



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
Département de génie mécanique

Ma maître familial depuis 1933
Technonum
Technologie de l'Usinage à Commande Numérique

Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur
d'état en génie mécanique

Réalisation d'une soudeuse par le procédé FSW

Présenté par :
Berkane Achraf Rami

Soutenu le 28 octobre 2023 devant le jury composé de :

Président :	GUERGUEB Brahim	MAA	ENP
Examineur :	LATRECHE Mohamed	MAA	ENP
Encadrant :	BENBRAIKA Mohamed	MAA	ENP
Encadrant :	SAIDI Djamel	MCB	ENP
Encadrant :	SEDJAL Hamid	MAA	ENP



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
Département de génie mécanique

Un métier fondé depuis 1933
Technonum
Technologie de l'Usinage à Commande Numérique

Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur
d'état en génie mécanique

Réalisation d'une soudeuse par le procédé FSW

Présenté par :
Berkane Achraf Rami

Soutenu le 28 octobre 2023 devant le jury composé de :

Président :	GUERGUEB Brahim	MAA	ENP
Examineur :	LATRECHE Mohamed	MAA	ENP
Encadrant :	BENBRAIKA Mohamed	MAA	ENP
Encadrant :	SAIDI Djamel	MCB	ENP
Encadrant :	SEDJAL Hamid	MAA	ENP

ملخص

الغرض من هذا المشروع هو إنتاج نموذج أولي لألة لحام الدمج الاحتكاكي باستخدام التصميم الذي سيتم إنتاجه بواسطة في مشروع نهاية الدراسة في عام 2022 . هذه الألة مخصصة لحام صفائح الألمنيوم بسمك 8.5 حتى 12 مم. تم تصميم النموذج الأولي وجميع الأجزاء المكونة له بواسطة أداة التصميم بمساعدة الكمبيوتر

ABSTRACT:

The purpose of this project is to produce a prototype of a friction stir welding machine using the design that will be produced by Lyes SMAILI and Mustapha KEDDOUS in their PFE in 2022. This machine is intended for welding aluminum sheets of thickness 8.5 to 12mm. The computer-aided design tool SolidWorks carries out the design of the prototype and all the parts that constitute it.

RESUME

Ce projet a pour but la réalisation d'un prototype de machine de soudage par friction FSW (FRICTION STIR WELDING) malaxage en utilisant la conception qui fate par Lyes SMAILI et Mustapha KEDDOUS en leur PFE en 2022. Cette machine est destinée au soudage des tôles d'aluminium d'épaisseur de 8.5 à 12 mm. La conception du prototype et toutes les pièces qui le constituent est réalisée par l'outil de conception assistée par ordinateur SolidWorks.

Mots clés : Soudage, FSW, Gamme d'assemblage, Réalisation,

REMERCIEMENT

Je voudrais dans un premier temps remercier mes encadrants Mr. Mohamed BENBRAIKA, Mr. Djamel SAIDI et Mr. Hamid SEDJAL pour leur patience, leur disponibilité et surtout les judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Mes remerciements vont à monsieur Brahim GUERGUEB qui me fait l'honneur de présider le jury de ma soutenance et monsieur Mohamed LATRECHE qui me fait l'honneur d'examiner mon travail de fin d'études

Un grand remerciement à Mr. Amine MEZGHRANI Directeur Général et aux ingénieurs de l'entreprise TECNONUM à Ouled Moussa pour leur aide précieuse.

Je veux remercier également mes camarades Nacer Eddine BOUSSOUSSOU et Samy BOUARROU pour m'avoir aidé concernant la partie électrique de ce projet.

Mes parents, pour leur soutien constant et leurs encouragements.

Je tiens aussi à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et qui m'ont aidé lors de la rédaction de ce mémoire.

