

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHECHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOD MAMMARI DE TIZI OUZOU FACULTE DU GENIE DE LA
CONSTRUCTION
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



MEMOIRE
DE FIN D'ETUDES
EN VU DE L'OBTENTION DU DIPLOME
MASTER PROFESSIONNEL EN GENIE MECANIQUE
OPTION : FABRICATION MECANIQUE ET PRODUCTIQUE

THEME

***Etude, conception et fabrication d'un
dispositif d'essais en traction biaxiale
sur des éprouvettes cruciformes***



Proposé par:
Mr. K.HACHOUR

Etudié par :
L. RASSOUL
M. FERHI

Promotion 2015/2016

Remerciements

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

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

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

Nous adressons nos vifs remerciements 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.

SOMMAIRE

<i>Remerciements</i>	<i>i</i>
<i>Sommaire</i>	<i>ii</i>
<i>Table des illustrations</i>	<i>iii</i>
<i>Table des symboles</i>	<i>iiii</i>
<i>Introduction générale</i>	<i>I</i>

Chapitre I : Généralités sur les essais mécaniques

I.1-Introduction	1
I.2-Objet de la RDM.....	1
I.3-Traction uniaxiale.....	2
I.3.1- Essais de traction	2
I.3.1.1- Description générale d'une machine de traction.....	2
I.3.1.2- Eprouvettes	3
I.3.1.3- Exploitations de l'essai	4
I.3.1.3.a- Interprétation.....	4
I.3.1.3.b- Définitions des paramètres	5
I.3.2- Essai de compression simple.....	7
I.3.3- Essai de flexion.....	8
I.3.4- Essai de cisaillement	9
I.3.5- Essai de torsion	10
I.3.5.1- But de l'essai de torsion.....	10
I.3.5.2-L'angle de torsion	11
I.3.5.3-Banc d'essai	12
I.4 – Traction biaxiale	12
I.4.1-définition	12
I.4.2-But de l'essai.....	13
I.4.3-Principe d'utilisation.....	13
I.4.4-Les dispositifs de traction biaxiale.....	14
I.4.4.a-Dispositif des bras articulés sur la machine de traction-compression	14

I.4.5- L'éprouvette de traction biaxiale	16
I.4.6-Forme de l'éprouvette.....	16
I.5-Traction-torsion	18
I.5.1-Eprouvette	18
I.5.2-Principe de fonctionnement pour l'éprouvette à tête hexagonale.....	19
I.5.3-Système de fixation pour les éprouvettes de forme cylindrique à tête hexagonal	19
I.5.4-Remarque	20
I.6-Essai de traction-cisaillement.....	20
I.6.1-Objectif	20
I.6.2-Eprouvette papillon.....	21
I.6.3-Principe du montage ARCAN.....	21
I.6.4-Principe de fonctionnement	22
I.7-Conclusion.....	24

Chapitre II : Généralités sur l'usinage

II.1- Introduction	25
II.2- Tournage.....	25
II.2.1-Principe du tournage	25
II.2.2-Opérations de base	25
II.2.3-Définition	26
II.2.4-Machine de tournage	29
II.3-Fraisage	29
II.3.1-Machine de fraisage	29
II.3.2-Caractéristiques d'une fraise	30
II.3.3-Principe du fraisage	31
II.3.4- Classification des fraiseuses	31
II.3.5-Caractéristiques des fraiseuses	31
II.3.5.1-Dimensionnelles.....	31
II.3.5.2-Fraiseuses universelles	31
II.3.5.3-Déférentes outils en fraisage	32
II.4-Rectification.....	34
II.4.1-Structure d'une machine à rectifier (rectifieuse)	34
II.4.2-Procédés de rectification	34

II.4.2.a-La rectification plane périphérique	34
II.4.2.b-Rectification cylindrique longitudinale extérieure.....	35
II.4.2.c-Rectification cylindrique intérieure	35
II.5-Brochage.....	36
II.5.1-Outils de brochage	36
II.5.1.a-Travail de la denture.....	36
II.5.1.b-Broche interne.....	37
II.5.1.c- Différents types de brochage	37
II.5.1.d-Broche externe	37
II.5.2-Brocheuse.....	38
II.5.3-Fonctionnement.....	38
II.6-Conclusion	39

Chapitre III : Conception du mécanisme et simulation

III.1- Cahier des charges	40
III.1.1-Introduction	40
III.1.2-Bête à cornes	40
III.1.3-Stabilité de besoin	41
III.1.4-Emplacement des éprouvettes sur le dispositif	41
III.1.5-Diagramme pieuvre	41
III.1.6-Tableau des contraintes et des fonctions principales	42
III.1.7-La contrainte technique	42
III.1.8-Solution technique	42
III.1.9-Schéma cinématique du dispositif.....	43
III.1.10-Schéma cinématique des efforts	43
III.1.11-Définition des éléments	44
III.1.12-Conclusion de cahier des charges.....	45
III.2 -Conception du mécanisme	46
III.2.1-Introduction	46
III.2.2-Présentation de logiciel SolidWorks	46
III.2.3-Conception par CAO « SolidWorks »	46
III.2.3.a-Bâti cruciforme	47

III.2.3.b-Porte glissière	47
III.2.3.c-Glissière	48
III.2.3.d-Bride	48
III.2.3.e-Mors	49
III.2.3.f-Bras	49
III.2.3.g-Tête supérieure	50
III.2.3.h- Téton de guidage	50
III.2.3.i-Goupille cannelée	51
III.3-calcul de vérification des éléments d'assemblage à la résistance	51
III.3.1-vis de fixation	51
III.3.2 : Choix du matériau	52
III.3.3-Détermination de la charge extérieure supportée par chaque vis.....	52
III. 3.3.a-Caractéristiques mécaniques des vis	52
III. 3.3.b- Nombre des vis	53
III. 3.3.c-Détermination de la valeur de l'effort extérieur	53
III. 3.4.d-Détermination des efforts de chaque vis	54
III 3.5-Vérification de la résistance des matériaux.....	55
III. 3.5.a-Condition de la résistance au cisaillement des vis.....	55
III. 3.5.b-Vérification de la résistance des vis de pression.	56
III. 3.5.c-Condition de la résistance au cisaillement des vis de pression.....	57
III.3.6-Goupilles de liaison.....	58
III.3.6.a-Détermination de l'effort extérieur de chaque goupille	59
III.3.6.b-Condition de la résistance au cisaillement des Goupilles	59
III. 3.7-Différentes normes	59
III. 3.7.a-Détermination des différents paramètres de lamage	59
III. 3.7.b-Détermination des différents paramètres des anneaux élastiques	61
III. 3.7.c-Détermination des différents paramètres des goupilles cannelées.	62
III. 3.7.d-Couple serrage des vis de pression en CHC.....	63
III.3.8-Vérification de la rigidité du dispositif par élément fini.....	63
III.3.9-Simulation numérique du dispositif.....	67
III.3.9.a-Vérification de la rigidité du dispositif.....	67
III.3.9.b-Fixation de l'appareil traction biaxiale sur la machine de traction	68

III.3.9.c-Mise en place de l'essai	68
III.3.9.d-Résultats et analyse de la simulation.....	70
III.3.10-Conclusion.....	73
<i>Conclusion générale</i>	<i>II</i>
<i>Références bibliographiques</i>	<i>III</i>
<i>Annexes</i>	<i>IV</i>

Table des illustrations

Figures

Chapitre I : Généralités sur les essais mécaniques

Figure I.1 : Machine de traction uniaxiale	02
Figure I.2 : Eprouvette cylindrique et plate	04
Figure I.3 : Diagramme effort-déformation de la traction simple	05
Figure I.4 : Déformation de l'éprouvette lors de l'essai.....	07
Figure I.5 : Essai de compression simple.....	08
Figure I.6 : Essais de flexion.....	09
Figure I.7 : Essais de cisaillement.....	09
Figure I.8 : Essais de torsion.....	10
Figure I.9 : Essais de torsion expérimentale	10
Figure I.10 : Diagramme des variations d'angle de torsion.....	11
Figure I.11 : Banc d'essai torsion	12
Figure I.12.A : Eprouvette cruciforme.....	13
Figure I.12.B : Dispositif d'essais biaxiaux Lecomte et al., 2007	13
Figure I.12.C : Dispositif d'essais biaxiaux Kuwabara et al., 1998	13
Figure I.13.a : Schéma des biellettes constituant le dispositif.	14
Figure I.13.b : Schéma servant à la déterminer les forces et les allongements sur l'éprouvette	14
Figure I.14 : Dispositif de traction biaxiale. Institut Fraunhofer	15
Figure I.15 : Dispositif de traction biaxiale, Makinde, 1986	15
Figure I.16 : Système de traction biaxial Scholz et al.,2000.	16
Figure I.17 : système de traction biaxiale MARC BLETRY 2007.	16
Figure I.18 : Eprouvette cruciforme.....	16
Figure I.19 : Schéma cinématique de la traction-torsion	18
Figure I.20 : Eprouvette cylindrique à tête hexagonale	18
Figure I.21 : Eprouvette cylindrique creuse.....	18
Figure I.22 : Eprouvette cylindrique	18

Figure I.23 : Type d'éprouvettes cylindrique	19
Figure I.24 : Montage traction-torsion avec une éprouvette cylindrique a tête hexagonale ...	20
Figure I.25.a : Eprouvette papillon en chargement biaxiale	21
Figure I.25.b : Etat de contrainte plane développé au centre de l'éprouvette.....	21
Figure I.26 : Principe du montage ARCAN.....	21
Figure I.27 : Principe de montage Arcan	22
Figure I.28 : Dispositif ARCAN modifie	23

Chapitre II : Généralités sur l'usinage

Figure II.1 : Opérations de base en tournage	26
Figure II.2 : Dressage d'un tube	27
Figure II.3 : Opération de contournage.....	27
Figure II.4 : Usinage de forme.....	28
Figure II.5 : Tour à charioter et à fileter	28
Figure II.6 : Efforts de coupe « fraisage »	29
Figure II.7 : Différentes axes de la fraiseuse	32
Figure II.8 : Rectifieuse plane	34
Figure II.9 : Différente déplacement de la rectifieuse	34
Figure II.10 : Rectification cylindrique longitudinale	35
Figure II.11 : Rectification cylindrique intérieure.....	35
Figure II.12 : Brochage intérieure.....	36
Figure II.13 : Brochage interne de déférente forme géométrique.....	37
Figure II.14 :Brochage extérieure	37
Figure II.15 : Brocheuse verticale.....	38

Chapitre III : Conception du mécanisme et simulation

Figure III.1 : Diagramme bête à cornes.....	40
Figure III.2 : Diagramme pieuvre.....	41
Figure III.3 : Répartition des forces d'application	43
Figure III.4 : Différents éléments principaux	44
Figure III.5 : Différents compartiments du mécanisme.....	46
Figure III.6 : Bâti cruciforme	41
Figure III.7 : Porte-glissière	47
Figure III.8 : Glissière.....	48
Figure III.9 : Bride	48
Figure III.10 : Mors	49
Figure III.11 : Bras	49
Figure III.12 : Tête supérieure.....	50
Figure III.13 : Téton de guidage	50
Figure III.14 : Goupille	51
Figure III.15 : Représentation du filetage métrique ISO à filet triangulaire	51
Figure III 16 : Représentation du mécanisme sous forme d'un schéma cinématique	54
Figure III.17 : Schéma des efforts appliqués sur les vis de pression.	56
Figure III.18 : Représentation des efforts appliqués sur les vis de pression.	57
Figure III.19 : Schéma des efforts appliqués sur la goupille.	58
Figure III.20 : Représentation des efforts appliqués sur les goupilles.	58
Figure III.21 : Dimension de lamages.	60
Figure III.22 : Dimensions des anneaux d'arrêt	61
Figure III.23 : Dimensions des goupilles cannelées.	62
Figure III.24 : Calcul d'une structure symétrique du dispositif.	63
Figure III.25 : Déplacement des efforts internes du dispositif.	66
Figure III.26 : fixation de l'appareil sur la machine de traction.	68
Figure III.27 : Maillage utilisé pour l'éprouvette.	69
Figure III.28 : Maillage utilisé pour le dispositif.	69
Figure III.29 :représentation du dispositif.	72

Tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : Eprouvettes cruciforme de différents types.....	17
Tableau I.2 : Etats de contraintes appliquées avec le dispositif Arcan.....	21

Chapitre II

Tableau II.1 : Différents coupes de base « fraisage »	30
Tableau II.2 : Outils de surfaçages et de rainurages.....	32
Tableau II.3 : Forets, alésoirs et tarauds	33
Tableau II.4 : Fraise en T , queue d'aronde et 1/4 de cercle pour les congés	33

Chapitre III

Tableau III.1 : Contraintes et fonctions principales	42
Tableau III.2 : Différents éléments principaux	45
Tableau III.3 : Classe de résistance des boulons les plus courantes.....	53
Tableau III.4 : Tableau des normes de la vis CHc et CZX	60
Tableau III.5 : Tableau des normes pour les circlips (anneaux d'arrêt)	61
Tableau III.6 : Dimension normalisées des goupilles cannelées	62
Tableau III.7 : Détails de maillage pour l'éprouvette	69
Tableau III.8 : Détails de maillage pour le dispositif.....	69
Tableau III.9 : Représentation de la simulation de l'éprouvette et du dispositif.	70
Tableau III.10 : Diagramme effort-déformation de la traction biaxiale.	71

Liste des symboles

W : Largeur des têtes	(mm)
w : Largeur de la section réduite	(mm)
L : Longueur totale	(mm)
t : Epaisseur de l'éprouvette	(mm)
d₀ : Diamètre partie calibrée	(mm)
d₁ : Diamètre des têtes filetées	(mm)
L₀ : Longueur entre repère	(mm)
L_c : Longueur calibrée	(mm)
h : Longueur des têtes	(mm)
A% : Allongement relatif total	(%)
ε% : Allongement relatif.....	(%)
R_e : Résistance à la traction	(MPa)
σ : Résistance élastique à la traction	(MPa)
R_{e0.2} : Limites conventionnelles.....	(MPa)
R_m : Résistance à la rupture	(MPa)
F : Force appliquée.....	(N)
F₁ : Force reparti	(N)
F_m : Charge maximale	(N)
F_{epr} : Force qui agit sur l'éprouvette	(N)
F_{bri} : Force qui agit sur la bride.....	(N)
HB : Dureté Brinell	(HB)
[τ]_{cis} : Contrainte admissible de cisaillement	(MPa)
τ : Contrainte de cisaillement	(MPa)
Z% : Coefficient de striction	(%)

A_z : Allongement localisé de striction	(mm)
A_r : Allongement jusqu'au maximum de la charge	(mm)
L_u : Longueur de l'éprouvette après rupture	(mm)
S_u : Diamètre après rupture	(mm)
E : Module d'Young.....	(MPa)
ν : Coefficient de Poisson	(...)
G : Module de cisaillement	(MPa)
S_0 : Dimension de l'éprouvette initiale	(mm)
P : Charge appliquée	(N)
I_p : Moment d'inertie	(mm ⁴)
M_t : Moment de traction.....	(N.mm)
φ : Angle de torsion.....	(°)
α : Angle du chargement de l'effort.....	(°)
S_r : Section de la vis et la goupille	(mm ²)
d : Diamètre de la vis et la section	(mm)
F^* , H_1 , H_2 , H_3 , V_1 , V_2 , V_3 : Vecteurs de charge.....	(N)
$[K_1]$: Matrice de la rigidité.....	(...)
$[R_1]$: Matrice de passage	(...)
Θ_1 , Θ_2 , Θ_3 : Déplacements angulaire dans les nœuds	(°)

Introduction générale

Introduction générale

La résistance des matériaux est la science qui s'intéresse à l'étude des propriétés des matériaux, l'identification du comportement dynamique d'une structure et mesure des propriétés physiques d'un équipement. Ainsi ce fait l'évaluation de la résistance des matériaux. Afin de caractériser ces matériaux on a recours aux différents essais mécaniques ; notamment les tractions uniaxiaux on cite : la traction, cisaillement, flexion, torsion et compression. Ces essais habituellement utilisés se contentent à une seule direction de déformation posant des difficultés lors de l'établissement d'un modèle de comportement.

Il est ainsi plus intéressant de travailler sur une base de données qui contient des essais multiaxiaux. Par contre les essais multiaxiaux vu la nécessité des équipements adéquates sont mal exploités et se font plus rares à l'étude.

Dans ce travail, on s'est intéressé à la fabrication d'un dispositif traction biaxial qui sera destiné aux essais biaxiaux sur les polymères.

Ainsi une conception a été établie pour assurer une traction biaxiale sur les éprouvettes cruciformes, en tenant en compte les moyens techniques disponibles au sein de nos laboratoires.

Le présent mémoire est organisé comme suit :

- **Le chapitre I**, intitulé « **Généralités sur les essais mécaniques** », présente une vue générale sur l'objectif de la RDM ainsi que les différents essais comme traction uniaxiale et biaxiale, traction-torsion et traction-cisaillement afin de déterminer les caractéristiques des matériaux. On y propose aussi les différents montages pour les essais biaxiaux.
- **Le chapitre II**, intitulé « **Généralités sur l'usinage** », présente une idée générale sur les différents procédés d'usinage notamment les outils nécessaires à la réalisation des différentes surfaces, que se soit des pièces prismatiques ou de révolution qui contiennent notre dispositif.
- **Le chapitre III**, intitulé « **conception du mécanisme et simulation** », est consacré, dans la première partie, à la réalisation d'un dispositif de traction biaxiale sur des éprouvettes cruciformes dans le but d'identifier les comportements mécaniques de plusieurs matériaux, dans la deuxième partie, à la conception de notre dispositif à l'aide d'un logiciel de conception assisté par ordinateur nommé SolidWorks, et enfin dans la troisième et dernière partie, à effectuer des calculs de vérification et de simulation.

Chapitre I: Généralités sur les essais mécaniques

I.1-Introduction

Parmi tous les essais mécaniques, l'essai de traction est certainement le plus fondamental. Il sert à déterminer les principales caractéristiques mécaniques telles que le module d'élasticité longitudinal, 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 de pièces allant d'un pignon microscopique 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.

I.2-Objet de la RDM

- **Buts de la RDM**

Pour qu'une construction remplisse son rôle, il est nécessaire que :

- L'équilibre externe soit assuré (équilibre statique), on considère alors les solides comme indéformables, et d'élasticité illimitée.
- L'équilibre interne soit également assuré, les solides sont alors considérés comme réels, donc déformables, avec une limite élastique finie.

L'objet de la RDM est alors de fournir les conditions de fonctionnement pour une construction donnée, c'est-à-dire :

- déterminer si une structure donnée peut supporter les charges appliquées ;
- les efforts appliqués étant connus, dimensionner la structure, et donc vérifier que les déformations induites par les charges sont inférieures aux limites acceptables en fonctionnement.

On rappelle que les forces intérieures aux solides sont des forces élastiques (forces de cohésion), qu'elles s'opposent au déplacement interne et s'annulent deux à deux. Elles n'interviennent donc pas sur l'équilibre externe statique. La valeur des forces intérieures sera donc nécessairement limitée pour éviter la décohésion du matériau (destruction), et ceci nécessite :

- Un calcul de ces forces intérieures.
- De connaître les limites acceptables des matériaux.

I. 3-Traction uniaxiale

I.3.1- Essais de traction

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

Nous donnons ici tout d'abord la description générale d'une machine de traction, puis des éléments concernant les éprouvettes, les mesures de déformation et de charge appliquée (voir la **fig. I.1**).

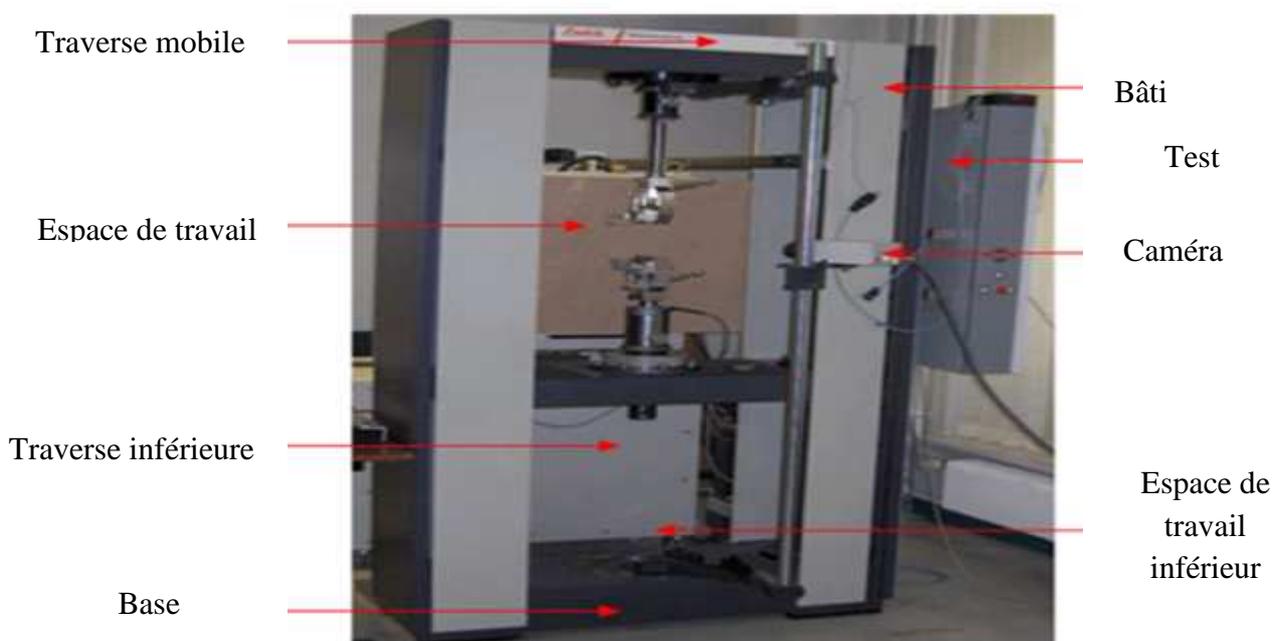


Fig. I.1 : Machine de traction uniaxiale.

I.3.1.1- Description générale d'une machine de traction

Une machine de traction est constituée d'un bâti portant une traverse mobile. L'éprouvette de traction, vissée ou enserrée entre des mors, selon sa géométrie, est attachée à la partie inférieure de la base de la machine et à la partie supérieure de la traverse mobile

(dans le cas d'une machine mécanique) ou au vérin de traction (dans le cas d'une machine hydraulique).

Le déplacement de la traverse vers le haut réalise la traction. Une machine de traction comporte une cellule de charge, qui permet de mesurer l'effort appliqué à l'éprouvette et le déplacement de l'éprouvette peut être suivi de diverses façons. Les dispositifs expérimentaux sont généralement asservis et peuvent être pilotés à vitesse de montée en charge, à charge constante, à vitesse de déformation constante, etc. selon ce qui peut être proposé par le système de pilotage.

I.3.1.2- Epreuves

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

Aux deux extrémités sont usinées des têtes de fixation avec des rayons de courbures suffisamment grands pour éviter des concentrations de contrainte excessives. Dans le cas des éprouvettes plates, le centrage de l'éprouvette peut devenir problématique si les trous calibrés ne sont pas percés dans les têtes.

L'essai de traction est exécuté soit sur des barres de section constante, soit sur des éprouvettes cylindriques ou prismatiques prolongées de part et d'autre par des têtes d'attache de forme appropriée pour la fixation. Ces têtes d'attache ont typiquement une section nettement plus grande que la partie centrale de l'éprouvette dite « section réduite ». Ceci est pour s'assurer que la contrainte dans les têtes d'attache (contrainte nominale + concentration de contrainte engendrée par le système de fixation) reste toujours inférieure à la limite d'écoulement du matériau. Ainsi la déformation plastique est essentiellement limitée à la partie de l'éprouvette à section réduite. En outre, il est à veiller que les forces transmises par le système de fixation soient colinéaires pour minimiser les effets des forces latérales. Ceci n'est pas qu'un détail que l'on doit respecter seulement lorsqu'on effectue l'essai de traction. Dans la pratique aussi, on doit garder à l'esprit que la limite d'écoulement plastique déterminée dans un essai de traction ne tient compte que d'un état de contrainte uniaxiale.

Deux exemples typiques de géométrie d'éprouvettes sont montrés en **Fig. I.2**, d'une part, une éprouvette plate (typique pour la caractérisation de tôles) et, d'autre part, une éprouvette à symétrie rotationnelle (préférable si l'éprouvette peut être coupée dans la masse).

Cette dernière peut être conçue avec des têtes filetées. Ce type est très souvent utilisé en raison de sa fixation simple et sûre, en particulier lorsqu'il s'agit d'effectuer des essais de traction avec des extensomètres de précision. Les éprouvettes filetées présentent en plus l'avantage de se prêter parfaitement à des essais cycliques, changeant d'un état de compression à un état de traction. Le jeu lors du passage reste minimal, notamment si on utilise des contre-écrous.

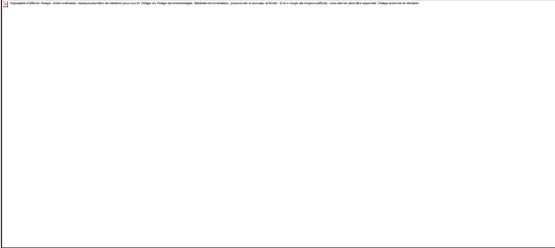
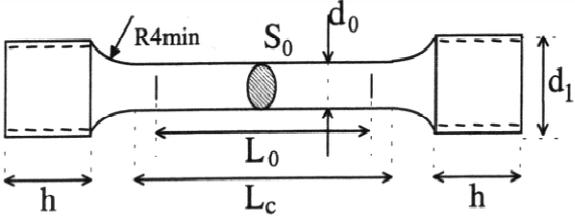
Eprouvette plate	Eprouvette à symétrie rotationnelle
	
<p>W = largeur des têtes w = largeur de la section réduite L = longueur totale Lc = longueur calibrée t = épaisseur de l'éprouvette</p>	<p>d0 = Ø partie calibrée d1 = Ø des têtes filetées L0 = longueur entre repère = 5 d0 Lc = longueur calibrée h = longueur des têtes</p>

Fig. I.2 : Eprouvette cylindrique et plate.

I.3.1.3- Exploitations de l'essai

I.3.1.3.a- Interprétation

Sur un diagramme effort-déformation, on observe pour les matériaux métalliques par exemple les phases successives suivantes :

Zone OA : domaine des déformations élastiques ou réversibles (zone parfois linéaire) si l'on cesse la charge, l'éprouvette retrouve ses dimensions initiales.

Zone AB : la déformation n'est plus complètement réversible. La déformation est plastique (ou permanente) homogène, appelée aussi déformation plastique répartie. Les allongements croissent plus vite que les charges. L'allongement a lieu avec une diminution régulière de la section tout au long de l'éprouvette.

Zone BC: la déformation plastique se localise dans une petite portion de l'éprouvette et n'est plus homogène, c'est la striction (on aboutit à la rupture en C). Les allongements croissent avec une diminution de la charge.

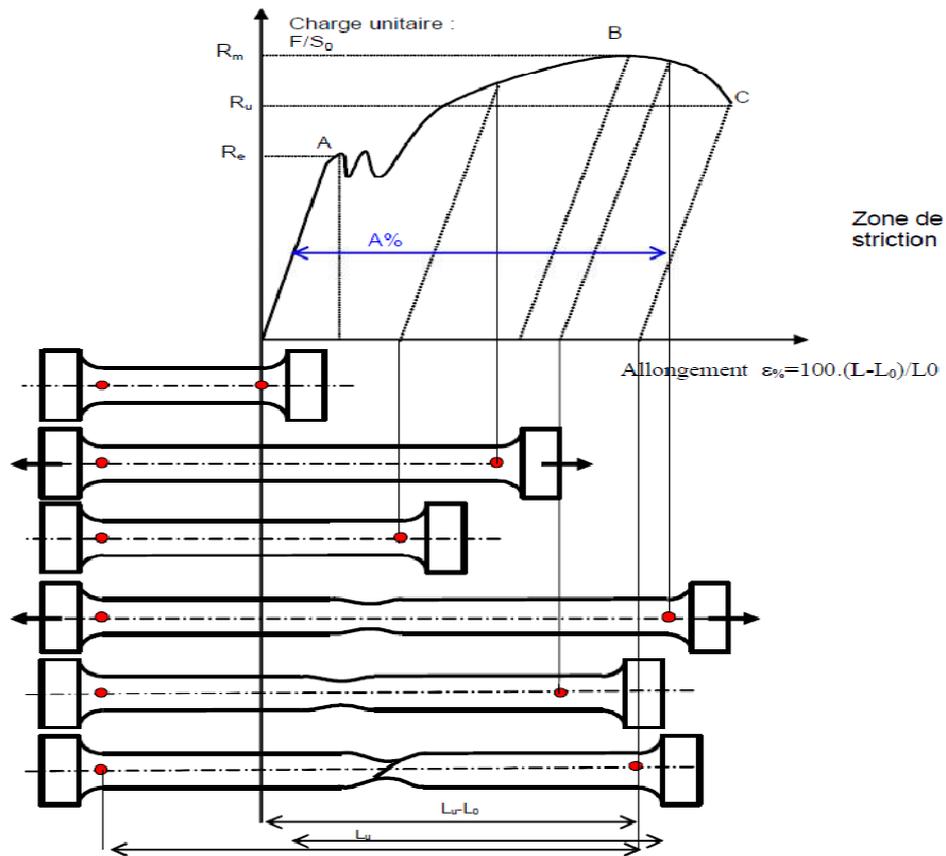


Fig. I.3 : Diagramme effort-déformation de la traction simple.

I.3.1.3.b- Définitions des paramètres [11]

Sur le diagramme charge-allongement, qui peut être enregistré ou tracé par points, on utilise les coordonnées suivantes : en abscisse, l'allongement relatif $\Delta L/L_0$ de l'éprouvette ou plutôt d'une certaine base de mesure L_0 (L_0 est la longueur initiale de l'éprouvette) :

$$\varepsilon\% = 100 \cdot \frac{L-L_0}{L_0} \quad (I.1)$$

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

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \quad (I.2)$$

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

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} \quad (I.3)$$

Le point B correspond à la charge maximale ; il est appelé résistance à la traction ou résistance à la rupture (bien qu'il n'y ait pas encore rupture) ;

$$R_m = \frac{F_r}{S_0} \quad (I.4)$$

C'est la charge maximale atteinte durant l'essai de traction. A partir de ce point, la déformation commence à se localiser sous forme de striction, ce qui explique la décroissance de l'effort nécessaire aux déformations au delà du point **B**.

