

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

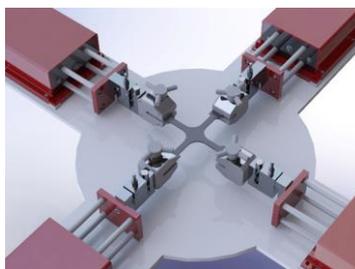
Département de génie mécanique



Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Mécanique

Etude et conception d'une micromachine de traction bi-axiale automatisée

SADOUNI Issam



Sous la direction de:

**BELKACEMI Yacine
GUERGUEB Brahim**

**MCA
MAA**

Présenté et soutenu le 28/10/2020

Composition du jury :

Président	M. Hamid SEDJAL	MAA	ENP
Promoteur	M. Yacine BELKACEMI	MCA	ENP
Promoteur	M. Brahim GUERGUEB	MAA	ENP
Examineur	M. Djamel SAIDI	MCB	ENP

ENP 2020

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

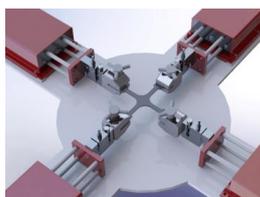
Département de génie mécanique



Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie
Mécanique

**Etude et conception d'une micromachine de traction bi-axiale
automatisée**

SADOUNI Issam



Sous la direction de:

BELKACEMI Yacine
GUERGUEB Brahim

MCA
MAA

Présenté et soutenu le 28/10/2020

Composition du jury :

Président	M. Hamid SEDJAL	MAA	ENP
Promoteur	M. Yacine BELKACEMI	MCA	ENP
Promoteur	M. Brahim GUERGUEB	MAA	ENP
Examineur	M. Djamel SAIDI	MCB	ENP

ENP 2020

ملخص:

من بين تقنيات الشد ثنائية المحور، يعد اختبار الشد على العينات الصليبية أحد أفضل الطرق المعروفة. تتمثل مزايا هذه الطريقة مقارنة بالتقنيات ثنائية المحور الأخرى في إمكانية التحكم في حالة الإجهاد ثنائي المحور في المنطقة المركزية للعيينة عن طريق تحميل كل ذراع بشكل مستقل، والهدف من مشروع نهاية الدراسة هذا هو دراسة وتصميم لآلة اختبار الشد ثنائية المحور على العينة الصليبية. الخطوة الأولى متعلقة بتحديد حجم وتصميم العناصر المكونة للآلة، باستخدام برنامج التصميم الشهير SolidWorks 2020 في الخطوة الثانية، من أجل تصنيع الآلة، يتم تسمية جميع الأجزاء الرئيسية ومكونات التجميع مرفقة بتكلفة شراء تقديرية متنوعة بالرسومات التعريفية للقطع وتوضيح مادة وطريقة تصنيع كل جزء.

الكلمات المفتاحية: الجر ثنائي المحور، آلة الاختبار، الجر، العينة الصليبية، طرق توصيف المواد.

Abstract:

Among the various biaxial tensile techniques, tensile testing on cruciform specimens is one of the best-known methods. The advantages of this method compared to other biaxial techniques are the possibility of controlling the state of biaxial stress in the central zone of the specimen by loading each arm independently, the aim of this graduation project is to study and CAD design of a bi-axial tensile testing machine on the cruciform specimen.

The first step, concerns the sizing and the design of the elements that make up the machine, using SolidWorks2020. In the second step, in order to realize the machine, the nomenclature of all the main parts and the organs of assembly is quoted with an estimated purchase cost followed by the definition drawings of the workpieces showing the material and method of manufacture of each part.

Keywords: Biaxial testing, Cruciform specimen, Material characterization, automated

Résumé :

Parmi les différentes techniques de traction biaxiale, l'essai de traction sur éprouvettes cruciformes est l'une des méthodes les plus connues. Les avantages de cette méthode par rapport aux autres techniques biaxiales sont la possibilité de contrôler l'état de contrainte biaxiale dans la zone centrale de l'éprouvette en chargeant chaque bras de manière indépendante. Le but de ce projet de fin d'études consiste à faire l'étude et la conception CAO d'une machine de d'essai de traction bi axial sur l'éprouvette cruciforme entièrement automatisée et de moindre cout.

La première étape, concernant le dimensionnement et la conception des éléments qui composent la machine. Dans la deuxième étape, afin de réaliser la machine, la nomenclature de toutes les pièces principales et les organes d'assemblage est cité avec une estimation de cout d'achats. Les dessins de définition de chaque pièce à usiner est réalisé.

Mots clé : Traction biaxiale, Eprouvette cruciforme, caractérisation des matériaux, automatisée.

Remerciements

Je remercie ALLAH de m'avoir donné la patience, le courage, la volonté de mener à terme ce travail. Ce travail a été proposé et dirigé par messieurs Y. BELKACEMI et B. GUERGUEB.

J'adresse mes chaleureux remerciements et ma reconnaissance à messieurs Y. BELKACEMI et B. GUERGUEB pour leur disponibilité et leurs remarques constructives.

Je remercie aussi les membres du Jury, monsieur le président de jury H. SEDJAL, et Mr. D. SAIDI, examinateur, d'avoir pris le temps et le soin de lire et d'examiner mon travail. Je remercie l'ensemble des enseignants du département de génie mécanique de l'école nationale polytechnique pour leur contribution dans ma formation d'ingénieur.

Dédicace

A ma très chère mère

Affable, honorable, aimable, tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse.

Ta prière et ta bénédiction n'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé depuis ma naissance.

A mon cher père

Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consent pour mon éducation et ma formation. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. A mes frères Imad, Sifou et ma sœur Nidhal qui m'ont soutenu et montré pour moi la bonne voie de la réussite.

A messieurs Belkacemi, Guergueb qui ont su bien être là pour me conseiller et me soutenir.

A ma grande famille, mon grand-père Yahia SADOUNI et mes oncles Hamid, M-Zine, Djamel, Mehdi et tous mes amis, Ahmed, Moncef, Yacine, Aymen, Djihad, Arfan, Omar, Oussama, Lotfi, Walid spécialement mon ami proche Nadjib, source de la joie et l'espoir.

Table des matières

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Nomenclature	
Introduction générale.....	10
Chapitre I : Généralité sur les essais mécaniques.....	12
I.1 Introduction	13
I.2 Essais mécanique uniaxiaux :	13
I.2.1 Essai de traction simple :	13
I.2.1.1 Description générale d'une machine de traction :	13
I.2.1.2 Eprouvettes:	14
I.2.1.2 Exploitations de l'essai I.3.1.3.a- Interprétation [1] :	15
I.2.2 Essai de compression simple :	15
I.2.2 Principe de l'essai :	16
I.3 Chargement biaxial dans le plan sur éprouvette cruciforme plate :	16
I.4 Choix d'une technique d'essai biaxiale adaptée:	16
I.5 Machines d'essai biaxiales sur éprouvettes cruciformes :	17
I.6 Éprouvette cruciforme :	19
Conclusion :	21
Chapitre II : Calcul et conception des éléments de la machine	22
Introduction :	23
II.1 Cahier des charges :	23
II.1.2 - Objectif :	23
II.1.3 Contraintes et besoins liés au projet :	23
II.1.3 Diagramme Bête à corne :	24
II.1.4 Diagramme de pieuvre :	24
II.1.5 Contraintes techniques :	25
II.2 Solutions techniques :	25
II.2.1 - Le choix du mécanisme :	25
II. 4 Dimensionnement et conception de la machine :	28
II.4.1 Choix de la vis à bille :	28
II.4.2 Choix de l'accouplement entre le moteur et la vis :	28
II.4.3 Le système de guidage :	29
II.4.3.1 Démarche de dimensionnement du système de guidage :	31
II.4.3.1.a La vis à bille :	31
II.4.3.1.b L'accouplement :	31
II.4.3.1.c Le moteur Nema 23 :	32
II4.3.1.d Assemblage A :	33

II.4.3.1.e Plaque de guidage :.....	33
II.4.3.1.f Tige de guidage :.....	34
II.4.3.1.e Assemblage B :	34
II.4.3.1.f Plaque de fixation TM :.....	35
II.4.3.1.g Montage et choix des roulements :.....	35
II.4.3.1.h Plaque de fixation TP :.....	36
II.4.3.1.i Corps de palier :	37
II.4.3.1.j Assemblage C :	37
II. 4.3.1.k Support des plaques :.....	38
II.4.3.1.l Amortisseur de vibration :	38
II. 4.4 - Le système de traction :	39
II.4.4.1 Explication et démarche de dimensionnement du système de guidage :	40
II. 4.4.1.a Tiges de traction :.....	40
II. 4.4.1.b Plaque de fixation du capteur de force :.....	41
II. 4.4.1.c Capteur de force :.....	41
II. 4.4.1.d Le mors :	42
II. 4.4.1.e Assemblage du système de guidage-traction:	43
II. 4.5 Montage final de la machine :	43
II. 4.5.1 L'éprouvette cruciforme :.....	43
II. 4.5.2 Bâti de la machine :.....	44
II. 4.5.3 Carter de protection :	44
II. 4.5.4 Assemblage final de la machine :.....	45
II. 5. Calcul des caractéristiques de machine :	46
II. 5.1 La force de traction développée par la machine :	46
II. 5.2 La fréquence de rotation du moteur :.....	47
II. 5.3 Course du test :	47
Conclusion :	47
Chapitre III : Réalisation de la machine :	49
Introduction :	50
III.1 Les pièces fournies par le département GM :	50
III.2 Les pièces à acheter :.....	50
III.2.1 Calcul de durée de vie de vis à bille [5] :.....	51
III.2.2 Calcul de durée de roulement :.....	51
III.3 Les pièces à usiner :	52
III.3.1 Les dessins de définition des pièces à usiner :.....	52
Conclusion générale	53
Références bibliographiques :.....	55

Liste des figures :

Figure I.1 Machine de traction uni axiale	13
Figure I.2 Eprouvette cylindrique et plate [1].....	14
Figure I.3 Diagramme effort-déformation de la traction simple [1].	15
Figure I.4 Essai de compression simple.	16
Figure I.5 Machines d'essai biaxiales avec un actionneur développé par Bhatnagar [2].....	17
Figure I.6 Machines d'essai biaxiales avec deux actionneurs développés par : (a) Hoferlin et (b) Lin [2].	18
Figure I.7 Machines d'essai biaxiales à quatre actionneurs développés par : (a) Makinde / Green et (b) Gower [2].....	18
Figure I.8 Machines d'essai triaxiales développées par: (a) Welsh et (b) ASTREE [2].	19
Figure I.9 Eprouvette cruciforme [1].....	20
Figure I.10 Eprouvettes cruciformes de différents types [2].	20
Figure II.11 Diagramme bête à corne.	24
Figure II.12 Diagramme de pieuvre.	24
Figure II.13 Schéma cinématique.	27
Figure II.14 Caractéristique de la vis à billes [10].	28
Figure II.15 Caractéristiques de l'accouplement [11].	29
Figure II.16 Numérotation des pièces de système de guidage.	30
Figure II.17 Vis à billes.	31
Figure II.18 Accouplement.	32
Figure II.19 Moteur Nema 23.	33
Figure II.20 Assemblage A.	33
Figure II.21 Plaque de guidage.....	34
Figure II.22 Tige de guidage.....	34
Figure II.23 Assemblage B.	35
Figure II.24 Plaque de fixation TM.	35
Figure II.25 Montage de roulements en opposition, avec ajustement axial.	36
Figure II.26 Plaque de fixation TP.....	37
Figure II.27 Corps de palier.	37
Figure II.28 Assemblage C.	38
Figure II.29 Support des plaques.....	38
Figure II.30 Amortisseur de vibration.	39
Figure II.31 Système de traction.	39
Figure II.32 Tige de traction.....	40
Figure II.33 Plaque fixation de capteur de force.	41
Figure II.34 Capteur de force.....	42
Figure II.35 Mors.	42
Figure II.36 Système guidage-traction.	43
Figure II.37 Eprouvette cruciforme.....	43
Figure II.38 Bâti de la machine.	44
Figure II.39 Carter de protection.	44
Figure II.40 Montage finale de la machine sans carter de protection.	45
Figure II.41 Montage final de la machine.	45
Figure II.42 Montage de l'éprouvette cruciforme.....	46

Liste des tableaux :

Tableau II.1 Descriptions des fonctions de diagramme de pieuvre.....	25
Tableau II.2 Nomenclature des pièces principales du système de guidage.....	30
Tableau II.3 Nomenclature des élémentzz de système de guidage.....	31
Tableau II.4 Nomenclature des pièces du système de traction.....	40
Tableau II.5 Les organes d'assemblage de système de traction.....	40
Tableau III.6 Les pièces fournis par le département GM.....	50
Tableau III.7 Les pièces à acheter.....	50
Tableau III.8 Les pièces à usiner ou à confectionner.....	52

Nomenclature :

f : Force développée par la machine (N).
 η_T : Rendement total du système.
 M : Couple de moteur (N.m).
 P : Le pas de la vis.
 η_v : Rendement de la vis.
 η_c : Rendement du coussinet.
 V : Vitesse de test (mm/s).
 N_{\min} : Fréquence minimale du moteur (tr/min).
 N_{\max} : Fréquence maximale du moteur (tr/min).
 N_{moy} : Fréquence moyenne du moteur (tr/min).
 L : Durée de vie (tour).
 c : Capacité de charge dynamique (N).
 L_h : Durée de vide (heure).
 F : Force totale.
 F_a : Force axiale.
 F_r : Force radiale.
 L_{10} : Durée de vie théorique de base (tours).
 K : rapport de viscosité.
 C_{33} : Capacité de charge dynamique d'un roulement (N).
 P_e : Charge dynamique équivalente sur le palier (N).

Introduction générale

Introduction générale

Le choix des matériaux pour une application industrielle donnée exige une connaissance et une maîtrise de ses caractéristiques mécaniques. La caractérisation mécanique des matériaux repose sur l'étude de son comportement vis-à-vis des sollicitations extérieures qui engendrent des contraintes et des déformations.

Pour cela, on recourt à un certain nombre d'essais normalisés. Ces derniers, permettent de déterminer les grandeurs physiques caractérisant le comportement mécanique des matériaux. Parmi les essais habituellement utilisés nous citons : la traction, la compression, le cisaillement, la flexion, et la torsion.

La traction et la compression uniaxiale se contentent à une seule direction de déformation limitant l'établissement de modèles de comportement.

Il est ainsi plus intéressant de travailler sur une base de données qui contient des essais multiaxiaux. Ces derniers adéquats sont assez chers.

Afin d'obtenir un moyen d'essais biaxiaux accessibles en terme de couts, cette étude a été initiée. Nous nous intéressons à faire la conception (CAO) d'une micromachine électromécanique compacte de traction bi-axiale entièrement automatisée basée sur des moteurs pas à pas à axes horizontaux pour des matériaux polymères et des éprouvettes cruciformes et en tenant en compte des moyens techniques disponibles au sein de notre magasin de département.

Après une introduction générale, le mémoire est divisé en trois chapitres.

Le Chapitre 1 présente des généralités sur les essais mécaniques. Un aperçu général sur essais uni axiaux uniaxiaux et bi axiaux est fait. Les éprouvettes cruciformes utilisées pour chaque méthode d'essai et l'état de l'art des machines de traction biaxiale sont présentés.

Le Chapitre 2 est consacré au Calcul et la conception des éléments de la machine. En se basant sur les contraintes imposées par le cahier des charges, la solution proposée est présentée avec ses différents éléments.

Dans le chapitre 3, Après finalisation de la conception de la machine de traction biaxiale et en perspective de sa réalisation, une classification des pièces en trois catégories est faite. La première catégorie regroupe les pièces disponibles. La deuxième catégorie concerne les pièces à acheter et la dernière catégorie définit les pièces à usiner. Tous les dessins de définition de ces dernières sont faits en vue de leur réalisation. Une proposition pour estimer le cout final de la machine est.

Cette étude est terminée par une conclusion générale

Chapitre I : Généralité sur les essais mécaniques

I.1 Introduction

Dans la vie réelle, les matériaux sont souvent soumis à des chargements complexes dans lesquels un état de contrainte bidimensionnel ou tridimensionnel existe. Pour une conception efficace des matériaux, les tests doivent représenter ces conditions de chargement réelles. Les objectifs derrière l'exécution du test bi axial seront brièvement présentés sur la base de la littérature. Le premier objectif des essais bi axiaux est de déterminer les contraintes ultimes du matériau qui représentent les contraintes subies dans les conditions de service réelles. Les contraintes ultimes obtenues généreront l'enveloppe de rupture bi axiale du matériau qui est importante pour valider et clarifier certaines théories de rupture

Cependant, les essais bi axiaux ne sont pas seulement utilisés pour valider le critère de rupture, un autre but pour appliquer des essais bi axiaux est l'étude de la fissure. De plus, le test bi axial est un moyen intéressant d'identifier les propriétés du matériau (module de Young, module de cisaillement, coefficient de Poisson...) en effectuant un seul test au lieu de plusieurs tests uni axiaux.

I.2 Essais mécanique uniaxiaux :

I.2.1 Essai de traction simple :

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, 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, le module de Young 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.



Figure I.1 Machine de traction uni axiale

I.2.1.1 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.2.1.2 Epreuves:

Les éprouvettes de traction sont cylindriques ou plates. 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. Ces têtes d'attache ont typiquement une section nettement plus grande que la partie centrale de l'éprouvette dite « longueur utile ». 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 latéraux. 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 axe de révolution (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.

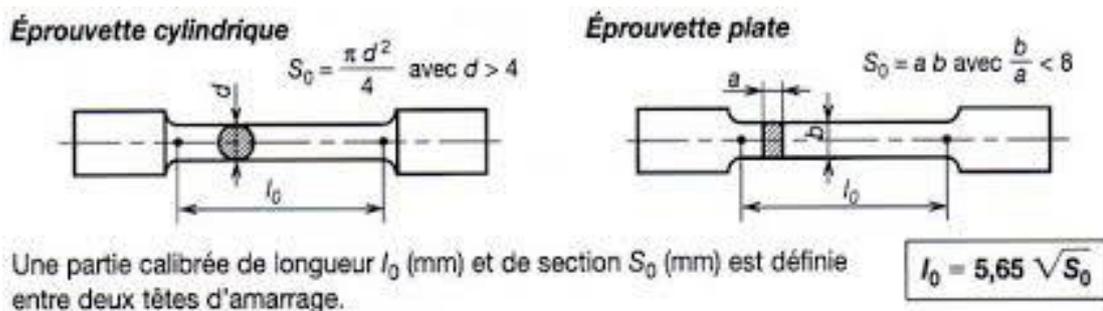


Figure I.2 Eprouvette cylindrique et plate [1].

I.2.1.2 Exploitations de l'essai I.3.1.3.a- Interprétation [1] :

Sur un diagramme effort-déformation (Fig I.3), 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.

