



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences et de la technologie
Département De Génie Mécanique

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :
CHAKICHE AMAR

Le : mercredi 10 juillet 2019

Étude technologique d'un appareil d'essai de fluage en traction

Jury :

Dr.	Chabane Foued	MCA	Université de Biskra	Président
Dr.	Boulegroune Abdelmalek	MCB	Université de Biskra	Examineur
Dr.	Beribeche Abdelatif	MCB	Université de Biskra	Rapporteur

Dédicace

Mercie à Dieu avant tous.

A ma très chère mère

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point remercier comme il se doit, Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes cotes a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon très cher père

Ta as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.

Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

A mes très chers frères

*Souad ,Halima, zohra, Abderrahim, Keltoum , Hadjer ,Amina ,
Abderrazak et Brahim .*

A tous nôtres enfants

*Nouh, Meriem , Manar ,younes, mohamed hassan, Abderrahman ,sara,
Mohamed, maysara , Aissa, Omar et roudina .*

Amar... 

Remerciements

Mercie à Dieu avant tous.

*Je voudrais dans un premier temps remercier, mon encadreur de mémoire **Dr.Beribeche Abdelatif**, enseignant à l'université de Biskra, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.*

*Je remercie **Chabane Foued**, Docteur à l'université de Biskra, pour l'honneur qu'il ma fait de bien vouloir accepter la présidence du jury.*

*Je remercie Monsieur **Boulegroune Abdelmalek**, Docteur à l'université de Biskra, d'avoir accepté d'être membre de jury.*

*Je remercie Monsieur **Drid Abou Bakr Seddik** doctorant à l'université de Biskra pour son aide dans la réalisation du système d'acquisition de l'appareil d'essai de fluage.*

*je remercie le directeur de le hall technologique de université de biskra Ms. **Guettala Ismail** pour votre aide et tous les technicien qui travaille dans le hall Mécanique (Sadrati Sadok , Farouk , Lezhar).*

*Je tiens à remercier spécialement mon collègue en accomplissant ce travail **Djeti Samir** .*

Je remercie mes parents, pour leur soutien constant et leurs encouragements.

Table des matières

Notations	viii
Liste des Figures	ix
Liste des Tableaux.....	xii
Introduction générale.....	1

Chapitre I

Propriétés mécaniques des matériaux

I. Les essais mécaniques.....	2
I.1 Généralités.....	2
I.2 Essai de dureté.....	2
I.2.1 Définition de dureté.....	2
I.2.2 Principe de l'essai de pénétration.....	2
I.2.3 Procédé avec action statique.....	3
I.2.4 Principe.....	3
I.2.5 Pénétrateur d'essai.....	4
I.2.6 Machine d'essai.....	4
I.2.7 Conduite de l'Essai.....	5
I.2.8 Caractéristiques de l'essai.....	4
I.3 Essai de dureté Rockwell.....	6
I.3.2 Machine d'essai.....	7
I.3.4 Caractéristiques de l'essai.....	
I.4 Essais de résilience.....	8
I.4.1 Introduction.....	8
I.4.2 Principe de l'essai.....	8
I.4.3 Machine d'essai.....	9
I.4.4 Exécution de l'essai.....	9
I.5 Essai de dureté Vickers.....	9
I.5.1 Principe de L'essai.....	10

I.5.2 Pénétrateur de L'essai.....	10
I.5.3 Conduite de l'essai.....	10
I.5.4 Conclusion.....	11
I.6 L'essai de traction simple	11
I.6.2 Différents paramètres sont remarquables.....	12
I.6.1 Diagramme contrainte-déformation en traction d'une éprouvette métal.....	12
I.6.3 Le module d'élasticité	13
I.6.4 La limite d'élasticité Re.....	14
I.7 Essais de fatigue.....	16
I.7.1 Généralité.....	16
I.7.2 Eprouvettes et essai.....	16
I.7.3 Modes de sollicitations	17
I.7.4 Différents types de sollicitations appliquées en fatigue	17
I.7.5 Courbe de Wöhler	17
I.7.6 Diagramme d'endurance	19

Chapitre II
Notion sur le fluage

II Essai de fluage.....	20
II.1 Généralités sur le fluage.....	20
II.2 Définition.....	20
II.3 Diagramme typique de fluage (fluage restauration)	21
II.4 Différents stade de fluage restauration	22
II.4.1 Le stade primaire, ou transitoire (AB).....	22
II.4.2 Le stade secondaire, ou stationnaire (BC).....	22
II.4.3 Le stade tertiaire (CD)	22
II.5 Les différents mécanismes de fluage.....	22
II.6 Influence de la contrainte et de la température.....	23
II.7 Relation entre la vitesse de déformation et la contrainte.....	24
II.8 Conclusion.....	24

Chapitre III

Description et conception le banc d'essai de fluage

III Description de la machine de fluage.....	26
III.1 Conception de la machine.....	27
III.1.1 Bâti.....	27
III.1.1.1 La base.....	27
III.1.1.2 Les pièces (1 et 2).....	27
III.1.1.3 Les Pièces (3 et 4).....	27
III.1.1.4 La pièce (5).....	27
III.1.2 Le support.....	27
III.2.1 Les pièces 1et 2.....	27
III.2.2 Les pièces 3 et 4.....	27
III.2.3 Les pièces 5 et 6.....	27
III.2 Les vis d'assemblage.....	28
III.3 Articulation.....	28
III.4 Proposition une modèle des Mors mobile et mors fixe.....	29
III.5 Description les anneaux des mors mobile et fixe.....	29
III.5.1 1 ^{er} Modèle.....	29
III.5.1.1 Première Partie.....	30
III.5.1 Deuxième parité.....	30
III.5.2 2 ^{eme} Modèle.....	30
III.5.3 Notion sur le bakélite.....	31
III.5.4 Caractéristiques principales.....	32
III.5.5 Applications de Bakélite.....	32
III.5.6 Propriétés physique et mécanique de bakélite.....	32
III.6 Four électrique.....	33
III.7 Le thermocouple.....	34
III.7.1 Le principe de fonctionnement du schéma.....	34
III.8 Système d'acquisition.....	35

III.8.1 Schématisation Système d'acquisition.....	36
III.8.2 Etalonnage système d'acquisition.....	38
III.8.3 Etalonnage de l'appareil.....	38
III.9 Système de transmission de mouvement	41
III.11 Procédure expérimentale	43
III.12 Etude RDM	43
III.12.1 Calcule des efforts appliqués.....	44
III.12.2 Calcule de RB.....	44
III.12.3 Effort tranchant et Moment fléchissant.....	45
III.12.4 Diagramme d'effort tranchant et Diagramme de moment fléchissant.....	46
III.12.2 Etude de la résistance au cisaillement de l'axe de l'articulation.....	47

Chapitre IV

Résultats et interprétations

IV .1 1 ^{er} essais.....	48
IV Interprétation.....	48
IV 1.2 Matériaux.....	48
IV 1.3 Paramètres d'essais.....	48
IV1.4 Observation microscopique de sur la zone de la rupture (X10)	48
IV .2 2 ^{eme} essais.....	49
IV 2.2 Matériaux : Pa6 pure.....	49
IV 2.3 Paramètres d'essais.....	49
IV.2.4 Observation microscopique de sur zone de la rupture (X10)	50
IV.3 3 ^{eme} essais.....	50
IV 3.1 Matériaux : Pa6 pure.....	50
IV 3.2 Paramètres d'essais.....	50
IV3.3 Observation microscopique de sur la zone de la rupture (X10)	51
IV.4 4 ^{eme} essais.....	51
IV.4.1 Matériaux : Pa6 pure.....	51
IV.4.2 Paramètres d'essais	51

Contexte V
Fiche technique Banc d'essai de fluage

V.1 Caractéristique géométrique.....	54
V.2 Description le banc d'essais de fluage.....	54
V.3 Caractéristique générale de banc d'essai.....	55
V.4 Les différents types des éprouvettes.....	56
V.4.1 Prismatique.....	56
V.4.2 Fils électrique.....	56
V.5 Les types des Mors.....	56
V.5.1 Mors pour l'échantillon prismatique.....	56
V.5.2 Mors pour l'échantillon de fils électrique.....	57
V.6 Modalisation le four électrique.....	57
Conclusion générale	58
Références bibliographiques	59

Notations

T_F : Température de fusion en Kelvin

ε : Déformation

$\dot{\varepsilon}$: Vitesse de fluage

Ω : Volume atomique

d : Dimension caractéristique des grains

D : Coefficient d'autodiffusion.

μ : Potentiel chimique des atomes

J : Flux d'atome transporté.

Q_c : Energie d'activation de fluage

G : Module de cisaillement

B : Vecteur de Burgers des dislocations.

ε_m : vitesse minimale

σ_e : contrainte de limite d'élasticité

σ_R : contrainte de résistance à la rupture.

$A\%$: Allongement

E : module d'élasticité (module de Young)

R : constant de gaz parfait

n : exposant de contrainte.

p : exposant de la taille de grain

T_F : temps de rupture

Liste des figures

<i>Figure 1.1</i> Appareil portatif à bille.....	4
<i>Figure 1.2</i> Essai Brinell.....	4
<i>Figure 1.3</i> Machine d'essai de dureté.....	5
<i>Figure 1.4</i> Règle de mesure de l'empreinte.....	6
<i>Figure 1.5</i> Les pénétrateurs.....	7
<i>Figure 1.6.a</i> Le cône.....	8
<i>figure1.6.b</i> la bille.....	8
<i>Figure 1.7</i> Schéma de principe de l'essai de choc.....	9
<i>Figure 1.8</i> Calcul de l'énergie dissipée dans un choc	10
<i>Figure 1.9</i> Pénétrateur pyramidal.....	11
<i>Figure 1.10</i> Eprouvette. Machine de traction. Courbe contrainte-déformation.....	12
<i>Figure 1.11</i> Courbe contrainte-déformation. Domaine élastique et domaine plastique.....	12
<i>Figure 1.12</i> Traction simple : force et allongement.....	13
<i>Figure 1.13</i> déformations dans les trois directions.....	13
<i>Figure 1.14</i> Courbe contrainte-déformation. Limite d'élasticité et résistance à la traction.....	14
<i>Figure 1.15</i> Courbe contrainte-déformation. Deux matériaux avec des rigidités et des ductilités différentes	15
<i>Figure 1.16</i> Courbe contrainte-déformation. Ténacité = surface sous la courbe.....	15
<i>Figure 1.7</i> Eprouvette de fatigue.....	16
<i>Figure 1.18</i> Sollicitations cycliques.	17
<i>Figure 1.19</i> Courbe de Wöhler	18
<i>Figure 2.1</i> Courbes de fluage 1 : Fluage logarithmique 2 : Fluage restauration 3 : Fluage visqueux.....	21

Figure 2.2 (a) Allure générale d'une courbe de fluage, Evolution de la déformation et	
(b) la vitesse de déformation en fonction du temps.....	21
Figure 2.3 Représentation schématique des modes de déformation en fonction de la température	22
Figure 2.4 Courbes de fluage, pour des températures ou des contraintes croissantes.....	23
Figure 2.5 Influence de la contrainte sur la vitesse de fluage	24
Figure 3.1 Schéma d'une machine de fluage.....	26
Figure 3.2 Modalisation le banc d'essai.....	26
Figure 3.4 Bras de levier.....	27
Figure 3.3 Dessin d'ensemble du bâti.....	28
Figure 3.5 dessin de définition de bras a levier.....	28
Figure 1.6 dessin de définition de bras a levier.....	28
Figure 3.7 Dessin de définition de mors mobile.....	29
Figure 3.8 Dessin de définition de mors fixe.....	29
Figure 3.9 Dessin de définition des anneaux en bakélite.....	30
Figure 3.10 Dessin de définition des anneaux en acier ordinaire.....	30
Figure 3.11 Dessin d'ensemble (anneau+ mors + échantillon).....	31
Figure 3.12 Structure de la Bakélite.....	31
Figure 3.13 Modélisation le four et son composants (mors + éprouvette +source de chaleur)..	33
Figure 3.14 Four électrique (3: le thermorégulateur).....	34
Figure 3.15 Shéma d'un circuit électrique "thermocouple".....	34
Figure 3.16 Le four complet et le thermorégulateur.....	35
Figure 3.17 Dessin de définition de Système d'acquisition.....	35
Figure 3.18 Schéma d'une souris à boule (carte d'acquisition).....	36
Figure 3.19 Situation du système d'acquisition (1- échantillon, 2-3- mors mobile et fixe, 4- chaine, 5-pignon ,6-carte d'acquisition, 7-elevateur de vitesse.....	36
Figure 3.20 Interface de la programme de mesure la déformation.....	37
Figure 3.21 système d'acquisitions + élévateur de vitesse.....	38

Figure 3.22 étalonnage le système d'acquisition.....	38
Figure 3.23 étalonnage de l'appareil.....	39
Figure 3.24 Courbe d'étalonnage (effort sur l'échantillon N en fonction de la charge Q).....	40
Figure 2.25 dessin de définition de système de transmission de mouvement (Pignon + Chaîne).....	41
Figure 3.26 La formule développée de PA6.....	42
Figure 3.27 Schéma représentatif des forces appliquées sur le bras de levier.....	43
Figure 3.28 Section A-A.....	34
Figure 3.29 Diagramme d'effort tranchant et Diagramme de moment fléchissant.....	46
Figure 3.30 L'articulation).....	47
Figure 3.31 Schéma de l'articulation.....	47
Figure 4.1 Courbe de fluage de polyamide PA6+ 20 % verre (d=0.5 mm) dans la condition ($\sigma=9.2$ Mpa, $T=150^{\circ}\text{C}$).....	48
Figure 4.2 Observation microscopique de sur la zone de la rupture essai 1.....	48
Figure 4.3 Courbe de fluage de polyamide PA6 dans la condition ($\sigma=9.2$ Mpa, $T=150^{\circ}\text{C}$).....	49
Figure 4.4 Courbe Vitesse de déformation de fluage en fonction du temps du polyamide PA6 à charge de $\sigma=9.2$ Mpa et $T = 150^{\circ}\text{C}$	49
Figure 4.5 Observation microscopique de sur la zone de la rupture essai 2.....	50
Figure 3.6 Courbe de fluage de polyamide PA6 dans la condition ($\sigma=9.2$ Mpa, $T=120^{\circ}\text{C}$).....	50
Figure 4.7 Courbe Vitesse de déformation de fluage en fonction du temps du polyamide PA6 à charge de $\sigma=9.2$ Mpa et $T = 120^{\circ}\text{C}$	51
Figure 4.8 Observation microscopique de sur la zone de la rupture essai 3.....	51
Figure 4.9 Courbe de fluage de polyamide PA6 dans la condition ($\sigma=9.2$ Mpa, $T=100^{\circ}\text{C}$).....	52
Figure 4.10 Courbe Vitesse de déformation de fluage en fonction du temps du polyamide PA6 à charge de $\sigma=9.2$ Mpa et $T = 100^{\circ}\text{C}$	52
Figure 4.11 la vitesse et la déformation en fonction du temps PA6 à charge de $\sigma=9.2$ Mpa et T $= 100^{\circ}\text{C}$	53
Figure 4.12 Courbes de fluage de matériaux composite PA6 pure à différentes températures et contrainte fixé ($\sigma=9.6$ Mpa, $T_1=150^{\circ}\text{C}$, $T_2=120^{\circ}\text{C}$, $T_3=100^{\circ}\text{C}$).....	53

Liste des tableaux

<i>Tableau 1.1</i> pénétrateurs Brinell, Rockwell, Vickers et Knoop	3
<i>Tableau 3.1</i> représentation les propriétés physique et mécanique de bakélite	32
<i>Tableau 3.2</i> représente la procédure de sauvegarde de déformation en fichier Excel (.exe).....	37
<i>Tableau 3.3</i> les valeurs d'étalonnage	40
<i>Tableau 3.4</i> : représentation les propriétés physique et mécanique de bakélite	42

Introduction générale

Introduction générale

La connaissance des propriétés mécaniques des métaux et des alliages métalliques nécessitent des tests mécaniques. Parmi ces tests, on a l'essai de fluage qui a pour but de connaître le comportement d'un matériau lors de l'application d'une charge constante mais à une température donnée. Parmi les matériaux, on peut citer l'exemple des fils électriques de cuivre et d'aluminium et qui sont utilisés dans le domaine de transport de l'électricité et qui nécessitent la connaissance de leur résistance au fluage.

En sciences des matériaux, le fluage est la tendance du matériau à se déformer lentement sous l'influence des contraintes (inférieure à la limite d'élasticité). En général, le fluage se produit en trois stades : Le premier stade apparaît au début du test de fluage, cependant durant le deuxième stade la vitesse de déformation devient presque constante et cette étape est appelée le fluage stationnaire. Finalement, le troisième stade est caractérisé par une vitesse croissante jusqu'à la rupture du matériau. Le fluage constitue souvent le principal facteur limitant la durée de vie d'une pièce.

Pour ce projet de mémoire, nous avons amélioré un appareil d'essai de fluage déjà réalisé pour en faire l'essai sur l'échantillon prismatique des matériaux composites.

Après une introduction générale, le manuscrit est composé de quatre chapitres.

- Le premier chapitre est réservé à une étude bibliographique sur les Propriétés mécaniques des matériaux
- Le deuxième chapitre est consacré aux notions sur le phénomène de fluage
- Le troisième chapitre décrit la machine d'essai de fluage réalisée, ou des dessins techniques de chaque pièce et aussi de l'ensemble de l'appareil ont été expliqués.
- Le quatrième chapitre comprend quelques résultats de fluage, c'est-à-dire des courbes de fluage obtenues sur des matériaux composite PA6.

Enfin une conclusion générale qui rassemble l'essentiel de cette étude.

Chapitre I

Propriétés mécaniques des matériaux

I Les essais mécaniques

I.1 Généralités

Nous avons besoin de connaître le comportement mécanique des matériaux utilisés pour fabriquer diverses structures. Ce sont les essais mécaniques qui peuvent nous fournir ces données nécessaires.

Ils nous permettront surtout de déterminer les propriétés mécaniques des matériaux pour dimensionner les structures de façon à éviter divers modes de ruines : le flambage, la déformation plastique exagérée, la rupture brutale ou la rupture différée par fatigue, corrosion sous contrainte ou fluage.

De plus, il est indispensable de déterminer les limites qu'il ne faut pas dépasser pour éviter la ruine : limite d'élasticité, charge de rupture, limite d'endurance en fatigue, etc. [1]

I.2 Essai de dureté

Si la notion de dureté est l'une des plus intuitives, sa mesure correspond en pratique à celle de la résistance à la pénétration locale du matériau considéré. Les essais de la dureté permettent de définir quelques caractéristiques des matériaux tels que ; (les modules d'Young et de Coulomb, coefficient de poisson, dureté, viscosité, forces d'adhésion (entre la pointe et le substrat) ou encore ténacité et énergie de rupture, etc.), mais aussi de la nature et de la forme du pénétrateur et du mode de pénétration [2, 3].

I.2.1 Définition de dureté

La définition valable pour la dureté est la résistance qu'oppose un corps à la pénétration d'un corps plus dur. La dureté est un complément indispensable de l'examen métallographique, qui donne une première impression sur les caractéristiques mécaniques et corrobore souvent l'interprétation des textures. Selon le type de charge du corps d'essai lors de la pénétration dans le matériau, on distingue deux procédés: [4].

- procédé avec action statique (par pénétration).
- procédé par action dynamique (par rebondissement) [4].

I.2.2 Principe de l'essai de pénétration

Il consiste à enfoncer un pénétrateur dans le métal à essayer. La charge est constante et on mesure la dimension de l'empreinte. L'empreinte est d'autant plus grande que le métal est moins dur. La dureté H s'exprime par le rapport de la force sur la surface de l'empreinte : $H = \frac{F}{S}$

Les essais les plus classiques sont les essais Brinell, Vickers et Rockwell (Tableau. II.1) [5].

Pénétrateur	Brinell	Rockwell		Vickers	Knoop
Nature	Acier trempé ou carbure de tungstène	Diamant	Acier trempé	Diamant	Diamant
Forme	Sphère	Cône	Sphère	Pyramide à base carrée	Pyramide à base losange
Dimensions	 D = 10 mm ; 5 mm ; 2,5 mm ; 1 mm	 $\theta = 120^\circ$	 D = 1/16" (1,587 mm) D = 1/8" (3,175 mm)	 $\theta = 136^\circ$	 $\alpha = 130^\circ$ $\theta = 172^\circ 30'$

Tableau 1.1 : pénétrateurs Brinell, Rockwell, Vickers et Knoop [2].

I.2.3 Procédé avec action statique

Les différentes méthodes d'essai faisant partie de ce procédé sont les essais du domaine macro avec force d'essai $F > 30$ N tels que:

- essai Brinell
- essai Rockwell
- et l'essai Vickers [4].
- L'essai de dureté Brinell

Il consiste à imprimer dans la pièce à essayer une bille en acier ou en carbure de tungstène de diamètre D sous une charge F , et à mesurer le diamètre d de l'empreinte laissée sur la surface après l'enlèvement de la charge (Fig. I.2). La dureté Brinell HB est un nombre proportionnel au rapport F/S , où S est la surface en millimètre carrés de l'empreinte [5].