Table des matières

LISTE des tableaux :.....	
LISTE des figures :.....	
LISTE DES ABREVIATIONS:.....	
NOMENCLATURE.....	
1) INTRODUCTION :.....	10
2) CHAPITRE 1 : ETUDE BIBIOGRAPHIQUE SUR LE SOUDAGE PAR FRICTION MALAXAGE FSW.....	12
a. Introduction :.....	12
b. Historique du soudage :.....	12
c. Principe du procédé FSW :.....	12
i. Principe :.....	12
d. Les étapes du FSW :.....	13
i. Phase de pénétration :.....	13
ii. Phase de préchauffage.....	13
iii. Soudage.....	13
iv. Retrait.....	14
e. Les microstructures zones de processus FSW :.....	14
i. BM (métal de base) :.....	15
ii. HAZ (zone affectée thermiquement) :.....	15
iii. TMAZ (zone affectée thermo-mécaniquement) :.....	15
iv. WN (ou zone d'agitation) :.....	15
f. Les paramètres de soudage :.....	15
i. L'effort de plongée de l'outil dans la matière à souder :.....	15
ii. La vitesse de rotation de l'outil (ω) :.....	16
iii. La vitesse d'avance(v).....	16
iv. L'angle d'inclinaison :.....	16
g. Configurations d'assemblage :.....	17
h. Les avantages du procédé FSW :.....	18
i. Limitations du procédé FSW :.....	18
j. Applications :.....	18
i. Construction des bateaux :.....	18
k. Conclusion :.....	19
3) Chapitre 2 : Vérification et correction de la conception.....	21
a. Introduction :.....	21
b. Rappel à la conception précédentes :.....	21
i. Le châssis :.....	21

ii.	L'axe X :	21
iii.	L'axe Y :	22
iv.	L'axe Z :	23
v.	Le porte outil :	23
c.	Les problèmes de conception et ces solutions :	25
i.	Problème 1 :	25
ii.	Problème 2 :	25
iii.	Problème 2 :	25
iv.	Problème 3 :	26
v.	Problème 4 :	26
vi.	Problème 5 :	26
vii.	Problème 6 :	28
d.	La conception finale.....	28
e.	Conclusion :	29
4)	Chapitre 3 : L'usinage et l'assemblage.	31
a.	Introduction :	31
b.	Introduction de l'entreprise TECHNONUM :	31
c.	La gamme d'usinage :	32
	42
d.	La gamme d'assemblage :	44
i.	Préparer des petits sous-assemblage :	44
ii.	Assemblage du châssis :	46
e.	Conclusion :	50
5)	Chapitre 4 : La partie électrique et automatique.....	52
a.	Introduction :	52
b.	Les éléments électriques :	52
i.	Moteur asynchrone :	52
ii.	Moteur pas à pas :	53
iii.	Driver :	54
iv.	Alimentation :	54
v.	L'Arduino :	54
c.	Le couplage du moteur asynchrone :	54
d.	Le pilotage des moteurs pas à pas :	55
i.	Installation du logiciel : Arduino IDE	55
ii.	Utilisons du programme GRBL CNC :	56
iii.	Installation de CNC GS :	58
e.	Le circuit électrique :	58

f. Conclusion :	59
6) CONCLUSION GENERALE :	60
7) Références.....	61
8) Annexe :	74
Manuel TP :	74
a. Les règles de sécurité :	74
b. La préparation des plaques à souder :	74
c. Méthode d'utilisation de la machine :	74
i. Soudage manuel :	74
ii. Soudage automatique :	74
d. Maintenance :	75
e. Fiche technique du moteur pas à pas :	76
f. L'organisation de l'atelier :	76
g. Diagramme des projets :	80

LISTE des tableaux :

Tableau 1: Paramètres typiques de FSW sur machine CNC [8]	16
Tableau 2: Liste des grandes applications du procédé FSW de 1995 jusqu'à 2004 [1].....	19
Tableau 3: l'organisation de l'atelier conventionnel.....	78
Tableau 4: l'organisation de l'atelier numérique	79

LISTE des figures :