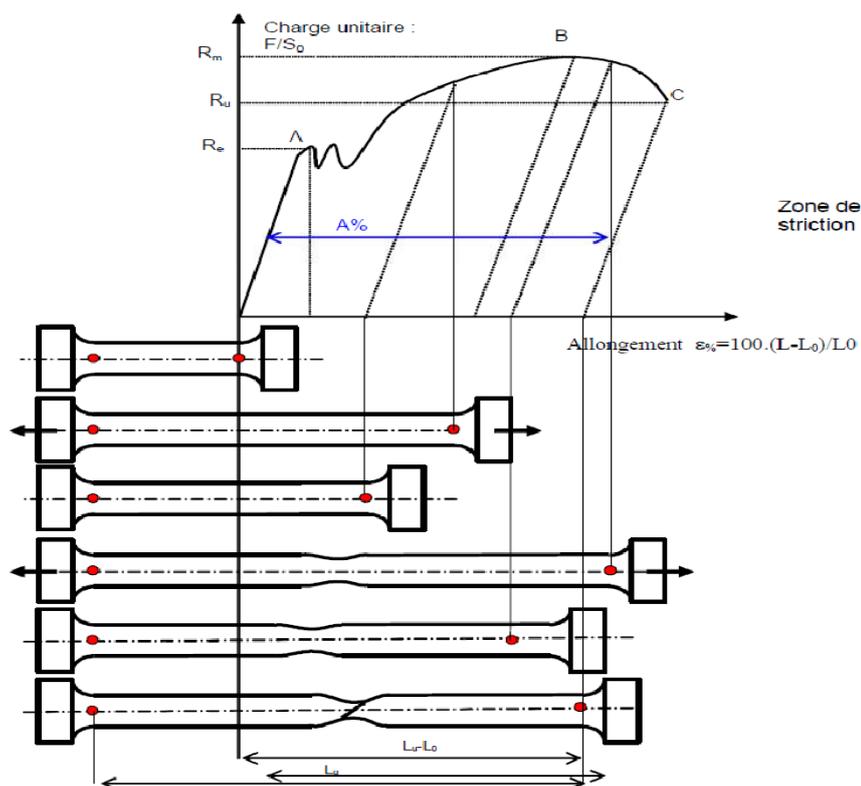


Figure I.3 Diagramme effort-déformation de la traction simple [1].

I.2.2 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. En principe l'essai de compression est comme l'essai 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.

I.2.2 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.

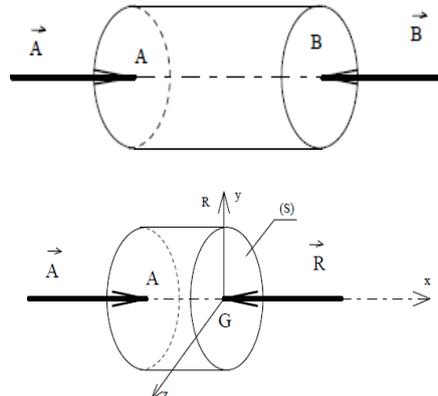


Figure I.4 Essai de compression simple.

1.3 Chargement biaxial dans le plan sur éprouvette cruciforme plate :

Cette méthode consiste à appliquer deux charges perpendiculaires dans le plan sur l'éprouvette pour créer un état de contrainte biaxiale. Cette méthode a été utilisée pour la première fois dans les années 1960 pour étudier le comportement biaxial des métaux et a commencé sur les composites dans les années 1980. Les premiers tests biaxiaux dans le plan ont été réalisés sur des éprouvettes rectangulaires. La forme a été rapidement changée en cruciforme pour éviter la concentration de contraintes près des poignées et entraîner une défaillance au centre. L'état de contrainte biaxiale est directement contrôlé par la machine. L'inconvénient de cette méthode est la conception de l'échantillon qui nécessite une concentration de contraintes dans la zone centrale chargée biaxialement de l'échantillon. De plus, cette méthode nécessite un équipement spécifique qui n'existe pas dans tous les laboratoires.

1.4 Choix d'une technique d'essai biaxiale adaptée:

Selon les méthodes d'essai biaxiales, des problèmes tels que l'hétérogénéité des contraintes, la limitation du test biaxial sur des couches composites spécifiques (unidirectionnelles) et sur le rapport de contraintes biaxiales spécifiques sont présentés.

Afin de sélectionner la méthode biaxiale appropriée, certaines exigences doivent être prises en compte :

- 1- La défaillance survient dans la zone centrale.
- 2- La contrainte doit être homogène
- 3- Le test doit couvrir une large gamme d'états de contraintes afin d'obtenir l'enveloppe de défaillance complète en jouant sur le chemin de contrainte

Les deux seules méthodes qui satisfont aux exigences sont les essais sur éprouvettes tubulaires et les essais sur éprouvettes cruciformes. Différents chercheurs montrent que le test biaxial sur

éprouvettes tubulaires produit un effet dominant des contraintes circonférentielles qui limite la caractérisation des matériaux composites pour les applications tubulaires (ex: tuyaux, cuves ...). Cependant, comme la plupart des applications d'ingénierie nécessitent l'utilisation de composites plats (ex: aéronautique, automobile...), le test biaxial en plan est une méthode de caractérisation bien adaptée. Un autre avantage du test biaxial dans le plan est la simplicité de faire varier le rapport de contrainte biaxiale dans le matériau testé en fonction des déplacements bien contrôlés imposés sur les deux axes de l'éprouvette cruciforme. En conclusion, différentes techniques d'essais biaxiaux existent afin d'étudier le comportement des matériaux. Quel que soit le problème de conception de l'éprouvette cruciforme, le test biaxial dans le plan est l'une des méthodes les plus appropriées.

1.5 Machines d'essai biaxiales sur éprouvettes cruciformes :

Les machines d'essai biaxiales dans le plan peuvent être classées en trois catégories : (i) machines avec un actionneur, (ii) machine avec deux actionneurs, et (iii) machine avec quatre actionneurs. Les machines à un seul actionneur sont développées de manière à ce que l'introduction d'une seule charge entraîne un état de contrainte biaxiale dans l'éprouvette cruciforme. Ce type de machines nécessite un montage très spécifique. Bhatnagar et al [2]. ont développé un dispositif d'essai biaxial utilisant un seul actionneur de chargement pour les matériaux polymères. La configuration mécanique de la machine permet à une seule cellule de charge d'introduire différents rapports d'essai biaxiaux afin de générer n'importe quelle combinaison d'espace de contrainte $\sigma_1 - \sigma_2$. L'objectif derrière l'utilisation d'un seul actionneur de chargement est le faible coût par rapport aux machines à actionneurs multiples. Une validation expérimentale a été réalisée en utilisant la machine sur un polyamide à fibres courtes et des composites thermoplastiques PP renforcés de nanoparticules.

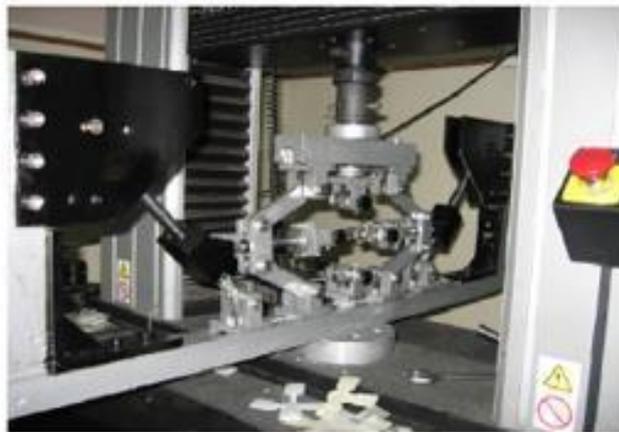
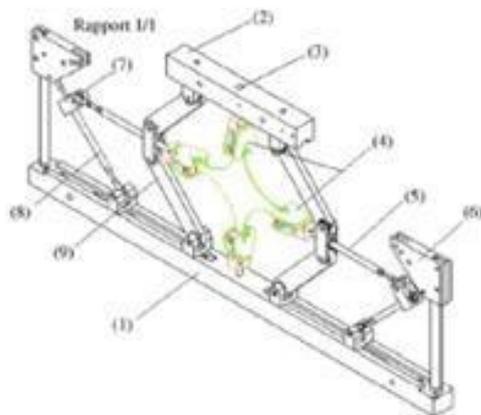


Figure 1.5 Machines d'essai biaxiales avec un actionneur développées par Bhatnagar [2].

La machine à deux actionneurs a été développée en introduisant un autre actionneur de chargement perpendiculaire à celui d'un banc d'essai uniaxial. Le développement de cette machine avait pour but de faire varier le rapport de contrainte biaxiale sans avoir un équipement spécial. L'état de contrainte biaxiale a été généré en fixant un côté des bras perpendiculaires et en effectuant la traction de l'autre côté. Cependant, le problème de ce type de machines était la flexion de l'éprouvette qui donne un état de contrainte indésirable. En 2000, Hoferlin et al [2]. A réalisé une machine d'essai biaxiale à partir d'une machine uniaxiale d'une capacité de 250 kN en ajoutant un actionneur hydraulique amovible d'une capacité de 25 kN. La machine a été testée sur une éprouvette cruciforme en acier. De plus, Lin et Ding

[2] ont également ajouté un actionneur manuel à une machine instron uniaxiale afin d'étudier le rendement plastique des métaux d'aluminium sous test biaxial. Lin et Ding ont mentionné dans leur étude que la fixation de l'éprouvette peut être adaptée verticalement à l'aide des ressorts illustrés à la figure 1.7-b alors que le mouvement horizontal n'est pas adapté.

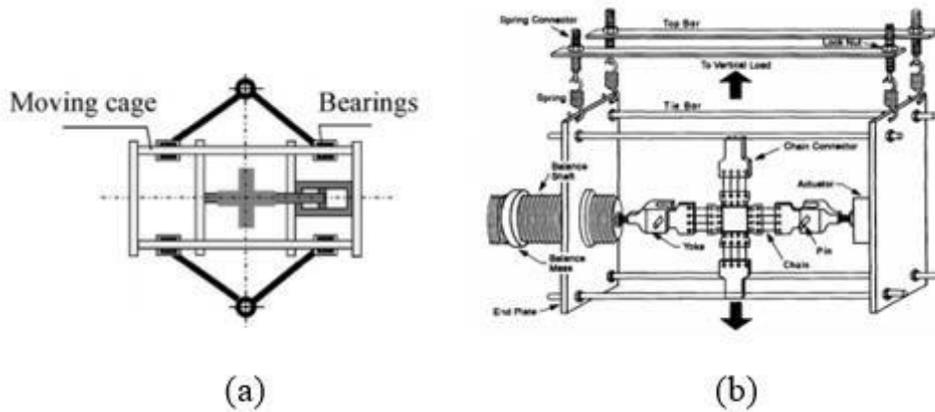


Figure 1.6 Machines d'essai biaxiales avec deux actionneurs développées par: (a) Hoferlin et (b) Lin [2].

Afin d'avoir des tests plus fiables (éviter les problèmes de flexion), la machine d'essai biaxiale avec quatre actionneurs hydrauliques a été construite. Ces machines contiennent généralement un système de contrôle en boucle fermée pour équilibrer les charges dans les quatre bras et ajuster l'échantillon au centre pendant le test. Deux types de châssis de machines ont été construits dans la littérature. Les machines à châssis horizontaux et les machines à châssis verticaux. Makinde et al [2]. Ont construit une machine d'essai biaxiale avec un châssis horizontal. Pour assurer une rigidité maximale du cadre proposé, une base en acier en forme de croix de 152 mm d'épaisseur a été soudée à une structure à poutre en I. L'avantage d'utiliser une machine avec un châssis vertical est la facilité d'inspection des deux côtés de l'éprouvette.

La plupart des chercheurs ont utilisé des machines à châssis horizontal. Green et al. ont utilisé la machine développée par Makinde [2] (Figure 1.7) pour la caractérisation de l'alliage d'aluminium A1145. La capacité de la machine est de 250 kN dans chaque bras de chargement. Gower et Shaw [2] ont utilisé une machine d'essai biaxiale d'une capacité de 50 kN pour la caractérisation des stratifiés

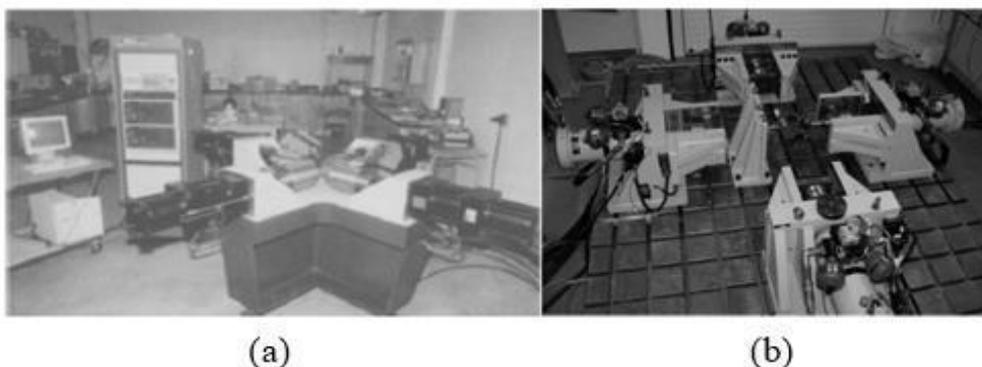


Figure 1.7 Machines d'essai biaxiales à quatre actionneurs développées par: (a) Makinde / Green et (b) Gower [2].

plastiques renforcés de fibres de carbone sous tension / tension. Certains chercheurs ont utilisé la machine d'essai triaxiale pour les tests de caractérisation biaxiale. La machine d'essai triaxiale (utilisée

par Welsh et al [2]), comme le montre la figure 1.8, a une capacité de 94 kN dans chaque bras de chargement. Elle peut générer n'importe quelle combinaison de contraintes de traction ou de compression dans l'espace de contraintes $\sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3$. Une autre machine d'essai triaxiale a été développée par une collaboration entre Schenk et LMT Cachan en France. La machine est composée de six actionneurs hydrauliques où la capacité de la machine dans le plan est de 100 kN (tension ou compression) tandis que le chargement hors plan peut atteindre 250 kN.

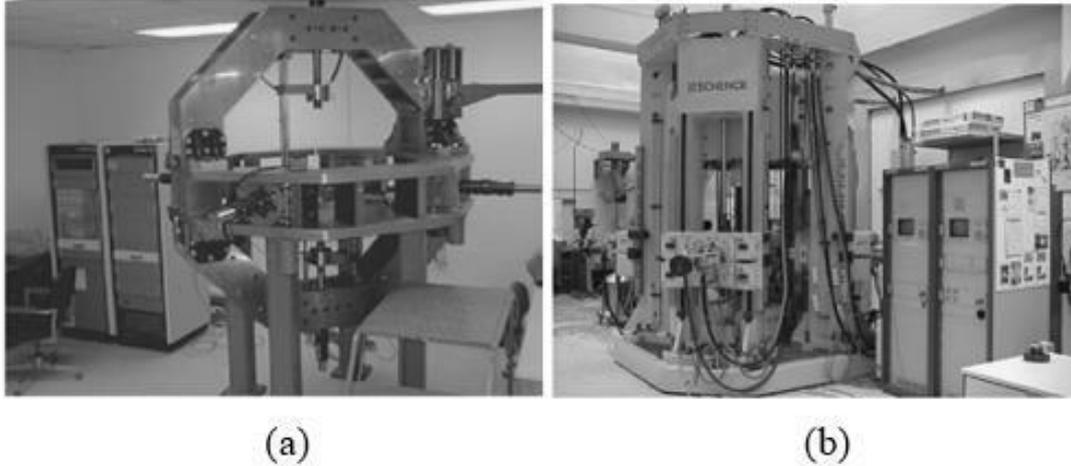


Figure 1.8 Machines d'essai triaxiales développées par: (a) Welsh et (b) ASTREE [2].

1.6 Éprouvette cruciforme :

Compte tenu des tests biaxiaux sur métaux, différents spécimens cruciformes ont été proposés par plusieurs chercheurs. En fonction du comportement mécanique à identifier (résistance à la fatigue, résistance à la rupture, loi d'écrouissage, surface d'écoulement...), plusieurs formes d'éprouvettes plates ont été proposées ces dernières années. Hannon et Tiernan [2] ont présenté deux exigences principales pour la conception de l'éprouvette en métal cruciforme pour l'essai de caractérisation : une distribution homogène des contraintes / déformations qui permet le calcul des contraintes et la rupture doit se produire dans la zone centrale de l'éprouvette. Pour éviter la rupture prématurée et réduire l'effet des contraintes de cisaillement, trois méthodes ont été utilisées dans la conception de l'éprouvette : (i) réalisation d'un congé courbe entre les bras chargés, (ii) réduction de l'épaisseur de la zone centrale, (iii) ajout de fentes dans les bras. L'échantillon pourrait également avoir une combinaison de ces méthodes (combinaison de fentes et réduction d'épaisseur).

En 1993, Demmerle et Boehler [2] ont optimisé la forme cruciforme afin d'obtenir des champs de contraintes et de déformations plus homogènes dans la zone centrale d'une éprouvette anisotrope. La procédure d'optimisation a été prise en définissant une fonction de coût C qui devrait être minimale. Douze paramètres (représentant les dimensions de l'échantillon cruciforme) ont été utilisés comme entrée dans le processus d'optimisation. Le processus d'optimisation doit être répété si l'épaisseur ou les paramètres du matériau changent.

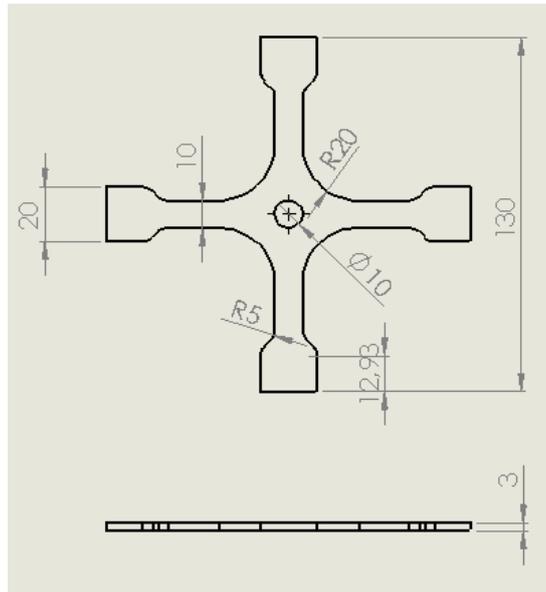


Figure I.9 Eprouvette cruciforme [1].