Un processus de mise en forme qui conduirait à franchir ce point se traduirait par des risques difficiles à contrôler de rupture ou de non-conformité géométrique.

Le point C correspondant, lui, à la charge ultime.

Après rupture de l'éprouvette et reconstitution de celle-ci, on mesure L_u et S_u respectivement longueur entre repères et section minimale ultimes.

L'allongement relatif total ou $A\%$ de l'éprouvette est l'allongement de rupture :

$$A\% = 100 \cdot \frac{L_u - L_0}{L_0} \quad (I.5)$$

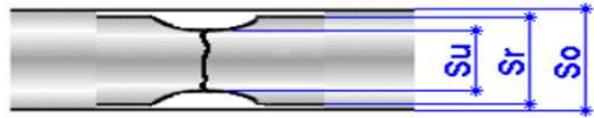
Où ' L_u ' est la longueur de l'éprouvette après rupture. Il caractérise la ductilité du matériau. Cet allongement est la somme de l'allongement réparti ' A_r ' jusqu'au maximum de la charge et de l'allongement localisé de striction A_z :

$$A = A_r + A_z \quad (I.6)$$

La striction est la réduction de section maximale de l'éprouvette rompue c'est-à-dire dans la section de rupture (fig.1.4). Le coefficient de striction traduit l'aptitude à la déformation à froid.

$$Z\% = 100 \cdot \frac{S_0 - S_u}{S_0} \quad (I.7)$$

Avec S_0 : section initiale et S_u : section après rupture.



- S_0 : dimension d'éprouvette initiale.
- S_r : dimension d'éprouvette après la rupture.
- S_u : dimension de la striction après rupture.

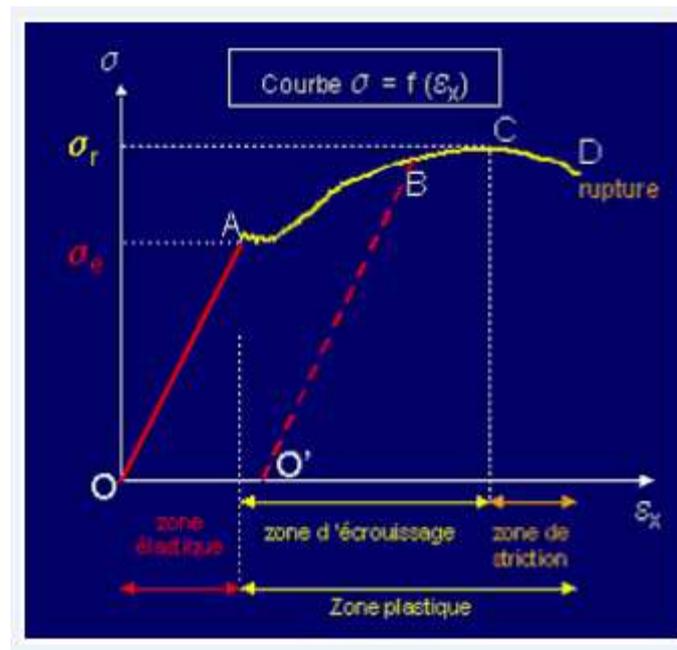


Fig. I.4 : Déformation de l'éprouvette lors de l'essai [12].

I.3.2- Essai de compression simple

L'essai de compression consiste à soumettre une éprouvette sous forme cylindrique, placée entre les plateaux d'une presse, à deux forces axiales opposées.

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

En toute rigueur l'essai de compression doit être considéré comme un « essai de structure » dont l'interprétation demande un calcul numérique et l'utilisation de méthodes inverses.

➤ Principe de l'essai

Une poutre est sollicitée à la compression simple lorsqu'elle est soumise à deux forces directement opposées, appliquées au centre de surface des sections extrêmes et qui tendent à la raccourcir.

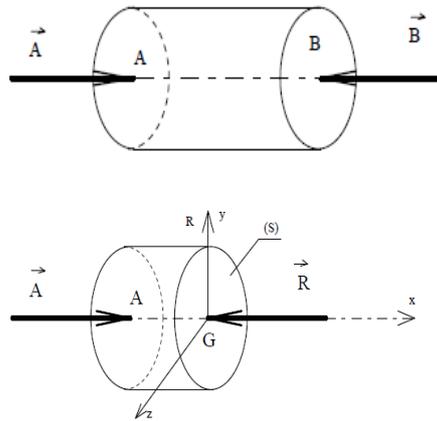


Fig. I. 5: Essai de compression simple.

I.3.3- Essai de flexion

Une poutre est sollicitée en flexion simple lorsque toutes les forces appliquées à la poutre, que ce soient les forces à distance ou les forces élémentaires de liaison, sont perpendiculaires à la ligne moyenne, et soit situées dans le plan de symétrie, soit réparties symétriquement par rapport à celui-ci, ou concentrées en un point ou réparties suivant une loi.

➤ Principe de l'essai

Considérons une poutre reposant sur deux appuis soumis à une charge concentrée verticale (**fig. I.6**).

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

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

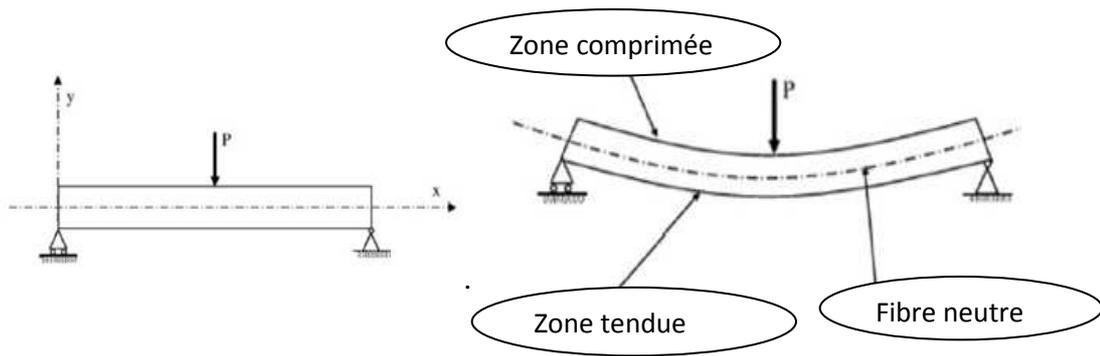


Fig. I.6 : Essais de flexion.

I.3.4- Essai de cisaillement

Il y a un cisaillement lorsqu'une pièce est sollicitée par deux forces égales, de même droite d'action mais de sens contraires qui tendent à faire glisser l'une sur l'autre les deux parties de la pièce.

La sollicitation de cisaillement pur est un cas très particulier de la **RDM** car elle est impossible à réaliser expérimentalement. D'autre part le cisaillement simple concerne une section de la poutre et non la poutre entière.

Les essais et résultats qui suivent permettent toutefois de rendre compte des actions tangentielles dans une section droite et serviront ainsi dans le calcul de pièces soumises au cisaillement. Considérons une poutre parfaitement encastree et appliquons-lui un effort de cisaillement F uniformément réparti dans le plan (P) de la section droite (S) distante de Δx du plan (S_0) d'encastrement.

On se rapproche des conditions du cisaillement réel, à condition de vérifier que Δx est très petit.

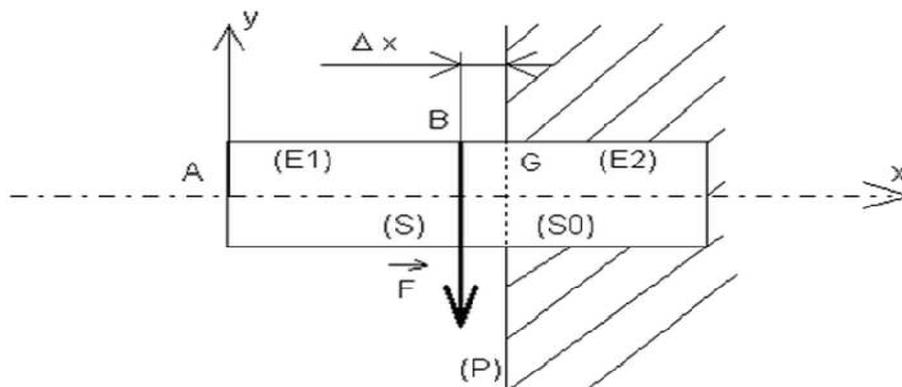


Fig. I.7 : Essais de cisaillement.

I.3.5- Essai de torsion

La torsion est un mode de charge telle que dans les sections droites de la barre, seul apparaît un moment de torsion. Les autres facteurs de forces (moment fléchissant, force normale et effort tranchant) sont nuls.

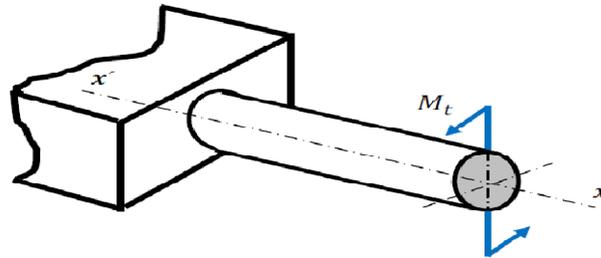


Fig. I.8 : Essais de torsion.

Le dispositif expérimental peut être schématisé de la manière suivante :

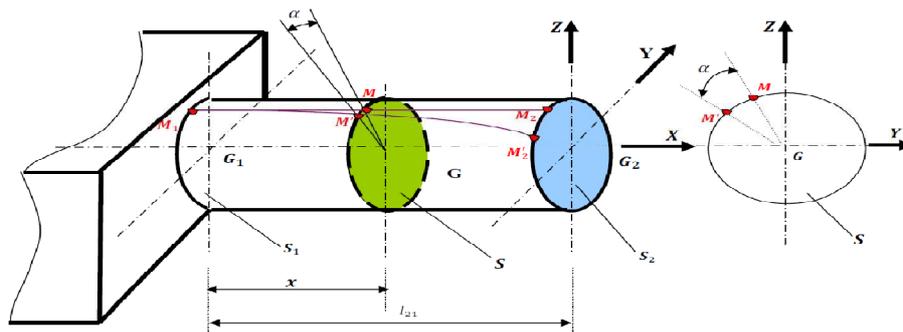


Fig. I.9 : Essais de torsion expérimentale.

La poutre (cylindrique de révolution) est parfaitement encastree à son extrémité gauche de la section S_2 de centre de gravité G_1 . On trace avant l'essai une génératrice M_1M_2 du cylindre à l'extrémité droite de la section S_2 de centre de gravité G_2 . Un système de forces extérieures peuvent se traduire à un seul vecteur moment $\overline{MG_2}$ porté sur l'axe $x'x$.

I.3.5.1- But de l'essai de torsion

Cet essai a pour but de déterminer la variation de l'angle de torsion α due à la charge qui s'applique à l'extrémité qui développe un moment de torsion. en variant les nuances de la poutre et ses dimensions pour mesurer expérimentalement α de la déterminer théoriquement puis faire une identification entre les deux résultats ($\alpha_{th} = \alpha_{exp}$) pour enfin extraire la valeur de "G".

L'essai de torsion a pour but de déterminer la variation de l'angle de torsion en fonction du moment de torsion sur l'angle de la barre. A l'expérience, on obtient une courbe sous la forme suivante :

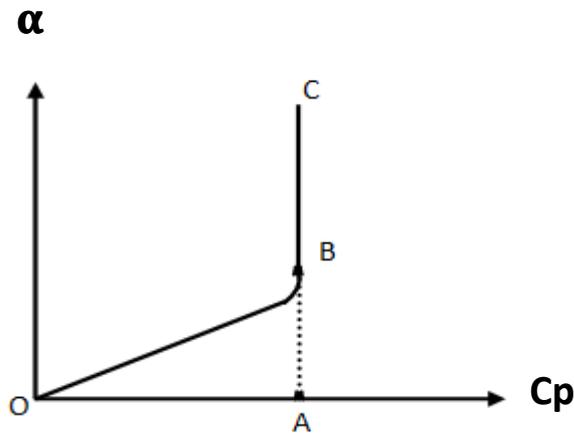


Fig. I.10 : Diagramme des variations d'angle de torsion.

- **Partie OB** : L'angle de torsion au moment de torsion (déformation élastique).
- **Parti A** : Correspond à limite d'élasticité.
- **Point C** : Correspond au point de rupture.
- **Haut de point A** : La déformation crasse rapidement.

I.3.5.2-L'angle de torsion

On se propose de mesurer expérimentalement l'angle de torsion α et de le déterminer théoriquement puis faire une indentation entre les deux résultats ($\alpha_{th} = \alpha_{exp}$) puis extraire la valeur de (G).

On démontre que :

$$\alpha \frac{Mt \cdot l}{G \cdot Ip} \Rightarrow \alpha^{\circ} = \frac{180}{\pi} \frac{Mt \cdot l}{G \cdot Ip} \quad (I.9)$$

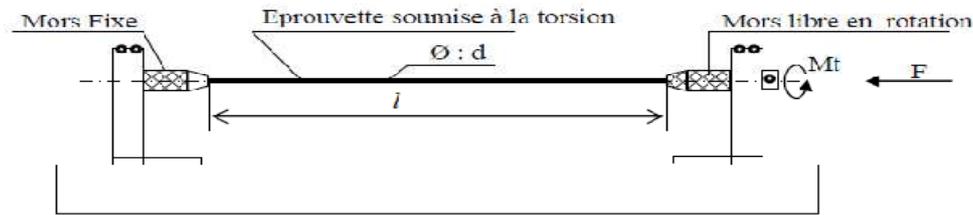
Mt = moment de traction $\Rightarrow Mt = P \cdot a$

l = longueur de la poutre

G = module d'élasticité transversal

Ip = moment d'inertie polaire $\Rightarrow Ip = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$

I.3.5.3-Banc d'essai



Banc d'essai

Vue suivante (F)

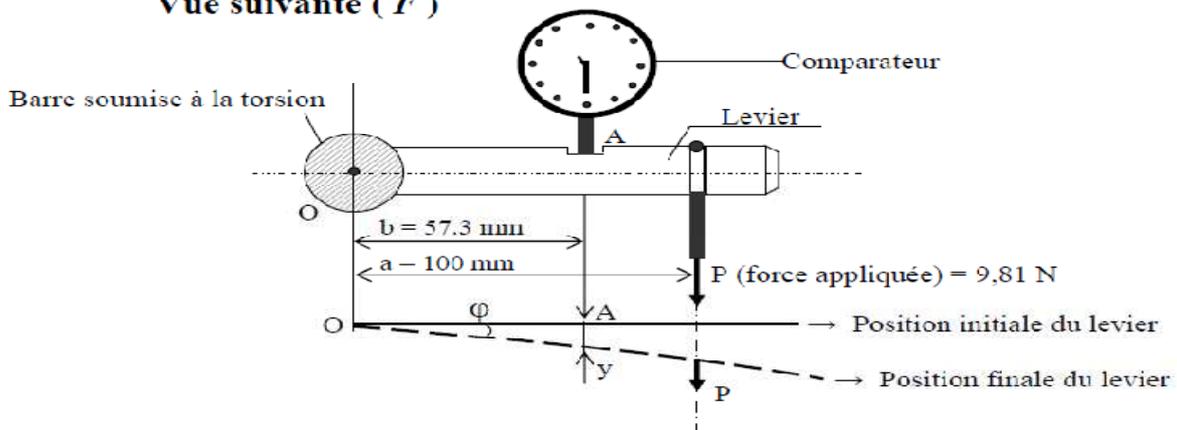


Fig. I.11 : Banc d'essai torsion.

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

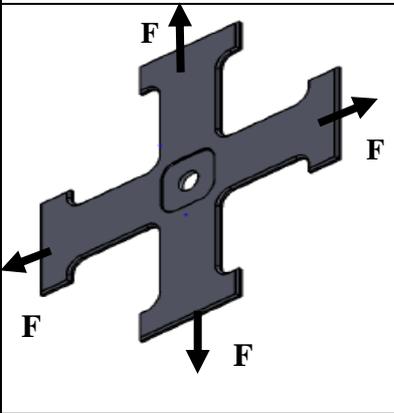
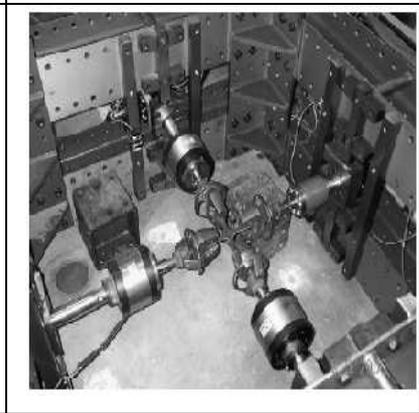
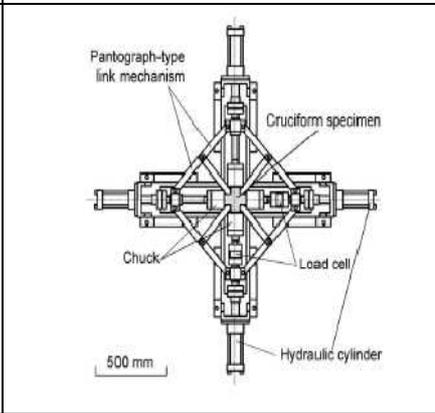
$$\text{L'angle de torsion : } \boxed{\widehat{\varphi} \cong \text{tg} \widehat{\varphi} = \frac{y}{b}} \quad (\text{I.10})$$

I.4 – Traction biaxiale

I.4.1-définition

Les essais de traction biaxiale consistent à exercer une contrainte dans deux directions perpendiculaires sur une même éprouvette. Ceci impose d'utiliser des éprouvettes cruciformes, (**fig. I.12.A**). Pour réaliser des états de contrainte uniformes dans l'éprouvette, on doit appliquer des efforts de traction suivant deux axes opposés deux à deux. Plusieurs systèmes mécaniques sont utilisés. Il existe un grand nombre de machines pour réaliser des essais de traction biaxiale, dont les avantages et les inconvénients sont liés à chaque type de réalisation. Le dispositif, le plus simple dans son concept est un dispositif à 4 vérins ou actionneurs, tel

que celui développé à l'Université de Bruxelles (**LECOMPTE et al. 2007, fig. I.12.B**). Dans ce dispositif le système de chargement est hydraulique, avec une capacité de **100 kN**. Le champ de déformation de l'éprouvette est déterminé par corrélation d'images numériques. **La figure I.12.C** montre le dispositif utilisé à l'Université de **Tokyo (KUWABARA et al, 1998)**. Un système de type pantographe reliant les mors opposés est associé au dispositif, de sorte que les actionneurs aient des déplacements opposés deux à deux. Le suivi de la déformation se fait par mesure optique.

Fig. I.12.A : Eprouvette cruciforme.	Fig. I.12.B : Dispositif d'essais biaxiaux Lecompte et al., 2007 [10]	Fig. I.12.C : Dispositif d'essais biaxiaux Kuwabara et al., 1998[10]
		

I.4.2-But de l'essai

L'essai de traction biaxiale est utilisé pour déterminer les caractéristiques de déformation des matériaux. Ce test est utilisé principalement pour la recherche et le développement, car il permet de définir les valeurs de contrainte dans la zone d'intersection de l'échantillon.

I.4.3-Principe d'utilisation

Comme pour les essais de traction uniaxiale, les équipements utilisés pour la réalisation des essais de traction biaxiale sont : la machine de traction-compression commandée par ordinateur et un système de détermination des déformations locales dans la zone utile de l'éprouvette. La technique la plus utilisée est la corrélation d'image, qui consiste à mesurer les déplacements des taches sur la surface de l'éprouvette à l'aide d'une caméra CCD et un logiciel d'acquisition et de traitement d'images.

Les données globales concernant les évolutions force-allongement de l'éprouvette ne sont pas exploitées dans l'identification des paramètres du comportement plastique. Il est toutefois possible d'estimer ces grandeurs à partir des figures I.13.a et b, qui montrent le schéma des biellettes, et le schéma simplifié servant à déterminer les forces sur l'éprouvette et les allongements de l'éprouvette à partir de la force et du déplacement imposés par la machine de compression.

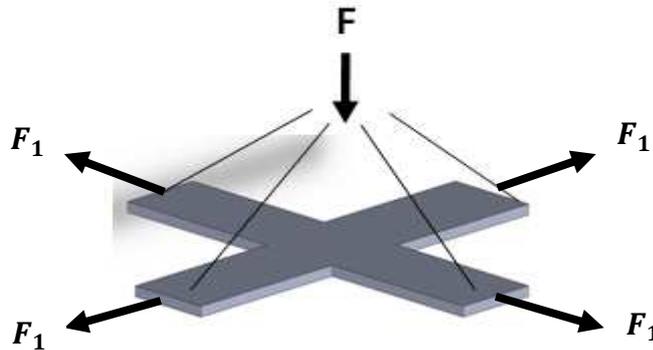


Fig. I.13.a : Schéma des biellettes constituant le dispositif.

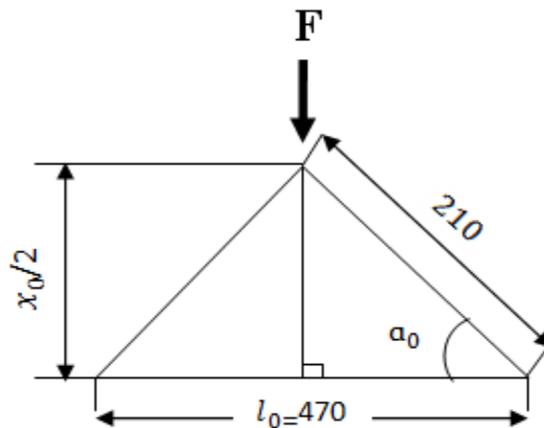


Fig. I.13.b : Schéma servant à déterminer les forces et les allongements sur l'éprouvette.

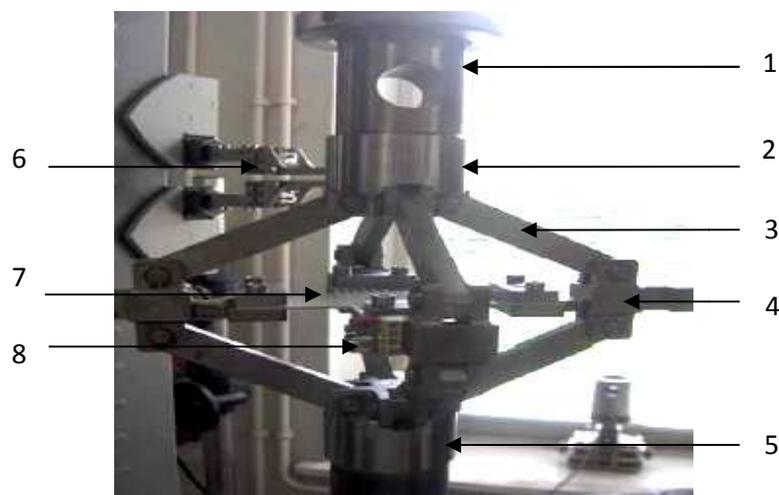
I.4.4-Les dispositifs de traction biaxiale

I.4.4.a-Dispositif des bras articulés sur la machine de traction-compression

Le dispositif de traction biaxiale est constituée d'un ensemble articulé, sans forme propre en l'absence d'éprouvette. La mise en place de l'éprouvette nécessite l'utilisation d'un dispositif annexe qui sert d'appui pour les mors de fixation de l'éprouvette (fig. I.14). Il est

important que le serrage soit le même sur les quatre bras de l'éprouvette. Le serrage s'effectue par clé dynamométrique.

On peut alors monter l'ensemble sur la machine de traction-compression.



1- Partie supérieure, 2-Tête supérieure, 3-Bras, 4-Mors, 5-Tête inférieure, 6-Système de guidage, 7-Eprouvette, 8-Caméra d'acquisition.

Fig. I.14 : Dispositif de traction biaxiale (Institut Fraunhofer) [1].

On peut citer un autre dispositif cinématique simple, qui permet de transformer un déplacement dans une seule direction en un système de deux déplacements orthogonaux.

Makinde et Ferron (1988) ont conçu un dispositif permettant, à l'aide d'un système de biellettes, de convertir le déplacement vertical obtenu en compression avec une machine d'essais conventionnelle en déplacements horizontaux dans deux directions perpendiculaires, conduisant à un allongement biaxial de l'éprouvette (**fig. I.15**).

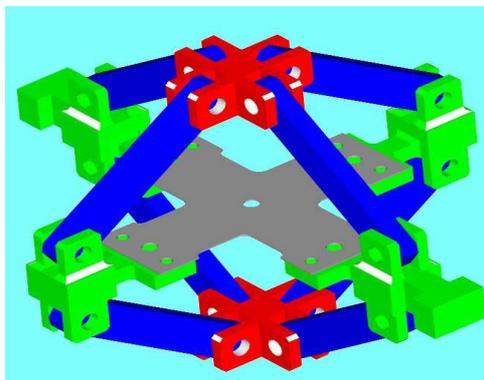


Fig. I.15 : Dispositif de traction biaxiale, Makinde, 1986.



Fig. I.16 : Système de traction biaxial Scholz et al.,2000.



Fig. II.17 : système de traction biaxiale MARC BLETRY 2007.

I.4.5- L'éprouvette de traction biaxiale

L'essai biaxial avec une éprouvette cruciforme est la conception qui pose des difficultés à résoudre, qui sont dues au non-homogénéité du champ de la déformation et structure des mailles dans les matériaux dans la partie utile de l'éprouvette.

I.4.6-Forme de l'éprouvette

Les éprouvettes utilisées dans les essais de traction biaxiale sont des éprouvettes cruciformes (**fig. I.18**)

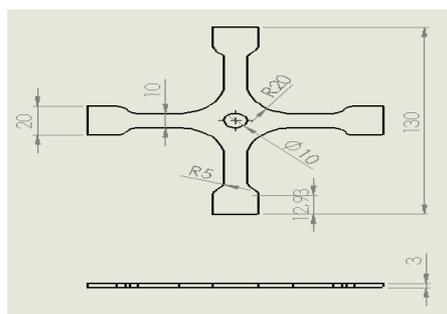
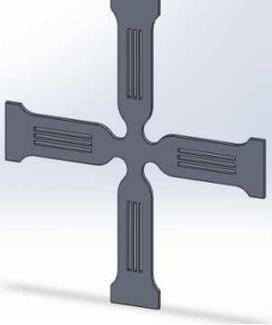
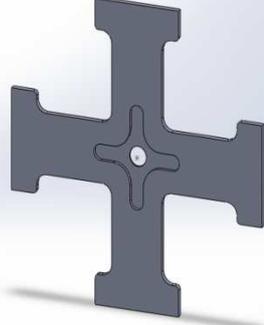
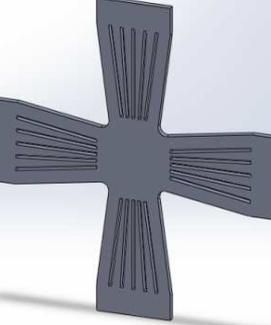
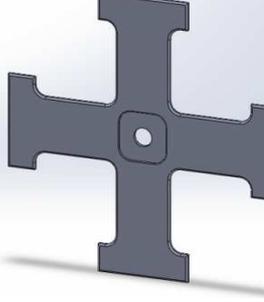
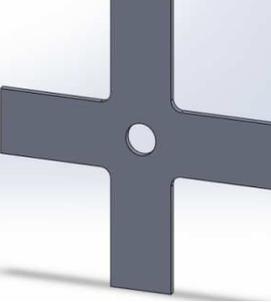
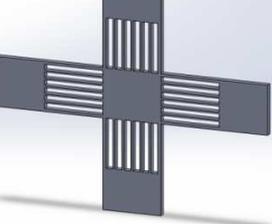


Fig. I.18 : Eprouvette cruciforme [9].

Plusieurs type sont utilisés par les scientifiques (Tab. I.1).

Tab. I.1 : Eprouvettes cruciformes de différents types [8].

 <p>Type A</p>	 <p>Type B</p>	 <p>Type C</p>	 <p>Type D</p>
 <p>Type E</p>	 <p>Type F</p>	 <p>Welsh et Adams. 2002.</p>	 <p>Ohtake et al.1999</p>
 <p>Samir et al.2006.</p>	 <p>Kuwabara et al . 1998.</p>		

I.5-Traction-torsion

C'est un essai mécanique qui permet de solliciter une traction et une torsion indépendamment ou simultanément sur une éprouvette de forme cylindrique (**fig. I.19**).

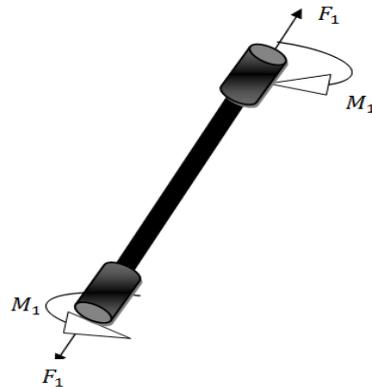


Fig. I.19 : Schéma cinématique de la traction-torsion.

I.5.1-Eprouvette

Parmi les types d'éprouvettes utilisées dans ces essais, on peut citer des éprouvettes cylindriques à double tête hexagonale (**fig. I.20**), des éprouvettes cylindriques creuses (**fig.I.21**) et des éprouvettes cylindriques (**fig. I.22**) pour des essais de traction-torsion.

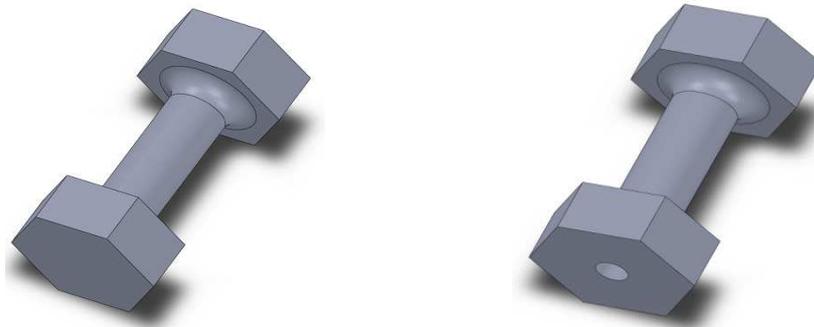


Fig. I.20 : Eprouvette cylindrique à tête hexagonale. **Fig. I.21** : Eprouvette cylindrique creuse.



Fig. I.22 : Eprouvette cylindrique.



Fig. I.23 : Types d'éprouvettes cylindriques.

