

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud MAMMERRI de Tizi-Ouzou
Faculté génie de la construction
Département de génie mécanique
Option : fabrication mécanique et productique



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de master en fabrication mécanique et productique

Thème

**Etude Et Conception D'un Appareil D'essais De Fluage Sur
Des Eprovettes Cylendriques En Polymeres**

Réalisé par :

CHABANE Juba
BADAOUI Mokrane

Encadré par :

M^r HACHOUR Kamel

2020-2021

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude au bon Dieu pour nous avoir donné le savoir pour réaliser ce modeste travail.

Nous remercions particulièrement notre promoteur M. HACHOUR K. qui nous a encadrés pendant la période de la réalisation de ce mémoire.

Nos remerciements s'adressent aussi aux membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner et d'accepter notre travail.

Nous adressons nos vifs remerciements tous nos camarades et amis qui nous ont aidé et soutenu.

Enfin, que toutes les personnes qui ont contribué à l'aboutissement de ce travail, trouvent ici l'expression de notre gratitude

Liste des symboles

T_g : La température de transition vitreuse

T_f : la température de fusion

σ : La contrainte de traction (*MPa*)

F : La force de traction (*N*)

S_0 : La section initiale de l'éprouvette (mm^2).

ε : La déformation longitudinale de l'éprouvette

L_0 : La longueur initiale de l'éprouvette (*mm*)

ΔL : L'allongement de la longueur L lors de l'application de la charge (longueur finale - longueur initiale) (*mm*).

R_e : Limite d'élasticité apparente (*MPa*)

F_e : La charge à limite d'élasticité apparente (*N*)

F_m : la charge maximale (en *N*).

R_m : La résistance à la traction

L_0 : l'éprouvette a pour longueur

$A\%$: l'allongement à la rupture en %

$Z\%$: Striction

S_f : Est la striction après rupture

$\text{Tan}\Psi$: est le module de Young E

ν : le coefficient de Poisson

ε : la déformation élémentaire parallèle à la direction de la force

ε_y : La déformation élémentaire perpendiculaire à la direction de la force

G : Le module d'élasticité transversal

K : Essais de résilience

P : poids du pendule

h_0 : hauteur initial

h_1 : hauteur final

W_0 : est l'énergie potentielle à l'état initial

W_1 : est l'énergie potentielle à l'état final

S_0 : est la section de l'éprouvette

T_f : est la température de fusion du matériau

ε : représente la déformation après un temps

a : est une constante

ε_0 : est la déformation instantanée

β : constante en fonction de la température et de la contrainte

m : sont des constantes avec la valeur de m compris entre 0 et 1.

$\frac{d\varepsilon}{dt}$: la vitesse de déformation

D : diamètre de l'éprouvette

R : rayon de courbure de l'entaille de l'éprouvette

l : longueur de l'entaille de l'éprouvette

d : diamètre au fond de l'entaille de l'éprouvette

L : longueur de l'éprouvette.

AE : axisymétriques entaillées

F_{cr} : charge critique d'Euler

E : module de Young

I : moment d'inertie

L : longueur réelle

B : longueur externe de la section

H : largeur externe de la section

b : longueur intérieur de la section

h : largeur intérieur

R_{pe} : résistance pratique

S : coefficient de sécurité

σ_{max} : contrainte maximal

I_{gz} : Le moment quadratique

Liste des tableaux

Tableau (1) : Les domaines d'application des polymères

Tableau (2) : Quelques valeurs du module d'Young E (GPa)

Tableau(3) : Contraintes et fonctions principales

Tableau (4) : coefficient de sécurité (S)

Tableau (5) : caractéristiques technique du câble

Tableau (6) : Information sur le déplacement imposée

Tableau(7) : Information sur l'application de la charge

Tableau (8) : Informations sur le maillage – Détails

Tableau (9) : information sur le maillage et figure montrant les résultats des éléments finis

Tableau(10) : Propriétés du matériau

Tableau (11) : action extérieure

Tableau(12) : détails du chargement

Tableaux(13) : Informations sur le maillage – Détails

Tableau(14) : Informations sur le type maillage

Liste des figures

Figure (1) : Modèle schématique de la synthèse d'un polymère

Figure (2) : Représentation de la chaîne d'un polymère linéaire

Figure (3) : Représentation schématique d'un polymère Bidimensionnel, ici le Carbone graphite

Figure (4) : Représentation schématique d'un polymère tridimensionnel

Figure (5) : Représentation schématique d'un polymère thermoplastique

Figure (8) : Thermoplastiques

Figure (6) : Thermodurcissables

Figure (7) : Élastomères

Figure (8) : Schéma d'une éprouvette sous l'effet de traction

Figure (9) : Courbe des contraintes

Figure (10) : Mesure de la limite d'élasticité conventionnelle $Re_{0.2}$

Figure (11) : déformation transversale

Figure (12) : Procédure de l'essai de compression

Figure (13) : Procédure de l'essai de torsion

Figure (14) : Essai de flexion

Figure (15) : Schématisation Du pendule de Charpy

Figure (16): Géométries des éprouvettes d'essai de résilience

Figure (17): a) essai de dureté Brinell ;b) essai de dureté Vickers

Figure (18): Courbes de fluage

Figure (19) : Exemple d'éprouvettes pour le fluage

Figure (20a) : Allure générale d'une courbe de fluage, Evolution de la déformation

Figure (20b) : la vitesse de déformation en fonction du temps.

Figure (21 a): Fluage logarithmique

Figure (21b): Fluage de puissance.

Figure (22) : Diagramme bête à cornes

Figure (23) : Diagramme pieuvre

Figure (24) : Représentation schématique du rapport « connaissance du problème / liberté d'action»

Figure (25) : Les phases de conception

Figure (26) : Schéma d'une machine de fluage – solution 1

Figure (27) : Les constituants de la machine de fluage –solution 2

Figure (28) : schéma d'un dispositif de fluage – solution 3

Figure (29) : Schéma du dispositif à réaliser

Figure (30) : Géométrie de l'éprouvette

Figure (31) : Bâti

Figure (32) : le support vertical

Figure (33) : fiche technique du tube métallique

Figure (34) : flambement d'une poutre soumise à un effort axial

Figure (35) : Longueurs libres de flambage en fonction du type de liaisons

Figure (36) : L'entraxe

Figure (37) : l'entraxe sous l'effet de la flexion

Figure (38) : Câble métallique

Figure (39) : serre câble

Figure (40) : étau auto-centrage

Figure (41) : une mâchoire prismatique

Figure (42) : étau de serrage centrique

Figure (43) : roulettes

Figure (44) : Axe de la roulette

Figure (45) : goupille

Figure (46) : Porte charge

Figure (47) : les poids

Figure (48) : extensomètre à longue course

Figure (49) : fenêtre principale de solidworks (dispositif de fluage)

Figure(50) : éprouvette simulation

Figure (51) : resultat sur les Contraintes

Figure(52) : resultat sur les Déplacements

Figure(53) : resultat sur les Déformations

Figure(54) : mécanisme simplifiée

Figure (55) : resultats des Contraintes

Figure(56) : resultats des Déplacements

Figure(57) : resultats des Déformations

Sommaire

Remerciements

Liste des symboles

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Généralités sur les polymères

I.1. Introduction 2

I.2. Définitions 2

I.2.1. Polymère 2

I.2.2. Monomère : 2

I.2.3. La polymérisation 3

I.2.4. Degré de polymérisation 3

I.3. Classification des polymères 3

I.3.1. Selon leur nature chimique 3

I.3.2. Selon leur origine 4

I.3.3. Selon leur domaine d'application 4

I.3.4. Selon leurs structures des chaînes (dimensionnalité) : 4

I.3.4.1. Celle des polymères linéaires (ou monodimensionnels) 4

I.3.4.2. Celle des polymères bidimensionnels 5

I.3.4.3. Celle des polymères tridimensionnels 5

I.3.5. Selon leur comportement thermique 6

I.3.5.1. Les élastomères thermoplastiques : 6

I.3.5.2. Les thermoplastiques 6

I.3.5.3. Les thermodurcissables 7

I.3.5.4. Les élastomères 8

I.3.5.5. Les élastomères thermoplastiques 8

I.3.6. Selon les usages technologiques 8

I.3.7. Selon l'importance économique 9

I.4. Propriétés des polymères	9
I.4.1.1. La masse volumique	9
I.4.2. Les Propriétés thermiques	10
I.4.2.1. La température	10
I.4.3. Applications des polymères	10
I.5. Conclusion	11

Chapitre II : Généralités sur les essais mécaniques

II.1. Introduction	12
II.2. Essai de traction.....	12
II.2.1. Diagramme de traction	13
II.2.2. Caractéristiques de l'essai	15
II.2.2.1. Limite élastique (R_e)	15
II.2.2.2. La résistance à la traction (R_m) :.....	15
II.2.2.3. La résistance à la rupture R_r	16
II.2.2.4. Striction ($Z\%$)	16
II.2.2.5. Module d'élasticité longitudinale E (MPa) ou module de Young	16
II.2.2.6. Loi de Hooke et distribution des contraintes	17
II.2.2.7. Limite conventionnelle d'élasticité $R_{e0,2}$ MP	17
II.2.2.8. Coefficient de poisson	18
II.2.2.9. Le module d'élasticité transversal G	19
II.3. Essai de compression.....	19
II.4. Essai de torsion :.....	20
II.5. Essais de flexion	21
II.6. Essais de fatigue ou d'endurance 21	21
II.7. Essais de résilience	21
II.8. Essais de dureté	24
II.9. Essai de fluage 25	25
II.9.1. Définition.....	25
II.9.2. Eprouvettes	26
II.9.3. Diagramme typique de fluage.....	27
II.9.4. Différents stade de fluage	28

II.9.5. Effets de la température et de la contrainte sur le comportement en fluage:	29
II.9.6.Caractéristiques de fluage.....	29
II.9.6.1. Fluage logarithmique.....	29
II.9.6.2. Fluage de puissance	30
II.9.7 Les différents mécanismes de fluage.....	31
II.10.Conclusion.....	31

Chapitre III : Etude et conception de l'appareil

III.1. Introduction	32
III.1.2.Définition	32
III.1.2.1.Objectif.....	33
III.1.3.Bête à cornes :	33
III.1.4.Diagramme «pieuvre»	34
III.1.4.1Contraintes et fonctions principales de besoin.....	34
III.2. Le Processus de conception de produits mécaniques.....	35
III.2.1. Conception et résolution de problème.....	35
III.2.1.1. Généralités et définitions.....	35
III.2.1.2. Notion de degré de liberté	35
III.2.2.Les méthodologies et processus de conception.....	36
III.2.2.1. Les différentes phases de conception.....	36
III.2.2.2. Caractéristiques d'un processus de conception.....	36
III.2.2.2.1. Cahier des charges ou Spécifications	37
III.2.2.2.2. La phase conceptuelle et les méthodes d'approche.....	38
III.2.2.2.3. La conception préliminaire.....	38
III.2.2.2.4. La conception détaillée.....	38
III.3. Conception de l'appareil	38
III.3.1. Solutions proposées.....	39
III.3.1.1. Première solution.....	39
III.3.1.1.2. fonctionnement de la machine.....	40
III.3.1.1.3 Les constituants de la machine sont	40
III.3.1.2. Deuxième solutions	40
III.3.1.2.1 Fonctionnement de la machine.....	41

III.3.1.2.2 Les constituants de la machine sont	41
III.3.1.3. troisième solutions.....	42
III.3.1.3.1. fonctionnement du dispositif.....	42
III.3.1.3.2 Les éléments du dispositif	42
III.3.2. Choix de la solution finale	43
III.4. Conception de l'appareil	43
III.5. Contraintes techniques	44
III.6. Les composants du dispositif à réaliser	44
III.6.1. le bâti	44
III.6.2. Le support vertical.....	45
III.6.2.1.Calcul de la résistance	46
III.6.2.1.1. Vérifier la résistance au flambement	46
III.6.2.1.2.Vérification de la résistance à la compression	48
III.6.2.1.3. Calcule la résistance de la soudure	49
III.6.3. L'entraxe :	49
III.6.3.1. calcule de la résistance à la flexion de l'entraxe	50
III.6.4. Le câble d'attache.....	50
III.6.5. Mors fixe :	51
III.6.5.1. Caractéristiques du l'étau auto-centrage	52
III.6.6. Mors mobile	52
III.6.6.1. Les composants :	53
III.6.7. Les Roulettes	53
III.6.7.1. Les caractéristiques	53
III.6.7.2. Axe des roulettes	55
III.6.8. porte charge	56
III.6.9.L'outil de mesure.....	56
III.6.9.1. Présentation de ses caractéristiques.....	57
III.7.Conclusion	58
III.8. Conception de mécanisme par ordinateur (CAO)	58
III.8.1. Simulation	60
III.8.1.1. L'éprouvette	60

III.8.1.2. Propriétés de l'étude (donné SOLIDWORKS)	61
III.8.1.3. Unités	61
III.8.1.4. Propriétés du matériau	62
III.8.1.5. Actions extérieures	63
III.8.1.6. Informations sur le maillage	64
III.8.1.7. Résultats de l'étude	66
III.8.1.7.1. Contraintes	66
III.8.1.7.2. Déplacements	67
III.8.1.7.3. Déformation	68
III.8.2. Mécanisme	69
III.8.2.1 Information sur le modèle	69
III.8.2.2. Propriétés de l'étude	70
III.8.2.3. Unité	70
III.8.2.4. Propriétés du matériau	70
III.8.2.5. Actions extérieures	71
III.8.2.6. Résultats de l'étude	73
III.8.2.6.1. Contraintes	73
III.8.2.6.2. Déplacements	74
III.8.2.6.3. Déformations	75
III.8.3. Conclusion	76
Conclusion générale	77

Références

Annexes

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

Le métier d'ingénieur date des toutes premières constructions humaines à l'antiquité puis au moyen âge. Les premiers savants, inventeurs, architectes, ont tous été considérés comme les premiers ingénieurs que l'on ait connus. Parmi les grands ingénieurs mécaniciens de l'histoire, nous pourrions retenir entre autres Archimède et ses travaux en physique appliquée. Gutenberg et Léonard de Vinci ont eux aussi marqué leur temps par la mise au point de systèmes mécaniques fabriqués par la suite et dont on parle encore aujourd'hui. Le concepteur mécanicien est défini comme l'acteur chargé de résoudre des problèmes d'ordre mécanique, liés à la conception, à la réalisation et à la mise en œuvre de produits ou de systèmes mécaniques.

Les polymères sont la tendance de notre temps ils occupent une position très importante dans notre vie quotidienne (on les trouve dans presque tous les domaines ; automobiles, électroménager, télécommunication,,,) durant les vingt dernières années le monde des plastiques, des composites et de leurs dérivées ont connus d'énormes progrès, parviennent de plus en plus souvent à substituer les métaux en vue de leurs qualités prix.

Les concepteurs ne disent plus "quel métal utiliser?", mais disent plutôt "quel matériau employer?", une attitude favorisée par la croissante puissance de calcul des ordinateurs ainsi que les développements de la CFAO, qui permet de confronter un nombre important de solutions.

Notre travail consiste à réaliser un dispositif d'essai de fluage pour les matériaux polymères. Dans le premier chapitre on a vu les généralités sur les matériaux polymères ; les différents types, leurs propriétés et leurs comportements.

Au deuxième chapitre nous avons cité et met en évidence les différents essais mécaniques, et le rôle de chacun de ces essais pour déterminer les caractéristiques d'un quelconque matériau, en suite on a détaillé le phénomène de fluage et ses caractéristiques.

Dans le troisième chapitre on a défini le processus de conception, et ses différentes étapes. Pour nous initier à concevoir notre dispositif, nous avons formé trois différents appareils de fluage, pour en choisir un à la fin de ce deuxième chapitre. Après avoir désigné notre dispositif, nous avons réalisé notre étude de conception en détail, et cela en modélisant chaque pièce de cet appareil en tenant compte des dimensions de l'éprouvette normalisée utilisée dans les essais de fluage. Cette conception a été accomplie par le logiciel solidworks ; et à l'aide de solidworks simulation, on a vérifié la rigidité du dispositif, en montrant les champs de déplacements, champs de déformations et les champs de contraintes.

Le travail a été achevé par une conclusion générale.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES POLYMERES

I.1. Introduction :

Qu'appelle-t-on polymère ? Plusieurs réponses peuvent être données mais, pour l'instant, seule l'une d'elles est proposée. La définition la plus généralement acceptée est celle d'un système formé par un ensemble de macromolécules, c'est-à-dire d'entités moléculaires de grande dimension, issues de l'assemblage covalent d'un grand nombre d'unités répétitive plus communément appelées unités (ou motifs) monomères. Les édifices macromoléculaires ainsi définis ont des dimensions moléculaires (caractérisées par leur masse molaire) très supérieures à celles des molécules simples.

Le nombre d'unités monomères constitutives d'une chaîne polymère est appelé le degré de polymérisation (DP) ; il est directement proportionnel à la masse molaire du polymère. Si ce degré de polymérisation est élevé, on parle de hauts polymères ; lorsqu'il est faible le composé est un oligomère. Les homopolymères ne sont constitués que d'un seul type de monomère dont le motif se répète dans la molécule ; les copolymères sont constitués de plusieurs types de monomères. On distingue les polymères trouvés à l'état naturel comme la cellulose, des polymères synthétiques entièrement fabriqués par l'homme à partir de monomères réactifs (le nylon, le polyéthylène, le téflon...) et enfin les polymères artificiels ou régénérés, obtenus par modification chimique d'un polymère naturel.

I.2. Définitions : [11]**I.2.1. Polymère :**

Une grande molécule constituée d'unités fondamentales appelées monomères (ou motifs monomères) reliées par des liaisons covalentes. Réaction qui enchaîne des molécules de faible masse moléculaire (monomères) pour en faire des composés de masse moléculaire élevée (macromolécules).

I.2.2. Monomère :

Un composé constitué de molécules simples pouvant réagir avec d'autres monomères pour donner un polymère. Contrairement au polymère, un monomère a une faible masse moléculaire.

Le monomère est constitué de molécules simples, et capable de se combiner à d'autres molécules semblables ou différentes pour former un polymère.

Le terme macromolécule est souvent utilisé à la place de polymère.

I.2.3. La polymérisation :

La réaction qui, à partir des monomères, forme en les liants, des composés de masse moléculaire plus élevée : les polymères ou macromolécules. Les noyaux des monomères sont le plus souvent constitués d'un atome de carbone (molécules organiques) ou d'un atome de silicium (polymères ,siliconés).

La polymérisation, qui désigne la réaction chimique de fabrication des macromolécules. Lorsque ce degré de polymérisation (DP) est inférieur à 30, on parle d'oligomère et lorsqu'il est supérieur à 30, c'est un polymère.

I.2.4. Degré de polymérisation :

C'est le nombre total de monomères contenus dans une macromolécule. La lettre **n** est appelée « **degré de polymérisation** » ou « **indice de polymérisation** ».

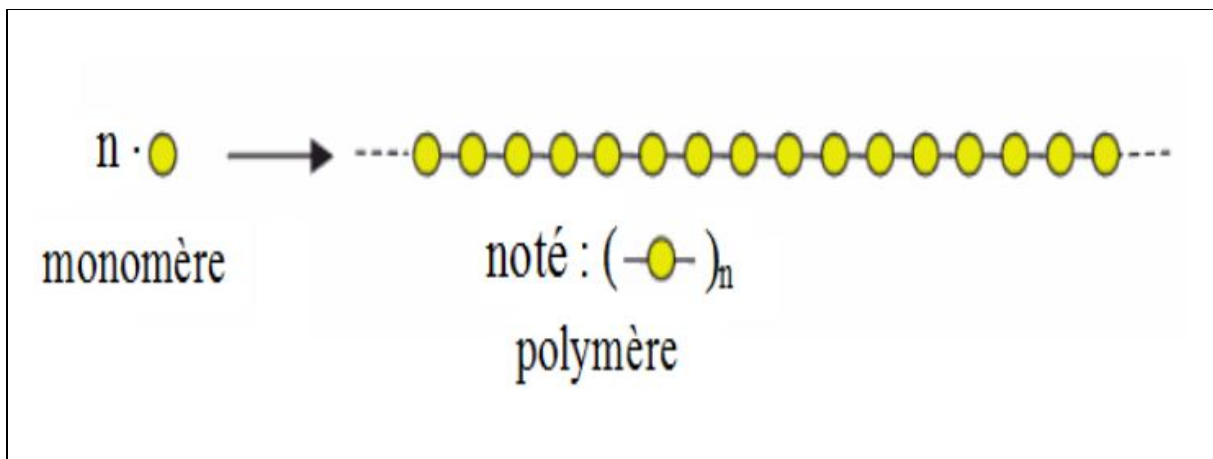


Figure 1 : Modèle schématique de la synthèse d'un polymère.

I.3. Classification des polymères : [11]

Il existe plusieurs modes de classification des polymères qui peuvent être classés selon divers critères :

I.3.1. Selon leur nature chimique :

On distingue :

- a) Polymères minéraux
- b) Polymères organiques
- c) Polymères mixtes

I.3.2. Selon leur origine :

On peut les classer en trois catégories :

- a) Les polymères naturels (caoutchout)
- b) Les polymères artificiels (dérivés des polymères naturels)
- c) Les polymères synthétiques (conçu en laboratoires)

I.3.3. Selon leur domaine d'application :

Il est difficile de proposer une classification exhaustive tant la variété des propriétés a multiplié les applications des polymères, comme matériaux en particulier. Il est cependant possible de regrouper les polymères en trois grandes catégories :

- a. Les polymères de grande diffusion
- b. Les polymères techniques
- c. Les polymères spéciaux (ou polymères de fonction)

I.3.4. Selon leurs structures des chaînes (dimensionnalité) : [11]

Les polymères peuvent encore être classés en trois catégories :

I.3.4.1. Celle des polymères linéaires (ou monodimensionnels) :

Pour lesquels chaque chaîne macromoléculaire est constituée d'un nombre (éventuellement) élevé mais fini d'unités monomères ; de tels systèmes correspondent à la polymérisation de monomères bivalents et une macromolécule linéaire peut être très schématiquement représentée par un trait continu divisé en intervalles figurant chacun une unité, monomère.

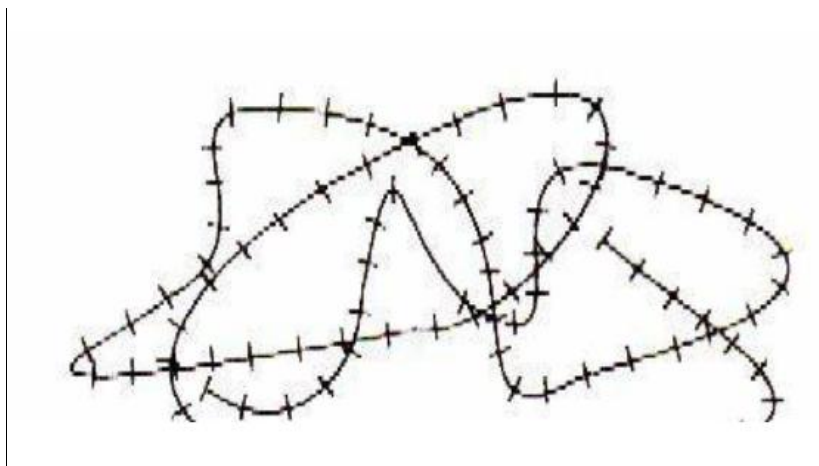


Figure 2 : Représentation de la chaîne d'un polymère linéaire

I.3.4.2. Celle des polymères bidimensionnels :

Dont certains peuvent être produits par la nature (carbone graphite, kératine...) dans le domaine des polymères synthétiques ce sont encore des curiosités de laboratoire.

Ils se présentent sous la forme de feuillets bidimensionnels, d'épaisseur comparable à celle des molécules simples (figure3).

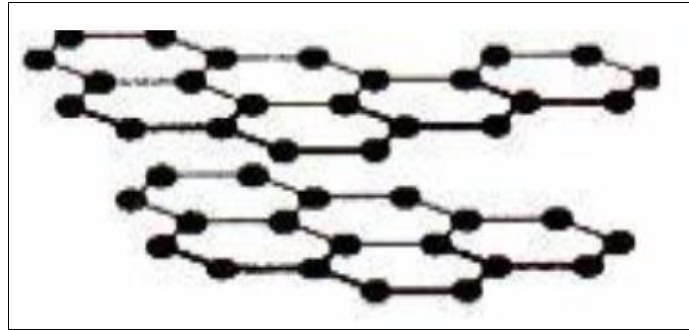


Figure 3 : Représentation schématique d'un polymère Bidimensionnel, ici le Carbone graphite.

I.3.4.3. Celle des polymères tridimensionnels :

Qui résultent de la polymérisation de monomères dont la valence moyenne est supérieure à deux ou encore de la réticulation (formation d'un réseau tridimensionnel), par voie physique ou chimique, de polymères linéaires.

Leur dimension moléculaire peut être considérée comme infinie puisque toutes les unités monomères constitutives d'un objet sont liées de façon covalente pour former une seule macromolécule. Les liaisons se développent dans les trois dimensions et un élément de volume d'un tel système peut être représenté comme sur la figure 4.

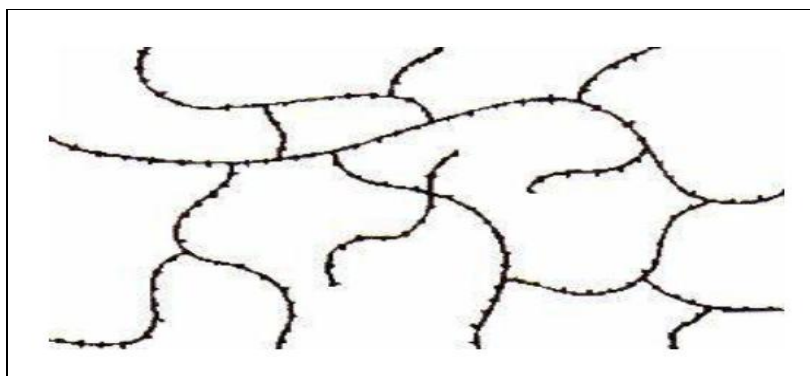


Figure 4 : Représentation schématique d'un polymère tridimensionnel

I.3.5. Selon leur comportement thermique : [11]

Les propriétés des polymères permettent des usages très variés. On peut ainsi les regrouper dans quatre familles :

1. Les thermoplastiques
2. Les thermodurcissables
3. Les élastomères.

I.3.5.1. Les élastomères thermoplastiques :

Tous ces polymères peuvent être des homopolymères (Un polymère qui comporte des motifs monomères tous identiques) ou des copolymères (Macromolécule constituée par deux ou plusieurs sortes de motifs monomères) et peuvent être obtenus par polymérisation (polymérisation en chaîne ou polycondensation). Ils se différencient par l'architecture de leurs macromolécules (linéaire, ramifié ou réseau tridimensionnel), par leur mise en œuvre plus ou moins aisée et par leur propriété d'élasticité.

I.3.5.2. Les thermoplastiques :

Un thermoplastique est un polymère linéaire ou ramifié pouvant être ramolli par chauffage et durci par refroidissement dans un intervalle de température spécifique. Ces polymères peuvent cristalliser thermoplastes amorphes ou thermoplastes semi-cristallins comme le polyéthylène (PE), le poly (chlorure de vinyle) (PVC) ou le polystyrène (PS) sont mis en forme par diverses techniques comme l'injection, l'injection-soufflage et l'extrusion. (Figure). Dans la majorité des cas, le polymère ayant la forme désirée récupère son état partiellement cristallin ou amorphe après refroidissement.

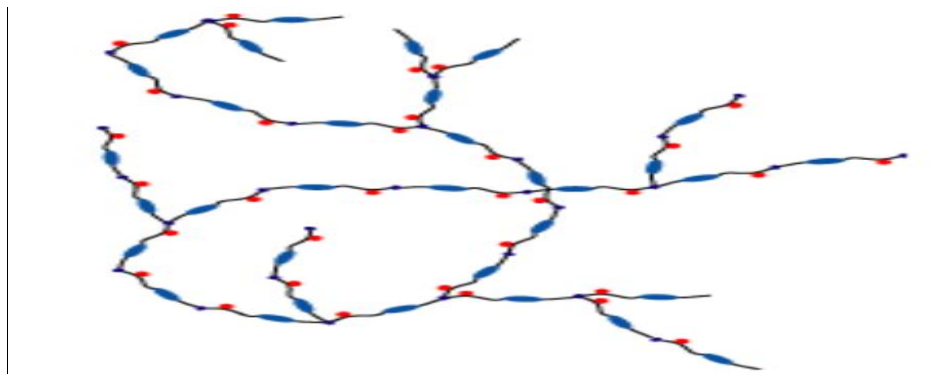


Figure 5 : Représentation schématique d'un polymère thermoplastique



Figure 8 : Thermoplastiques

I.3.5.3. Les thermodurcissables :

Un thermodurcissable est un produit (poudre à mouler solide ou résine liquide) transformé irréversiblement par polymérisation en un réseau tridimensionnel infusible et insoluble que l'on qualifie de thermo durci. Il est souvent d'usage, dans l'industrie, d'employer abusivement le terme thermodurcissable pour désigner à la fois le système réactif initial, soluble et fusible et le produit final et infusible.

