

République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
École Nationale Polytechnique
Département de Génie Mécanique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



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

Réalisation d'une micro-machine de traction biaxiale automatisée

Réalisé par :

- GHADDAB Aissa
- GUENDOZ Anis

Sous la direction de :

- BELKACEMI Yacine
- GUERGUEB Brahim

Présenté et soutenu le 10/07/2023

Composition du Jury :

Président :	M.RECHAK Said	Professeur	ENP
Superviseur :	M.BELKACEMI Yacine	MCA	ENP
Superviseur :	M.GUERGUEB Brahim	MAA	ENP
Examineur :	M.SEDJAL Hamid	MAA	ENP

ENP 2023

République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
École Nationale Polytechnique
Département de Génie Mécanique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



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

Réalisation d'une machine de traction biaxiale automatisée

Réalisé par :

- GHADDAB Aissa
- GUENDOZ Anis

Sous la direction de :

- BELKACEMI Yacine
- GUERGUEB Brahim

Présenté et soutenu le 10/07/2023

Composition du Jury :

Président :	M.RECHAK Said	Professeur	ENP
Superviseur :	M.BELKACEMI Yacine	MCA	ENP
Superviseur :	M.GUERGUEB Brahim	MAA	ENP
Examineur :	M.SEDJAL Hamid	MAA	ENP

ENP 2023

ملخص

المذكرة معنونة "إنجاز آلة شد ثنائية المحاور" تستكشف محاكاة و تجسيد ودراسة تقنية لآلة متخصصة لاختبار الخصائص الميكانيكية لمختلف مواد البوليمر و غيرها من المواد ذات الخصائص المشابهة . الهدف هو فهم سلوك هذه عند تعرضها لقوى ثنائية الاتجاه . من خلال دراسة مواد وظروف مختلفة ، تشكل الآلة التي تم تجسيدها أداة قوية للبحث المستقبلي عن طريق توفير تقييمات دقيقة وفعالة للأداء الميكانيكي . علاوة على ذلك تساهم هذه المذكرة في التطورات في مجال آلات الاختبار وتفتح الأبواب أمام استخدام أمثل و أنجع لهذه مواد في مختلف الصناعات . الآلة تشتغل اوتوماتيكيا بواسطة اربعة .محركات محكمة اليا

كلمات مفتاحية : إختبارات الميكانيكية , الشد, تصنيع ,تحكم الآلي

Abstract

The thesis entitled "Design of an automated biaxial tensile testing machine" aims to build a specialized machine to obtain the mechanical properties of different materials using cruciform specimens. The machine works with four stepper motors. These motors are speed and frequency controlled. This makes it possible to carry out biaxial tensile tests by controlling the strain rate on the specimens. Each axis is equipped with a force sensor to measure the force. This can give us the characteristic curves of the materials. The machine is dimensioned for a load capacity of 5 kN and a displacement of 65 mm. Each arm is independent and can be used on another testing .

keywords :biaxial mechanical tests ,tensile, stepper motors, automatization, cruciform specimens.

Résumé

Le mémoire intitulé "réalisation d'une micro machine de traction biaxiale automatisée " vise a réaliser une machine spécialisée pour obtenir les propriétés mécaniques de différents matériaux en utilisant des éprouvettes cruciformes. La machine fonctionne grâce à quatre moteurs pas à pas. Ces moteurs sont contrôlés en vitesse et en fréquence. Ceci permet de mener des essais de traction biaxiaux en contrôlant la vitesse de déformation des éprouvettes. Chaque axe est muni d'un capteur de force pour mesurer la force. Ceci pourra nous donner les courbes caractéristiques des matériaux. La machine est dimensionnée pour une capacité de charge de 5 kN et une course de 65 mm. Chaque bras est indépendant et peut être utilisé sur un autre banc.

mots-clés : traction biaxiale, matériaux, moteur pas à pas, automatisation, éprouvette cruciforme

Remerciements

Nous tenons à remercier sincèrement Allah de nous avoir guidés tout au long de notre étude. Ses bénédictions et ses conseils ont été la raison principale pour laquelle nous avons franchi cette étape.

nous sommes également immensément reconnaissants à nos parents pour leur amour indéfectible, leurs encouragements et leur soutien psychologique. Leur confiance en nous a été une source constante de motivation et de force.

Nous remercions sincèrement nos superviseurs, Dr.BELKACEMI et M. GUERGUEB, pour leurs précieux conseils, leur patience et leurs contributions indéniables à notre projet. Leurs conseils et leur expertise ont joué un rôle crucial dans l'élaboration de cette mémoire.

Nous tenons également à remercier les membres du jury, le président Pr. RECHAK Said et l'examineur M.SEDJAL Hmid , nous espérons que vous apprécierez ce travail.

Nous sommes reconnaissants à M. BENBRAIKA Mohammed pour son intervention et son intermédiation significatives dans le cadre de notre collaboration avec l'entreprise. Son implication a été inestimable pour établir un lien et obtenir le soutien dont nous avons besoin pour ce projet

nous remercions chaleureusement le directeur général de Technonum M.MEZGHRANI Amine , pour son parrainage, ainsi que ses ingénieurs pour leur engagement indéfectible et leurs contributions exceptionnelles. Leurs efforts combinés ont vraiment eu un impact significatif sur la réalisation de ce projet.

Nous remercions chaleureusement M.Zehana de USIPRECIS, le directeur et l'ensemble du personnel de l'ENCC pour leur aide précieuse

remerciement spéciaux sont également adressés à MEHABA Hani, BOUZIANE Nadhir, BABOURI Ayoub et BAKOURE Haroun, BOUSSOUSSOU Nasro , pour leurs contributions louables dans la réalisation de l'automatisation de la machine. Leur expertise et connaissances ont été essentielles pour le fonctionnement de la machine

Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude à DJALAB Islam qui nous a généreusement prêté son PC pour effectuer les simulations nécessaires à ce projet. Sa contribution a été déterminante pour faciliter les aspects informatiques de notre travail.

Dédicaces

Nous tenons à exprimer notre sincère reconnaissance et notre profonde gratitude à nos parents. Leur soutien indéfectible, leurs sacrifices sans fin et leur foi inébranlable en nos capacités ont été la force motrice de notre parcours jusqu'à ce jour. Leur amour, leurs encouragements et leurs conseils ont été la base sur laquelle nous avons bâti nos aspirations et nos réalisations. Ce travail leur est dédié, en témoignage de notre immense gratitude pour leur dévouement et les innombrables heures qu'ils ont consacrées à notre croissance et à notre réussite.

À tous nos amis BOUCHAIB Souheil, CHIKHI Ayoub, BAKOUR Haroun, DJALAB Islam, Ishak Djamel Eddin source de la joie

Table des matières

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Liste des symboles	

1	Introduction générale	12
2	Généralités sur les essais de traction	15
1	Introduction	16
2	Les essais de traction uni-axiaux	17
2.1	Introduction	17
2.2	Principe d'essai de traction uni-axiale	18
2.2.1	Appareils d'essais et préparation des éprouvettes	18
2.2.2	Procédure du test	18
2.2.3	Les données collectées	18
2.3	Formes des Éprouvettes	19
2.3.1	éprouvette cylindrique (ASTM A370)	19
2.3.2	Barre de traction plate	20
2.3.3	Éprouvette dogbone (ASTM D638)	20
2.3.4	Éprouvette entaillée	21
2.4	Exploitation des résultats d'essai d'une traction uniaxiale	21
3	Les essais de traction bi-axiale	22
3.1	Introduction	22
3.2	État d'art des machines de traction biaxiaux	23
3.3	Principe de l'essai de traction biaxiale	23
3.4	Machine de traction bi-axiale	24
3.5	Dispositif de traction bi-axiale	25
3.6	Éprouvette de traction bi-axiale	26
3.7	Forme de l'éprouvette cruciforme :	26
3.8	Quelques types des éprouvettes cruciformes	27
4	Conclusion	29
3	Étude de la machine de traction bi-axiale	30
1	Introduction	31
2	Présentation de notre machine	32
3	Identification technique des choix des composants fonctionnels	33
3.1	Choix de la vis à billes	33
3.1.1	Calcul de la puissance mécanique développée par le mo- teur :	34
3.1.2	Calcul du rendement de la vis à billes	34

3.1.3	Calcul de la force développée par la machine	35
3.1.4	Calcul de la durée de vie de la vis à billes	36
3.2	Caractérisation du moteur :	37
3.3	Choix des roulements	37
3.3.1	Calcul de la durée de vie des roulements	38
4	Simulation numérique de la résistance des éléments	39
5	Conclusion	41
4	Réalisation de la machine	42
1	Présentation des entreprises sponsors	43
1.1	Technologie d'usinage à commande numérique (Technonum)	43
2	Procédures de la fabrication mécanique des composants de la machine	43
2.1	Choix des matériaux pour les composants usinées	43
2.2	Gamme d'usinage des composants de la machine	44
2.2.1	Plaque de fixation de capteur de force	44
2.2.2	Plaque de fixation moteur	45
2.2.3	Plaque à roulement	46
2.2.4	Plaque fixation de noix à bille	47
2.2.5	Plaque de guidage	48
2.2.6	Bâti	49
3	Procédures de montage	50
3.1	Montage d'écrou à billes avec vis à billes	50
3.2	Montage d'écrou à billes avec sa plaque	51
3.3	Montage de plaque à roulement et de guidage avec vis à billes	51
3.4	Montage des tiges de guidage et traction	52
3.5	Montage de plaque de fixation de moteur et capteur de force	52
3.6	Montage final de sous-machine	52
5	Automatisation de la machine	54
1	Introduction	55
2	Les composants nécessaires d'automatisation de la machine	55
2.1	Moteur pas à pas	55
2.2	Driver contrôle	58
2.3	Afficheur LCD	59
2.4	Botton-poussoir	60
2.5	Microcontrôleur Arduino	60
2.6	Capteur de fin de course	60
2.7	Alimentation à découpage	62
3	Schéma électrique	63
4	Montage final de la machine	64
5	Conclusion	65
6	Conclusion Générale	66
	Références bibliographiques	68
	Annexe A	69
	Annexe B	84

Table des figures

2.1	Micro machine de traction 5kN [1]	16
2.2	Machine de traction de capacité supérieure à 30MN[3]	17
2.3	machine de traction mono-axiale automatisée avec ses composants	18
2.4	Dimensions d'éprouvette Ronde standardisée	19
2.5	éprouvette filetée	19
2.6	Dimensions des éprouvettes pour essais de traction selon les normes[8]	20
2.7	Dimensions d'éprouvette dogbone standardisée	21
2.8	Dimensions standardisées d'une éprouvette entaillée	21
2.9	Machines d'essai biaxiaux avec un actionneur développées par Bhatnagar[13]	23
2.10	Machines d'essai biaxiales avec deux actionneurs développées par : Hofer/in et Lin[14]	24
2.11	Machines d'essai biaxial à quatre actionneurs développées par : Makinde/- Green et Gower respectivement[14]	24
2.12	Système intégré d'essais bi-axial planaire	25
2.13	Dispositif de traction bi-axiale[15]	26
2.14	Éprouvette cruciforme [16]	27
2.15	Formes des éprouvettes fréquemment utilisées dans le champ de recherche[17]	28
3.1	image de machine de traction bi-axiale	31
3.2	Image descriptive des éléments de la machine	32
3.3	Caractéristiques géométriques de la vis à billes avec le noix[18]	34
3.4	Image 3D illustrant la vis à billes usinée	34
3.5	Rendement de la vis à billes en fonction de l'angle d'hélice[18]	35
3.6	Roulement SKF à billes à contact oblique 40° à une rangée (7201 BECBP)	38
3.7	Visualisation tridimensionnelle de La distribution du déplacement équivalente dans le mors	39
3.8	Visualisation tridimensionnelle de La distribution de la contrainte équivalente de von mises dans le mors	40
3.9	Visualisation tridimensionnelle de distribution contrainte von mises de partie mobile	40
3.10	Visualisation tridimensionnelle de distribution de déplacement de partie mobile	41
4.1	Localisation géographique de Technonum	43
4.2	Plaque de fixation de capteur de force	45
4.3	plaque de fixation moteur	46
4.4	Plaque à roulement	47
4.5	Plaque fixation d'écrou	48
4.6	plaque de guidage	49
4.7	Bâti	50

4.8	Montage d'écrou à billes avec vis à billes	50
4.9	Montage d'écrou à billes avec sa plaque	51
4.10	Montage de plaque à roulement avec vis à billes	51
4.11	Montage des tiges de guidage et traction	52
4.12	Montage de plaque de fixation de moteur et capteur de force	52
4.13	Montage final de sous-machine	53
5.1	Le moteur pas à pas hybride	55
5.2	Schéma géométrique illustrant le moteur pas à pas (86BHH76-400B-35J) construit par CW-motor	56
5.3	moteur pas à pas (86BHH76-400B-35J) construit par CW-motor	56
5.4	Couple mécanique en fonction de fréquence de rotation	57
5.5	le driver contrôle DM542-05	59
5.6	Un bouton-poussoir	60
5.7	Microcontrôleur UNO	60
5.8	capteur de fin de course	61
5.9	Alimentation à découpage	62
5.10	schéma électrique	63
5.11	la machine de traction biaxiale réalisée	64

Liste des tableaux

3.1	Les éléments constitutifs de la machine	33
3.2	Influence de la vitesse de déplacement sur La facture de charge	36
4.1	Table illustrative des choix des matériaux pour les composants usinés . . .	44
4.2	les propriétés mécaniques de matériau choisi	44
4.3	Gamme de fabrication de plaque de fixation de la cellule de force	45
4.4	Gamme de fabrication de plaque de fixation moteur	46
4.5	Gamme de fabrication de plaque à roulement	47
4.6	Gamme de fabrication de plaque de fixation écrou à billes	48
4.7	Gamme de fabrication de plaque de roulement	49
4.8	Gamme de fabrication de Bâti	49

Liste des abréviations

ASTM America's Society For Testing and Materials	17
ISO International Standardization Organization	24
FEA Finit Element Analsys	31

Liste des symboles

α	angle d'hélice
η_c	rendement des coussinets
η_f	rendement de vis à billes
η_T	rendement de la machine
μ	coefficient de frottement
B	Largeur de roulement
C	charge dynamique de base de roulement
C_0	charge statique de base de roulement
C_a	charge dynamique de base de vis à billes
D	diametre de vis à billes
d	diamètre bague intérieure du roulement
F	force developée par la machine
F_a	charge axiale
F_r	charge radiale
f_w	coefficient de charge
L_h	durée de vie exprimée par nombre d'heures
L_{10h}	durée du vie de roulement exprimée par nombre d'heures
L_{10}	durée du vie de roulement exprimée par nombre des tours
M	couple developé par le moteur
N	vitesse de rotation
N_r	frequence de rotation
N_s	nombre de pas par tour
p	pas de vis à billes
W_m	puissance mécanique développée
L	durée de vie exprimée en nombre de tours

Introduction générale

L'histoire des essais mécaniques se confond avec l'histoire de la résistance des matériaux. On peut penser que les premiers essais mécaniques ont été destinés à tester les matériaux en vue de la construction et ce dans un but de bonne adaptation du matériau, dans le cadre de mécanique de la rupture : le matériau doit être suffisamment solide pour l'usage.[1]

Le 19eme siècle est marqué par les premiers essais mécaniques à vocation industrielles. On voit dès le début du 20ème siècle des tentatives pour normaliser les essais ainsi que des explications des comportements mécaniques par la mécanique des milieux continus, notamment par Stephen Timoshenko. [1]

Les matériaux polymères de haute performance, qui sont utilisés dans divers secteurs tels que l'emballage, l'électronique et les soins de santé, ont connu une augmentation de leur demande au cours des dernières années. sont souvent extensibles dans deux directions perpendiculaires au cours du processus de production afin d'améliorer leurs caractéristiques mécaniques, telles que la résistance à la traction. Des tensions régulées dans le sens de la machine (MD) et dans le sens transversal (TD) sont appliquées aux matériaux au cours de cette technique d'étirement biaxiale.

Afin de maximiser l'efficacité et de garantir leur fiabilité dans les applications pratiques, il est essentiel de connaître le comportement mécanique de ces films sous un état de contrainte de traction biaxiale. En initiant un travail pour la réalisation d'une machine de traction biaxiale, le présent travail cherche à étudier et à concevoir une nouvelle approche qui réponde à cette demande.

Cette machine de traction biaxiale est capable d'évaluer avec précision la réponse mécanique des films polymères soumis à une charge de traction biaxiale est l'objectif de ce travail de conception et de fabrication. La machine permettra de faire des essais à vitesse contrôlée avec mesure de force et déformation grâce à l'utilisation de méthodes contemporaines de fabrication, permettant des tests fiables et répétables des matériaux des polymères. La machine permet la caractérisation de plusieurs types de matériaux Les résultats de cette étude permettront d'approfondir nos connaissances sur le comportement mécanique de différents matériaux soumis à une contrainte de traction biaxiale et offriront des suggestions fructueuses pour optimiser utilisation par la conception et la production. La machine de traction biaxiale réalisée sera un outil efficace pour les recherches ultérieures.

La machine doit être contrôlable en vitesse et en fréquence. Pour cela, des moteurs pas à pas ont été utilisés. Des vis à bille sont utilisées pour minimiser les frottements. Un système de contrôle des moteurs est construit pour mener des essais de la machine.

Ce mémoire est subdivisé en trois chapitres.

Le chapitre un présente des généralités sur les essais de traction et le comportement mécanique des matériaux.

Le chapitre deux, présente l'étude et la simulation numérique de la machine du projet.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation de la machine réalisée. Tous les organes de la machine sont présentés dans ce chapitre.

Le chapitre quatre est consacré à l'automatisation de la machine. Le processus d'automatisation permet de mener des essais biaxiaux entièrement contrôlés. Une conclusion générale termine ce mémoire.

Chapitre 2

Généralités sur les essais de traction

1 Introduction

Une machine d'essais de traction, également appelée appareil d'essais de traction ou machine d'essais universelle est un système d'essais électromécanique qui exerce une force de traction sur un matériau afin de déterminer sa résistance à la traction et son comportement à la déformation jusqu'à la rupture. Une machine d'essais de traction typique se compose d'un capteur de force, d'une traverse, d'un extensomètre (capteur de déformation), de mâchoires, d'une électronique et d'un système d'entraînement. Elle est commandée par un logiciel d'essai qui permet de définir les paramètres de la machine et réglages de sécurité ; le logiciel permet également d'enregistrer les paramètres d'essai de normes d'essai telles que ASTM et ISO. La force exercée sur la machine et la déformation de l'éprouvette sont enregistrées tout au long de l'essai. La mesure de la force nécessaire pour étirer ou allonger un matériau jusqu'à une déformation permanente ou une rupture aide les concepteurs et fabricants à prédire comment les matériaux se comporteront lorsqu'ils seront utilisés.[2] L'échelle des machines peut passer d'une micro a une méga-machine d'essais mécaniques. Les figures ci-dessous montrent des machines ou on peut aller a des forces dépassant les 30 méga Newtons. Le projet concerne une machine automatisée utilisant des moteurs pas à pas pouvant réaliser des essais de traction biaxiale.[3]

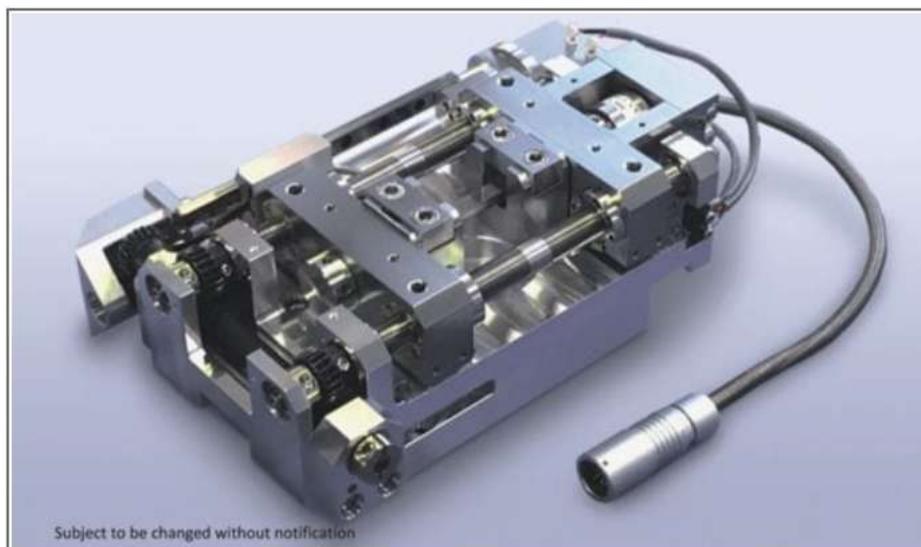


FIG. 2.1 : Micro machine de traction 5kN [1]



FIG. 2.2 : Machine de traction de capacité supérieure à 30MN[3]

2 Les essais de traction uni-axiaux

2.1 Introduction

Les essais de traction sont une technique courante pour trouver les caractéristiques mécaniques critiques des matériaux d'ingénierie ainsi que consistent à augmenter progressivement la force de traction axiale de manière monotone jusqu'à ce que l'éprouvette échoue. La norme est définie par la Société Américaine pour les Essais et Matériaux America's Society For Testing and Materials (ASTM).[4]

L'essai est effectué en fixant éprouvette entre deux mors attachés à la machine. Un mors est stationnaire, tandis que l'autre mors se déplace à une vitesse constante, La charge appliquée sur l'éprouvette est mesurée à l'aide d'une cellule de charge, et la déformation ou l'allongement est mesuré à l'aide d'un transducteur de déplacement. Les données de charge et de déformation sont enregistrées en continu pendant le test.[5]

La figure 1.1 montre la machine de traction monoaxiale modèle Z330E équipée d'une unité électronique permettant de mesurer les différents paramètres mécaniques des matériaux testés.

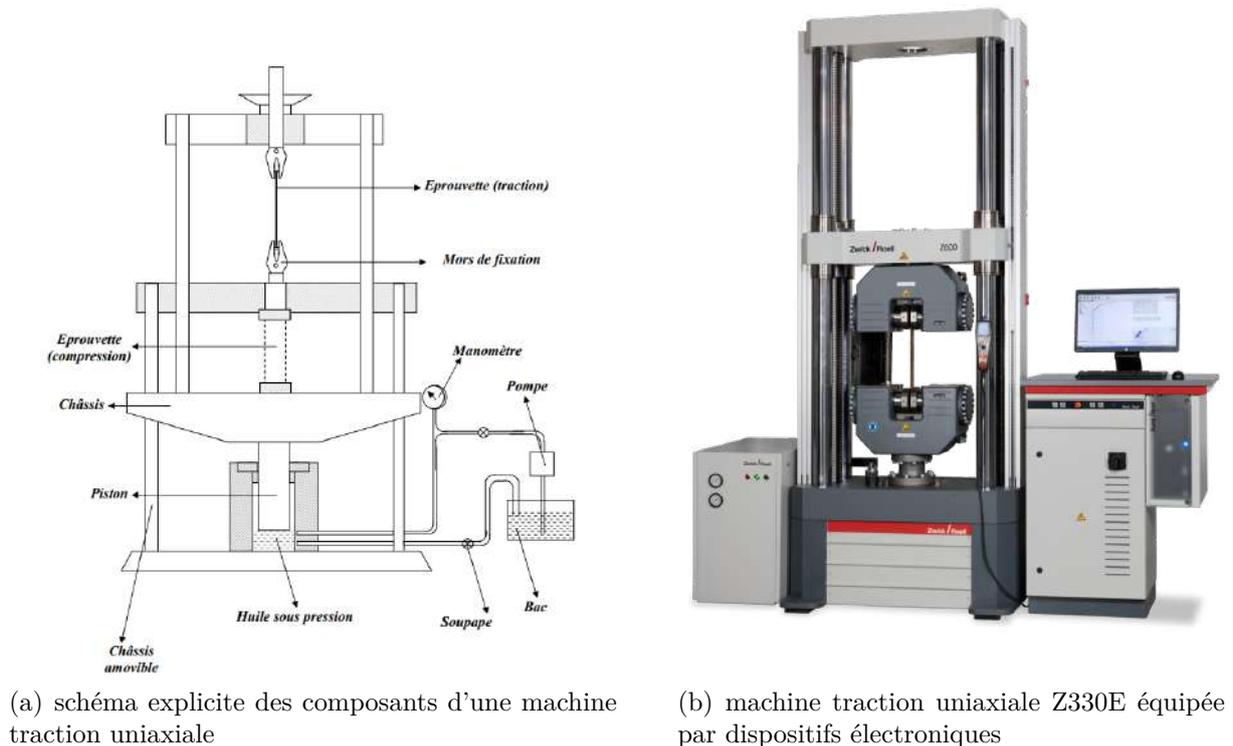


FIG. 2.3 : machine de traction mono-axiale automatisée avec ses composants

2.2 Principe d'essai de traction uni-axiale

2.2.1 Appareils d'essais et préparation des éprouvettes

Il est effectué à l'aide d'une machine d'essai mécanique, spécifiquement conçue pour effectuer un essai de traction, qui délivre une charge axiale contrôlée d'une manière électronique. Les éprouvettes sont préparées selon les méthodes normalisées, qui peuvent différer en fonction de la substance testée.

2.2.2 Procédure du test

L'essai de traction consiste à placer correctement une éprouvette dans le dispositif d'essai, à générer une charge axiale contrôlée et à quantifier la déformation et la réponse à la contrainte qui en résultent. Des extensomètres ou d'autres instruments de mesure du déplacement sont utilisés pour mesurer la déformation résultante tandis que la charge est appliquée progressivement et de manière constante. La contrainte est calculée en divisant la charge appliquée par la surface de la section transversale de l'éprouvette.