Figure 1-1: Échantillon de plaque de 12.7 mm (1/2 pouce) soudée en une seule passe [8] [3]	13
Figure 1-2: les 4 étapes du FSW [5]	14
Figure 1-3: Schéma des zones microstructurales dans FSW [6].....	15
Figure 1-4: Configurations d'assemblage montrant le positionnement de l'outil et les forces de maintien des pièces [3].....	18
Figure 1-5: assemblage de 2 panneaux creux en aluminium d'un bateau de pêche [10]	19
Figure c-1: comparaison entre le nouveau châssis et le châssis précédent	25
Figure c-2: comparaison entre le nouveau palier et le palier précédent	26
Figure c-3: comparaison entre le logement d'outil l'ancien et le nouveau	26
Figure c-4: les tailles du moteur nemas	27
Figure c-5: comparaison entre les pièces anciennes et les nouveaux	27
Figure c-6: la conception finale	28
Figure 3-1: le symbole d'entreprise [10]	31
Figure 3-4: accouplement	33
Figure 3-5: arbre porte-outil.....	33
Figure 3-6: bride	34
Figure 3-7: logement douille vis à bille	35
Figure 3-8: support des tiges.....	36
Figure 3-9: brides-Y.....	37
Figure 3-10: plaque droite.....	38
Figure 3-11: plaque gauche.....	39
Figure 3-12: logement douille tiges	40
Figure 3-13: palier porte-outil.....	41
Figure 3-14: châssis	42
Figure 3-15: Epaulement.....	43
Figure 3-16: plaque arrière.....	44
Figure 3-17: le système de glissement des tiges	45
Figure 3-18: l'arbre porte outil	45
Figure 3-19: assemblage du porte outil.....	46
Figure 3-20: les plaques X Y Z	46
Figure 3-21: les éléments du châssis.....	47
Figure 3-22: les éléments placés	47
Figure 3-23: préparation des pièces	48
Figure 3-24: installation de l'axe Y	48
Figure 3-25: Montage du roulement	49
Figure 3-26: Montage du roulement	49
Figure 3-27: assemblage finale	50
Figure 4-1: le moteur asynchrone ABB 1,1kW de puissance et 3000tr/min de vitesse de rotation	52
Figure 4-2: la conception du moteur.....	53

Figure 4-3: dessin d'un moteur pas à pas.....	53
Figure 4-4: la partie transversale du moteur pas à pas [12]	54
Figure 4-5: 2Ftb6560-3a-driver-moteur-pas-a-pas-	54
Figure 4-6: Arduino UNO	54
Figure 4-7: schéma du couplage en étoile des moteurs triphasés [13]	55
Figure 4-8 : schéma du couplage en triangle des moteur triphasé [13]	55
Figure 4-9: l'affichage du logiciel Arduino IDE.....	56
Figure 4-10: le lieu de la connexion de la carte	56
Figure 4-11: la liste des fichiers après la décompression.....	57
Figure 4-12: méthode d'inclure le GRBL bibliothèque	57
Figure 4-13: l'affichage de logicielle Arduino IDE après la programmation	57
Figure 4-14: l'interphase de CNC JS	58
Figure 4-15: le circuit électrique du moteur pas à pas, le driver et l'Arduino [14]	59
Figure 0-1: la fenêtre des axes	74
Figure 0-2: le bouton utilisé pour téléverser le programme G-code.....	75
Figure 0-4: quelques machines dans l'atelier numérique.....	77
Figure 0-5: quelques machines dans l'atelier conventionnel	78
Figure 0-6: l'organigramme des projets.....	80

LISTE DES ABREVIATIONS:

FSW: friction stir welding.

AS: advancing side.

RS: retreating side.

BM: base metal.

HAZ: heat affected zone.

TMAZ: Thermo- mechanically affected zone.

WN : Weld nugget.

TP : travaux pratiques

IDE: intelligent design engineering

CNC: computer numerical control

GRBL: g-code by real time

NOMENCLATURE

Symboles grecs

v : Vitesse d'avance (mm/min)

ω : Vitesse de rotation (rpm)

1) INTRODUCTION :

Dans l'industrie, le soudage est un procédé essentiel pour l'assemblage des pièces. Cependant l'industrie moderne repose sur une multitude de processus innovants pour créer ces assemblages. Parmi ces techniques, le soudage par friction malaxage (fsw) occupe une place essentielle. Cette méthode de soudage offre une solution unique pour joindre des matériaux métalliques de manière efficace, en utilisant la chaleur générée par la friction et la pression pour obtenir des liaisons de haute qualité. Dans cette introduction on explore les principes fondamentaux de soudage par friction et malaxage, et comment on va réaliser une soudeuse par friction malaxage. Ce projet est divisé en 4 chapitres :

Dans le chapitre 1. On effectue une revue approfondie de la littérature existante sur le soudage par friction malaxage. Nous examinerons les bases théoriques, les matériaux compatibles, les domaines d'application. Cette étude bibliographique jettera les bases nécessaires pour la réalisation de notre propre soudeuse FSW.