Le réactif initial peut être composé d'un monomère ou d'un mélange de monomères (résines aminoplastes et phénoplastes, silicone...) ou plus fréquemment d'un mélange de polymère linéaire de faible masse molaire et de monomère (résine époxy, résines polyesters insaturés...).

Dans tous les cas, la réticulation s'effectue sous l'action de la chaleur et / ou de catalyseurs. Ces polymères amorphes ont une température de transition vitreuse élevée (80 °C à + de 150°C) mais, du fait de la réticulation, ne présentent pas d'état caoutchoutique ni d'état liquide. La mise en œuvre des thermodurcissables est donc moins aisée que celle des thermoplastiques car il faut impérativement effectuer la mise en forme en même temps que la réaction chimique de réticulation. Cependant, les thermodurcissables présentent une résistance mécanique, chimique et thermique plus élevées que les thermoplastiques.

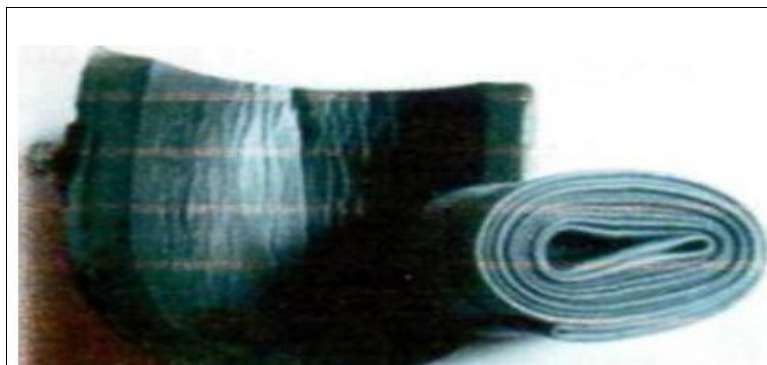


Figure 6 : Thermodurcissables

I.3.5.4. Les élastomères :

Un élastomère est un polymère linéaire ou ramifiée transformé par vulcanisation en un réseau tridimensionnel faiblement réticulé infusible et insoluble. Les élastomères se différencient des thermodurcissables par leur propriété d'élasticité caoutchoutique, c'est-à-dire la capacité à subir de très grandes déformations réversibles sous l'action de contrainte mécaniques. Ils peuvent atteindre de très grandes allongements (jusqu'à 500 %) tout en étant capables de retrouver leur géométrie initiale en restituant au milieu l'énergie qui leur a été fournie lors de la déformation.

I.3.5.5. Les élastomères thermoplastiques :



Figure 7 : Élastomères

Un élastomère thermoplastique est un polymère linéaire ou ramifié présentant les propriétés d'élasticité caoutchoutique d'un élastomère et de facilité de mise en œuvre d'un thermoplastique. Les élastomères thermoplastiques sont le souvent des copolymères à blocs (ou des mélanges d'homopolymères et /ou copolymère) dont la structure à l'état solide résulte toujours de l'association d'au moins deux phases distinctes non miscibles :

Une phase souple (température de transition vitreuse comprise entre 90 °C et 40 °C) associée à une phase rigide (température de transition vitreuse ou température de fusion supérieure à 90 °C) ; C'est donc un matériau multiphasé ou la phase rigide est dispersée dans la phase souple.

I.3.6. Selon les usages technologiques : [11]

On peut distinguer :

- ❖ Les fibres synthétiques (nylon, tergal) ou naturelles (coton, soie) ;
- ❖ Les plastiques : ce sont les plastiques au sens large, regroupant les thermodurcissables et les thermoplastiques ;
- ❖ Elastomères : Doués de propriétés élastiques et / ou caoutchoutiques ;

- ❖ Caoutchoucs synthétiques : polymères du butadiène de l'isoprène chloroprène.
- ❖ Caoutchoucs naturels

I.3.7. Selon l'importance économique :

Pour les polymères, comme pour tous produits industriels, il existe une corrélation entre le tonnage et le prix, ceci permet de distinguer trois grandes catégories de polymères commerciaux :

- ❖ Les polymères de grande diffusion : dont le volume des ventes et de production est élevé et dont le prix est faible. Comme : PE, PP, PS, PVC ;
- ❖ Les polymères à hautes performances : dont le volume des ventes est le plus faible et les prix les plus élevés ;
- ❖ Les polymères techniques : dont le volume et le prix sont intermédiaires entre les deux catégories précédentes, comme : polyamides, Polyéthylène [4]

I.4. Propriétés des polymères : [11]

I.4.1. Les Propriétés physiques :

Les propriétés physiques des matériaux polymères sont une moyenne de celles des composants quand il s'agit de masse volumique ou de la reprise d'humidité. Pour le reste, ces matériaux sont souvent inhomogènes et il n'y a pas de règle d'addition pour prévoir les propriétés à partir de celles des composants.

Avant tout, rappelons qu'il existe une grande variété de matières plastiques, tout comme il existe un grand nombre d'alliages métalliques, une des caractéristiques physiques générales des polymères est :

I.4.1.1. La masse volumique :

La masse volumique des matières plastiques est peu élevée. La légèreté des polymères est sans aucun doute une des qualités qui a le plus largement contribué à leur diffusion. En ce qui concerne le rapport (résistance à la traction / masse volumique), certains polymères sont en fait supérieurs bien à des matériaux métalliques. La faible masse volumique des plastiques est due au faible poids atomique des principaux atomes de leurs chaînes (principalement l'hydrogène et le carbone).

I.4.2. Les Propriétés thermiques : [11]**I.4.2.1. La température :**

La température de transition vitreuse "**T_g**" et la température de fusion "**T_f**" sont les deux températures fondamentales nécessaires dans l'étude des matériaux polymères. La température de transition vitreuse est partiellement importante pour les polymères amorphes, notamment les thermoplastiques amorphes, pour lesquels, il n'existe aucune force de cohésion importante autre que l'enchevêtrement. Les températures caractéristiques d'un seul et même matériau peuvent alors être classées de la façon suivante :

Température de transition vitreuse < Température de cristallisation < Température de diffusion < Température de décomposition thermique.

Selon la température à laquelle il est soumis, un matériau polymère peut présenter des comportements mécaniques différents. Ceci peut se produire pour les thermoplastiques semi cristallins dans un domaine même étroit de la température.

I.4.3. Applications des polymères :

Les polymères constituent une des principales révolutions techniques. Ceux-ci sont utilisés pour un nombre extraordinaires d'applications à tous les échelons de la vie (Voir Tableau 1).

Domaines	Exemples
Le secteur de la construction	Les portes, conduites d'eau et l'assainissement, peinture des murs des planchers et des plafonds, revêtement du sol.
Industrie de l'emballage	Bouteilles, pots de yaourt, boîtes aux lettres, problème thermique, gainage films vidéo.
Médecine et santé	Poches de sang, gants, lentilles, verres de lunettes, les organes artificiels, Seringues, industrie dentaire, prothèses, outils de chirurgie
Articles ménagers	Tupperware, poubelles, seaux, vaisselle.
Matériel électrique électronique	Tension d'isolement, isolation, laveuses, ordinateurs et les caméras, Radio et télévision, téléphone.
Industrie automobile	Système vitre claire, Tapie, carrosserie, optiques, planches de bord, habillage intérieur, Façades de téléviseurs, gainage de câbles.
Industrie textile	Vêtement, fibres textiles naturelles et synthétiques, sacs, ski, similicuir, non tissés.
Sports-loisirs	Certaines parties des bâtiments, des avions et des bateaux, DVD, bandes magnétiques, Files de pêche et les cordons utilisés, piscines, coques de bateaux.
Industrie chimique	Tuyauterie, cuves, revêtements.

Tableau 1 : Les domaines d'application des polymères

I.5. Conclusion :

Les matériaux polymères offrent une facilité de transformation et sont donc largement utilisés dans tous les secteurs industriels. Leurs propriétés intrinsèques étant cependant relativement faibles, il est nécessaire de les améliorer grâce à des adjuvants (antistatiques, colorant, charges, renforts, déroulants ...).

Aujourd'hui, les enjeux économiques pour le développement de ces matériaux sont multiples et touchent déjà de nombreux domaines d'application comme celui de la construction, des transports, de l'emballage alimentaire, des articles de sport, du textile, etc.

CHAPITRE II

GENERALITES SUR LES ESSAIS MECANIQUES

II.1. Introduction :

Les essais sur les matériaux ont pour but d'étudier leur comportement soumis à différentes sollicitations extérieures. Il s'agit pour l'essentiel d'observer le rapport qui existe entre les forces appliquées et la déformation, ainsi que les sollicitations limites résultantes entraînant une défaillance des composants. Les valeurs caractéristiques obtenues par les méthodes d'essai mécanique sont utilisées dans le développement des matériaux, la conception des composants, ainsi que dans l'application de l'assurance qualité. Afin de caractériser aussi précisément que possible les propriétés des matériaux, on dispose d'une série de méthodes d'essai normalisées.

Les essais mécaniques sont l'étape indispensable pour accéder aux caractéristiques des matériaux, du module d'Young à la limite d'élasticité, en passant par la ténacité ou la résistance à la fatigue. On trouve divers essais mécaniques selon les matériaux et leurs utilisations, les plus utilisés sont: l'essai de traction et l'essai de compression.

II.2. Essai de traction :

L'essai de traction constitue l'un des essais les plus utilisés pour la caractérisation mécanique des matériaux. Etant purement uniaxial du moins tant qu'il n'y a pas de striction (diminution catastrophique de la section de l'éprouvette au centre de celle-ci), il permet de s'affranchir des méthodes de calcul inverse pour aboutir directement à une loi de comportement uniaxiale. Il permet de déterminer de nombreuses grandeurs normalisées, comme la contrainte à rupture, la contrainte maximale, la limite d'élasticité, etc. nécessaires dans les calculs de structure[5].

Les éprouvettes de traction adoptent deux géométries cylindrique ou plate. La section doit être constante sur une longueur suffisante pour obtenir un état de contrainte homogène pendant l'essai

Une éprouvette normalisée est soumise à une charge suivant l'axe longitudinale (figure1). L'essai de traction est exécuté soit sur des barres de section constante, soit sur des éprouvettes cylindriques ou prismatiques prolongées de part et d'autre par des têtes d'attache de forme appropriée pour la fixation. Ces têtes d'attache ont typiquement une section nettement plus grande que la partie centrale de l'éprouvette dite « section réduite ». Ceci est pour s'assurer que la contrainte dans les têtes d'attache (contrainte nominale + concentration de contrainte engendrée par le système de fixation) reste toujours inférieure à la limite

d'écoulement du matériau. Ainsi la déformation plastique est essentiellement limitée à la partie de l'éprouvette à section réduite. En outre, il est à veiller que les forces transmises par le système de fixation soient colinéaires pour minimiser les effets des forces latérales.

Ceci n'est pas qu'un détail que l'on doit respecter seulement lorsqu'on effectue l'essai de traction. Dans la pratique aussi, on doit garder à l'esprit que la limite d'écoulement plastique déterminée dans un essai de traction ne tient compte que d'un état de contrainte uni axiale [5].

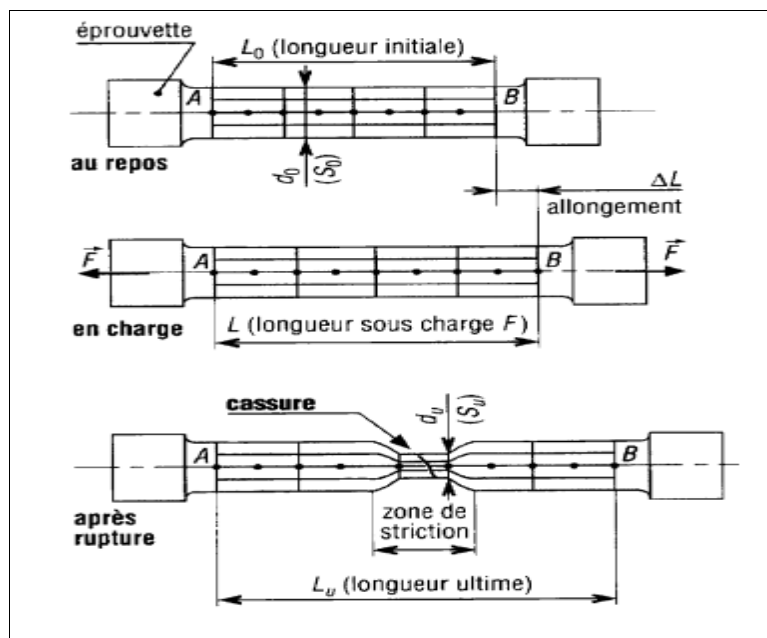


Figure (8) : Schéma d'une éprouvette sous l'effet de traction

II.2.1. Diagramme de traction [4] :

Les valeurs mesurées directement lors d'un essai de traction sont la force F et l'allongement ΔL , plutôt que les contraintes et la déformation. La contrainte σ , rapportée dans un diagramme de traction est la force divisée par la section initiale S_0 de l'éprouvette (contrainte nominale).

$$\sigma = F / S_0$$

Avec :

σ : La contrainte de traction (MPa) ;

F : La force de traction (N) ;

S_0 : La section initiale de l'éprouvette (mm²).

De même la déformation, se réfère à la longueur initiale L_0 de la partie délimitée par l'extensomètre (déformation nominale).

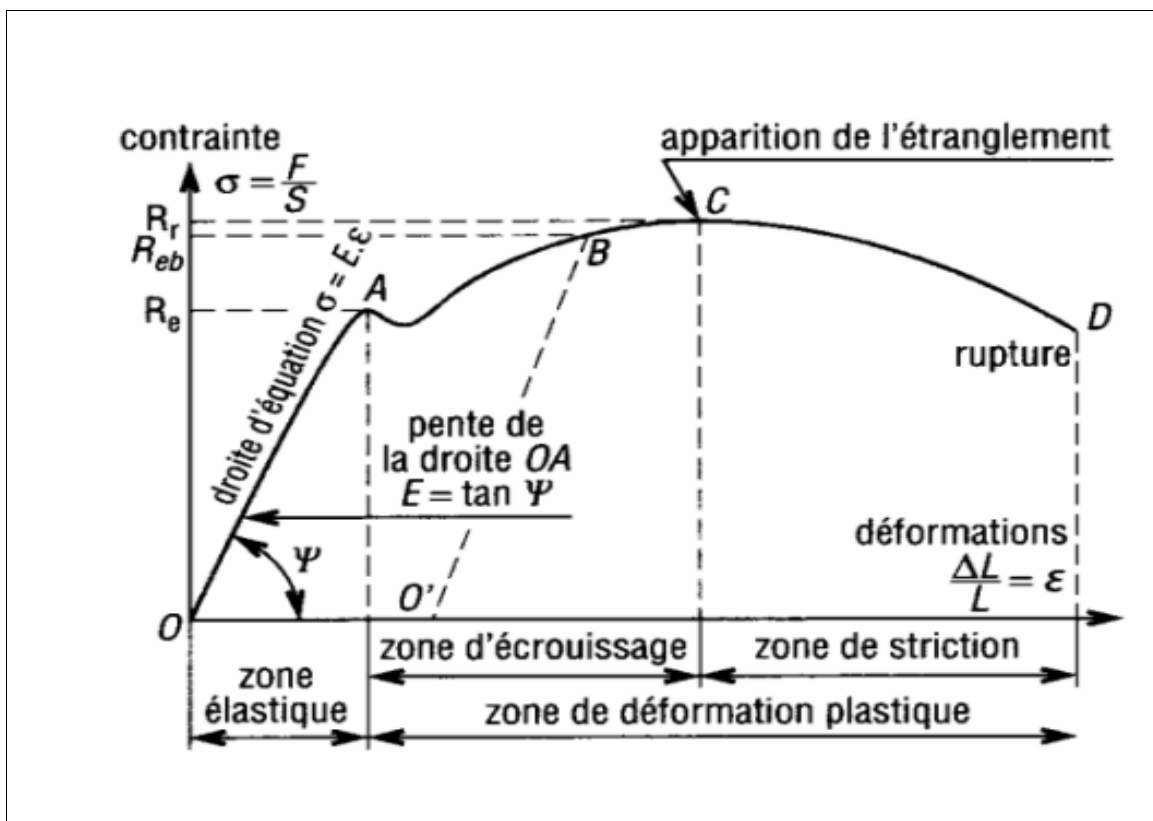
$$\epsilon = \Delta L / L_0$$

Avec :

ϵ : La déformation longitudinale de l'éprouvette ;

L_0 : La longueur initiale de l'éprouvette (mm) ;

ΔL : L'allongement de la longueur L lors de l'application de la charge (longueur finale - longueur initiale) (mm).



Figure(9) : Courbe des contraintes

Premier période (OA): c'est la période élastique ou de résistance à la déformation des matériaux. Si on relâche les forces appliquées avant d'atteindre la limite (R_e) le matériau reprend sa forme initiale, c'est la limite élastique.

Deuxième période (AC): (zone d'écrouissage) c'est la période de déformation permanente ou période de mise en forme des matériaux. Le matériau se déforme, mais ne rompt pas et gardera la déformation même si on relâche les forces appliquées.

Troisième période (CD): (zone de striction) c'est la période de striction ou de décohésion structurale localisée entraînant la rupture de l'éprouvette.

II.2.2. Caractéristiques de l'essai [4] :

II.2.2.1. Limite élastique (R_e) :

C'est la charge unitaire (charge par unité de section) exprimée en (MPa) correspondant à la fin de la première période.

Elle marque la fin du domaine élastique (au point A). Pour les valeurs supérieures, le matériau ne se déforme plus élastiquement mais plastiquement, l'éprouvette ne retrouve plus ses dimensions initiales après "déchargement", elle subit un allongement permanent soit un phénomène de rémanence.

$$R_e = F_e / S_0 .$$

Avec :

R_e : Limite d'élasticité apparente (MPa) ;

F_e : La charge à limite d'élasticité apparente (N) ;

S_0 : La section initiale de l'éprouvette (mm²).

II.2.2.2. La résistance à la traction (R_m):

C'est la contrainte maximale que peut supporter le matériau avant d'atteindre la zone de striction qui est souvent appelée résistance à la rupture. Elle est utilisée dans le calcul des organes en sécurité. Elle s'exprime par la relation suivante :

$$R_m = F_m / S_0$$

Avec :

F_m : la charge maximale (en N).

II.2.2.3. La résistance à la rupture R_r :

Après la rupture, l'éprouvette a pour longueur L_0 . On définit l'allongement à la rupture en % :

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

- Pour les aciers : $0\% < A\% < 30\%$

II.2.2.4. Striction ($Z\%$):

C'est le rapport de changement de section après rupture, Dans cette expression, L_0 et L_f sont respectivement les longueurs initiales et finales après rupture.

$$Z\% = \frac{S_f - S_0}{S_0} \cdot 100$$

Avec :

S_f : Est la striction après rupture

Cette déformation est également la somme de la déformation homogène répartie et de la déformation de striction proprement dite.

II.2.2.5. Module d'élasticité longitudinale E (MPa) ou module de Young :

Il caractérise la stabilité dimensionnelle sous charge pendant la première période. C'est le rapport de la charge unitaire sur l'allongement unitaire correspondant dans la première période de proportionnalité. Plus E est grand plus le matériau est rigide, Exemples : les aciers $\Rightarrow E = 200000 \text{ MPa}$ et les élastomères $\Rightarrow E = 1 \text{ MPa}$.

$$E = \frac{Re}{\frac{\Delta L}{L_0}}$$

Plus le module est important et plus la stabilité dimensionnelle de la pièce est grande.

<i>Matériau</i>	<i>E en GPa</i>	<i>Matériau</i>	<i>E en GPa</i>
<i>Diamant</i>	<i>1000</i>	<i>Fibre de carbone</i>	<i>300</i>
<i>Carbure de silicium (SiC)</i>	<i>450</i>	<i>Titane</i>	<i>115</i>
<i>Silicium</i>	<i>107</i>	<i>Magnésium</i>	<i>45</i>
<i>Tungstène</i>	<i>400</i>	<i>Aluminium</i>	<i>70</i>
<i>Acier</i>	<i>210</i>	<i>Polypropylène</i>	<i>1,5</i>
<i>Cuivre</i>	<i>125</i>	<i>Bois aggloméré</i>	<i>7</i>
<i>Laiton, bronze</i>	<i>110</i>	<i>Béton</i>	<i>50</i>

Tableau (2) : Quelques valeurs du module d 'Young E (GPa)

II.2.2.6. Loi de Hooke et distribution des contraintes [1]:

La relation entre l'allongement ΔL d'une barre et l'effort de traction N a été établie en 1678 par R. Hooke. En effet, dans le diagramme de traction dans le domaine élastique, on peut remarquer la linéarité entre l'effort N et l'allongement ΔL , et donc entre la contrainte σ et l'allongement relatif ϵ . Mathématiquement, cette relation peut s'exprimer par la relation trigonométrique suivante :

$$\tan \Psi = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Cette valeur $\tan \Psi$ est le module de Young E : $E = \tan \Psi$

E est donc une constante dépendante du matériau, appelée : module d'élasticité longitudinale ou module de Young. Pour les valeurs de quelques matériaux voir Tableau(1). La loi de Hooke s'écrit dès lors :

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

Le module d'élasticité longitudinale E est en fait l'image de la rigidité du matériau. Plus E est élevé, moins le matériau ne se déformera sous l'action d'une force.

I.2.2.7. Limite conventionnelle d'élasticité R_e 0,2 MPa :

On utilise cette détermination pour les courbes de traction où le palier de fin de limite élastique n'apparaît pas nettement. Pour la mesure de R_e on tolère une légère déformation permanente de 0,2%.

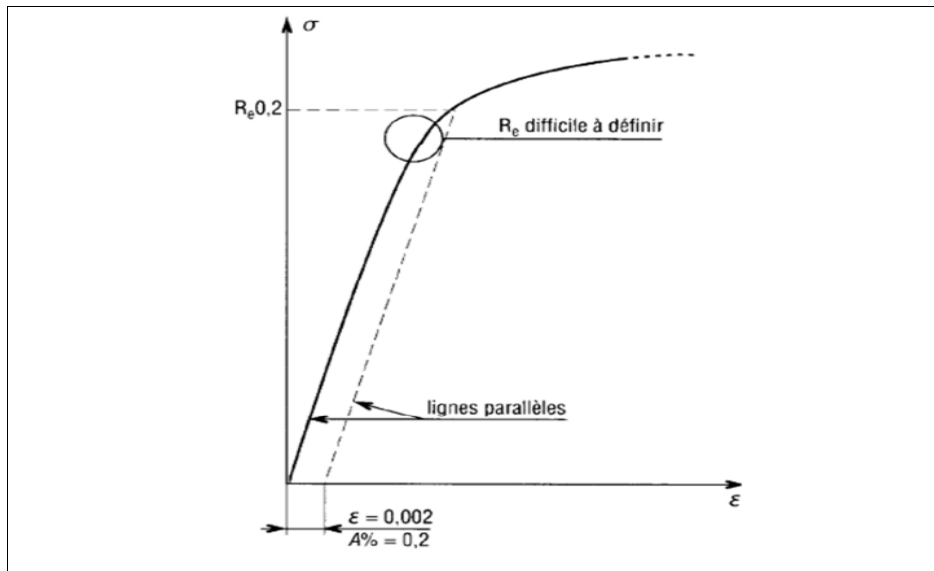


Figure (10): Mesure de la limite d'élasticité conventionnelle $R_{e0.2}$

II.2.2.8. Coefficient de poisson :

Autre que la déformation axiale ϵ_x , le matériau subit également une déformation perpendiculaire à l'axe de la contrainte appliquée.

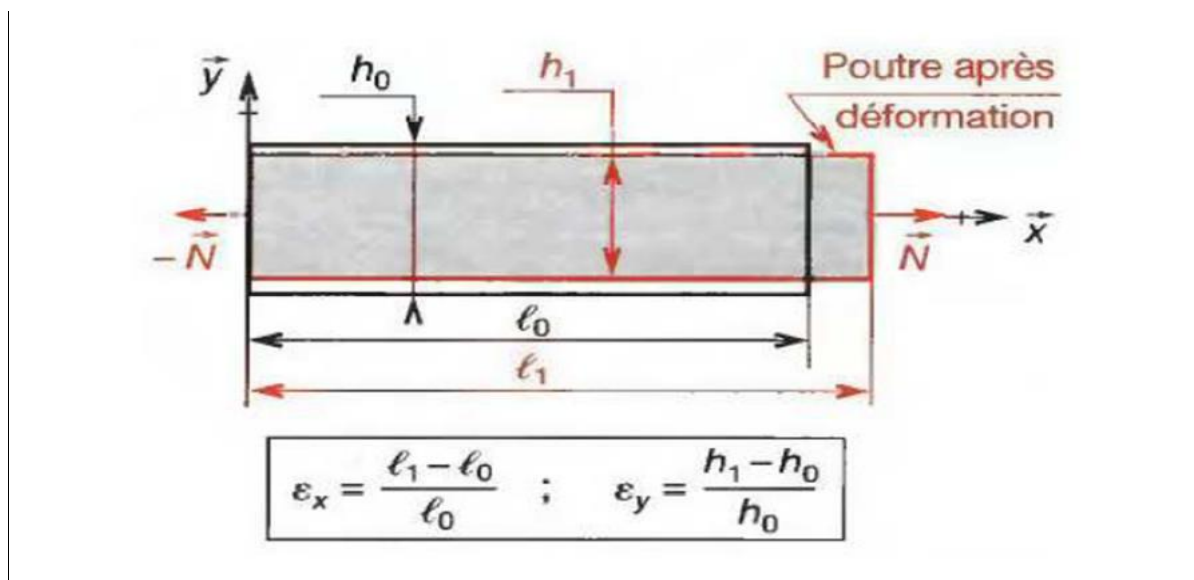


Figure (11) : déformation transversale.

La relation entre ces deux déformations est donnée par la loi suivante :

$$\epsilon_y = -\nu \cdot \epsilon_x$$

Avec :

ν : le coefficient de Poisson ;

ϵ : la déformation élémentaire parallèle à la direction de la force ;

ϵ_y : La déformation élémentaire perpendiculaire à la direction de la force.

Le coefficient de proportionnalité ν est appelé coefficient de Poisson (Siméon Denis Poisson 1781-1840). Le signe moins dans cette équation Prend compte de la diminution du diamètre lorsque la contrainte augmente.

Le coefficient de Poisson est donc sans dimension et varie de 0 à 0,5. Il est d'autant plus faible que le matériau est rigide. Pour les aciers $\nu = 0,3$.

II.2.2.9 Le module d'élasticité transversal G :

On peut définir alors un module d'élasticité transversal G , lui aussi dépendant du matériau (G vaut typiquement 8.10^4 N.mm⁻² pour les aciers) par l'équation suivante:

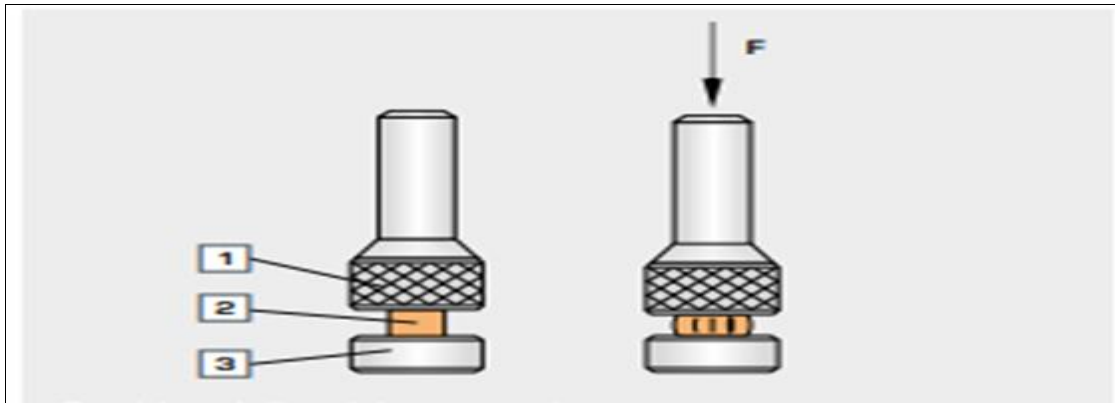
$$G = \frac{E}{(1-\nu)}$$

II.3. Essai de compression :

Un essai de compression mesure la résistance à la compression d'un matériau sur une machine d'essais mécaniques suivant un protocole normalisé. Les essais de compression se font souvent sur le même appareil que l'essai de traction mais en appliquant la charge en compression au lieu de l'appliquer en traction.