I.2.4 Principe

On interpose entre la bille et la charge un bloc de dureté connue (le bloc étalon). La comparaison entre l'empreinte relevée sur le bloc étalon S et l'empreinte relevée sur la pièce S' permet de déterminer la dureté de cette dernière (Fig. I.1).

$$H' = H \cdot \frac{S}{S'} \quad (I.1)$$

L'appareil portatif (Fig. II.1.b) permet des essais de dureté directement sur les pièces quelles que soient leurs dimensions [6].(24)

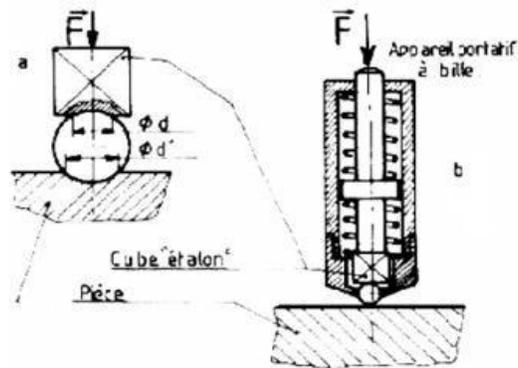


Figure 1.1 : Appareil portatif à bille [1].

I. 2.5 Pénétrateur d'essai

Le diamètre de la bille ne peut être inférieur à 1 mm. Diamètres et tolérances sont fixés par la norme : ϕ 10 - 5- 2,5 - 2 - 1.

Les billes sont en acier trempé ou en carbure de tungstène [6].

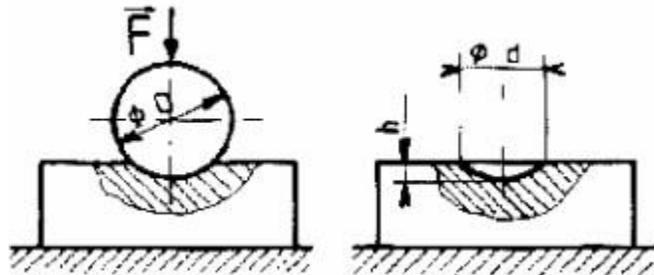


Figure 1.2: Essai Brinell [1].

I.2.6 Machine d'essai

La plus courante est schématisée (Fig. II.3). L'éprouvette à tester est placée sur le plateau P. L'opérateur amène la bille au contact grâce au volant V agissant sur la vis. Une friction entre la vis et le volant limite l'effort de façon à éviter toute pénétration de la bille due à cette manœuvre.

L'action sur le bras B, détermine la rotation de la came qui agit sur le levier L.

L'articulé sur les couteaux C, comprime les rondelles «Belleville» qui forment ressort de compression, assurant ainsi la force de pénétration [6].

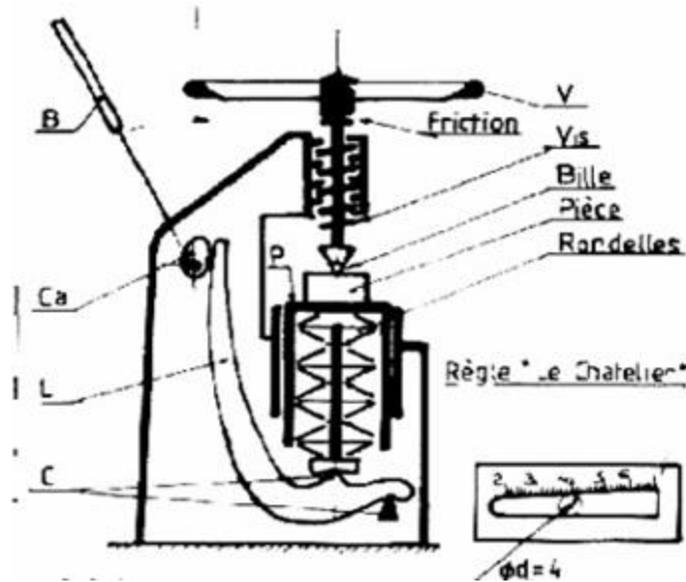


Figure 1.3: Machine d'essai de dureté [1].

I.2.7 Conduite de l'Essai

On applique la charge normalement à la surface et sans choc, en la faisant croître progressivement de manière à atteindre en 15 s la charge fixée. On la maintient pendant 10 à 30 s, on décharge et on mesure le diamètre de l'empreinte [24].

L'essai s'effectue à la température ambiante. La surface de la pièce à étudier doit être lisse et propre : éventuellement pratiquer un meulage sur une surface brute.

La pièce est mise en place et la bille amenée au contact ; en principe, la distance au centre de l'empreinte au bord de la pièce doit être supérieure à 2,5 fois le diamètre de l'empreinte.

Le bras est amené en butée, sans choc, ni vibration, de manière à atteindre la charge d'essai [6].

I.2.8 Caractéristiques de l'essai

La dureté Brinell HB est déterminée par le rapport entre la force F et la surface de l'empreinte A et se calcule sans mesure.

$$HB = \frac{0.102.F}{A} \quad (I.2)$$

F= force d'essai en newton.

A= surface de l'empreinte en mm²

$$A = \pi . D . h \quad (I.3)$$

D= diamètre de la bille.

H= profondeur de pénétration.

Le facteur 0.102 pour donner la dureté en système SI.

La calculé Durant l'essai on ne mesure pas la hauteur de pénétration h , mais on selon:

$$h = \frac{D - (D^2 - D^2)^2}{2} \quad D^3 \text{ où } \frac{2 \cdot 102 \cdot F \cdot 2}{\pi D [D - (D^2 - D^2)^{1/2}]^2} \quad (I.4)$$

Le diamètre de l'empreinte d est mesuré à l'aide de la règle le Chatelier (Fig. 1.4), qui est une plaque en verre sur laquelle sont gravées deux droites concourantes dont l'une est graduée et indique les millimètres. La règle est posée de façon que les deux droites soient tangentes à l'empreinte. Le diamètre est lu sur la division correspondante au point de tangence [4].

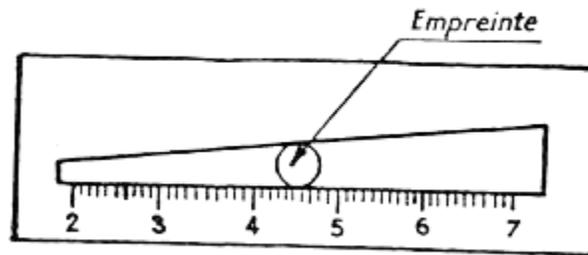


Figure 1.4: Règle de mesure de l'empreinte [4].

I.3 Essai de dureté Rockwell

L'essai Rockwell consiste à imprimer dans la couche superficielle du métal une empreinte à l'aide d'une bille ou pointe de diamant sous l'action d'une charge connue.

La détermination de la dureté Rockwell se réduit par la mesure de la profondeur de pénétration. Plus le métal sera dur, moins il y aura de pénétration et plus grand sera le chiffre de Rockwell lu sur la comparateur de mesure.

I.3.1 Pénétrateur de L'essai

La figure II.5 présente les pénétrateurs.

- Cône de diamant : essai HRC
- Bille en acier trempé : $\varnothing 3,175$ essai HRE et $\varnothing 1,5875$ essai HRB et HRE

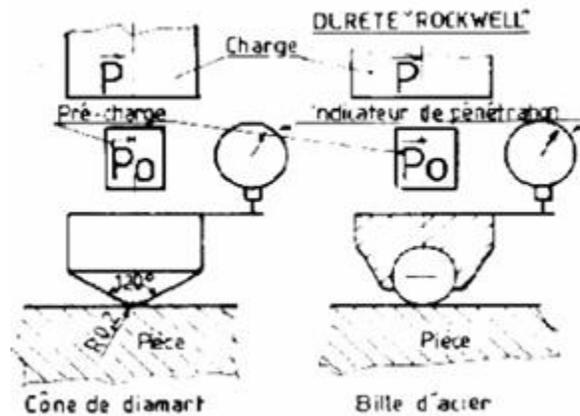


Figure 1.5: Les pénétrateurs [1].

I.3.2 Machine d'essai

Elle comporte essentiellement :

- 2 mécanismes permettant d'assurer distinctement la pré-charge P_0 et la charge P (Fig. I.5).
- Un dispositif indicateur de pénétration constitué par un comparateur [6].

I.3.3 Conduite de l'essai

Essai avec le cône (Fig. 1.6.a) essai avec la bille (Fig. 1.6.b)

- Le pénétrateur est amené au contact.
- La pré-charge P_0 est appliquée (la couche superficielle est brisée). L'indicateur de pénétration est réglé sur 100 pour l'essai avec le cône ou 130 pour l'essai avec la bille.
- La charge P est appliquée 1 400 N (cône) ; HRC ; 1 000 N (bille) : MRB ; 900 N ; HRE ; 500 N ; HRF
- La charge P est supprimée. La suppression des déformations élastiques est constatée sur l'indicateur de pénétration. Le pénétrateur remonte un peu. On lit la valeur de HR sur le cadran du comparateur [6].

I.3.4 Caractéristiques de l'essai

L'indicateur d'enfoncement est un comparateur permettant les mesures, au micromètre près, de la profondeur de pénétration e après suppression de la charge F_1 . La dureté est exprimée par la différence à 100 ou 130, les formules utilisées étant :

Echelle Rockwell avec Cône en diamant HRC = $100 - e$

Ou Echelle Rockwell avec Bille en acier $HRB = HRE = HRF = 130 - e$

La dureté est naturellement d'autant plus grande que la pénétration e est moindre.

La lecture sur le cadran se fait directement en unités Rockwell. Une unité Rockwell correspond à un enfoncement de 0,002 mm [11].

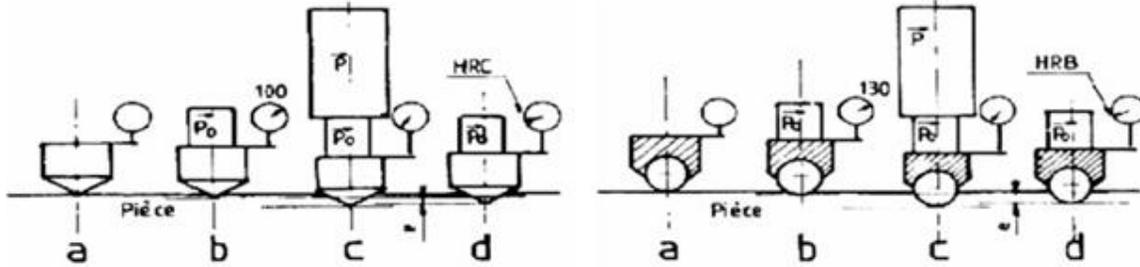


Figure 1.6.a : La cône

figure1.6.b : la bille

I.4 Essais de résilience

I.4.1 Introduction

Les essais de résilience permettent de caractériser la fragilisation d'un matériau. Ils consistent à rompre une éprouvette entaillée (l'entaille a pour but de fragiliser le matériau) éprouvette Charpy sous l'impact d'un "mouton pendule". On mesure l'énergie absorbée par la rupture, ce qui permet de remonter à la résilience du matériau (énergie absorbée ramenée à la surface (en J/cm²)). Cet essai permet également d'accéder au taux de rupture fragile (cristallinité - évalué par l'opérateur ou par analyse d'images) ou à l'expansion latérale des éprouvettes suite à la rupture [7].

I.4.2 Principe de l'essai

L'essai consiste à rompre d'un seul coup de mouton pendule, une éprouvette entaillée en son milieu et reposant sur deux appuis. On détermine l'énergie W absorbée dont on déduit la résilience.

La résilience est l'énergie exprimée en joules par cm², nécessaire pour produire la rupture de l'éprouvette.

$$\text{Résilience} = \frac{\text{énergie absorbée par la rupture } W(\text{joule})}{\text{section au droit de l'entaille } (\text{Cm}^2)} \quad (\text{I.5})$$

I.4.3 Machine d'essai

Un couteau fixé sur un marteau oscille dans plan vertical autour d'un axe O. Une partie de l'énergie emmagasinée dans la chute du pendule est utilisée pour rompre l'éprouvette.

Le centre de gravité du pendule est toujours très voisin de l'arête du couteau du pendule (figure II.8).

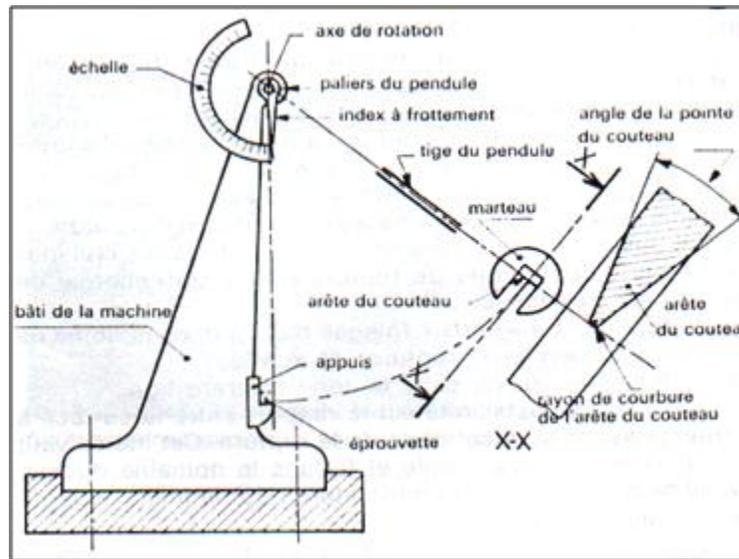


Figure 1.7 : Schéma de principe de l'essai de choc.

I.4.4 Exécution de l'essai

Le couteau est écarté de la verticale à une hauteur correspondant à une énergie départ $W_0 = 300$ Joules.

- On libère le couteau, dans sa chute, en passant à la verticale, il brise l'éprouvette.
- On mesure la hauteur à laquelle remonte le pendule pour calculer l'énergie non absorbée W_1 .
- On calcule la différence $W_0 - W_1 = W$ (énergie absorbée). (figure 1.7)

$$W = P(h_0 - h_1) \quad (I.6)$$

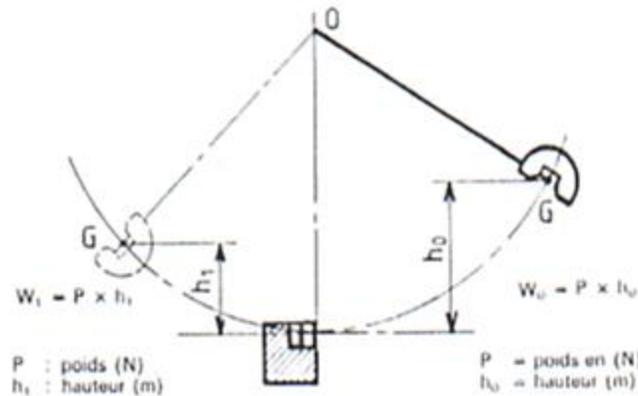


Figure 1.8 : Calcul de l'énergie dissipée dans un choc [13].

I.5 Essai de dureté Vickers

La détermination de la dureté selon vickers s'effectue de la même façon que le procédé brinell, il consiste à imprimer dans le métal testé un pénétrateur en diamant de forme géométrique pyramidal à base carrée, d'angle au sommet entre deux faces opposées de 136° . On mesure la diagonale de l'empreinte carrée laissée par le pénétrateur [4, 6].

I.5.1 Principe de L'essai

Il consiste à imprimer dans la pièce à essayer. Un pénétrateur pyramidal sous l'effet d'une charge F et à mesurer la diagonale de l'empreinte (Fig. 1.9) après suppression de la charge [6].

I.5.2 Pénétrateur de L'essai

Dans ce procédé le pénétrateur est un diamant pyramidal à base carrée dont l'angle au sommet (l'angle dièdre des deux faces opposées) vaut 136° (Fig. 1.9) [4].

I.5.3 Conduite de l'essai

- L'essai est normalement effectué à température ambiante.
- La charge est appliquée progressivement, sans choc ni vibrations, et maintenue à sa valeur finale pendant 10 à 15 secondes.
- On prépare la surface pour éviter toute altération.
- On choisira l'épaisseur de la pièce $\geq 1.5 \times d$.

Caractéristiques de l'essai

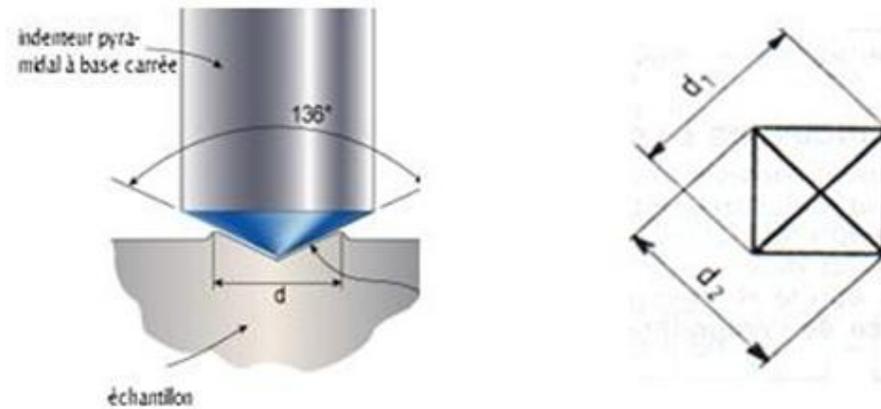


Figure 1.9 : Pénétrateur pyramidal [5].

- Angle au sommet du pénétrateur : 136° .
- F : charge d'essai en newton à \pm
- d : diagonale de l'empreinte en mm. Avec $d = (d_1 + d_2) / 2$ (Fig. II.4).
- Dureté Vickers = $HV = 0.189 \frac{F}{d^2}$

$$HV = \frac{F(N)}{e(mm^2)} \quad (I.7)$$

I.5.4 Conclusion

L'essai Brinell laisse sur les pièces une empreinte importante. De plus, il ne peut être utilisé sur des pièces très dures ou pour des épaisseurs minces. On réservera donc l'essai aux essais sur des pièces brutes et assez épaisses : (laminés, barres, etc...).

Par contre, les essais Vickers et Rockwell laissent des empreintes très très petites et peuvent être employés pour les essais sur des pièces usinées, des pièces dures cémentées, trempées (couche superficielle dure) ou pour des épaisseurs minces.[12]

I.6 L'essai de traction simple :

L'essai le plus fréquemment utilisé afin de déterminer le comportement mécanique d'un matériau est l'essai de traction. Cet essai est caractérisé par sa facilité de mise en œuvre et par la richesse des informations fournies.

On exerce une force de traction sur un barreau de dimension standardisée, jusqu'à sa rupture, en suivant un processus de mise en charge à une vitesse de déformation constante.

L'éprouvette d'essai est prélevée dans le matériau à caractériser et usinée à des dimensions normalisées, afin d'assurer une meilleure comparaison des essais effectués dans différents laboratoires. Pour chaque type de matériau, il existe un type d'éprouvette.[8]

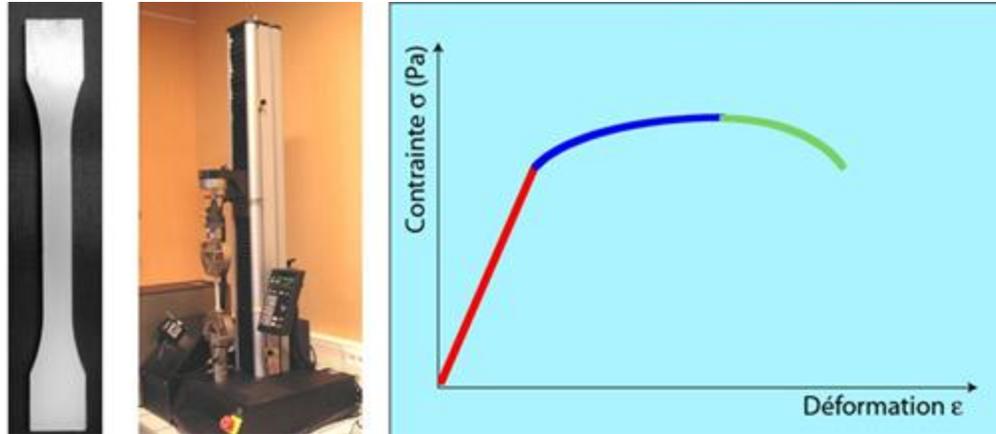


Figure 1.10: Eprouvette. Machine de traction. Courbe contrainte-déformation [8].

En enregistrant la force appliquée à l'éprouvette par la machine de traction et son allongement progressif on obtient un diagramme contrainte-déformation.

I.6.1 Diagramme contrainte-déformation en traction d'une éprouvette métal :

L'application d'une force provoque initialement une déformation élastique de l'éprouvette. Cela se traduit sur le diagramme par une droite car la déformation est proportionnelle, pour un métal, à la contrainte (loi de HOOKE).

Cette déformation élastique est réversible. Si la contrainte est annulée, l'éprouvette revient instantanément à sa forme initiale. Cette déformation élastique est suivie d'une déformation irréversible (permanente) appelée déformation plastique, qui se traduit sur le diagramme par une courbe qui se termine au moment de la rupture de l'éprouvette.[8]



Figure 1.11: Courbe contrainte-déformation. Domaine élastique et domaine plastique [8].

I.6.2 Différents paramètres sont remarquables :

Le module d'élasticité E (ou module de YOUNG) donné par la pente du domaine élastique du diagramme contrainte-déformation.

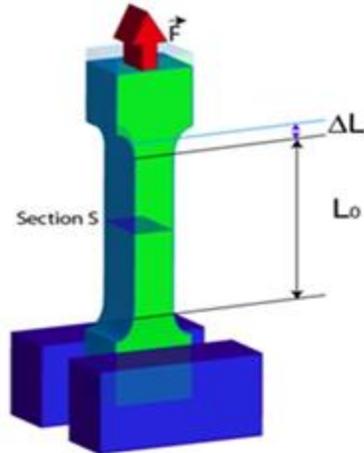


Figure 1.12: Traction simple : force et allongement [8].