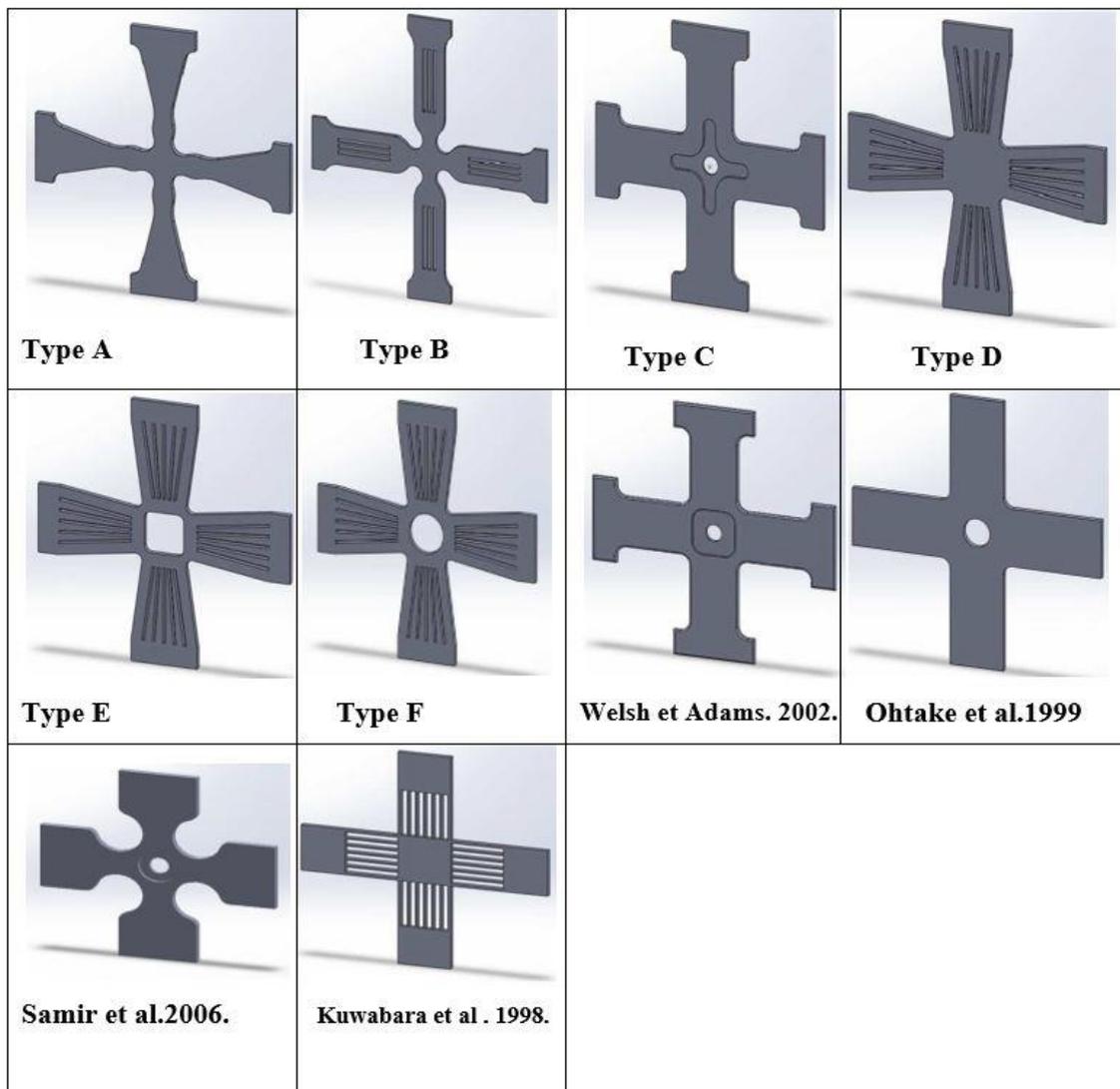


Figure I.10 Eprouvettes cruciformes de différents types [2].

Conclusion :

Ce chapitre présente l'état de l'art lié aux sujets étudiés dans ce mémoire. Les tests uniaxiaux conventionnels pour la caractérisation des matériaux sont cités. Cependant, afin de représenter le comportement réel du matériau soumis à un état de contrainte multi-axiale lors d'applications réelles, un aperçu des techniques de test biaxial est présenté. Les avantages de l'essai biaxial dans le plan sur des éprouvettes cruciformes plates par rapport aux autres méthodes d'essai sont discutés.

Enfin, une brève revue des machines d'essai biaxiales et des différentes formes d'éprouvettes cruciformes trouvées dans la littérature est présentée.

Cette étude nous a permis de fixer notre choix sur une machine légère entièrement automatisée à axes horizontaux.

Chapitre II : Calcul et conception des éléments de la machine

Introduction :

Dans la création et la conception, l'état de l'art, la réflexion et l'esthétique jouent un rôle important. Donc dans ce chapitre nous avons conçu une démarche de dimensionnement de la machine en suivant les exigences imposées dans le cahier des charges.

II.1 Cahier des charges :

II.1.2 - Objectif :

Le but du travail est de faire la conception (CAO) d'une micromachine électromécanique compacte de traction bi-axiale entièrement automatisée basée sur des moteurs pas à pas à axes horizontaux pour matériaux polymères et pour éprouvettes cruciformes.

II.1.3 Contraintes et besoins liés au projet :

Les machines de traction bi-axiales sont classées selon la force de traction que peut développer la machine. Les différentes classes sont données sur le site web du constructeur Zwick Roell comme suit :

- Machines d'essais petite charge biaxiales avec quatre entraînements linéaires haute-résolution en position horizontale pour essais uniaxiaux et biaxiaux sur tissus élastiques en fibres naturelles et artificielles jusqu'à une force d'essais maximale de 200 N
- Machines d'essais biaxiales avec servo-vérin électromécanique en position horizontale pour essais de traction uniaxiaux ou biaxiaux sur films, papier, élastomères et matériaux biologiques jusqu'à une force d'essais maximale de 2 kN
- Machines d'essais biaxiales avec servo-vérin électromécanique en position verticale pour essais de traction uniaxiaux ou biaxiaux sur tôles, élastomères, plastiques et composants jusqu'à une force d'essais maximale de 50 kN
- Machines d'essais biaxiales, horizontales, pour essais de traction uniaxiaux ou biaxiaux sur tôles, élastomères, plastiques et composants jusqu'à une force d'essais maximale de 150 kN
- Machines d'essais biaxiales, verticales, pour essais de traction uniaxiaux ou biaxiaux sur tôles jusqu'à une force d'essais maximale de 250 kN

Notre machine travaille sur des films en polymère, on est donc dans la deuxième classe, donc la force d'essai maximale est 2 kN.

Pour collecter suffisamment de données afin de déterminer au mieux la loi de comportement du matériau, il faut choisir des vitesses de déformation qui soient adaptées au matériau utilisé. Nous fixons une plage de vitesse de fonctionnement de système allant de 0,5 mm/s jusqu'à 3,5 mm/s par pas de 0,5 mm/s.

Pour réaliser le test de traction bi-axial, il faut appliquer quatre forces sur des axes perpendiculaires. Il est donc prévu d'utiliser des éprouvettes cruciformes.

II.1.3 Diagramme Bête à corne :

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

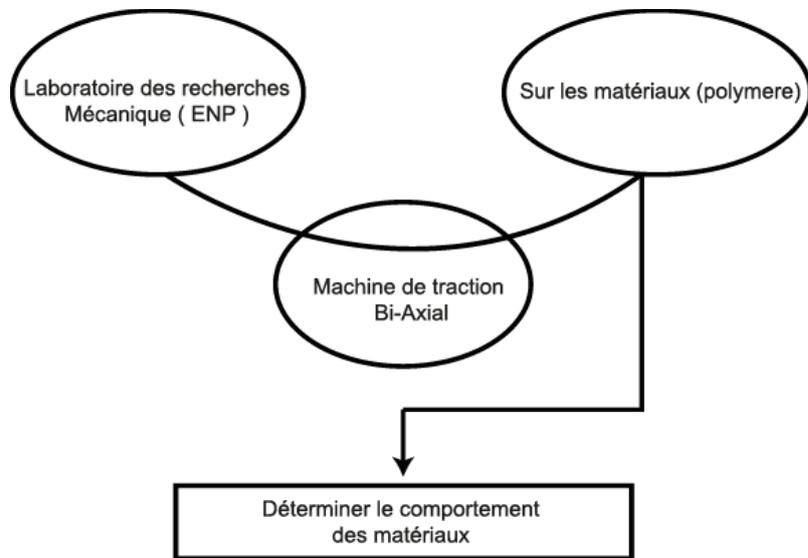


Figure II.11 Diagramme bête à corne.

II.1.4 Diagramme de pieuvre :

L'outil "diagramme pieuvre" est utilisé pour analyser les besoins et identifier les fonctions de service d'un produit. Le diagramme "pieuvre" met en évidence les relations entre les différents éléments du milieu environnant et le produit. Ces différentes relations sont appelées les fonctions de service qui conduisent à la satisfaction du besoin.

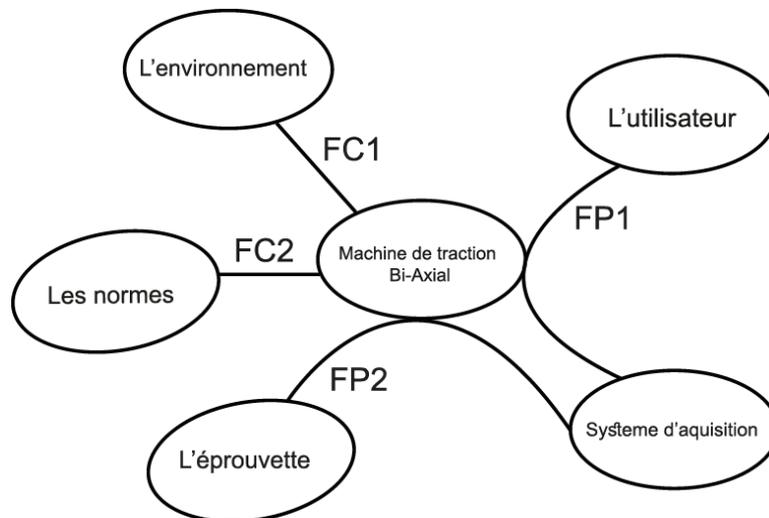


Figure II.12 Diagramme de pieuvre.

Tableau II.1 Descriptions des fonctions de diagramme de pieuvre.

	Fonction	Critère
FP1	Déterminer le comportement du matériau	Résultat expérimentale
FP2	Collection des données	Mesure déplacement
FC1	La résistance à l'environnement	Les effets du milieu ambiant
FC2	Respecter les normes	Les dimensions de l'éprouvette

II.1.5 Contraintes techniques :

- Le laboratoire du département de Génie Mécanique dispose d'un magasin de composants mécaniques et électriques. Afin d'optimiser au mieux les coûts de réalisation de la machine, on est amené à utiliser les moteurs, les mors, et les capteurs de force nous sont fournis par le département.
- Pour réaliser la traction, le mors serre l'éprouvette en se translatant pour tirer sur l'éprouvette. Comme le moteur fournit un mouvement de rotation, il est donc nécessaire de concevoir un mécanisme qui transforme le mouvement de rotation en un mouvement de translation.

II.2 Solutions techniques :

II.2.1 - Le choix du mécanisme :

Pour résoudre le problème de transformation de mouvement de rotation en translation, il existe différents systèmes mécaniques comme :

Bielle et manivelle :

- Avantages :

Ce mécanisme peut fonctionner à grande vitesse.

- Inconvénients :

Il y a beaucoup de frottement dû aux nombreuses articulations de ce système. Il faut alors beaucoup de lubrification.

Came et tige poussoir :

- Avantages :

Le rapport de vitesse est constant.

Ce système permet une réduction considérable de la vitesse.

Il permet des ajustements précis.

- Inconvénients :

Usure rapide

Calcul et conception des éléments de la machine

Un besoin constant de lubrification.

Difficile à construire.

Le risque de vibrations importantes est présent si la came tourne à grande vitesse.

Pignon et crémaillère :

- Avantages :

Aucun glissement

- Inconvénients :

Lubrification.

Demande un ajustement précis.

Il y a beaucoup d'usure.

Vis à billes :

- Avantages :

Ce mécanisme permet d'exercer des forces et des pressions importantes.

Il permet aussi des ajustements fins.

Peu de frottement

- Inconvénients :

Sa fragilité peut entraîner des problèmes de guidage.

Le système est lent à moins d'avoir un pas de vis important.

Conclusion : Le mécanisme est utilisé pour transmettre l'effort de traction sur l'éprouvette. Il est donc intéressant de choisir un mécanisme capable de transmettre des efforts importants afin de réaliser le test de traction.

Donc le choix le plus adapté aux besoins est : La vis à billes.

II.3 Schéma cinématique :

Lors d'une étude, un mécanisme est représenté sous la forme d'un dessin d'ensemble. Si le mécanisme est complexe, il sera utile de le schématiser et de le représenter sous forme d'un schéma cinématique :

Pour la conception de la machine nous avons utilisé SolidWorks 2020 et le complément SolidWorks Visualize pour le shooting des pièces.

SolidWorks est un logiciel de conception assisté par ordinateur appartenant à la société Dassault Systèmes. Il utilise le principe de conception paramétrique et génère trois types de fichiers qui sont liés : la pièce, l'assemblage, et la mise en plan. Ainsi toute modification sur un de ces trois fichiers sera répercutée sur les deux autres. Le fondateur Jon Hirschtick a commencé à travailler sur Solidworks en 1993 accompagné d'une équipe de développeur afin de rendre la CAO plus accessible. A partir de 1995, la première version du logiciel est lancée. En 1997, Dassault Systèmes devient actionnaire principal et continuera de développer les outils du logiciel.

Solidworks permet de réaliser de la modélisation 2D et 3D. Ce logiciel de CAO est réputé pour sa simplicité d'utilisation et se veut intuitif, le logiciel SolidWorks permet de :

Calcul et conception des éléments de la machine

- Concevoir des objets en 3D de manière très précise.
- Développer des produits.
- Vérifier la conception de votre fichier.
- Détenir une bibliothèque de vos fichiers 3D.
- Mettre en place des mises en plan 2D.
- Créer des images et animations de vos objets 3D.
- Estimer le coût de la fabrication de vos objets 3D.

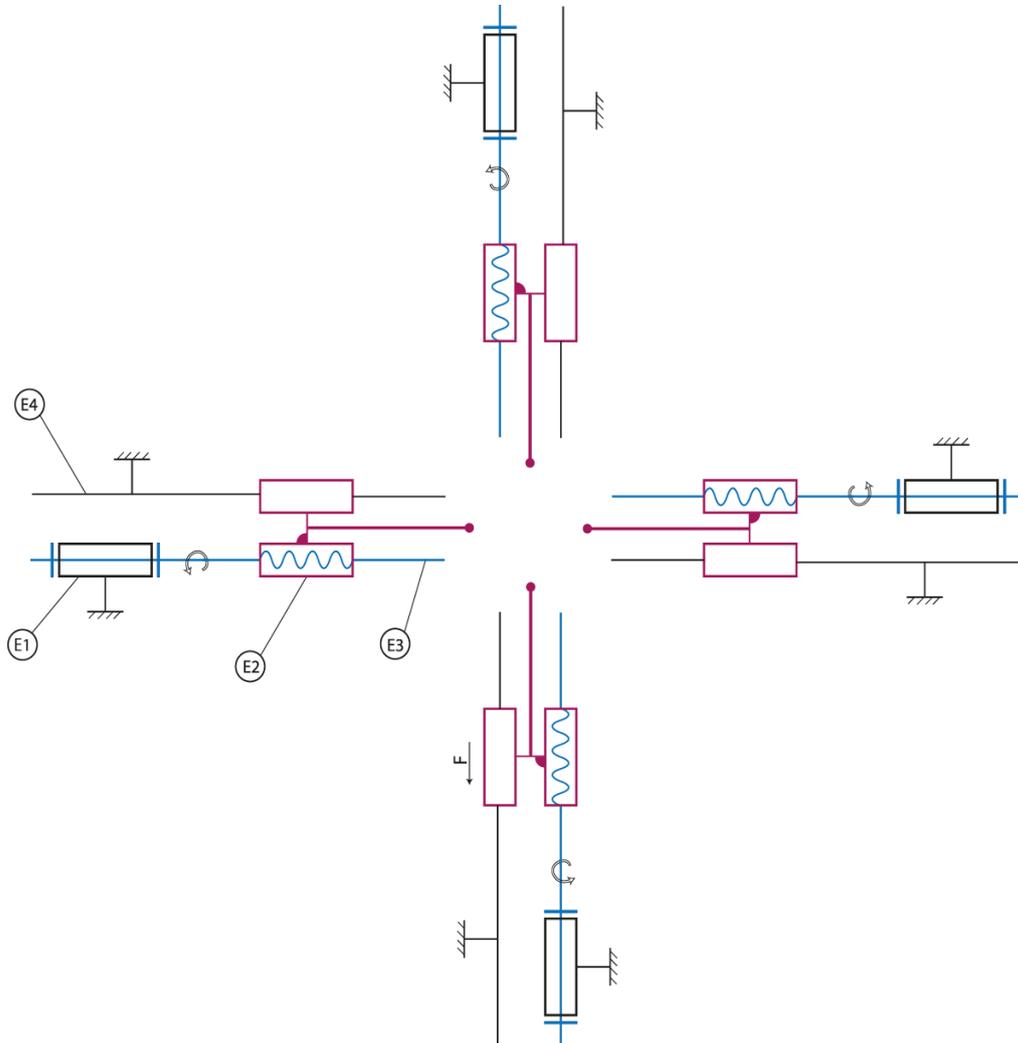


Figure II.13 Schéma cinématique.

Les classes d'équivalence :

- E1 : Bâti
- E2 : L'écrou, Capteur de force et le mors
- E3 : La vis
- E4 : Tiges de guidage

II. 4 Dimensionnement et conception de la machine :

Afin de dimensionner le système, à partir de la vitesse de déplacement, on choisit la vis à billes avec le pas. On calcule la fréquence de rotation maximale et minimale du moteur. Après l'emplacement de l'éprouvette cruciforme avec les dimensions normalisé, on vérifie les dimensions de la machine. On valide enfin des éléments de machine en vérifiant que la force de traction développée par la machine est inférieure à 2KN.

II.4.1 Choix de la vis à bille :

Pour faire des tests de traction, la vitesse et la course sont des paramètres inhérents à ces essais. Après avoir consulté les sites des fournisseurs, le pas le plus petit qu'on peut choisir c'est de 5 mm. La longueur de vis fixe la course du mors.

La vis qu'on a choisie est une SDK 1605 S. Le tableau suivant résume ses caractéristiques:

Référence écrou	Dimensions													Poids	
	Ø vis	Pas	Ø à fond de filet	Ø billes	D1 _{g6}	D6	L	L7	L0	L3	D5	D4	D7	Ecrou (Kgs)	Vis (Kgs/m)
SDK 1605 S	16	5	12.7	3.5	28	48	48,5	10	40	5.5	5.5	38	M6x1	0.25	1.2

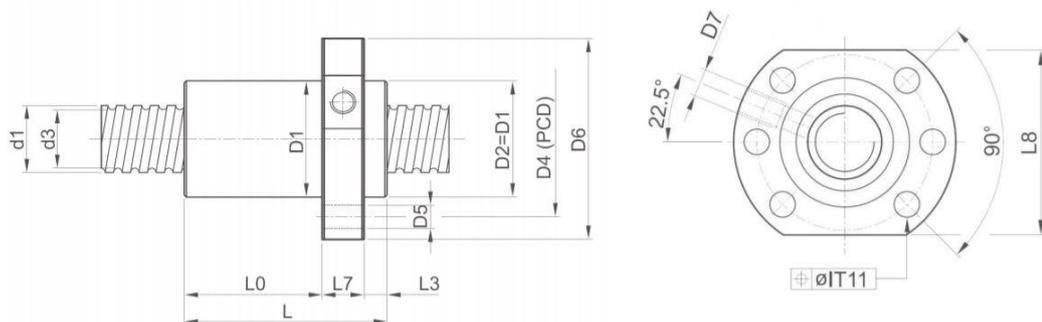


Figure II.14 Caractéristique de la vis à billes [10].

