES UNITÉS DE MESURE (selon le système SI)

de la grandeur de base	Symbole	Nom de la unité SI de base	Symbole
Longueur	$l, x, r, \text{etc.}$	mètre	m
Masse	M	kilogramme	kg



2 ASPECTS MÉTROLOGIQUES

temps, durée	T	seconde	s
courant électrique	I, i	ampère	A
température thermodynamique	T	kelvin	K
quantité de matière	N	mole	mol
intensité lumineuse	I_v	candela	cd

Tableau 2.1. Les sept Unités de base du système (SI)

2.5 LES INSTRUMENTS DE MESURE ET DE CONTRÔLE UTILISES

L'équipement d'essai est divisé en trois groupes : les instruments de mesure directe et indirecte, les machines de mesure et de contrôle et les instruments de contrôle des dimensions.

Les appareils de mesure sont divisés en appareils de mesure fixes et en indicateurs.

Les enseignements incarnent soit la mesure, soit la mesure et la forme de l'objet à tester.

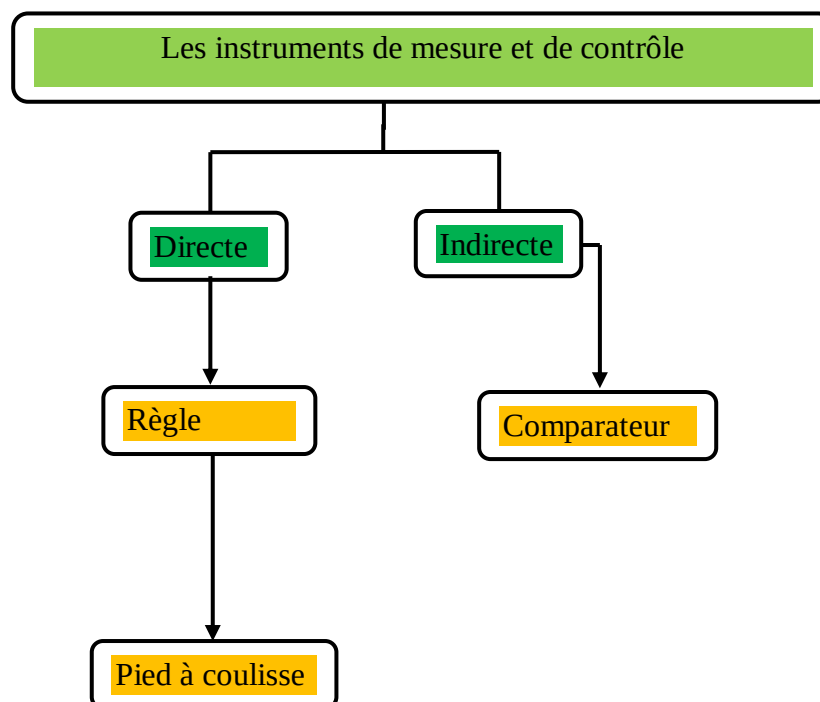


Figure 2.4 Les instruments de mesure et de contrôle utilisés durant la période de TP [8]

2.5.1 Règle

La règle est un outil de mesure de base à partir duquel de nombreux autres outils ont été développés. Les règles varient en taille de seulement un quart de pouce en longueur pour mesurer dans les rainures, évidements et clavettes, à autant comme douze pieds de longueur pour les gros travaux. Les règles d'acier sont graduées en système anglais (pouces) ou



2 ASPECTS MÉTROLOGIQUES

métrique, et parfois les échelles pour les deux systèmes sont fournies sur une seule règle. Ils peuvent être gradués sur chaque bord des deux côtés et même sur les extrémités. Les diplômes d'anglais sont communément aussi fins qu'un centième (0,010) pouce en décimales ou un soixante-quatrième (1/64) pouce en fractions. Les graduations métriques sont généralement aussi fines qu'un demi-millimètre (0,5 mm). Les règles de Starrett sont graduées pour correspondre aux normes calibrées par le National Institute of Standards and Technology (NIST).

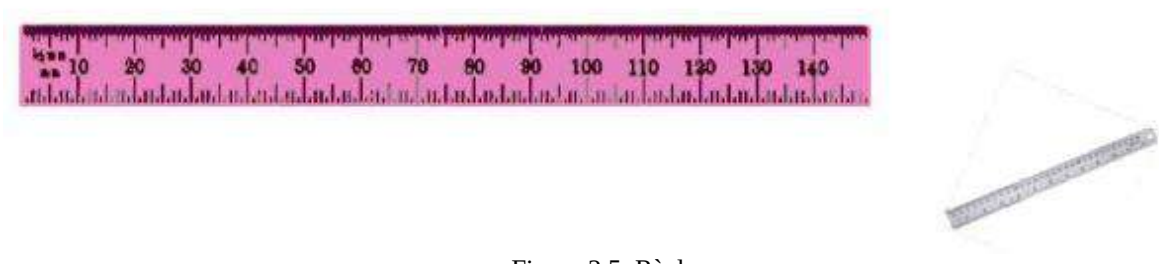


Figure 2.5. Règle

2.5.2 Pied à coulisse

C'est un instrument de mesure pour mesurer les longueurs, les diamètres interne et externe des objets plus précisément qu'une échelle ou une règle normale et qui peut indiquer la valeur entre les deux graduations d'une règle. Ainsi, est un instrument de mesure composé d'un cadre en (L) avec une échelle linéaire le long de son bras plus long et d'un accessoire coulissant en (L) avec une échelle vernier, utilisé pour lire directement la dimension d'un objet représentée par la séparation entre les bords intérieurs ou extérieurs. On distingue quelques types de pieds à coulisse.

2.5.2.1 Pied à coulisse à vernier

Le pied à coulisse à vernier a des échelles doubles qui s'étendent le long du haut et du bas de l'étrier et affichent à la fois des mesures impériales et métriques. Le pied à coulisse est principalement utilisé pour les équipements de mesure de précision. Ils peuvent être utilisés pour faire des mesures à l'intérieur, à l'extérieur ou en profondeur, ce qui en fait un outil ingénieux.

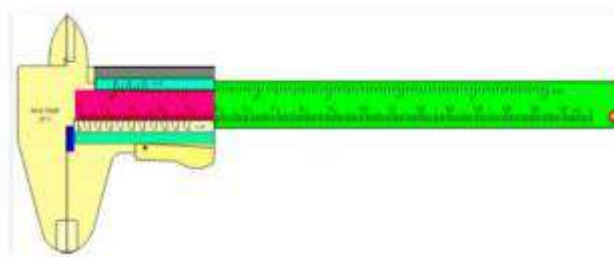


Figure 2.6. Pied à coulisse à vernier

2.5.2.2 Pied à coulisse à montre

Le pied à coulisse à montre possède un cadran qui affiche la mesure avec un indicateur de pointeur. La mesure obtenue est éventuellement cumulée avec la lecture obtenue mentionnée sur l'échelle passant le long du faisceau de l'étrier. Ainsi, une structure mécanique comprenant un système de mécanisme à crémaillère et pignon. Pour l'examiner, la valeur la plus notable est analysée à partir de la règle et de la lecture partielle du cadran. La bonne caractéristique des pieds à coulisse de cadran est qu'ils n'ont pas besoin de piles pour fonctionner. Même si les étriers à cadran ne sont pas résistants à l'eau, ils fonctionnent bien même si le temps est humide.

Les pieds à coulisse à cadran sont spécifiquement utilisés pour effectuer des mesures externes, des mesures internes, des mesures de pas et des mesures de profondeur.



Figure 2.7. Pied à coulisse digitale

2.5.2.3 Pied à coulisse digitale

Les pieds à coulisse numériques sont la forme moderne des pieds à coulisse, dans lesquels l'échelle de vernier est remplacée par un codeur linéaire capacitif, qui mesure la distance en mesurant le changement de capacité du codeur. La lecture est ensuite affichée sur l'écran LCD fixé sur la balance. Les pieds à coulisse numériques sont la dernière innovation dans la technologie des pieds à coulisse. Au lieu d'un mécanisme à pignon et crémaillère, un microprocesseur interne calcule l'emplacement des mâchoires et affiche la lecture dans une



2 ASPECTS MÉTROLOGIQUES

petite fenêtre d'affichage. Les pieds à coulisse numériques ou électroniques sont des outils de mesure les plus avancés, qui peuvent donner des mesures très précises et extrêmement économiques. La lecture d'objets dans ces types d'étriers est facile par rapport à un pied à coulisse manuel.



Figure 2.8. Pied à coulisse digitale

2.5.2.4 Les composantes de pied à coulisse

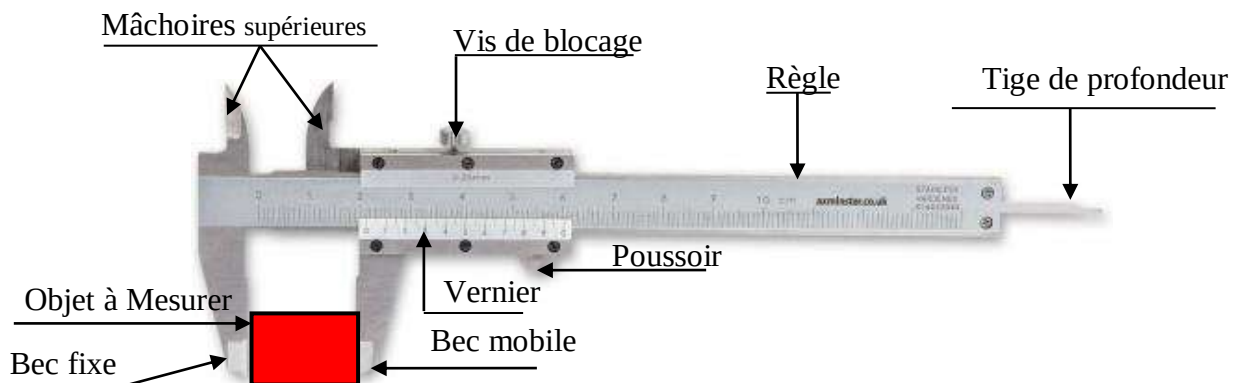


Figure 2.9. Les constitutions de pied à coulisse

2.5.2.5 Comparateur

Le comparateur est un instrument de mesure, qui permet de mesurer les dimensions indirectes par comparaison. Cet instrument de mesure est basé sur deux types essentiels : l'un est le comparateur à cadran et l'autre type est le comparateur digital. (Le paragraphe ci-dessous explique le comparateur à cadran).

2.5.2.5.1 Comparateur à cadran

Comparateur à cadran le plus simple. C'est un instrument très polyvalent et sensible. Il utilise un système d'engrenage avec une crémaillère et un pignon. L'indicateur de cadran se compose d'un piston qui peut monter ou descendre en déplaçant l'aiguille du cadran dans le sens horaire ou antihoraire. Le cadran plus petit indique le nombre de tours complets de la grande aiguille. Les indicateurs à cadran ont une plage de course et une discrimination de 0,01 mm ou, généralement, de 0,001 " pour les indicateurs à base de pouce.



2 ASPECTS MÉTROLOGIQUES

Assurez-vous que l'axe du piston est toujours perpendiculaire à la surface à évaluer, sinon une erreur de mesure peut être engagée.

Les indicateurs à cadran montrent l'écart entre une dimension et une dimension « vraie ».

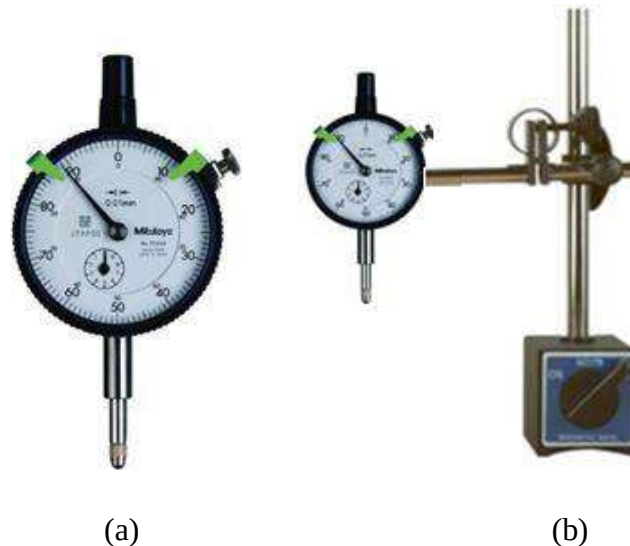


Figure 2.10 Comparateur : **(a)** à montre et **(b)** comparateur à cadran monté sur un support

La figure 2.10(b) montre un comparateur à cadran monté sur un support typique qui, à son tour, est placé sur une surface rigide. Un échantillon de référence (maître) de hauteur exactement connue est ensuite placé sous le piston et la lunette est tournée de sorte que l'instrument indique exactement zéro ; assurez-vous que le plongeur peut toujours se déplacer dans les deux directions et qu'il n'est pas « abaissé » dans une direction. L'instrument est maintenant configuré pour comparer un spécimen à la hauteur « calibrée ». L'instrument indiquera l'écart de cette dimension par rapport à l'étalon « calibré ».

2.5.2.5.2 Comparateur digitale

L'avancée des technologies a réduit les comparateurs électriques et électroniques au fil du temps. Les indicateurs sont souvent appelés : indicateurs de test à cadran/numérique (DTI), indicateurs de test de bras de levier ou indicateurs de doigt. Il existe deux types principaux : le levier et le piston. Les indicateurs sont utilisés pour diverses tâches telles que la mesure du faux rond et de la planéité, ainsi que pour effectuer des mesures comparatives.

Ils sont également utilisés pour mettre en place des pièces sur des machines-outils. Les indicateurs effectuent principalement de petites mesures, de moins de 1 mm à environ 200 mm, avec des graduations de max. 0,01 mm.



Figure 2.11. Comparateur digitale

2.5.2.5.3 Composantes d'un comparateur

- La grande aiguille, commandée par le palpeur, fait un tour pour une différence de cote de 1 mm.
 - Le grand cadran est divisé en 100 parties égales, il est donc possible d'apprécier le $1/100^{\text{e}}$ de mm.
 - Le petit cadran (totaliseur) indique le nombre de tours de la grande aiguille.
 - L'ensemble de la grande graduation (lunette) peut tourner autour de l'axe de la montre, afin que la division "zéro" puisse être mise à volonté devant l'aiguille centrale.
- Il existe également des comparateurs à cadran permettant d'apprécier le $1/1000$ mm.



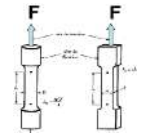
Figure 2.12 Composantes d'un comparateur



2.6 Conclusion

Dans la deuxième partie de ce polycopié, nous avons étudié un aspect utile et nécessaire dans la métrologie. Pour cela, nous avons cité les différents vocabulaires essentiels à l'étude d'un tel essai expérimental, comme les résultats obtenus, les opérations métrologiques et les équipements de mesure. Tout d'abord, on a rappelé les caractéristiques métrologiques des appareils de mesure, chacune d'elles du côté de la justesse, de la précision, de la fidélité, de la répétitivité, de la reproductibilité d'un appareil de mesure.

ESSAI DE TRACTION



3 ESSAI DE TRACTION

3 ESSAI DE TRACTION

3.1 INTRODUCTION

L'essai de traction est l'un des types d'essais mécaniques les plus importants et les plus courants. Un essai de traction applique une force à un matériau et mesure la réponse de l'échantillon à la contrainte. Ce faisant, les tests de traction déterminent la résistance d'un matériau et son allongement.

En mesurant le matériau pendant son extraction, nous pouvons obtenir un profil complet de ses propriétés de traction. Lorsqu'elles sont tracées, ces données entraînent une courbe contrainte – déformation qui montre comment le matériau a réagi aux forces appliquées. Le point de rupture ou de rupture présente un grand intérêt, mais d'autres propriétés importantes incluent le module d'élasticité, la résistance aux performances et la déformation.

3.2 BUT PÉDAGOGIQUE DE L'ESSAI DE TRACTION

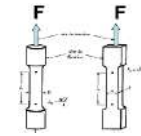
À l'issue de ce TP, l'étudiant sera capable de :

Comprendre l'essai de traction uni-axiale et fournir des connaissances sur l'application de la machine d'essai de traction.

