

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU



**Mémoire de fin d'étude en vue d'obtention du diplôme
Master académique en génie mécanique option construction mécanique**

Thème :

Conception et réalisation d'un dispositif de mesure des déplacements autour de l'entaille d'une éprouvette en plaque mince en polymère soumise à la traction.

Présenté par :

Mr. AMROUCHE Ali

Mr. DJABELLA Massinissa

Dirigé par :

Mr. S.DJEBALI

Promotion 2017/2018

REMERCIEMENTS

Nous tenons à commencer ce mémoire par quelques remerciements. Tout d'abord, nous remercions les membres du jury, qui nous ont fait l'honneur de bien vouloir accepter de juger ce travail.

Nous remercions aussi notre encadreur, monsieur S.DJEBALI , pour la confiance qu'il nous a accordée en acceptant d'encadrer ce travail , pour la liberté qu'il nous a octroyée sur ce sujet passionnant.

Nous souhaitons également exprimer nos remerciements à monsieur BELDI et monsieur BILEK pour le temps qu'il nous ont consacré, pour l'aide qu'il ont apporté à ce travail.

Nous adressons nos vifs remerciements à l'ensemble du personnel de l'atelier du hall technologie de Oued Aissi pour leurs aides dans notre activité.

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



DÉDICACES

Je dédie ce travail à :

- Ma très chère maman à celle que je dois tout*
- Ma chèresœurs Lilia et dihia et Sonia*
- Mon binôme et frère Ali et sa famille*
- Tous mes amis qui m'ont soutenu durant mon cursus en particulier « Yazid, anis ... »*
- Tout les amis du village « Ali mehaddene, khellaf, Lyes djemai, »*
- La promotion de fin de cycle Master II Construction Mécanique 2018*
- Tous ceux qui contribuent pour l'évolution.*

Dj. Massinissa

Dédicaces

Je dédier ce travail

**A mes chers parents qui m'ont soutenue durant mes
études et à qui je dois beaucoup.**

A mes frères et sœurs.

Et sans oublier les personnes qui me sont chère

Qui m'ont beaucoup apporté et soutenue.

À mon collègue et sa famille.

À toute la promotion M2 CM 2017/2018 en particulier : Yazid et Anis.

À mes amis.

Ali



SOMMAIRE

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURE.....	i
List des tableaux	ii
Nomenclature	iii

INTRODUCTION GENERALE

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

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES POLYMERES

I.1 Introduction.....	2
I.2 Définition d'un polymère	2
I.3 Diffèrent types de polymères.....	2
I.3.1- Homopolymère	2
I.3.2- Copolymères	3
I.4 Obtention des polymères.....	3
I.4.1 Polyaddition :.....	3
I.4.2 Polycondensation	4
I.5 classifications des polymères	4
I.5.1 Polymères thermoplastiques	4
I.5.2 Polymères thermodurcissables	5
I.5.3 Elastomères.....	5
I.6 Selon l'origine.....	6
I.6.1 Les polymères naturels	6
I.6.2 Les polymères artificiels	6
I.6.3 Les polymères synthétiques :	7
I.6.4 Selon leur nature	7
I.6.4.a Polymères minéraux.....	7

I.6.4.b Polymères organiques	7
I.6.4.c Polymères mixtes.....	7
I.9 L'intérêt des polymères dans notre vie	7
I.9.1 Applications des polymères :	7
I.10 comportement mécanique des polymères.....	8
I.10.1 Propriétés mécanique des polymères.....	8
I.10.1.a Elasticité	9
I. 10.1.b Plasticité	9
I. 10.1.c Viscosité	10
I.10.1.d Viscoélasticité	10
I.10.1.e Viscoplasticité	10
I.10.1.f Endommagement	10
I.10.2 Propriétés Thermique des polymères.....	11
I.10.3 Propriétés physiques des polymères	11
I.10.3.a La masse volumique	11
I.11 Le polyéthylène haute densité (PEHD).....	12
I.11.1 Propriétés des polyéthylènes haute densité.....	12
I.11.2 Le taux de cristallinité	12
I.11.3 La masse moléculaire	12
I.11.4 Propriétés mécaniques :.....	12
I.11.5 Propriétés thermiques	13
I.11.6 Propriétés chimiques.....	13
I.11.7 Propriétés électriques	13
I.11.8 Avantages et Inconvénients du PEHD	14
I.11.8.a Avantages	14
I.11.8.b Inconvénients	14
I.11.9 Domaine d'utilisations du PEHD.....	14
I.12 Conclusion :	15

CHAPITRE II : NOTION DE LA MECANIQUE DE LA RUPTURE

II.1 Introduction.....	16
II.2 catégories de rupture des structures	16
II.2.1 Causes de l'apparition de la rupture.....	16
II.2.2 Influence des propriétés des matériaux sur la rupture	16
II.3 La fissure	17
II.3.1 Modélisation de la fissure	18
II.3.2 Les modes de propagation des fissures	19
II.4 Caractérisation de la rupture	20
II.4.1 Rupture fragile.....	20
II.4.2 Rupture ductile.....	20
II.4.3 Facteur de concentration de contraintes.....	21
II.4.4 ENERGIE DE GRIFFITH.....	21
II.4.4.1 Critère d'énergie	22
II.4.5 L'intégral de J	23
II.4.5.1 Introduction.....	23
II.4.5.2 Définition.....	23
II.4.5.3 Méthode de BEGLEY-LANDES.....	25
II.4.6 Facteur d'intensité de contraintes	26
II.4.6.1 Description du champ des contraintes a l'extrémité d'une fissure à l'aide du facteur d'intensité des contraintes	26
II.4.6.2 Relation entre le facteur d'intensité des contraintes et l'énergie de Griffith	27
II.4.7 Ténacité.....	28
II.4.8 Comparaison entre la résistance des matériaux et la mécanique de la rupture	29
II.4.9 Approche multi-échelles adoptée en mécanique de la rupture	30
II.5 Approches et critères de rupture.....	30
II.5.1 Approche d'Irwin.....	30
II.5.2 Approche de Dugdale-Barenblatt :	32

II.5.3 Comparaison des corrections de zone plastique	33
II.6 Conclusion	34

CHAPITRE III : ETUDE, CONCEPTION, REALISATIONS ET ESSAI DU DISPOSITIF

III.1 Introduction.....	35
III.2 Cahier de charge fonctionnel	35
III.3 Analyse fonctionnelle	36
III.3.1 Diagramme bête à cornes	36
III.3.2 Diagramme pieuvre	37
III.3.3 Diagramme A-0.....	38
III.4 Solution technique	39
III.4.1 Contrainte technique	46
III.4.2 Définition des éléments	47
III.4.3 Présentation des éléments.....	48
III.4.3.a Bride éprouvette	48
III.4.3.b Mors éprouvette	49
III.4.3.c Tige	49
III.4.3.d Mors lame	49
III.4.3.e Lame	50
III.4.3.f Bride lame	50
III.5 fabrication du dispositif.....	50
III.5.1 usinages.....	50
III.5.2Jauges de contrainte	51
III.5.3 Collage de la jauge.....	51

III.5.4 Pont de Wheatstone :	52
III.5.5 Montage en quart de pont :	53
III.5.6 Caractéristiques du dispositif	53

CHAPITRE IV : MISE A L'EPREUVE DU DISPOSITIF

IV.1 Introduction	54
IV.1.2 L'essai de traction	54
IV.1.3.a Description de la machine de traction	54
IV.1.4.b La machine universelle d'essais IBERTEST mod. ELIB-200E/W	54
IV.2.1 Eprouvettes utilisées pour l'essai de traction	56
IV.2.2 La chaîne d'acquisition	57
IV.2.3 Carte Arduino	57
IV.3 Mise en place du dispositif	59
IV.3.1 Etalonnage du dispositif de déplacement	60
IV.4 Essai de validation pour le dispositif	61
IV.4.1 Déroulement de l'essais	61
IV.4.2 Résultat de l'essai :	61
IV.5 Discussions des résultats obtenus	66
IV.6 Conclusion	68



LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES POLYMERES

Figure I.1 : Constitution des polymères	2
Figure I.2 : Polyaddition.....	3
Figure I.3 : polycondensation	4
Figure I.4 : Exemple du polypropylène (propène), $-(CHCH_3-CH_2)_n-$, (a) représentation du monomère, (b) structure atactique, (c) structure isotactique, (d) structure syndiotactique .	4
Figure I.5 : formation d'une résine époxy réticulée à partir de polymère époxy	5
Figure I.6 : Quelques applications des polymères	8
Figure I.7 : Comportement élastique linéaire représenté schématiquement par un ressort	9
Figure I.8 : Comportement élastique non linéaire	9
Figure I.9 : Comportement plastique parfait	9
Figure I.10 : Comportement visqueux linéaire représenté schématiquement par un amortisseur	10
Figure I.11 : Comportement viscoélastique	10
Figure I.12 : Comportement endommageable.....	10
Figure I.13 : Courbes contrainte-déformation typiques de polymères en traction : 1- polymère fragile ($T < T_g$) - 2- polymère ductile ($T < T_g$) - 3- élastomère ou caoutchouc ($T > T_g$).....	11

CHAPITRE II : NOTION DE LA MECANIQUE DE LA RUPTURE

Figure II.1 : fissure sur un pare-brise.....	17
Figure II.2 : éprouvette de fatigue chargée et déchargée	18
Figure II.3: Les différents types de fissures	19
Figure II.4 : Modes de propagation de la fissure	19
Figure II.5 : rupture fragile	20
Figure II.6 : rupture ductile	21
Figure II.7 : Propagation de la fissure sur une longueur Δa	21
Figure II.8. : définition de l'intégral contour J	23
Figure II. 9 : Variation d'énergie dissipée à déplacement constant.....	24

FigureII.10 : Détermination expérimentale de la courbe (J-d) selon La méthode de BEGLEY et LANDES	25
FigureII.11 : présentation de la fissure.....	26
FigureII.12 : Définitions des modes de sollicitations.....	26
FigureII.13 : Fissure sollicitée en mode I	27
FigureII.14 : Détermination expérimentale de la ténacité.....	29
FigureII.15 : Approche comparée en résistance des matériaux et en mécanique de la rupture	29
FigureII.16 : Approche multi-échelles adoptée en mécanique de la rupture	30
Figure II.17 : Répartition des contraintes élastiques et élasto plastiques dans le plan de la fissure et en aval de son extrémité	31
FigureII.18 : Modèle de Dugdale-Barenblatt.....	32
Figure II. 19: Comparaison des corrections de zone plastique	33

CHAPITRE III : ETUDE, CONCEPTION ET REALISATIONS DU DISPOSITIF

Figure III.1 : disposition des points sur l'éprouvette	35
Figure III.2 : Première idée de conception	39
Figure III.3 : simulations de la 1ere conception	40
Figure III.4 : simulation de la 2éme conception	41
Figure III.5 : simulation de la 3éme conception	42
Figure III.6.a menu de la simulation SolidWorks.....	43
Figure III.6.b : choix du matériau des pièces.....	43
Figure III.6.c : déplacements imposés au dispositif	44
Figure III.6.d : maillage du dispositif	45
Figure III.6.f : simulation du concept final.....	45
Figure III.7: l'éprouvette DENT monté sur le dispositif.....	46
Figure III.8 : sous ensemble Mord-Tige	47
Figure III.9: vue éclatée du dispositif.....	47
Figure III.10.a : Bride éprouvette	48
Figure III.10.b : Mors éprouvette	49
Figure III.10.c : Tige.....	49
Figure III.10.d : Mord lame	49

Figure III.10.e : Lame	50
Figure III.10.f : Bride lame	50
Figure III.11 : jauge de contrainte	51
Figure III.12 : flèche du au déplacement imposé par l'éprouvette	52
Figure III.13 Pont de Wheatstone	52
Figure III.14 : Montage en quart de pont	53

CHAPITRE IV : MIS A L'EPREUVE DU DISPOSITIF

Figure IV.a : éprouvette DENT	56
Figure IV.1 : dimensionnement avec différent longueur d'entaille	56
Figure IV.2 : Chaine d'acquisition « VISHAY MICROMESURE »	57
Figure IV.3 : carte Arduino	58
Figure IV.4 : mise en place du dispositif	59
Figure IV.5 : chaine de mesure	59
Figure IV.6 : courbe d'étalonnage du dispositif	60
Figure IV.7.a : courbe de traction obtenue par la machine	61
Figure IV.7.b : courbe de traction (temps – déplacement) avec l'éprouvette I	62
Figure IV.7.c : courbe de traction (force-déplacement) avec l'éprouvette I	62
Figure IV.8.a : courbe de traction obtenue par la machine pour l'éprouvette II	63
Figure IV.8.b : courbe de traction (temps-déplacement) éprouvette II	63
Figure IV.8.c : courbe de traction (force-déplacement) avec l'éprouvette II	64
Figure IV.9.a : courbe de traction obtenue par la machine pour l'éprouvette III	64
Figure IV.9.b : courbe de traction (temps-déplacement) éprouvette II	65
Figure IV.9.c : Courbe de traction(force-déplacement)	65
Figure IV.10 : phases et points critique de la courbe	66
Figure IV.11 : relation entre la longueur du ligament et Y_B	67



LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAU

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES POLYMERES

Tableau I.1 : Différents types d'homopolymères.....	2
Tableau. I.2 : Différents types des copolymères	3
Tableau I.3 : quelques propriétés du PEHD.....	17

CHAPITRE II : NOTION DE LA MECANIQUE DE LA RUPTURE

Tableau II.1 : ténacité (KIC), résistance à la traction (Rm)et la taille critique de la fissure(ac) ... En fonction de la contrainte appliqué(σ_{∞}) pour certains matériaux [6].....	28
--	----

CHAPITRE III : ETUDE, CONCEPTION ET REALISATIONS DU DISPOSITIF

Tableau III.1 Fonctions et contraintes principales	38
Tableau III.2 : résumé des résultats pour la 1ere simulation	40
Tableau III.3 : résumé des résultats pour la 2ème simulation	41
Tableau III.4 : résumés de la 3ème simulation.....	42
Tableau III.5 : résumés des paramètres de la simulation	45
Tableau III.6 : Différents éléments principale	48

CHAPITRE IV : MISE A L'EPREUVE DU DISPOSITIF

Tableau IV.1 : caractéristiques générale de la machine	55
Tableau IV.2 : dimensions des éprouvettes	57
Tableau IV.3 : valeur de l'étalonnage du dispositif.....	61
Tableau IV.4 : représentation des différentes phases du chargement.....	67
Tableau IV.5 : coordonnées des points B, D, F.....	68



NOMENCLATURE

NOMENCLATURE ET SYMBOLE

K_t : facteur de concentration de contrainte ;

KIC : ténacité ($\text{MPa}\sqrt{m}$) ;

σ_R : contrainte à la rupture (MPa) ;

σ_e : limite élastique en (MPa) ;

r_p : rayon de la zone plastique (mm) ;

K_I : facteur d'intensité de contrainte ($\text{MPa}\sqrt{m}$) ;

ΔW_{ext} : Variations d'énergies appliquées (J) ;

ΔW_{elas} : Variation d'énergies élastique (J) ;

a : longueur de l'entaille (mm) ;

σ : contrainte appliquée (MPa) ou (N/mm^2) ;

G : l'Energie de GRIFFITH (J/m^2) ;

γ_s : l'énergie nécessaire pour créer une surface unité de fissuration (J/m^2) ;

G_{IC} : l'Energie critique (J/m^2) ;

τ_{xy} : contrainte de cisaillement (MPa) ;

B : épaisseur initiale de l'éprouvette (mm) ;

J : taux de restitution d'Energie (J/mm) ;

α : coefficient de la géométrie de la fissure ;

F_Q : force à l'ouverture de la fissure (KN) ;

r_e : rayon de la zone plastique (mm) ;

K_{eff} : facteur d'intensité de contrainte après la correction ;

a_{eff} : longueur d'entaille effectif ;

ρ : zone plastique (model dugdale) (mm) ;

U/B : énergies stockées par unité d'épaisseur (J/mm) ;

T_g : température de transition vitreuse ($^{\circ}\text{C}$) ;

T_f : température de fusion ($^{\circ}\text{C}$) ;

R_m : résistance à la traction (MPa) ;

R_e : limite élastique (MPa) ;



INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

La mécanique de la rupture est le domaine de la mécanique des solides qui traite le comportement des corps fissurés soumis à des contraintes et des déformations.

L'objectif de l'étude est de concevoir et réaliser un dispositif de mesure des déplacements en des points bien définis lors des essais de traction sur des éprouvettes DENT en PEHD. Ceci nous permettra d'éviter l'influence de l'effet des glissements des mors et d'autres effets parasites sur les valeurs des déformations correspondant au déplacement de la traverse de la machine de traction.

Ainsi une conception a été établie pour assurer la mesure du déplacement sur les éprouvettes, en tenant en compte des moyens techniques disponibles au sein de l'université UMMTO.

Le dispositif, une fois conçu et réalisé servira alors au tracé des courbes de traction. L'interprétation de ces dernières permettra de déduire certaines caractéristiques du matériau constituant les éprouvettes.

Le présent mémoire est organisé comme suit :

- Le chapitre I, intitulé « Généralités sur les polymères. » qui est une vue générale sur les polymères, leurs propriétés, structures, application, etc. On s'intéressera plus particulièrement à la description du polyéthylène à haute densité (PEHD).
- Le chapitre II, intitulé « Généralités sur la mécanique de la rupture » qui présente une vue générale sur les caractéristiques de la mécanique de la rupture.
- Le chapitre III, intitulé « conception et réalisation et essais du dispositif » qui est consacré

Dans sa première partie, à l'étude du besoin et à la conception du dispositif à l'aide d'un logiciel de conception assisté par ordinateur nommé SolidWorks, puis dans la deuxième partie, la mise à l'épreuve et résultats obtenus.

On terminera notre étude par une conclusion générale.



CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES POLYMERES

I.1- INTRODUCTION

Les matériaux polymères sont généralement utilisés pour leurs propriétés mécaniques particulières et leur aptitude à être mis en œuvre. Ces qualités sont étroitement liées à leur structure et il est possible, à partir d'une structure moléculaire donnée, d'imaginer la morphologie qui en découle et les propriétés qui s'y rattachent. Ce chapitre a pour objet une présentation des polymères, et en particulier le polyéthylène a haut densité

I.2 Définition d'un polymère

Un polymère est une macromolécule dans laquelle un même motif est périodiquement répétitif, appelé le monomère. De ce fait, on peut faire constituer, des dimères, trimères etc... Par exemple dans le cas du polyéthylène : Monomère : $\text{CH}_2=\text{CH}_2$: Éthylène Polymère : $(-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-)_n$: Polyéthylène. [1]

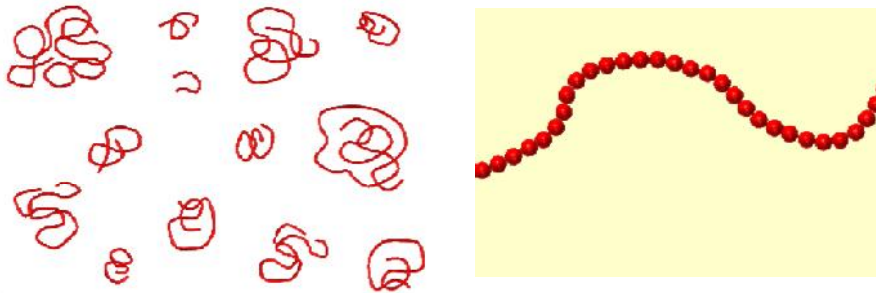


Figure.I.1 : Constitution des polymères

I.3 Différent types de polymères

I.3.1- Homopolymère

Sont composés d'une seule unité structurale récurrente et identique à elle-même. Ils résultent de la polymérisation d'un seul type de monomère

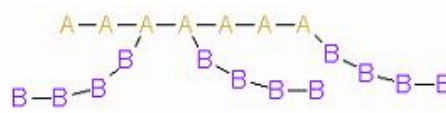
Tableau I.4 : Différents types d'homopolymères[2]

Types	Formes
Les homopolymères Linéaires	
Les homopolymères branchés	
Les homopolymères étoilés	

I.3.2- Copolymères

Sont des polymères qui possèdent plusieurs unités et peuvent se classer dans différentes familles. On parle alors de modes de copolymères : A et B seront deux unités différentes du copolymère. Les modes sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau. I.5 : Différents types des copolymères[2]

Mode	Formes
Le mode statique	A-A-B-A-B-B-B-B-A-A-B-A
Le mode alterné	A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-A
Le mode séquencé	A-A-A-A-A-A-B-B-B-B-B-B-B
Le mode greffé	

I.4 Obtention des polymères

On les obtient de deux façons différentes :

- Polyaddition : on additionne les monomères : il n'y a pas de pertes d'atomes.
- Polycondensation : les monomères réagissent entre eux pour former le polymère et (le plus souvent) une petite molécule.

I.4.1 Polyaddition

Cette réaction concerne les polymères découlant des monomères possédant des fonctions alcène (C=C) (exemple : PE, PS, PVC).

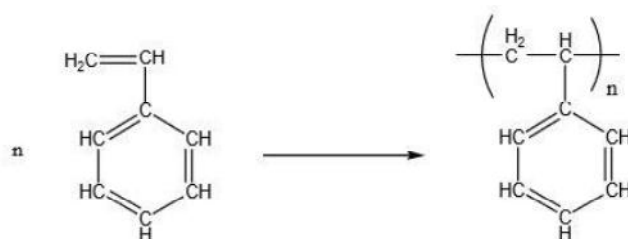


Figure I.9 : Polyaddition

I.4.2 Polycondensation

Cette réaction concerne les autres polymères : les polyesters et les polyamides.

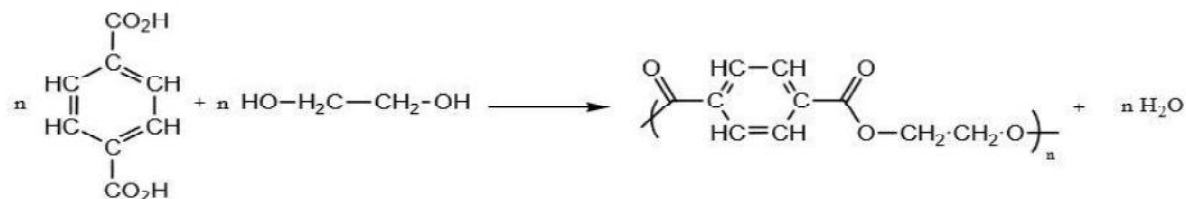


Figure I.10 : polycondensation

I.5 classifications des polymères

Il existe plusieurs modes de classification des polymères que peuvent être classés selon divers critères[3]

I.5.1 Polymères thermoplastiques

Ils sont constitués de macromolécules linéaires ou faiblement ramifiées. A la température ambiante les liaisons faibles entre macromolécules gardent leur cohésion. Lorsqu'on augmente la température, ces liaisons fondent ce qui permet la mise en forme ou le recyclage du matériau. Selon la rigidité moléculaire, les mouvements des molécules sont plus ou moins faciles. Plus les interactions entre groupements seront fortes, plus la structure du polymère tendra à s'organiser.

On distingue ainsi trois structures pour les macromolécules à température ambiante. Les structures atactique, isotactique et syndiotactique.

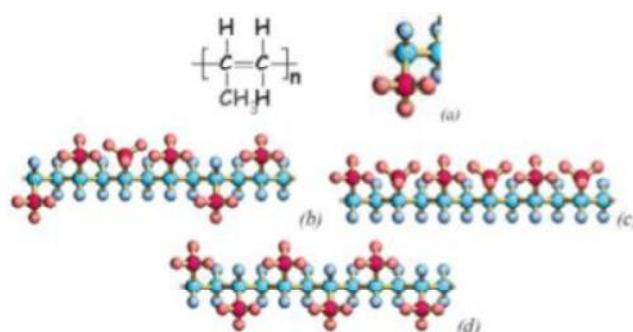


Figure.I.6 : Exemple du polypropylène (propène), $-(CHCH_3-CH_2)_n-$, (a) représentation du monomère, (b) structure atactique, (c) structure isotactique, (d) structure syndiotactique

Ce polymère présente certaines propriétés intéressantes :

- très grande transparence, très limpide avec un aspect brillant,
- propriété optique exceptionnelle (transmission lumineuse supérieure à celle du verre,

transparence, limpidité, brillance)

- excellente résistance aux agents atmosphériques,
- excellente tenue à la corrosion,
- légèreté : densité de 1,19 g/cm³ (beaucoup plus léger que le verre).
- La contraction volumique lors de la polymérisation peut atteindre 21 %.
- Dureté Knoop de 18 à 20.
- Résistance à la traction de 60 Mpa avec un module de Young de 2,4 Gpa.

I.5.2 Polymères thermodurcissables

Ces polymères sont constitués de réseaux à mailles serrées. On peut les fabriquer à base de polymères thermoplastiques. Sous l'effet de la chaleur ou en employant un catalyseur, ils forment de nombreuses liaisons covalentes entre chaînes, cette réaction est appelée la réticulation de la résine. Ils durcissent et deviennent alors très rigides. Les ponts entre chaînes ne pourront plus être « fondus » en augmentant la température, ces polymères ne sont pas recyclables. Exemples, la résine époxy, résine polyuréthanes.

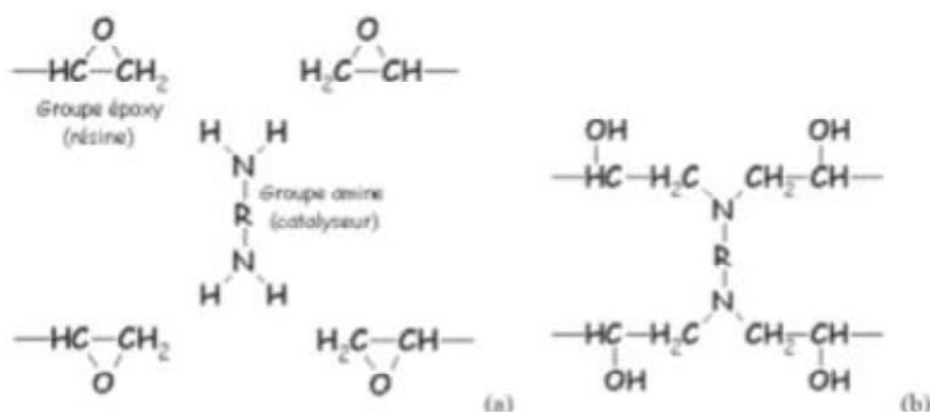


Figure.1.7 : formation d'une résine époxy réticulée à partir de polymère époxy

I.5.3 Elastomères

Ces polymères sont constitués de réseaux à mailles larges, en outre à température ambiante les liaisons faibles sont fondues. Comme les polymères thermodurcissables, les ponts entre chaînes se forment sous l'effet de la chaleur ou en employant un catalyseur, mais ces ponts restent rares. Ces polymères ne sont pas recyclables. Le caoutchouc naturel par exemple est un polymère linéaire de l'isoprène. Il faut charger ce polymère en soufre puis lui appliquer un traitement thermochimique pour que se forment des ponts entre

chaînes (pont S). Ce traitement s'appelle la vulcanisation. Alors le caoutchouc devient un élastomère c'est-à-dire un matériau capable de très grandes déformations viscoélastiques.

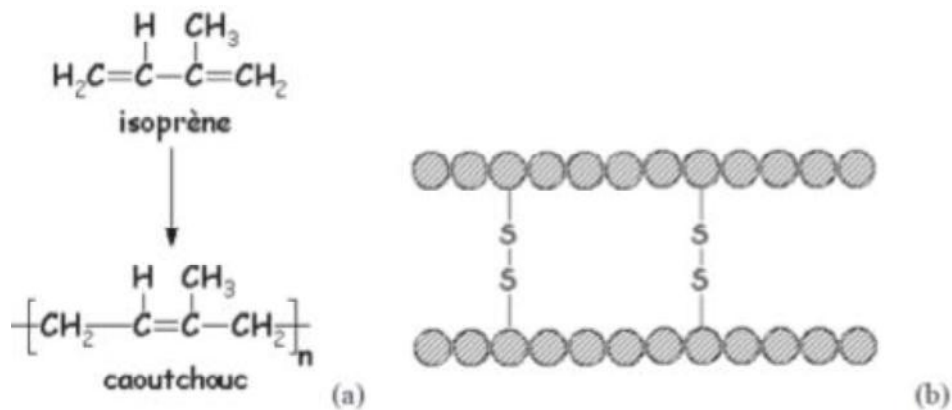


Figure.1.8 : le caoutchouc naturel, un polymère de l'isoprène, (b) pont (S-S) entre chaînes assurant la cohésion de l'ensemble en l'absence de liaisons faibles, dans le caoutchouc vulcanisé.

I.6 Selon l'origine

On distingue les polymères naturels, les polymères Artificiels et les polymères Synthétiques.

I.6.1 Les polymères naturels

Issus des règnes végétal, animal ou minéral leur cout économie et le rôle qu'ils jouent dans l'industrie leurs a assuré une place de premier choix depuis une trentaine d'années.[4]

Exemples :

- Les polysaccharides (cellulose, amidon...).
- Les protéines (la laine, la soie ...).
- Le caoutchouc naturel...

I.6.2 Les polymères artificiels

Sont obtenue par modification chimique de polymères naturels de façon à transformer certaines de leurs propriétés.

Exemples :

- les esters cellulosiques (nitrocellulose, acétate de cellulose ...etc.).
- ébonite (caoutchouc fortement réticulé par le soufre).

I.6.3 Les polymères synthétiques

Les molécules monomères qui permettent de les obtenir n'existent pas dans la nature. Cependant, on peut remarquer que les structures réalisées par synthèse sont souvent proches de celles des polymères nature[5]

I.6.4 Selon leur nature

I.6.4.a Polymères minéraux

Ils sont constitués soit de chaînes renfermant un seul corps simple : diamant, graphite, phosphore, soufre...ou de chaînes renfermant plusieurs hétéroatomes : (silicates acides polyphosphoriques, chlorure de polyphosphonitrile).[5]

I.6.4.b Polymères organiques

C'est la classe la plus riche comme : les polydiènes, les polyacryliques, les polyamides, les polyvinyliques.

I.6.4.c Polymères mixtes

Doués de propriétés intéressantes dont une bonne résistance thermique (~300°C – 350°C) comme les silicones.

I.9 L'intérêt des polymères dans notre vie

Les polymères jouent un rôle très intéressant à cause de :

- Leurs propriétés, thermiques, optiques, électriques et chimiques.
- Propriétés mécaniques et élastiques intéressantes.
- Abondance et disponibilité à coût réduit.
- Possibilité d'avoir des matériaux de toutes les formes, de toutes les épaisseurs.
- Taux de vieillissement faible en fonction du temps.
- Flexibilité et légèreté.

I.9.1 Applications des polymères

Les polymères sont fortement utilisés dans :

- l'emballage des produits alimentaires, emballage de transport,

- les secteurs du bâtiment,
- les secteurs de l'automobile, l'aéronautique et les bateaux,
- l'industrie de l'électroménager, du textile, de l'électricité et de l'agriculture.



Figure.I.11 : Quelques applications des polymères

I.10 comportement mécanique des polymères

I.10.1 Propriétés mécanique des polymères

Le comportement mécanique d'un matériau polymère à l'état solide peut présenter différents types de composantes. La plus connue est l'élasticité. Elle se manifeste pour la plupart des matériaux en petites déformations, typiquement moins de 1 % pour les matériaux. Dès que l'on soumet un matériau plastique à de plus grandes déformations, son comportement mécanique peut présenter de la plasticité et/ou de l'endommagement (inélasticité). L'éventuelle viscosité du matériau peut en revanche se manifester dès les petites déformations. Dès que l'on sort du cadre de l'élasticité linéaire on parle de " non linéarité du comportement mécanique ". On peut ainsi traiter de viscoélasticité, viscoplasticité, viscoélastoplasticité, plasticité avec endommagement, élasticité non linéaire, etc.