Pendant l'essai de compression, l'échantillon se raccourcit et s'élargit. La déformation relative est « négative » en ce sens que la longueur de l'échantillon diminue. La compression tend de plus à amplifier les irrégularités latérales de l'échantillon et, au-delà d'une contrainte critique, l'échantillon peut fléchir et la flèche peut s'accroître jusqu'au flambage.

L'essai de compression est surtout utilisé pour déterminer la contrainte de rupture des matériaux fragiles (comme les céramiques). En principe l'essai de compression est comme celui de traction, c'est un essai uni axial, sauf que la longueur de l'éprouvette n'est pas trop longue afin d'éviter le phénomène de flambage, un bon compromis consiste à choisir une éprouvette cylindrique de longueur égale à **1.5** fois le diamètre [4].



Figure(12) : Procédure de l’essai de compression

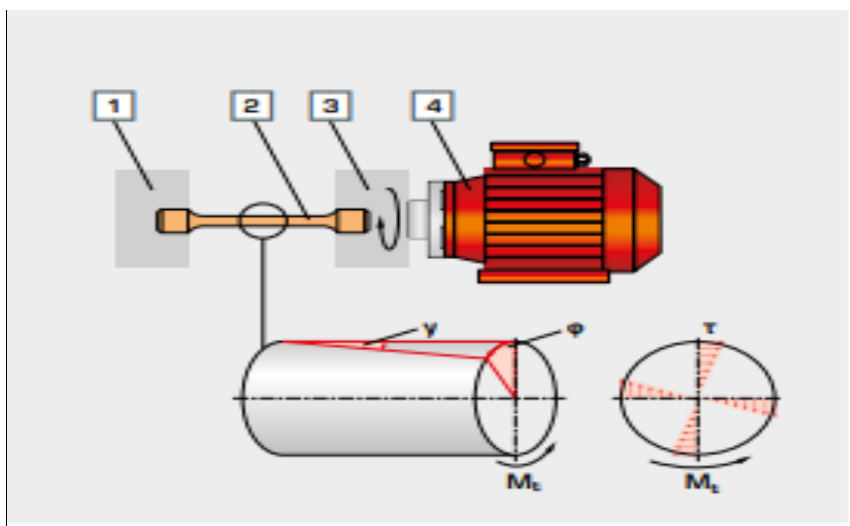
1 : poinçon de compression, 2 : éprouvette, 3 : plaque de compression, F : force d’essai.

II.4. Essai de torsion :

Les composants soumis à des mouvements rotatifs sont sollicités en rotation. Cette rotation est également appelée torsion. La résistance de torsion déterminée par l’essai de torsion sert d’orientation pour connaître la sollicitation admissible du matériau.

Cette méthode est utilisée pour les arbres, axes, fils métalliques et ressorts, ainsi que pour évaluer le comportement de ténacité des aciers à outils.

Lors de l’essai de torsion, une éprouvette est fermement fixée à une extrémité, et soumise à l’autre extrémité à un couple en croissance constante (figure 6). Le moment de torsion provoque des contraintes de cisaillement dans la section de l’éprouvette; un état de contrainte s’installe, entraînant une déformation, puis une rupture.



- 1 : serrage fixe
- 2 : éprouvette
- 3 : serrage rotatif
- 4 : entraînement
- M_t : moment de torsion
- Γ : angle de cisaillement
- ϕ : angle de torsion
- τ : contrainte de cisaillement

Figure (13) : Procédure de l’essai de torsion

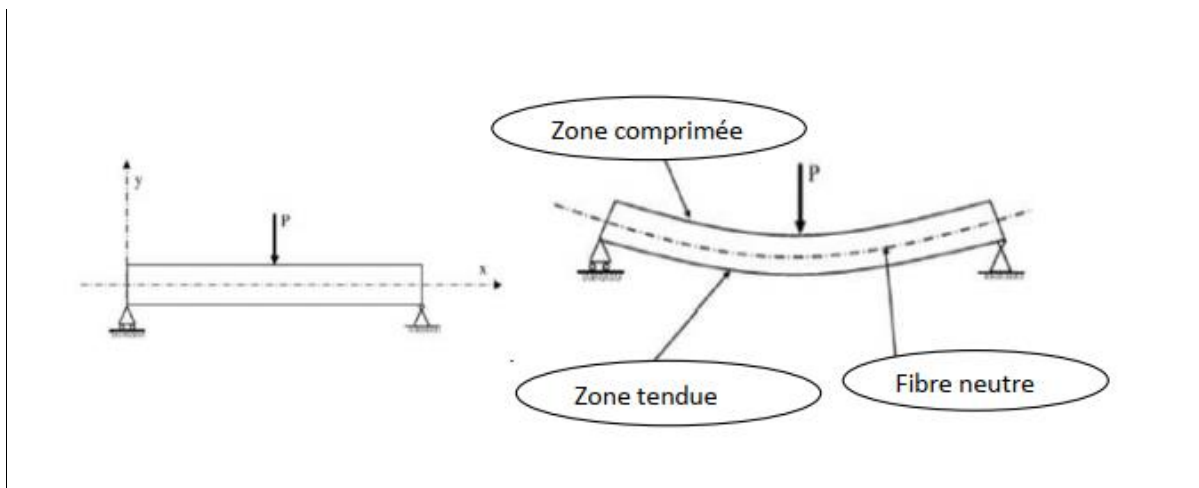
II.5. Essais de flexion :

Une poutre est sollicitée en flexion simple lorsque toutes les forces appliquées à la poutre, que ce soient les forces à distance ou les forces élémentaires de liaison, sont perpendiculaires à la ligne moyenne, et soit situées dans le plan de symétrie, soit réparties symétriquement par rapport à celui-ci, ou concentrées en un point ou réparties suivant une loi. L'essai de flexion démontre le rapport qui existe entre la charge appliquée sur une poutre en flexion et sa déformation élastique. Il met en évidence l'influence exercée par le module d'élasticité et le moment d'inertie géométrique.

Considérons une poutre reposant sur deux appuis soumis à une charge concentrée verticale (figure7). Après déformation, cette poutre fléchit :

On constate que les fibres situées dans la partie supérieure sont sollicitées en compression tandis que celles situées en partie inférieure sont sollicitées en traction. Entre ces deux régions il existe une fibre qui reste ni tendue ni comprimée : la fibre neutre.

Les allongements ou raccourcissements relatifs sont proportionnels à la distance y de la fibre considérée [5].



Figure(14) : Essai de flexion

II.6. Essais de fatigue ou d'endurance :

Les essais de fatigue caractérisent la capacité d'un matériau à résister à une sollicitation cyclique. Si le nombre de cycles est petit, on parlera de fatigue oligocyclique. Il existe plusieurs modes de sollicitations possibles : flexion, efforts axiaux (traction et/ou

compression), torsion, des modes combinés, statiques et dynamiques (torsion / flexion, tension / torsion, etc.).

Il est de première importance sur les structures d'avions et dans de nombreux autres domaines (roulements, engrenages, arbres de transmission...). Une roue de voiture mal équilibrée est un exemple de système soumis à un phénomène de fatigue, un effet de résonance peut l'amplifier. La rupture peut se produire, après un certain nombre de cycles ou allers et retours, sous des efforts bien inférieurs aux limites usuelles du matériau (R_r et R_e).

C'est un essai statistique dans la mesure où des éprouvettes identiques, sous les mêmes conditions d'essai, donnent des résultats différents. Il y a une répartition statistique des résultats autour d'une valeur moyenne ou médiane. Cette valeur moyenne, une fois déterminée est choisie comme représentative de la capacité du matériau (analogie avec la durée de vie des roulements). Les essais de fatigue permettent de déterminer le nombre de cycles à rupture pour une sollicitation donnée.

II.7. Essais de résilience [1] :

Ce type d'essai caractérise la capacité d'un matériau à absorber les chocs mécaniques sans se rompre. Ce risque est amplifié aux basses températures, elle est caractérisée par un symbole générale K. Elle est mesurée sur des machines du type Charpy (éprouvette sur deux appuis) ou Izod (éprouvette encastrée).

L'essai, qui est un essai comparatif entre matériaux, mesure l'énergie qu'il faut fournir à un pendule pesant une certaine masse, pour briser une éprouvette entaillée du matériau à tester. L'énergie absorbée par l'éprouvette (W) est égale à la différence des énergies potentielles du pendule entre le début ($W_0 = P \cdot h_0$) et l'arrivée ($W_1 = P \cdot h_1$) :

$$W = (P \cdot h_0 - P \cdot h_1) = P (h_0 - h_1).$$

Avec : P: poids du pendule ;

h_0 : hauteur initial ;

h_1 : hauteur final.

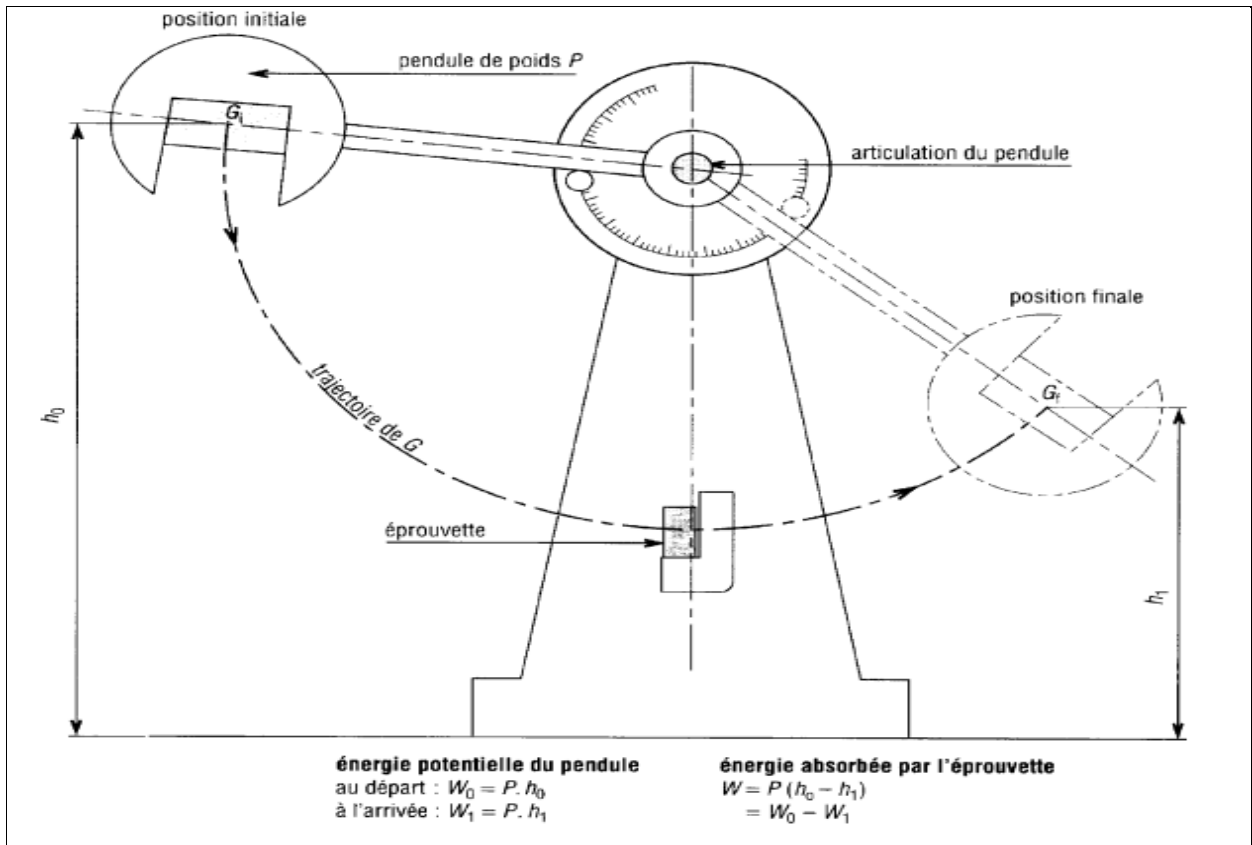


Figure (15) : Schématisation Du pendule de Charpy

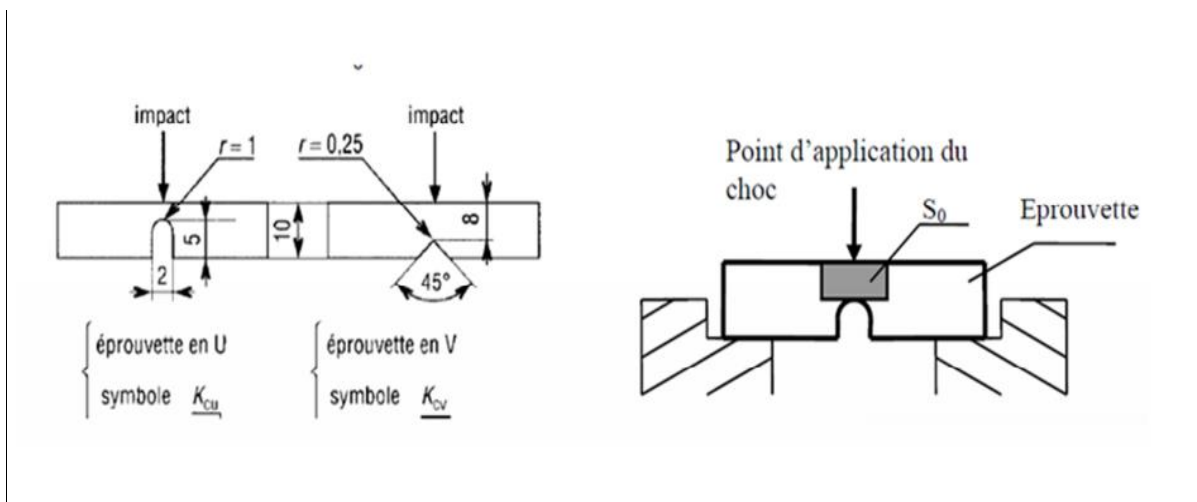


Figure (16): Géométries des éprouvettes d'essai de résilience

La résilience est égale au rapport de W sur l'aire de la section au droit de l'entaille.

Deux cas :

$$K_{cu} \text{ ou } K_{cv} = \frac{W_0 - W_1}{S_0}$$

Avec:

W_0 : est l'énergie potentielle à l'état initial ;

W_1 : est l'énergie potentielle à l'état final ;

S_0 : est la section de l'éprouvette.

II.8. Essais de dureté :

La dureté, caractérise la capacité d'un matériau à résister au marquage (empreintes, rayures. . .), à l'usure et à l'érosion.

Largement employé comme moyen de contrôle, cet essai mesure la résistance à la pénétration d'indenteurs de diverses formes, par exemple une bille d'acier de gros diamètre (10 mm) dans le cas de l'essai Brinell (Figure 12.a), ou une pyramide diamant à base carrée, l'angle entre les faces opposées étant de 136° pour l'essai Vickers (Figure 12.b) . Une relation empirique indique que, dans les aciers doux, la dureté Vickers (force/dimension de l'empreinte) est de l'ordre de 3 fois la résistance à la traction.

Elle peut être évaluée en mesurant une empreinte laissée en surface par un poinçon agissant sous l'action d'une force connue, mais aussi par une hauteur de rebondissement d'un objet très dur sur la surface à tester (essai Shore pour élastomères et plastiques) [11].

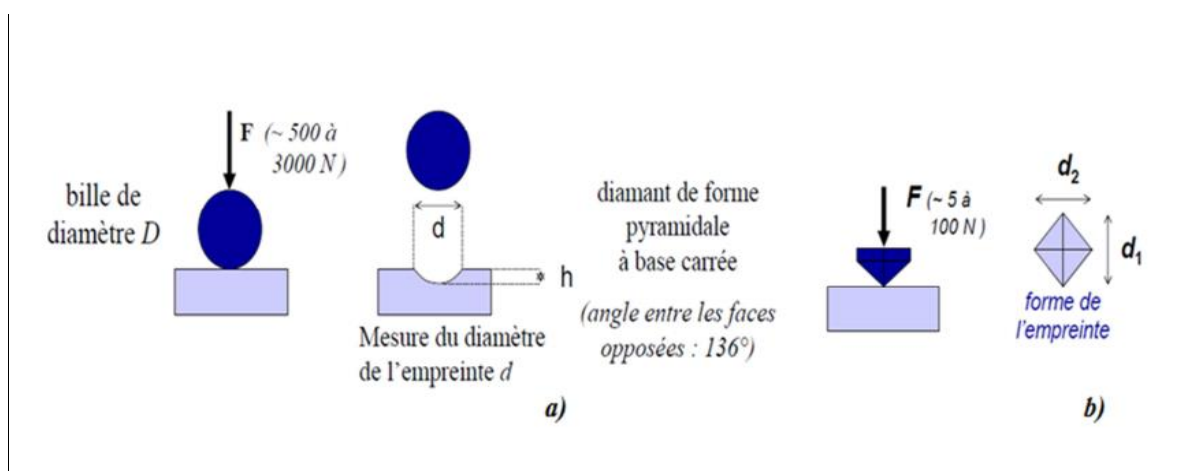


Figure (17) :a) essai de dureté Brinell ;b) essai de dureté Vickers

II.9. Essai de fluage :

La déformation d'un matériau induite pendant le maintien constant de la température et de la contrainte est appelée fluage.

Il s'agit d'une déformation permanente évoluant avec le temps, autrement dit de nature viscoplastique. Si ce genre de déformation est possible à toute température au-dessus du zéro absolu, elle n'intervient de manière significative qu'à des températures relativement élevées. Typiquement, ce genre de phénomène est pris en compte à partir de températures avoisinant $0,2.T_f$, où T_f est la température de fusion du matériau [3].

II.9.1. Définition :

Le fluage correspond à une déformation générée par la combinaison de trois éléments agissant de manière concomitante sur le matériau : la température, le temps et la contrainte. La contrainte est inférieure à la limite d'élasticité du matériau et la température est généralement constante. Le fluage est similaire à la fatigue en ce sens qu'il provoque des dommages irréversibles dans le matériau.

La différence entre ces deux modes d'endommagement réside dans le fait qu'en fatigue c'est la fissuration qui provoque la rupture alors qu'en fluage c'est la déformation.

Phénoménologiquement, si l'on soumet un matériau à une contrainte donnée, inférieure à sa limite d'élasticité, et si la température reste inférieure à la moitié environ de sa température de fusion (exprimée en Kelvin), alors la déformation imposée est entièrement restituée quand la charge est retirée.

Le matériau est sollicité dans le domaine élastique. Au-dessus de cette température seuil, une déformation résiduelle, permanente est constatée dans le cas précis où la contrainte appliquée et/ou la durée d'application de la charge sont suffisantes.

Le matériau est sollicité dans des conditions où le fluage opère : une déformation, sous contrainte constante se produit, elle est évolutive dans le temps et peut conduire à la rupture [3].

Les essais de fluage nécessitent l'usage d'une machine de mise en charge, et d'un extensomètre. Dans le cas des polymères, les essais de fluage sont le plus souvent effectués en traction, quoique des essais de compression soient également possibles pour des

matériaux fragiles, le risque d'endommagement étant plus limité dans ce mode (les fissures perpendiculaires à l'axe de sollicitation ne pouvant pas se développer) [4].

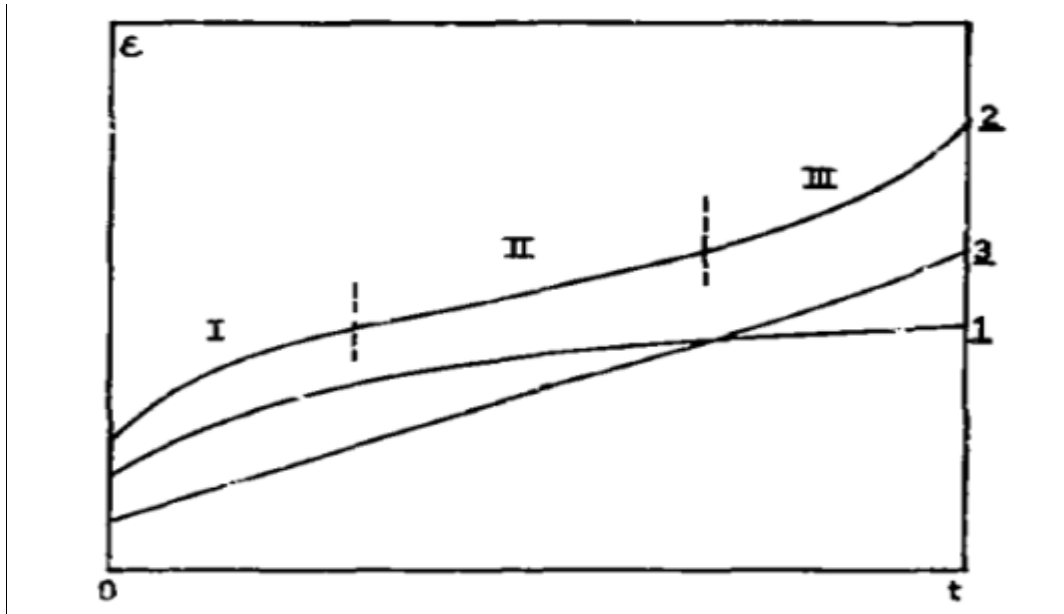


Figure (18): Courbes de fluage

Les courbes de fluage représentent la variation de l'allongement en fonction du temps. Leur aspect général est schématisé sur la figure (11) ;

La courbe n° 1 : est caractéristique du fluage logarithmique qui se manifeste aux températures relativement basses ($T < 0,3 T_f$) et ne conduit pas à la rupture.

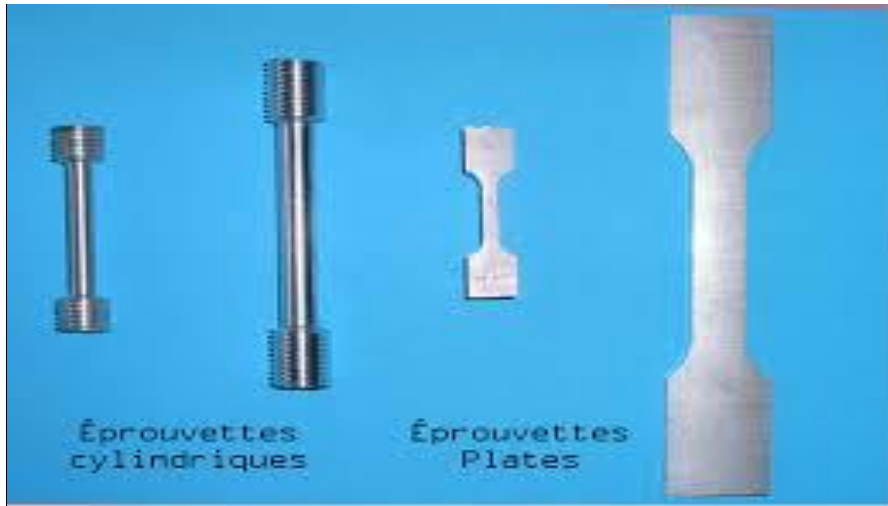
La courbe n° 2 : est relatif au fluage de restauration ($T > 0,3 T_f$) très largement gouverné par des processus de diffusion.

La courbe n° 3 : correspond au fluage visqueux, observé au voisinage de la température de fusion pour des contraintes faibles [4].

II.9.2. Eprouvettes :

Les éprouvettes de fluage sont analogues à celles utilisées pour les essais de traction uni axiale ordinaires, éprouvettes cylindriques ou plates, encore que d'autres géométries peuvent être utilisées selon la disponibilité du matériau ou les contraintes géométriques.

Il est préférable, toutefois, étant donnée la faible vitesse de déformation, de disposer d'éprouvettes relativement longues pour augmenter la précision de la mesure du déplacement [4].



Figure(19) : Exemple d'éprouvettes pour le fluage

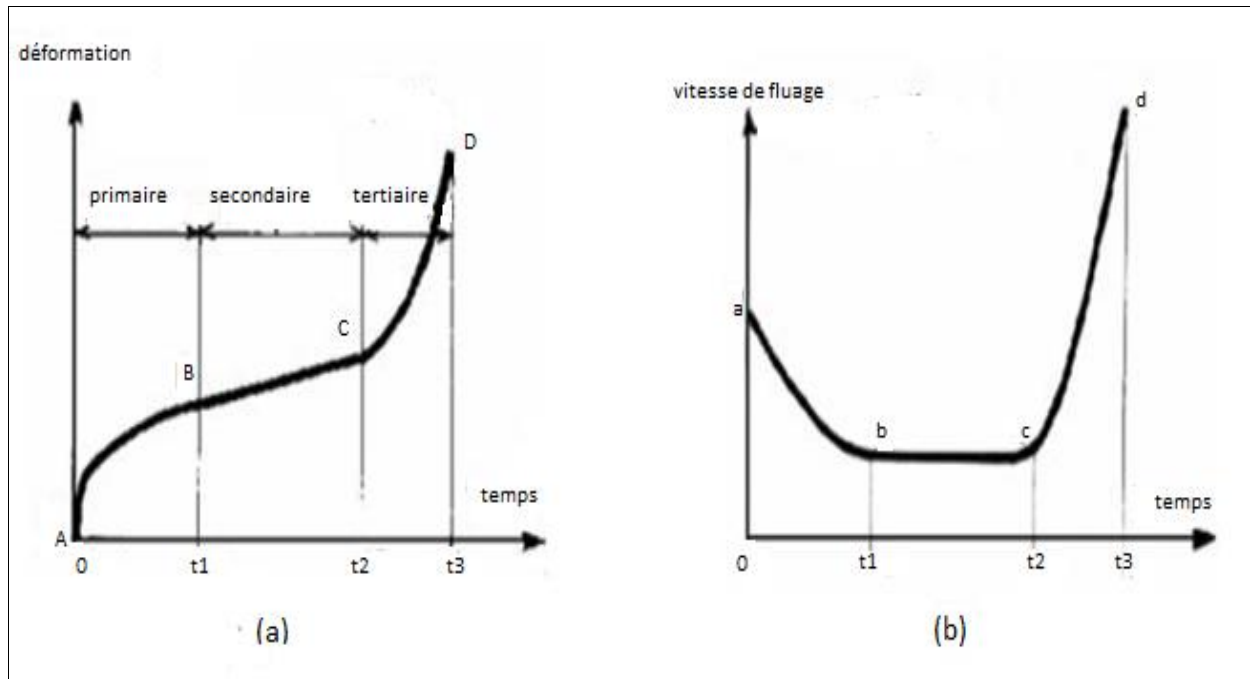
II.9.3. Diagramme typique de fluage [4] :

Typiquement, le fluage des matériaux présente trois phases :

-le *fluage primaire* : pendant lequel la vitesse de déformation diminue continuellement,

-le *fluage secondaire* : à vitesse de déformation minimum,

-le *fluage tertiaire* : pendant lequel la vitesse de déformation augmente jusqu'à la rupture de l'échantillon.



Figure(20) : (a) Allure générale d'une courbe de fluage, Evolution de la déformation (b) la vitesse de déformation en fonction du temps.

II.9.4. Différents stade de fluage:

On distingue généralement trois stades d'évolution de la déformation comme montre dans la figure (20):

-*Le stade primaire ou transitoire (AB)* : pendant lequel la vitesse de déformation diminue avec le temps, ce qui traduit une augmentation de la résistance du matériau. Cette tendance provient en général d'un accroissement de la densité de dislocations jusqu'à saturation.

-*Le stade secondaire ou stationnaire (BC)* : pendant lequel la vitesse de déformation se stabilise. Cette phase correspond à l'équilibre atteint entre les phénomènes de durcissement et ceux de restauration à l'échelle des dislocations.

-*Le stade tertiaire (CD)* : où la vitesse de déformation augmente jusqu'à rupture de l'éprouvette. La densité et la mobilité des dislocations augmentent. En parallèle, des phénomènes de cavitation interne et d'endommagement en surface vont mener à la création de fissures. Ces dernières vont diminuer la surface portante de l'éprouvette entraînant la rupture par augmentation de la contrainte macroscopique [4].