2.2.3 Les données collectées

Les données recueillies des essais mécaniques de traction sont généralement examinées pour identifier les différentes caractéristiques mécaniques du matériau. L'analyse des données permet de construire des courbes contrainte-déformation, qui fournissent des informations sur le comportement du matériau dans diverses circonstances de charge, parmi les paramètres mécaniques significatifs qui peuvent être calculés à partir des courbes

contrainte-déformation figurent le module d'élasticité, la limite d'élasticité, la résistance ultime à la traction et l'allongement à la rupture.

2.3 Formes des Éprouvettes

2.3.1 éprouvette cylindrique (ASTM A370)

Extrémité non filetée

Cette éprouvette est de forme cylindrique avec une section uniformément répartie sur toute la longueur de jauge, Ses dimensions sont spécifiées par la norme ASTM A370 et peuvent varier en fonction du matériau testé.[6]

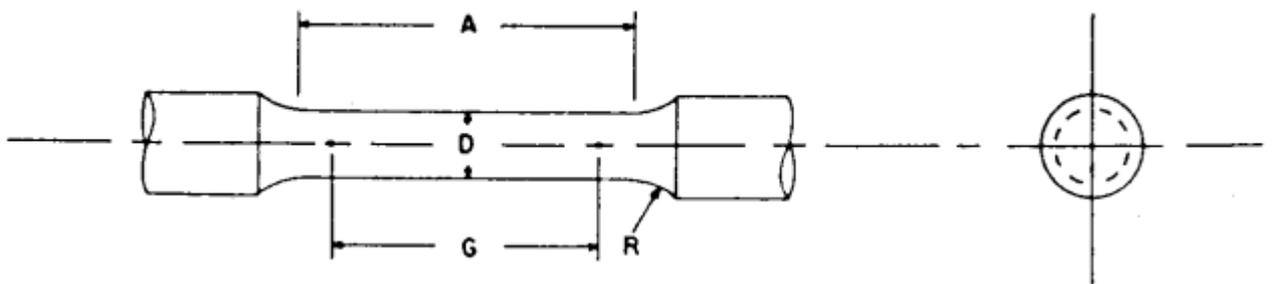


FIG. 2.4 : Dimensions d'éprouvette Ronde standardisée

- G : Longueur de jauge (mm)
- D : Diamètre (mm)
- R : Rayon de congé (mm)
- A : Longueur de section réduite (mm)

Extrémité filetée

Il s'agit d'un type d'échantillon dont les extrémités filetées peuvent être fixées à des pinces correspondantes d'appareils d'essai qui s'adaptent ses extrémités.[7]



FIG. 2.5 : éprouvette filetée

2.3.2 Barre de traction plate

Une barre de traction plate est une éprouvette rectangulaire généralement utilisée pour tester des tôles minces, l'éprouvette a fréquemment une épaisseur et une largeur homogènes, et la longueur de la section calibrée est souvent supérieure à celle d'une barre de traction ronde standard. Les éprouvettes de traction plates sont largement utilisées dans l'industrie aéronautique pour tester les propriétés des composants en matière.[7]

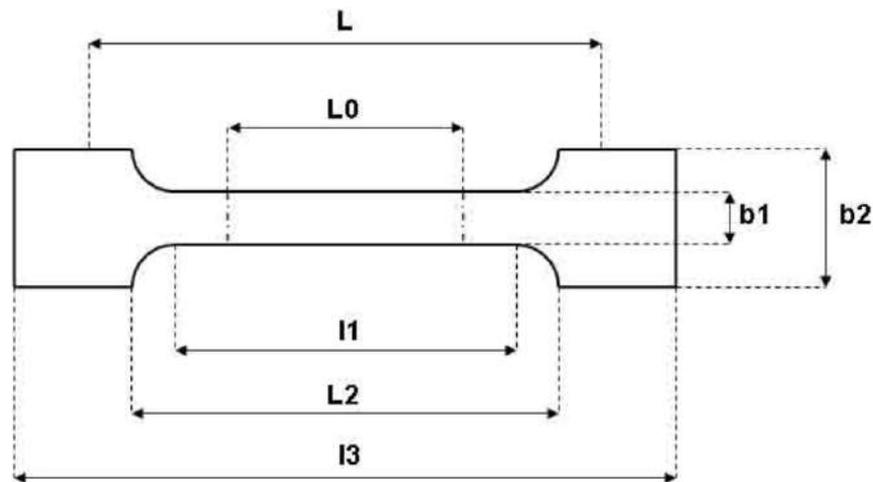


FIG. 2.6 : Dimensions des éprouvettes pour essais de traction selon les normes[8]

- L_0 : Longueur de référence.
- L : Écartement entre outillages.
- l_1 : Longueur de la partie calibrée étroite
- L_2 : Écartement entre les parties parallèles larges
- l_3 : Longueur totale
- b_2 : Largeur dans la zone d'épaulement
- b_1 : Largeur dans la zone de la longueur de référence
- h : épaisseur de l'éprouvette

2.3.3 Éprouvette dogbone (ASTM D638)

Une éprouvette en forme épine dorsale est un type d'éprouvette conçu pour réduire les concentrations de contraintes au niveau des extrémités de la section de la jauge. Pour ce faire, on augmente la surface de la section transversale des extrémités de l'éprouvette, en créant une transition plus progressive entre la section de la jauge et les extrémités. Les éprouvettes en épine dorsale sont souvent utilisées pour tester les propriétés des composites et des polymères.[9]

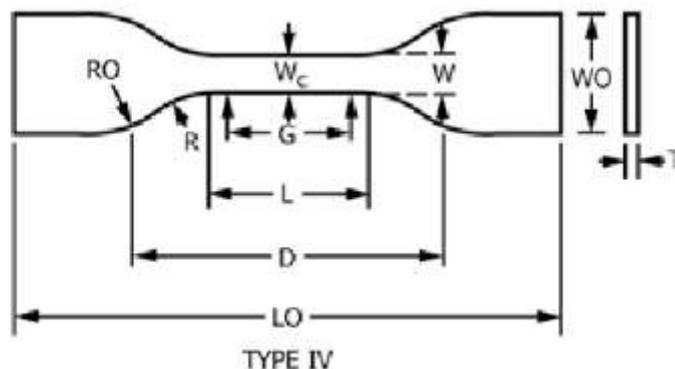


FIG. 2.7 : Dimensions d'éprouvette dogbone standardisée

2.3.4 Éprouvette entaillée

C'est un type d'éprouvette qui comporte une petite encoche ou une rainure dans la section de la jauge. Il est habituellement utilisé pour tester la résistance à la rupture des matériaux, car la présence de l'encoche crée une concentration de contraintes qui peut conduire à la rupture.[10]

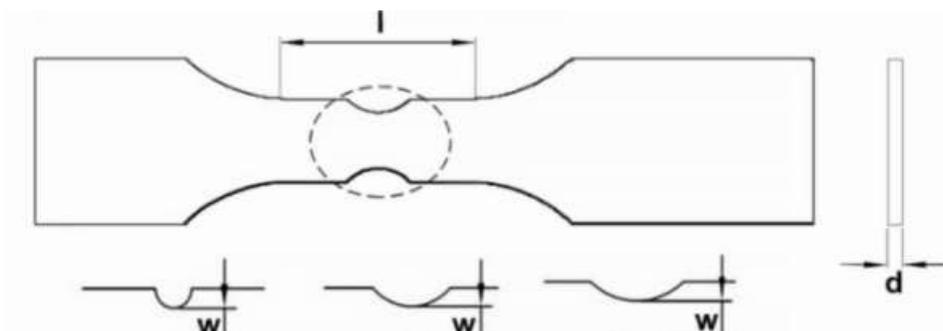


FIG. 2.8 : Dimensions standardisées d'une éprouvette entaillée

2.4 Exploitation des résultats d'essai d'une traction uniaxiale

L'obtention d'un diagramme contrainte-déformation implique la préparation minutieuse d'une éprouvette matériau à une taille et une forme standardisées, conformément aux normes d'essais applicables¹. L'éprouvette est ensuite soumise à une charge progressivement croissante à l'aide d'une machine d'essai telle qu'une machine d'essai universelle, Tout en appliquant la charge, la machine mesure la déformation résultante de l'échantillon et enregistre les données de charge et de déformation correspondantes, Ces données sont représentées sur l'axe vertical par la contrainte (la force par unité de surface) et sur l'axe horizontal par la déformation (déformation par unité de longueur)[11]

Il est essentiel de préparer et de manipuler correctement les éprouvettes tout au long du processus d'essai si l'on veut obtenir des résultats précis et fiables, Pour éviter les sources d'erreur potentielles, les facteurs tels que la géométrie d'éprouvette ainsi que l'état de surface et la vitesse de chargement doivent être soigneusement contrôlés. En outre, pour garantir la répétabilité des résultats et tenir compte de toute variabilité inhérente aux

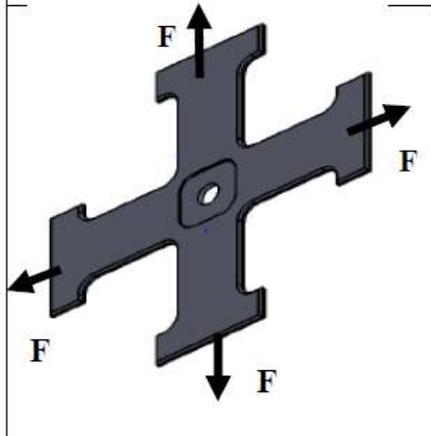
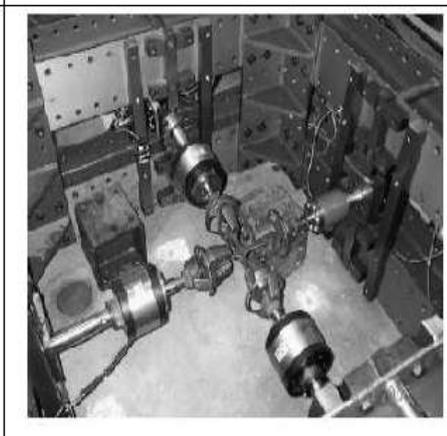
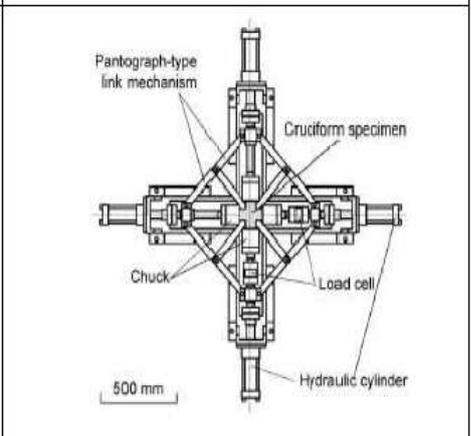
propriétés des matériaux.[11]

Les diagrammes contrainte-déformation des matériaux présentent une variabilité significative, et les résultats des tests de traction réalisés sur un même matériau peuvent différer en fonction de la température et de la vitesse de chargement dans l'éprouvette. Néanmoins, ils peuvent être utilisés pour distinguer les matériaux en deux catégories générales : les matériaux ductiles et cassants.[12]

3 Les essais de traction bi-axiale

3.1 Introduction

Les essais de traction bi-axiale 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 bi-axiale, 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 (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. 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.

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

3.2 État d'art des machines de traction biaxiaux

Les machines d'essai biaxiaux dans le plan peuvent être classées en trois catégories principales en fonction du nombre d'actionneurs qu'elles utilisent pour appliquer les forces nécessaires.

Les machines à actionneur unique sont constituées de telle sorte que l'introduction d'une charge unique crée un état de contrainte biaxiale dans l'échantillon cruciforme. Ce type de machine exige une configuration spécifique pour garantir un fonctionnement correct. Dans une étude effectuée par Bhatnagar et al, Cette machine a été spécifiquement conçue pour évaluer la réponse (dans le plan) non pas seulement des matériaux composites mais aussi de n'importe quel système polymère. Elle est équipée pour générer toute combinaison de contraintes de traction dans un espace de contraintes $\sigma_1 - \sigma_2$. [13]

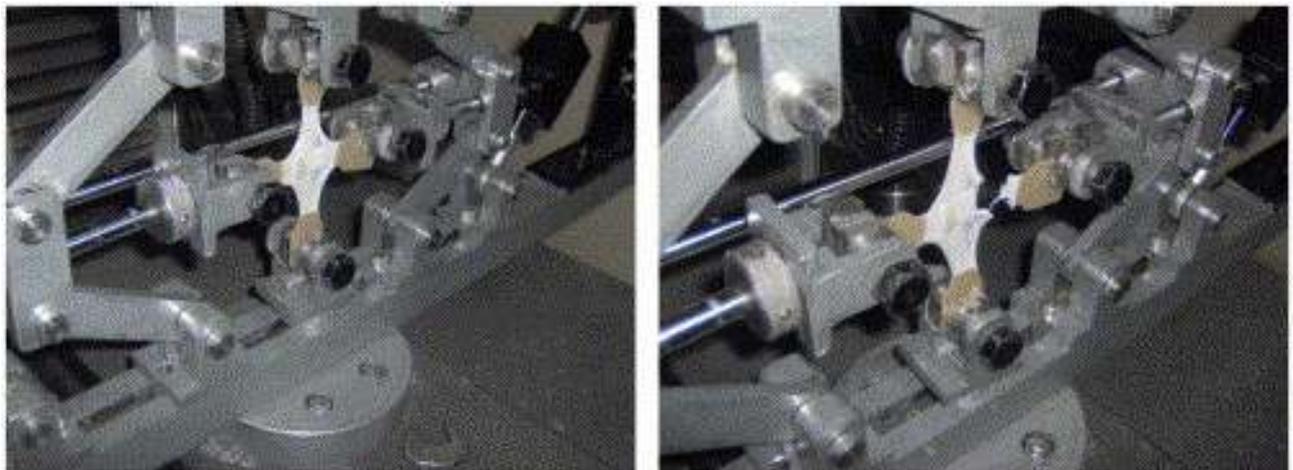


FIG. 2.9 : Machines d'essai biaxiaux avec un actionneur développées par Bhatnagar [13]

La machine à deux actionneurs a été réalisée en introduisant un actionneur de supplémentaire supplémentaire perpendiculaire à l'actionneur uni-axiale. L'objectif de cette machine était de faire varier le rapport de contrainte biaxiale sans nécessiter d'équipement spécial. La condition de charge biaxiale était générée en fixant un côté des bras verticalement et en étirant l'autre côté. Cependant, le problème de ces machines était la flexion de l'échantillon. Il en résulte un état de contrainte indésirable. [14]

la troisième catégorie regroupe les machines avec quatre actionneurs. Ces machines sont conçues pour appliquer des forces dans les trois directions spatiales : les plans XY, XZ et YZ. Elles offrent la flexibilité la plus élevée en permettant des essais de traction triaxiale, où les forces peuvent être appliquées de manière indépendante le long des trois axes. Cela permet d'explorer et de comprendre le comportement mécanique des matériaux dans des conditions plus réalistes, où les sollicitations peuvent varier dans plusieurs directions. [14]

3.3 Principe de l'essai de traction biaxiale

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. Pour réaliser des états de contrainte uniformes, il faut que les bras de la croix aient des rigidités transversales assez faibles. Les directions principales des contraintes sont fixées et on peut effectuer des chargements dans l'espace de contraintes

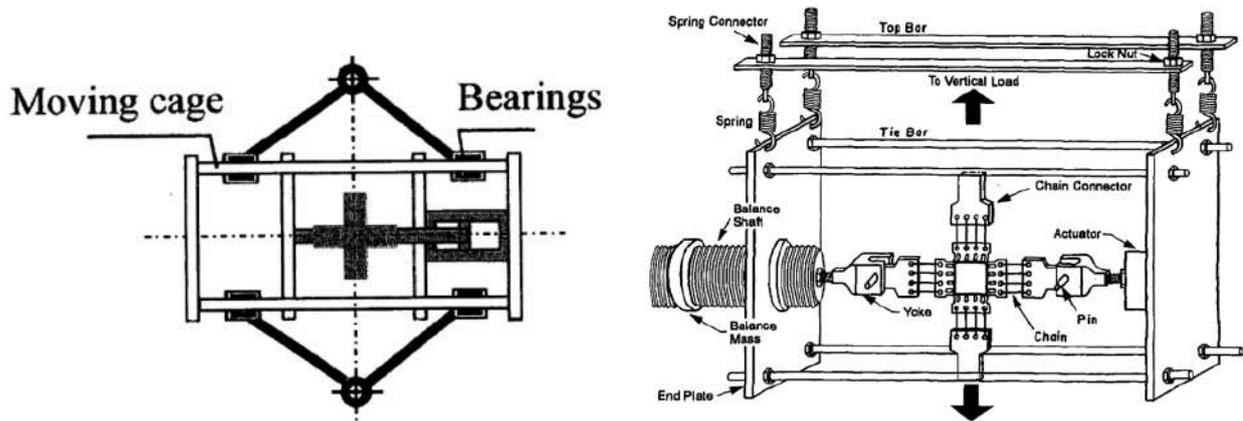


FIG. 2.10 : Machines d'essai biaxiales avec deux actionneurs développées par : Hofer/in et Lin[14]



FIG. 2.11 : Machines d'essai biaxial à quatre actionneurs développées par : Makinde/Green et Gower respectivement[14]

3.4 Machine de traction bi-axiale

Une machine d'essai de traction bi-axiale, également connue sous le nom de machine d'essai cruciforme, est une machine d'essai mécanique permettant d'évaluer les propriétés Mécaniques des matériaux dans des conditions de charge bi-axiale, Dans ce type de machine, l'éprouvette est serrée entre deux jeux de pinces, que permettant un mouvement dans le plan et l'autre un mouvement hors plan, Cette méthode est utile pour tester les matériaux utilisés dans des applications où la charge bi-axiale est courante, comme les composants aérospatiaux, où des forces de traction peuvent être appliquées simultanément dans deux directions perpendiculaires.

En ce qui concerne les composants effectifs, il consiste de quatre mors qui peuvent être construites pour s'adapter à différentes géométries d'éprouvette, comme des sections rectangulaires ou circulaires. En outre, la machine peut être équipée d'une variété de capteurs et de jauges pour surveiller la déformation, la contrainte.

Pour garantir la précision et la fiabilité des résultats des essais, les machines d'essai de traction bi-axiale doivent être étalonnées régulièrement et utilisées conformément aux normes et procédures reconnues. Les normes telles que ASTM E1012 et International Standardization Organization (ISO) 16842 fournissent des lignes directrices pour la réalisation

d'essais de traction bi-axiale et l'interprétation des résultats, Les conditions d'essai, telles que la température et la vitesse de déformation, doivent également être soigneusement contrôlées et documentées afin de garantir la répétabilité des résultats.



FIG. 2.12 : Système intégré d'essais bi-axial planaire

3.5 Dispositif de traction bi-axiale

Il existe un grand nombre de machines pour réaliser des essais de traction bi axiale, 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, Dans ce dispositif le système de chargement est hydraulique, avec une capacité de 50 kN et une vitesse de sortie maximale de la tige de $2 m.s^{-1}$, Le champ de déformation de l'éprouvette est déterminé par corrélation d'images numériques. Un système de type pantographe reliant les mors opposés est associés au dispositif, de sorte que les actionneurs ont des déplacements opposés deux à deux, Le suivi de la déformation se fait par mesure optique.[15]

Le dispositif proposé par Bhatnaga retal consiste à l'utilisation d'une machine classique de traction pour une direction de chargement et de vérins hydrauliques pour l'autre direction. Le principal inconvénient des dispositifs précédents est la nécessité de concevoir une machine spécifique, et donc leur coût élevé, incluant les vérins hydrauliques et la réalisation d'importants ensembles mécaniques. On peut citer deux dispositifs cinématiques simples, qui permettent de transformer un déplacement dans une seule direction en un système de deux déplacements orthogonaux.[15]

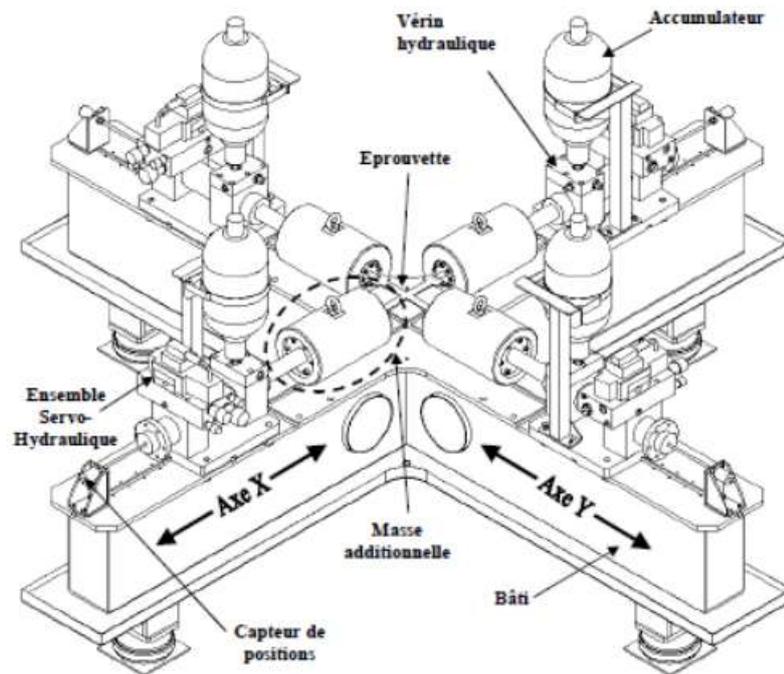


FIG. 2.13 : Dispositif de traction bi-axiale[15]

3.6 Éprouvette de traction bi-axiale

L'un des aspects les plus délicats de l'essai bi-axial avec une éprouvette en croix est la conception de l'éprouvette, qui pose des problèmes difficiles à résoudre. Dans le cas de la recherche d'une identification directe du comportement, il est difficile de créer un champ de déformations homogènes dans la partie utile de l'éprouvette à cause de la rigidité des bras de liaison vers les mors de l'éprouvette.

3.7 Forme de l'éprouvette cruciforme :

L'éprouvette cruciforme est utile pour simuler des états de contrainte complexes dans les essais de la traction bi-axiale. Cependant, il n'existe pas de normes ou de méthodes établies pour la conception de ces éprouvettes. Des recherches récentes ont proposé une méthodologie pour la conception et l'optimisation des éprouvettes cruciformes.[16]

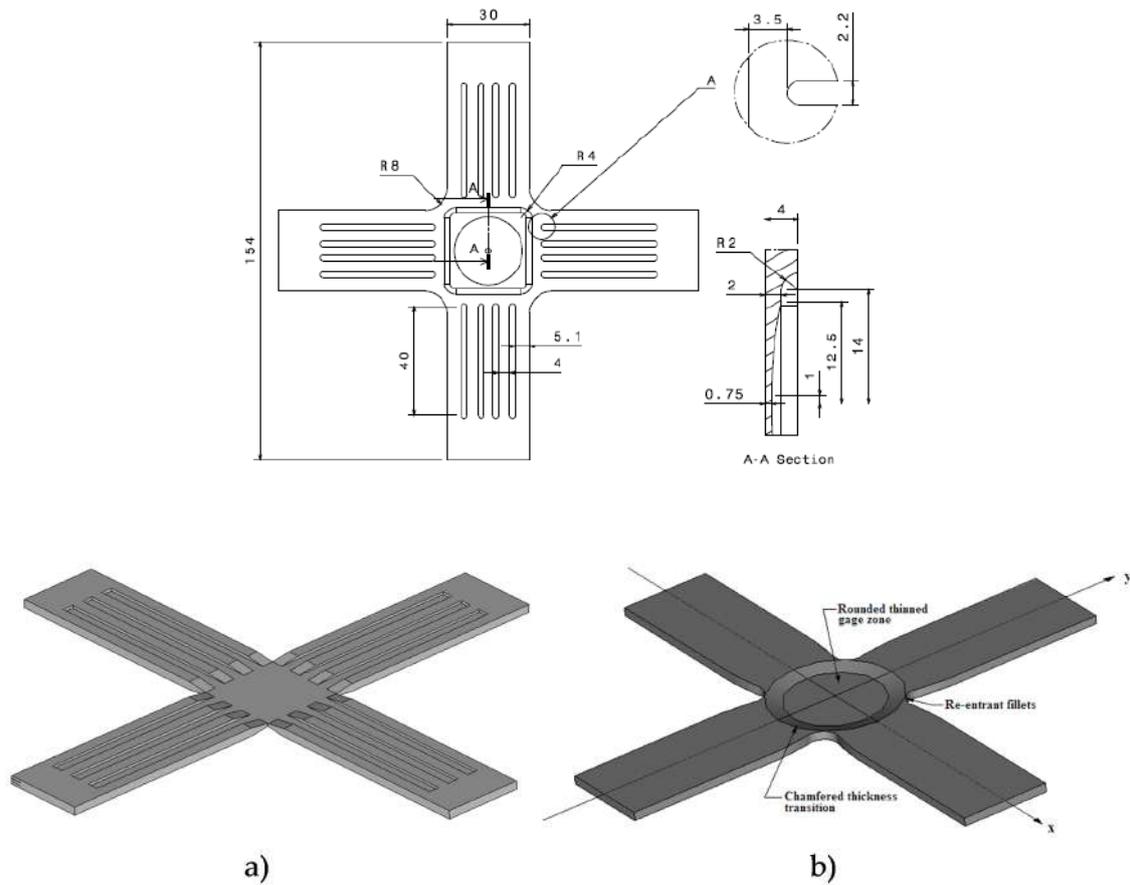


FIG. 2.14 : Éprouvette cruciforme [16]

