

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mouloud Mammeri - Tizi-Ouzou

Faculté du Génie de la Construction

Département de génie mécanique



En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Génie Mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Thème

Conception d'un banc d'essai de torsion

Proposé par :

Mr : ALI BILEK

Mr : Mustapha BELDI

Réalisé par :

RAHMI Djafar

2022 - 2023

Résumé

Le but de ce travail est de concevoir un banc d'essai de torsion pour caractériser le comportement mécanique de différents matériaux sous des charges de torsion contrôlées. Le projet implique l'utilisation de capteurs pour mesurer les contraintes résultant de la torsion. Il est organisé en plusieurs chapitres, couvrant des aspects tels que les essais mécaniques, la conception du banc d'essai sur solide Works, les capteurs à jauges d'extensomètre et la réalisation de l'élément capteur.

Summary

The aim of this work is to design a torsion test bench to characterize the mechanical behaviour of different materials under controlled torsional loads. The project involves the use of sensors to measure stresses resulting from torsion. It is organized into several chapters, covering aspects such as mechanical testing, the design of the equiped with a strain gage sensor.

REMERCIEMENTS

A l'issue du cycle de notre formation nous tenons à remercier Dieu qui nous a donné le courage, la volonté et la force d'accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements et notre gratitude à notre promoteur Mr. Le professeur ALI BILEK pour ses conseils, ses orientations ainsi que sa disponibilité tout au long de notre travail.

Ce travail a été réalisé sous le suivi de Mr. MUSTAPHA BELDI que nous remercions beaucoup pour son aide et son orientation tout au long de notre travail.

Nous remercions également l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation. Nous remercions aussi l'ensemble des étudiants du département de Génie mécanique de l'U.M.M.T.O, pour leur soutien.

TABLE DES MATIERES

Introduction générale	1
------------------------------------	---

Chapitre I Les essais mécaniques

1	Introduction	4
2	Essai de traction	4
2.1	L'essai de traction donne plusieurs valeurs importantes.....	5
2.2	Caractéristiques mécaniques de quelques matériaux.....	6
2.3	Eprouvette.....	6
2.4	Principe d'essai de traction.....	7
2.5	Traction simple	8
3	Essai de Flexion	9
3.1	Flexion simple	9
3.2	Flexion trois points	11
4	Essai de Torsion	13
4.1	Contrainte en un point M de (S)	15
4.2	Module d'élasticité transversale G(module de Coulomb).....	15
4.3	Loi de déformation élastique	15
4.4	Moment quadratique polaire.....	16
4.5	Condition de résistance.....	16
4.6	Condition de rigidité.....	16
4.7	Angle de torsion.....	16
5	Conclusion.....	18

Chapitre II Conception du banc d'essai en torsion

1	Introduction	20
2	Définition du banc d'essai de torsion.....	20
3	Éléments du banc d'essai de torsion.....	21
4	Fonctionnement du banc d'essai en torsion	22

5	Les éprouvettes utilisées en torsion.....	23
5.1	Les matériaux couramment utilisés	23
6	Zone de montage des jauges.....	24
7	Conclusion.....	25

Chapitre III Rappels sur le principe des jauges de contrainte et de l'étalonnage

1	Introduction	27
2	La jauge	27
2.1	Constitution de la jauge	27
2.2	Les types courant de jauges de contraintes.....	28
2.2.1	Jauges simple unidirectionnelle.....	28
2.2.2	Jauge double	29
2.2.3	Jauge Rosette.....	29
2.3	Capteur à jauges d'extensomètre.....	30
a.	Principe.....	30
2.4	Fonctionnement d'une jauge simple	30
2.5	Constitution de la jauge	31
2.6	Conditionnement des jauges (LE PONT DE WHEATSTONE)	31
2.6.1	Le montage quart de pont.....	32
2.6.2	Le montage demi pont.....	33
2.6.3	Le pont complet.....	33
2.7	Formules utiles pour le calcul des capteurs extensométriques.	34
2.8	L'installation des jauges sur l'élément capteur	35
2.8.1	Essai de traction	35
2.8.2	Essai de flexion	36
2.8.3	Essai de torsion.....	36
2.9	Collage des jauges	38
2.10	Domaine d'application.....	39
3	L'étalonnage.....	39

3.1	Comment réaliser un étalonnage	40
3.2	Types d'étalonnage.....	41
3.3	Principe.....	42
3.4	Exemple d'étalonnage	45
4	Conclusion.....	46

Chapitre IV Réalisation du capteur de torsion

1	Introduction :.....	48
2	La réalisation	48
3	Usinage de l'élément capteur	48
4	Les éléments nécessaires pour la réalisation du capteur	52
5	Fonctionnement du capteur	55
	Conclusion générale	57

LISTE DES FIGURES

Figure I 1 : Machine de traction	4
Figure I 2 : Eprouvette de traction.....	7
Figure I 3 : Machine flexion trois points.....	11
Figure I 4 : Machine de torsion	14
Figure I 5 : Eprouvette sollicitée en torsion	14
Figure II 1 : Conception Banc l'essai en torsion	20
Figure II 2 : Maintient de l'éprouvette	23
Figure II 3 : L'élément capteur où seront positionnées les jauges.....	24
Figure III 1 : la jauge.....	28
Figure III 2:Les types des jauges de contrainte.....	29
Figure III 3: Le banc d'essai de flexion	29
Figure III 4 : Pont de Wheatstone	32
Figure III 5 : Le montage quart de pont	32
Figure III 6 : Le montage demi pont	33
Figure III 7: Le pont complet	33
Figure III 8 : Les étapes du collage des jauges.....	38
Figure III 9 : Erreurs d'un capteur.....	44
Figure III 10 : Etalonnage d'un capteur	45
Figure III 11 : Exemple d'étalonnage en tension	46
Figure IV 1 : scie mécanique.....	48
Figure IV 2 : Banc d'essai et papier de verre	49
Figure IV 3 : Machine de tournage	49
Figure IV 4 : Montage de la barre d'essai dans le mandrin	50
Figure IV 5 : Machine de fraisage.....	50
Figure IV 6 : Usinage de la rainure de clavette.....	51
Figure IV 7 : Le filetage de la barre en acier (élément capteur)	51

Figure IV 8: Les constituons pour fabriquer le capteur.....	52
Figure IV 9: La jauge	52
Figure IV 10 : Position de jauge.....	53
Figure IV 11 : Collage des jauges	53
Figure IV 12 : Multimètre	53
Figure IV 13: Vérification du bon fonctionnement de la jauge	54
Figure IV 14: Schéma de soudage de la fiche	54
Figure IV 15 : Soudage de la fiche.....	54
Figure IV 16 : Soudage et capteur de torsion.....	55
Figure IV 17 : Capteur de torsion.....	55
Figure IV 18: Constituants pour faire fonctionner un capteur en torsion	56
Figure IV 19 : Application de l'effort sur le capteur.....	56

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I 1 : Caractéristiques mécaniques de quelques matériaux	6
Tableau I 2: Moment quadratique	12
Tableau II 1 : Les noms des pièces.....	22
Tableau III 1 : Formules utiles pour le calcul des capteurs extensométriques	34

LISTE DES SYMBOLES

ΔL : Allongement total de la poutre

E : Module d'élasticité longitudinal (MPa)

$\varepsilon = \Delta L / l$: Allongement unitaire

f : Flèche totale (rapprochement sur le diamètre)

F_s = Coefficient de sécurité ($2 \leq F_s \leq 10$).

I_{Gz} : Moment quadratique de section mm^4

I_G : Moment quadratique polaire de section ($I_G = I_{Gx}$ en mm^4)

I_0 : Moment d'inertie polaire

I_0 : Moment quadratique par rapport au point G en mm^4

G : Module d'élasticité transversale (MPa)

G : Module de Coulomb

K : Facteur de jauge dont la valeur est voisine de 2

L : Longueur de l'arbre

L_0 : Longueur initiale de l'éprouvette

M_t : Moment de torsion (N.mm)

M_{fz} : Moment fléchissant au pt G (N.mm)

$M_{Fz}(S)$: Moment de flexion dans (S) (N.mm)

N : Effort normal de traction (N)

ρ : Masse volumique.

P : pression

R : Rayon moyen.

R_{pg} : Résistance pratique au cisaillement

R_{pe} : Résistance pratique en traction (MPa)

R_{ec} : Limite élastique en traction (MPa)

$R_M = GM$: Rayon du point M (mm)

S : Section de la poutre (mm^2).

S : Coefficient de sécurité (MPa)

y_M : Ordonnées du point M (mm)

Y : cote du point M ; $y = GM$ (mm)

ϵ_e : Déformation de la jauge extérieure

ϵ_i : Déformation de la jauge intérieure

ϵ_1 : Déformation de la jauge latérale

ϵ_2 : Déformation de la jauge longitudinale

ω_1 : Première fréquence propre.

σ : Contrainte normale (MPa)

$\theta = \alpha/I$: Angle unitaire de torsion (rad/mm)

α : Angle de torsion

τ_{max} : Contrainte tangentielle maxi de torsion

τ_M : Contrainte tangentielle en M(MPA)

σ_M : Contrainte normale au point M (MPa)

Introduction générale

La construction mécanique a une grande importance dans le développement industriel car elle participe à l'amélioration des performances des moyens de production locaux.

Le choix des matériaux, pour une application industrielle donnée, exige une connaissance et une maîtrise de ses caractéristiques mécaniques. La caractérisation des matériaux repose sur l'étude de son comportement vis-à-vis des sollicitations extérieures qui engendrent des contraintes et des déformations. Différents types d'essais normalisés peuvent être utilisés. Ces derniers permettent de déterminer les grandeurs physiques caractérisant le comportement mécanique des matériaux testés.

Notre travail consiste à concevoir et à réaliser un système pour équiper un banc d'essai de torsion.

Le mouvement rotatif du moteur est transmis au système d'application de la charge à l'aide d'un système d'engrenages. Deux capteurs permettent d'enregistrer en continu l'effort appliqué sur l'éprouvette et la déformation qui en résulte. Ceci permettra de tracer la courbe contrainte déformation et ainsi d'en extraire les caractéristiques mécaniques du matériau testé

Ce projet de banc d'essai en torsion vise à concevoir un système capable de soumettre différents matériaux à des charges de torsion contrôlées. L'objectif principal est de caractériser le comportement mécanique de ces matériaux en torsion, en mesurant les contraintes et les déformations qui en résultent. Pour atteindre cet objectif, nous utiliserons des dispositifs de mesure de précision et une instrumentation avancée.

Dans le premier chapitre nous présentons quelques rappels sur les principaux essais mécaniques et les démarches à suivre pour réaliser ces essais.

Le deuxième chapitre est consacré à la conception du banc d'essai torsion.

Le troisième chapitre est consacré aux capteurs à jauges d'extensométrie et l'étalonnage.

Le quatrième chapitre est consacré à la réalisation de l'élément capteur (montage des jauges à 45 °).

Le banc d'essai devra être réalisé complètement, finalisé et étalonné pour pouvoir l'utiliser correctement. Nous espérons que ce sujet soit repris par d'autres étudiants pour le finaliser et faire des essais sur différents matériaux.

Chapitre I

Les essais mécaniques

1 Introduction

L'ingénieur a besoin de connaître le comportement mécanique des matériaux utilisés pour fabriquer diverses structures. Ce sont les essais mécaniques qui peuvent lui fournir ces données nécessaires.

Les essais mécaniques sont des expériences dont le but est de caractériser les lois de comportements des matériaux.

Le calcul numérique est devenu d'un apport considérable dans l'interprétation et la compréhension des résultats des essais mécaniques les bancs d'essai mécanique sont utilisés pour mesurer les caractéristiques techniques maximales de produit avant et après la commercialisation.

Types d'essais réalisés sur ces bancs : essais de torsion, essais de traction, essais de flexion, etc.

2 Essai de traction

L'essai de traction est l'essai mécanique le plus fréquemment utilisé. Il consiste à soumettre une éprouvette du matériau à étudier à deux efforts F de tension de sens opposés et de même valeurs absolues [1].



Figure 1 1 : machine de traction

La ligne d'action est confondue avec l'axe de symétrie ou de rotation de l'éprouvette.

Il permet de déterminer la limite élastique et la résistance à la rupture des différents matériaux, les caractéristiques de résistance des matériaux.

Cet essai consiste à soumettre à 20°C une « éprouvette » de longueur l à un effort de traction, progressivement croissant, généralement jusqu'à la rupture de l'éprouvette [2].

L'essai de traction d'un acier s'effectue par l'enregistrement graphique de l'allongement (ΔL) d'une éprouvette en fonction de la charge F .

2.1 L'essai de traction donne plusieurs valeurs importantes

- Limite élastique : Elle peut être apparente (**Re** ou **σ_e**) ou conventionnelle (**Re 0,2**)
- Module d'élasticité longitudinale ou module de Young : **E**.
- Résistance à la rupture : **σ_r** ou **Rr**.
- Contrainte maximale : **σ_m** ou **Rm**.
- Allongement : $A\% = \frac{L_u - L}{L} = 100$

A. Limite élastique **σ_e**

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0} \text{ Avec } \sigma_e \text{ en MPa, } F_e \text{ en N, } S_0 \text{ en mm}^2, S_0 : \text{Section de l'éprouvette}$$

B. Limite de rupture **σ_r**

$$\sigma_r = \frac{F_r}{S_0} \text{ Avec } \sigma_r \text{ en MPa, } F_r \text{ en N, } S_0 \text{ en mm}^2.$$

C. La déformation :

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \text{ Avec } \Delta L : \text{allongement total de la poutre;}$$

L₀ : longueur initiale de l'éprouvette.

D. Condition de résistance σ_{pe}

Pour des raisons de sécurité (limiter l'étude dans la zone élastique : pour que la pièce reste fonctionnelle malgré sa déformation), la contrainte normale de la pièce (σ) doit rester inférieure à la résistance pratique de la traction . Avec $\sigma_{pe} = \sigma_e / F_s$

Ou σ_{pe} = contrainte admissible

E. Condition de résistance pratique a l'extension : ($\sigma \leq \sigma_{pe}$)

F_s = Coefficient de sécurité ($2 \leq F_s \leq 10$).

F. Condition de résistance pratique a l'extension : ($\sigma \leq \sigma_{pe}$)

F_s = Coefficient de sécurité.

2.2 Caractéristiques mécaniques de quelques matériaux

Matériau	Module de Young E (MPa)	Coefficient de poisson (sans unité)	Limite à rupture R_y (MPa)
Acier	210000	0.3	450 à 1600
Aluminium	70 000	0.33	180 à 600
Diamant	1 000 000	0.1	Rupture 4 000 à 10 000
Béton	20 000 à 50 000	0.2	20 à 40 (compression) 2 à 5 (traction)

Tableau I 1 : Caractéristiques mécaniques de quelques matériaux [1]

2.3 Epreuve

Les éprouvettes de l'essai de traction uni-axiale ordinaires sont de forme généralement cylindrique ou prismatique, elles sont soigneusement polies et calibrées.

La longueur de la partie calibrée l_0 doit être proportionnelle à la section selon l'expression suivante : $l_0 = 5.65\sqrt{S_0}$ où l_0 (: longueur initiale entre repères en mm, et (S_0): Section initiale de l'éprouvette en mm^2 .

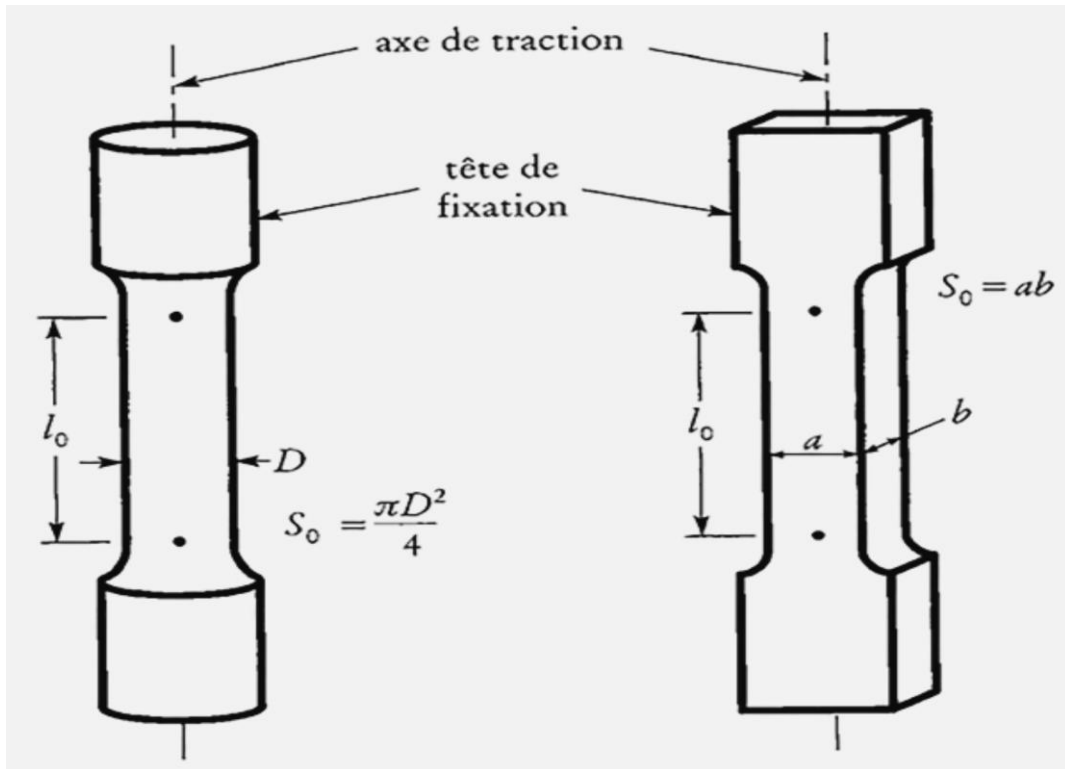


Figure I 2 : Eprouvette de traction

2.4 Principe d'essai de traction

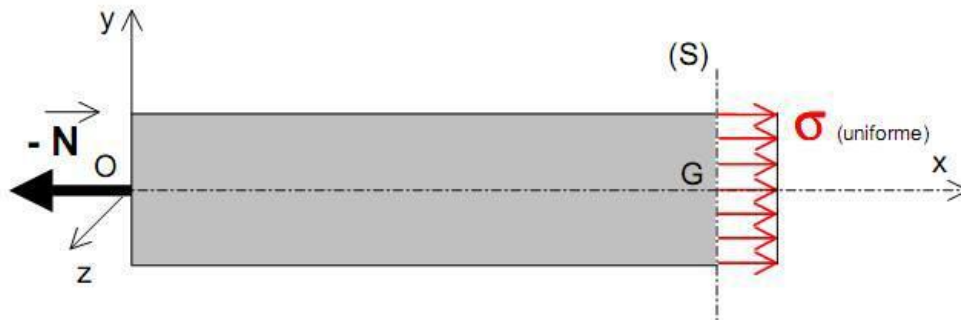
L'essai est réalisé sur une machine de traction, en appliquant lentement et progressivement un effort de traction croissant, dont l'intensité varie de 0 jusqu'à F, sur une éprouvette maintenue solidement entre les mâchoires de la machine. Des appareils adaptés à la machine permettent de mesurer à chaque instant l'effort de traction ou la charge (à l'aide d'un dynamomètre) et l'allongement de l'éprouvette (à l'aide d'un extensomètre).

Cas d'application

- Essais de compression / traction sur des matériaux poreux
- Essais de compression / traction sur des polymères
- Essais sur bras tirés ou supports métalliques

2.5 Traction simple

Répartition de la contrainte normale dans une section (S) [3].



a. Contrainte

$$\sigma = \frac{N}{S}$$

σ : Contrainte normale (MPa).

N : Effort normal de traction (N).

S : Section de la poutre (mm^2).

b. Résistance pratique

$$R_e = \frac{R_{ee}}{S}$$

R_e : Résistance pratique en traction (MPa) (appelée aussi contrainte admissible σ_{adm})

R_{ee} : Limite élastique en traction (MPa)

S : Coefficient de sécurité (MPa)

c. Limite élastique

Pour tous les matériaux homogènes et isotropes la limite élastique en traction R_{ee} est égale à la limite élastique en compression R_{ec} , on les désigne alors simplement R_e limite élastique.

d. Condition de résistance

$$\sigma \leq R_{pe}$$

σ : Contrainte normale de traction (MPa)

R_{pe} : Résistance pratique en traction (MPa) (appelée aussi contrainte admissible σ_{adm})

e. Loi de déformation élastique

$$\sigma = E \varepsilon$$

σ : Contrainte normale de traction (MPa)

E : Module d'élastique longitudinal (MPa)

$\varepsilon = \Delta l / l$: Allongement unitaire

$$\Delta l = \frac{Nl}{SE}$$

Δl : Allongement (mm)

l : Longueur initiale (mm)

S : Section de la poutre (mm^2)

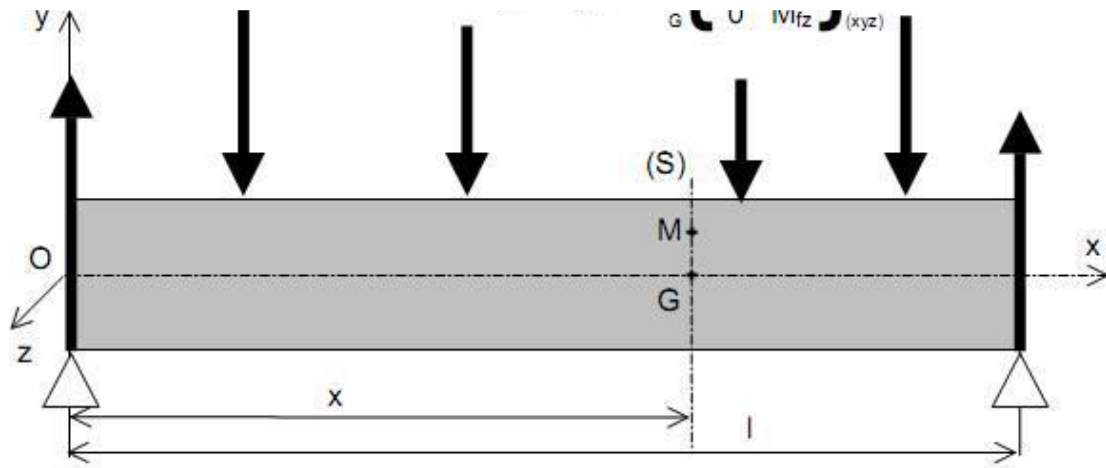
N : Effort normal de traction (N)

3 Essai de Flexion

3.1 Flexion simple

On dit qu'une poutre est sollicitée à la **flexion plane simple** lorsque le système de forces extérieures se réduit à un système plan et les forces sont perpendiculaires à la ligne moyenne.