II.9.5. Effets de la température et de la contrainte sur le comportement en fluage :

On a vu différents types de fluage, que ce dernier présentait trois stades différents si la température était supérieure à environ $0,3 T_f$ et se réduisait à un fluage de nature logarithmique pour des températures inférieures.

On distingue aussi les essais réalisés à des contraintes σ inférieures à la limite d'élasticité σ_e et ceux réalisés à des contraintes supérieures. Dans ce dernier cas, le stade secondaire est d'autant plus réduit que le taux d'érouissage $\left(\frac{d\varepsilon}{d\sigma}\right)$ du matériau est faible lors d'un essai de traction.

D'une manière générale, la vitesse de fluage augmente avec la contrainte σ et la température T . La durée du fluage primaire et tertiaire augmente avec σ et T , tandis que celle du fluage secondaire diminue [4].

II.9.6. Caractéristiques de fluage :

II.9.6.1. Fluage logarithmique :

A basse température et à faible contrainte la courbe montre seulement la transition du fluage avant que la déformation devient constante figure (14 a). Ce fluage est décrit par l'équation :

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + a \cdot \log(t)$$

Où ε : représente la déformation après un temps t

a : est une constante.

ε_0 : est la déformation instantanée

Ce type de fluage est appelé logarithmique [4]

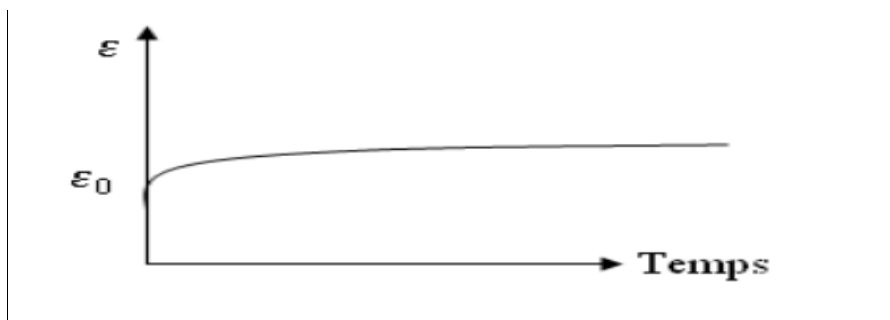


Figure (21 a): Fluage logarithmique

II.9.6.2. Fluage de puissance [4] :

A haute température et forte contrainte l'équation de fluage est de la forme :

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \beta . t . m$$

Où β et m sont des constantes avec la valeur de m compris entre 0 et 1. Pour plusieurs matériaux polycristalins à température élevée $m = 1/3$.

β : constante en fonction de la température et de la contrainte.

Ce type est appelé fluage de puissance (Figure 21b).

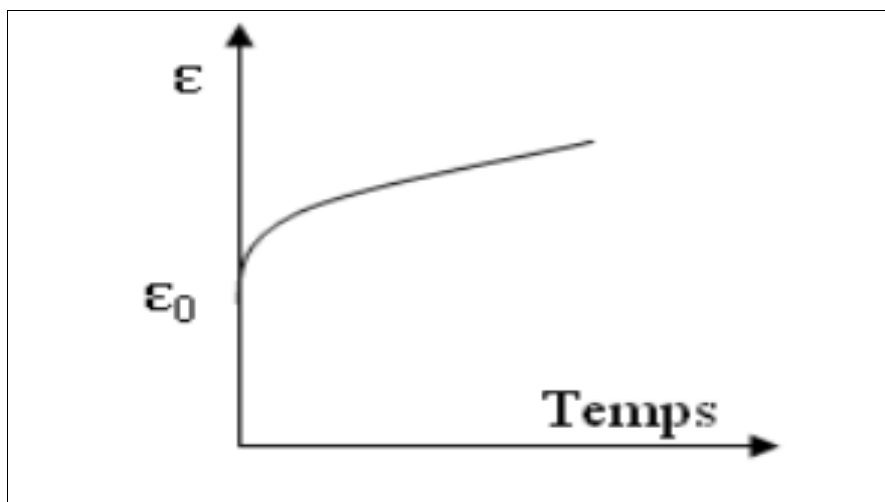


Figure (21b): Fluage de puissance.

Les deux équations (a) et (b) indiquent la diminution de la vitesse de déformation $\frac{d\varepsilon}{dt}$ avec le temps, l'équation de la vitesse de déformation s'écrit :

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = t^{-n}$$

où n est une constante

A des basses températures $n = 1$ et à haute température $n = 1-m$.

La transition du premier stade de fluage vers le deuxième stade est caractérisée par l'équation:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \beta . t . m + \varepsilon_s . t$$

II.9.7 Les différents mécanismes de fluage :

Pour les matériaux métalliques il existe deux grandes classes de mécanismes à l'origine de la déformation plastique à haute température: le fluage dislocation et le fluage diffusion. La déformation du matériau est gouvernée par l'un ou l'autre des mécanismes, en fonction de la température ou de la contrainte appliquée[4].

Pour les polymères, et principalement pour les polymères semi cristallins tel que les polyéthylène à haute densité, les mécanismes de déformations sont plus complexes que ceux dans les métaux.

Ils incluent les déformations dans la zone amorphe et dans la partie cristalline, la phase amorphe transmet les contraintes par le phénomène de fibrillation de plus des cavités se forment ce qui entraînent et conduit à une forte consommation d'énergie au sein du matériau [6, 7].

II.10. Conclusion :

Dans la première partie de notre travail on a vu que pour définir les caractéristiques mécaniques des matériaux, on doit réaliser des essais mécaniques normalisés sur des éprouvettes. Le but de ces essais est d'obtenir des propriétés qui seront utilisables dans les calculs de résistance des matériaux ou qui permettront d'apprécier le comportement d'un matériau en service.

La réalisation de ces essais mécaniques nécessite des machines d'application des charges ainsi que différents dispositifs qui servent à maintenir des éprouvettes en place au cours de ces essais, afin de pouvoir faciliter la récupération des déformations liées au matériau d'étude.

Ensuite on s'est focalisé sur l'essai de fluage, notamment sur le fluage des polymères, on a vu les trois stades du fluage (primaire, secondaire, tertiaire) et leur vitesse de déformation et on a déduit que la vitesse de fluage augmente avec la contrainte σ et la température T .

La durée du fluage primaire et tertiaire augmente avec σ et T , tandis que celle du fluage secondaire diminue

Puis on a vu le fluage logarithmique (à basse température et à faible contrainte), et du fluage de puissance (à haute température et forte contrainte).

CHAPITRE III

ETUDE ET CONCEPTION DE L'APPAREIL

III.1. Introduction :

Le domaine de la conception mécanique est plus un problème de création de la connaissance, il est donc de synthèse. La réflexion qui porte directement sur la synthèse, produit à concevoir généralement inexistant et doit nécessairement passer par l'analyse de l'existant en machines et autres mécanismes pour créer une base de connaissances qui servira d'aide aux concepteurs/projeteurs de projets.

En Europe, le processus de conception qui permettait de modéliser la pièce, par assemblage de ces pièces, l'ensemble a été introduit aux années 70 mais réservé aux grandes entreprises telles que l'Aérospatial, l'automobile et l'armement ; il y a par exemple, les systèmes CADAM de Martin Marietta, CATIA des avions de Marcel Dassault, et autres logiciels qui sont à leurs N^{ième} générations.

A partir de ces définitions très diverses, il ressort que la conception d'un système mécanique ou d'un mécanisme nécessite une plus grande réflexion et une analyse minutieuse des exigences. Quant à ses phases de spécification et de conception des fonctionnalités et du choix des solutions techniques, cela nécessite une base de connaissance et une base de données qui permettent à l'utilisateur de pouvoir interpréter la formulation du problème posé, les enrichir en fonction de ses besoins et les exploiter pour des travaux futurs [8].

III.1.2.Définition :

La conception est la phase créative d'un projet d'ingénierie. Le but premier de la conception est de permettre de créer un système ou un processus répondant à un besoin en tenant compte des contraintes. Le système doit être suffisamment défini pour pouvoir être installé, fabriqué, construit et être fonctionnel. La norme (ISO 9000:2005) définit la conception et le développement de produits comme un ensemble de processus qui transforme des exigences en caractéristiques spécifiées ou en spécification d'un produit, d'un processus ou d'un système. Il est précisé que les termes « conception » et « développement » sont parfois utilisés comme des synonymes et parfois utilisés pour définir des étapes différentes du processus global avec la conception en amont, puis le développement en aval [9].

III.1.2.1.Objectif :

Notre travail consiste à concevoir un dispositif de fluage en traction uni axial, sur des éprouvettes plates ou cylindriques, pour but d'identifier le comportement mécanique des polymères en fluage.

III.1.3.Bête à cornes :

Le diagramme bête à corne sert à exprimer le besoin en répondant aux questions :

- A qui servira le dispositif de fluage ?
- Sur quoi se dispositif agira-t-il ?
- Dans quel but le dispositif sera-t-il utilisé

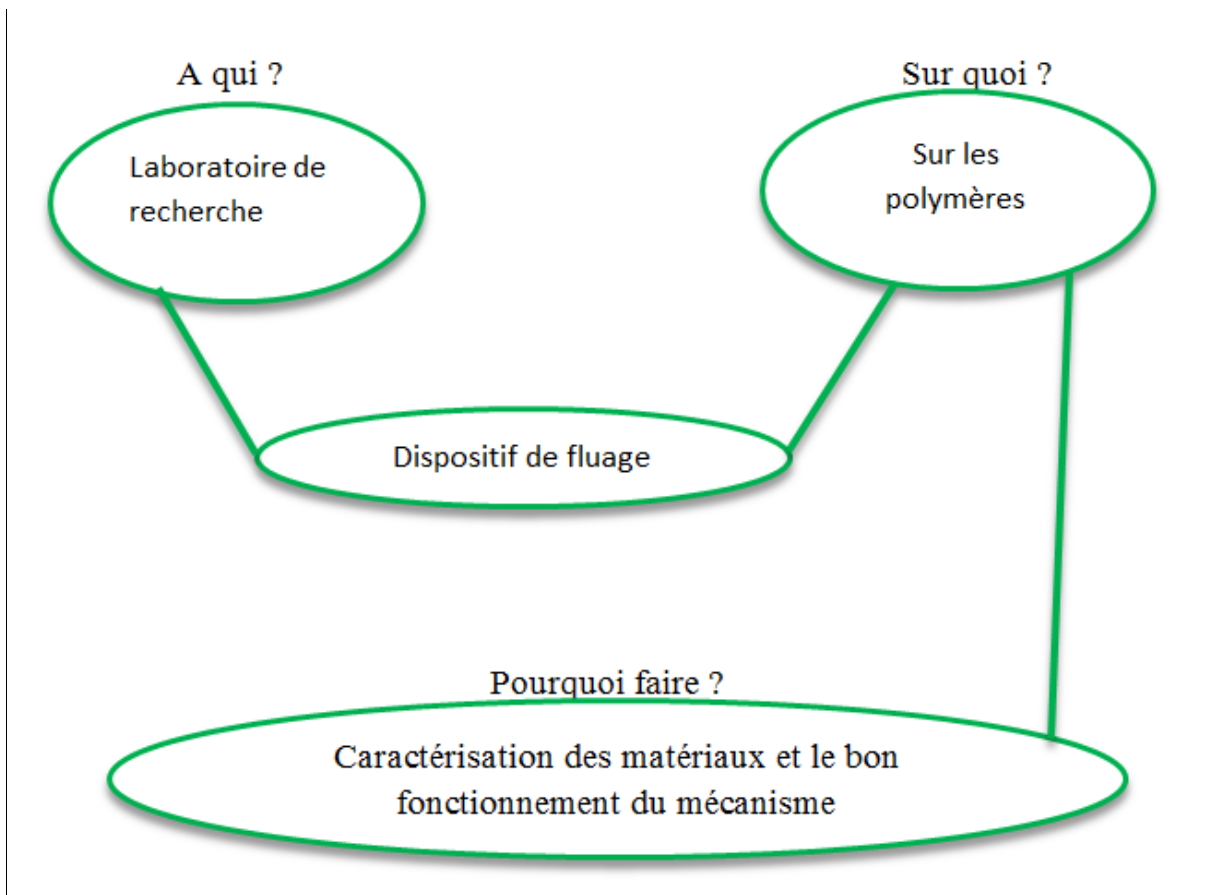


Figure (22) : Diagramme bête à cornes

III.1.4.Diagramme«pieuvre» :

Le diagramme “pieuvre” met en évidence les relations entre les différents éléments du milieu environnant et le produit. Ces différentes relations sont appelées les fonctions de service qui conduisent à la satisfaction du besoin.

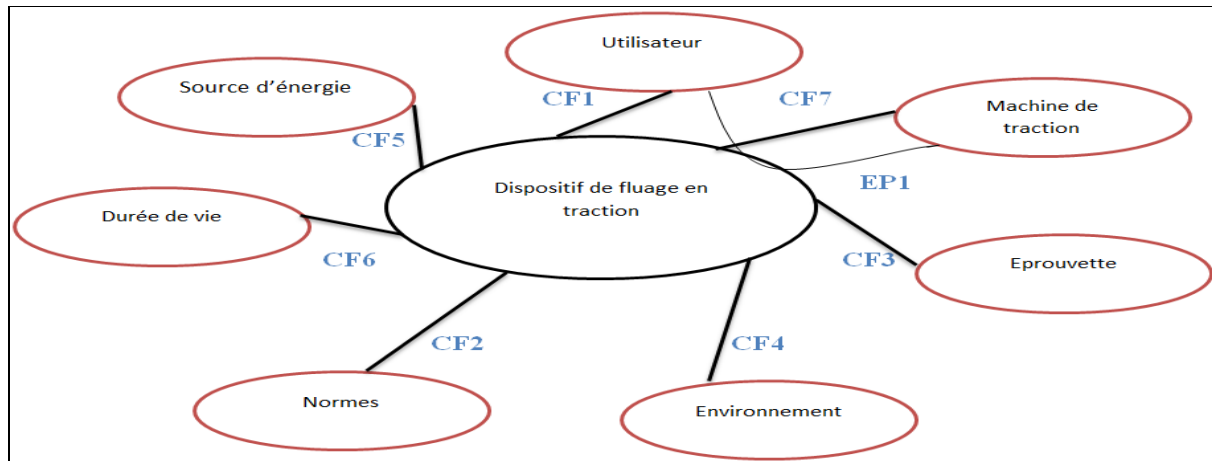


Figure (23) : Diagramme pieuvre

III.1.4.1. Contraintes et fonctions principales de besoin :

Le tableau (3) montre les différentes fonctions de service du dispositif de fluage

	Fonctions	Critères	Niveaux
FP1	Permettre a l'utilisateur de caractériser les matériaux	/	/
FC1	Etre simple d'utilisation et de maintenance	-Poids, encombrement -Entretien	...kg Graissage
FC2	Respecter les normes des éprouvettes	-Normes	Normes européenne
FC3	Transmettre les efforts (traction) aux éprouvettes	-Adaptation des efforts	/
FC4	Résister à l'environnement	-Milieu extérieur	Poussière, humidité
FC5	S'adapter aux caractéristiques de l'énergie	-Supporter les charges appliquées	/
FC6	Assurer une durée de vie convenable	-Protection contre la corrosion -réduction des frottements	/
FC7	Le dispositif fonction en traction	-Dimensions adéquates	/

Tableau(3):, Contraintes et fonctions principales

III.2. Le Processus de conception de produits mécaniques :

III.2.1. Conception et résolution de problème :

III.2.1.1. Généralités et définitions :

L'activité de conception est définie comme la discipline qui étudie les interactions entre « ce que l'on veut accomplir » et « comment on veut l'accomplir ». Le but est d'atteindre, selon une demande précise, un objectif satisfaisant la demande. D'autre part, de nombreux auteurs, comparent la conception à un système de résolution de problème. En effet, son objectif est de transformer un état initial problématique (dû à un manque ou à une inadéquation entre un besoin et une solution existante), en un état final ciblé considéré comme optimal, et où le problème est comblé par la nouvelle solution.

Cette approche permet d'exploiter l'ensemble des travaux sur les systèmes de résolution de problème pour la conception [9].

III.2.1.2. Notion de degré de liberté :

L'une des notions les plus étonnantes de la conception pourrait être la notion de degré de liberté, liée au paradoxe de la conception, qu'on définit par la phrase suivante: « *Plus vous apprenez, moins vous avez la liberté d'utiliser ce que vous savez* ».

Ce paradoxe met en évidence le fait que le problème, peu connu en phase amont, est découvert au fur et à mesure du développement du projet, et les marges d'action sont plus fortes dans les phases amont, ce qui signifie que c'est lorsqu'on ne connaît pas encore totalement le problème, qu'on a la plus grande marge de manœuvre pour définir le produit futur. Cette notion de liberté en conception est décrite par le rapport entre « connaissance du problème de conception » et « liberté de conception », en fonction des étapes du processus de conception. Le schéma de la Figure 1 met en évidence que durant les phases amont, la connaissance du problème est très faible et la liberté d'action en conception est grande, et qu'au cours de l'avancement du projet de conception, la connaissance du problème grandit, alors que la liberté diminue [9].

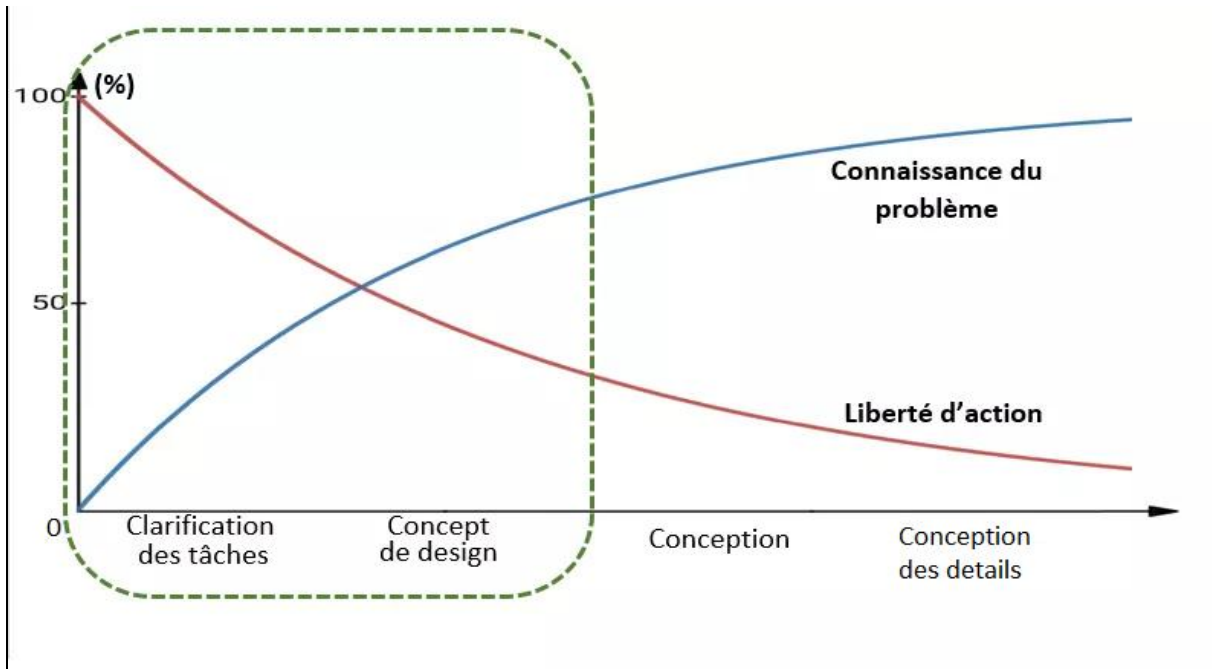


Figure (24) : Représentation schématique du rapport « connaissance du problème / liberté d'action » .

III.2.2. Les méthodologies et processus de conception :

Les projets de conception sont systématiquement pilotés par une démarche de conception dont le but est de structurer un ensemble de méthodes et d'outils afin d'atteindre les objectifs ciblés. Cette démarche, ou méthodologie, est un référentiel pour tous les concepteurs prenant part au projet, et se veut adaptée au contexte de conception.

III.2.2.1. Les différentes phases de conception :

La conception d'un mécanisme est classiquement décomposée en quatre étapes fondamentales. La spécification du produit, la phase conceptuelle, la conception préliminaire et la conception détaillée figure (24). Ce qui permet à l'équipe de concepteurs d'établir une « hiérarchie fonctionnelle », une traduction très progressive des fonctions très générales du cahier des charges en solutions techniques réalisables et répondant aux exigences demandées jusqu'à la réalisation du projet.

Dans l'élaboration d'un projet de conception, la connaissance et l'expérience du projeteur sont les clés de la conception [8].

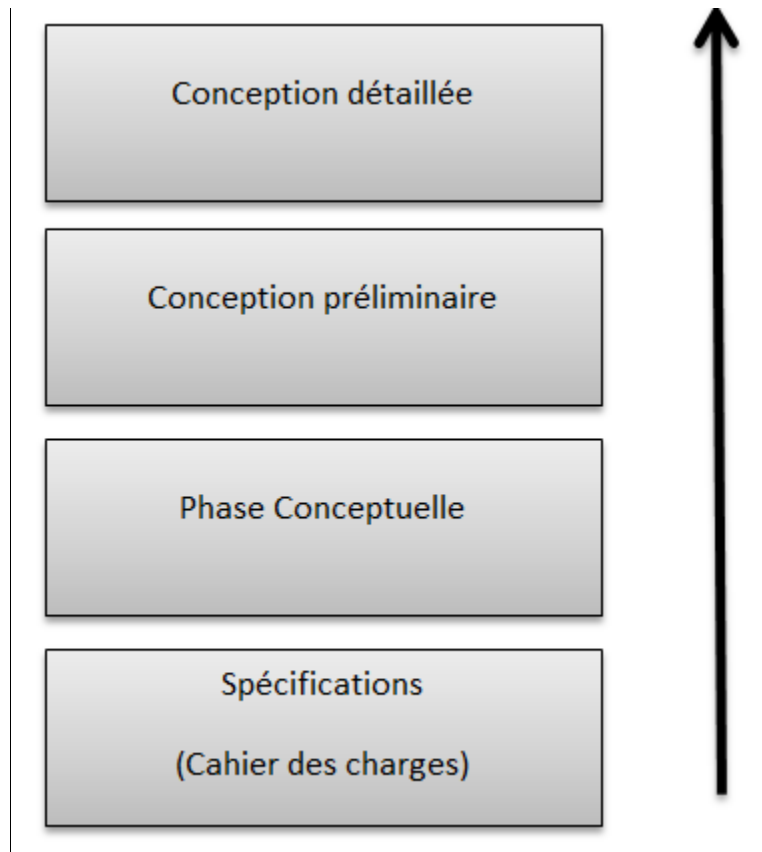


Figure (25) : Les phases de conception

III.2.2.2. Caractéristiques d'un processus de conception [8] :

En ingénierie mécanique, la méthodologie d'approche est celle qui caractérise le processus de résolution du problème. Ainsi, plusieurs méthodes ont été étudiées et présentées par les chercheurs depuis que l'on s'intéresse au processus de conception. Ce qui est primordial est le cahier des charges et sa décomposition en des fonctions techniques.

III.2.2.2.1. Cahier des charges ou Spécifications :

La première phase de conception débute par l'élaboration d'un cahier des charges qui doit fournir un ensemble d'informations se rapportant au problème. Le cahier des charges est le document qui permet de recenser les exigences et les contraintes du produit ainsi que le service rendu placé dans son contexte économique.

Il doit contenir les objectifs à atteindre par et pour le produit, donc une description détaillée qualitative et quantitative du produit (ce sont les performances techniques), des informations sur

les taux d'utilisation et de production (Ce qu'on peut appeler les performances économiques) et l'environnement dans lequel il va fonctionner, des performances de gestion qui précisent la fiabilité et la gestion des pannes (prévision des arrêts) (par exemple, la gestion des copeaux et du liquide de coupe pour une machine-outil). Le cahier des charges est ensuite étudié et détaillé par l'équipe du bureau d'études en termes techniques (schémas normalisés et textes) remplissant les fonctions attendues.

A partir de ces données, le développement des phases conceptuelles, préliminaire et de détail du produit pourront être étudiées et développées dans le respect des contraintes exigées. Des schémas et toutes les annotations nécessaires peuvent y être rapportés précisant un (ou des) détail(s) ou l'ensemble du produit à concevoir.

III.2.2.2.2. La phase conceptuelle et les méthodes d'approche :

La phase conceptuelle peut être considérée comme étant l'ensemble des actions à mener pour décomposer le cahier des charges en des solutions techniques assurant ainsi le fonctionnement demandé et les contraintes exigées. Avec des méthodes d'approches appropriées.

III.2.2.2.3. La conception préliminaire :

Dans la phase de conception préliminaire, le projeteur dessine et représente de manière plus précise la solution technologique choisie avec l'étude cinématique et dynamique du mécanisme et le choix des éléments standards. Les calculs des éléments et/ou leurs vérifications sont entreprises pour tous les éléments composants.

Dans cette étape, le choix des éléments est établi par rapport à toutes les exigences du cahier des charges afin d'assurer les contraintes du cahier des charges défini pour le mécanisme par l'utilisateur. Une nomenclature est établie faisant aussi ressortir toutes les pièces composantes (à réaliser et standards ou de commerce), les matériaux et les traitements thermiques et/ou de surfaces que doivent subir certaines pièces ou surfaces de pièces selon leurs utilisations.

III.2.2.2.4. La conception détaillée :

Selon la méthode classique, les dessins (appelés dessins d'ensemble) de tout Ou partie de la machine sont réalisés dans le plan donc en 2D suivant 2, 3 ou 4 vues et quelquefois plus afin de représenter le mécanisme et faire ressortir certains détails fonctionnels de la machine étudiée. Par

la suite, une étude des contraintes de fonctionnement (appelée jeux de fonctionnement, de montage de pièces, d'usinages ...) est faite sur l'ensemble de la machine afin de permettre la réalisation des dessins des pièces composantes qui sont à réaliser (appelés dessins de définition).

Dans cette phase d'étude du produit, la conception détaillée de tous les éléments composants est faite avec une représentation de toutes les pièces d'une manière normalisée et à l'échelle.

La conception détaillée des pièces est lancée une fois que les dessins d'ensemble de la solution choisie sont terminés car la représentation du produit peut avoir été décomposée en sous-ensembles ou par niveaux... Toujours en 2D et suivant au moins les trois plans constituant l'espace, ces dessins comportent tous les détails de la pièce considérée avec ses dimensions, ses tolérances dimensionnelles et géométriques et les états de surfaces pour celles qui seront en contact suivant la contrainte exigée.

III.3. Conception de l'appareil:

Notre but consiste à concevoir une machine de fluage pour les matériaux polymères.

III.3.1. Solutions proposées :

En général, les essais de fluage sont réalisés sur des machines à charge constante utilisant la force de pesanteur : une masse est fixée à l'éprouvette ou, bien souvent, pour les essais de longue durée, un système d'amplification de la charge à bras de levier est utilisé.

Trois solutions sont proposées dans ce travail, un dispositif est choisi pour la conception :

III.3.1.1.Première solution:

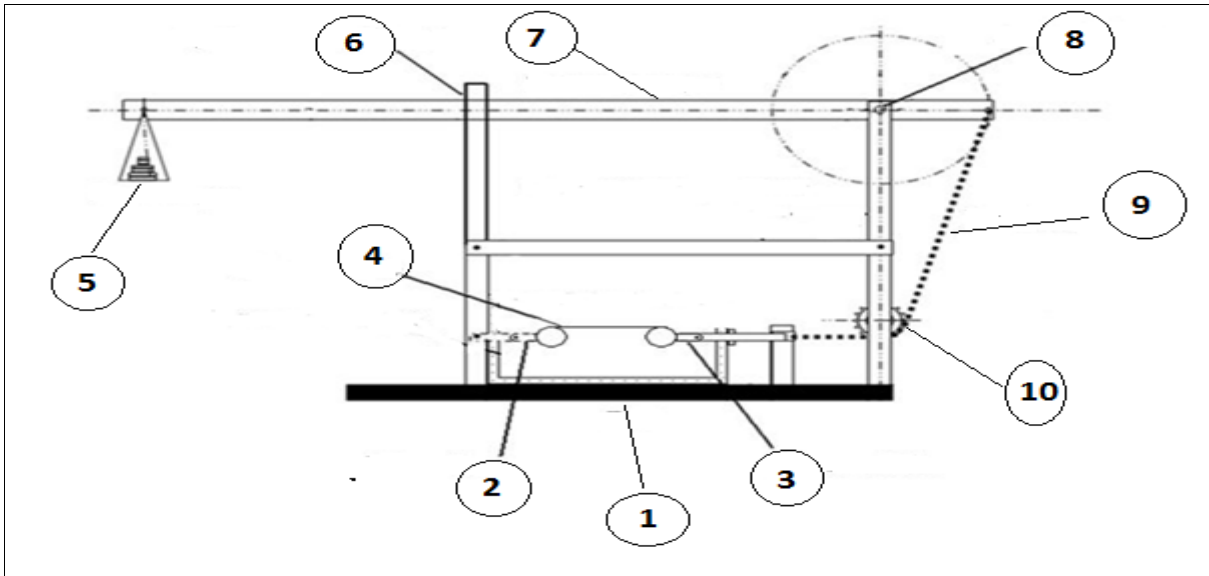


Figure (26) : Schéma d'une machine de fluage – solution 1

III.3.1.1.2. fonctionnement de la machine :

Ce dispositif de fluage est composé d'un bâti et d'un bras de levier relié à une chaîne relié à un mors mobile sur lequel l'éprouvette est fixée dans le mors fixe, figure (19). La force est imposée par un ensemble de masses calibrées via un bras de levier de multiplie l'effort. L'ensemble du mécanisme est relie avec une chaîne et un pignon qui transmet le mouvement de la charge sur le bras de levier au mors mobile, Qui va appliquer un effort de traction sur l'éprouvette.