I.6.3 Le module d'élasticité :

Si l'on raisonne, par simplification, sur un corps parallélépipédique supposé à une seule dimension dans un essai de traction dans un seul axe (uni-axiale, selon l'axe des x), l'éprouvette subit un allongement (figure 3).

Pour les petites déformations, il existe une relation linéaire entre la contrainte et la déformation :

$$\sigma_x = E \cdot \varepsilon_x = E \cdot \Delta L / L_0 = E(L - L_0) / L_0 \quad (I.8)$$

- E : est le module d'élasticité ou module de YOUNG

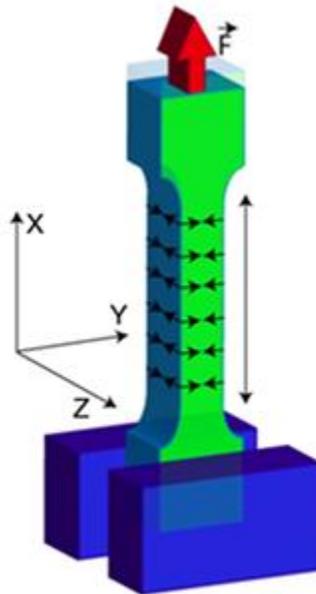


Figure 1.13: déformations dans les trois directions [8].

En réalité, l'éprouvette se déforme dans les 3 directions (figure 1.13). Dans le sens Ox il y a un allongement, dans les sens Oy et Oz il y a raccourcissement. Dans ce cas de traction simple, si les contraintes σ_y et σ_z sont nulles, les déformations ε_y et ε_z ne sont pas. Les 3 déformations sont reliées par le coefficient de POISSON.

$$\varepsilon_x = -\frac{\varepsilon_y}{\nu} = \frac{\varepsilon_z}{\nu} \quad (I.9)$$

- ν : est le coefficient de POISSON

I.6.4 La limite d'élasticité R_e :

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

I.6.5 La résistance à la traction R_m : se définit comme la contrainte maximale atteinte durant l'essai de traction.

I.6.6 L'allongement à la rupture ε_r : que l'on peut lire sur le diagramme ou sur l'éprouvette rompue.

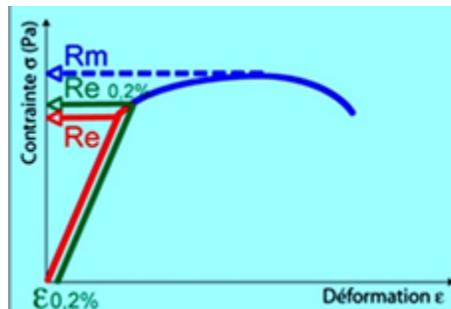


Figure 1.14: Courbe contrainte-déformation. Limite d'élasticité et résistance à la traction [8].

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

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

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

la ductilité correspond à la capacité d'un matériau à se déformer de façon permanente avant de se rompre. Plus l'allongement à la rupture est élevé, plus le matériau est considéré comme ductile. A l'opposé, lorsque la déformation permanente est très réduite ou nulle, on parle d'un matériau fragile. Un matériau fragile peut présenter une résistance très élevée (figure 1.15).

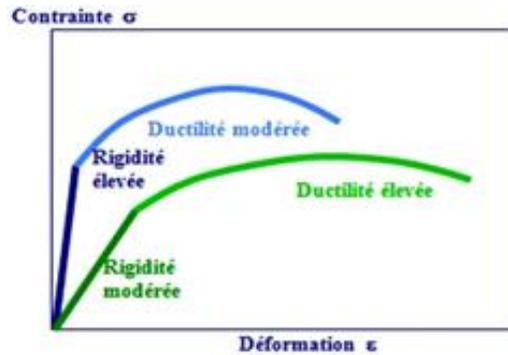


Figure 1.15: Courbe contrainte-déformation. Deux matériaux avec des rigidités et des ductilités différentes [8].

La ténacité qui représente la quantité d'énergie absorbée à la rupture par un matériau. Elle caractérise la résistance à la propagation brutale de fissures. Sa valeur est égale à l'aire de la surface sous la courbe contrainte-déformation. Cette caractéristique est importante pour les céramiques.

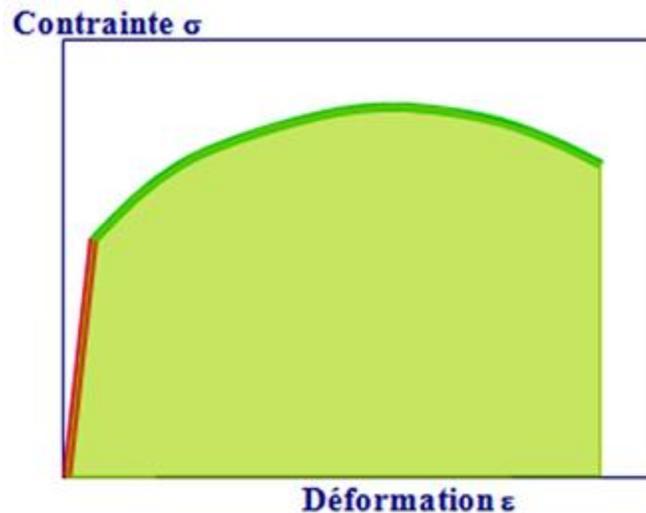


Figure 1.16: Courbe contrainte-déformation. Ténacité = surface sous la courbe

I.7 Essais de fatigue

I.7.1 Généralité

Lorsque l'on soumet un matériau à des cycles répétés, il subit des modifications de microstructure regroupées sous le terme général d'endommagement par fatigue, ou plus simplement de fatigue.

Cet endommagement ne se signale par aucune modification macroscopiquement décelable, et la rupture peut intervenir à des niveaux de contraintes peu élevés, souvent inférieur à la limite élastique, mais dont la répétition constitue le danger. La capacité de résistance à la fatigue d'un matériau s'appelle endurance [9].

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) et torsion, et des modes combinés, statiques et dynamiques (torsion / flexion, tension / torsion, etc.) [10].

I.7.2 Eprouvettes et essai

Les éprouvettes peuvent être de géométries variées, en fonction de ce que l'on cherche à caractériser. Classiquement, elles peuvent être à section circulaire ou parallélépipédique, et d'épaisseur constante ou variable. Les plus générales sont les éprouvettes toroïdales, à section circulaire variable, comme celle présentée sur la figure II.13. Enfin, les éprouvettes peuvent être lisses ou entaillées. L'état de surface doit être particulièrement soigné et répétitif, et l'usinage ne doit pas introduire de contraintes résiduelles importantes. Comme on peut le voir, la surface de l'éprouvette est parfaitement polie pour retarder au maximum la rupture par fatigue.

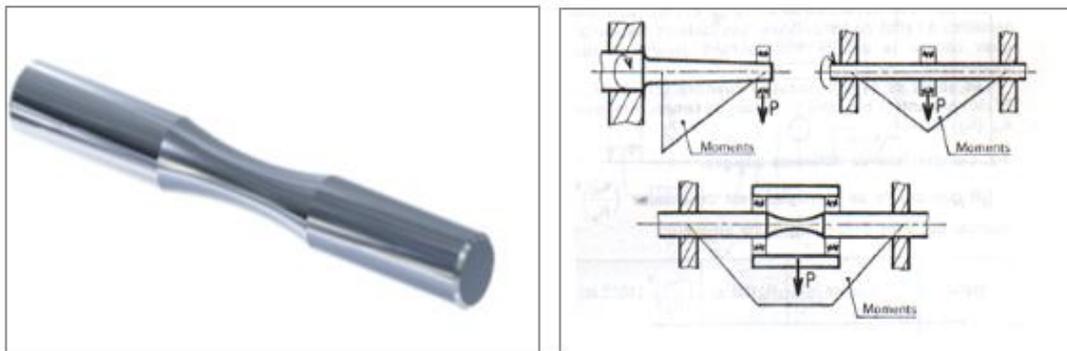


Figure 1.7 : Eprouvette de fatigue [10].

I.7.3 Modes de sollicitations

Il est possible d'effectuer différents types de sollicitations cycliques, par exemple en alternant uniquement de la traction, ou uniquement de la compression, ou bien encore en faisant intervenir de la traction et de la compression, comme le présente la figure 1.18. En outre, comme cela a déjà été signalé, ces modes de sollicitations peuvent être combinés avec de la torsion ou de la flexion.

I.7.4 Différents types de sollicitations appliquées en fatigue :

- **I** Contrainte ondulée de compression.
- **II** Contrainte répétée de compression.
- **III** Contrainte alternée dissymétrique.
- **IV** Contrainte purement alternée.
- **V** Contrainte alternée dissymétrique.
- **VI** Contrainte répétée de traction.
- **VII** Contrainte ondulée de traction.

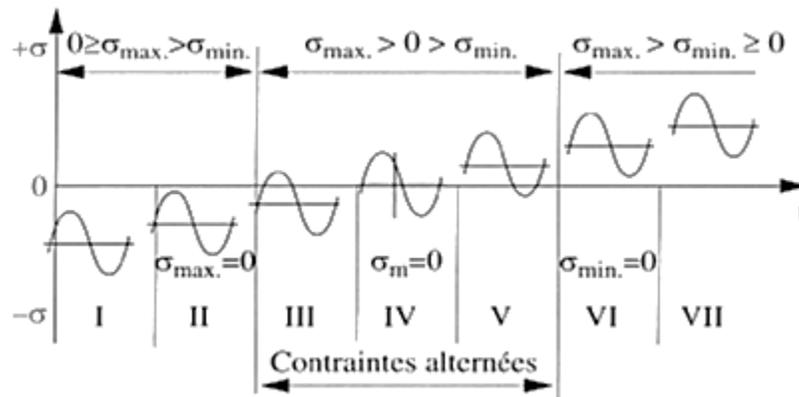


Figure 1.18 : Sollicitations cycliques. [14].

I.7.5 Courbe de Wöhler

Les essais de fatigue permettent de déterminer le nombre de cycles à rupture pour une sollicitation donnée. Ces résultats sont présentés sous la forme d'une courbe semi-logarithmique dite de Wöhler (ou courbe SN, pour Stress et Number of cycles to failure, en anglais). Une courbe type est présentée (figure 1.18) On y distingue les zones de :

- Zone de fatigue oligocyclique : sous une forte contrainte, la rupture intervient après un très petit nombre de cycles et succède à une forte déformation plastique.

- Zone d'endurance limitée ou de fatigue : la rupture est atteinte après un nombre limité de cycles, nombre qui croît lorsque la contrainte diminue.
- Zone d'endurance illimitée ou de sécurité : sous faible contrainte, la rupture intervient après un nombre très grand de cycles, d'une durée supérieure à la durée de vie de la pièce (figure 1.19)

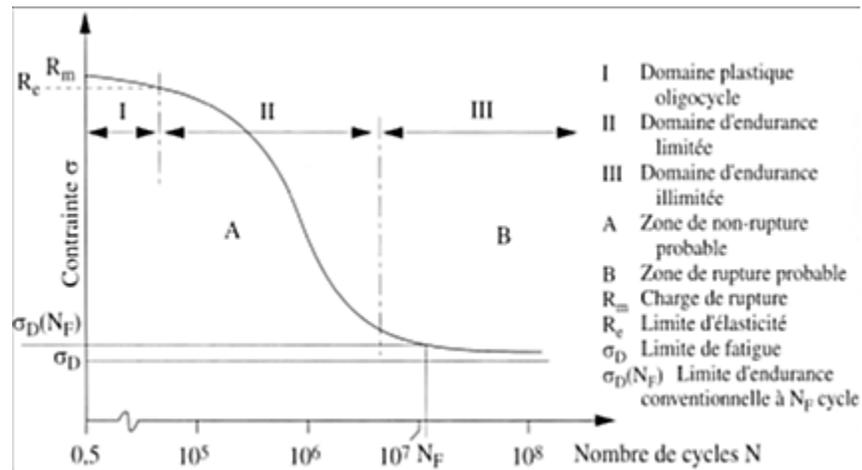
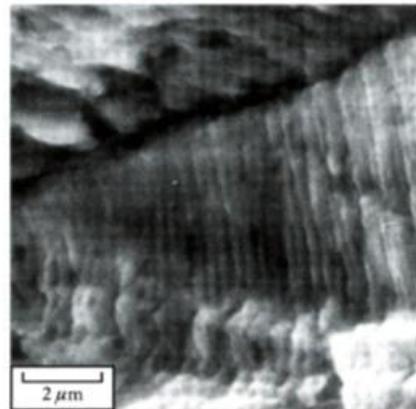


Figure 1.19 : Courbe de Wöhler [14].



(a)



(b)

Figure 1.20 : (a) Formation de stries de fatigue dans de l'aluminium, (b) dans de laiton [15].

I.7.6 Diagramme d'endurance

Pour une durée de vie donnée, on peut considérer trois types de diagrammes :

- σ_{max} et σ_{min} en fonction de la contrainte moyenne σ_m : diagramme de Goodman-Smith ;
- σ_{max} en fonction de σ_{min} : diagramme de Ros ;
- σ_{max} en fonction de R_σ diagramme de Moore.

La limite d'endurance pour une pièce en service dépend de la contrainte moyenne. Dans la pratique, on détermine en général σ_D pour $R_\sigma = -1$ ($\sigma_m = 0$) et on adopte diverses courbes limites quand $R_\sigma \neq 0$, donc la courbe de Goodman sera :

$$\sigma_a = \sigma_D \left(1 - \frac{\sigma_m}{R_m} \right) \quad (\text{II.8})$$

Fixant la contrainte alternée σ_a pour chaque σ_m . Ce diagramme ne représente que le cas de contraintes moyennes de traction, il peut être étendu à des contraintes moyennes de compression [1].

Chapitre II

Notions sur le fluage

II Essai de fluage

II.1 Généralités sur le fluage

Les matériaux en service sont fréquemment exposés à des températures élevées et soumis à des contraintes mécaniques statiques (exemples : les rotors d'une turbine dans un moteur à réaction ou générateur de vapeur qui subissent des contraintes centrifuges ou encore les conduites de vapeur sous haute pression une déformation apparaissant dans de tels cas porte le nom de fluage.

En termes plus précis, le fluage désigne la déformation permanente et variable dans le temps que présentent les matériaux sur les quels s'exerce une charge ou une contrainte constante. Généralement indésirable, il constitue souvent le principal facteur limitant la durée de vie d'une pièce. Il s'observe dans tous les types de matériau et, dans le cas des métaux, ne revêt une importance notable que lorsque la température excède $0.3T_f$ (T_f représente la température de fusion absolue). [16]

II.2 Définition

Le fluage est la déformation isotherme sous contrainte constante en fonction du temps.

Le fluage d'un matériau se produit à haute température et correspond à un régime de déformation lente, sous charge constante, la contrainte étant potentiellement inférieure à la limite d'élasticité. Ces essais intéressent donc les domaines où les matériaux sont soumis à des températures élevées, tels que l'aéronautique ou le nucléaire. [16]

Les essais de fluage nécessitent l'usage d'une machine de mise en charge, d'un four et d'un extensomètre. Dans le cas des métaux, les essais de fluage sont le plus souvent effectués en traction, quoique des essais de compression sont 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) [10].

Les courbes de fluage représentent la variation de l'allongement en fonction du temps. Leur aspect général est schématisé sur la (Fig.2.1). Le 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 relative au fluage restauration ($T > 0,3 T_f$) très largement gouverné par des processus de diffusion. La courbe n° 3 correspond au fluage visqueux (ou fluage Nabarro), observé au voisinage de la température de fusion pour des contraintes faibles [17].

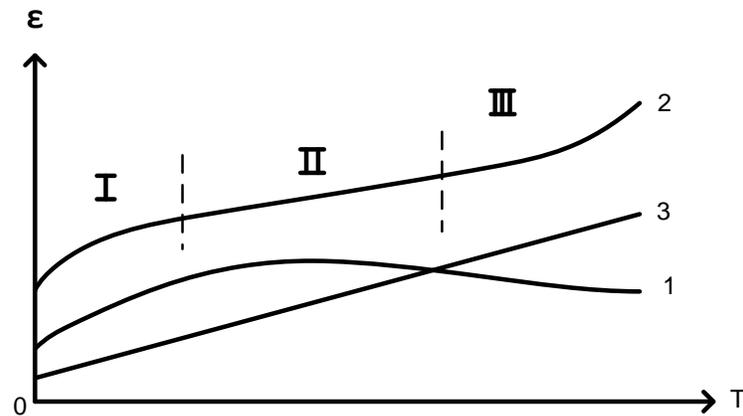


Figure 2.1 : Courbes de fluage [17] 1 : Fluage logarithmique

2 : Fluage restauration

3 : Fluage visqueux

Le courbe n° 2 représente le cas le plus général. Elle se compose de trois stades (Fig. 2.2.a):

II.3 Diagramme typique de fluage (fluage restauration)

Typiquement, le fluage des matériaux présente trois phases : le fluage primaire, pendant lequel la vitesse de déformation décroît continûment, le fluage secondaire, à vitesse de déformation minimum, et enfin le fluage tertiaire pendant lequel la vitesse de déformation augmente jusqu'à la rupture de l'échantillon. La (Fig. 2.2.a) présente une courbe type d'essai de fluage [34].

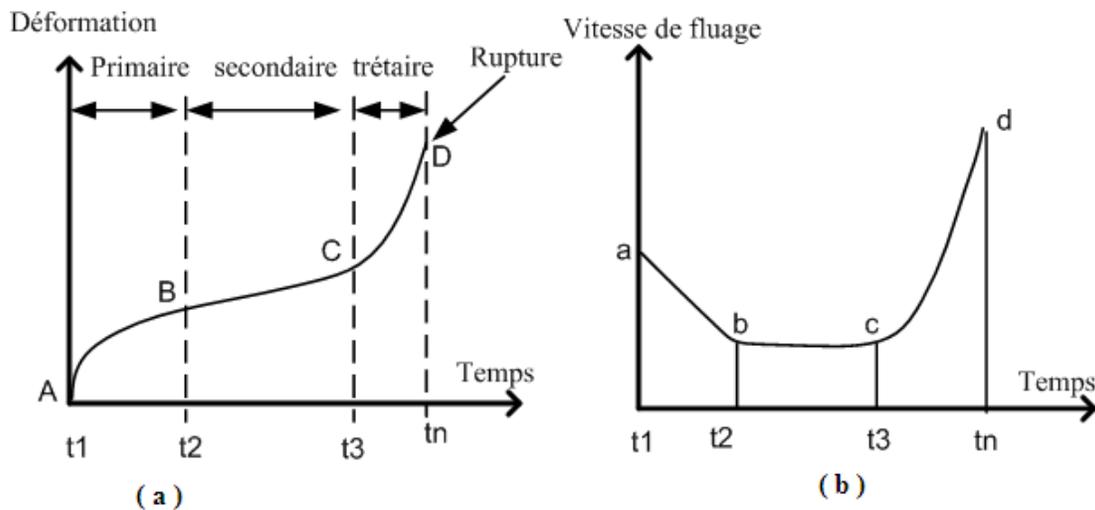


Figure 2.2: (a) Allure générale d'une courbe de fluage, Evolution de la déformation et

(b) la vitesse de déformation en fonction du temps [18].

II.4 Différents stade de fluage restauration

On distingue généralement trois stades d'évolution de la déformation (Fig.2.2.a):

II.4.1 *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.

II.4.2 *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.

II.4.3 *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 [19].

II.5 Les différents mécanismes de fluage

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. Nous exposerons ici les mécanismes prédominants par ordre croissant de température, ce qui correspond à un ordre décroissant de la contrainte [20, 21].

La *figure 2.3* présente schématiquement les différents modes de déformation en fonction de la température.

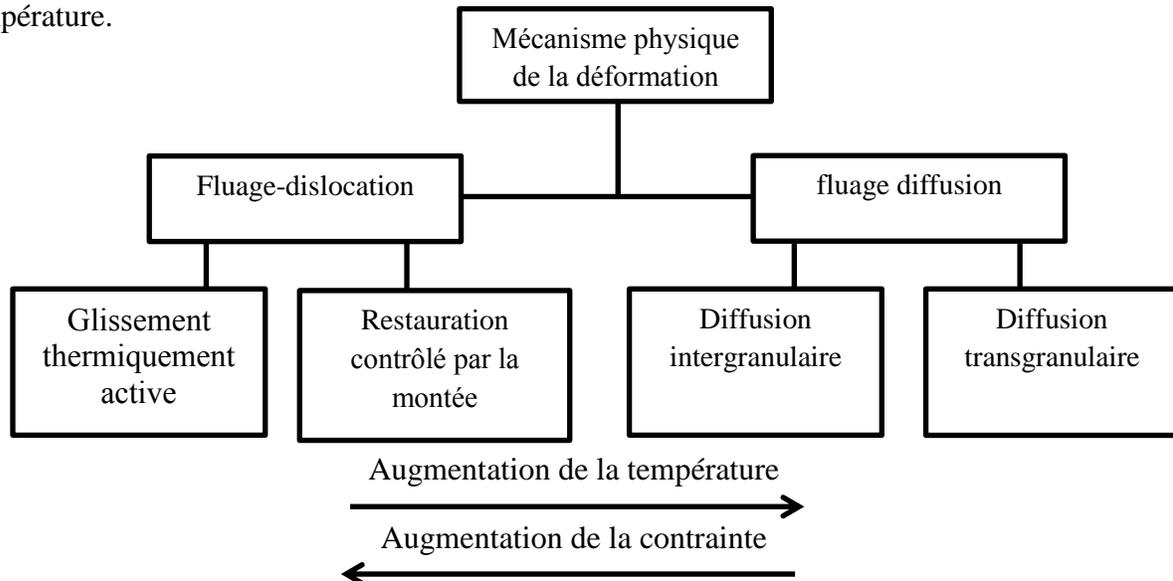


Figure 2.3 : Représentation schématique des modes de déformation en fonction de la température [22].