I.5.2-Principe de fonctionnement pour l'éprouvette à tête hexagonale

Le montage utilisé pour les essais expérimentaux (**fig. I. 25**) a été pensé et conçu en parallèle et dans la même optique que l'éprouvette. Afin d'étudier la réponse mécanique des matériaux à des sollicitations en traction, compression, cisaillement et torsion, avec la possibilité d'effectuer deux sollicitations simultanément (exemple de la traction-torsion). Ainsi, le dispositif permet d'appliquer des trajets de chargement complexes et des contraintes variées sur un matériau sans avoir à changer les conditions initiales pour chaque type d'essai souhaité.

Il s'agit d'une machine cerveau-hydraulique à 4 colonnes permettant le réglage, au préalable, de l'espace nécessaire au déroulement d'un essai. En outre, elle dispose de deux vérins : l'un étant dédié au déplacement vertical, l'autre au déplacement angulaire. Ces deux vérins peuvent être commandés simultanément et ou indépendamment. Exemple d'une cellule biaxiale admettant une force de 25kN dans la direction axiale et un couple de 200N/m en torsion.

I.5.3-Système de fixation pour les éprouvettes de forme cylindrique à tête hexagonal

Deux mors sont présents pour lier l'éprouvette multiaxiale au montage par l'intermédiaire d'obstacles (**fig. I.24**) :

- Les plateaux de traction permettent de maintenir les têtes des éprouvettes dans les mors lors d'un chargement en traction (représenté en bleu).

- Les vis de compression viennent en contact avec les deux extrémités de l'éprouvette et permettent la transmission du déplacement du vérin lors d'une phase de compression (représenté en gris).
- Les empreintes hexagonales permettent de bloquer les têtes de l'éprouvette dans les mors et, ainsi, transmettre le mouvement angulaire du vérin (représenté en jaune).

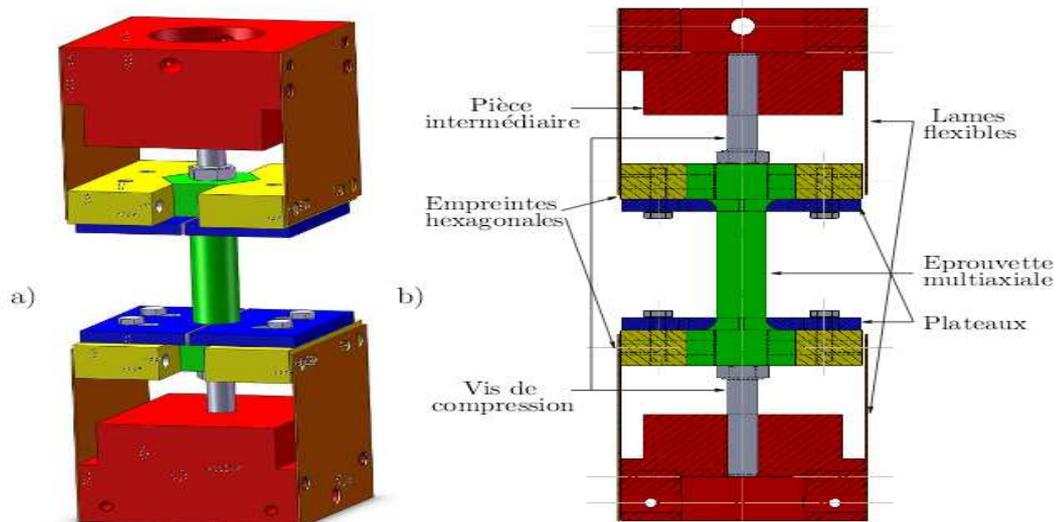


Fig. I.24 : Montage traction-torsion avec une éprouvette cylindrique à tête hexagonale.

I.5.4-Remarque

Tous types d'éprouvettes existantes, cylindriques ou plates soit-elles, ont leur propre principe de fixation dans les mors. Mais le facteur commun est le plus important : c'est-à-dire l'effort appliqué est le même dans la sollicitation traction-torsion.

I.6-Essai de traction-cisaillement

I.6.1-Objectif

L'objectif du dispositif est développé dans la section centrale d'une éprouvette appelée éprouvette papillon, une contrainte normale σ_x , et une contrainte tangentielle σ_{xy} en appliquant un effort vertical F (**fig. I.25**). L'orientation de la section centrale par rapport à la direction de la charge verticale doit s'effectuer par le réglage de l'angle α .

Le sens de l'effort F et la valeur de l'angle α permettent de développer différents états de contraintes planes de traction-compression simple, traction-compression combinée ou cisaillement et cisaillement simple (**tab. I.2**).

I.6.2-Eprouvette papillon

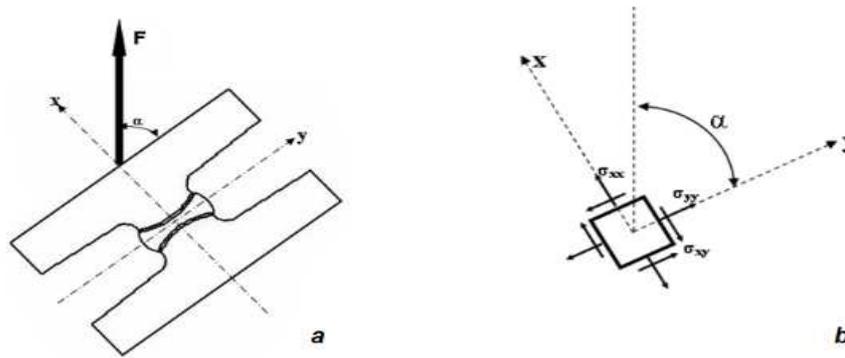


Fig. I.25 : a - Eproutette papillon en chargement biaxial.

b - Etat de contrainte plane développé au centre de l'éprouvette.

I.6.3-Principe du montage ARCAN

α =Angle du chargement de l'effort « F »

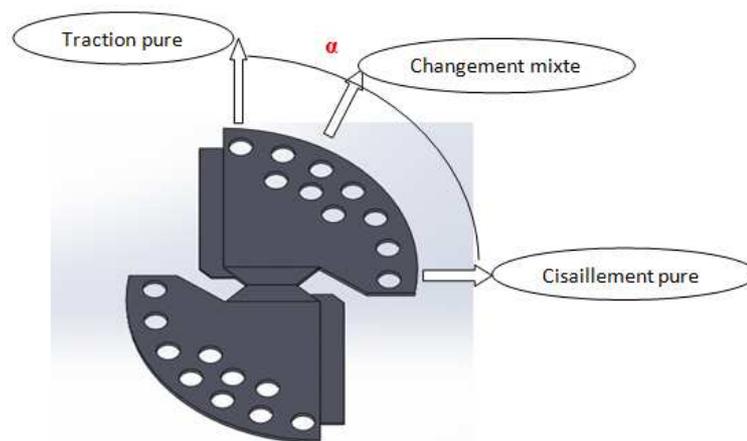


Fig. I.26 : Principe du montage ARCAN.

Tab. I.2 : Etats de contraintes appliquées avec le dispositif Arcan.

L'angle α	Sens de l'effort F	Etat de contrainte
90°	Positif	Traction
90°	Négatif	Compression
0°	Positif (ou négatif)	Cisaillement
0° < α < 90°	Positif	Traction/cisaillement combiné
0° < α < 90°	Négatif	Compression/cisaillement combiné

I.6.4-Principe de fonctionnement

Le dispositif Arcan modifié, qui va nous permettre de faire la caractérisation d'un matériau, se compose de deux parties identiques, celles-ci vont se placer sur les mors inférieur et supérieur de la machine de traction, à l'aide de deux disques identiques ainsi que de deux plaques d'acier semi-circulaires, ayant le même axe et pouvant tourner autour de celui-ci, afin d'obtenir l'angle de sollicitation souhaité.

L'état de contrainte de traction pure (**fig. I.27.A**), cisaillement pur (**fig. I.27.B**) et traction-cisaillement (**fig. I.27.C**) est alors obtenue par la relation des deux plaques. La variation de l'angle de chargement choisi pour notre dispositif est de 15° , ce qui nous permet d'obtenir les caractéristiques mécaniques en traction-cisaillement ou en compression-cisaillement à $\alpha=45^\circ$.

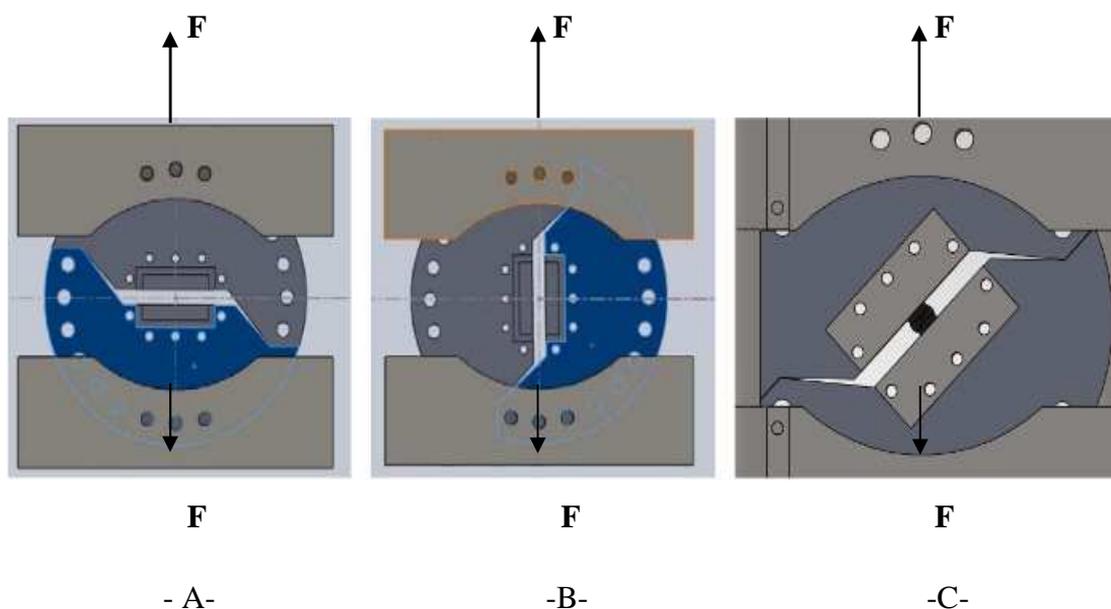


Fig. I.27 : Principe de montage Arcan.

Dans ce sens, un dispositif ARCAN a été réalisé dans notre laboratoire et qui permet de faire des essais de traction-compression combinée au cisaillement. (**fig. I.28**)

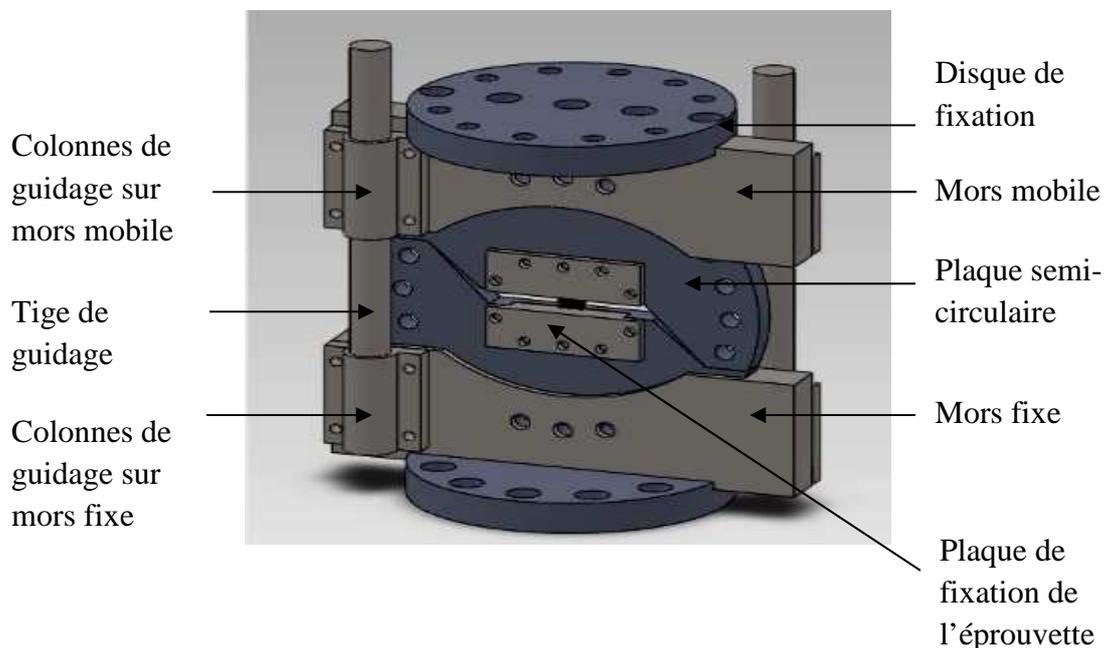


Fig. I.28 : Dispositif ARCAN modifié.

Le montage Arcan nous permet d'analyser le comportement des matériaux semi-cristallins. Parmi les nombreux bancs d'essais qui peuvent induire des états de contraintes planes dans les matériaux, notre choix s'est porté, pour les nombreux avantages qu'il présente, sur le montage Arcan, qui nous permet à la fois de réaliser des essais de traction, de compression, de cisaillement, de sollicitations combinées de traction-cisaillement et de compression-cisaillement pour différents angles de chargement et ceci sur le même type d'éprouvette : éprouvette papillon.

I.7-Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents types d'essais mécaniques et les différentes éprouvettes utilisées pour chaque type d'essais. Nous avons décrit les essais uniaxiaux qui permettent de déterminer les caractéristiques mécaniques des matériaux telles que limite d'élasticité, la résistance du matériau, le module de Young et l'allongement des matériaux.

Les dispositifs que nous avons rencontrés lors de notre recherche bibliographique doivent répondre à quelques conditions en fonction des différentes sollicitations imposées.

Parmi ces conditions on peut citer :

- Adaptation de montage sur une machine uniaxiale traction-compression.
- Une conception relativement plus simple possible.
- Une conception peu coûteuse et facile à réaliser.
- Réaliser les différents essais sur ces mécanismes.

Ensuite nous avons décrit quelques essais biaxiaux qui permettent de générer des états de contraintes diverses.

Chapitre II: Généralités sur l'usinage

II.1- Introduction

L'usinage par enlèvement de matière est le moyen le plus fiable pour obtenir des pièces de précision, à partir de pièces moulées, extrudées ou forgées. Le procédé est, par contre, coûteux (machine, outils, hommes qualifiés) et relativement lent.

C'est pourquoi on essaye d'obtenir maintenant des pièces de moulage ne nécessitant pas d'usinage. Cela est possible avec le plastique ou le **Zamac (Zn, Al, Mg)**, mais les qualités techniques : résistance à la chaleur ou limite élastique sont encore loin d'égaliser celles de l'acier ou des alliages d'aluminium. Actuellement parmi tous les axes de recherche en fabrication, on peut en citer deux : l'**UGV** (ou usinage à grande vitesse) et les machines à axes parallèles qui offrent une grande mobilité de la tête d'usinage en fonction de la forme et des dimensions des pièces.

II.2- Tournage

Le tournage est un procédé d'usinage permettant l'obtention de surfaces de révolution intérieures et extérieures, de surfaces planes ainsi que d'autres surfaces telles que celles obtenues par filetage, gravure, etc.

Le tournage est la technique de façonnage génératrice de copeaux la plus employée. Les tours constituent presque à eux seuls le quart de l'ensemble des machines-outils.

II.2.1-Principe du tournage [6]

II.2.2-Opérations de base

En tournage extérieur, on peut souvent dissocier les pièces complexes en profils de coupe élémentaire pour le choix des outils et des paramètres de coupe. Pour faciliter le choix du type d'outil, on peut considérer qu'il existe, en tournage, quatre opérations de base (**fig. II.1**) :

- Tournage longitudinal, ou chariotage (**fig. II.1-1**) ;
- Dressage (**fig. II.1-2**) ;
- Tournage de cônes (**fig. II.1-3**) ;
- Contournage (**fig. II.1-4**).

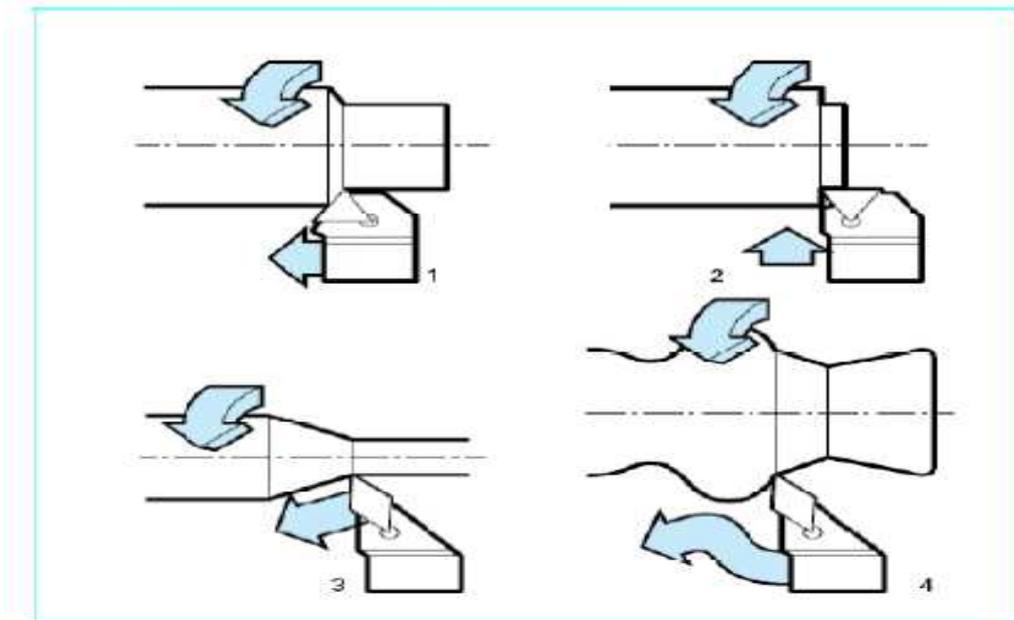


Fig. II.1 : Opérations de base en tournage [6].

II.2.3-Définition

a-Chariotage : le mouvement d'avance (mouvement de l'outil) est une translation rectiligne parallèle à l'axe de révolution de la pièce, et cet usinage aura pour effet de réduire le diamètre de la pièce.

b-Dressage : le mouvement d'avance est une translation rectiligne de l'outil perpendiculaire à l'axe, ce qui diminue la longueur de la pièce et génère un plan orthogonal à l'axe (**fig. II.2**).

En combinant les deux types de déplacements précédents (avance de l'outil en translation rectiligne oblique par rapport à l'axe), on génère des cônes de révolution. Enfin, en donnant à l'outil une trajectoire plane quelconque (profil de contournage), on peut obtenir une forme de révolution quelconque.

Les tours à commandes numériques de contournage permettent de suivre de tels profils, définis géométriquement par des combinaisons d'éléments simples (segments, cercles...) ou analytiquement par une fonction, ou encore point par point dans le cas de profils non définis mathématiquement. Le profil ainsi défini numériquement remplace le concept de gabarit de copiage.

Sur un tour **CNC**, les cas précédents deviennent en fait des cas particuliers du contournage (**fig. II.3**).

Ces différentes opérations correspondent à un usinage dit « de génération » ou « d'enveloppe » : la forme obtenue, à l'échelle macro-géométrique, ne doit rien à la forme de l'outil qui l'a générée. En d'autres termes, la forme obtenue dépend uniquement de la trajectoire de l'outil, à la rugosité près.

À l'opposé, les gorges, filetages, etc., sont obtenues par reproduction dans la pièce du profil de l'outil et sont qualifiés d'usinage « de forme » (**fig. II.4**) :

- travail d'enveloppe : chariotage (**fig. II.4 « A »**).
- travail de forme typique : filetage (**fig. II.4 « B »**).
- Usinage d'une gorge : (**fig. II.4 « C »**).



Fig. II.2 : Dressage d'un tube.

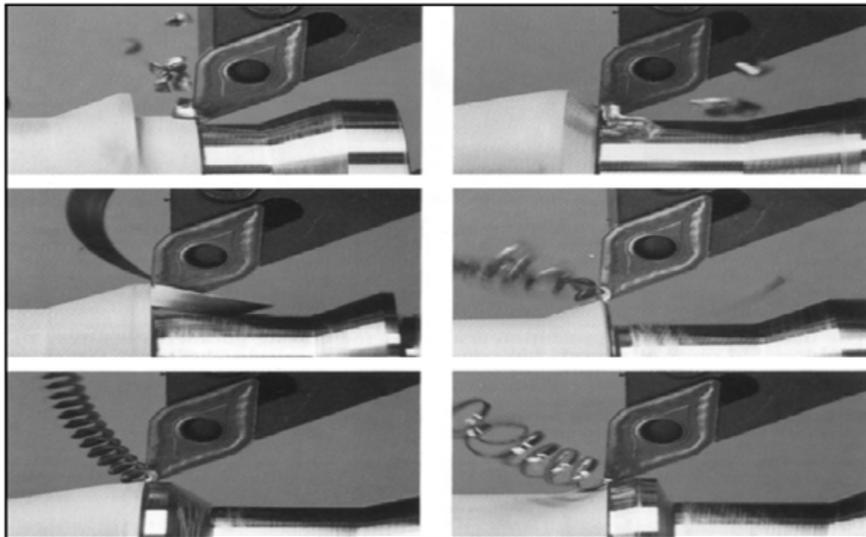
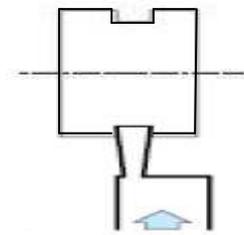


Fig. II.3 : Opération de contournage.



« A » travail d'enveloppe : chariotage

« B » travail de forme typique : filetage



« C » réalisation d'une gorge : gorge ou rainure

Fig. II.4 : Usinage de forme.

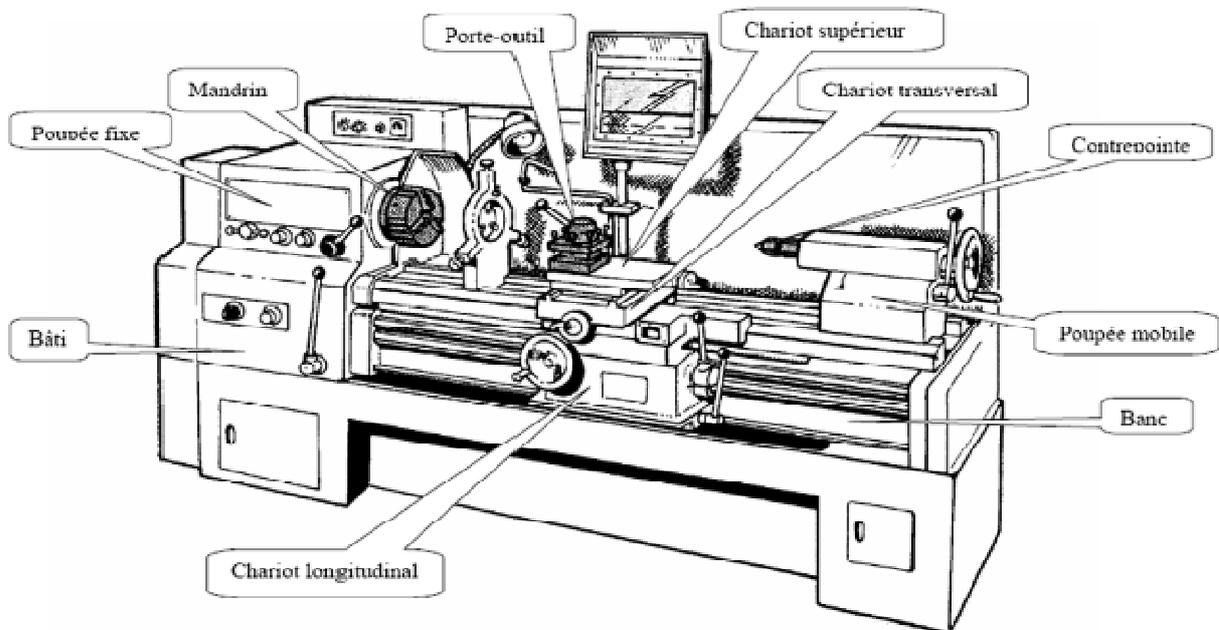


Fig. II.5 : Tour à charioter et à fileter.

II.2.4-Machine de tournage

Les mouvements cités ci-dessus sont communiqués simultanément à l'outil et à la pièce à l'aide d'une machine qu'on appelle TOUR (**fig. II.7**). Il existe plusieurs types de tours : ils se distinguent les uns des autres par leurs formes, dimensions, précision d'usinage, puissance et capacité de productions. Néanmoins, ils présentent sensiblement la même disposition générale d'agencement des organes mécaniques.

II.3-Fraisage [4]

II.3.1-Machine de fraisage

Une fraiseuse est une machine-outil utilisée pour usiner tous types de pièces mécaniques, à l'unité ou en série, par enlèvement de matière à partir de blocs ou parfois d'ébauches estampées ou moulées, à l'aide d'un outil coupant nommé fraise. En dehors de cet outil qui lui a donné son nom, une fraiseuse peut également être équipée de foret, de taraud ou d'alésoir.

La fraise munie de dents est mise en rotation et taille la matière suite à sa rotation et au mouvement relatif de la fraise par rapport à la pièce.

La forme de la fraise est variable : elle peut être cylindrique, torique, conique, hémisphérique ou quelquefois de forme encore plus complexe. La fraise et la pièce sont montées sur des glissières et peuvent se déplacer relativement suivant des coordonnées **X**, **Y** ou **Z** (on parle alors de fraiseuse trois axes). Par convention, l'axe **Z** est l'axe de rotation de la broche, les axes **X** et **Y** sont contenus dans un plan perpendiculaire à **Z**. Les axes de rotation **A**, **B** et **C** sont respectivement axés sur **X**, **Y** ou **Z**. Il existe des fraiseuses à quatre axes ou cinq axes.

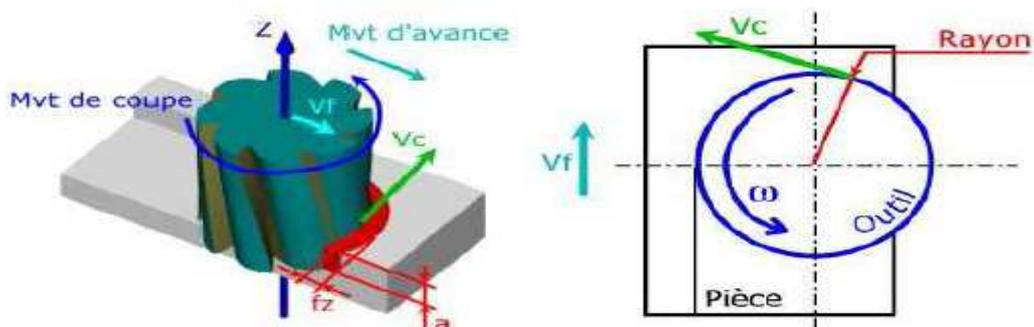


Fig. II.6 : Efforts de coupe « fraisage ».

II.3.2- Caractéristiques d'une fraise

Les caractéristiques physiques de la fraise, sa vitesse de rotation, son avance, dépendent de la matière à usiner, de la profondeur de travail et de la coupe. On utilise principalement le carbure de tungstène recouvert de revêtements résistant à l'abrasion du copeau.

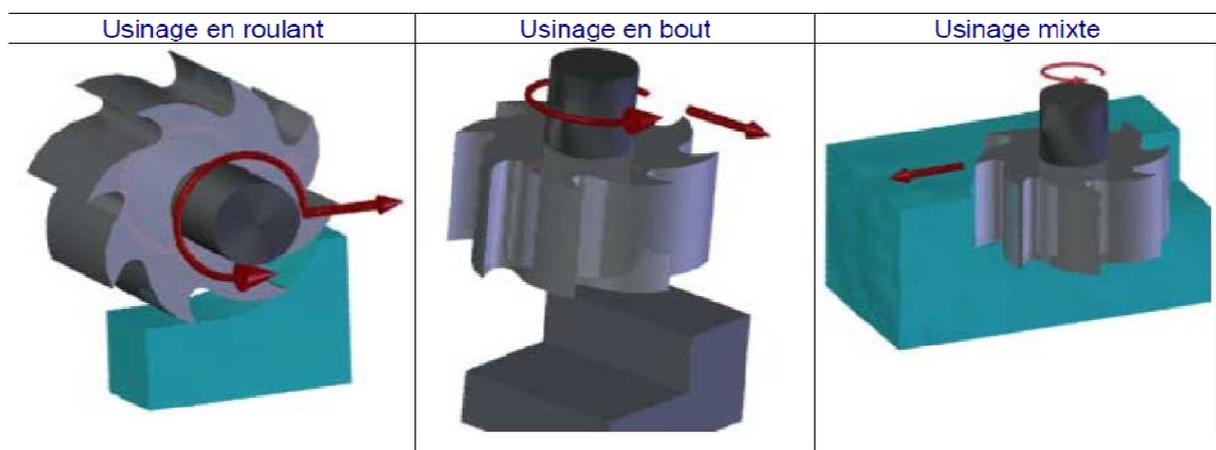
Il existe les fraiseuses manuelles ou les mouvements sont commandés par le "fraiseur", les fraiseuses à apprentissage qui peuvent répéter les mouvements donnés une fois par l'opérateur (enregistrement des mouvements) et les fraiseuses à commande numérique ou sont enregistrés des ordres de mouvement d'outil pour usiner une pièce complexe (pilotée par un programme informatique en langage **ISO** (langage)). Elles sont équipées d'un organe de contrôle informatique (automate programmable ou base PC) lui-même relié à un réseau. La **CAO** associée à la fabrication se nomme **FAO** ou **CFAO**.

Donc, l'outil tourne, la pièce se déplace. Les centres de fraisage comportent généralement trois axes (que l'on peut commander individuellement pour faire des formes complexe, hélices...) et un plateau tournant pour présenter toutes les faces de la pièce devant la broche.

On peut aussi imaginer de monter l'outil au bout d'un bras de robot. Voir exemple ci-dessous (**Tab. II.1**).

L'outil tourne, la pièce se déplace par rapport à l'outil. Cela permet de réaliser des formes planes, des moules...

Tab. II.1 : Différents coupes de base « fraisage » [5].



II.3.3-Principe du fraisage

L'outil est toujours animé d'un mouvement de rotation sur son axe **Mc** (mouvement de coupe). Il est situé et bloqué sur un système porte-fraise, lui-même fixé dans la broche de la machine.

Un ensemble de chariots se déplaçant suivant trois axes orthogonaux, permet d'animer la pièce d'un mouvement d'avance dans l'espace **Ma** (mouvement d'avance).