- Connaître les différentes caractéristiques de résistance du matériau testé par l'essai de traction.
- Différencier entre domaine élastique et plastique de la loi de comportement d'un matériau en acier,
- Mettre en évidence la relation de comportement contrainte-déformation.
- Déterminer la répartition des contraintes dans une section de poutre sollicitée à la traction.
- Vérifier la condition de résistance et de rigidité pour une poutre sollicitée à la traction.
- Dimensionner une poutre sollicitée à la traction.
- Identifier et interpréter les différents résultats obtenus par cet essai.

3.3 PARTIE THÉORIQUE

Lorsqu'une petite force agit sur un corps qui essaie de le déformer, une déformation élastique se produit, qui est récupérée lorsque cette force disparaît. Mais après une certaine valeur, la déformation subie par le cylindre est permanente, ou plastique.



3 ESSAI DE TRACTION

La réponse d'un matériau à la déformation est influencée par la relation entre la force appliquée et la taille de l'objet. Par conséquent, la force n'est pas analysée, mais divisée par la zone qui doit la soutenir. Cette valeur est appelée effort, et l'unité du système international est le N/m^2 ou Pa (pascal), une valeur très petite, donc son multiple est le MPa ou le KP/mm^2 .

La déformation subie par le matériau doit être considérée par rapport à la longueur totale de l'objet, et la déformation unitaire, obtenue en divisant la déformation totale par la longueur de l'objet, est analysée. Parfois, nous parlons d'allongement comme du pourcentage de déformation, et cela est obtenu en multipliant la déformation unitaire par 100. D'autre part, l'essai de traction d'un matériau consiste à soumettre un cylindre ou une plaque aux dimensions normalisées de ce matériau à un étirement croissant jusqu'à la rupture de l'éprouvette (figure 3.1), et la figure 3.2 illustre la courbe de l'essai de traction. En outre, la courbe contrainte-déformation lors d'un essai de traction présente deux zones caractéristiques nécessaires des matériaux.

C'est la zone élastique du matériau jusqu'à un effort appelé limite élastique (LE). Dans une bonne partie de la courbe, la proportionnelle est maintenue et la pente de la courbe est appelée module élastique ou module de Young, et la droite répond à une équation appelée loi de Hooke.

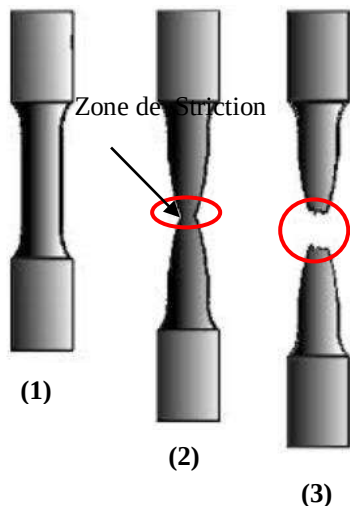


Fig.3.1. Éprouvette de l'essai

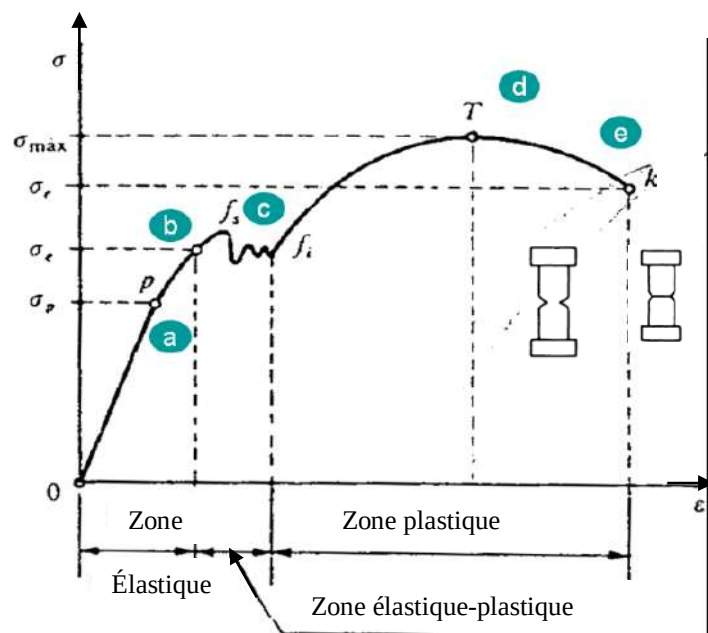
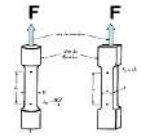


Fig.3. 2. Courbe de l'essai de traction



3 ESSAI DE TRACTION

3.4 DÉFINITIONS

3.4.1 Zone élastique

Partie de la courbe contrainte-déformation jusqu'au point d'élasticité. La déformation élastique est récupérable. Dans la région élastique, la contrainte et la déformation sont liées l'une à l'autre de manière linéaire. E est le module d'élasticité ou module de Young qui est spécifique à chaque type de matériau.

Loi de Hooke :

$$\sigma = E\varepsilon \quad (3.1)$$

Avec

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (3.2)$$

3.4.2 Zone plastique

Partie du diagramme contrainte-déformation située après la limite d'élasticité. À la limite d'élasticité, la déformation plastique débute. La déformation plastique est permanente ; au point maximum du diagramme contrainte-déformation, la striction débute.

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

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) ;

$$\varepsilon\% = 100 \cdot \frac{L - L_0}{L_0} \quad (3.3)$$

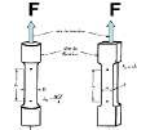
– En ordonnée : la charge unitaire, définie à tout instant de l'essai, c'est le quotient de la charge par la section initiale de l'éprouvette S_0 :

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \quad (3.3)$$

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

$$R_e = \frac{F}{S_0} \quad (3.4)$$

Résistance à la rupture : après le rétrécissement, la déformation plastique n'est pas uniforme et la contrainte diminue en conséquence jusqu'à la rupture.



3 ESSAI DE TRACTION

Le point (**T**) correspond à la charge maximale ; il est appelé la résistance à la traction ou la résistance à la rupture (bien qu'il n'y ait pas encore rupture) ;

$$R_r = \frac{F_r}{S_0} \quad (3.5)$$

3.4.3 Caractéristiques mécaniques

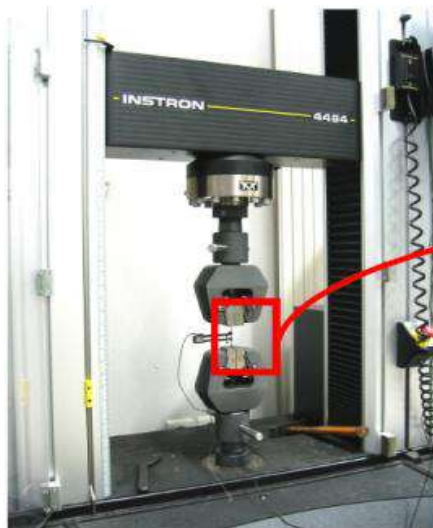
Les caractéristiques mécaniques tirées de l'essai sont :

- Limite élastique : elle peut être apparente (R_e ou σ_e) ou conventionnelle ($R_{e0.2}$).
- Module d'élasticité longitudinale ou module de Young E .
- Résistance à la rupture : σ_r ou R_r .
- Contrainte maximale : σ_m ou R_m .
- Allongement : $A\% = \frac{L_0 - L}{L} \times 100$

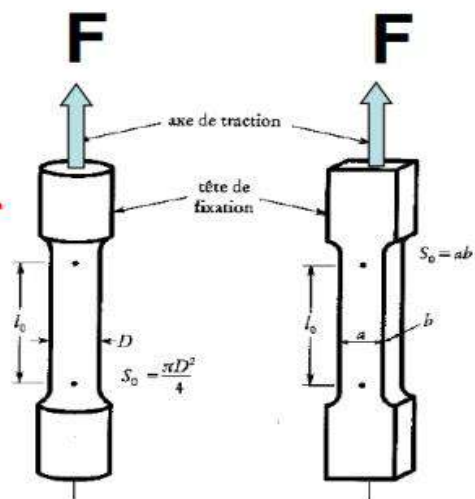
Après rupture, l'éprouvette a une longueur ultime l_u avec l étant la longueur initiale.

3.5 PARTIE PRATIQUE

Les épaulements sont larges pour pouvoir être saisis facilement, tandis que la section de jauge a une section transversale plus petite de sorte que la déformation et la rupture peuvent se produire dans cette zone (fig. 3.3b).

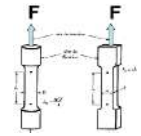


(a)



(b)

Figure.3.3. L'essai de traction ; a) machine de traction et b) éprouvettes avec ses dimensions nécessaires



3 ESSAI DE TRACTION

3.5.1 Les démarches de l'essai

- Placer des repères de jauge sur l'échantillon.
- Mesurer la longueur, la largeur et l'épaisseur initiales de la jauge.
- Placer l'échantillon entre les faces de la mâchoire supérieure et inférieure.
- Effectuer l'essai de traction,
- Obtenir les données $F - x$ et/ou $\sigma - \varepsilon$.
- Mesurer la longueur et la largeur finales de la jauge.

3.5.2 Travail demandé

Remplir le tableau par les deux paramètres ε et σ

On a $L = 10\text{mm}$, le coefficient de sécurité $s = 1.5$

N° Point	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\Delta L[\text{mm}]$	0.0000	0.0014	0.0034	0.0051	0.0129	0.0208	0.0481	0.0825	0.1250	0.1440	0.1570	0.1750
F [KN]	0	30.3	62.5	59.2	59.5	68.4	84.3	91.2	91.7	90.3	87.1	78.1
ε												
$\sigma[\text{MPa}]$												

a. Tracer le graphe $\sigma = f(\varepsilon)$.

b. Déterminer La zone élastique est la zone de déformation plastique :

.....

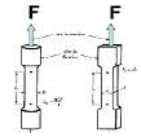
Quelle est la différence entre les deux zones ?.....

.....

c. Déterminer le module d'élasticité E du matériau ?

.....

d. Résistance à la rupture $\sigma_r =$



3 ESSAI DE TRACTION

- La limite élastique $\sigma_e = \dots\dots\dots$
- La limite de proportionnalité au point d'abscisse $\dots\dots\dots$
- Le point de striction $\dots\dots\dots$
- L'allongement de l'éprouvette après la rupture est $\Delta L = \dots\dots\dots$

e. Quel est la contrainte admissible σ_{adm} ?

$[\sigma] =$

- La condition de résistance $\dots\dots\dots$

3.6 Conclusion

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Remarque : vous pouvez réaliser le compte rendu de ce TP d'après les résultats obtenus à la fin de la réalisation de ce TP.

ESSAI DE COMPRESSION



4 ESSAI DE COMPRESSION

4 ESSAI DE COMPRESSION

4.1 INTRODUCTION

Les essais de compression sont l'un des types d'essais mécaniques les plus fondamentaux, avec les essais de traction et de flexion. Les essais de compression sont utilisés pour déterminer le comportement d'un matériau sous des charges d'écrasement appliquées et sont généralement effectués en appliquant une pression de compression à une éprouvette (généralement de géométrie cubique ou cylindrique) à l'aide de plaques ou de fixations spécialisées dans une machine d'essai universelle. Au cours des tests, diverses propriétés des matériaux sont calculées et tracées sous forme de diagramme contrainte-déformation utilisé pour déterminer des qualités telles que la limite d'élasticité, la limite proportionnelle, la limite d'élasticité et, pour certains matériaux, la résistance à la compression.

Les essais de compression sont effectués sur des machines d'essai universelles, également appelées machines d'essai de compression. Ces machines se composent d'un châssis à simple ou double colonne équipé d'une cellule de pesée, d'un logiciel de test et de plaques et accessoires spécifiques à l'application. Les machines d'essai universelles sont disponibles dans une grande variété de capacités de force allant de 0,02 N à 2 000 kN. La plupart des tests à faible force sont effectués sur une machine de table telle que la série Instron 6800, tandis que les applications à force plus élevée nécessitent des cadres de modèle au sol tels que ceux trouvés sur la série industrielle Instron. Ces systèmes peuvent être configurés avec différents appareils pour tester n'importe quel produit, composant ou matériau.

4.2 POURQUOI EFFECTUER UN ESSAI DE COMPRESSION?

Les tests de compression permettent aux fabricants d'évaluer l'intégrité et la sécurité des matériaux, composants et produits au cours de différentes phases du processus de fabrication. Pour qu'un matériau soit sélectionné pour une nouvelle application ou un nouveau produit, il doit démontrer sa capacité à résister à toutes les forces mécaniques qu'il rencontre dans son application finale. Les applications potentielles peuvent aller des tests de résistance d'un pare-brise de voiture aux tests de résistance des poutres en béton utilisées dans la construction. Les sièges en mousse doivent être confortables pour le consommateur, tandis que les dispositifs d'administration de médicaments doivent être faciles à mettre en œuvre pour les prestataires médicaux. De plus, les matériaux et les produits peuvent être exposés à des forces mécaniques pendant des périodes courtes ou longues, du fait d'une utilisation cyclique ou répétée, et dans une grande variété de conditions environnementales et de températures différentes.



4 ESSAI DE COMPRESSION

Les coussins de siège sont censés durer un certain temps, tandis que les pneus automobiles doivent conserver leur élasticité quelles que soient les conditions météorologiques. Les matériaux qui présentent une résistance à la traction élevée ont tendance (mais pas toujours !) à présenter une faible résistance à la compression. De même, les matériaux présentant une résistance élevée à la compression ont tendance à présenter une faible résistance à la traction. Par conséquent, les tests de compression sont souvent utilisés sur des matériaux fragiles tels que le béton, les métaux, les plastiques, la céramique, les composites et les matériaux ondulés tels que le carton. Ces matériaux sont souvent utilisés dans une capacité de charge où leur intégrité sous forces de compression est critique.

4.3 LE BUT PÉDAGOGIQUE DE CE TP

À l'issue de cette expérience, l'étudiant pourra :

- Connaître les différentes caractéristiques de résistance du matériau testé par l'essai de compression.
- Différencier entre domaine élastique et plastique de la loi de comportement d'un matériau en acier, par l'essai de compression.
- Mettre en évidence la relation de comportement contrainte-déformation,
- Déterminer la répartition des contraintes dans une section de poutre sollicitée à la compression,
- Vérifier la condition de résistance et de rigidité pour une poutre sollicitée à la compression.
- Dimensionner une poutre sollicitée à la compression,
- Identifier et interpréter les différents résultats.

4.4 DÉFINITION

Les essais de compression sont réalisés pour caractériser le comportement d'un matériau sous une charge de compression.

Pendant l'essai, une pression est exercée sur un échantillon au moyen de plaques de compression ou d'outils spéciaux, installés dans une machine universelle d'essai de matériaux, pour déterminer les différentes propriétés du matériau.

Les données d'essai fournissent des résultats sous la forme d'un diagramme contrainte-déformation qui montre, entre autres, la limite d'élasticité, la limite de proportionnalité et, dans certains cas, la résistance à la compression.

Un essai de compression, dans lequel l'éprouvette est comprimée, est fondamentalement opposé à un essai de traction, dans lequel l'éprouvette est tirée. Les essais peuvent être effectués sur des éprouvettes usinées du matériau ou sur des composants à leur taille d'origine ou à l'échelle. Les



4 ESSAI DE COMPRESSION

types d'essais de compression les plus courants sont l'essai de renversement, l'essai de flexion et l'essai de ressort.

4.5 PARTIE THÉORIQUE

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 (**fig. 4.1a**). 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. En outre, 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, la limite d'élasticité σ_e et la limite d'écoulement $\sigma_{éc}$.

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.

4.5.1 Éprouvettes standardisées utilisées dans l'essai de compression

On distingue trois types d'éprouvettes standardisées :

- a. **Éprouvettes longues** dont la longueur est de l'ordre de 8 à 10 fois le diamètre de la section droite de l'éprouvette ($L_0 = 8 \div 10 d_0$) ; elles sont utilisées pour représenter schématiquement le comportement contrainte – déformation d'un matériau donné et d'en déterminer les limites de proportionnalité et d'écoulement.
- b. **Éprouvettes moyennes** dont la longueur est égale à trois fois le diamètre de la section ($L_0 = 3d_0$) ; elles sont utilisées pour déterminer la résistance à la traction.
- c. **Éprouvettes courtes** ($L_0 = 0,9 d_0$) : utilisées pour l'essai des métaux destinés à la fabrication des supports afin d'estimer l'influence du frottement sur ces derniers.