II.4.2 Choix de l'accouplement entre le moteur et la vis :

Un accouplement est un système mécanique permettant de transmettre la puissance et le couple d'un arbre moteur vers un arbre récepteur en rotation. Les arbres à accoupler sont rarement parfaitement alignés. Ainsi certains accouplements (accouplements élastiques, joints de cardan) sont utilisés afin de corriger les défauts d'alignement des arbres. La position relative des arbres à accoupler est donc une contrainte déterminante dans le choix des accouplements.

Il existe trois grandes catégories d'accouplements :

Calcul et conception des éléments de la machine

- Accouplement flexible : Ces accouplements sont moins conçus pour corriger les défauts d'alignement que pour réguler les variations de couple (amortissement des chocs et vibrations dans la transmission, lorsque le couple est pulsatoire par exemple).
- Accouplement rigide en torsion : sont composés de pièces rigides. Ils permettent de compenser les défauts d'alignement et de transmettre des couples élevés.
- Accouplement rigide : sont, comme leur nom l'indique, des accouplements rigides permanents. Ils ne permettent aucun désalignement, contrairement aux accouplements flexibles.

Dans notre cas on doit assurer la transmission du couple et compenser les défauts d'alignement entre l'arbre moteur et la vis. Notre choix s'est porté sur un accouplement rigide en torsion. On a choisi : un OLDHAM - OLD. Enfin, la taille de l'accouplement, traduite par les diamètres d'arbres d'entrée et de sortie, doit être assez grande pour prendre en compte deux axes. Plus le diamètre de l'accouplement augmente, plus la valeur de couple maximal augmente. Ainsi, accroître la taille d'un modèle donné est donne accouplement qui réponde a ces deux exigences. Cependant, choisir un accouplement plus grand que nécessaire est mauvais, car cela augmentera l'inertie de rotation et le coût. Le choix s'est dirigé sur le OLD 33 avec les caractéristiques suivantes:

DÉSIGNATION		DIMENSIONS								ØB alésage max.	* Moment d'inertie	* Masse g	Facteurs de correction selon température de 0 à 60° C : facteur : 1 de 60° à 85° C : facteur : 1,5 Moment d'inertie en $\text{kgm}^2 \times 10^{-8}$ Désignation OLD N° alésages Ex.: OLD 19 5 6 Les deux alésages pouvant être fournis à des dimensions différentes
OLD	N°	Alésages +					Ø D	L	L1				
type à serrage par mâchoires	19	4	5	6	8	19,1	26	9,4	7,2	8	59	13	
	25	6	8	10	12	25,4	32,4	11,6	9,2	12	252	31	
	33	8	10	12	14	33,3	48	15	18	14	1133	74	
	41	10	12	14	16	41,3	50,8	17,8	15,3	16	3177	142	
	50	16	19	20	24	50	59,6	20,6	18,4	25	7550	208	
	57	20	24	25	30	57,1	78	28,4	21,2	30	12410	361	
L1: Emmanchement maximal des arbres avec le disque standard L2: Distance minimale entre les arbres avec le disque standard										* : Valeurs applicables aux accouplements complets avec alésage maximum. + : Tolérance = $+0,03 / -0$			
Couples et décalages maximums													
N°	Couple de rupture statique Nm	Couple max. Nm	Décalages max. *			Vitesse maximale recommandée tr/mn							
			Angulaire	Radial mm	Axial mm								
19	10	1,6	1°	2	0,2	3000							
25	13	3,4	1°	2,8	0,2	3000							
33	53	9	1°	3,6	0,25	3000							
41	57	18	1°	4,5	0,25	3000							
50	95	26	1°	5,5	0,3	3000							
57	150	45	1°	6,3	0,3	3000							
* Valeurs maximales non simultanément cumulables Les accouplements peuvent résister à un minimum de 106 cycles d'inversion du couple à ces valeurs.													

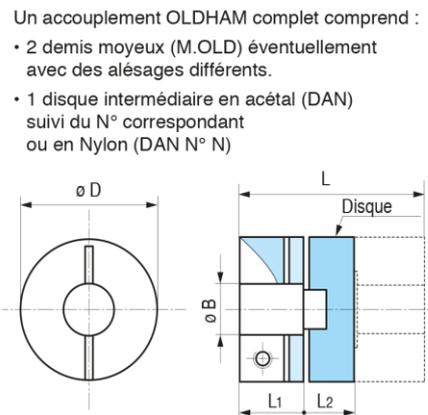


Figure II.15 Caractéristiques de l'accouplement [11].

II.4.3 Le système de guidage :

Après avoir assuré la rotation de la vis par l'accouplement avec l'arbre moteur, on s'intéresse au guidage linéaire. Pour la résolution de cette problématique, on a développé ce système mécanique :

Calcul et conception des éléments de la machine

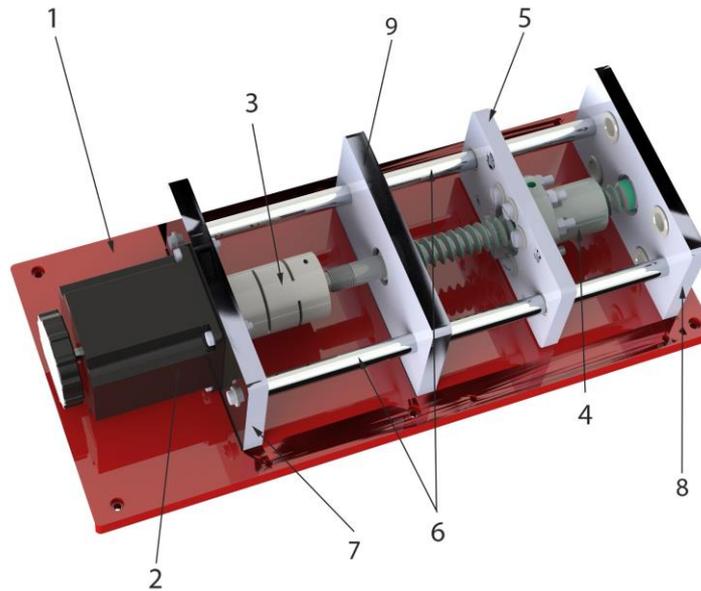


Figure II.16 Numérotation des pièces de système de guidage.

Le tableau suivant montre la nomenclature des pièces principales :

Tableau II.2 Nomenclature des pièces principales du système de guidage.

Numérotation	Désignation	Disponibilité
1	Support des plaques	Usinage
2	Moteur	Magasin de département
3	Accouplement	Achat
4	Vis à bille	Achat
5	Plaque de guidage	Usinage
6	Tiges de guidage	Usinage
7	Plaque de fixation TM	Usinage
8	Plaque de fixation TP	Usinage
9	Corps de palier	Usinage

Le tableau suivant énumère les organes d'assemblage et les paliers lisses :

Tableau II.3 Nomenclature des élément d'assemblages et palies lisses de système de guidage.

Pièce	Quantité
Vis m4x20	8
Vis m5x30	6
Ecrou m4-6	4

Ecrou m5-6	6
Rondelle pour vis m4	4
Rondelle pour vis m5	6
Clips	2
Roulements SKF rigides à billes à une rangée, Alésage Ø 10 mm, Ø Extérieur 26	2
C2-251 COUSSINET AUTOLUBRIFIANT À COLLERETTE EN BRONZE	2
CIRCLIPS EXTÉRIEUR POUR ARBRE Ø 9.3	2

II.4.3.1 Démarche de dimensionnement du système de guidage :

Pour dimensionner et développer le système de guidage il faut avoir en premier stade la conception 3D sur Solidworks de la vis à billes, le moteur, et l'accouplement et effectuer l'assemblage des trois pièces pour déterminer la longueur des tiges de guidage.

II.4.3.1.a La vis à bille :

La conception 3D de cette pièce a été disponible sur la plateforme **traceparts.com**. Ce site donne le modèle entier de l'assemblage vis-écrou à bille. On a juste généré le filetage de la vis avec le pas de 5mm.



Figure II.17 Vis à billes.

II.4.3.1.b L'accouplement :

Sur la plateforme traceparts.com, on a téléchargé le fichier 3D de la pièce, C'est un assemblage des trois parties coaxiales et bloquées entre elles. On a ajusté les alésages de l'accouplement à 8mm pour pouvoir entrer et serrer l'arbre du moteur et 10 mm pour le côté de la vis.

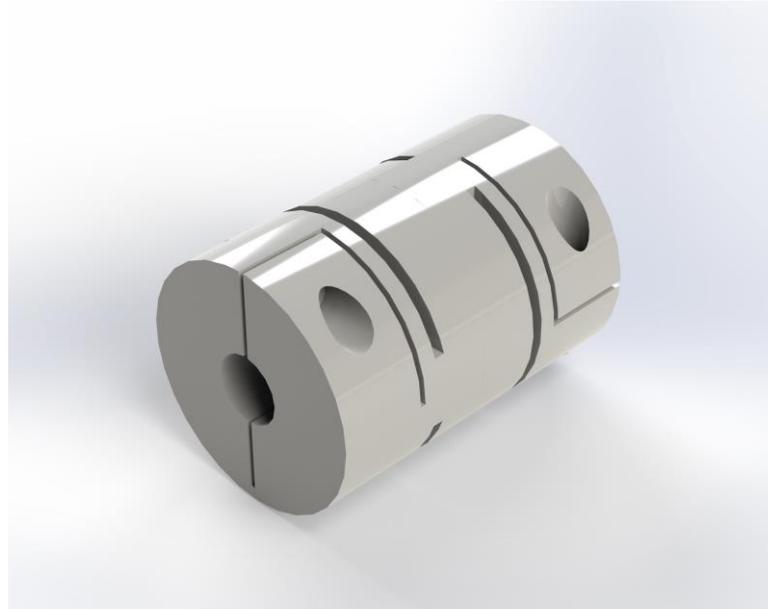


Figure II.18 Accouplement.

II.4.3.1.c Le moteur Nema 23 :

Le moteur Nema 23 disponible au département a les caractéristiques suivantes :

Longueur d'arbre:22 mm D simple plat

Diamètre d'arbre : 8 millimètres

Personnalisé : oui

Couple de maintien : 120 N.cm

Type : hybride

Phase : 2

Courant :3A

Certification : CCC, CE.

Pas : 1.8 degrés

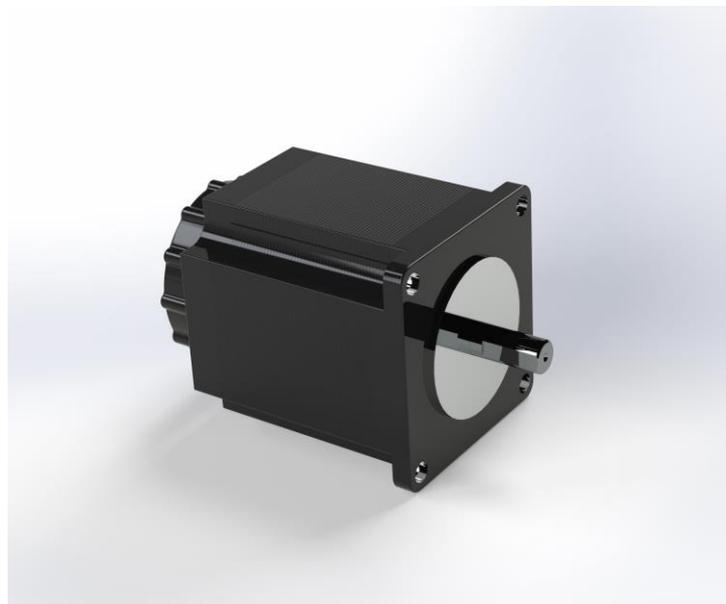


Figure II.19 Moteur Nema 23.

II.4.3.1.d Assemblage A :

L'assemblage a été effectué sur SolidWorks. Pour assurer la coaxialité des éléments et fixer l'accouplement entre la vis à bille et le moteur. On a obtenu la transformation de mouvement vers la vis, mais on n'a pas eu encore le mouvement de translation.

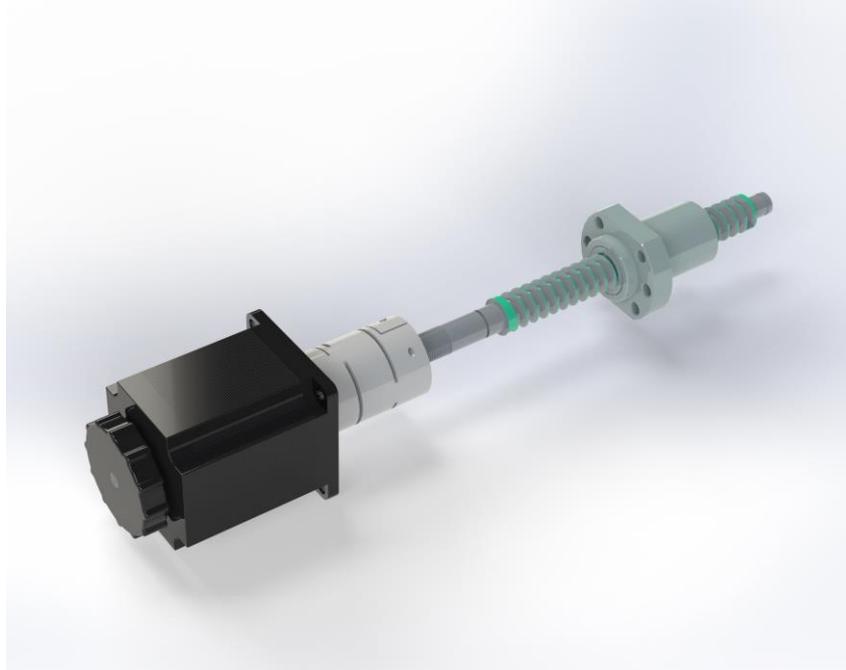


Figure II.20 Assemblage A.

II.4.3.1.e Plaque de guidage :

La conception du système de guidage linéaire commence par la conception d'une plaque de guidage en acier A60 montée sur l'écrou de la vis à billes avec six vis m5x30 et six écrous m5x6 et glisse sur deux tiges de 13 mm de diamètre utilisant des coussinets autolubrifiants. Les dimensions de la plaque sont ajustées après avoir terminé le dimensionnement du système de guidage pour donner à cette pièce la liberté de translation.



Figure II.21 Plaque de guidage.

II.4.3.1.f Tige de guidage :

La mesure de la distance entre le moteur et la fin de la vis donne 231.68 mm comme une longueur des tiges de guidage. Pour assurer la rigidité du système et supprimer les défauts d'alignement on a choisi un diamètre de 13mm et l'acier inoxydable comme matériau de construction pour éviter l'oxydation et la défaillance des pièces. Les tiges sont des taraudées m4 de 20 mm de profondeur pour la fixation.



Figure II.22 Tige de guidage.

II.4.3.1.e Assemblage B :

Le montage des pièces précédentes donne le résultat suivant. Il reste à bloquer le mouvement de rotation de l'ensemble tiges-plaque de guidage pour que cette dernière puisse de glisser le long des tiges. Il faut aussi immobiliser le moteur et amortir les vibrations résultantes lors du fonctionnement du système.

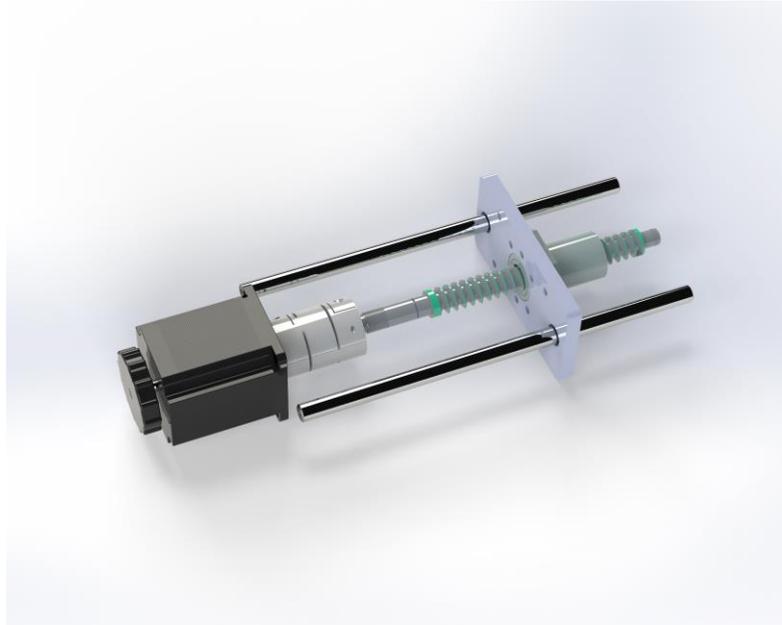


Figure II.23 Assemblage B.

II.4.3.1.f Plaque de fixation TM :

La pièce sert à fixer l'extrémité gauche des deux tiges de guidage grâce à deux vis m4x20 et deux rondelles pour vis m4, et fixer aussi le moteur avec quatre vis m4x20 et quatre écrou m4x6. Elle est fabriquée en acier A60 par fraisage et perçage. La plaque doit couvrir la face du moteur et dispose d'un trou centré pour permettre l'accouplement moteur-vis à billes et deux centrages courts servent à diriger la fixation des tiges.



Figure II.24 Plaque de fixation TM.

II.4.3.1.g Montage et choix des roulements :

Un montage de roulements soutient et positionne un arbre, radialement et axialement, par rapport à d'autres composants, tels que des paliers. En général, deux appuis équipés de roulement sont

nécessaires. En fonction de certaines exigences, comme la rigidité ou la direction des charges, un appui peut être constitué d'un ou de plusieurs roulements.

Les montages de roulements, constitués de deux appuis, peuvent présenter différentes configurations :

- montages avec fixes/libres
- montages en opposition, ajustés axialement
- montages en opposition, flottants axialement

La configuration adéquate pour notre mécanisme est le montage de roulements en opposition, avec ajustement axial car :

Dans les montages de roulements en opposition avec ajustement axial, l'arbre est arrêté axialement dans un sens par le roulement d'un des appuis et dans le sens opposé par l'autre (monté en opposition). Ces montages nécessitent un réglage correct du jeu ou de la précharge lors du montage.

Cette disposition est généralement utilisée pour des arbres courts, où la dilatation thermique n'a qu'un effet mineur.