II.3.4- Classification des fraiseuses

- Fraiseuse horizontale.
- Fraiseuse verticale.
- Fraiseuse universelle.

II.3.5- Caractéristiques des fraiseuses

II.3.5.1- Dimensionnelles

- Type et numéro du cône de la broche (SA 40, Cm 4...)
- Longueur et largeur de la table.
- Courses de table, chariot transversal et console.
- Hauteur entre table et broche.
- Distance entre table et glissière verticale.

II.3.5.2- Fraiseuses universelles

Conviennent pour des travaux de caractère unitaire ou de petite série. Elles sont équipées généralement de trois chariots mobiles :

1. Table.
2. Chariot transversal.
3. Console.

La table est quelquefois inclinable dans son plan pour le taillage hélicoïdal d'une tête universelle d'une sortie de broche horizontale avec bras coulissant pour arbre long.

Les formes, dimensions, positions d'un objet se définissent par rapport à trois axes perpendiculaires entre eux, qui constituent le référentiel orthonormé (**fig. II.7**).

- L'axe **Ox** détermine la direction du **Ma** du chariot longitudinal **C.L** ;
- L'axe **Oy** détermine la direction du **Ma** du chariot transversal **C.T** ;

- L'axe Oz détermine la direction du Ma du chariot vertical C.V.

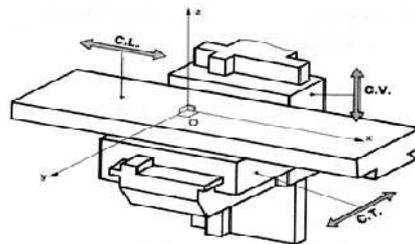


Fig. II.7 : Différentes axes de la fraiseuse.

II.3.5.3-Différentes outils en fraisage

En fraisage, on trouve des outils de toutes les formes :

On les distingue par leurs dimensions, leur nombre de dents, leur nombre de taille (le nombre de face de l'outil qui coupent) et leur fonction :

Tab. II.2 : Outils de surfacages et de rainurages

	Opération d'usinage	Visualisation	Identification de l'outil
Surfages	Direction projetée du mouvement d'avance		Fraise 2 tailles à queue conique
			Fraise 2 tailles à alésages et à entraînement par tenon
			Fraise a plaquette carbure a surfacer et a surfacer –dresser
Rainurages			Fraise 2 tailles à queue cylindrique
			Fraise 3 tailles à dentures alternées

Pour réaliser des trous ou des alésages, on utilise des forets à centrer, des forets et des alésoirs :

Tab. II.3 : Forets, alésoirs et tarauds.

	Foret (à queue cône morse).
	Foret étagé.
	Foret à centré.
	Alésoir machine.
	Taraud machine.

Et enfin, il existe des fraises de formes spéciales :

Tab. II.4 : Fraise en T, queue d'aronde et 1/4 de cercle pour les congés.

	Pour rainures en T.
	Pour queue d'aronde.
	Fraise 1/4 de cercle pour les congés.

II.4-Rectification

La rectification avec un outil rotatif est un procédé d'usinage à enlèvement de copeaux. L'enlèvement des copeaux se fait par un outil à tranchants multiples dont la géométrie de chaque tranchant individuel n'est pas définie.

II.4.1-Structure d'une machine à rectifier (rectifieuse)

Adaptées aux besoins des tâches d'usinage diverses, il existe un grand nombre de machines de rectification avec des structures diverses. Ces machines sont en général nommées selon le type de tâche qu'elles accomplissent, par exemple, rectifieuse plane, rectifieuse cylindrique, rectifieuse de forets.

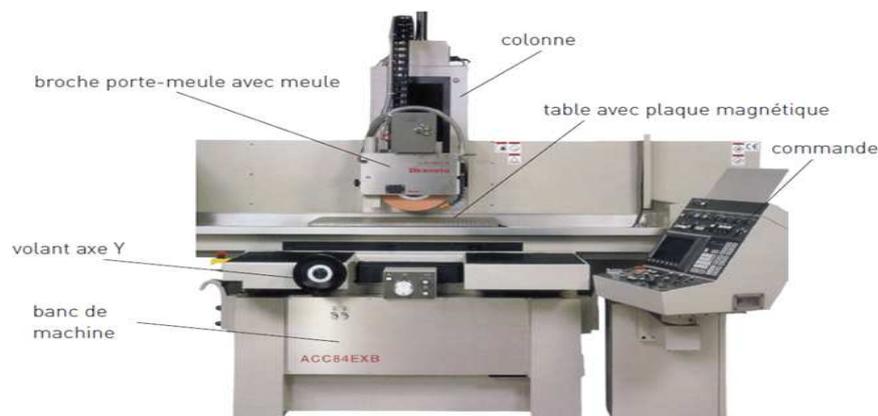


Fig. II.8 : Rectifieuse plane [13].

II.4.2-Procédés de rectification

II.4.2.a-La rectification plane périphérique

Lors de la rectification plane périphérique, l'effort de l'enlèvement des copeaux est principalement fourni par les grains sur la périphérie de la meule. La longueur de contact est réduite. De ce fait, les pores sont rarement trop remplis et arrivent à se vider facilement par la force centrifuge et la pression du liquide de refroidissement.

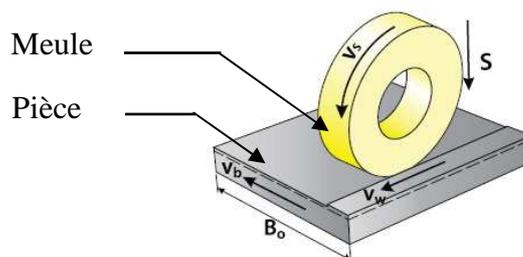


Fig. II.9 : Différents déplacements de la rectifieuse [13].

II.4.2.b-Rectification cylindrique longitudinale extérieure

Dans la rectification cylindrique longitudinale, la pièce est déplacée le long de la meule par l'avance longitudinale du banc. Sur les pièces qui sont cylindriques de bout en bout, il est conseillé de déplacer la meule à chaque passe jusqu'à ce qu'elle dépasse partiellement la pièce pour éviter que le diamètre en bout soit plus grand.

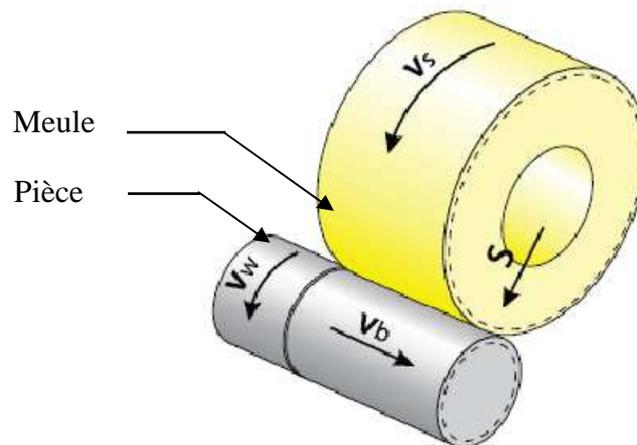


Fig. II.10 : Rectification cylindrique longitudinale [13].

II.4.2.c-Rectification cylindrique intérieure

Dans la rectification cylindrique intérieure, on distingue aussi la rectification latérale et en plongée. A l'inverse de la rectification cylindrique extérieure, les surfaces de contact dans les alésages entre meule et pièce sont très grandes. Il en résulte des copeaux fins et longs et un refroidissement défavorable.

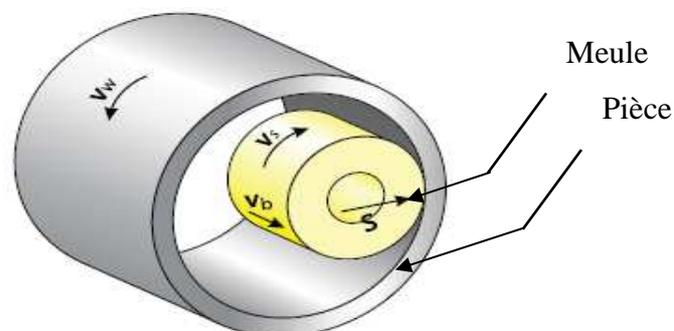


Fig. II.11 : Rectification cylindrique intérieure [13].

II.5-Brochage

Le brochage est un procédé d'usinage fondé sur l'utilisation d'un outil broche monté sur une brocheuse.

II.5.1-Outils de brochage

II.5.1.a-Travail de la denture

Une broche est une pièce en acier munie d'une série de dents dont la section correspond au profil à exécuter. La longueur de la broche est définie par le nombre de dents, lui-même défini par la quantité de matière à enlever.

La dent d'une broche a sensiblement la forme d'une dent de fraise. Lorsque la largeur de la broche est importante, des encoches « brise-copeau » sont pratiquées dans le taillant afin de réduire l'effort de coupe et faciliter le dégagement des copeaux.

Une broche réalise consécutivement les opérations :

- D'ébauche où les premières dents sont prévues pour tailler des copeaux importants,
- Demi-finition, où les sur 5^{ème} et 6^{ème} dents taillent un copeau plus mince,
- Finition, là les dents ne doivent en principe ne fournir aucun copeau et ne servent que pour calibrer et offrir la possibilité d'un raffûtage.

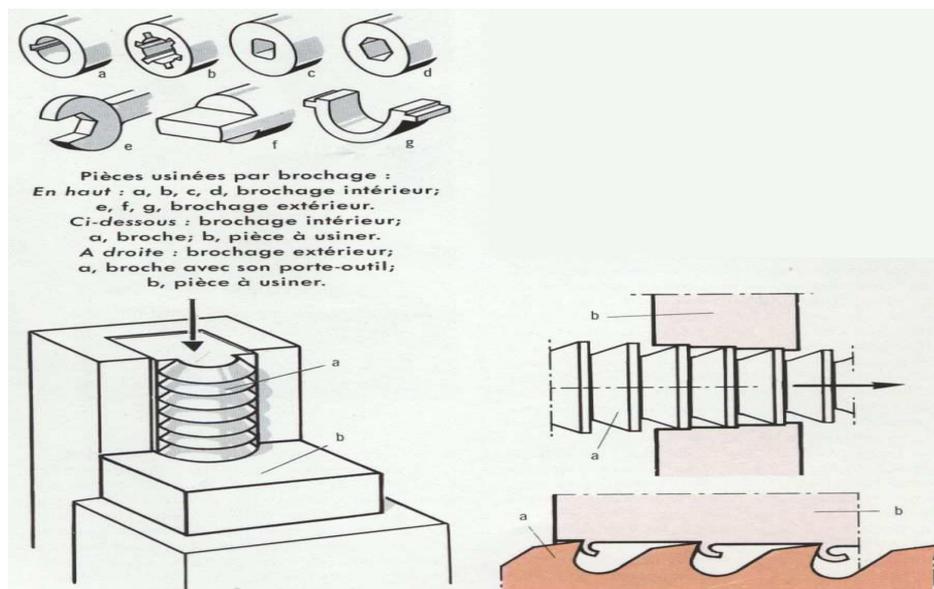


Fig. II.12: Brochage intérieur.

II.5.1.b-Broche interne

Pour l'exécution d'un alésage, la broche a une forme tronconique dont le petit diamètre correspond au diamètre de l'alésage brut et le grand diamètre à la côte de l'alésage final. A l'arrière un certain nombre de dents de même diamètre servent au calibrage final.

Pour les usinages des surfaces associées intérieures (rainure, crans, etc), des broches ont le profil de denture désiré et sont montées sur un support qui coulisse à l'intérieur de l'alésage.

II.5.1.c- Différents types de brochage

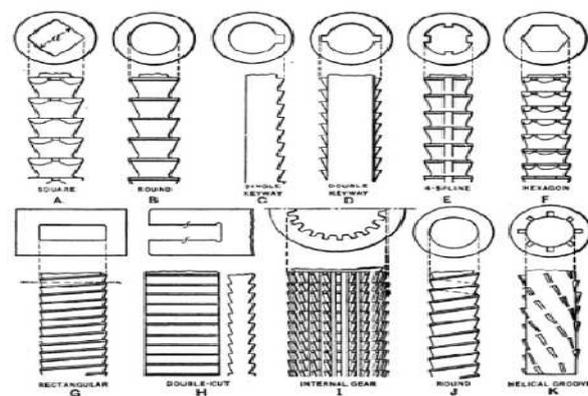


Fig. II.13 : Brochage interne de différentes formes géométriques.

II.5.1.d-Broche externe

Pour l'usinage des surfaces associées externes, différentes broches sont fixées sur une semelle support, de manière à réaliser le profil désiré. Dans l'industrie (surtout automobile), on trouve ce genre de broche pour l'usinage de chapeau de palier de vilebrequin, de pieds et chapeau de bielle, etc.

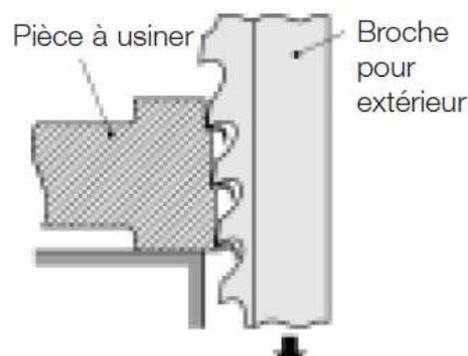


Fig. II.14-Brochage extérieur.

II.5.2-Brocheuse

En principe il est possible d'exécuter le brochage sur toute machine permettant de faire une traction ou une poussée axiale : presse, raboteuse, mortaiseuse, étau limeur et éventuellement sur tour. Néanmoins, le travail ne sera correctement effectué que sur des machines spécialement conçues pour cette tâche. Ces machines sont de deux sortes :

- machine travaillant par poussée : l'usinage est limité à la longueur de la broche et à sa section afin d'éviter la flexion,
- machine travaillant par traction : le travail par traction n'ayant pas ces inconvénients, l'outil broche peut avoir une longueur importante et offrir plus de possibilités.

II.5.3-Fonctionnement

Pour un brochage interne, la broche est d'abord introduite dans le trou. La traction (ou la poussée) de celle-ci à travers la pièce provoque un arrachement de matière au passage de chacune des dents. La quantité de matière enlevée par chaque dent de la broche varie avec le type de matière à enlever et la forme désirée. Les dents d'une broche désignée pour usiner de l'acier peuvent enlever seulement 0.05 mm, tandis que celles d'une broche désignée pour usiner du laiton pourront enlever 0.10 mm. La succession des dents enlève la totalité de la matière requise jusqu'à l'obtention de la forme désirée. L'utilisation d'un tampon permet en partie de vérifier que la forme obtenue est correcte.

Dans le cas de brochage externe, le principe d'arrachement de la matière reste le même, sauf que la broche ne pénètre pas à proprement parler dans un trou dans la pièce. Les rôles sont en quelque sorte inversés si bien que la broche "entoure" une partie de la pièce et usine l'extérieur de celle-ci.



Fig. II.15 : Brocheuse verticale.

II.6-Conclusion

Parmi les différents procédés d'obtention des pièces mécaniques, on a l'opération d'enlever de la matière de façon à donner à la pièce brute la forme et les dimensions voulues, à l'aide d'une machine-outil. Par cette technique, on obtient des pièces d'une grande précision.

Il existe plusieurs procédés d'usinage, notamment :

- Les usinages par déformation : forgeage, thermoformage, pliage
- Les usinages par découpage : découpe laser, oxycoupage,
- Les usinages par enlèvement de matière : tournage, fraisage, électroérosion.

L'usinage entre dans la gamme de fabrication d'une pièce mécanique. Elle est définie par un plan portant une cotation exhaustive. Celle-ci a pour but de définir les dimensions de la pièce finie, la précision, la géométrie ainsi que l'état de surface de l'ensemble des surfaces qui constituent la pièce usinée. A chaque phase de la gamme de fabrication, le concepteur et/ou l'usineur choisissent le type d'usinage à réaliser, la machine, l'outil ainsi que le support de pièce permettant l'obtention de tous les éléments de cotation de la surface considérée. D'une manière générale, les formes des surfaces usinées peuvent être planes ou de révolution. Les principaux usinages sont le fraisage (surfaces planes) et le tournage (surfaces de révolution). Avec l'apparition de la commande numérique, il est désormais possible d'usiner une multitude de surfaces courbes. Toutefois, il convient de noter que les outils utilisés sont les mêmes que pour les machines traditionnelles et que leurs trajectoires sont constituées de segments de droites et d'arcs de cercles.

L'usinage a un coût : temps de travail, surépaisseur de matière à enlever, usure de la machine-outil, consommables (outil, lubrifiant, courant électrique), stockage. On ne pratique donc que les usinages nécessaires.

Chapitre III: Conception du mécanisme et simulation

III.1- Cahier des charges

III.1.1-Introduction

Notre travail consiste à réaliser un dispositif de traction biaxiale sur des éprouvettes cruciformes dans le but d'identifier les comportements mécaniques de plusieurs matériaux tels que le PMMA, le PEHD et PA6... par une traction biaxiale de ce type d'éprouvettes.

➤ Objectif

Le dispositif de traction biaxiale sert à la caractérisation des matériaux. La conception mécanique permet de choisir les formes et les dimensions, en prenant compte des conditions de travail.

La machine de traction compression de la faculté Génie de la Construction précisément du département du Génie Mécanique et les moyens de hall de technologie ont favorisé la réalisation du mécanisme.

III.1.2-Bête à cornes

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

- A qui servira le dispositif de traction biaxiale adaptable sur une machine de traction uniaxiale ?
- Sur quoi se dispositif agira-t-il ?
- Dans quel but le dispositif sera-t-il utilisé ?

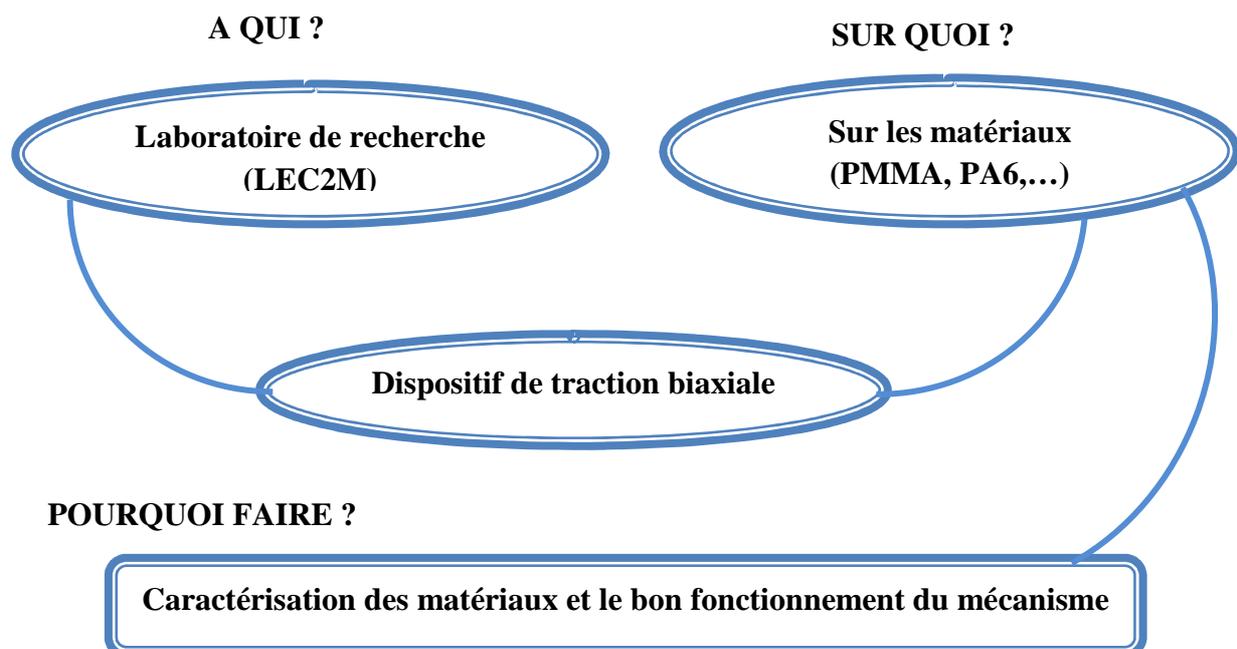


Fig. III.1 : Diagramme bête à cornes.

III.1.3-Stabilité de besoin

Le laboratoire d'élaboration et de caractérisation des matériaux et modélisation LEC2M de la faculté Génie de la Construction, département de Génie Mécanique de l'UMMTO a réalisé un dispositif de traction biaxiale adaptable sur la machine de traction uniaxiale, disponible au niveau de la faculté afin de caractériser les matériaux plastique comme le PMMA, PA6 et l'aluminium et ces alliages, etc. La conception et la fabrication de dispositif pourrait répondre aux besoins.

III.1.4-Emplacement des éprouvettes sur le dispositif

La fixation de l'éprouvette sur le mécanisme doit être facile et précise pour assurer la symétrie lors de l'application de la charge. De même, le mécanisme doit permettre un allongement de l'éprouvette jusqu'à la rupture.

III.1.5-Diagramme pieuvre

Cette méthode est utilisée pour analyser les fonctions de service d'un produit. Il nous permet de définir les liens entre le dispositif et l'environnement afin de répondre aux besoins et ses exigences d'adaptabilités aux milieux extérieurs.

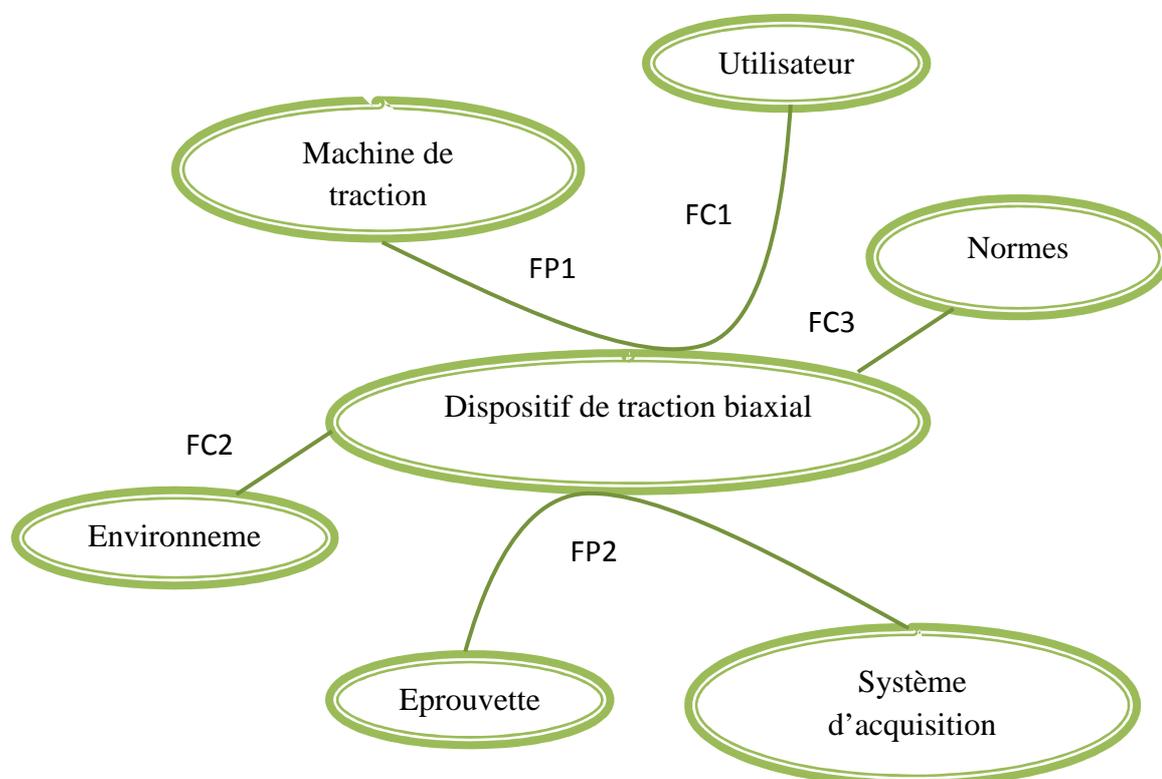
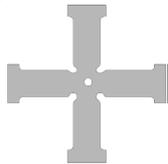


Fig. III.2 : Diagramme pieuvre.

III.1.6-Tableau des contraintes et des fonctions principales

Tab. III.1 : Contraintes et fonctions principales.

	Fonction	Critère
FP1	Permettre la caractérisation des matériaux	
FP2	Respecter les cotes dimensionnelles et géométriques	Coaxialité, perpendicularité, ...
FC1	Permettre à l'utilisateur de manipuler le mécanisme à partir de la machine traction-compression	Commende de la machine
FC2	La résistance à l'environnement	Milieu ambiant
FC3	Respecter les normes de l'éprouvette	

III.1.7-La contrainte technique

La conception du mécanisme doit tenir compte des moyens matériels existants au niveau du hall de technologie, la disponibilité de la matière première, les outils de coupe nécessaires ainsi que les équipements de travail, favorisent alors un mécanisme fonctionnel pas coûteux et dans des délais acceptables.

III.1.8-Solution technique

Le dispositif de traction biaxiale doit être adaptable sur une machine de traction-compression. Pour l'adaptation de ce mécanisme, la conception et la réalisation d'une pièce sous forme cruciforme de 20 mm d'épaisseur est nécessaire. Cette plaque sera posée sur cette machine et fixée.

La tête supérieure est guidée avec un téton de guidage pour avoir un déplacement perpendiculaire par rapport à la plaque fixée. Les bras aussi guidés par la tête supérieure et les brides servent à assurer les déplacements, l'éprouvette est fixée avec les brides d'une manière croisée.

Pour avoir des sollicitations, le mécanisme et l'éprouvette doivent former un angle de 60° , donc deux bras et deux brides forment avec l'éprouvette un triangle isocèle de 60° .

Tout les quatre bras et brides forment deux triangles isocèles croisés avec l'éprouvette cruciforme. On peut aussi faire d'autres éprouvettes avec la variation de l'angle (**fig.III.3**).

III.1.9-Schéma cinématique du dispositif

➤ Principe de fonctionnement

Le dispositif se compose de :

- Un bâti (09) positionné sur la machine, il est fixé sur les deux portes glissières (05), (06) avec des vis (16).
- Quatre brides (07) pour la fixation de l'éprouvette, ces brides sont fixées sur les quatre glissières (04) qui se déplacent sur les portes glissières (05), (06) et ce déplacement est assuré par les bras (03) assemblés avec des goupilles (12), (13).
- La tête supérieure (02) guidée par un téton de guidage (01) fixé sur le vérin de la machine et les bras (03) sont assemblés avec la tête supérieure (02) par des goupilles.
- les calles (10), circlips (14) et vis (15) (16) sont faits pour la fixation et d'empêcher la translation suivant les goupilles est les rainures des portes glissières.
- les mors (08) servent à fixer l'éprouvette avec des vis de pression (11).

III.1.10-Schéma cinématique des efforts

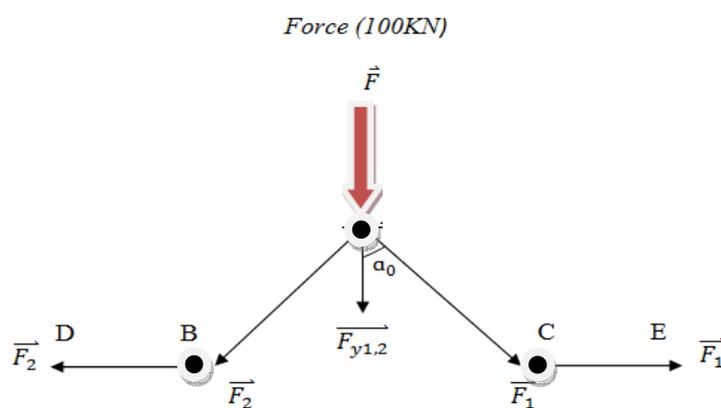


Fig. III.3 : Répartition des forces d'application.

- Remarque

Le dispositif est soumis à une force de compression uniaxiale verticale au point A qui est répartie selon les deux axes x_1 , x_2 aux points B, D et C, E avec un angle de a_0 qui est varié de 0° jusqu'à 90° , dans le but d'obtenir une force de traction suivant les axes x_1, x_2 .

III.1.11-Définition des éléments

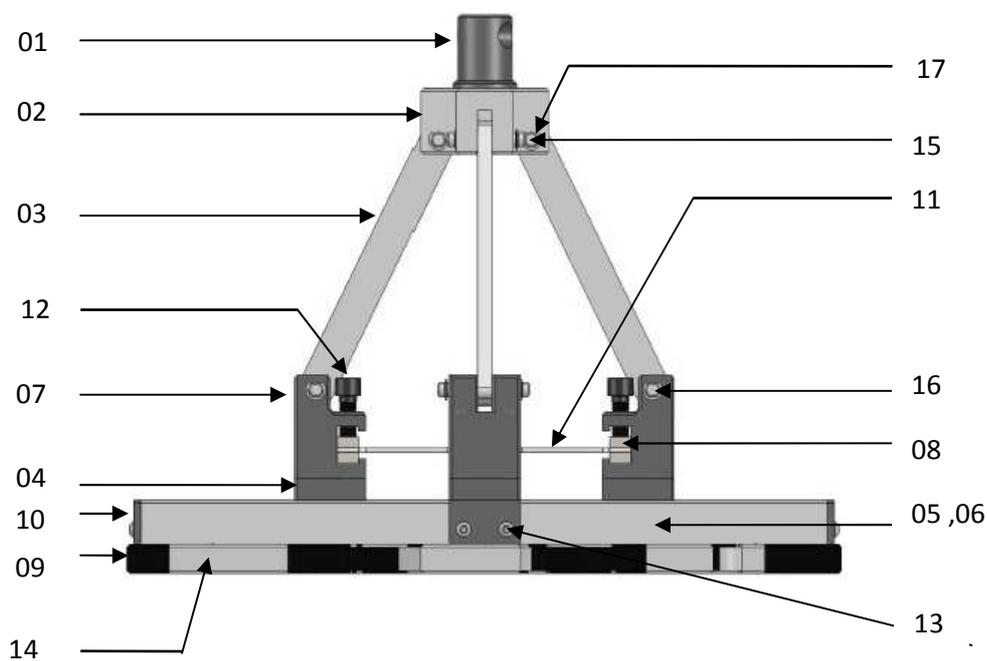


Fig. III.4 : Différents éléments principaux.

La légende de notre dispositif est représentée dans le tableau ci-dessous :

Tab. III.2 : Différents éléments principale.