4.5.2 Comportements des matériaux sous charge de compression

Lors de la compression d'une éprouvette cylindrique en acier à bas carbone, elle prend la forme d'un tonneau (fig.4.1a). La courbe de compression obtenue pour ce matériau est présentée à la (fig.4.1b).

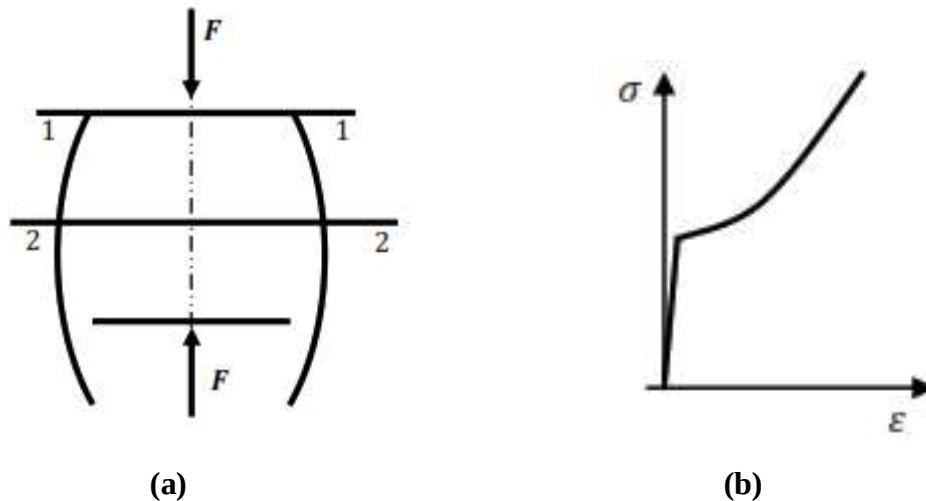


Figure 4.1. Comportements des matériaux sous charge de compression

Le type de rupture d'une éprouvette en fonte soumise à la compression axiale est présenté à la (fig1.2a) et la courbe de compression lui correspondant est donnée par la (fig.4.2b).

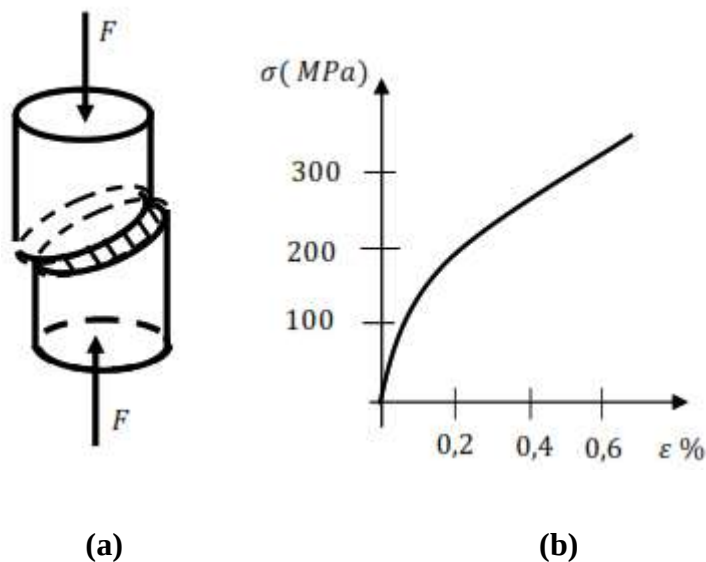


Figure 4.2. a) Le type de rupture d'une éprouvette soumise à la compression axiale; b) la courbe de compression



4 ESSAI DE COMPRESSION

Les diagrammes charge – déplacement, obtenus à partir des essais de compression axiale réalisés sur un morceau de bois de forme cubique, sont présentés sur la fig.4.3.

- 1- compression dans le sens des fibres ;
- 2- compression dans le sens perpendiculaire aux fibres.

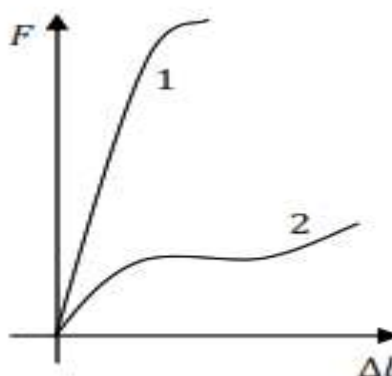


Figure 4.3. Diagramme charge – déplacement

Les éprouvettes utilisées dans l'essai de compression doivent remplir les conditions suivantes :

- La longueur de l'éprouvette ne doit pas dépasser dix fois son diamètre (≤ 10), afin d'éviter le phénomène de flambement.
- Les faces de l'éprouvette (en contact avec les plateaux de la machine) doivent être bien polies, planes, parallèles et perpendiculaires à son axe, afin que le chargement soit axial et que les forces de frottement soient réduites au minimum.

4.5.3 Diagramme contrainte – déformation

Comme nous l'avons déjà vu, l'allure de la courbe décrivant le comportement du matériau en compression dépend de la nature du matériau lui-même. Par exemple, les métaux ductiles ne se rompent jamais. Pour de tels matériaux, on doit mettre fin à l'essai après avoir obtenu des déformations plastiques importantes ou une fois que la charge maximale développée par la machine est atteinte. Pour les métaux semi-ductiles et les métaux fragiles, la résistance ultime peut être atteinte et, par conséquent, elle peut être calculée.

Remarquons que les métaux semi-ductiles peuvent présenter ou non un palier d'écoulement, selon les conditions de traitement du métal de l'éprouvette, alors que les matériaux fragiles n'en présentent pas. Pour ceux-ci, on peut seulement calculer la contrainte ultime à la compression.

Les équations donnant respectivement la contrainte et la déformation de compression s'écrivent alors :



$$\sigma = \frac{F}{S_0} \quad (4.1)$$

$$\sigma = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (4.2)$$

où F est la charge de compression ;

section initiale de l'éprouvette ;

longueur initiale de l'éprouvette ;

variation de longueur.

La contrainte et déformation réelles s'écrivent respectivement par les deux relations 4.3 et 4.4 :

$$\sigma_{ré} = \frac{F}{S} \quad (4.3)$$

$$\varepsilon_{ré} = \ln \frac{S_0}{S} \quad (4.4)$$

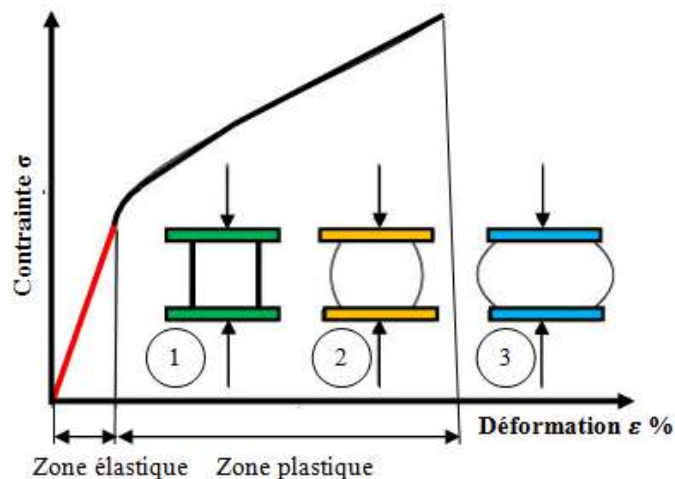


Figure 4.4. Diagramme contrainte-déformation

4.6 PARTIE PRATIQUE

4.6.1 Réalisation de l'essai

Une machine d'essai de compression illustrée dans la figure 4.5 ci-dessous possède deux plaques/têtes de compression. La tête supérieure est mobile tandis que la tête inférieure est fixe.



4 ESSAI DE COMPRESSION

Dans des conditions idéales où il n'y a pas de frottement entre la pièce et les matrices, la billette se déforme de manière homogène (la forme cylindrique de la billette reste cylindrique tout au long du processus), la distribution de la contrainte de compression sur sa face plane est uniforme et est égale à la contrainte d'écoulement en compression. Cela reste également constant pour toutes les étapes de compression (c'est-à-dire pour toutes les hauteurs du cylindre comprimé) si le métal en question est parfaitement plastique (non écrouissant, par exemple le plomb).

Un échantillon de traction est une section transversale d'échantillon normalisée.

4.6.2 Machine de compression



Figure 4.5. Machine de compression

Travail demandé

Lors d'un essai de compression sur une éprouvette en fonte de $d = 20$ et d'aire de la section $S = 1000$, on recueille les données présentées par le tableau ci-dessous.

- 1) déterminer les valeurs des contraintes et des déformations des points pour lesquels on a enregistré la charge et le déplacement (variation de longueur).
- 2) Déterminer la contrainte de rupture.

Charge en Kg	0	2700	2750	10100	12500	20250	27000
Longueur en mm	0	0.055	0.138	0.205	0.275	0.450	0.700



4 ESSAI DE COMPRESSION

4.7 Conclusion

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ESSAI DE FLEXION



5 ESSAI DE FLEXION

5.1 INTRODUCTION

L'essai de flexion est un test qualitatif utilisé pour évaluer la ductilité et la résistance d'un matériau. Les taux de flexion sont proportionnels à une forme qui décrit la capacité des matériaux à résister aux fissures et autres irrégularités de surface lors d'une flexion continue. D'autre part, dans l'essai de flexion, l'appareil peut être utilisé tant pour les essais des étudiants que pour les expériences de démonstration. Ainsi, lors de sa conception, une attention particulière a été accordée à une exécution robuste et à une visibilité immédiate du fonctionnement de l'appareil. En outre, il permet d'examiner par la mesure les relations fondamentales de la déformation élastique lors de la flexion et de la torsion.

La déformation propre de l'appareil est négligeable par rapport à la déformation des objets de mesure pour certaines mesures. Dans d'autres cas, la déformation propre est déterminée lors d'un essai préliminaire et la déformation de l'appareil ainsi mesurée est prise en compte.

Les valeurs de mesure obtenues sont, du point de vue de la qualité, utilisables graphiquement et mathématiquement. Par ailleurs, l'appareil permet de couvrir un large spectre d'objectifs d'apprentissage dans le domaine des processus. Les étudiants apprennent à planifier, réaliser et interpréter une série de mesures. Ils ont les principes de base d'une étude intensive des facteurs d'erreurs.

L'utilisation de l'appareil devrait également se révéler profitable pour les objectifs d'apprentissage concernant la psychomotricité.

Les étudiants acquièrent de la sûreté au niveau de la manipulation de moyens de mesure et de serrage. Ils apprennent par exemple comment saisir un comparateur à cadran et un support magnétique. Le soin apporté dans ce domaine est récompensé par de bons résultats de mesure.

5.2 BUT PÉDAGOGIQUE DE L'ESSAI DE FLEXION

À l'issue de cet essai, l'étudiant pourra :

- Comprendre le phénomène de flexion ;
- Déterminer expérimentalement la flèche maximale pour différents types de poutres.
- Déduire le module d'élasticité E .
- Comparer les résultats expérimentaux à ceux théoriques.
- Étudier l'influence de la longueur, de la largeur, de l'épaisseur des barres et de leurs matériaux sur la flèche.



5 ESSAI DE FLEXION

5.3 Description de l'appareil

La figure 5.1 présente l'appareil de flexion et de torsion lors des essais : on met en charge différentes éprouvettes et on mesure les déformations ainsi provoquées.

5.3.1 Types d'appuis pour les essais de flexion

En relation avec la flexion, on peut réaliser tant des paliers monovalents (paliers libres) que des paliers trivalents (encastrement fixe).

5.3.1.1 Paliers monovalents (paliers libres)

Les paliers monovalents peuvent uniquement absorber une force agissant perpendiculairement à la surface d'appui (force normale).

5.3.1.2 Palies bivalents (encastrement fixe)

Les paliers bivalents peuvent absorber une force quelle que soit son orientation.

5.3.1.3 Palies trivalents (encastrement fixe)

Les paliers trivalents peuvent absorber une force d'orientation quelconque et un couple.

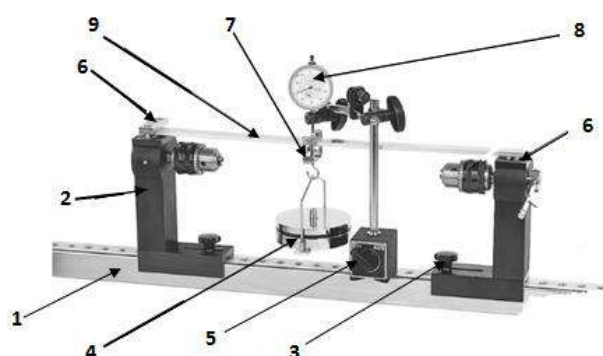


Fig.5.1. Appareil de l'essai de flexion

5.3.2 Composition de l'appareil

Tableau 5.1. Différents éléments de l'appareil

N°	Composition
1	Rail de base
2	Appui coulissant
3	Elément de fixation des appui
4	Corps de charge
5	Support magnétique utilisé pour le comparateur
6	Elément de fixation et plaque de serrage
7	Elément d'introduction de la force
8	Comparateur à cadran



Tableau 5.2. Cas de charge possibles

Cas de charge possibles	Schéma
Poutre autoportante	1)
Poutre sur deux appuis	2)
Poutre semi-encastrée	3)
Poutre encastrée	4)

Tableau 5.3. Cas de sollicitation

Types de flexion	Schéma d'étude	Effort de cohésion
Flexion pure		$\{T\} \left\{ \begin{array}{c c} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & M_f \end{array} \right\}$
Flexion simple		$\{T\} \left\{ \begin{array}{c c} 0 & 0 \\ T_y & 0 \\ 0 & M_{f_z} \end{array} \right\}$
Flexion composée		$\{T\} \left\{ \begin{array}{c c} N & 0 \\ T_y & 0 \\ 0 & M_{f_z} \end{array} \right\}$
Flexion déviée		$\{T\} \left\{ \begin{array}{c c} 0 & 0 \\ T_y & M_{f_y} \\ T_z & M_{f_z} \end{array} \right\}$



5.5 PARTIE PRATIQUE

Dans cette partie, nous allons présenter une étude expérimentale des pièces en flexion. Les résultats obtenus par cette étude sont comparés à ceux du résultat de références proposées par [9]. Pour cela, en faisant varier plusieurs dimensions. Ainsi, la variation de la force extérieure :

- l'effet de la largeur de l'éprouvette,
- l'effet de la hauteur de l'éprouvette,
- l'effet de la longueur de l'éprouvette,
- l'effet de la force extérieure,

5.5.1 Détermination de la flèche maximale

Nous présentons dans ce point un exemple d'une poutre pour obtenir la flèche maximale. La figure 5.2 illustre la flèche $f(x)$ d'une poutre en flexion reposant sur deux appuis, un appui double et un appui simple. Ainsi, la charge (F) est appliquée au centre de celle-ci.