3.8 Quelques types des éprouvettes cruciformes

Voici quelques types d'éprouvettes cruciformes fréquemment utilisés

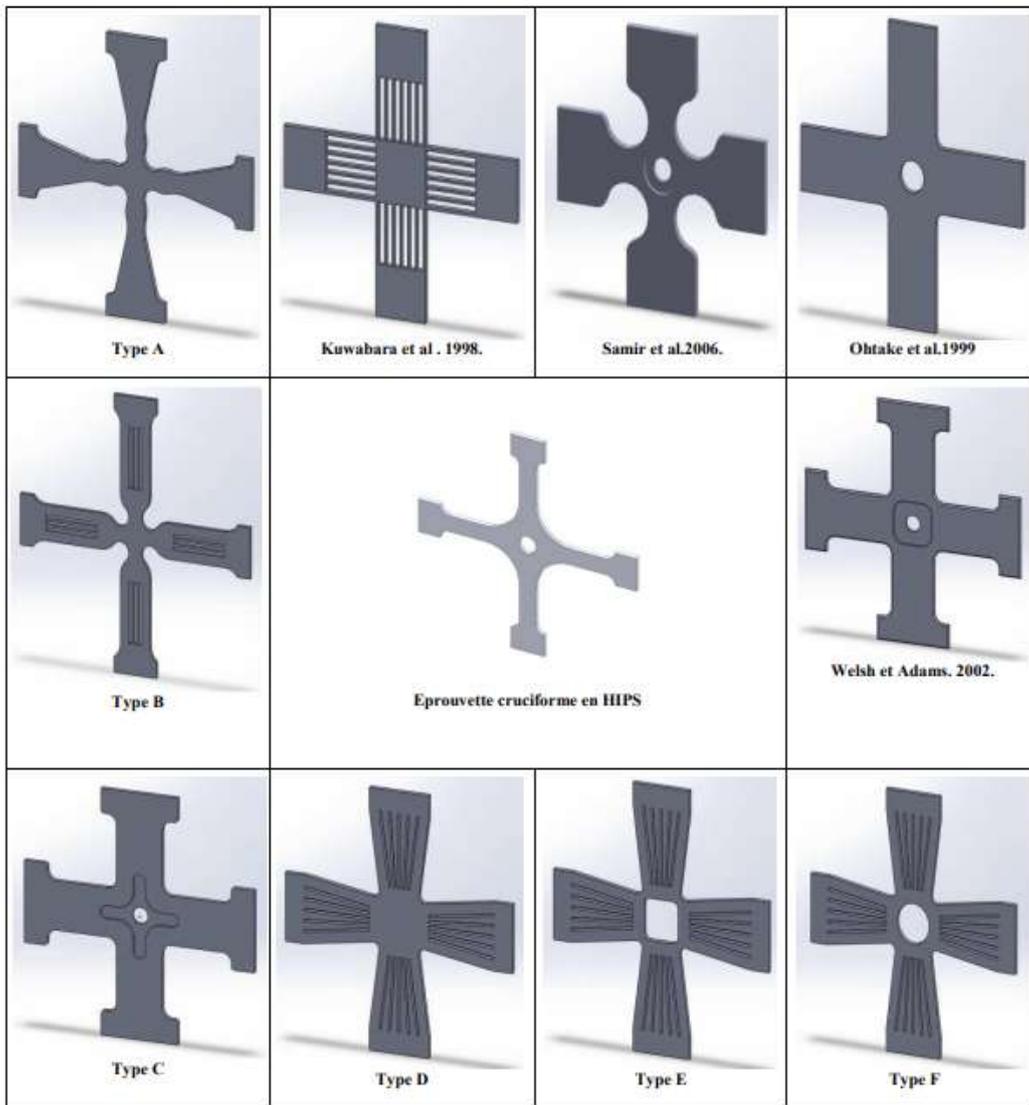


FIG. 2.15 : Formes des éprouvettes fréquemment utilisées dans le champ de recherche[17]

4 Conclusion

Ce chapitre donne un aperçu et les généralités entourant les machines de traction bi-axiale et uniaxiale. Le chapitre commence par présenter l'importance de la compréhension du comportement mécanique des matériaux, en particulier dans le contexte des essais de traction bi-axiale. La différence entre ces deux types de chargement donne lieu à une éprouvette adaptée aux essais bi-axiaux. Ceci est un défi mis en évidence. On souligne aussi les avantages que présentent ce type d'essais bi-axiaux.

Chapitre 3

Étude de la machine de traction bi-axiale

1 Introduction

Le travail de base repose sur la machine de traction biaxiale conçue dans le cadre du PFE de Sadouni [17]. Le chapitre débute en exposant l'importance de l'étude et de la simulation de la micro-machine, mettant en évidence son potentiel à fournir des informations précieuses sur le comportement des matériaux à l'échelle microscopique.

Ensuite, le chapitre se concentre sur une étude approfondie de la micro-machine à traction bi-axiale, incluant une évaluation des propriétés techniques de ses composants fonctionnels.

Après cette analyse de la micro-machine, le chapitre aborde la simulation numérique. Des méthodes de calcul avancées, telles que l'utilisation de l'analyse par éléments finis *Finite Element Analysis (FEA)*, sont employées pour simuler le comportement de la micro-machine dans divers scénarios de chargement. Les modèles de simulation sont développés en prenant en compte les propriétés physiques et les dimensions de la micro-machine, permettant ainsi une expérimentation virtuelle et une prédiction de ses performances. Les simulations numériques offrent des informations précieuses sur la répartition des contraintes et des déformations, les modèles de déformation et la réponse mécanique de la micro-machine, contribuant ainsi à son optimisation et à l'amélioration de ses performances.

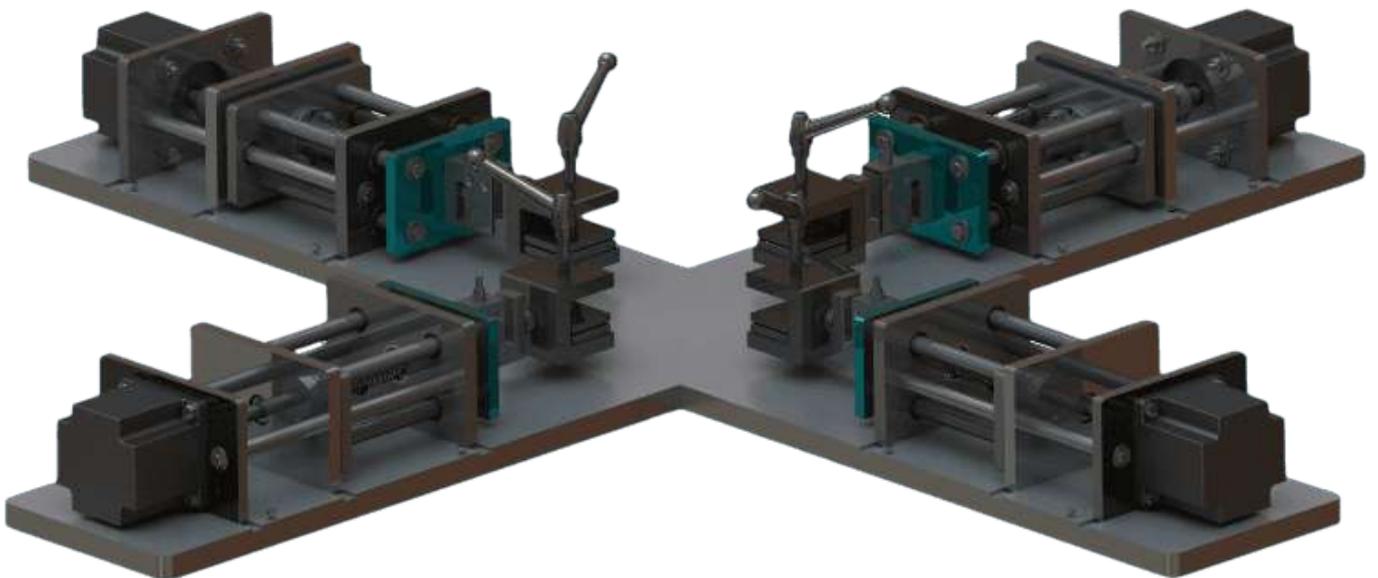


FIG. 3.1 : image de machine de traction bi-axiale

2 Présentation de notre machine

Après révision exhaustive sur la conception précédente, nous avons apporté des modifications pour répondre aux exigences. Plus précisément, nous avons introduit des plaques pour répondre aux spécifications géométriques du moteur pas à pas qui avaient déjà existants avant le lancement du projet. Ces modifications ont été mises en œuvre pour assurer une intégration et une compatibilité parfaites entre le moteur pas à pas existant et la conception globale de la machine.

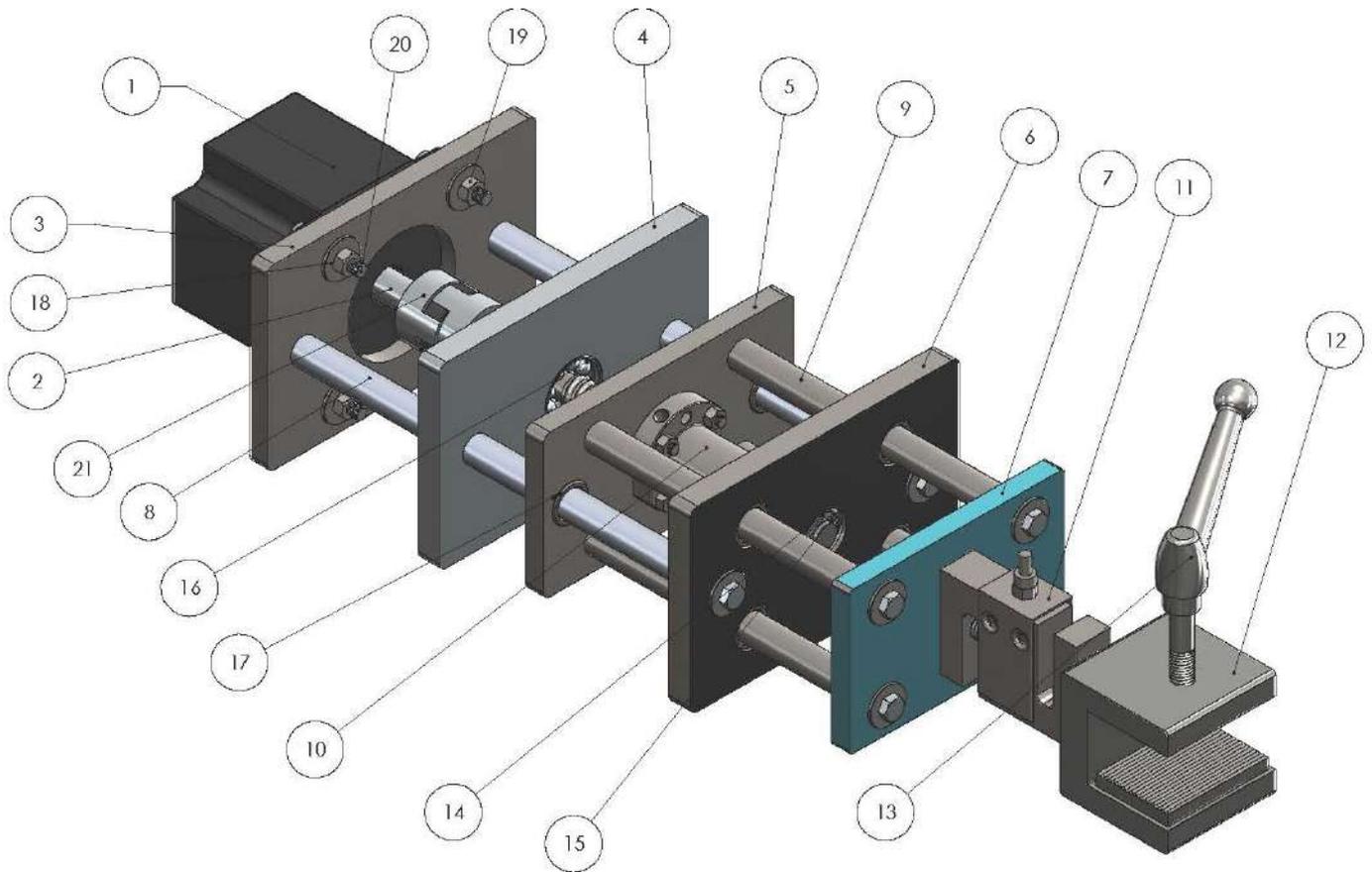


FIG. 3.2 : Image descriptive des éléments de la machine

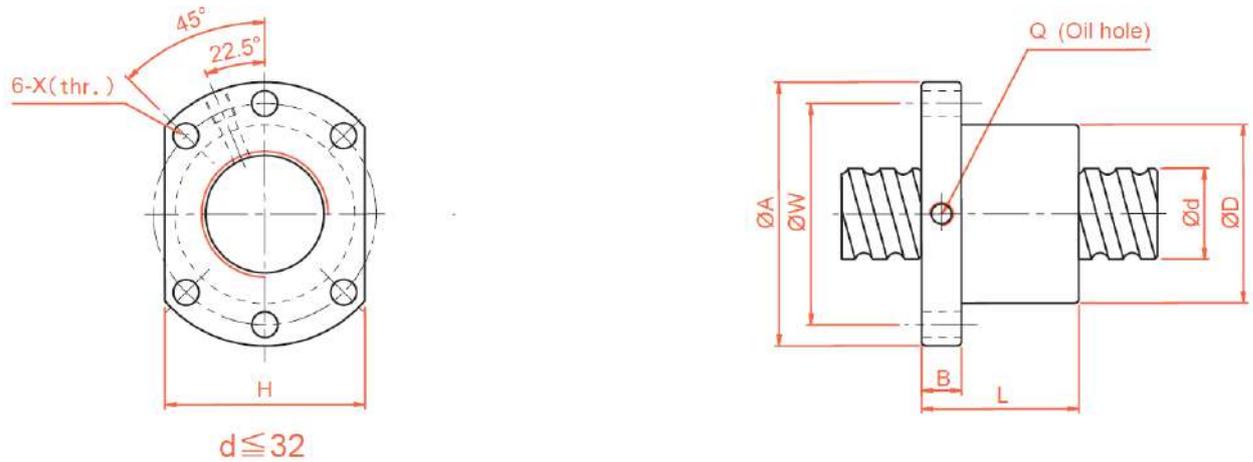
TAB. 3.1 : Les éléments constitutifs de la machine

Numérotation	composant	Quantité	Disponibilité du composant
1	Moteur pas à pas	4	Achetées
2	Arbre du moteur	4	intégrés avec le moteur
3	Plaques fixation de moteur	4	Usinées
4	Plaques de guidage	4	Usinées
5	Plaques de fixation d'écrous à billes	4	Usinées
6	Plaque à roulement	4	Usinées
7	Plaque fixation du capteur de force	4	Usinées
8	Tige de guidage	8	Usinées
9	Tige de traction	16	Usinées
10	Écrous à billes	4	Achetées
11	Capteurs de force	4	Achetés
12	mors	4	Usinées
13	Vis de pression	4	Usinées
14	Circlips	8	Achetées
15	Vis à billes	4	Achetées et Usinée
16	Roulements à billes	8	Achetés
17	Bagues en bronze	24	Achetées
18	Rondelles	68	Achetées
19	Écrous	40	Achetés
20	Boulons	68	Achetés
21	Accouplements	4	Usinés

3 Identification technique des choix des composants fonctionnels

3.1 Choix de la vis à billes

Plusieurs considérations importantes influencent le choix des vis à billes pour la micro-machine de traction bi-axiale. La capacité de charge est essentielle pour garantir que les vis à billes peuvent supporter les forces appliquées sans subir de déformation excessive. La résolution et la précision du positionnement sont déterminées par le pas, et le mouvement de préhension précis est maintenu en réduisant le jeu. Les considérations relatives à la taille, à la compatibilité et à la disponibilité garantissent une intégration optimale dans l'architecture du système. En évaluant soigneusement ces critères, les chercheurs peuvent choisir les vis à billes qui offrent les meilleures performances, la meilleure précision et la meilleure fiabilité pour produire un mouvement de préhension précis et contrôlé lors d'essais de traction bi-axiale.



Unit : mm

Model No.	d	l	Da	Dimension								Load Rating		K kgf/μm
				D	A	B	L	W	H	X	Q	n	Ca (kgf)	
SFNU01605-4*	5	3.175	28	48	10	45	38	40	5.5	M6	1x4	1380	3052	32
SFNU01610-3*	10	3.175	28	48	10	57	38	40	5.5	M6	1x3	1103	2401	26

FIG. 3.3 : Caractéristiques géométriques de la vis à billes avec le noix[18]



FIG. 3.4 : Image 3D illustrant la vis à billes usinée

3.1.1 Calcul de la puissance mécanique développée par le moteur :

d'après le graphe de couple en fonction de la fréquence de rotation incluse dans la partie d'automatisation de la machine nous trouvons que

$$T_w = 3.5 Nm$$

La puissance du moteur est donnée par la relation suivante et sa valeur vaut :

$$W_m = T_m \omega = \frac{2\pi}{60} T_m N = \frac{2\pi}{60} \times 3.5 \times 5 = 1.83 W \quad (3.1)$$

3.1.2 Calcul du rendement de la vis à billes

Pour calculer l'efficacité d'une vis à billes, nous devons tenir compte de plusieurs facteurs, y compris le pas d'hélice et le diamètre de la vis. Cependant, l'efficacité d'une vis à billes dépend également d'autres facteurs tels que la lubrification, la précharge et la qualité de fabrication.

Le rendement de vis à billes peut être calculé par le graphe suivant [19] :

- α : angle d'hélice [20]

$$\alpha = \arctan\left(\frac{p}{\pi D}\right) = \arctan\left(\frac{5}{16\pi}\right) = 5.68^\circ$$

- μ : le coefficient de frottement entre la vis et l'écrou

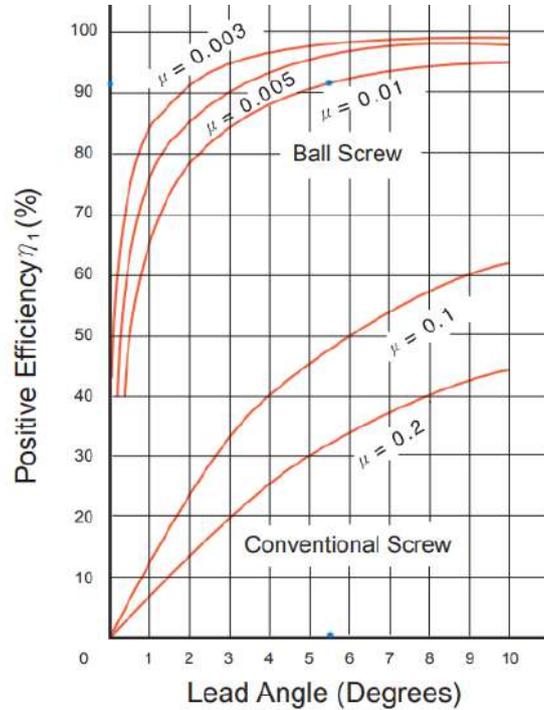


FIG. 3.5 : Rendement de la vis à billes en fonction de l'angle d'hélice[18]

Nous supposons un coefficient de frottement $\mu = 0.01$, par projection dans le graphe on a trouvé :

$$\eta_v = 92 \%$$

3.1.3 Calcul de la force développée par la machine

La force développée par la machine peut être formulée comme suit[21] :

$$F_a = \eta_T \frac{2\pi M}{p} \quad (3.2)$$

$$\eta_T = \eta_v \eta_c^6 \quad (3.3)$$

Tel que :

- η_T : rendement total de la machine
- η_v : rendement de vis à billes
- η_c : rendement des cousins (0.98)
- M : la couple développée par le moteur (N.m)
- p : le pas de vis à billes (m)

Application numérique :

$$\eta_T = 0.92 \times 0.98^6 = 0.8149$$

Il s'en suit que :

$$F_a = 0.8149 \times \frac{2\pi \times 3.5}{5 \times 10^{-3}} = 3584.44 \text{ N}$$

3.1.4 Calcul de la durée de vie de la vis à billes

D'après le catalogue des vis à billes fourni par TBI-Motion, la durée de vie en nombre des tours est exprimée comme suit [22] :

$$L = \left(\frac{C_a}{P_a f_w} \right)^3 \quad (\text{Million tours}) \quad (3.4)$$

$$L_h = \left(\frac{C_a}{P_a f_w} \right)^3 \times \frac{10^6}{60N} \quad (h) \quad (3.5)$$

Tel que :

- C_a : la charge dynamique de base (N)
- P_a : la charge axiale (N)
- f_w : le coefficient de charge
- N : la vitesse de rotation (*tr/min*)

La relation entre le coefficient de charge f_w et la vitesse des écrous à billes dans un système de vis à billes est un facteur crucial à prendre en compte. Le facteur de charge représente le rapport entre la charge appliquée et la charge dynamique nominale de la vis à billes.

Voici la table illustrant l'influence de la vitesse de déplacement des vis à billes sur facteur de charge [18] :

Vibration influence	La vitesse (m/s)	Le coefficient de charge f_w
Faible	Très basse $V \leq 0.25$	1-1.2
Petite	Très basse $0.25 < V \leq 1$	1.2-1.5
Modérée	Moyenne $1 < V \leq 2$	1.5-2
Forte	Élevée $V > 2$	2-3.5

TAB. 3.2 : Influence de la vitesse de déplacement sur La facture de charge

On peut choisir le facteur de charge $f_w = 1$:

$$L = \left(\frac{1380 \times 9,80665}{3014} \right)^3 = 53.8 \text{ Millions tours}$$

En heures, ça nous donne :

$$L_h = \frac{10^6 L}{60N} = 8967989.8 \text{ h}$$

3.2 Caractérisation du moteur :

Pour atteindre une haute résolution dans le mouvement d'un moteur pas à pas, il est impératif d'ajuster Les paramètres de contrôle du driver ont un impact direct sur les performances et la précision du mouvement du moteur. Des paramètres tels que la vitesse et la fréquence des impulsions de pas, les profils d'accélération et de décélération peuvent être ajustés pour optimiser la résolution du moteur. En affinant ces paramètres, il est possible d'augmenter le nombre de pas par révolution et d'améliorer la précision du positionnement du moteur. En outre, le réglage du mode micropas permet d'améliorer encore la résolution en subdivisant chaque pas en incréments plus petits. Cependant, il est important de trouver un équilibre entre la résolution et les performances du moteur, car des résolutions plus élevées peuvent entraîner une diminution du couple et une augmentation de la consommation d'énergie. Il est donc nécessaire d'ajuster soigneusement les paramètres et de procéder à des essais pour obtenir la résolution élevée souhaitée tout en préservant les performances et l'efficacité globales du moteur.[23]

Dans notre cas, nous avons choisi :

$$N_s = 1600 \text{ pas/tour}$$

ce qui nous concluons que vitesse exprimée en nombre de pas par second :

$$N_{rs} = N_r \times N_s = 0.1 \times 1600 = 160 \text{ Pas/min} = 2.6666 \text{ Pas/s}$$

3.3 Choix des roulements

Lors du choix d'un roulement à billes, un facteur essentiel à prendre en compte est le type de charge auquel le roulement est soumis. Différents types de charges, notamment les charges radiales, les charges axiales ou une combinaison des deux, peuvent affecter de manière significative les performances et la durée de vie du roulement. Dans notre cas où la charge est principalement axiale ou a une composante axiale significative, il est essentiel de choisir un roulement à billes avec des angles de contact obliques.

Le choix d'un roulement à billes avec des angles de contact obliques est particulièrement avantageux dans les applications où les forces de poussée ou axiales sont importantes, comme dans les broches de machines-outils, les transmissions automobiles ou les équipements rotatifs à grande vitesse. En choisissant le roulement à billes à contact oblique approprié, les ingénieurs peuvent garantir un fonctionnement fiable et efficace, en minimisant le risque d'usure prématurée, la production excessive de chaleur et les défaillances potentielles des roulements.

Les propriétés techniques des roulements sont résumées ci-dessous :

- **Le diamètre d'arbre $d(\text{mm})$:** 12
- **Le diamètre d'alésage $D(\text{mm})$:** 32
- **Largeur $B(\text{mm})$:** 10
- **Distance entre la face latérale et le point de pression $a(\text{mm})$:** 14
- **Charge dynamique de base $C(\text{kN})$:** 7.61
- **Charge statique de base $C_0(\text{kN})$:** 3.8



FIG. 3.6 : Roulement SKF à billes à contact oblique 40° à une rangée (7201 BECBP)

- Vitesse de référence $V(\text{tr}/\text{min})$: 28000
- La valeur limite e : 1.14
- $X = 0.35$, $Y = 0.57$, $X_0 = 0.5$, $Y_0 = 0.26$

3.3.1 Calcul de la durée de vie des roulements

La durée de vie d'un roulement est calculée par la formule suivante [24] :

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^3 \quad (\text{tours}) \quad (3.6)$$

tell que :

- C : la charge dynamique nominale du roulement. (kN)
- P : la charge équivalente.(kN)
- L_{10} : vie de roulement exprimée par nombre des tours

La charge équivalente (P) peut être calculée à l'aide de la formule suivante pour un roulement à angle oblique :

$$P = X F_r + Y F_a \quad (3.7)$$

tell que :

- F_r : la charge radiale (kN)
- F_a : la charge axiale (kN)
- X et Y : les facteurs représentant la répartition de la charge entre les directions radiale et axiale.

En se basant sur les résultats précédents, on a :

$$F_r = 0 \quad , \quad F_a = 3584.44 \text{ N}$$

Ce qui nous donne :

$$P = 0.57 \times 3584.44 = 2043.1308 \text{ N}$$

Alors :

$$L_{10} = \left(\frac{7610}{2043.1308} \right)^3 = 51.6732 \text{ Million de tours}$$

$$L_{10h} = \frac{L_{10} \times 10^6}{60N} = \frac{51.6732 \times 10^6}{60 \times 2.38} = 8612202 \text{ h}$$

4 Simulation numérique de la résistance des éléments

Pour étudier la résistance des composants des micro-machines dans le cadre de l'investigation numérique, nous allons utiliser SolidWorks pour simuler leur comportement lors de l'opération de traction. Cependant, en raison des difficultés rencontrées pour simuler leur comportement dynamique, nous adopterons une approche de simulation statique. Cette approche suppose que la réaction à la force de traction est équivalente à la force de traction appliquée elle-même.