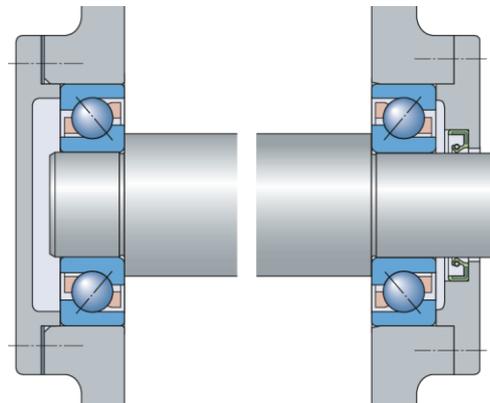


Figure II.25 Montage de roulements en opposition, avec ajustement axial.

Les roulements les plus appropriés sont :

- roulements à billes à contact oblique.
- roulements à rouleaux coniques.

On a choisi des roulements à billes à contact oblique.

II.4.3.1.h Plaque de fixation TP :

Plaque contient deux centrage courts pour orienter la fixation des tiges de guidages avec deux vis m4x20 et rondelles pour vis m4 et un trou centré au milieu de la pièce sert à monter le roulement de ce côté.



Figure II.26 Plaque de fixation TP.

II.4.3.1.i Corps de palier :

Afin de répondre aux besoins de montage de roulements en opposition, avec ajustement axial, nous avons intégré une plaque percée au centre répondant aux dimensions des roulements et deux perçages pour renforcer le guidage des tiges.

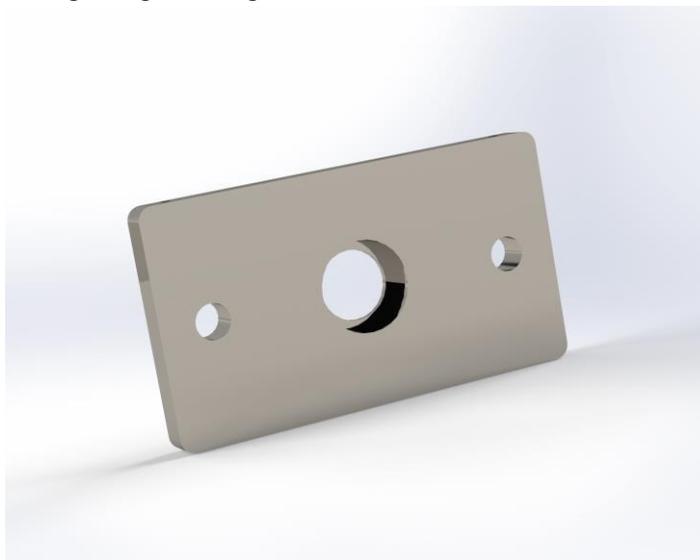


Figure II.27 Corps de palier.

II.4.3.1.j Assemblage C :

Le montage des trois pièces précédentes avec l'assemblage c aboutit à l'assemblage ci-dessous. A cette étape, le mouvement de translation est assuré, mais la rigidité de système est faible. Il faut bloquer le déplacement de plaques dans les directions x et y.

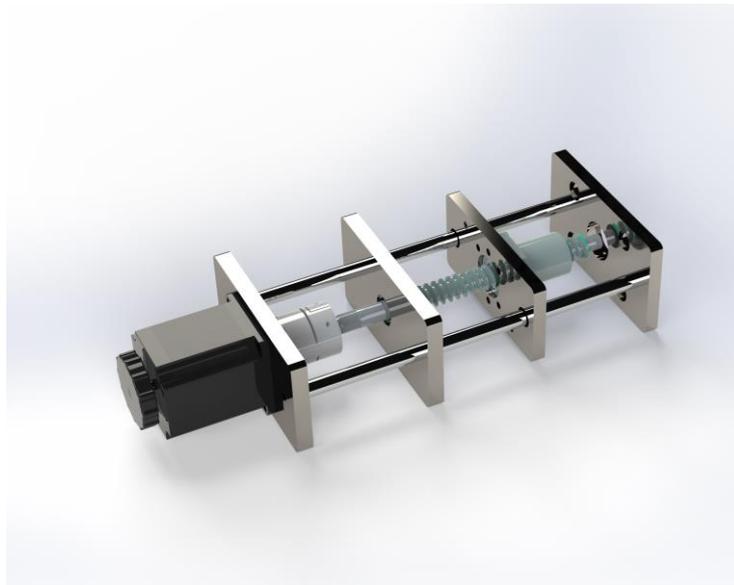


Figure II.28 Assemblage C.

II. 4.3.1.k Support des plaques :

Pour la résolution du problème de rigidité du système, on a conçu un support contenant des lamages bloquant les plaques dans les deux directions. La fixation est réalisée avec six vis m3x20 (deux vis pour chaque plaque). Un lamage est réalisé pour loger un amortisseur de vibration due au moteur en en fibre de verre, La plaque dispose aussi de taraudages servant à monter tout le système avec le bâti de la machine et fixer le carter de protection.



Figure II.29 Support des plaques.

II.4.3.1.1 Amortisseur de vibration :

L'amortissement des vibrations pour les machines et les équipements dissipe l'énergie potentiellement dommageable qui peut réduire la durée de vie et desserrer les fixations. La vibration, générée par un mouvement de va-et-vient ou une oscillation, produit également du bruit. Les amortisseurs de vibrations sur mesure, i.e., une sorte d'isolation acoustique, aident à résoudre ces

problèmes même si la présente machine a entraînement électromécanique conçue avec des éléments performants ne provoquent pas beaucoup de bruits.

Les amortisseurs en fibre de verre sont fabriqués à partir d'un plastique renforcé composé de fibres de verre incorporées dans une matrice de résine. Pour des performances d'amortissement optimales, les deux couches extérieures de la fibre de verre peuvent avoir la même épaisseur. Les applications incluent les capots acoustiques et les boîtiers.

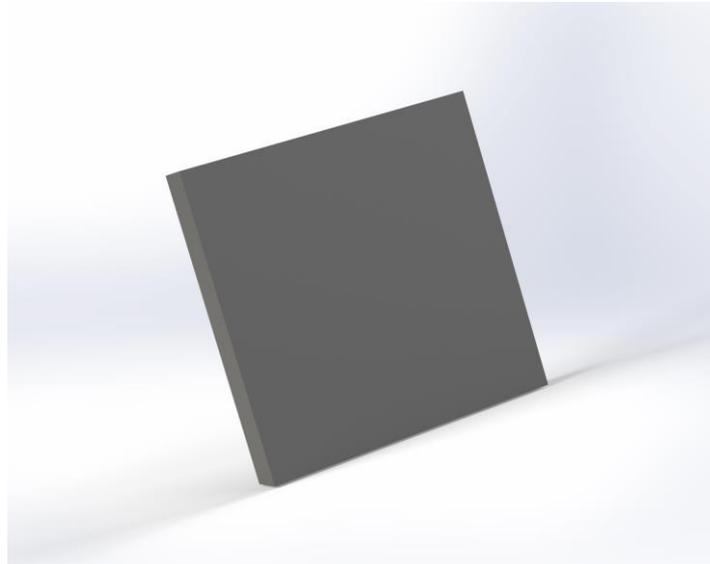


Figure II.30 Amortisseur de vibration.

II. 4.4 - Le système de traction :

Après avoir transformé le mouvement rotatif en un mouvement de translation, on passe à transformer le couple du moteur en une force de traction exercée sur l'éprouvette cruciforme et serrée par les mors. Les quatre tiges liées sur la plaque de guidage éliminent l'effet de flexion causé par le poids du capteur et du mors. Le capteur de force, monté entre le mors et la plaque mesure la force de traction.

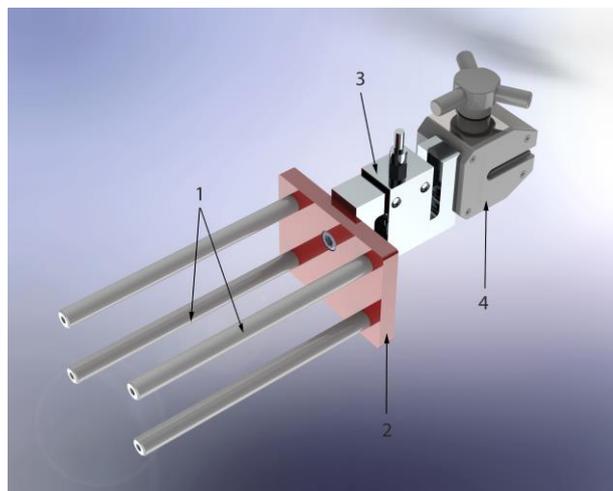


Figure II.31 Système de traction.

Le tableau suivant montre la nomenclature des pièces principales :

Tableau II.4 Nomenclature des pièces du système de traction.

Numérotation	Désignation	Disponibilité
1	Tige de traction	Usinage
2	Plaque de fixation de capteur de force	Usinage
3	Capteur de force	Magasin de département
4	Mors	Magasin de département

Le tableau suivant montre les organes de montage et les paliers lisses de système de traction :

Tableau II.5 Les organes d'assemblage de système de traction.

Pièce	Quantité
Vis m4x20	8
Rondelle pour vis m4	8
Vis sans tête à 6 pans creux m12x25	1
Adaptateur mors-capteur de force	1
C2-251 COUSSINET AUTOLUBRIFIANT À COLLERETTE EN BRONZE	4

II.4.4.1 Explication et démarche de dimensionnement du système de guidage :

II. 4.4.1.a Tiges de traction :

Quatre tiges en acier inoxydable fixées sur la plaque de guidage par quatre vis m4x20 et 4 rondelle pour m4, sont utilisés pour tirer sur la plaque avec le capteur de force. Elles traversent la plaque de fixation TP et glissent sur des coussinets auto lubrifiants



Figure II.32 Tige de traction.

II. 4.4.1.b Plaque de fixation du capteur de force :

Cette pièce glisse sur les quatre tiges de traction et est serrées par quatre vis m4x20. Elle sert aussi à fixer le capteur de force par une vis sans tête à 6 pans creux m12x25.

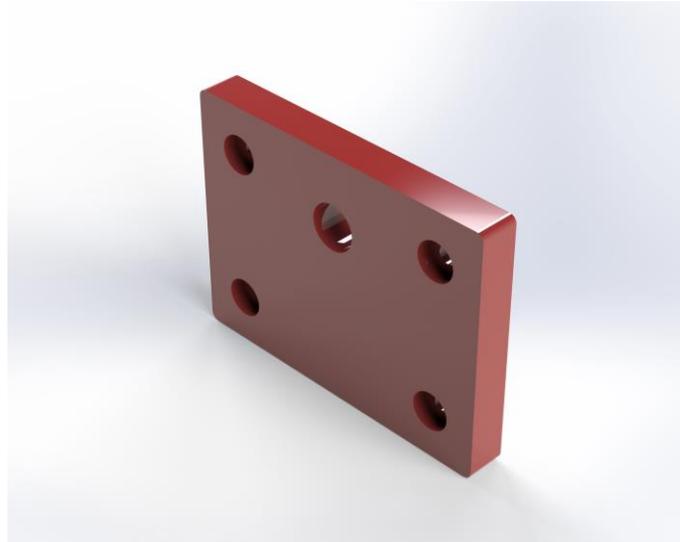


Figure II.33 Plaque fixation de capteur de force.

II. 4.4.1.c Capteur de force :

Un capteur de force est un transducteur convertissant une force en un signal électrique mesurable. Bien qu'il existe une grande variété de capteurs, les capteurs force à jauges de deformation sont les plus utilisés.

De nos jours, à part certains laboratoires où les balances mécaniques de précision sont toujours en utilisation, les capteurs de force à jauge de déformation dominent le secteur de pesage. Les capteurs de force hydrauliques sont considérés dans des endroits à distance, vu qu'ils ne nécessitent aucun bloc d'alimentation.

Le capteur choisi est un capteur de force en S avec les caractéristiques techniques suivantes :

- Haute résolution : jusqu'aux 10.000 points (étendue totale de mesurage)
- Fréquence de mesure interne : 2000 Hz
- Précision : 0,5 % du [Max]
- Protection de surcharge : 150 % du [Max]
- Dimensions boîtier L×P×H 66×36×230 mm
- Fonctionnement avec accu interne, en série, durée de service jusqu'à 12 h sans rétro- éclairage, durée de charge env. 4 h
- Anneaux d'attelage et plaques de compression fournis

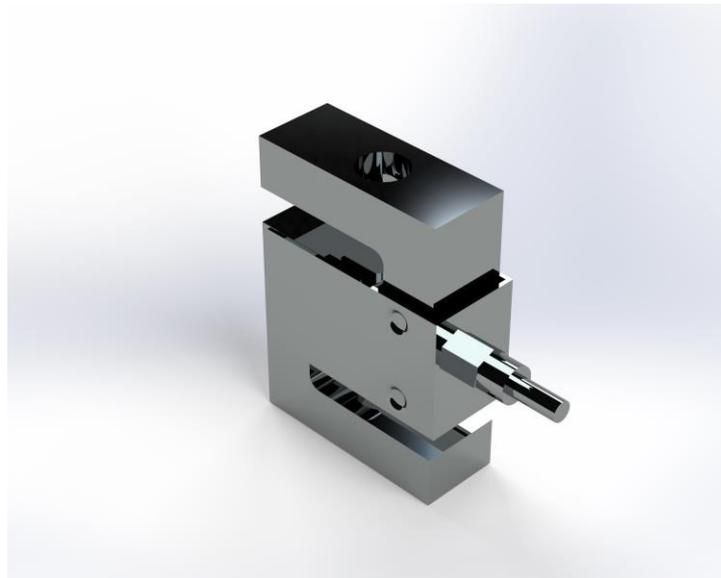


Figure II.34 Capteur de force.

II. 4.4.1.d Le mors :

Le G1061 Self-Tightening Wedge Grip, 1200 lb cap (Mark 10 Force Gauge Attachements) est un mors idéal pour une gamme d'exigences d'essais de traction. Les mâchoires en acier dentelées s'ouvrent facilement grâce à un bouton ergonomique à ressort et un mécanisme de type crémaillère et pignon. Les mâchoires roulent sur des rouleaux au lieu de glisser le long de la surface du boîtier. Cette conception unique empêche le pincement et améliore les caractéristiques de préhension.



Figure II.35 Mors.

II. 4.4.1.e Assemblage du système de guidage-traction:

Nous présentons la partie principale de la machine. Elle assure et capte le déplacement linéaire et la force de traction. Le système est reproduit sur quatre axes pour réaliser une traction biaxiale de l'éprouvette cruciforme.

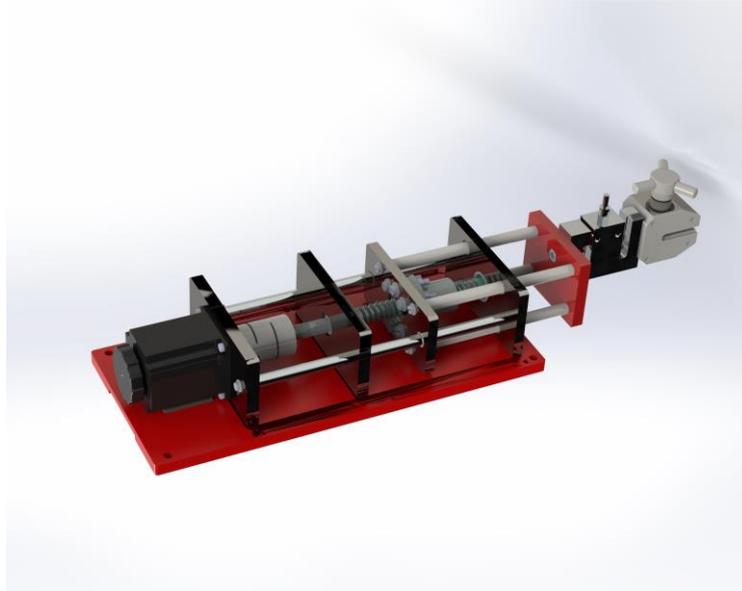


Figure II.36 Système guidage-traction.

II. 4.5 Montage final de la machine :

Le montage de la machine est basé sur les dimensions normalisées de l'éprouvette cruciforme car il faut que la distance entre les mors soit optimale pour monter l'éprouvette. Dans ce montage, il faut assurer aussi la perpendicularité des quatre éléments principaux.

II. 4.5.1 L'éprouvette cruciforme :

Après une recherche bibliographique, les dimensions normalisées de l'éprouvette cruciforme sont données. Le repérage entre l'intersection des axes et le centre de l'éprouvette doit être bien repéré.



Figure II.37 Epreuve cruciforme.

II. 4.5.2 Bâti de la machine :

Pour bien fixer l'ensemble guidage-traction, un bâti pour la machine a été conçu en prévoyant des blocs de positionnement et des perçages pour fixer les quatre supports des plaques par vis 'quatre vis m4x20 (six vis pour chaque support). Ce bâti est en acier et est obtenu par découpe plasma.



Figure II.38 Bâti de la machine.

II. 4.5.3 Carter de protection :

Un élément est nécessaire pour couvrir le mécanisme du système pour assurer la protection des organes interne, notamment la vis à billes, les roulements et les coussinets contre tous facteurs externes nocifs et pour assurer aussi la sécurité de l'utilisateur. Cette pièce est fabriquée par une tôle d'alucobonde et est montée sur le support par six vis m4x12.

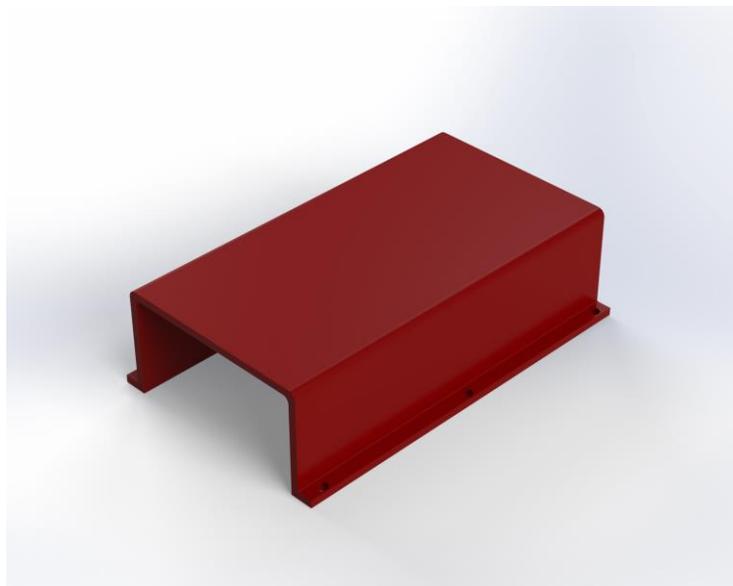


Figure II.39 Carter de protection.