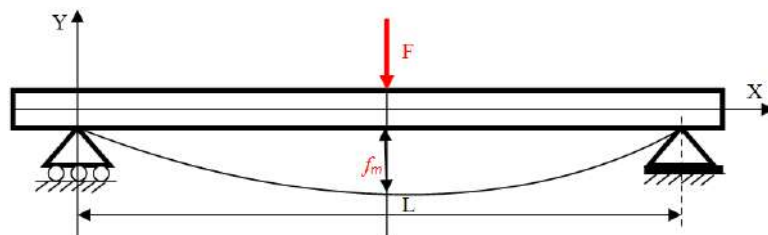


Figure 5.2 Illustration de la flèche $f(m)$ d'une poutre en flexion

On peut calculer la flèche à partir de l'équation du module d'élasticité

$$E = \frac{F.L^3}{48.I.f_m} \quad (5.1)$$

Pour calculer le module d'élasticité on peut utiliser la formule (5.1) pour toutes les applications: Ainsi, pour calculer le moment d'inertie (I) des éprouvettes rectangulaire on utilise la formule suivante:

$$I = \frac{b.h^3}{12} \quad (5.2)$$

Avec:

Tableau 5.4. Explication des variables

variables	définition
E	Module d'élasticité.
F	force appliquée au centre la poutre
L	distance mesurée entre les appuis
f_m	flèche maximale
I	moment d'inertie de la section

5 ESSAI DE FLEXION



	(s) par rapport à l'axe z
b	largeur de la poutre
h	épaisseur de la poutre

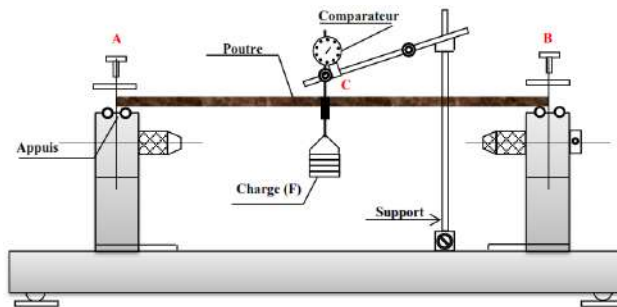


Figure 5.3. Illustration schématique de l'appareille de flexion

5.5.2 Réalisation de l'essai

Pour faire la réalisation de cet essai au sein du laboratoire, il faut appliquer l'aspect métrologique de côté étalonnage, réglage..., comme nous l'avons vu dans la première partie. En outre, régler les couteaux des blocs d'appui à 500 mm. Les barres profilées sont découpées à la longueur de 510 mm.

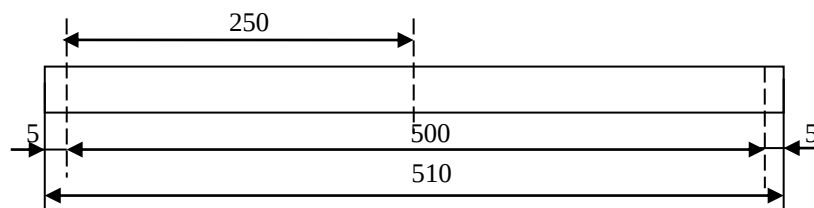


Figure 5.4. Barre d'essai avec marquages

5.5.3 L'effet de la nature de la matière

- Détermination du module d'élasticité de différents matériaux

Dans cette expérience, on utilise 4 barres d'essai en Al, Cu, laiton et acier, chacune de 20 mm x 4 mm, 500L = mm, $m = 1$ kg et $F = 9,81$ N agissant en $L/2$. La figure ci-dessous présente l'appareil à la position de l'essai pour les différents matériaux, pour obtenir le module d'Young concernant les différents matériaux étudiés.

5 ESSAI DE FLEXION

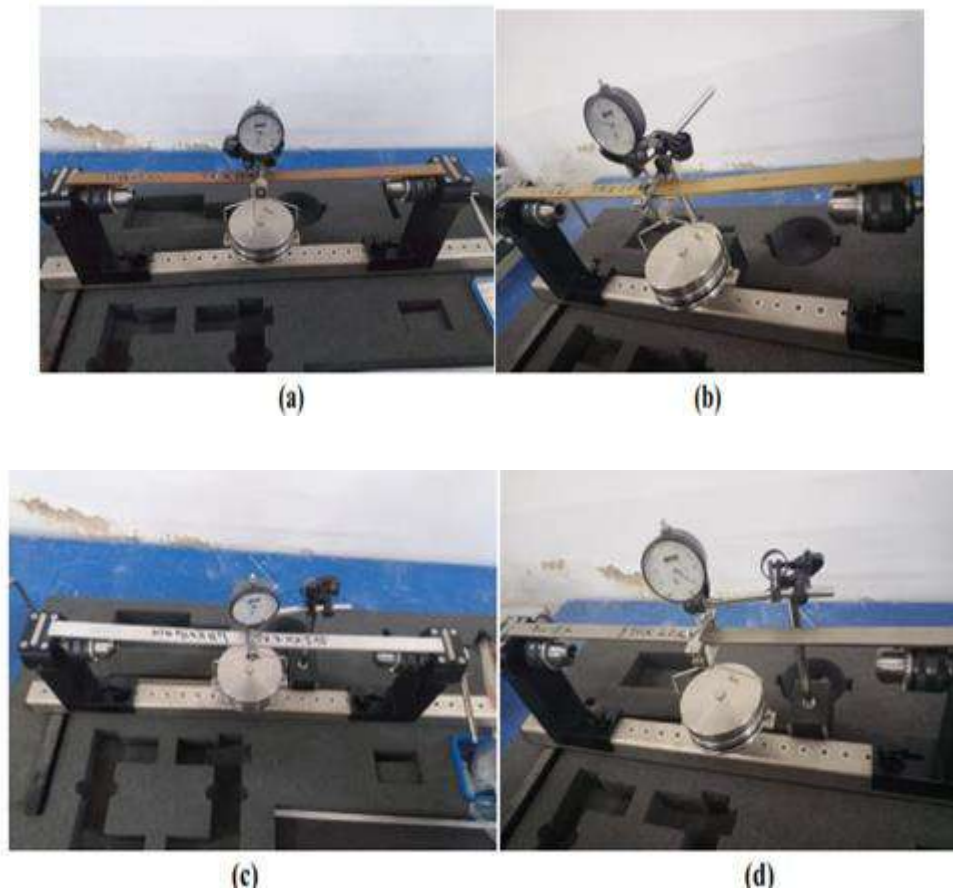


Figure 5. 5. Les différents matériaux au cours de l'essai ; a) Laiton, b) Cuivre, c) Aluminium et d) Acier

On peut démarrer par la première expérience qui concerne l'étude de l'effet de la nature de matériaux sur le comportement de la pièce :

- Appliquer une charge de 10 N au centre de l'éprouvette.
- mesure la flèche maximale (f_m) par le comparateur,
- remplir le tableau ci-dessous.

Tableau 5.5. L'effet de la nature de la matière

matériaux	f_m (théorique) (mm)	f_m (pratique) (mm)	Erreur %	E (pratique) (N/mm ²)	E (théorique) (N/mm ²)	Erreur %
Al					70000	
Cu					125000	
Laiton					80000	
Acier					210000	



Figure 5. 6. Différents matériaux utilisés

5.5.4 Effet des paramètres dimensionnels

Les paramètres dimensionnels jouent un rôle bénéfique pour l'étude de la flèche des poutres.

La deuxième expérience de ce TP est basée sur les changements des différentes dimensions géométriques telles que la largeur (b), la longueur (l) et l'épaisseur (h) de la poutre.

5.5.4.1 Fléchissement en fonction de la largeur de section

On utilise 5 barres d'essai de section rectangulaire en **Al** avec les largeurs de section 10, 15, 20, 25 et 30 mm. Les résultats obtenus seront comparés aux résultats de référence calculés par la formule (5.1).

- Appliquer une charge de 10 N au centre de l'éprouvette pour différentes largeurs des poutres ;
- mesure la flèche maximale (f_m) par le comparateur ;
- remplir le tableau ci-dessous.

Tableau 5.6. L'effet de la variation de la largeur (b)

Section	10x5	15x5	20x5	25x5	30x5
$f_m(p)$ mm					
$f_m(th)$ mm					
$1/b$ in $\frac{1}{mm}$					



Figure 5. 7. Différentes éprouvettes de coté largeurs



5 ESSAI DE FLEXION

5.5.4.2 Fléchissement en fonction de la hauteur de section

On utilise 6 barres d'essai de section rectangulaire en Al d'une largeur de section de 20 mm, avec les hauteurs de section 3, 4, 5, 6, 8, et 10 mm. Les résultats obtenus seront comparés aux résultats de référence calculés par la formule (5.1).

- Appliquer une charge de 10 N au centre de l'éprouvette pour différentes épaisseurs des poutres ;
- mesure la flèche maximale (f_m) par le comparateur ;
- remplir le tableau ci-dessous.

Tableau 5.7. L'effet de la variation de l'épaisseur (h)

Section	20×3	20×4	20×5	20×6	20×8	20×10
$f_m(p)$ mm						
$f_m(th)$ mm						
$1/h$ ($1/mm^2$)						

Figure 5.8. Différentes éprouvettes de coté épaisseur

5.5.4.3 Fléchissement en fonction de l'écartement des appuis

On utilise des barres d'essai en Al de section 20×4 mm, $L = 20, 30, 40, 50$ cm, masse du corps de charge : 1 kg ; $F = 9,81$ N, agissant en $L/2$. Les résultats obtenus seront comparés aux résultats de référence calculés par la formule (5.1).

- Appliquer une charge de 10 N au centre de l'éprouvette pour différents appuis (longueur) des poutres ;
- mesure la flèche maximale (f_m) par le comparateur ;
- remplir le tableau ci-dessous.

Tableau 5.8. L'effet de la variation de longueur (L)

Distance entre appuis l en cm	20	30	40	50
$f_m(p)$ mm				
$f_m(th)$ mm				
L^3 (cm^3)				



Figure 5.9 Éprouvettes des différentes longueurs

5.5.4.4 Fléchissement en fonction de la force extérieure

On utilise une barre en Al de section 20×5 mm et de longueur 500 mm. La poutre est placée sur des appuis libres, avec une force agissant en pour des corps de charge : 0,5, 1,0, 1,5 et 2,0 kg. Les résultats obtenus seront comparés aux résultats de référence calculés par la formule (5.1).

- Appliquer une charge de 10 N au centre de l'éprouvette pour différents appuis (longueur) des poutres ;
- mesure la flèche maximale (f_m) par le comparateur ;
- remplir le tableau ci-dessous.

Tableau 5.9. L'effet de la variation de la force extérieure

Masse du corps de charge en kg	0.5	1.0	1.5	2.0
$f_m(p)$ mm				
$f_m(th)$ mm				



Figure 5.10 Différentes masses utilisées

Le travail demandé à la fin de cette manipulation de flexion : l'étudiant doit faire les points essentiels pour comprendre l'essai de flexion.



- 1 – Remplir les différents tableaux à partir des résultats obtenus :
2. Tracer les différentes courbes de :
 - variation de la flèche en fonction de $1/E$,
 - variation de la flèche en fonction de $1/b$,
 - variation de la flèche en fonction de $1/h^3$,
 - variation de la flèche en fonction de L^3 ,
 - variation de la flèche en fonction de p .
- 3 – Comparaison des résultats obtenus par aux résultats théoriques calculés par la formule (5.1).
4. Interprétations des résultats avec leurs discussions de chaque manipulation.

5.6 CONCLUSION

.....

.....

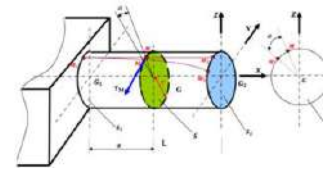
.....

.....

.....

ESSAI DE TORSION

6 ESSAI DE TORSION



6.1 INTRODUCTION

La torsion est une contrainte typique sur les composants structurels. Les contraintes et déformations qui en résultent peuvent conduire à une défaillance. Choix différent des facteurs tels que le matériau, la section, la longueur et le type de support peuvent avoir un impact significatif sur la stabilité des structures.

Si seul le moment M_x (M_t) existe parmi tous les efforts internes, il provoque une torsion.

En outre, les tests de torsion sont un type de tests mécaniques qui évaluent les propriétés de matériaux ou de dispositifs que certains n'ont pas réussi à retirer sous l'angle.

6.2 DÉFINITION

La torsion désigne la torsion d'un élément structurel soumis à des couples (couple de torsion) qui produisent une rotation autour de l'axe longitudinal de l'élément. En d'autres termes, l'élément est chargé de telle manière que la contrainte résultante est un couple autour de l'axe longitudinal et la réponse est un mouvement de torsion autour de cet axe. Les couples qui produisent la torsion d'une barre sont appelés couples de torsion ou moments de torsion et peuvent être représentés de plusieurs manières.

6.3 BUT PÉDAGOGIQUE DE L'ESSAI DE TORSION

Dans cette expérience, l'objectif global consiste à :

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 appelé moment de torsion.

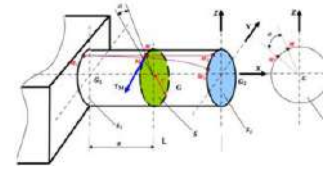
En variant les paramètres de la barre, l'angle de torsion sera mesuré expérimentalement et comparé à la valeur théoriquement calculée.

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

- Comprendre le phénomène de torsion ;
- Déterminer expérimentalement l'angle de torsion ;
- Comparer les résultats expérimentaux à ceux théoriques ;
- Étudier l'impact de la variation de la longueur, de la section des barres et de leurs matériaux sur l'angle de torsion.

6 ESSAI DE TORSION

6.4 PARTIE THÉORIQUE



La torsion est une sollicitation telle que, dans les sections droites de la barre, seul apparaît un moment par rapport à l'axe de la barre appelé moment de torsion (M_t). D'autre part, les déplacements des sections d'une poutre en torsion sont caractérisés par la rotation des sections droites autour de l'axe neutre (x). L'angle de rotation est appelé angle de torsion ρ .

- La poutre schématisée est à section circulaire encastree à une extrémité et chargée à l'autre par une force P telle que $P = m \cdot g$ (m : la masse appliquée = 1 kg et g : la pesanteur = 10 m/s²).

Cette force développe un moment de torsion appelé M_t ($M_t = M_x = P \cdot a$), a étant le bras de levier (voir schéma ci-dessous).

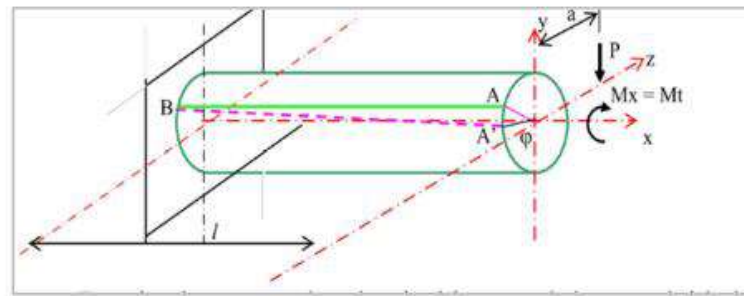
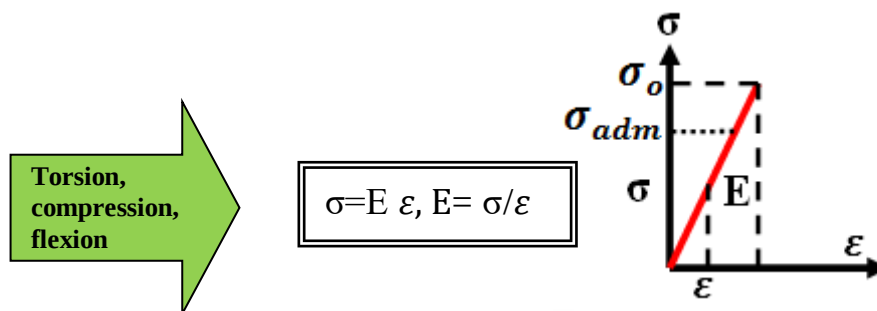
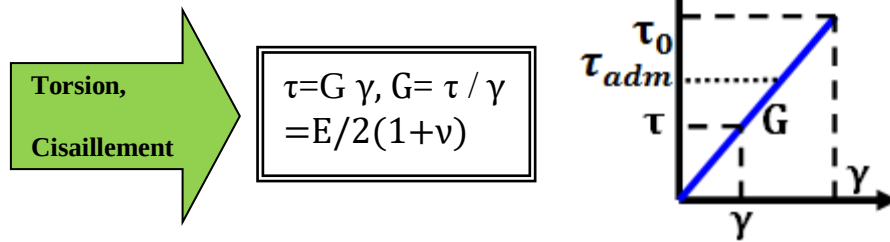


Figure 6.1 Torsion simple

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 (voir fig. 6.2).





6.4.1 Angle de torsion $\hat{\varphi}$

L'angle de torsion peut être défini comme la déformation angulaire d'un objet due à une paire de moments de torsion. La déformation angulaire d'un objet provoquée par quelques moments de torsion est appelée angle de torsion. La figure ci-dessous explique l'angle de torsion schématiquement.