Malgré l'absence d'effets dynamiques, la simulation statique nous permet d'obtenir des informations précieuses sur la réponse mécanique des composants soumis à une charge de traction. Elle offre une représentation simplifiée qui facilite l'analyse et l'évaluation de l'intégrité structurelle, de la distribution des contraintes et des caractéristiques de déformation.

La figure ci-dessous illustre la visualisation numérique du déplacement d'un mors dont la charge axiale a été calculée précédemment à 3500 N.

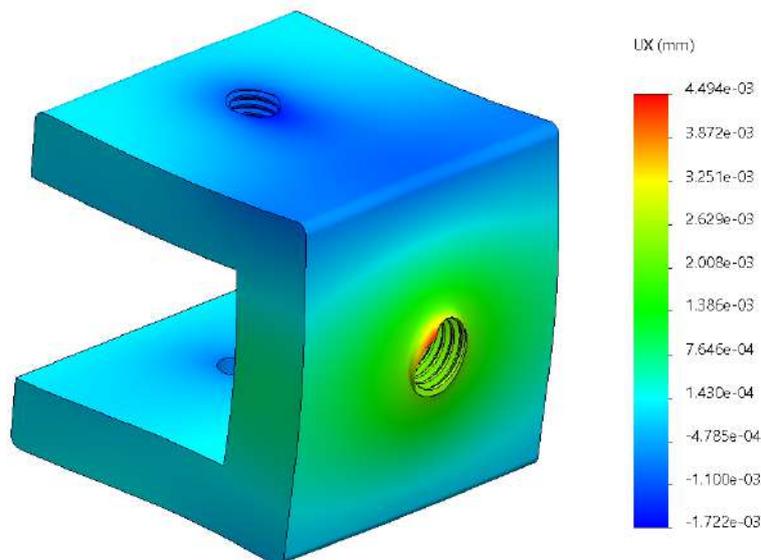


FIG. 3.7 : Visualisation tridimensionnelle de La distribution du déplacement équivalente dans le mors

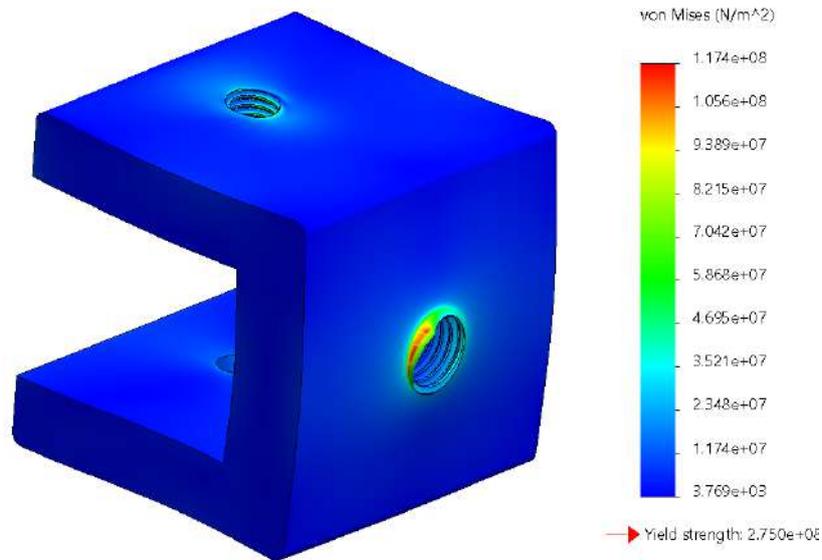


FIG. 3.8 : Visualisation tridimensionnelle de La distribution de la contrainte équivalente de von mises dans le mors

Remarque

On remarque sur la figure que le déplacement maximal se manifeste massivement autour de la zone de fixation, où il est à peu près $4 \times 10^{-3} \text{ mm}$

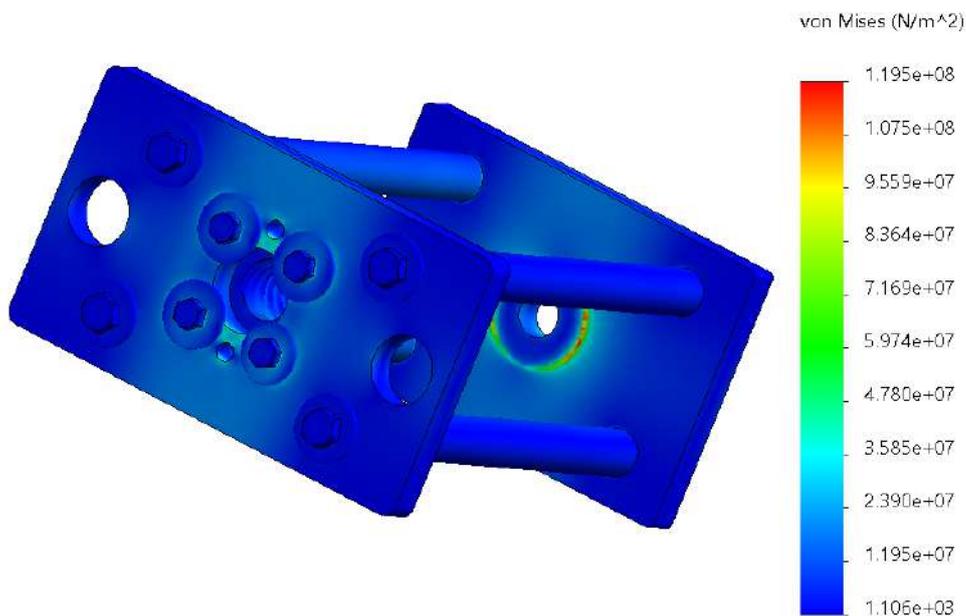


FIG. 3.9 : Visualisation tridimensionnelle de distribution contrainte von mises de partie mobile

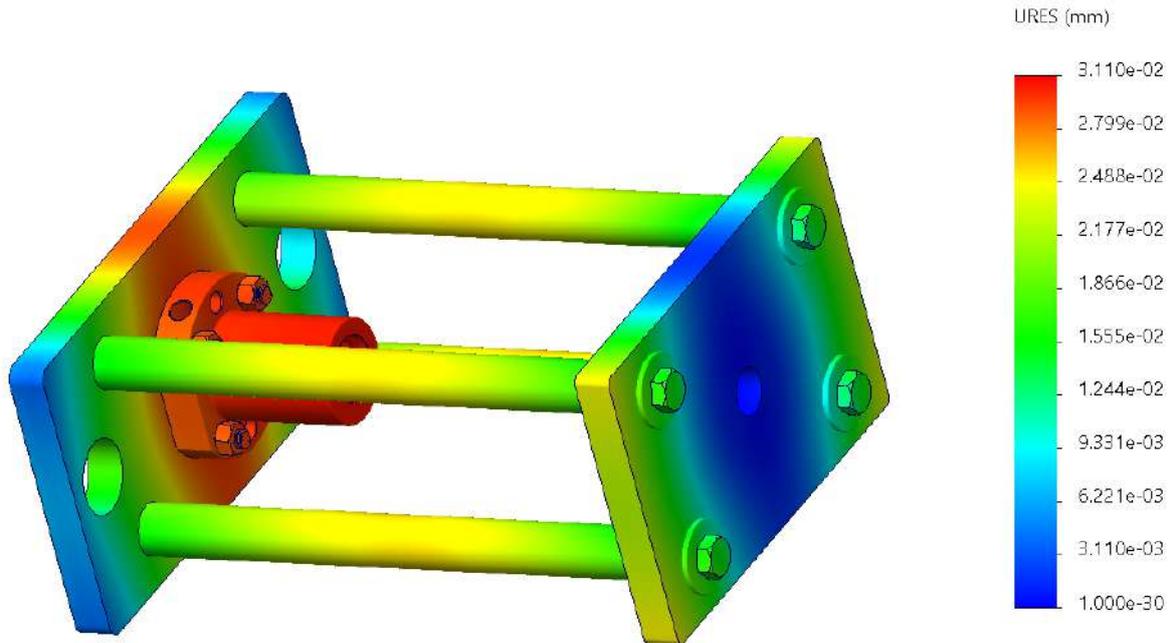


FIG. 3.10 : Visualisation tridimensionnelle de distribution de déplacement de partie mobile

Interprétation

La simulation numérique effectuée par SolidWorks a dévoilé qu'un assemblage composé de deux plaques fixées par quatre tiges filetées aux extrémités et attachées ensemble par des boulons présentait un déplacement significatif d'environ $3,11 \times 10^{-2} \text{ mm}$ au centre du panneau.

En plus de cela, des déplacements notables ont également été observés au niveau des quatre tiges de tension. Cela peut être attribué aux jeux entre les filets des boulons et les trous taraudés des tiges, qui maintiennent l'assemblage des deux panneaux. Lorsque les boulons sont serrés, la partie filetée s'engage dans les trous taraudés, établissant une connexion entre les plaques et les tiges.

5 Conclusion

En conclusion, l'étude technique effectuée comprenait le calcul de la durée de vie de la vis à billes et du roulement à billes, ainsi que l'évaluation de leur rendements, la force de traction générée et de la fréquence de rotation. Ces analyses ont fourni des indications précieuses sur la durée de vie, les performances et la fiabilité attendues de ces composants essentiels de la machine.

Parallèlement, une simulation a été appliquée pour étudier la résistance des composants fonctionnels de la machine dans diverses conditions de fonctionnement. Cette simulation a permis d'évaluer l'intégrité structurelle, la répartition des contraintes et les modèles de déformation, ce qui nous a permis d'identifier les domaines de préoccupation potentiels et d'affiner la conception en conséquence.

Les résultats combinés de l'étude technique et de la simulation soulignent l'importance de prendre en compte la durée de vie, l'efficacité et les caractéristiques de performance de la vis à billes et du roulement à billes. Ces composants jouent un rôle fondamental dans le bon fonctionnement et la longévité de la machine.

Chapitre 4

Réalisation de la machine

1 Présentation des entreprises sponsors

Les éléments de la machine ont été réalisés grâce au soutien des entreprises Tecnonum et Usiprecis

1.1 Technologie d'usinage à commande numérique (Tecnonum)

Tecno Num est une entreprise appartenant à Mezeghrani Amine, spécialisée dans la fabrication et la précision mécanique. Le siège social de la société est situé dans la commune de Ouled Moussa, Wilaya boumerdès à l'adresse suivante : Zone industrielle, Ouled Moussa 35011. En tant qu'une entreprise de fabrication et de précision mécanique, Tecno Num se concentre sur la production de composants, de pièces ou de produits mécaniques précis et de haute qualité. Ils utilisent des machines et des technologies de pointe ainsi qu'un personnel qualifié pour garantir la précision et la fiabilité de ses processus de fabrication.



FIG. 4.1 : Localisation géographique de Tecnonum

2 Procédures de la fabrication mécanique des composants de la machine

2.1 Choix des matériaux pour les composants usinés

Lors de la sélection du matériau pour les pièces fabriquées de la machine, nous avons opté pour l'acier de construction E295 pour plusieurs raisons convaincantes. Tout d'abord,

le rapport coût-efficacité a joué un rôle important dans le processus de décision. l'acier E295 offre un rapport coût/performance favorable, ce qui en fait un choix économiquement viable pour le projet.

En outre, la grande durabilité E295 a été un facteur déterminant. Les composants de la machine sont soumis à diverses forces et contraintes pendant leur fonctionnement, et il est essentiel d'utiliser un matériau capable de résister à ces conditions. La structure en acier E295 possède d'excellentes propriétés mécaniques, notamment en termes de résistance et de ténacité, ce qui garantit la longévité et la fiabilité des pièces fabriquées.

Comme TECHNOUNUM a été le principal sponsor de ce projet, apportant son soutien en termes de matériaux et de fabrication, nous avons pris en considération la disponibilité de l'acier de construction. Le choix de l'acier de construction a été décidé en raison de sa disponibilité au niveau de l'entreprise. En choisissant l'acier de construction E295, nous avons donné la priorité à la rentabilité, à la durabilité et à la disponibilité sur le marché. Ces facteurs contribuent collectivement à la faisabilité et à la durabilité du projet. Le matériau sélectionné donne une base solide aux performances de la machine, garantissant sa fiabilité et sa fonctionnalité sur une longue période.

Nom des composants	Matériau
Plaque de fixation de moteur	Acier structural E295
Plaque de guidage	Acier structural E295
Plaque à écrous à billes	Acier structural E295
Plaque à roulement	Acier structural E295
Plaque de fixation de capteur de force	Acier structural E295
mors	Acier structural E295
Bati	Acier structural E295

TAB. 4.1 : Table illustrative des choix des matériaux pour les composants usinés

Propriétés	Valeurs	Unités
Module de Young	2.1×10^{11}	Pa
Masse volumique	7800	kg/m^3
Résistance à la traction	47×10^7	Pa
Limite d'élasticité	275×10^6	Pa
Coefficient dilatation thermique	1.1×10^{-5}	/K

TAB. 4.2 : les propriétés mécaniques de matériau choisi

2.2 Gamme d'usinage des composants de la machine

2.2.1 Plaque de fixation de capteur de force

La plaque comporte un trou de passage central pour le capteur de force, ainsi qu'un perçage partiel pour le montage de quatre barres de guidage qui sont percées et taraudées aux extrémités.

le perçage central. Il permet de positionner et d'aligner correctement le capteur dans la plaque.

Le lamage sert pour le montage des quatre tiges de guidage. Ces tiges servent de guides ou de supports pour le capteur de force. Les trous sont partiellement percés à travers la plaque à une certaine profondeur, puis taraudés pour créer des filets permettant de fixer solidement les tiges de guidage.

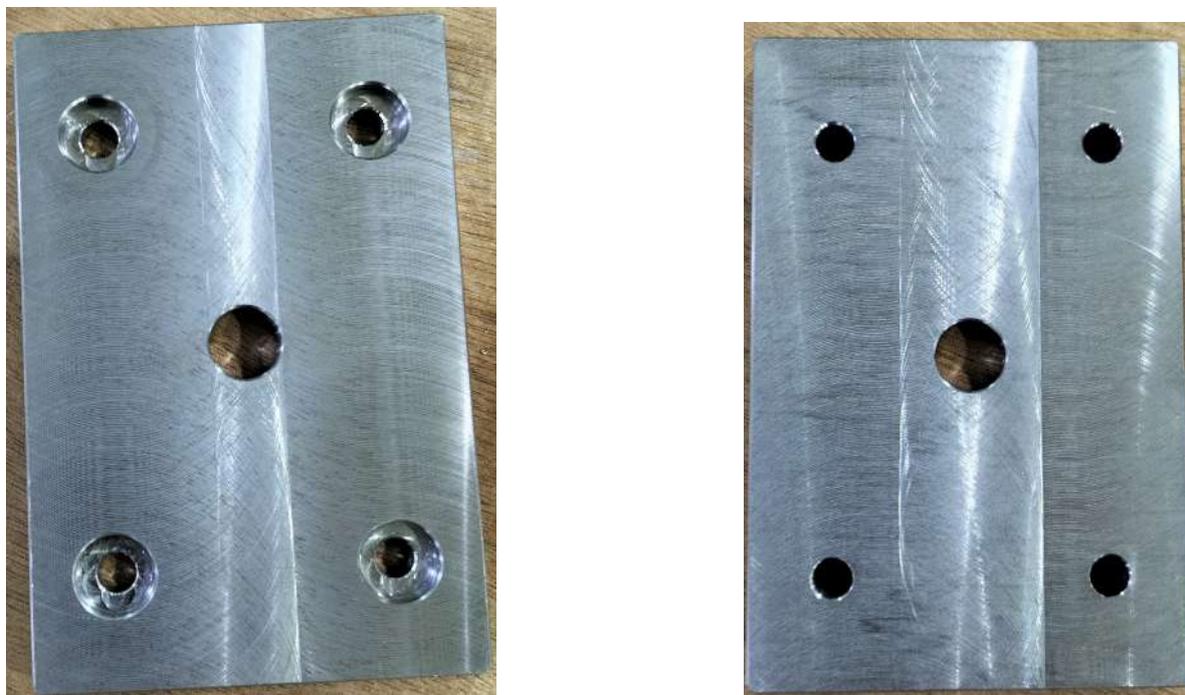


FIG. 4.2 : Plaque de fixation de capteur de force

TAB. 4.3 : Gamme de fabrication de plaque de fixation de la cellule de force

Gamme d'usinage	le nome de composant	Dimensions de brut (mm)	Matériau
	plaque de fixation de C.F	130×90 ×15	Acier E295

N° de phase	Désignation des Phases	Machine	Outil
1	contrôle de brut	CNC-V30	MEAX MT30
2	surfaçage	CNC-V30	20mm CRB 4FL HGN
3	perçage	CNC-V30	12MM X 90DEG CRB

2.2.2 Plaque de fixation moteur

Nous avons besoin d'une plaque de fixation pour le moteur son but est fixer l'extrémité inférieure des deux tiges de guidage à l'aide de deux vis M6 (les tiges sont filetées en bas).

De plus, la plaque doit permettre la fixation du moteur à l'aide de quatre vis et quatre écrous. Pour faciliter le passage de l'arbre du moteur à travers la plaque sans interférence, celle-ci doit comporter un trou centré. En outre, la plaque comprend également deux centrages courts afin d'assurer une fixation précise des deux tiges de guidage.

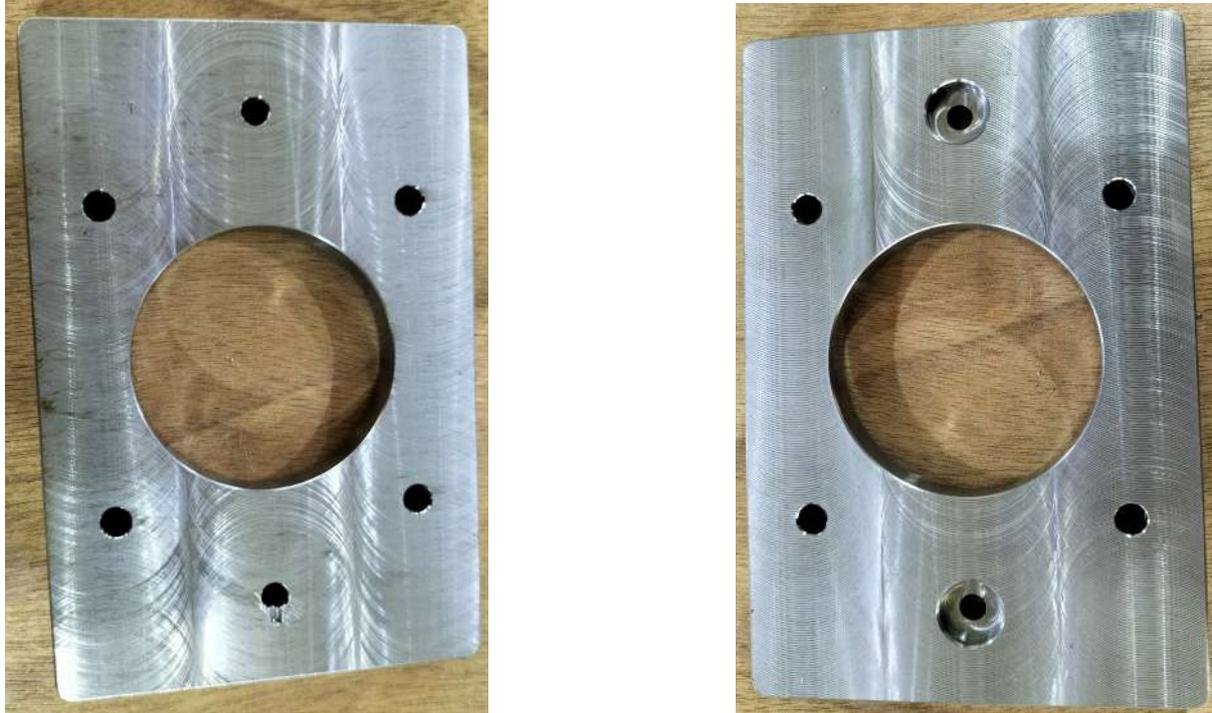


FIG. 4.3 : plaque de fixation moteur

Gamme d'usinage	le nome de composant	Dimensions de brut (mm)	Matériau
	plaque de fixation de moteur	160×110 ×20	Acier E295
N° de phase	Désignation des Phases	Machine	Outil
1	contrôle de brut	CNC-V30	MEAX MT30
2	surfaçage	CNC-V30	20mm CRB 4FL HGN
3	perçage	CNC-V30	12MM X 90DEG CRB

TAB. 4.4 : Gamme de fabrication de plaque de fixation moteur

2.2.3 Plaque à roulement

cette plaque comporte un total de sept perçages. Deux perçages alignés sur l'axe de la longueur sont spécifiquement destinés aux tiges de guidage. De plus, quatre perçages sont réalisés dans l'axe de la largeur pour accueillir les tiges de traction. Enfin, le perçage central de la plaque est réservé exclusivement au roulement.

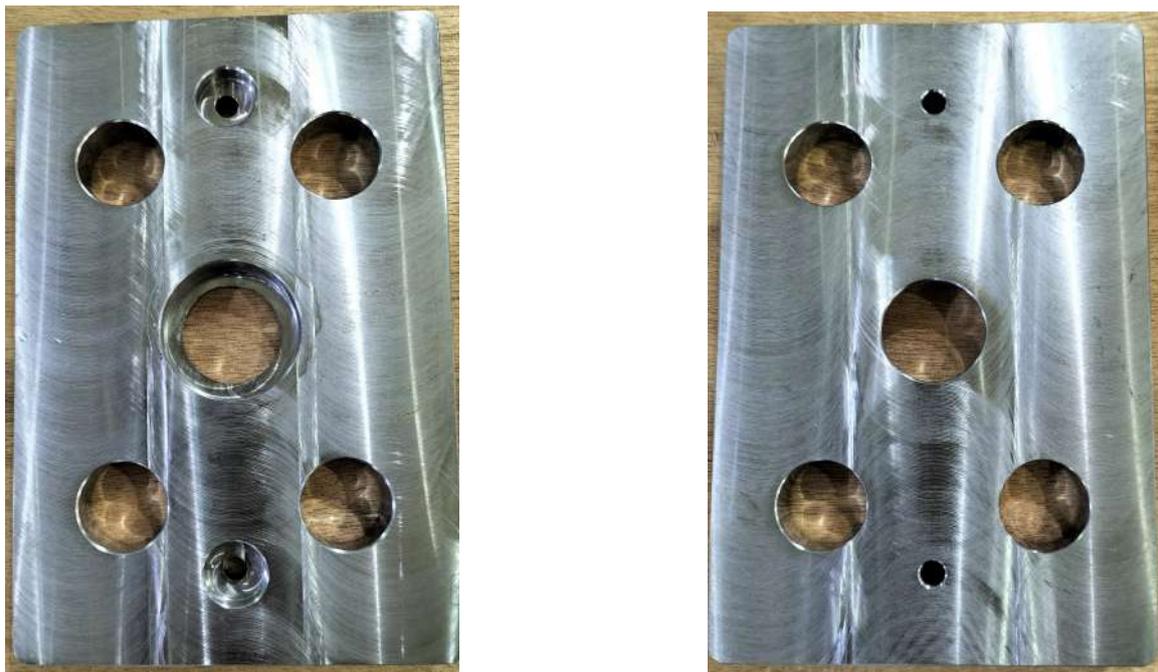


FIG. 4.4 : Plaque à roulement

TAB. 4.5 : Gamme de fabrication de plaque à roulement

Gamme d'usinage	Nom de composant	Dimensions de brut (mm)		Matériau
		Plaque de fixation de moteur	160×110 ×20	
N° de phase	Désignation des Phases	Machine	Outil	
1	contrôle de brut	CNC-V30	MEAX MT30	
2	Surfaçage	CNC-V30	20mm CRB 4FL HGN	
3	Perçage	CNC-V30	12MM X 90DEG CRB	

2.2.4 Plaque fixation de noix à bille

Afin d'assurer le mouvement de translation de l'écrou de la vis à billes, il est essentiel de le monter sur une plaque spécifique. Cette plaque de fixation de l'écrou est conçue pour être la source de notre mouvement de translation. Elle est fixée à l'écrou de la vis à billes à l'aide de six vis boulons.

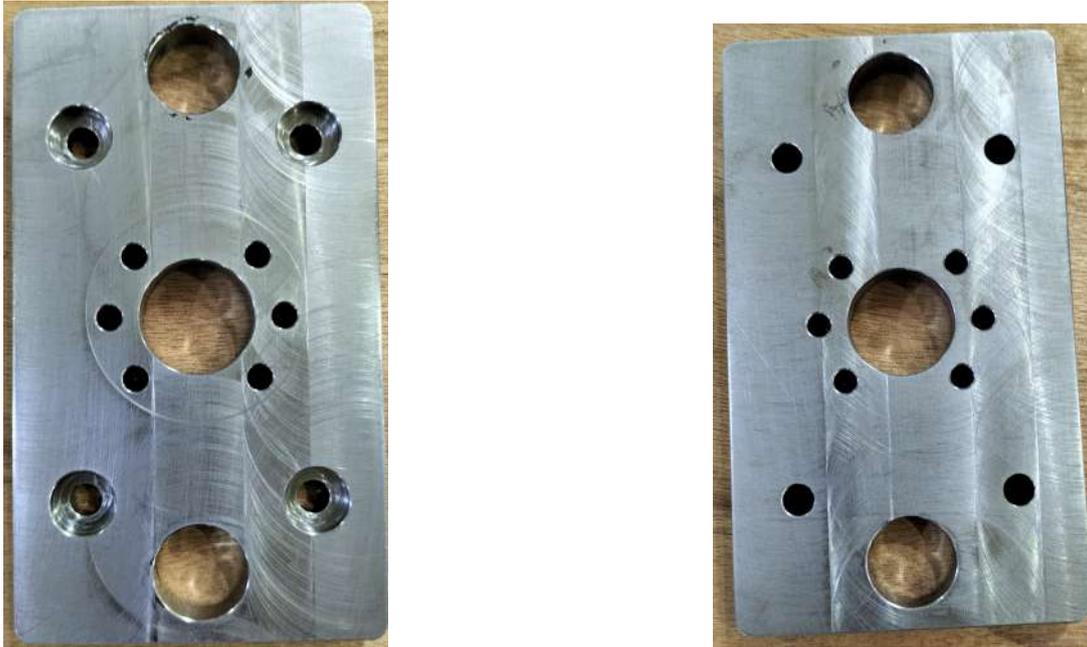


FIG. 4.5 : Plaque fixation d'écrou

TAB. 4.6 : Gamme de fabrication de plaque de fixation écrou à billes

Gamme d'usinage	le nome de composant	Dimensions de brut (mm)	Matériau
	plaque de fixation de moteur	150×100 ×15	Acier E295
N° de phase	Désignation des Phases	Machine	Outil
1	Contrôle de brut	CNC-V30	MEAX MT30
2	Surfaçages	CNC-V30	20mm CRB 4FL HGN
3	Perçages	CNC-V30	12MM X 90DEG CRB

2.2.5 Plaque de guidage

La figure ci-dessous représente une plaque de guidage avec deux perçages pour le passage des tiges de guidage et lamage de trous pour le roulement.