La flexion simple est un état de charge tel que dans toute section droite d'une poutre, il n'existe qu'un **moment fléchissant M_f** et un **effort tranchant** [3].



Sollicitation dans une section (s) d'abscisse x :

Effort tranchant T_y : c'est la projection sur l'axe des y de la somme des forces situées à droite de (s).

Moment fléchissant M_{Fz} : c'est la projection sur l'axe des Z de la somme des moments par rapport à G des forces situées à droite de (s).

Contrainte en un point M de (S) :

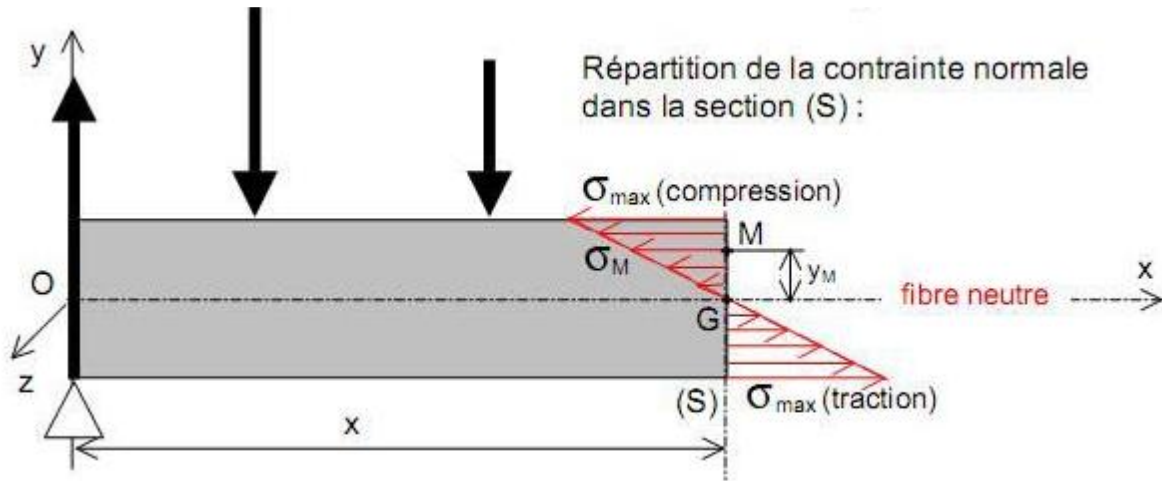
$$\sigma_M = \frac{M_{Fz}(S)}{\left(\frac{I_{Gz}}{y_M}\right)}$$

σ_M : Contrainte normale au point M (MPa)

$M_{Fz}(S)$: Moment de flexion dans (S) (N.mm)

I_{Gz} : Moment quadratique de section mm^4

y_M : Ordonnées du point M (mm)



3.2 Flexion trois points

Les deux essais de flexion les plus utilisés sont l'essai de flexion trois points, caractérisé par un moment fléchissant variable le long de l'éprouvette et un cisaillement constant, et l'essai de flexion quatre points (flexion pure) avec un moment constant dans les sections entre appuis et un cisaillement nul.



Figure I 3 : machine flexion trois points

On dit qu'une poutre est sollicitée à la flexion trois points lorsque le système de forces extérieures se réduit à un système plan et les forces sont perpendiculaires à la ligne moyenne. L'unité pour le moment quadratique est le mm^4 (Tableau I 2) [4].

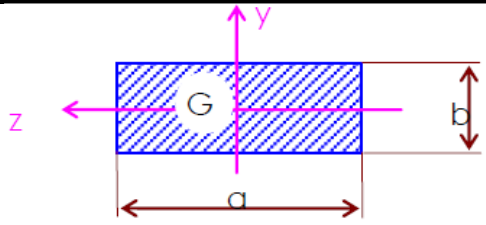
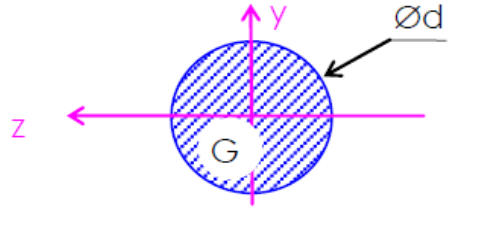
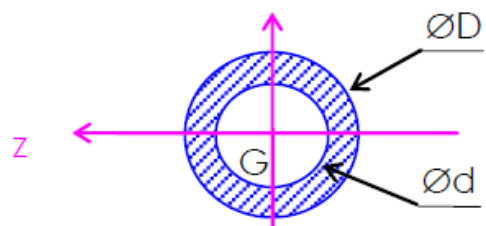
Sections droites	I_{Gz}	I_{Gy}
	$\frac{a \cdot b^3}{12}$	$\frac{b \cdot a^3}{12}$
	$\frac{\pi \cdot d^4}{64}$	$\frac{\pi \cdot d^4}{64}$
	$\pi \left(\frac{D^4 - d^4}{32} \right)$	$\frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$

Tableau I 2: moment quadratique

a. Contrainte normale maxi

$$\sigma = \frac{M_{fz}}{I_{Gz}} \cdot y$$

Le long d'une poutre de section constante σ sera maxi avec Y maxi et M_{fz} maxi.

M_{fz} : moment fléchissant au pt G (N.mm)

Y : cote du point M ; $y = GM$ (mm)

I_{Gz} : Moment quadratique de la section droite par rapport à l'axe Gz (mm⁴)

b. Condition de résistance

La contrainte normale $\sigma_{\max i}$ doit rester inférieure à **la résistance pratique à l'extension**.

$$\sigma_{\max i} \leq Rpe$$

$\sigma_{\max i}$: **contrainte** normale maxi (MPa)

Rpe : Résistance pratique du matériau (MPa)

c. Loi de déformation élastique

$$y'' = \frac{Mfz(X)}{E IGz}$$

La loi de déformation élastique d'une zone de poutre fléchie est définie par l'équation différentielle du second ordre de sa déformée.

4 Essai de Torsion

C'est une méthode utilisée pour caractériser le comportement d'un matériau soumis à une charge de torsion. Les résultats de l'essai de torsion sont utilisés pour tracer une courbe de contrainte déformation qui permet de déterminer la limite d'élasticité, le module d'élasticité en torsion, le module de rupture en torsion et la résistance à la torsion (*Figure I 4*) [5].

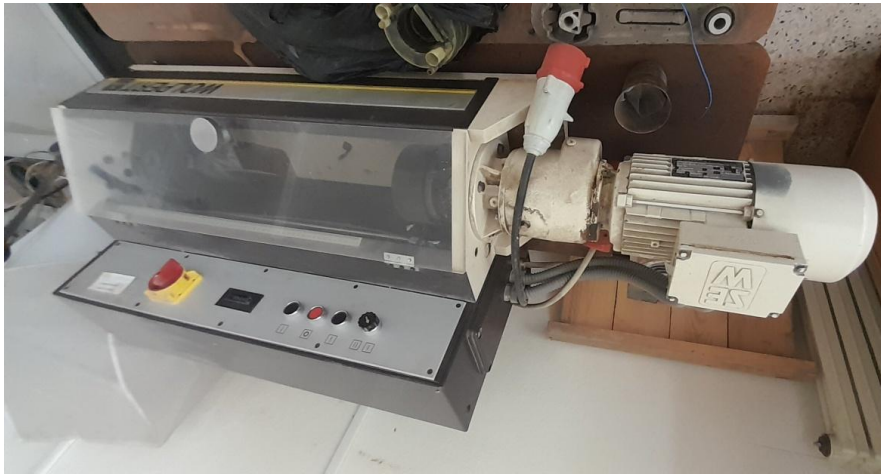


Figure I 4 : Machine de torsion

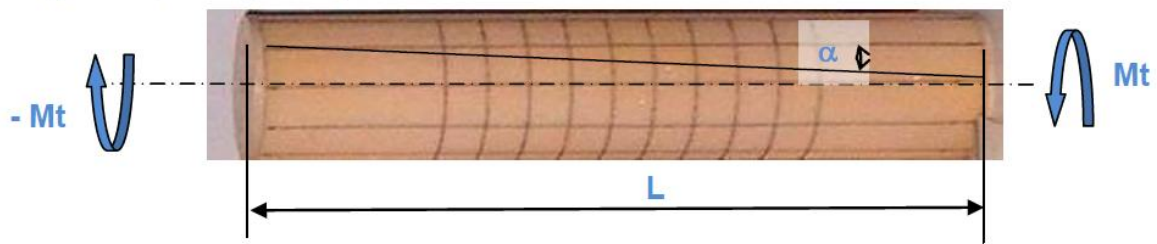
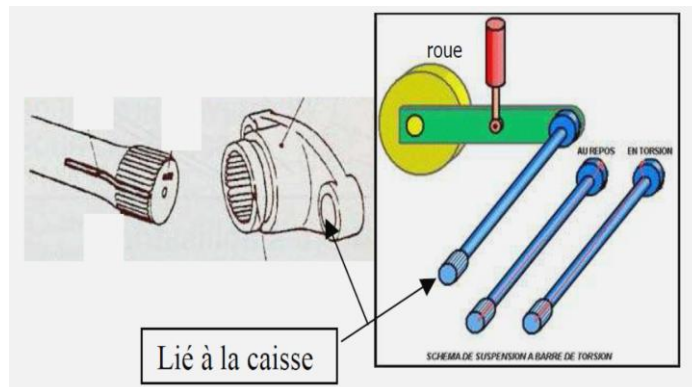


Figure I 5 : Epreuve sollicitée en torsion

Le moment M_t est appelé *moment de torsion* et est noté M_t . α Est l'angle de rotation entre les deux extrémités de la poutre.

Exemple d'application

Suspension arrière automobile à barre de torsion.



4.1 Contrainte en un point M de (S)

$$\tau_M = G R_M \theta$$

τ_M : Contrainte tangentielle en M(MPa)

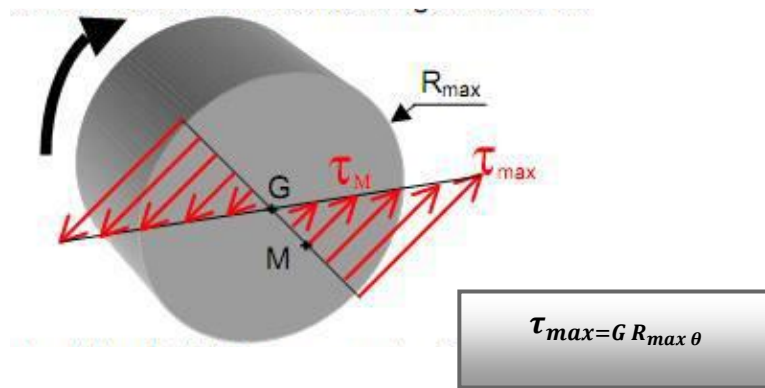
G : Module d'élasticité transversale (MPa)

$R_M = GM$: Rayon du point M (mm)

$\theta = \alpha/I$: Angle unitaire de torsion (rad/mm)

α : Angle de torsion (rad) entre deux sections distantes de I(mm) [3].

a. Répartition de la contrainte tangentielle dans une section (S)



4.2 Module d'élasticité transversale G(module de Coulomb)

Acier : $G = 80\,000$ MPa ; ($G = 0.4 E$)

G (acier)	G (Laiton)	G (aluminium)	G (cuivre)	G (bronze)
80 000 MPa	34 000 MPa	7000 MPa	11 000 MPa	6000 MPa

4.3 Loi de déformation élastique

$$\theta = \frac{M_t}{G I_G}$$

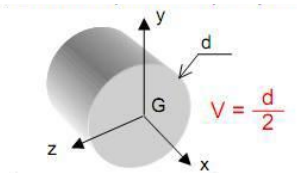
$\theta = \alpha/L$: Angle unitaire de torsion (rad/mm)

M_t : Moment de torsion (N.mm)

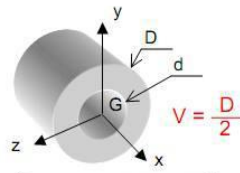
G : Module d'élasticité transversale (MPa)

I_G : Moment quadratique polaire de section ($I_G = I_{Gx}$ en mm^4)

4.4 Moment quadratique polaire



$$I_G = \frac{\pi d^4}{64}$$



$$I_G = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{64}$$

$$I_y = z^2$$

$$I_z = y^2$$

4.5 Condition de résistance

$$\tau_{\max} \leq R_{pg}$$

τ_{\max} : Contrainte tangentielle maxi de torsion

R_{pg} : Résistance pratique au cisaillement

4.6 Condition de rigidité

$$\theta \leq \theta_{\max}$$

θ_{\max} : Angle unitaire de torsion maxi ($^\circ/\text{m}$)

Rigidité d'un arbre en acier $\theta_{\max} = 0.25^\circ/\text{m}$

4.7 Angle de torsion

Lorsqu'un arbre de longueur L est soumis à un moment de torsion M constant t sur la longueur,

L'angle de torsion (α) est donné par la formule suivante :

Avec :

$$\alpha = \frac{Mt L}{G I_0}$$

α : angle de torsion.

Mt : moment de torsion

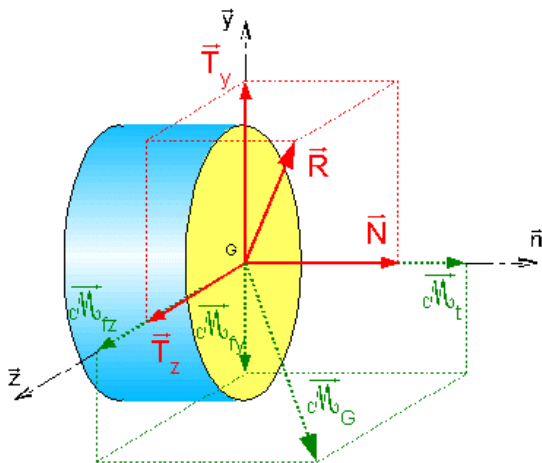
L : longueur de l'arbre.

G : module de Coulomb.

I_0 : Moment d'inertie polaire.

La contrainte tangentielle ou de glissement en un point d'une section droite située à une distance r de la fibre neutre, a pour expression

Soit $\theta = \frac{\alpha}{L}$: angle unitaire de torsion en rad/mm. [3].



$$\tau = G \cdot \theta \cdot \rho$$

τ : Contrainte tangentielle en N/mm^2

G : module d'élasticité transversal en Mpa

ρ : (R) Rayon.

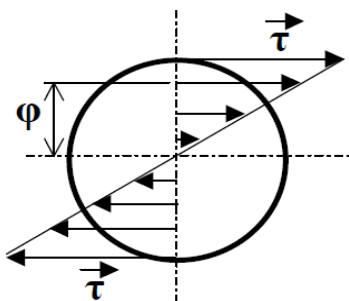
$$Mt = G \cdot \theta \cdot I_0$$

Mt : Moment de torsion en N.mm

G : module d'élasticité transversal en Mpa

θ : Angle unitaire de torsion en rad/mm

I_0 : Moment quadratique par rapport au point G en mm^4



$$D'où : \tau = \frac{Mt}{I_0} \cdot \rho$$

5 Conclusion

Les essais mécaniques fournissent des informations essentielles sur les caractéristiques mécaniques de la structure testée. Ces données sont cruciales pour garantir la qualité et la performance dans les applications pratiques.

Mon travail porte sur la conception d'un banc d'essai de torsion qui permettra d'obtenir les caractéristiques mécaniques nécessaires pour le dimensionnement d'éléments de machines supportant des contraintes de cisaillement, particulièrement en torsion, dans les transmission de mouvement et les transmission de puissance.

Chapitre II

Conception du banc d'essai en torsion

1 Introduction

La machine de torsion est un dispositif mécanique utilisé pour appliquer une force de torsion à un objet. Elle est généralement utilisée pour mesurer la rigidité en torsion d'un matériau ou pour tester la résistance à la torsion d'un composant ou d'une structure. Elle se compose généralement d'un cadre solide et d'un système de fixation pour maintenir l'objet à tester en place. L'objet est généralement constitué d'une poutre, d'un tube ou d'un fil, qui est fixé à une extrémité de la machine. L'autre extrémité de l'objet est fixée à une tête de torsion mobile qui peut appliquer une force de torsion. La tête de torsion est généralement équipée d'un moteur électrique ou hydraulique qui permet de faire tourner l'objet autour de son axe longitudinal. La force de torsion est mesurée à l'aide d'un capteur de couple qui est connecté à la tête de torsion. Ce capteur permet de mesurer la force appliquée à l'objet et de la convertir en une valeur numérique. Elle peut être contrôlée à l'aide d'un système informatisé qui permet de programmer différents paramètres, tels que la vitesse de rotation, l'angle de torsion, la durée du test, etc. Ces paramètres peuvent être ajustés en fonction des besoins spécifiques du test.

2 Définition du banc d'essai de torsion

Banc l'essai en torsion une méthode utilisée pour évaluer la résistance d'un matériau à la déformation due à force appliquée en torsion. Ces mesures permettent de caractériser la rigidité du matériau et sa capacité à résister à la déformation en torsion avant la rupture.

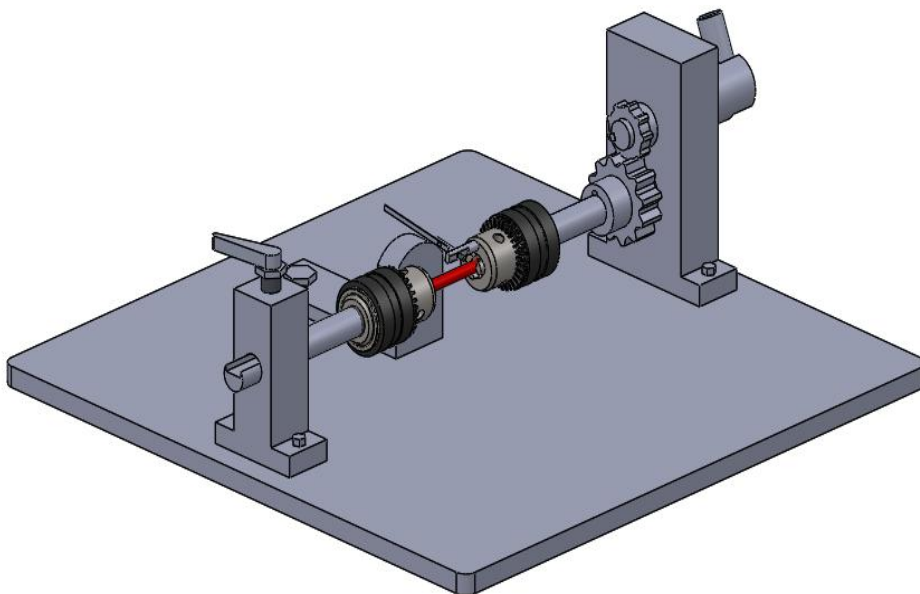
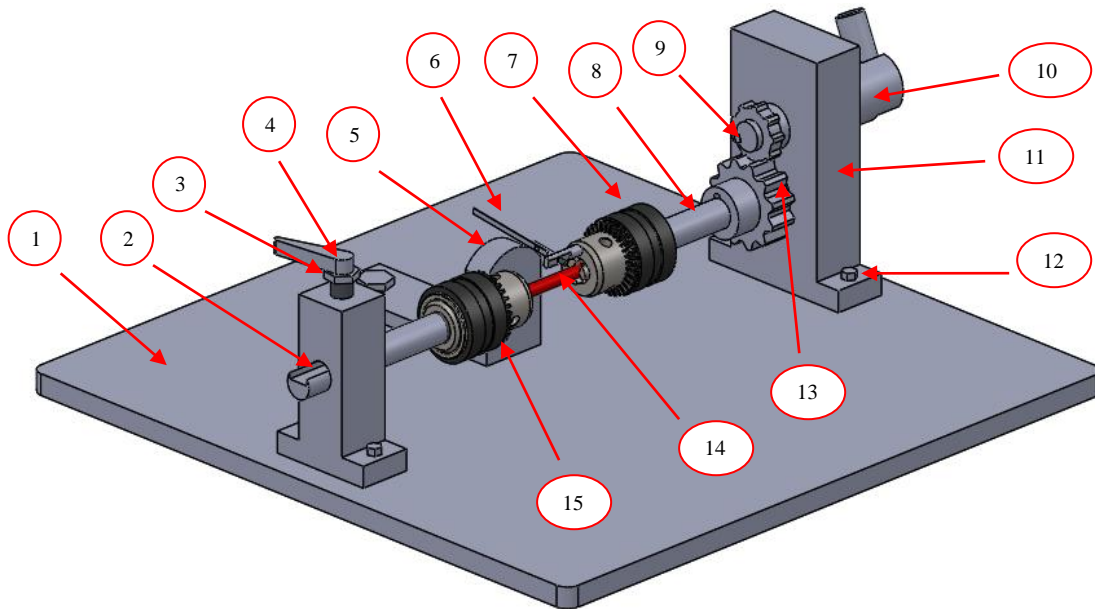


Figure II 1 : Conception Banc l'essai en torsion

3 Éléments du banc d'essai de torsion

Conception l'essai en torsion est une machine de torsion est un équipement utilisé pour appliquer une torsion contrôlée sur des échantillons de matériaux afin d'étudier leur comportement en torsion. Voici les principaux éléments d'une machine de torsion typique :

Voici les principaux éléments d'une machine de torsion typique :



Numéro de pièce	Nom de pièce	Matériau	Fonctionnement
1	Cadre	Acier	Fixé le système mécanique
2	arbre	Acier	Support du mandrin
3	La vis	Acier	Bloquage de L'arbre 2
4	Clés vis	Acier	vis de bloquage
5	plaquette	Acier	Arrêter la lame
6	La lame	Acier	Mesure de l'angle de rotation
7	Mandrin 01	Acier	Fixation de l'éprouvette
8	Arbre où sont montes les jauges de contraintes	Acier	Fait le mouvement de MT
9	clavettes	Acier	Assurer la liaison en rotation

10	Arbre	Acier	Assurer le mouvement de rotation
11	Deux Plaquettes 01	Aluminium	Montage avec l'engrenage et l'arbre en torsion
12	Quatre vis	Acier	Fixé la plaque métallique
13	engrenages	Acier	Assurer la transmission du mouvement de rotation
14	L'éprouvette	Plastique	Eprouvette à tester
15	Mandrin 02	Acier	Fixation de l'éprouvette

Tableau II 1 : Les noms des pièces

4 Fonctionnement du banc d'essai en torsion

L'essai en torsion est réalisé en suivant une procédure spécifique pour évaluer les propriétés mécaniques d'un matériau soumis à une contrainte de torsion.