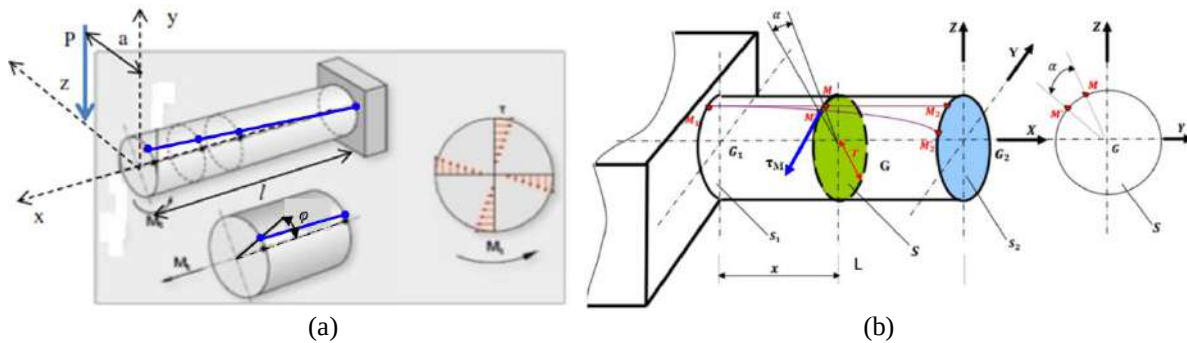


Figure 6.2. Torsion de poutre [10]; a) illustration du moment et l'angle φ de torsion et b) illustration de la contrainte de torsion maximale τ_m et du rayon de la section droite (r).

$$\hat{\varphi} = \frac{M_t \cdot l}{G \cdot I_p} \quad (6.1)$$

Avec

G : module de cisaillement (appelé aussi module d'élasticité transversal) ;

– E : module de Young (appelé aussi module d'élasticité longitudinal) ;

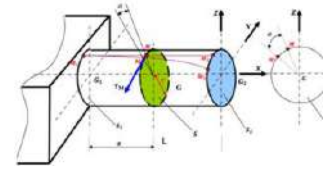
– L : longueur de la poutre ;

– M_t : moment de torsion

– I_p : moment d'inertie polaire ;

– : angle de torsion.

– P : Force.



6.4.2 Relation entre le moment de torsion (M_t) et l'angle de torsion φ

On se propose de mesurer expérimentalement cet angle de torsion (φ), et on peut déterminer théoriquement puis faire une identification entre les deux résultats ($\varphi_{th} = \varphi_{exp}$) puis extraire la valeur de (G) telle que :

$$\hat{\varphi} = \frac{M_t \cdot l}{G \cdot I_p} \rightarrow \varphi^\circ = \frac{180}{\pi} \frac{M_t \cdot l}{G \cdot I_p} \quad (6.2)$$

Dans le phénomène de torsion, on obtient un angle unitaire de torsion (α) tel que $\alpha = \hat{\varphi} / l$. (exprimé en radian/mm). Donc la relation (6.2) devient :

$$M_t = G \cdot \alpha \cdot I_p \quad (6.3)$$

avec

$$\alpha = \hat{\varphi} / l$$

- G : Module de cisaillement (appelé aussi module d'élasticité transversal).
- E : module de Young (appelé aussi module d'élasticité longitudinal).
- L : longueur de la poutre.
- M_t : moment de torsion
- I_p : moment d'inertie polaire avec

$$I_p = \frac{\pi d^2}{32} [\text{mm}^2] \quad (6.4)$$

Module de cisaillement G (N/mm^2)

De la figure 6.2, nous pouvons extraire la contrainte de torsion maximale τ_M et la contrainte de cisaillement. Nous pouvons également utiliser l'angle unitaire de torsion (α) et le rayon de la section droite (r) extrait de la figure 6.2b.

$$\tau_M = G \cdot \alpha \cdot r \quad (6.5)$$

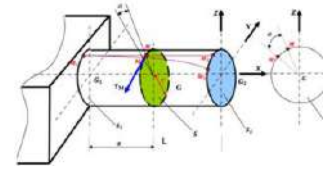
Avec une autre façon la contrainte de torsion maximale τ_M est s'écrit:

$$\tau_M = G \cdot y_t \quad (6.6)$$

Avec le glissement relatif

$$y_t = \alpha \cdot r \quad (6.7)$$

(r) : est le rayon de la section droite;



6 ESSAI DE TORSION

τ_M : est la contrainte de torsion maximale;

y_t : est le glissement relatif.

6.5 PARTIE PRATIQUE

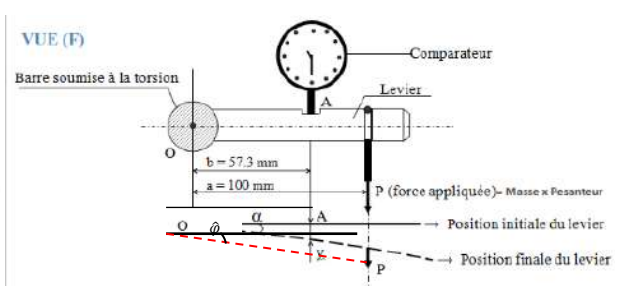
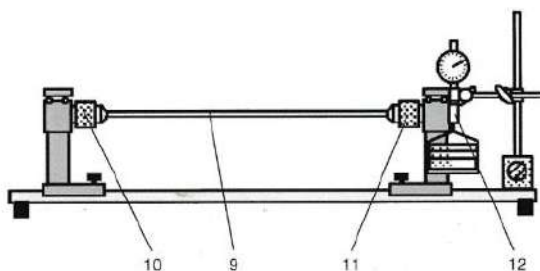
Dans cette partie, nous allons présenter une étude expérimentale des pièces en torsion. Pour cela, en faisant varier plusieurs influences à sa guise, les dimensions et le changement de la nature de la matière :

- L'effet de la nature de la matière ;
- l'effet de diamètre de la barre ;
- l'influence de la hauteur de l'éprouvette ;
- l'effet de la longueur de la barre ;
- l'influence de la force extérieure.
- force F (exprimée en Newton).

6.5.1 Matériels utilisés

- Banc d'essai de torsion.
- Différents types d'éprouvettes.
- Comparateur pour mesurer les déplacements.
- Règle.
- Pied à coulisse.

Les détails des appareils de mesure, déjà, nous les avons vus précédemment dans la partie 2.

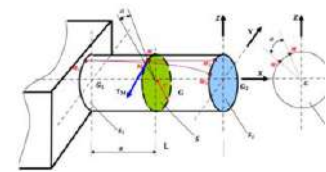


6 ESSAI DE TORSION

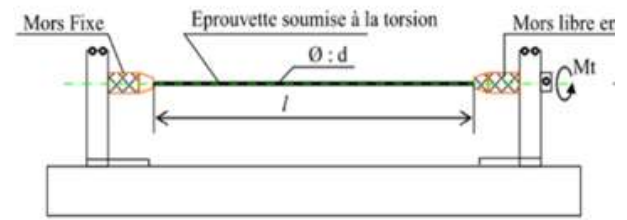
(a)

Tableau 6.1 Constitution de l'appareil de torsion

9	Barre d'essai
10	Mandrin de serrage rigide
11	Mandrin de serrage monté sur paliers de roulement avec levier de prise du corps de charge
12	Levier de génération du couple de torsion par le corps de charge



(b)



(c)

Figure 6.3 Essai de torsion ; a) banc de torsion, b) réglage de l'essai et c) éprouvette soumise à la torsion avec ses dimensions géométriques

La figure 6.3b présente les différents paramètres nécessaires pour le réglage de l'essai de torsion.

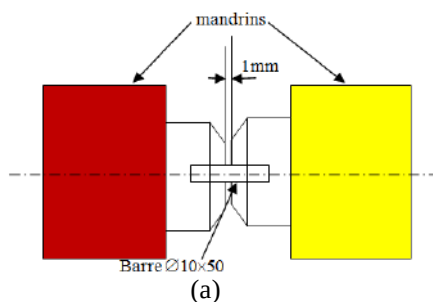
Sous l'effet de la force appliquée (P), le levier tourne autour du point (O) et imprime en (A) un déplacement curviligne assimilé au déplacement rectiligne vertical (y) mesuré par le comparateur tel que :

$$\hat{\phi} \cong tg \hat{\phi} = \frac{y}{b} \quad (6.8)$$

6.5.2 Réalisation de l'essai

Une barre, $\phi 10 \times 50$, est placée entre les deux mandrins. Les mandrins sont ce faisant rapprochés jusqu'à laisser un interstice d'env. 1 mm. Ce cas est alors équivalent à une longueur de torsion de la barre d'essai $L=0$ (figure 6.4).

Lors d'un essai de torsion, l'appui de la barre d'essai se fait d'un côté à l'aide d'un mandrin de serrage fixe, rigidement bloqué, et de l'autre côté à l'aide d'un mandrin de serrage monté sur paliers de roulement avec dispositif de tension à l'aide d'un levier sur le mandrin de serrage. Essai préliminaire de détermination de la déformation de l'appareil.



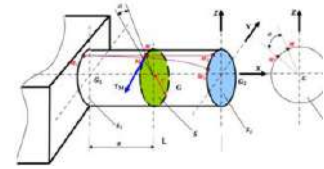
(a)



(b)



(c)



6 ESSAI DE TORSION

Figure 6.4. Essai préliminaire de torsion de $\varnothing 10 \times 50$; a) mise en position de l'éprouvette, b) les différentes éprouvettes pour les quatre matériaux et c) les différents diamètres d'éprouvette pour le matériau d'acier

- Les essais se feront sur un banc de torsion, voir la figure 6.3.
- Les essais sont effectués sur :
- 4 éprouvettes de différents matériaux (acier, cuivre, bronze, aluminium).
- 4 éprouvettes de longueurs de serrage différentes.
- 4 éprouvettes de diamètres différents.
- Placez l'éprouvette dans le banc.
- Placez la masse dans la position indiquée.
- La lecture du déplacement (y) se fait directement sur le comparateur associé au banc.
- Remplissez les tableaux comme suit, sachant que $\rho = y/b$.

6.5.2.1 L'effet de la nature de la matière

On utilise 4 barres d'essai en Al, Cu, laiton et acier, avec 340 mm, longueur de serrage $L = 300$ mm, $10d =$ mm, $m = 1$ kg $\Rightarrow 9,81$ N, $W_p = 196,35$ mm³, pour déterminer le module de cisaillement de différents matériaux.

Tableau 6.2: Les résultats de l'effet de la nature de la matière

	$y(\text{mm})$	$\hat{\phi}$ radian	α radian/mm	G (N/mm ²) Pratique	G (N/mm ²) Théorique
Al					26950
Cu					48000
Laiton					38500
Acier					80850



6 ESSAI DE TORSION

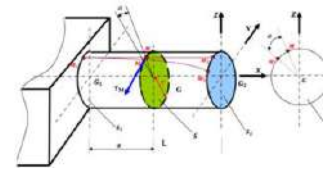


Figure 5.9 Éprouvettes des différents matériaux $d = 10 \text{ mm}$ et $L = 300 \text{ mm}$

6.5.2.2 L'influence des paramètres géométriques

De la même manière, la deuxième manipulation se fonde sur l'étude de l'influence des paramètres géométriques sur l'angle de torsion, on parle ici du diamètre et de la longueur de la poutre.

6.5.2.2.1 L'effet de la longueur de serrage

L'essai dans cette manipulation consistera à étudier le cas de cinq poutres de longueur de serrage différente: on utilise 4 barres d'essai en Al, $\phi 10 \text{ mm}$. Poids de charge : $m=1 \text{ kg}$ et $F_G=9,81$.

La deuxième étude portera sur l'analyse de l'influence de la longueur entre appuis de la poutre sur les résultats du comportement de celle-ci.

Nous prenons les longueurs suivantes : 200 mm, 300 mm, 400 mm et 500 mm, et les comparons aux résultats théoriques dérivés de la formule (5.2). Le tableau 6.3 résume les différents résultats concernant l'effet de la longueur.

Tableau 6.3. Les résultats de l'effet de la longueur de serrage

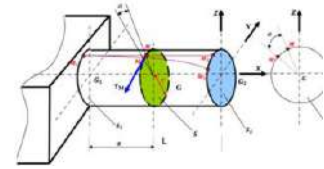
Al				
l_{serr}	G pratique (N/mm ²)	G théorique (N/mm ²)	α	y
200				
300				
400				
500				



Figure 6.9 Éprouvettes des différentes longueurs

6.5.2.2.2 L'effet de la force extérieure (poids)

On utilise une barre en Al de $\phi 10 \text{ mm}$, corps de charge : 0,1, 0,2, 0,5, 1,0, 1,5 et 2,0 kg.



6 ESSAI DE TORSION

Les résultats obtenus seront comparés aux résultats théoriques de référence calculés par la formule (6.1). Le tableau 6.4 regroupe les différents résultats de l'effet de la force extérieure.

Tableau 6.4. Les résultats de l'effet de la force extérieure

m (kg)	G (N/mm ²) Pratique	G (N/mm ²) Théorique	α	y
0.1				
0.2				
0.5				
1.0				
1.5				
2.0				

6.5.2.2.3 L'effet de la variation du diamètre

On utilise des barres d'acier avec 340 mm, $l_{\text{serr}} = 300$ mm, aux diamètres 5, 6, 7, 8, 10 et 12 mm.

La longueur est mesurée entre les arêtes avant des griffes de serrage des mandrins.

Pour $d < 10$ mm, les griffes de serrage dépassent du corps de mandrin. Pour $d = 10$ mm, les griffes de serrage sont pratiquement à fleur avec la face frontale du mandrin. Pour $d = 12$ mm, les griffes rentrent d'env 5 mm dans le mandrin. La cote de réglage entre les faces frontales est alors de 290 mm.

Poids au levier de charge : 1 kg.

Les résultats trouvés expérimentalement du module seront comparés avec ceux théoriques déduits de la formule (6.1). Le tableau 6.5 regroupe les différents résultats de l'effet de la variation du diamètre.

Tableau 6.5. Les résultats de l'effet de la variation du diamètre

Diamètre	G (N/mm ²) Pratique	G (N/mm ²) Théorique	α	y
5				
6				
7				
8				
10				

6 ESSAI DE TORSION

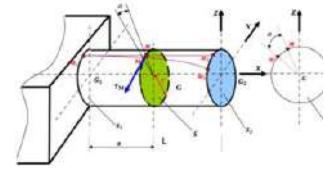


Figure 6.9 Éprouvettes des différents diamètres

Travail demandé

L'étudiant par la suite devra remplir le tableau (5.1) pour trouver G en fonction de l'équation (5.2).

1. Tracer les courbes : $\rho=f(G_p)$, $\rho=f(G_{th})$, $\rho=f(d)$ et $\rho=f(l)$.
2. Comparer vos résultats expérimentaux avec ceux théoriques.
3. commenter les écarts.
4. Vérifier la condition de résistance du matériau.
5. Conclusion sur la résistance des différents matériaux.

6.6 CONCLUSION

.....

.....

.....

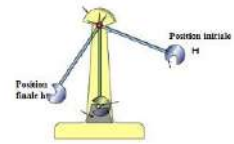
.....

.....

.....

.....

L'ESSAI DE RÉSILIENCE



7 Essai de résilience

7.1 Introduction

L'essai de résilience a pour objectif de déterminer la résistance des matériaux à la rupture sous l'effet d'un choc par l'intermédiaire de l'énergie de rupture, à l'aide d'un mouton de Charpy où un marteau de masse (m) est fixé à l'extrémité d'un pendule (figure 7.1).

Qu'est-ce que la résilience ?

La résilience est la propriété d'un matériau qui lui permet de retrouver sa forme ou sa position d'origine après avoir été soumis à une force de flexion, d'étirement ou de compression.

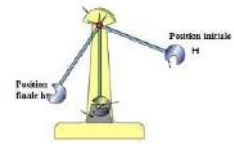
Logiquement, cela doit se produire avant le début de sa déformation plastique (déformation permanente ou irréversible), car sinon il ne reprendrait pas sa forme initiale et serait déformé de manière permanente. Un matériau bien connu pour sa grande résilience est le caoutchouc. La déformation élastique est une déformation tant que le matériau ne se casse pas ou ne se déforme pas de manière permanente. La résilience se mesure toujours au sein de la déformation élastique du matériau.