La composante visqueuse du comportement est responsable de la sensibilité de la réponse mécanique à la vitesse de la sollicitation ou au temps d'application de la sollicitation mécanique. [6]

I.10.1.a Elasticité

Comportement réversible sans dissipation d'énergie, i. e. l'énergie fournie pour déformer le matériau est totalement restituée au déchargement. Pour les caoutchoucs et élastomères le comportement élastique peut être non linéaire aux grandes déformations, typiquement au-delà de 20 % de déformation. [6]

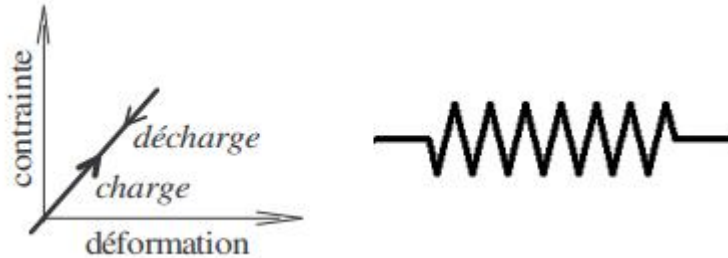


Figure.I.12 : Comportement élastique linéaire – représenté schématiquement par un ressort

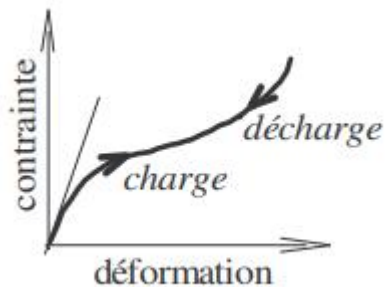


Figure.I.13 : Comportement élastique non linéaire

I. 10.1.b Plasticité [5]

Comportement irréversible avec dissipation d'énergie mécanique ne dépendant pas de la vitesse de sollicitation ou de sa durée d'application. Il y a une déformation résiduelle lorsque la sollicitation mécanique est supprimée.

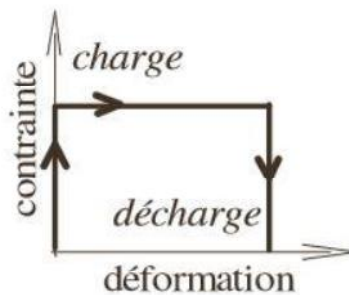


Figure.I.14 : Comportement plastique parfait

I. 10.1.c Viscosité

Comportement de type fluide avec dissipation d'énergie mécanique. L'application d'une contrainte induit une vitesse de déformation et réciproquement. [6]

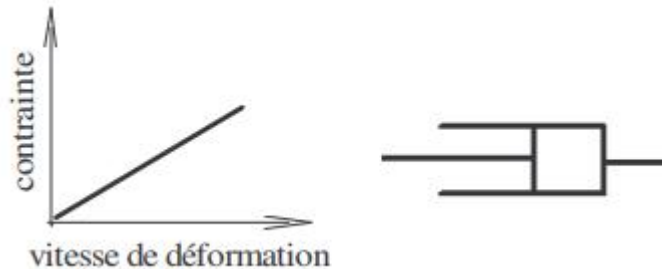


Figure.I.15 : Comportement visqueux linéaire représenté schématiquement par un amortisseur

I.10.1.d Viscoélasticité

Comportement réversible avec dissipation d'énergie mécanique dépendant de la vitesse de sollicitation ou de sa durée d'application. [6]

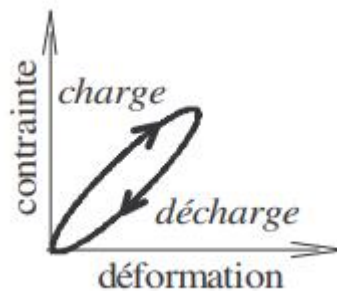


Figure.I.16 : Comportement viscoélastique

I.10.1.e Viscoplasticité

Comportement irréversible avec dissipation d'énergie mécanique dépendant de la vitesse de sollicitation ou de sa durée d'application. [6]

I.10.1.f Endommagement

La sollicitation mécanique engendre une variation des modules d'élasticité, voire de l'anisotropie. [6]

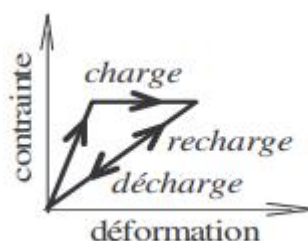


Figure.I.17 : Comportement endommageable

I.10.2 Propriétés Thermique des polymères

Les polymères thermoplastiques, à température ambiante, sont proches de leur température de ramollissement (T_g , T_f) et leur comportement mécanique est sensiblement affectés par la vitesse de sollicitation et la température. Ceci est lié à la thermo-activation et à la coopérativité des mouvements moléculaires. Tous les polymères thermoplastiques se rigidifient à basses température et retrouvent un comportement fragile. Une relativement basse température correspond à une sollicitation rapide, une relativement haute température correspond à une vitesse de sollicitation lente il s'agit de l' équivalence temps-température.[6]

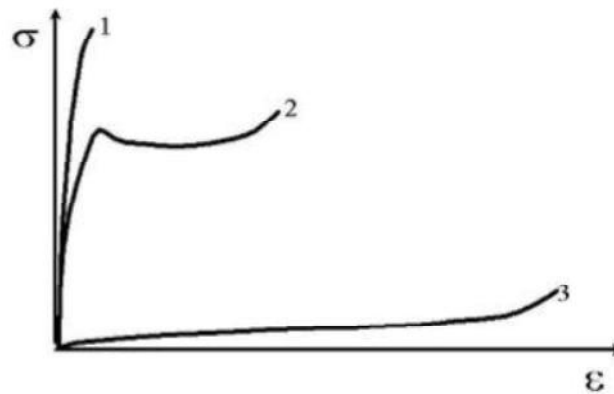


Figure.I.18 : Courbes contrainte-déformation typiques de polymères en traction : 1- polymère fragile ($T < T_g$) - 2- polymère ductile ($T < T_g$) - 3- élastomère ou caoutchouc ($T > T_g$).

Les polymères thermodurcissables ont un comportement mécanique semblable aux polymères thermoplastiques en dessous de leur température de ramollissement. Cependant, à moins de n'être que très faiblement réticulés, ils ne subissent pas de fort ramollissement lorsque la température augmente. Les propriétés mécaniques ne seront significativement affectées aux hautes températures que par la dégradation chimique du réseau macromoléculaire.

I.10.3 Propriétés physiques des polymères

I.10.3.a La masse volumique

La masse volumique des matières plastiques est peu élevée. La légèreté des polymères est sans aucun doute une des qualités qui a le plus largement contribué à leur diffusion.

En ce qui concerne le rapport (résistance à la traction / masse volumique), certains polymères sont en fait supérieurs bien à des matériaux métalliques.

La faible masse volumique des plastiques est due au faible poids atomique des principaux atomes de leurs chaînes (principalement l'hydrogène et le carbone).

I.11 Le polyéthylène haute densité (PEHD)

I.11.1 Propriétés des polyéthylènes haute densité

Les propriétés des polyéthylènes dépendent essentiellement de trois paramètres structuraux à savoir : la cristallinité, la masse moléculaire et la distribution des masses moléculaires. [7]

I.11.2 Le taux de cristallinité

Le taux de cristallinité est étroitement dépendant de la structure moléculaire. Il est faible dans le cas du polyéthylène basse densité radicalaire (PEBDR), du à sa structure branchée qui empêche pratiquement les molécules de se serrer les une contre

les autres, et est élevé dans le cas du PEHD homopolymère, du à la structure linéaire de ses chaînes qui se replient facilement pour former des cristallites. [7]

I.11.3 La masse moléculaire

D'une manière générale, plus les chaînes polymériques sont longues (masse moléculaire grande) plus la viscosité à l'état fondu est élevée, la mise en œuvre est plus difficile et les propriétés mécaniques sont meilleur. Dans la pratique, la détermination de l'indice de fluidité à chaud (IF) du PE, qui est inversement proportionnel à la viscosité, donne une estimation sur sa masse moléculaire.

I.11.4 Propriétés mécaniques :

La rigidité et la dureté du PEHD augmentent avec la densité, et donc avec la cristallinité. La rigidité est mesurée au moyen de module d'élasticité qui varie d'environ 1600 MPa (dans le cas du PEHD) alors que la dureté (Shore D) varie d'environ 60. [7]

Le PE est un thermoplastique résistant au choc et à l'impact, même à des basses températures ($T < 0^{\circ}\text{C}$), due à sa faible température de transition vitreuse $\ll T_g \gg$ (jusqu'à -110°C). Cette résistance est d'autant meilleure que :

- La masse molaire est plus élevée.
- La cristallinité est plus faible.
- La distribution des masses moléculaires est plus large.

Le touché paraffinique du PE lui assure un faible coefficient de friction. Sa résistance à l'abrasion augmente avec la masse moléculaire et la cristallinité. Elle est remarquable pour les PEHD de masse moléculaire très élevée

I.11.5 Propriétés thermiques

Le point de fusion du PEHD se situe entre 120 et 136°C. La conductivité thermique et le coefficient de dilatation thermique linéaire sont fonction du taux de cristallinité, ils sont plus élevés pour les homopolymères que les copolymères.

I.11.6 Propriétés chimiques

Propriétés chimiques du PE vis-à-vis des agents chimiques sont déterminées par leur structure paraffinique apolaire, par son caractère cristallin et sa très haute masse moléculaire. Il résiste bien aux acides forts (les acides inorganiques) et les bases fortes (les solutions salines), mais il est attaqué par les acides oxydants (les acides nitriques concentrés)

I.11.7 Propriétés électriques

Le PE présente d'excellentes propriétés d'isolation électrique quelles que soient sa masse moléculaire et sa cristallinité. Sa faible permittivité relative et son faible facteur de dissipation diélectrique font de lui un matériau de choix en isolation électrique. [7]

Ci-dessous, quelques propriétés du PEHD :

Tableau I.2 : quelques propriétés du PEHD [7]

Propriétés	Méthode d'essais	Unités	PEHD
Physiques -Masse volumique. - Taux de cristallinité. - Masse molaire moyenne.		g/cm ³ % g/mol	0.925-0.956 75 – 80 10000
Mécaniques - Contrainte à la Rupture. - Module de traction. - Module de flexion. - Dureté (shore).	BS.2782 : 301.E	MPa MPa MPa Echelle D	13 – 25 200 – 300 60 – 400 41 - 60
Thermiques - T° de fusion. - T° Vicat. - Tg. - Plage de T° de résistance. - Retrait au moulage	BS.2782 : Pt.2 ASTM : D955-51	°C °C °C °C %	120 – 136 85 – 87 Environ –110 De – 70à + 60 1.5 – 3.5

I.11.8 Avantages et Inconvénients du PEHD

I.11.8.a Avantages[7]

- facilité de mise en œuvre.
- Excellentes propriétés d'isolation électrique.
- Résistance aux chocs.
- Grande inertie chimique.
- Qualité alimentaire
- Perte du caractère perméable des PE que ce soit à l'eau, mais aussi à l'air et aux hydrocarbures.

I.11.8.b Inconvénients

- Sensibilité aux UV en présence d'oxygène.
- Sensibilité à la fissure sous contrainte.
- Mauvaise tenue à la chaleur.
- Collage important

I.11.9 Domaine d'utilisations du PEHD

Le polyéthylène haute densité (PEHD) est utilisé dans :

- tuyaux de transport du gaz et l'eau.
- fabrication canoës-kayaks.
- objet rigides tels que les bouteilles et flacons, boîtes de conservation.

I.12 Conclusion

Dans ce chapitre, on constate que les polymères sont des matériaux très demandés dans divers domaines, cela à cause de leurs différentes propriétés (physiques, chimiques et mécaniques) qui répondent aux exigences de l'industrie, telles que leurs poids très légers et leurs coûts de revient.

Ce chapitre nous a permis de connaître les différents types de polymères, les procédés chimiques qui permettent de les obtenir, et certaines de leurs caractéristiques.

Enfin, nous sommes intéressés aux propriétés du polymère dit polyéthylène haute densité (PEHD), qui compose nos éprouvettes d'essai.



CHAPITRE II : NOTION DE LA MECANIQUE DE LA RUPTURE

II.1 Introduction

La rupture est un problème auquel l'homme devra faire face aussi longtemps qu'il construira des édifices ou fabriquera des structures. Ce problème est de plus en plus crucial avec le développement, lié aux progrès technologiques, de structures complexes. Les avancées dans la connaissance de la mécanique de la rupture permettent aujourd'hui et plus précisément depuis le milieu du 20e siècle, de mieux prévenir le risque de rupture.

Cependant, beaucoup de mécanismes de rupture sont encore mal connus notamment lorsqu'on utilise de nouveaux matériaux ou de nouveaux procédés. Le coût des ruptures catastrophiques représente, d'après les études économiques réalisées depuis le début des années 80, près de 4% du PNB dans les pays industriels développés. [8]

Dans ce chapitre nous allons présenter les aspects et caractéristiques de la mécanique de rupture.

II.2 catégories de rupture des structures :

II.2.1 Causes de l'apparition de la rupture

Deux facteurs principaux à considérer :

- la négligence dans la conception, dans la construction ou dans l'utilisation de la structure
- l'utilisation d'un nouveau matériau ou d'un nouveau procédé, qui peut provoquer une rupture inattendue.

Dans le premier cas, le risque de rupture peut être évité dès lors que la structure est bien dimensionnée avec un choix de matériaux adaptés.

Dans le deuxième cas, la prévention de la rupture est plus délicate. [8]

II.2.2 Influence des propriétés des matériaux sur la rupture :

En mécanique de la rupture, le choix du concept varie selon le comportement physique du matériau.

La classification usuelle de ces concepts est la suivante :

- La mécanique linéaire de la rupture (MLR) pour les matériaux dont le comportement est essentiellement linéaire élastique, tels les alliages d'aluminium à précipitation durcissante, les aciers à haute limite élastique, les céramiques...
- La mécanique élastoplastique de la rupture (MEPR), pour les matériaux ductiles tels les aciers à faible ou moyenne résistance, les inox ou aciers austénitiques, les alliages de cuivre...
- La mécanique dynamique de la rupture (MDR), linéaire ou non linéaire, pour les métaux sollicités à grandes vitesses de déformation – dans ces conditions, le comportement peut aussi être viscoplastique.
- La mécanique viscoélastique de la rupture (MVER), essentiellement pour les polymères sollicités à des températures au-dessous de la température de transition vitreuse.
- La mécanique viscoplastique de la rupture (MVPR) pour les polymères au-dessus de la température de transition ou encore les métaux et les céramiques sollicités à haute température. [8]

II.3 La fissure :

Les fissures font partie intégrante de notre quotidien. Toutes les pièces mécaniques en contiennent, et ce à diverses échelles.

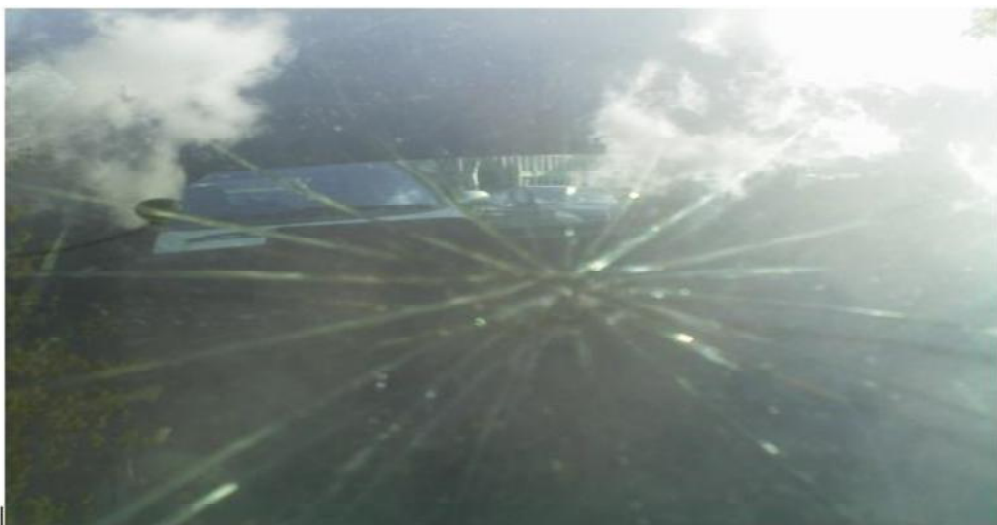


Figure.II.1 : fissure sur un pare-brise

Cependant, la plupart des fissures sont invisibles à l'œil nu.

Les structures soumises à des chargements cycliques sont inévitablement fissurées

En-dessous d'une certaine taille critique, la fissure se propage « lentement », de manière progressive et stable, au cours des cycles de chargement ;

Une fois la taille critique atteinte, la fissure se propage brutalement de manière instable, ce qui conduit généralement à la rupture. [9]

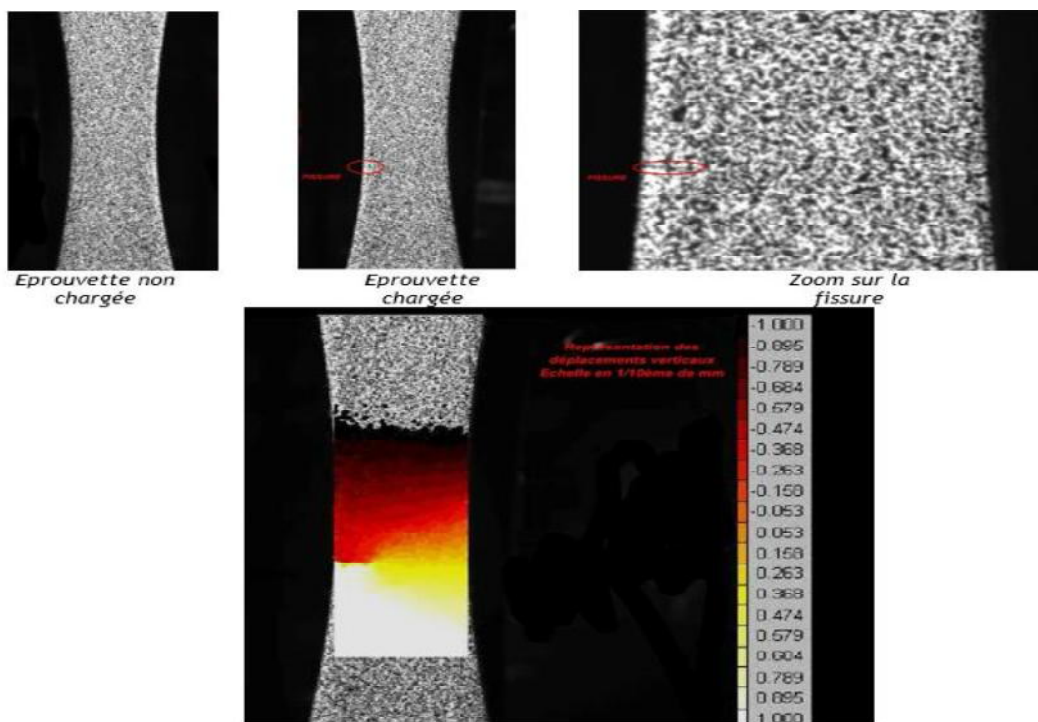


Figure.II.2 : éprouvette de fatigue chargée et déchargée

II.3.1 Modélisation de la fissure

Une fissure est une petite fente dans un solide. Cette fente peut apparaître à la surface de la pièce (fissure superficielle), se trouver complètement à l'intérieur et être donc invisible depuis l'extérieur (fissure interne), ou traverser complètement la pièce (fissure traversante). [9]

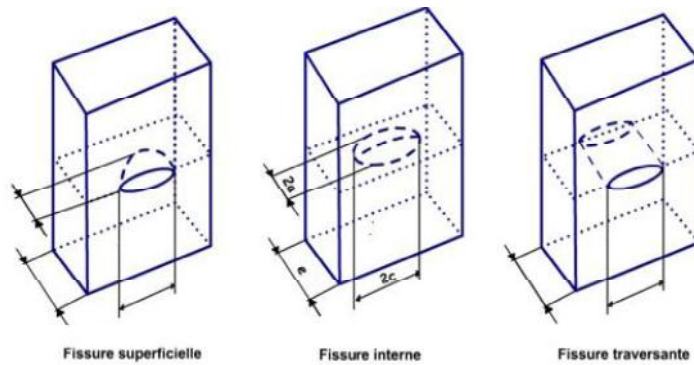


Figure II.3: Les différents types de fissures

II.3.2 Les modes de propagation des fissures

Mode I (mode par ouverture) : les surfaces de la fissure se déplacent perpendiculairement au plan de fissure.

Mode II (glissement de translation) : les surfaces de la fissure se déplacent dans le plan de fissure et dans une direction perpendiculaire au front de fissure,

Mode III (glissement de rotation) : les surfaces de la fissure se déplacent dans le plan de fissure et dans une direction parallèle au front de la fissure.

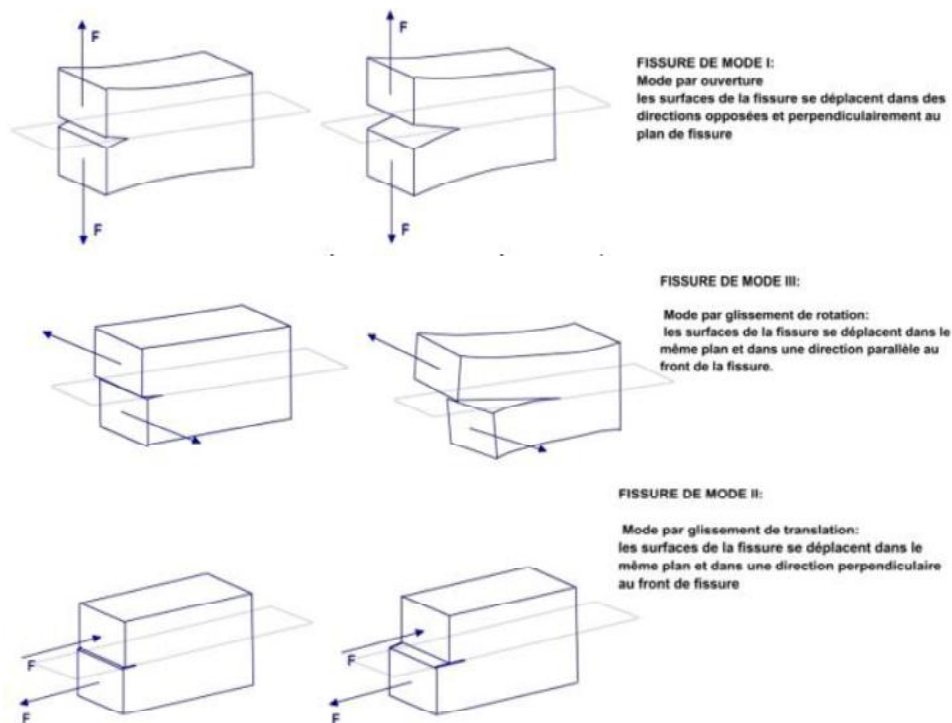


Figure II.4 : Modes de propagation de la fissure

Le mode I est souvent le plus critique et les études théoriques sont donc souvent limitées à ce mode de propagation. [9]

II.4 Caractérisation de la rupture

Il existe deux types de rupture : ductile ou fragile, selon le matériau présente ou non un phénomène de plasticité accompagnant la rupture.

II.4.1 Rupture fragile

La fragilisation est l'aptitude à se briser sous un effort. Cette propriété est indépendante de la résistance. Le comportement fragile se caractérise par une rupture absorbant très peu d'énergie et présentant très peu de déformation plastique durant la propagation en donnant un aspect plutôt lisse de la rupture. La ténacité du matériau peut alors être représentée par un paramètre critique unique (K_{Ic} ou G_c) comme suggéré par la mécanique de la rupture linéaire élastique. [10]



Figure.II.5 : rupture fragile

II.4.2 Rupture ductile

Pour un matériau ductile, l'augmentation progressive de la déformation plastique en tête de la fissure, provoque une augmentation puis une stabilisation de sa résistance à la fissuration. La ténacité du matériau ne peut plus alors être représentée par un paramètre critique unique (K_{Ic} ou G_{Ic}), mais elle peut l'être par l'une de ses courbes R (K_R , G_R ou J_R).

K_C et G_C représentent respectivement le facteur d'intensité de contrainte critique et le facteur de restitution de l'énergie critique.[10]

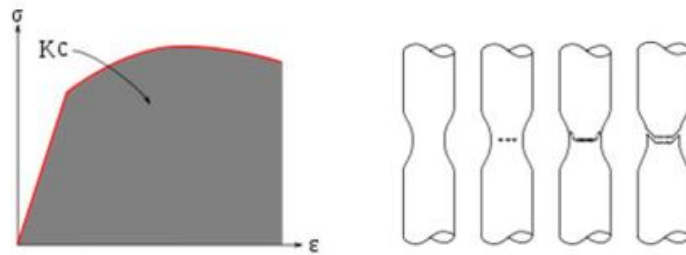


Figure.II.6 : rupture ductile

II.4.3 Facteur de concentration de contraintes

Le facteur amplifie la contrainte, c'est à dire le rapport $K_t=2\sqrt{a/\rho}$, est appelé le facteur de concentration de contrainte. Il peut être très grand pour des entailles aiguës dont la forme s'apparente à des fissures.[12]

II.4.4 ENERGIE DE GRIFFITH

Dans un matériau, une extension Δa d'une fissure de longueur a s'accompagne des variations d'énergie suivantes :

$$\Delta W_{ext} = \Delta W_{elas} + \Delta U$$

Avec :

ΔW_{ext} : Variations d'énergies appliquées (due aux forces extérieures)

ΔW_{elas} : Variation d'énergies élastique (emmagasinée)

ΔU : Energie dépensée lors de la propagation de la fissure sur la longueur Δa .

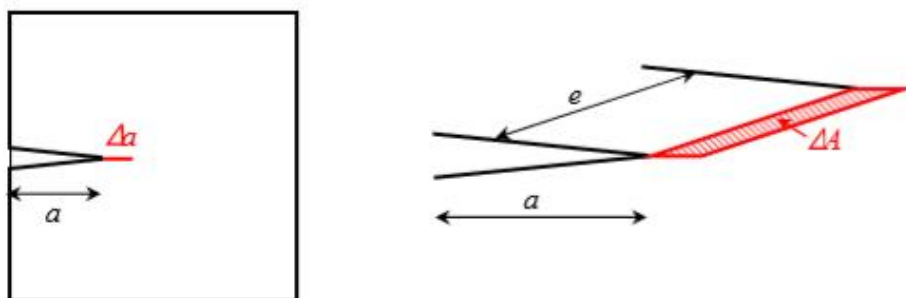


Figure.II.7 : Propagation de la fissure sur une longueur Δa

Pour la théorie initiale de Griffith qui s'applique à une rupture fragile seulement, l'énergie ΔU correspond à l'énergie nécessaire pour créer de nouvelles surfaces dans le matériau ($\Delta U = \Delta W_{\text{sép}}$ avec $\Delta W_{\text{sép}}$ l'énergie de séparation des surfaces).[12]

On appelle ensuite énergie de Griffith G la quantité ΔU rapportée à l'unité de surface :

$$G = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta U}{\Delta A} = \frac{\partial U}{\partial A}$$

Où $\Delta A = e \cdot \Delta a$ est la surface fissurée lors de la propagation de la fissure sur la longueur Δa dans une éprouvette d'épaisseur e . Généralement, on suppose l'épaisseur unité ($e = 1$) si bien que l'expression de l'énergie G rapportée à l'unité d'épaisseur devient :

$$G = \lim_{\Delta a \rightarrow 0} \frac{\Delta U}{\Delta a} = \frac{\partial U}{\partial a}$$

Si on considère à présent γ_s l'énergie spécifique de création de surface, la formule précédente devient :

$$G = \frac{\partial U}{\partial a} = 2\gamma_s$$

Comme d'après la relation suivante :

$$G = \frac{\pi \sigma^2 a}{E}$$

La contrainte à rupture σ_R est donnée par :

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{2E\gamma_s}{\pi a}}$$

II.4.4.1 Critère d'énergie [12]

Lorsque la variation d'énergie élastique est supérieure à la variation d'énergie superficielle il y a propagation de la fissure ce qui correspond à une diminution de l'énergie libre du système. Dans une plaque de dimension infinie en matériau idéalement élastique contenant une fissure, celle-ci se propage lorsque :

$$\sigma = \sigma_R = \sqrt{\frac{2E\gamma_s}{\pi a}}$$

$2\gamma_s$ Correspond à l'énergie nécessaire pour créer une surface unité de fissuration. Il s'agit en fait d'une énergie critique que l'on note : G_{IC} en J/m^2

On peut donc réécrire comme suit :

$$\sigma = \sigma_R = \sqrt{\frac{2G_{IC}}{\pi a}}$$

II.4.5 L'intégral de J [13]

II.4.5.1 Introduction

L'intégral J (intégrale curviligne) représente un moyen de calculer le taux de restitution de l'énergie de déformation ou de travail (énergie) par unité de surface de zone rompue au sein d'un matériau.

Le concept théorique de l'intégrale-J a été développé, de façon indépendante, en 1967 par Tcherepanovo et en 1968 par Jim Rice.

II.4.5.2 Définition

L'intégrale-J est équivalente au taux de restitution de l'énergie de déformation d'une fissure dans un solide soumis à une charge constante. Cela est vrai, dans des conditions quasi statiques, tant pour les matériaux linéairement élastiques que pour les échantillons expérimentés à petite échelle en passe de céder en front de fissure. En utilisant les résultats des travaux d'Shelby, Tcherepanovo et Rice ont défini une intégrale de contour appelée intégrale J, caractérisant le taux de restitution d'énergie d'une structure contenant une fissure, lors de l'avancée de celle-ci. Dans le cas particulier d'un problème plan, L'intégral J introduit par Rice est défini par la relation avec les notions de la figure suivante :

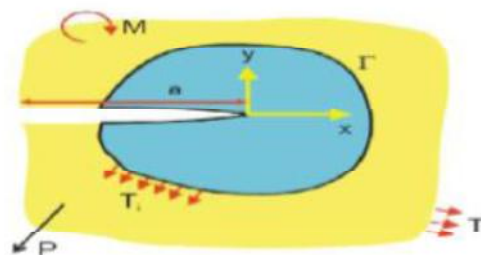


Figure II.8. : définition de l'intégral contour J

$$J = \int_{\Gamma} (W dy - T \frac{du}{dx} ds)$$

- Γ : est un contour passant dans la matière et entourant le fond de fissure en partant de la lèvres inférieure et finissant sur la lèvres supérieure
- X_1 et X_2 sont les coordonnées du point M du contour par rapport au fond de fissure.
- ds : est l'élément curviligne en M du contour.
- W : est la densité d'énergie de déformation définie par : $W = \int_0^{\epsilon} \sigma_{ij} d\epsilon_i$
- T : est le vecteur force agissant sur ds en M.