- ❖ Préparation de l'échantillon à tester
- ❖ . Fixation dans le dispositif d'essai
- ❖ Application du couple de torsion

Ce couple de torsion induit un moment de torsion dans éprouvette

La déformation est mesurée à l'aide de capteurs appropriés, tels que des jauges de contrainte, qui enregistrent les variations de contrainte ou de déplacement. Les données obtenues sont enregistrées et analysées pour déterminer les caractéristiques mécaniques du matériau; telles que le module de cisaillement, la limite d'élasticité en torsion et la résistance à la torsion.

5 Les éprouvettes utilisées en torsion

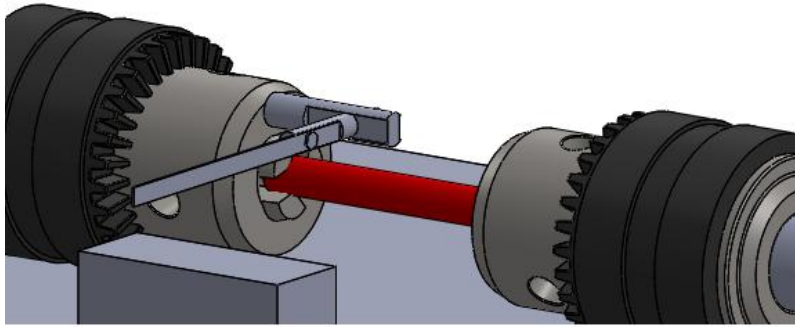


Figure II 2 : Maintient de l'éprouvette

Les éprouvettes utilisées pour les essais en torsion sont généralement des barres cylindriques ou des tubes creux de différentes dimensions. Elles sont conçues pour résister à la torsion et permettent de mesurer les propriétés de résistance à la torsion d'un matériau.

5.1 Les matériaux couramment utilisés

Utilisé pour les éprouvettes d'essai en torsion sont

- ✚ **Acier** : Les éprouvettes en acier sont couramment utilisées en raison de leur résistance élevée et de leur disponibilité.
- ✚ **Aluminium** : Les éprouvettes en aluminium sont utilisées pour mesurer les propriétés de torsion des alliages d'aluminium.
- ✚ **Cuivre** : Les éprouvettes en cuivre sont utilisées pour évaluer les propriétés de torsion des alliages de cuivre.
- ✚ **Alliages spécifiques** : En fonction des besoins spécifiques, des éprouvettes en alliages spécifiques peuvent être utilisées, tels que les alliages de titane, de nickel ou d'autres métaux.
- ✚ **Les éprouvettes en plastique** : sont généralement fabriquées à partir de matériaux polymères rigides ou semi-rigides.

Voici quelques exemples de matériaux plastiques utilisés pour les éprouvettes d'essai de torsion :

- ✚ **Polycarbonate (PC)** : Le polycarbonate est un matériau plastique transparent, rigide et résistant à l'impact.

- ✚ **Polypropylène (PP)** : Le polypropylène est un matériau plastique courant, léger et résistant à de nombreux produits chimiques
- ✚ **Polyamide (PA)** : Les polyamides, tels que le nylon, sont des matériaux plastiques résistants et durables.

☞ Remarque :

Il convient de noter que les matériaux utilisés pour les éprouvettes dépendent des caractéristiques recherchées, des normes applicables et des propriétés du matériau à tester. Les éprouvettes sont généralement fabriquées avec soin pour garantir une reproductibilité et une précision optimales des résultats d'essai en torsion.

Il est important de choisir le matériau de l'éprouvette en fonction des propriétés spécifiques recherchées, des conditions de l'essai et des caractéristiques du matériau plastique à tester. Les éprouvettes en plastique utilisées pour les essais de torsion sont conçues de manière à résister à la déformation et à la rupture lorsqu'elles sont soumises à une torsion.

6 Zone de montage des jauges

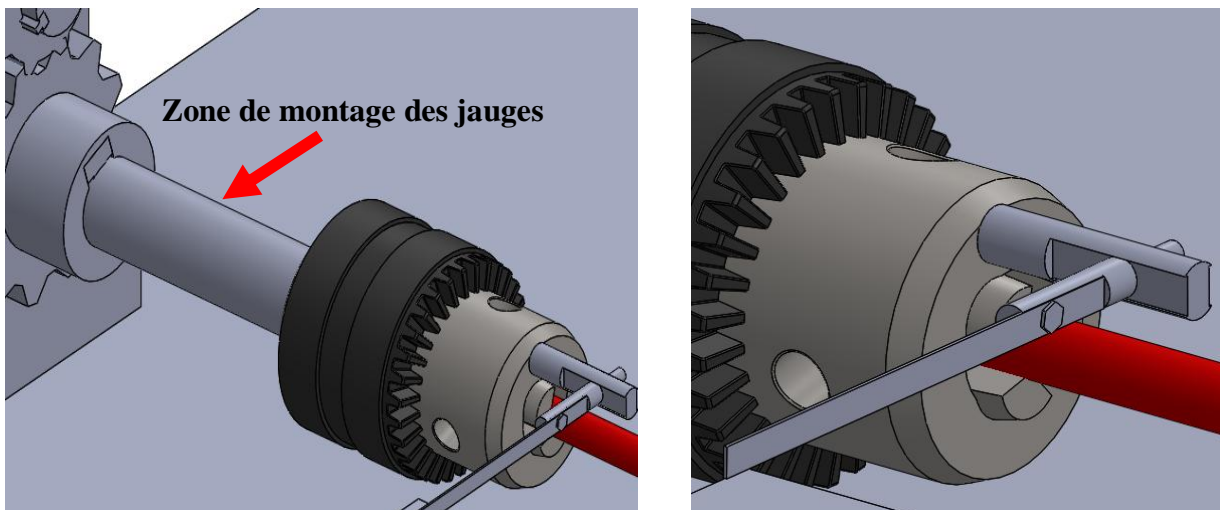


Figure II 3 : L'élément capteur où seront positionnées les jauges

7 Conclusion

La conception d'un banc d'essai en torsion est une étape cruciale pour évaluer la résistance à la torsion des matériaux et des composants. Il implique la création d'un dispositif capable d'appliquer le chargement en torsion et la capacité de mesurer correctement à l'aide de capteurs précis les déformations et les angles de torsion.

Chapitre III

Rappels sur le principe des jauges de contrainte et de l'étalonnage

1 Introduction

Le concept de "jauge de contraintes" est une notion importante dans le domaine de la mécanique des matériaux et de l'ingénierie. Il s'agit d'un outil fondamental utilisé pour évaluer et mesurer la réponse des matériaux aux charges et aux contraintes auxquelles ils sont soumis. Les jauges de contrainte, également connues sous le nom de jauges de contrainte électriques, jouent un rôle crucial dans la conception, la surveillance et la maintenance de nombreuses structures et machines.

Les jauges de contrainte sont des dispositifs de petite taille, souvent sous forme de fils minces ou de rubans, qui sont attachés à la surface d'une structure ou d'un composant. Lorsque la structure est soumise à des contraintes mécaniques, telles que la flexion, la traction ou la torsion, les jauges de contrainte subissent également des déformations. Ces déformations provoquent un changement de résistance électrique dans la jauge, ce qui peut être mesuré avec précision. En utilisant les données de résistance électrique, il est possible de calculer les contraintes et les déformations subies par le matériau, fournissant ainsi des informations essentielles sur sa performance et sa résistance.

2 La jauge

Une jauge est un instrument de mesure utilisé pour évaluer ou vérifier les dimensions, les propriétés ou les caractéristiques d'un objet. Elle est utilisée dans divers domaines, notamment l'ingénierie, la fabrication, l'automobile, l'aéronautique et bien d'autres.

2.1 Constitution de la jauge

La jauge est constituée, sous sa forme la plus simple, par deux fils très fins reliés à une extrémité et collés sur un mince support.

La technologie des circuits imprimés permet de réaliser des jauges dites « à trame pelliculaire » dont l'épaisseur est inférieure à 20 μm . La jauge est posée de façon que la position des fils soit parallèle à la déformation de la structure [6].

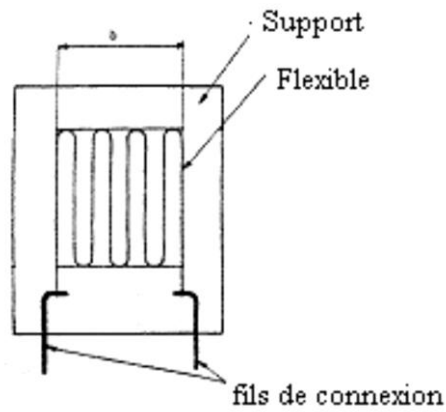


Figure III 1 : la jauge

La jauge collée sur la pièce à étudier est un capteur passif qui nécessite un circuit de conditionnement.

C'est la technique d'analyse expérimentale des contraintes la plus utilisée actuellement pour les raisons suivantes :

- Fiabilité des mesures
- Précision obtenue (1 $\mu\text{m/m}$)
- Simplicité de mise en œuvre
- Coût faible

L'utilisation des jauges se fait aussi bien en laboratoire qu'en chantier pour :

- États de contrainte statique et dynamique (basse fréquence)
- Concentration de contraintes, contraintes résiduelles, contraintes thermiques
- Fabrication de capteurs divers et de pseudo capteurs
- Techniques connexes comme les indicateurs de propagation de fissure

2.2 Les types courants de jauges de contraintes

2.2.1 Jauges simple unidirectionnelle

- **Utilisation :** La jauge simple unidirectionnelle mesure la déformation dans une seule direction, généralement dans la direction principale de la contrainte. Elle est idéale pour des applications où la contrainte ou la déformation est principalement uniaxiale.
- **Exemple d'application :** Les jauges simples sont utilisées pour fabriquer différents capteurs ; elles sont utilisées aussi pour l'analyse des contraintes dans les structures.

2.2.2 Jauge double

- **Utilisation :** La jauge double est composée de deux jauges simples montées à 90 degrés l'une de l'autre. Elles permettent de mesurer la déformation dans deux directions perpendiculaires, ce qui est utile pour des applications où les contraintes sont multidirectionnelles ou inconnues.

2.2.3 Jauge Rosette

- **Utilisation :** Les rosettes sont des ensembles de trois jauges simples montées à des angles connus les unes par rapport aux autres (généralement 0° , 45° et 90°). Elles permettent de mesurer la déformation dans trois directions différentes, ce qui est essentiel pour déterminer la contrainte totale dans un matériau tridimensionnel.
- **Exemple d'application :** Analyse des contraintes dans des composants complexes, comme les pièces aéronautiques ou les structures de génie civil soumises à des charges variées et inconnues dans l'espace.

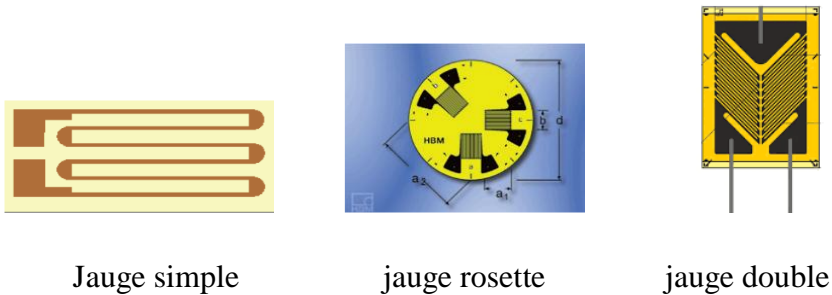


Figure III 2: Les types des jauges de contrainte.

Exemple d'application

Un banc d'essai de flexion a été réalisé par des étudiants au sein de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, laboratoire de résistance des matériaux. [1]

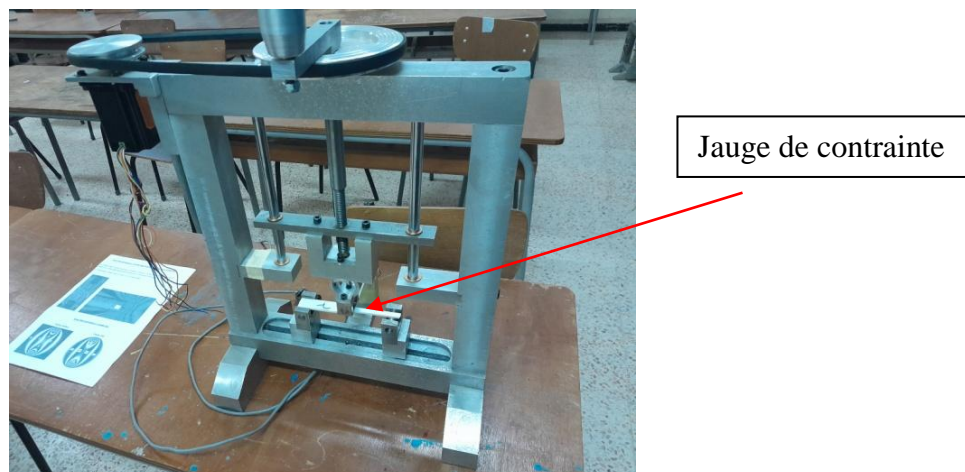


Figure III 3: Le Banc d'essai de flexion

2.3 Capteur à jauges d'extensomètre

- Capteur à jauges d'extensomètre

a. Principe

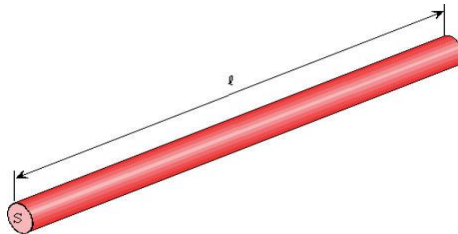
La résistance d'un conducteur est donnée par la relation.

$$R = \frac{\rho \times l}{S}$$

ρ : Résistivité

l : longueur m

S : surface m²



La déformation du conducteur (jauge) modifie la longueur l entraînant une variation de la

Résistance **R**.

La relation générale pour les jauges est

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta l}{l}$$

K est le facteur de jauge dont la valeur est voisine **de 2**.

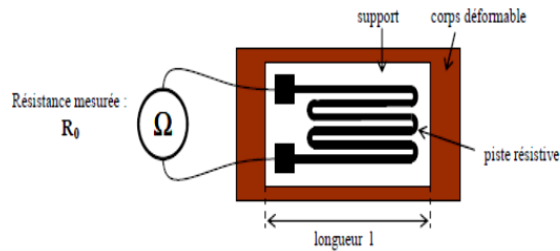
C'est le **facteur de jauge** déterminé par le constructeur en fonction du matériau utilisé pour la conception de cette jauge.

K = 2 Constantan, Nickel- Chrome

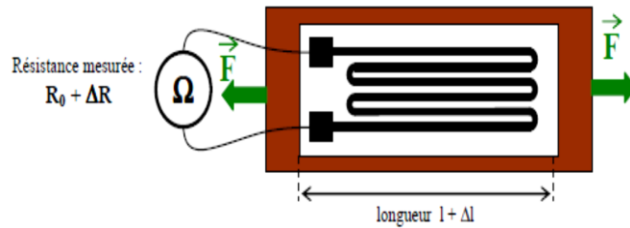
2.4 Fonctionnement d'une jauge simple

La jauge est constituée d'une piste résistive collée sur un support en résine. Le tout est collé sur le corps dont on veut mesurer la déformation [7].

a. Corps au repos (pas d'allongement)



b. Corps ayant subi un étirement (effort de traction)



Remarque :

Dans le cas d'une compression, la résistance de la jauge serait $R_0 - \Delta R$.

2.5 Constitution de la jauge

La jauge est constituée de :

- **le corps d'épreuve** : c'est l'élément soumis aux déformations,
- **la colle** : elle permet de maintenir la jauge sur la pièce à mesurer,
- **le support isolant** : il isole le matériel conducteur de la pièce à mesurer,
- **le matériel conducteur** : c'est la trame dont l'impédance varie en fonction de l'élongation.

2.6 Conditionnement des jauges (LE PONT DE WHEATSTONE)

La jauge étant un composant purement résistif, il faut l'associer à un circuit électrique pour obtenir une tension image de la déformation. Le circuit souvent utilisé est appelé "pont de Wheatstone". Il est ici constitué d'un générateur de tension associé à 4 résistances dont une est la jauge (*Figure III 4*) [7].

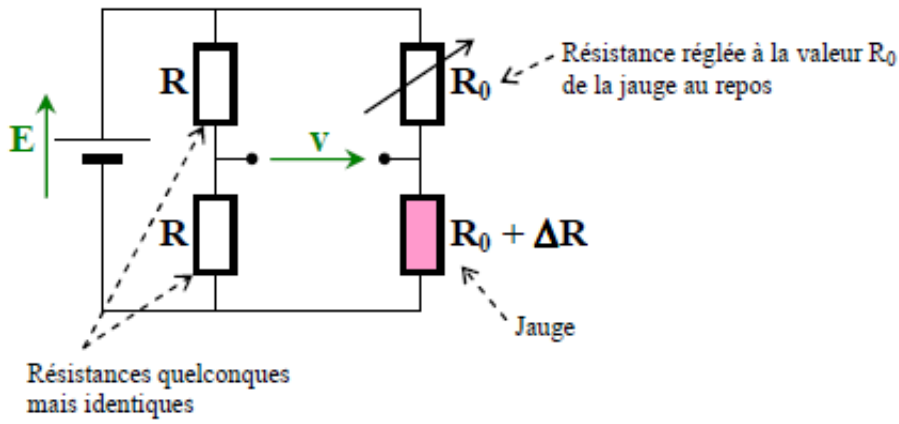


Figure III 4 : Pont de Wheatstone

2.6.1 Le montage quart de pont

Dans le montage en quart de pont, on ne dispose **que d'une jauge** ; trois résistances viennent en complément [8].

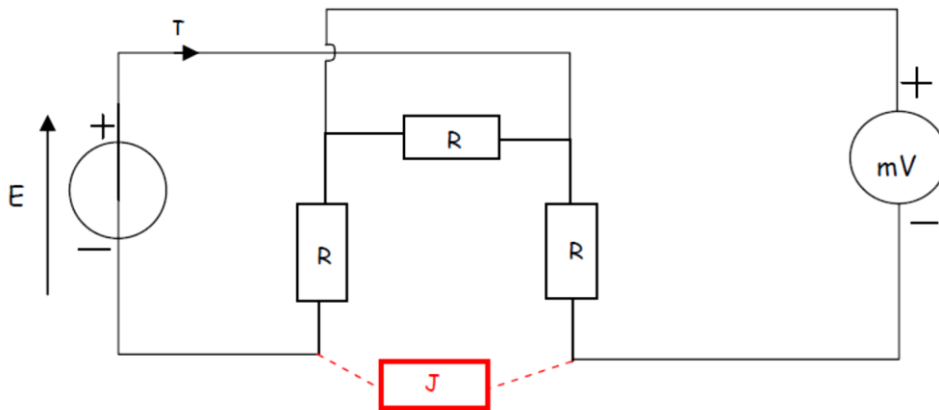


Figure III 5 : Le montage quart de pont

Ce montage est le plus simple et le moins cher, mais présente de nombreux inconvénients

La jauge étant éloignée des autres résistances, il faut prendre en compte la résistance des fils de liaison. Celle-ci dépend de la température ambiante, d'où une mesure imprécise.

Le signal sortant de la jauge est détérioré à cause de la résistance des fils.

2.6.2 Le montage demi pont

Pont de Wheatstone composé de **2 jauges** et 2 résistances. Il est plus sensible (2 fois plus) que le montage en quart de pont, par contre il est plus cher [8].

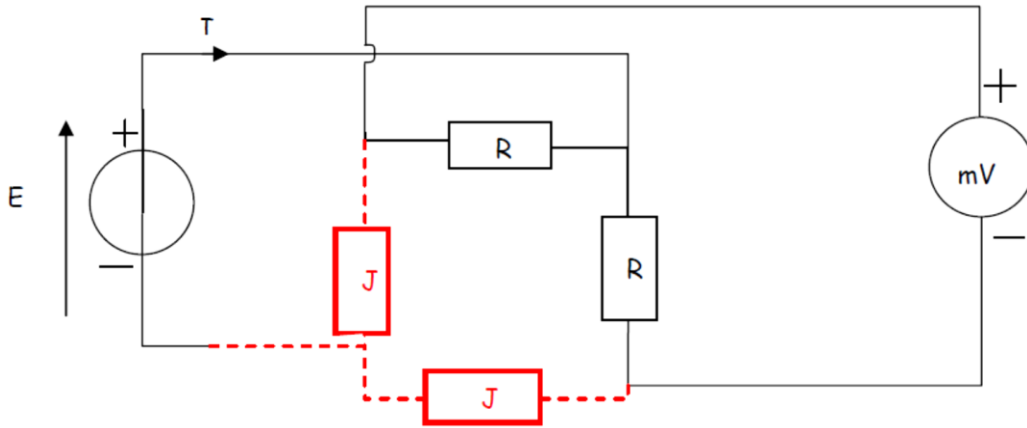


Figure III 6 : Le montage demi pont

2.6.3 Le pont complet

Le pont complet de Wheatstone est composé de **4 jauges** placées sur le corps d'épreuve. Il est plus précis que le montage en demi pont et encore plus que celui en quart de pont (4 fois plus sensible). Mais c'est le plus cher des 3 montages.