Si nous soumettons un matériau à de plus en plus de forces et que le matériau ne se brise pas ou ne se déforme pas de façon permanente, sa résilience augmentera. Si nous arrêtons de lui appliquer une force, l'énergie absorbée sera libérée pour revenir à son état ou sa forme initiale. Sa résilience maximale sera lorsqu'il se brisera ou se déformera de façon permanente. On pourrait dire que c'est la capacité de mémoire dont dispose un matériau pour retrouver sa forme initiale. Regardez le graphique d'un test de résilience d'un matériau. Sa résilience augmente à mesure que l'on augmente la force exercée sur le matériau. À partir de la limite élastique, il subit déjà des déformations permanentes, et donc il n'y a plus de résilience.

La force maximale qui peut lui être appliquée sans subir de déformation permanente est appelée limite élastique d'un matériau. Par conséquent, l'énergie qu'un matériau absorbe avant d'atteindre sa limite élastique est la résilience.

7.2 But pédagogique de l'essai de résilience

- Connaître les différentes caractéristiques de résistance du matériau testé par l'essai de résilience,
- Comprendre le fonctionnement d'un essai de résilience.
- Connaître l'existence de comportements différents aux chocs selon le matériau et la température.



7 ESSAI DE RÉSILIENCE

- Savoir déterminer visuellement si une rupture est fragile, ductile ou mixte.
- Identifier et interpréter les différents résultats obtenus.

7.3 Test de résilience

Le test de résilience d'un matériau consiste à briser un échantillon du matériau en le frappant avec un pendule. Ce sont donc des tests destructifs. Nous avons deux Charpy et Izod.

7.3.1 Test de résilience Charpy

Ce test est réalisé avec la machine Charpy ou pendule (voir image ci-dessous) mesurant l'énergie consommée lors de la rupture d'une éprouvette due à un coup porté sur celle-ci (énergie perdue par le pendule lorsqu'il entre en collision avec l'éprouvette sur son passage).

Cette machine comporte un pendule de masse (m) que l'on laisse tomber, d'une hauteur initiale H , pour qu'il heurte une éprouvette, du matériau dont on veut calculer la résilience. L'éprouvette doit avoir une cale (encoche), et le pendule doit toujours la heurter du côté opposé à la cale ; h est la hauteur finale du pendule. La température normalisée pour le test est de °C.

L'énergie dépensée par le pendule, pour briser l'éprouvette, est calculée par la différence entre l'énergie du pendule Charpy avant de le heurter et l'énergie restant dans le pendule après avoir heurté l'éprouvette. (Augmentation de l'énergie potentielle).

L'équation (7.1) exprime la résilience ou l'énergie absorbée par l'impact :

$$\Delta E_p = EH - Eh = m \times g (H-h) \quad (7.1)$$

où

m , la masse du pendule, g la gravité, H la hauteur initiale du pendule et h la hauteur finale du pendule.

7.3.2 Module de résilience

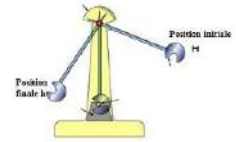
Le module de résilience est l'énergie divisée par la surface de l'éprouvette brisée, mais par la surface qu'il représente du côté de la cale.

La formule pour calculer le module de résilience est:

$$\rho = \frac{\Delta E_p}{S} = \frac{m \cdot g \cdot (H-h)}{S} \quad (7.2)$$

Module de résilience = augmentation de l'énergie potentielle/section de l'échantillon à travers l'encoche (coin).

S est la section de l'éprouvette le long du côté du coin.



7 ESSAI DE RÉSILIENCE

Normalement, le module de résilience est exprimé en kg/cm^2 ou en unités similaires.

Dans l'exercice précédent, nous aurions :

$$S = 10 (10 - 2) = 8 \text{ mm}^2$$

Si nous divisons la résilience par cette surface, nous l'avons déjà :

$$\rho = 39,2/8 = 4,9 \text{ joules/mm}^2$$

Vous pouvez voir cela mieux résumé dans l'image suivante :

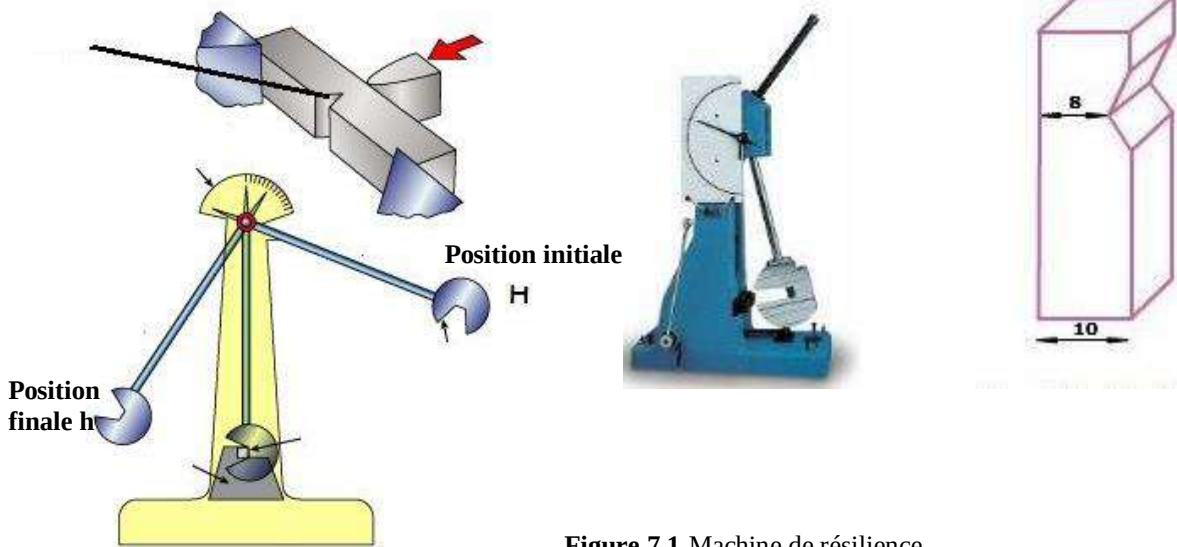


Figure 7.1 Machine de résilience

7.4 DIFFÉRENCE ENTRE LA TÉNACITÉ ET LA RÉSILIENCE

Il est important de bien connaître la différence, car ce sont des termes similaires et cela peut conduire à des erreurs.

La ténacité est la quantité d'énergie absorbée par le matériau juste avant sa rupture (quand il se brise). La résilience nous indique l'énergie stockée lors de la déformation élastique. Un matériau peut dépasser sa limite de résilience et continuer à se déformer (désormais de façon permanente) sans se briser. Une fois qu'il atteindra la casse, ce sera sa ténacité.

Normalement, un matériau dur (beaucoup de force pour le briser) a généralement beaucoup de résilience.

7 ESSAI DE RÉSILIENCE

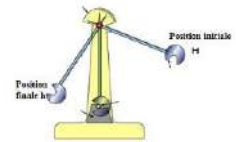


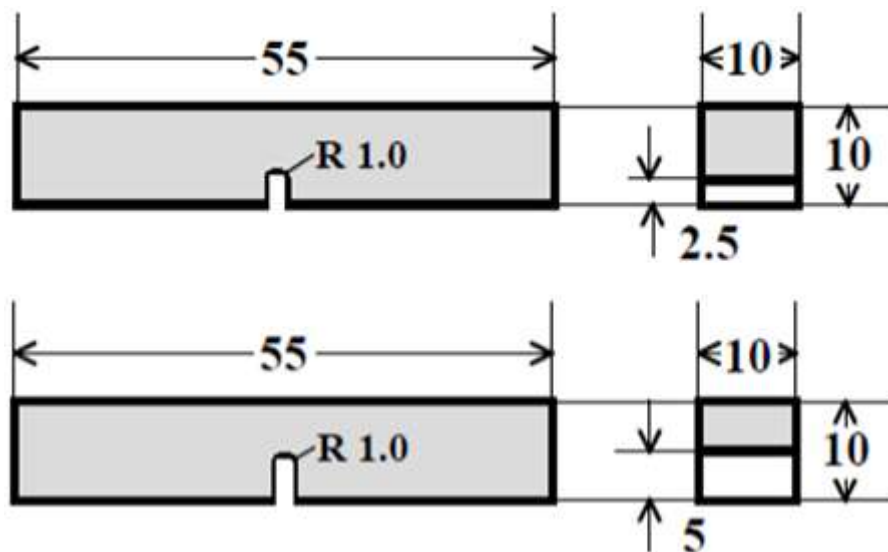
Figure 7.2. Machine de résilience

7.5 PARTIE THÉORIQUE

La résilience est définie comme l'énergie de rupture sous choc (W) ramenée à la section (S) de l'éprouvette à l'endroit de la fissure et calculée d'après la relation suivante :

$$K = W / S \quad (7.3)$$

Les éprouvettes normalisées, destinées à la résilience, sont obtenues après des opérations de tournage et de fraisage des éprouvettes, coupées à partir des barreaux cylindriques au niveau du complexe de fonderie de Berouaguia. Les figures 2 et 3 montrent la forme et les dimensions de l'éprouvette utilisée.



7 ESSAI DE RÉSILIENCE

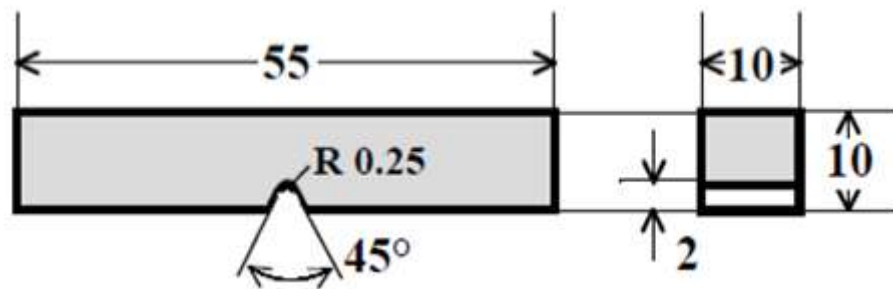


Figure 7.3. Formes et dimensions de l'éprouvette de résilience



Figure 7.4. Éprouvette de résilience utilisée

7.6 PARTIE PRATIQUE

Préparer la machine : relever le marteau et descendre le curseur de mesure.

Faire un essai à vide pour contrôler le « zéro » de la machine. La lecture de la position du curseur se fait toujours quand le marteau est en position haute. Redescendre le curseur. Contrôler l'écartement des supports (40 mm selon la norme).

Disposer un échantillon sur les supports : il doit être centré et l'encoche doit être du côté opposé au point de contact du marteau.

Déclencher le marteau immédiatement (la norme donne 5 s entre le temps de la prise de l'éprouvette et le temps où elle est frappée par le marteau).

Remonter le marteau en position haute et lire l'énergie de rupture. Redescendre le curseur.

Récupérer l'échantillon et observer le mode de rupture (fragile, ductile ou mixte).

Si l'éprouvette n'est pas rompue, noter l'énergie de rupture entre parenthèses.

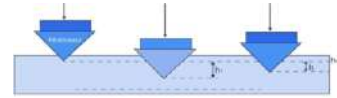
7.6.1 Le pendule de cet essai est extrêmement dangereux" Avertissements"

Assurez-vous que personne n'est dans l'axe de la machine avant de déclencher l'essai.

– Stoppez l'essai en cas de doute.

– Avertissez vos collègues avant le déclenchement, des fragments d'échantillons peuvent partir lors du choc.

L'ESSAI DE LA DURETÉ



8 ESSAI DE LA DURETÉ

8.1 INTRODUCTION

L'essai de dureté est un test métallurgique non destructif utile et rapide, il peut donc servir à vérifier le traitement thermique appliqué à un métal. Il constitue également un moyen rapide et simple de vérifier la résistance à la traction des matériaux ferreux, puisque cette propriété peut être corrélée à la dureté.

La dureté est une propriété intrinsèque dépendant essentiellement de la nature, de la composition chimique et de la structure du matériau. Elle consiste à définir la résistance qu'oppose une surface de l'échantillon à la pénétration d'un poinçon, par exemple une bille en acier trempé (dureté Brinell) ou une pyramide en diamant (dureté Vickers). S'il y résiste bien, il est dit dur, sinon il est dit mou. La dureté se mesure sur différentes échelles selon le type de matériau considéré. Elle est désignée principalement par la lettre H, du mot hardness en anglais.

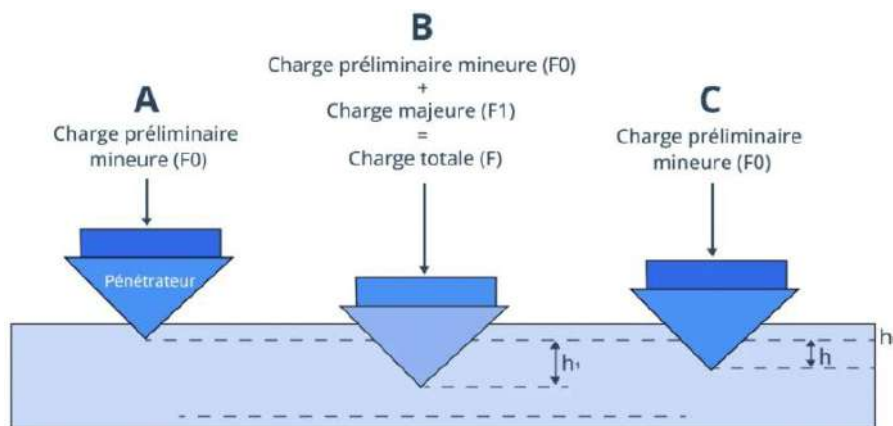
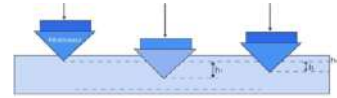


Figure 8.1. Méthode d'essai de dureté

8.2 DÉFINITION

La dureté est la résistance mécanique d'un matériau à la déformation (soumis à une déformation plastique localisée), notamment à la déformation permanente, à l'indentation ou aux rayures.

Il s'agit d'un ensemble d'essais les plus couramment pratiqués. Le principe est toujours identique : il consiste à produire une empreinte sur une surface d'un échantillon par opposition à un pénétrateur indéformable de formes différentes (tableau 8.1) soumis à un effort F , les conditions de charge et de vitesse d'application étant contrôlées. La profondeur ou dimension de l'empreinte (indentation) résultante est mesurée et rapportée à un nombre de dureté. Plus le matériau est mou, plus l'empreinte est grande et profonde, et plus le nombre d'indexation de la dureté est petit.



Les trois techniques les plus répandues sont la mesure selon Brinell, selon Vickers et selon Rockwell. Ces essais se distinguent essentiellement par la forme géométrique du pénétrateur. (Brinell : une sphère ; Vickers : une pyramide de base quadratique) Rockwell B., Rockwell (tableau 8.1) [11].

L'ensemble de ces essais a l'avantage d'être plus simple à réaliser et de donner des résultats reproductibles. Il existe une grande variété d'essais de dureté possibles, ils sont très utilisés en contrôle de qualité pour comparer ou estimer la résistance ou la rigidité des matériaux.

8.3 BUT PÉDAGOGIQUE DE L'ESSAI DE LA DURETÉ

L'apprenant sera capable de :

- Comprendre la notion de dureté ;
- Découvrir les différents appareillages de mesure de dureté et effectuer quelques essais ;
- Voir l'effet des traitements thermiques de trempe sur la dureté ;
- Mesurer la dureté de différentes éprouvettes et faire une confrontation entre les résultats théorique et numérique de la dureté de différentes éprouvettes ;
- comprendre les principes des tests de dureté et mesurer la dureté de différents échantillons métalliques à l'aide du testeur de dureté disponible ;
- Mettre en évidence l'essai de dureté ;
- Caractériser un matériau à partir de l'essai de dureté.