Numérotations	Nombre de pièce	désignation
01	01	Téton de guidage
02	01	Tête supérieure
03	04	Bras
04	04	Glissière
05	01	Porte-glissière A
06	01	Porte-glissière B
07	04	bride
08	08	Mors de fixation
09	01	Bâti
10	04	Calle
11	01	Eprouvette
12	08	Vis de pression
13	08	Vis FS M8
14	20	Vic CHC M8
15	04	Goupille 10x50
16	04	Goupille 10x60
17	16	Circlips 10x1.5

III.1.12-Conclusion de cahier des charges

D'après l'analyse fonctionnelle, nous avons pu définir les besoin et représenter les exigences techniques au cours du fonctionnement : telle que l'adaptation en minimisant la durée de réalisation et le coût de revient. Notre mécanisme permet d'effectuer des tests biaxiaux.

Pour avoir des bons résultats, on prend un angle de 45° afin d'éliminer les frottements lors de la traction.

III.2 -Conception du mécanisme

III.2.1-Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les différents éléments du mécanisme, réalisés avec la CAO (conception assistée par ordinateur) plus précisément par le logiciel SolidWorks. Nous allons aussi présenter les calculs de vérification et la résistance aux différentes sollicitations auxquelles sont soumises les différentes parties du mécanisme. On peut citer les pièces d'assemblage (vis et écrous, goupille, anneaux élastique ...)

III.2.2-Présentation de logiciel SolidWorks

SolidWorks est un modéleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère trois types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation. Chaque modification réalisée sur un concept sera liée aux deux autres.

SolidWorks est un logiciel de simulation par éléments finis de problèmes très variés en mécanique.

III.2.3-Conception par CAO « SolidWorks »

Le dispositif que nous avons conçu, en tenant compte de cahier des charges est présenté sur la figure III.5.

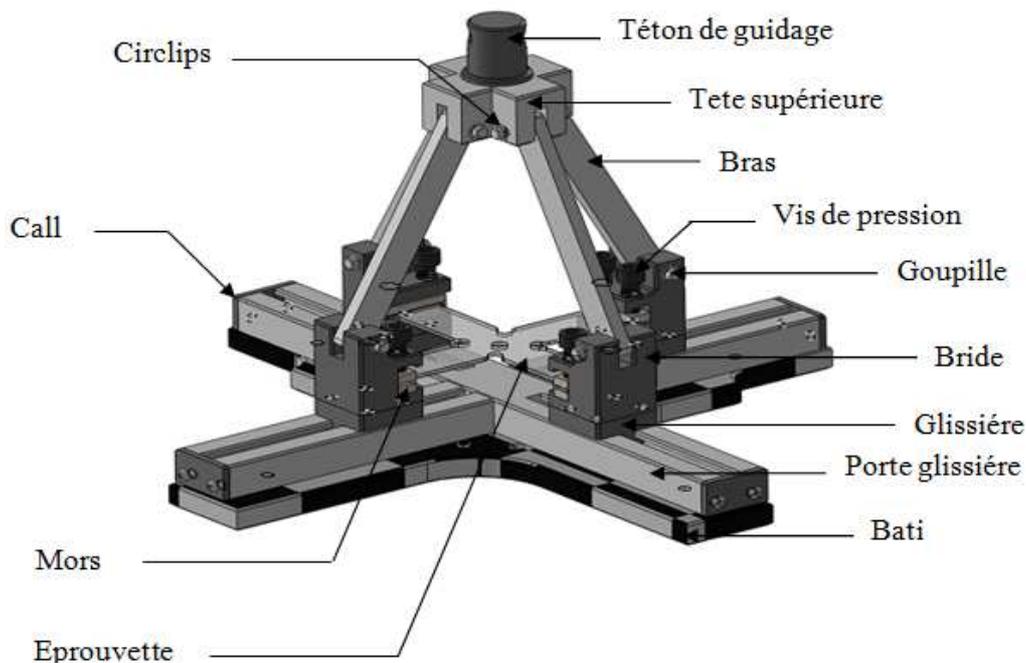


Fig. III.5 : Différents compartiments du mécanisme.

Chaque élément d'un dispositif assure une fonction bien définie, à savoir, la fixation de l'éprouvette, l'orientation, le déplacement et la charge appliquée.

III.2.3.a-Bâti cruciforme

La base du dispositif est cruciforme (pour minimiser la flexion) de dimensions $500 \times 500 \times 20$, elle sert à fixer le dispositif sur la machine de traction uniaxiale avec 12 vis de $M10 \times 1,5$ et 04 vis de $M8 \times 1,25$.

La base contient aussi un chambrage au centre, de diamètre 40mm et une profondeur de 4mm dans le but de centrer le système (**Fig. III.6**).

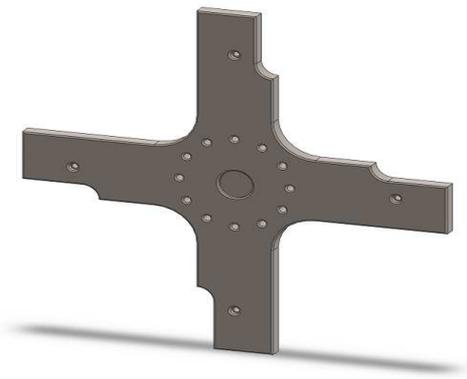


Fig. III.6 : Bâti cruciforme.

III.2.3.b-Porte glissière

La pièce est sous forme prismatique de dimensions $470 \times 50 \times 30$ contenant une rainure en T de dimensions $210 \times 25 \times 8$ avec huit (8) trous taraudés de diamètre $M8 \times 1,25$ (Fig. III.7).



Fig. III.7 : Porte-glissière.

III.2.3.c-Glissière

Sous forme de T de dimensions $50 \times 50 \times 30$ fixée à la bride par quatre (4) vis de $M8 \times 1,25$. La pièce glisse sur la rainure en T lubrifiée afin d'annuler les frottements sur une course de 160mm (**Fig. III.8**).

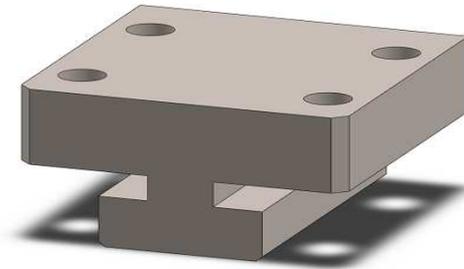


Fig. III.8 : Glissière.

III.2.3.d-Bride

Bride de dimensions $70 \times 50 \times 50$, sert à maintenir l'éprouvette cruciforme avec deux (2) vis de pression $M10 \times 1,5$ en CHC et assure un déplacement biaxial suivant les portes glissières (**Fig. III.9**).

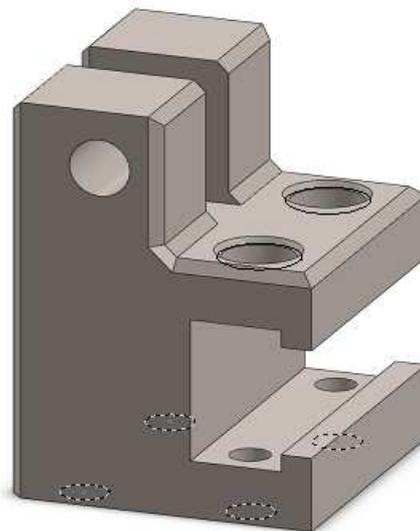


Fig. III.9: Bride.

III.2.3.e-Mors

Une pièce prismatique de dimensions $50 \times 15 \times 10$ qui contient des dentures d'une profondeur de 2mm et de deux (2) trous bornés dans lesquels les vis de pression sont guidés à l'intérieur afin d'éviter le détachement de la pièce. Les dentures servent à éviter le glissement de l'éprouvette (**Fig. III.10**).

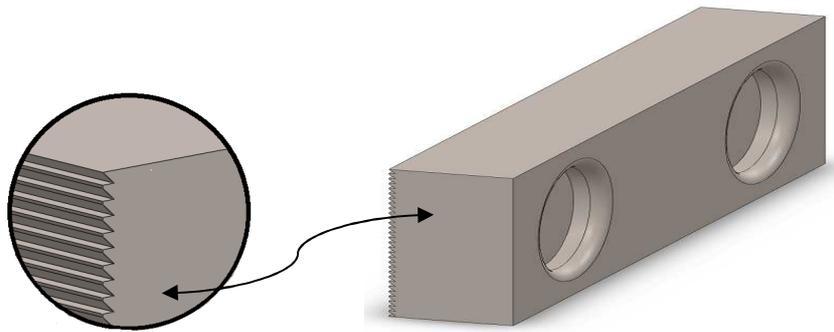


Fig. III.10 : Mors.

III.2.3.f-Bras

Barre de dimensions $210 \times 25 \times 10$, contenant deux perçages de diamètre 10mm, elle reçoit un effort axial et le transforme en un effort combiné. L'inclinaison de la barre est variée suivant l'angle α compris entre 0° et 45° .

L'effort suivant l'axe y est négligeable (**Fig. III.11**).

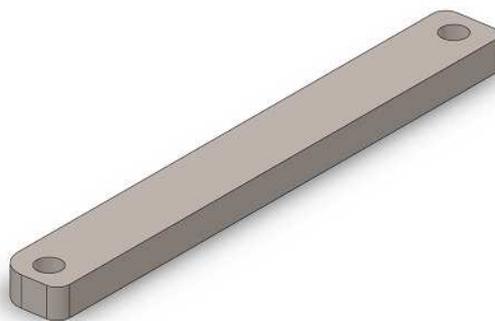


Fig. III.11 : Bras.

III.2.3.g-Tête supérieure

Partie supérieure du dispositif contenant quatre (4) perçages de diamètre 10mm et un chambrage de diamètre 40mm et de profondeur 5mm. C'est la partie la plus importante du mécanisme car elle reçoit une force axiale pour la répartir en une force biaxiale (**Fig. III.12**).

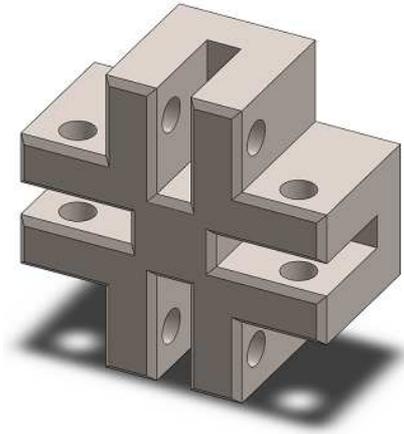


Fig. III.12 : Tête supérieure.

III.2.3.h- Téton de guidage

Pièce cylindrique de dimensions 50×70, sert à orienter et centrer le mécanisme afin d'empêcher le décalage suivant l'axe de la machine traction uniaxiale (**Fig. III.13**).



Fig. III.13 : Téton de guidage.

III.2.3.i-Goupille cannelée

La goupille cylindrique de diamètre 10mm, assure le maintien du mécanisme entre la tête supérieure, les bras et les brides (**Fig. III.14**).



Fig. III.14 : Goupille.

III.3-calcul de vérification des éléments d'assemblage à la résistance

Nous avons utilisé des vis qui ont les caractéristiques suivantes :

III.3.1-vis de fixation

P : pas.

H : hauteur du filetage = $0.866p$.

D= d = diamètre normal (vis et écrou).

D₂ = d₂ = diamètre sur flanc (vis et écrou) = $d - 0.6495p$.

D₁ = d₁ = diamètre intérieur du taraudage (écrou) = $d - 1.0825p$.

D₃ = diamètre intérieur du filetage (vis) = $d - 1.2268p$.

d₃ = diamètre du noyau.

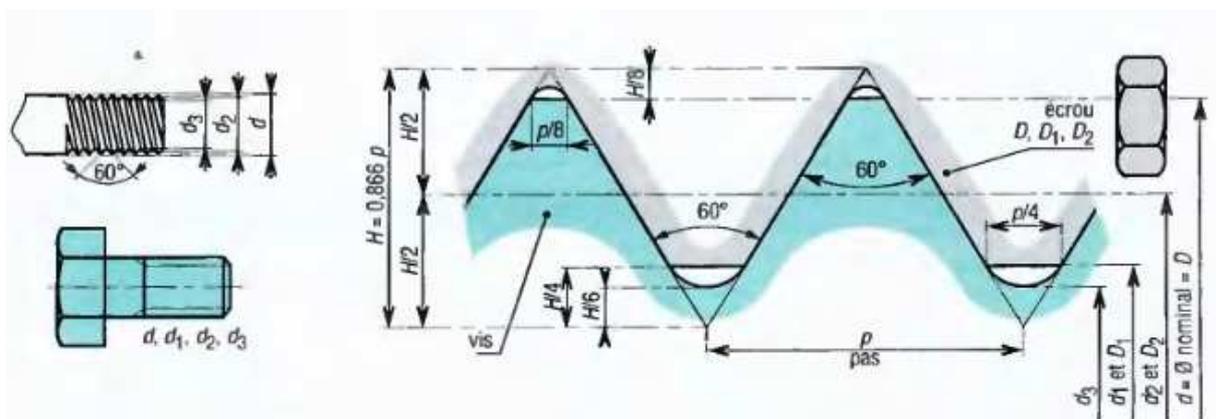


Fig. III.15 : Représentation du filetage métrique ISO à filet triangulaire [3].

III.3.2 : Choix du matériau

Classe de qualité des vis et des écrous :

- CHc 8.8, diamètre 8, pas 1.25 ;
- CHc 8.8, diamètre 10, pas 1.5 ;

Caractéristiques mécaniques moyennes (Désignation AFNOR normalisé) :

A l'état trempé et revenu :

- Matériaux des boulons : XC 48 ;
- La limite élastique : $\sigma_e = 370\text{MPa}$, HB190 (dureté BRINELL) ;
- Résistance à la rupture : $R_r = 630\text{N/mm}^2$ ou MPa ;
- Contraintes de cisaillement : $\tau = 0.5 \tau_e = 185\text{MPa}$;
- Charge maximale de la machine de traction uniaxiale : $F_m = 100\text{kN}$.

III.3.3-Détermination de la charge extérieure supportée par chaque vis

III. 3.3.a-Caractéristiques mécaniques des vis

Les vis sont souvent en acier.

L'acier, comme tous les métaux, se comporte comme un ressort (au moins dans le domaine élastique), il obéit à la loi de Hooke :

$$\sigma = E \times \varepsilon \quad \text{III.1}$$

Quand on parle des matériaux, il faut considérer les caractéristiques suivantes :

- σ =contrainte normale (MPa).
- E = module d'élasticité longitudinale ou module d'Young (MPa).
- ε =allongement relatif (sans unité).

III. 3.3.b- Nombre des vis

Le dispositif contient 36 vis, 20 vis de diamètre M8 ×1.25, 8 vis de diamètre M10×1.50 et 8 vis en (FS) fraisée fendue de diamètre M6×1.

III. 3.3.c-Détermination de la valeur de l'effort extérieur

En ce qui concerne la résistance, les boulons ISO sont regroupés dans des classes identifiées par deux nombres : le premier représente la résistance en traction en MPa divisée par cent. Le second exprime dix fois le rapport entre la limite minimale d'élasticité « Re » et la résistance minimale en traction « Rr ». Ainsi, un boulon de classe 8.8 a une résistance à la traction d'environ 800 MPa et une limite d'élasticité d'environ 640 MPa.

Le tableau suivant (**tab. III.3**) donne la résistance des boulons **ISO** relatifs aux classes les plus courantes.

Tab. III.3 : Classes de résistance des boulons les plus courantes [3].

Marquage des têtes (S . Y)	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9
Classes de résistance	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9
Limite élastique Re (N/mm² ou MPa)	180	240	320	300	400	480	640	720	900	1080
Limite à la rupture Rr (N/mm² ou MPa)	330	400	420	500	520	600	800	900	1040	1220
Allongement A (%)	25	22	14	20	10	8	12	10	9	8

S et Y représentent les classes de résistance.

$$\text{➤ } R_r = 100 \times S \quad (\text{en N/mm}^2) \quad (\text{III.2})$$

$$\text{➤ } R_e = R_r \times \frac{Y}{10} \quad (\text{en N/m}^2) \quad (\text{III.3})$$

$$\text{➤ } R_e = S \times Y \quad (\text{en daN/mm}^2) \quad (\text{III.4})$$

III. 3.4.d-Détermination des efforts de chaque vis

L'effort appliqué sur le dispositif : $F = 100\text{kN} = 100000\text{N}$.

L'effort réparti sur les quatre (4) bras : $F_1 = 100/4 = 25\text{kN} = 25000\text{N}$.

L'effort F_1 va se décomposer en deux forces selon l'axe x et y . Puisque nous allons négliger le phénomène de frottement à cause du glissement des brides suivant l'axe x , on aura l'effort suivant x est plus grand que l'effort suivant y .

Dans notre étude, il suffit de vérifier la résistance aux cisaillements des vis au niveau d'une partie car notre système est symétrique.

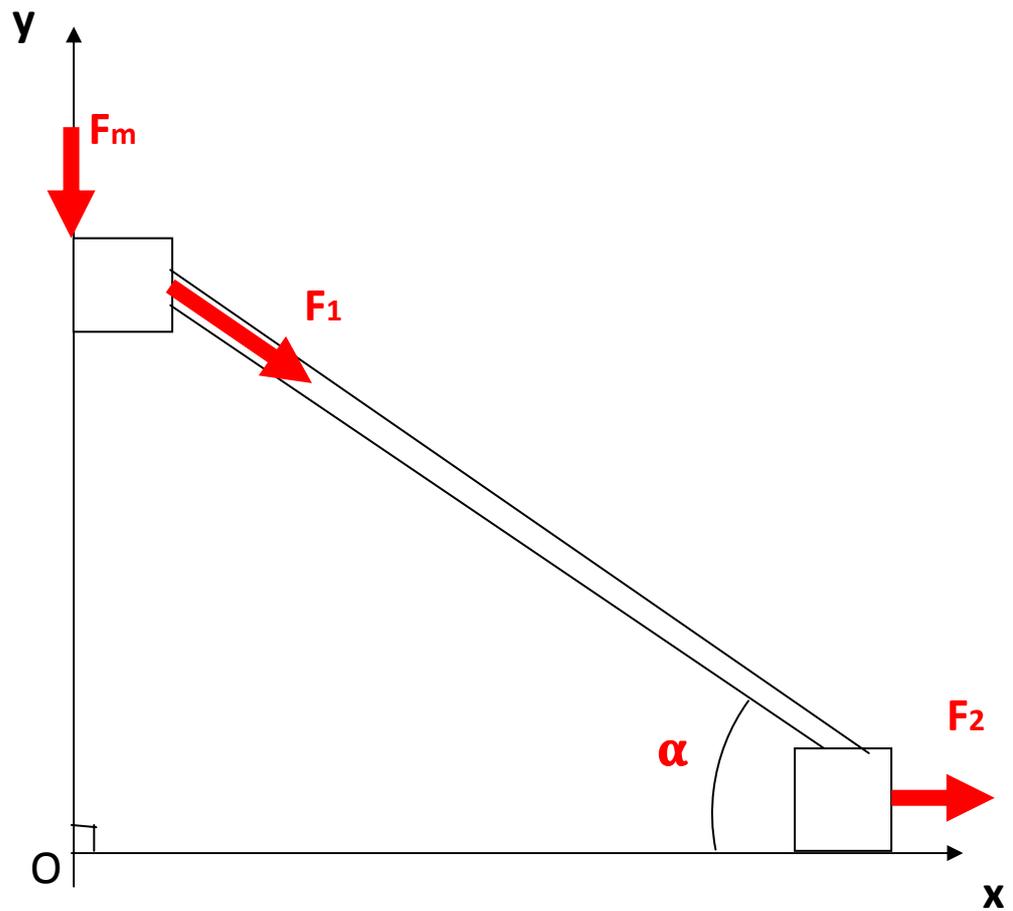


Fig. III 16 : Représentation du mécanisme sous forme d'un schéma cinématique.

Notre mécanisme subit de grandes sollicitations au niveau des vis et les goupilles qui sont sollicitées au cisaillement.

Donc l'effort de chaque vis est :

$$F = \frac{F_m}{\text{nombre de vis}} \quad (\text{III.5})$$

A.N : $F = \frac{100 \cdot 10^3}{24} = 4166.67 \text{ N}$

III 3.5-Vérification de la résistance des matériaux

III. 3.5.a-Condition de la résistance au cisaillement des vis

$\alpha \in [0^\circ, 45^\circ]$ (Les forces de frottement sont négligées).

$$F_x = F_m / 4 \times \cos(\alpha)$$

$$F_y = F_m / 4 \times \sin(\alpha)$$

Contrainte admissible de cisaillement est $[\tau]_{\text{cis}} = 185 \text{ Mpa}$.

On a : $\tau_{\text{cis}} \leq [\tau_{\text{cis}}]_{\text{adm}}$ (III.6)

$$\tau_{\text{cis}} = \frac{F_x}{S_r} \leq [\tau]_{\text{cis}} \quad (\text{III.7})$$

F: effort appliqué sur le dispositif. F_x

S_r : Section de la vis.

$$S_r = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \Rightarrow \frac{F_x}{4 \cdot S_r} \leq [\tau_{\text{cis}}]_{\text{adm}}$$

$$\Rightarrow \frac{F_x}{4 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}} \leq [\tau_{\text{cis}}]_{\text{adm}}$$

$$\Rightarrow d \geq \sqrt{\frac{F_x}{\pi \cdot [\tau]_{\text{cis}}}}$$

Si on suppose $\alpha = 45^\circ$ (par mesure de sécurité on prends $\alpha = 45^\circ$)

$$\cos \alpha = \sin \alpha = 0.707$$

$$\Rightarrow d \geq \sqrt{\frac{25000 \times 0.707}{\pi \cdot 185}} \Rightarrow \boxed{d \geq 5.51 \text{ mm}}$$

La condition est vérifiée !!! $\tau \leq [\tau_{\text{cis}}]_{\text{adm}}$

On prend par normalisation la vis M8×1.25 30

Dans notre étude nous avons un mécanisme dynamique suivant les quatre glissières. On a une charge faible qui est générée par la machine de traction-compression uniaxiale lors de la répartition des forces sur les éléments mobiles de l'assemblage, pour calculer ou bien déterminer les déformations, les contraintes et les déplacements de l'éprouvette. Il suffit de voir les propriétés mécaniques des matériaux et leurs caractéristiques pour appliquer une charge qui convient au dispositif.

III. 3.5.b-Vérification de la résistance des vis de pression.

Les vis de pression sont soumises à une contrainte de cisaillement, après l'application de la charge F par la traverse mobile de la machine traction-compression uniaxiale (fig. III.18).

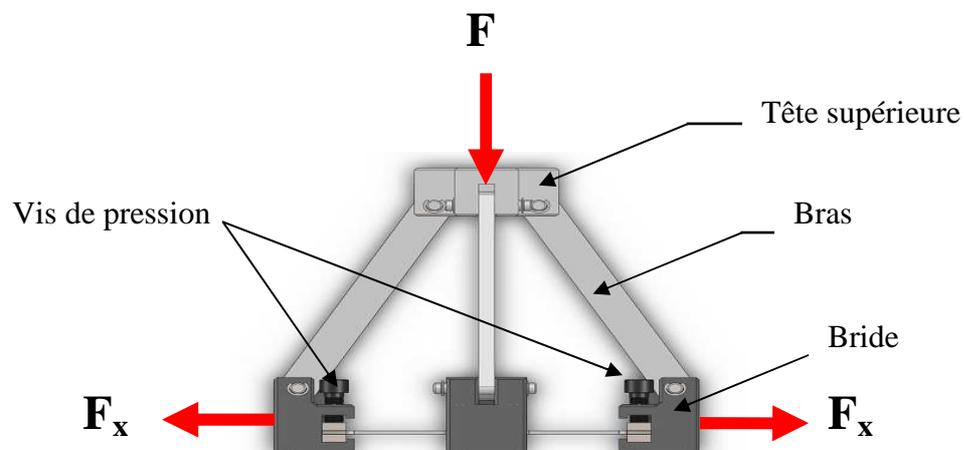


Fig. III.18 : Schéma des efforts appliqués sur les vis de pression.

Les efforts appliqués sur la section des vis sont obtenus par décomposition de l'effort appliqué par la machine et sont donnés comme suit :

F_x : Effort reparti sur les brides uniformément ;

F_{ep} : Effort appliqué par l'éprouvette ;

F_{bri} : Effort appliqué par la bride.

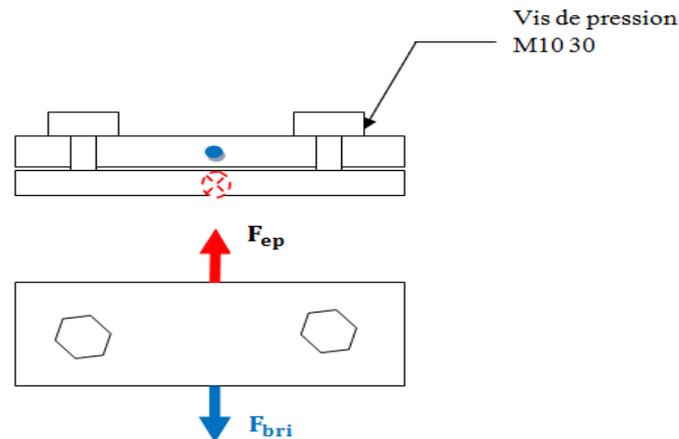


Fig. III.19 : Représentation des efforts appliqués sur les vis de pression.

III. 3.5.c-Condition de la résistance au cisaillement des vis de pression

On a deux (2) vis qui engendrent huit (8) sections cisillées.

On a: $\tau_{cis} \leq [\tau_{cis}]_{adm}$

$$\tau_{cis} = \frac{F_x}{S_r} \leq [\tau]_{cis}$$

F: effort appliqué sur le dispositif. F_x

S_r : Section de la vis.

$$S_r = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \Rightarrow \frac{F_x}{2 \cdot S_r} \leq [\tau_{cis}]_{adm}$$

$$\Rightarrow \frac{F_x}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}} \leq [\tau_{cis}]_{adm}$$

$$\Rightarrow \frac{2 \cdot F_x}{\pi \cdot d^2} \leq [\tau_{cis}]_{adm}$$

$$\Rightarrow d \geq \sqrt{\frac{2 \cdot F_x}{\pi \cdot [\tau]_{cis}}}$$

$$\Rightarrow d \geq \sqrt{\frac{2 \times 25000 \times 0,99}{\pi \cdot 185}}$$

Si on suppose $\alpha = 5^\circ$ (par mesure de sécurité on prend $\alpha = 5^\circ$)

$$\cos \alpha = 0,996$$

$$d \geq 9,23 \text{ mm}$$

La condition est vérifiée !!! $\tau \leq [\tau_{cis}]_{adm}$

On prend par normalisation la vis M10×1.5 50

III.3.6-Goupilles de liaison

La goupille est soumise à une sollicitation de cisaillement.

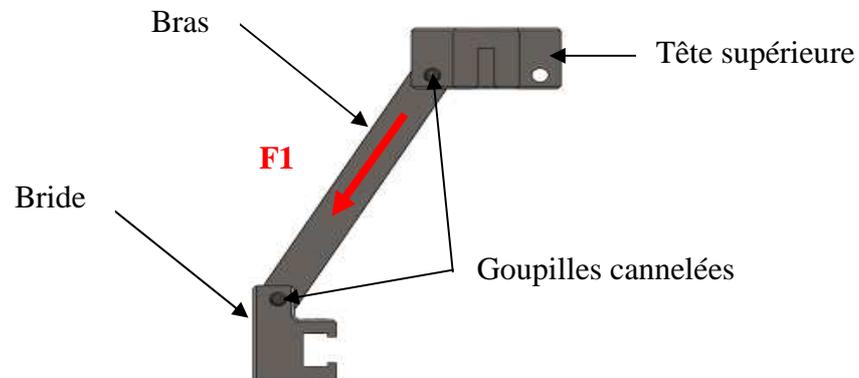


Fig. III.20 : Schéma des efforts appliqués sur la goupille.

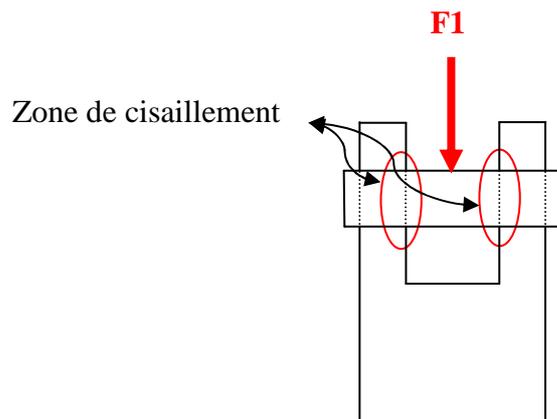


Fig. III.21 : Représentation des efforts appliqués sur les goupilles.

- **Le matériau des goupilles est choisi comme suit :**

- Matériau : XC38 (acier pour traitements thermiques)
- module de Young est $E=210000\text{MPa}$, [AFNOR (NF EN 10027-1)]
- Limite élastique : $\sigma_e = 245\text{ MPa HB } 100$
- Contraintes de cisaillement : $\tau = 0.5\sigma_e = 122.5\text{ MPa}$
- La charge maximale de la machine traction uniaxiale $F_m = 100\text{kN}$.

Notre dispositif contient huit(8) goupilles de diamètre 10mm voir *Figure III.20*.

III.3.6.a-Détermination de l'effort extérieur de chaque goupille

$$F = \frac{F_m}{\text{nombre de goupille}}$$

$$\text{A.N: } F = \frac{100 \cdot 10^3}{8} = 12500 \text{ N}$$

III.3.6.b-Condition de la résistance au cisaillement des Goupilles

On a $|\overline{\tau M}| \leq [\tau]_{\text{cis}}$

$$\tau = \frac{|\overline{Fx}|}{S_r} \leq [\tau]_{\text{cis}}$$

F : Effort appliqué sur le dispositif.

S_r : Section de la goupille.

τ_e : Limite d'élasticité au cisaillement.

s : Coefficient de sécurité (s=2).

$$\bullet \quad S_r = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \Rightarrow \frac{F_x}{2 \cdot S_r} \leq [\tau]_{\text{cis}} \text{ avec } [\tau]_{\text{cis}} = 122.5 \text{ MPa}$$

(La résistance pratique au glissement = Contrainte tangentielle admissible τ_{adm})

$$\Rightarrow \frac{F_x}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}} \leq [\tau]_{\text{cis}}$$

$$\Rightarrow d \geq \sqrt{\frac{2 \cdot |\overline{Fx}|}{\pi \cdot [\tau]_{\text{cis}}}}$$

$$\text{On suppose } \alpha = 45^\circ \Rightarrow d \geq \sqrt{\frac{||2 \cdot 12500 \cdot \cos(45)||}{\pi \cdot 122.5}} \Rightarrow \boxed{d \geq 6.78 \text{ mm}}$$

La condition est vérifiée !!! τ ≤ [τ]_{cis}.