II.6 Influence de la contrainte et de la température

En général une augmentation de température entraîne une agitation thermique plus élevée des atomes et augmentation de la valeur des coefficients de diffusion de ces atomes, phénomènes fondamentaux qui provoquent une augmentation de la vitesse de déformation du matériau. C'est pourquoi, pour analyser l'influence de la température, nous devons en outre faire intervenir le temps comme paramètre supplémentaire.

Nous pouvons résumer brièvement les effets de la contrainte et de la température, dans le domaine plastique, sur un matériau cristallin ductile.

- a) La contrainte met les dislocations en mouvement, grâce aux cisssions qui s'exercent sur les plans de glissement. Lorsque les dislocations se multiplient et agissent les unes sur les autres, leurs déplacements se trouvent de plus en plus limités, jusqu'à la cessation de la déformation plastique : c'est le phénomène de consolidation.
- b) La température, par contre, a pour effet d'augmenter la mobilité des dislocations, à cause de l'agitation thermique, et réduire la contrainte de friction du réseau, puisque les cisssions nécessaires pour déplacer les dislocations sont plus faibles. Elle favorise en outre les mécanismes de restauration, par l'annihilation de dislocations de signe opposés. En d'autre terme la température entraîne un adoucissement.

Les effets combinés de la contrainte et de la température ont pour conséquence l'établissement d'un équilibre dynamique entre la consolidation et l'adoucissement. Selon les valeurs respectives de la contrainte et de la température, le matériau adopte soit un comportement viscoélastique, soit un comportement viscoplastique, lequel peut entraîner la rupture du matériau si la contrainte est maintenue suffisamment longtemps[23].

En faisant varier soit la température d'essai, soit le niveau de contrainte. Les résultats ainsi obtenus sont représentés graphiquement à la *figure 2.4*, qui donne la variation de la déformation en fonction du temps. Pour certaine combinaisons «température- contrainte », les courbes de fluage $\varepsilon=f(t)$ présentent clairement trois stades (I, II, III) [23].

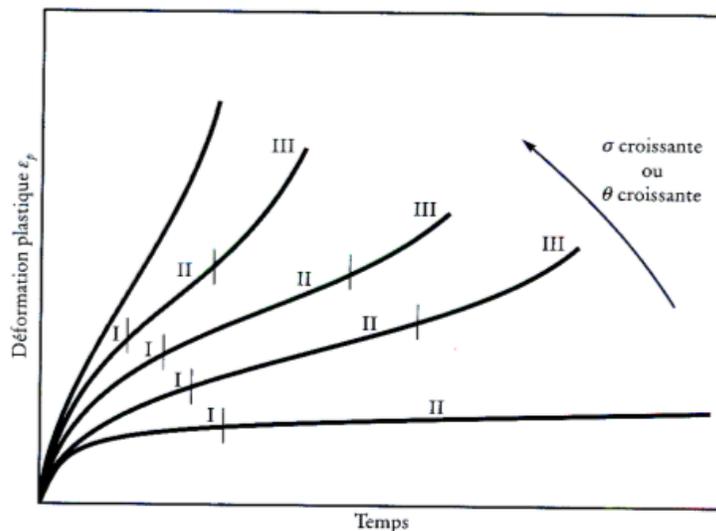


Figure 2.4 : Courbes de fluage, pour des températures ou des contraintes croissantes [24].

II.7 Relation entre la vitesse de déformation et la contrainte

Sous chaque contrainte appliquée constante σ , on pourra mesurer à chaque température T , la vitesse de déformation en régime quasi permanent.

On obtient $\dot{\epsilon}' = f(\sigma)$ à $T = \text{cte}$ et les résultats peuvent avantageusement être reportés sous la forme d'un diagramme $\text{Log}\dot{\epsilon}'$, $\text{Log}\sigma$. A chaque température correspond une courbe.

D'après la relation $\dot{\epsilon}' = B\sigma^n$, de chaque point point de la courbe la pente est : $n = \left(\frac{\partial \text{Log}\dot{\epsilon}'}{\partial \text{Log}\sigma}\right)$ que nous appelons sensibilité à la contrainte (*figure 2.5*)

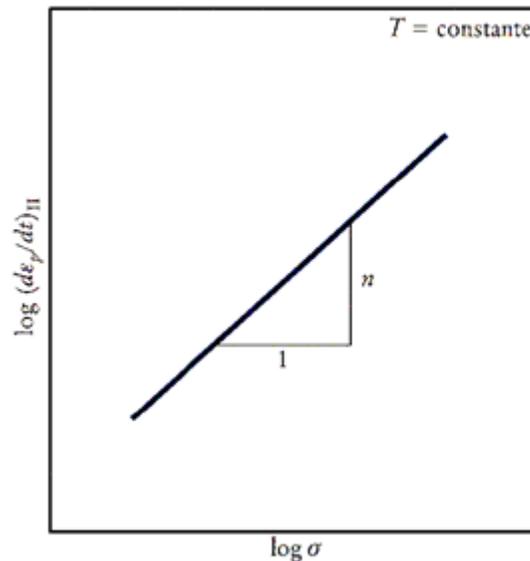


Figure 2.5 : Influence de la contrainte sur la vitesse de fluage [24].

Pour la majorité des solides, la valeur de n se situe entre 3 et 5 et de nombreux modèles rendent compte de cette valeur. Pour les très faibles valeurs de la contrainte et les très hautes températures il arrive qu'on obtienne une valeur de n très voisine de l'unité c'est-à-dire que $\dot{\epsilon}' \propto \sigma$ et le fluage est alors visqueux Newtonien. Ce type de fluage dit fluage Nabarro-Herring est bien étudié théoriquement. Enfin pour certains alliages, à phases dispersées on trouve souvent des valeurs de n atteignent ou même dépassent considérablement 8 ou 10, qui sont encore mal expliquées. Stocker et Ashby (1956) ont récemment remarqué qu'il existe une accumulation autour de $n = 3$ si on considère les résultats obtenus sur cinquante de solides [20].

II.8 Conclusion

1. La résistance au fluage en traction est généralement augmentée par une pré-déformation plastique, qui a été exprimée par une diminution significative de la vitesse de fluage. Cependant, l'effet de la déformation, sur les deux matériaux examinés, n'est pas proportionnel à l'augmentation de la pré-déformation.

2. Les résultats démontrent que le processus de rupture par fluage peut être modifié par un travail à froid préalable. Dans le cas du cuivre testé, sa durée de vie lors du fluage dépend de la température, soit qu'elle peut être augmentée ou bien diminuée vers des valeurs très basses.
3. La valeur de la déformation par fluage pour les deux températures considérées a été nettement réduite, à cause de faibles valeurs de la pré-déformation.

L'allongement des éprouvettes testées diminue proportionnellement avec l'augmentation de la pré-déformation [25].

**Chapitre
III**

*Description et conception le
banc d'essai de fluage*

III Description de la machine de fluage

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.[..]

Notre 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 et d'un four électrique et thermorégulateur (fig. 3.1).

La machine de fluage que nous avons réalisé est d'une capacité de 268.51 N à levier à force constante. La force est imposée par un ensemble de masses calibrées via un levier qui permet d'appliquer une multiplication de l'effort d'un facteur 10.83.

L'allongement de l'éprouvette est mesuré par un système d'acquisition lié à un ordinateur.[12]

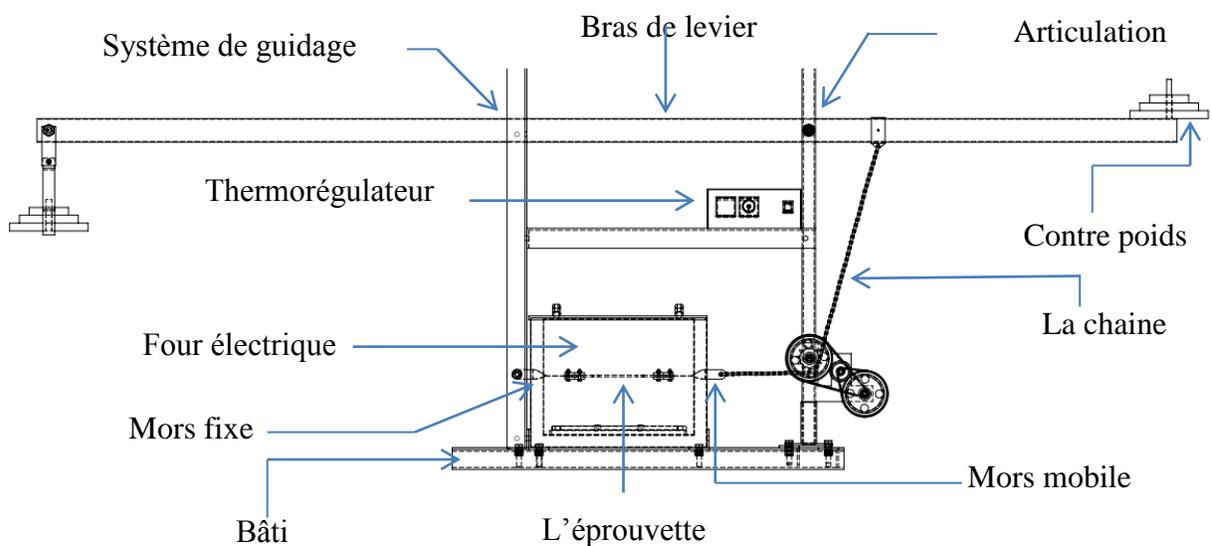


Figure 3.1 : Schéma d'une machine de fluage



Figure 3.2: Modalisation le banc d'essai

III.1 Conception de la machine

III.1.1 Bâti

Le bâti se compose de deux parties, à savoir la base et le support (Fig. III.2).

III.1.1.1 La base : La base de la machine de fluage qui est composé de cinq pièces essentielle en acier et qui seront présentées successivement.

III.1.1.2 Les pièces (1 et 2) : Composent le levier. Il a une longueur de 1000 mm et une section carrée de distance 50×50 mm et une épaisseur de 5 mm. Les deux pièces fabriquées en acier, et forment la base de l'appareil.

III.1.1.3 Les Pièces (3 et 4) : des cornières en acier, de longueur 360 mm et de section $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ et une épaisseur de 5 mm. Les pièces 3 et 4, sont montées sur les pièces 1 et 2.

III.1.1.4 La pièce (5) : est une cornière en acier, de longueur 360 mm et de section $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$, La pièce 5 est montée sur les pièces 1 et 2.

III.1.2 Le support

Le support de l'appareil de fluage est composé de six pièces essentielles en acier (Fig. III.2).

III.2.1 Les pièces 1et 2 : de longueur 1100 mm et de section carré 50×50 mm fixées verticalement sur la base, La fonction des pièces 1 et 2 est de porter le bras de levier.

III.2.2 Les pièces 3 et 4 : fabriquées en cornières de longueur 1100 mm et de section carrée 50×50 mm fixées verticalement sur la pièce 5. Les pièces 3 et 4 ont deux rôles :

- Porteur du bras de lever, en mouvement et au repos.
- Guidage du bras de lever en mouvement.

III.2.3 Les pièces 5 et 6 : aussi fabriquées de deux cornières de longueur 805 mm et de section carré de distance 30×30 mm et fixé horizontalement sur et entre 1,2 et 3,4 fonction de les pièces 5 et 6 rigidité de l'appareil et portage du thermocouple.

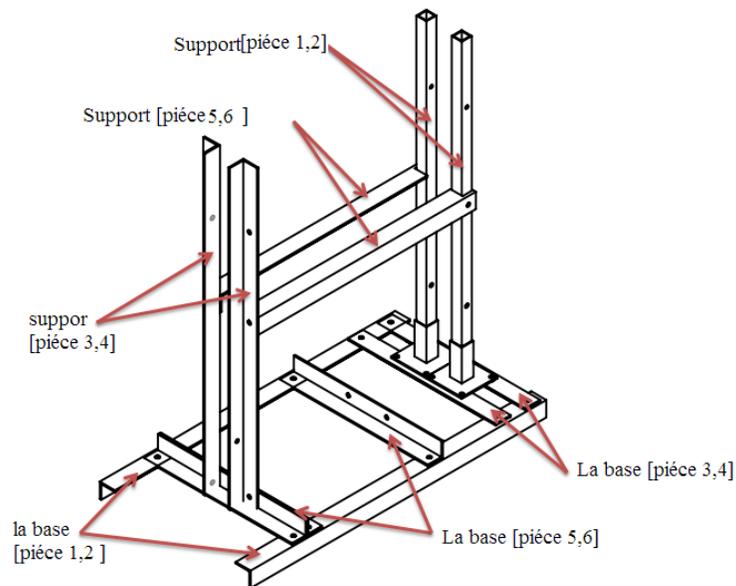


Figure 3.3 : Dessin d'ensemble du bâti

III.2 Les vis d'assemblage :

Pour attacher et fixer tous les composants du bâti entre eux, on a choisi une vis-écrou et rondelles de type M12 (vis tête hexagonal « H » partiellement filetées tige réduite)

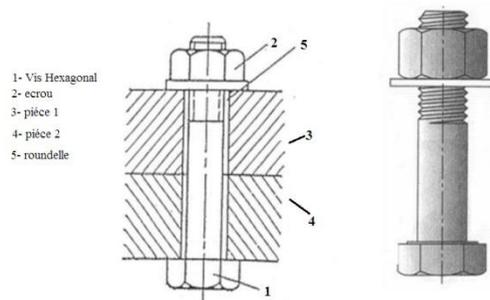


Figure 3.4 : Bras de levier

C'est un élément important dans le dispositif, fabriqué en acier, de longueur 2200 mm et de section rectangulaire de 60x30 mm. L'intérêt du bras de levier (Fig. III.3) est de multiplier l'effort (force) appliqué sur l'éprouvette pendant l'essai de fluage.

Il se dispose deux roulements pour éviter le frottement

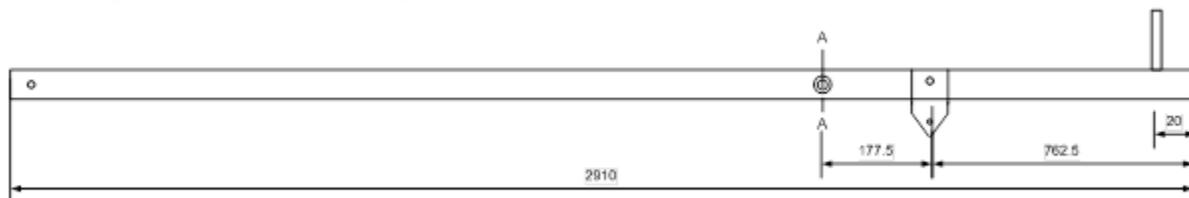


Figure 3.5: dessin de définition de bras a levier

III.3 Articulation

C'est un ensemble de pièces en acier assure le guidage en rotation du bras de levier par deux roulements BC et est fixé au bras de levier par soudure (figure III.7).

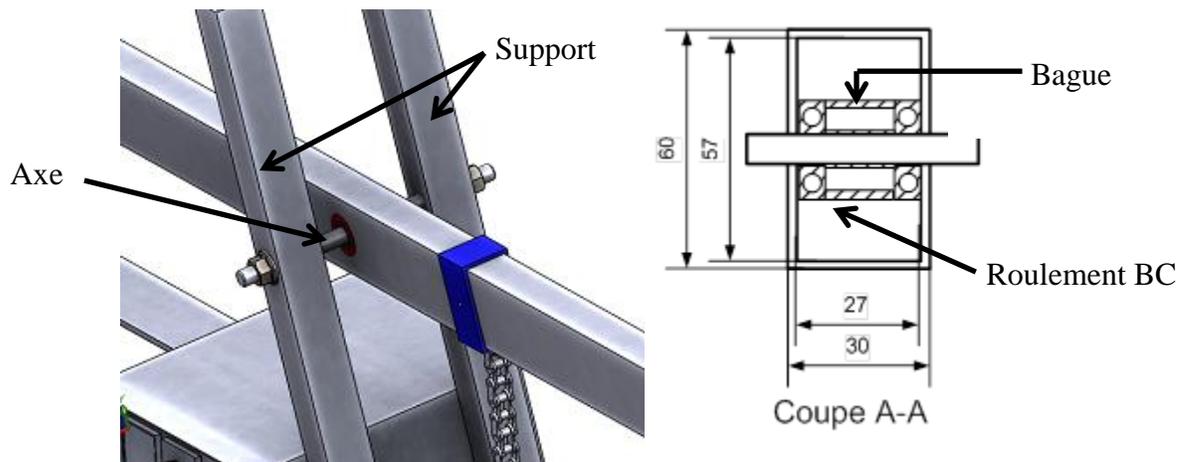


Figure 1.6: dessin de définition de bras a levier

III.4 Proposition une modèle des Mors mobile et mors fixe

Le deux mors représentant les éléments les plus importants dans le dispositif (Fig. III.4), la fonction des mors est la fixation de l'éprouvette, Ils sont composés de deux pièces (une tige et un anneau).

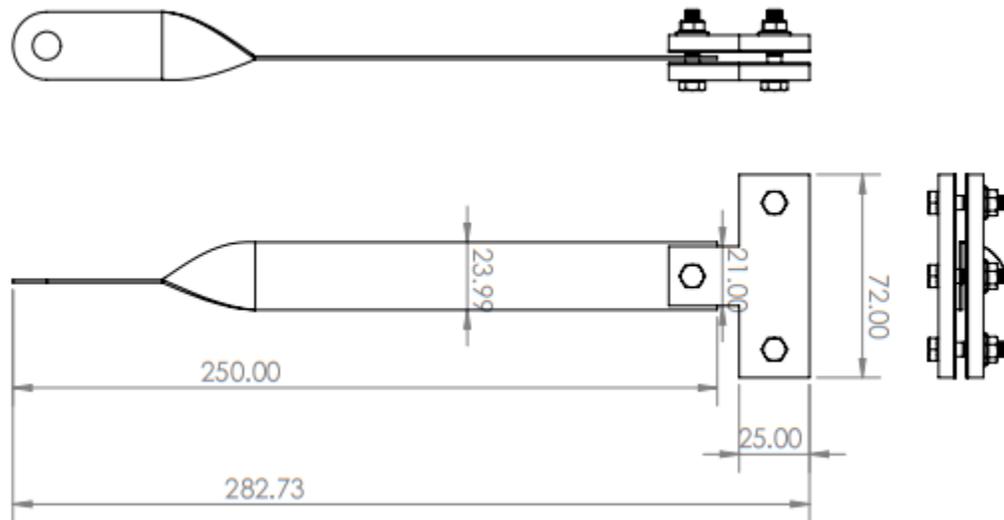


Figure 3.7: Dessin de définition de mors mobile

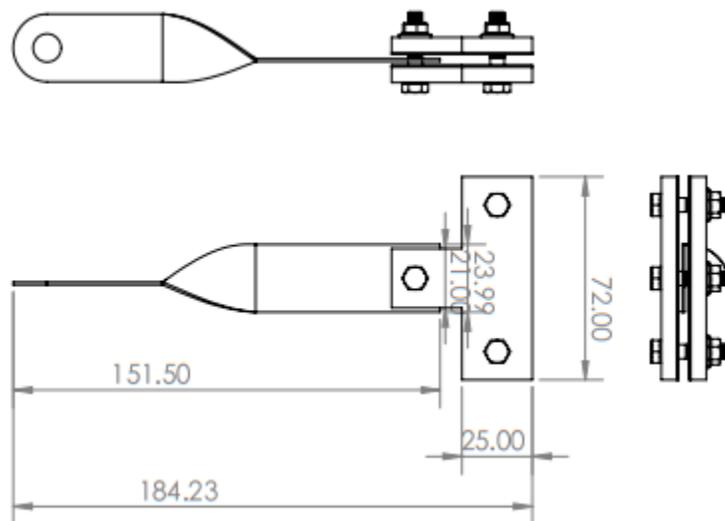


Figure 3.8: Figure 2: Dessin de définition de mors fixe

III.5 Description les anneaux des mors mobile et fixe :

On réaliser deux modelé de mors de mémé dimension et déférent martiaux :

III.5.1 1^{er} Modèle : Il se devisé a deux partie :

III.5.1.1 Première Partie : de matière bakélite d'épaisseur 6mm, nous avons choisi le bakélite parce qu'il a de bonnes propriétés mécaniques, résiste à la température élevées, le poids léger n'affecte pas l'échantillon

III.5.1 Deuxième partie : Couvrir la face correspondant l'échantillon en papier verre N° 80 pour augmenter la rugosité et éviter le glissement d'échantillon dans l'essai de fluage en traction