III.3.1.1.3.Les constituants de la machine sont :

1-bati 2-mors fixe 3- mors mobile 4- éprouvette 5- la charge 6- glissière 7- bras de levier 8- articulation 9- chaîne 10- pignon

III.3.1.2. Deuxième solution:

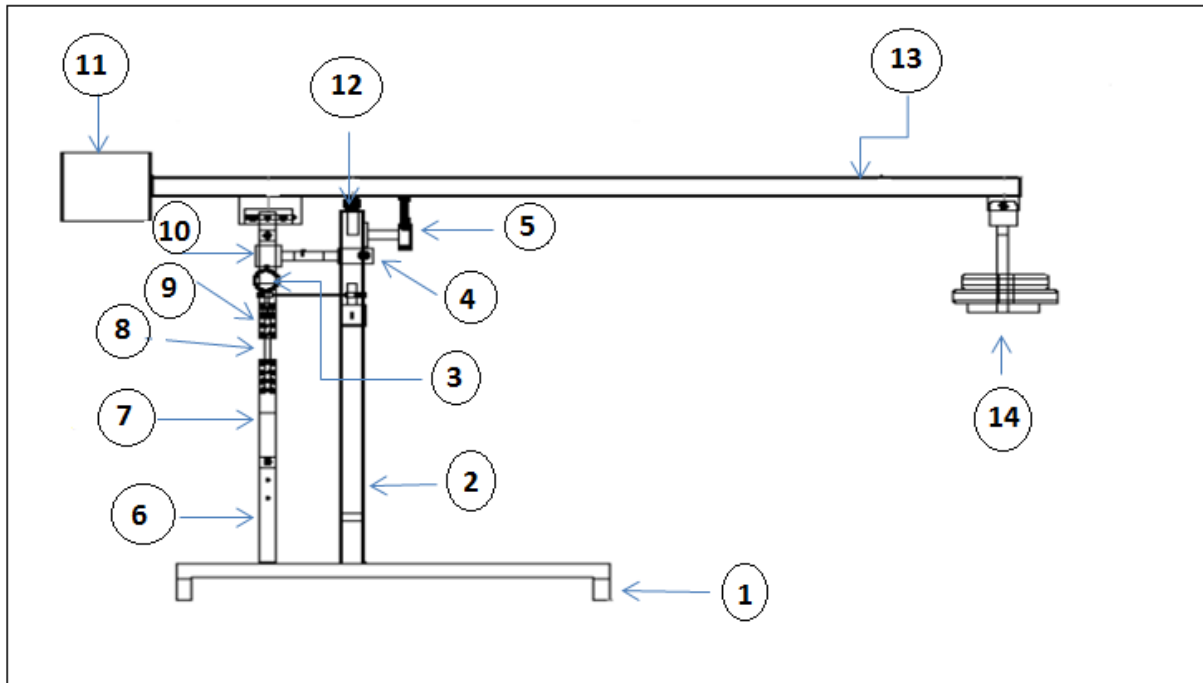


Figure (27) : Les constituants de la machine de fluage –solution 2

III.3.1.2.1. Fonctionnement de la machine :

Ce dispositif est composé d'un bâti sur lequel repose un support qui est perpendiculaire au bras de levier qui comporte le porte charge d'un côté et le contre poids de l'autre côté, pour équilibrer le poids du bras de levier en temps normale.

Le support est relié à l'autre partie du dispositif par un système de guidage, où on trouve l'éprouvette qui est située entre les deux mors mobile et fixe sans oublier le comparateur pour évaluer les déformations, le tout repose sur le bâti.

Tout commence par la masse posée manuellement sur le porte charge, qui va être amplifiée grâce au bras de levier ce qui va engendrer l'étirement de l'éprouvette qui est sous l'effet de la traction, cette déformation va être calculée par le comparateur juste au-dessus.

III.3.1.2.2. Les constituants de la machine sont :

1- Bâti 2- support 3- comparateur 4- système de guidage 5- buté 6- porte mors
 7- mors fixe 8- éprouvette 9- mors mobile 10- biellette 11- contre poids 12-
 articulation 13- bras de levier 14- porte masses

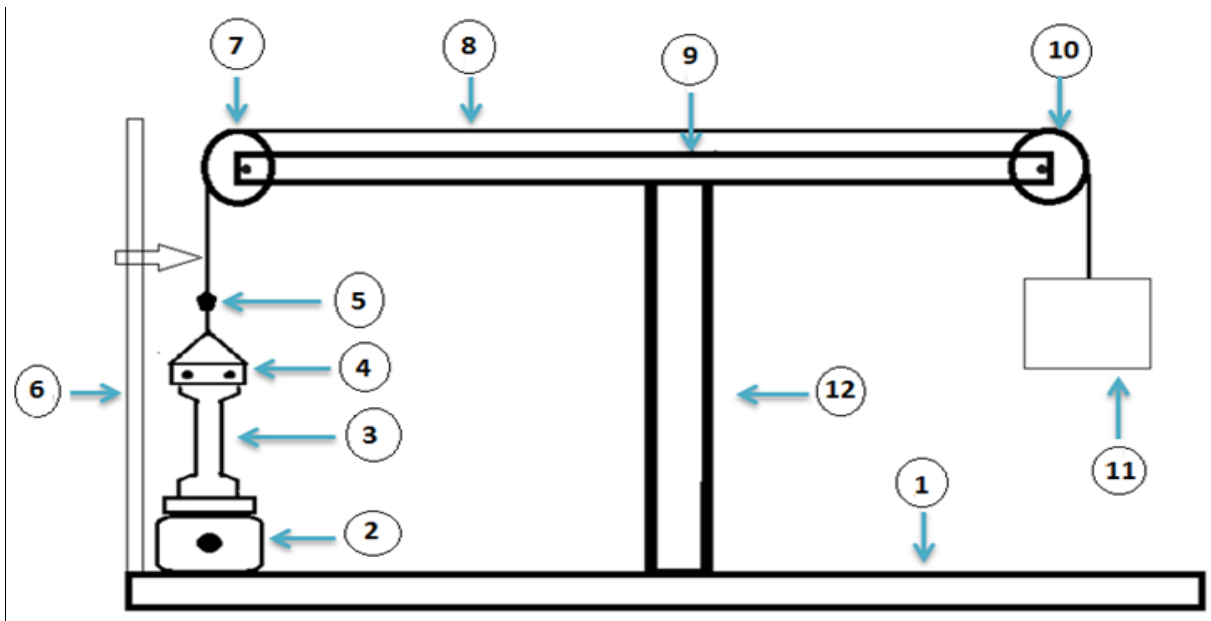
III.3.1.3. troisième solutions:

Figure (28) : schéma d'un dispositif de fluage – solution 3

III.3.1.3.1. fonctionnement du dispositif :

L'éprouvette est placée entre le mors fixe et le mors mobile. Elle subit une traction (déformation longitudinale sans rotation) exercée par le poids déposé manuellement dans le porte charge, cette déformation augmente avec l'augmentation de la masse déposée.

La valeur de la déformation (en mm) de l'éprouvette en fonction du temps est déterminée directement sur une règle graduée déposée parallèlement à l'axe de l'éprouvette.

III.3.1.3.2. Les éléments du dispositif :

1- bâti 2- mors fixe 3- Epreuve 4- mors mobile
 5- serre câble 6- règle de mesure 7- poulie (1) 8- câble
 9- entraxe 10- poulie (2) 11- port charge 12- support vertical

III.3.2. Choix de la solution finale

Dans ce présent travail, la solution 3 est choisie pour la conception du dispositif d'essai de fluage des polymères. Ce choix est fait après avoir analysée les avantages et les inconvénients des solutions citées précédemment.

La solution 2 a été écartée parce qu'aux grandes déformations, l'éprouvette subit un moment lors de la rotation du bras de levier autour de l'axe de l'articulation, ce qui affectera les résultats des essais. Cette solution étant valable pour les petites déformations observées principalement pour les matériaux rigides tels que les aciers, alors que pour les polymères dont les déformations sont considérables, cette solution ne peut être appliquée.

Le choix de la solution 3 par rapport à la première solution est justifié par la simplicité de la conception de celle-ci et aussi par son faible cout de fabrication relativement à la solution 1.

III.4. Conception de l'appareil choisie :

Dans cette partie on présentera l'appareil de fluage conçu dans cette étude qui répond aux conditions de déroulement de l'essai de fluage sur des éprouvettes cylindriques en polymère. Une description détaillée est montrée sur la figure 23. Elle est constituée d'un bâti rectangulaire (1), sur lequel est assemblé par soudage un support vertical (12) en tube carré. Sur ce dernier, un entraxe(9) en tube carré, est monté horizontalement et soudé au milieu sur le support vertical. Deux roulettes (7) et (10) sont positionnées aux extrémités de l'entraxe à l'aide de deux axes. Un câble en acier (8),) travers les deux roulettes, relie d'un côté le porte charge (11) et de l'autre côté l'éprouvette (3) fixée au mors mobile (4) et au mors fixe (2) solidaire au bâti.

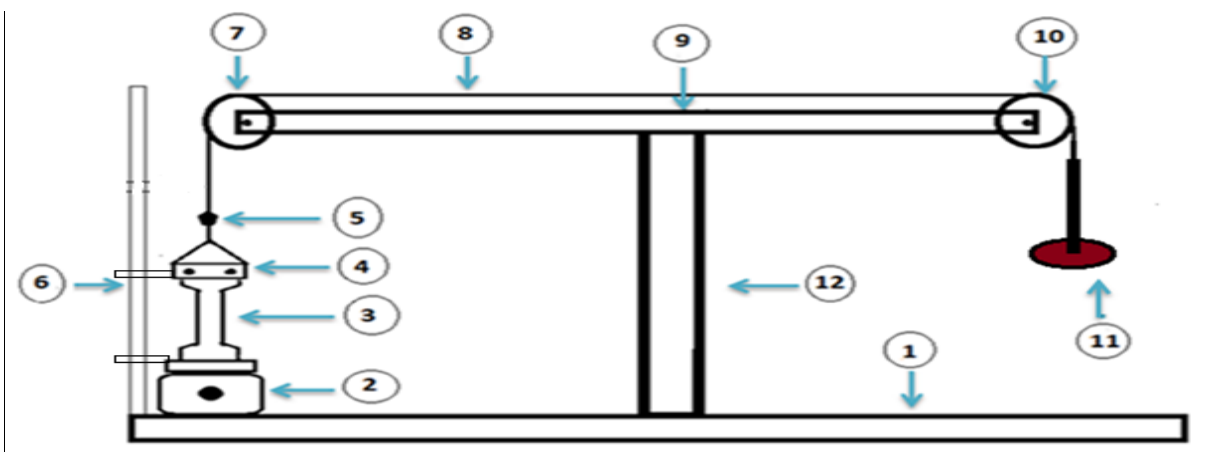


Figure (29) : Schéma du dispositif à réaliser

III.5. Contraintes techniques :

Les formes et les dimensions de l'ensemble des éléments constitutifs de cet appareil sont liés : à la géométrie de l'éprouvette utilisée dans les essais de fluage et la contrainte maximale tirée d'un essai de traction uniaxiale. De même la contrainte temps et moyens de réalisation sont pris en considération.

L'ensemble des composants du dispositif sont alors en relation directe ou indirect avec l'éprouvette et de ses caractéristiques. La forme et les dimensions exactes de l'éprouvette sont données par la figure (30).

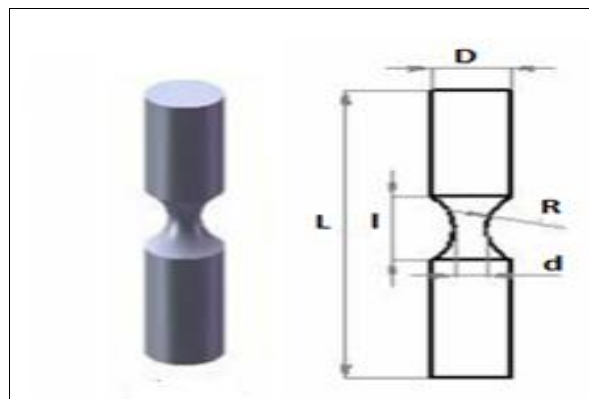


Figure (30) : Géométrie de l'éprouvette.

D : diamètre de l'éprouvette

R : rayon de courbure de l'entaille

l : longueur de l'entaille

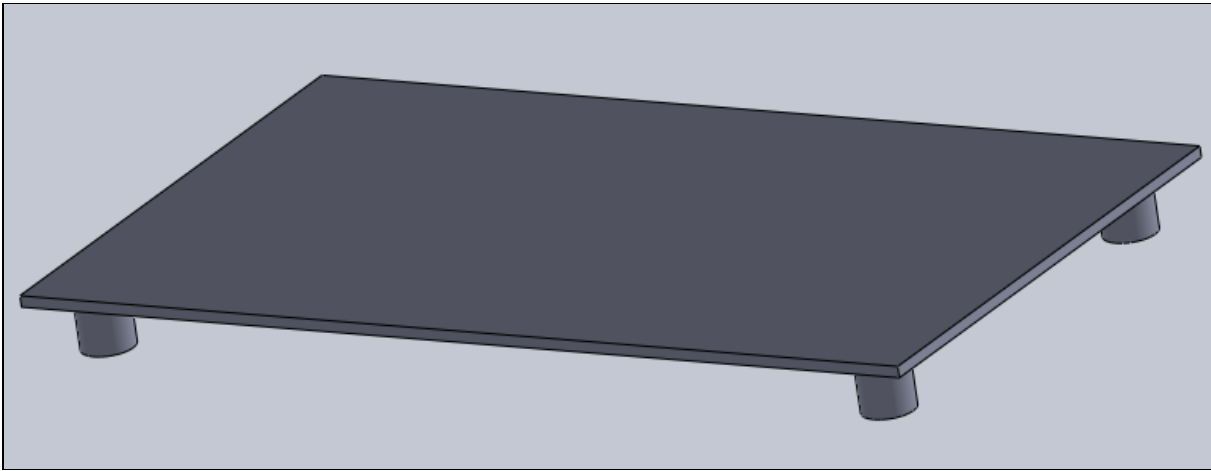
d : diamètre au fond de l'entaille

L : longueur de l'éprouvette.)

III.6. Les composants du dispositif à réaliser :

III.6.1. le bâti :

C'est une plaque en acier de forme rectangulaire, c'est la base de l'appareil, c'est sur lui que repose tous les autres composants du dispositif, avec quatre pieds.



Figure(31) : Bâti.

Avec ;

1 : 50 mm, la hauteur des pieds

2 : 500 mm, largeur de la table

3 : 900 mm, la longueur

4 : 10 mm, l'épaisseur

III.6.2. Le support vertical :

C'est le pilier du dispositif avec une forme de tube carré, Perpendiculaire sur le bâti, c'est sur lui que repose l'entraxe qui porte les deux poulies relié par un câble.

Tube acier carré 50 mm x 50 mm x 5 mm et une longueur de 800mm.

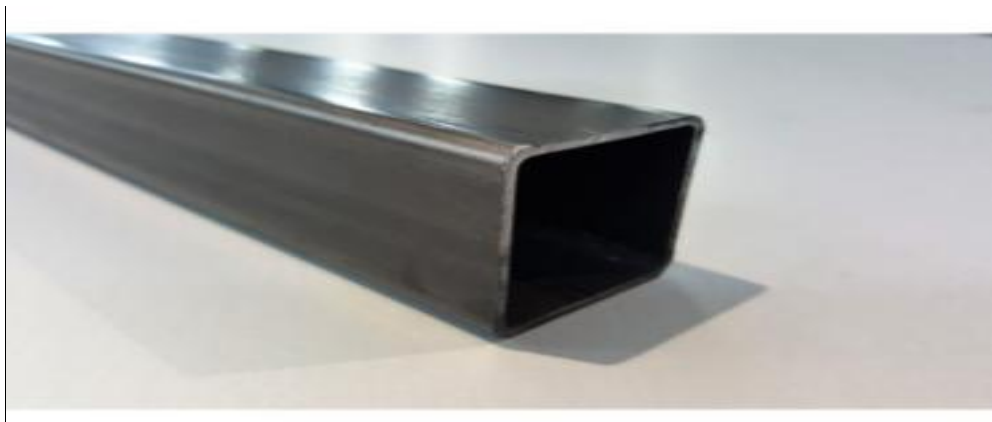


Figure (32) : le support vertical


Produits sidérurgiques – formes, dimensions, caractéristiques									
ROFELS CREUX CARRÉS DE LIMITE ÉLASTIQUE 295 MPa		Épaisseur	Masse par mètre	Aire de la section	Moment d'inertie de torsion	Constante de torsion	Moment d'inertie de flexion	Module d'inertie de flexion	Rayon de giration
		t	P	A	J	C	I	W	i
Dimensions extérieures en mm		mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm
50 × 50		5	6,97	8,879	47,57	16,72	29,64	11,86	1,827
60 × 60		5	8,54	10,88	86,33	25,77	54,39	18,13	2,236
70 × 70		5	10,1	12,88	141,8	36,80	90,08	25,74	2,645
80 × 80		5	11,7	14,88	217,1	49,83	138,7	34,68	3,053
90 × 90		5	13,3	16,88	315	64,85	202,3	44,95	3,462
100 × 100		4	12	15,28	360,6	68,18	234	46,80	3,913

Figure (33) : fiche technique du tube métallique

III.6.2.1. Calcul de la résistance :

Détermination de la charge F, cette charge est déterminée à partir de la contrainte maximal σ_{max} , applique sur l'éprouvette en PEHD, ($\sigma_{max} = 50 \text{ Mpa}$).

$$\sigma = F / S \quad , \quad F = \sigma \cdot S = 981,25\text{N}$$

On prend pour les calculs F applique est égale à 1000N ou 1KN.

Le pilier est soumis à un flambage et une compression.

III.6.2.1.1. Vérifier la résistance au flambement : [10]

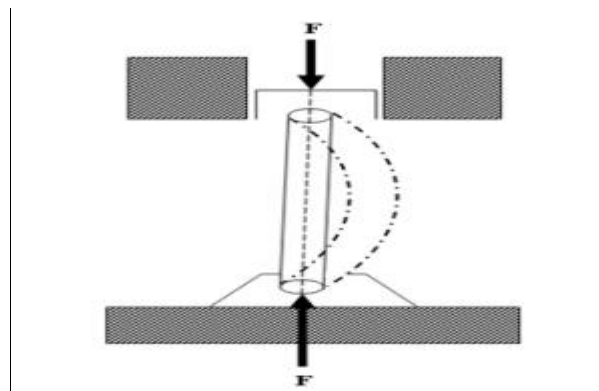


Figure (34) : flambement d'une poutre soumise à un effort axial

Le pilier de petite section risque de flamber lors de l'application de l'effort, un calcul de vérification s'impose.

Le pilier est assimilé à une poutre chargée axialement. Le flambement se produit pour une certaine valeur de charge appelée charges critiques.

Si :

- $F < F_{cr}$: la poutre ne subit qu'un faible raccourcissement qui est dû à la compression.
- $F > F_{cr}$: la poutre se déforme et la rupture peut intervenir rapidement.

Avec : F : charge maxi.

F_{cr} : charge critique d'Euler qui se calcule comme suite :

$$F_{cr} = \pi^2 \times EI / L^2$$

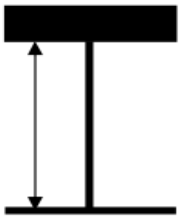
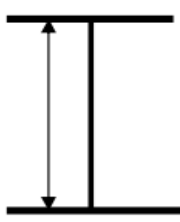
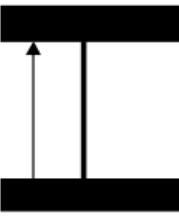
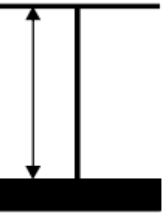
Avec :

E : module de Young.

I : moment d'inertie.

L : longueur réelle.

La longueur libre de flambage est donnée en fonction du type d'appui. Le tableau suivant répertorie les différents cas possibles.

LONGUEUR LIBRE DE FLAMBAGE				
Type de Liaisons	Encastré en A Et Libre en B	Liaisons Pivotantes en A et B	Encastré en A Et B	Encastré en A Et Pivots en B
Valeurs de L	 $l=2L$	 $l=L$	 $l=L/2$	 $l=0.7L$

Figure(35) : Longueurs libres de flambage en fonction du type de liaisons

Pour le calculer on a :

$E = 210000 \text{ MPa}$ (module de Young de notre acier) , $l=L/2 = 400 \text{ mm}$

$$F_c = \pi^2 \cdot EI / L^2$$

$$IG_x = (BH^3 - bh^3) / 12$$

(B: longueur externe, H: largeur externe ; b : longueur intérieure, h : largeur intérieure) pour le tube carré

$$IG_x = (50.50^3 - 40.40^3) / 12 = 307500 \text{ mm}^4$$

$$FC = 3,14^2 \cdot 210000 \cdot 307500 / 490000 = 1299354 \text{ N} = 129,9354 \text{ KN}$$

$F_{cr} > F$ donc le pilier va résister

III.6.2.1.2. Vérification de la résistance à la compression :

Le pilier est soumis à une compression dû à la charge appliquée

Condition de résistance en compression : $\sigma_{max} \leq (R_{pe})$

$$\sigma = F / S \leq R_{pe} = R_e / S$$

$$\sigma = F / S = 1000 / 888 = 1,13 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{pe} = R_e / S$$

(R_{pe} : résistance pratique, $S = 2$ (coefficient de sécurité))

$R_e = 295 \text{ Mpa}$ (donné de la figure 28)

$$R_{pe} = 295/2 = 147,2 \text{ N/mm}^2$$

La condition est vérifiée ($\sigma \leq \sigma_{limite} (R_{pe})$) donc le pilier va résister largement à la compression qu'il va subir

Coefficient de sécurité (s)	Conditions générale de calculs (sauf réglementation particulière)
1,5 à 2	Cas exceptionnels de grande légèreté. Hypothèse de charges surévaluées.
2 à 3	Construction où l'on cherche la légèreté (aviation). Hypothèse de calcul la plus défavorable (charpente avec vent ou neige, engrenages avec une seule dent en prise...).
3 à 4	Bonne construction, calculs soignés, haubans fixes.
4 à 5	Construction courante (légers efforts dynamiques non pris en compte. Treuils.)
5 à 8	Calculs sommaires, efforts difficiles à évaluer (cas de chocs, mouvements alternatifs, appareils de levage, manutention).
8 à 10	Matériaux non homogènes. Chocs, élingue de levage.
10 à 15	Chocs très importants, très mal connus (presse). Ascenseurs.

Tableau(4) : coefficient de sécurité (S)

III.6.2.1.3. Calcule la résistance de la soudure :

Avant tout calcul, le cordant de soudure est plus résistant que le matériau à souder, ce qui est un fait. On fait un calcul de routine juste pour écarter le doute ;

$$\frac{F}{S} \leq [\tau]'_c \quad , \quad \frac{F}{e.l} \leq [\tau]$$

Donnés : $[\tau]'_c = 45 \text{ MPa}$

$$\frac{F}{e.l} = \frac{1000}{3 \times 50} = 6,67 \text{ N.mm}^2$$

$[\tau]$ Appliqué est inférieure à $[\tau]_{\text{max}}$ (contrainte admissible), Donc le cordant de soudure va résister

III.6.3. L'entraxe:

C'est le support qui tient les deux poulies d'une manière rectiligne horizontale et parallèle, pour une meilleure circulation du câble et plus de fluidité dans le mouvement de déplacement, conçu à partir d'un tube carré en acier (50mm x 50mm x 5mm)

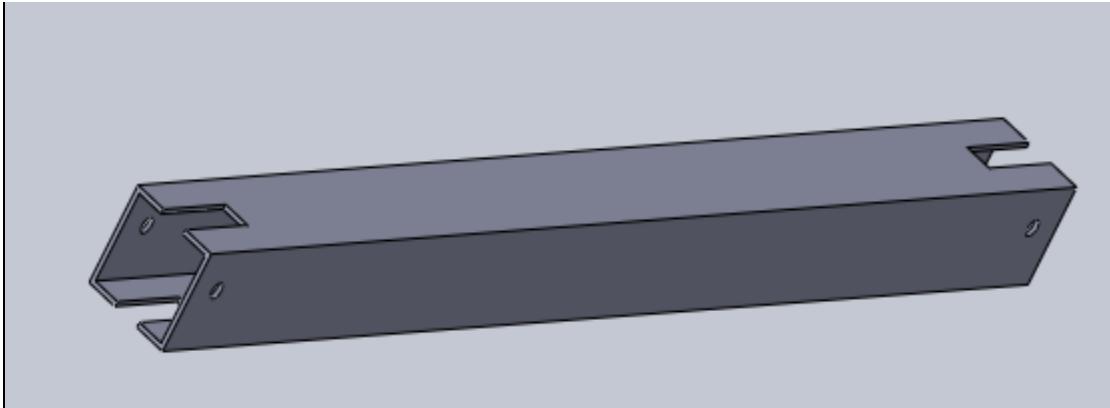


Figure (36) : L'entraxe

Avec :

Longueur : 700mm

Largeur : 50 mm

Hauteur : 50 mm

Largeur du creux de la roulette : 15 mm

Longueur du creux 50 mm

Diamètre du perçage : 8mm

Section : 888 mm²

III.6.3.1. Calcul de la résistance à la flexion de l'entraxe :

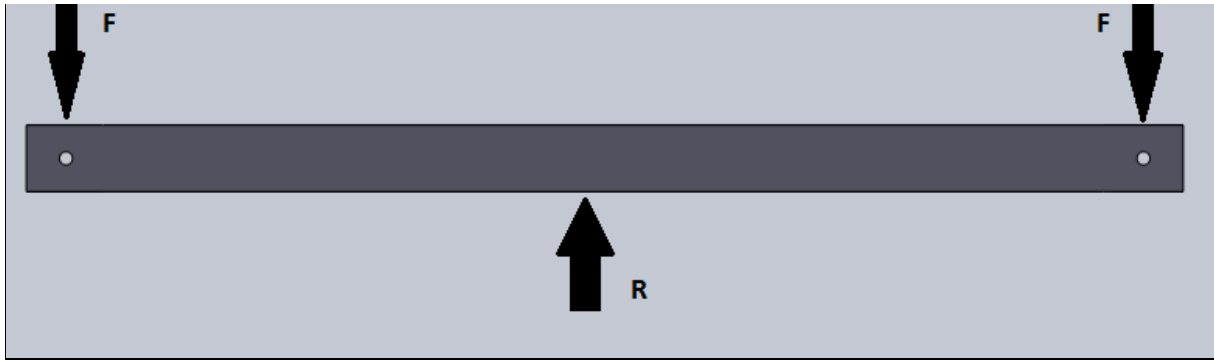


Figure (37) : l'entraxe sous l'effet de la flexion

$$\Sigma F_{\text{ext}} = 0$$

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0, F + R = 0, F = R = 1 \text{ KN}$$

$$\Sigma M_f = 0, M_f - F.L = 0, M_f = F.L = 350 \times 1000 = 350000 \text{ N.mm}$$

La condition de résistance en flexion : $\sigma_{\text{max}} \leq R_{pe}$

$$R_{pe} = 295 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = M_f \cdot V / I_{gz}$$

$$V = H/2 = 50 / 2 = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Le moment quadratique : } I_{gz} = (A^4 - a^4) / 12$$

$$I_{gz} = (50^4 - 45^4) / 12 = 307500 \text{ mm}^4$$

$$\sigma = 350000 \cdot 25 / 307500 = 28,45 \text{ Mpa}$$

La condition $\sigma_{\text{max}} \leq R_{pe}$ est vérifiée, donc l'entraxe résiste à la flexion.