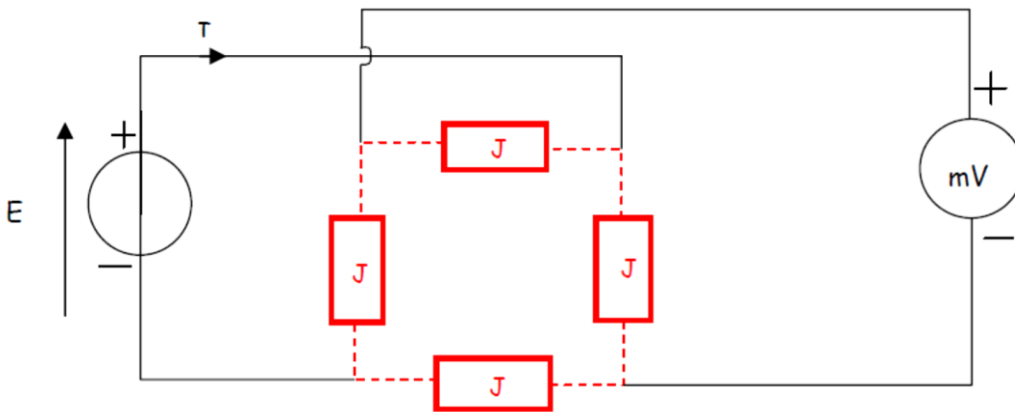


Figure III 7: Le pont complet

2.7 Formules utiles pour le calcul des capteurs extensométriques.

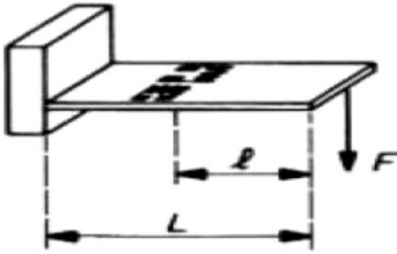
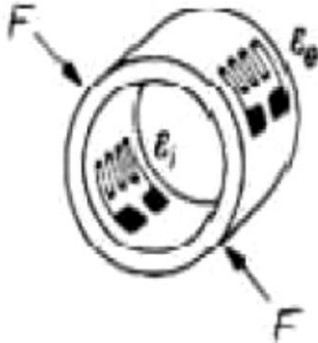

Type de corps d'épreuve	Schémas Correspondants.	Equation de la déformation de chaque jauge
Lame en flexion		$\varepsilon_1 = \frac{6F.l}{E.a.t^2}$ $\varepsilon_2 = -\nu\varepsilon_1$ $\omega_1 = 0.16 \frac{t}{l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ <p>ω_1 : Première fréquence propre. ρ : Masse volumique.</p>
Anneau dynamométrique En traction ou en Compression		$\varepsilon_e = \frac{3F.R}{E.a.t^2}$ $\varepsilon_i = -\varepsilon_e$ $f = 1.79 \frac{F.R^3}{E.a.t^3}$ <p>ε_e : Déformation de la jauge extérieur. ε_i : Déformation de la jauge intérieure. R : Rayon moyen. f : Flèche totale (rapprochement sur le diamètre)</p>
Cylindre sous Pression		$\varepsilon_1 = \frac{P.R}{E.t} \left(\frac{L}{L+2R} - \frac{\nu}{2} \right)$ $\varepsilon_2 = \frac{P.R}{E.t} \left(\frac{1}{2} - \nu \frac{L}{L+2R} \right)$ <p>ε_1 : Déformation de la jauge latérale. ε_2 : Déformation de la jauge longitudinale. P : pression</p>

Tableau III 1 : Formules utiles pour le calcul des capteurs extensométriques [1].

2.8 L'installation des jauges sur l'élément capteur

2.8.1 Essai de traction

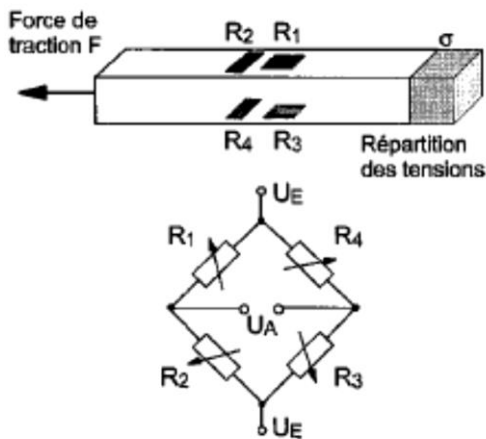
La traction et la pression constituent les types de contraintes les plus simples. Un état de tension mécanique homogène s'établit dans l'échantillon de traction. Les efforts superficiels, mesurés avec des extensomètres, sont identiques aux efforts internes.

L'effort de traction est calculé à partir de la force de traction (force normale) **F** et de la surface de la section **A**

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

D'après la loi de Hooke, la tension et l'allongement sont liés par le module d'élasticité **E** :

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



Pour la détermination expérimentale de l'effort de traction, l'échantillon de traction est muni à l'avant et à l'arrière de respectivement deux extensomètres, un extensomètre étant placé dans le sens de la longueur et l'autre dans le sens de la largeur. Les extensomètres d'un côté constituent une branche du pont. Ce dispositif offre les avantages suivants. La prise en compte de l'allongement dans le sens de la longueur et de la largeur accroît la sensibilité.

Compte tenu de la disposition sur les faces opposées, les efforts de torsion superposés n'ont aucune influence sur la mesure. Le signal de sortie U_A du pont de mesure est référencé à la tension d'alimentation U_E .

Avec la sensibilité k de l'extensomètre, l'allongement ε du pont intégral peut être calculé à l'aide de la formule suivante.

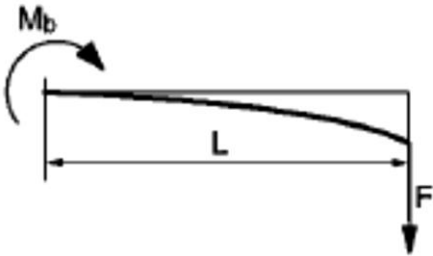
$$\varepsilon = \frac{1}{2(1 + \nu)} \cdot \frac{4}{K} \cdot \frac{U_A}{U_E}$$

Avec μ étant l'indice de contraction transversale du matériau considéré [9].

2.8.2 Essai de flexion

L'effort à la surface de la poutre en flexion peut être déterminé arithmétiquement à partir du moment de flexion M_b et du moment résistant W_y .

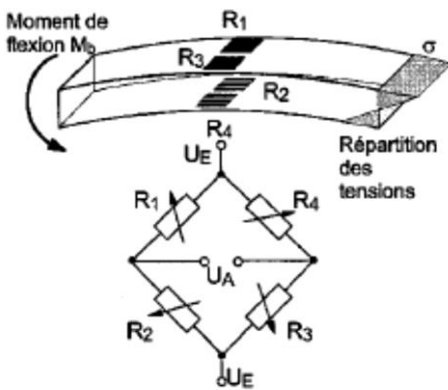
$$\sigma = \frac{M_b}{W_y}$$



Le moment de flexion calculé pour la poutre en porte à faux est avec F étant la charge et L la distance entre le point d'application de la charge et le point de mesure.

Le moment résistant pour la section rectangulaire de largeur b et de hauteur h est

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6}$$



Pour la section rectangulaire de largeur b et de hauteur h est pour la détermination expérimentale des efforts de flexion, la poutre en flexion est munie de deux extensomètres côté compression et côté traction. Les extensomètres d'un côté sont disposés en diagonale dans le montage en pont. Ainsi, tous les changements de résistance s'additionnent et on obtient une sensibilité élevée.

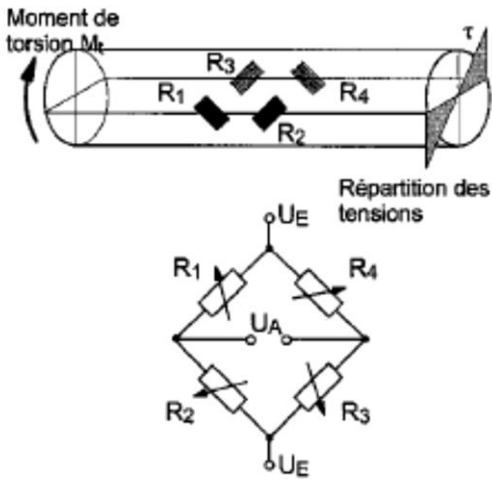
D'après la loi de Hooke, la tension recherchée est obtenue avec le module d'élasticité

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

$$\varepsilon = \frac{1}{2(1 + \nu)} \cdot \frac{4}{K} \cdot \frac{U_A}{U_E}$$

2.8.3 Essai de torsion

La mesure des moments de torsion constitue un autre domaine d'applications des extensomètres. Le moment de rotation dans l'arbre est calculé à partir de la contrainte de cisaillement mesurée.



Pour la détermination expérimentale de l'effort de torsion, la barre en torsion est munie de quatre extensomètres disposés suivant un angle de 45° . Les extensomètres sont ainsi placés dans la direction des principales tensions normales, donc dans celle du plus fort allongement. Les extensomètres de même allongement sont disposés en diagonale dans le montage en pont. Ainsi, tous les changements de résistance s'additionnent et on obtient une sensibilité élevée.

L'allongement ε peut être calculé à l'aide de la formule suivante.

$$\varepsilon = \frac{1}{K} * \frac{U_A}{U_E}$$

La relation suivante existe entre l'allongement et le glissement avec une contrainte de cisaillement pur : $\gamma = 2\varepsilon$

D'après la loi de Hooke, la contrainte de cisaillement recherchée est obtenue avec le module de glissement G : $\pi = \gamma \cdot G = 2\varepsilon \cdot G$.

La relation suivante existe entre la contrainte de cisaillement τ à la surface de la barre en torsion et le moment de torsion M_t : $M_t = \pi \cdot W_P$

Avec W_P étant le moment résistant polaire pour la section circulaire.

$$W_P = \frac{d^3 \cdot \pi}{16}$$

Le moment de torsion peut ainsi être calculé.

$$M_t = \frac{2}{K} \cdot G \cdot W_P \cdot \frac{U_A}{U_E}$$

2.9 Collage des jauges

Le collage est une étape importante pour le bon déroulement d'un essai et la précision des mesures. Une procédure devra donc être suivie par les techniciens ; cela permettra que les essais réalisés soient réitérables [1].

On pourra ainsi obtenir les mêmes résultats indépendamment du temps et des conditions climatiques extérieures.

Une des règles à respecter pour le collage des jauges est la propreté du lieu de collage.

La procédure à suivre est la suivante :

1. Choisir la jauge
2. Polir le lieu d'application de la jauge
3. Marquer la direction de la jauge
4. Nettoyer vivement le lieu d'application
5. Appliquer la colle sur la pièce
6. Positionner la jauge

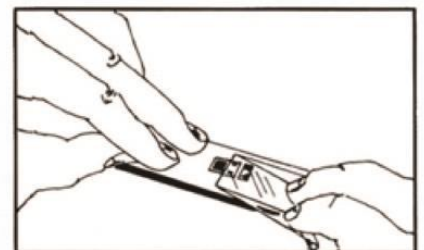
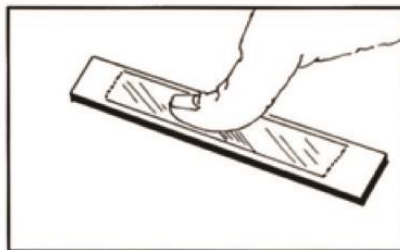
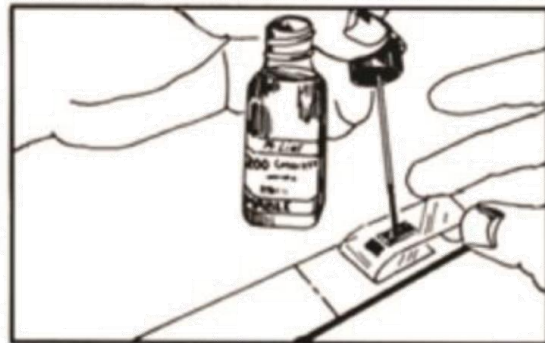


Figure III 8 : Les étapes du collage des jauges

2.10 Domaine d'application

Le collage de jauges se fait d'une manière générale sur tout matériau relativement homogène (acier, béton, bois, composites, aluminium, etc.)

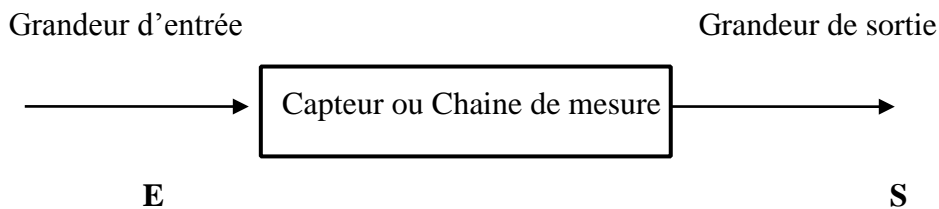
Exemples d'application

- vérification en fatigue
- suivi de structures ;
- Détermination du diagramme des déformations ;
- Détermination du module de déformation d'une éprouvette de béton ou de métal sous presse ;
- Vérification du fonctionnement de sections critiques (sous charges contrôlées ou sous trafic) ;
- Libération de contrainte sur métal et sur béton.
- Détection de fissures sur métal et sur béton.

3 L'étalonnage

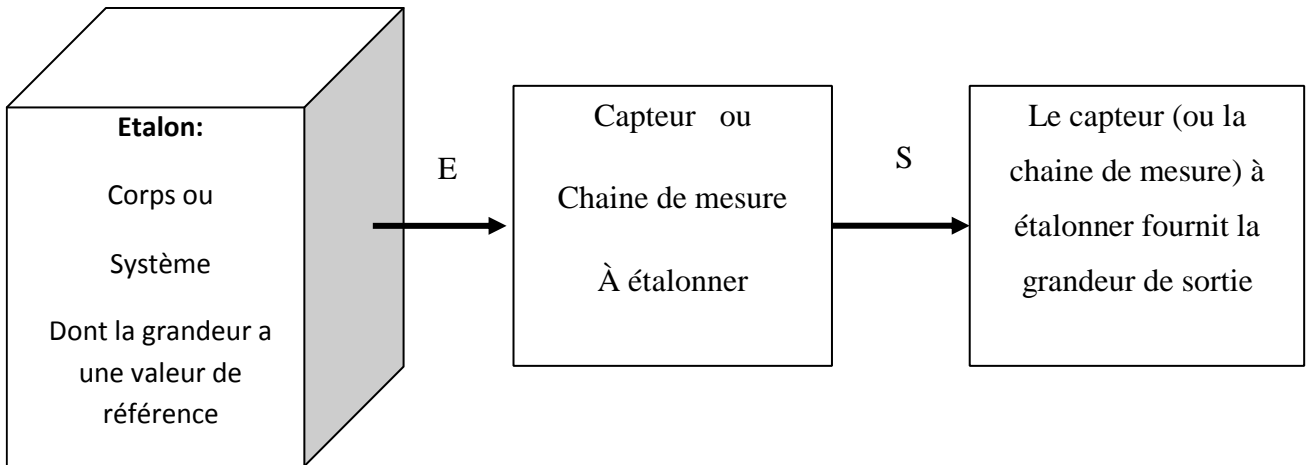
C'est établir une relation entre les grandeurs d'entrée et de sortie d'un capteur ou d'une chaîne de mesure.

L'étalonnage doit permettre à partir de la grandeur de sortie, de fournir la valeur de la grandeur d'entrée assortie d'une incertitude-type [10].

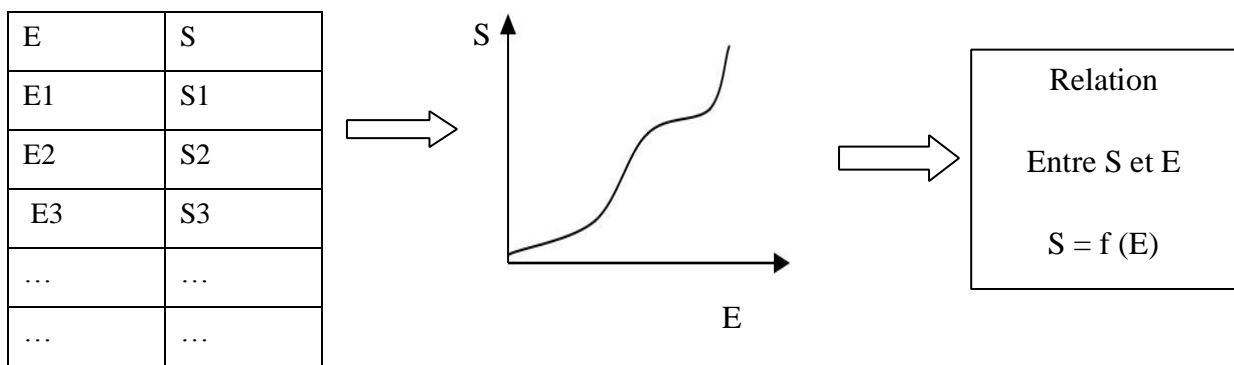


3.1 Comment réaliser un étalonnage

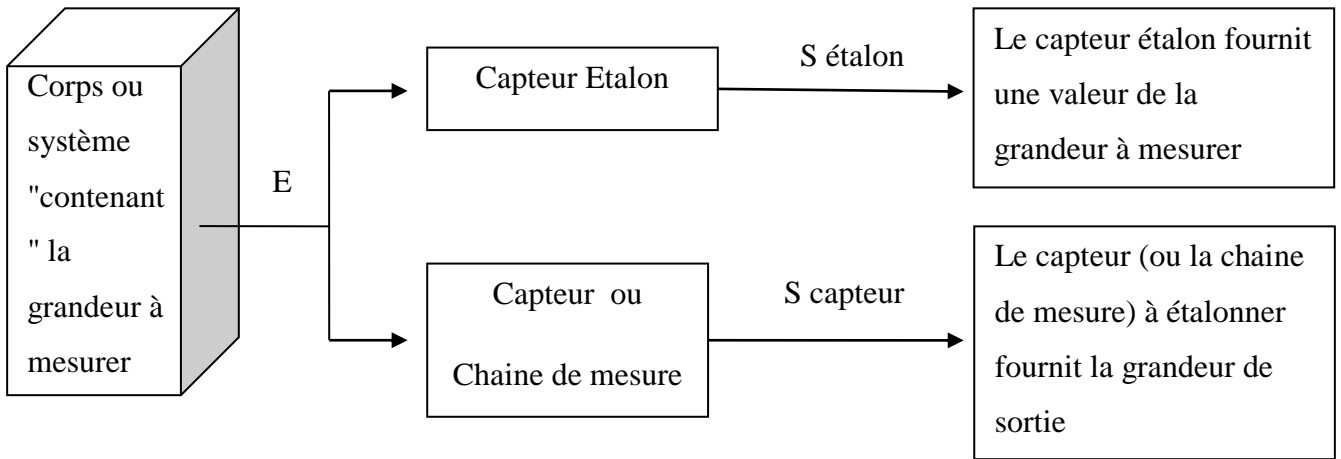
Utilisation d'un capteur étalon



On fait varier la grandeur à mesurer. On a ainsi plusieurs valeurs de l'entrée **E** et plusieurs valeurs de sortie **S**. On peut en déduire la relation **entre S et E**.

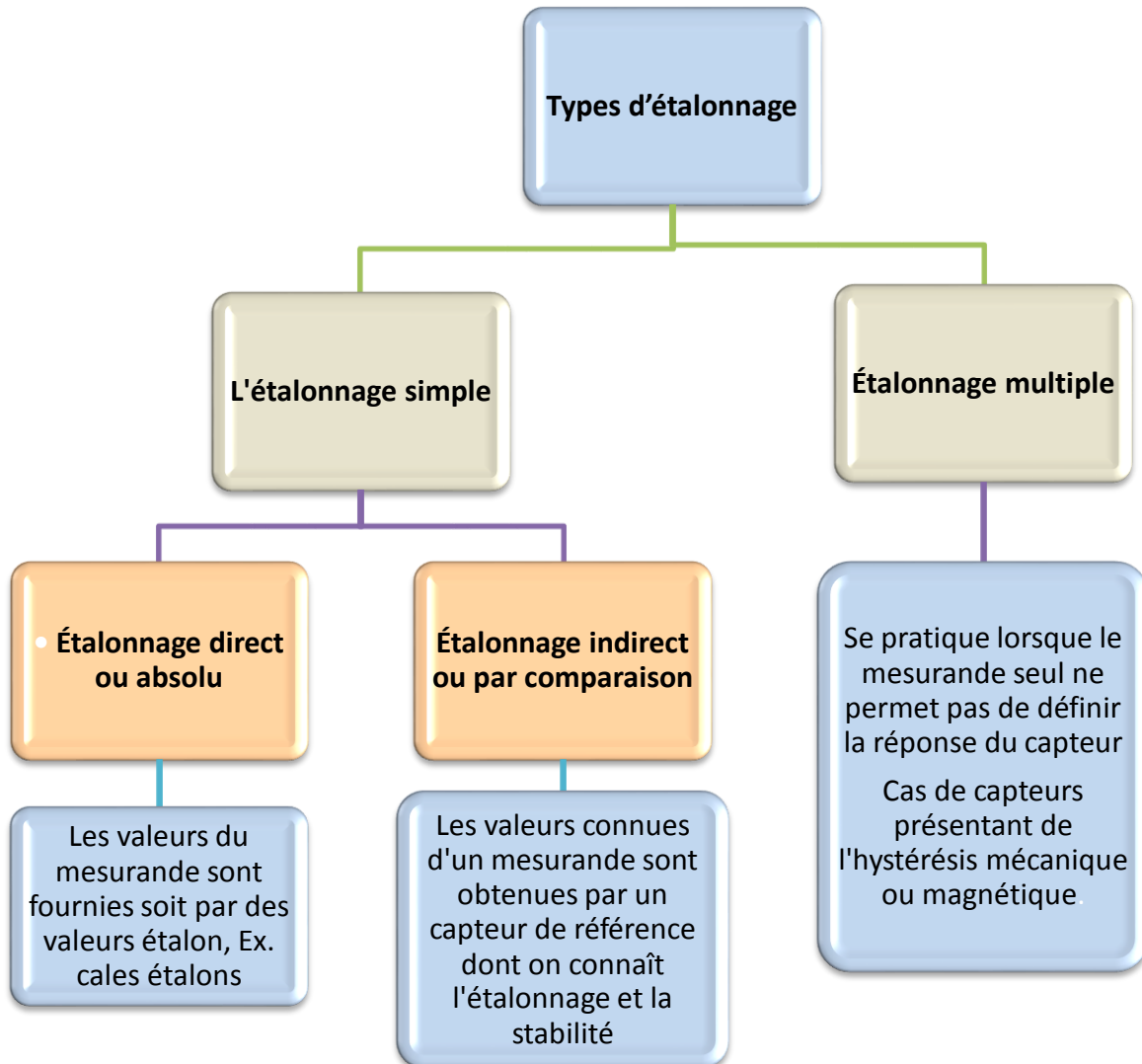


A partir de la valeur de **S** en sortie du capteur (ou de la chaîne de mesure), la relation permet de donner la valeur de **E** en entrée du capteur. La valeur de **S** doit être assortie d'une incertitude type.