Rice a montré en outre que cette intégrale dans le cas d'un matériau à comportement élastique (linéaire ou non) représente le taux de restitution d'Énergie

$$J = G = - \frac{dP}{B da} = \frac{K_I^2}{E}$$

$$J = \frac{K_I^2}{E} \quad \text{: en contrainte planes}$$

$$J = \frac{K_I^2(1-\nu^2)}{E} \quad \text{: en déformations planes}$$

L'intensité des contraintes et des déformations, dans la singularité élastoplastique est donc caractérisée par l'intégrale J, qui joue de ce fait le même rôle que K en mécanique linéaire élastique. Rice a ensuite établi que l'intégrale J pouvait être reliée au taux d'énergie dissipée Figure (II.9) par la relation suivante :

$$J = - \frac{1}{B} \left(\frac{du}{da} \right) \quad \text{à déplacement constant}$$

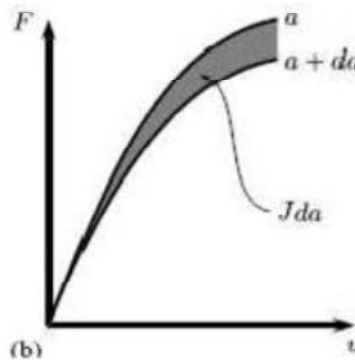


Figure.II. 9 : Variation d'énergie dissipée à déplacement constant

II.4.5.3 Méthode de BEGLEY-LANDES

J. Rice a montré que l'intégrale J peut être reliée au taux d'énergie dissipée par la relation suivante :

$$J = -\frac{1}{B} \left(\frac{du}{da} \right)$$

A partir de cette relation, BEGLEY et LANDES ont proposé une méthode expérimentale pour déterminer ce paramètre J [13].

Celle-ci nécessite l'utilisation de plusieurs éprouvettes identiques possédant des longueurs de fissure différentes. La détermination de J passe par les étapes suivantes (Figure II.10) :

- A partir de l'aire sous la courbe « force-déplacement des points d'applications de la Charge », on détermine pour chacune des éprouvettes de longueur de fissure (a), les énergies stockées par unité d'épaisseur (U/B) correspondant à différents déplacements (d).

- Cela permet de tracer ensuite les courbes U/B = f(a) correspondant aux déplacements choisis d (d1, d2, ...). Ces courbes sont, en première approximation, des droites. J pour les différentes valeurs de d, correspond selon ces courbes à la pente car :

$$J = -\frac{1}{B} \left(\frac{du}{da} \right)$$

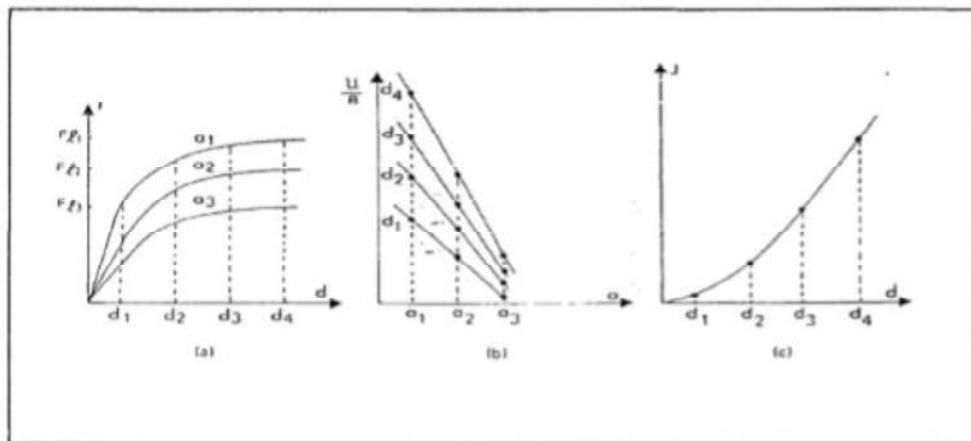


Figure.II.10 : Détermination expérimentale de la courbe (J-d) selon La méthode de BEGLEY et LANDES

II.4.6 Facteur d'intensité de contraintes [12]

Le facteur d'intensité de contrainte K caractérise la sévérité des contraintes au voisinage du fond de fissure. Il est utilisé comme tous les autres critères pour quantifier une possibilité de propagation instable qui est à éviter. En mode I, il est donné par la formule suivante :

$$K_I = \alpha \sigma^\infty \sqrt{\pi a}$$

Où α est un coefficient géométrique dépendant des formes de la fissure et de la structure.

Dans le cas le plus simple, où la fissure est débouchant dans une plaque de dimension infinies α prend la valeur de 1.

$$K_I = \sigma^\infty \sqrt{\pi a}$$

II.4.6.1 Description du champ des contraintes à l'extrémité d'une fissure à l'aide du facteur d'intensité des contraintes [12]

Lorsqu'un corps fissuré est sollicité par un champ de force il se produit au voisinage de la fissure une très grande concentration de contraintes, dans ces conditions qui représentent d'un point de vue pratique la réalité des pièces et structures. Les théories de l'élasticité permettent d'exprimer la contrainte proche du front de fissure par une série de Taylor en coordonnées polaires.

Dans l'approche de Westergaard, ces champs asymptotiques sont décrits et exprimés à l'aide des facteurs d'intensité des contraintes, K_I , K_{II} , K_{III} (selon le mode de sollicitation considéré - mode I, II ou III)

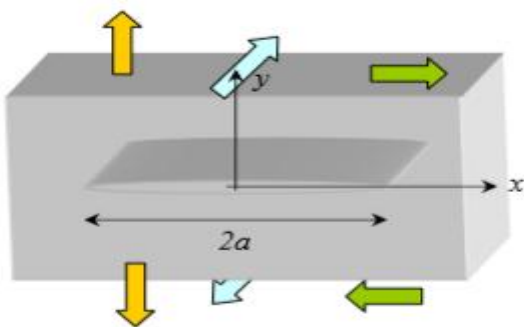


Figure.II.11 : Définitions des modes de sollicitations

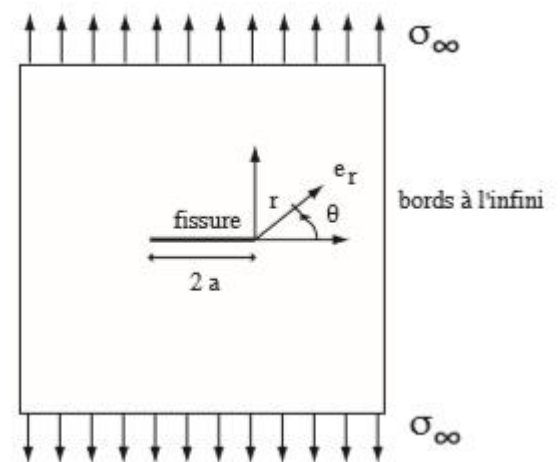


Figure.II.12 : présentation de la fissure

La Description du champ des contraintes à l'extrémité d'une fissure par une série de Taylor en coordonnées polaires s'écrit :

$$\text{Mode I : } \begin{cases} \sigma_{xx} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} (1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2}) \\ \sigma_{yy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} (1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2}) \\ \tau_{xy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \end{cases}$$

$$\text{Mode II : } \begin{cases} \sigma_{xx} = \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} (2 + \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2}) \\ \sigma_{yy} = \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \\ \tau_{xy} = \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} (1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2}) \end{cases}$$

$$\text{Mode III : } \begin{cases} \sigma_{xx} = -\frac{K_{III}}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \\ \sigma_{yy} = \frac{K_{III}}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \end{cases}$$

II.4.6.2 Relation entre le facteur d'intensité des contraintes et l'énergie de Griffith

Nous allons plus particulièrement étudier le cas d'une fissure élastique sollicitée en mode I.

La Relation entre le facteur d'intensité des contraintes et l'énergie de Griffith s'exprime par :

En déformations planes : $G_I = \frac{K_I^2}{E} (1 - \nu^2)$

En contraintes planes : $G_I = \frac{K_I^2}{E}$

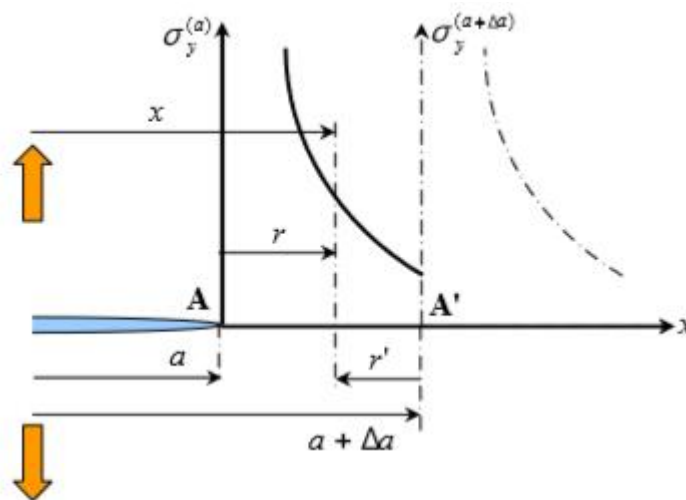


Figure.II.13 : Fissure sollicitée en mode I

II.4.7 Ténacité

La ténacité fait partie de la carte d'identité du matériau au même titre que son module d'élasticité ou encore sa limite d'élasticité. À ce titre, elle revêt un caractère dimensionnant et s'avère être, dans bien des cas, un critère de choix des matériaux pour une application donnée, Elle est définie par :

$$K_{IC} = \alpha \cdot \sigma^\infty \cdot \sqrt{\pi \cdot a_c}$$

Le tableau suivant donne des valeurs de taille critique de fissure pour quelques matériaux en fonction de la contrainte appliquée [11]

Tableau II.1 : ténacité (K_{IC}), résistance à la traction (R_m) et la taille critique de la fissure (a_c)
En fonction de la contrainte appliquée (σ^∞) pour certains matériaux [11]

	K_{IC} (MPa.m ^{1/2})	R_m (MPa)	a_c (mm)		
			$\frac{\sigma^\infty}{R_e} = 1$	$\frac{\sigma^\infty}{R_e} = 0.5$	$\frac{\sigma^\infty}{R_e} = 0.33$
TA ₆ V	85	1020	2.2	8.8	19.5
40CrMoV ₂₀	42	1850	0.16	0.65	1.4
35NiCrMo ₁₆	95	1850	0.84	3.3	7.5
Céramique	5	800	0.0012	0.05	0.11

La ténacité est généralement déterminée expérimentalement à l'aide d'un essai de traction lente sur une éprouvette spécifique (éprouvette CT : compact tension) pourvue d'une entaille mécanique et préalablement pré-fissurée en fatigue (longueur de pré-fissure). La sollicitation de traction lente conduit à la rupture de l'éprouvette. [11]

Graphiquement, l'intersection d'une droite de pente équivalente à 95% de celle de la droite élastique reliant la force à l'ouverture de la fissure avec la courbe de traction correspond à une force F_Q .

Cette force s'exprime en fonction d'un paramètre homogène à une ténacité (MPa.m^{1/2}). Si des conditions géométriques spécifiques sont réunies, alors $K_Q = K_{IC}$ (figure suivante)

$$K_Q = \frac{F_Q}{t\sqrt{w}} f\left(\frac{a}{w}\right)$$

Pour que l'on puisse considérer que $K_Q = K_{Ic}$, il faut que la taille de la zone plastique soit petite par rapport au ligament ($w-a$), ce qui nécessite que :

$$a \geq 2,5 \cdot \left(\frac{K_Q}{R_e}\right)^2 ; t \geq 2,5 \cdot \left(\frac{K_Q}{R_e}\right)^2$$

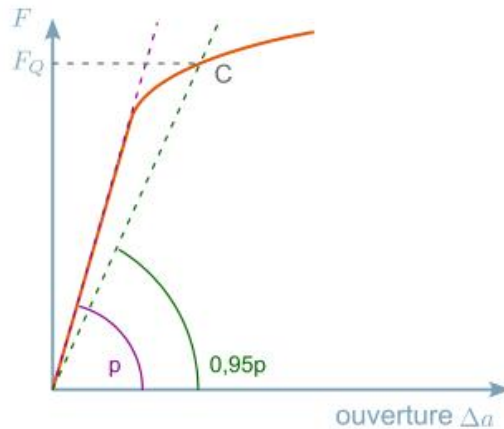


Figure.II.14 : Détermination expérimentale de la ténacité

II.4.8 Comparaison entre la résistance des matériaux et la mécanique de la rupture

Il convient de s'intéresser non seulement à la contrainte appliquée, mais également à l'occurrence et à la taille de fissures présentes dans le matériau ainsi qu'à la ténacité du matériau. [11]

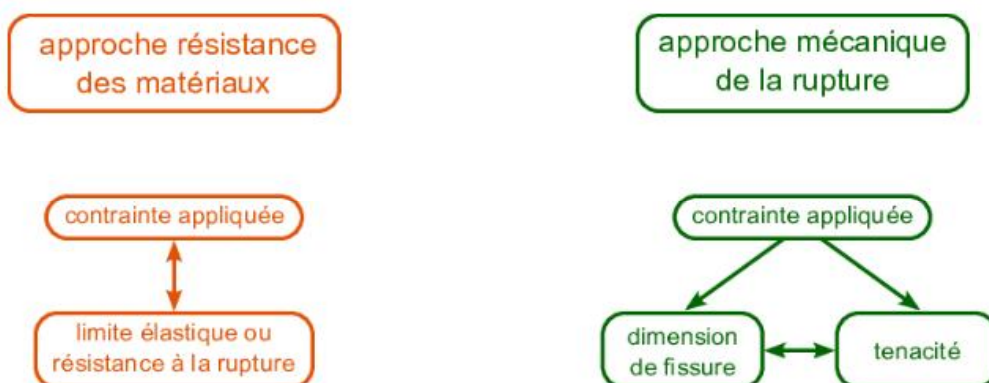


Figure.II.15 : Approche comparée en résistance des matériaux et en mécanique de la rupture

II.4.9 Approche multi-échelles adoptée en mécanique de la rupture [11]

L'étude du comportement des matériaux à la rupture nécessite une approche multi-échelles couvrant largement les domaines généralement exploités par la science des matériaux et la mécanique appliquée.

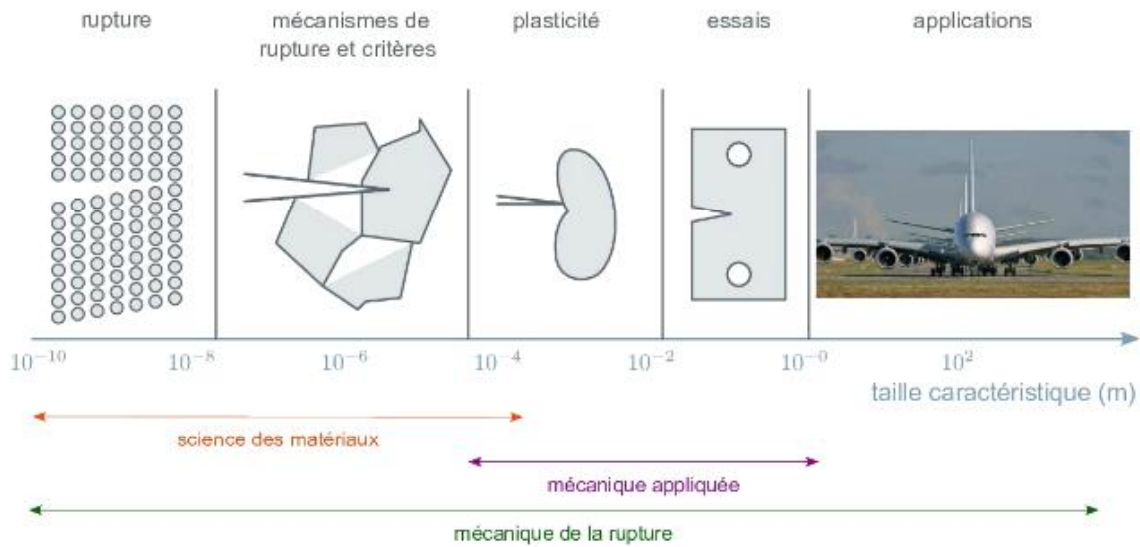


Figure.II.16 : Approche multi-échelles adoptée en mécanique de la rupture

II.5 Approches et critères de rupture

II.5.1 Approche d'Irwin

Irwin considère, en première approximation, que la frontière entre zones élastique et plastique correspond au lieu des points où les contraintes atteignent la limite d'élasticité du matériau. Pour la détermination du rayon r_E pour lequel cette frontière coupe le plan d'une fissure en contraintes planes, il pose $\sigma_y = \sigma_e$ où σ_e est la limite d'élasticité en traction simple ; ce qui conduit à :

$$r_E = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{K_I}{\sigma_e} \right)^2$$

Pour représenter la longueur r_E (figure), on suppose que le comportement du matériau est élastique plastique parfait, pour ensuite tout simplement tronquer le champ des contraintes à $\sigma_y = \sigma_e$. [12]

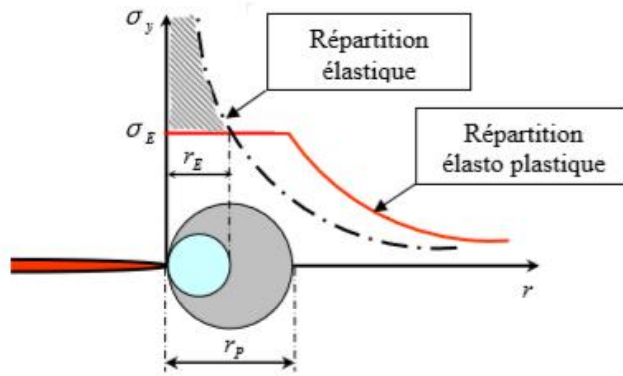


Figure II.17 : Répartition des contraintes élastiques et élasto plastiques dans le plan de la fissure et en aval de son extrémité

Cette analyse fait cependant abstraction des forces non transmises représentées par l’aire hachurée de la figure II.17. Pour tenir compte de ces forces, il convient d’assurer l’équilibre entre les deux répartitions (élastique et élastoplastique) des contraintes. Comme la taille r_P de la zone plastique doit donc être supérieure au rayon r_E l’équilibre des forces entre les deux configurations conduit à l’expression suivante :

$$r_p = \frac{1}{\pi} \left(\frac{K_I}{\sigma_e} \right)^2 = 2r_E$$

La distribution des contraintes dans la répartition élasto plastique pour $r > r_P$ est obtenue par une translation d’une distance r_E de la répartition élastique (figure). Irwin rend compte de cette translation en définissant un FIC effectif qu’il obtient en augmentant la longueur de fissure de r_E . Ce qui revient à considérer non pas la longueur réelle a de la fissure mais une longueur effective $a_{eff} = a + r_E$. [12]

Ainsi le FIC sans correction devient après correction :

$$K_{eff} = \sigma^\infty \sqrt{\pi(a + r_E)} = \sigma^\infty \sqrt{\pi a} \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma^\infty}{\sigma_e} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

II.5.2 Approche de Dugdale-Barenblatt :

Dugdale et Barenblatt considèrent une fissure de longueur $a+\rho$ avec des contraintes de compression, d'intensité la limite d'élasticité σ_E , qui s'exercent sur la longueur ρ près de chacune des extrémités, la longueur ρ représente alors la taille de la zone plastique. [12]

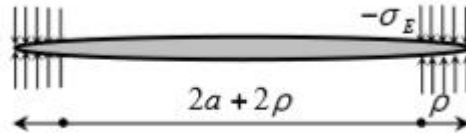


Figure.II.18 : Modèle de Dugdale-Barenblatt

La taille ρ de la zone plastique est calculée pour une fissure traversant une plaque infinie

$$K_I = \sigma^\infty \sqrt{\pi(a + \rho)}$$

Le modèle de Dugdale-Barenblatt conduit, après la correction de zone plastique, au FIC effectif suivant :

$$K_{eff} = \frac{\sigma^\infty \sqrt{\pi a}}{\sqrt{\cos\left(\frac{\pi \sigma^\infty}{2\sigma_e}\right)}}$$

Cette relation tend toutefois à surestimer la valeur du FIC. Pour solution, Burdekin et Stone proposent une estimation plus raisonnable (toujours pour le même type de modèle) ; la nouvelle expression du K_{eff} est ainsi formulée :

$$K_{eff} = \sigma_e \sqrt{\pi a} \sqrt{-\frac{8}{\pi^2} \text{Log}\left(\cos\left(\frac{\pi \sigma^\infty}{2\sigma_e}\right)\right)}$$

II.5.3 Comparaison des corrections de zone plastique [12]

La comparaison des différentes corrections de zone plastique examinées précédemment avec l'analyse de MLR sans correction, est représentée, pour un état de contraintes planes, sur la figure II.19.

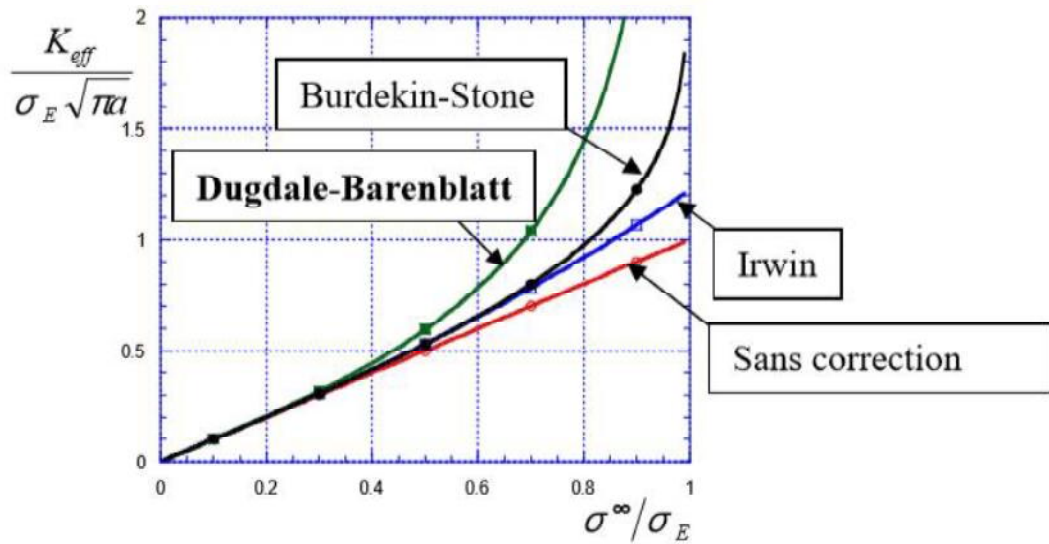


Figure II. 19: Comparaison des corrections de zone plastique

Sur cette figure, le FIC K_{eff} normalisé par $\sigma_E \sqrt{\pi a}$ est reporté en fonction de la contrainte normalisée σ^∞ / σ_E . Tant que $\sigma^\infty < 0,5 \sigma_E$ les corrections apportées restent proches. Par contre, dès que la contrainte appliquée $\sigma^\infty > 0,5 \sigma_E$, les corrections sont significatives. La correction de Dugdale-Barenblatt devient excessive alors que celles d'Irwin et de Burdekin & Stone sont équivalentes jusqu'à $\sigma^\infty = 0,7 \sigma_E$.

I.6 Conclusion

A l'issue de ce chapitre, nous avons une idée sur les méthodes utilisées pour dimensionner des structures sous différentes sollicitations, en particulier en mode I.

Ce chapitre nous montre que la compréhension des phénomènes physiques à la base de la rupture est fondamentale pour choisir une méthode appropriée.

III.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre, est de décrire la conception de notre capteur de déformation puis de le tester, en réalisant des essais de traction

Il reste donc à réaliser un capteur de déformation qui s'adaptera sur la machine de traction, écrire un programme pour l'acquisition des données.

III.2 Cahier de charge fonctionnel

Le travail demandé est de concevoir et réaliser un dispositif qui mesure l'évolution de la distance entre deux points (A et B) se trouvant sur l'éprouvette DENT pendant un essai de traction uniaxial.

La distance entre les deux points (A et B) en question est égale à la longueur du ligament correspondant à la distance entre les deux pointes des fissures (A' et B'). Voir la figure

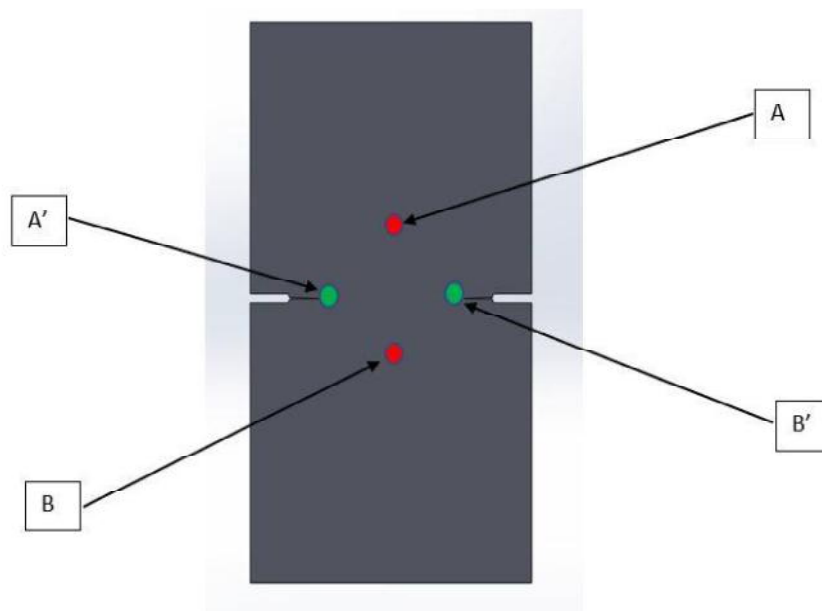


Figure III.1 : disposition des points sur l'éprouvette

Le dispositif en question doit répondre à certains critères qui sont les suivants :

- Compatibilité avec les éprouvettes DENT (dimensions 120 x 60 x 2)
- Doit être fabriqué au niveau du hall de technologies.
- Le dispositif ne doit pas gêner la course de la machine de traction.
- Le dispositif doit être léger.
- Grande longueur de la course (de l'ordre de 40 mm).
- Durabilité et fiabilité.

III.3 Analyse fonctionnelle

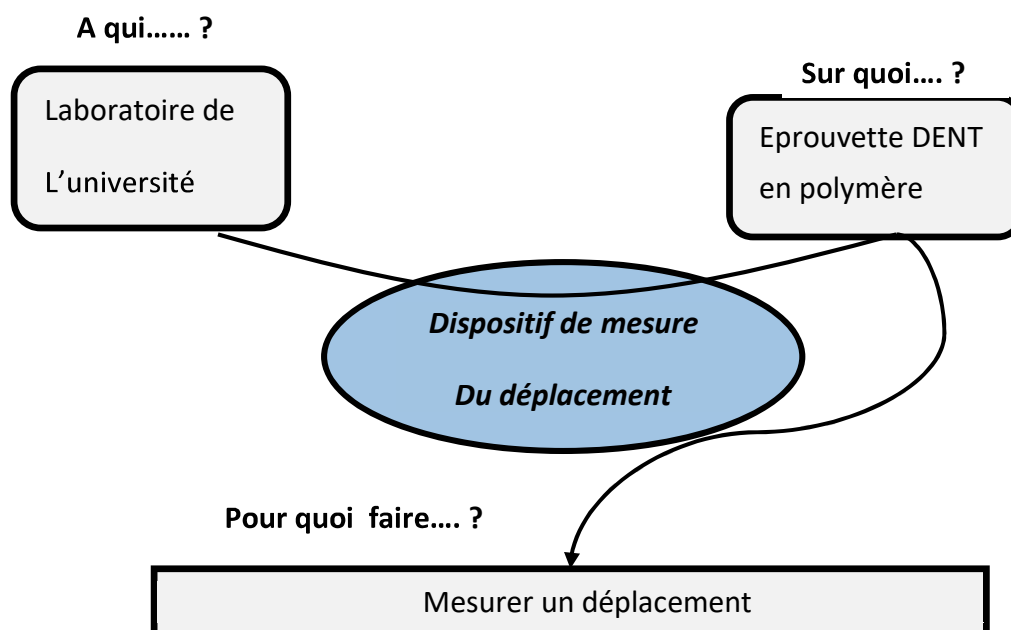
III.3.1 Diagramme bête à cornes

La bête à corne est un outil d'analyse fonctionnelle du besoin. En matière d'innovation, il est tout d'abord nécessaire de formuler le besoin sous forme de fonctions simples (de bases) qui devront remplir le produit ou le service.

L'expression du besoin permet d'isoler l'objet étudié afin d'identifier le principal destinataire, sa matière d'œuvre, et d'exprimer sa fonction globale.

Pour établir la bête à corne il est essentiel de se poser les trois questions suivantes :

À qui, à quoi le produit rend-il service ? Sur qui, sur quoi agit-il ? Dans quel but ?



III.3.2 Diagramme pieuvre

La pieuvre, est un outil de représentation des fonctions d'un objet et de leurs relations, ce diagramme est un diagramme d'association qui est constitué du système et des éléments de son milieu environnant.

Le diagramme fait apparaître les associations (les fonctions) entre les éléments du milieu environnant et le système.

Une fonction est une action d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimés uniquement en termes de finalité. Elle est formulée par un verbe à l'infinifit suivi d'un ou plusieurs compléments.

Il faut distinguer les fonctions de service des fonctions techniques.