III.6.4. Le câble d'attache :

C'est le câble qui passe par les deux poulies et qui relie le porte charge de part et l'éprouvette de l'autre par. C'est un câble métallique très résistant, tresse, à bout soudé, la longueur du câble est de : 1500mm.

Références	CB4HR
Câble Ø mm	4
Charge de rupture câble mini. kg	1320
Charge de travail câble en traction kg	440
Composition	8 x 12
Charge de travail câble en levage kg	264
Poids théorique kg/m	0,068

Tableau (5) : caractéristiques techniques du câble.



Figure (38) : Câble métallique.

Cote porte charge : le câble est relié au crochet du porte charge et attache à l'aide d'un serre câble pour l'immobilisé, figure (30).



Figure(39) : serre câble

III.6.5. Mors fixe :

On va utiliser un étau de serrage centrique en guise de mors fixe, qu'on va positionnée et fixe sur la base du dispositif, d'une façon que l'éprouvette sois droite et perpendiculaire.



Figure (40) : étau auto-centrage.

III.6.5.1. Caractéristiques du l'étau auto-centrage :

Largeur de mâchoire : 100 mm

Profondeur de mâchoire : 38 mm

Ouverture maximale de la mâchoire : 110 mm

Dimension du corps : 150 mm (point le plus large) x 250 mm (longueur)

Largeur de la fente : 12,5 mm

Mâchoires trempées avec support horizontal/vertical pour maintenir les travaux ronds.

Remarque : les mâchoires sont prismatique vue que l'éprouvette est de forme cylindrique.



Figure (41) : une mâchoire prismatique.

III.6.6. Mors mobile:

C'est un étau de serrage centrée à mâchoires prismatique, spécialement pour les pièces cylindriques, doté d'une vis de fixation pour le câble

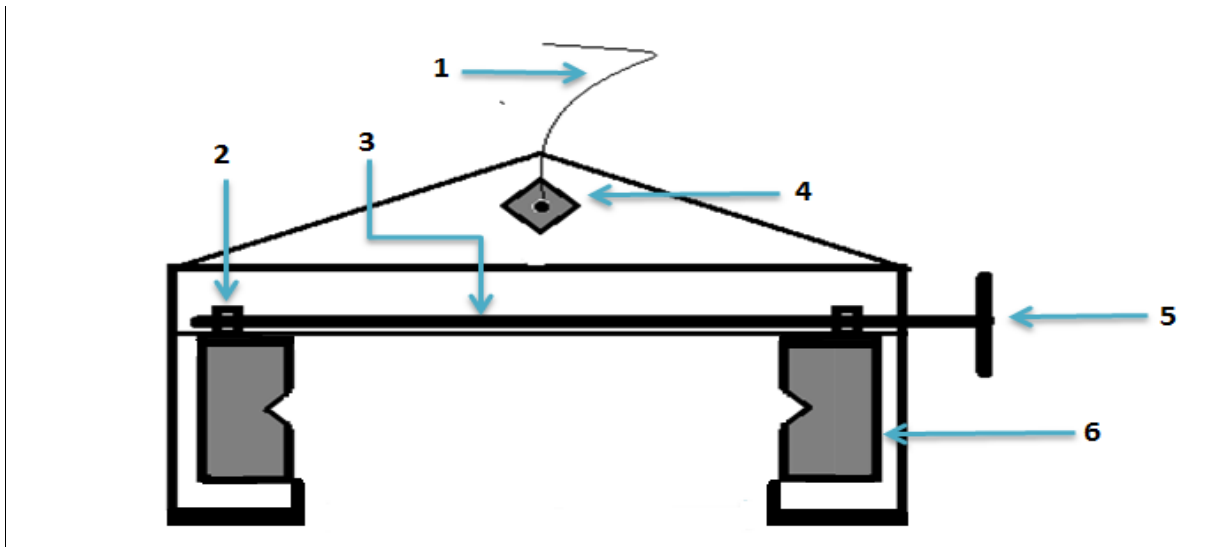


Figure (42) : étai de serrage centrique

III.6.6.1. Les composants :

- 1 Câble
- 2 Passage de l'axe dans la mâchoire
- 3 Axe de manivelle
- 4 Vis de fixation
- 5 Manivelle de serrage
- 6 Mâchoire

III.6.7. Les Roulettes:

Pour les poulies on va utiliser des roulettes en plastique avec roulement, pour un meilleur glissement du câble et néglige les frottements.

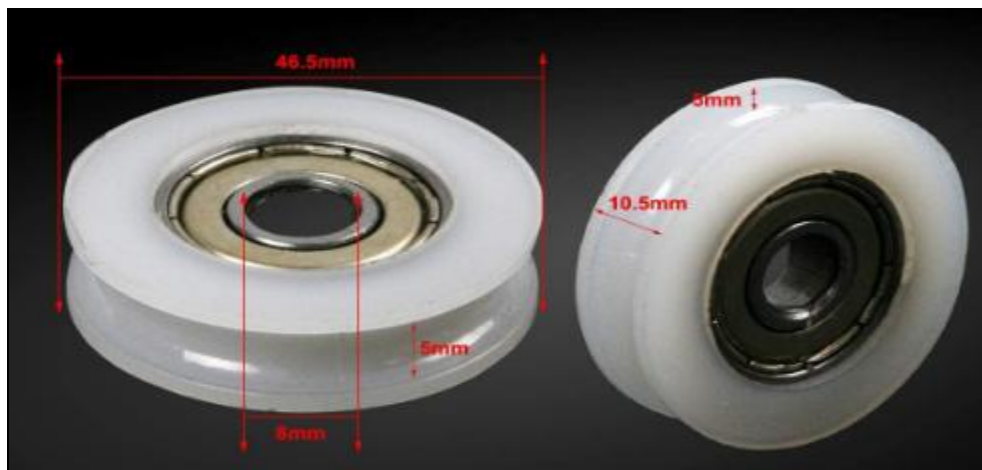


Figure (43) : Les roulettes

III.6.7.1. Les caractéristiques :

Matériau de la roulette : POM blanc (polyoxyméthylène : c'est un polymère),

Matériau du roulement : acier au carbone

Taille de la rainure en U (largeur x profondeur) : 5 mm x 5 mm,

Dimensions du produit (diamètre intérieur x diamètre extérieur x épaisseur) :

8 x 46,5 x 10 mm,

Modèle : HU-0846.5-10.

III.6.7.2. Axe des roulettes :

C'est la tige qui va rentrer par l'entraxe et passe par le centre de la roulette qui sortira de l'autre cote de l'entraxe, avec un cote à tête plate et l'autre sera muni d'une goupillé

Dimension de l'arbre :

Diamètre = 7mm (D)

Longueur = 60mm (L)



Figure (44) : Axe de la roulette

Remarque : L'axe sera pose avec un jeu de 1mm, pour le graissage et diminue les frottements.

Pour la goupille :

Diamètre du file = 2 mm

Longueur totale = 50 mm



Figure (45) : Goupille bêta

III.6.8. porte charge :

C'est une plaque cylindrique avec un axe à son centre, ou on peut mettre des poids avec une forme spécifique figure (37), l'axe à un perçage à son extrémité, c'est de là qu'on va faire passer le câble et l'attache avec un serre câble.



Figure (46) : Porte charge

Avec ;

1 : 70 mm, diamètre de la base

2 : 350 mm, longueur de l'axe

3 : 9mm, diamètre de l'axe

Les poids sont de forme cylindrique, avec un passage pour les situé au centre du porte charge figure (47).



Figure (47) : les poids

III.6.9.L'outil de mesure :

Pour mesurer le module d'élasticité (module de Young) ou les déformations d'un matériau à une force ou contrainte donnée ou jusqu'à rupture, un extensomètre est nécessaire. Plusieurs modèles existent dans cette gamme. Certains extensomètres, comme le 100R sont utilisés pour mesurer les déformations à une force ou contrainte donnée ou jusqu'à rupture. Leur course peut atteindre 1000 mm. Ce type d'extensomètre est notamment utilisé pour les caoutchoucs.



Figure (48) : extensomètre à longue course

L'extensomètre à longue course (XL) est un appareil de mesure de la déformation précise pour les matériaux hautement extensibles. Conçus pour une utilisation avec des instruments d'essai électromécaniques, les extensomètres à longue course peuvent être utilisés pour mesurer l'allongement de l'éprouvette jusqu'à 750 mm. Le XL a été conçu pour être directement serré sur une éprouvette, rapidement et facilement. Il s'ajuste à l'étalonnage de longueur initiale progressive de 10 mm à 200 mm.

III.6.9.1. Présentation de ses caractéristiques :

Déplacement maximal : 750 mm

Plage de température : Ambiante

Automatique ou manuel : Manuel

Adapté aux Élastomères, plastiques semi-rigides et films

Normes communes ASTM D412, ISO 37, ASTM D882, ISO 527-3

III.7. Conclusion :

Dans la conception d'un quelconque produit, il faut toujours simplifier les composants et les procédés de conception et prendre le chemin le plus court, pour un gain de temps et d'argent, donc une meilleure rentabilité.

Avant la fabrication la vérification de la fonctionnalité et la résistance des éléments d'un produit a réalisé est primordial dans le processus de conception, qu'est faisable grâce à la simulation par ordinateur.

III.8. Conception de mécanisme par ordinateur (CAO) :

La conception assistée par ordinateur (CAO) comprend l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation géométrique permettant de concevoir, et de tester virtuellement des produits. Lorsqu'un système est effectué d'un nombre trop grand de paramètres, il devient difficile de tout contrôler. La (CAO) permet de concevoir des systèmes dont la complexité dépasse la capacité humaine, et d'apprécier globalement le comportement de l'objet créé avant même celui-ci existe. En (CAO), on ne dessine pas, on construit virtuellement un objet capable de réagir dans son espace réel selon des lois régies par le logiciel de conception appelé 'solidworks'.

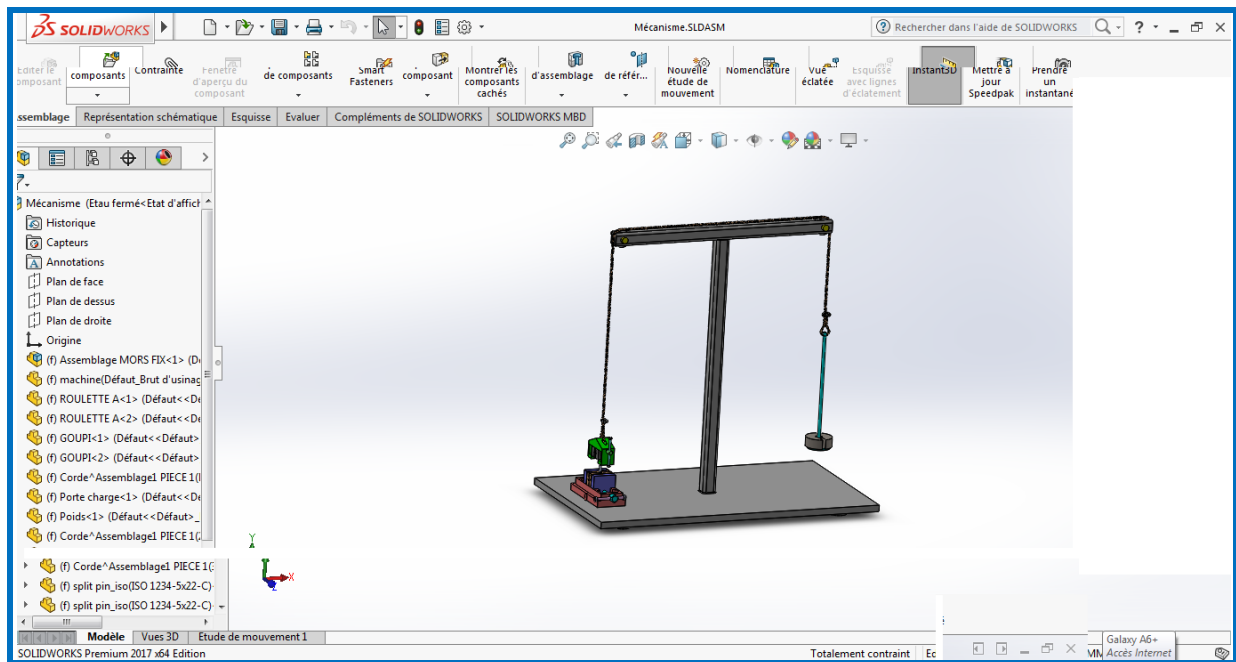


Figure (49) : fenêtre principale de solidworks (dispositif de fluage)

Solidworks est un modérateur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage, et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation. Toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tout le fichier concerné. Un dossier complet contenant l'ensemble des relatifs à un même système constitue une maquette numérique.

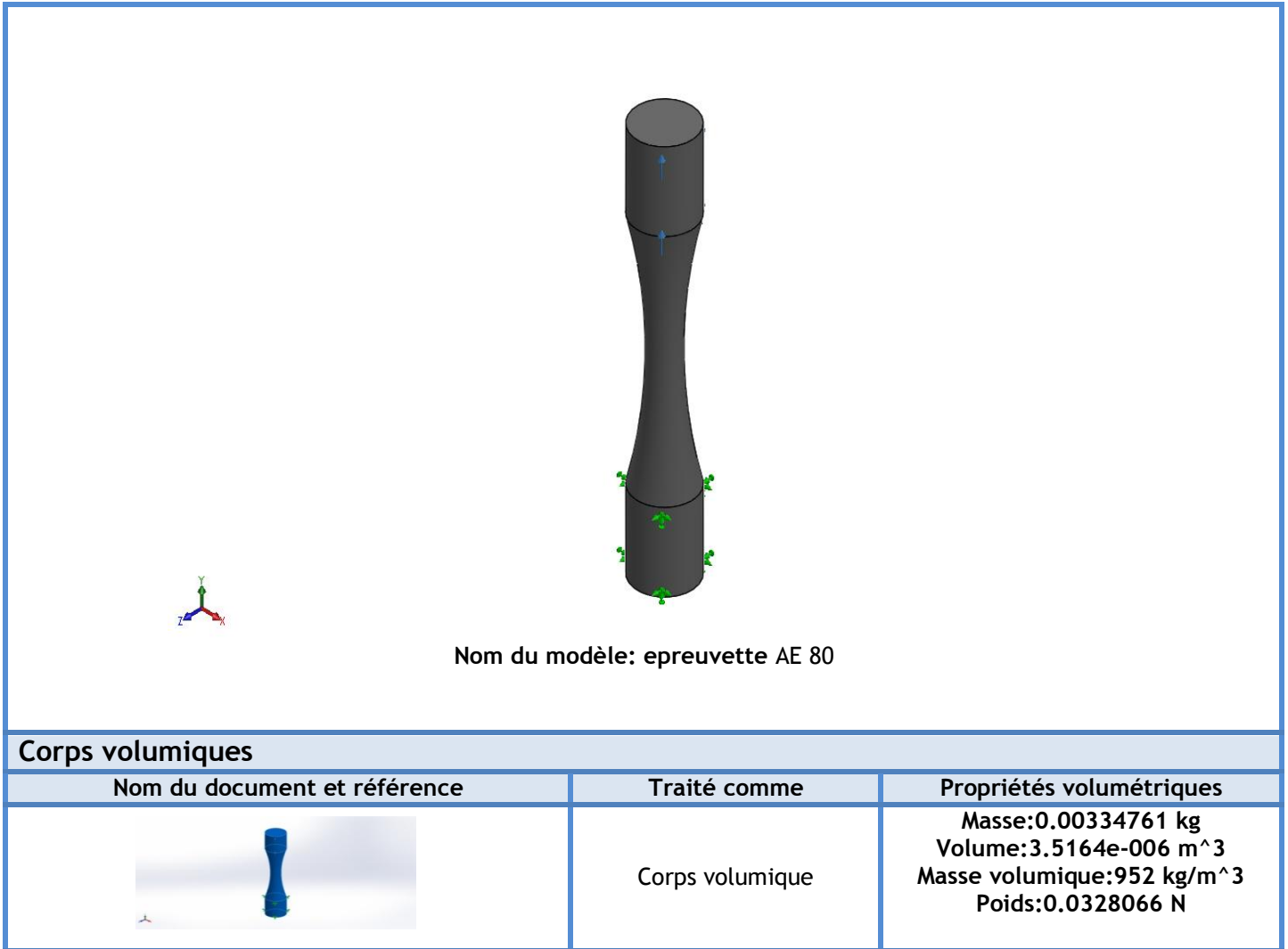
Note importante :

Pour raison système et fonctionnement de logiciel solidworks et pour effectuer un maillage correcte Il était nécessaire de faire deux simulation, une pour le mécanisme qui vas subir la charge appliqué, et une autre simulation faite pour l'éprouvette à elle seule.

Les donné et résultats des deux simulations seront la suite de ce chapitre.

III.8.1. Simulation :

III.8.1.1. L'éprouvette :



Figure(50) : éprouvette simulation.

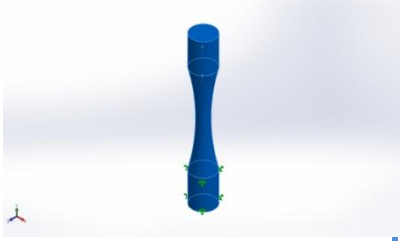
III.8.1.2. Propriétés de l'étude (donné SOLIDWORKS) :

Nom d'étude	Static 1
Type d'analyse	Statique
Type de maillage	Maillage volumique
Effets thermiques:	Activé(e)
Option thermique	Inclure des chargements thermiques
Température de déformation nulle	298 Kelvin
Inclure la pression du fluide calculée par SOLIDWORKS Flow Simulation	Désactivé(e)
Type de solveur	FFEPlus

III.8.1.3. Unités :

Système d'unités:	SI (MKS)
Longueur/Déplacement	mm
Température	Kelvin
Vitesse angulaire	Rad/sec
Pression/Contrainte	N/m ²

III.8.1.4. Propriétés du matériau :

Référence du modèle	Propriétés	Composants
	<p>Nom: PE haute densité</p> <p>Type de modèle: Linéaire élastique isotropique</p> <p>Critère de ruine par défaut: Inconnu</p> <p>Limite de traction: 2.21e+007 N/m²</p> <p>Module d'élasticité: 1.07e+009 N/m²</p> <p>Coefficient de Poisson: 0.4101</p> <p>Masse volumique: 952 kg/m³</p> <p>Module de cisaillement: 3.772e+008 N/m²</p>	<p>Corps volumique 1(Importée1)(AE 80)</p>
Données de la courbe : N/A		

III.8.1.5. Actions extérieures :

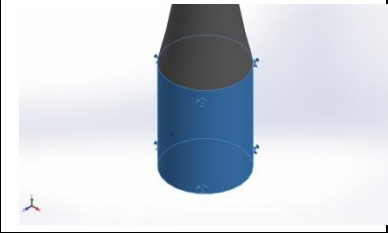
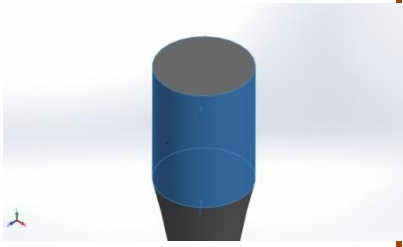
Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé		
Fixe-1		Entités: 1 face(s) Type: Géométrie fixe		
Forces résultantes				
Composants	X	Y	Z	Résultante
Force de réaction(N)	0.000662744	-97.9989	-0.00186086	97.9989
Moment de réaction(N.m)	0	0	0	0

Tableau (6) : Information sur le déplacement imposée

Nom du chargement	Image du chargement	Détails du chargement
Force-1		Entités: 1 face(s) Type: Force Valeurs: 98 N

Tableau(7) : Information sur l'application de la charge

III.8.1.6 .Informations sur le maillage :

Type de maillage	Maillage volumique
Mailleur utilisé:	Maillage standard
Transition automatique:	Désactivé(e)
Boucles automatiques de maillage:	Désactivé(e)
Points de Jacobien	4 Points
Taille d'élément	1.5213 mm
Tolérance	0.0760649 mm
Tracé de qualité du maillage	Haute

Tableau (8) : Informations sur le maillage – Détails

Nombre total de noeuds	10310
Nombre total d'éléments	6521
Aspect ratio maximum	3.2931
% d'éléments ayant un aspect ratio < 3	99.9
% d'éléments ayant un aspect ratio > 10	0
% d'éléments distordus (Jacobien)	0
Durée de création du maillage (hh:mm:ss):	00:00:02
Nom de l'ordinateur:	AZ-PC

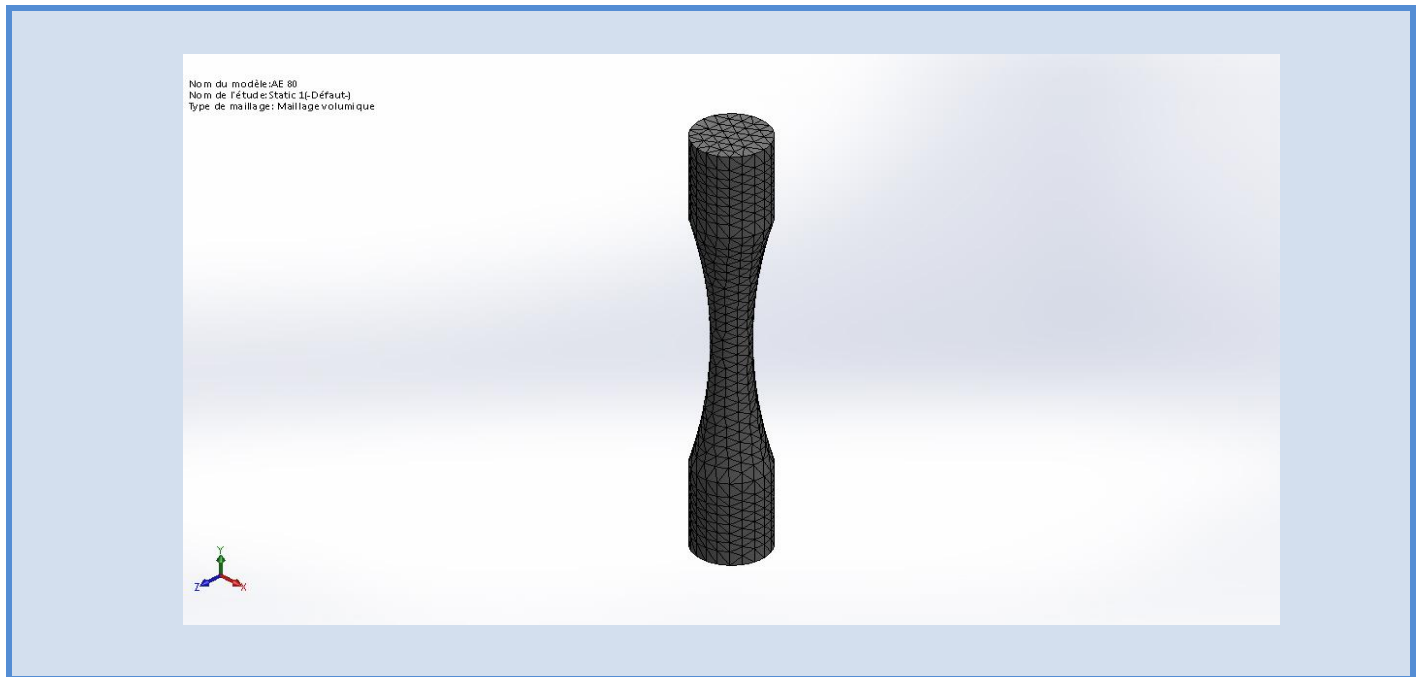


Tableau (9) : information sur le maillage et figure montrant les résultats des éléments finis

III.8.1.7. Résultats de l'étude:

III.8.1.7.1. Contraintes :

Nom	Type	Min	Max
Contraintes	VON : contrainte de von Mises	2.57e+004 N/m ² Noeud: 6650	5.04e+006 N/m ² Noeud: 205

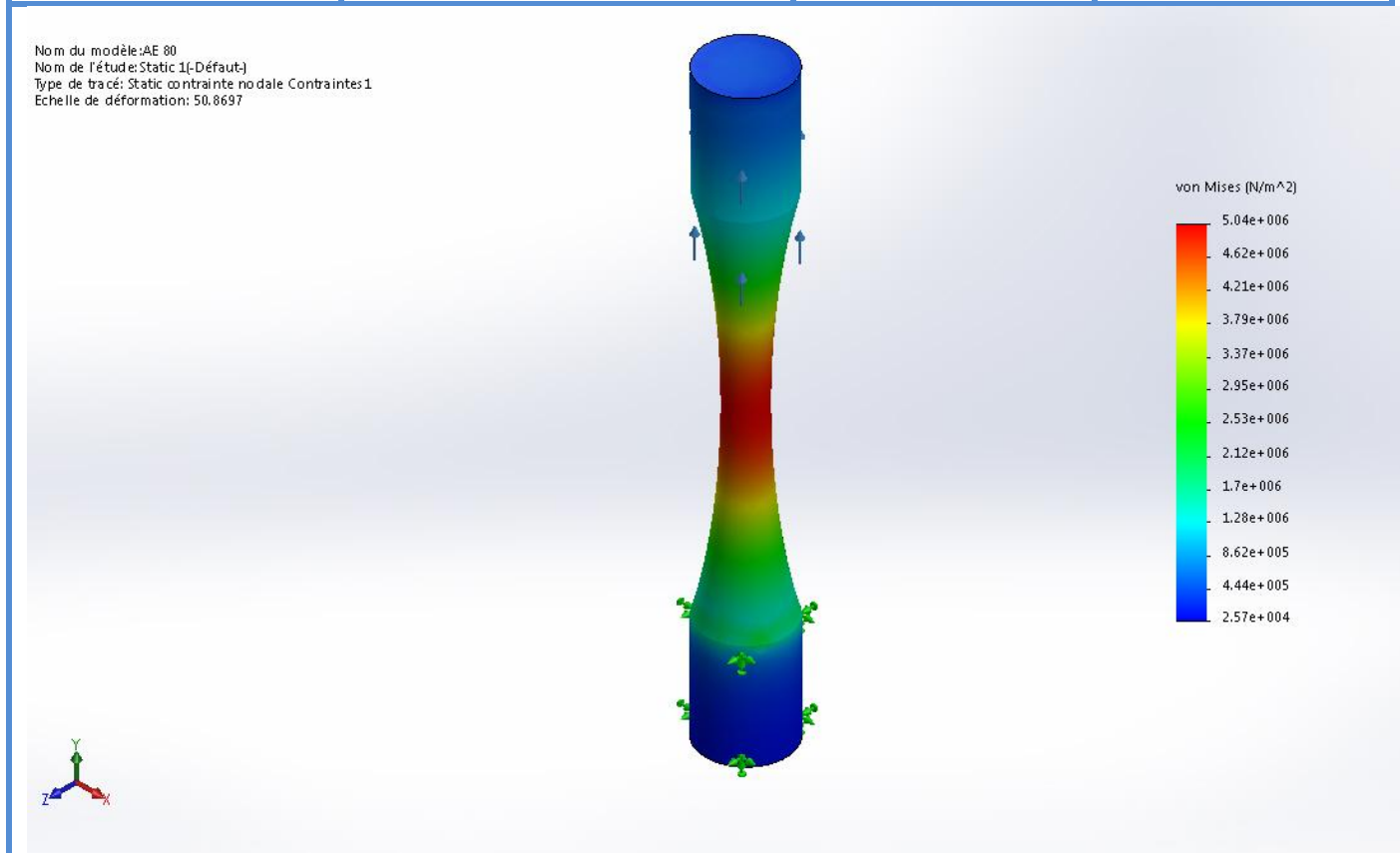
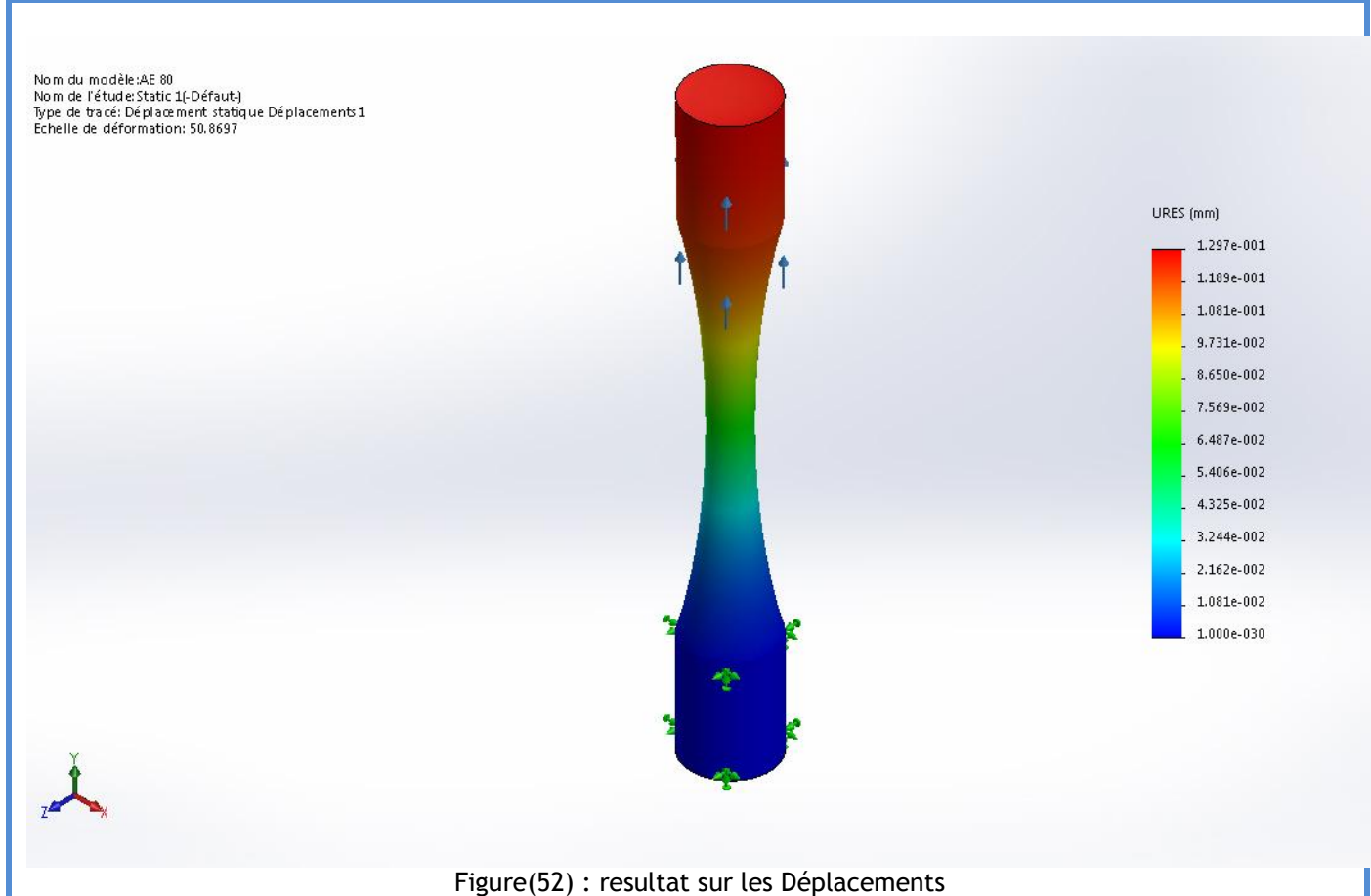


Figure (51) : resultat sur les Contraintes

D'après ces résultat qu'on a eu, on voit que les contraintes ne sont pas vraiment importante ou on trouve les contraintes Maxe sont a l'ordre de **5.04e+006 N/m²** et les contraintes Min sont a l'ordre de **2.57e+004 N/m²**.