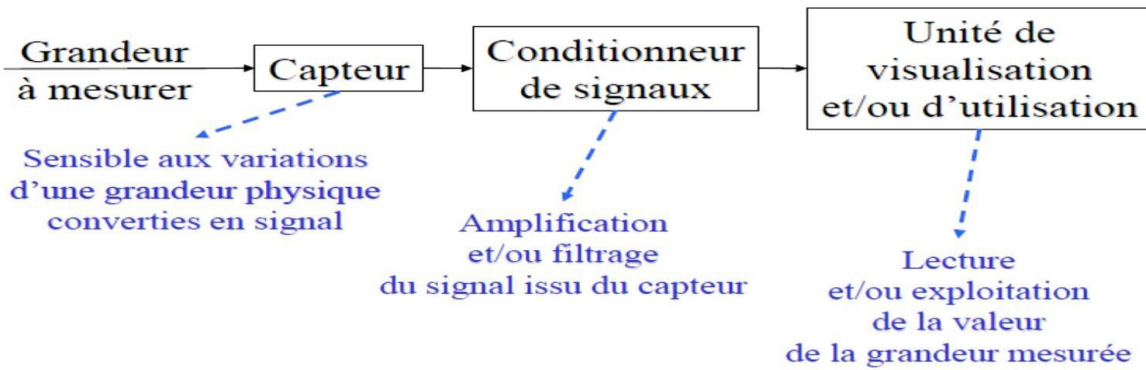


Remarque :
 Le capteur étalon et le capteur (ou la chaîne de mesure) à étalonner sont soumis à la même grandeur à mesurer.

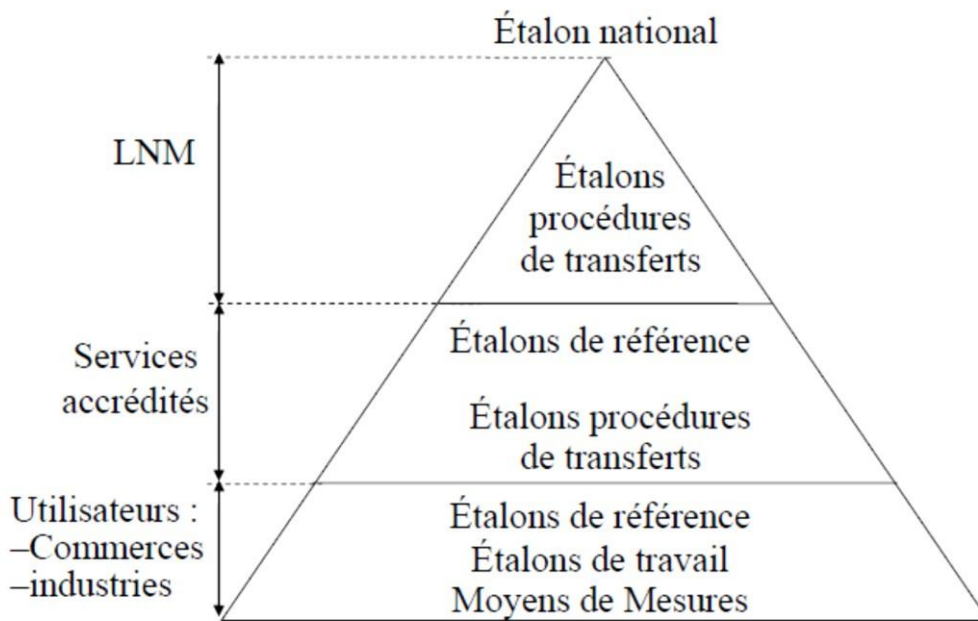
3.2 Types d'étalonnage



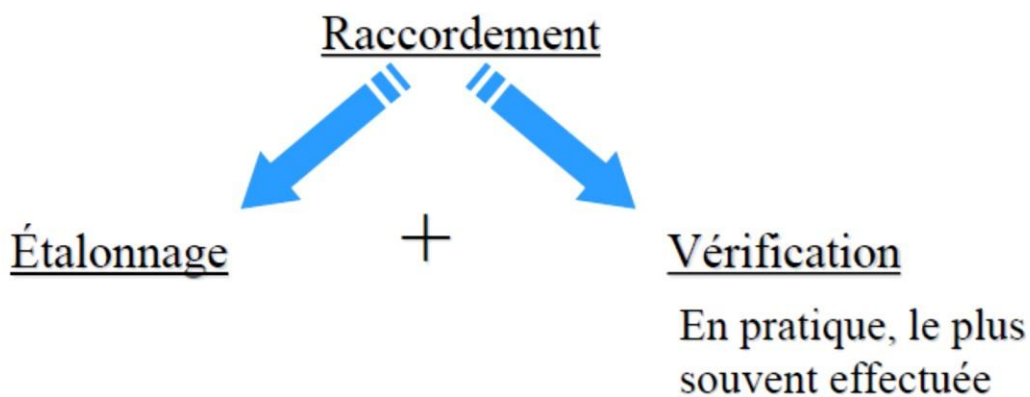
3.3 Principe



a. Organisation pyramidale de la chaîne d'étalonnage



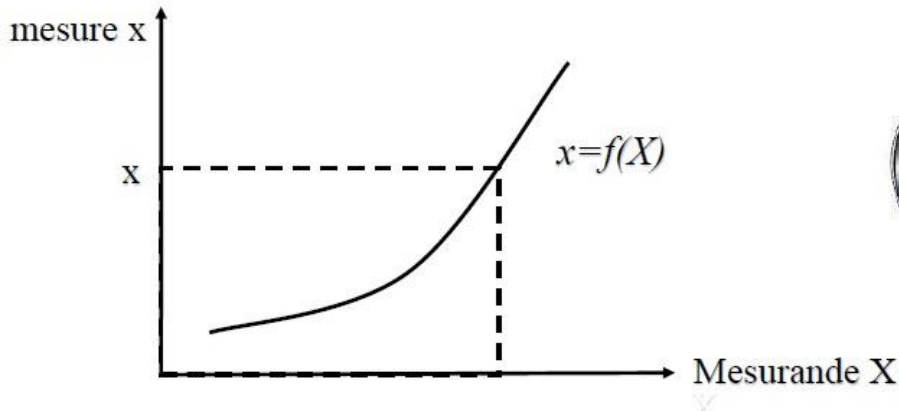
b. Certification Qualité



Traçabilité de la chaîne d'étalonnage = Preuve du raccordement aux références nationales [11].

c. Exemple d'étalonnage (Manomètre à tube de Bourdon)

G étalon (mBar)	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
G mesuré (mBar)	0	100	220	320	410	490	580	670	780	900	1000



• Sensibilité (s)

- $s = \frac{dx}{dX} \Rightarrow$
- Si $f(x)$ est linéaire, $s=\text{constante}$, $x=sX+x_0$
 - Si x et X de même nature, s est sans dimension ; on parle alors de gain
- $B=20\log(s)$

• Classe de précision

$$\text{Classe}(\%) = 100 * \frac{\text{+grande erreur possible}}{\text{étendue de mesure}}$$

• Résolution

(Cas d'un appareil de mesure numérique)

$$\text{Résolution} = \frac{\text{étendue de mesure}}{\text{nb de points de mesure}}$$

• Finesse

Incidence de l'instrument de mesure sur le phénomène mesuré, d'autant plus grande que la perturbation est faible

- **Rapidité - Temps de réponse**

Aptitude de l'instrument à suivre les variations de la grandeur à mesurer

- **Temps de réponse à la montée t_m**

Temps nécessaire pour que la mesure croisse de la valeur initiale jusque 90% de la variation totale de la grandeur à mesurer

- **Répétabilité**

Etroitesse de l'accord entre les résultats des mesurages successifs du même mesurande, mesurages effectués dans la totalité des mêmes conditions de mesure.

d. Les différentes erreurs possibles

1. **Les erreurs systématiques** : Ce sont des erreurs reproductibles reliées à leur cause par une loi physique, donc susceptible d'être éliminées par des corrections convenables.
2. **Les erreurs aléatoires** : Ce sont des erreurs, non reproductibles, qui obéissent à des lois Statistiques.

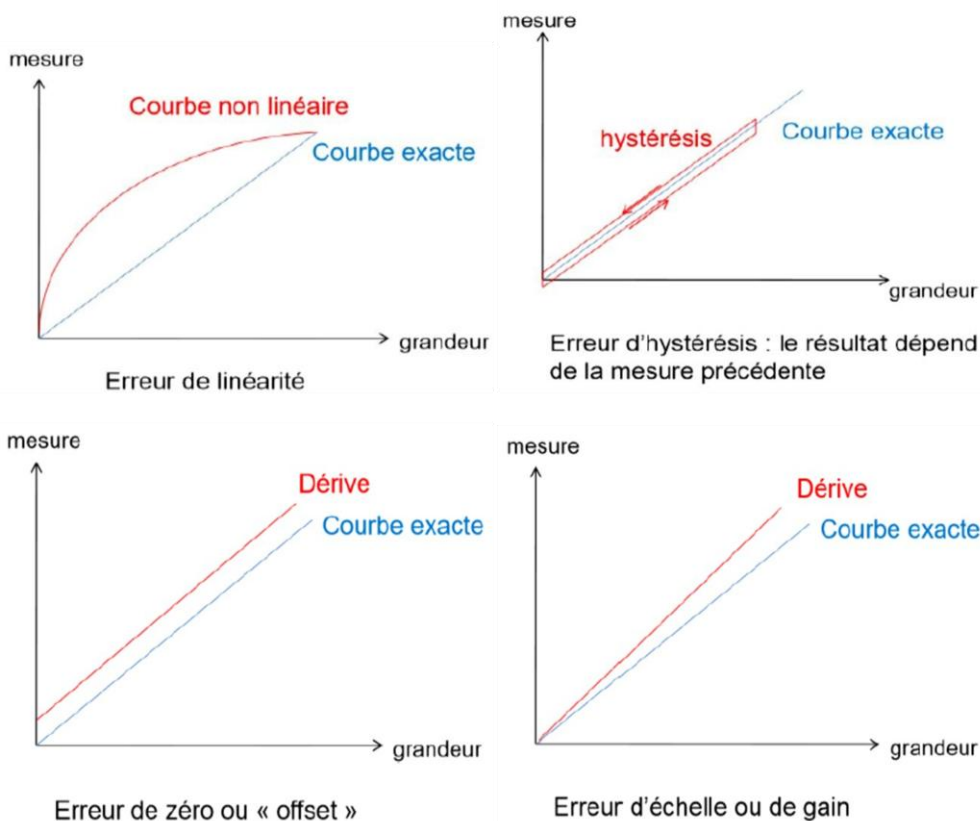


Figure III 9 : Erreurs d'un capteur

3.4 Exemple d'étalonnage

Exemple 1 : Etalon Résistance

L'objectif est d'établir une relation entre la température (exprimée en °C) et la résistance (en W) en utilisant un capteur de résistance et un capteur de température de référence.

Lors de l'utilisation de ce système, nous avons déterminé la résistance à différentes températures, pas la température ambiante de -50°C (obtenue à la bombe frigorifique), la température du réfrigérateur (5°C), etc. congélateur (-6°C).

Grace à ces données, il est possible de tracer une courbe de tendance et de déterminer son équation.

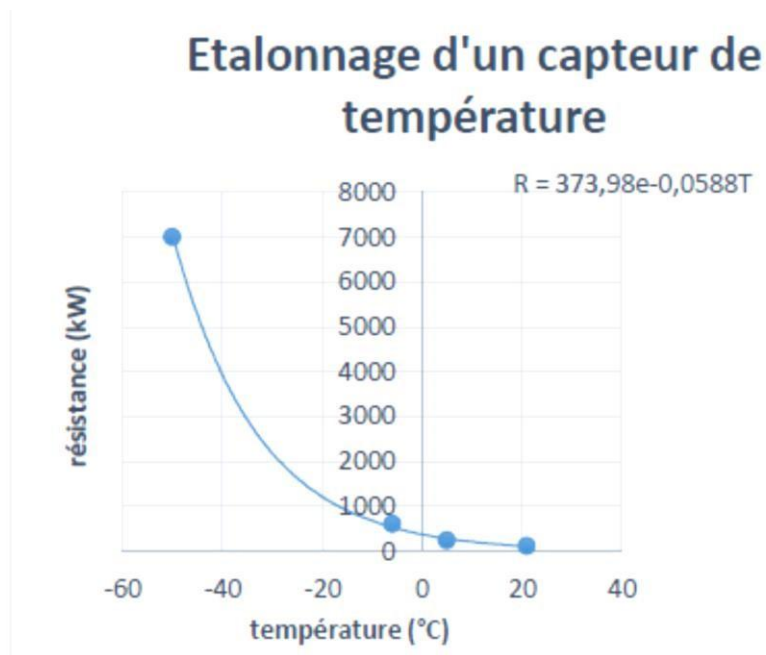


Figure III 10 : Etalonnage d'un capteur

Température en °C	Résistance en KΩ
21	115
5	236
-6	490
-50	700

Exemple 2 : Etalonnage en tension

T	U
22	0.25
-14	1.3
0	0.71
10	0.4
-10	1
-50	3.7

La tension U en fonction de la température T

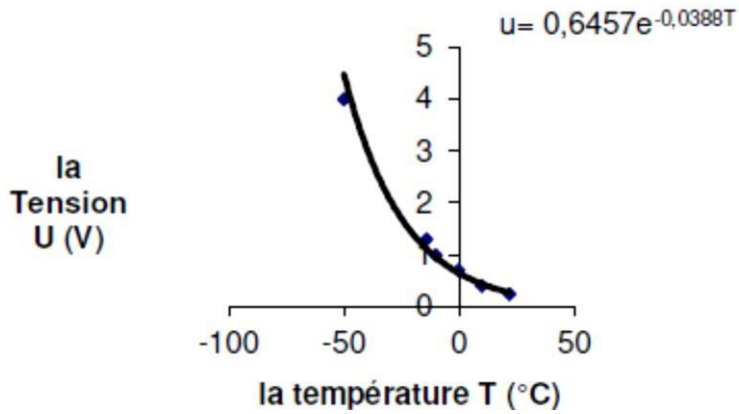


Figure III 11 : Exemple d'étalonnage en tension

4 Conclusion

Le principe de la jauge de contrainte et la maîtrise de son étalonnage est fondamental pour garantir l'exactitude des mesures de contrainte et de déformation dans diverses applications scientifiques et industrielles.

Chapitre IV

Réalisation du capteur de torsion

1 Introduction :

Du chapitre décrivant un projet qui implique la conception de pièces mécaniques, des parties électroniques et des tests de validation sur un banc d'essai.

Dans le contexte de ce projet, " Capteur de torsion" pourrait faire référence à une mesure ou une analyse des forces de torsion appliquées sur certaines pièces mécaniques ou composantes du banc d'essai. Cela pourrait être important pour comprendre la réponse du système mécanique lorsqu'il est soumis à des charges de torsion, et pour s'assurer que les pièces conçues sont adaptées à leur utilisation prévue.

Le passage que vous avez partagé suggère que la " capteur de torsion" peut faire partie de la partie Hardware du projet, qui concerne l'aspect électronique, y compris le circuit de commande du moteur pas à pas, ainsi que les capteurs et les mesures. Cela pourrait signifier qu'un capteur de torsion est utilisé pour mesurer les forces de torsion appliquées sur le banc d'essai ou les pièces mécaniques à tester.

2 La réalisation

Les pièces sont réalisées au niveaux du hall technologie de Oued-Aissi, l'usinage par

Enlèvement de matière est le moyen le plus fiable pour obtenir des pièces de précision, à partir des pièces moulées. Les principaux modes d'usinage utilisés pour la mise en forme sont :

3 Usinage de l'élément capteur

Étape 1: Pour le découpage du brut des pièces prismatiques ou cylindriques barre d'essai en acier $d=20\text{mm}$ et $L=100\text{mm}$, nous avons utilisé une scie mécanique.



Figure IV 1 : Scie mécanique

Étape 2 : Utiliser du papier de verre pour enlever les égratignures et obtenir une surface lisse.



Figure IV 2 : Banc d'essai et papier de verre

Étape 3 : Le tournage est un procédé d'usinage par enlèvement de copeaux qui consiste en l'obtention de pièces de formes cylindriques ou coniques.



Figure IV 3 : Machine de tournage



La barre d'essai

Figure IV 4 : Montage de la barre d'essai dans le mandrin

Étape 5 : La fraiseuse (verticale) est particulièrement adaptée à l'usinage des pièces prismatiques. Sur ce poste on a utilisé différentes opérations (surfaçage, rainurage, centrage et perçage) pour la fabrication.



Figure IV 5 : Machine de fraisage

Usinage de la rainure de clavette :

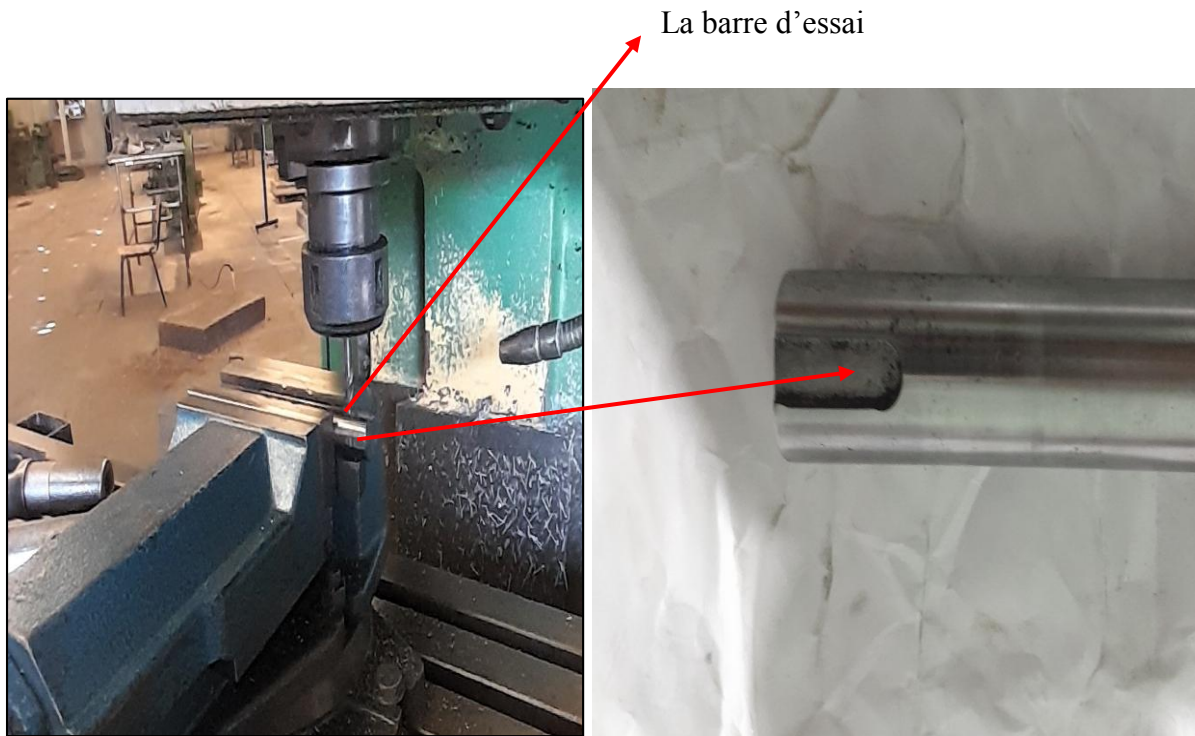


Figure IV 6 : Usinage de la rainure de clavette

Étape 6: Fixer fermement la barre à fileter dans un étau protégé par des mordaches, en appuyant fortement sur le port-filière commencé à visser lentement filetage de barre

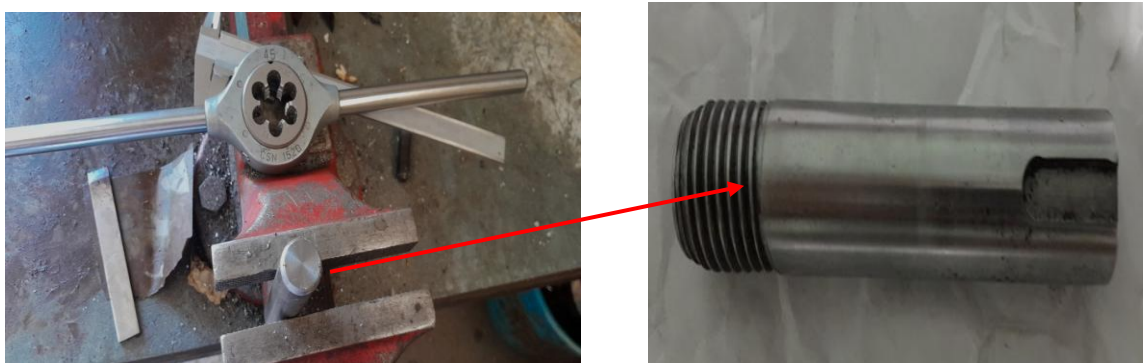


Figure IV 7 : filetage de la barre en acier (élément capture)

4 Les éléments nécessaires pour la réalisation du capteur

Dans notre cas on a utilisé un capteur à base de jauges de contraintes positionnée à 45° :



Figure IV 8 : Les constituons pour fabriquer le capteur

a. Le collage des jauges

Est une étape importante, il faut respecter le point suivant.