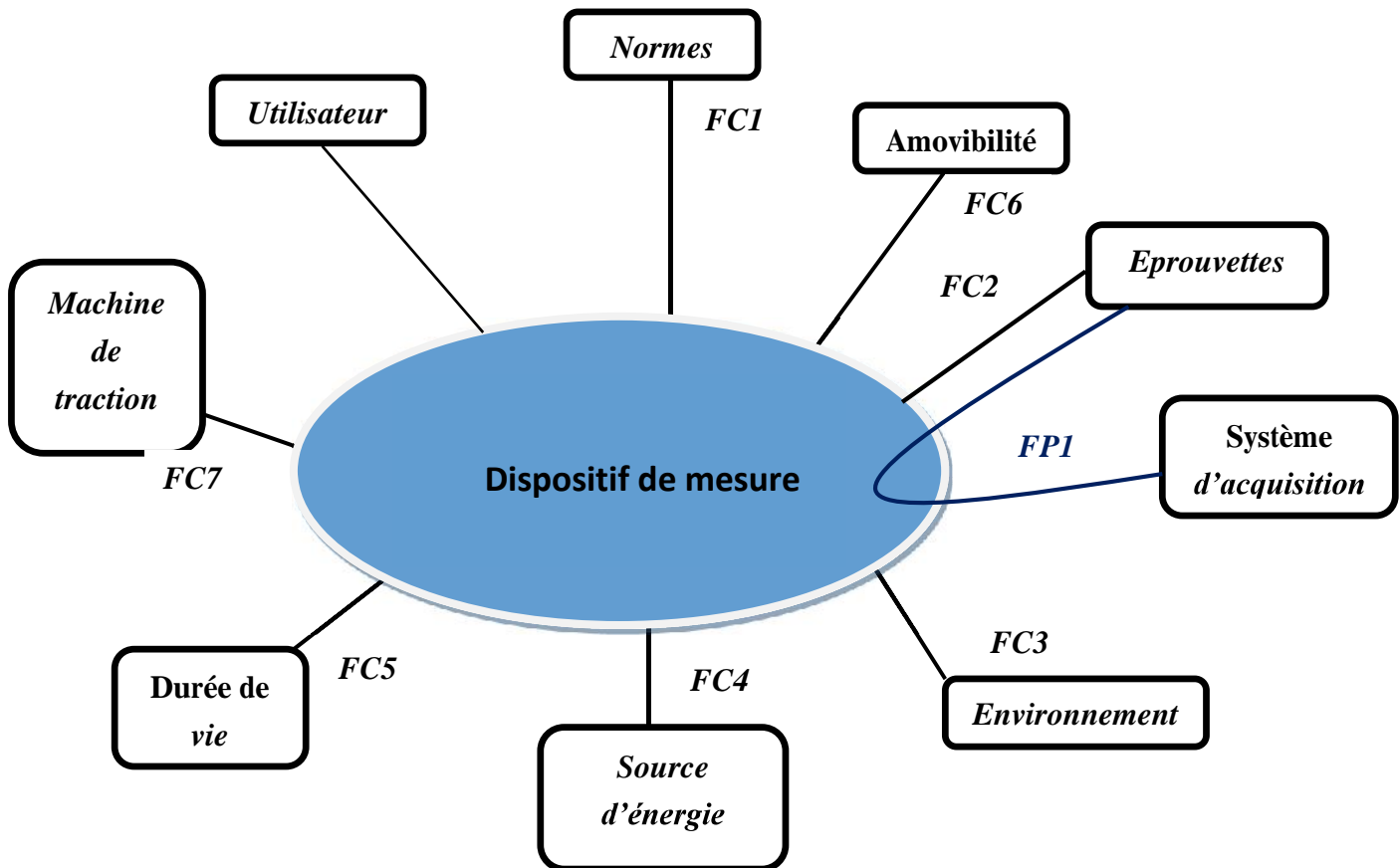


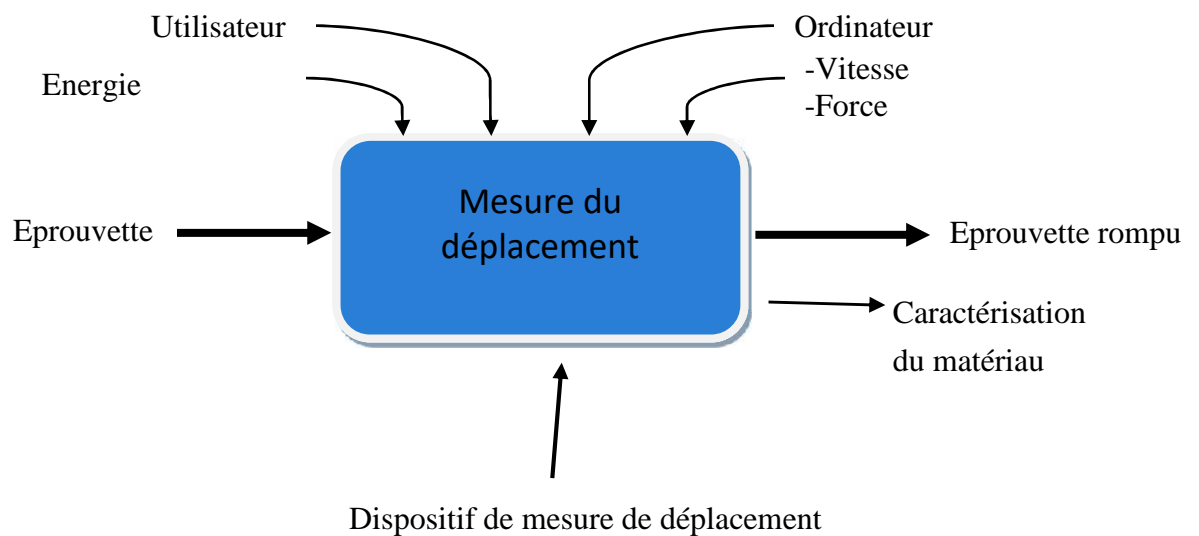
Tableau III.1 Fonctions et contraintes principales

	Fonctions	Critères	Niveaux
Fp1	Permettre aux utilisateurs de mesurer le déplacement de l'éprouvette		/
Fc1	Respecter les normes des éprouvettes	-Normes	

Fc2	Transmettre l'effort de traction aux dispositif	-Adaptation des efforts	/
Fc3	Résister à l'environnement	-Milieu extérieur	Poussière, humidité,...
Fc4	Alimentation de la jauge	-utiliser l'énergie fournie par une source électrique	200KN (max)
Fc5	Assurer une durée de vie	-Protection contre la corrosion	/
Fc6	Etre amovible	-Montage et démontage facile	/
Fc7	S'adapter a la machine de traction	-Respecter les dimensions de la machine	/

III.3.3 Diagramme A-0

Ce type d'analyse permet de modéliser graphiquement un produit. L'élément graphique de base est la boîte rectangulaire dans laquelle est inscrite la fonction. On y trouve également les flux de données, matières qui traversent cette fonction et les données de contrôle qui gèrent la fonction. En dessous de la boîte est noté le mécanisme réalisant la fonction.



III.4 Solution technique

Le dispositif de mesure de déplacement de deux points d'une éprouvette DENT qui travaille en traction uniaxiale, va se monter sur cette même éprouvette, sur les points dont on veut mesurer les déplacements. La course des points (A et B) va entrainer les mors du dispositif verticalement. Ces derniers seront reliés à une tôle mince en acier grâce à des tiges.

La figure ci-dessous montre un dessin de la première idée de conception.

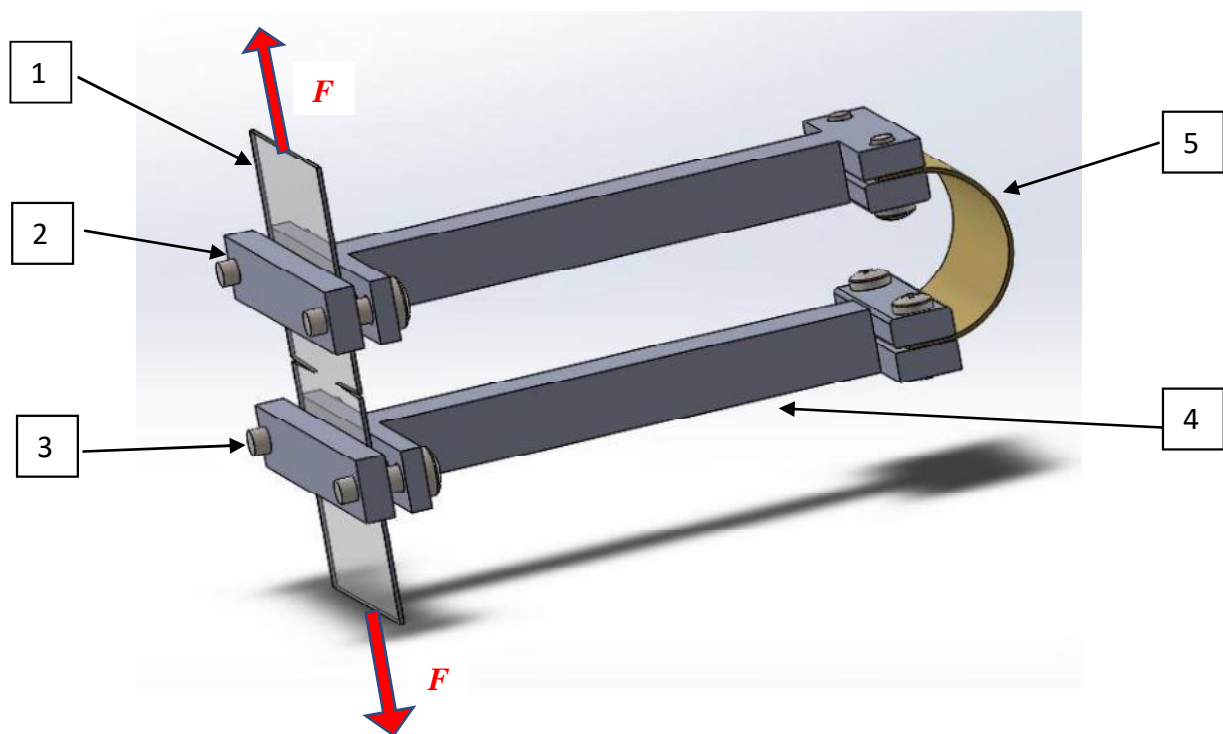


Figure III.2 : Première idée de conception

- [1] éprouvette DENT en polymère.
- [2] mors pour fixer le dispositif sur l'éprouvette.
- [3] vis.
- [4] tiges.
- [5] tôle en acier fléchie.

L'idée de départ est d'obtenir une déflexion de la tôle au fur et à mesure que les mors fixés sur l'éprouvette s'éloignent l'un de l'autre. Une jauge de contrainte sera placée sur la tôle pour mesurer le déplacement.

La longueur des tiges est importante pour mesurer un déplacement, plus la tige est longue, plus le déplacement mesuré est conséquent. Plusieurs longueurs de tiges ont été testées afin d'obtenir l'allongement maximal de l'éprouvette tout en maintenant la lame d'acier dans le domaine élastique.

Les figures qui vont suivre sont des tests (simulations statique a l'aide du logiciel SolidWorks) sur le dispositif avec différentes longueurs de la tige et différentes dimensions de la lame.

Les détails et étapes de la simulation ne seront présentés que pour la dernière conception, cela dans le but d'éviter de surcharger cette partie.

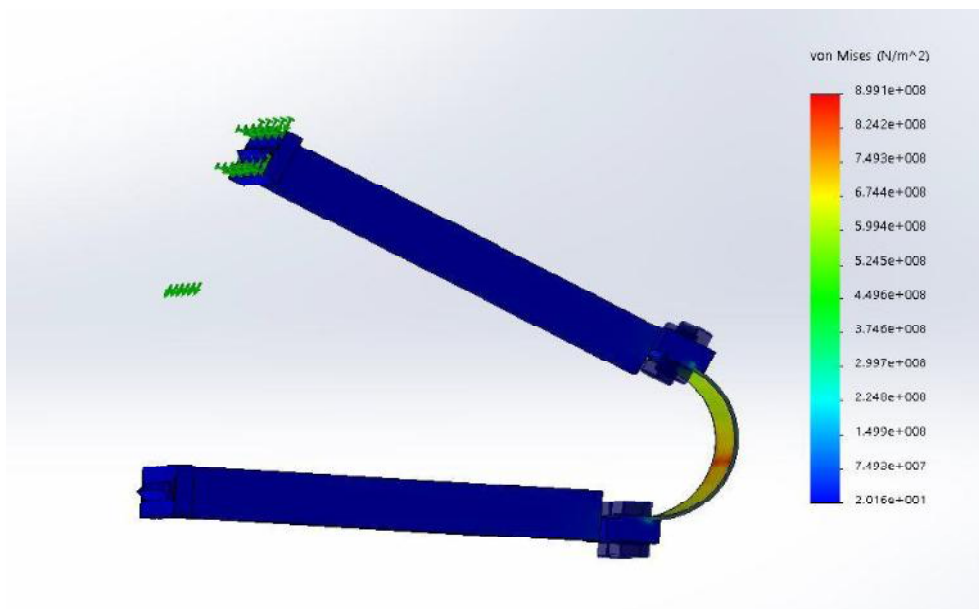


Figure III.3 : simulations de la 1ere conception

Tableau III.2 : résumé des résultats pour la 1ere simulation

Longueur des tiges	120 mm
Epaisseur de la tôle	2 mm
Largeur de la tôle	50 mm
Déplacement des mors imposé	40 mm
Contrainte maximal	$8.991 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

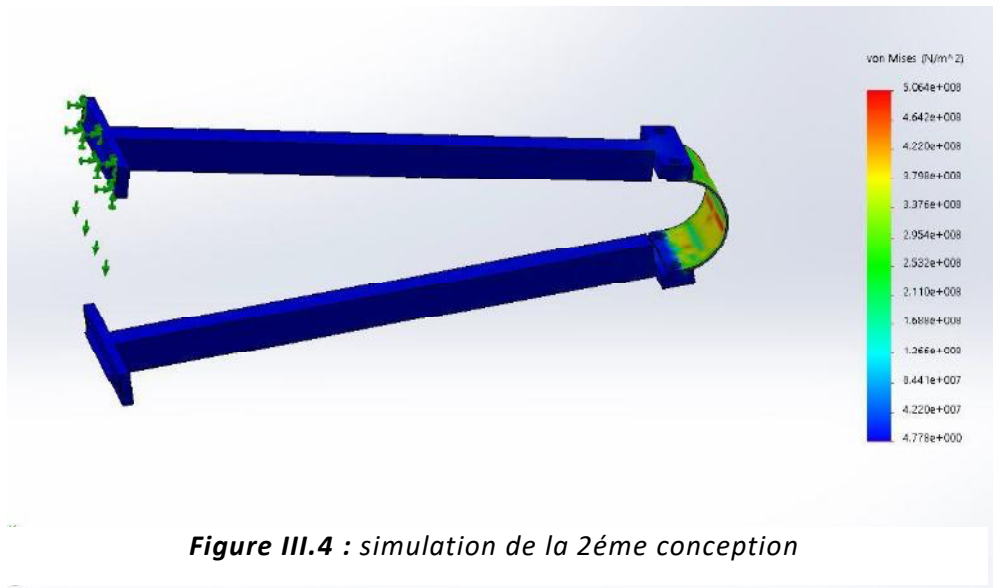


Tableau III.3 : résumé des résultats pour la 2ème simulation

Longueur des tiges	180 mm
Epaisseur de la tôle	1.5 mm
Largeur de la tôle	50 mm
Déplacement des mors imposé	40 mm
Contrainte maximal	$5.064 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

A partir de cette étape nous avons décidé de remplacer la tôle courbée par une lame droite, d'augmenter progressivement la longueur de la tige et diminuer l'épaisseur de la lame jusqu'à ce que la contrainte maximal supporté par cette dernière soit admissible ($< 2.1 \times 10^8 \text{ N/m}^2$).

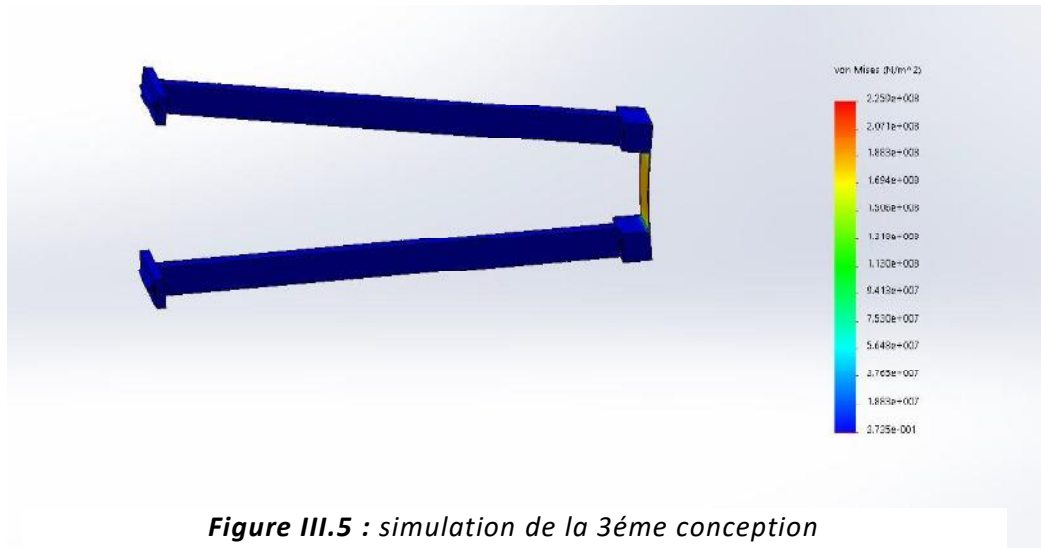


Tableau III.4 : résumés de la 3ème simulation

Longueur des tiges	230 mm
Epaisseur de la tôle	0.8 mm
Largeur de la tôle	50 mm
Déplacement des mors imposé	40 mm
Contrainte maximal	$2.299 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

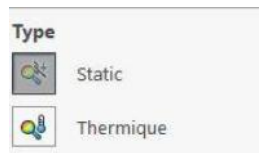
Pour la dernière simulation, nous allons détailler les étapes à suivre sur le logiciel SolidWorks.

1ere étape : sélectionner l'icône SOLIDWORKS Simulation



puis on choisit le

type de simulation qui convient



dans notre cas, ce sera une étude

statique.

On arrive au menu de la simulation qui comporte différents paramètres tels que :

- Matériaux des pièces
- Connexions entre composants
- Chargements externe....

Voir la figure III.6.a

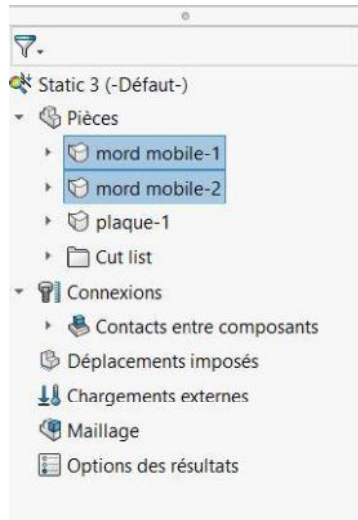


Figure III.6.a menu de la simulation SolidWorks

On applique à chaque pièce le matériau dans lequel elle sera fabriquée en choisissant parmi la liste des matériaux disponibles dans la bibliothèque SolidWorks, ou en personnalisant différentes caractéristiques du matériau.

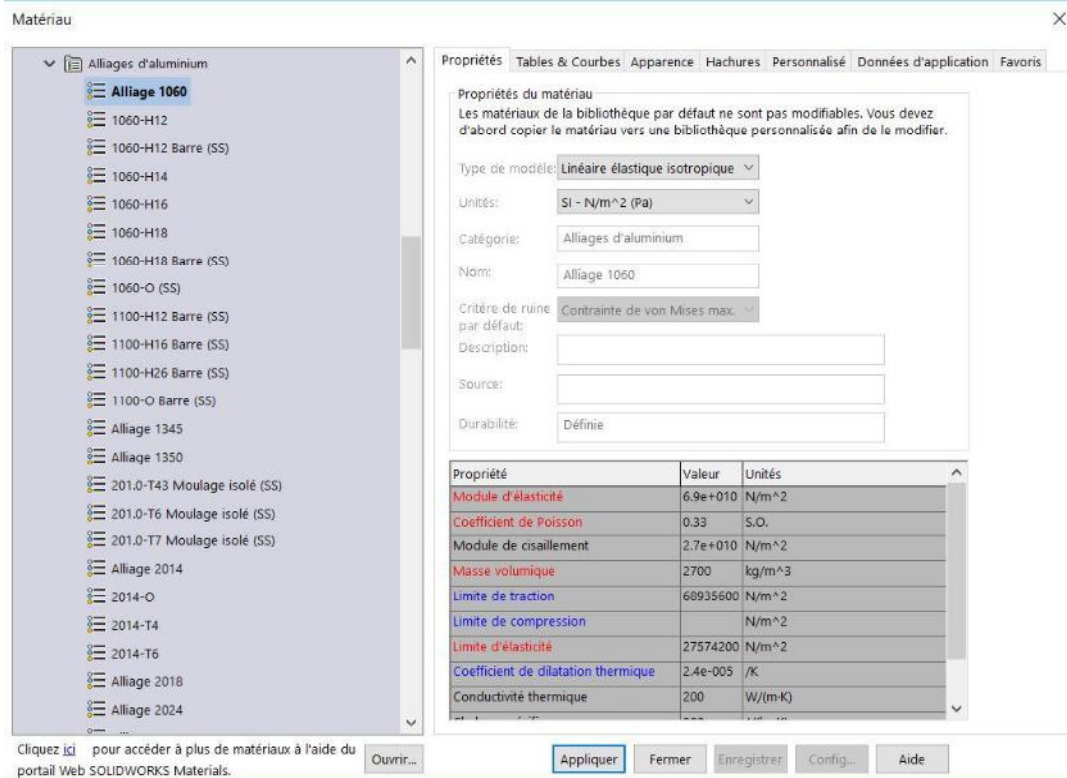


Figure III.6.b : choix du matériau des pièces

On fixe l'un des mors du dispositif et on impose à l'autre un déplacement vertical de 40 mm.

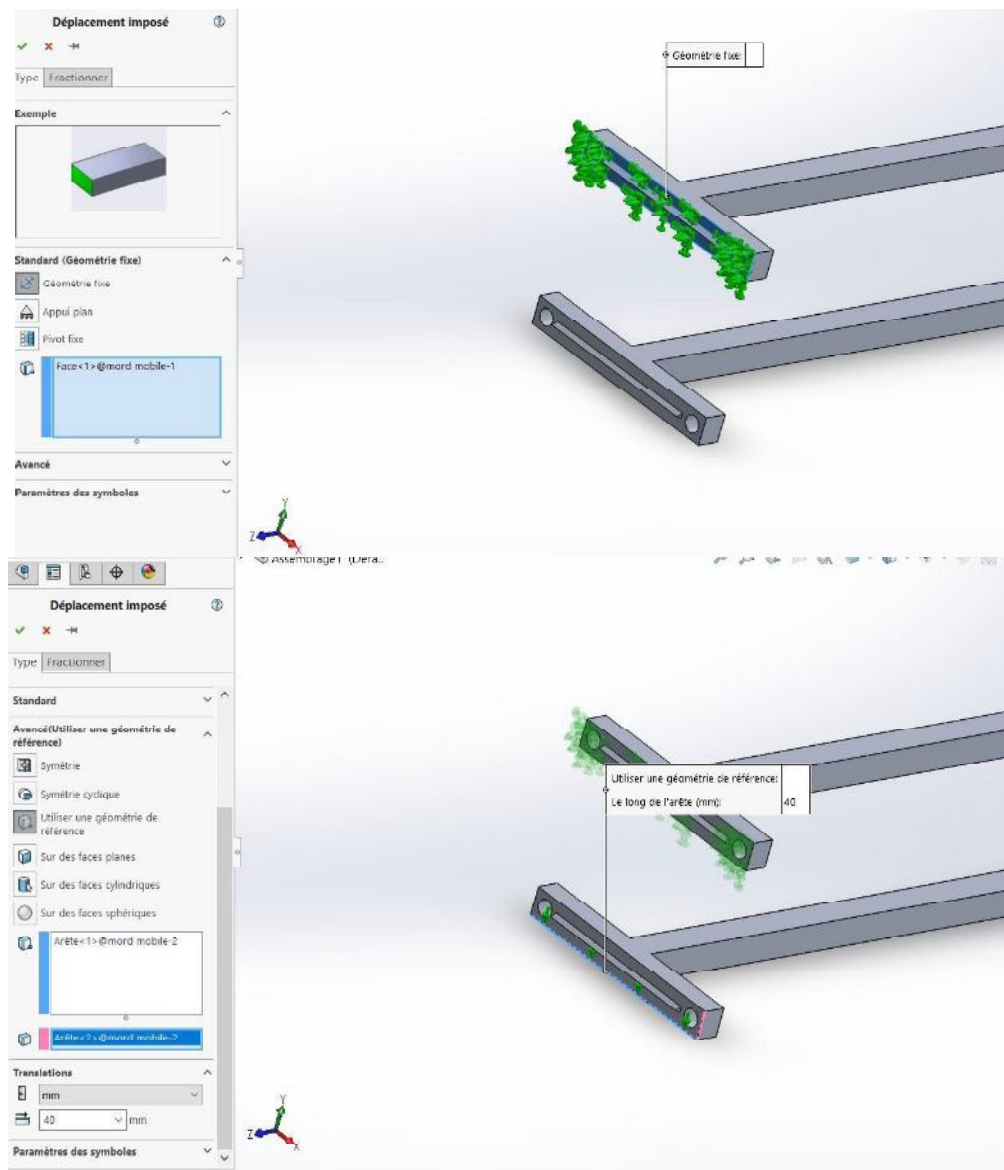


Figure III.6.c : déplacements imposés au dispositif

Dans la dernière étape nous allons mailler le dispositif et exécuter les calculs.

Le maillage est fait de manière à être le plus fin possible pour obtenir des résultats les plus précis possible.



Figure III.6.d : maillage du dispositif

Nous obtenons les résultats suivants

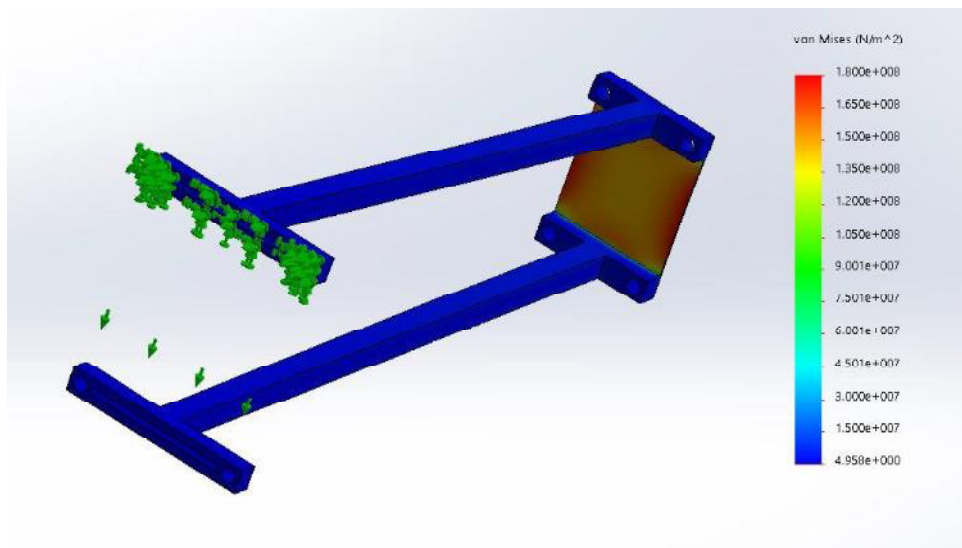


Figure III.6.f : simulation du concept final

Tableau III.5 : résumés des paramètres de la simulation

Longueur des tiges	300 mm
Epaisseur de la tôle	0.8 mm
Largeur de la tôle	50 mm
Déplacement des mors imposé	40 mm
Contrainte maximal	$1.8 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

La contrainte maximale supportée par la lame est inférieure à la contrainte admissible

$$\sigma_{\max} = 180 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_e = 210 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{\max} < \sigma_e$$

Donc nous validons les dimensions des tiges et de la lame.

Les dimensions des mors sont dictées par les dimensions de l'éprouvette DENT.

La figure suivante montre le dispositif monté sur l'éprouvette

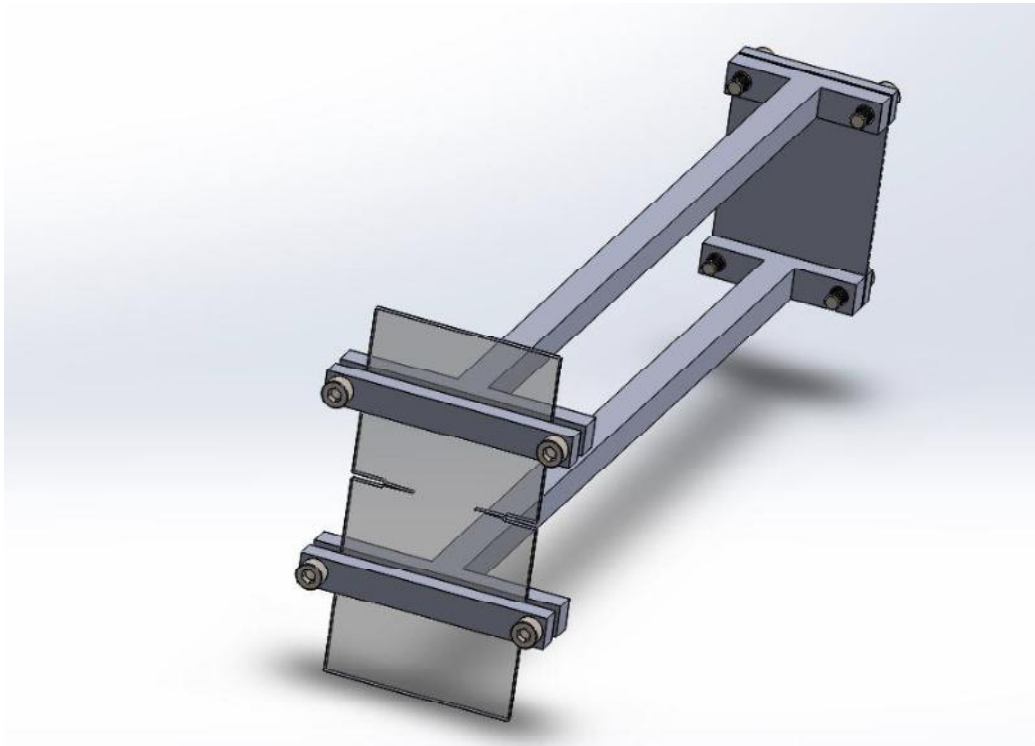


Figure III.7: l'éprouvette DENT monté sur le dispositif

III.4.1 Contrainte technique

Le hall de technologie n'a malheureusement pas des barres en aluminium qui répondent aux dimensions brutes du dispositif. Des modifications ont donc été apportées à cette conception en fonction des moyens disponibles. Les tiges sont séparées des mors pour former un sous-ensemble. (Voir la figure III.8)

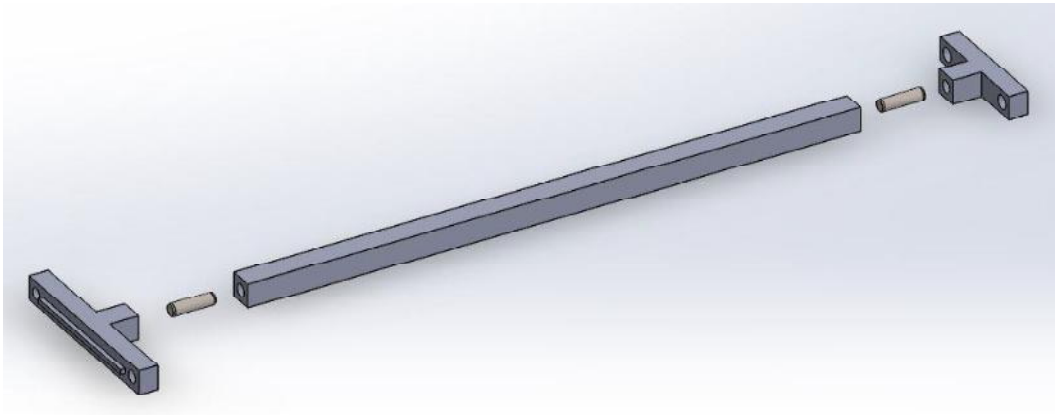


Figure III.8 : sous ensemble Mord-Tige

Deux goupilles sont insérées avec serrage entre chaque pièce ($\varnothing 5M6$), puis un cordon de soudure pour fixer les pièces l'une à l'autre.

III.4.2 Définition des éléments

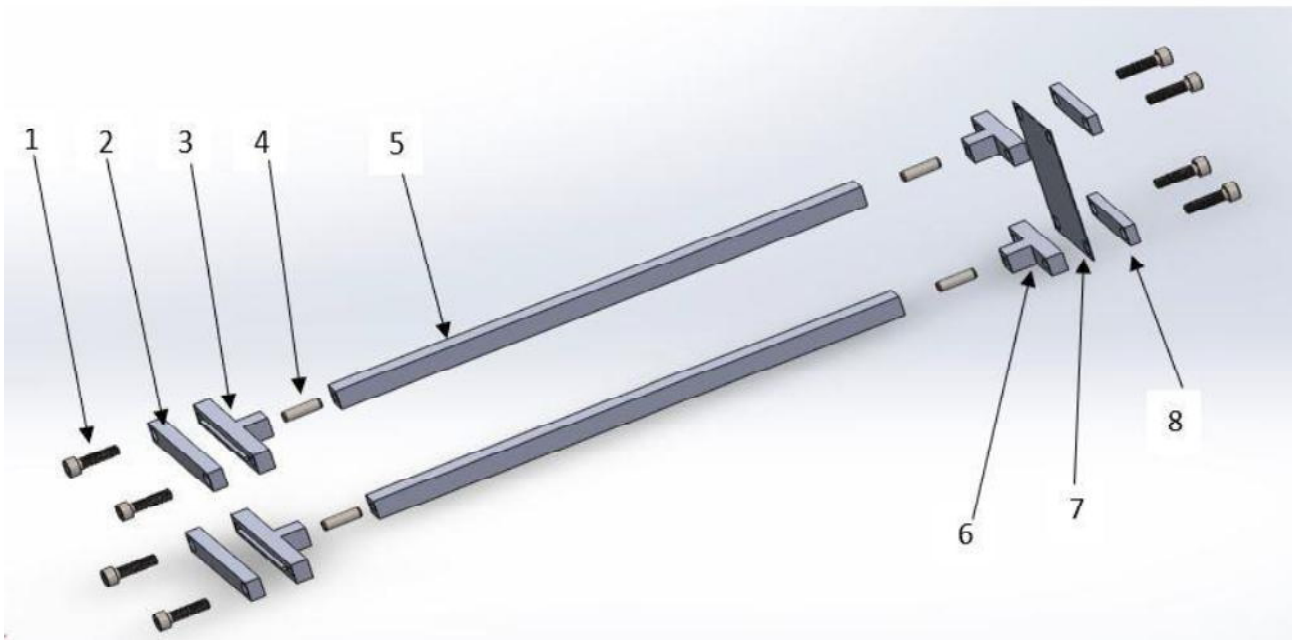


Figure III.9: vue éclatée du dispositif

La légende de notre dispositif est représentée dans le tableau suivant :

Tableau III.6 : Différents éléments principale

Numérotations	Nombre de Pièces	Désignation
01	08	Vis M5 CHC.
02	02	Bride éprouvette.
03	02	Mord éprouvette.
04	04	Goupille 5x18.
05	02	Tige
06	02	Mord lame.
07	01	Lame.
08	02	Bride lame.