On prend par la normalisation le diamètre de la goupille d= 10 mm.

III. 3.7-Différentes normes

III. 3.7.a-Détermination des différents paramètres de lamage [3]

Ces paramètres nous permettent le passage des outils de serrage pour les vis en CHC, les diamètres indiqués peuvent être augmentés ou diminués pour d'autres raisons (optimisation, assemblage, outillage, etc.)

Le diamètre **C1** est utilisé avec des vis **CHc** de hauteur (**H1**) et **CZX** (empreinte **torx** ou six **lobes** de hauteur (**H2**); elles permettent le passage d'une rondelle **grower**.

Le diamètre **C2** est utilisé avec des vis ou des écrous hexagonaux.

Tab III.4 : Tableau des normes de la vis CHc et CZX [3]

D	$d_{1\text{ moy}}$ H13	$C_{1\text{ mini}}$	$H_{1\text{ mini}}$ (CHc)	$H_{2\text{ mini}}$ (CZX)
1,6	1.8	5	1.7	1.2
2	2.4	6	2.1	1.5
(2.5)	2.9	7	2.7	1.8
3	3.4	8	3.2	2.1
(3.5)	3.9	8	-	2.6
4	4.5	10	4.2	3.0
5	5.5	11	5.3	3.7
6	6.6	13	6.3	4.2
8	9	18	8.4	5.3
10	11	20	10.5	6.3
12	13.5	22	12.6	7.4
(14)	15.5	26	14.7	-
16	17.5	30	16.8	-
(18)	20	32	18.9	-
20	22	36	21.0	-
24	26	42	25.5	-
30	33	53	31.5	-
36	63	63	38.0	-

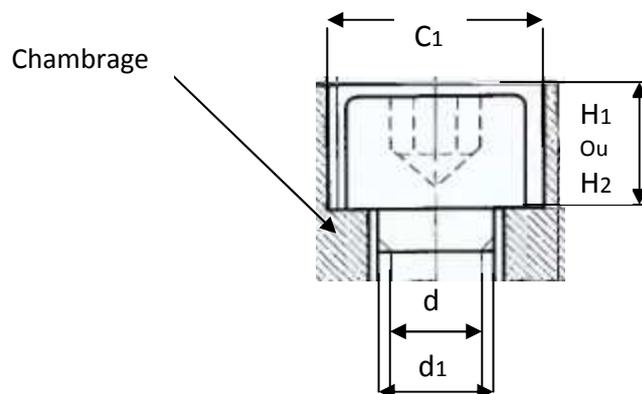


Fig. III.22 : Dimension de lamages.

III. 3.7.b-Détermination des différents paramètres des anneaux élastiques

Anneaux élastiques :

Leur montage se fait radialement, sans outil spécial. Ils ne sont pas adaptés aux grandes vitesses.

Tab III.5 : Tableau des normes pour les circlips (anneaux d'arrêt) [3].

D	d1 h11	S1	S2	d3
1 à 1.4	0.8	0.25±0.01	0.2	2
1.4 à 2	1.2	0.35±0.01	0.3	3
2 à 2.5	1.5	0.45±0.01	0.4	4
2.5 à 3	1.9	0.555±0.015	0.50	4.5
3 à 4	2.3	0.655±0.015	0.6	6
4 à 5	3.2	0.655±0.015	0.6	7
5 à 7	4	0.755±0.015	0.7	9
6 à 8	5	0.755±0.015	0.7	11
7 à 9	6	0.755±0.015	0.7	12
8 à 11	7	0.955±0.015	0.9	14
9 à 12	8	1.08±0.03	1	16
10 à 14	9	1.18±0.03	1.1	18.5
11 à 15	10	1.28±0.03	1.2	20
13 à 18	12	1.38±0.03	1.3	23
16 à 24	15	1.58±0.03	1.5	29
20 à 31	19	1.83±0.03	1.75	37
25 à 38	24	2.08±0.03	2	44

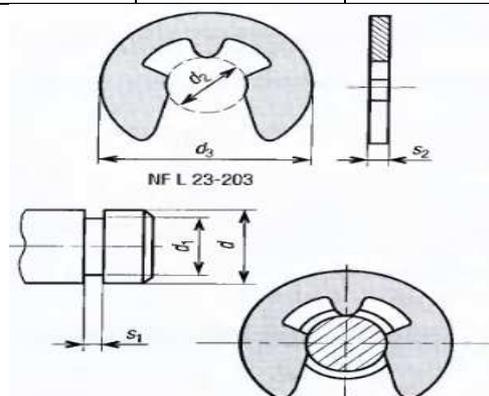


Fig. III.23 : Dimensions des anneaux d'arrêt [3].

III. 3.7.c-Détermination des différents paramètres des goupilles cannelées.

Goupille cannelée :

Une goupille est un cylindre métallique destiné à être sollicité en cisaillement pour des efforts relativement faibles.

Tab III.6 : Dimension normalisées des goupilles cannelées [3].

D	L3	L3
1.5	8 à 20	8 à 20
2	8 à 30	12 à 30
2.5	10 à 30	12 à 30
3	10 à 40	12 à 40
4	10 à 60	18 à 60
5	14 à 60	18 à 60
6	14 à 80	22 à 80
8	14 à 100	26 à 100
10	14 à 100	32 à 160
12	18 à 100	40 à 200
16	24 à 100	26 à 200
20	26 à 100	26 à 200
25	26 à 100	26 à 200

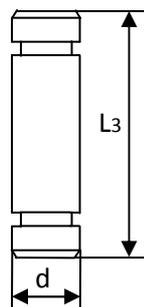


Fig. III.24 : Dimensions des goupilles cannelées.

III. 3.7.d-Couple serrage des vis de pression en CHc

Pour avoir un couple de serrage identique sur toutes les vis de pression (8), nous avons fait appel à la clé dynamométrique en raison de sa capacité de maintenir un couple de serrage uniforme sur plusieurs vis.

III.3.8-Vérification de la rigidité du dispositif par élément fini

Dans cette partie, nous vérifions la rigidité de notre dispositif durant l'essai. Nous avons pris en considération le cas le plus critique, et cela en utilisant une éprouvette en acier dont la résistance maximale $R_{max} = 723,83 \text{ MPa}$, c'est-à-dire notre mécanisme peut résister à tous les essais ayant des éprouvettes dont la résistance de traction est moins de $723,83 \text{ MPa}$. Nous avons utilisé des éprouvettes en PMMA, PA6 et PEHD, toutes ces éprouvettes sont sollicitées à la traction biaxiale avec notre dispositif.

Les efforts internes de notre dispositif sont soumis à un déplacement suivant les trois directions, horizontale, verticale et rotation, il suffit de calculer pour chacun des éléments, les déplacements associés en repère local et de les injecter dans la relation de rigidité élémentaire pour obtenir les efforts aux nœuds correspondants.

On prend la structure suivante de notre dispositif sachant qu'il est symétrique pour les quatre bras:

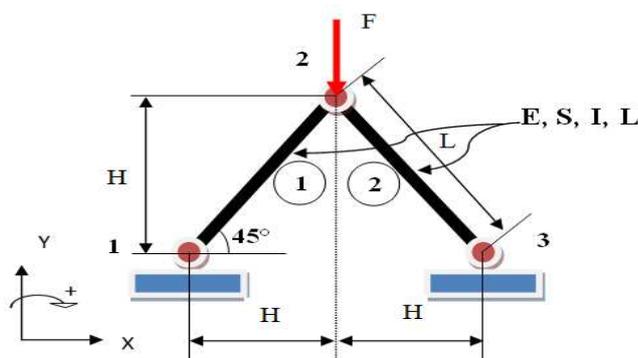


Fig. III.25 : Calcul d'une structure symétrique du dispositif.*

Elément	Nœud i	Nœud j	Longueur L (mm)	Section S (mm ²)	Inertie I (mm ⁴)
01 bras	1	2	210	250	$1,3 \times 10^4$
02 Bras	2	3	210	250	$1,3 \times 10^4$

Application numérique

$$E=210000 \text{ MPa}$$

$$F=100000 \text{ MPa}$$

$$H= \sin 45^\circ \times 210=148,49 \text{ mm}$$

$$L= 210 \text{ mm}$$

$$I=b \times h^3/12=10 \times 25^3=1.3 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$S=25 \times 10=250 \text{ mm}^2$$

Les conditions de symétrie permettent d'établir que :

$$U_2=0$$

$$B_2=0$$

➤ **Matrice de rigidité de l'élément 01 en repère local**

A partir de la matrice de rigidité d'un élément poutre plane, on obtient pour l'élément 1 :

$$[k_1]=[k_2]= \begin{bmatrix} \frac{ES}{L} & 0 & 0 & -\frac{ES}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{ES}{L} & 0 & 0 & \frac{ES}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix}$$

➤ **Matrice de passage de l'élément 1 $\alpha=45^\circ$**

$$[R_1]= \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[R_1]= \begin{bmatrix} 2\sqrt{2} & 2\sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -2\sqrt{2} & 2\sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2\sqrt{2} & 2\sqrt{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2\sqrt{2} & 2\sqrt{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{Application numérique : } \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} B_1 = -\frac{3 \times 100000 (210)^2}{2\sqrt{2} \times 210000 (3 \times 1,3 \times 10^4 + (210)^2 \times 250)} \\ V_2 = -\frac{100000 (210)^3}{210000 (3 \times 1,3 \times 10^4 + (210)^2 \times 250)} \end{array} \right\}$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} B_1 = -0,002 \text{ rad} \\ V_2 = -0,399 \text{ mm} \end{array} \right\}$$

Le déplacement des efforts interne de notre structure est négligeable, donc la condition est vérifiée, et le dispositif va résister à une charge 100kN

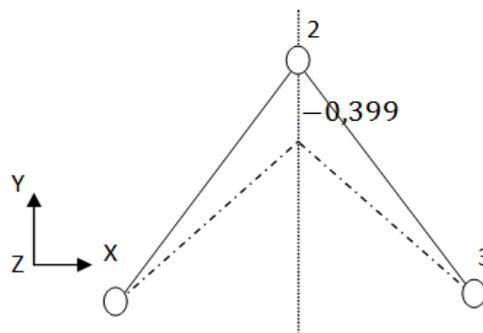


Fig. III.26 : Déplacement des efforts internes du dispositif.

Nœud	DX (mm)	DY (mm)	RZ (rad)
01	0,000	0,000	-0,002
02	0,000	-0,399	0,000
03	0,000	0,000	-0,002

➤ **Calcul des réactions H_1 et V_1 :**

$$H_1 = \frac{-3\sqrt{2}EI}{L^2} \cdot B_1 + \left(\frac{6EI}{L^3} - \frac{ES}{2L} \right) \cdot V_2 = 49692.999N$$

$$H_1 \approx 50000N$$

$$V_1 = \frac{3\sqrt{2}EI}{L^2} \cdot B_1 + \left(-\frac{6EI}{L^3} - \frac{ES}{2L} \right) \cdot V_2 = 50057.004N$$

$$V_1 \approx 50000N$$

III.3.9-Simulation numérique du dispositif

La fabrication des pièces à partir d'une matière première utilise quelques procédés de fabrication. Elle est généralement réalisée à l'aide des tours et des fraiseuses. Les critères de qualité des produits étant de plus en plus sévère en termes de précision géométrique et de performances mécaniques, la réussite d'un mécanisme fabriqué par des machines d'usinage conventionnelles ou modernes dépend essentiellement de quatre facteurs liés entre eux, qui sont :

- Les caractéristiques physiques de la matière ;
- Le type des outils utilisés ;
- Les différents paramètres de coupe ;
- La lubrification.

III.3.9.a-Vérification de la rigidité du dispositif

L'appareil de traction biaxiale conçu, a été optimisé non seulement pour les essais sur le polyéthylène qui a une ductilité importante, mais aussi pour son utilisation ultérieure au laboratoire sur des matériaux rigides tels que les matériaux métalliques. C'est dans ce contexte que le matériau choisi pour toutes les pièces mécaniques constituant le dispositif est un acier A60 ayant une grande ténacité. La vérification de la rigidité du dispositif, a été donc faite en utilisant une éprouvette en PMMA et PA6. La simulation par le logiciel « SolidWorks simulation » repose comme toute autre technique numérique d'analyse des structures, sur la méthode des éléments finis. Pour tout projet d'analyse (pièce mécanique ou assemblage complexe), elle passe par des étapes principales en commençant par le modèle SolidWorks de la pièce ou de l'assemblage. A ce modèle, nous appliquons des propriétés du matériau et définissons des charges et des déplacements imposés. Ensuite nous discrétisons le modèle prévu pour l'analyse. Le calcul des résultats souhaités est donc effectué après les étapes citées précédemment. Dans ce travail, le modèle analysé est le dispositif de traction biaxiale assemblé avec l'éprouvette cruciforme. Le maillage volumique à quatre (4) points et un déplacement vertical est imposé au téton de guidage, (**figures III.28 et III.29**) montre le maillage de l'éprouvette cruciforme et du dispositif respectivement. Ces résultats obtenus montrent que les éléments du dispositif ne subissent aucune déformation et que toutes les déformations sont localisées au niveau du centre de l'éprouvette cruciforme, ces résultats des éprouvettes en PMMA et PA6 figurent au **tableau III.9**. De ce fait, ce dispositif présente une grande rigidité, garantissant ainsi que le déplacement est totalement transmis à l'éprouvette.

III.3.9.b-Fixation de l'appareil traction biaxiale sur la machine de traction

La fabrication de différents éléments constituant le dispositif a été réalisée par usinage sur tour et fraiseuse à commande numérique, qui ont permis d'obtenir les tolérances dimensionnelles, tolérances géométriques et l'état de surface exigées pour le bon fonctionnement du dispositif. Le montage de ce dernier sur la machine de traction a été fait de telle manière que l'axe de symétrie de l'appareil coïncide avec l'axe de la force appliquée lors de déplacement de la traverse mobile (**fig. III.27**). La base de l'appareil est fixée sur la traverse inférieure de la machine et le téton de guidage sur la traverse supérieure mobile de celle-ci. Les essais préliminaires de l'appareil ont été concluants, avec la précaution de lubrifier les porte-glissières pour éliminer tout frottement entre celles-ci et les glissières.



Fig. III.27 : fixation de l'appareil sur la machine de traction.

III.3.9.c-Mise en place de l'essai

Les essais sont menés sur une machine de traction électromécanique de marque **Ibertest**. Comme illustrée sur la **figure III.27**, l'éprouvette cruciforme est montée sur l'appareil de traction biaxiale et fixée avec serrage par les quatre mors. Par application d'un effort vertical de compression sur le téton de guidage, le bras écarte les brides deux à deux d'une manière symétrique dans les glissières du dispositif. L'éprouvette cruciforme subit une déformation biaxiale dans le même plan horizontal.

Tab. III.7 : Détails de maillage pour l'éprouvette.

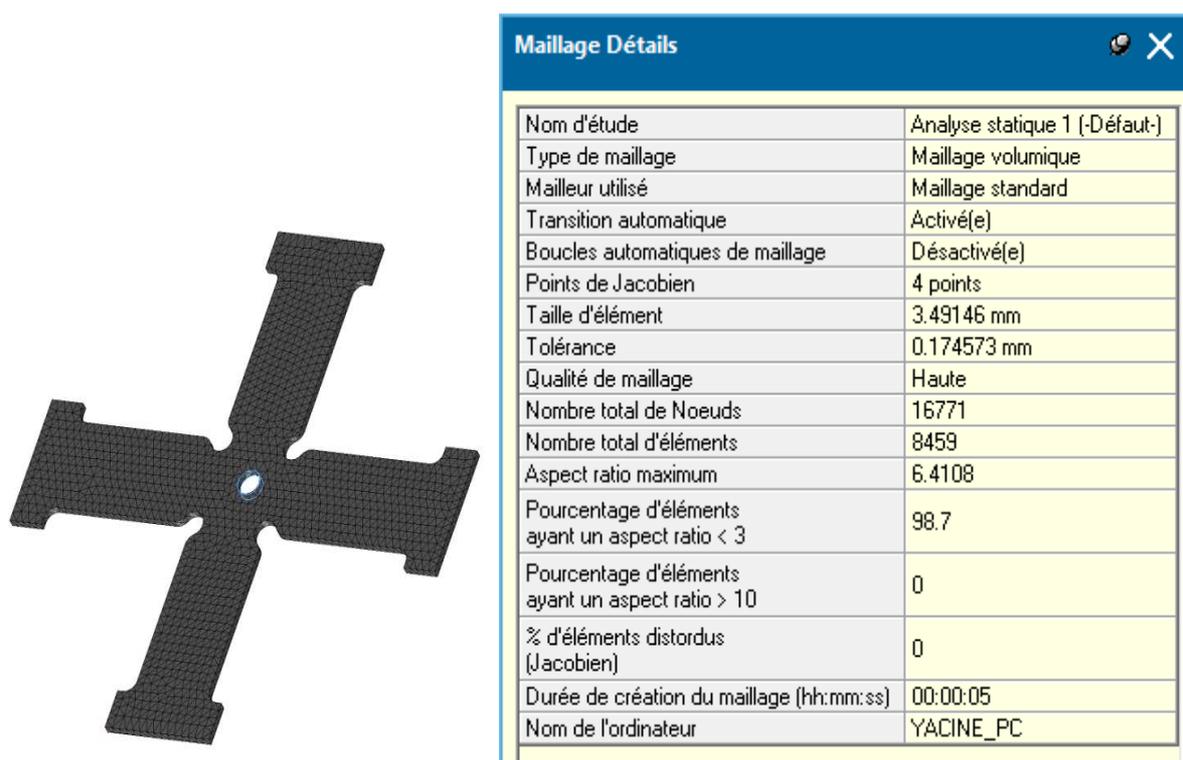


Fig. III.28 : Maillage utilisé pour l'éprouvette.

Tab. III.8 : Détails de maillage pour le dispositif.

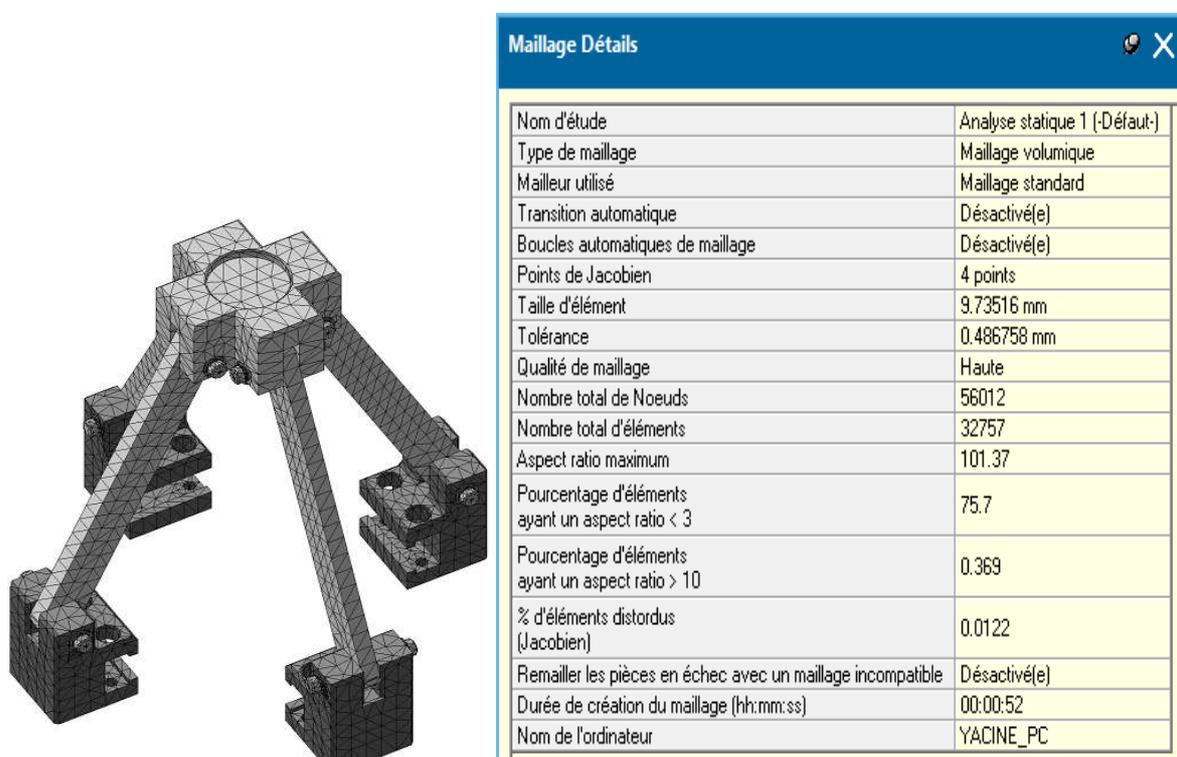
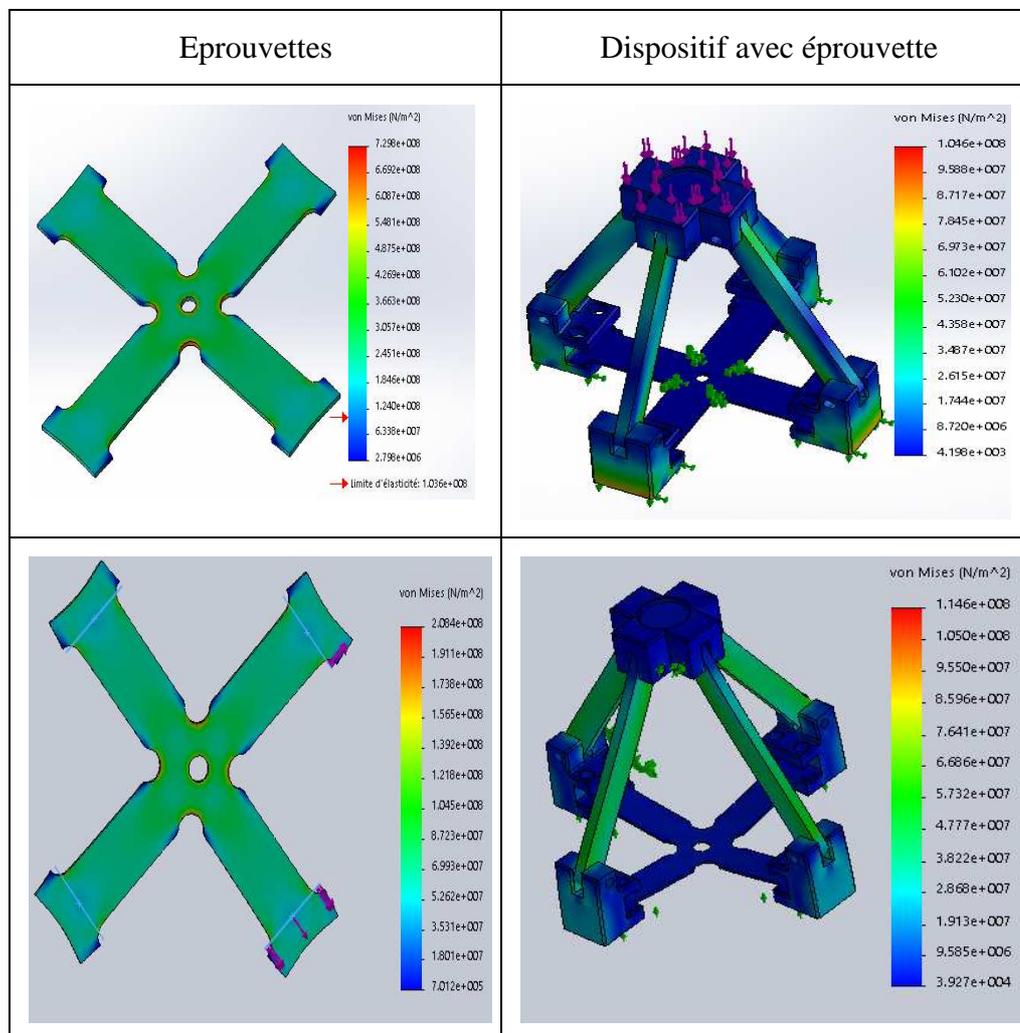


Fig. III.29 : Maillage utilisé pour le dispositif.

III.3.9.d-Résultats et analyse de la simulation

A partir des essais de simulation, nous avons abouti aux résultats des contraintes suivants :

Tab. III.9 : Représentation de la simulation de l'éprouvette et du dispositif.

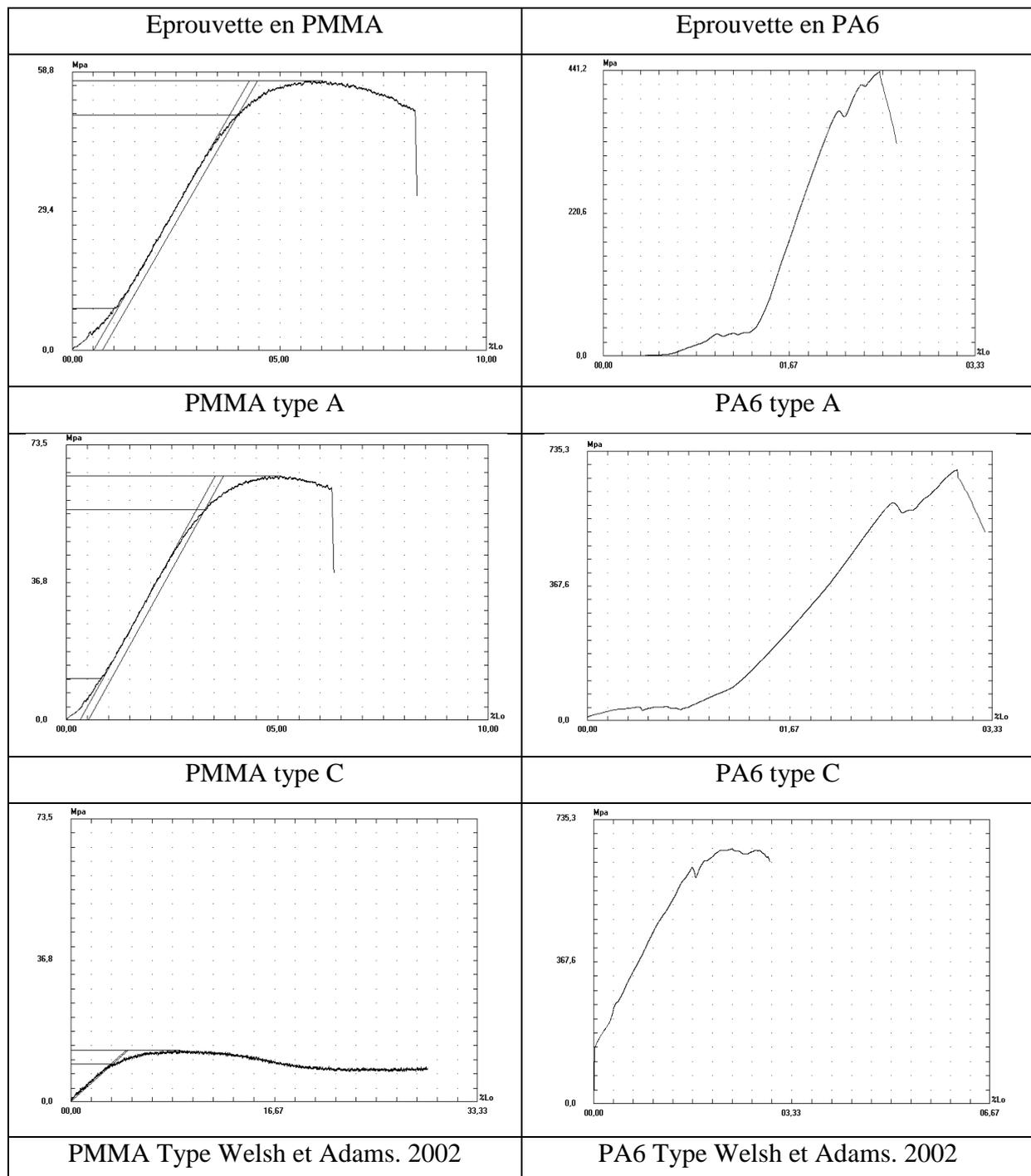


➤ Résultats des essais

Nous avons fait les essais de vitesse sur les deux matériaux PMMA et PA6. Dans les figures qui suivent nous allons regrouper les résultats des essais de traction biaxiale obtenue. Cette façon de présentation nous permet de visualiser l'évolution des paramètres de chaque essai au même temps par conséquence des matériaux utilisés. On à fait six (6) essais de traction biaxiale avec notre dispositif sur la machine de traction-compression uniaxiale qui contient de différentes éprouvettes cruciformes, qui sont représentés dans le **tableau III.10**.

Les polymères sont transparents. Ils sont généralement peu résistant à la rupture. L'adjonction de particules d'élastomère permet de les rendre plus ductiles. A température ambiante, sont proches de leur température de ramollissement, et leur comportement mécanique est sensiblement affecté par la vitesse de sollicitation et la température.

Tab. III.10 : Diagramme effort-déformation de la traction biaxiale.



Au cours de l'application de l'effort sur les éprouvettes cruciforme, on observe dans les diagrammes effort-déformation de la traction biaxiale :

- Un domaine élastique où l'éprouvette s'allonge de manière élastique en deçà d'une valeur critique de la contrainte appelée limite élastique (MPa), représenté dans la **Tab. III.10**, (courbes PMMA type A, C, Welsh et Adams et PA6 type Welsh et Adams). Par contre, pour les types A et C de PA6, on a un frottement qui s'oppose à l'effort appliqué. De ce fait, le domaine élastique va tarder pour apparaître.
- Un domaine plastique, caractéristique d'une déformation plastique et irréversible, au delà de cette valeur critique. La déformation est uniformément répartie et conduit à un allongement de l'éprouvette sur tous types d'essais que nous avons effectués.
- Un domaine de décroissance de la charge lorsque la déformation se localise au-delà du point de striction.
- le point de rupture pour lequel l'allongement final de l'éprouvette.

Dispositif de traction biaxiale sur les éprouvettes cruciformes réalisées



Fig. III. 30 :représentation du dispositif.

III.3.10-Conclusion

Nous avons représenté dans ce chapitre les différents compartiments qui constituent notre système de détermination.

Ainsi nous avons vérifié la résistance des vis et des goupilles qui est assez satisfaisante (dans les normes), ceci afin de garantir un rendement complet et d'assurer une sécurité totale au cours de nos essais traction biaxiale.