II. 4.5.4 Assemblage final de la machine :

On commence l'assemblage par insérer le modèle 3D du bâti sur SolidWorks. On importe les quatre éléments de système guidage-traction en utilisant les contraintes disponibles sur logiciel en disposant chaque élément sur le bâti qui donne le résultat suivant :

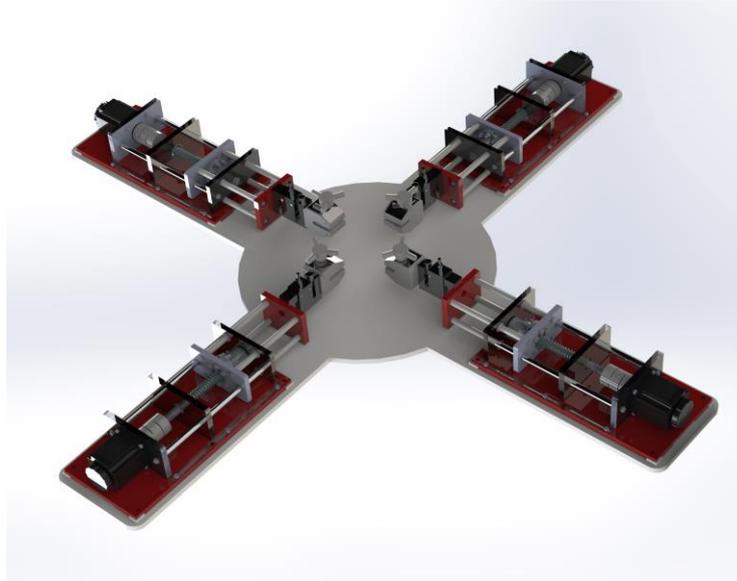


Figure II.40 Montage finale de la machine sans carter de protection.

Pour finaliser le montage, on pose les carters sur les quatre éléments principaux de la machine. L'aspect final de la machine est donné sur la figure ci-dessous.

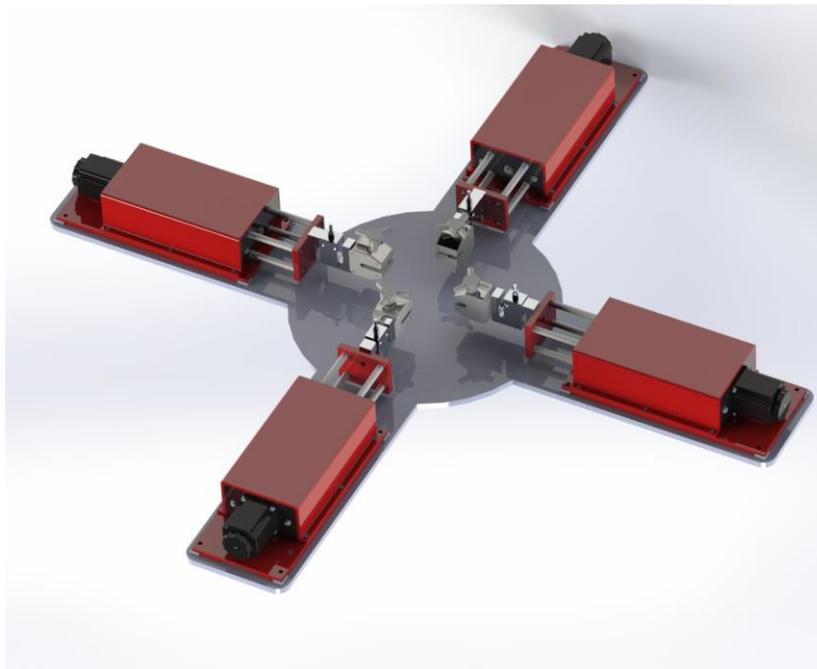


Figure II.41 Montage final de la machine.

Afin de valider les dimensions de la machine, on importe le model 3D de l'éprouvette cruciforme sur SolidWorks dans le fichier de l'assemblage final de la machine ou les mors sont déjà dans la position zéro. Après avoir disposé l'éprouvette dans sa position optimale, veille a ce que le centre de l'éprouvette soit coïncide avec l'intersection des axes des mors et satisfait les conditions de tractions.

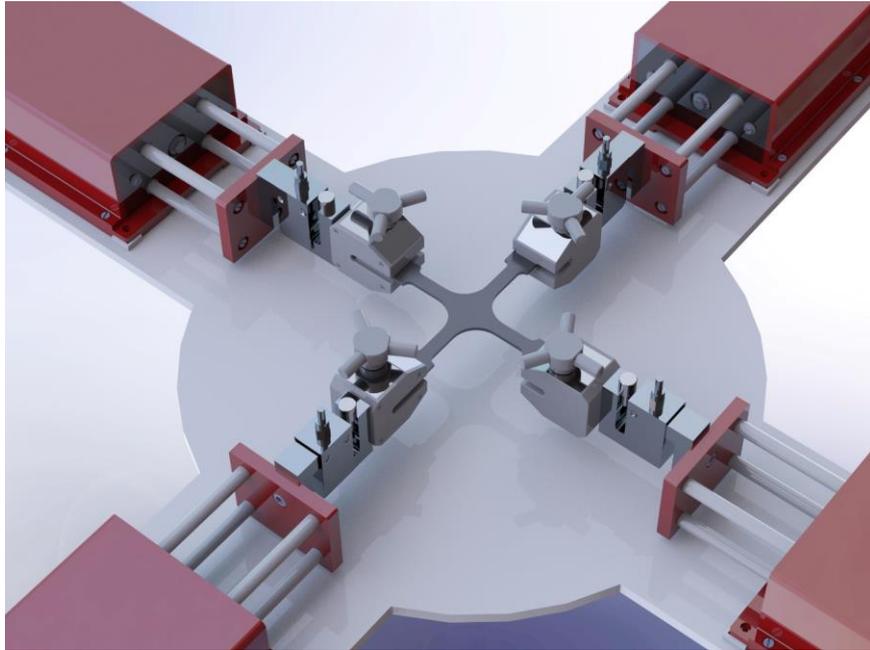


Figure II.42 Montage de l'éprouvette cruciforme.

II. 5. Calcul des caractéristiques de machine :

Afin de valider le choix du moteur et la conception du système de guidage-traction, on calcule la force de traction développée par la machine. Elle doit avoisiner les 2KN. Pour pouvoir réaliser le contrôle du moteur on doit trouver la fréquence de rotation maximale et minimale de fonctionnement et on mesure la course du mors pour savoir le déplacement maximal d'un point bien défini de l'éprouvette.

II. 5.1 La force de traction développée par la machine :

La force obtenue avec les caractéristiques donnée est donne par la relation suivante [4] :

$$f = \eta_T \times \frac{2\pi M}{P}$$

1

$$\eta_T = \eta_v \times \eta_c^6$$

$$f = \eta_v \times \eta_c^6 \times \frac{2\pi M}{P}$$

$$= 0.98^7$$

$$= 0.868 \times \frac{2 \times \pi \times 1.2}{5 \times 10^{-3}}$$

$$f = 1.3 \text{ KN}$$

f : Force développée par la machine (N).

η_{T} : Rendement total du système.

M : Couple de moteur (N.m).

P : Le pas de la vis.

η_{v} : Rendement de la vis.

η_{c} : Rendement du coussinet.

II. 5.2 La fréquence de rotation du moteur :

On sait que la vitesse de test V est comprise entre 0.5 et 3 mm/s donc :

$$V = \frac{\pi \times N}{60} \quad \rightarrow \quad N = \frac{60 V}{\pi} \quad 2$$

$$N_{\text{min}} = \frac{60 V_{\text{min}}}{\pi} = 6 \text{ tr/min}$$

$$N_{\text{max}} = \frac{60 V_{\text{max}}}{\pi} = 36 \text{ tr/min}$$

$$N_{\text{moy}} = 21 \text{ tr/min}$$

V : Vitesse de test (mm/s).

N_{min} : Fréquence minimale du moteur (tr/min).

N_{max} : Fréquence maximale du moteur (tr/min).

N_{moy} : Fréquence moyenne du moteur (tr/min).

II. 5.3 Course du test :

C'est la distance parcourue par le mors.

$$C_m = 83 \text{ mm}$$

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté la démarche de dimensionnement et de conception des éléments de la machine en se basant sur la problématique discutée précédemment dans le cahier de

Calcul et conception des éléments de la machine

charge. En premier lieu on a utilisé les modèle 3D des équipements mécanique et électrique fournis par le département comme des données de départ de conception. Les moteurs pas a pas constituent une bonne alternative pour obtenir une machine compacte et silencieuse. Les éléments conçus sont faciles à réaliser. La problématique du positionnement de l'éprouvette cruciforme pour réussir l'essai biaxial est primordiale. La machine est dimensionnée pour faire des essais en charge allant à 2kN..

Chapitre III : Réalisation de la machine :

Introduction :

La réalisation de la machine est le fruit des efforts fournis dans la partie de conception et de dimensionnement. Dans ce chapitre on propose la démarche dans le but de réaliser la machine en identifiant toutes les pièces qui composent la machine, l'état de disponibilité, la procédure de fabrication et faire les dessins de définition pour chaque pièce à usiner.

On distingue donc trois types de pièce : les pièces fournis par le département GM, les pièces à acheter et finalement les pièces à usiner.

III.1 Les pièce fournis par le département GM :

Le tableau suivant montre les différentes pièces disponibles au niveau du département :

Tableau III.6 Les pièces fournis par le département GM.

Accessoires	Quantité demandée	Quantité disponible
Moteur Nema 23	4	4
Capteur de force	4	0
Mors	4	2

III.2 Les pièces à acheter :

Tableau III.7 Les pièces à acheter.

Pièce	Quantité	Prix U (da)	Prix Total (da)
Vis à bille	4	10 000	40 000
Accouplement	4	3 000	12 000
CIRCLIPS EXTÉRIEUR POUR ARBRE Ø 9.3 mm	8	50	400
Roulements SKF rigides à billes à une rangée, Alésage Ø 10 mm, Ø Extérieur 26 mm	8	400	3 200
Rondelle pour vis m4	48	3	144
Vis m4x20	64	5	320
C2-251 COUSSINET AUTOLUBRIFIANT À COLLERETTE EN BRONZE	24	150	3 600
Rondelle pour vis m5	24	4	96
Ecrou m5x6	24	5	120
Vis m5x30	24	5	120
Ecrou m4x6	16	5	80
Vis m4x12	24	6	144
Vis m3x20	24	6	144

Montant total des pièces à acheter : 60 368 DA

III.2.1 Calcul de durée de vie de vis à bille [5] :

- Durée de vie de la vis à bille :

$$L = \left(\frac{c}{F}\right)^3 \times 10^6 \quad 3$$

$$L_h = \frac{L}{60 \times N_{moy}}$$

$$c = 9500 \text{ N}$$

$$F = F_a + F_r + 2\pi \times \frac{M}{r}$$

$$F_a = 1300 \text{ N}$$

$$F_r = 0 \text{ N}$$

$$F = 2808 \text{ N}$$

$$L = 39.10^6 \text{ tours}$$

$$L_h = 30734 \text{ h}$$

III.2.2 Calcul de durée de roulement :

- Durée de vie des roulements [6] :

$$L_{10} = \left(\frac{K \times C_{33}}{P_e}\right)^3 \quad 4$$

$$P_e = X F_r + Y F_a, \quad K = i^{0.7}$$

$$L_{10h} = \frac{L_{10} \times 10^6}{60 \text{ N}}$$

$$F_a = F_{a \text{ ext}} = 1300 \text{ N}$$

$$F_r = 0 \text{ N}$$

$$P_e = 1550 \text{ N}$$

$$L_{10} = 30.10^6 \text{ tours}$$

$$L_{10h} = 23705 \text{ h}$$

L : Duré de vie (tour).

c : Capacité de charge dynamique (N).

L_h : Duré de vide (heure).

F : Force totale.

Réalisation de la machine

F_a : Force axiale.

F_r : Force radiale.

L_{10} : Durée de vie théorique de base (tours).

K : rapport de viscosité.

C_{33} : Capacité de charge dynamique d'un roulement (N).

P_e : Charge dynamique équivalente sur le palier (N).

III.3 Les pièces à usiner :

Le tableau suivant montre les pièces à fabriquer avec la Méthode d'usinage et le matériau.

Tableau III.8 Les pièces à usiner ou à confectionner.

La pièce	Quantité	Matériau	Méthode d'usinage
Support des plaques	4	A60	Fraisage-perçage
Plaque de fixation TM	4	A60	Fraisage-perçage
Plaque de fixation PM	4	A60	Fraisage-perçage
Plaque de guidage	4	A60	Fraisage-perçage
Plaque de fixation de capteur de force	4	A60	Fraisage-perçage
Corps de palier	4	A60	Fraisage-perçage
Tige de guidage	8	Acier inoxydable	Tournage
Tige de traction	16	Acier inoxydable	Tournage
Carter	4	Alucobond	Pliage
Amortisseur de vibration	4	Fibre de verre	Découpe
Adaptateur mors-capteur de force	4	A60	Tournage
Bâti de la machine	1	A60	Découpe plasma

III.3.1 Les dessins de définition des pièces à usiner :

Les dessins de définition sont les documents qui permettent à l'opérateur sur machine de fabriquer et de vérifier le produit que le designer industriel a conçu. Il assure la communication graphique entre le designer et le fabricant (les dessins sont en annexes).

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons répondu aux besoins de réalisation de la machine. Nous avons exploité au maximum, selon les pièces disponibles, afin de concevoir une machine de traction biaxiale compacte et à moindre coût. Les accessoires à acheter et les pièces à réaliser par usinage et découpe sont bien identifiés grâce aux dessins de définition et le renvoi aux catalogues. Un calcul des coûts est fait qui montre que la machine pourra être réalisée avec un très faible coût. Elle peut être opérationnelle pour les TP en RDM et la caractérisation de polymères dans le cadre de la recherche. Elle est compacte et légère et facilement transportable.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le département de génie mécanique mène des études sur le composite et polymères qui demande des essais biaxiaux.

Afin de représenter le comportement réel du matériau soumis à un état de contrainte multi-axiale lors d'applications réelles, un aperçu des techniques de test biaxial est présenté. Les avantages de l'essai biaxial dans le plan sur des éprouvettes cruciformes plates par rapport aux autres méthodes sont évidents.

Cette étude nous a permis de fixer notre choix sur une machine légère entièrement automatisée à axes horizontaux.

Il est intéressant de choisir un mécanisme capable de transmettre des efforts importants afin de réaliser le test de traction. Donc le choix le plus adapté aux besoins est : La vis à billes.

Les moteurs pas à pas constituent une bonne alternative pour obtenir une machine compacte et silencieuse. Les éléments conçus sont faciles à réaliser.

La problématique du positionnement de l'éprouvette cruciforme pour réussir l'essai biaxial est primordiale. La machine est dimensionnée pour faire des essais en charge allant à 2kN.

Nous avons répondu aux besoins définis de réalisation de la machine. Nous avons exploité au maximum, selon les pièces disponibles, afin de concevoir une machine de traction biaxiale compacte et à moindre coût.

Les accessoires à acheter et les pièces à réaliser par usinage et découpe sont bien identifiés grâce aux dessins de définition et le renvoi aux catalogues.

Un calcul des coûts est fait qui montre que la machine que la machine pourra être réalisée avec un très faible coût.

Elle peut être opérationnelle pour les TP en RDM et la caractérisation de polymères dans le cadre de la recherche. Elle est compacte, légère et facilement transportable.

Une caméra avec traitement d'image peut être utilisée pour accéder facilement aux déformations

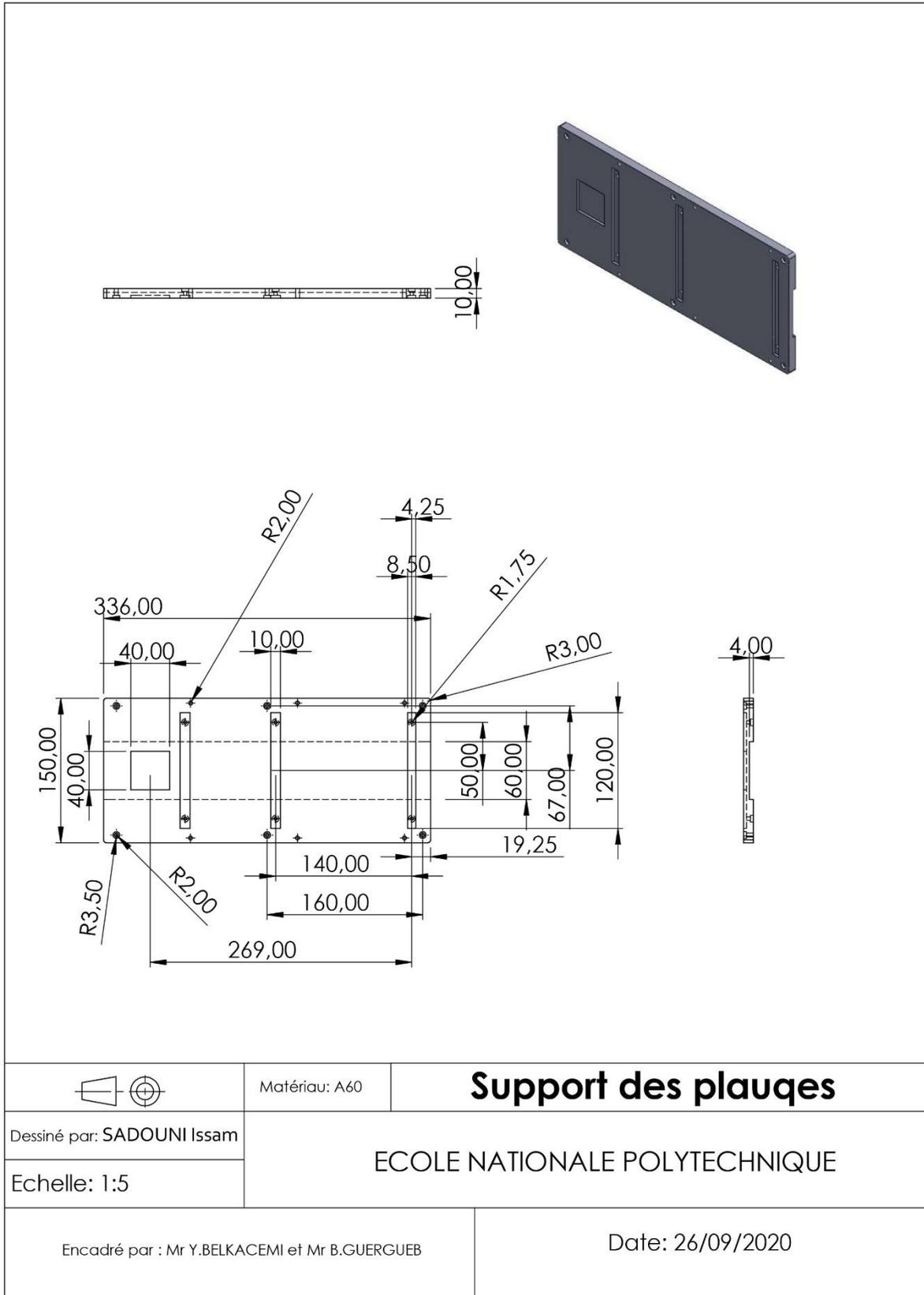
Afin de compléter cette étude, un travail sur la partie commande est souhaité.