1. **Préparation de l'état de surface** : faire un nettoyage de la surface par l'alcool.
2. **préparation de la jauge** : on dessine un carré et à l'intérieur ligne 45°; et scotcher le jauge, fait parallèle avec ligne 45après (*Figure IV 12*) on scotcher de barre d'essai.

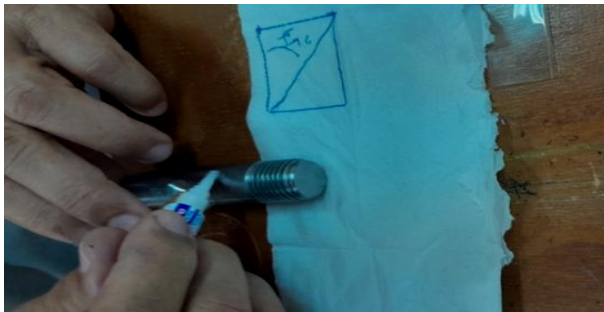


Figure IV 9: La jauge



Figure IV 10 : Position de jauge

3. collage des jauges à 45°



4. Raccordement du câble : soudage des câbles



Figure IV 11 : Collage des jauges

Contrôle électrique et visuel de l'équipement par multimètre.



Figure IV 12: Multimètre

Teste de bon fonctionnement avec l'amplificateur qu'avoit valeur



Figure IV 13 : Vérification du bon fonctionnement de la jauge

b. Fabrication de la fiche électrique et du câble

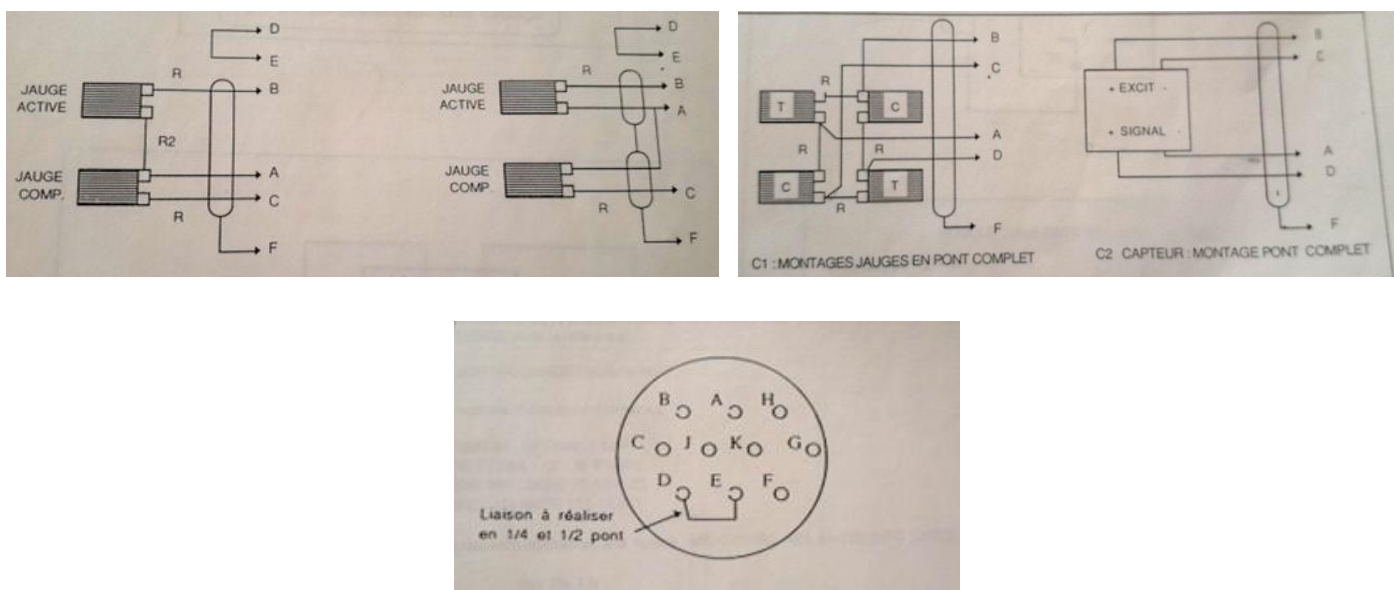


Figure IV 14 : Schéma de soudage de la fiche

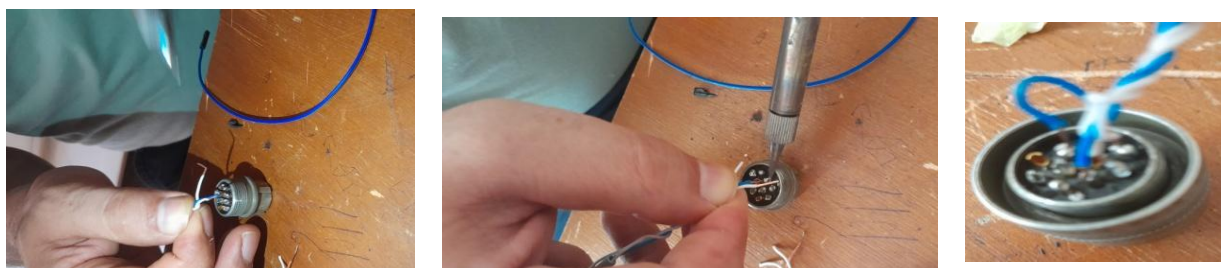


Figure IV 15 : Soudage de la fiche

c. Soudage câble contact avec capteur

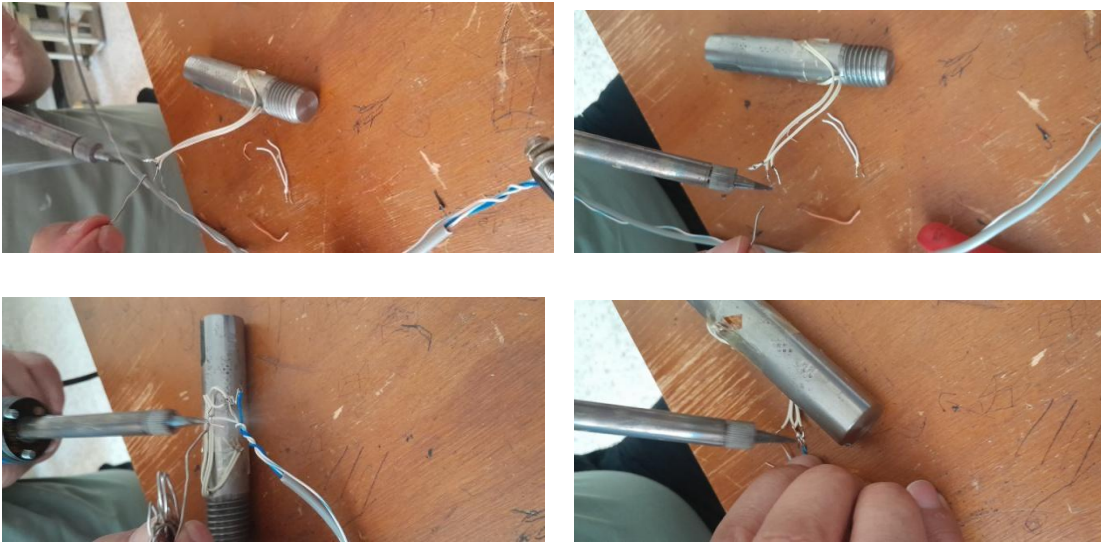


Figure IV 16 : Soudage et capteur de torsion

d. Capteur de torsion et câble :



Figure IV 17 : Capteur de torsion

5 Fonctionnement du capteur

Nous connectons les composants :

Étape 1 : maintien du capteur dans le mandrin

Étape2 : montage de l'écrou pour pouvoir appliquer la charge

Étape 3 : branchement sur la chaîne d'acquisition (*Figure IV 20*)



Figure IV 18: Constituants pour faire fonctionner un capteur en torsion

Lorsqu'on applique la force en torsion avec la clé Molette l'indicateur de contrainte signale la valeur correspondant à l'effort appliqué.



Figure IV 19 : Application de l'effort sur le capteur

Conclusion générale

La conception et la réalisation de ce projet a été pour moi une grande occasion de compléter ma formation. En effet plusieurs notions et techniques, acquises pendant notre formation, ont été mises en application pour mener à bien ce travail.

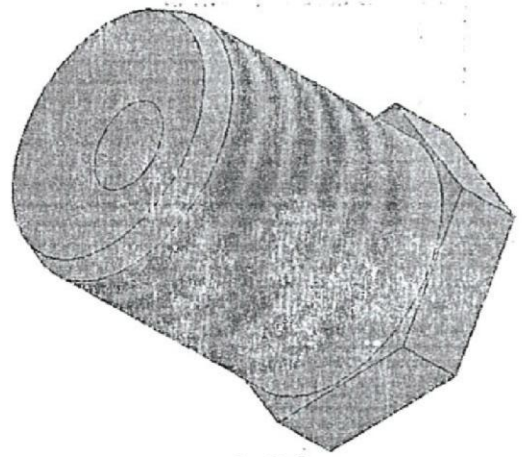
Le présent travail nous a donc permis d'élargir nos connaissances dans le domaine de la conception, de la fabrication et de la gestion d'un projet. Ainsi, à travers ce mémoire de fin d'études, nous avons pu constater la difficulté de mettre en œuvre les acquis théoriques en milieu industriel.

Nous avons mis en pratique les connaissances acquises dans les modules de résistance des matériaux et d'analyse expérimentale des contraintes.

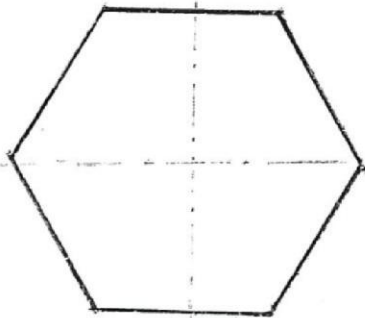
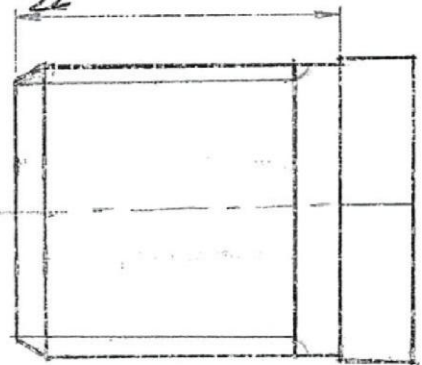
De plus, cette étude nous a permis de nous initier et de nous familiariser avec certains logiciels très utilisés dans l'industrie, tel que SOLIDWORKS pour la conception assistée par ordinateur.

Référence bibliographique

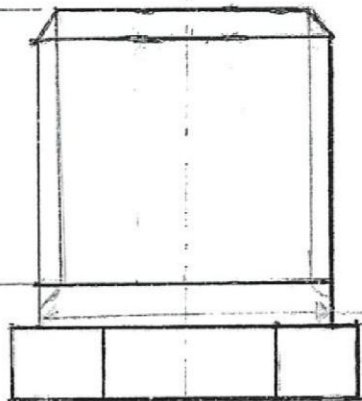
- [1] Ferhani Abdelhakim, Ounnas Yacine, Banc d'essai en flexion, TIZI-OUZOU: UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2019 – 2020
- [2] DEFROMERIE, A. B. M., ILHAM, S., LAROCHE, P., LARQUIER, M., & SKLADANOWSKI, M. REALISATION D'UN DISPOSITIF DE DESACCOUPEMENT SPATIAL A BASE D'ACTIONNEURS EN ALLIAGES A MEMOIRE DE FORME.
- [3] Bourahla, N. (2000). Résistance des matériaux de base. Université Saad Dahlab Blida, Edition GEOTEC.
- [4] J. Bailon et M. Dorlot, Des Matériaux, presses internationales polytechniques, 2000.
- [5] M. Béltruy, Méthodes de caractérisation mécanique des matériaux, 2006-2007
- [6] P. POULICHET, Cours sur l'électronique de conditionnement du capteur, paris: groupe ESIEE, Novembre 2006.
- [7] J. J. GOËR, Capteurs à jauges extensométriques, Technique de l'ingénieur, 1992.
- [8] BELKHEIR, S., BENYAHIA, A., BENTOUATI, S., & AMOURA, N. (2022). Conception et réalisation d'un système de mesure de charges mécaniques adapté à un dispositif de compression à base d'un microcontrôleur.
- [9] Lynda, B. (2014). Conception et réalisation d'un système de mesure électronique pour un banc didactique d'études des jauges de contraintes (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- [10] Vandeportaele, B. (2006). Contributions à la vision omnidirectionnelle: étude, conception et étalonnage de capteurs pour l'acquisition d'images et la modélisation 3D (Doctoral dissertation).
- [11] Domenech, L., & Benhamou, D. (2017). Etalonnage de masses "spéciales", comment répondre aux besoins des clients. In 18th International Congress of Metrology (p. 14005). EDP Sciences.



$22 \pm 0,01$

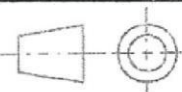


$19 \pm 0,01$



$M20 \pm 0,01$

Echelle:
2:1



A4

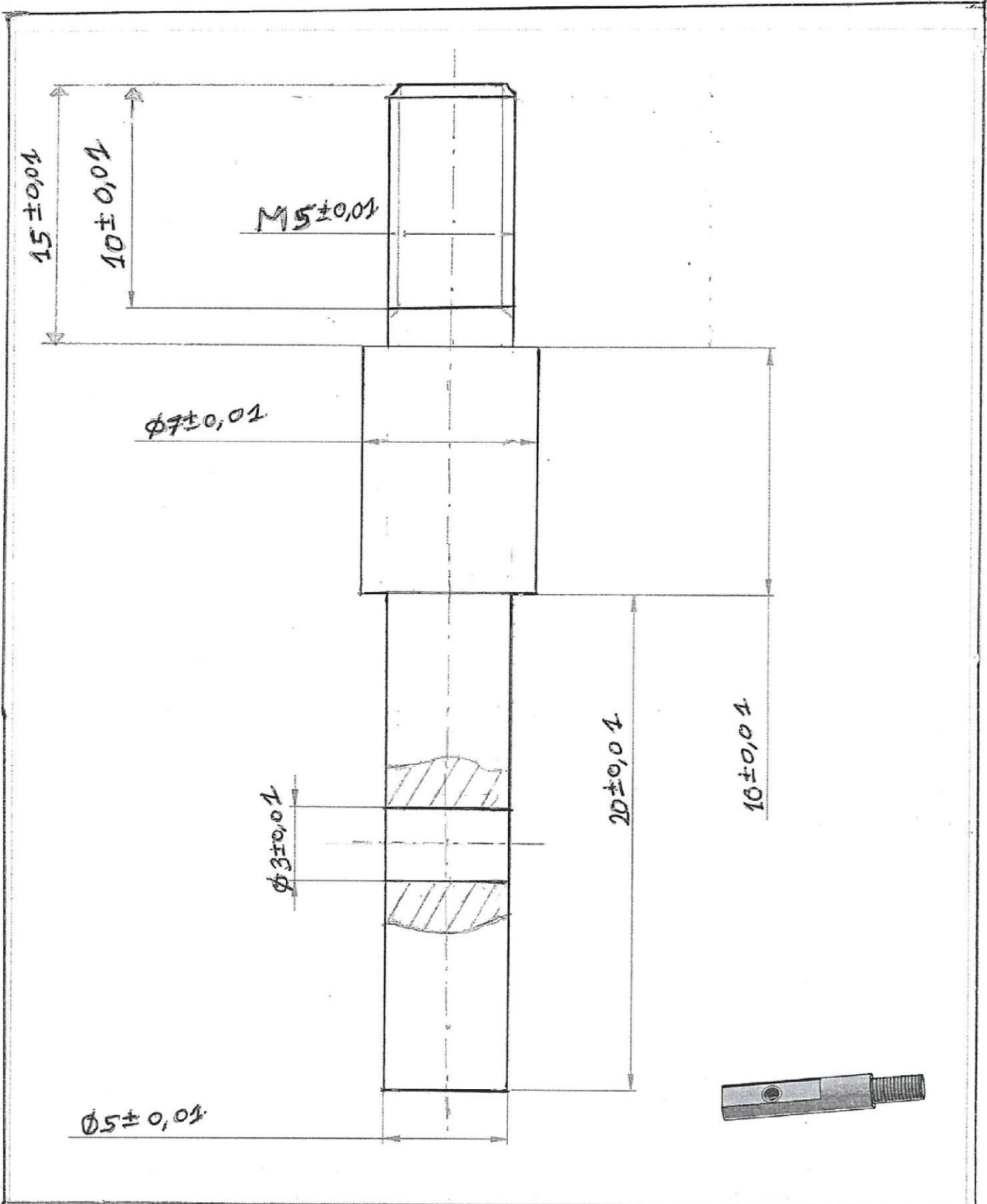
VIS

UMMTO

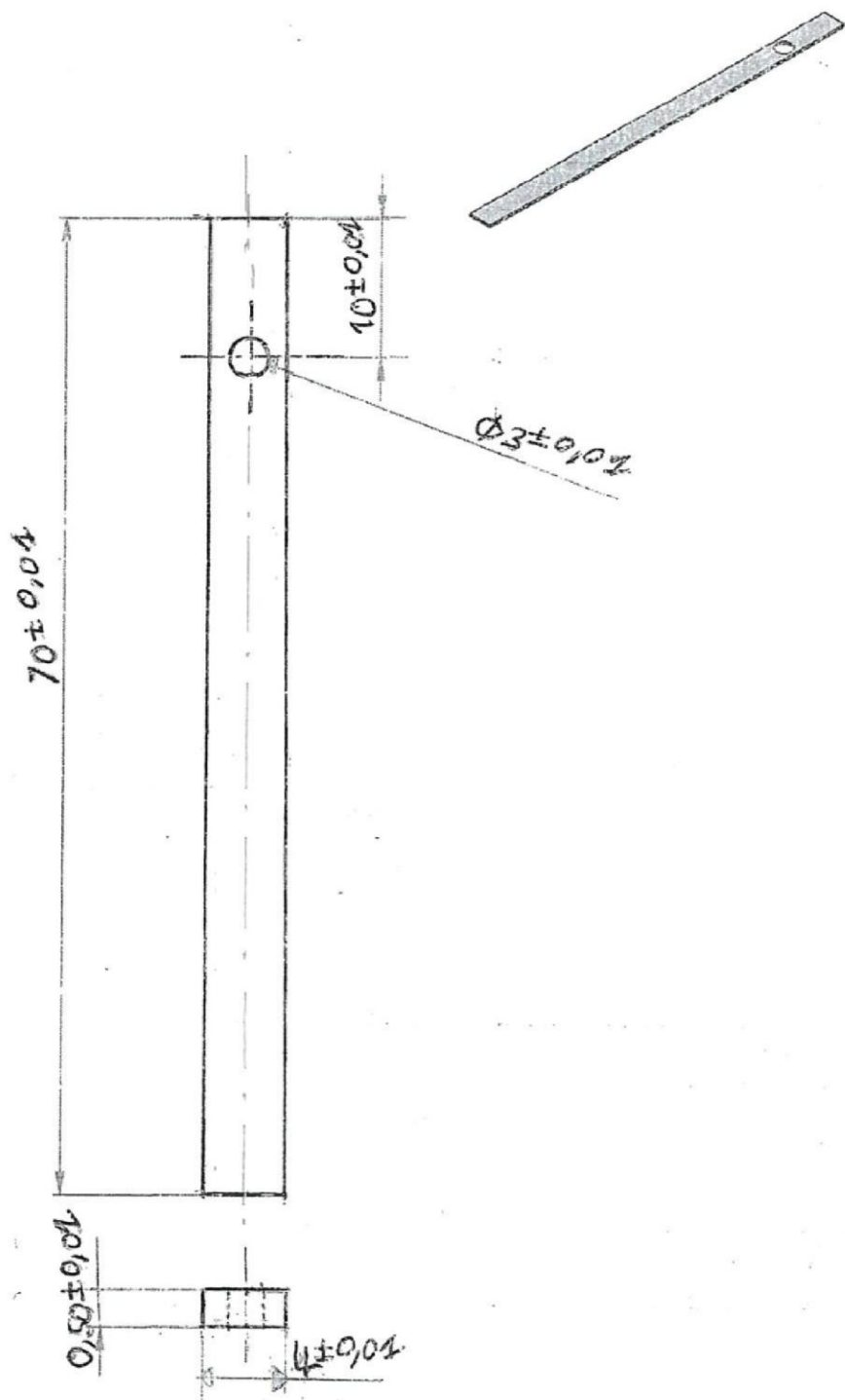
RAHMI
DJAFAR

M2-GM-CM

03/12/2023



Echelle: 2:1	L'arbre pour montage la lame	RAHMI DJAFAR
		M2-GM-CM
A4	UMMTO	03/12/2023