Conclusion générale

Conclusion général

Ce travail, a aboutit à la réalisation d'un dispositif d'essai en traction biaxiale. Ce dispositif permet d'appliqué une force de traction uniaxiale avec la machine de traction électromécanique de marque « **Ibertest** » sur les éprouvettes cruciforme. Nous avons alors fait une conception, par rapport au choix des matériaux nécessaire et l'étude à la résistance de chaque élément du ce dispositif.

Le dispositif présent, a été vérifié par le logiciel CAO précisément SolidWorks Simulation. Ce que repose comme technique numérique d'analyse des structures, sur la méthode des éléments finis. A ce modèle nous appliquons des propriétés du matériau et définissons des charges et des déplacements imposés. Ensuite les résultats seront effectués après les étapes précédentes. Le fonctionnement du dispositif permet d'effectuer des tests biaxiaux et l'adaptation en minimisant la durée de réalisation et le cout de revient.

Ce dispositif peut être amélioré en faisant des vérins hydrauliques, des caméras pour traitement du l'image, des glissières en queue d'aronde, système de fixation de l'éprouvette soit avec des pinces hydraulique ou électromécanique, on mettant des ressort amovible à faible raideur dans les rainures en T qui pourraient assuré le bon maintien du dispositif afin d'éliminé le poids propre de la tête supérieure.

Références Bibliographiques

[1] : MIHEALA TEACA « caractéristique expérimentale et modélisation de la déformation plastique des tôles métalliques » 2009.

[2]: M.ARCAN, Z.HASHIN. « To produce uniform plane stress states with application to fibre-reinforced mater » als experimental Mechanics, 18, 4, 1977.

[3] : JEAN-LOUIS FANCHON «Guide des sciences et technologies industrielles Edition Nathan Paris France 1994.

[4] : SANDVIC.Coroman « principe de Fraisage » technique de l'Ingénieur, BM7086, 1997.

[5] : PHILIPPE. Depeyre « Fabrication Mécanique » année 204-205.

[6] : P.Padila « Production Mécanique » DUNOD 1986.

[7] : André CHEVALIER « guide de dessinateur industriel » Edition HACHETTE Technique 2004.

[8]: H. Seibert, T. Scheffer, S. Diebels « Biaxial Testing of Elastomers - Experimental Setup, Measurement and Experimental Optimisation of Specimen's Shape. July 15, 2013.

[9]: Mark A. Iadicola, Adam A. Creuziger, and Tim Foecke « Advanced Biaxial Cruciform Testing at the NIST Center for Automotive Lightweighting » 2013.

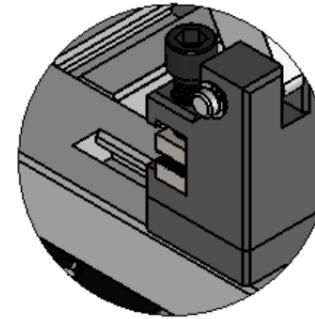
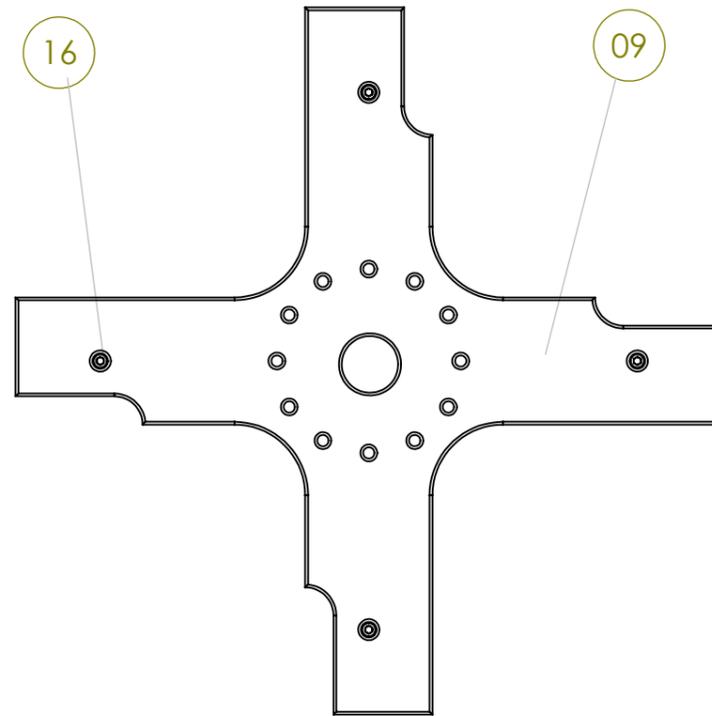
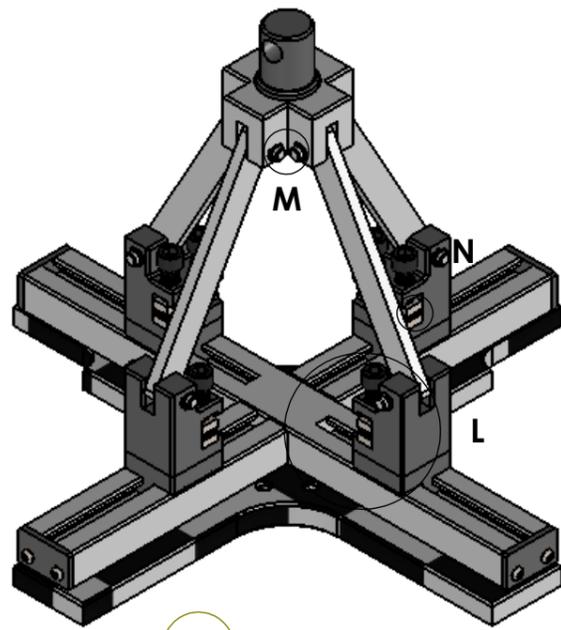
[10] : D.VAN HEMELRIJCK, C.RAMAULT, AMAKRIS et al «Biaxial testing of fiber reinforced composite» 16th International conference on composite materials Kyoto 2007.

[11] : JAN PAUL BAILLON, JEAN MARIZ DORLOT «Des matériaux » 3eme Edition, polytechnique Montréal 2012.

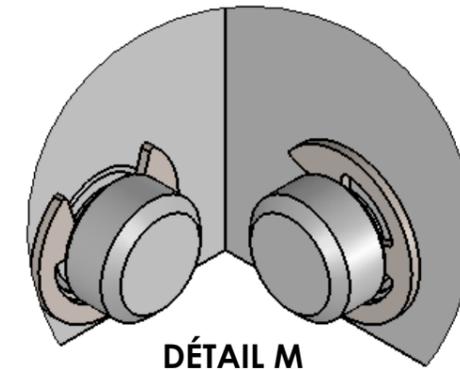
[12]: www.almohandiss.com

[13]: SWISS MECHANIC. Berufsbildung, 5^{ème} édition – Juin 2014.

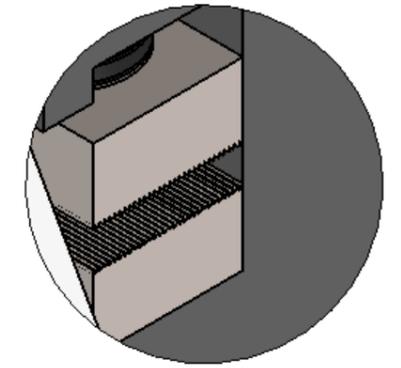
Annexes



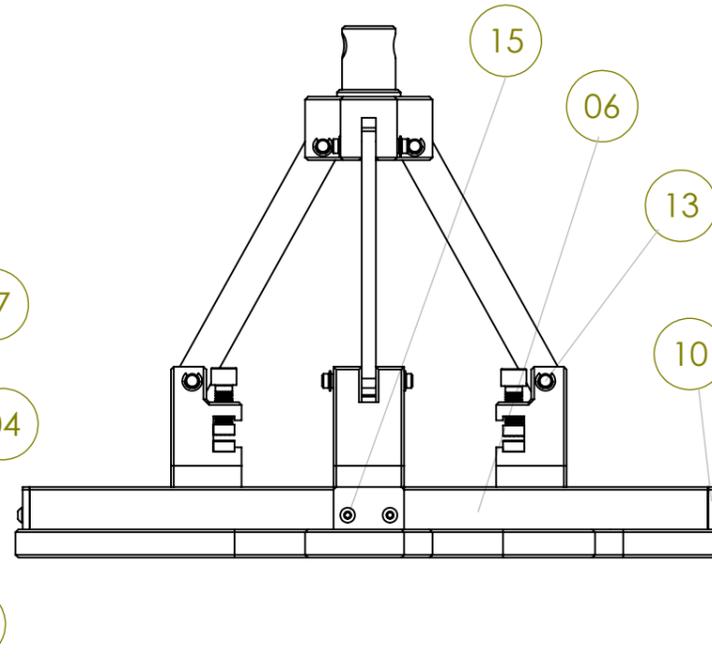
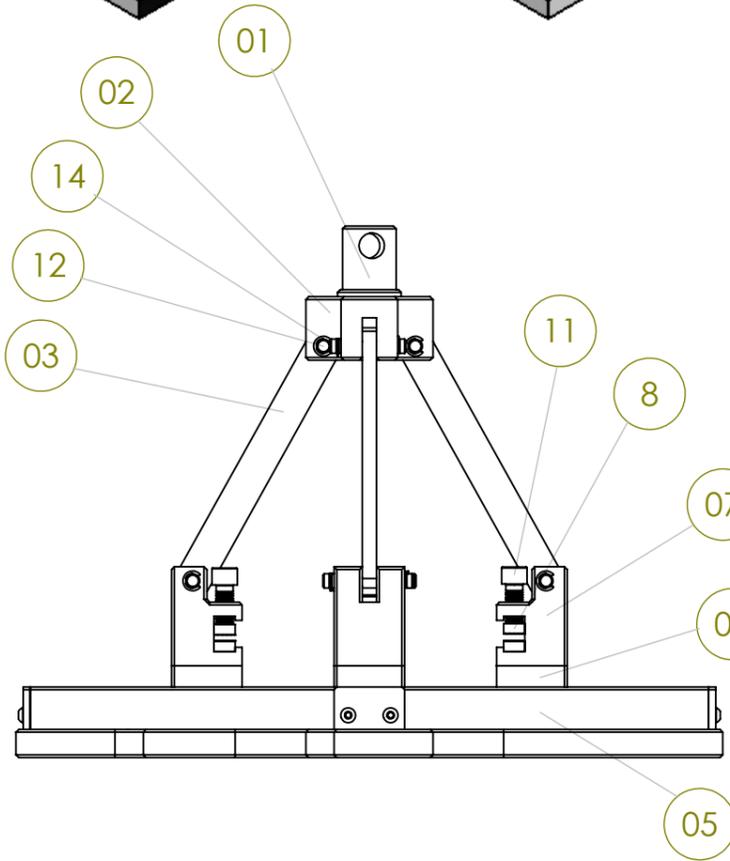
DÉTAIL L
ECHELLE 2 : 5



DÉTAIL M
ECHELLE 2 : 1



DÉTAIL N
ECHELLE 2 : 1



16	20	Vis ISO 4762 - CHC - M8x20	Xc 38	
15	08	Vis ISO 2010 - FS - M8x18	Xc 38	
14	16	Circlips 10x1.5	XC 48	
13	04	Goupilles cylindrique ISO 8735 -10x64	XC 38	
12	04	Goupilles cylindrique ISO8735 - 10x54	XC 38	
11	08	Vis ISO 4762 - CHC - M10x40	XC 38	
10	04	Calles	A 60	
09	01	Bâti	A60	
08	08	Mors	A60	
07	04	Brides	A60	
06	01	Porte-glissière B	A60	
05	01	Porte-glissière A	A60	
04	04	Glissières	A60	
03	04	Bras	A60	
02	01	Tête supérieure	A60	
01	01	Téton de guidage	A60	
RF	NB	Désignation	Matière	Observation



Mécanisme des essais de traction biaxial

Echelle : 1/5

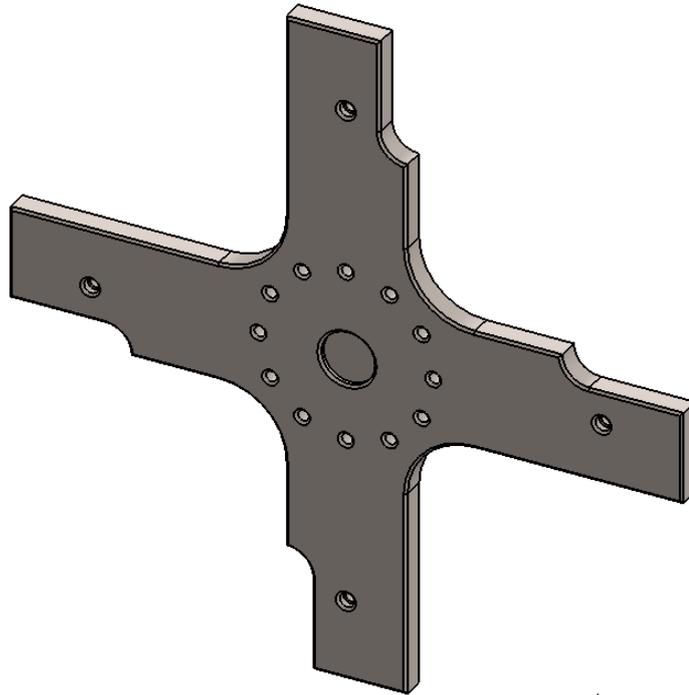
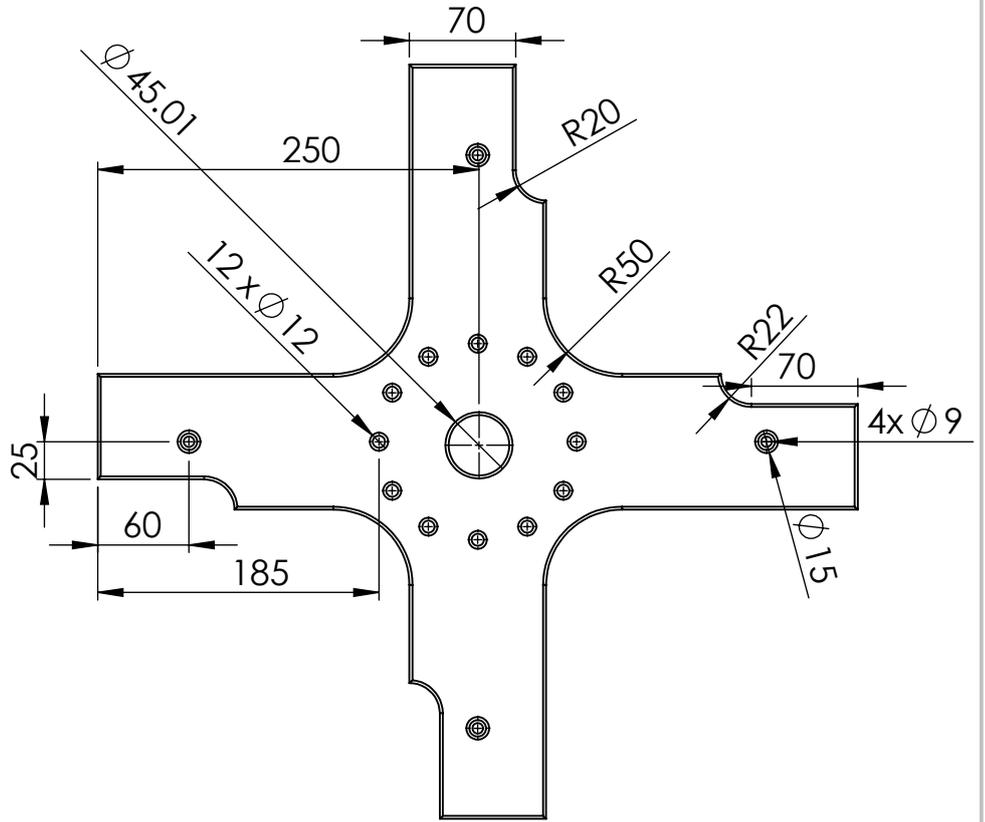
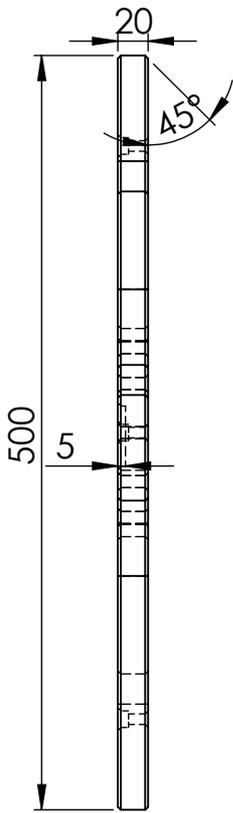
UMMTO-FGC-DGM

Master 2 FMP

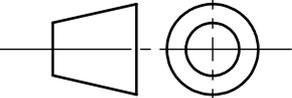
Plan : 01

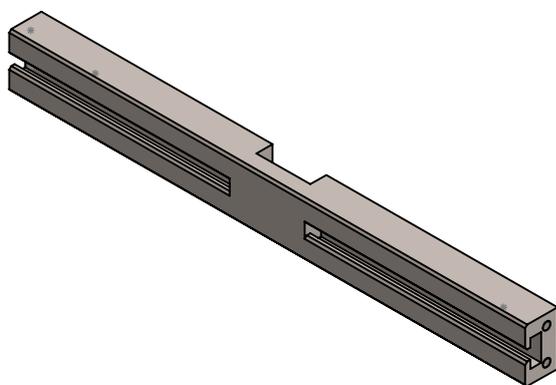
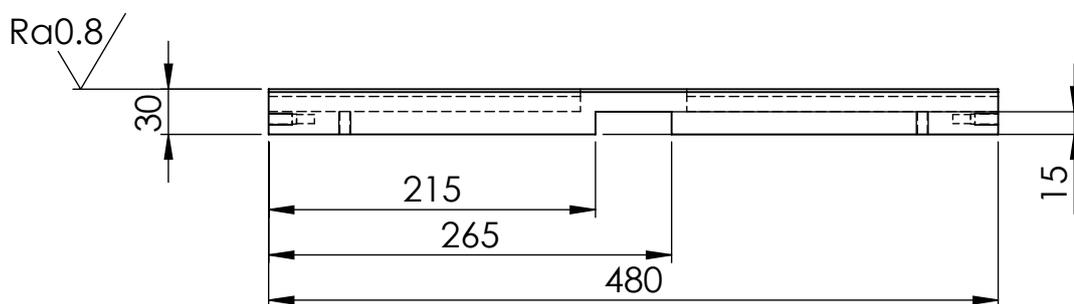
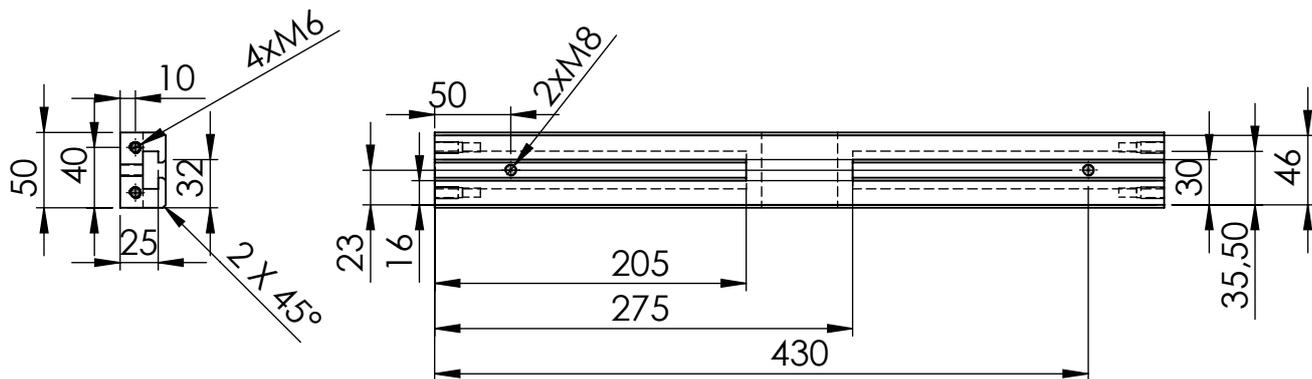
RASSOUL Lyacine-FERHI Mohammed

2016 / 2017

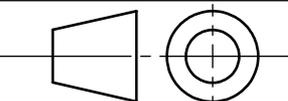


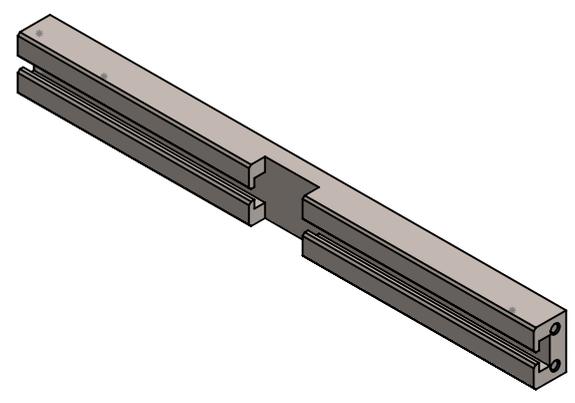
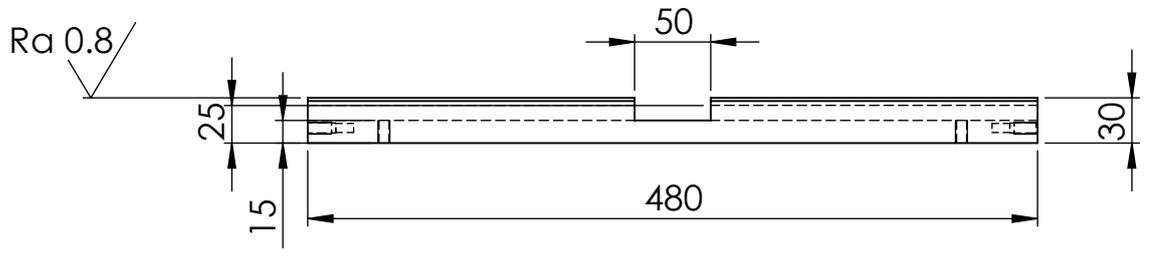
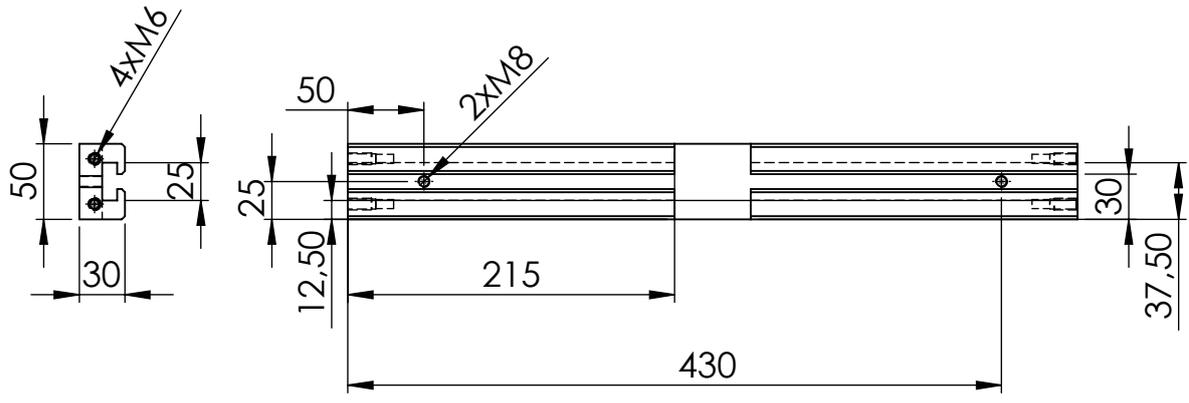
Ra 3.2

Materiaux: A60	Quantité: 01		
21/09/2016	Bâti cruciforme		Normes : ISO
			Dessiné par : Rassoul et Ferhi
Echelle : 1/5	UMMTO		A4

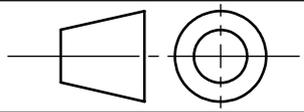


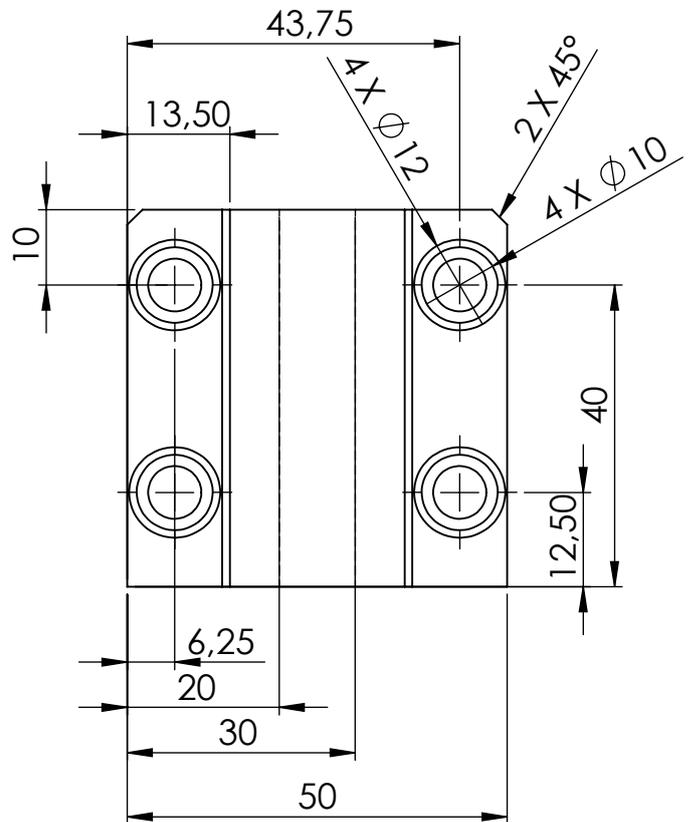
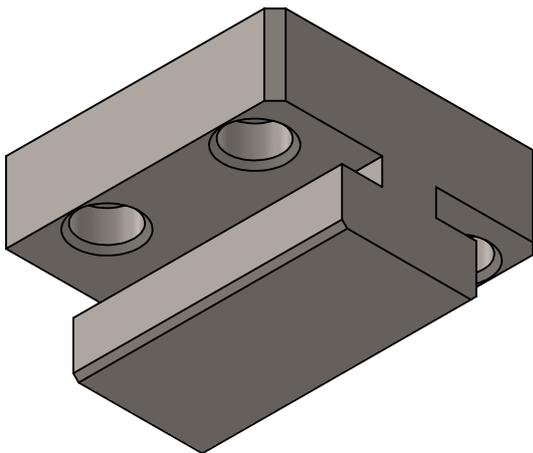
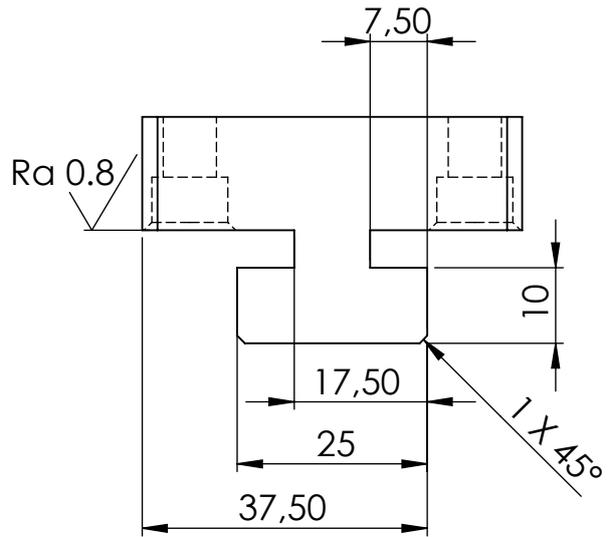
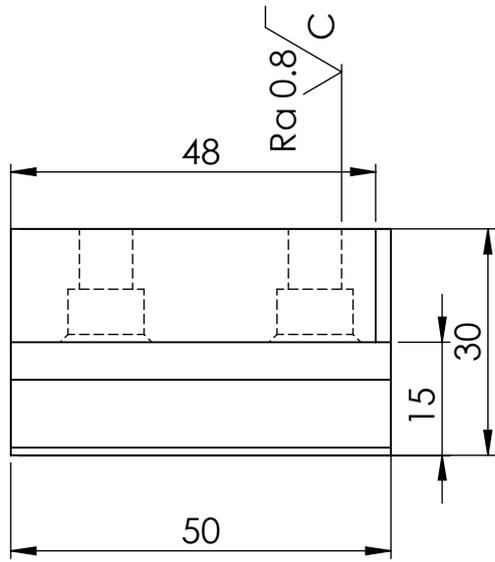
Ra 3.2/

Materiau: A60	Quantité: 04	
21/09/2016	Porte-glissière A	Normes : ISO
		Dessiné par : Rassoul et Ferhi
Echelle : 1/5	UMMTO	A4