Dans le chapitre 2. Dans ce chapitre, nous aborderons la conception de cette soudeuse FSW, en mettant l'accent sur la vérification de la conception initiale et les éventuelles corrections requises, ce qui donne la conception finale.

Dans le chapitre 3. Dans ce chapitre, on abordera les étapes pratiques de fabrication de la soudeuse. On explorera le processus d'usinage des composants et l'assemblage de l'équipement. Il s'agit d'une étape cruciale pour transformer le concept en une machine opérationnelle.

Dans le chapitre 4. On plongera dans la partie électrique et automatique de la soudeuse par friction malaxage. Ce chapitre se penchera sur les composants électriques, les capteurs, les actionneurs et les systèmes de contrôle nécessaires pour automatiser le processus de soudage.

Après ces chapitres on va terminer ce Project avec une conclusion générale.

Chapitre 1 : Étude bibliographique sur le soudage par friction malaxage FSW

2) CHAPITRE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE SOUDAGE PAR FRICTION MALAXAGE FSW.

a. Introduction :

Ce chapitre est dédié à l'historique du soudage de manière générale et en particulier le soudage par friction en l'occurrence le FSW, son principe, ses étapes à suivre ainsi que le choix des paramètres, les avantages et les inconvénients de ce dernier.

b. Historique du soudage :

L'exemple le plus ancien de soudage est la jonction entre l'anneau de suspension et le pendentif du petit chien à bélier conservé au musée du Louvre (Uruk, 3300-3100 av. J.-C.).

Pendant l'âge de bronze, les Égyptiens et les peuples de l'est méditerranéen ont appris à assembler par soudage des pièces en fer. Plusieurs outils datant approximativement de 3 000 ans ont été retrouvés. [1]

L'ancien historien grec Hérodote déclare dans Histoires du Ve siècle av. J.-C. que Glaucos de Chios le seul homme justement qui ait trouvé l'art de souder le fer (on lui attribuait aussi la pratique de la trempe du fer). Le soudage a été utilisé dans la construction du Pilier de fer de Delhi, érigé à Delhi, à l'époque de Chandragupta II, et pesant 5,4 tonnes. [1]

Jusqu'au milieu du 19ème siècle, les procédés de soudage évoluent peu. Vers 1850 on commence à se servir du gaz pour chauffer les métaux à souder :

Fin 19ème : mise en œuvre de nouveaux procédés :

- Le soudage oxyacétylénique
- Le soudage aluminothermique
- Le soudage à l'arc électrique
- Le soudage par résistance

Ces procédés connaîtront leur essor industriel vers 1920.

c. Principe du procédé FSW :

Le soudage FSW (friction-malaxage) est une technologie prometteuse pour l'assemblage de pièces d'aluminium puisqu'elle permet d'assembler des alliages d'aluminium à haute résistance, sans passer par la fusion et sans apport de matière. Ce procédé est également utilisé et très apprécié pour l'assemblage de matériaux dissemblables. Ce procédé d'assemblage, qui est arrivé à maturité depuis quelques années, présente un intérêt certain car une fois les paramètres de soudage fixés, la répétabilité est excellente. De plus il permet une grande souplesse d'utilisation et très peu de risques puisque ce type de soudage ne nécessite pas de gaz de protection. [2]

i. Principe :

Le principe du soudage consiste à assembler deux tôles qui sont bridées soit bord à bord, soit par recouvrement. Puis, l'outil en rotation pénètre la matière et se déplace le long du joint

à souder. Cet outil est composé d'un épaulement et d'un poinçon. Le rôle de l'épaulement est de générer par frottement sur les pièces à assembler la chaleur nécessaire pour atteindre 80-90% de la température de fusion du matériau soudé. Le poinçon mélange alors ces deux pièces rendues plastiques par la température élevée.

Le poinçon peut se présenter sous différentes morphologies et son filetage permet le drainage en profondeur de la matière.