Echelle:
2:1

La lame

RAHMI
DJAFAR

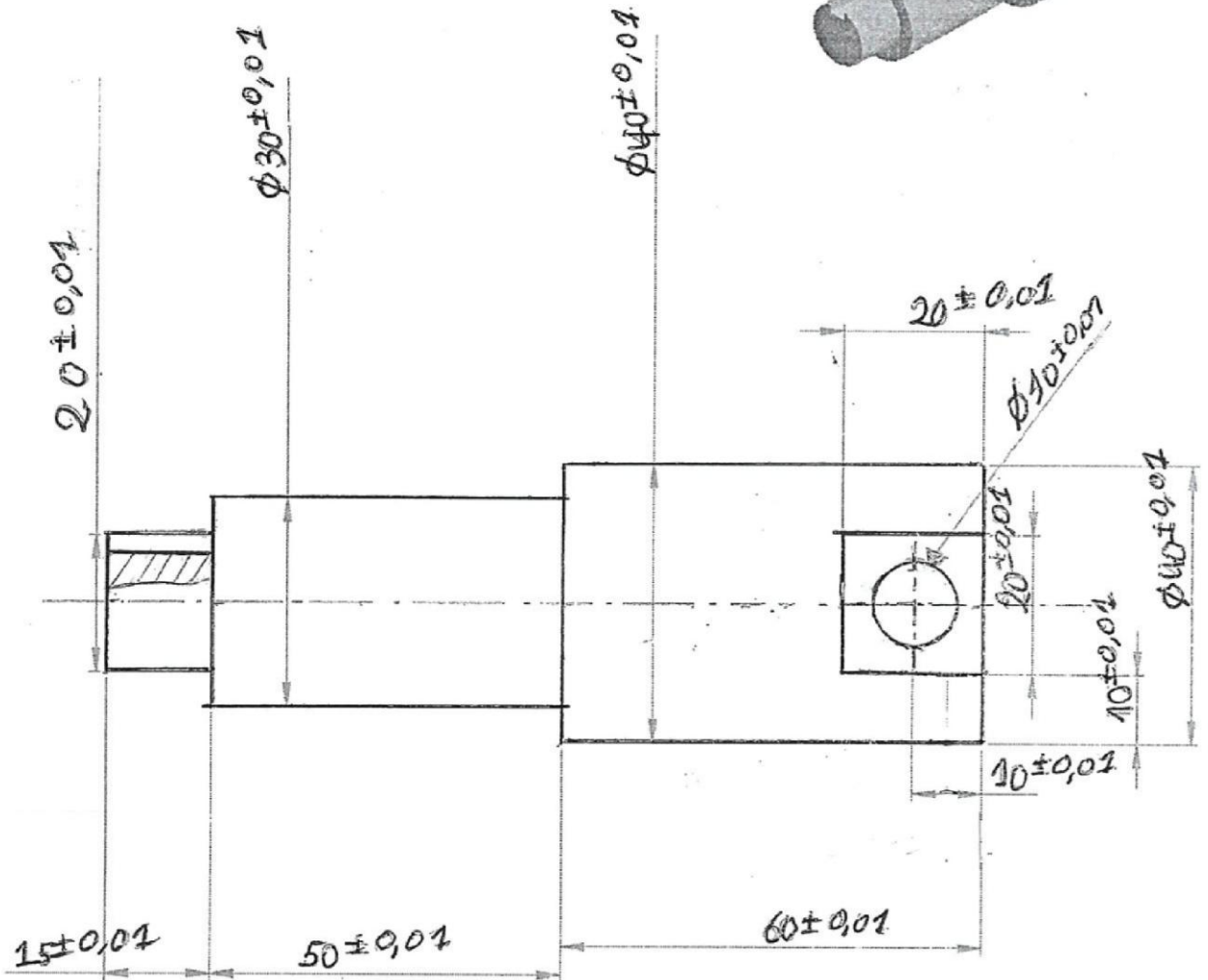
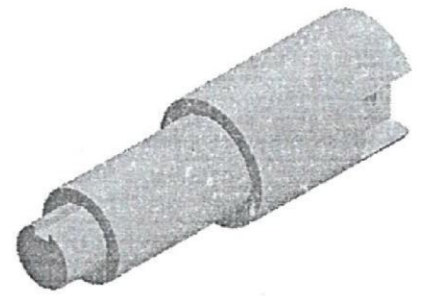
M2-GM-CM



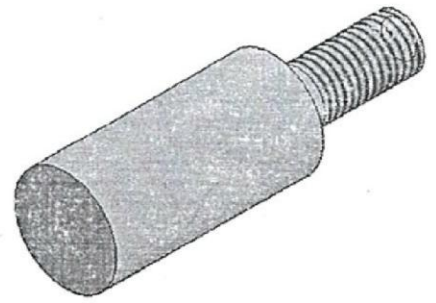
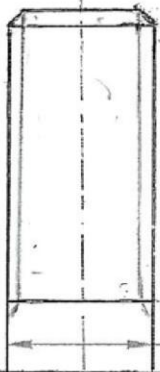
A4

UMMTO

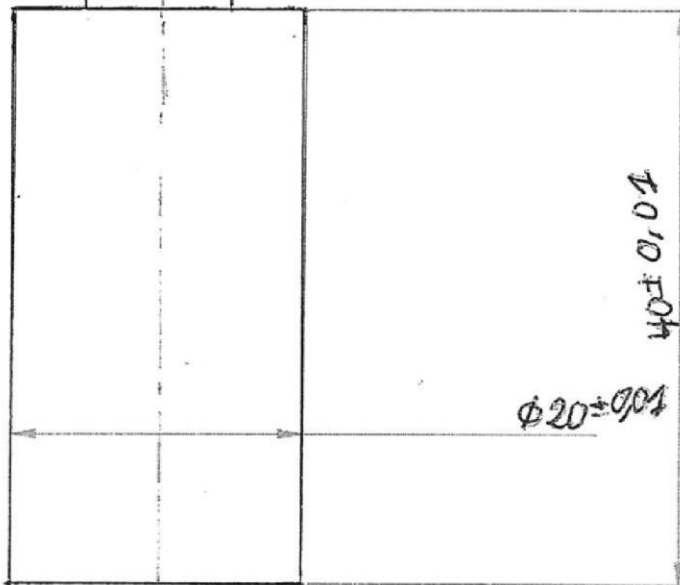
03/12/2023



Echelle: 2:1	L'arbre	RAHMI DJAFAR
		M2-GM-CM
A4	UMMTO	03/12/2023

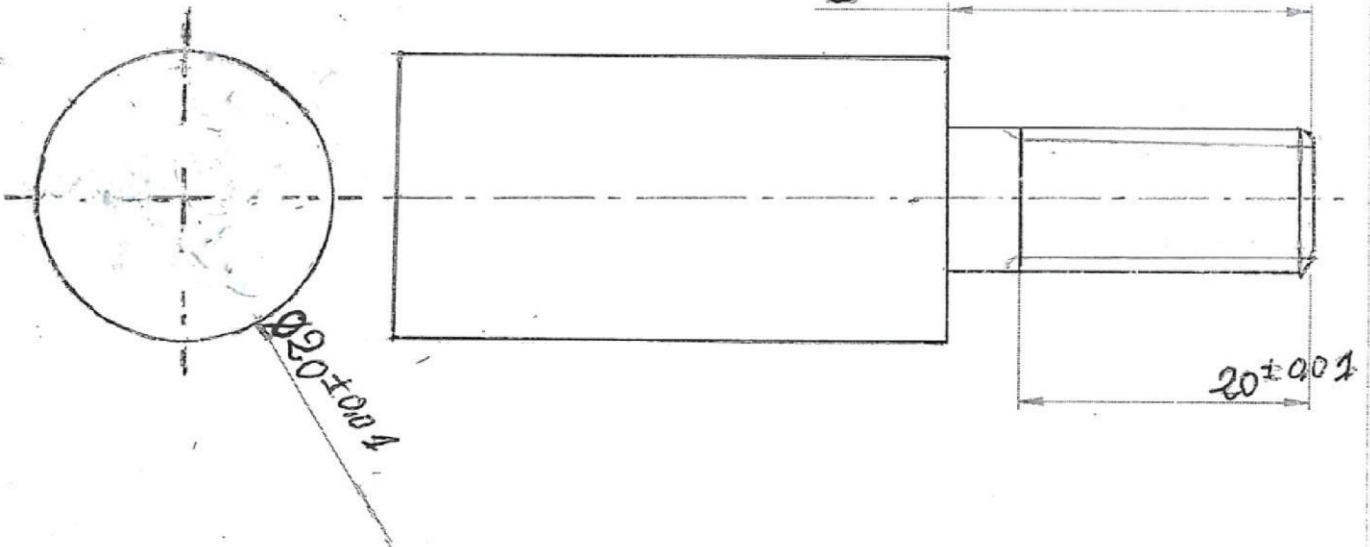


M10 ±0,01



40 ±0,04

Φ20 ±0,04

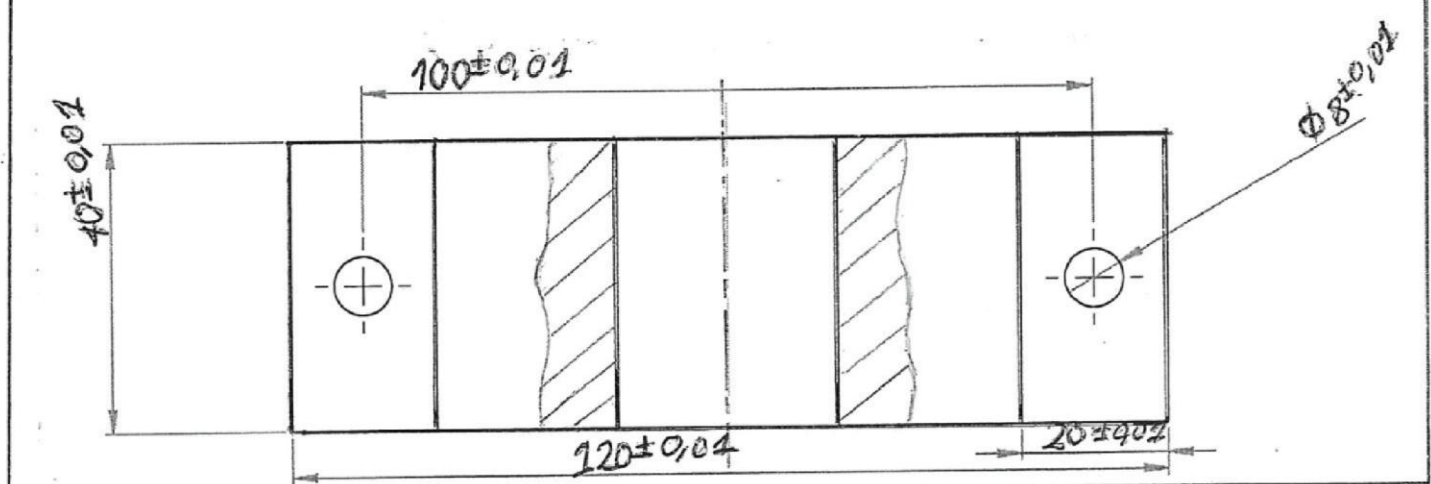
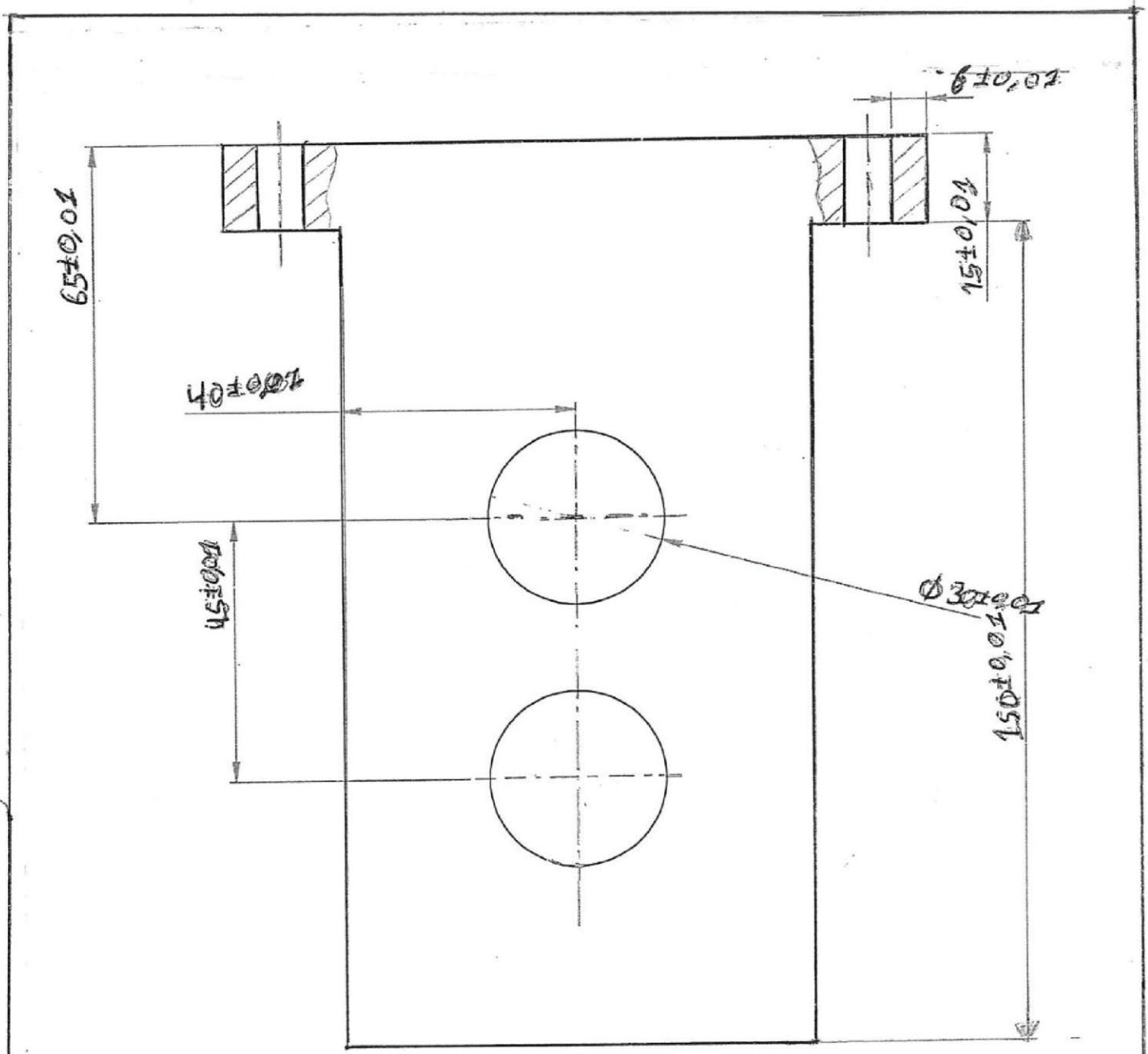


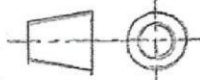
25 ±0,04

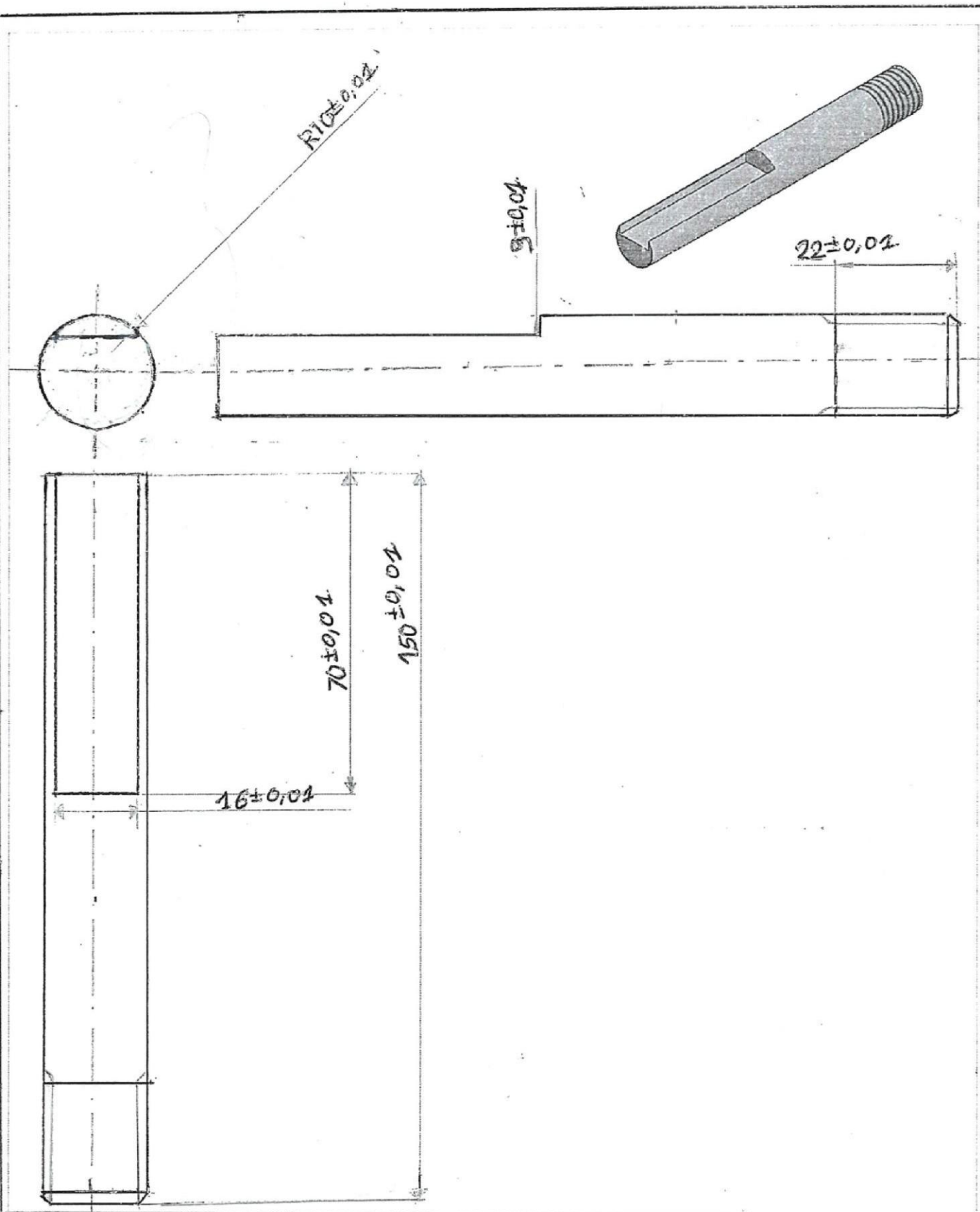
Φ20 ±0,04

20 ±0,04

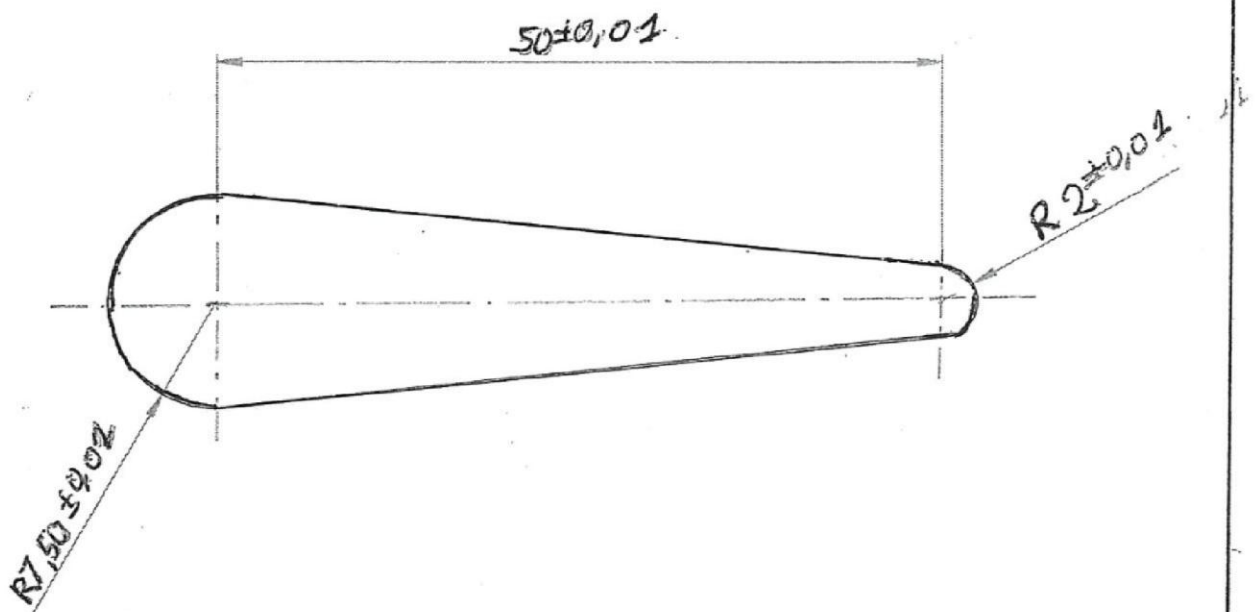
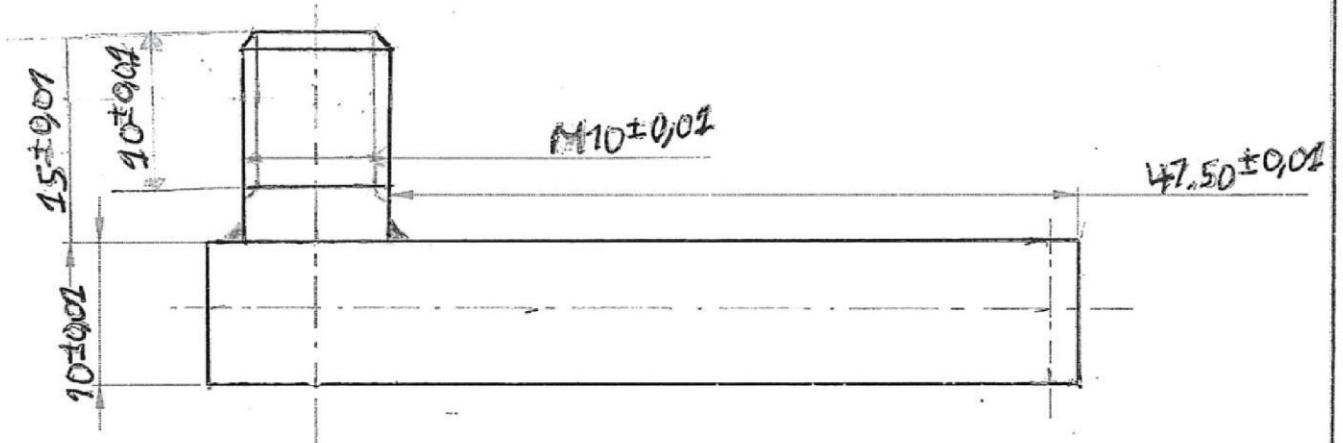
Echelle: 2:1	L'arbre de rotation	RAHMI DJAFAR
		M2-GM-CM
A4	UMMTO	19/11/2023