III.4.3 Présentation des éléments

III.4.3.a Bride éprouvette

De dimension 80x10x7, avec deux passages de vis (M5), son rôle est de serrer l'éprouvette sur le mord et fixer le dispositif sur l'éprouvette.

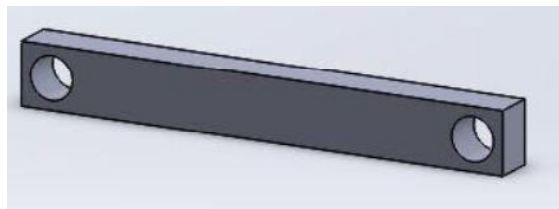


Figure III.10.a : Bride éprouvette

III.4.3.b Mors éprouvette

Pièce qui est en contact directe avec les points qu'on souhaite mesurer sur l'éprouvette

Elle a deux taraudages M5 qui permettent de maintenir l'ensemble séré sur l'éprouvette.

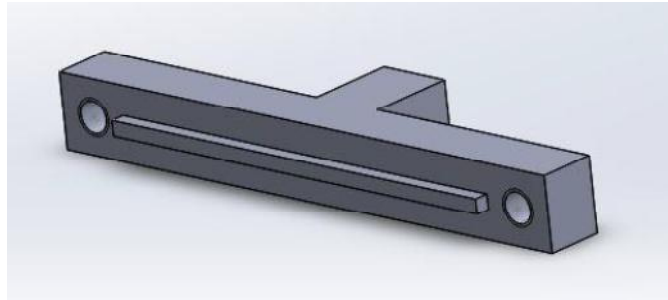


Figure III.10.b : Mors éprouvette

III.4.3.c Tige

Tige de dimension 10x10x260. Cette pièce relie le mord fixé sur l'éprouvette a la lame en acier

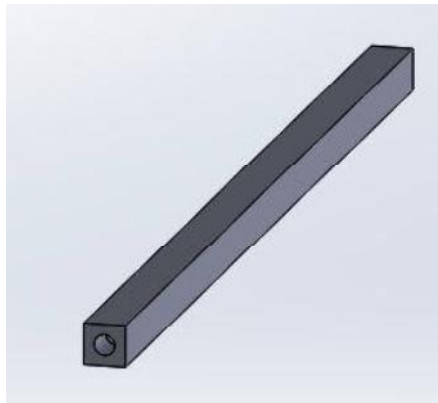


Figure III.10.c : Tige

III.4.3.d Mors lame

Partie du dispositif qui permet de fixer la lame. De dimension 50x8x20 avec deux taraudages M5.

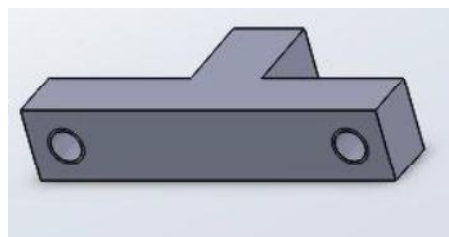


Figure III.10.d : Mord lame

III.4.3.e lame

Tôle mince en acier d'épaisseur 0.8mm de dimension 50x70. La flexion de cette lame nous permet de mesurer le déplacement des points sur l'éprouvette.

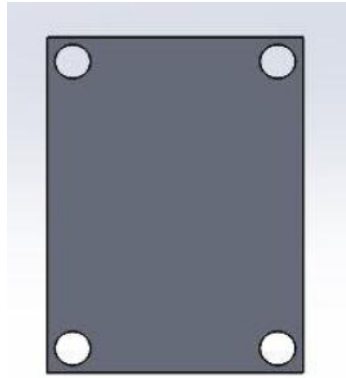


Figure III.10.e : Lame

III.4.3.f Bride lame

Pièce prismatique de dimension 50x10x7 avec deux passage de vis .

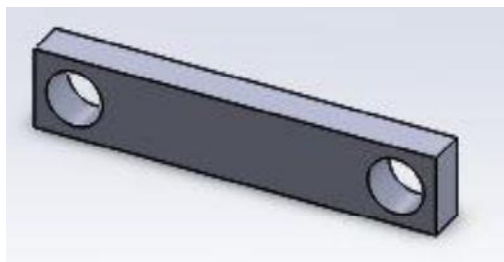


Figure III.10.f : Bride lame

III.5 fabrication du dispositif

III.5.1 usinages

Le dispositif a été réalisé dans les ateliers de mécanique de l'université Mouloud Mammeri, majoritairement sur une fraiseuse verticale ALMO FV 1.0, avec un aluminium de dureté 135HB connu pour sa légèreté et sa bonne adaptabilité à la corrosion.

Les gammes d'usinage de toutes les pièces sont représentées comme suit :

III.5.2 Jauges de contrainte

La jauge est un capteur passif traduisant, en variation de résistance électrique, sa propre déformation qui est en principe égale à celle de la structure à l'endroit où elle est collée. Pratiquement, son allongement est habituellement limité à environ 4%.

En général, une jauge est constituée d'une grille formée par un conducteur colle sur un support isolant.

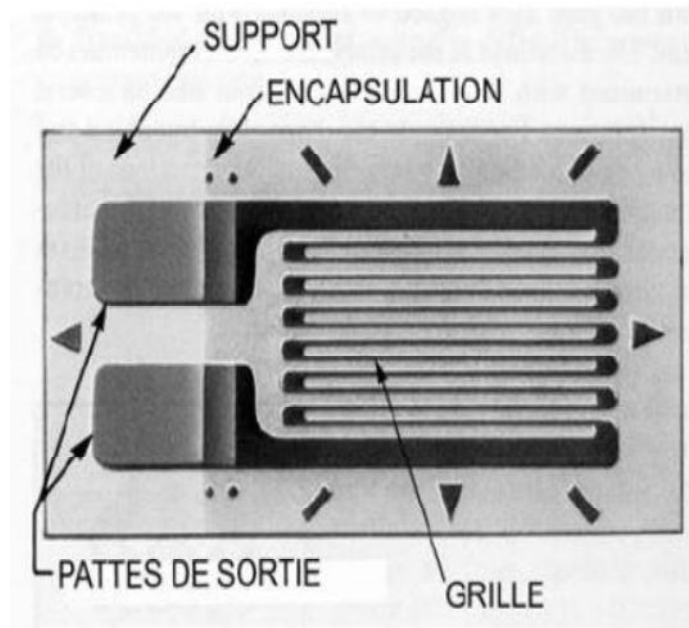


Figure III.11 : jauge de contrainte

III.5.3 Collage de la jauge

La partie de collage des jauges est particulièrement une étape très importante, il faut respecter les points indispensables suivant :

- Préparation de l'état de surface : tout d'abord faire un nettoyage grossier de la surface, ensuite faire un nettoyage fin et répéter le nettoyage, jusqu'à ne plus avoir de trace de traces sur la lame.
- Préparation de la jauge : Préparer une bande adhésive disposée en angle sur la jauge, aligner la jauge sur la marque et fixer avec une bande adhésive.
- Collage avec colle : verser une goutte de colle et étaler aussitôt uniformément le produit sans exercer de pression. Rabattre la jauge aussitôt en appliquant une

pression uniforme d'environ une minute sur l'ensemble. Après la prise de la colle, la bande adhésive peut être enlevée de l'ensemble jauge et cosse relais.

- Raccordement du câble
- Contrôle électrique et visuel de l'équipement
- Test (raccordement sur l'amplificateur)
- Tests de bon fonctionnement avec l'amplificateur

L'allongement de nos éprouvettes lors de l'essai de traction, entrainera l'écartement des pieds de notre capteur, qui engendra à leurs tours une flexion de la partie en acier très flexible. Au milieu de cette partie, on observe une flèche maximale.

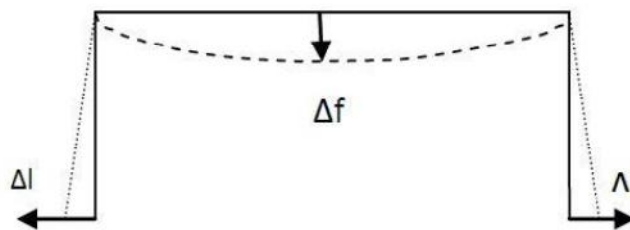


Figure III.12 : flèche due au déplacement imposé par l'éprouvette

III.5.4 Pont de Wheatstone :

Un pont de Wheatstone est un moyen de mesure inventé par Samuel Hunter Christie. Il est utilisé pour mesurer une résistance électrique inconnue par équilibrage de deux branches d'un circuit en pont, avec une branche contenant le composant inconnu.

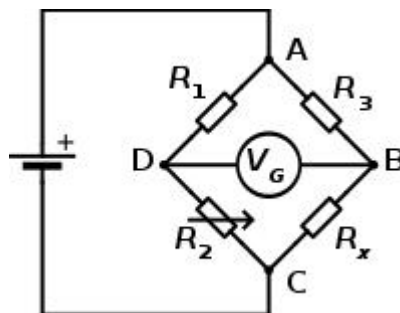


Figure III.13 Pont de Wheatstone

Le pont est constitué de deux résistances connues, R_1 et R_2 , d'une résistance variable de précision, R_3 , et d'un galvanomètre ou voltmètre sensible G .

$$R_x = R_3 \cdot R_2 / R_1$$

En pratique, le pont de Wheatstone comporte un ensemble de résistances calibrées, de façon à pouvoir mesurer une large gamme de valeurs de R_x avec une seule résistance de précision ; il suffit de changer le rapport R_1/R_2 .

III.5.5 Montage en quart de pont :

Dans la figure III.14 le montage en quart de pont, on ne dispose que d'une jauge et trois résistances viennent en complément avec l'électronique associée. Ce montage est le plus simple et le moins cher.

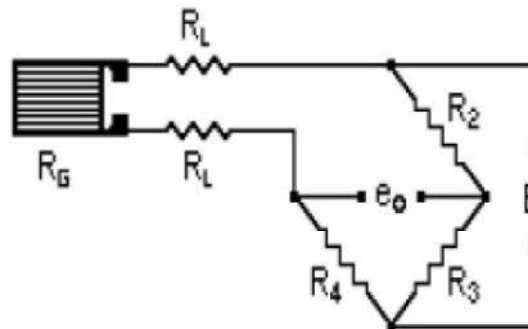


Figure III.14 : Montage en quart de pont

C'est ce montage qui sera utilisé pour notre dispositif.

III.5.6 Caractéristiques du dispositif

- Poids : 220g
- Longueur du dispositif : 300 mm
- Largeur maximale du dispositif : 80 mm
- Domaine d'application : mesure de déplacement sur éprouvettes en polymère monté en traction.
- Déplacement maximal supporté : 60 mm
- Matériaux : aluminium.

III.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait une conception du dispositif à l'aide des outils de l'aide à la conception telle que l'analyse fonctionnelle, puis nous avons utilisé le logiciel SolidWorks pour dimensionner notre conception.

Enfin nous avons présenté les moyens utilisés pour sa fabrication.

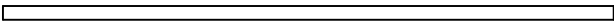
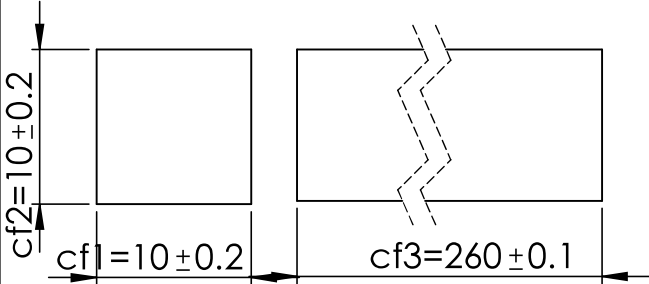
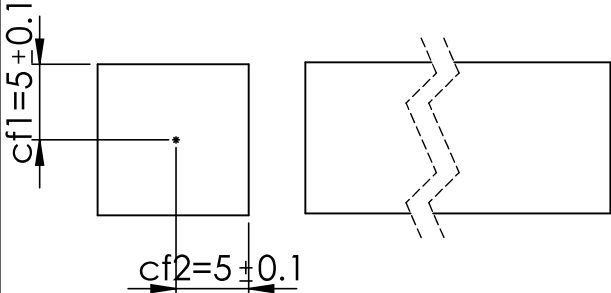
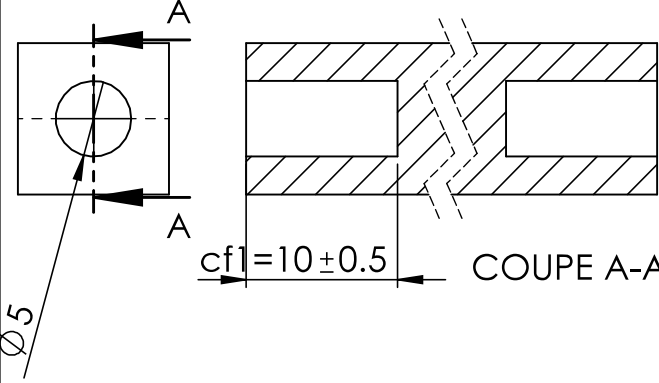


GAME D'USINAGE

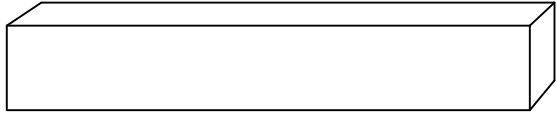
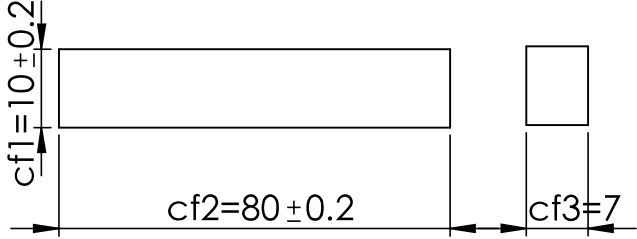
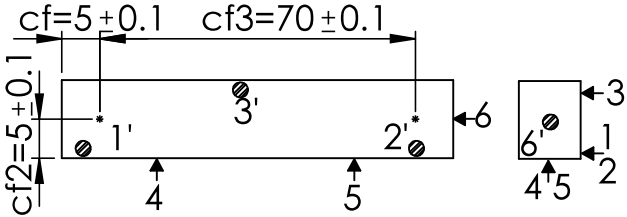
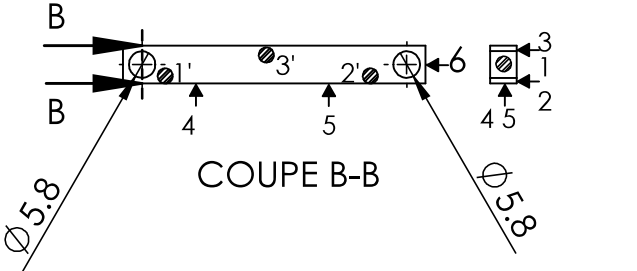
NOMENCLATURE DES PHASES

Nbr:02	Elmnt: Mord lame	Matière: Aluminium	Date: 01/10/2018	
N° de phase	Les désignations des phases sous phases et opérations	Machine	Appareillage outils-coupants Vérification	Croquis de la pièce à ses divers stade d'usinage
100	contrôle du brut		piéd a coulisse	
200	dressage de toutes les surfaces cf1=50±0.2 cf2=20±0.1 cf3=10±0.2	Fraiseuse vertical	piéd a coulisse fraise a surfaçer Ø22	
300	surfaçage de A et B cf1=13±0.2 cf2=20±0.2 cf4=5±0.1	Fraiseuse vertical	piéd a coulisse fraise a deux taillant Ø20	
310	traçage des perçages cf1=13±0.2 cf2=5±0.1 cf3=20±0.1 cf4=5±0.1	Fraiseuse vertical	piéd a coulisse outil de centrage	
320	perçage et taraudage	Fraiseuse vertical	forets Ø5 foret Ø4.2 taraud M5	

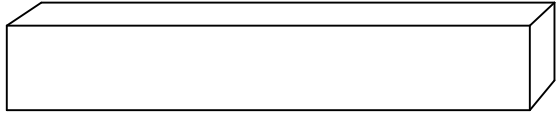
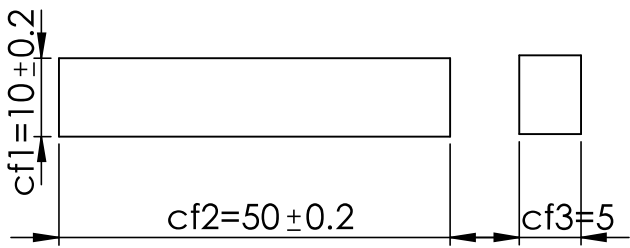
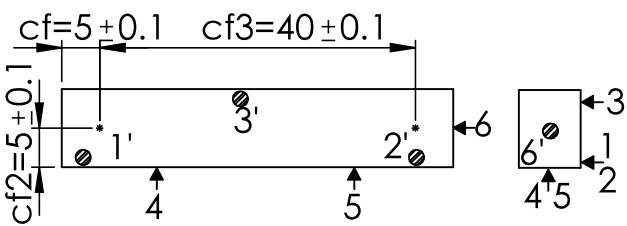
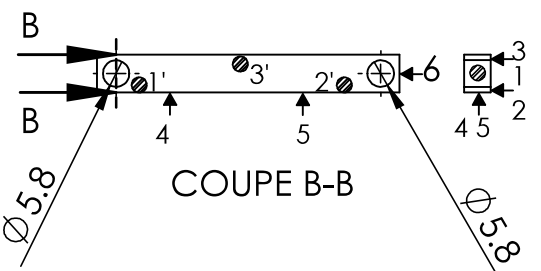
NOMENCLATURE DES PHASES

Nbr:02	Elmnt: Tige	Matière: Aluminium	Date: 01/10/2018	
N° de phase	Les désignations des phases sous phases et opérations	Machine	Appareillage outils-coupants Vérification	Croquis de la pièce à ses divers stade d'usinage
100	controle du brut		ped a coulisse	
200	dressage de toutes les surfaces cf1=10±0.2 cf2=10±0.2 cf1=5±0.1	Fraiseuse vertical	ped a coulisse fraise a surfacer Ø 22	
300	traçage des perçages cf2=5±0.1 cf1=10±0.2 cf1=5±0.1 cf1=5±0.1	Fraiseuse vertical	ped a coulisse outil de centrage	
400	perçage cf1=10±0.5	perceuse vertical	ped a coulisse foret Ø 5	

NOMENCLATURE DES PHASES

Nbr:02	Elmnt: Bride éprouvette	Matière: Aluminium	Date: 01/10/2018	
N° de phase	Les désignations des phases sous phases et opérations	Machine	Appareillage outils-coupants Vérification	Croquis de la pièce à ses divers stade d'usinage
100	controle du brut		pied a coulisse	
200	dressage de toutes les surfaces cf1=10±0.2 cf2=80±0.2 cf3=7	Fraiseuse vertical	pied a coulisse fraise a dresser Ø 12	
300	traçage des percages cf1=5±0.1 cf2=5±0.1 cf3=70±0.1	Fraiseuse vertical	pied a coulisse	
310	percages	Fraiseuse vertical	pied a coulisse foret Ø 5.8	

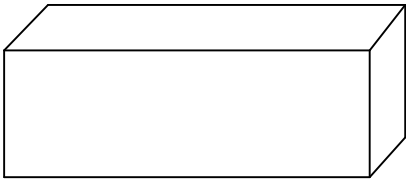
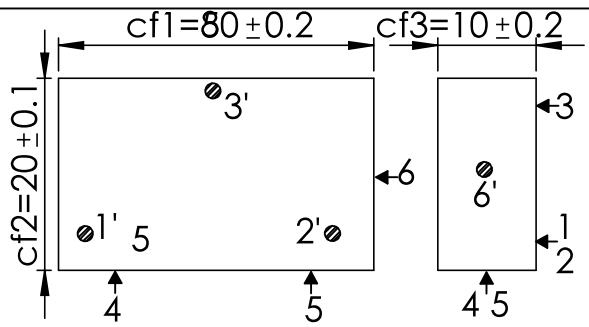
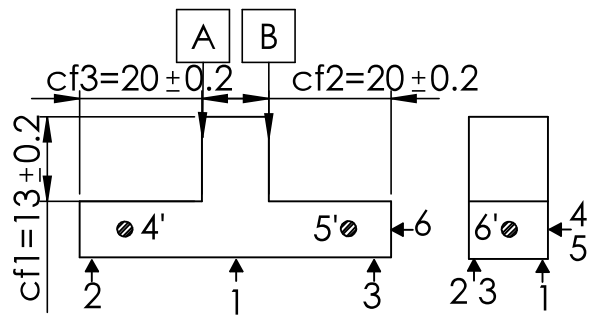
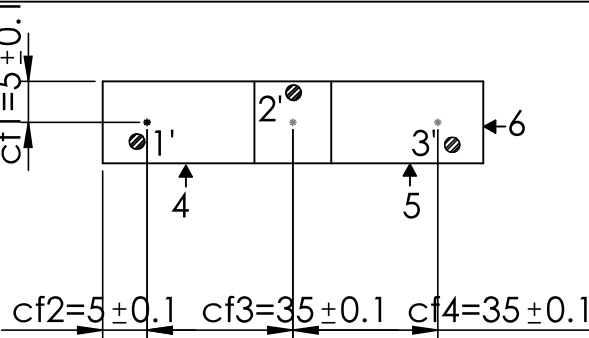
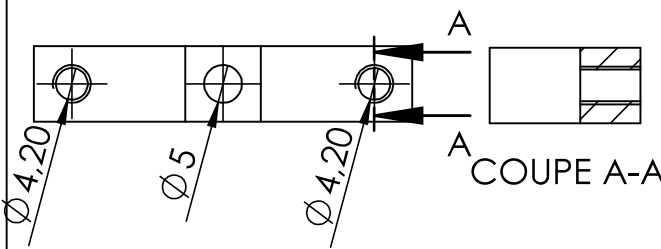
NOMENCLATURE DES PHASES

Nbr:02	Elmnt: Bride lame	Matière: Aluminium	Date: 01/09/2018	
N° de phase	Les désignations des phases sous phases et opérations	Machine	Appareillage outils-coupants Vérification	Croquis de la pièce à ses divers stade d'usinage
100	controle du brut		piéd a coulisse	
200	dressage de toutes les surfaces cf1=10±0.2 cf2=50±0.2 cf3=5	Fraiseuse vertical	piéd a coulisse fraise a surfacér ∅ 12	
300	traçage des percages cf1=5±0.1 cf2=5±0.1 cf3=40±0.1	Fraiseuse vertical	piéd a coulisse	
310	percages	Fraiseuse vertical	piéd a coulisse foret ∅ 5.8	

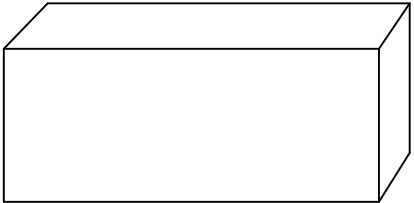
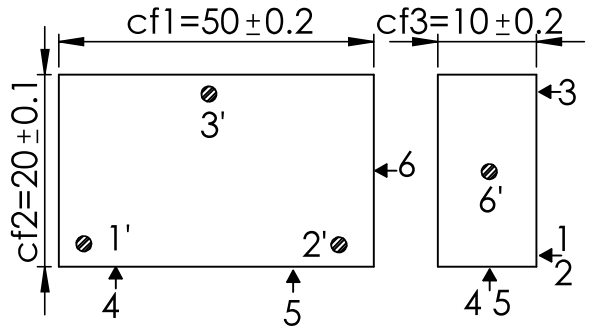
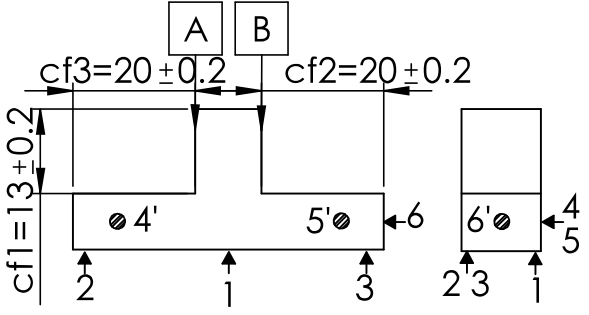
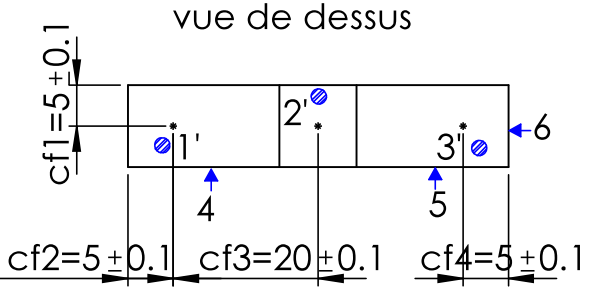
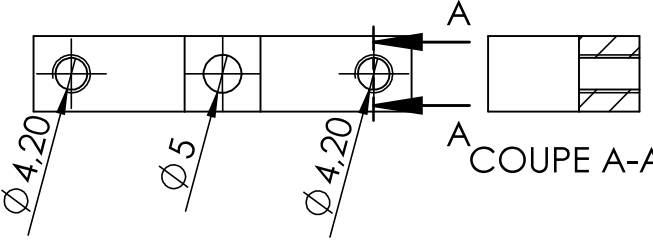
NOMENCLATURE DES PHASES

Nbr:02	Elmnt: Mord éprouvette	Matière: Aluminium	Date: 01/10/2018	
N° de phase	Les désignations des phases sous phases et opérations	Machine	Appareillage outils-coupants Vérification	Croquis de la pièce à ses divers stade d'usinage
500	surfaçage de A et B $cf1=2\pm0.2$ $cf2=10\pm0.2$ $cf3=4\pm0.2$	Fraiseuse vertical	pied a coulisse fraiseuse a deux taillants $\varnothing 10$	<p>The technical drawing illustrates the manufacturing process of a mechanical part. It consists of two views: a top view and a side view.</p> <p>Top View: Shows a stepped shaft with five key features labeled 1, 2, 3, 4', and 5'. Feature 1 is a small diameter section on the left. Feature 2 is a larger diameter section in the middle. Feature 3 is a section with a diameter similar to feature 1. Features 4' and 5' are diameters of the main shaft sections. A dimension $cf1=2\pm0.2$ is indicated on the right side.</p> <p>Side View: Shows the shaft with features 1', 2', 3', 4, and 5. Feature 1' is a hole at the left end. Feature 2' is a hole in the middle section. Feature 3' is a hole at the right end. Features 4 and 5 are diameters of the shaft sections. A dimension of 60 is shown between the centerlines of features 1' and 2'. A dimension $cf2=10\pm0.2$ is shown between the centerline of feature 2' and the right end. A dimension $cf3=4\pm0.2$ is shown on the right side.</p>

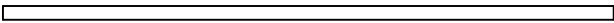
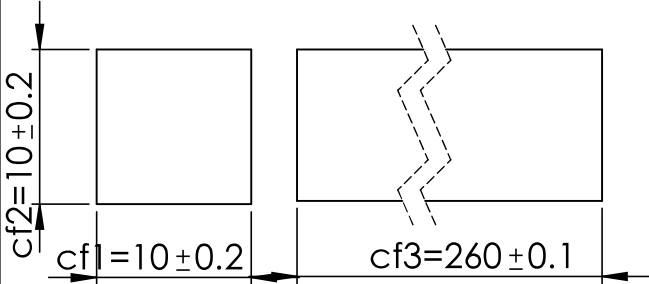
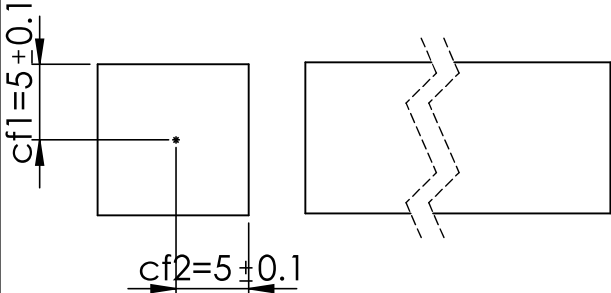
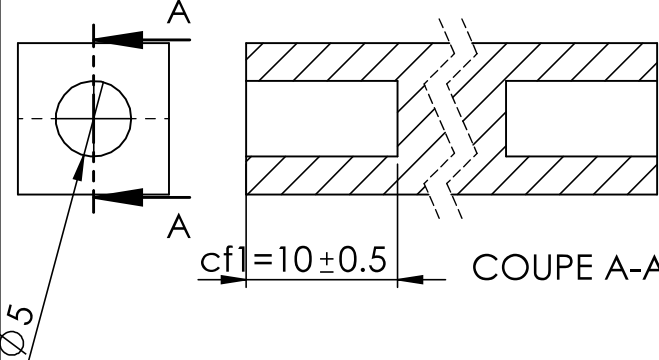
NOMENCLATURE DES PHASES

Nbr:02	Elmnt: mord éprouvette	Matière: Aluminium	Date: 01/10/2018	
N° de phase	Les désignations des phases sous phases et opérations	Machine	Appareillage outils-coupants Vérification	Croquis de la pièce à ses divers stade d'usinage
100	contrôle du brut		piéd a coulisse	
200	dressage de toutes les surfaces cf1=80±0.2 cf2=20±0.1 cf3=10±0.2	Fraiseuse vertical	piéd a coulisse fraise a surfacér ∅ 22	
300	surfaçage de A et B cf1=13±0.2 cf2=20±0.2 cf3=35±0.1	Fraiseuse vertical	piéd a coulisse fraise a deux taillant ∅ 20	
400	traçage des perçages cf1=5±0.1 cf2=5±0.1 cf3=35±0.1 cf4=35±0.1	Fraiseuse vertical	piéd a coulisse outil de centrage	
410	percage et taraudage	Fraiseuse vertical	forets ∅5 foret ∅4.2 taraud M5	