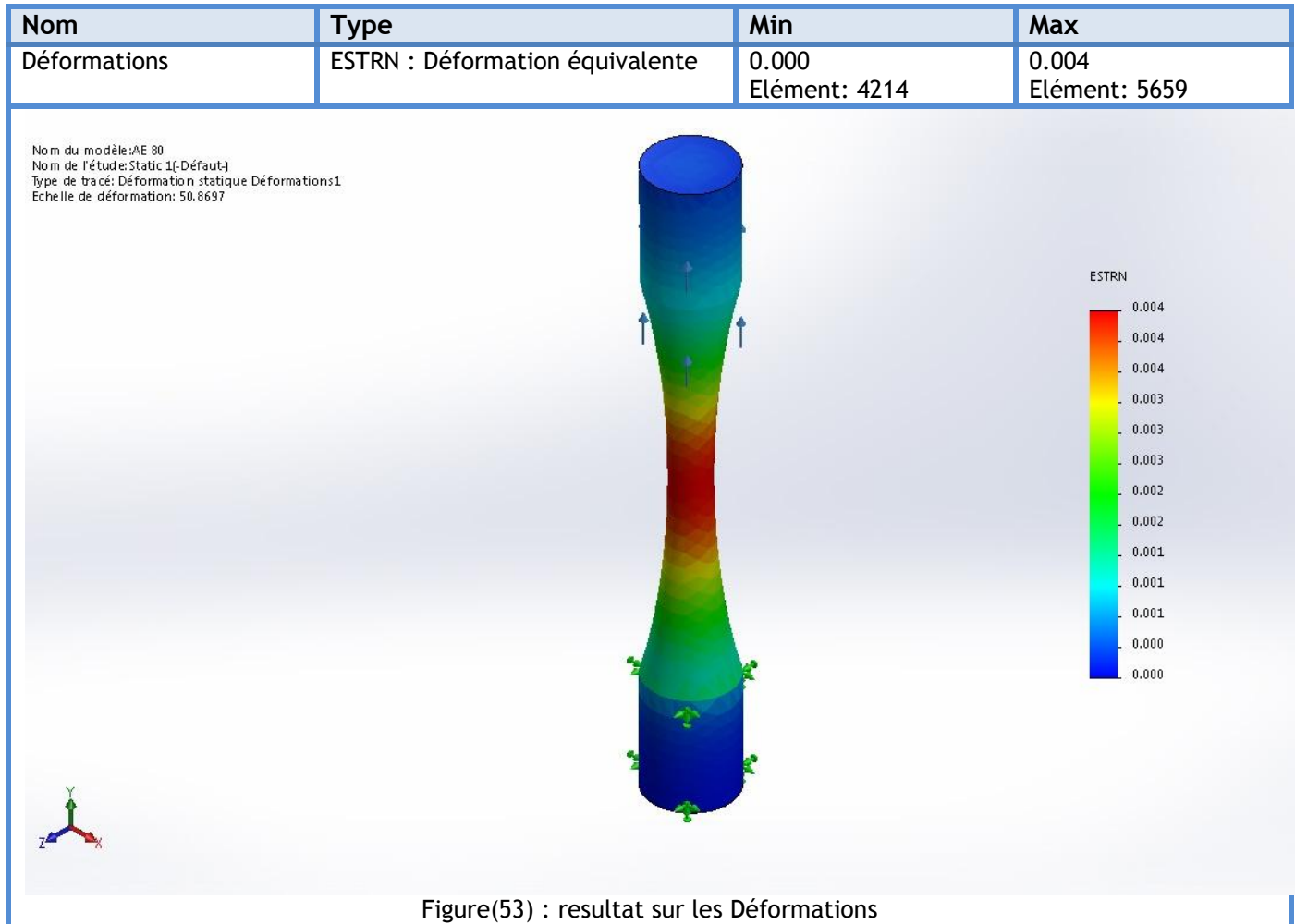
III.8.1.7.2. Déplacements :

Nom	Type	Min	Max
Déplacements	URES : Déplacement résultant	0.000e+000mm Noeud: 139	1.297e-001mm Noeud: 75



D'après ces résultat qu'on a eu, on voit que les contraintes ne sont pas vraiment importante ou on trouve les contraintes Maxe sont a l'ordre de **1.297e-001mm** et les contraintes Min sont a l'ordre de **0.00 mm**.

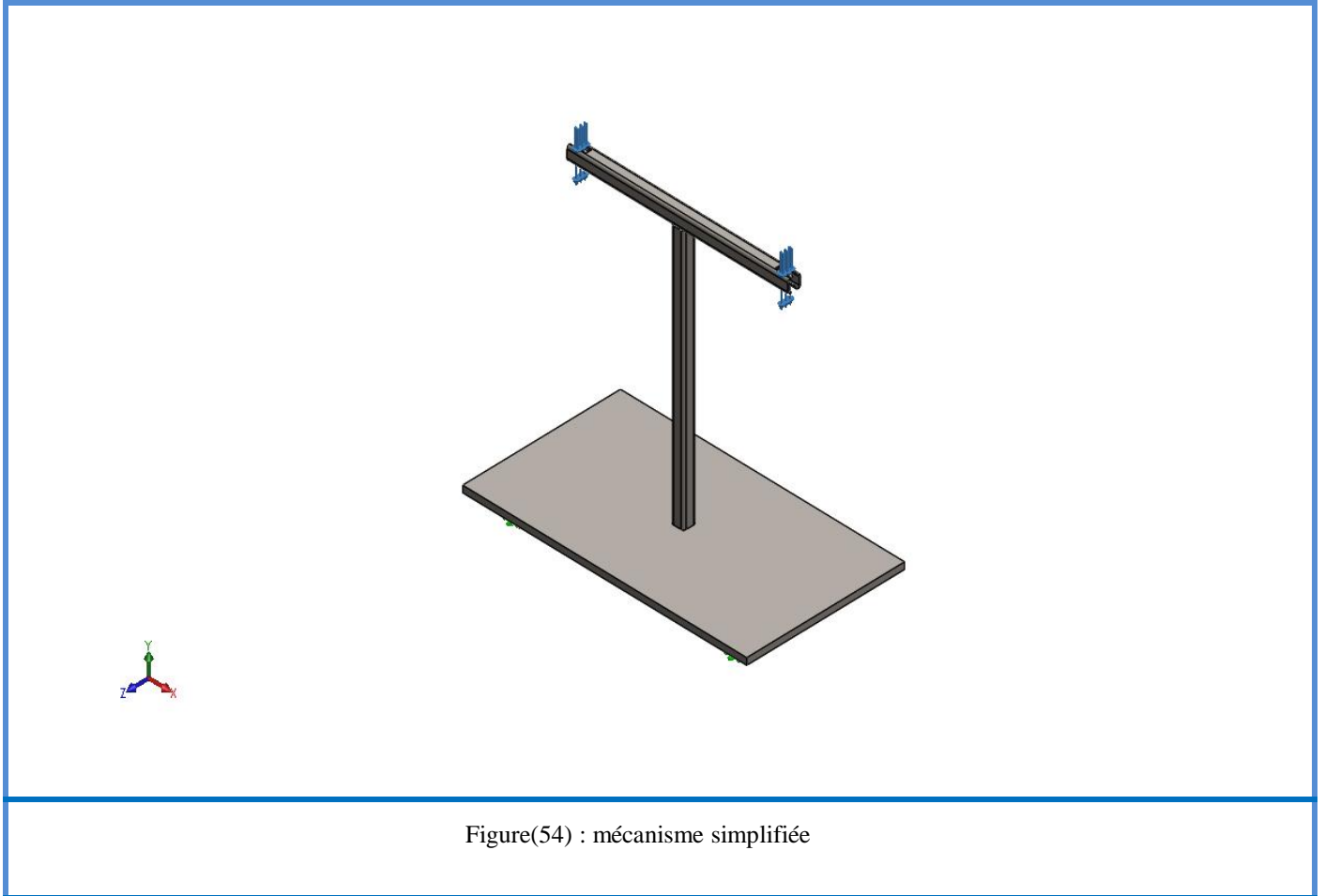
III.8.1.7.3. Déformation:



D'après ces résultats qu'on a eu, on voit que les contraintes ne sont pas vraiment importantes ou on trouve les contraintes Maxe sont à l'ordre de **0.004** et les contraintes Min sont à l'ordre de **0.00**.

III.8.2. Mécanisme:

III.8.2.1 Information sur le modèle:



Figure(54) : mécanisme simplifiée


III.8.2.2. Propriétés de l'étude :

Nom d'étude	Static 1
Type d'analyse	Static
Type de maillage	Maillage volumique
Effets thermiques:	Activé(e)
Option thermique	Inclure des chargements thermiques
Température de déformation nulle	298 Kelvin
Inclure la pression du fluide calculée par SOLIDWORKS Flow Simulation	Désactivé(e)
Type de solveur	FFEPlus

III.8.2.3. Unité :

Système d'unités:	SI (MKS)
Longueur/Déplacement	mm
Température	Kelvin
Vitesse angulaire	Rad/sec
Pression/Contrainte	N/m ²

III.8.2.4. Propriétés du matériau :

Référence du modèle	Propriétés
	Nom: AISI 1010 Barre d'acier laminée à chaud
	Type de modèle: Linéaire élastique isotropique
	Critère de ruine par défaut: Contrainte de von Mises max.
	Limite d'élasticité: 1.8e+008 N/m ²
	Limite de traction: 3.25e+008 N/m ²
	Module d'élasticité: 2e+011 N/m ²
	Coefficient de Poisson: 0.29
	Masse volumique: 7870 kg/m ³
	Module de cisaillement: 8e+010 N/m ²
	Coefficient de dilatation thermique: 1.22e-005 /Kelvin

Tableau(10) : Propriétés du matériau

III.8.2.5. Actions extérieures:

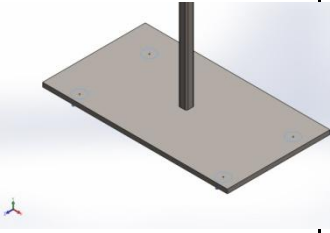
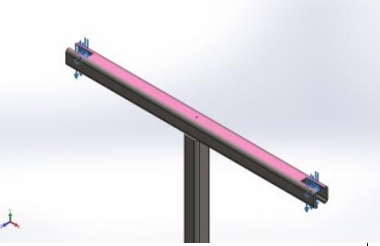
Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé		
Fixe-1		Entités: 4 face(s) Type: Géométrie fixe		
Forces résultantes				
Composants	X	Y	Z	Résultante
Force de réaction(N)	-0.0500152	195.95	-0.0034821	195.95
Moment de réaction(N.m)	0	0	0	0

Tableau (11) : action extérieure

Nom du chargement	Image du chargement	Détails du chargement
Force-1		Entités: 2 face(s) Référence: Face< 1 > Type: Force Valeurs: 98 N

Tableau(12) : détails du chargement

Nombre total de noeuds	20610
Nombre total d'éléments	10725
Aspect ratio maximum	32.336
% d'éléments ayant un aspect ratio < 3	51.9
% d'éléments ayant un aspect ratio > 10	14.6
% d'éléments distordus (Jacobien)	0
Durée de création du maillage (hh:mm:ss):	00:00:03
Nom de l'ordinateur:	AZ-PC

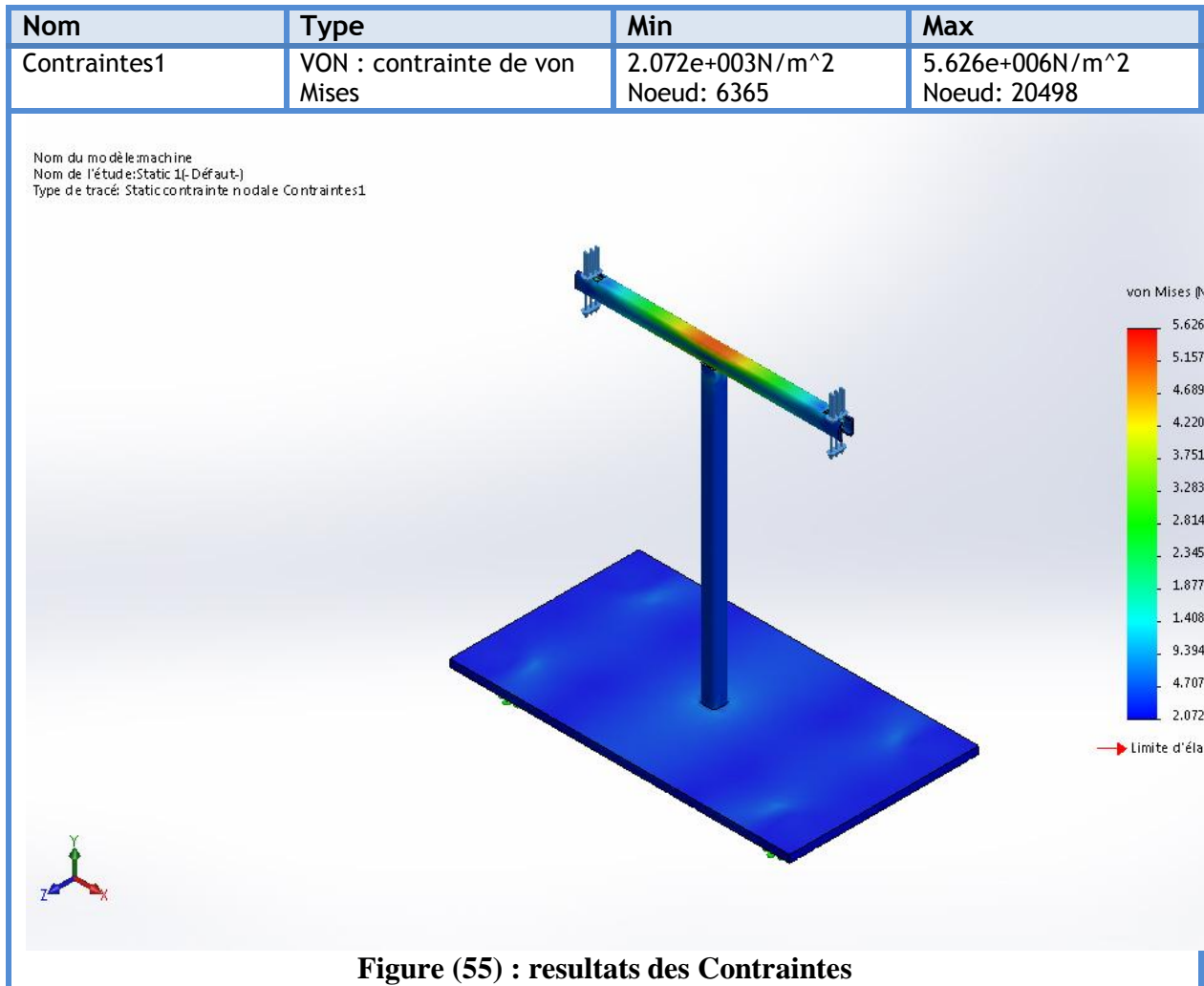
Tableaux(13) : Informations sur le maillage – Détails

Type de maillage	Maillage volumique
Mailleur utilisé:	Maillage standard
Transition automatique:	Désactivé(e)
Boucles automatiques de maillage:	Désactivé(e)
Points de Jacobien	4 Points
Taille d'élément	23.5684 mm
Tolérance	1.17842 mm
Tracé de qualité du maillage	Haute

Tableau(14) : Informations sur le type maillage

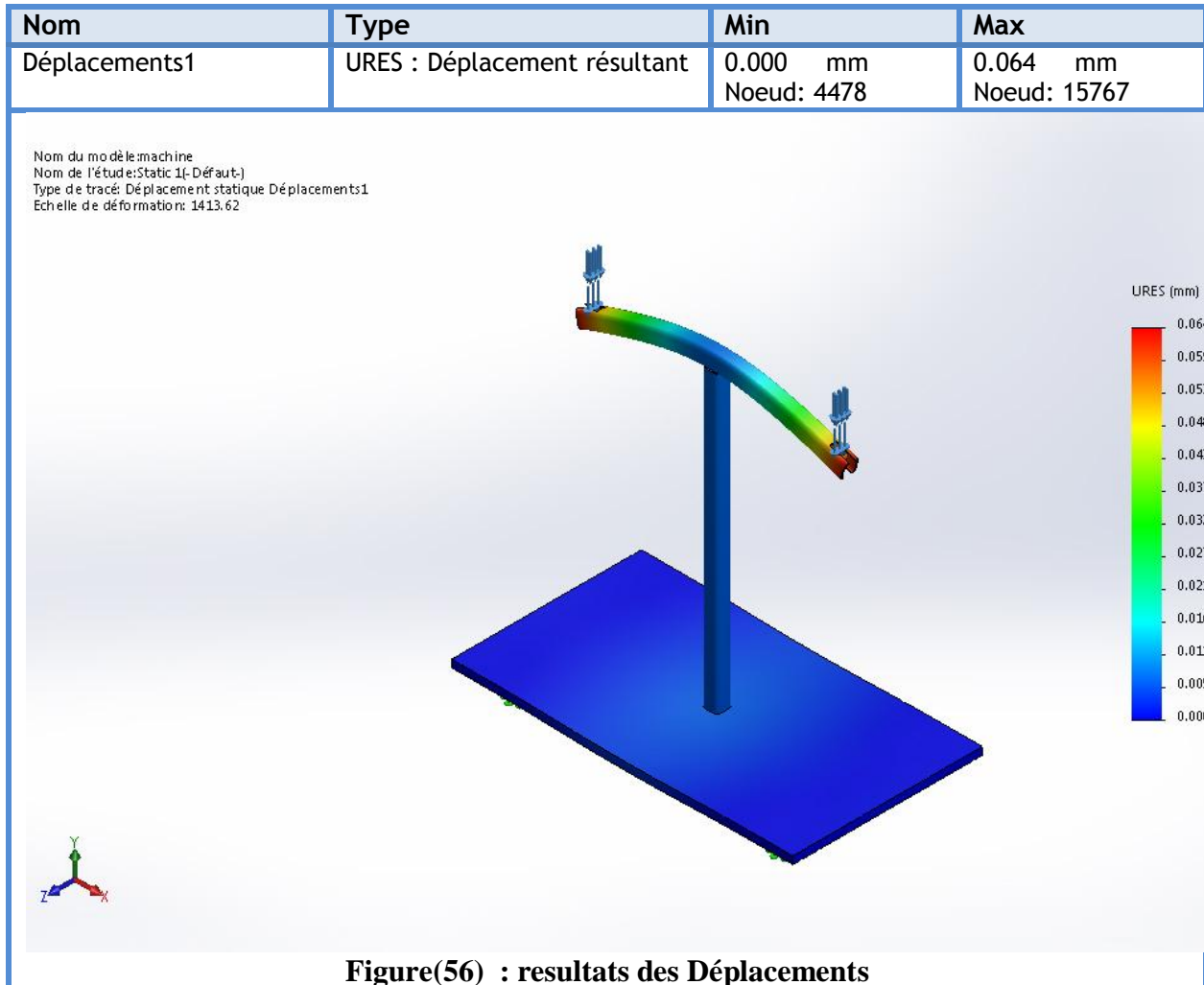
III.8.2.6. Résultats de l'étude:

III.8.2.6.1. Contraintes



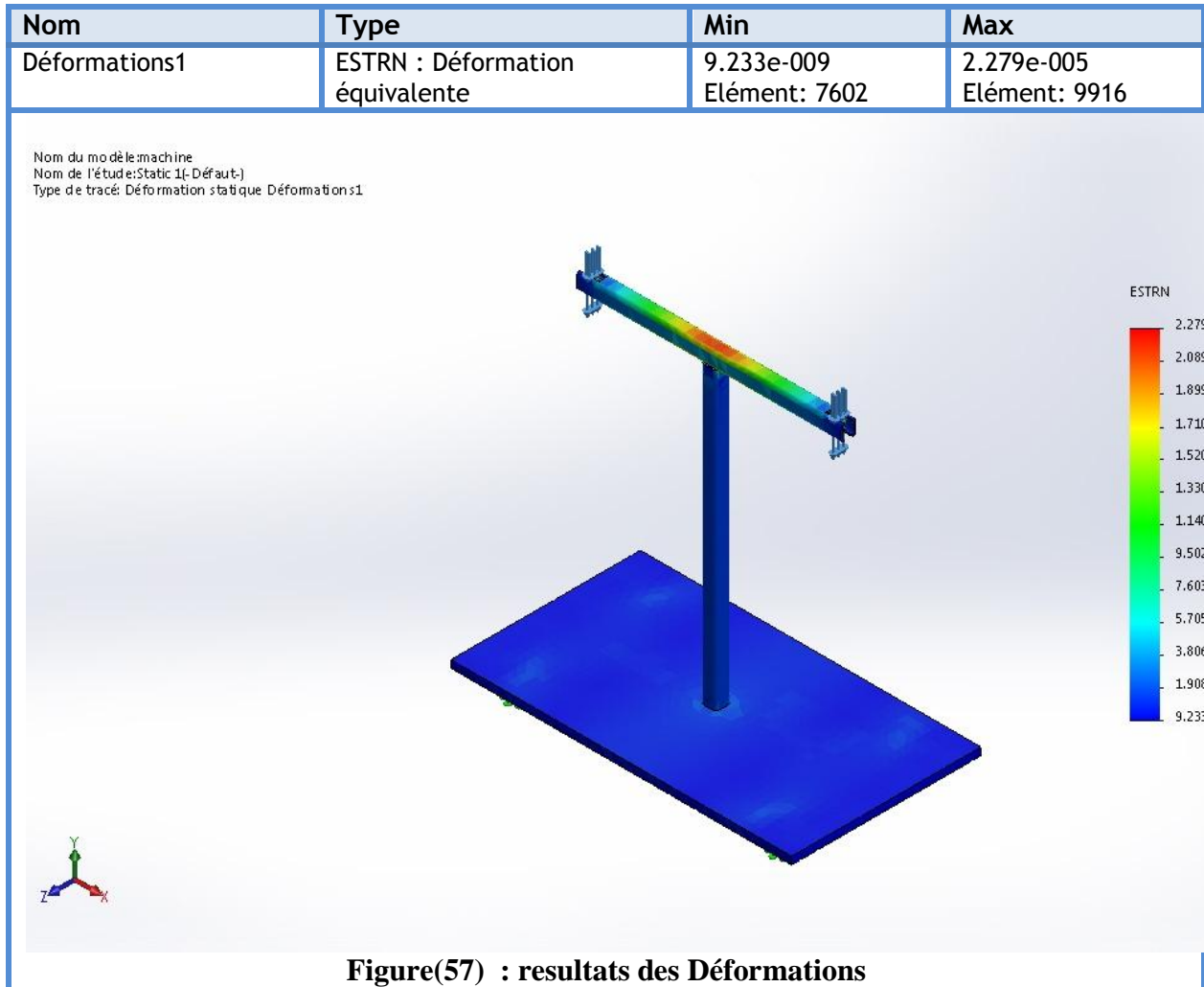
D'après ces résultats qu'on a eu, on voit que les contraintes ne sont pas vraiment importantes ou on trouve les contraintes Maxes à l'ordre de **5.626e+006 N/m²** et les contraintes Min sont à l'ordre de **2.072e+003 N/m²**.

III.8.2.6.2. Déplacements:



D'après ces résultats qu'on a eu, on voit que les contraintes ne sont pas vraiment importantes ou on trouve les contraintes Maxe **0.064 mm** sont à l'ordre de et les contraintes Min sont à l'ordre de **0.000 mm**.

III.8.2.6.3. Déformations:



D'après ces résultats qu'on a eu, on voit que les contraintes ne sont pas vraiment importantes ou on trouve les contraintes Maxe sont à l'ordre de **9.233e-009** et les contraintes Min sont à l'ordre de **9.233e-009**.

III.8.3.Conclusion :

Après avoir vu les résultats de notre simulation, on a conclu que le dispositif va résister à l'effort soumis ;

La barre horizontale (l'entraxe) va résister à la flexion.

La barre verticale (le support vertical) va résister à la compression et au flambement.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Dans la première partie de notre travail on a présenté des rappels bibliographiques sur les polymères, et sur les essais mécaniques utilisés dans la caractérisation des matériaux. Le fluage des matériaux a eu un intérêt particulier dans cette partie. En effet, on a montré les trois stades du fluage : primaire, secondaire et tertiaire. De même on a montré que la vitesse de fluage augmente avec la contrainte.

Dans la partie conception, après avoir présenté plusieurs types de dispositifs de fluage, on a décidé de concevoir le nôtre, selon nos moyens et nos compétences. En effet, on a opté pour un dispositif simple et efficace, en respectant la géométrie et les caractéristiques du matériau des éprouvettes utilisées lors des essais de fluage.

La vérification de la rigidité de cet appareil, sa résistance aux chargements lors des essais a été effectuée en premier lieu, en appliquant les principes de la résistance des matériaux (RDM), puis par simulation du chargement par le logiciel Solide Works simulation.

En fin, cette conception a abouti à un appareil dont les différents constituants sont présentés par des figures et des planches, dans lequel ou sont définis indiquant leurs caractéristiques dimensionnelles et géométriques.

En perspective, cet appareil peut être fabriqué au niveau du hall de technologie de l'UMMTO, par les procédés de découpage, perçage, soudage et assemblage. Le mors fixe, le câble et l'extensomètre peuvent être procurés du marché.