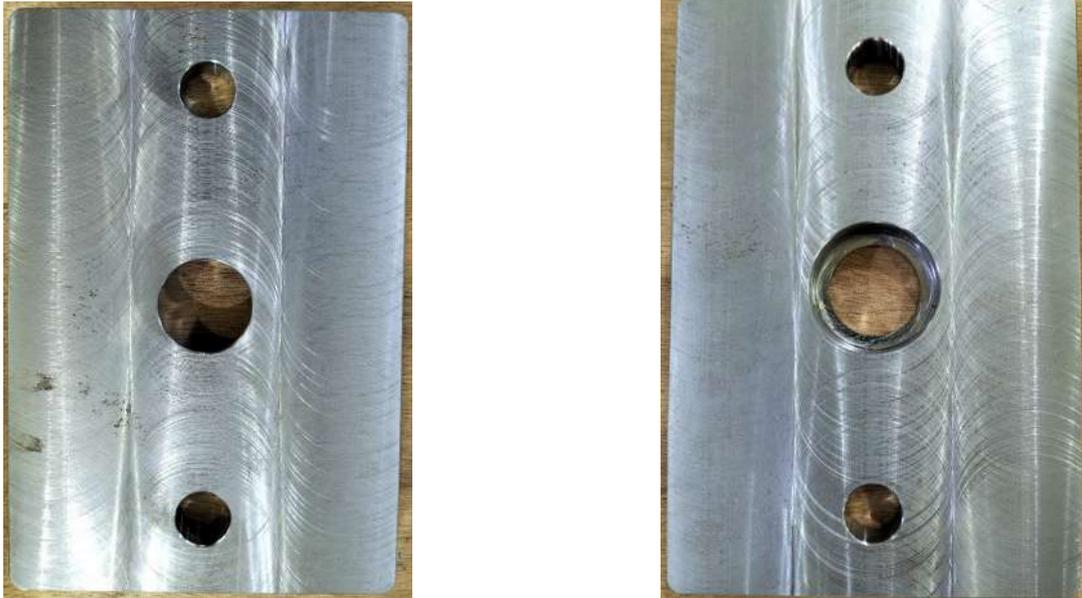


FIG. 4.6 : plaque de guidage

Gamme d'usinage	le nome de composant	Dimensions de brut (mm)	Matériau
	plaque de fixation de moteur	160×110 ×15	Acier E295
N° de phase	Désignation des Phases	Machine	Outil
1	Cgontrolé de brut	CNC-V30	MEAX MT30
2	surfaçage	CNC-V30	20mm CRB 4FL HGN
3	perçage	CNC-V30	12MM X 90DEG CRB

TAB. 4.7 : Gamme de fabrication de plaque de roulement

2.2.6 Bâti

Le bâti sur lequel sont montés les éléments ont été réalisés au sein de l'entreprise ENCC

Gamme d'usinage	composant	Dimensions de brut (mm)	Matériau
	Bâti	1260×200 ×25	Acier E295
N° de phase	Désignation des Phases	Machine	Outil
1	Rainurage	Fraiseuse à 3 axes	10-12 mm CRB 4FL HGN
2	perçage	Fraiseuse à 3 axes	fôrets

TAB. 4.8 : Gamme de fabrication de Bâti



FIG. 4.7 : Bâti

3 Procédures de montage

Une fois que l'usinage des pièces est terminé et que les dimensions sont conformes aux spécifications du dessin, cette partie traite des procédures de montage nécessaires pour assembler notre machine. Il est essentiel de suivre des procédures spécifiques pour garantir un montage correct.

3.1 Montage d'écrou à billes avec vis à billes

L'assemblage de la vis à bille et de son écrou doit être effectué méticuleusement en poussant l'écrou jusqu'à ce qu'il atteigne le début du filetage alors que la vis à bille et le tube en plastique sont alignés, puis en tournant l'écrou jusqu'à ce qu'il s'enclenche complètement.



FIG. 4.8 : Montage d'écrou à billes avec vis à billes

3.2 Montage d'écrou à billes avec sa plaque

Après avoir assemblé la vis à bille avec son écrou, nous avons fixé la plaque à l'écrou à bille à l'aide de 4 vis et écrous.



FIG. 4.9 : Montage d'écrou à billes avec sa plaque

3.3 Montage de plaque à roulement et de guidage avec vis à billes

Compte tenu de l'ajustement entre l'arbre et le roulement à billes, cet ensemble nécessite un presse.



FIG. 4.10 : Montage de plaque à roulement avec vis à billes

3.4 Montage des tiges de guidage et traction

Dans cette étape, le serrage modéré du boulon qui fixe moins de tiges joue un rôle crucial dans le bon fonctionnement.



FIG. 4.11 : Montage des tiges de guidage et traction

3.5 Montage de plaque de fixation de moteur et capteur de force

Une fois l'assemblage des tiges de traction et de guidage terminé, un prochain étape consiste à fixer la plaque de fixation du capteur de force et la plaque de fixation du moteur pas à pas. Pour garantir une installation stable et efficace, nous avons utilisé des boulons de fixation de taille M6. Ces boulons ont été sélectionnés pour offrir une résistance et une stabilité suffisantes, afin de fixer efficacement les panneaux de montage en place.

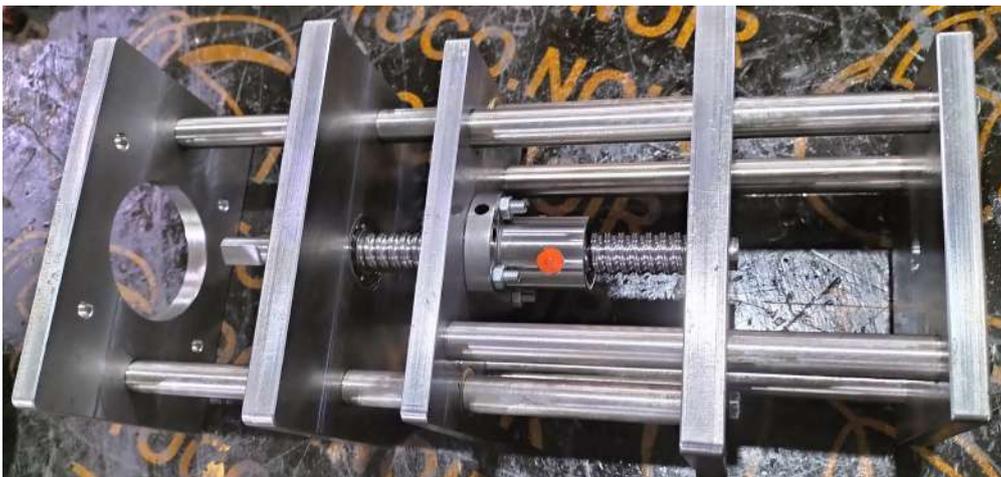


FIG. 4.12 : Montage de plaque de fixation de moteur et capteur de force

3.6 Montage final de sous-machine

L'étape suivante consiste à assembler le capteur de force et les pinces de serrage, en veillant à ce qu'ils soient positionnés horizontalement pour garantir un alignement cor-

rect de l'échantillon. Le capteur de force, qui mesure la force appliquée pendant le test, est solidement installé à l'emplacement prévu. Les pinces de serrage, qui maintiennent solidement l'échantillon en place, sont soigneusement alignées sur le capteur de force



FIG. 4.13 : Montage final de sous-machine

Chapitre 5

Automatisation de la machine

1 Introduction

Après l'achèvement des opérations d'assemblage et la vérification du bon fonctionnement des composants mécaniques, l'attention se porte sur l'automatisation et le contrôle de la machine. Ce chapitre explique les processus séquentiels nécessaires à l'automatisation de la machine et met l'accent sur la méthode opérationnelle pour son bon fonctionnement.

2 Les composants nécessaires d'automatisation de la machine

2.1 Moteur pas à pas

Les moteurs pas à pas fonctionnent selon le principe de l'électromagnétique. Ils sont composés d'un rotor (partie tournante) et d'un stator (partie fixe) qui abrite plusieurs bobines ou enroulements. En alimentant ces bobines dans une séquence spécifique, les champs magnétiques produits entraînent le déplacement du rotor par pas distincts.[25]

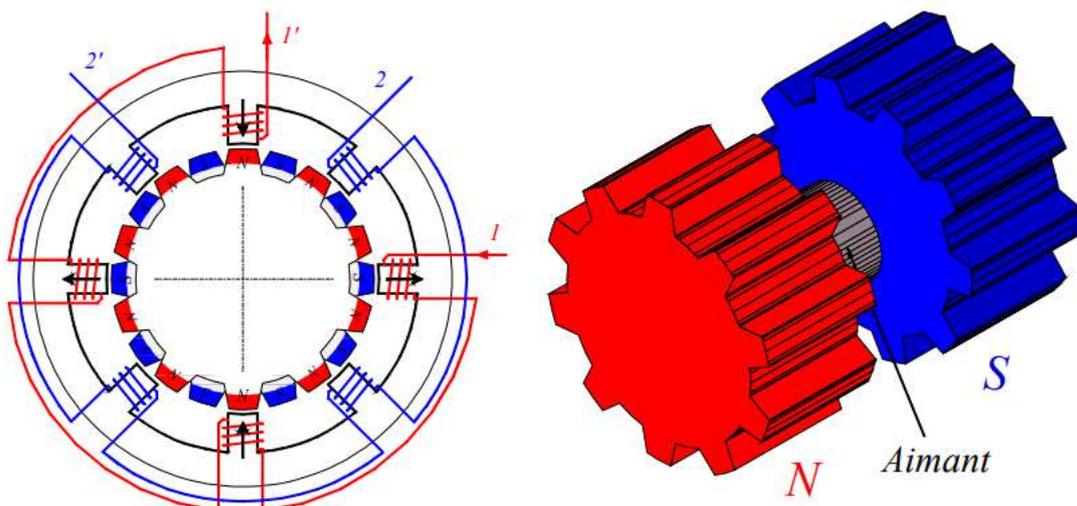


FIG. 5.1 : Le moteur pas à pas hybride

Le choix d'un modèle de moteur pas à pas pour représenter la micro-machine de traction bi-axiale est soumis à de multiples considérations, dont la disponibilité. Dans notre cas, le moteur était déjà disponible dans notre département. Il s'agit d'un facteur crucial, car il garantit l'obtention et le remplacement rapide des composants, En tenant compte de l'ensemble de ces éléments, les chercheurs et les ingénieurs peuvent choisir un moteur pas à pas qui non seulement répond aux spécifications techniques de la micro-machine, mais qui est également facilement accessible sur le marché.

Voici les spécifications techniques de moteur pas pas (86BHH76-400B-35J) : [26]

- **Entreprise de fabrication** : Changzhou Chuangwei Motor and Electric Apparatus
- **Type** : moteur pas à pas hybride

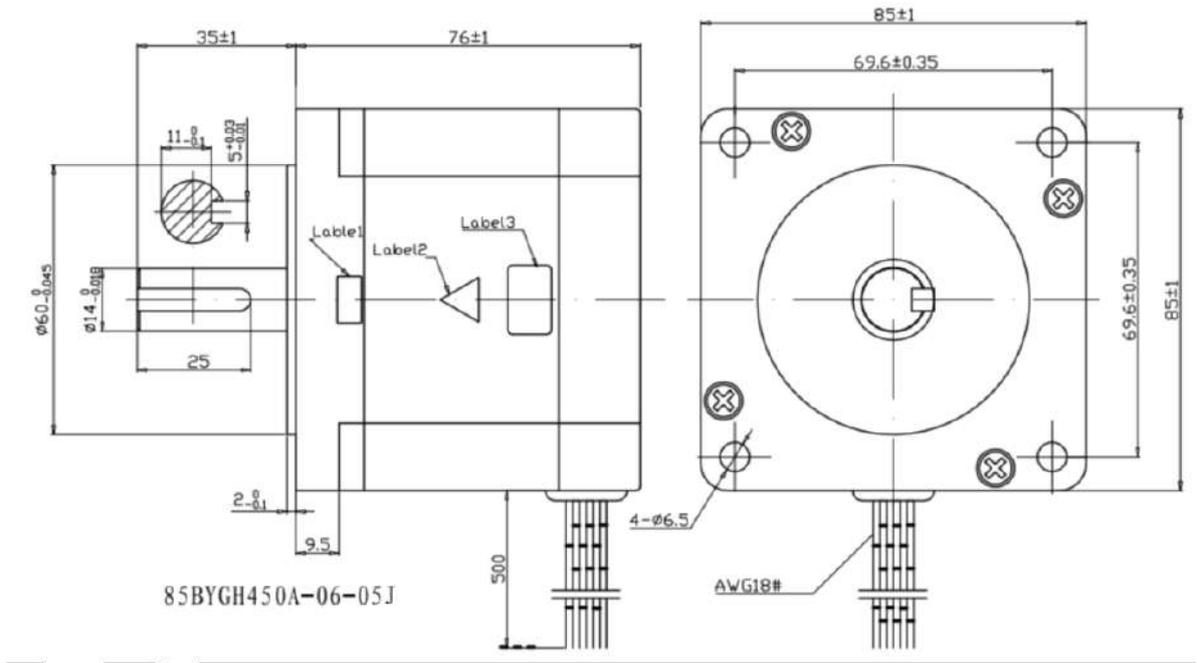


FIG. 5.2 : Schéma géométrique illustrant le moteur pas à pas (86BHH76-400B-35J) construit par CW-motor



FIG. 5.3 : moteur pas à pas (86BHH76-400B-35J) construit par CW-motor

- **Modèle de moteur** : 86BHH76-400B-35J
- **Nombre des phases** : 2
- **Pas d'angle** : $1.8^{\circ} \pm 5\%$
- **Tension (Volt)** : 1.68 VDC
- **Courant(Ampère)** : 4

- Résistance(Ω) : $0.42 \pm 10\%$
- Inductance (mH) : $2.2 \pm 20\%$
- Couple (kg.cm) : 30 (2.942 N.m)
- Température Ambiante ($^{\circ}C$) : -20 jusqu' 50
- Humidité ambiante : 15% jusqu' 95%
- Diamètre de bride (mm) : 60
- Diamètres d'arbre (mm) : 14
- Longueur d'arbre (mm) : 35
- Masse de moteur (kg) : approximativement 1.23

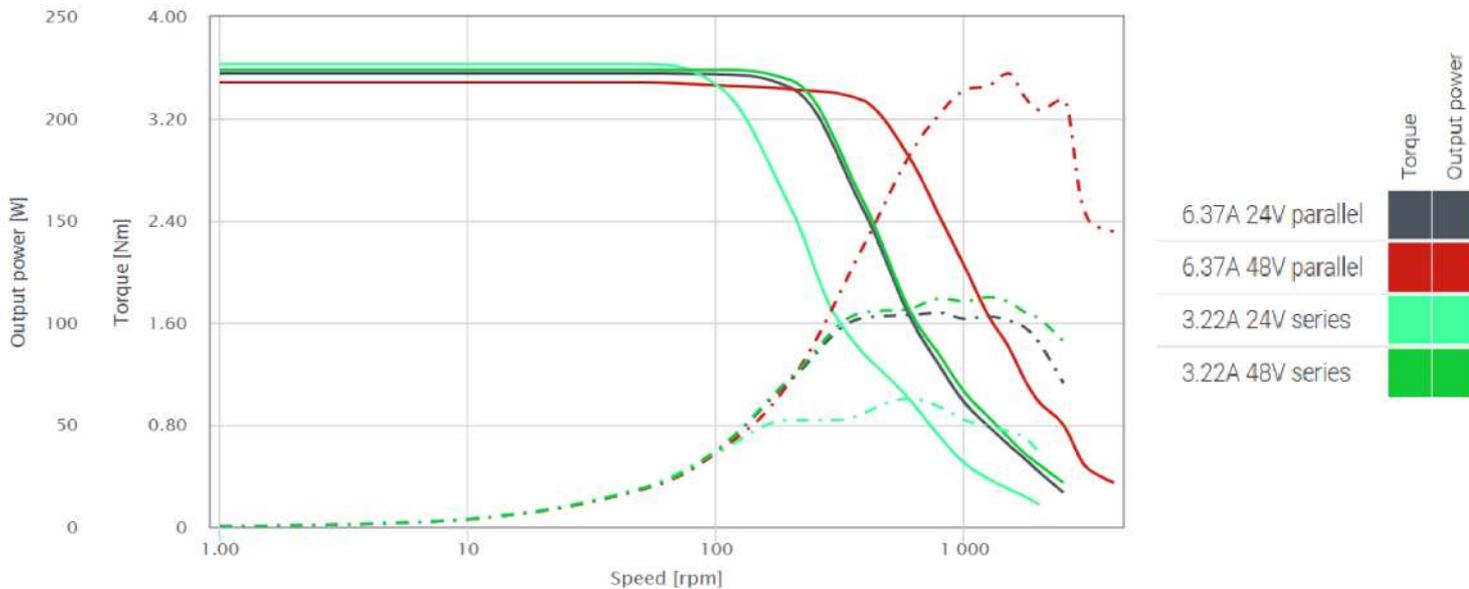


FIG. 5.4 : Couple mécanique en fonction de fréquence de rotation

Avantages du moteur pas à pas 86BHH76-400B-35J :

- Haute précision : Les moteurs pas à pas offrent une excellente précision de positionnement, ce qui les rend adaptés aux applications qui nécessitent un contrôle précis et une répétabilité.
- Contrôle en boucle ouverte : il fonctionne dans un système en boucle ouverte, éliminant le besoin de capteurs de retour, ce qui simplifie le système de contrôle et réduit les coûts.
- Couple élevé à faible vitesse : Les moteurs pas à pas fournissent un couple de maintien élevé, ce qui permet un fonctionnement stable même à faible vitesse ou lorsqu'il s'agit de maintenir une charge en position stationnaire.

- Interface de commande simple : il est généralement doté d'une interface de commande simple, permettant une intégration aisée avec divers systèmes de commande et micro-contrôleurs.
- Résolution de pas : il offre une large gamme de résolutions de pas, ce qui permet un contrôle fin des mouvements et de la précision de la position.

Inconvénients du moteur pas à pas 86BHH76-400B-35J :

- Performances limitées à grande vitesse : il peut être limité dans les applications à grande vitesse en raison de sa conception inhérente et de la nécessité d'effectuer des mouvements de pas discrets.
- Consommation d'énergie : le moteur peut consommer beaucoup d'énergie même lorsqu'il n'est pas en mouvement, ce qui peut entraîner une consommation d'énergie plus élevée que pour d'autres types de moteurs.
- Vibrations et résonance : il peut produire des vibrations et des effets de résonance, en particulier à certaines vitesses ou lorsqu'il fonctionne en dehors de la plage recommandée. Cela peut affecter les performances et la précision dans certaines applications.
- Un contrôle complexe pour un fonctionnement en douceur : L'obtention d'un mouvement continu et régulier avec les moteurs pas à pas peut nécessiter des techniques de contrôle plus avancées, telles que le micro-pas, ce qui ajoute de la complexité au système de contrôle.

2.2 Driver contrôle

Le driver contrôle de moteurs pas à pas sont fondamentaux pour diriger et réguler l'activité des moteurs pas à pas. En fournissant les signaux électriques nécessaires pour piloter et réguler le mouvement, la vitesse et la position du moteur, ils servent d'interface entre le système de commande et le moteur.

Pour assurer un contrôle précis des mouvements du moteur, les commandes sont basées sur une variété de technologies. Les technologies suivantes sont fréquemment utilisées dans les commandes de moteurs :

- Modulation de la largeur d'impulsion (MLI) : La modulation de largeur d'impulsion (MLI) est une méthode permettant de gérer le courant circulant dans les enroulements des moteurs pas à pas. Le courant moyen peut être modifié en activant et en désactivant brusquement le courant selon un rapport cyclique configurable, ce qui permet un réglage précis du couple et de la vitesse du moteur.
- Microstepping : Dans les moteurs pas à pas, le micropas est une méthode permettant d'obtenir une résolution de position plus fine. Il consiste à décomposer chaque étape complète en sous-étapes plus petites et à ajuster l'énergie des enroulements du moteur en conséquence. Par rapport à la commande pas à pas ou demi-pas, les moteurs à micropas peuvent offrir des mouvements plus fluides, moins de vibrations et une meilleure précision de positionnement.

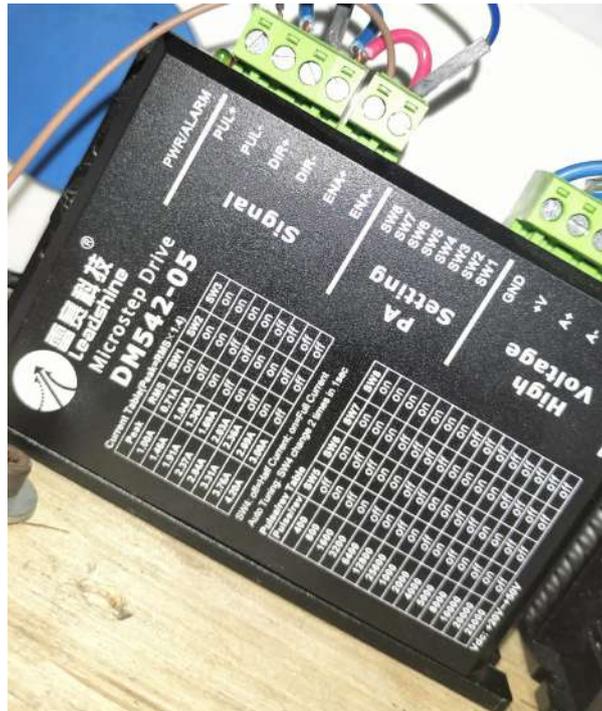


FIG. 5.5 : le driver contrôle DM542-05

- Détection de courant : Pour suivre et réguler le courant circulant dans les enroulements du moteur, les pilotes de commande de moteur pas à pas peuvent utiliser des technologies de détection de courant. Le pilote peut modifier les signaux de commande pour maintenir le courant requis et éviter la saturation du moteur en détectant les niveaux de courant réels.

2.3 Afficheur LCD

L'afficheur à cristaux liquides constitue l'interface visuelle entre un système ou un projet et l'utilisateur. Sa fonction première est de transmettre les informations pertinentes du système à l'utilisateur. Il s'agit notamment d'afficher des données qui peuvent être utilisées par l'utilisateur pour le fonctionnement et l'interaction du système [24]. Dans notre application spécifique, un écran LCD a été utilisé pour initialiser la machine et afficher la fréquence rotative actuelle et la valeur du déplacement.[27]



2.4 Botton-poussoir

Un bouton-poussoir peut être utilisé comme commande de démarrage/arrêt du moteur pas à pas. En appuyant sur le bouton, le moteur peut être activé et démarré, et en appuyant à nouveau sur le bouton, le moteur peut être arrêté. Il permet d'initier et d'arrêter le fonctionnement du moteur de manière confortable et sûre.