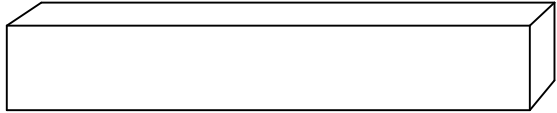
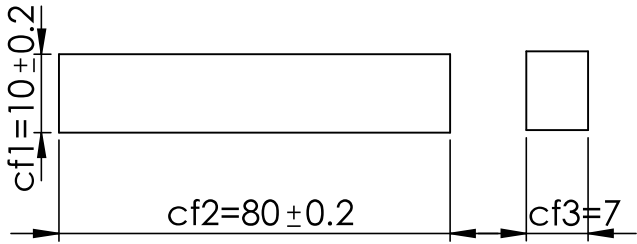
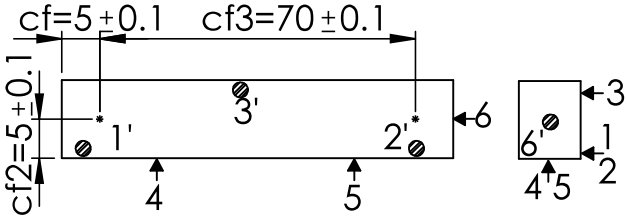
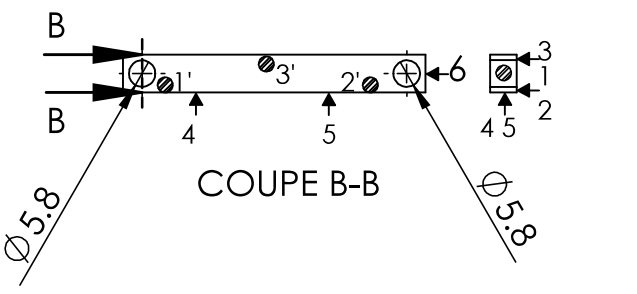
NOMENCLATURE DES PHASES

Nbr:02	Elmnt: Mord lame	Matière: Aluminium	Date: 01/10/2018	
N° de phase	Les désignations des phases sous phases et opérations	Machine	Appareillage outils-coupants Vérification	Croquis de la pièce à ses divers stade d'usinage
100	contrôle du brut		piéd a coulisse	
200	dressage de toutes les surfaces cf1=50±0.2 cf2=20±0.1 cf3=10±0.2	Fraiseuse vertical	piéd a coulisse fraise a surfacer Ø22	
300	surfaçage de A et B cf1=13±0.2 cf2=20±0.2 cf4=5±0.1	Fraiseuse vertical	piéd a coulisse fraise a deux taillant Ø20	
310	traçage des perçages cf1=13±0.2 cf2=5±0.1 cf3=20±0.1 cf4=5±0.1	Fraiseuse vertical	piéd a coulisse outil de centrage	
320	perçage et taraudage	Fraiseuse vertical	forets Ø5 foret Ø4.2 taraud M5	

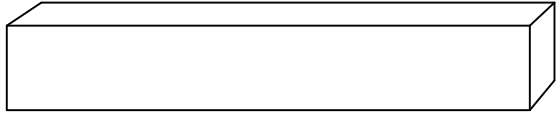
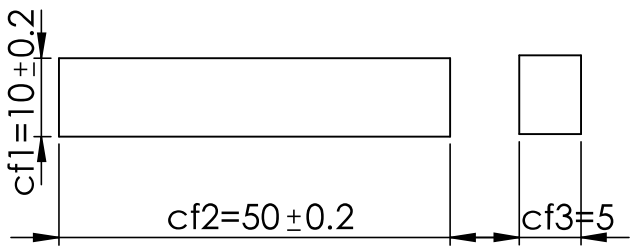
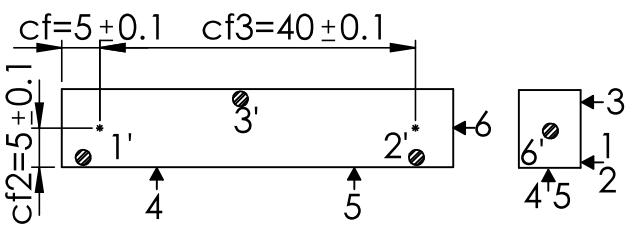
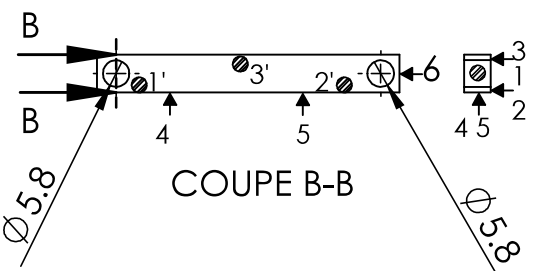
NOMENCLATURE DES PHASES

Nbr:02	Elmnt: Tige	Matière: Aluminium	Date: 01/10/2018	
N° de phase	Les désignations des phases sous phases et opérations	Machine	Appareillage outils-coupants Vérification	Croquis de la pièce à ses divers stade d'usinage
100	controle du brut		ped a coulisse	
200	dressage de toutes les surfaces cf1=10±0.2 cf2=10±0.2 cf1=5±0.1	Fraiseuse vertical	ped a coulisse fraise a surfacer Ø 22	
300	traçage des perçages cf2=5±0.1 cf1=10±0.2 cf1=5±0.1 cf1=5±0.1	Fraiseuse vertical	ped a coulisse outil de centrage	
400	perçage cf1=10±0.5	perceuse vertical	ped a coulisse foret Ø 5	

NOMENCLATURE DES PHASES

Nbr:02	Elmnt: Bride éprouvette	Matière: Aluminium	Date: 01/10/2018	
N° de phase	Les désignations des phases sous phases et opérations	Machine	Appareillage outils-coupants Vérification	Croquis de la pièce à ses divers stade d'usinage
100	controle du brut		pied a coulisse	
200	dressage de toutes les surfaces cf1=10±0.2 cf2=80±0.2 cf3=7	Fraiseuse vertical	pied a coulisse fraise a dresser Ø 12	
300	traçage des percages cf1=5±0.1 cf2=5±0.1 cf3=70±0.1	Fraiseuse vertical	pied a coulisse	
310	percages	Fraiseuse vertical	pied a coulisse foret Ø 5.8	

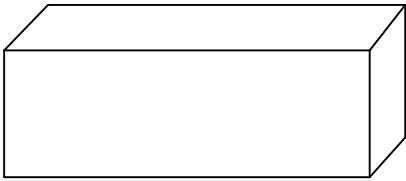
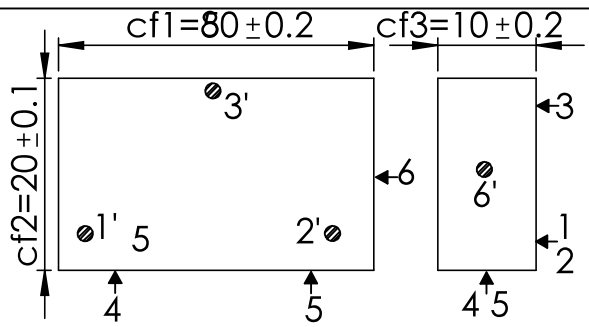
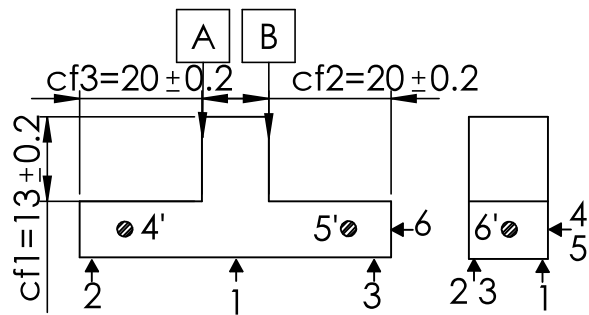
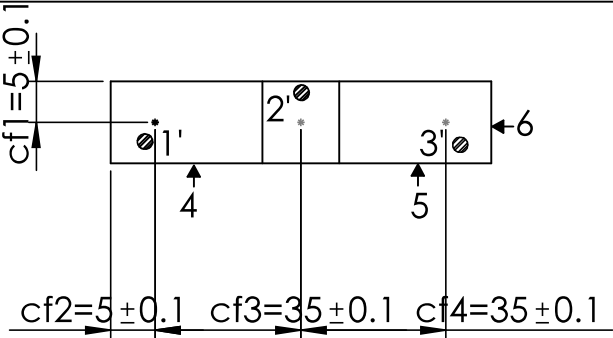
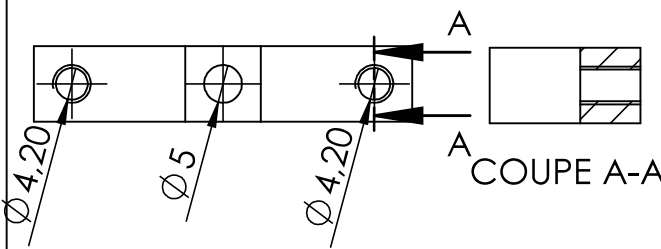
NOMENCLATURE DES PHASES

Nbr:02	Elmnt: Bride lame	Matière: Aluminium	Date: 01/09/2018	
N° de phase	Les désignations des phases sous phases et opérations	Machine	Appareillage outils-coupants Vérification	Croquis de la pièce à ses divers stade d'usinage
100	controle du brut		piéd a coulisse	
200	dressage de toutes les surfaces cf1=10±0.2 cf2=50±0.2 cf3=5	Fraiseuse vertical	piéd a coulisse fraise a surfacér ∅ 12	
300	traçage des percages cf1=5±0.1 cf2=5±0.1 cf3=40±0.1	Fraiseuse vertical	piéd a coulisse	
310	percages	Fraiseuse vertical	piéd a coulisse foret ∅ 5.8	

NOMENCLATURE DES PHASES

Nbr:02	Elmnt: Mord éprouvette	Matière: Aluminium	Date: 01/10/2018	
N° de phase	Les désignations des phases sous phases et opérations	Machine	Appareillage outils-coupants Vérification	Croquis de la pièce à ses divers stade d'usinage
500	surfaçage de A et B $cf1=2\pm0.2$ $cf2=10\pm0.2$ $cf3=4\pm0.2$	Fraiseuse vertical	pied a coulisse fraiseuse a deux taillants $\varnothing 10$	

NOMENCLATURE DES PHASES

Nbr:02	Elmnt: mord éprouvette	Matière: Aluminium	Date: 01/10/2018	
N° de phase	Les désignations des phases sous phases et opérations	Machine	Appareillage outils-coupants Vérification	Croquis de la pièce à ses divers stade d'usinage
100	controle du brut		pied a coulisse	
200	dressage de toutes les surfaces cf1=80±0.2 cf2=20±0.1 cf3=10±0.2	Fraiseuse vertical	pied a coulisse fraise a surfacer ∅ 22	
300	surfaçage de A et B cf1=13±0.2 cf2=20±0.2 cf3=35±0.1	Fraiseuse vertical	pied a coulisse fraise a deux taillant ∅ 20	
400	traçage des perçages cf1=5±0.1 cf2=5±0.1 cf3=35±0.1 cf4=35±0.1	Fraiseuse vertical	pied a coulisse outil de centrage	
410	percage et taraudage	Fraiseuse vertical	forets ∅ 5 foret ∅ 4.2 taraud M5	

IV. Mise à l'épreuve du dispositif

IV.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre, est de décrire les conditions du test de notre dispositif, en vue de tracer la courbe de déplacement de deux points sur l'éprouvette en temps réel.

La machine de traction est déjà équipée d'un capteur de force, qui fonctionne parfaitement. On a alors décidé de le garder et de l'utiliser pendant les essais.

IV.1.2 L'essai de traction

Parmi tous les essais mécaniques, l'essai de traction est certainement l'essai le plus fondamental. Il sert à déterminer les principales caractéristiques mécaniques telles que le module d'élasticité, le coefficient de Poisson, la limite d'élasticité, la résistance à la rupture, l'allongement après rupture et le coefficient de striction.

Son exécution est facile et les résultats obtenus servent à dimensionner toutes sortes des pièces allant d'un pignon jusqu'à la structure métallique d'un grand hall. Dans la recherche on l'applique pour la caractérisation de nouveaux matériaux et dans l'industrie pour les contrôles périodiques servant à surveiller la qualité des alliages, des polymères et des céramiques.

IV.1.3 Description de la machine de traction

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

IV.1.4 La machine universelle d'essais IBERTEST mod. ELIB-200E/W

Pour l'exécution des essais de traction nous avons utilisé la machine de traction IBERTEST mode ELIIB-200E/W qui se trouve au niveau du laboratoire de génie civil, faculté de Génie de la Construction de l'UMMTO.

C'est une machine universelle qui permet d'exécuter des essais de traction, compression, flexion, pliage etc. Sa capacité est de 200 kN, en traction et compression.

Voici quelques caractéristiques présentées sous forme de tableau de la machine de traction IBERTEST

Tableau IV.1 : caractéristiques générale de la machine

Modèle	ELIB-200E/W
Force maximum	200 KN
Mesure de la force	Cellule de charge universelle (traction-compression) à jauges de contraintes
Nb de canaux de mesure	5 canaux de mesure répartis de la façon suivante : 1 canal pour la cellule de charge, 3 canaux libre pour le montage des transducteurs, 1 canal numérique pour l'encoder
Nb d'échelles	2 pour les cellules de 200 KN et 10 KN : 1/1 et 1/10 de la force maximum
	2 cellules de charge : 1 de 200 KN ; 1 de 10 KN
Etendue de mesure	De 2% à 100% de la capacité nominale de la cellule de charge de 200kN ; De 10% à 100% de la capacité nominale des cellules de charge de capacité inférieur
Classe de la machine selon EN 10002-2	Classe 1 dans l'étendue de la mesure
Résolution (en force)	5 chiffres avec virgule flottante en fonction de la capacité de la cellule et de l'échelle
Distance libre entre colonnes	520mm
Hauteur de la machine	2550mm
Dimensions au sol de la machine	1050*610 mm
N° de colonnes guide	2 a 60 mm de diamètre chromées et rectifiées
N° de vis	2 vis a billes, de haute précision, dotées de racleurs
Actionnement	Moteur en courant continue et basse inertie de puissance =2200W
Vitesse de déplacement	Programmable par le clavier entre 0.1 et 500 mm/min
Vitesse de charge	Programmable par le clavier entre 0.05 et 10 kN/s
Contrôle de vitesse	Par dynamo tacométrique

Mesure du déplacement	Par encodeur (capteur d'impulsions numérique) de 2500 impulsions/tour, avec résolution en mesure de mouvement linéaire de la traverse de 0.004mm
Transmission	Par pignon-chaîne dentée
Dimensions de la table de travail	1400*800*740 mm
Ancrage du bâti d'essais	Par ancrage incrustés dans le béton

IV.2.1 Eprouvettes utilisées pour l'essai de traction

Pour notre essai, nous avons adopté une forme d'éprouvette DENT de son nom anglais (Double Edge Notched Tension) qui est formée à partir d'un polymère PEHD obtenu par extrusion de matière plastique. Elle adopte une forme rectangulaire, de section constante sur sa longueur.

À ses deux extrémités se trouve la zone de préhension. Deux entailles similaires sont exécutées sur les deux côtés, à hauteur et profondeur égale, à l'aide d'une lame coupante.

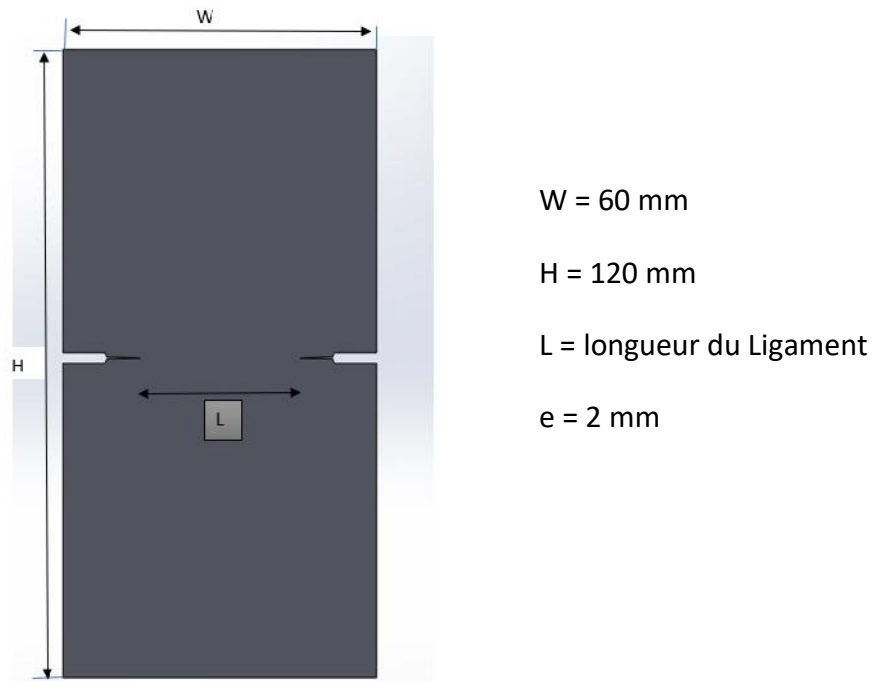


Figure IV.a : éprouvette DENT

La figure suivante représente nos éprouvettes avec différentes longueurs d'entailles.

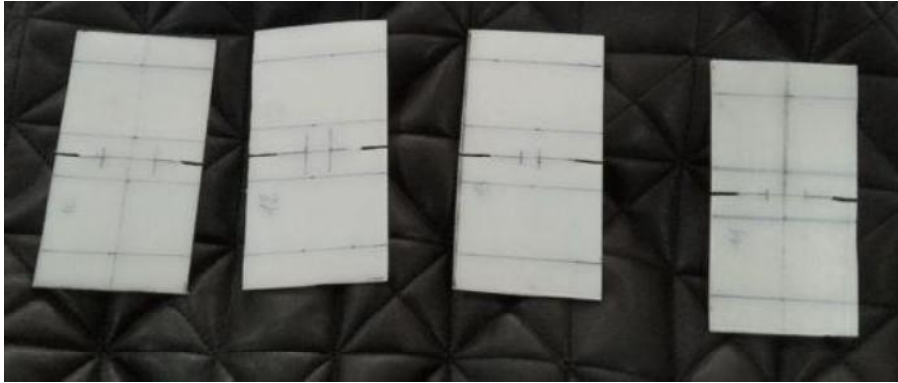


Figure IV.1 : dimensionnement avec différent longueur d'entaille

les dimensions des éprouvettes sont les suivantes :

Tableau IV.2 : dimensions des éprouvettes

	Eprouvette I	Eprouvette II	Eprouvette III
Hauteur(mm)	120	120	120
Largeur(mm)	60	60	60
L'entaille a(mm)	20	22	26
Ligament L(mm)	20	16	8
Epaisseur t(mm)	2	2	2

IV.2.2 La chaîne d'acquisition

La chaîne d'acquisition de fabrication « VISHAY MICROMESURE », est constituée de dix entrées analogiques et dix sorties. Le conditionnement de nos capteurs permet la mise à zéro, l'équilibrage des ponts, l'amplification et le gain du signal d'entrée.



Figure IV.2 : Chaine d'acquisition « VISHAY MICROMESURE »

IV.2.3 Carte Arduino

Arduino est un circuit imprimé sur lequel se trouve un microcontrôleur qui peut être programmé pour analyser et produire des signaux électriques, de manière à effectuer des tâches très diverses comme le contrôle des appareils domestiques - éclairage, chauffage..., le pilotage d'un robot, etc.

C'est une plateforme basée sur une interface entrée/sortie simple. Arduino peut être utilisée pour construire des objets interactifs indépendants, ou bien peut être connectée à un ordinateur pour communiquer avec des logiciels. Les modules sont programmés au travers d'une connexion série RS-232.

Les premiers Arduino possédaient un port série, puis l'USB, tandis que certains modules destinés à une utilisation portable se sont affranchis de l'interface de programmation, relocalisée sur un module USB-série dédié (sous forme de carte ou de câble). L'Arduino utilise la plupart des entrées/sorties du microcontrôleur pour l'interfaçage avec les autres circuits

L'Arduino est une carte électronique qui a assuré la liaison entre la chaîne d'acquisition et l'ordinateur pour acquérir les données des essais de traction. Elle peut servir également :

- pour des dispositifs interactifs autonomes simples ;
- comme interface entre capteurs/actionneurs et ordinateur ;

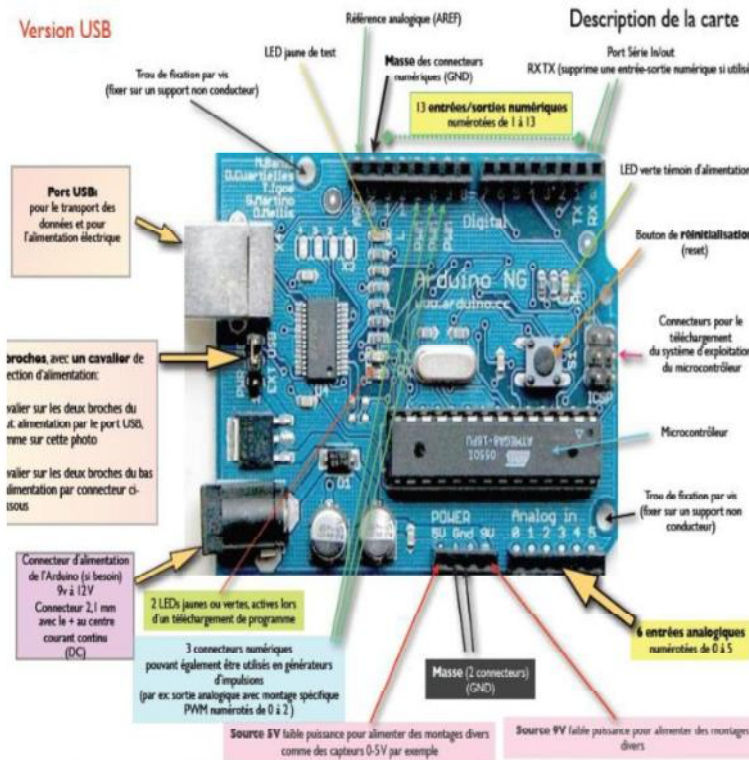


Figure IV.3 : carte Arduino

IV.3 Mise en place du dispositif

Tout d'abord on monte l'éprouvette sur le dispositif à l'aide des mors et des vis CHC M5, une fois fixé sur l'éprouvette, on place l'ensemble (dispositif + éprouvette) sur les mors de la machine de traction. Comme il est facilement maniable, le dispositif ne pose aucune difficulté lors du montage.



Figure IV.4 : mise en place du dispositif

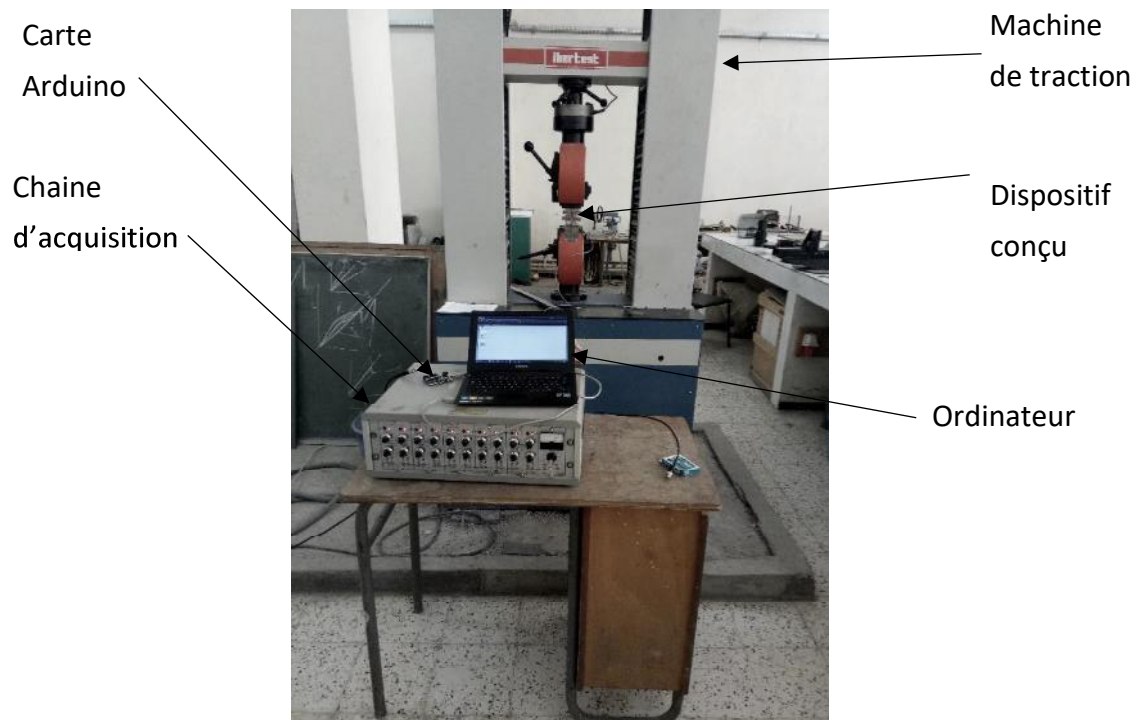


Figure IV.5 : chaine de mesure

IV.5.1 Etalonnage du dispositif de déplacement

L'étalonnage du dispositif s'est fait en un seul essai. Ainsi nous avons comparé les valeurs de la course (mm) de la traverse avec le signal de sortie de la carte Arduino relié au dispositif.

Le tableau suivant nous permet le tracé de la droite d'étalonnage de ce dispositif

Tableau IV.3 : valeur de l'étalonnage du dispositif

Signale	Course
0	0
150	3.45
260	5.84
410	9.17
480	11.21

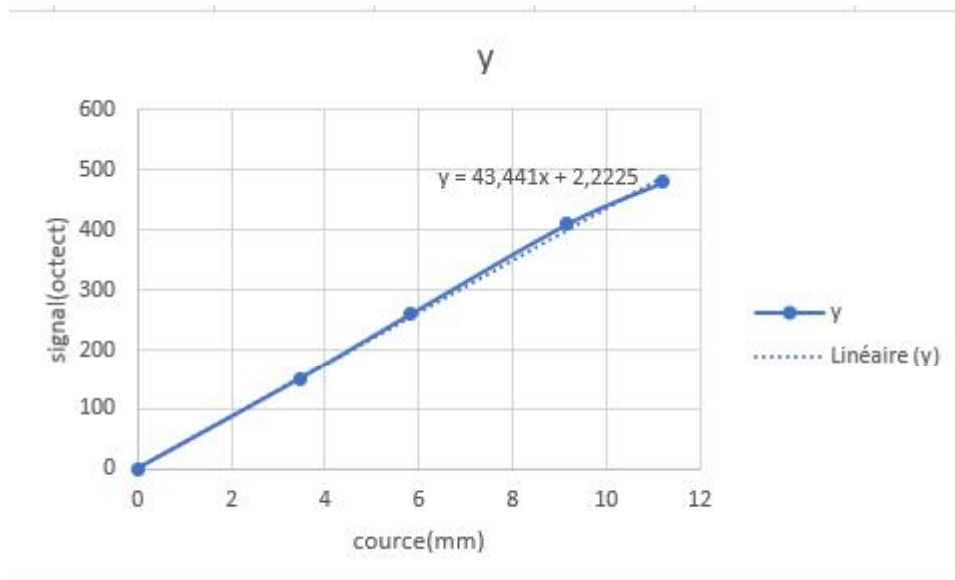


Figure IV.6 : courbe d'étalonnage du dispositif

Nous obtenons ainsi un facteur d'étalonnage du dispositif de déplacement par le calcul de la pente de la droite du signal en fonction de la course, qui vaut 43.44, On a introduit ce facteur par la suite dans notre programme écrit en MATLAB, afin de tracer la courbe de traction en temps réel.

IV.4 Essai de validation pour le dispositif

Après l'étalonnage de notre dispositif nous avons procédé aux essais de traction sur les éprouvettes que nous avons réalisées.

IV.4.1 Déroulement de l'essai

L'essai a été fait sur 3 éprouvettes « plate » en PEHD de section rectangulaire (120x60mmx2mm). Le déplacement de la traverse se déroule à vitesse constante (10mm/mn dans notre cas) .la force appliquée est mesurée à l'aide du capteur de force de la machine. L'allongement de l'éprouvette est mesuré par le dispositif de déplacement. Un glissement est apparu au niveau des mors de la machine du a l'état de surface des éprouvettes, on y a remédié en collant du papier verre sur la zone de préhension de ces dernières.

IV.4.2 Résultat de l'essai :

- Eprouvette I (longueur du ligament = 20mm) :

Courbe obtenue par la machine de traction :

La figure ci-dessus représente la coube de traction pour l'éprouvette DENT obtenu

Par la machine de traction (force en fonction du déplacement) avec l'éprouvette I.