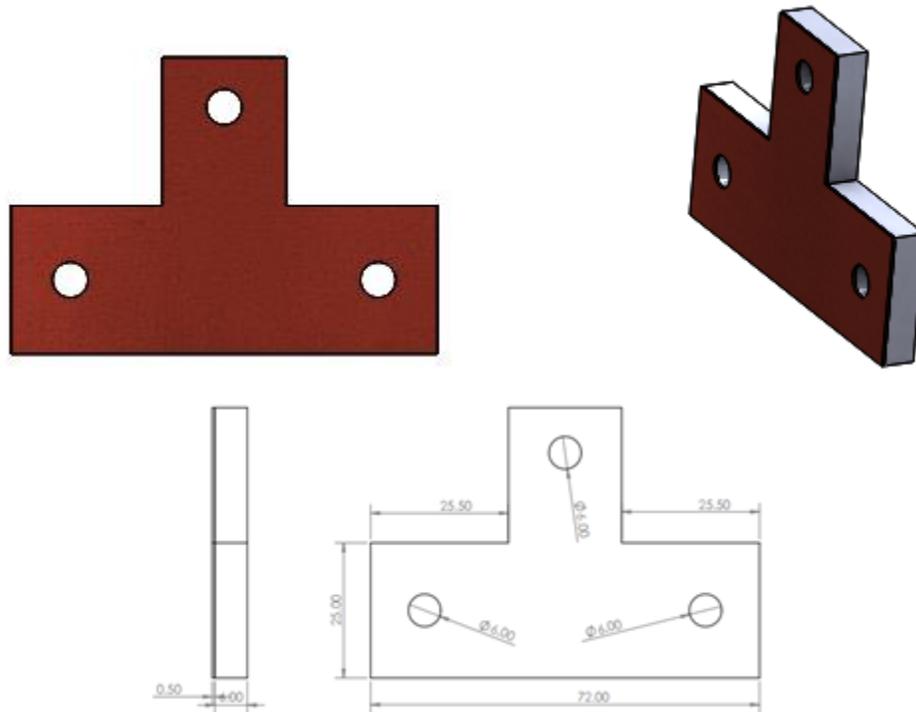


Figure 3.9: dessin de définition des anneaux en bakélite

III.5.2 2^{eme} Modèle : fabriquer en acier ordinaire, et on a fait un moletage pour une bien fixation d'éprouvette :

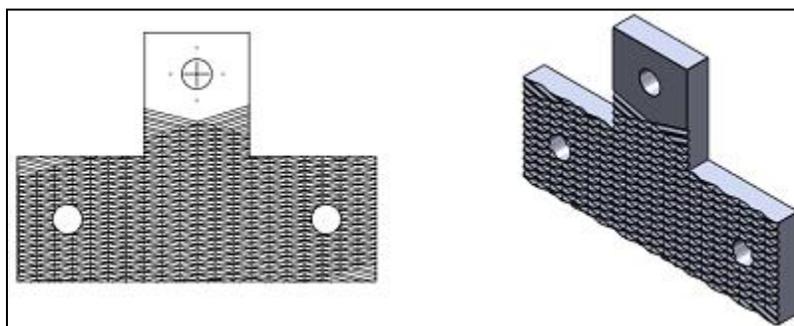


Figure 3.10: dessin de définition des anneaux en acier ordinaire

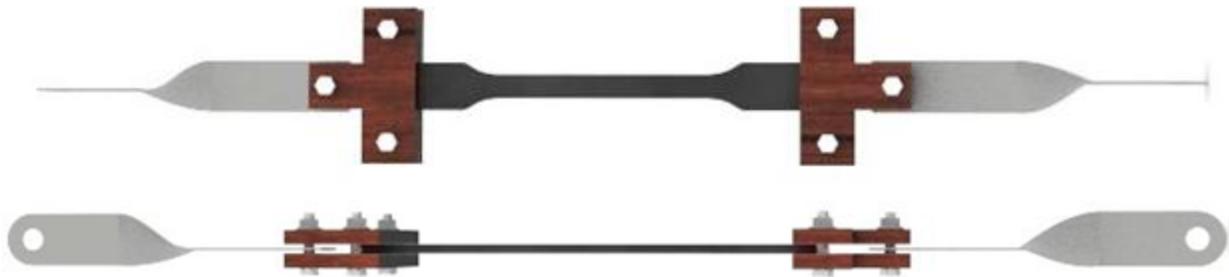


Figure 3.11: dessin d'ensemble (anneau+ mors + échantillon)

III.5.3 Notion sur le bakélite

Le Bakélite est la marque de fabrique d'un matériau de la classe des phénoplastes dont la nomenclature chimique officielle est anhydride de polyoxybenzylméthylène glycol. Ce fut le premier plastique fait de polymères synthétiques du benzène sous solvants. Elle fut développée entre 1907 et 1909 par le chimiste belge Leo Baekeland.

La Bakélite a été utilisée dans la première moitié du XXe siècle pour ses propriétés isolantes et thermorésistantes pour fabriquer les boîtiers et comme isolant électrique.

Aujourd'hui certains collectionnent les objets en Bakélite, du fait du caractère « rétro » de cette matière. [26]

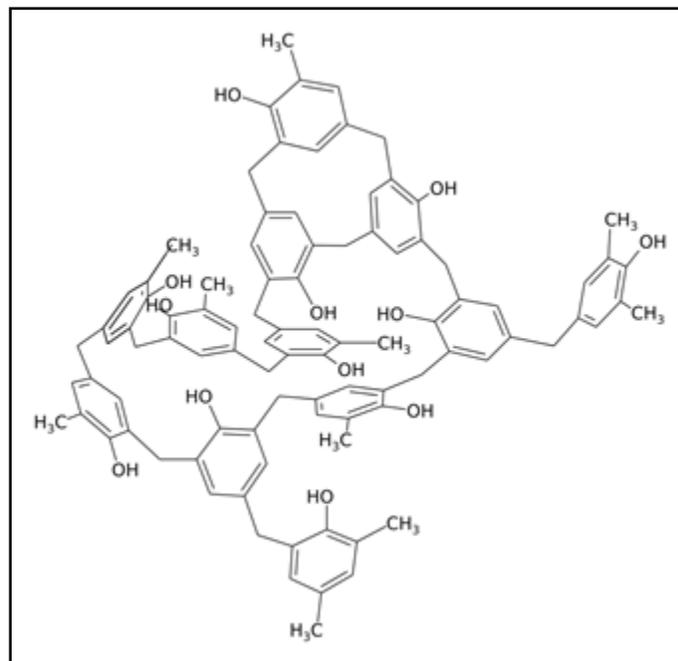


Figure 3.12: Structure de la Bakélite.

III.5.4 Caractéristiques principales

La TOILE BAKELISEE présente une résistance mécanique élevée: dure, rigide, dimensionnelle, bonne tenue à l'impact, à la flexion, à l'arrachement et à la compression.

- Faible poids spécifique.
- Forte résistance à l'usure (faible coefficient de frottement)
- Amortissement des vibrations (matériaux silencieux)
- Bonne résistance aux hydrocarbures, solvants et eau
- Bonne tenue en température: 120° C en continu
- Très faible reprise d'humidité
- Usinage facile
- Bonne poinçonnabilité
- Isolant électrique basse tension
- Bonne stabilité [26]

III.5.5 Applications de Bakélite

Principalement en mécanique: pignons d'engrenages silencieux, pièces de fatigue, coussinets de paliers, poulies, cames, disques de friction, glissières, segments de pompes, racles, garnitures de navettes, etc. ... En électrotechnique basse tension et en électronique, ce matériau peut être utilisé lorsqu'il existe de fortes sollicitations mécaniques ou un environnement humide.

III.5.6 Propriétés physique et mécanique de bakélite

PROPRIÉTÉS	Unités	VALEURS
Propriétés physiques		
Type suivant DIN 7735		Hgw 2082.5
Type suivant NEMA		CE
Couleur standard		Jaune foncé
Composition résine		Phénolique
Matière de remplissage		Coton (115 gr)
Densité brute	g/cm ³	1,27
Absorption d'eau	%	2
Propriétés mécaniques		
Résistance à la flexion	MPa	115
Résistance à la traction	MPa	100
Résistance à la compression	MPa	150
Module d'élasticité	MPa	7000
Propriétés électriques		
Rigidité diélectrique transversale	KV/mm	5
Tension de perforation longitudinale	KV	-
Résistance totale d'isolement	Ω	-
Résistance à l'arc	s	-

Tableau 3.1 : représentation les propriétés physique et mécanique de bakélite [27]

III.6 Four électrique :

Pour mettre en évidence le phénomène de fluage il faut que la température dépasse $0.3T_f$

à cet effet nous avons équipé notre appareil d'un four électrique qui se compose de :

- Une résistance électrique de puissance 2500 W.
- Afficheur digital pour obtenir une température plus précise
- Thermostat pour contrôler la température effectuée avec une gamme jusqu'à

1000°C, un thermocouple placé plus proche de l'échantillon. L'erreur de la stabilité thermique du four est environ $\pm 3^\circ\text{C}$ (Fig. 3.13. (1.2.3)).

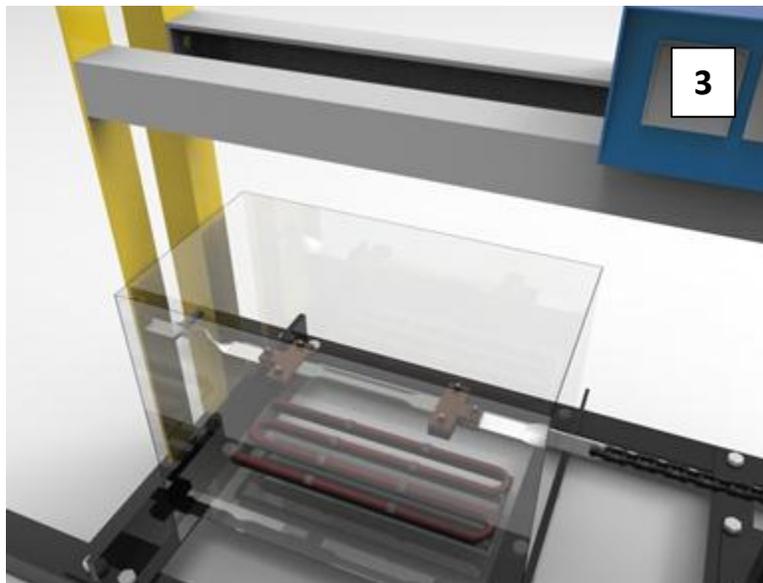
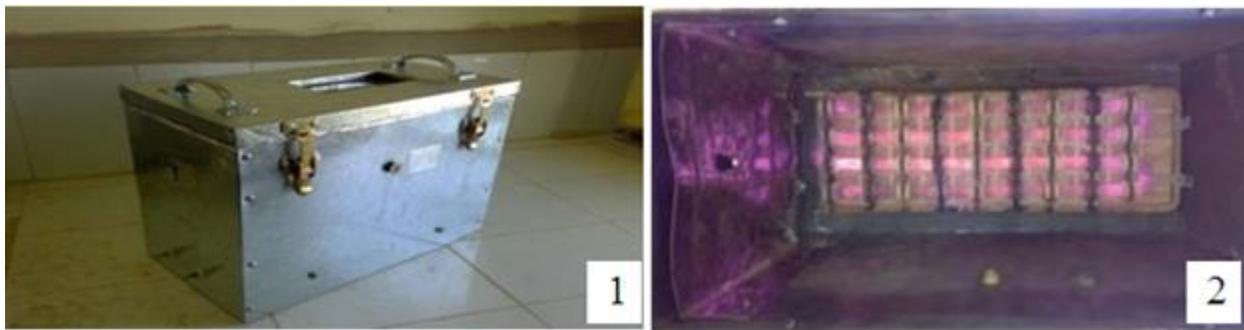


Figure 3.13: modélisation le four et son composants (mors + éprouvette +source de chaleur)

III.7 Le thermocouple

Le thermocouple est comme une sorte de capteur de température utilisé en un point spécifique pour mesurer la température sous la forme de la force électromotrice "FEM" ou d'un courant électrique, ce capteur comprend deux fils métallique dissemble qui sont connectés ensemble à une Junction, la température peut être mesurée à cette Junction le changement de température du fils métallique stimule les tensions.



Figure 3.14: Four électrique (3: le thermorégulateur).

III.7.1 Le principe de fonctionnement du schéma :

Au départ, vous devez courir du « Switch » pour l'alimentation 220 V vers le « thermocouple » pour alimenter la bobine d'excitation, le thermocouple la changement de la température par le capteur commander la fermeture et l'ouverture de (8.7.6) et d'abord exciter la bobine pour fermer « K » et tant que la fermeture de « k » la bobine de contacteur « KM » a été excitée pour fermer «(L1 .L2.) à « k » à borne (T1.T2) pour alimenter la charge « nuisance »

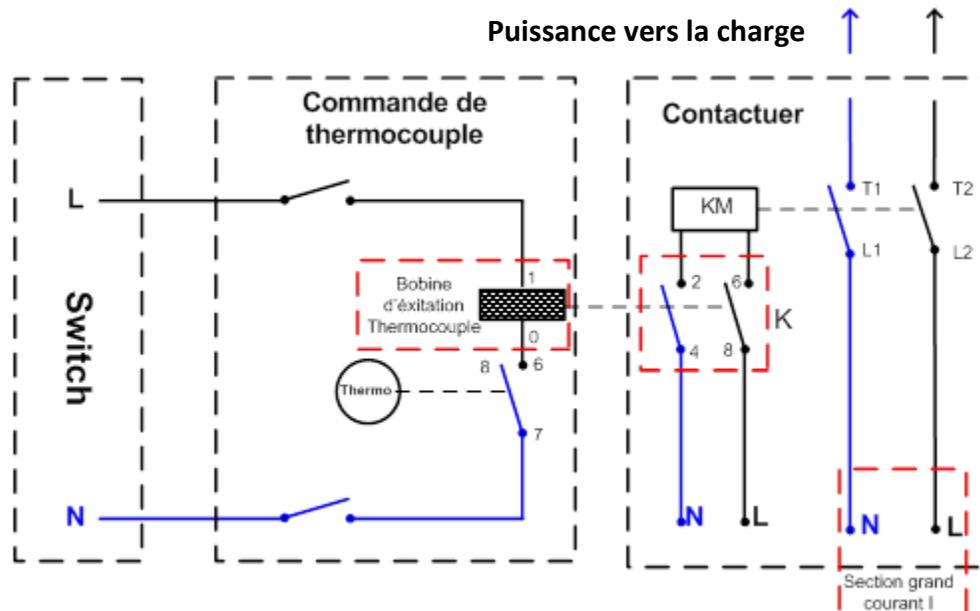


Figure 3.15: schéma d'un circuit électrique "thermocouple"

III.8 Système d'acquisition

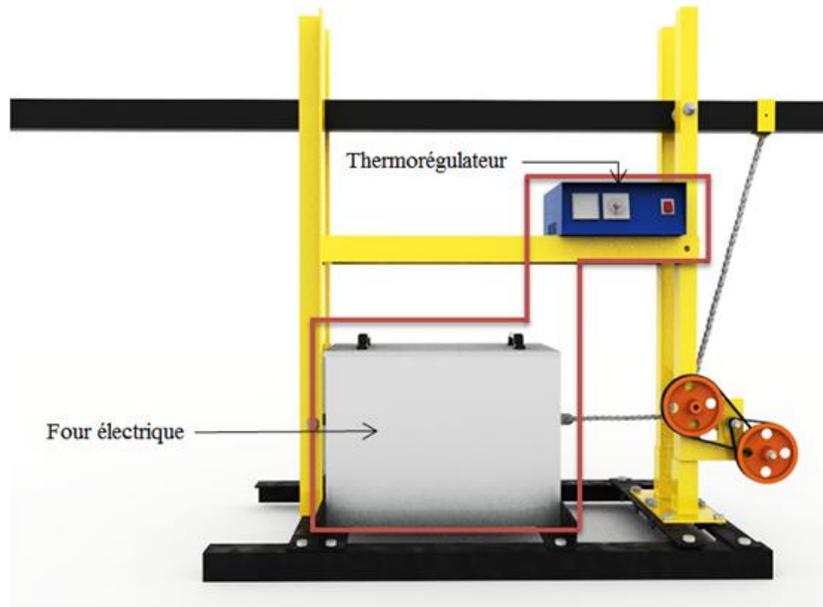


Figure 3.16: Le four complet et le thermorégulateur.

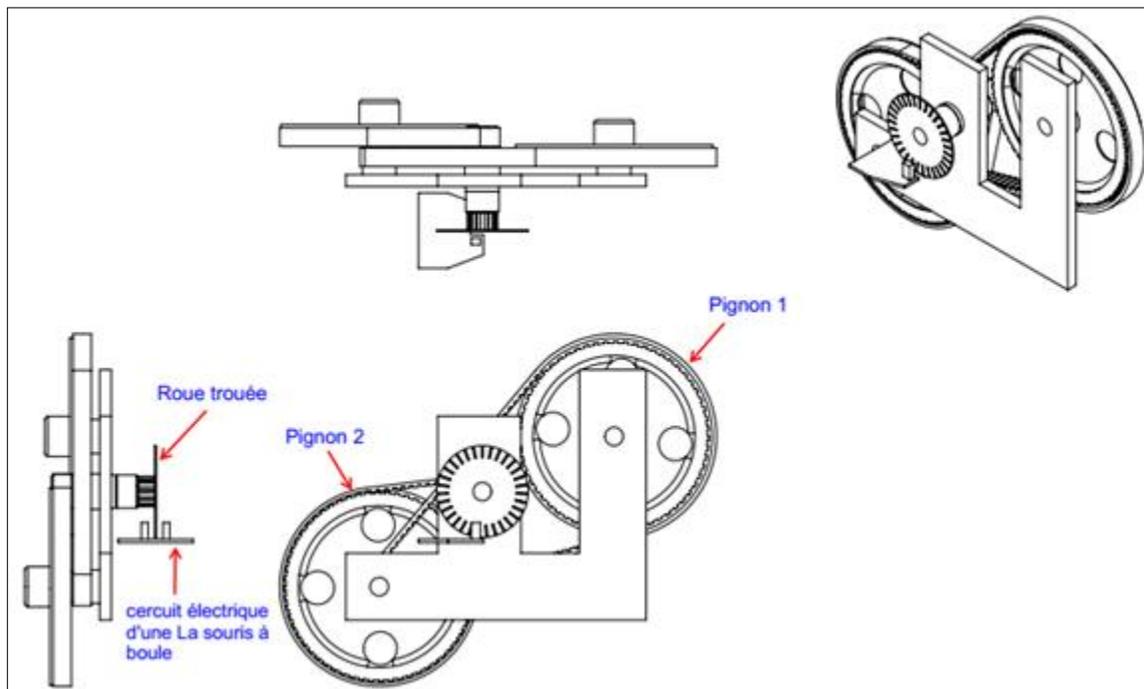


Figure 3.17: Dessin de définition de Système d'acquisition

Le système fonctionne pour transformer le mouvement de rotation (Le mouvement de l'échantillon à la traction), en à exploité une circuit électrique d'une souris à boule, et puis on a programmer une programme pour lire les mouvement de rotation de la roue trouée selon le temps, et sauvegarder tous les résultat sous un fichier de forme Excel .

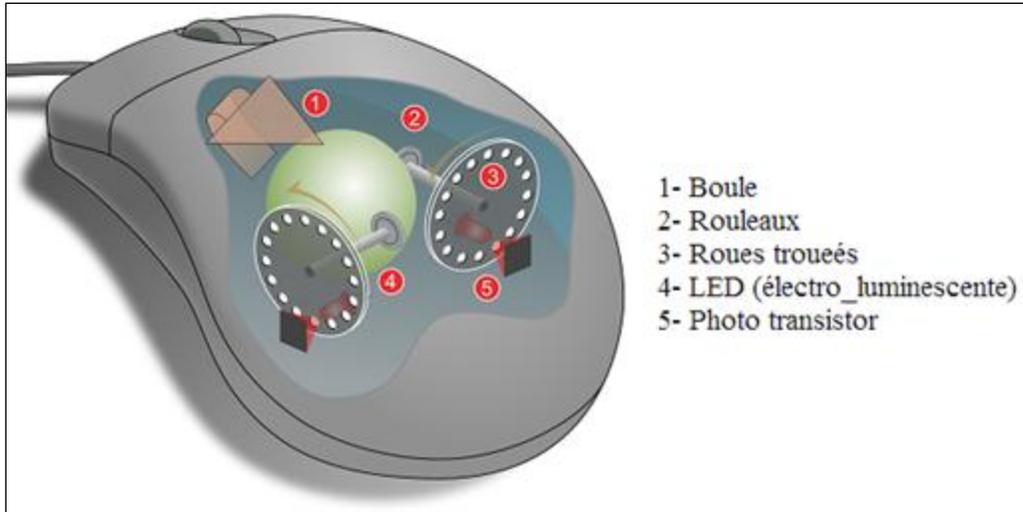


Figure 3.18 : Schéma d'une souris à boule (carte d'acquisition)

III.8.1 Schématisation Système d'acquisition

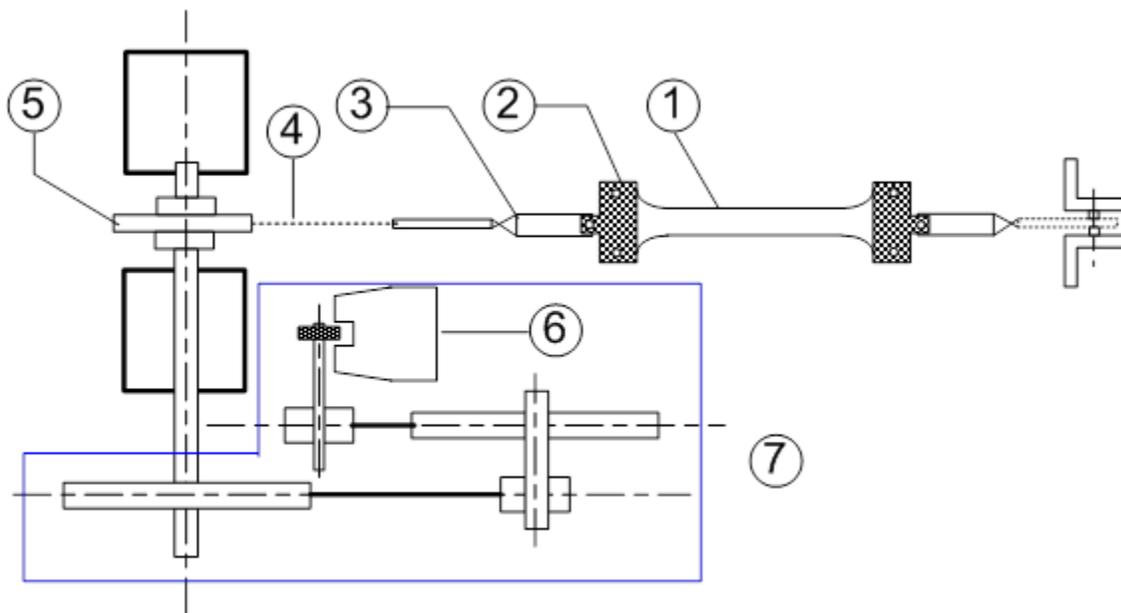


Figure 3.19 : Situation du système d'acquisition (1- échantillon, 2-3- mors mobile et fixe, 4- chaîne, 5- pignon, 6- carte d'acquisition, 7- elevateur de vitesse).