FIG. 5.6 : Un bouton-poussoir

2.5 Microcontrôleur Arduino

Le microcontrôleur, généralement un Atmel AVR, se trouve sur la carte Arduino et l'IDE Arduino est utilisé pour le programmer à l'aide d'une version condensée de C/C++. La plateforme est adaptable et permet aux utilisateurs de relier et de gérer une variété de capteurs, d'actionneurs et de modules pour une variété d'applications.[28]

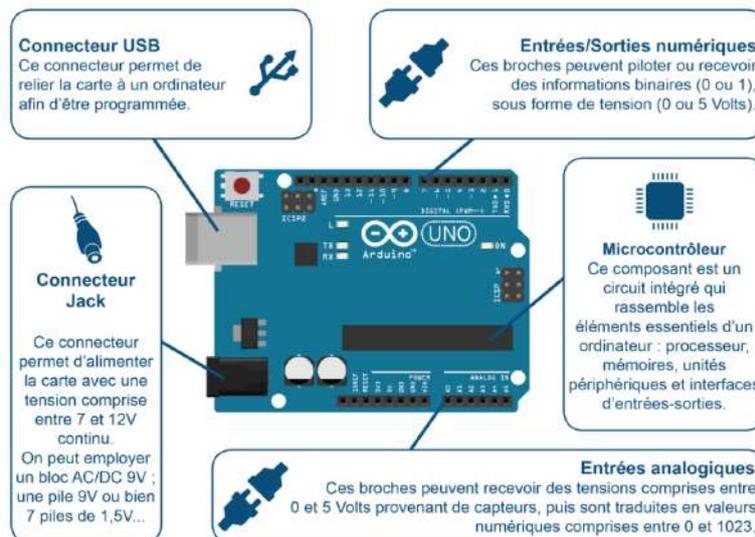


FIG. 5.7 : Microcontrôleur UNO

2.6 Capteur de fin de course

Le capteur de fin de course, également appelé commutateur de fin de course ou butée, est un composant essentiel des machines pour limiter le mouvement de partie mobile

et donner un point de référence pour la réinitialisation. Il joue un rôle fondamental en garantissant un fonctionnement sûr et précis de la machine. Voici quelques informations détaillées sur le détecteur de fin de course et son importance :

- **Fonction** : Le détecteur de fin de course est généralement un interrupteur ou un capteur placé aux extrémités de la trajectoire d'un élément mobile, tel qu'un chariot, un bras ou une plate-forme. Lorsque l'élément mobile atteint la limite de sa course, il déclenche le détecteur de fin de course, qui envoie un signal au contrôleur ou au microcontrôleur de la machine.
- **Limitation du mouvement** : L'objectif premier du détecteur de fin de course est d'empêcher les pièces mobiles de dépasser leur plage de mouvement autorisée. Il agit comme une barrière physique, en veillant à ce que la machine ne fonctionne pas au-delà de ses limites sûres et désignées. En détectant les positions de fin de course, le détecteur peut arrêter la machine ou activer un mécanisme de sécurité pour éviter les dommages ou les accidents.
- **Réinitialisation et relocalisation** : Le détecteur de fin de course donne un point de référence pour réinitialiser ou orienter la machine. Lorsque la machine a terminé une tâche ou doit réinitialiser sa position, le détecteur signale au contrôleur que la partie mobile a atteint sa limite. Le contrôleur peut alors lancer le processus de réinitialisation, en positionnant avec précision l'élément mobile à sa position de départ ou à un point de référence connu.
- **Sécurité et protection** : Le détecteur de fin de course renforce la sécurité de la machine en évitant les collisions, les dépassements de course ou les mouvements involontaires. Il garantit que la machine fonctionne dans la plage prévue, en évitant tout dommage potentiel à la machine elle-même, à la pièce à usiner ou à tout objet environnant. La mise en place d'interrupteurs de fin de course permet de réduire considérablement le risque d'accidents ou de dysfonctionnements.



FIG. 5.8 : capteur de fin de course

2.7 Alimentation à découpage

Une alimentation à découpage à trois sorties, délivrant chacune 24 V et 10 A, est un dispositif électronique très efficace et polyvalent utilisé dans diverses applications. Sa fonction première est de convertir l'énergie électrique à haute fréquence en courant continu régulé. Équipée de circuits de régulation de tension, cette alimentation maintient une tension de sortie stable de 24 V malgré les variations de la tension d'entrée, des conditions de charge et des facteurs environnementaux. Grâce à ses multiples canaux de sortie, elle permet d'alimenter simultanément différents composants ou sous-systèmes. La capacité de courant de 10A par canal de l'alimentation garantit un fonctionnement sûr sans dépasser les limites de conception. Son rendement élevé, obtenu grâce à des dispositifs de commutation à semi-conducteurs, minimise le gaspillage d'énergie et maximise la rentabilité. L'inclusion de fonctions de protection, telles que la protection contre les surtensions, les surintensités, les courts-circuits et la protection thermique, garantit la sécurité de l'alimentation et des appareils connectés. Des mécanismes de refroidissement adéquats, tels que des ventilateurs et des dissipateurs de chaleur, facilitent la dissipation de la chaleur. Les applications courantes de cette alimentation sont l'automatisation industrielle, la robotique, les télécommunications et les systèmes d'éclairage LED. Le respect des normes de sécurité et des directives du fabricant lors de l'installation et du câblage est essentiel pour obtenir des performances optimales.[29]



FIG. 5.9 : Alimentation à découpage

3 Schéma électrique

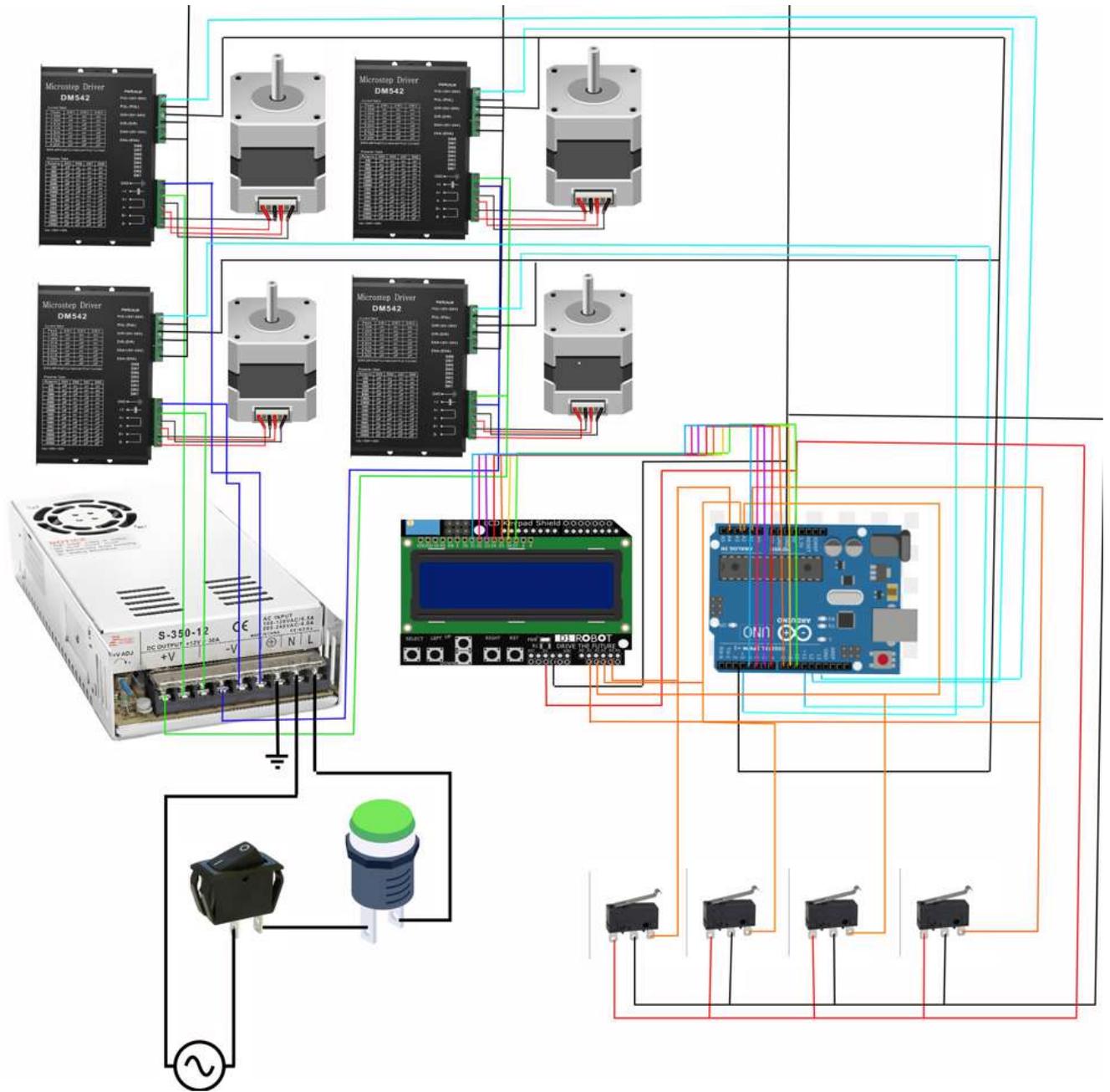


FIG. 5.10 : schéma électrique

4 Montage final de la machine



FIG. 5.11 : la machine de traction biaxiale réalisée

5 Conclusion

Nous pouvons déduire de ce chapitre qu'il est important de suivre les étapes d'assemblage appropriées lors de la construction de composants de machines. Le respect d'une séquence d'étapes bien définie est crucial pour éviter les problèmes indésirables, tels que la déformation, l'interférence des pièces ou le dysfonctionnement de la machine. L'alignement précis et l'ajustement correct des composants sont essentiels au fonctionnement optimal de la machine.

Alignant, nous nous pencherons sur l'aspect du contrôle, afin d'automatiser le fonctionnement de la machine et d'effectuer des essais cycliques. Le système de contrôle joue un rôle essentiel dans l'orchestration des différentes fonctions et mouvements de la machine. La mise en œuvre d'un système de contrôle automatisé permet d'obtenir des performances constantes et fiables tout en facilitant l'exécution de tâches répétitives.

En mettant l'accent sur l'importance d'un assemblage méticuleux et d'une automatisation ultérieure, nous visons à optimiser la fonctionnalité et l'efficacité globales de la machine. L'attention portée aux détails pendant la phase d'assemblage garantit l'intégrité de la structure de la machine, tandis que l'automatisation rationalise son fonctionnement pour une productivité accrue. Grâce à des essais cycliques, nous pouvons évaluer les performances de la machine dans diverses conditions opérationnelles, identifier les domaines potentiels d'amélioration et affiner les paramètres de contrôle.

Conclusion Générale

le mémoire intitulé "réalisation d'une micro-machine de traction bi-axiale automatisée" a donné lieu à une exploration complète du développement et de la mise en œuvre d'une machine automatisée d'essai de traction bi-axiale. Tout au long du stage, plusieurs expériences professionnelles ont été acquises, contribuant à la maîtrise de compétences telles que l'utilisation de machines à commande numérique et de logiciels de FAO.

L'aboutissement de ce mémoire marque le franchissement d'étapes importantes dans le domaine des essais de traction bi-axiale automatisés.

L'intégration des logiciels de FAO et l'utilisation des machines à commande numérique ont permis la réalisation d'une machine utile. Les expériences professionnelles acquises ont amélioré nos compétences techniques. L'un des grands défis rencontrés au cours du projet a été l'assemblage des composants de la machine. Ce processus a nécessité une attention méticuleuse aux détails et à la précision pour garantir le bon alignement et la fonctionnalité de chaque pièce. Après avoir terminé le processus d'assemblage et vérifié que la machine fonctionne correctement, l'étape cruciale de notre projet est l'automatisation. L'expertise joue un rôle clé et la mise en œuvre de la fonction d'automatisation, en particulier le mécanisme de retour automatique de la partie mobile est un facteur qui élimine les risques de collision. Ce mécanisme élimine la nécessité d'une intervention manuelle pour repositionner la pièce en la ramenant automatiquement à sa position d'origine une fois le test requis terminé. Des systèmes de contrôle, des capteurs et des actionneurs avancés sont utilisés, ainsi qu'une commande de moteur pas à pas précise et une synchronisation avec d'autres composants. L'importance de chaque discipline dans la réalisation de solutions d'automatisation avancées est démontrée par la collaboration interdisciplinaire entre l'électronique et l'ingénierie de l'automatisation et la mécanique. Cette automatisation améliore la fonctionnalité de la machine. Elle rationalise le processus d'essai et améliore la fiabilité et la répétabilité des essais.

La machine peut réaliser des essais de traction biaxiale à vitesse contrôlée.

La capacité de la machine est estimée à 3,5 kN. Elle est automatisée. Chaque module de la machine peut être utilisé sur un autre banc d'essai le poids du bâti est un handicap de flexibilité. Il serait utile de le revoir pour faciliter le transport de la machine.

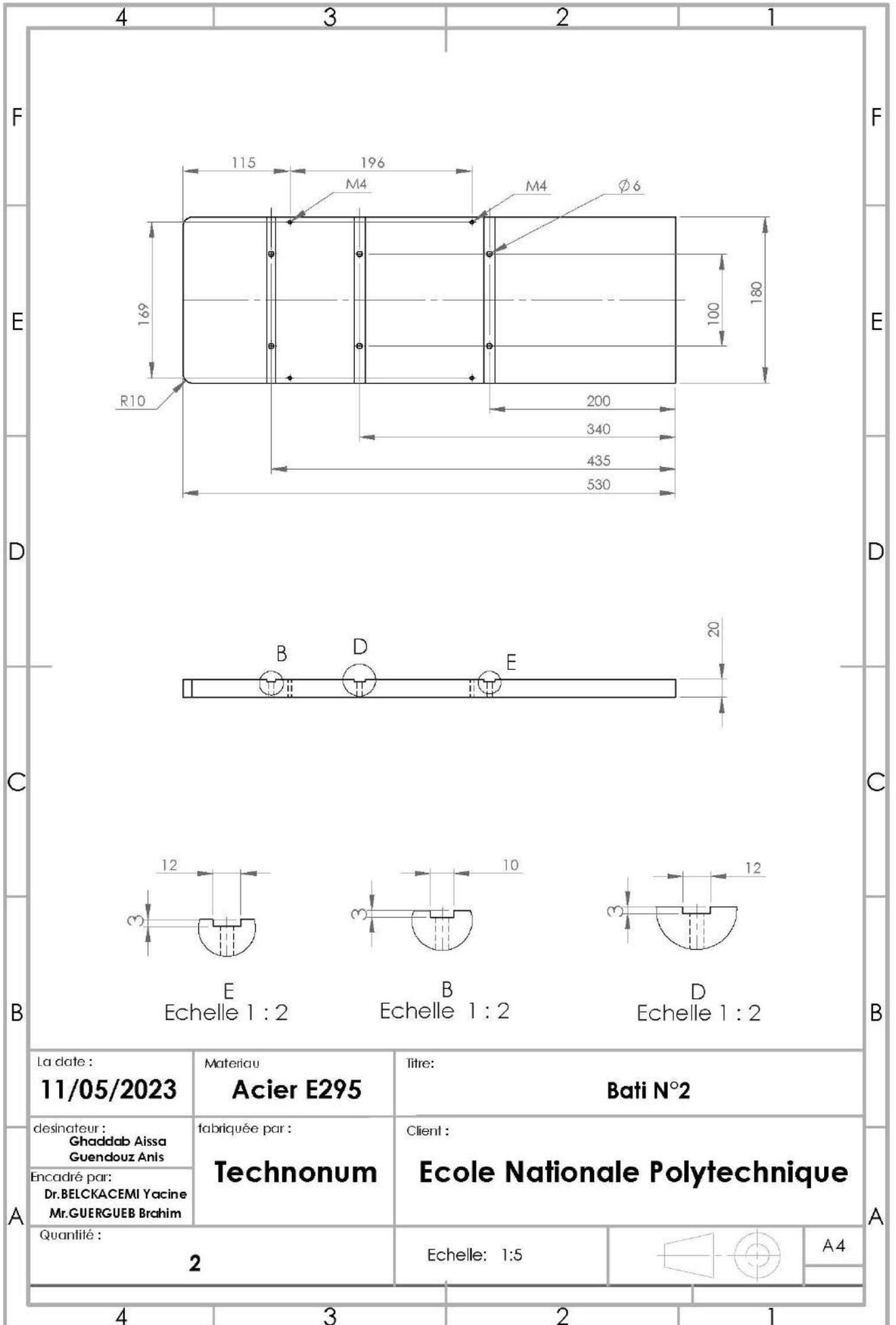
Le déplacement et la vitesse des traverses mobiles peuvent être contrôlés et affichés. Néanmoins, un capteur de déplacement serait utile en appoint. En perspective, on peut travailler pour faire des essais cycliques moyennant une programmation. La machine est robuste et peut être utilisée avec des moteurs plus puissants pour augmenter sa capacité. Travailler pour réaliser une acquisition courbes contrainte-déformation et charge-déplacement, allègement en poids

Références bibliographiques

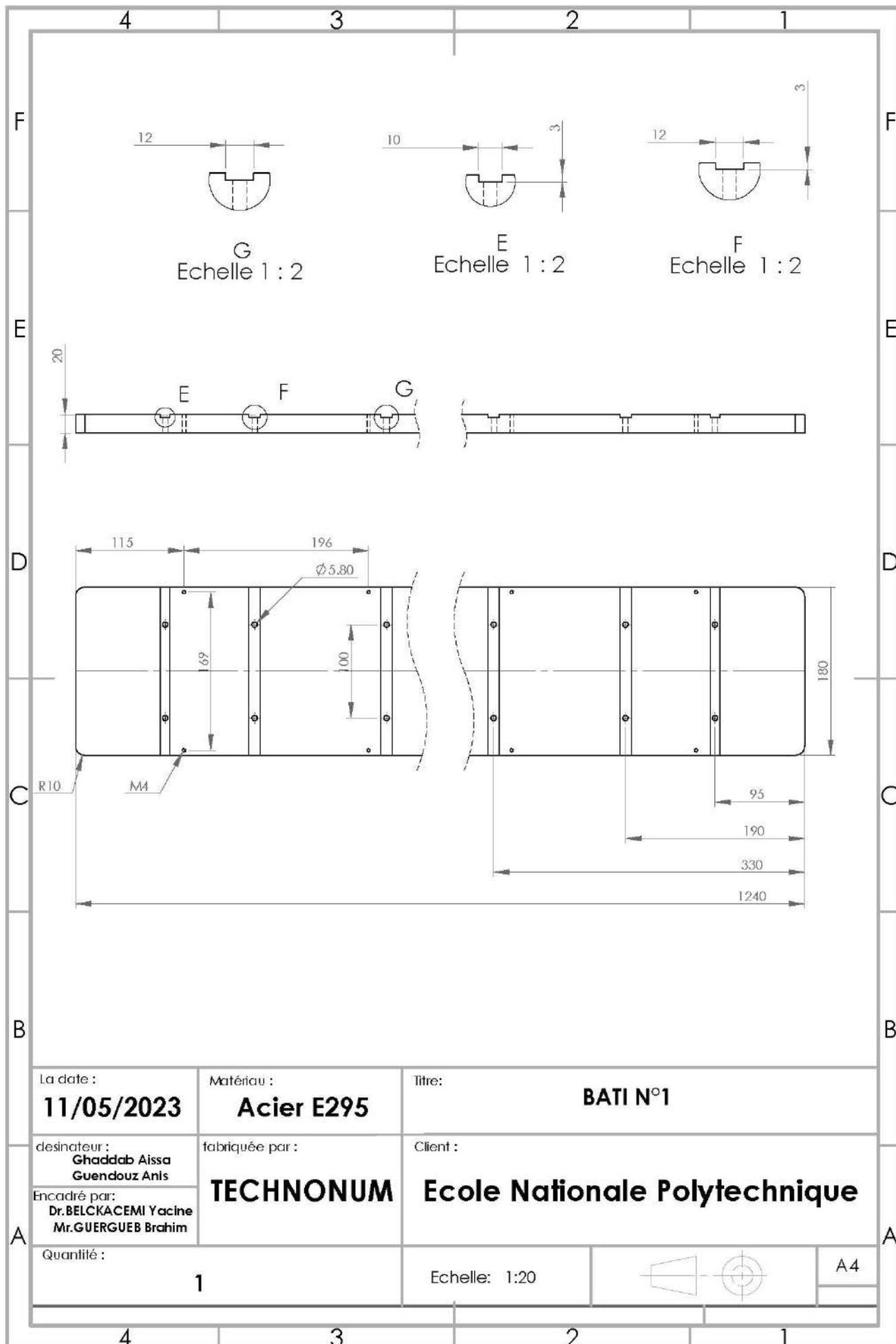
- [1] L. BENABOU, L. NHAT et Q. B. TAO, “Étude de la tenue à la rupture d’un nouvel alliage de brasure sans plomb pour les applications d’électronique de puissance”, août 2017.
- [2] <https://www.zwickroell.com/fr/produits/machines-dessais-des-materiaux-statiques/machines-traction-pour-applications-statiques/machines-dessais-de-traction/>.
- [3] www.mts.com.
- [4] *ASTM International (American Society for Testing and Materials) standards for mechanical testing, such as ASTM E8 and ASTM D638.*
- [5] *Callister, W.D., and Rethwisch, D.G. (2018). Materials Science and Engineering : An Introduction, 10th Edition. John Wiley and Sons.*
- [6] *ASTM A370-21, Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products.*
- [7] *ASTM E8/E8M-21, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021.*
- [8] <http://www.atomer.fr/1/1dimensions-eprouvettes-essais-de-traction.html>.
- [9] *ASTM D638-14, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.*
- [10] *ASTM E399-90. (1990). Standard Test Method for Linear-Elastic Plane-Strain Fracture Toughness K_{Ic} of Metallic Materials. ASTM International.*
- [11] G. DIETER, *Mechanical Metallurgy*, 3rd. New York : McGraw Hill, 1988.
- [12] F. P. BEER, E. R. JOHNSTON, J. T. DEWOLF et D. F. MAZUREK, *Mechanics of Materials*, 8th. McGraw-Hill, 2020.
- [13] N. BHATNAGAR, R. BHARDWAJ, P. SELVAKUMAR et M. BRIEU, “Development of a biaxial tensile test fixture for reinforced thermoplastic composites”, *Polymer Testing*, t. 26, n° 2, p. 154-161, 2007, ISSN : 0142-9418. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.polymeresting.2006.09.007>. adresse : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142941806001747>.
- [14] A. KOBEISSI, “Caractérisation mécanique des matériaux composites à partir d’un essai de traction biaxiale intégrant l’effet des chemins de déformation”, Theses, INSA de Rennes ; Université Libanaise. Faculté de génie, déc. 2019. adresse : <https://theses.hal.science/tel-02891797>.
- [15] L. LEOTOING, “Caractérisation et modélisation de comportements mécaniques limites de matériaux”, thèse de doct., jan. 2015. DOI : 10.13140/RG.2.1.2041.8002.

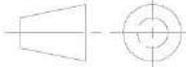
- [16] D. A. A. ESCÁRPITA, D. CÁRDENAS, H. ELIZALDE, R. RAMIREZ et O. PROBST, *Biaxial Tensile Strength Characterization of Textile Composite Materials*, N. HU, éd., Rijeka, 2012. DOI : 10.5772/48105. adresse : <https://doi.org/10.5772/48105>.
- [17] S. ISSAM, *Etude et conception d'une micromachine de traction bi-axiale automatisée*. 2020. adresse : <http://repository.enp.edu.dz/xmlui/handle/123456789/6023>.
- [18] *catalogue technique de système vis à billes de TBI-motion*.
- [19] R. L. MOTT, *Machine Elements in Mechanical Design*. Prentice Hall, 2003.
- [20] T. G. HICKS, *Handbook of Mechanical Engineering Calculations*. McGraw-Hill Education, 2006.
- [21] D. W. FOX, *Stepper Motors : Fundamentals, Applications, and Design*. Newnes, 2007.
- [22] J. E. SHIGLEY et C. R. MISCHKE, *Mechanical Engineering Design*. McGraw-Hill Education, 2010.
- [23] .
- [24] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, *ISO 281 :2007 - Rolling bearings – Dynamic load ratings and rating life*, ISO standard, 2007.
- [25] D. W. FOX, *Stepper Motors : Fundamentals, Applications, and Design*. Tab Books, 1986.
- [26] <https://en.cwmotor.cn/product/62.html>.
- [27] J. SMITH, *Introduction to LCD Displays*. ABC Publishing, 2022.
- [28] <https://arduinointro.com/projects/all-you-need-to-know-about-arduino>.
- [29] J. A. SMITH, “Advances in Switching Power Supply Technology”, *Journal of Power Electronics*, t. 10, n° 3, p. 123-145, 2018. DOI : 10.1234/jpe.2018.10.3.123.