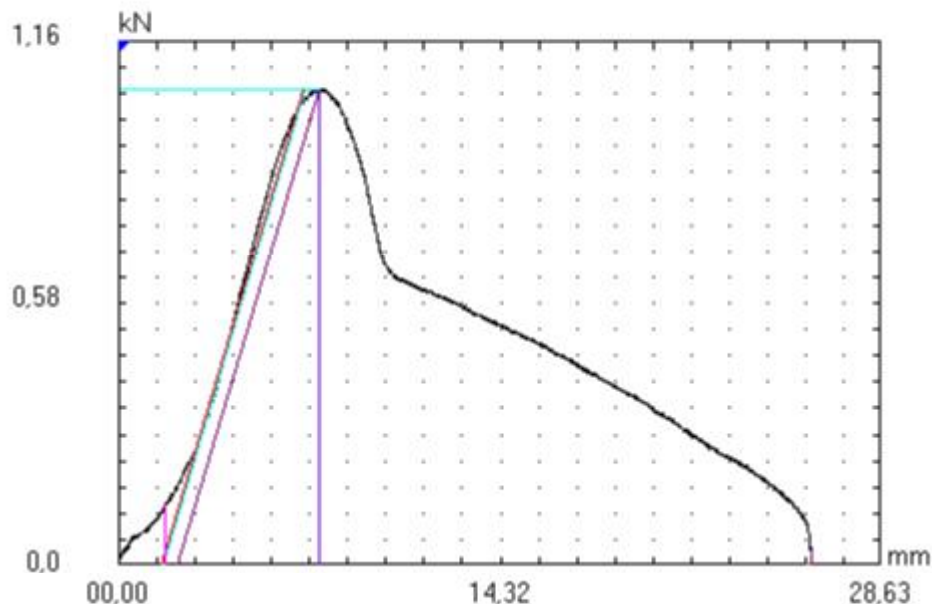


Figure IV.7.a : courbe de traction obtenue par la machine

courbe obtenue par notre dispositif :

la figure ci-dessous représente l'évolution de la distance entre les points A et B en fonction du temps (longueur du ligament = 20mm)

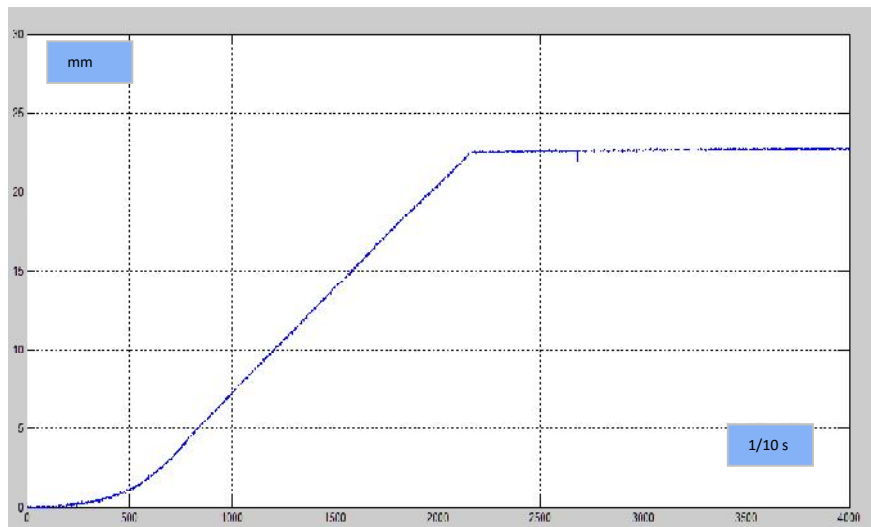


Figure IV.7.b : courbe de traction (temps – déplacement) avec l'éprouvette I

en combinant les données de la machine de traction (la force KN) et les données du déplacement donné par le dispositif, nous obtenons la courbe suivante :

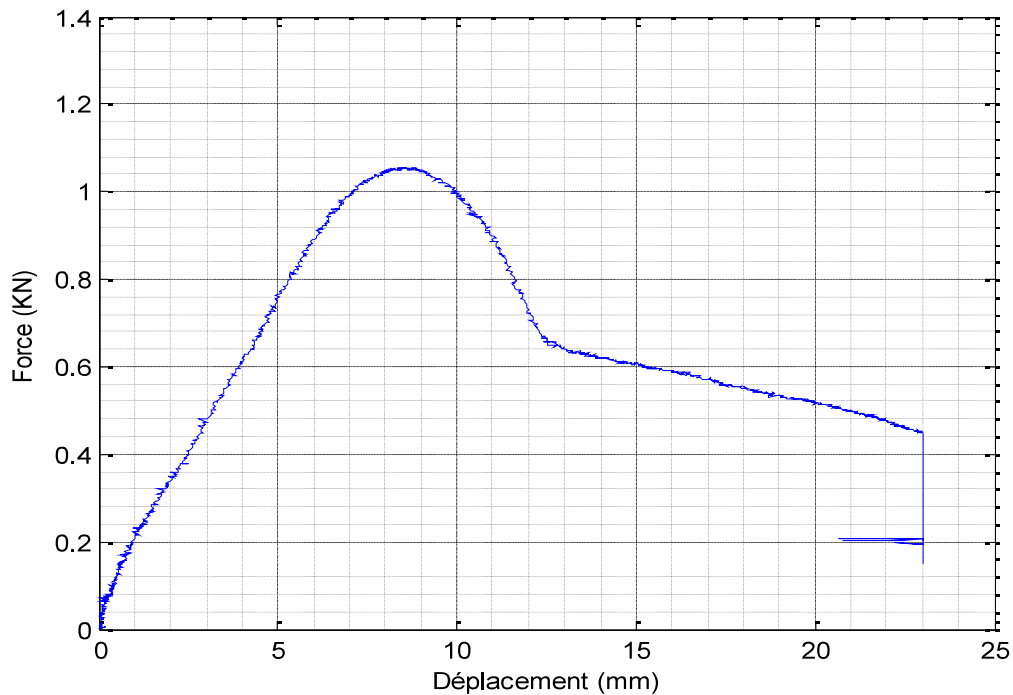


Figure IV.7.b : courbe de traction (force-déplacement) avec l'éprouvette I

- Eprouvette II (longueur du ligament = 16mm):

ci-dessous, la Courbe obtenue par la machine de traction pour l'éprouvette II

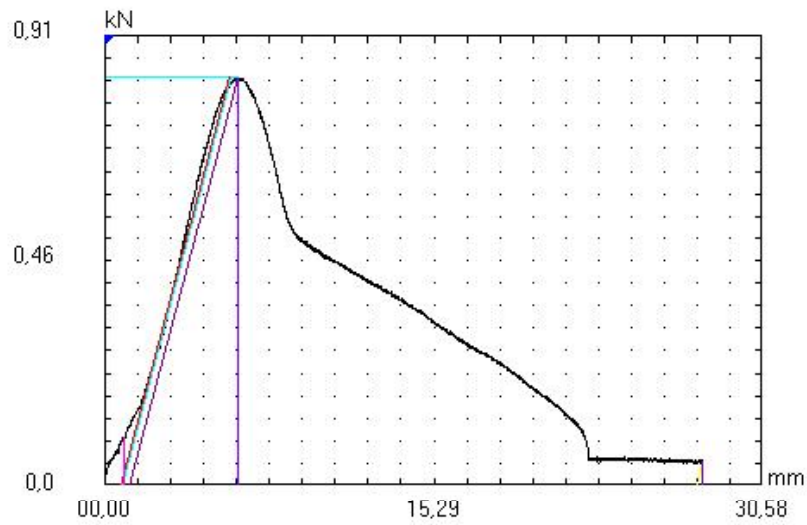


Figure IV.8.a : courbe de traction obtenue par la machine pour l'éprouvette II

ci-dessous, la Courbe obtenue par le dispositif (longueur du ligament = 16mm):

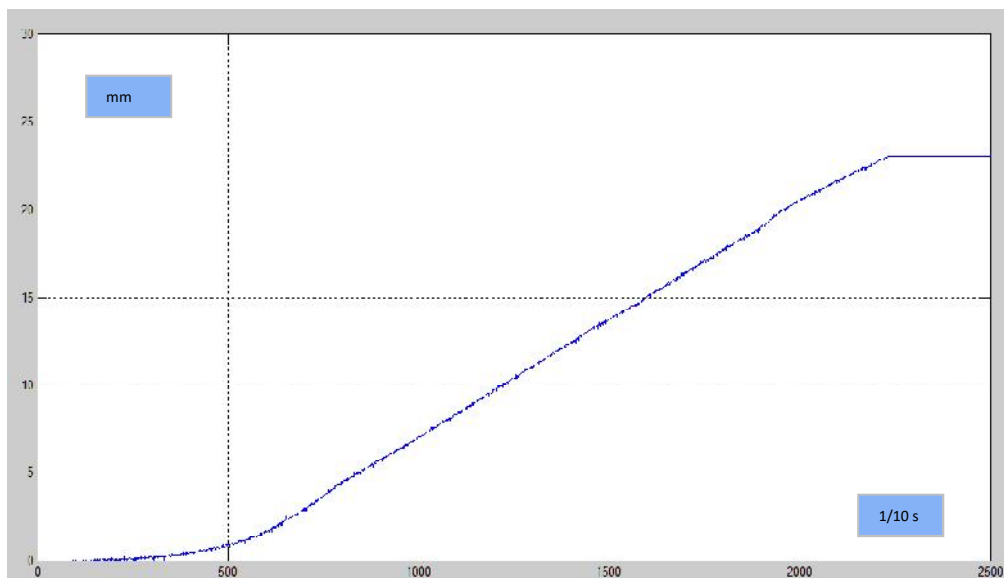


Figure IV.8.b : courbe de traction (temps-déplacement) éprouvette II

On peut donc tracer la courbe de la Force en fonction du déplacement mesuré par le dispositif. Figure III.23.c

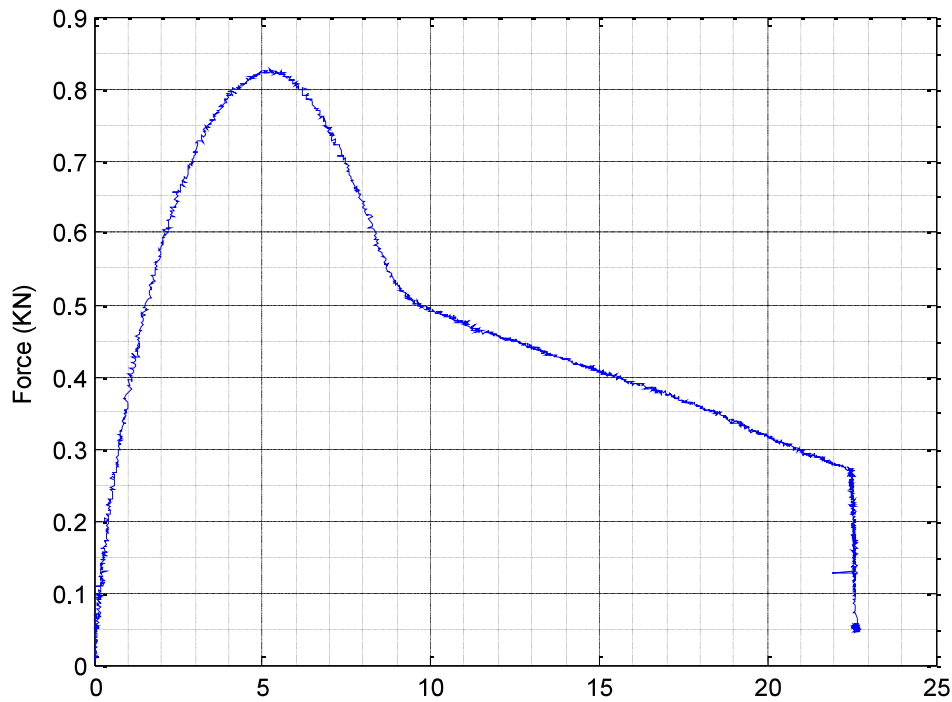


Figure IV.8.c : courbe de traction (force-déplacement) avec l'éprouvette II

- Éprouvette III (longueur du ligament = 8mm) :

Courbe obtenue par la machine

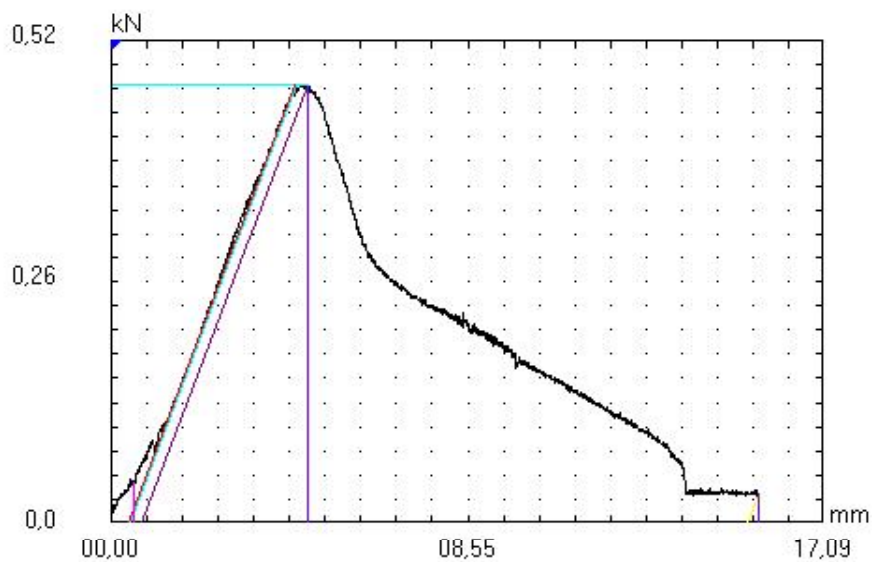


Figure IV.9.a : courbe de traction obtenue par la machine pour l'éprouvette III

Ci-dessous, la Courbes obtenus par notre dispositif pour l'éprouvette III (longueur du ligament = 8mm) :

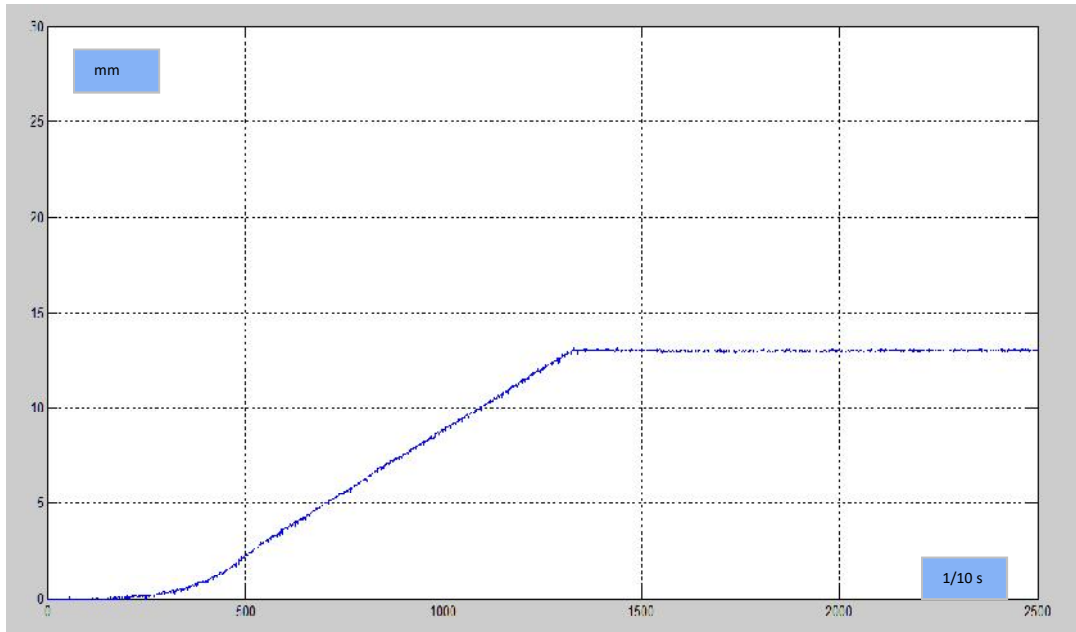


Figure IV.9.b : courbe de traction (temps-déplacement) éprouvette II

Ci-dessous, la Courbe de la Force en fonction du déplacement mesuré par le dispositif pour l'éprouvette III

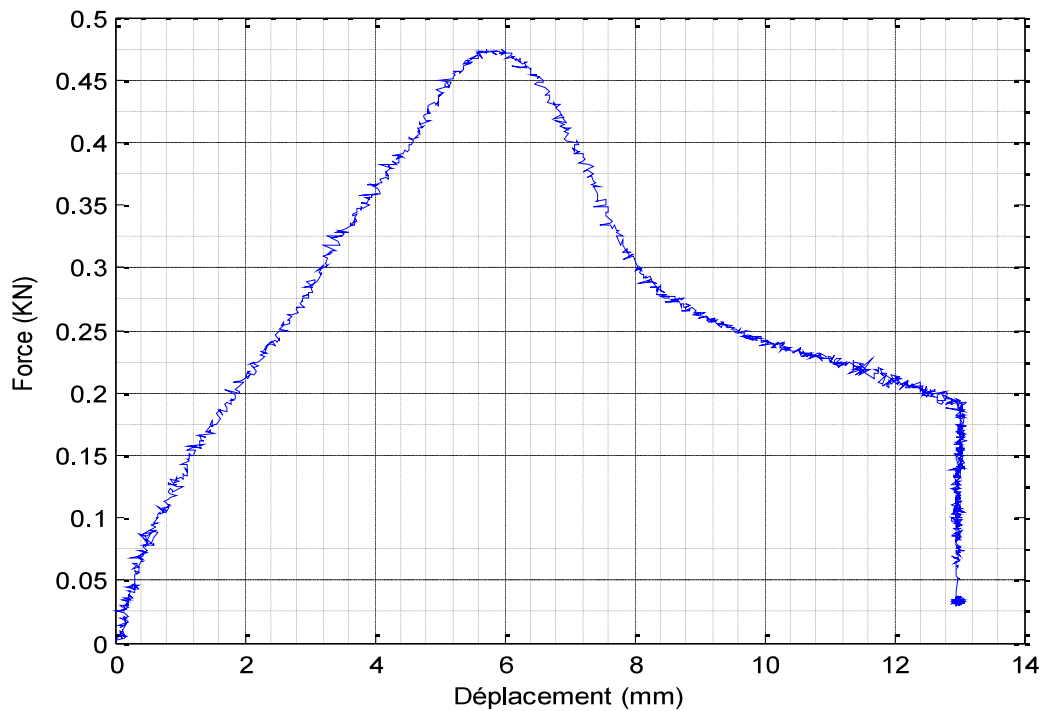


Figure IV.9.c : Courbe de traction(force-déplacement)

IV.5 Discussions des résultats obtenus

Nous remarquons une grande ressemblance dans l'allure des courbes obtenues en combinant les mesures du dispositif et la force donnée par la machine, on peut les répartir en plusieurs phases et points comme suit :

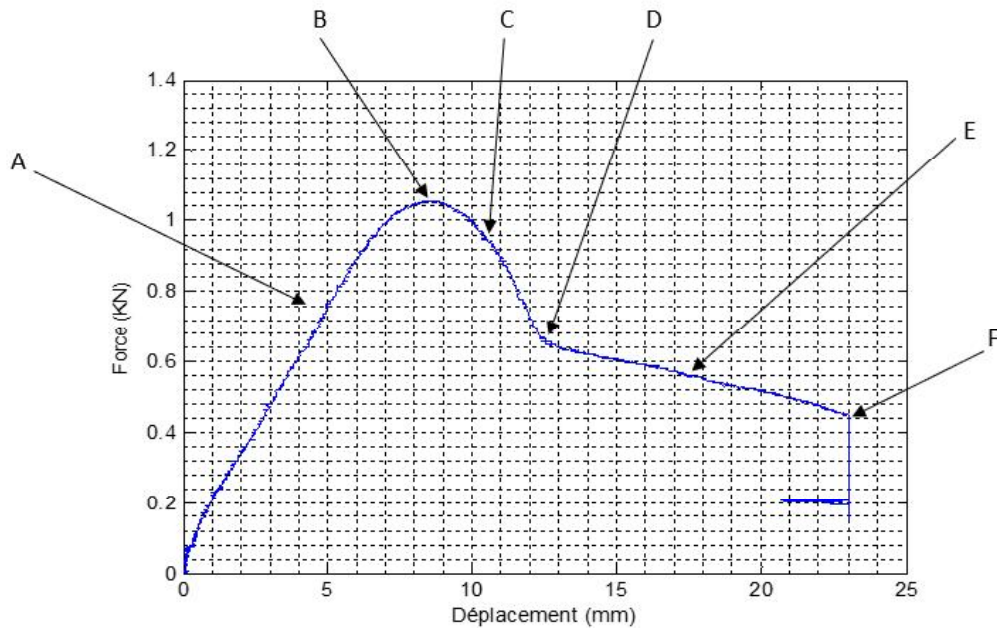


Figure IV.10 : phases et points critique de la courbe

Les déformations des éprouvettes pendant les différentes phases du chargement sont illustrées par les images suivantes :

Tableau IV.4 : représentation des différentes phases du chargement

A	B	C
D	E	F

- Le point B représente la charge maximale supportée par l'éprouvette avant la propagation de la fissure
- Le point D est appelé le point de transition qui représente une augmentation de la vitesse de propagation de la fissure.
- Le point F représente la rupture de l'éprouvette.

Le tableau suivant montre les coordonnées des points B, D, F pour les différents essais :

Tableau IV.5: coordonnées des points B, D, F

	Eprouvette I	Eprouvette II	Eprouvette III
Longueur du Ligament L (mm)	20	16	8
X_B (mm)	8.5	5.2	5.8
Y_B (KN)	1.06	0.83	0.475
X_D (mm)	12.5	9.5	8.2
Y_D (KN)	0.65	0.5	0.275
X_F (mm)	23	22.6	13
Y_F (KN)	0.45	0.275	0.19

D'après nos résultats, on peut déduire que :

- il semblerait que la force nécessaire à la propagation de la fissure (Y_B) est proportionnelle à la longueur du ligament, il existe une relation linéaire entre les deux, montrée par le graphe suivant :

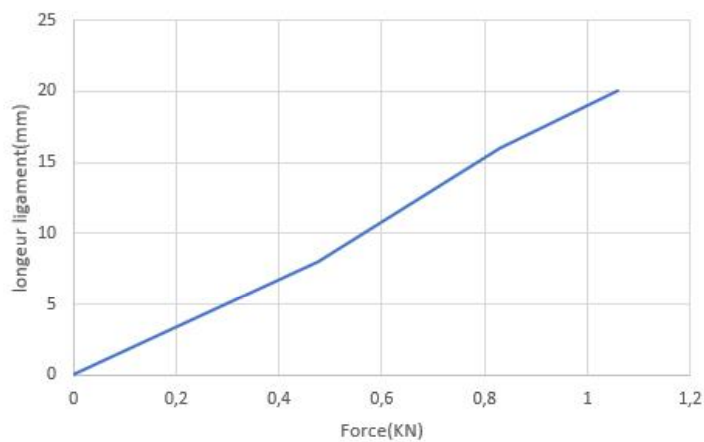


Figure IV.11 : relation entre la longueur du ligament et Y_B

- Les valeurs de la force et du déplacement au point de transition (Y_D , X_D) diminuent au fur et à mesure que la longueur du ligament diminue.
- La force nécessaire à la rupture des éprouvettes est proportionnelle à la longueur du ligament, la distance parcourue par les points A et B de l'éprouvette jusqu'à la rupture de cette dernière varie en fonction de la longueur du ligament, en effet X_F diminue en diminuant la taille du ligament.

IV.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons procédé à la mise à l'essai du dispositif et exploité les résultats numériques obtenus.

Nous pouvons dire que le dispositif fonctionne d'une manière satisfaisante.



CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

La mesure des contraintes et des déformations dans l'essai de traction est particulièrement délicate. Elle nécessite beaucoup de précautions afin d'aboutir à des résultats optimaux. Ces précautions doivent être faites dans le choix de la machine de traction, dans la fabrication des éprouvettes et dans le choix du type de l'acquisition.

Dans le cadre de la présente étude, nous avons été amenés à concevoir et réaliser un dispositif de mesure des déplacements à jauges d'extensiométrie, le dispositif présent, a été vérifié par le logiciel CAO précisément SolidWorks Simulation, qui repose sur la méthode des éléments finis comme technique numérique d'analyse des structures. A ce modèle nous avons appliqué des propriétés du matériau et définissons des déplacements imposés.

Le dispositif de déplacement que nous avons proposé peut être utilisé avec succès pour des mesures en traction sur des éprouvettes DENT de tout type de polymères.

Les essais que nous avons réalisés nous ont permis de tracer la courbe de traction en minimisant l'influence de l'effet des glissements des mors et d'autres effets parasites sur les valeurs des déformations correspondant au déplacement de la traverse de la machine de traction, puis, analyser les données obtenues. Malgré quelques imperfections, et le peu d'essais effectué, nous pouvons admettre que les résultats obtenus lors de ces essais sont satisfaisants.

Cependant, des améliorations peuvent être apporté au dispositif, notamment un système de fixation de l'éprouvette a l'aide de ressorts, même si ces derniers risqueraient d'alourdir le dispositif, en deuxième lieu la protection de la jauge doit être revue, afin de la protéger de l'humidité et des effets extérieurs.

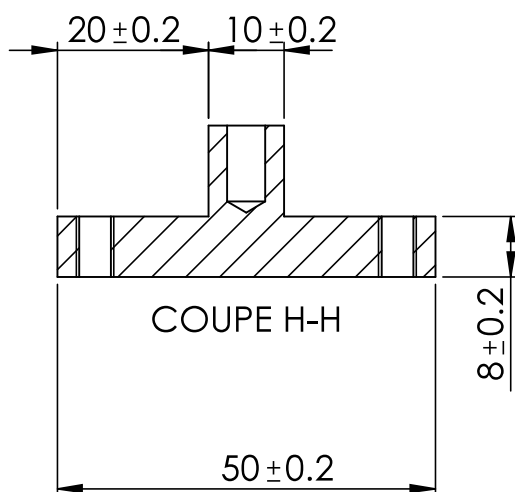
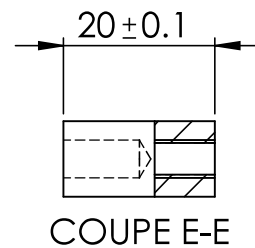
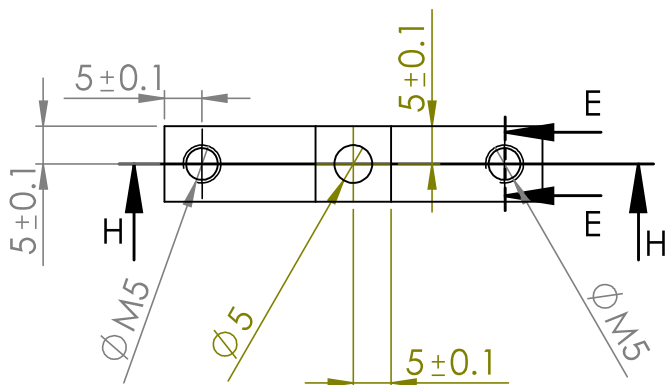
Cette étude a permis d'avoir une première approche sur ces capteurs et sur leurs fonctionnements. Un certain nombre d'erreurs à éviter peut déjà être souligné, ainsi que les précautions à prendre pour protéger les capteurs pour que d'autres étudiants puissent les exploiter.



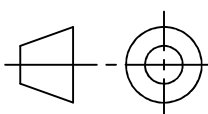
BIBLIOGRAPHIE

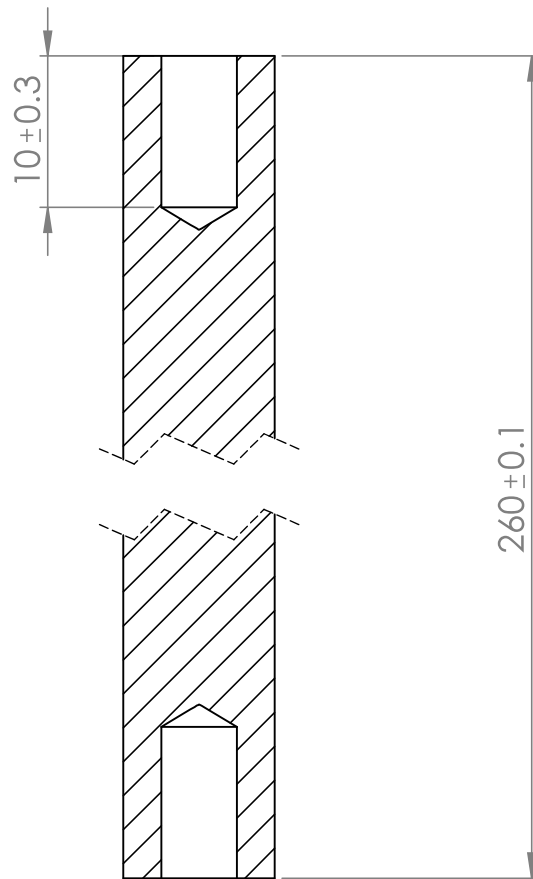
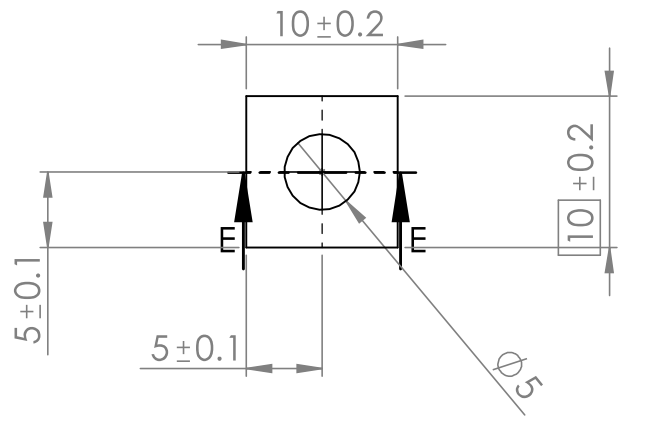
Références bibliographiques

- [1] Comportement mécanique des polymères, Noelle Billon, Mines de Paris-centre, mise en forme des matériaux publiée
sur : mms2.ensmp.fr/.../transparentes/Amphi_Deformation_Polymeres_2007
- [2] Structures et comportements des polymères,
[www.technologuepro.com/chapitre3/structures et comportement des polymères](http://www.technologuepro.com/chapitre3/structures_et_comportement_des_polymeres)
- [3] les polymères de C.Fond récupéré sur : <https://docplayer.fr/19112050-les-polymeres-coures-de-C-Fond>
- [4] Généralités sur les polymères, université de Biskra ; thesis.univ-biskra.dz
- [5] Thèse doctorat sur Matériaux et environnement éditée par Karama El ferhri Borchani
récupéré sur : www.archives-ouvertes.fr
- [6] H.H. KAUSCH, N. HEMANS, et C.J. PLUMMER, propriétés mécaniques et physique
, Lausanne : presses polytechniques et universitaires romandes 2001
- [7] <<connaissances de polyéthylène>> , Documentation technique de la société ELF ATCHEM
Octobre 1995
- [8] B. Barthelemy. (s.d.). *Notions pratique de la mécanique de la rupture* . éditions Eroyllles
1980.
- [9] Baille, p. L.-F. (s.d.). *Au coeurs des materieux cristallins* . Récupéré sur nte.mines-albi.fr/SciMat .
- [10] Nateche, T. (s.d.). *These pour obtention du grade doctorat USTO*.
- [11] Prensier, S. G.-J.-l. (s.d.). *ecole normale superieur Paris Saclay* . éditée le 20/04/2007
publiée sur : <http://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay>
- [12] Zegloul, A. (s.d.). *Concepts fondamentaux de la mécanique de la rupture*. Récupéré sur
master-spim.blog.univ-lorraine.fr/files/2017/07/OP5_5-10-17.pdf.
- [13] Abdessalam Yazza, mémoire en science appliquée : résistance à la fissuration sous
contrainte de soudure, géologie des mines, école Polytech de Montréal, juin 2001



Ra 3.2

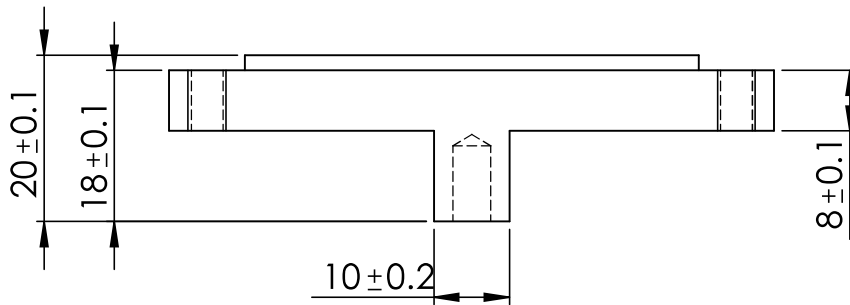
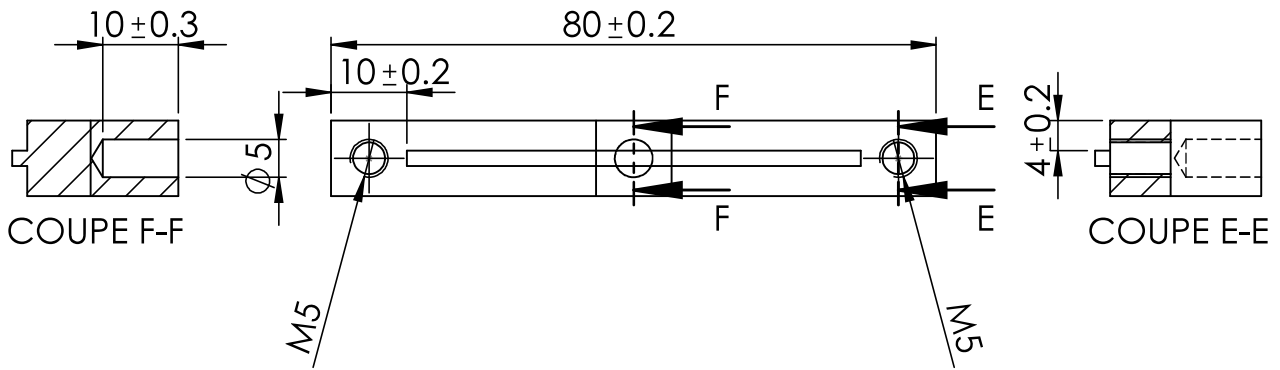
04	02	mors lame	Aluminium	
NBR	REP	désignation	matière	observation
ECHELLE 1/1		dispositif de mesure de déplacement sur une éprouvettes DENT en polymère		M2 CM
				PFE
A4		UMMTO DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE		novembre 2018