8.4 PARTIE THÉORIQUE

8.4.1 Machine

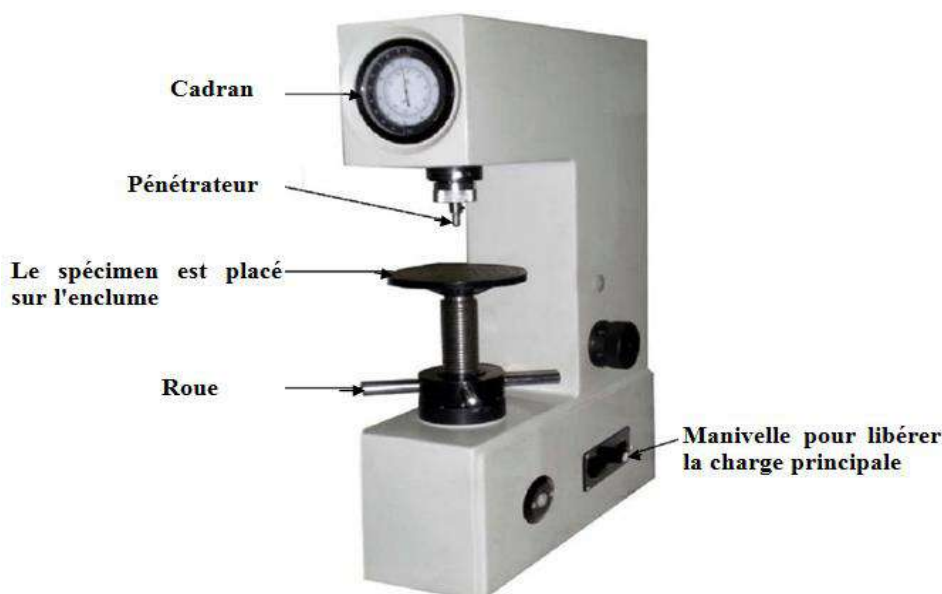
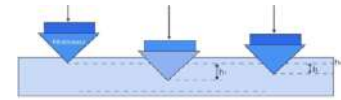


Figure 8.2. Machine de dureté

8 ESSAI DE DURETÉ

La dureté d'un métal correspond à sa résistance à l'indentation de sa surface dans des conditions d'essai standard. Trois méthodes d'essai principales sont utilisées : Brinell, Vickers et Rockwell.



8.4.2 Les différents essais de dureté

8.4.2.1 Essai de dureté Rockwell (HR)

Dans le test Rockwell, la profondeur de l'empreinte est mesurée par l'instrument et elle est directement indiquée comme valeur de dureté. Aucune mesure ultérieure de l'empreinte n'est impliquée.

La pièce d'essai est placée sur la table de la machine et le pénétrateur est mis en contact avec la surface préparée sous une charge mineure de 10 kgf. La charge principale est ensuite appliquée et, lorsque la lecture sur l'indicateur est stable, la charge principale est supprimée. La pièce d'essai reste sous la charge mineure tandis que la valeur de dureté est lue directement sur l'indicateur.

Neuf échelles de dureté sont disponibles (de A à K inclus), mais les plus couramment utilisées sont les échelles B et C.

Elle consiste en deux étapes, dans la couche superficielle de la pièce à tester sous une forme bille (figure 8.3) ou cône (figure 8.4), qui est une forme régulière, en mesurant l'augmentation restante « h » en profondeur de pénétration.

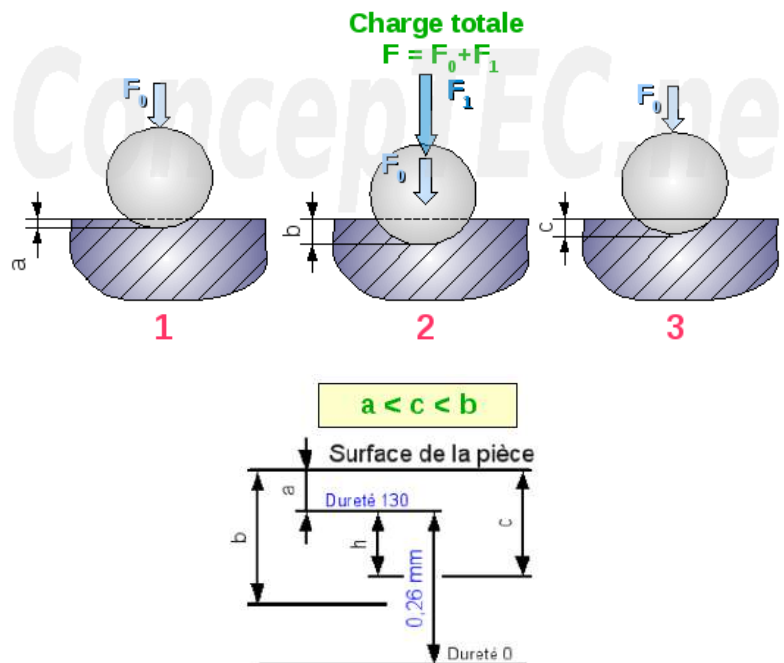


Figure. 8.3 : Principe de l'essai Rockwell avec bille.

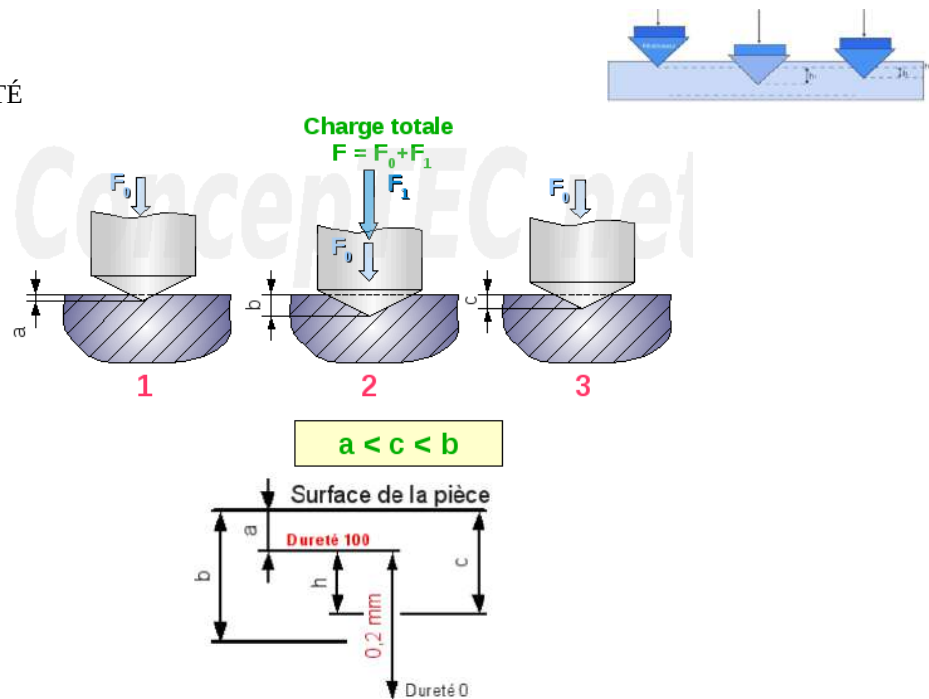


Figure.8.4 : Principe de l'essai Rockwell avec cône.

Les essais de dureté Rockwell sont des essais de pénétration. Il existe en fait plusieurs types de pénétrateurs qui sont constitués d'un cône en diamant ou d'une bille en acier trempé polie. Pour obtenir une valeur de dureté Rockwell, on mesure une pénétration rémanente du pénétrateur sur lequel on applique une faible charge.

L'essai se déroule en trois phases :

- Application sur le pénétrateur d'une charge initiale $F_0 = 98 \text{ N}$ (soit 10 kgf). Le pénétrateur s'enfonce d'une profondeur initiale I . Cette profondeur étant l'origine qui sera utilisée pour mesurer la dureté de Rockwell ;
- Application d'une force supplémentaire, F_1 . Le pénétrateur s'enfonce d'une profondeur de P ;
- Relâchement de la force F_1 et lecture de l'indicateur d'enfoncement. La valeur de r étant l'enfoncement rémanent obtenu en appliquant puis en relâchant la force F_1 . La valeur de dureté est alors donnée par la formule suivante :

- Échelles B, E et F

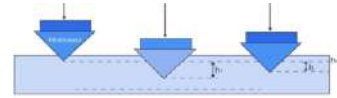
$$HRB=130-r$$

Échelle C

$$HRC=100-r$$

8.4.2.2 Essai de dureté Vickers

Le test Vickers présente le grand avantage d'utiliser une seule échelle de dureté pour tester tous les matériaux.



Le test de dureté Vickers utilise un pénétrateur en forme de pyramide à base carrée (figure 8.5). Il donne des empreintes géométriquement similaires sous différentes charges. Par conséquent, la précision du résultat ne variera pas avec la profondeur de l'empreinte, car la relation entre la profondeur de l'empreinte et l'épaisseur de la pièce à tester doit toujours être respectée.

Le pénétrateur en diamant, en forme de pyramide droite à base carrée et avec un angle de 136° entre les faces opposées, est enfoncé dans la surface préparée du matériau d'essai sous une charge sélectionnée ; P. Le diamant produit une empreinte carrée et la moyenne est prise des longueurs diagonales qui sont mesurées au moyen d'un microscope à fente variable intégré dans l'oculaire. La largeur de la fente est ajustée de manière à ce que son bord coïncide avec les coins de l'empreinte, et la longueur diagonale (d) est ensuite obtenue à partir d'un compte-tours engrené sur le mouvement de la fente. La lecture oculaire obtenue est convertie en un indice de dureté Vickers (VHN) en référence à des tableaux. Cependant, comme pour le test Brinell, la dureté est définie comme :

$$HV = 1.8544 \frac{F}{d^2} \quad (8.1)$$

Où :

F = force d'essai en kgf,

d = diagonale moyenne mesurée de l'empreinte en mm.

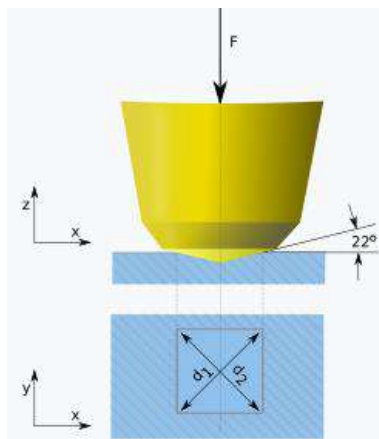
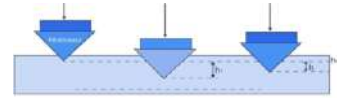


Figure 8.5 Essai de dureté Vickers



8.4.2.3 Essai La dureté Brinell

La dureté Brinell caractérise la dureté par pénétration des matériaux à travers l'échelle de pénétration d'un pénétrateur, chargé sur une éprouvette de matériau.

C'est l'une des nombreuses définitions de la dureté en science des matériaux. Proposé par l'ingénieur suédois Johan August Brinell (1849-1925) en 1900, il s'agit du premier test de dureté largement utilisé et standardisé en ingénierie et en métallurgie. $F = 3000 \text{ kgf}$ et $D = 10 \text{ mm}$.

L'essai consiste à faire pénétrer en appliquant une force "F" un pénétrateur ayant une forme de bille de diamètre "D", généralement du carbure poli, dans un métal afin d'en déduire la dureté du matériau.

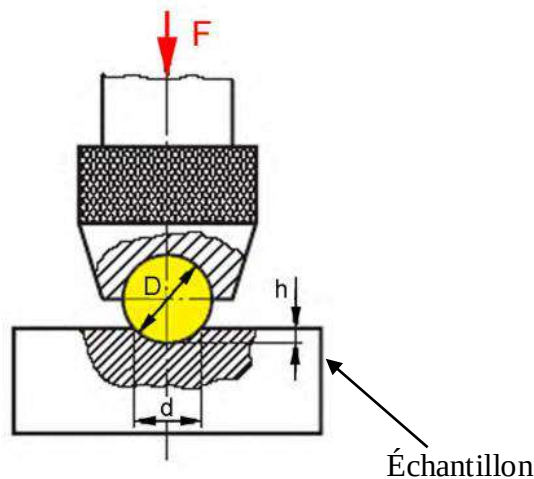


Figure 8.6. Essai La dureté Brinell bille en acier trempé

$$HBW = \frac{2.F}{\pi.D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (8.2)$$

Où :

HB = Dureté Brinell.

m = masse appliquée [kgf] et $1 \text{ [kgf]} = 9,80665 \text{ [N]}$

D = diamètre de la bille en [mm] d = diamètre de l'empreinte laissée par la bille [mm].

F= force d'essai en kgf,

D= diamètre de la bille du pénétrateur en mm, et

8 ESSAI DE DURETÉ
d= diamètre moyen mesuré de l'indentation en mm.

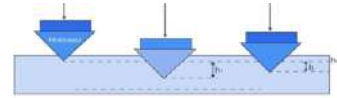
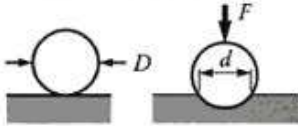
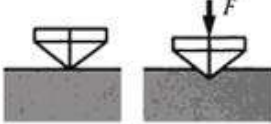
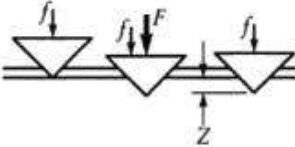
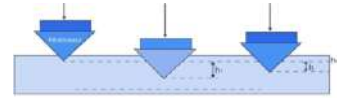


Tableau 8.1 Résumé des différentes caractéristiques des duretés

Méthode d'essai	Géométrie du pénétrateur	Charge F	Principe de l'essai	Paramètre mesuré	Dureté
Brinell	Bille d'acier dur ou de carbure (10 mm de diam.)	500 ou 3000 kgf		Diamètre de l'empreinte (d)	$HB = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers	Pyramide de diamant à base carrée; angle entre les faces opposées: 136° 	5 à 100 kgf (microdureté: 5 à 1000 gf)		Diagonale de l'empreinte (d) 	$HV = \frac{1,854 F}{d^2}$
Rockwell C	Cône de diamant d'angle au sommet de 120° 	Précharge f de 10 kgf; $F = 150$ kgf		Profondeur de l'empreinte (Z)	$HRC = f(Z)$
Rockwell B	Bille d'acier dur (1,59 mm de diam.)	Précharge f de 10 kgf; $F = 100$ kgf	Même principe que Rockwell C	Profondeur de l'empreinte (Z)	$HRB = f(Z)$

8.5 PARTIE PRATIQUE

- Nettoyer la surface de l'échantillon
- Fixer le pénétrateur dans le testeur de dureté et mettre sous tension.
- Placer l'échantillon avec une surface nettoyée face au pénétrateur sur l'enclume de la table de travail.
- Focaliser la surface de la pièce pour une visibilité propre en tournant le volant de la table de travail vers le haut et vers le bas.
- Sélectionner le bouton-poussoir de charge spécifié (P) disponible sur le côté droit du testeur de dureté.
- Actionner le bouton-poussoir électrique (bouton vert) à l'avant pour le chargement, le levier de chargement: commence à se déplacer vers le haut et atteint la position d'étude.



8 ESSAI DE DURETÉ

- g) Relâcher maintenant lentement le levier de chargement et l'amener en position basse.
- h) Pour une lecture majeure, ajuster l'affichage au niveau de l'empreinte faite par le pénétrateur pour qu'il coïncide avec le micromètre sur l'écran d'affichage.
- i) Pour une lecture majeure (mineure), ajuster le côté mobile au niveau du micromètre et noter la lecture totale.
- j) La mesure doit être effectuée pour deux coins opposés de l'empreinte diagonale désignée par (l).
- k) Répétez la procédure ci-dessus pour différents matériaux.

8.5.1 L'essai Rockwell

Tableau 8.2 Résultats de l'essai Rockwell

Type de spécimen	Type d'indenteur	Échelle	Charge totale (P) Kg-F
Métaux durs	Cône de diamant	C (Black graduations)	150
Métaux mous	Bille (1/16")	B (Graduations rouges)	100

N°	échantillons	Type d'indenteur	RHN			Moyenne RHN
			1	2	3	
01	Acier trempé	Diamond cone				
02	Acier doux	Ball (1/16")				
03	Laiton	Ball (1/16")				
04	Cuivre	Ball (1/16")				
05	Aluminium	Ball (1/16")				

Les mesures doivent être prises avec soin et correctement.

(VIII) Résultat :

La dureté Rockwell le numéro de l'échantillon donné est

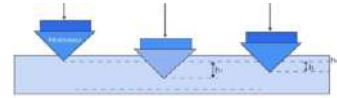
- Acier trempé =
- Acier doux =
- Laiton =
- Cuivre =
- Aluminium =

Conclusion

.....

.....

.....