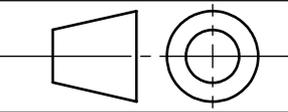


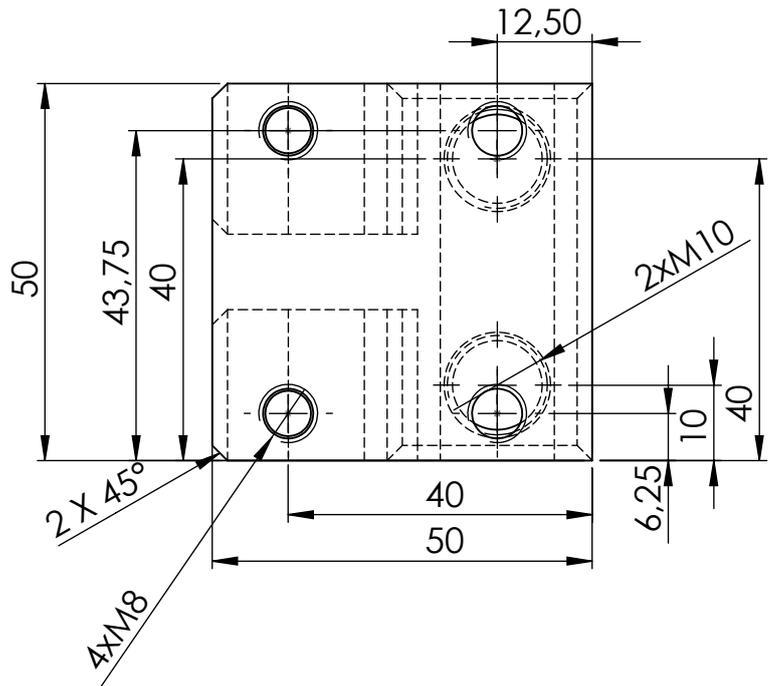
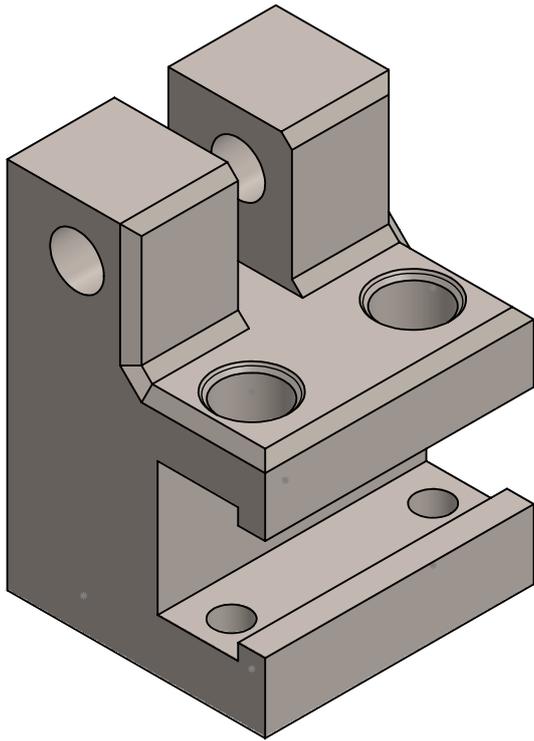
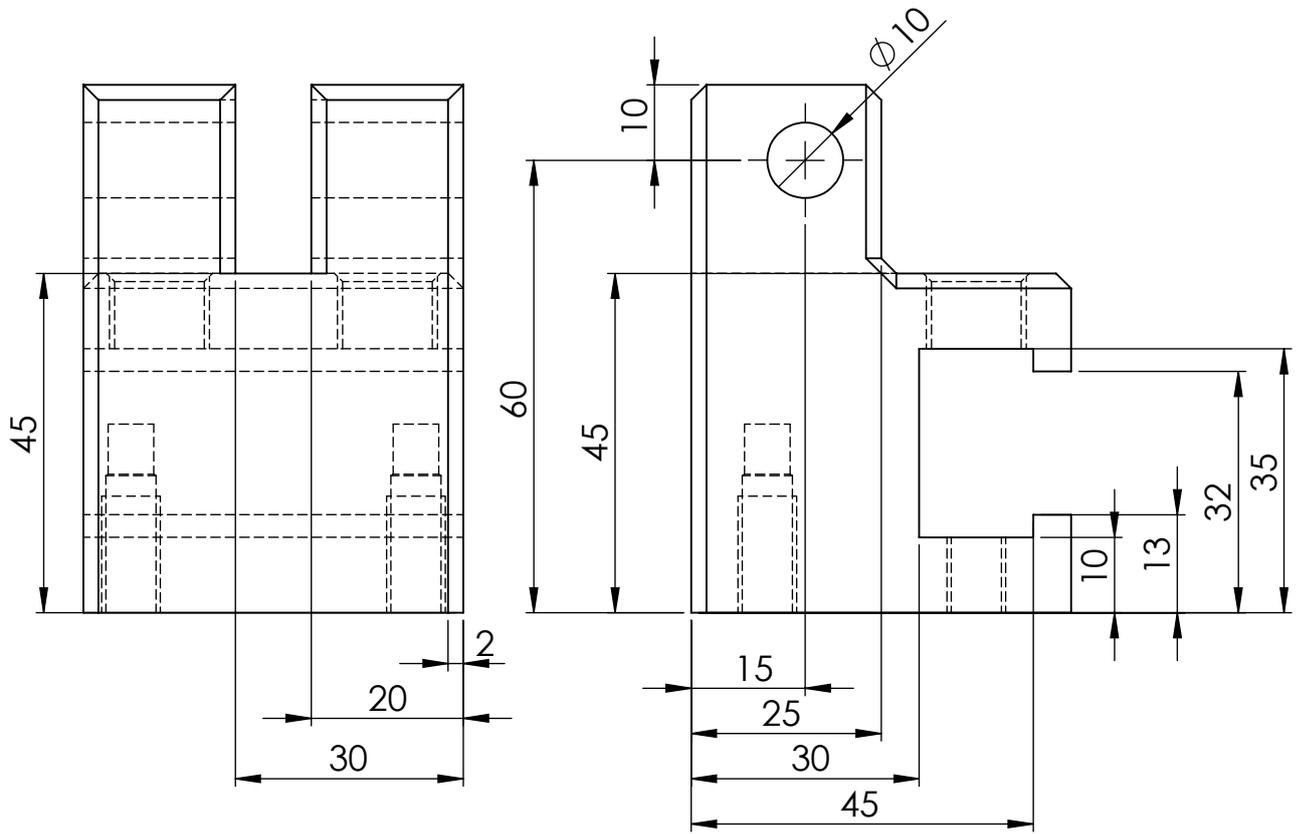
Ra 3.2/

Materiau: A60	Quantité: 01	
21/09/2016	Porte-glissière B	Normes : ISO
		Dessiné par : Rassoul et Ferhi
Echelle : 1/5	UMMTO	A4

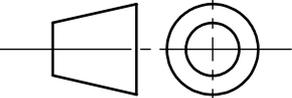


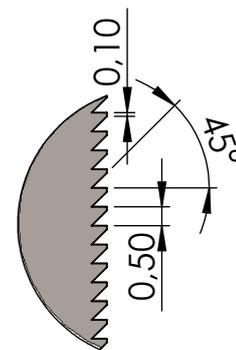
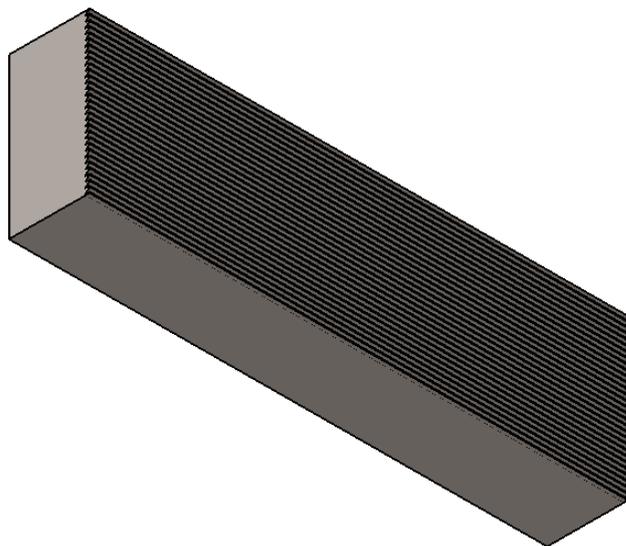
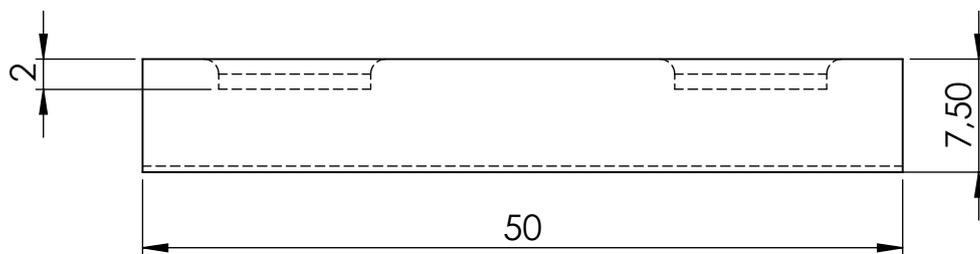
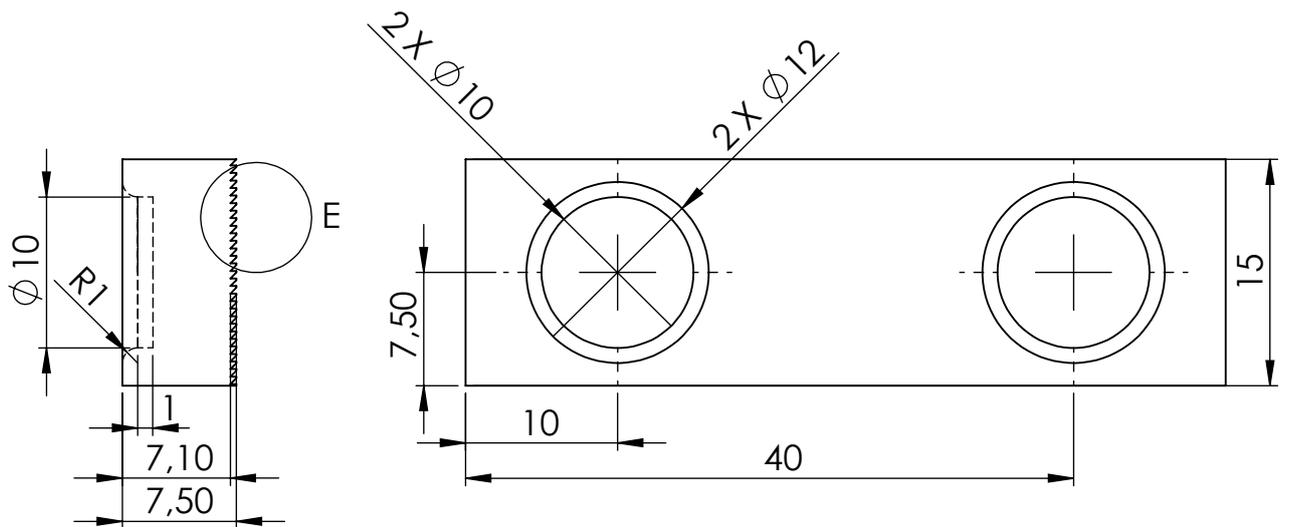
Ra 3.2/

Materiau: A60	Quantité: 04	
21/09/2016	Glissière	Normes : ISO
		Dessiné par : Rassoul et Ferhi
Echelle : 1/1	UMMTO	A4



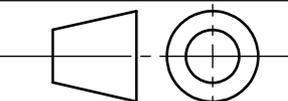
Ra 3.2

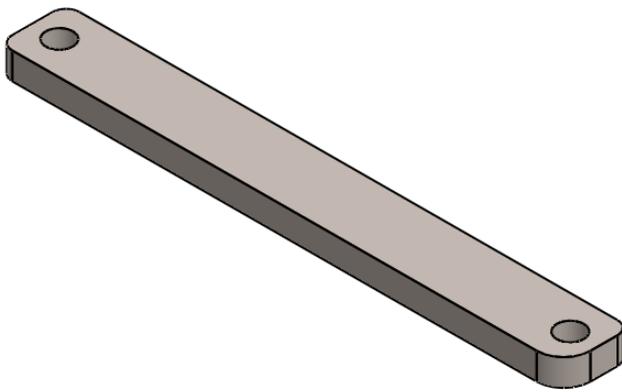
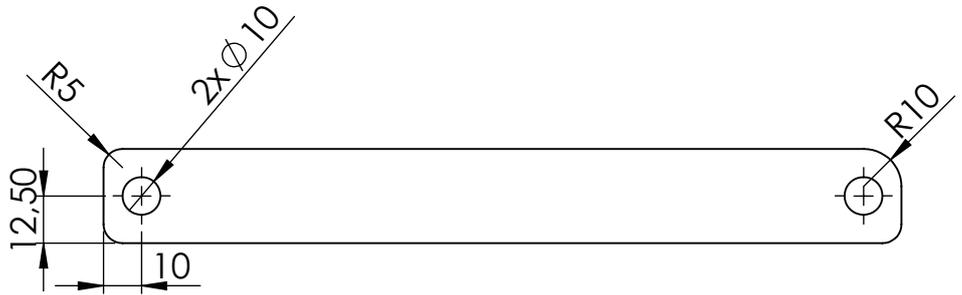
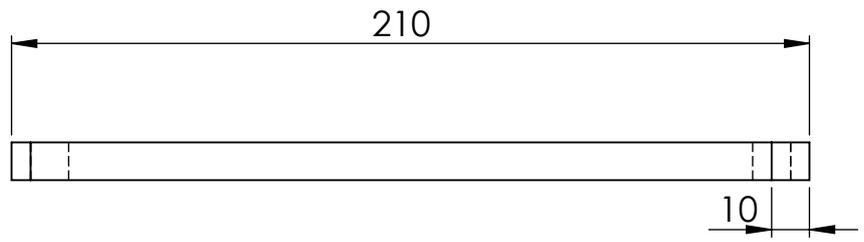
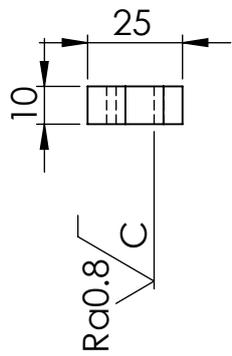
Materiau: A60	Quantité: 04	
21/09/2016		Normes : ISO
	Bride	Dessiné par : Rassoul et Ferhi
Echelle : 1/1	UMMTO	A4



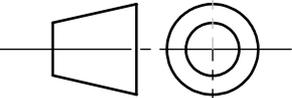
Ra 3.2

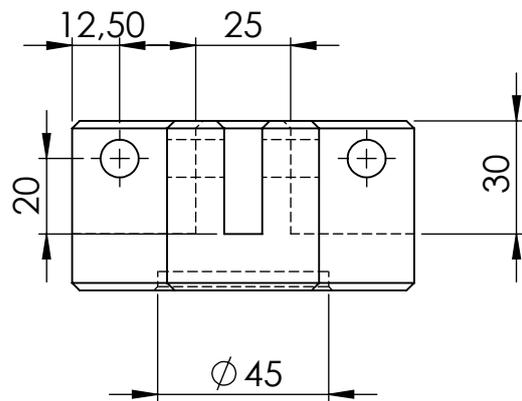
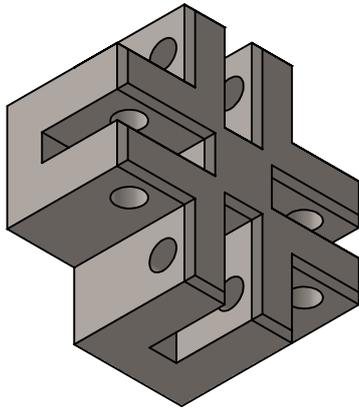
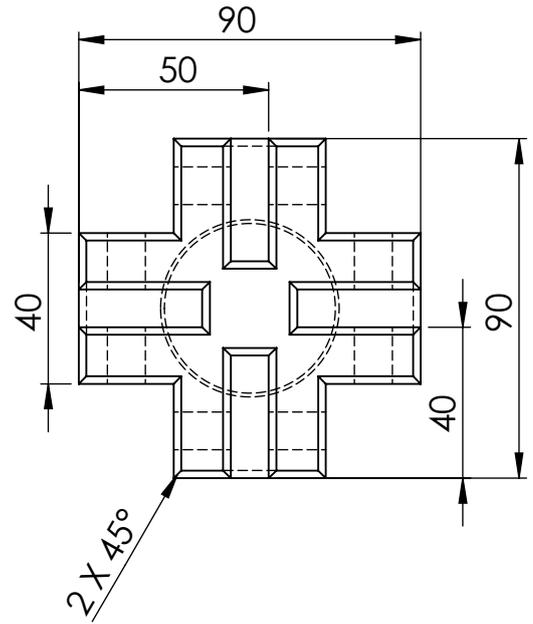
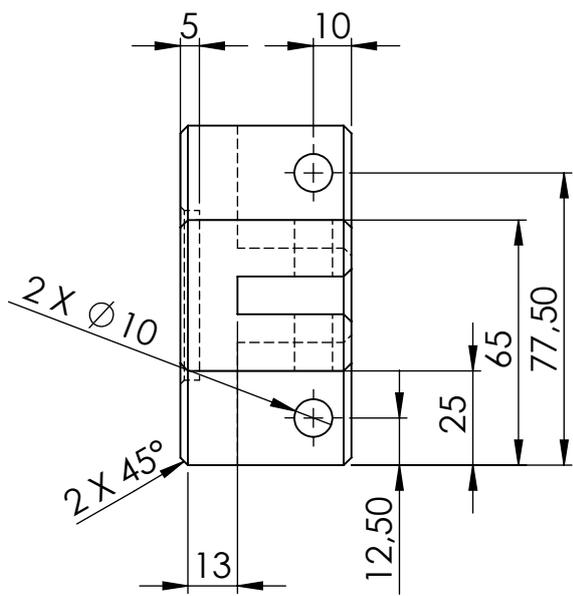
DÉTAIL E
ECHELLE 5 : 1

Materiau: A60	Quantité: 08	
21/09/2016	Mors	Normes : ISO
		Dessiné par : Rassoul et Ferhi
Echelle : 2/1	UMMTO	A4



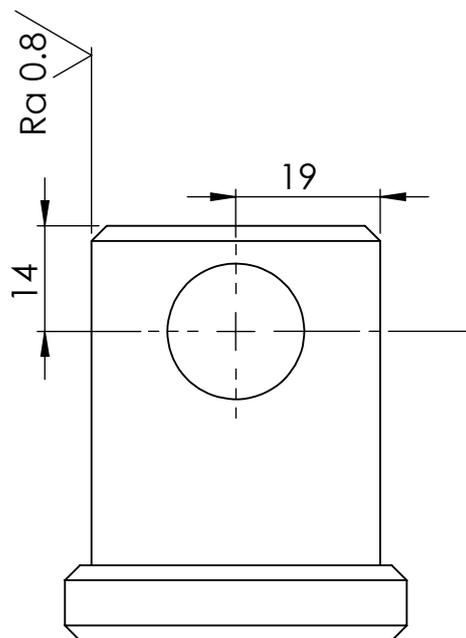
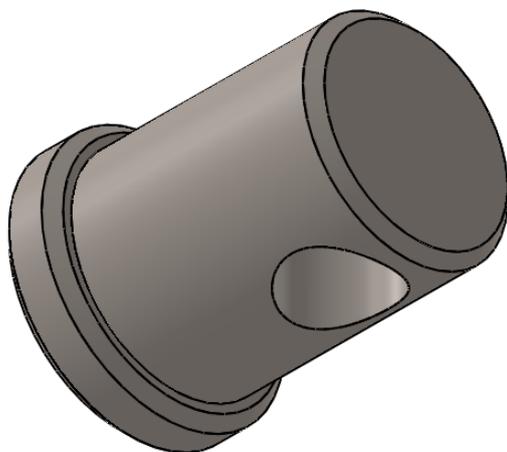
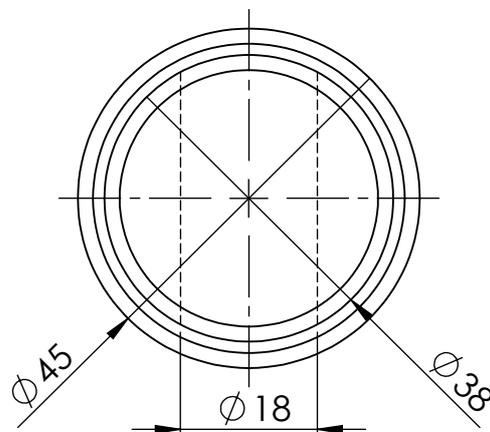
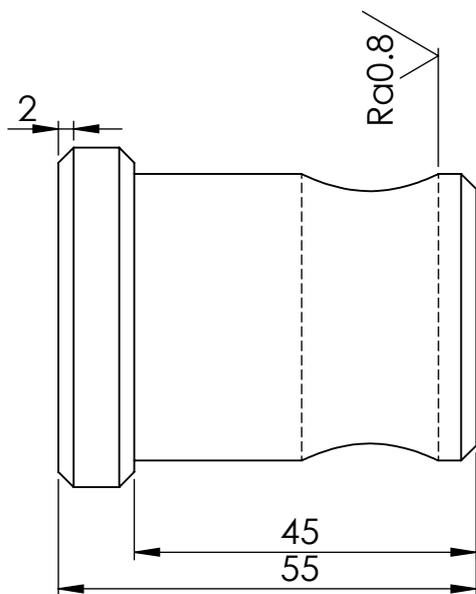
Ra 3.2/

Materiau: A60	Quantité: 04	
21/09/2016		Normes : ISO
	Bras	Dessiné par : Rassoul et Ferhi
Echelle : 1/2	UMMTO	A4

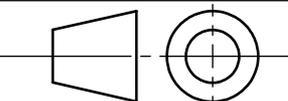


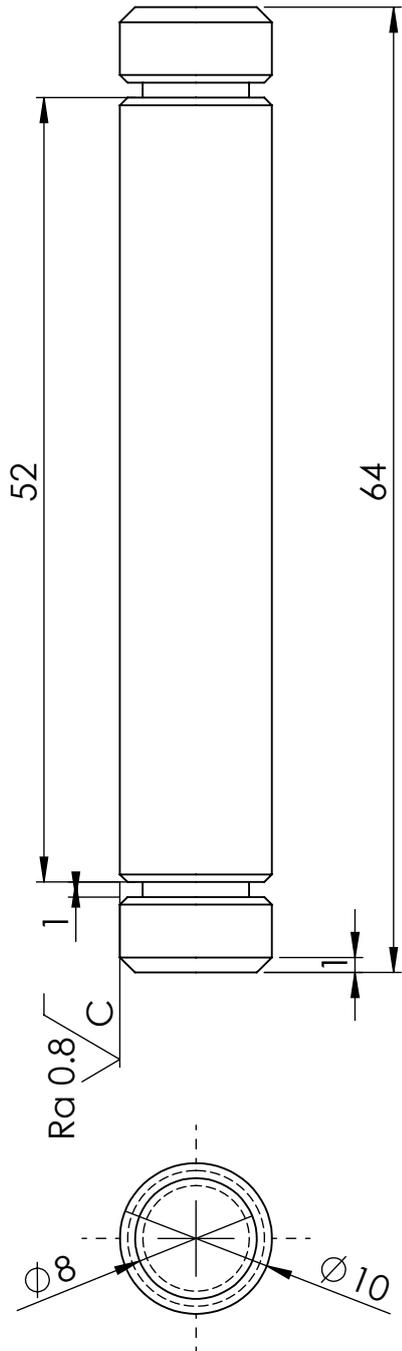
Ra 3.2/

Materiau: A60	Quantité: 01	Tête supérieure	Normes : ISO
21/09/2016			Dessiné par : Rassoul et Ferhi
		UMMTO	A4
Echelle : 1/1			

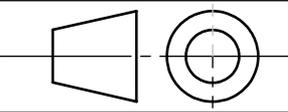


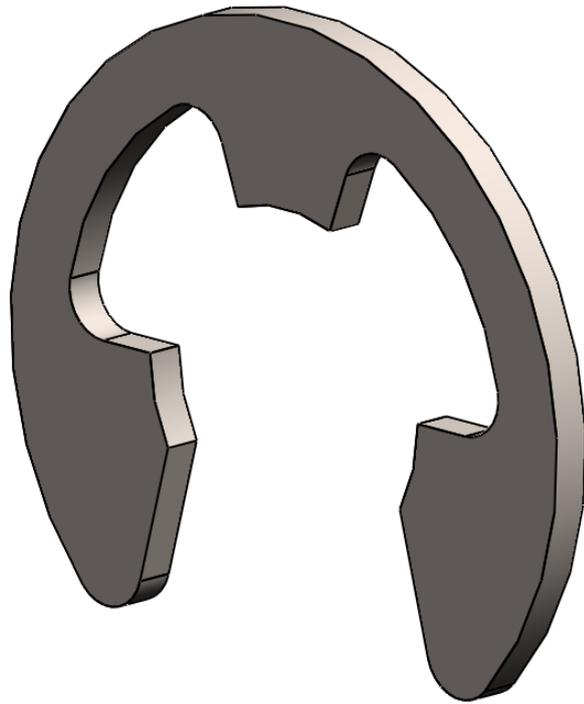
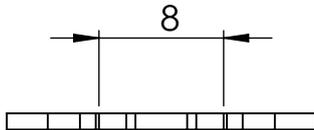
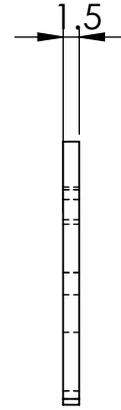
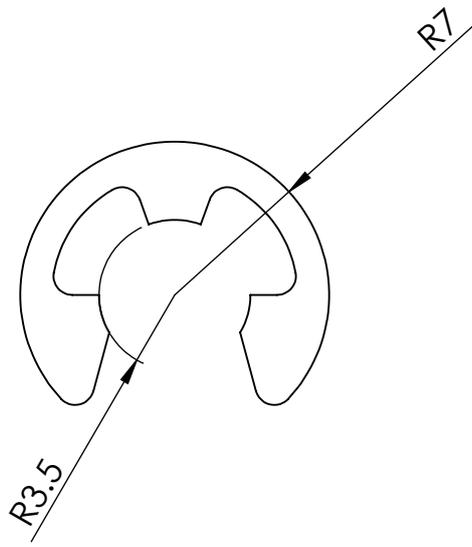
Ra 3.2/

Materiau: A60	Quantité: 01	Téton de guidage	Normes : ISO
21/09/2016			Dessiné par : Rassoul et Ferhi
		UMMTO	A4
Echelle : 1/1			

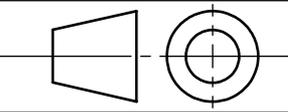


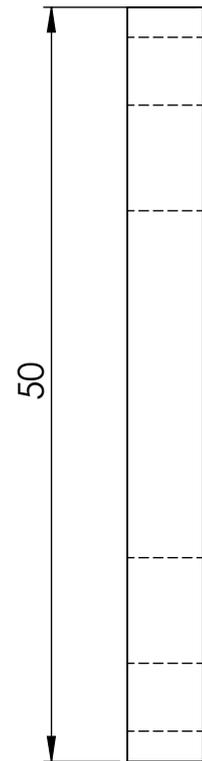
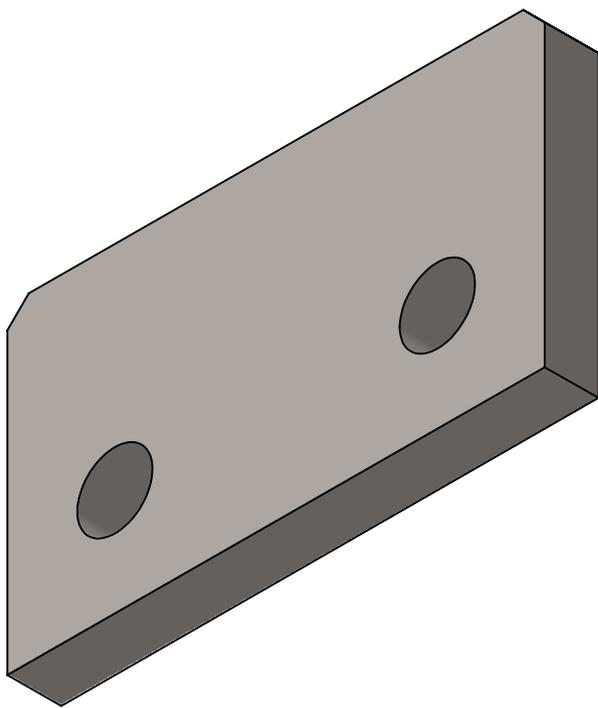
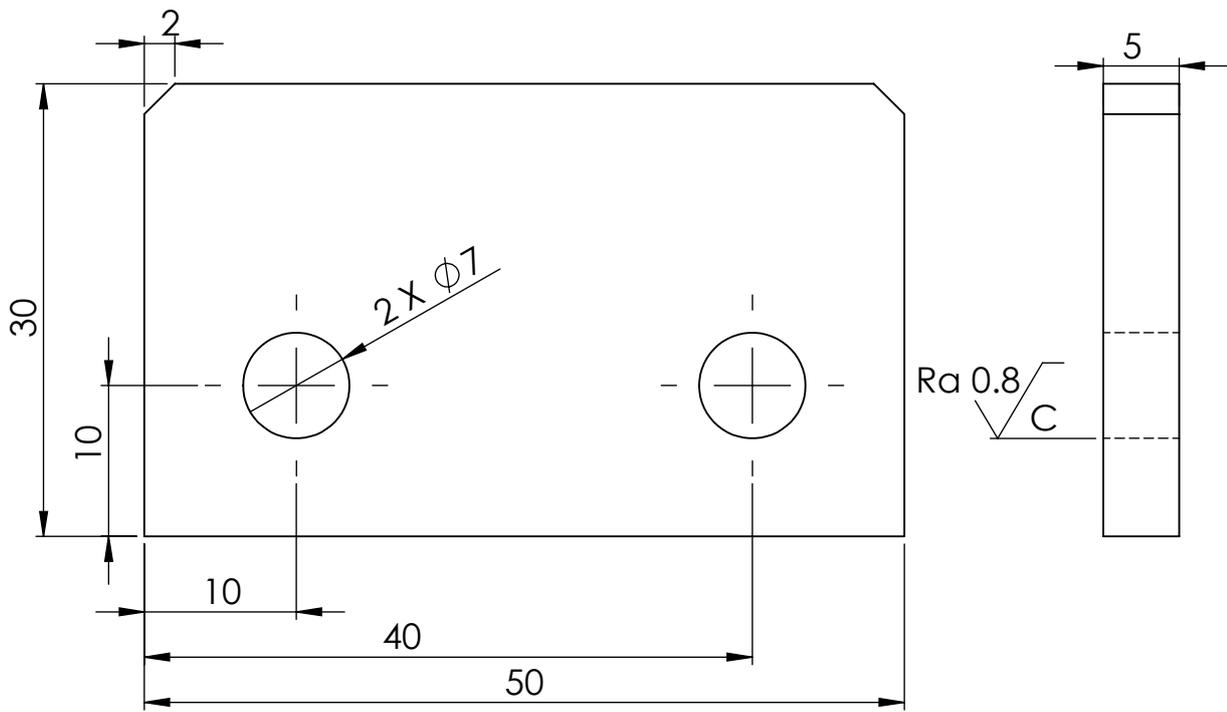
Ra 0.8

Matiere: A60	Quantité: 08	
21/09/2016	Goupille cylindrique	Normes : ISO
		Dessiné par : Rassoul et Ferhi
Echelle : 2/1	UMMTO	A4

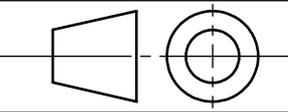


Ra 3.2

Materiau: XC48	Quantité: 16	
21/09/2016	Circlips	Normes : ISO
		Dessiné par : Rassoul et Ferhi
Echelle : 2/1	UMMTO	A4



Ra 3.2/

Materiau: A60	Quantité: 04	
21/09/2016	Calle	Normes : ISO
		Dessiné par : Rassoul et Ferhi
Echelle : 2/1	UMMTO	A4