Les signaux et les renvoie à l'ordinateur qui prouve ces signaux comme suit : Les secondes sont à gauche et à droite représentent la déformation

	A	B
1	02:59:00:59	Starting Experience
2	1	1
3	1	3
4	2	4
5	2	6
6	2	7
7	2	8
8	2	10
9	2	11
10	2	13
11	2	14
12	3	15
13	3	17
14	3	18
15	3	20
16	3	21
17	3	23
18	Compteur	17

Tableau 3.2: représente la procédure de sauvegarde de déformation en fichier Excel (.exe)

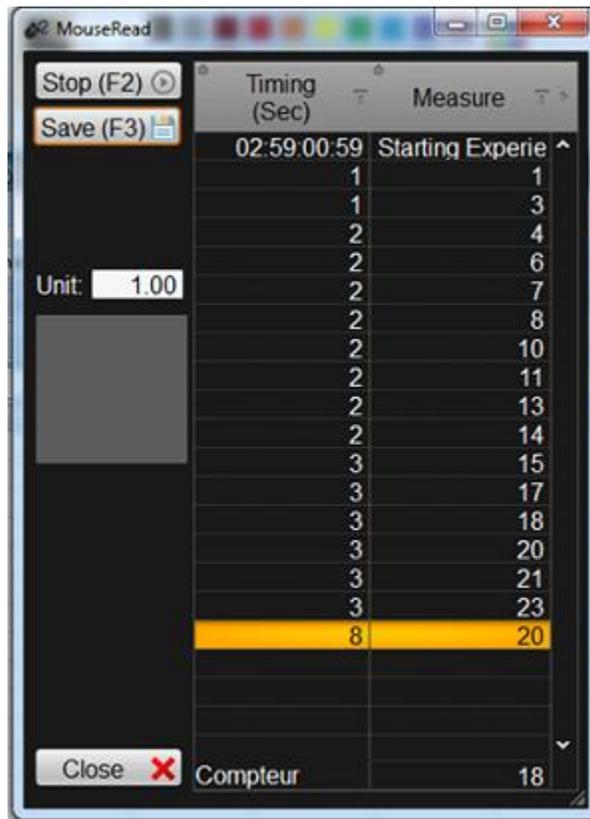


Figure 3.20: interface de la programme de mesure la déformation

III.8.2 Etalonnage système d'acquisition :

Pour transférer l'unité de la rotation de la roue trouée en unité de millimètre/seconde en fais de séries des essais pour on obtient une valeur optimale.

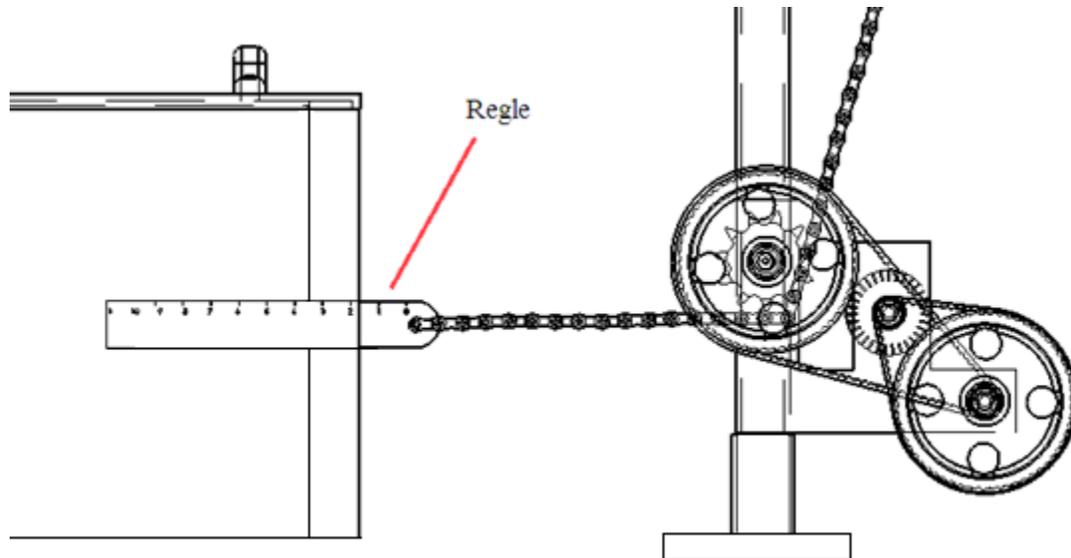


Figure 3.21: système d'acquisitions + élévateur de vitesse

Nous prenons une règle graduée et la mettons à la place de la mor mobile, puis nous menons une série d'expériences successives et nous obtenons finalement la valeur idéale

$$N=0.025 \times \text{unit}$$

On a changé le compteur de 1 à **0.025** et puis en à convertir l'unité vers le millimètre



Figure 3.22: étalonnage le système d'acquisition

III.8.3 Etalonnage de l'appareil

Pour trouver la relation entre la charge Q appliquée à l'extrémité du bras de levier et l'effort N sous lequel est soumis l'échantillon, on a remplacé l'échantillon par un Dynamomètre Digital (Fig.3.15), puis on a fait une série de test.



Figure 3.23: étalonnage de l'appareil

On a effectué plusieurs séries de test qui ont abouti à la relation suivante:

$$N = 90. Q + 232.5$$

- Q : Charge appliqué à l'extrémité du bras de levier en (D) (Fig.3.15).
- N: l'effort sur l'échantillon.

Charge (K)	Effort (N) essai 1	Effort (N) Essai 2	Moyen
0	0.29	0.29	0.29
100	0.93	0.73	0.83
200	1.97	1.68	1.825
300	3.04	3.13	3.085
400	3.41	3.24	3.325
500	4	3.95	3.975
600	4.77	4.81	4.79
700	5.47	5.56	5.515
800	6.45	6.51	6.48
900	7.35	7.6	7.475
1000	8.05	7.9	7.975
1100	9.07	9.51	9.29
1200	9.89	10.27	10.08
1300	10.56	11.5	11.03
1400	12.5	12.56	12.53
1500	12.85	12.6	12.725
1600	13.4	13.34	13.37
1700	14.38	14.47	14.425

1800	15.42	15.67	15.545
1900	16.5	16.9	16.7
2000	17.21	17.35	17.28
2100	18.63	17.6	18.115
2200	19.8	19.9	19.85
2300	20.25	20.07	20.16
2400	21.15	21.33	21.24
2500	22.56	21.95	22.255
2600	23.15	23.48	23.315
2700	23.96	23.65	23.805
2800	24.45	24.85	24.65
2900	25.47	25.58	25.525
3000	26.28	26.98	26.63
3100	27.47	27.67	27.57
3200	28.8	28.81	28.805
3300	29.66	30.03	29.845
3400	30.05	31.05	30.55
3500	31.43	31.59	31.51
3600	32.35	32.61	32.48
3700	33.79	33.83	33.81
3800	35.02	35.61	35.315
3900	36.42	35.98	36.2
4000	37.15	38.7	37.925

Tableau 3.3 : les valeurs d'étalonnage

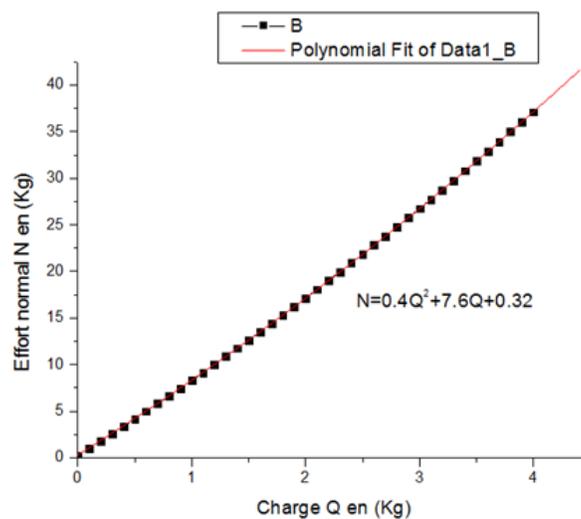


Figure 3.24: Courbe d'étalonnage (effort sur l'échantillon N en fonction de la charge Q)

III.9 Système de transmission de mouvement :

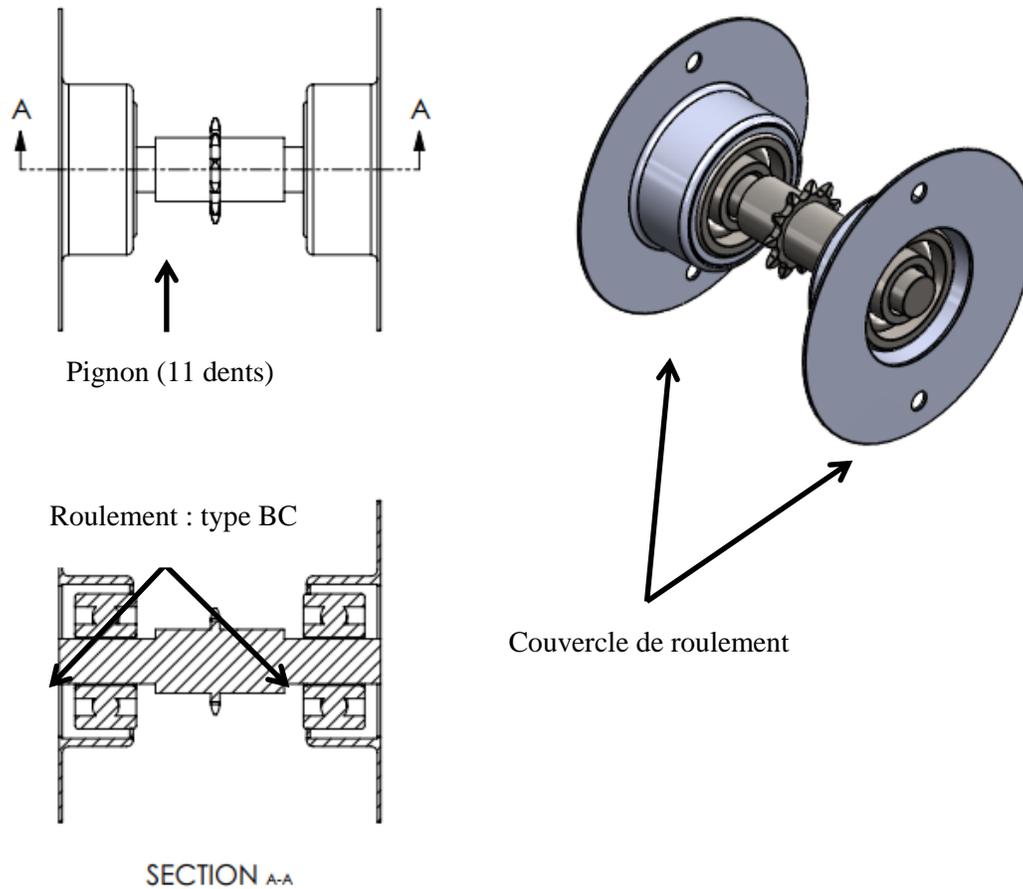


Figure 2.25: dessin de définition de système de transmission de mouvement (Pignon + Chaîne)

III.10 Matériaux étudiée :

De ce mémoire on a choisi la matériaux composite polyamide **PA6**, et Polyamide renforcé par le verre

III.10.1 Définition le polyamide :

Le PA 6-6 est obtenu par polycondensation de l'acide adipique avec l'hexaméthylènediamine. C'est un thermoplastique blanchâtre semi-cristallin. C'est le nylon aliphatique non renforcé le plus solide et le plus résistant à l'abrasion et aux faibles températures. Sa très faible viscosité de fusion peut causer des difficultés de transformation industrielle et son exposition aux intempéries peut entraîner une fragilisation et un changement de couleur à moins qu'il ne soit stabilisé ou protégé.

Il est employé pour la fabrication de pièces mécaniques, d'engrenages sans lubrifiant, de pales de ventilateur et de tissus du fait de sa bonne résistance chimique, mécanique et thermique.

Le PA 6-6 est également utilisé dans le domaine du sport, sous forme de filaments pour les cordes ou de composite pour les structures de vélos, etc.

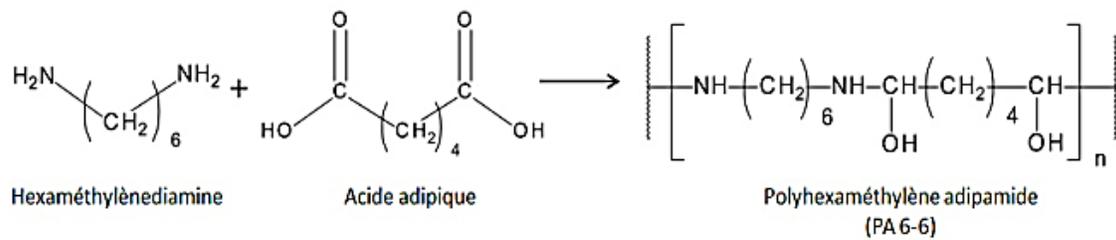


Figure 3.26: La formule développée de PA6

III.10.2 Propriétés de PA 6

	Norme	Unité	PA 6
Propriétés physiques			
● Masse volumique	ISO 1183	g/cm ³	1,13
● Absorption d'eau à 23 °C et 100 % HR :	ISO 62		
— après 24 h .....	.....	%	1,6
— à saturation .....	.....	%	9,5
à 23 °C et 50 % HR			
— à saturation .....	.....	%	3,0
Propriétés mécaniques			
● Traction :	ISO 527		
— contrainte (rupture) .....	.....	MPa	80
— allongement (rupture) .....	.....	%	50
● Flexion : module	ISO 178	GPa	3,0
● Choc Izod à 23 °C	ISO 180	J/m	50
● Choc Charpy à 23 °C avec entaille	ISO 179	kJ/m ²	4
● Dureté Rockwell R	ISO 2039-2	.....	119
● Dureté Shore D	NF ISO 868	.....	75
Propriétés thermiques			
● Température de fusion T_f .....	.....	°C	215
● Température de transition vitreuse T_v .....	.....	°C	50
● HDT (1) :	NF ISO 75		
• 1,8 Mpa .....	.....	°C	63
• 0,45 MPa .....	.....	°C	185
● Température en usage continu .....	.....	°C	105
Propriétés diélectriques			
● Rigidité diélectrique	CEI 243	kV/mm	17
● Permittivité relative à 10 ³ Hz ..	CEI 250	.....	3,7

Tableau 3.4 : représentation les propriétés physique et mécanique de bakélite [27]

III.11 Procédure expérimentale

Tous les essais de fluage ont été réalisés d'après la procédure expérimentale suivante :

- 1- La mesure du diamètre (d) de l'éprouvette et sa longueur (L_t : longueur totale ; L_0 : longueur Initiale) [Longueur, largeur et l'épaisseur si l'échantillon prismatique] .
- 2- Fixation de l'éprouvette entre les mors.
- 3- Alimenter le four électrique et attendre que stabilisé dans la température favorable .
- 4- lancer le programme d'acquisition et réglage à zéro, en appuyer sur le bouton F2 .
- 5- enlevé l'axe de blocage de bras à lever.
- 6- laisse la descendre lentement de bras à levier.
- 7- Attendre la rupture d'echontulion et la fin de l'essai de fluage.
- 8- Faire enregistrer l'allongement a partir cliquer le bouton F3 pour sauvegarder le résultat.

III.12 Etude RDM

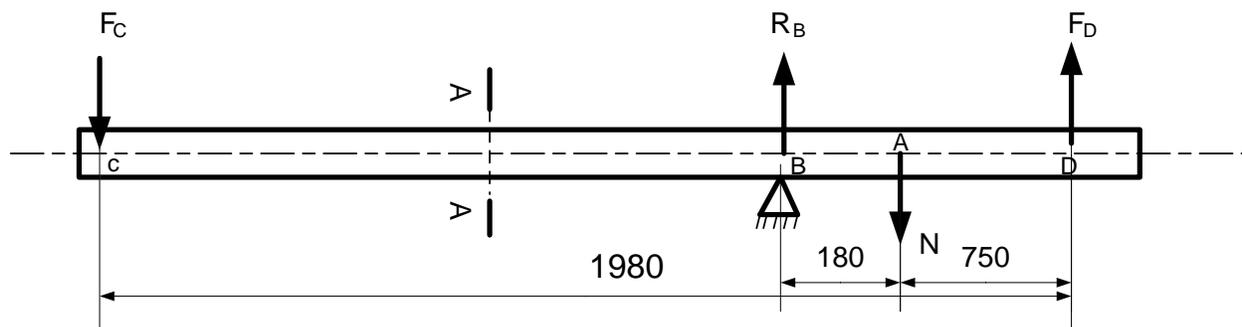


Figure 3.27 : Schéma représentatif des forces appliquées sur le bras de levier

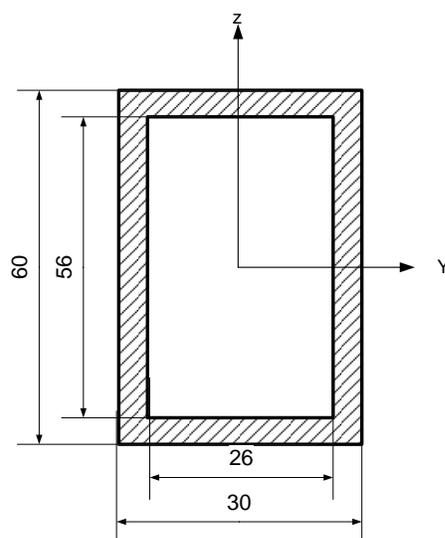


Figure 3.28: Section A-A

III.12.1 Calcul des efforts appliqués:

$$\sigma = \frac{N}{S} \quad (\text{III.1})$$

- N:effort appliquée sur l'échantillon
- σ : contrainte appliquée à l'échantillon
- S: section d'échantillon

$$N = \sigma \cdot s$$

$$S = 40 \text{ mm} (10 \times 4)$$

$$\sigma = 30 \text{ Mpa}$$

AN :

$$N = 1200 \text{ N}$$

$$F_c = 18.43 \text{ N} \quad \text{Selon l'équation} \quad N = 0.4 Q^2 + 7.6 Q + 0.32 \quad (\text{III.2})$$

$$F_d = 13 \text{ N}$$

III.12.2 Calcul de RB:

$$\sum F_{ext} = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\sum MF_{ext} = 0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

De (1), nous pouvons écrire : $T_A \cdot X + F_c - R_B + F_D = 0 \quad (\text{III.3})$