8.5.2 L'essai Brinell

Tableau 8.3 Résultats de l'essai Brinell

Type d'indenteur	Charge totale (P) Kg-F	Convient pour
Indenteur à bille de 2,5 mm de diamètre	187.5	Métaux mous non ferreux, fonte douce, acier pièces moulées, fonte malléable.
Indenteur à bille de 5 mm de diamètre	250	Moulage d'alliages légers, alliages de forgeage, alliages de moulage sous pression.

N°	échantillons	Charge totale (P) Kg-F	Diamètre de l'indenteur (D) en mm	RHN			Diamètre moyen (mm)	BHN
				1	2	3		
01	Acier doux							
02	Laiton							
03	Cuivre							
04	Aluminium							

$$\text{Numéro de dureté Brinell (BHN)} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Où,

Le numéro de dureté Brinell est exprimé comme (valeur en N/mm²).

D = diamètre de l'indenteur à bille en mm

d = diamètre de l'indentation en mm

P = charge appliquée en kgf

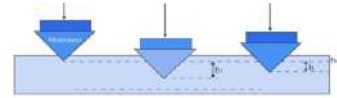
Compte minimal du microscope Brinell = 0,01 mm.

Précautions :

- L'échantillon doit être bien nettoyé.
- Placer l'échantillon correctement.
- La lecture doit être effectuée avec soin et correctement.
- Retirer la charge après l'application.

Résultats :

L'indice de dureté Brinell de l'échantillon donné est



8 ESSAI DE DURETÉ

– Acier doux =

– Laiton =

– Cuivre =

– Aluminium =

Fiche technique du test de dureté

1. Déterminez la résistance ultime à la traction en fonction du test de dureté.
2. Déterminez la résistance théorique à la traction et comparez vos résultats.
3. Comparez les types de tests de dureté et indiquez les avantages de chaque test par rapport à l'autre (Vickers, Brinell et Rockwell).
4. Vérifiez à l'aide des tables de conversion la validité des résultats de l'expérience.

Conclusion

.....

.....

.....

.....

Références

- [1] Basset J. P., Cartraud P., Jacquot C., Leroy A. , Peseux B., Vaussy P., Introduction à la résistance des matériaux, École Centrale de Nantes, 2007.
- [2] EL HOUARI Nesrine, Polycopié de TP Résistance des Matériaux, RDM, Faculté de technologie Département de GENIE CIVIL, Université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen, 2017-2018.
https://elearn.univ-tlemcen.dz/pluginfile.php/110775/mod_resource/content/0/POLYCOPIE%20RDM.pdf
- [3] CHAP.III INTRODUCTION A LA RESISTANCE DES MATERIAUX Source:
www.almohandiss.com
- [4] POLYCOPIE Cours et exercices Elaboré par : Mr. Mohammed CHAIB Année universitaire 2018/2019 Résistance des Matériaux Université Ahmed Ben Bella Oran 1 Institut Des Sciences Et Techniques Appliquées.
- [5] Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf Faculté de Génie Mécanique Département de Génie Maritime SUPPORT DE COURS EN RESISTANCE DES MATERIAUX ELABORE PAR : Dr. HADJAZI Khamis
- [6] S.BENSAADA RESISTANCE DES MATERIAUX, [université de biskra](http://universite.de.biskra). <https://www.univ-biskra.dz/enseignant/bensaada/RDM.pdf>
- [7] Chapitre 1- Introduction à la resistance des materiaux, https://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/yahia-lazhar/files/chapitre_1_introduction_a_la_rdm.pdf?m=1679131588.
- [8] POLYCOPIE de Cours métrologie élaboré par : Dr. BENTAHAR Mohammed Année universitaire 2020/2021. UNIVERSITÉ DE SAÏDA - Dr. MOULAY TAHAR Faculté de Technologie Département de Génie Civil et d'Hydrauliques sous le N°7/21 date de l'inscription 24/03/2021.
- [9] Documentation de manuelle de la machine (gunt HAMBURG) de TP de flexion.
- [10] <http://www.gunt.de/fr/produits/deformation-de-barres-soumises-a-une-flexion-ou-a-une-torsion/020.10000/wp100/glct-1:pa-149:pr-1527>.
- [11] TP-RESISTANCE DES MATERIAUX -RDM , T P N°5 ESSAI DE DURETE, Dr. ABID TAHAR Avril 2020, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF – M'SILA.

Annexes

Les pages de gardes

Faculté de Technologie
Département de Génie civil et
Hydraulique



COMPTE RENDU

RESISTANCE DES MATERIAUX

TP: N°1

TITRE

Essais de traction – compression simple

La Date de remise

Présenté par

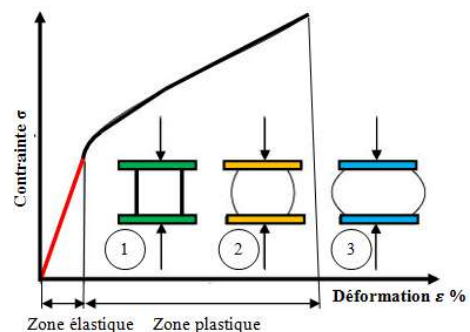
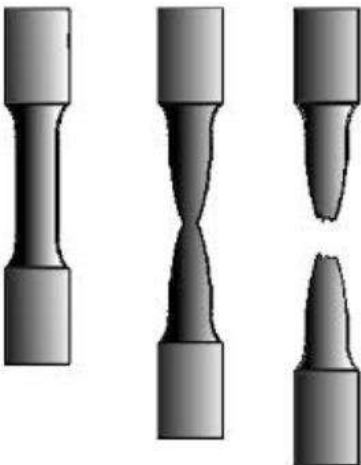
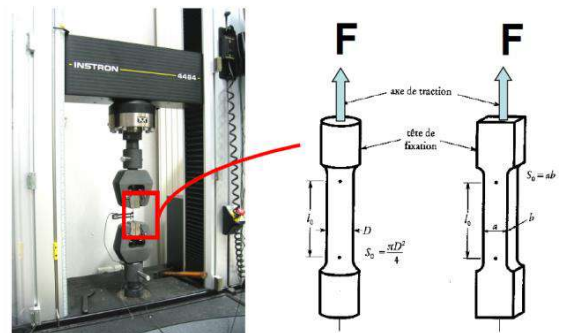
.....

Sous la direction de

Dr: BENTAHAR M^{ed}

Spécialité :

Groupe :



Année Universitaire 2024-2025

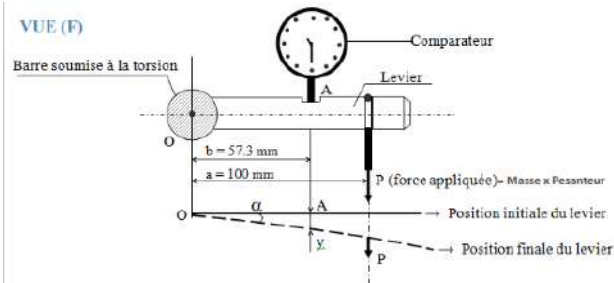
Faculté de Technologie
Département de Génie civil et
Hydraulique



COMPTE RENDU TP RESISTANCE DES MATERIAUX

TP: N°2

TITRE



Essai de torsion

La Date de remise

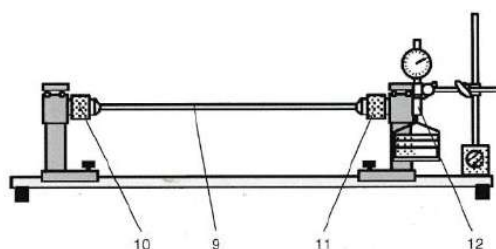
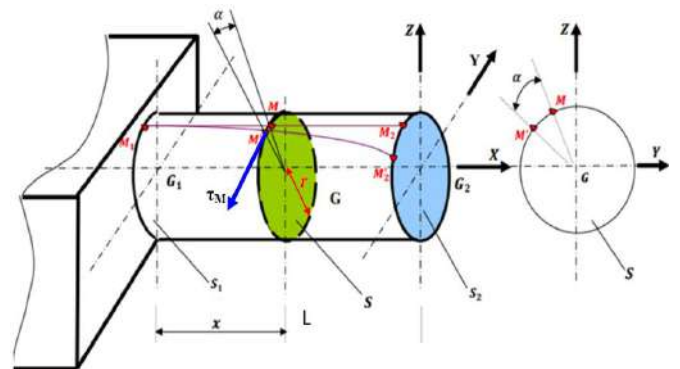
Présenté par

.....

Sous la direction de
Dr: BENTAHAR M^{ed}

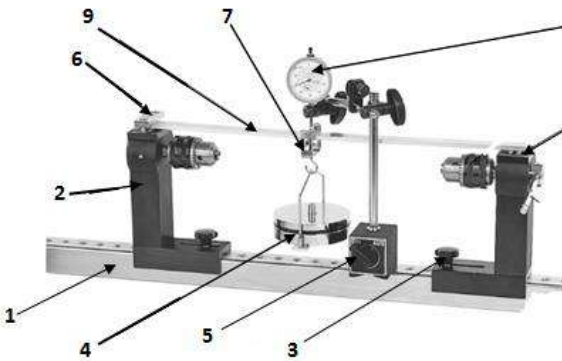
Spécialité :

Groupe :



Année Universitaire 2024-2025

Faculté de Technologie
Département de Génie civil et
Hydraulique



COMPTE RENDU RESISTANCE DES MATERIAUX

TP: N°3
TITRE



Essai de flexion simple

La Date de remise

Présenté par

.....

.....

Sous la direction de
Dr: BENTAHAR M^{ed}

Spécialité :

Groupe :



(a)

(b)



(c)

(d)



Année Universitaire 2024-2025

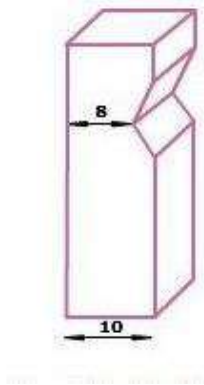
Faculté de Technologie
Département de Génie civil et
Hydraulique



COMPTE RENDU
RESISTANCE DES MATERIAUX

TP: N°4

TITRE



Essai de résilience

La Date de remise

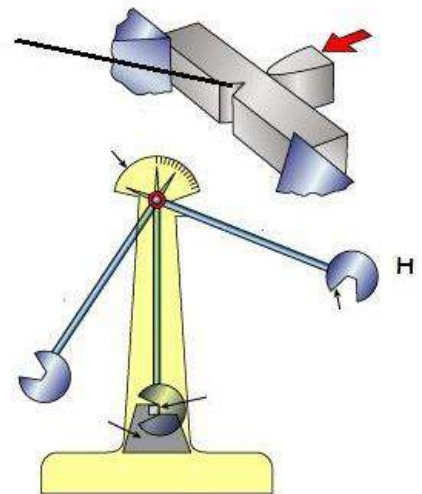
Présenté par

.....

Sous la direction de
D^r: BENTAHAR M^{ed}

Spécialité :

Groupe :

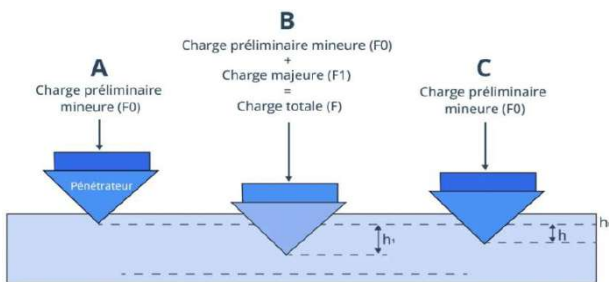


Année Universitaire 2024-2025

Faculté de Technologie
Département de Génie civil et
Hydraulique

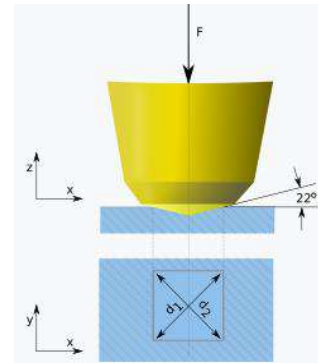


COMPTE RENDU
TP RESISTANCE DES MATERIAUX



TP: N°5

TITRE



L'essai de la dureté

La Date de remise

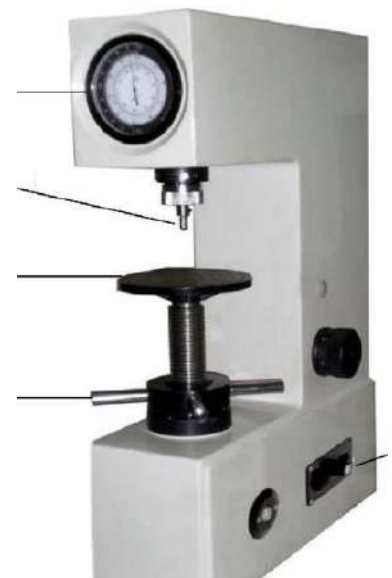
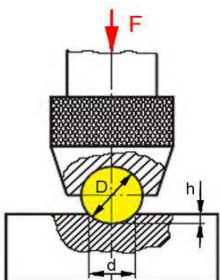
Présenté par

.....

Sous la direction de
D^r: BENTAHAR M^{ed}

Spécialité :

Groupe :



Année Universitaire 2024-2025

Modèle de liste de TP

Niveau: 2 ^{ème} Année	liste des étudiants	Module: Résistance des matériaux
Filière : Génie civil		Chargé du TP: Dr BENTAHAR M ^{ed}
Nature de module: TP		Année universitaire 2024/2025

N°	Nom	Prénom	G	Compte rendu /12	Assidui té /3	Présence × 1 /5												Note finale	<u>Émergements</u>
						Janvier			Février			Mars							
						01	08	15	12	19	26	02	09	16	23				
01																			
02																			
03																			
04																			
05																			
06																			
07																			
08																			
09																			
10																			
11																			
12																			
13																			
14																			
15																			
16																			
17																			
18																			
19																			
20																			
21																			
22																			
23																			
24																			
25																			
26																			
27																			
28																			
29																			
30																			

Émergences chargé du TP

MODÈLE FICHE INDIVIDUEL D'ÉVALUATION DE TP

Motif Pédagogique : évaluation de diagnostique et évaluation TP

Objectif pédagogique : repérer l'acquisition de connaissances (acquis) et de compétences (recherche, pratique, analyse, synthèse et formulation par écrit). En cohérence avec les objectifs tracés. Détecter chez l'apprenant les compétences pour lesquelles il se prédestine. Ce qui est visé, c'est le renforcement des forces de l'apprenant et l'affaiblissement de ses faiblesses. (Notamment envers la spécialité du cursus). L'étudiant est donc appelé à développer ses capacités personnelles face à des situations diverses pour réussir.

Délais d'achèvement des travaux pratiques durant le semestre (04) : Du 15/01/2025 Au 29/04/2025.

Sous la direction de : **D' BENTAHAR Mohammed** Nom & Prénom de l'enseignant **Grade :** Maître de conférence classe "A"

Assiduité : Nombre total des apprenants : Nombre d'absents : Pourcentage : %

Module (TP) : Ondes et vibrations

NOM & PRENOM (l'étudiant(e) : **Groupe** **Labo Ondes & Vibrations**

Année Universitaire : 2024-2025

Année et spécialité du cursus 2^{ème} année génie civil & HYDRAULIQUE

Évaluation N° 1 (pts) : **Le manuscrit (compte-rendu)**

..... (pts)

Évaluation N° 2 (pts): **L'assiduité**

..... (pts).....

Évaluation N° 3 (pts): **Les réponses aux 3 questions** (Examen Orale)

1-? (pts)

2 - ? (pt)

3- ? (pt)

RÉSERVÉE À L'ENSEIGNANT(E) (Mesures de performances)

Indicateurs de performance de l'apprenant : -Mettez un X dans la case correspondante.

Excellent .A	Très bien .B	bien, C	Correct. D	Insatisfaisant .E	Insuffisant .F
15 + ... ???	14,5- 13 ???	10- 12,5 ???	10- 11,5 ???	07-09..... ??? -	<7 ???

- Observation : Evaluation (Décision) des **acquis** et des **performances** de l'apprenant :

Fait le 18/01/2025

Signature- Nom & Prénom de l'enseignant : **BENTAHAR M^{ed}**

Arrêté n° 932 du 28 Juin 2016-Art 4 – (Modalités d'évaluations des étudiants)