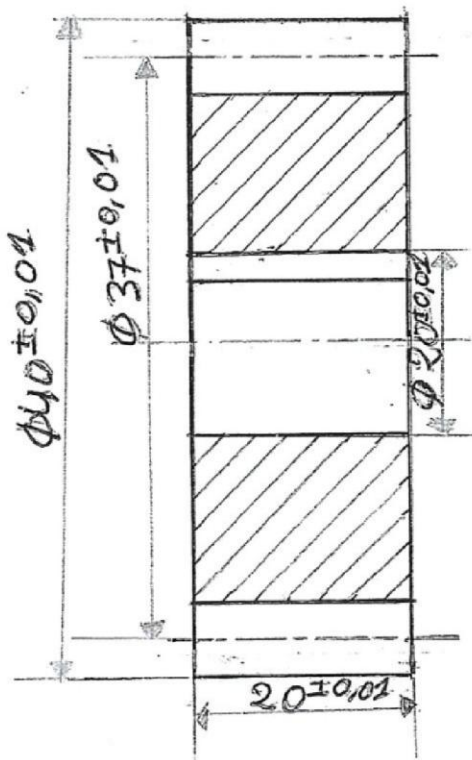
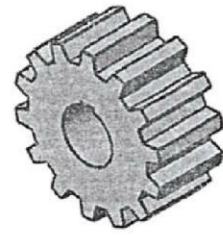
Echelle: 2:1	plaquettes 2	RAHMI DJAFAR
		M2-GM-CM
A4	UMMTO	19/11/2023



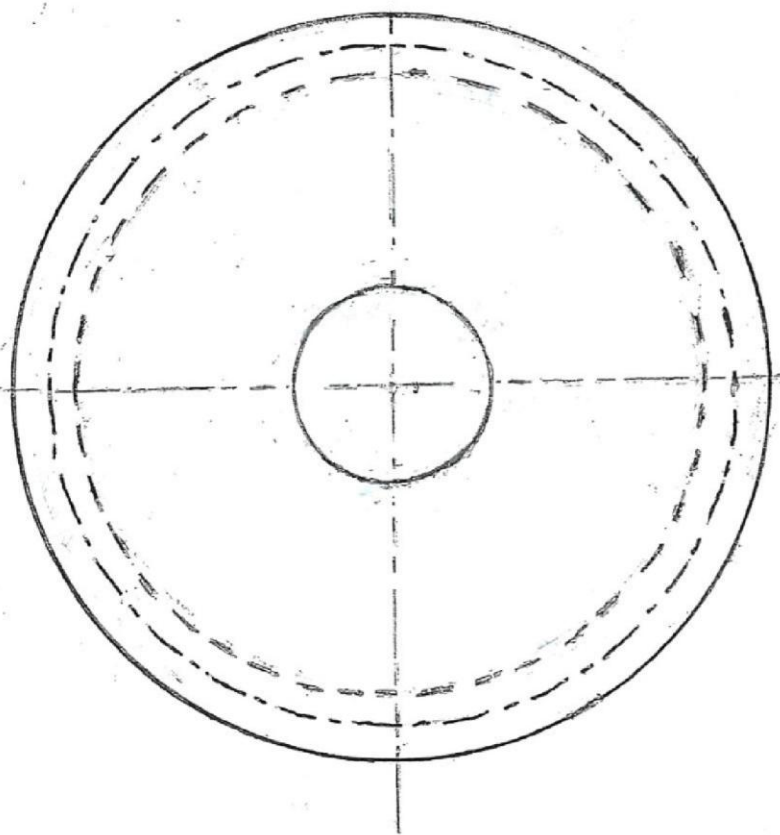
Echelle: 2:1	L'arbre de flexion	RAHMI DJAFAR
		M2-GM-CM
A4	UMMTO	03/12/2023



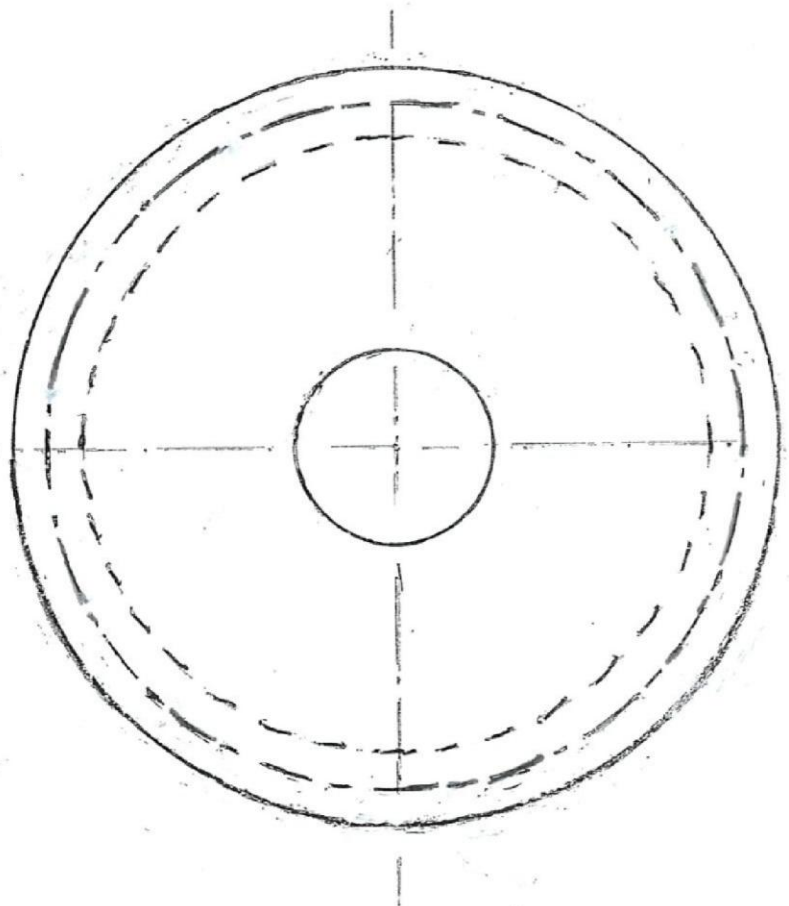
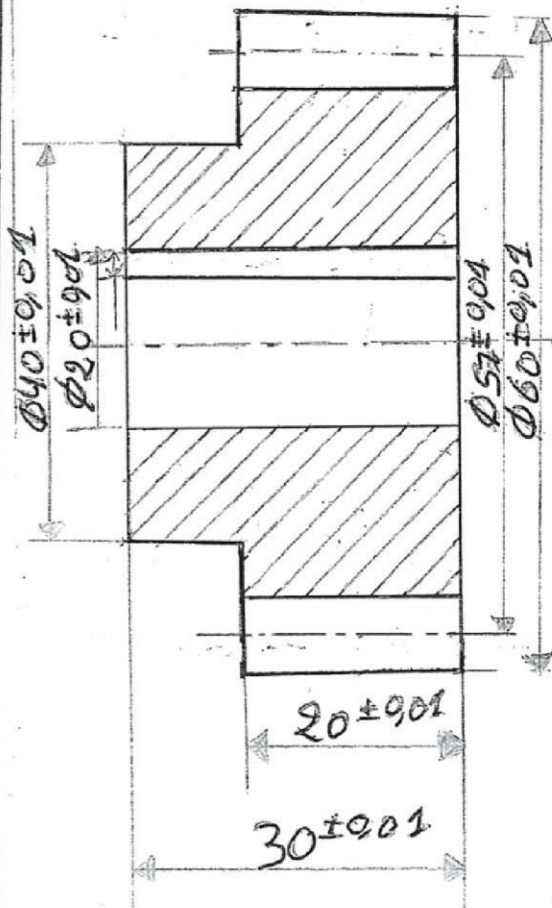
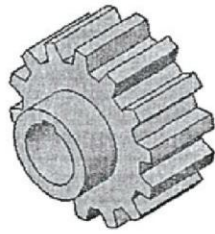
Echelle: 2:1	Clés vis	RAHMI DJAFAR
		M2-GM-CM
A4	UMMTO	03/12/2023



COUPE B-B

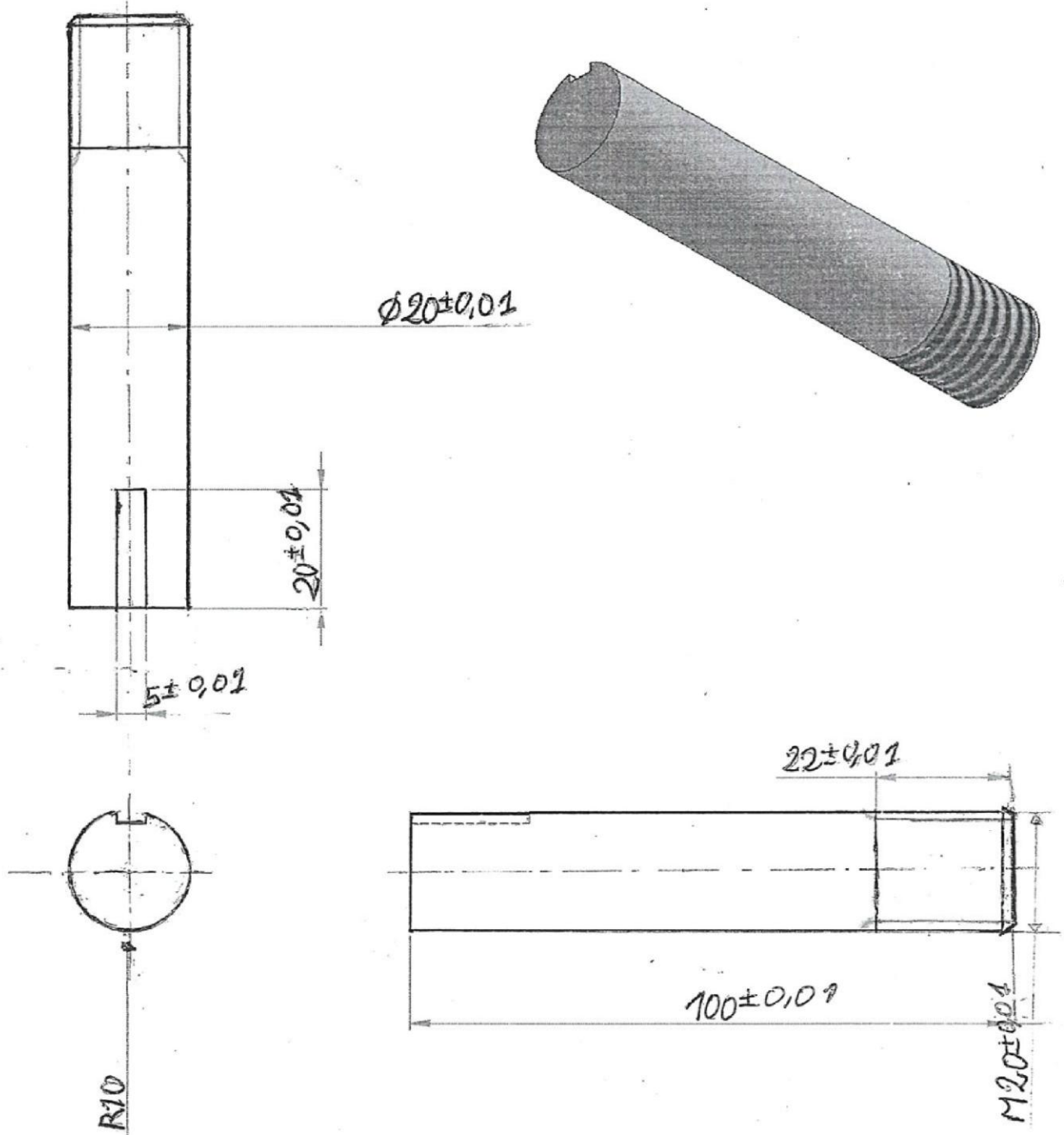


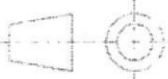
Echelle: 2:1	egrenage 1	RAHMI DJAFAR
		M2-GM-CM
A4	UMMTO	03/12/2023

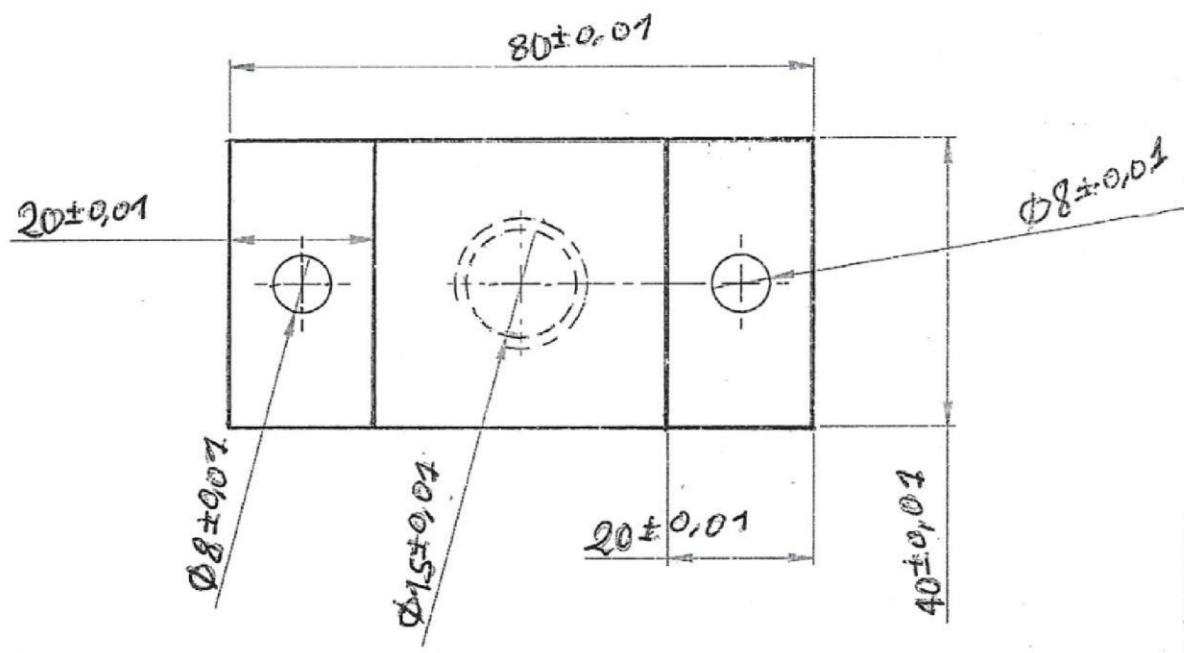
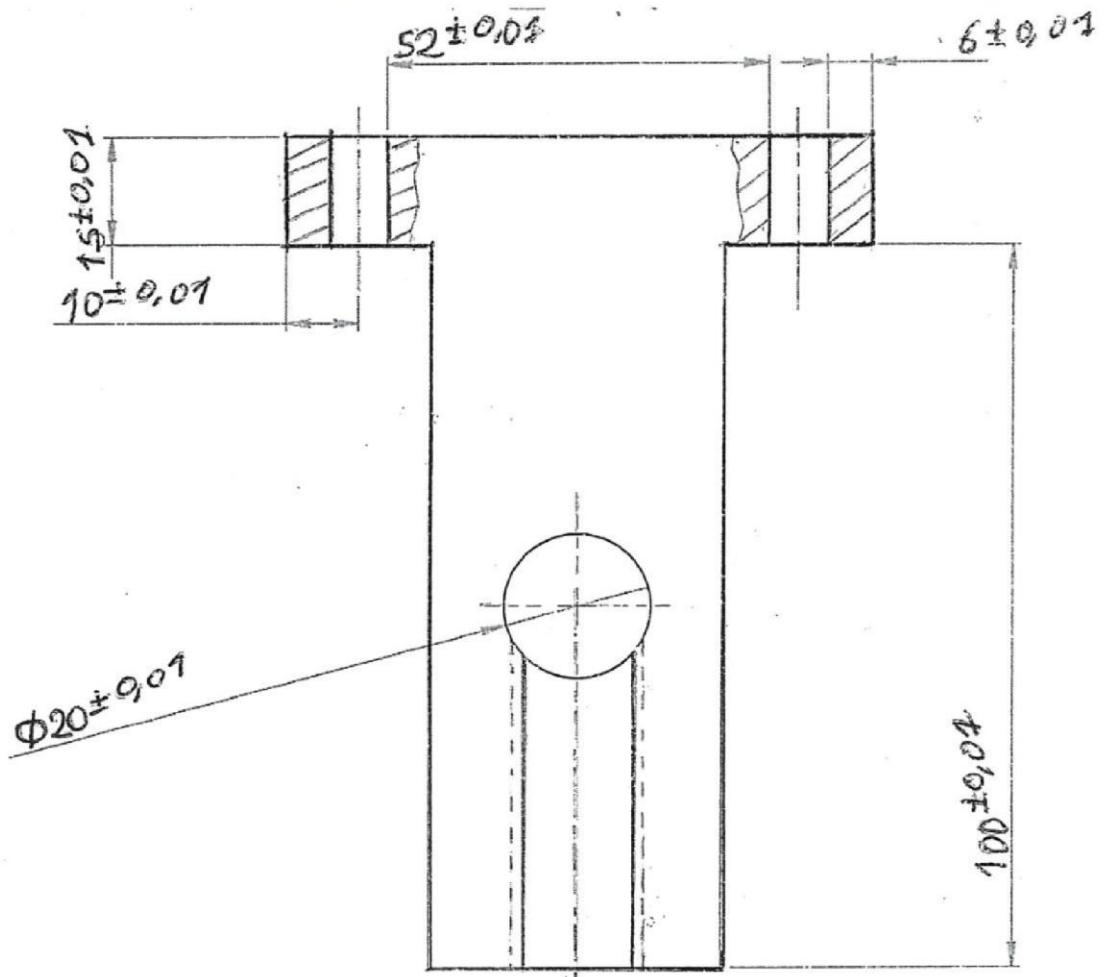


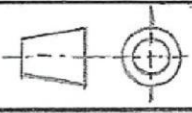
COUPE A-A

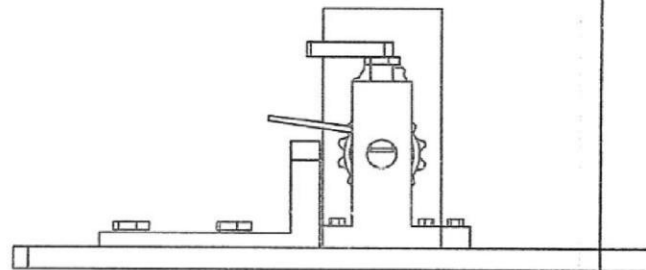
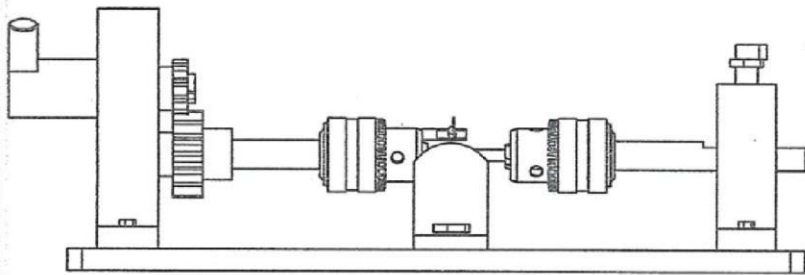
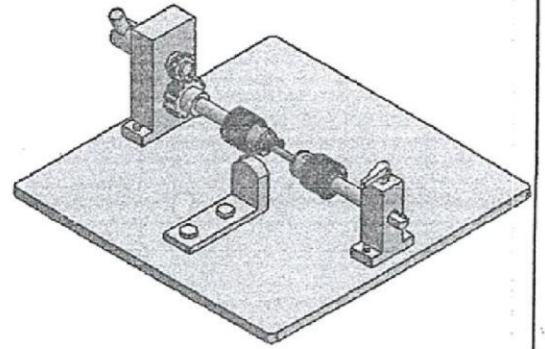
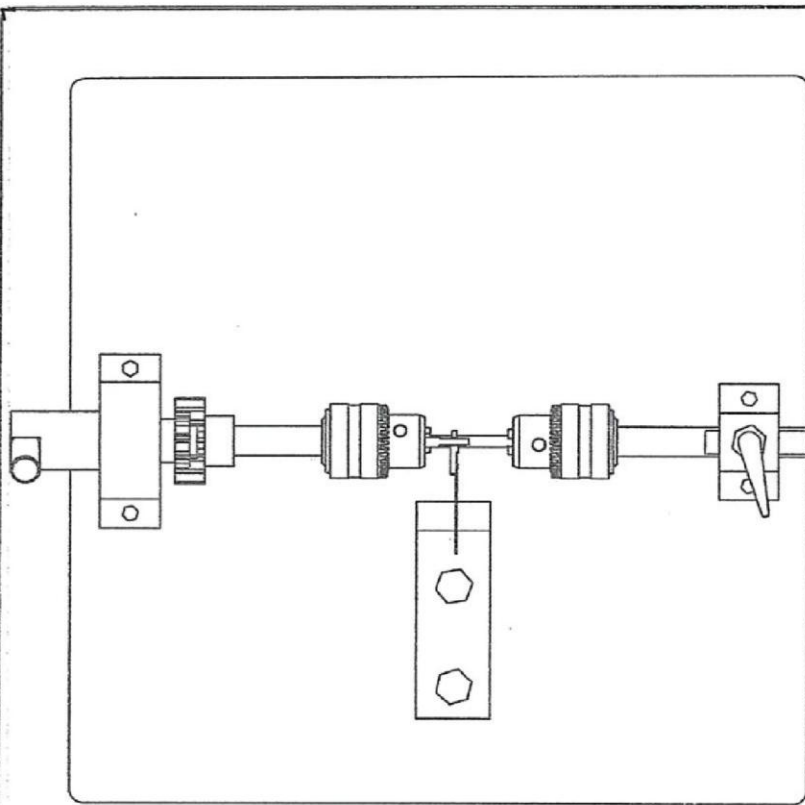
Echelle: 2:1	egrenage 2	RAHMI DJAFAR
		M2-GM-CM
A4	UMMTO	03/12/2023



Echelle: 2:1	L'arbre en torsion	RAHMI DJAFAR
		M2-GM-CM
A4	UMMTO	03/12/2023



Echelle: 2:1	plaquettes 1	RAHMI DJAFAR M2-GM-CM
		03/12/2023
A4	UMMTO	



Echelle 1:1	Conception d'un banc d'essai de torsion	RAHMI Djafar M2-GM-CM
		24/09/2023
A4	UMMTO	