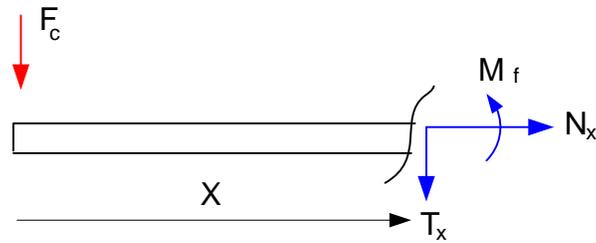
Par projection des forces sur l'axe y on aura

$$R_B = T_A \cdot X + E_T \cdot F_C + F_D \dots\dots\dots(3)$$

donc de (3) $R_B = 1231 \text{ N}$

III.12.3 Effort tranchant et Moment fléchissant:

a) Etudions la zone I : $1980 \geq X \geq 0$



$$T = -F_c = -18.43 \text{ N}$$

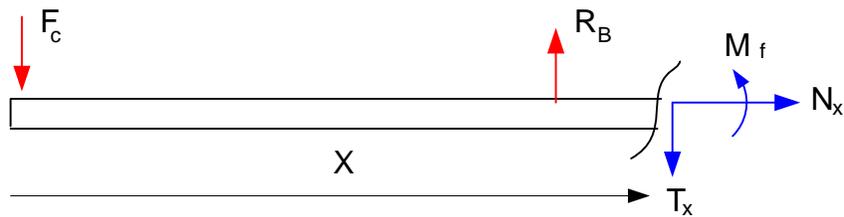
$$M_{fl} + F_c \times X = 0$$

$$\text{Donc } M_{fl} = -F_c \times X$$

Si $X = 0$ donc $M_{fl} = 0$, si $X = 1980$

$$M_{fl} = -36491.4 \text{ N.mm}$$

b) Etudions la zone II: $2160 \geq X \geq 1980$



$$T = R_B - F_c = 1212.57 \text{ N}$$

$$M_{fl} + F_c \times X - R_B(X - 1980) = 0$$

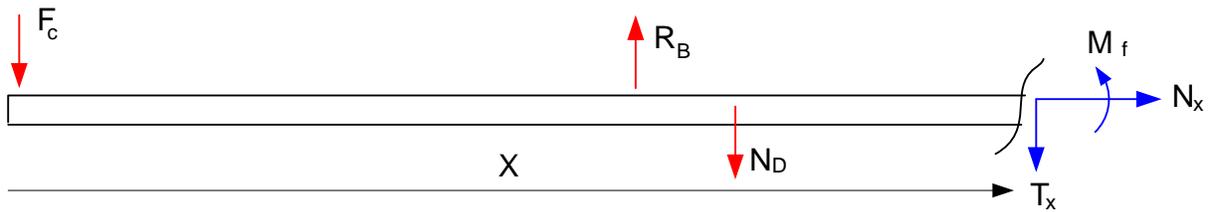
$$M_{fl} = R_B(X - 1980) - F_c \times X$$

$$= (R_B - F_c) X - 1980 R_B$$

$$\text{si } X = 1980 \quad \text{donc } M_{fl} = -36491.4 \text{ N.mm}$$

$$\text{si } X = 2160 \quad \text{donc } M_{fl} = -1657648.8 \text{ N.mm}$$

c) Etudions la zone III: $2910 \geq X \geq 2160$



$$T = R_B - F_c - N = 12.57 \text{ N}$$

$$M_{fl} = -F_c \times X + R_B(X - 1980) - N(X - 2160)$$

si $X = 2160$ donc $M_{fl} = 181771.2 \text{ N.mm}$

si $X = 2910$ donc $M_{fl} = 0 \text{ N.mm}$

III.12.4 Diagramme d'effort tranchant et Diagramme de moment fléchissant

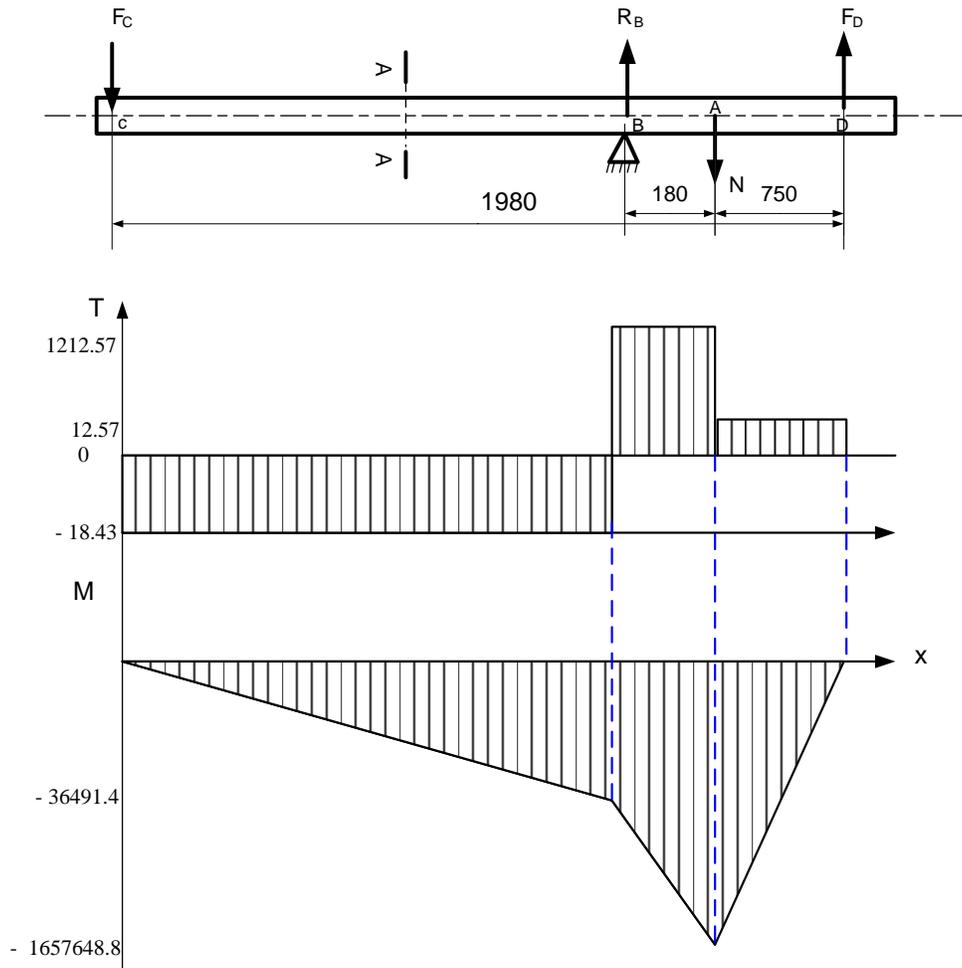


Figure 3.29 : Diagramme d'effort tranchant et Diagramme de moment fléchissant

III.12.2 Etude de la résistance au cisaillement de l'axe de l'articulation:

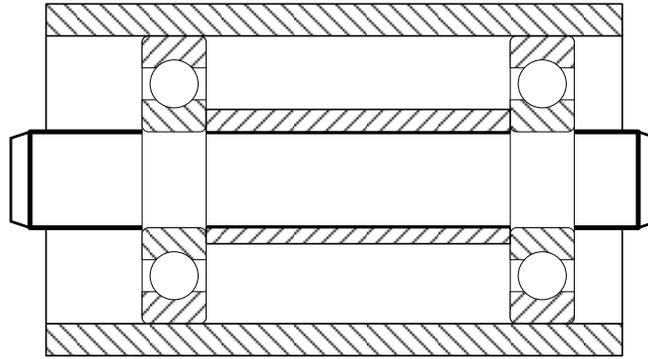


Figure 3.30: L'articulation).

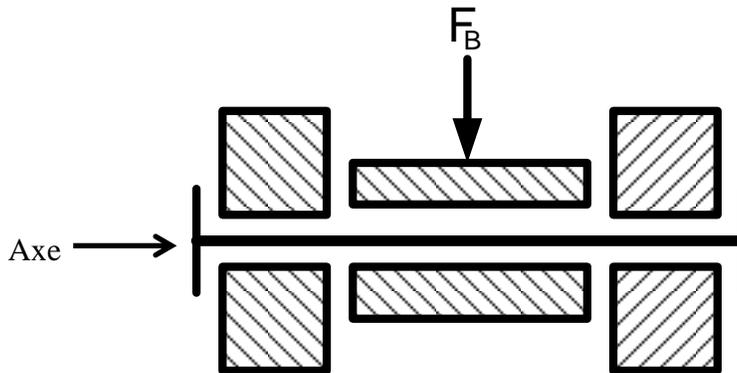


Figure 3.31 : Schéma de l'articulation

A partir de l'effort $F_B = R_B$ calculé auparavant nous pouvons vérifier la résistance au cisaillement de l'axe de l'articulation:

La condition de résistance s'écrit, $\frac{T}{s} \leq \tau_p$ ou $s \geq \frac{T}{\tau_p}$

Remarquons qu'il ya deux sections cisillées, donc : $T = \frac{F_B}{2}$ avec $\tau_p = \frac{\tau_e}{s}$

On a $D = 8.5$ et $s = \pi r^2$ Alor $s = \pi \cdot \frac{8.5^2}{4}$ $s = 56.75 \text{ mm}^2$

$T = s \cdot \tau_e$ $T = 500 \times 56.75$ Alor $T = 28375$; $T = 28375 \times 2 = 56750 \text{ N}$

Le coefficient de sécurité $s = 5$, donc $\tau_p = \frac{500}{5} = 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$$S \geq \frac{F_B}{2 \tau_p} \implies r \geq \sqrt{\frac{F_B}{2\pi\tau_p}} \implies r \geq \sqrt{\frac{56750}{2 \times 3.14 \times 100}} \implies r \geq 9.50 \text{ mm}$$

$\Rightarrow d \geq 8.5 \text{ mm}$ alors nous avons choisi $d = 10 \text{ mm}$ ce qui résiste bien au cisaillement.

Chapitre IV

Résultats et interprétations

IV Interprétation

IV .1 1^{er} essais

IV 1.2 Matériaux : Pa6 renforcé par le verre 20% de diamètre **d= 0.5 mm**

IV 1.3 Paramètres d'essais :

En a fixé la température dans une **T=150 c°** avec une charge de **Q= 4Kg** qui équivalente une contrainte de 60Mpa

Cette essais elle est erroné puisque nous avons trouvé un panne sur le système d'acquisition, elle est arrêté l'enregistrement de la déformation à cause de la roue troué elle est bloqué et ne tourne pas si pour ça l'expérience elle est échoué, cette expérience ça duré plus de 3 jours,

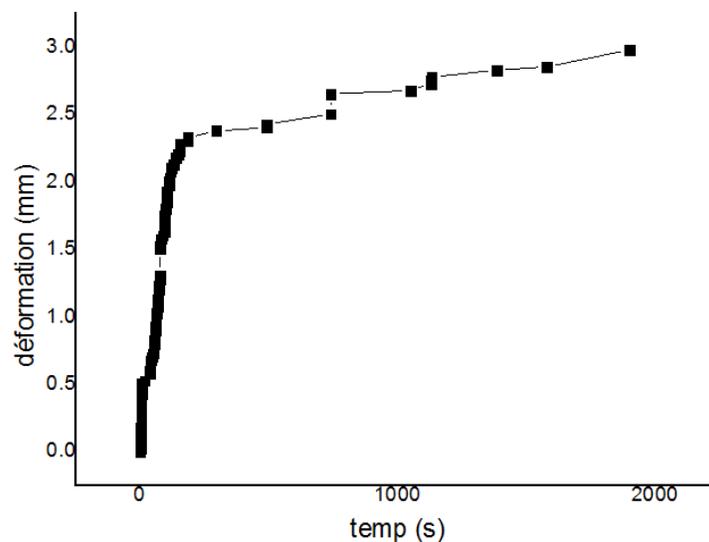


Figure 4.1: Courbe de fluage de polyamide PA6+ 20 % verre ($d=0.5$ mm) dans la condition ($\sigma=9.2$ Mpa, $T=150^\circ\text{C}$)

IV1.4 Observation microscopique de sur la zone de la rupture (X10) :

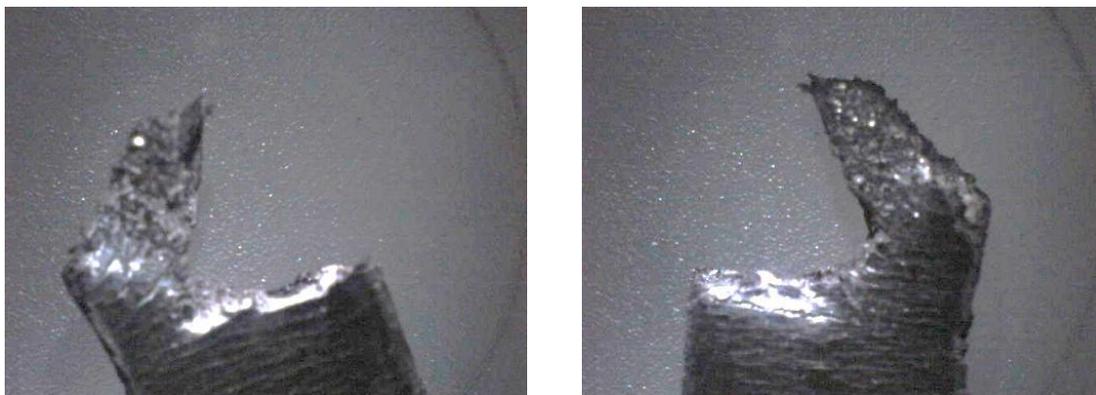


Figure 4.2: Observation microscopique de sur la zone de la rupture essai 1

IV .2 2^{eme} essais :

IV 2.2 Matériaux : Pa6 pure

IV 2.3 Paramètres d'essais :

En a fixé la température dans une $T=150\text{ c}^\circ$ avec une charge de $Q= 4\text{Kg}$ qui équivalente une contrainte de 60Mpa

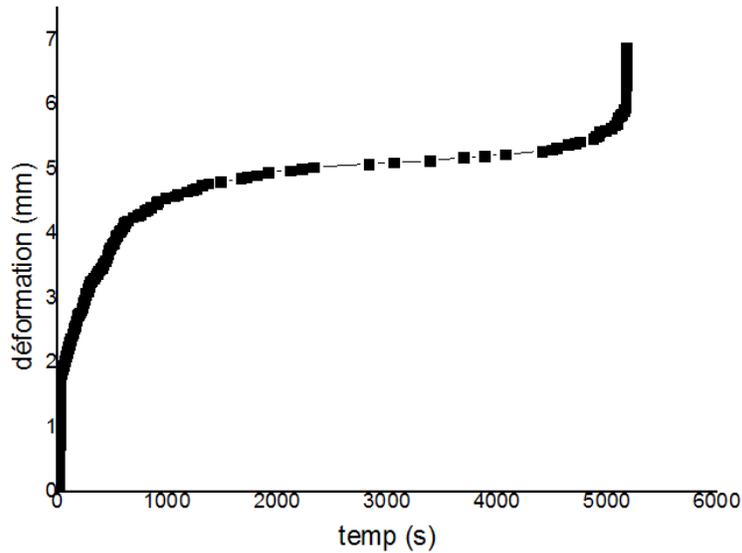


Figure 4.3: Courbe de fluage de polyamide PA6 dans la condition ($\sigma=9.2\text{ Mpa}$, $T=150^\circ\text{C}$)

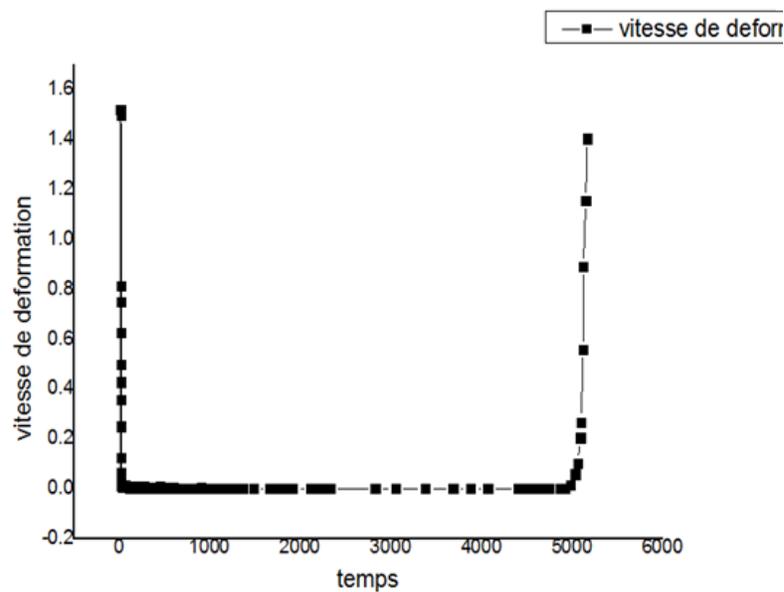


Figure 4.4 : Courbe Vitesse de déformation de fluage en fonction du temps du polyamide PA6 à charge de $\sigma=9.2\text{Mpa}$ et $T = 150\text{ }^\circ\text{C}$.

IV.2.4 Observation microscopique de sur zone de la rupture (X10) :

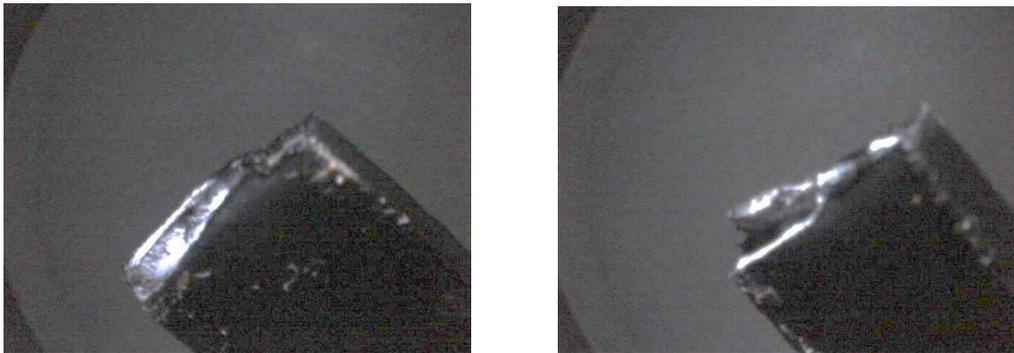


Figure 4.5: Observation microscopique de sur la zone de la rupture essai 2

IV.3 3^{eme} essais :

IV 3.1 Matériaux : Pa6 pure

IV 3.2 Paramètres d'essais :

En a fixé la température dans une $T=120\text{ c}^\circ$ avec une charge de $Q=4\text{Kg}$ qui équivalente une contrainte de 60Mpa

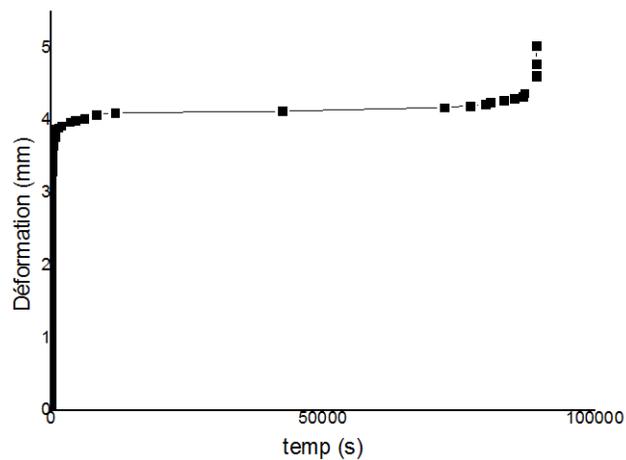


Figure 1.6: Courbe de fluage de polyamide PA6 dans la condition ($\sigma=9.2\text{ Mpa}$, $T=120^\circ\text{C}$)

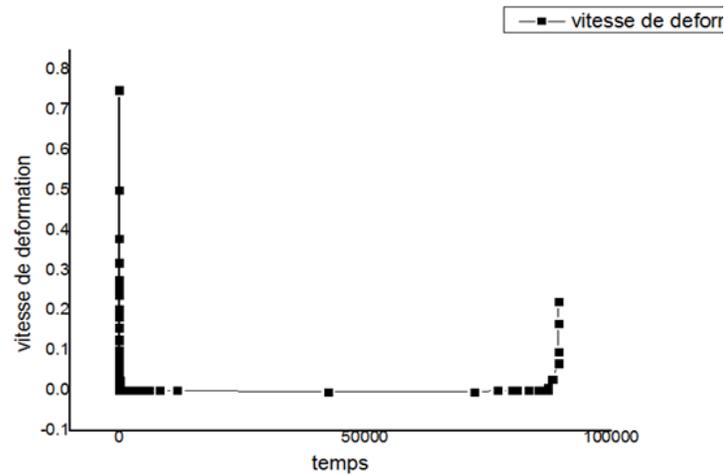


Figure 4.7: Courbe Vitesse de déformation de fluage en fonction du temps du polyamide PA6 à charge de $\sigma=9.2\text{Mpa}$ et $T = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$

IV3.3 Observation microscopique de sur la zone de la rupture (X10)

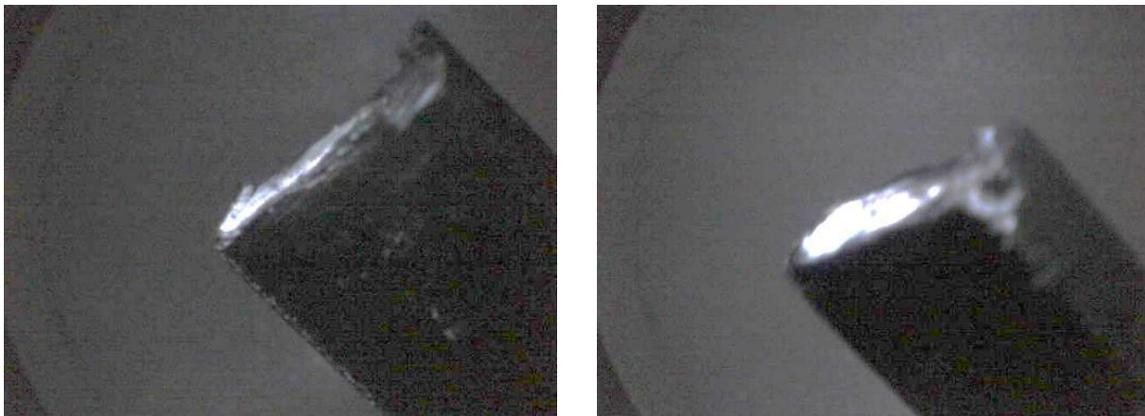


Figure 4.8: Observation microscopique de sur la zone de la rupture essai 3

IV.4 4^{eme} essais :

IV.4.1 Matériaux : Pa6 pure

IV.4.2 Paramètres d'essais :

En a fixé la température dans une $T=100\text{ }^{\circ}\text{C}$ avec une charge de $Q= 4\text{Kg}$ qui équivalente une contrainte de 60Mpa