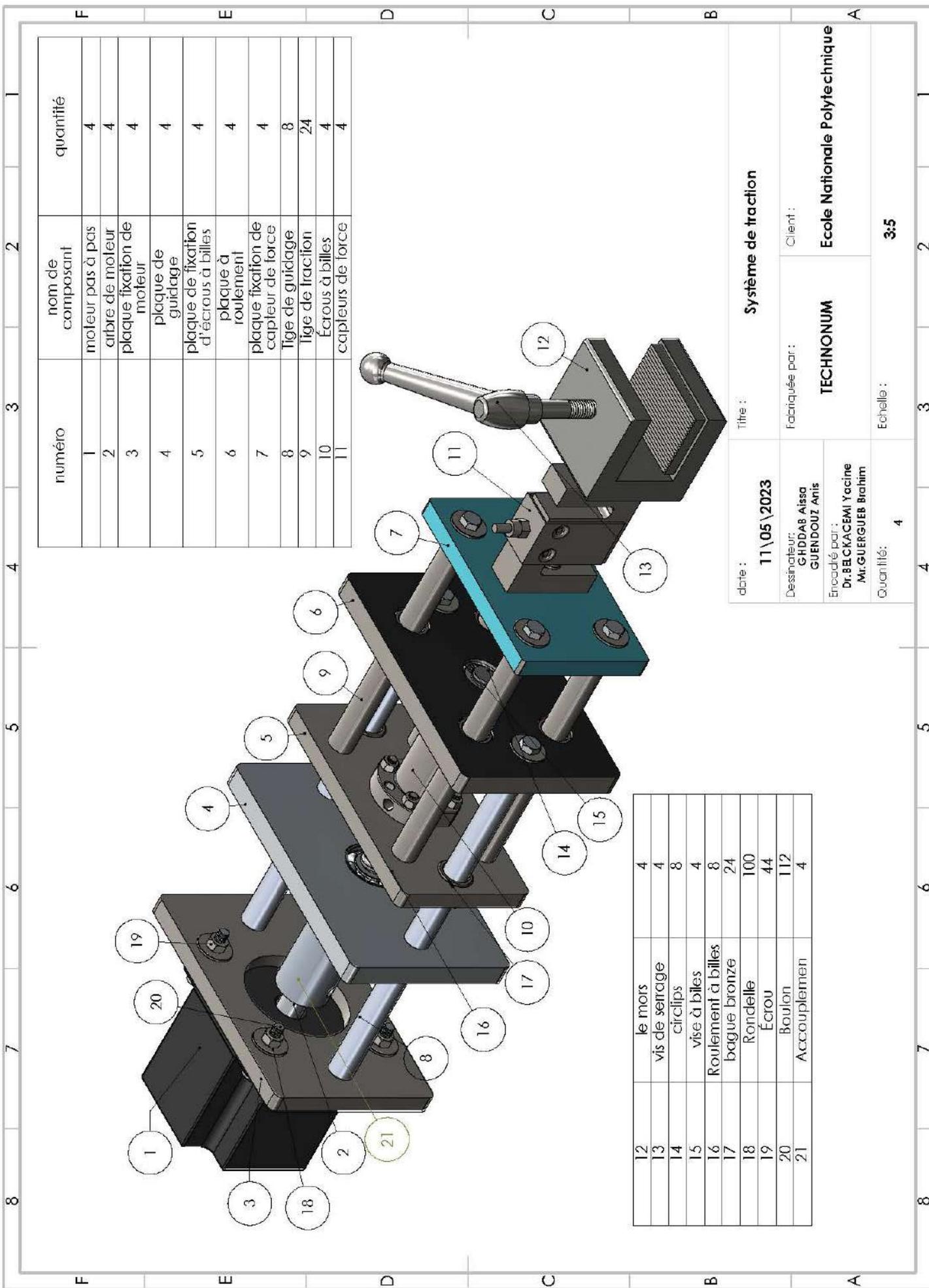
Annexe A



La date : 11/05/2023	Materiau Acier E295	Titre: Bati N°2
desinateur : Ghaddab Aissa Guendouz Anis	fabriquée par : Technonum	Client : Ecole Nationale Polytechnique
Encadré par: Dr.BELCKACEMI Yacine Mr.GUERGUEB Brahim	Quantité : 2	Echelle: 1:5
		A4



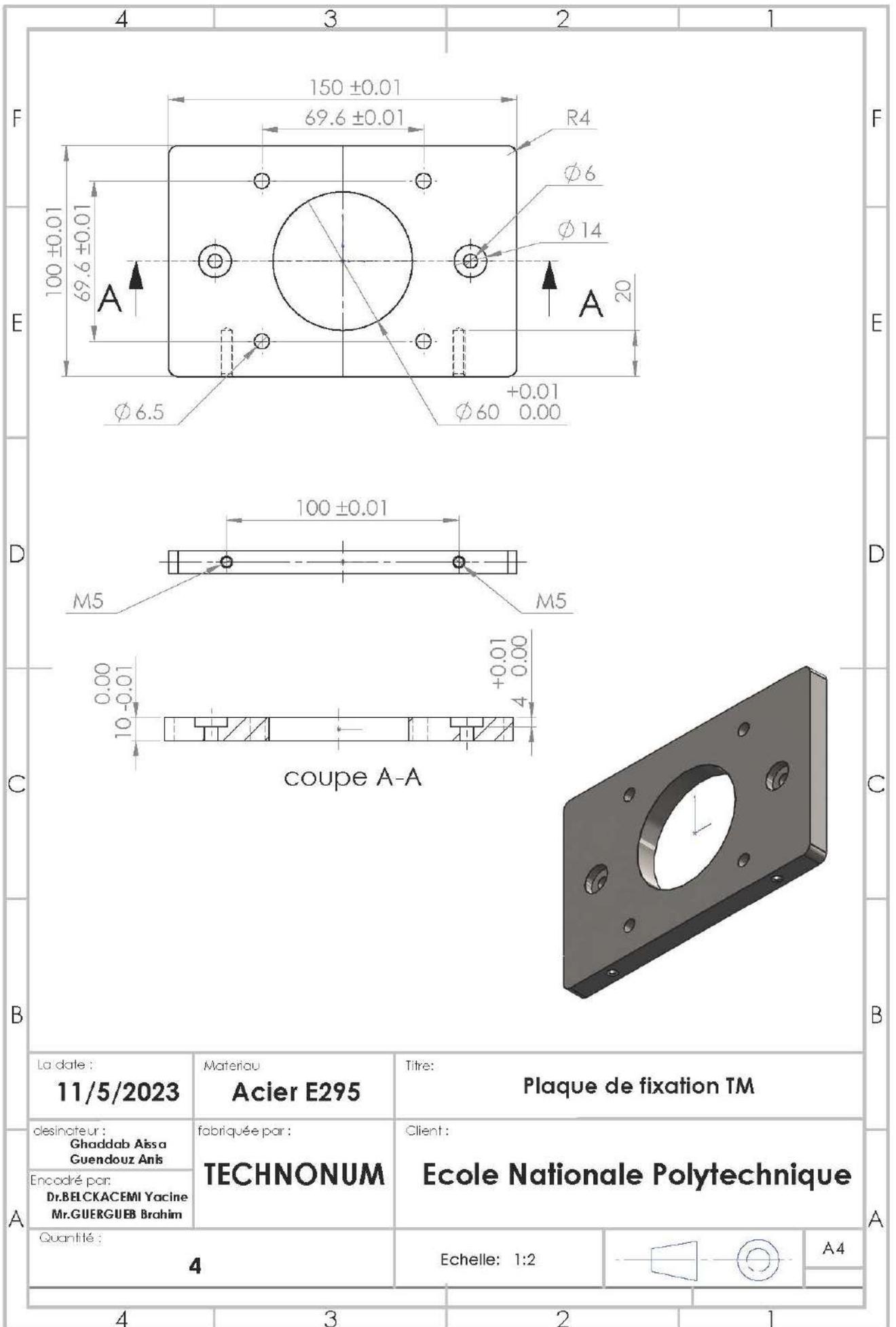
La date : 11/05/2023	Matériau : Acier E295	Titre: BATI N°1
dessinateur : Ghaddab Aissa Guendouz Anis	fabriquée par : TECHNONUM	Client : Ecole Nationale Polytechnique
Encadré par: Dr.BELCKACEMI Yacine Mr.GUERGUEB Brahim		
Quantité : 1	Echelle: 1:20	 A4



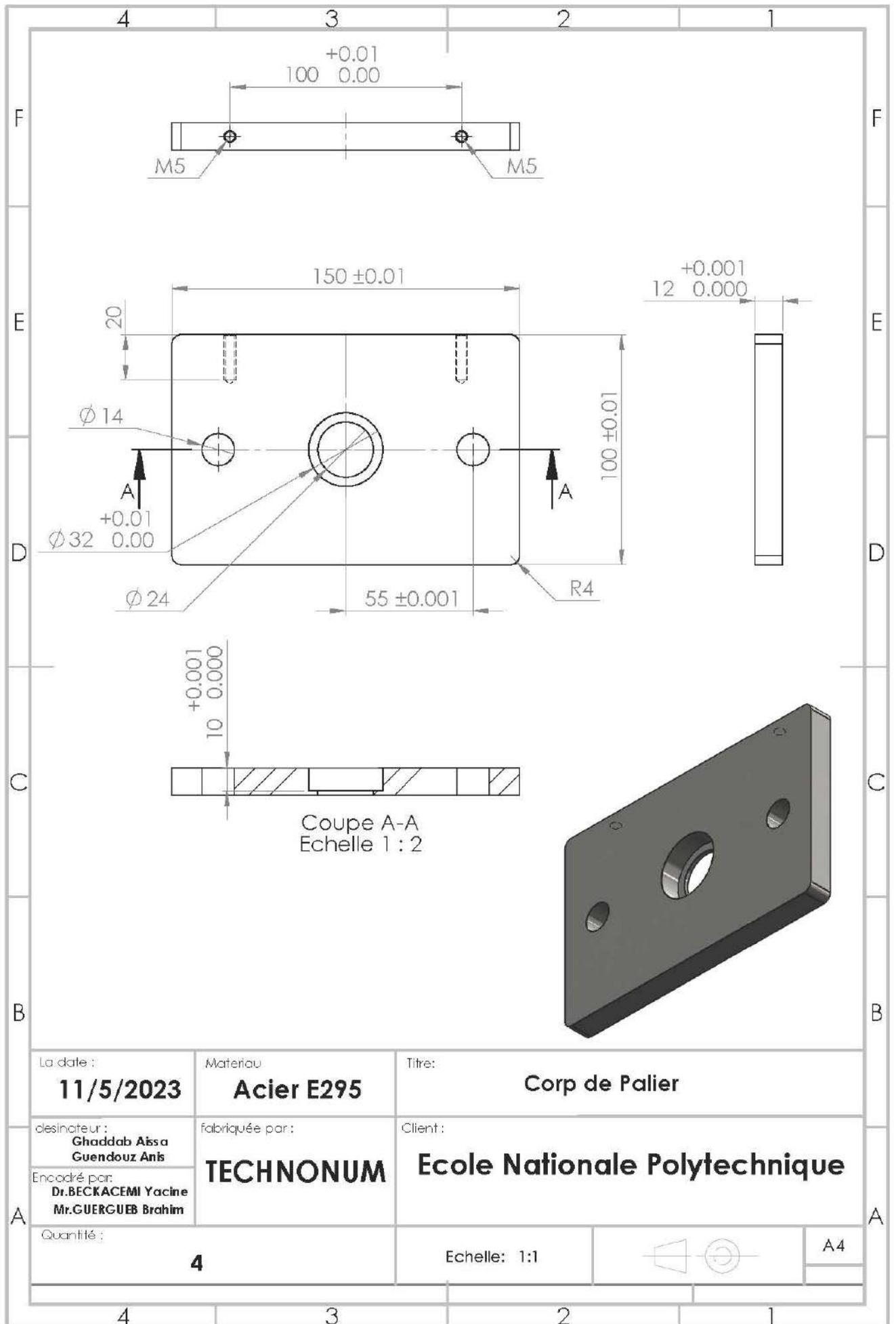
numéro	nom de composant	quantité
1	moteur pas à pas	4
2	arbre de moteur	4
3	plaque fixation de moteur	4
4	plaque de guidage	4
5	plaque de fixation d'écrous à billes	4
6	plaque à roulement	4
7	plaque fixation de capteur de force	4
8	tige de guidage	8
9	tige de traction	24
10	Écrous à billes	4
11	capteurs de force	4

12	le mors	4
13	vis de serrage	4
14	circlips	8
15	vise à billes	4
16	Roulement à billes	8
17	bague bronze	24
18	Rondelle	100
19	Écrou	44
20	Boulon	112
21	Accouplement	4

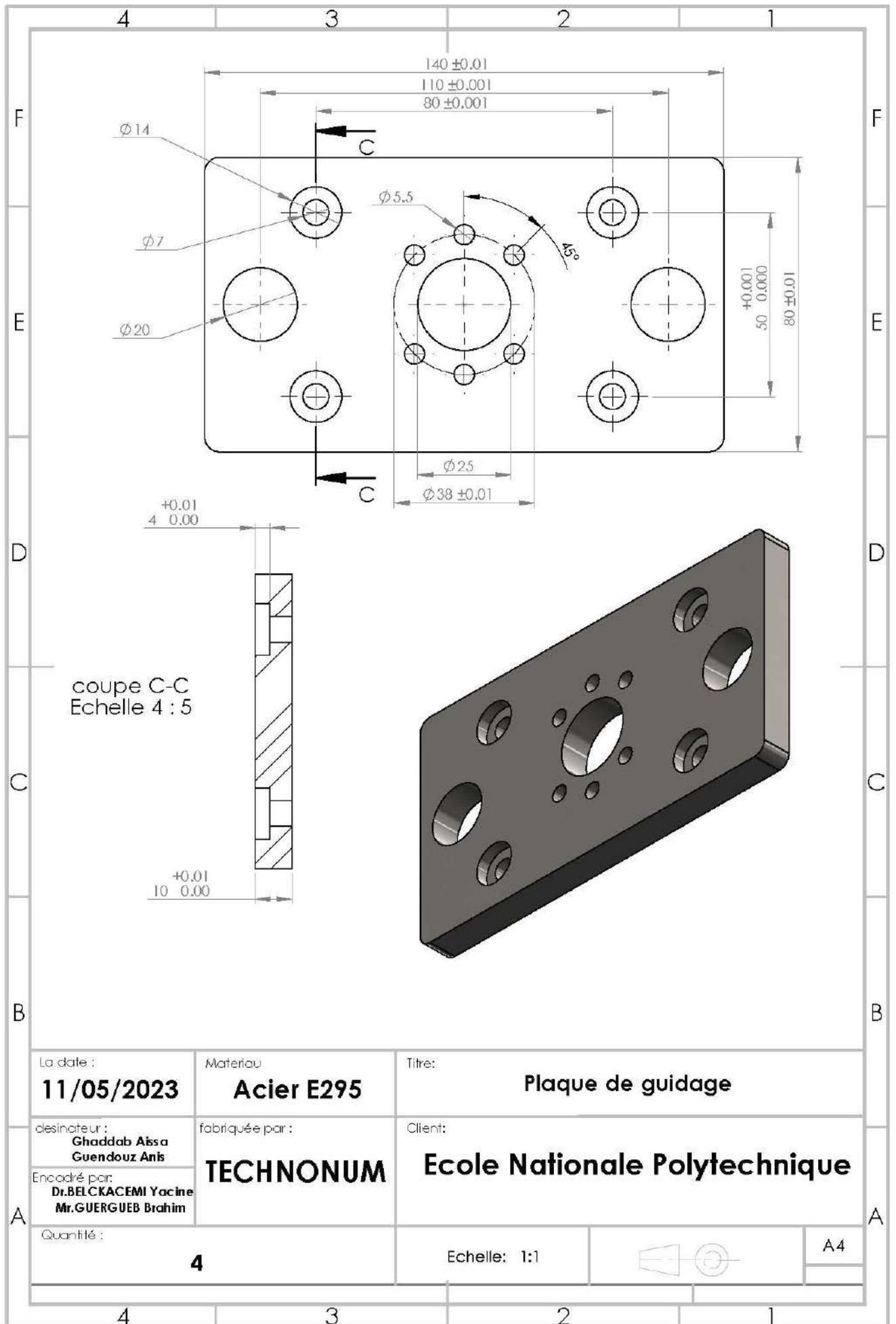
date : **11/05/2023**
 Destinataire : **GHDDAB Aissa**
 Fabricateur : **GUENDOZ Anis**
 Client : **Ecole Nationale Polytechnique**
 Encadré par : **Dr. BELCKACEMI Yacine**
Mr. GUERGUEB Brahim
 Titre : **Système de traction**
 Fabrication par : **TECHNONUM**
 Echelle : **3:5**
 Quantité : **4**



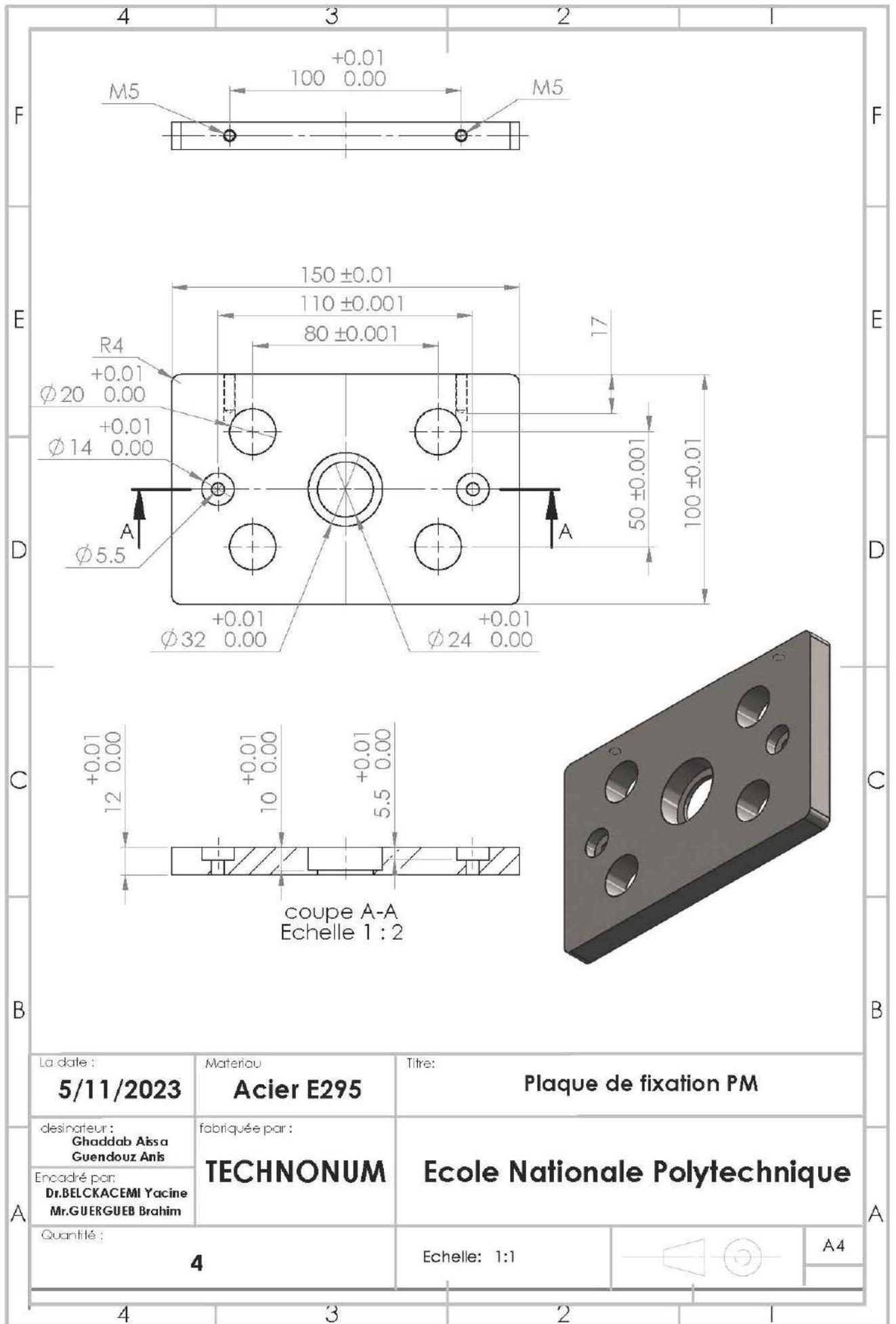
La date : 11/5/2023	Matériau Acier E295	Titre: Plaque de fixation TM	
dessinateur : Ghaddab Aïsa Guendouz Anis	fabriquée par : TECHNONUM	Client : Ecole Nationale Polytechnique	
Encadré par : Dr.BELCKACEMI Yacine Mr.GUERGUEB Brahim			
Quantité : 4	Echelle: 1:2		A4

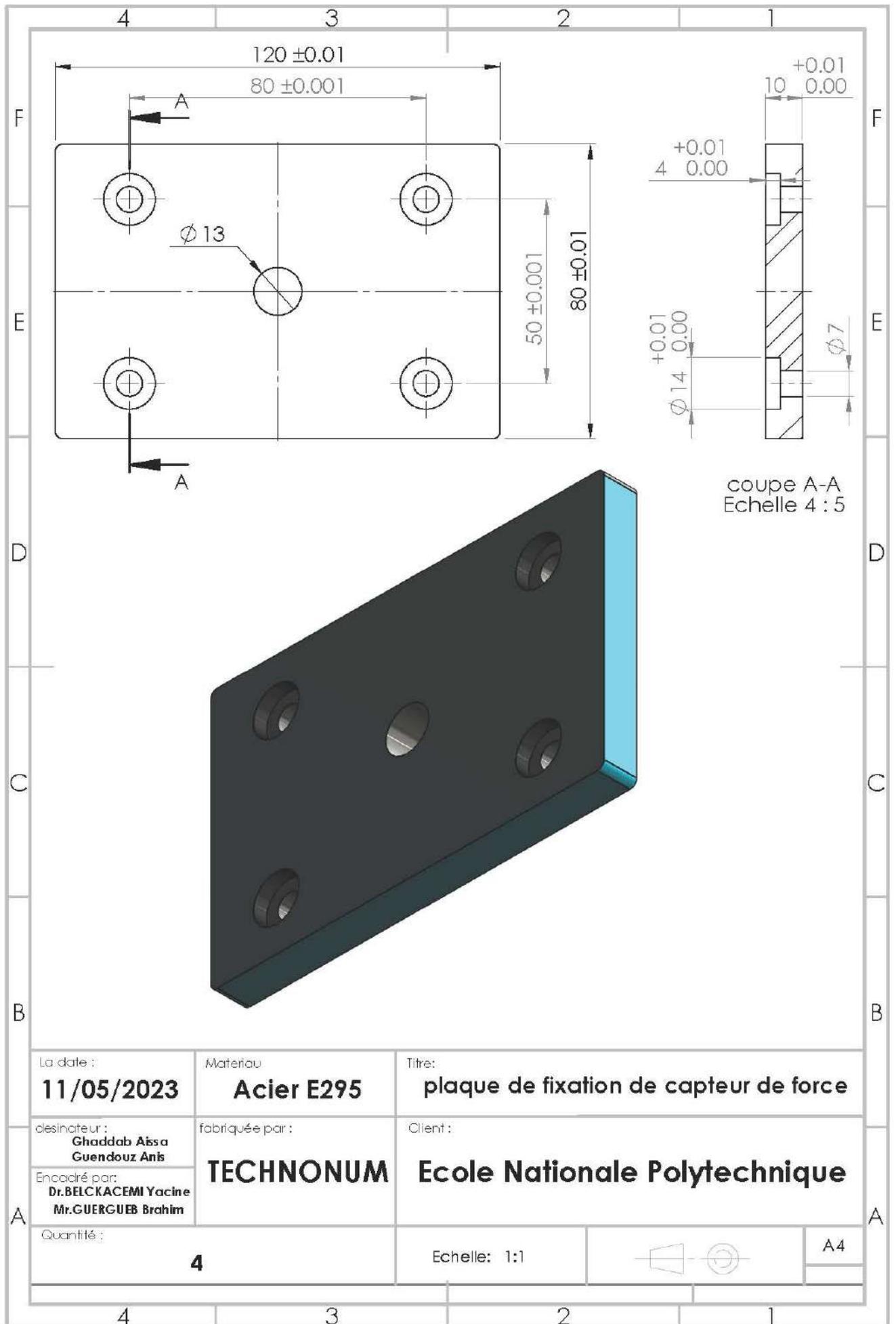


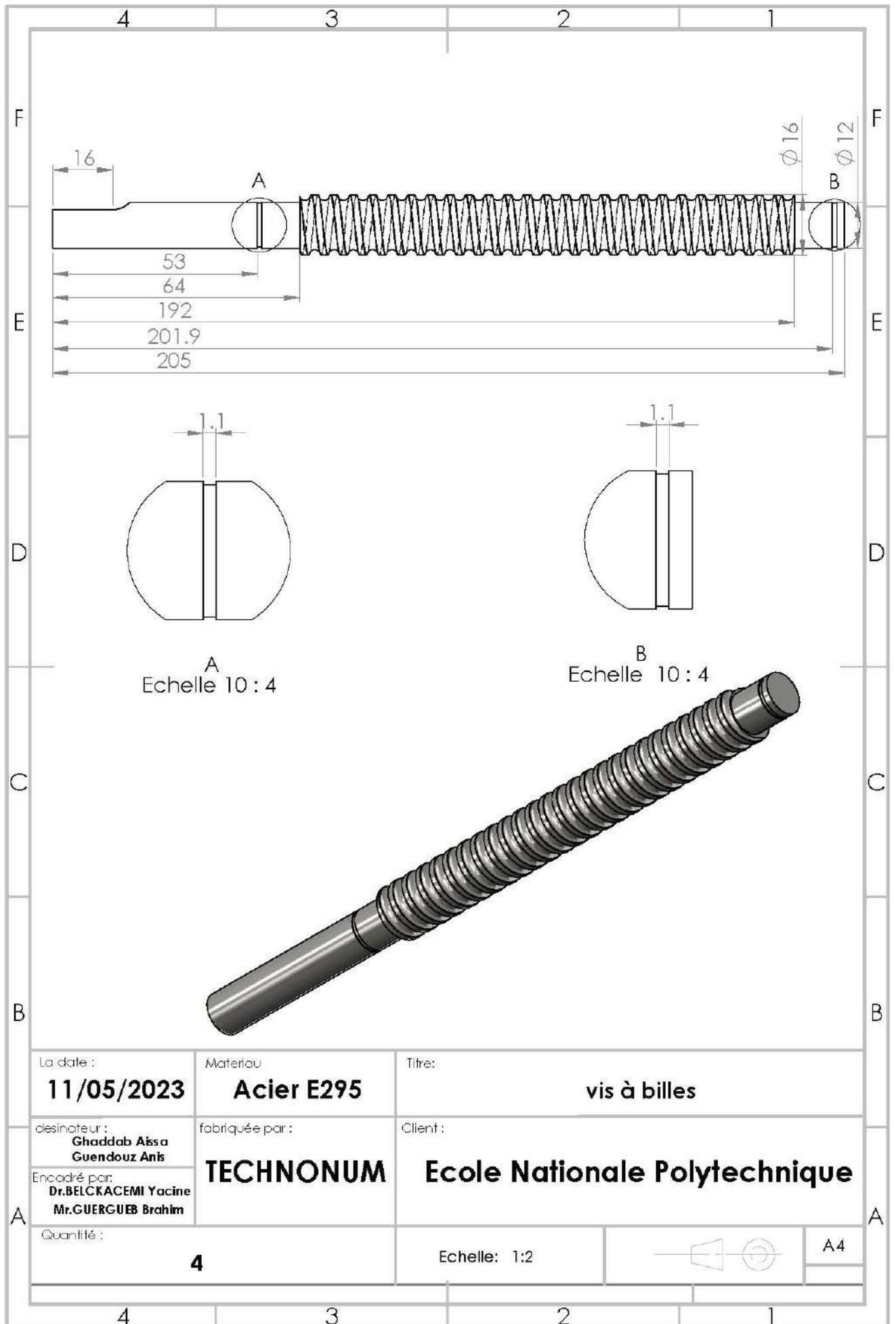
La date : 11/5/2023	Matériau Acier E295	Titre: Corp de Palier	
dessinateur : Ghaddab Aïssa Guendouz Anis	fabriquée par : TECHNONUM	Client : Ecole Nationale Polytechnique	
Encadré par : Dr.BECKACEMI Yacine Mr.GUERGUEB Brahim			
Quantité : 4	Echelle: 1:1		A4