COUPE E-E

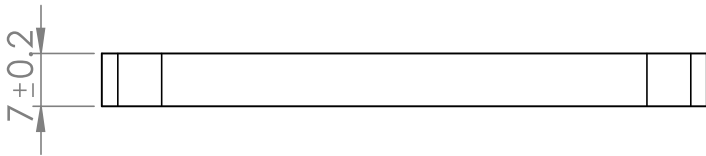
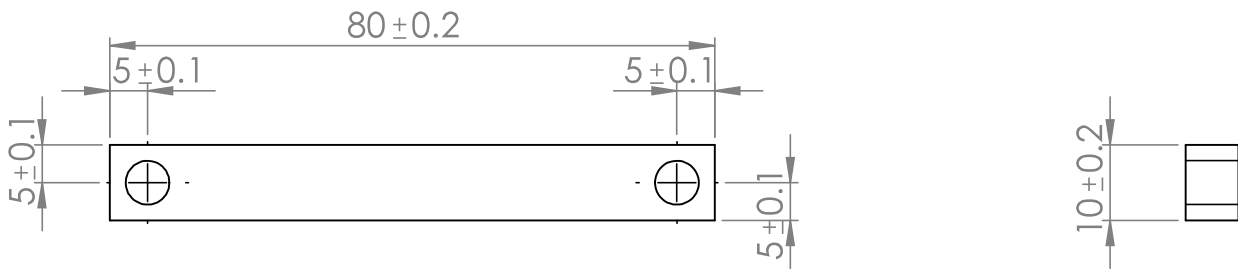
Ra 3.2

02	02	Tiges	Aluminium	
NBR	REP	désignation	matière	observation
ECHELLE 2/1		dispositif de mesure de déplacement sur une éprouvettes DENT en polymère		M2 CM
				PFE
A4		UMMTO DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE		novembre 2018



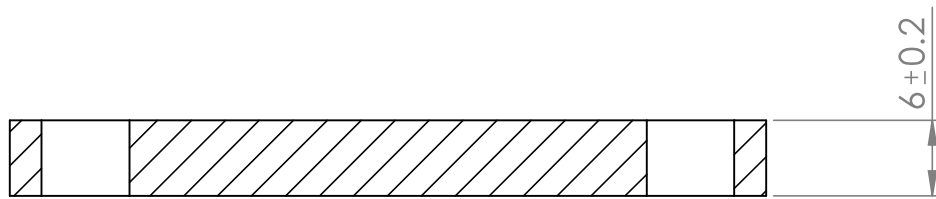
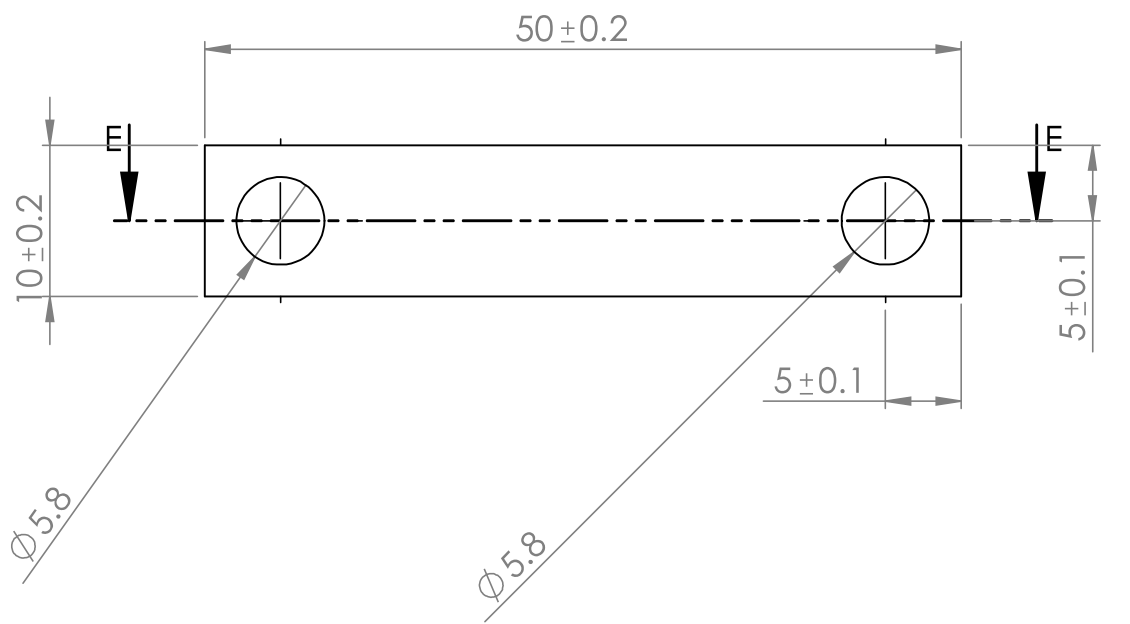
Ra 3.2

01	02	mors éprouvette	Aluminium	
NBR	REP	désignation	matière	observation
ECHELLE 1/1		dispositif de mesure de déplacement sur une éprouvettes DENT en polymère		M2 CM
				PFE
A4		UMMTO DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE		novembre 2018



Ra 3.2/

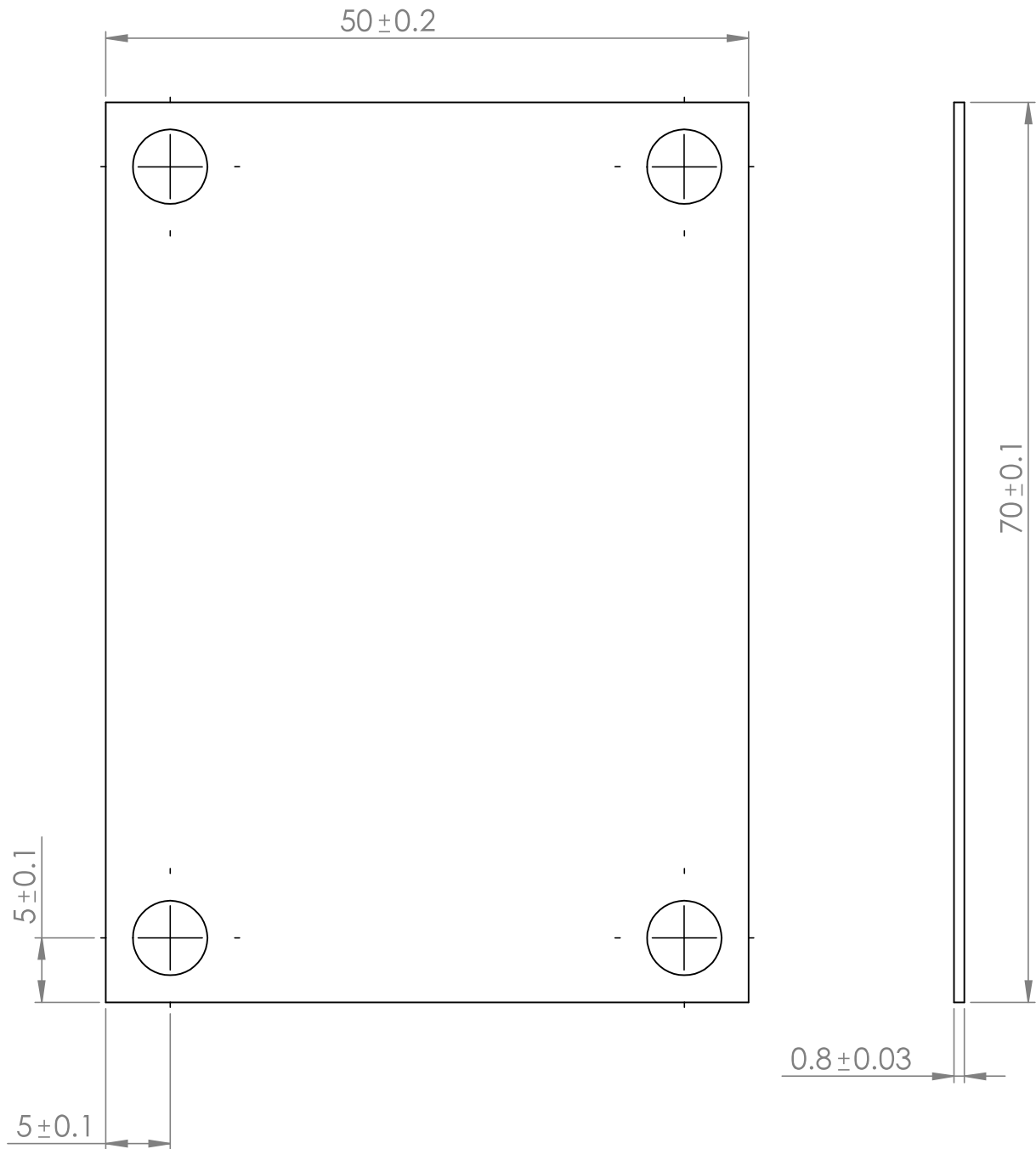
01	02	Bride éprouvette	Aluminium	
NBR	REP	désignation	matière	observation
ECHELLE 1/1		dispositif de mesure de déplacement sur une éprouvettes DENT en polymère		M2 CM
				PFE
A4		UMMTO DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE		novembre 2018



COUPE E-E

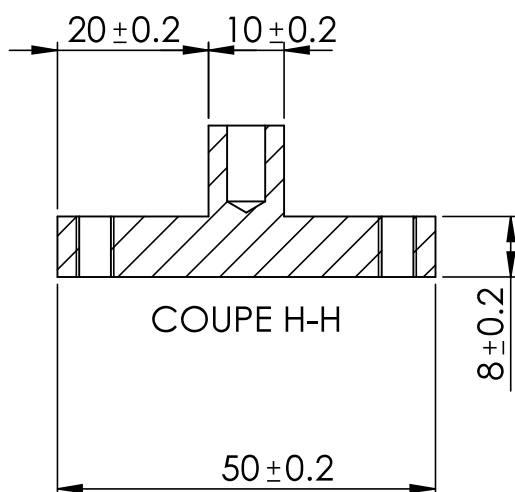
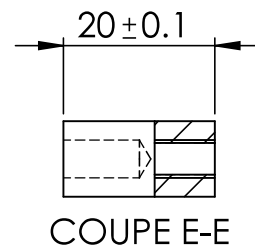
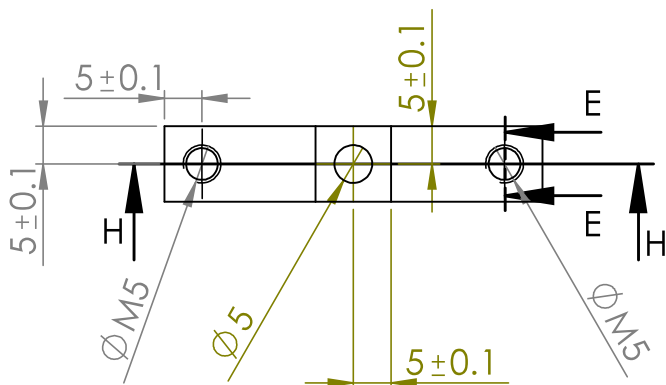
Ra 3.2/

06	02	bride lame	Aluminium	
NBR	REP	désignation	matière	observation
ECHELLE 1/1		dispositif de mesure de déplacement sur une éprouvettes DENT en polymère		M2 CM
				PFE
A4		UMMTO DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE		novembre 2018

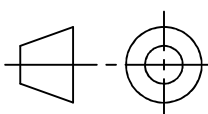


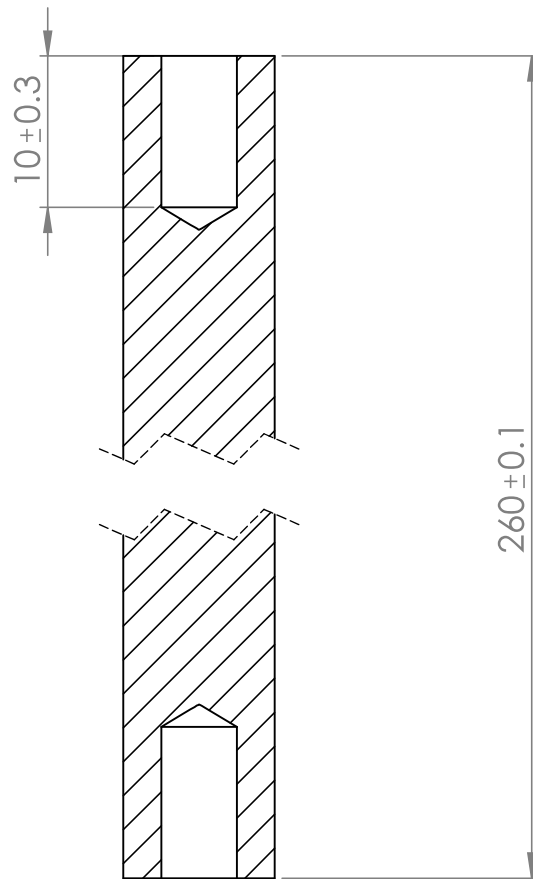
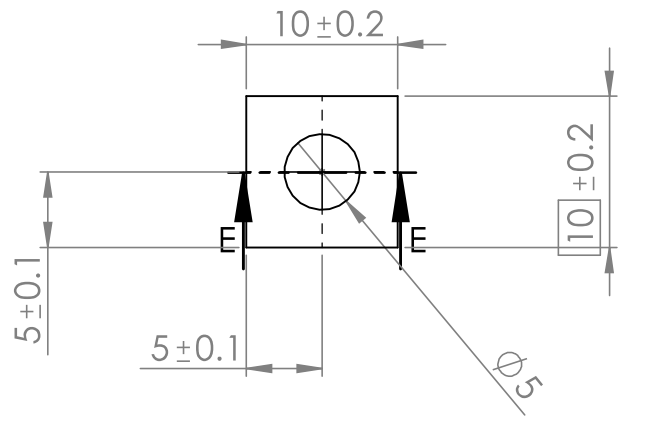
Ra 3.2

05	01	Lame	Acier inox E 210	
NBR	REP	désignation	matière	observation
ECHELLE 1/1		dispositif de mesure de déplacement sur une éprouvettes DENT en polymère		M2 CM
				PFE
A4		UMMTO DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE		novembre 2018



Ra 3.2

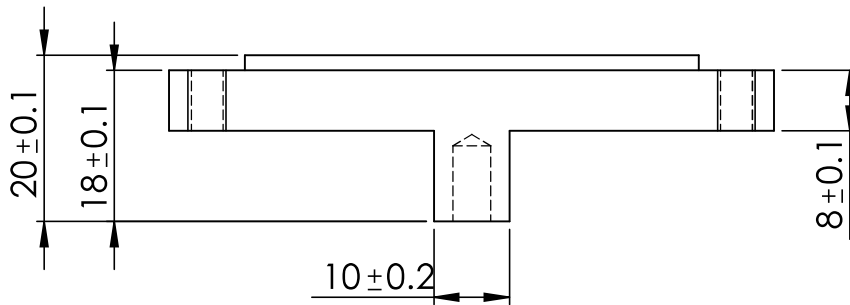
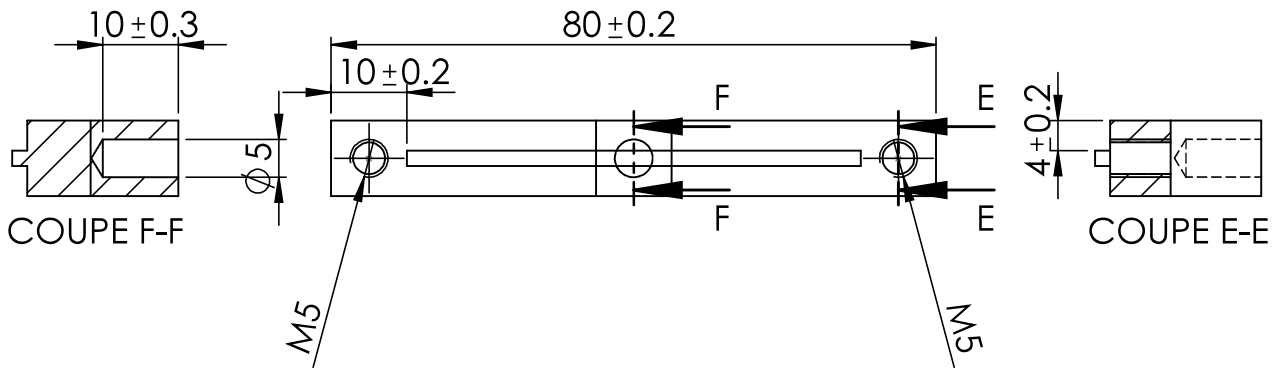
04	02	mors lame	Aluminium	
NBR	REP	désignation	matière	observation
ECHELLE 1/1		dispositif de mesure de déplacement sur une éprouvettes DENT en polymère		M2 CM
				PFE
A4		UMMTO DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE		novembre 2018



COUPE E-E

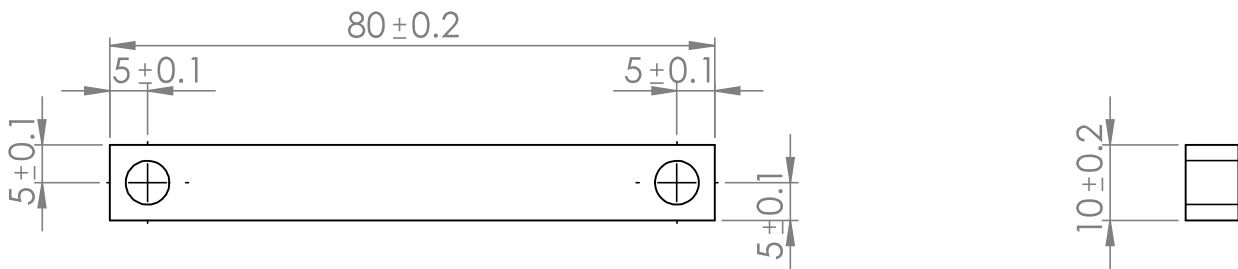
Ra 3.2

02	02	Tiges	Aluminium	
NBR	REP	désignation	matière	observation
ECHELLE 2/1		dispositif de mesure de déplacement sur une éprouvettes DENT en polymère		M2 CM
				PFE
A4		UMMTO DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE		novembre 2018



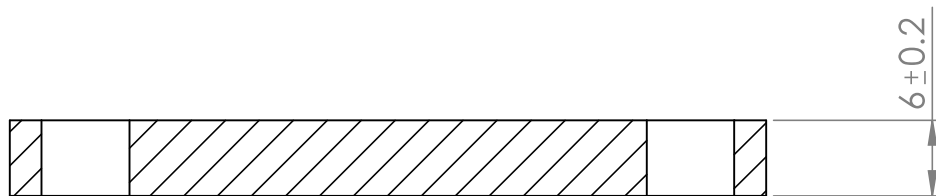
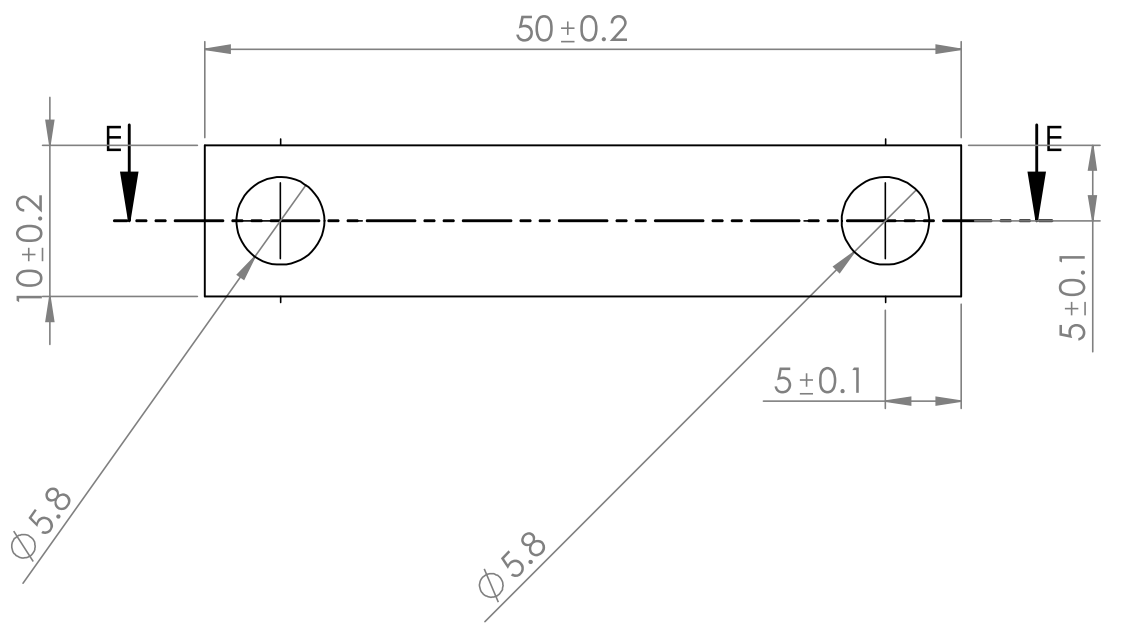
Ra 3.2

01	02	mors éprouvette	Aluminium	
NBR	REP	désignation	matière	observation
ECHELLE 1/1		dispositif de mesure de déplacement sur une éprouvettes DENT en polymère		M2 CM
				PFE
A4		UMMTO DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE		novembre 2018



Ra 3.2/

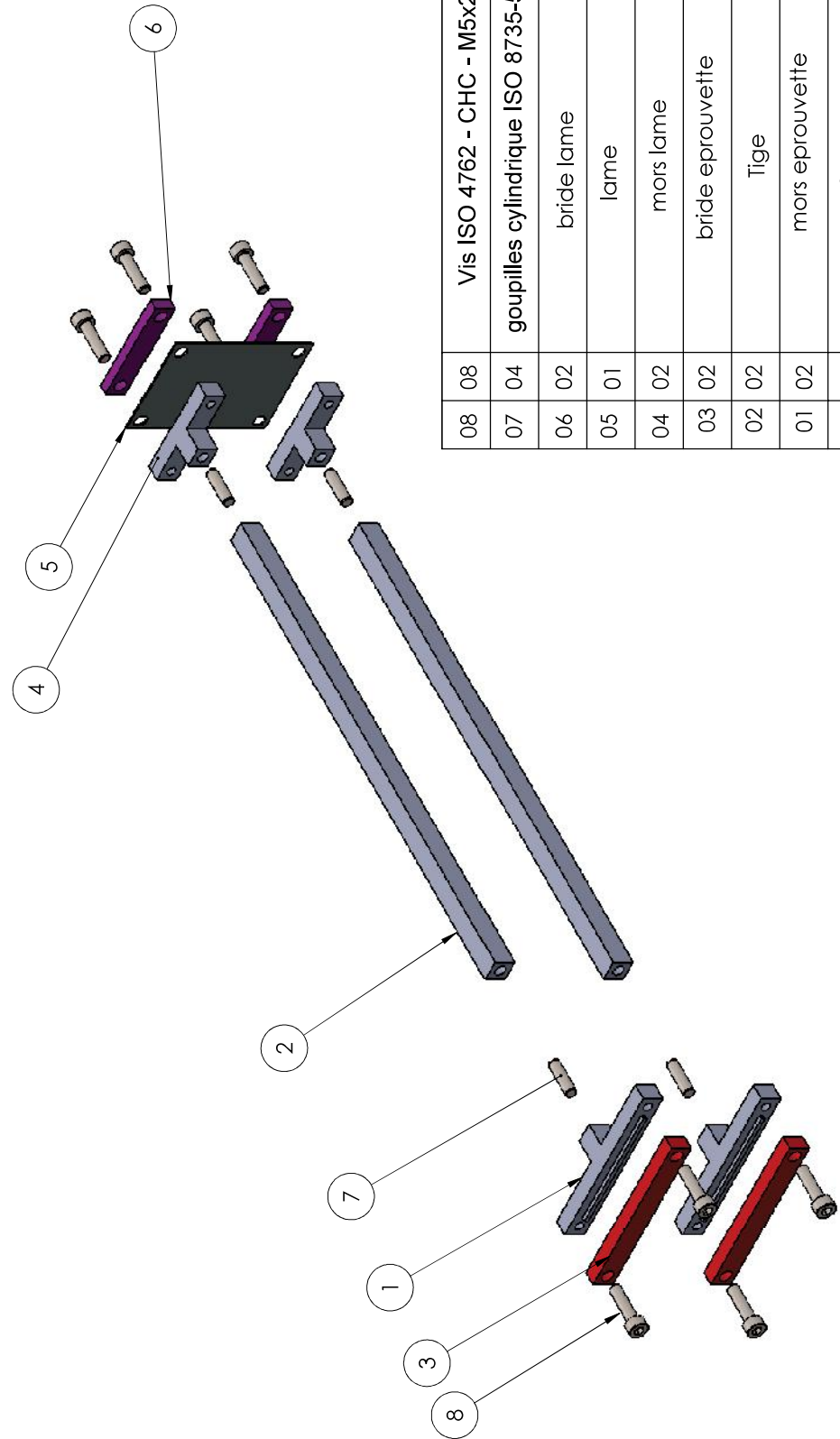
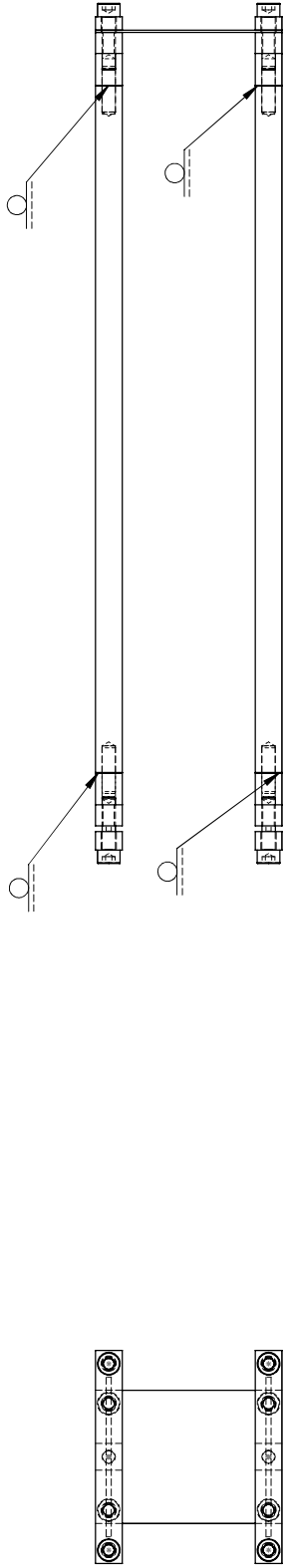
01	02	Bride éprouvette	Aluminium	
NBR	REP	désignation	matière	observation
ECHELLE 1/1		dispositif de mesure de déplacement sur une éprouvettes DENT en polymère		M2 CM
				PFE
A4		UMMTO DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE		novembre 2018



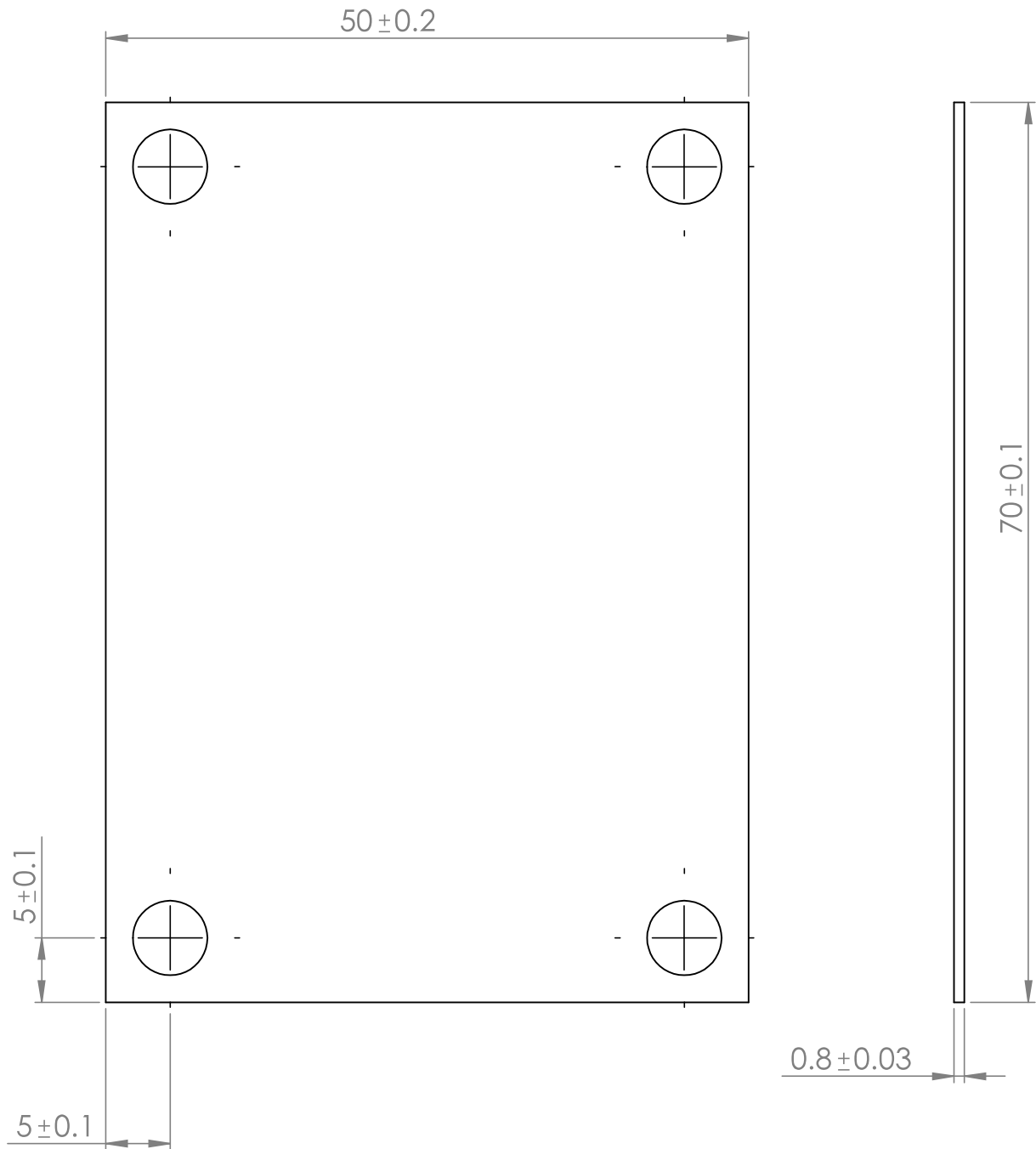
COUPE E-E

Ra 3.2/

06	02	bride lame	Aluminium	
NBR	REP	désignation	matière	observation
ECHELLE 1/1		dispositif de mesure de déplacement sur une éprouvettes DENT en polymère		M2 CM
				PFE
A4		UMMTO DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE		novembre 2018



08	08	Vis ISO 4762 - CHC - M5x20	classe 6.8	
07	04	goupilles cylindrique ISO 8735-5x18	Al	
06	02	bride lame	Al	
05	01	lame	Acier inox E 210	
04	02	mors lame	Al	
03	02	bride eprouvette	Al	
02	02	Tige	Al	
01	02	mors eprouvette	Al	
NBR	REP	désignation	matière	observation
ECHELLE 1/2		dispositif de mesure de déplacement sur une éprouvette DENT en polymère		
UMMTO DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE				
				novembre 2018



Ra 3.2

05	01	Lame	Acier inox E 210	
NBR	REP	désignation	matière	observation
ECHELLE 1/1		dispositif de mesure de déplacement sur une éprouvettes DENT en polymère		M2 CM
				PFE
A4		UMMTO DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE		novembre 2018