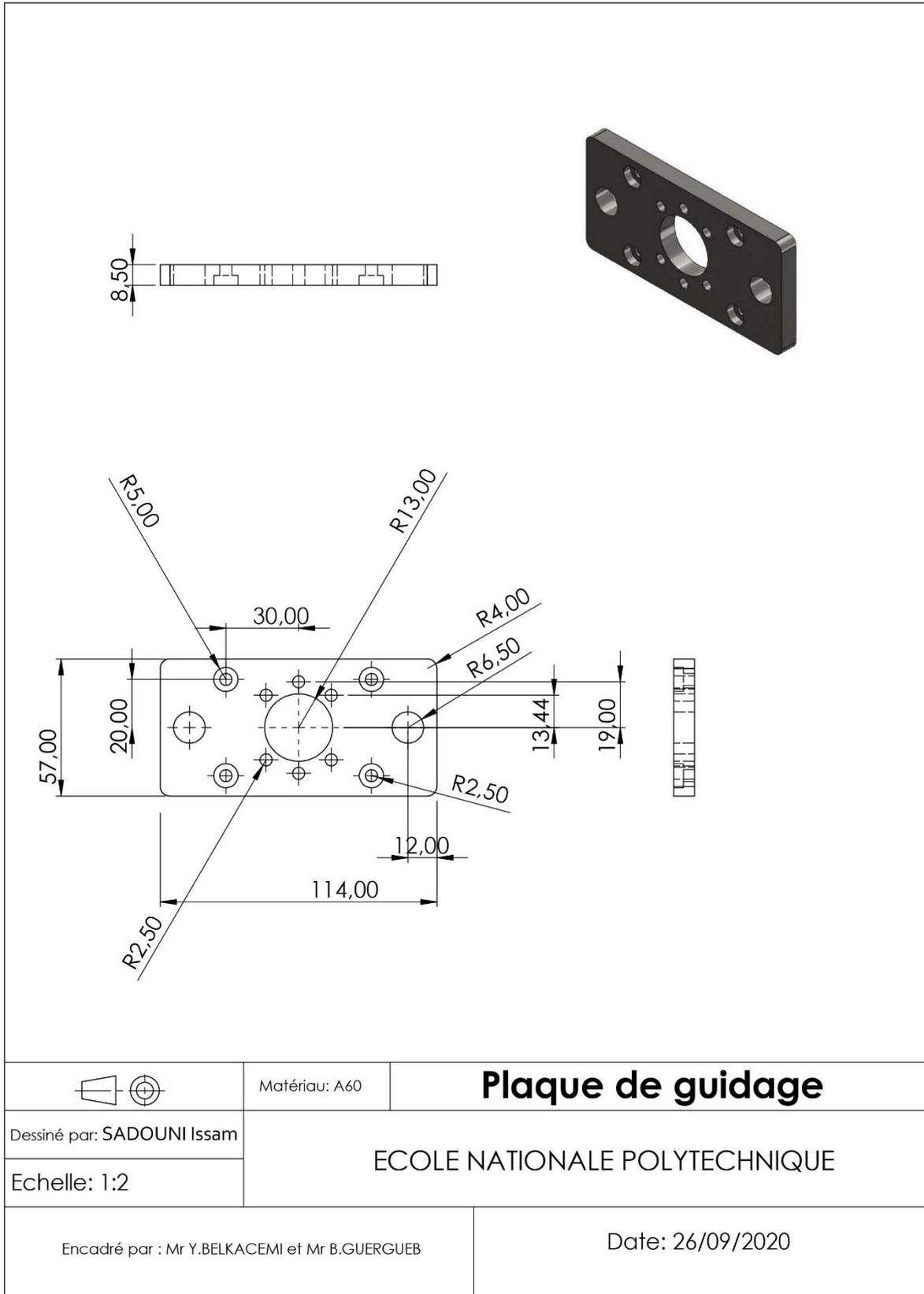
Références bibliographiques :

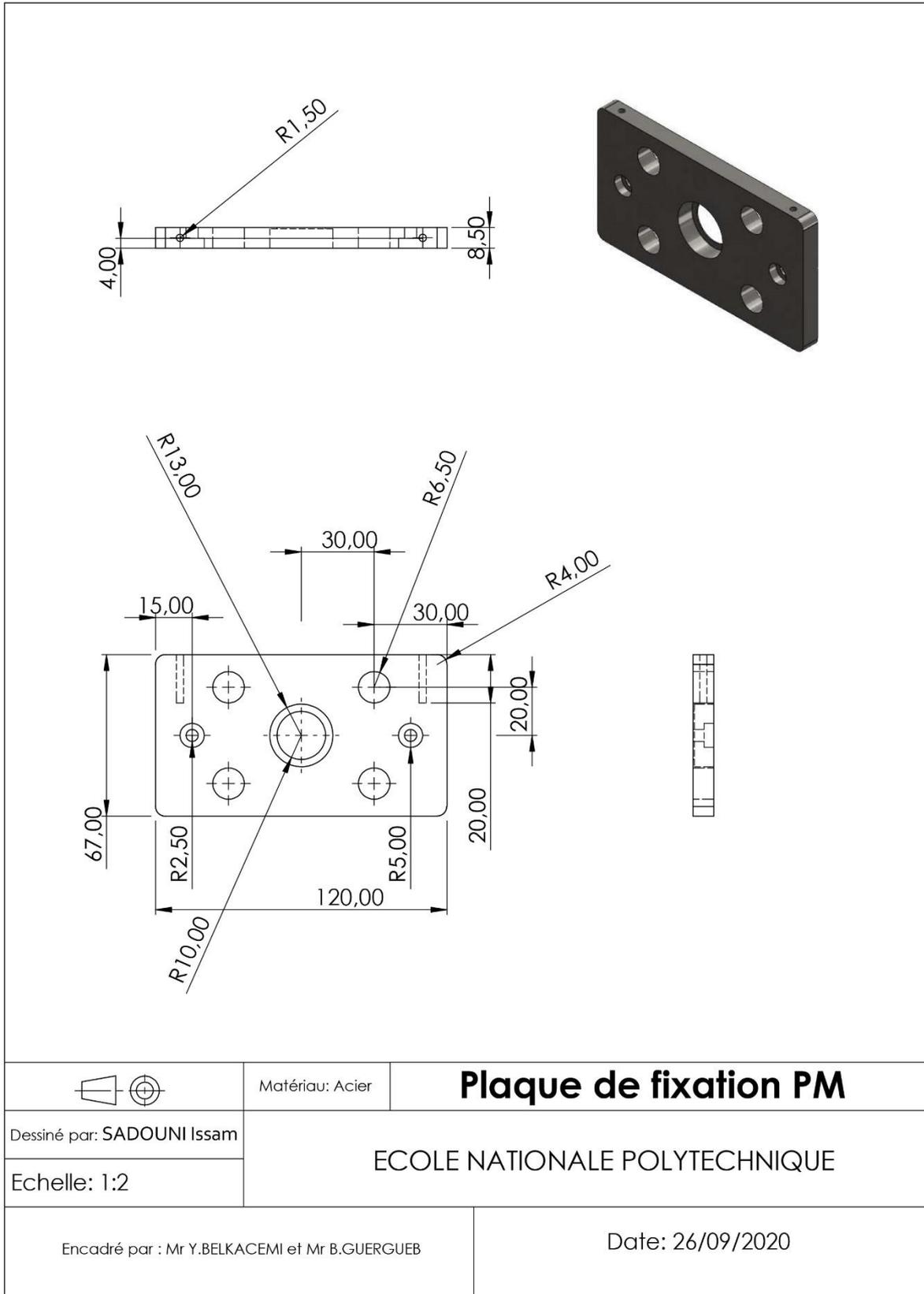
Références bibliographiques

- [1] L. RASSOUL M. FERHI. Etude, conception et fabrication d'un dispositif d'essais en traction biaxiale sur éprouvettes cruciformes [en ligne]. Mémoire d'un master professionnel en génie mécanique : Université MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU faculté du génie de la construction, 2016. [Consulté le 07/04/2020]. Disponible en PDF à l'adresse : <https://dl.ummtto.dz/bitstream/handle/ummtto/3977/Rassoul%2C%20L.%20Ferhi%2C%20M..pdf?sequence=1>
- [2] ALAA KOBEISSI. Caractérisation mécanique des matériaux composites à partir d'un essai de traction biaxiale intégrant l'effet des chemins de déformation [en ligne]. Thèse de doctorat : INSA de Rennes; Université Libanaise, 2019. [Consulté le 27/09/2020]. Disponible en PDF à l'adresse : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02891797/document>
- [3] ALLOPROF. www.alloprof.qc.ca [en ligne]. [Consulté le 07/04/2020]. Disponible sur : <https://www.alloprof.qc.ca/fr/elevés/bv/sciences/les-mecanismes-de-transformation-du-mouvement-s1437>
- [4] PATS. www.pats.ch [en ligne]. [Consulté le 07/06/2020]. Disponible sur : <http://www.pats.ch/formulaire/element/element1.aspx>
- [5] PATS. www.pats.ch [en ligne]. [Consulté le 07/06/2020]. Disponible sur : <http://www.pats.ch/formulaire/element/element11.aspx>
- [6] PATS. www.pats.ch [en ligne]. [Consulté le 07/06/2020]. Disponible sur : <http://www.pats.ch/formulaire/element/element15.aspx>
- [7] Systèmes de transformation de mouvement [en ligne]. France : Lycée Jules Ferry, 2 [Consulté le 01/06/2020]. Disponible en PDF sur : http://www.lycee-ferry-versailles.fr/si-new/synthese/cours/3_3_transformation_mvt_v4.pdf
- [8] SKF. www.skf.com [en ligne]. [Consulté le 18/08/2020]. Disponible sur : <https://www.skf.com/fr/products/rolling-bearings/principles-of-rolling-bearing-selection/bearing-selection-process/bearing-type-and-arrangement/arrangements-and-their-bearing-types>
- [9] OUEDKNISS. www.ouedkniss.com [en ligne]. [Consulté le 26/09/2020]. Disponible sur : https://www.ouedkniss.com/vis-%C3%A0-bille-pour-table-cnc-alger-rouiba-algerie-mat%C3%A9riaux-equipement-d9818307?utm_medium=listing
- [10] TRACEPARTSONLINE. cdn.tracepartsonline.net [en ligne]. [Consulté le 18/06/2020]. Disponible sur : <https://cdn.tracepartsonline.net/PartsDefs/Production/CSR/90-21082017-054224/Documents/%C3%A9crou%20%C3%A0%20billes%20type%20SDK%20-%20SDH.pdf>
- [11] TRACEPARTSONLINE. cdn.tracepartsonline.net [en ligne]. [Consulté le 20/06/2020]. Disponible sur : <https://cdn.tracepartsonline.net/PartsDefs/Production/PRUDHOMME/10-19072018-083917/Documents/332.pdf>