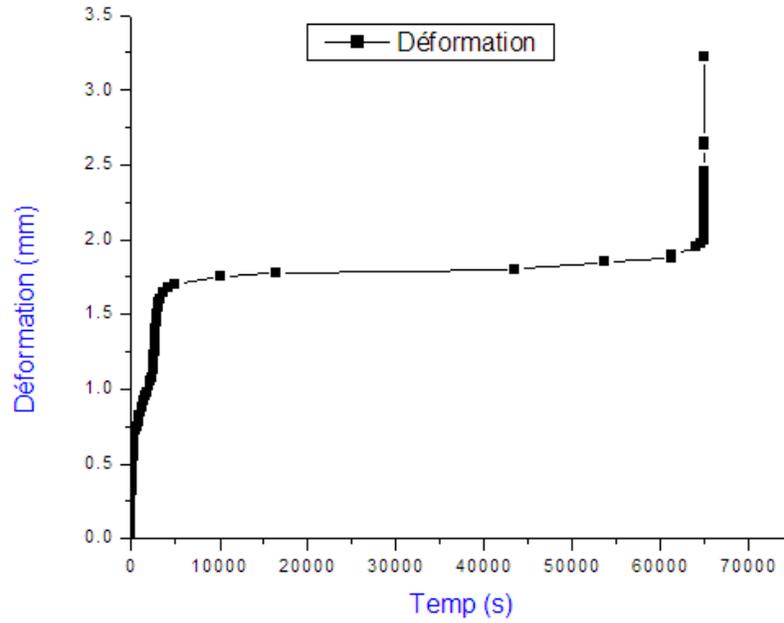


Figure 4.9: Courbe de fluage de polyamide PA6 dans la condition ($\sigma=9.2$ Mpa, $T=100^{\circ}\text{C}$)

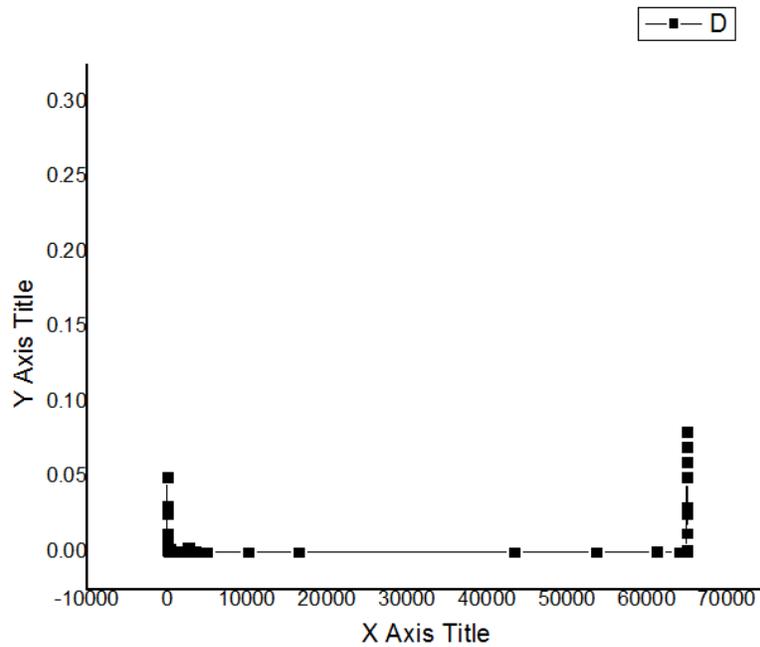


Figure 4.10: Courbe Vitesse de déformation de fluage en fonction du temps du polyamide PA6 à charge de $\sigma=9.2$ Mpa et $T = 100^{\circ}\text{C}$

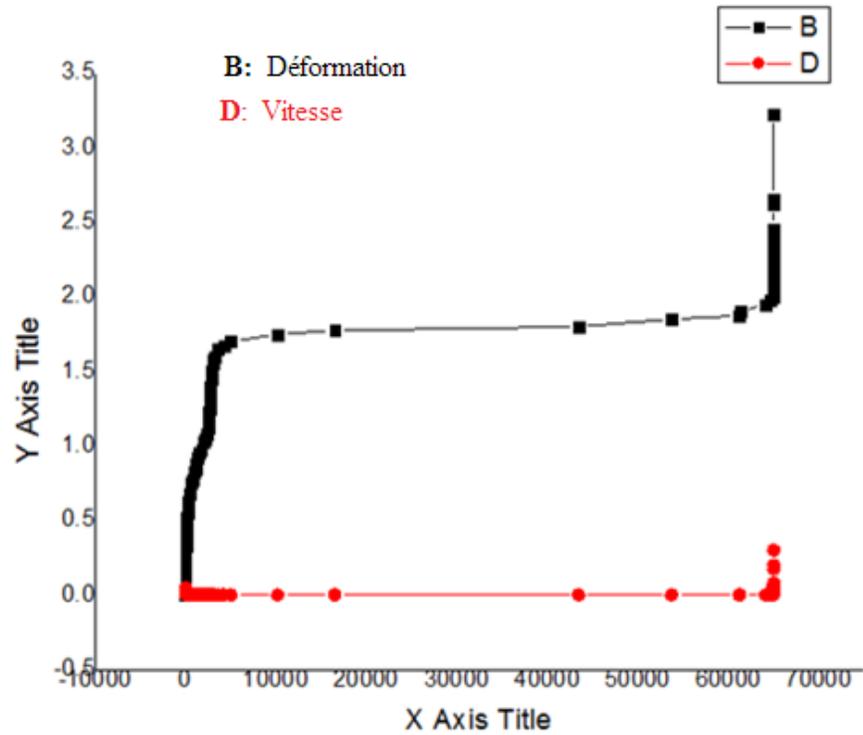


Figure 4.11: la vitesse et la déformation en fonction du temps PA6 à charge de $\sigma=9.2Mpa$ et $T = 100^\circ$

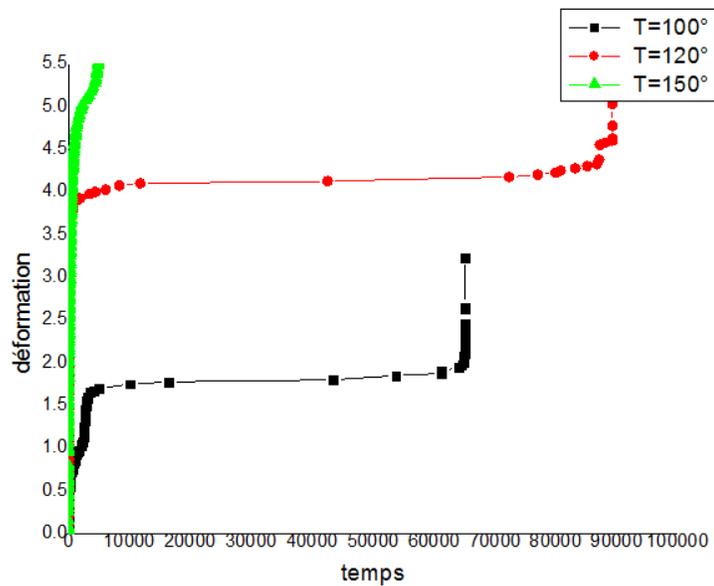


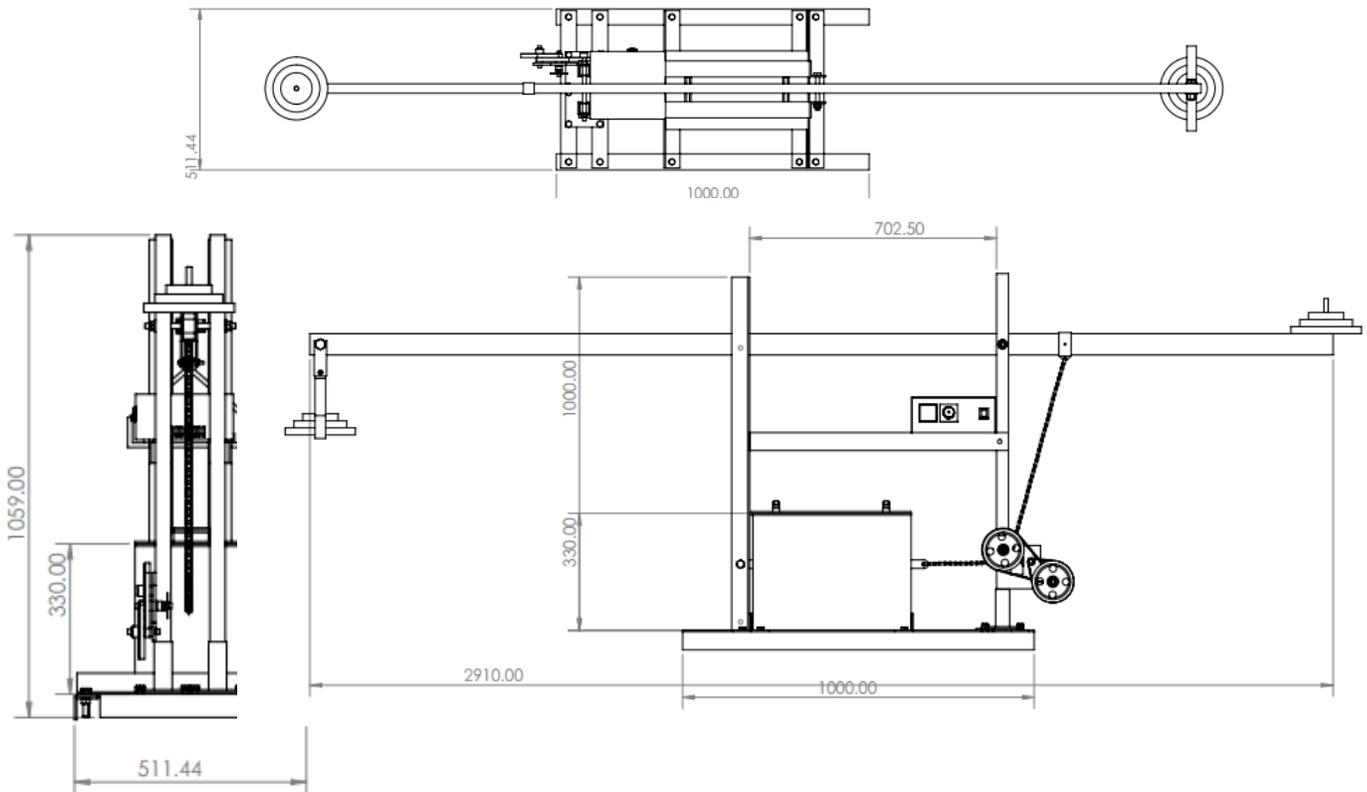
Figure 4.12: Courbes de fluage de matériaux composite PA6 pure à différentes températures et contrainte fixé ($\sigma=9.6 Mpa$, $T_1=150^\circ C$, $T_2=120^\circ C$, $T_3=100^\circ C$)

Context

*Fiche technique de banc d'essai de
fluage*

FICHE TECHNIQUE BANC D'ESSAI DE FLUAGE

V.1 Caractéristique géométrique



V.2 Description le banc d'essais de fluage

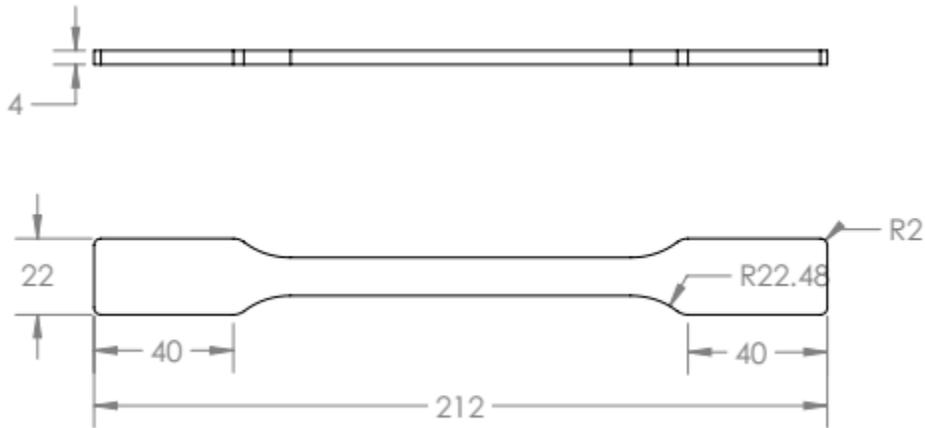
En général, les essais de fluage sont réalisés sur des machines à charge constante utilisant la force de pesanteur : une masse est fixée à l'éprouvette ou, bien souvent, pour les essais de longue durée, un système d'amplification de la charge à bras de levier est utilisé.

V.3 Caractéristique générale de banc d'essai

Type de matériaux de constitution	Acier ordinaire
Function principal	- Fluage en traction
Le poids de levier vide	0.295 g
Le poids total de banc d'essai	100 Kg
L'erreur de la température	± 3 C°
Matériaux des Mors	-Bakelite -Acier ordinaire
Type d'échantillon	- Prismatique - Fills électrique
La Charge maximal	80 Kg
L'alimentation	220 V
La température maximale	800 C°
Programme d'acquisition	Port_COM.exe programmé par un langage
Microordinateur (sourie +clavier + care d'acquisition)	Siemens

V.4 Les différents types des éprouvettes

V.4.1 Prismatique :

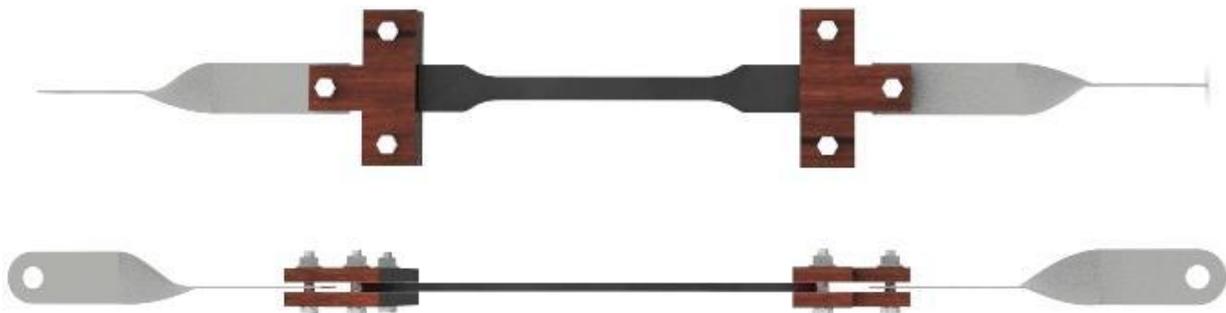


V.4.2 Fils électrique :

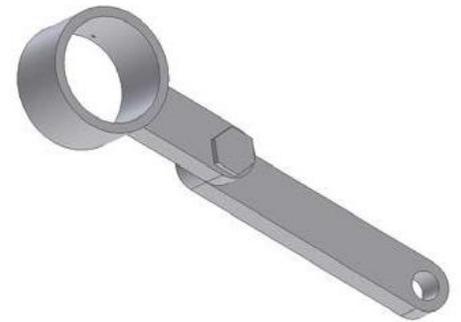
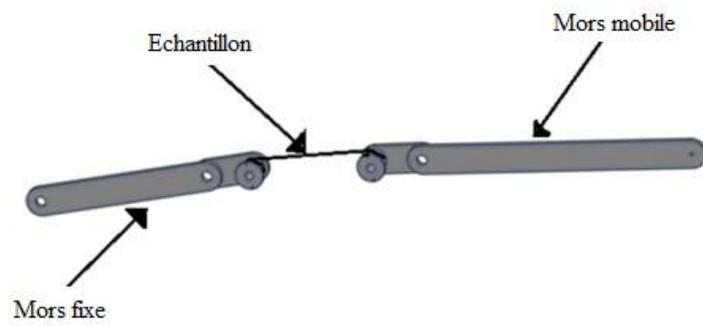


V.5 Les types des Mors

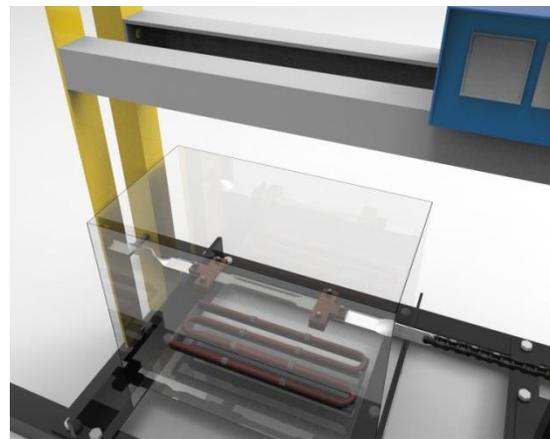
V.5.1 Mors pour l'échantillon prismatique :



V.5.2 Mors pour l'échantillon de fils électrique



V.6 Modalisation le four électrique



Conclusion générale

Le but de notre travail était l'étude de comportement au fluage des matériaux composites. Ce comportement est étudié lors de plusieurs essais de fluage.

Pour aboutir à notre résultat, nous avons amélioré un banc d'essai de fluage déjà réalisé. Cet appareil est composé d'un bras de levier pour amplification de la charge, d'un four horizontal et un système d'acquisition assisté par un ordinateur.

En a fait quatre essais de fluage dans notre banc d'essais, l'effet de la contrainte selon les conditions de fluage choisi, que lors de de fixation la contrainte et l'augmentation de la température dans chaque essai.

D'autre part, des essais de fluage sur matériaux composites ont été aussi réalisés afin de confirmer la fiabilité de l'appareil. Des courbes de fluage ont été obtenues et qui ressemblent aux courbes théoriques. Les différents stades de fluage ont été observés, c'est-à-dire le stade primaire, secondaire et tertiaire.

Références Bibliographiques

- [1] S. Antoine F, Essai de fluage, Technique de l'ingénieur M140, Vol.M1II, (1995).
- [2] D. François, "Essais mécaniques des métaux, Essais de dureté," Techniques de l'Ingénieur M 123, (1995).
- [3] A. Boudilmi, "étude théorique et expérimentale des essais de dureté pour matériaux massifs et revêtus, Thèse de magister " Université M Boudiaf de M'sila, (2008).
- [4] A. P. G. Doubenski, "Résistance des matériaux," université d'Annaba, (1977).
- [5] A. D. A. Castell, "Technologie, Professionnelle générale, 3ème livre," (1978).
- [6] L. é. d. C. G. Mécanique, guide de travaux pratiques, ed Royaume du Maroc, (2002)
- [7] B. Tanguy, Modélisation de l'essai Charpy par l'approche locale de la rupture, Application
- [8] B. JACQUOT Propriétés mécaniques des Biomatériaux utilisés en Odontologie « Société Francophone de Biomatériaux Dentaires » 2009-2010
- [9] L. Baci, Z. Boumerzoug, C. Esnouf, M. Boucheur, Study of Industrial Aluminum Wire After Cold Wire Drawing And Heat Treatments, (2008).
- [10] D. François, A. Pineau, and A. Zaoui, Comportement mécanique des Matériaux. Hermès, (1995).
- [11] L. é. d. C. G. Mécanique, guide de travaux pratiques, ed Royaume du Maroc, (2002).
- [12] Laouini A "Réalisation d'un appareil de fluage des métaux " , Thèse de magister, université de Biskra ,(2012).
- [13] A. Castell, A. Dupont, Technologie, Professionnelle générale, 3ème livre, Editeur Paris, (1978)
- [14] D. François et coll. Essais mécaniques et lois de comportement, Hermès science, (2001).
- [15] D. William. Callister, Jr. Science et génie des matériaux ,5ème édition, DUNOD, (2001)
- [16] DIHA ABDALLAH « Comportement Des Fils Tréfilés Lors De Fluage » , Thèse de magister, université de Biskra ,(2010).
- [17] M. T. B. marzouk, influence du molybdène sur la résistance mécanique a haute température des aciers inoxydables du type 18 - 14 et particulièrement sur la tenue au fluage vers 700 °c, Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay, (1977).

BERIBECHE.A « Comportement des fils métalliques lors d'un essai de fluage », Thèse de doctorat, université de Biskra, (2014).

[18] M. Arnoux, "Etude du comportement en fluage à haute température du superalliage monocristallin à base de nickel MCNG :Effet d'une surchauffe," (2006).

[19] M. Blétry, "Méthodes de caractérisation mécanique des matériaux," (2007)

[20] J. P. Poirier, Plasticité à haute température des solides cristallins, Ed. Eyrolles ed, (1976).

[21] U. F. Kocks, "Realistic constitutive relations for metal plasticity, Materials Science

[22] S. Dubiez, "Comportement et endommagement d'un superalliage élaboré par compression isostatique à chaud," in ENSMP, (2003)

[23] J.P. Bailon, J.M.Dorlot, Des matériaux ,3ème édition, (2000).

[24] S.Degallaix, B.Ilschner, Caractérisation expérimental des matériaux I, (2007).

[25] Z.Kowalewski L. IPPT PAN, Département de la résistance des matériaux, PL 00-049 Varsovie,Pologne.

[26] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Bak%C3%A9lite> existe le (27/6/2019)

[27] bakelite_ELITE-042015 [PDF] (www.pmastiservice.com) existe le (27/6/2019)

ملخص

الهدف من هذا البحث هو دراسة تقنية لجهاز اختبار زحف المواد , قمنا بإجراء بعض التعديلات على ماسكات العينة حتى تكون قادرة على مسك عينات ذات الشكل الموشوري , وقمنا بدراسة ظاهرة الزحف بالنسبة للمواد المركبة وسجلنا النتائج في شكل منحنيات .

Résumé

L'objectif de ce travail de recherche était l'étude technologique d'une appareil d'essai de fluage en traction , on a fait une modification des mors pour pouvoir expérimenter des échantillons de forme prismatique , et nous avons étudié la phénomène de fluage sur des matériaux composites et enregistré les résultats en des courbes.