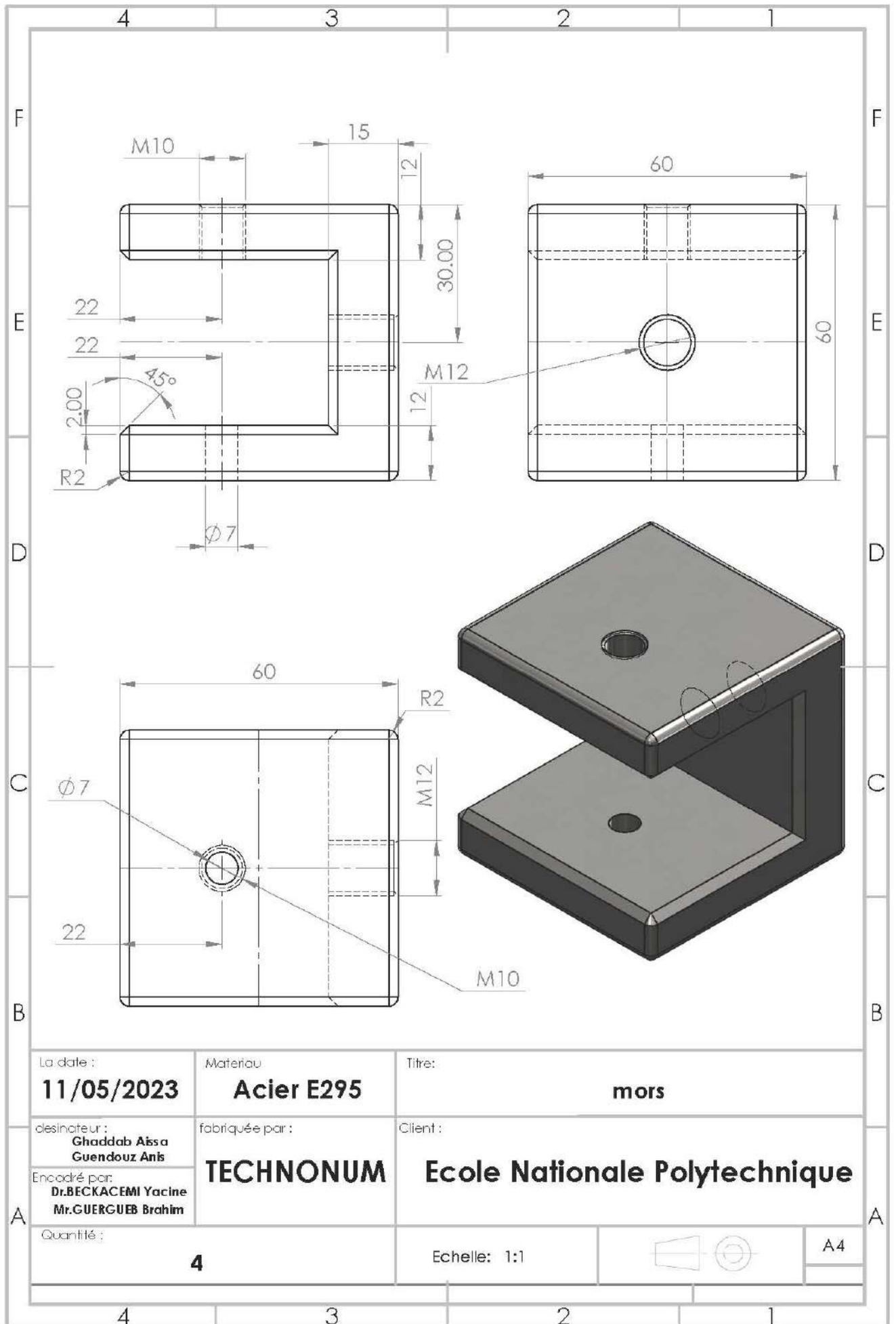


La date : 11/05/2023	Matériau Acier E295	Titre: Plaque de guidage	
dessinateur : Ghaddab Aïssa Guendouz Anis	fabriquée par : TECHNONUM	Client: Ecole Nationale Polytechnique	
Encadré par: Dr.BELCKACEMI Yacine Mr.GUERGUEB Brahim			
Quantité : 4	Echelle: 1:1		A4

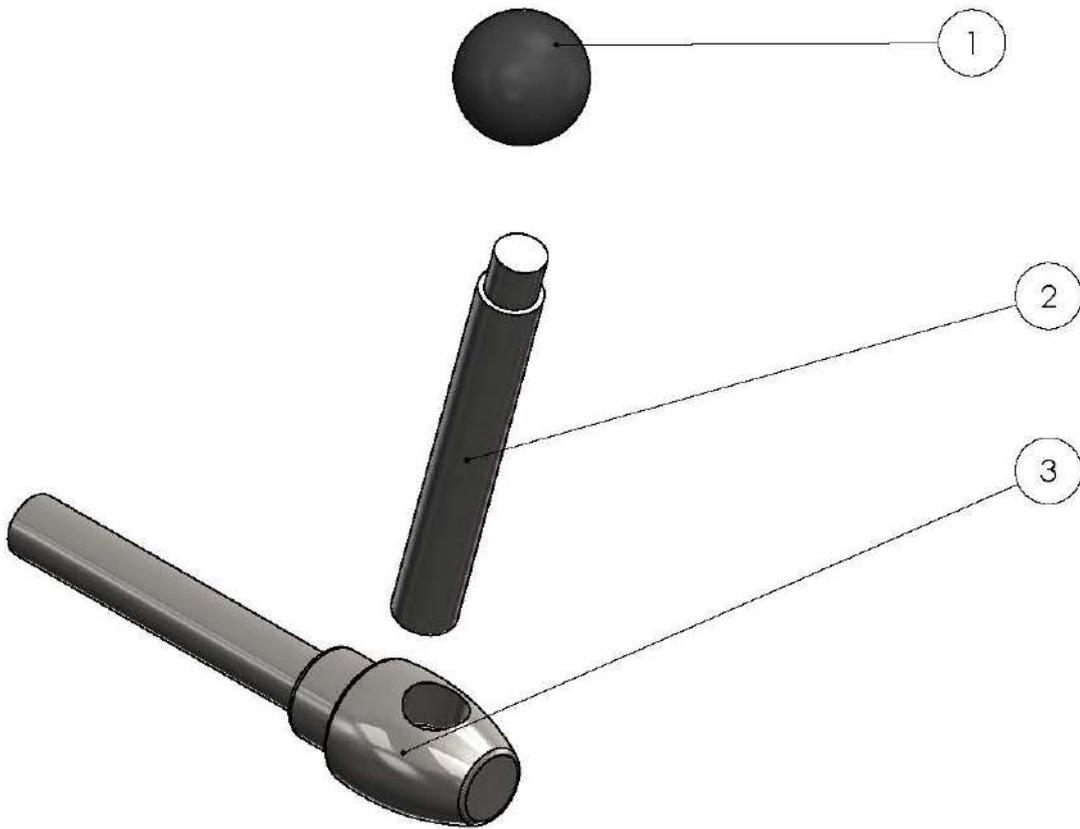




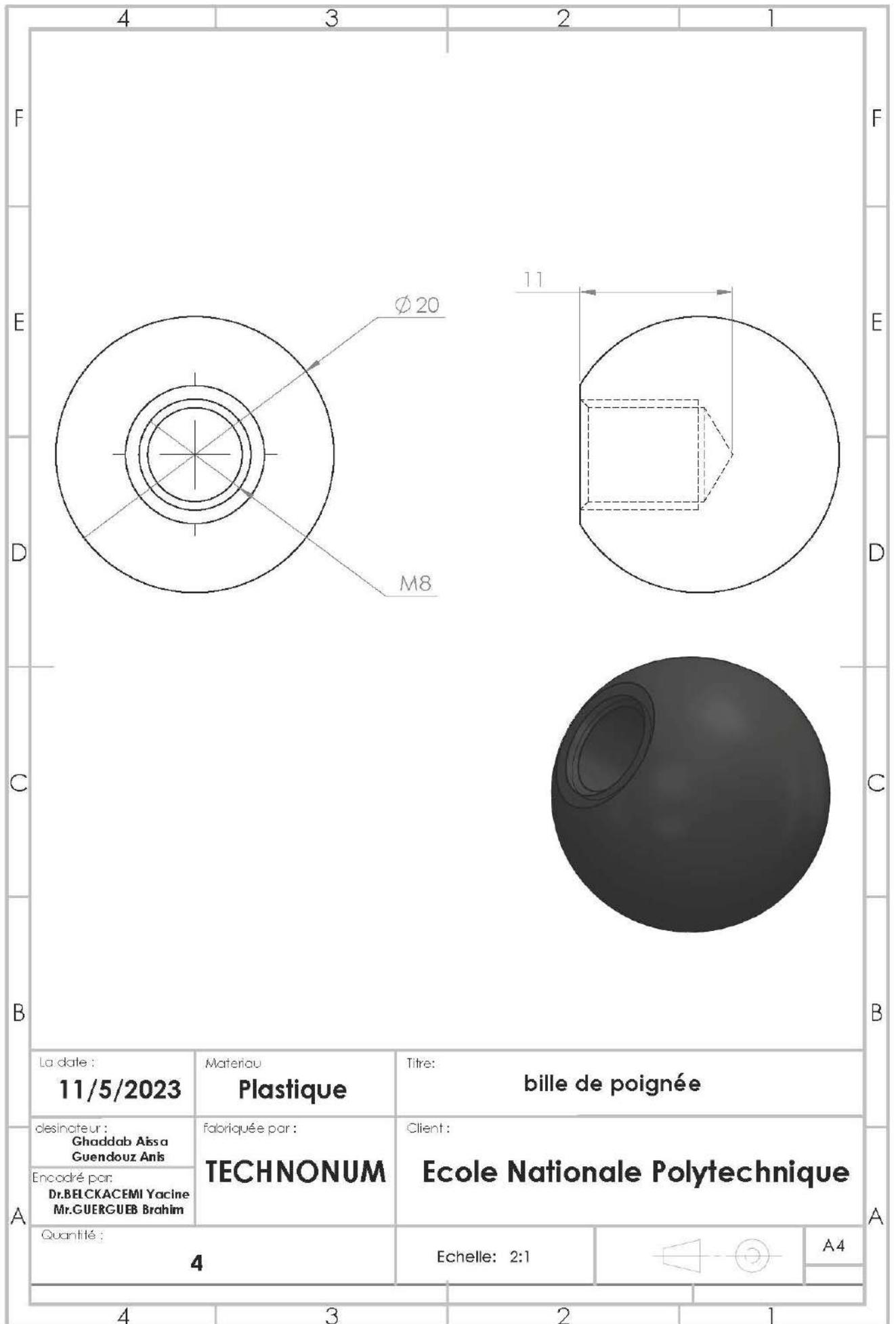


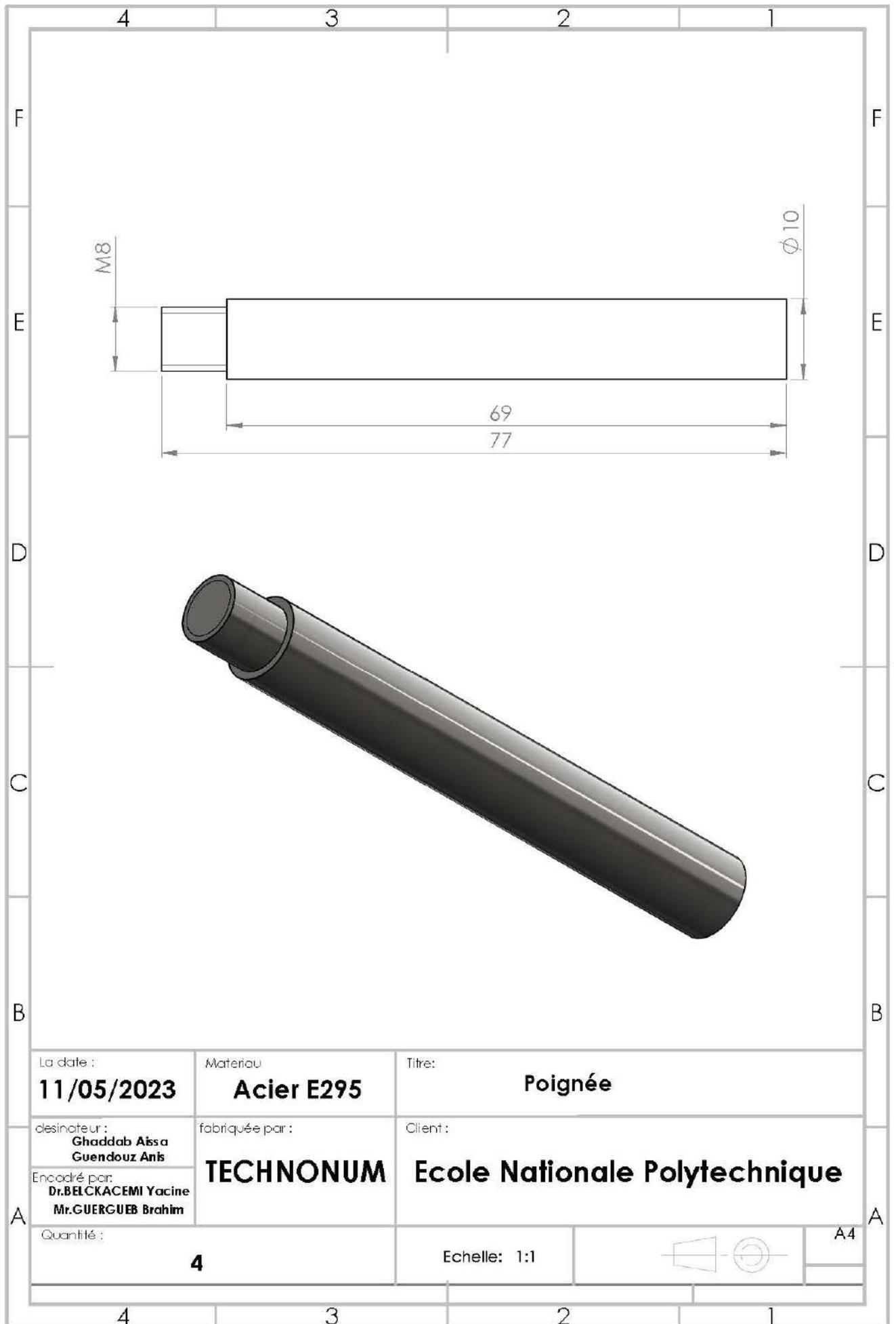


éléments	DESCRIPTION	quantités.
1	bille de poignée	4
2	poignée	4
3	vis de poignée	4

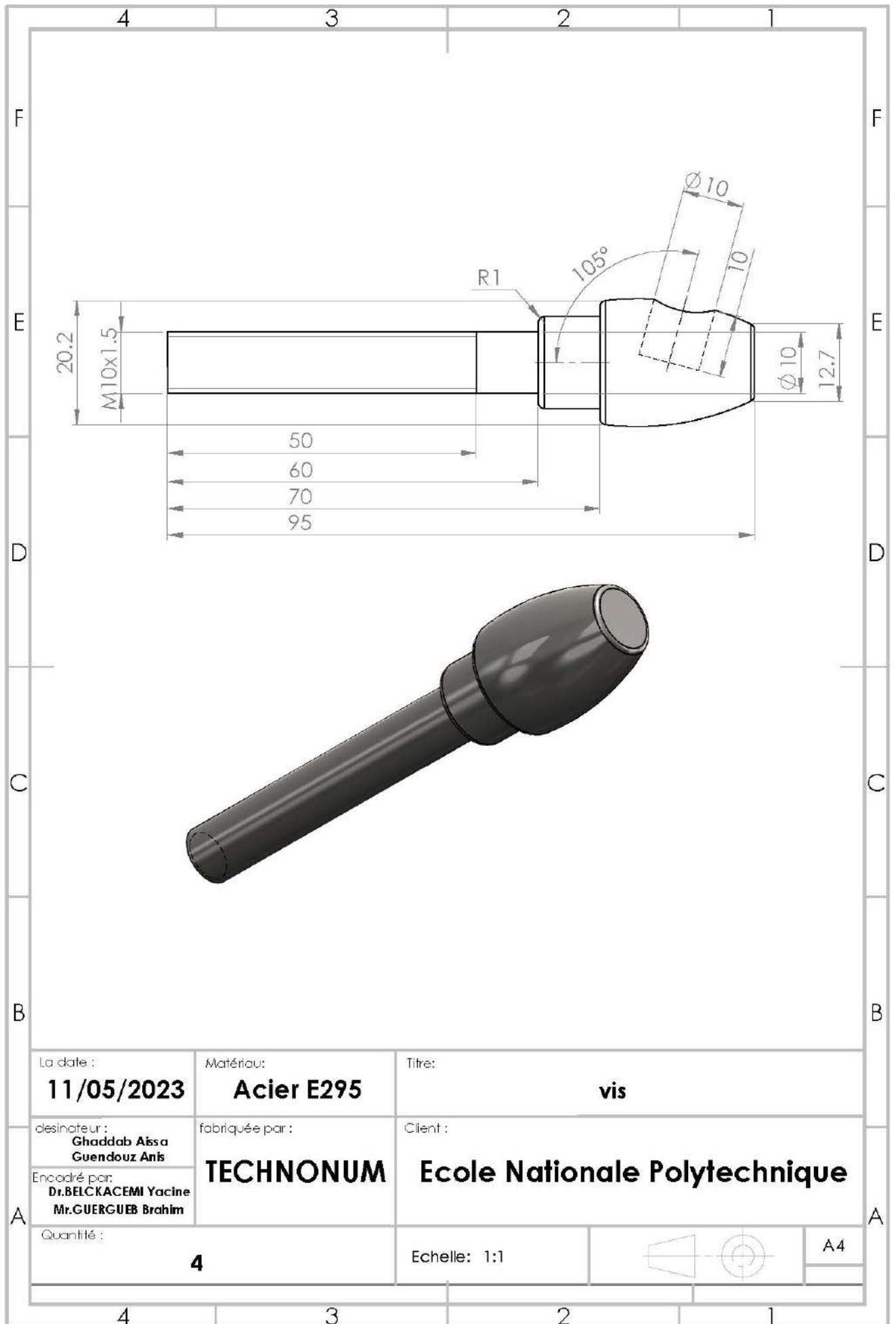


La date : 11/05/2023	Matériau Acier E295	Titre: Vis avec poignée	
dessinateur : Ghaddab Aïss a Guendouz Anis	fabriquée par : TECHNONUM	Client : Ecole Nationale Polytechnique	
Encadré par : Dr.BECKACEMI Yacine Mr.GUERGUEB Brahim			
Quantité : 4		Echelle: 2:1	A4





La date : 11/05/2023	Matériau Acier E295	Titre: Poignée	
dessinateur : Ghaddab Aïsa Guendouz Anis	fabriquée par : TECHNONUM	Client : Ecole Nationale Polytechnique	
Encadré par: Dr.BELCKACEMI Yacine Mr.GUERGUEB Brahim	Quantité : 4	Echelle: 1:1	A4



La date : 11/05/2023	Matériau: Acier E295	Titre: vis	
dessinateur : Ghaddab Aïsa Guendouz Anis	fabriquée par : TECHNONUM	Client : Ecole Nationale Polytechnique	
Encadré par: Dr.BELCKACEMI Yacine Mr.GUERGUEB Brahim	Quantité : 4	Echelle: 1:1	
			A4

Annexe B

Cette annexe contient le code C++ utilisé pour le fonctionnement de la machine.

```
#include <LiquidCrystal.h>

// select the pins used on the LCD panel
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);

// define some values used by the panel and buttons
int lcd_key    = 0;
int adc_key_in = 0;
float distance = 0;
#define pulse_pin 3
#define dir_pin 2
#define end1 A4
#define pulse_pin1 11
#define pulse_pin2 12
#define pulse_pin3 13

#define end2 A3
#define end3 A2
#define end4 A1
#define btnRIGHT 0
#define btnUP    1
#define btnDOWN  2
#define btnLEFT  3
#define btnSELECT 4
#define btnNONE  5

int Position=0; //position des moteurs par rapport a la position 0;
int Direction=0;
int PositionMax=18000;

// read the buttons
int read_LCD_buttons()
{
  adc_key_in = analogRead(0);    // read the value from the sensor
  // my buttons when read are centered at these valies: 0, 144, 329, 504, 741
  // we add approx 50 to those values and check to see if we are close
```

```

if (adc_key_in > 1500) return btnNONE; // We make this the 1st option for speed reasons since
it will be the most likely result
if (adc_key_in < 50) return btnRIGHT;
if (adc_key_in < 195) return btnUP;
if (adc_key_in < 380) return btnDOWN;
if (adc_key_in < 500) return btnLEFT;
if (adc_key_in < 700) return btnSELECT;
return btnNONE; // when all others fail, return this...
}

```

```

void setup() {
  lcd.begin(16, 2);           // start the library
  lcd.setCursor(0,0);

```

```

  lcd.print("Traction biAxe"); // print a simple message
  Serial.begin(9600);
  pinMode(pulse_pin,OUTPUT);
  pinMode(pulse_pin1,OUTPUT);
  pinMode(pulse_pin2,OUTPUT);
  pinMode(pulse_pin3,OUTPUT);
  pinMode(dir_pin,OUTPUT);
  digitalWrite(dir_pin,HIGH);

```

```

  lcd.setCursor(0,1);           // move cursor to second line "1" and 9 spaces over
  lcd.print("Homing");
  goto0();
  //lcd.setCursor(0,1);
  gotoHome();

```

```

  //lcd.clear();
  //lcd.setCursor(0,1);
  //lcd.print("Distance(mm): ");
}

```

```

int Speed=1000;
void loop() {
  lcd.setCursor(9,1);           // move to the beginning of the second line
  lcd_key = read_LCD_buttons(); // read the buttons

```

```

switch (lcd_key)           // depending on which button was pushed, we perform an action
{
  case btnRIGHT:
  {
    digitalWrite(dir_pin,HIGH);
    Direction=-1;

    while((Position>5000)&&(read_LCD_buttons() != btnSELECT)){

      drive3(Speed,5);
      distance = (15000-Position)*0,003125;
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(0,0);
      lcd.print("Dst(mm):");
      lcd.setCursor(9,0);
      lcd.print(String(distance));
      lcd.setCursor(0,1);
      lcd.print("Speed : ");
      lcd.setCursor(9,1);
      lcd.print(String(Speed));
    }
    delay(400);
    break;

  }

  case btnLEFT:
  {
    digitalWrite(dir_pin,LOW);
    Direction=1;

    while((Position<15000)&&(read_LCD_buttons() != btnSELECT)){//PositionMax

      drive3(Speed,5);
      distance = (15000-Position)*0,003125;
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(0,0);
      lcd.print("Dst(mm):");
      lcd.setCursor(9,0);
      lcd.print(String(distance));
      lcd.setCursor(0,1);
      lcd.print("Speed : ");
      lcd.setCursor(9,1);
      lcd.print(String(Speed));
    }
  }
}

```

```

        delay(400);
        break;
    }
    case btnUP:
    {
        //lcd.print("Speed UP   ");
        if(Speed>1500){
            lcd.print("Maximum Speed !");}
        else
            {Speed=Speed+5;}
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("Speed : ");
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print(String(Speed));
        break;
    }
    case btnDOWN:
    {
        //lcd.print("Speed DOWN   ");
        if(Speed<250){
            lcd.print("Minimum Speed !");}
        else
            {Speed=Speed-5;}
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("Speed : ");
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print(String(Speed));
        break;
    }
    case btnSELECT:
    {
        break;
    }
    case btnNONE:
    {
        break;
    }
}

}

void drive3 (unsigned int speed, unsigned int nbr_steps){
    unsigned int T = 0.5/speed*1000000;
    unsigned int stps=0;
    for(;stps<nbr_steps;stps++){

```

```

    digitalWrite(pulse_pin,HIGH);
    digitalWrite(pulse_pin1,HIGH);
    digitalWrite(pulse_pin2,HIGH);
    digitalWrite(pulse_pin3,HIGH);
    delayMicroseconds(T);
    digitalWrite(pulse_pin,LOW);
    digitalWrite(pulse_pin1,LOW);
    digitalWrite(pulse_pin2,LOW);
    digitalWrite(pulse_pin3,LOW);
    delayMicroseconds(T);
    Position=Position+Direction;

}}

void gotoHome(){
    digitalWrite(dir_pin,LOW);
    Direction=1;

    drive3(1000,PositionMax);//21600
}

void goto0(){
    digitalWrite(dir_pin,HIGH);

    int state1=0,state2=0,state3=0,state4=0;
    unsigned int T = 0.5/500*1000000;
    while(state1*state2*state3*state4==0){
        if(state1==0){
            if(digitalRead(end1)){
                digitalWrite(pulse_pin,HIGH);
            }else{
                state1=1;
            }
        }

        if(state2==0){
            if(digitalRead(end2)){
                digitalWrite(pulse_pin1,HIGH);
            }else{
                state2=1;
            }
        }

        if(state3==0){
            if(digitalRead(end3)){
                digitalWrite(pulse_pin2,HIGH);
            }else{
                state3=1;
            }
        }
    }
}

```

```
    }  
}  
if(state4==0){  
    if(digitalRead(end4)){  
        digitalWrite(pulse_pin3,HIGH);  
    }else{  
        state4=1;  
    }  
  
}  
  
    delayMicroseconds(T);  
    digitalWrite(pulse_pin,LOW);  
    digitalWrite(pulse_pin1,LOW);  
    digitalWrite(pulse_pin2,LOW);  
    digitalWrite(pulse_pin3,LOW);  
    delayMicroseconds(T);  
}  
Position=0;  
}
```