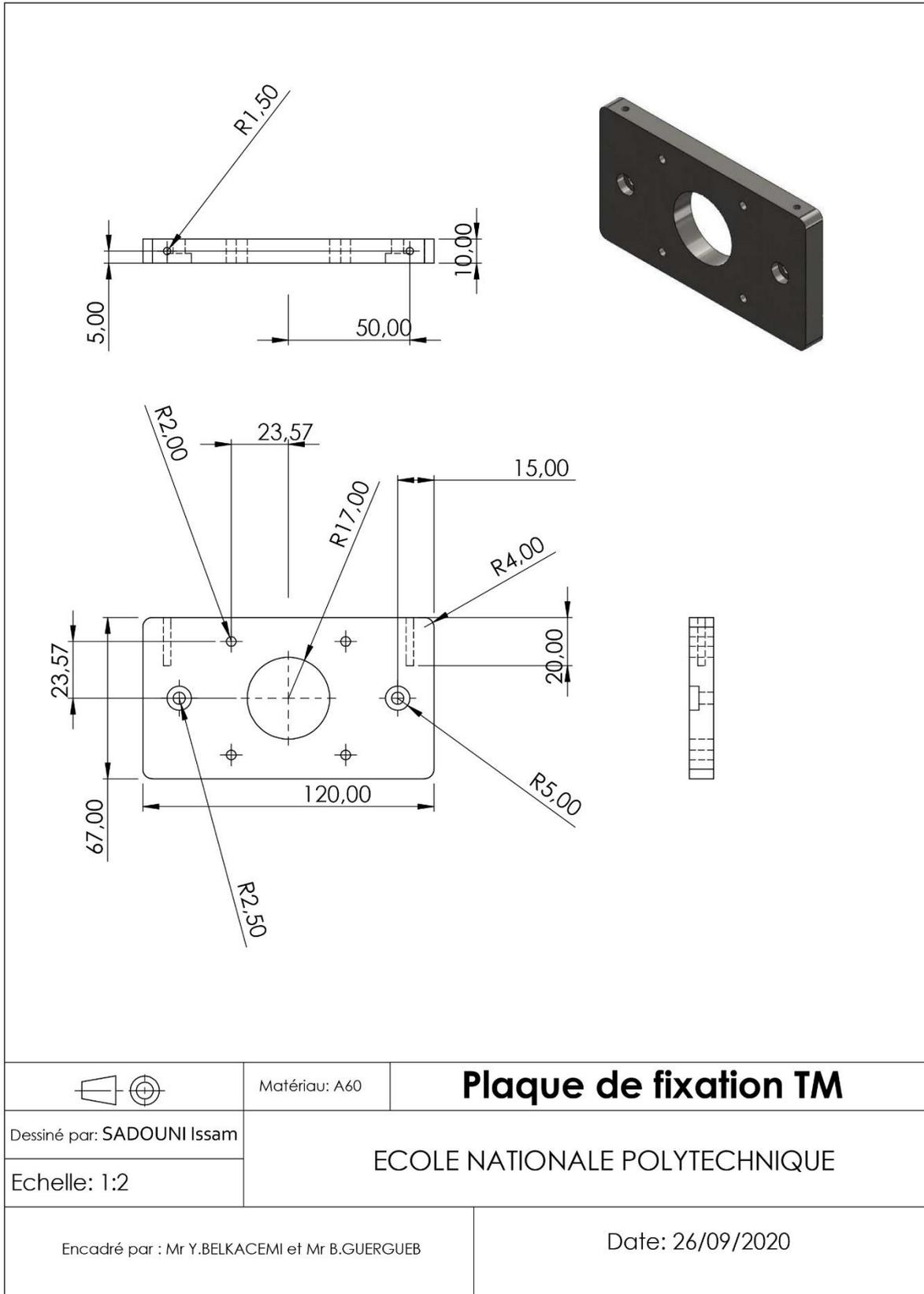
Annexes

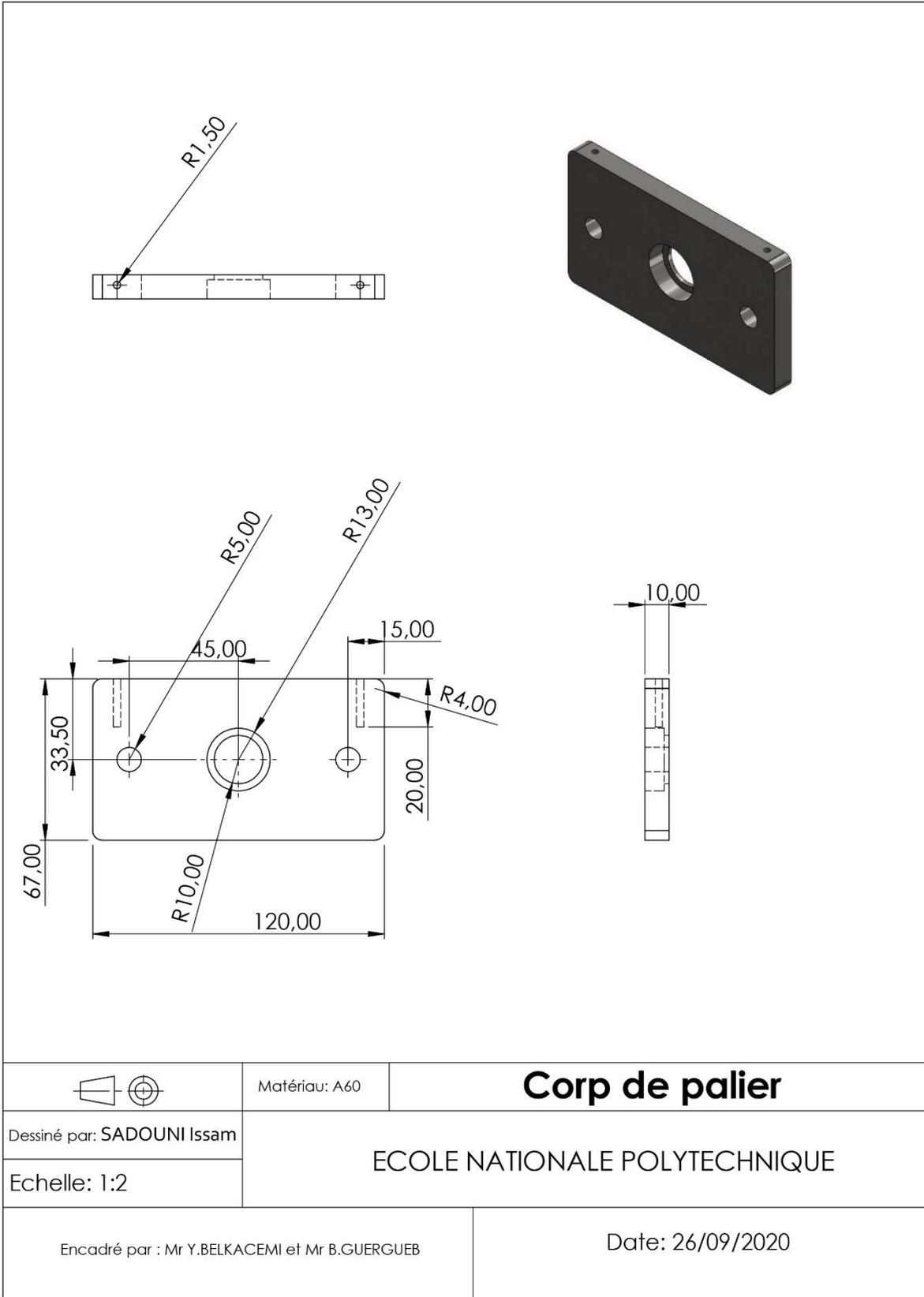


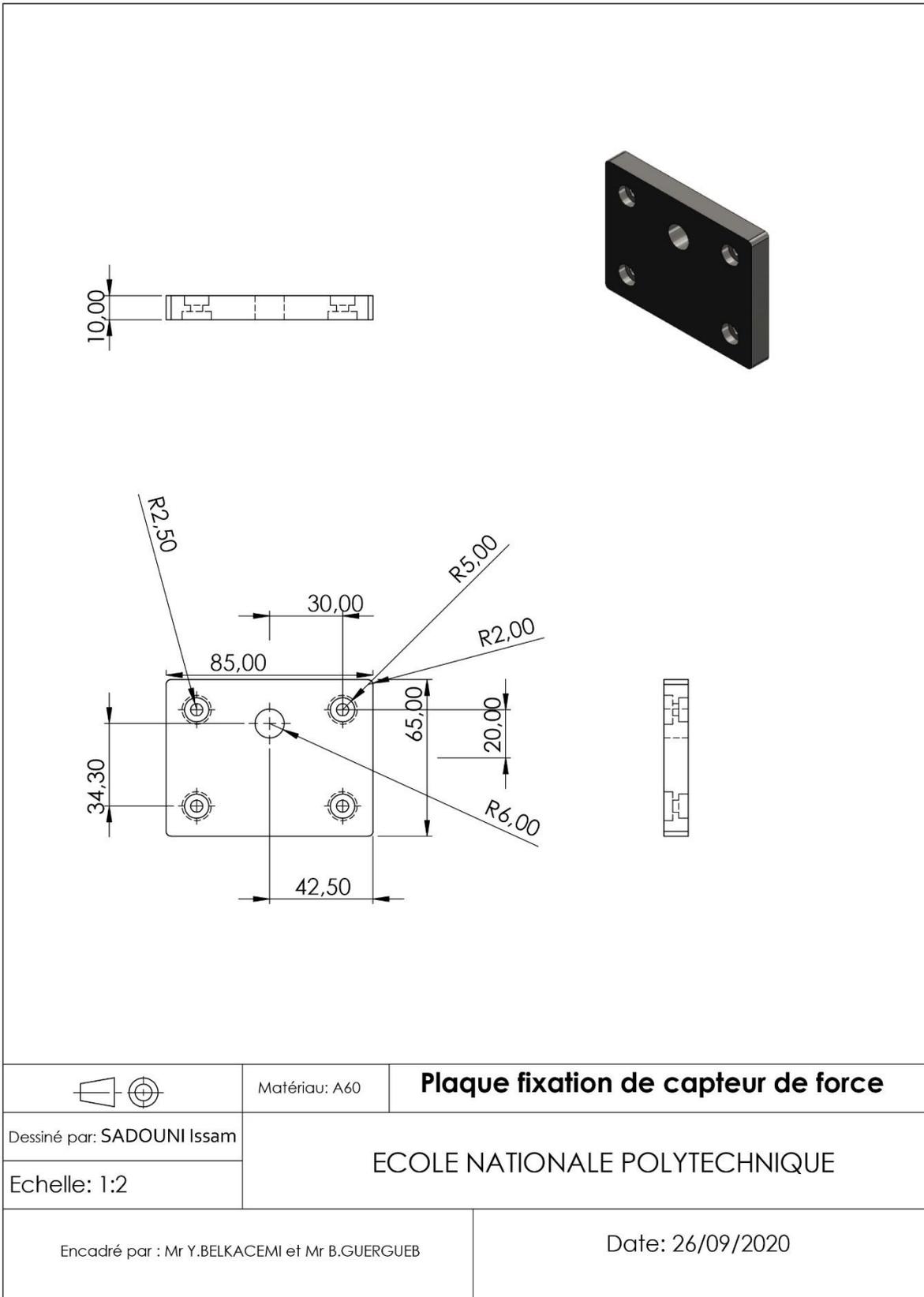


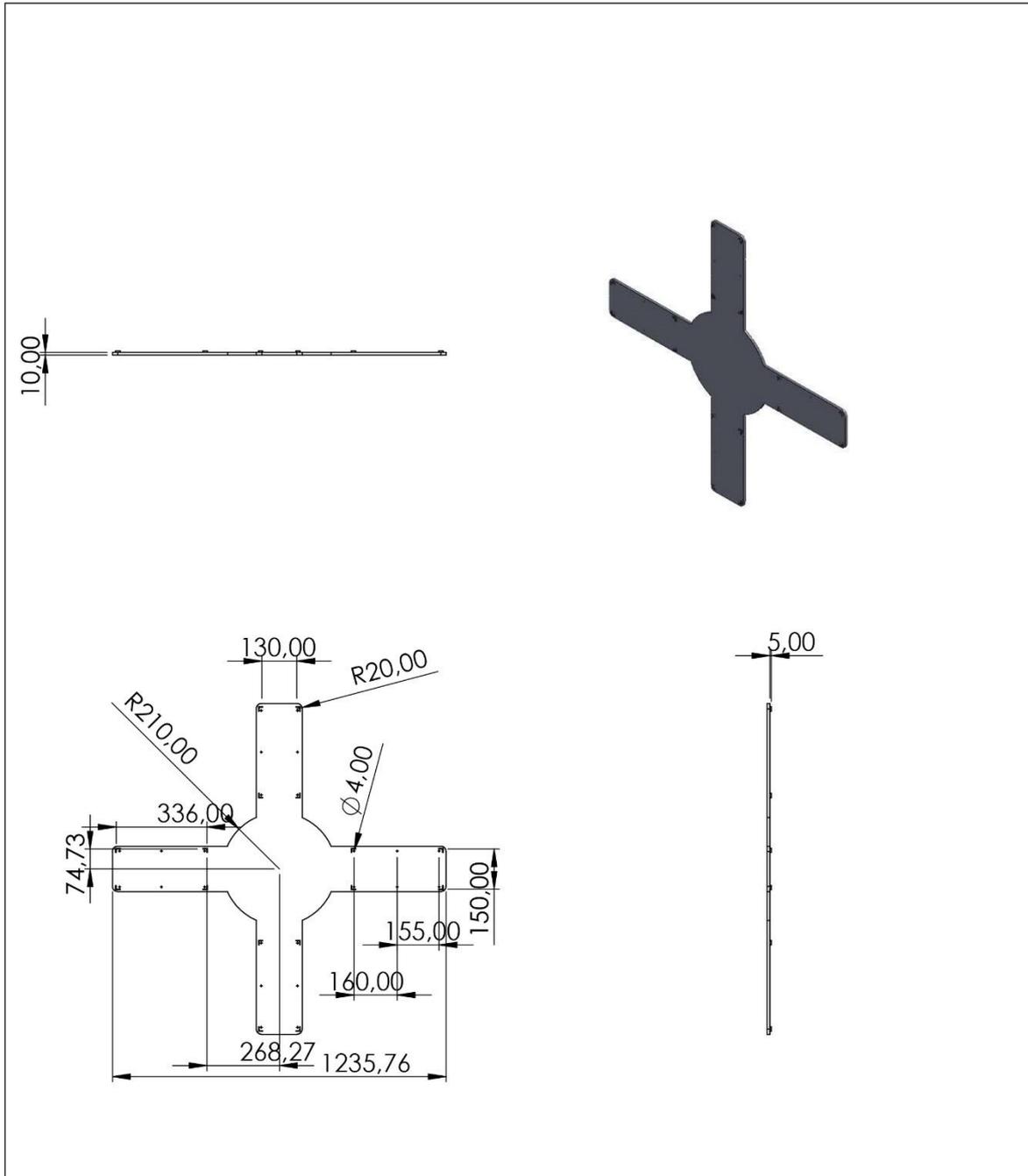


	Matériau: Acier	<h3>Plaque de fixation PM</h3>
Dessiné par: SADOUNI Issam	ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE	
Echelle: 1:2		
Encadré par : Mr Y.BELKACEMI et Mr B.GUERGUEB		Date: 26/09/2020

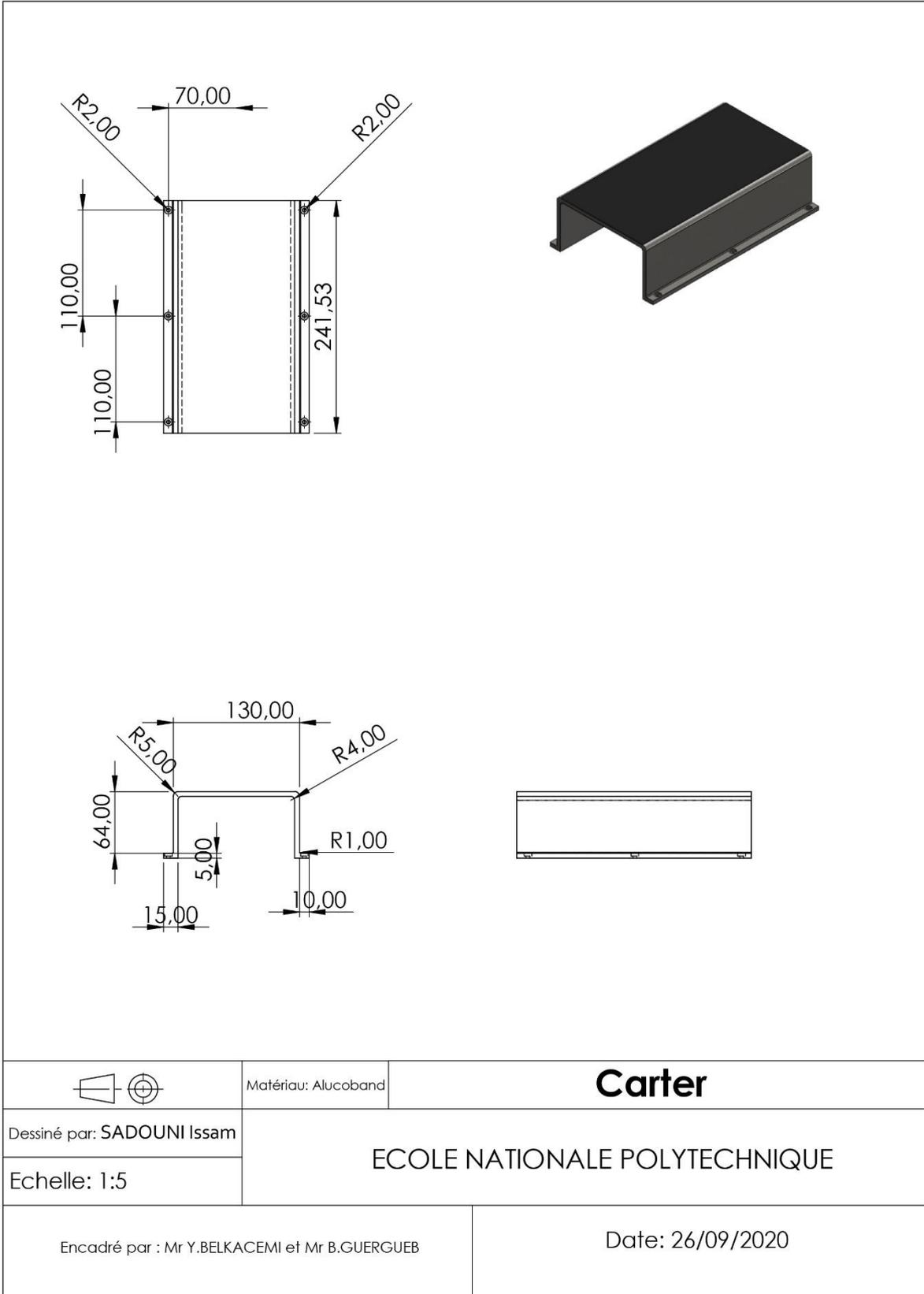


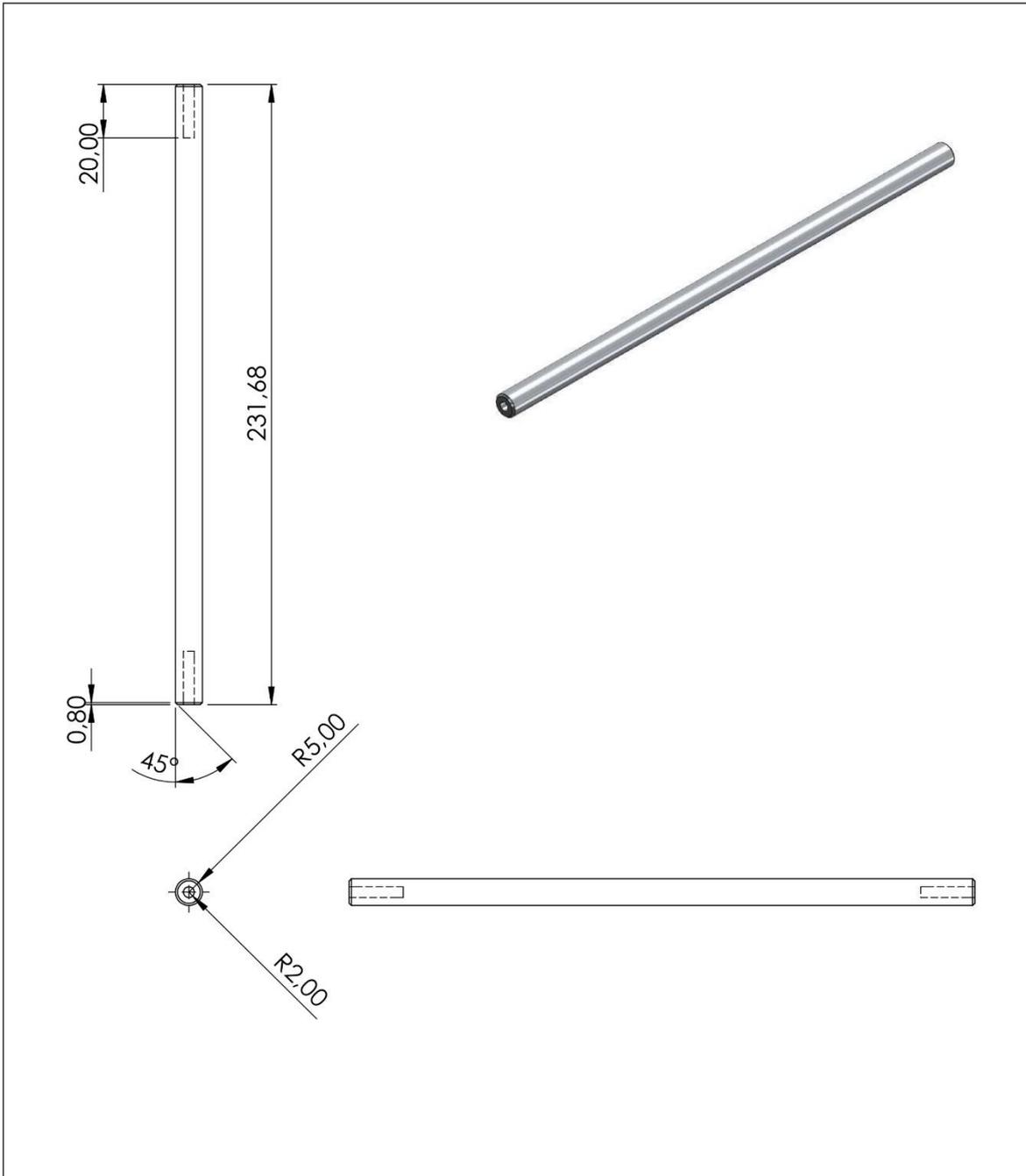




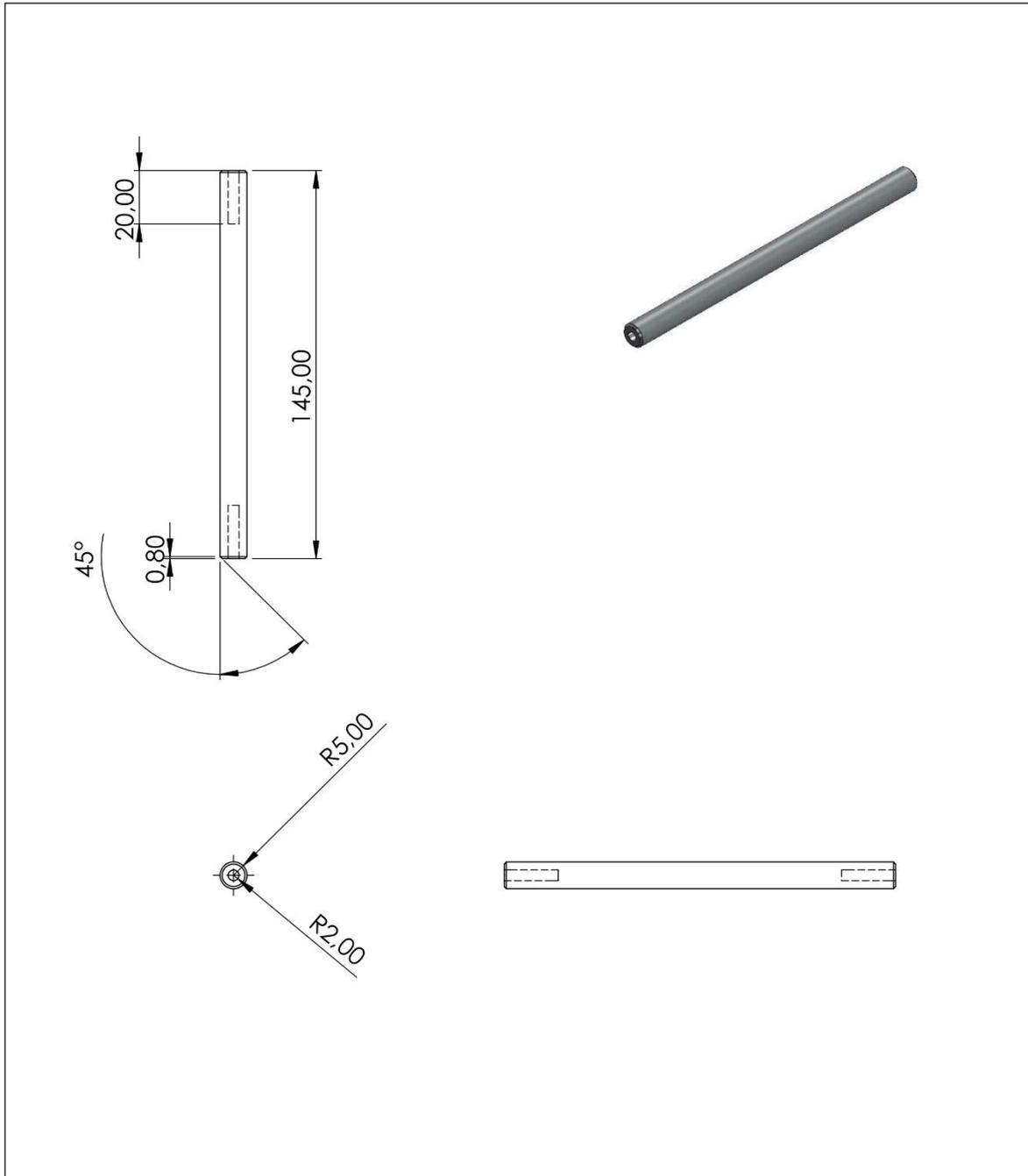


	Matériau: A60	Bâti de la machine
Dessiné par: SADOUNI Issam	ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE	
Echelle: 1:20		
Encadré par : Mr Y.BELKACEMI et Mr B.GUERGUEB		Date: 27/09/2020





	Matériau: Acier Inoxydable	<h2>Tige de guidage</h2>
Dessiné par: SADOUNI Issam	ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE	
Echelle: 1:2		
Encadré par : Mr Y.BELKACEMI et Mr B.GUERGUEB		Date: 26/09/2020



	Matériau: Acier inoxydable	<h2>Tige de traction</h2>
Dessiné par: SADOUNI Issam	ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE	
Echelle: 1:2		
Encadré par : Mr Y.BELKACEMI et Mr B.GUERGUEB		Date: 26/09/2020