Références bibliographiques

[1] Karim CHERIFI, étude et conception d'un mécanisme décessais en biaxial traction-torsion sur des éprouvettes cylindriques, mémoire master construction mécanique, UMMTO, 2015/2016.

[2] G'SELL C, DAHOUN A. Evolution of microstructure in semi-crystalline polymers under large plastic deformation. Journal of Material Science, 183–99, 1994.

[3] Philippe Lours (AU CŒUR DES MATERIAUX CRISTALIN), Notion en mécanique de la rupture, comportement en fluage, mars 2016.

[4] : LAOUINI Abdeljalil, Réalisation d'un appareil de fluage des métaux, mémoire magistère, UMKB, promotion 2012.

[5]L. RASSOUL M. FERH , Etude, conception et fabrication d'un dispositif d'essai en traction bi axial sur des éprouvettes, mémoire, UMMTO, Promotion 2015/2016.

[6] A. Erchad Langroudi, étude de la déformation viscoplastique et plastique du PET amorphe et semi cristallin, au cour de la transition vitreuse, thèse, INSA de Lyon 1999.

[7] B.M Mangion , J.Y , Cavaille,J,Perez, A moléculaire theory for the sub-tgplastique Responses of Amorphous Polymers, Philo-Mag, vol A66, 1992.

[8] ; Fath-Eddine SEMMOUD, mémoire de magister, thème : modalisation d'un système C.A.O pour la conception mécanique et gestion des données techniques, UMBB, le 24- 04- 2001.

[9] : GAËL GUERLESQUIN. ARTICULATION ERGONOMIE – DESIGN – CONCEPTION MECANIQUE : APPROCHE METHODOLOGIQUE DE LA CONVERGENCE MULTIDISCIPLINAIRE, (THESE), l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, Présentée et soutenue publiquement : Le 29 06 2012

[10] HOCINE CHABANE et ZIAD BELKACEM, mémoire de master, thème : Étude et conception d'un outil poinçonnage et détournage d'un bandeau bombé en inox d'une cuisinière E N I E M, UMMTO, Soutenu le 24/11/2018

[11] ATMANI ABDERAOUF .Mémoire de master. Thème : COMPORTEMENT MECANIQUE EN TRACTION MONOTONED'UN POLYMERE ASSOCIE AU CARBONATE DE CALCIUM (PEHD 5502/CaCO₃), UBMA, 2016/2017

Annexes :

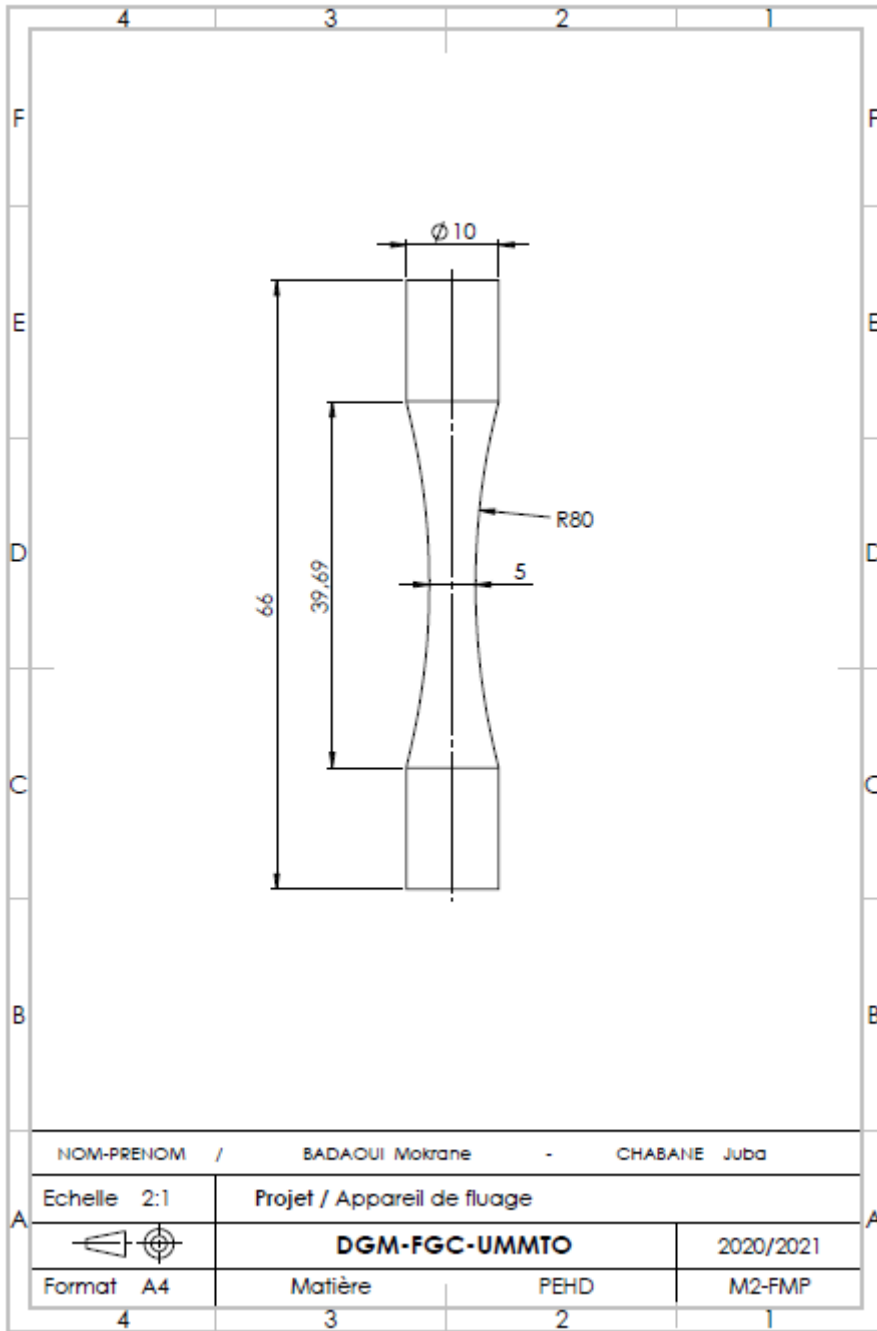
The technical drawing shows a crane mechanism with the following parts labeled:

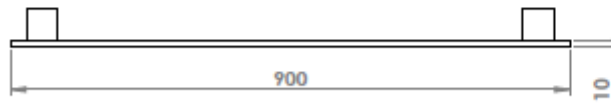
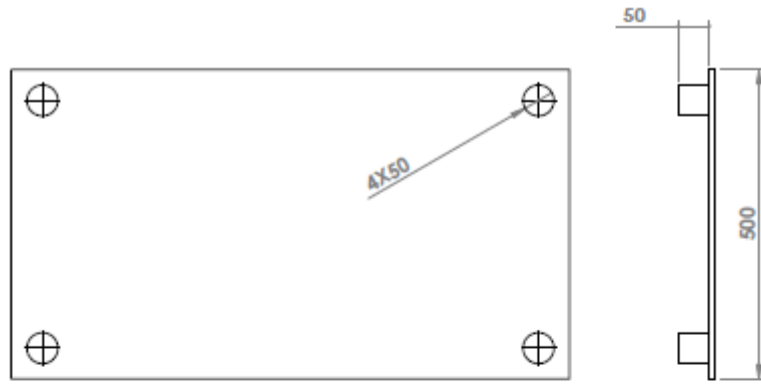
- 1: Main frame
- 2: Wheel (Roulette)
- 3: Column (Colonne)
- 4: Cable (Câble)
- 5: Load hook (Port charge)
- 6: Weight (Poids (charge))
- 7: Movable hook (Mors mobile)
- 8: Fixed hook (Mors fixe)
- 9: Cable clamp (Serre câble)
- 10: Pin (Goupille)
- 11: Vertical support (Support vertical)
- 12: Frame (Entraxe)
- 13: Test tube (Epreuve)

The 3D perspective view shows the crane on a base with a weight hanging from the cable.

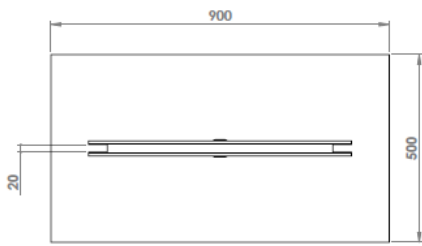
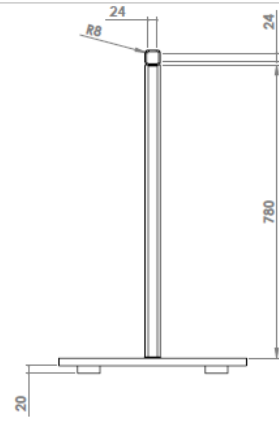
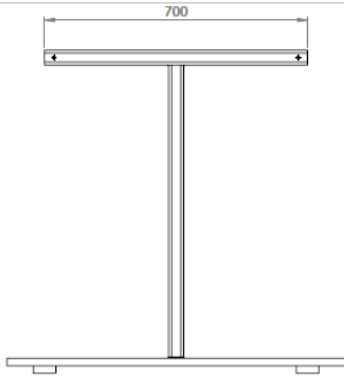
No. ARTICLE	NUMERO DE PIECE	QTE
1	Bâti	1
2	Roulette	2
3	Colonne	2
4	Câble	1
5	Port charge	1
6	Poids (charge)	1
7	Mors mobile	1
8	Mors fixe	1
9	Serre câble	1
10	Goupille	2
11	Support vertical	1
12	Entraxe	1
13	Epreuve	1

NOM-PRENOM	/ BADAOUI Mokrane - CHABANE Juba		
Echelle	1:7	Projet / Appareil de fluage	
		DGM-FGC-UMMTO	2020/2021
Format	A3	Matière	/ M2-FMP

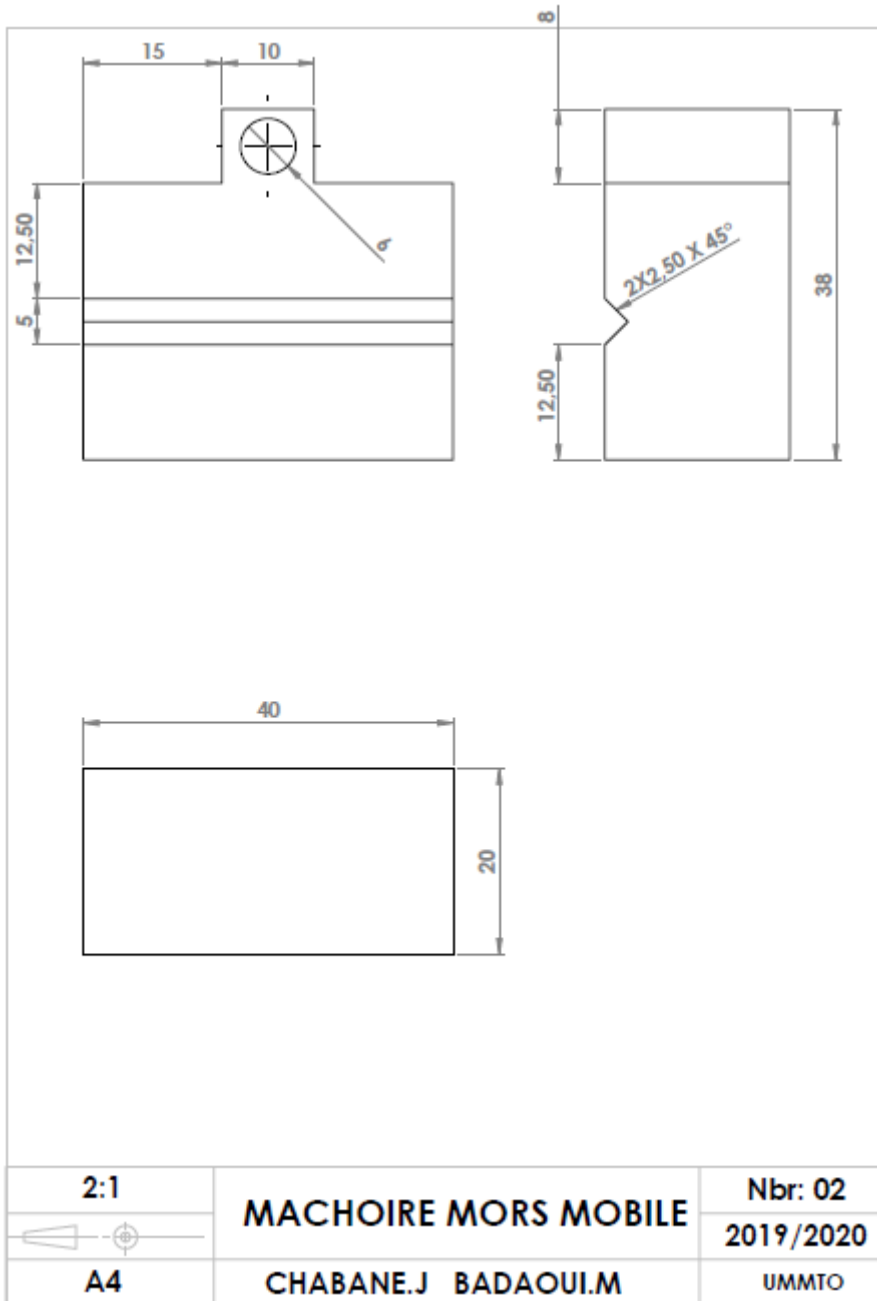


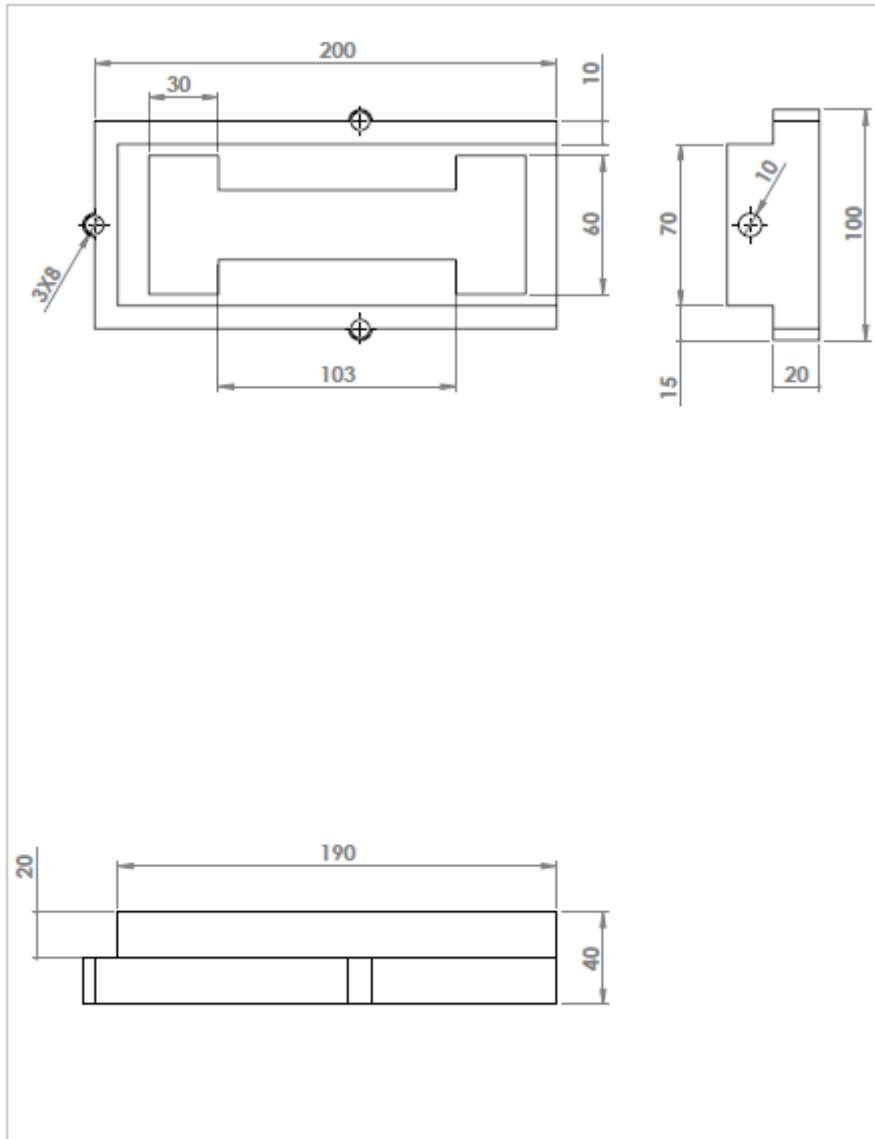


1:7	BATI	Nbr: 01
		2019/2020
A4	CHABANE.J BADAQUI.M	UMMTO

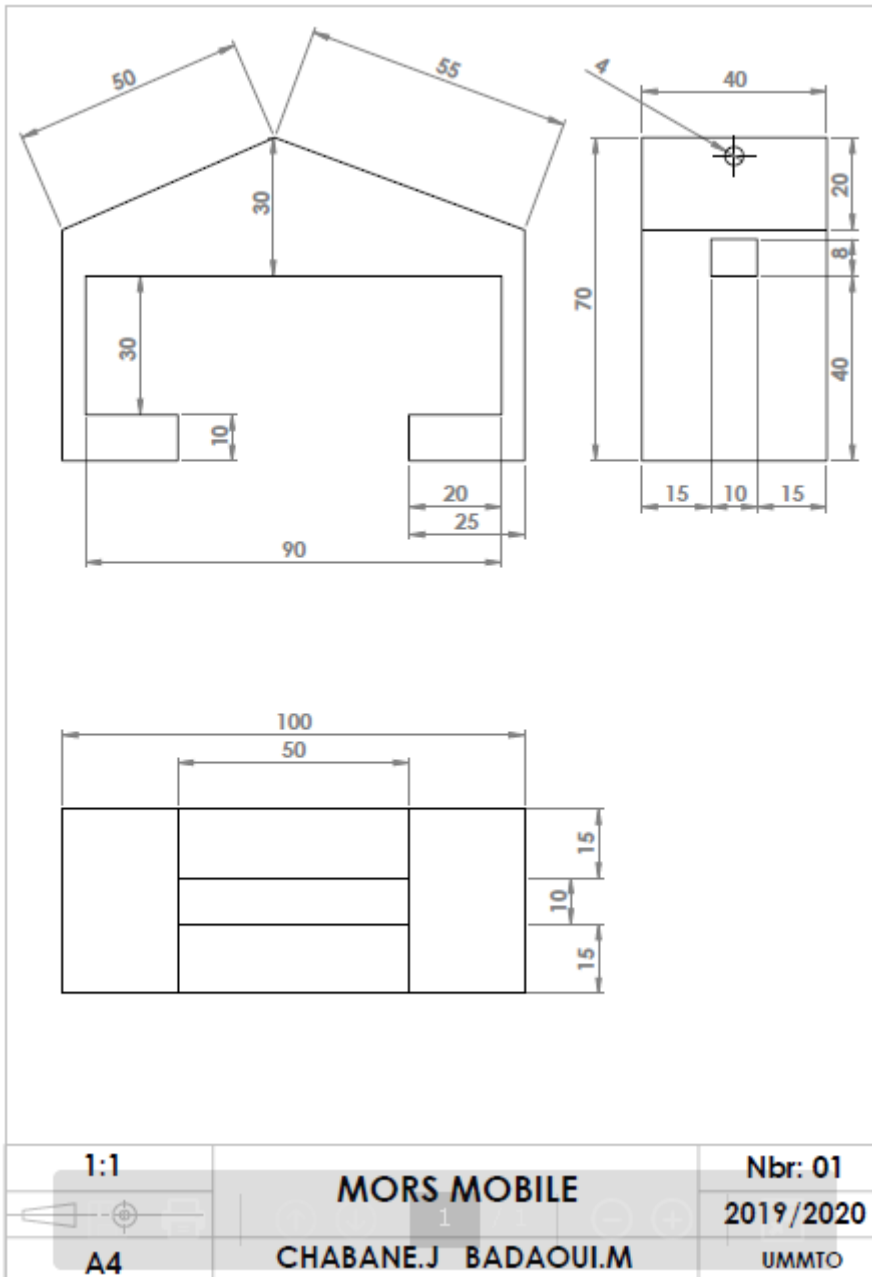


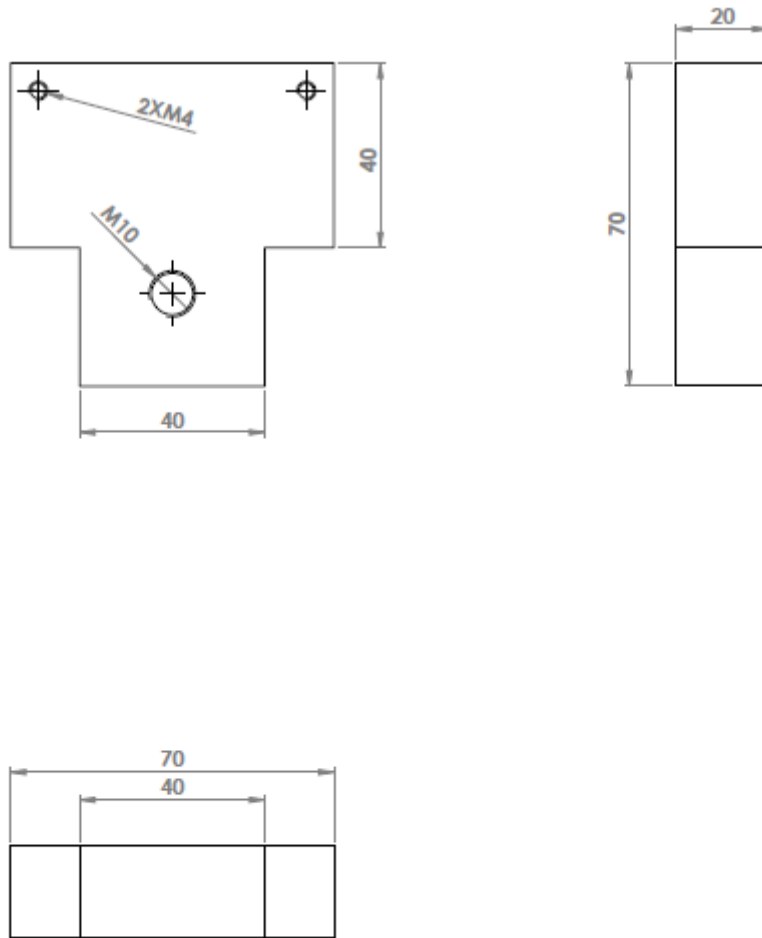
1:8	MACHINE	Nbr: 01
		2019/2020
A3	BADAOUL M. CHABANE. J	UMMTO



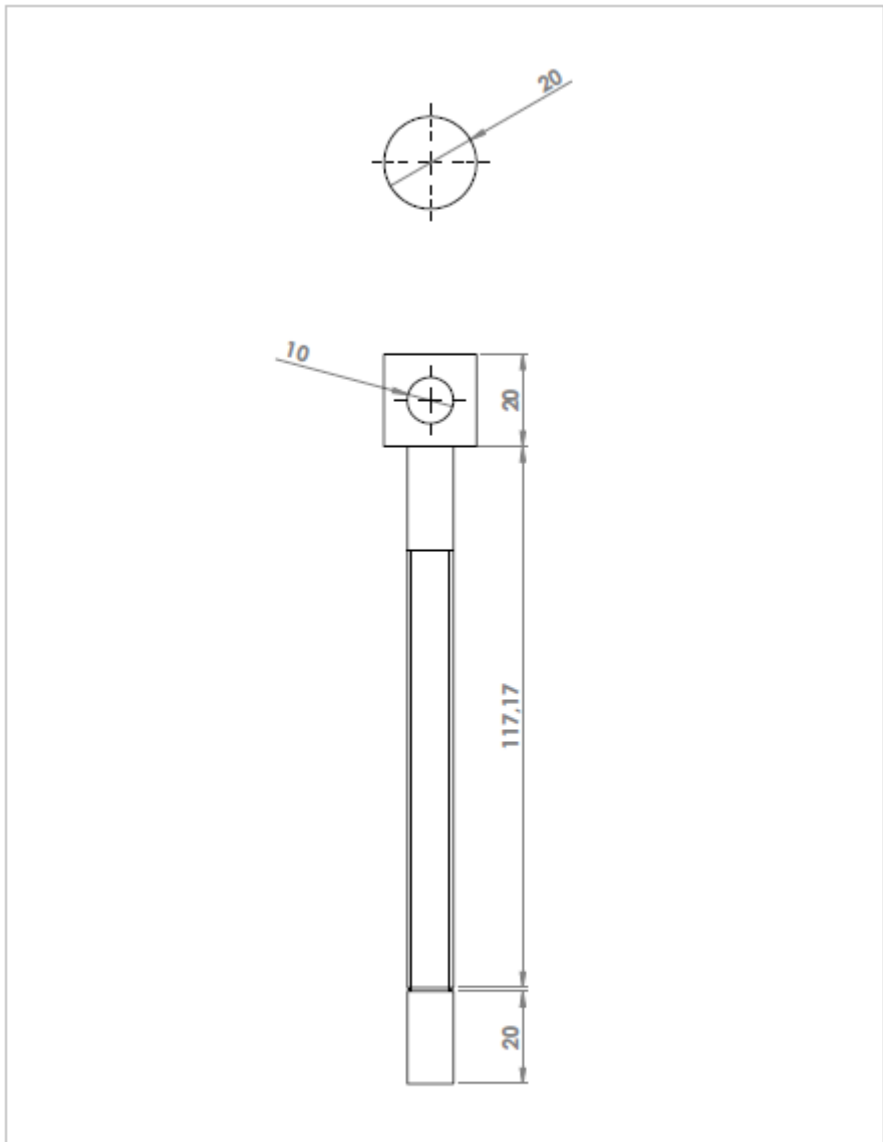


1:2	MORS FIX	Nbr: 01
A4		2019/2020
	CHABANE.J BADAOUI.M	UMMTO

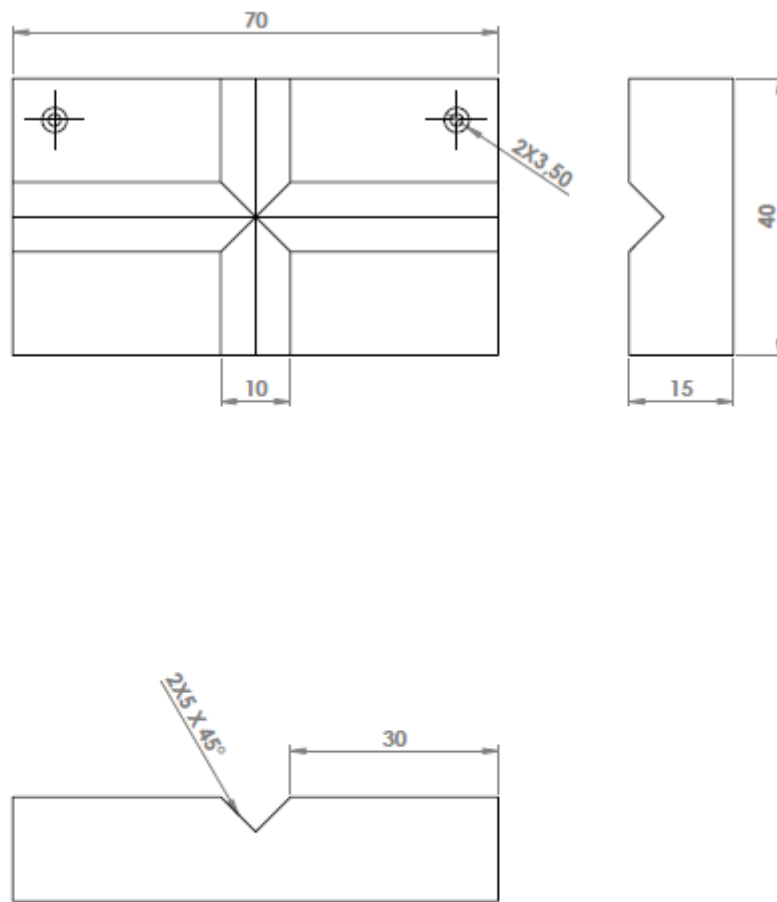




1:1	PORT MACHOIRE	Nbr: 02
		2019/2020
A4	CHABANE.J BADAOUI.M	UMMTO



1:1	TIGE	Nbr : 01
		2019/2020
A4	CHABANE.J BADAQUI.M	UMMTO



1,5:1	MACHOIRE MORS FIX	Nbr : 02
		2019/2020
A4	CHABANE.J BADAOUI.M	UMMTO