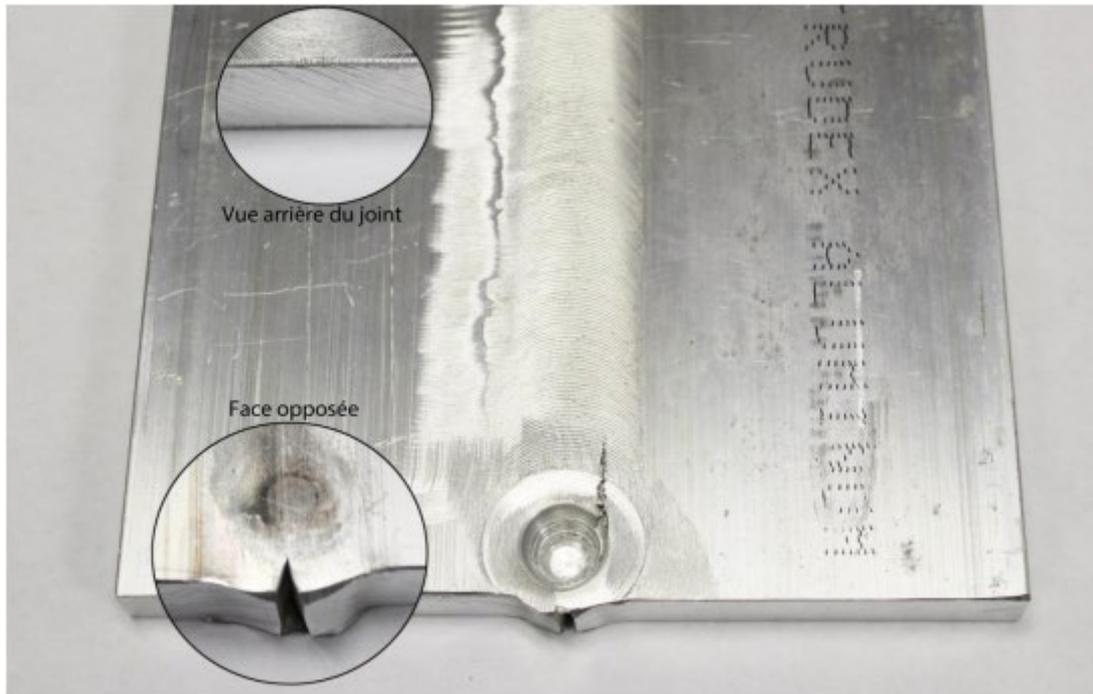


Figure 1-1: Échantillon de plaque de 12.7 mm (1/2 pouce) soudée en une seule passe [8] [3]

d. Les étapes du FSW :

i. Phase de pénétration :

Le pion pénètre progressivement dans le plan de joint des deux pièces à souder, on lui applique une force normale jusqu'à ce que l'épaulement soit en contact avec les pièces. L'outil reste dans cette position pendant un temps de maintien appelé (dwell time) pour créer la quantité de chaleur suffisante pour ramollir la matière.

ii. Phase de préchauffage

Maintien en rotation à la position de départ pour échauffement suffisant de la matière

iii. Soudage

Une fois la température de soudage (état ramolli de la matière) atteinte, le pion tournant commence à avancer le long de la ligne de joint (autre configuration possible : déplacement de la table), ainsi on assure le malaxage de la matière entre les deux pièces. Un effort appelé effort de forgeage est appliqué sur l'outil est maintenu pendant cette phase. La matière malaxée est déformée plastiquement et constitue le cordon de soudure. Le cordon obtenu n'est pas symétrique. En effet, le mouvement combiné de rotation et d'avance donne naissance à deux côtés :

- Un côté avance (advancing side) où le sens de la vitesse de rotation de l'outil coïncide avec sa vitesse d'avance.

· Un côté recul (retreating side) où le sens de la vitesse d'avance de l'outil s'oppose à sa vitesse d'avance. [4]

iv. Retrait

Une fois le cordon réalisé, le pion est retiré du joint en laissant un trou à l'extrémité du cordon, un outil à pion rétractable permet d'éviter la formation de ce trou. Dans ce cas, l'épaulement reste en contact avec la matière jusqu'à la fin de retrait du pion. [5]

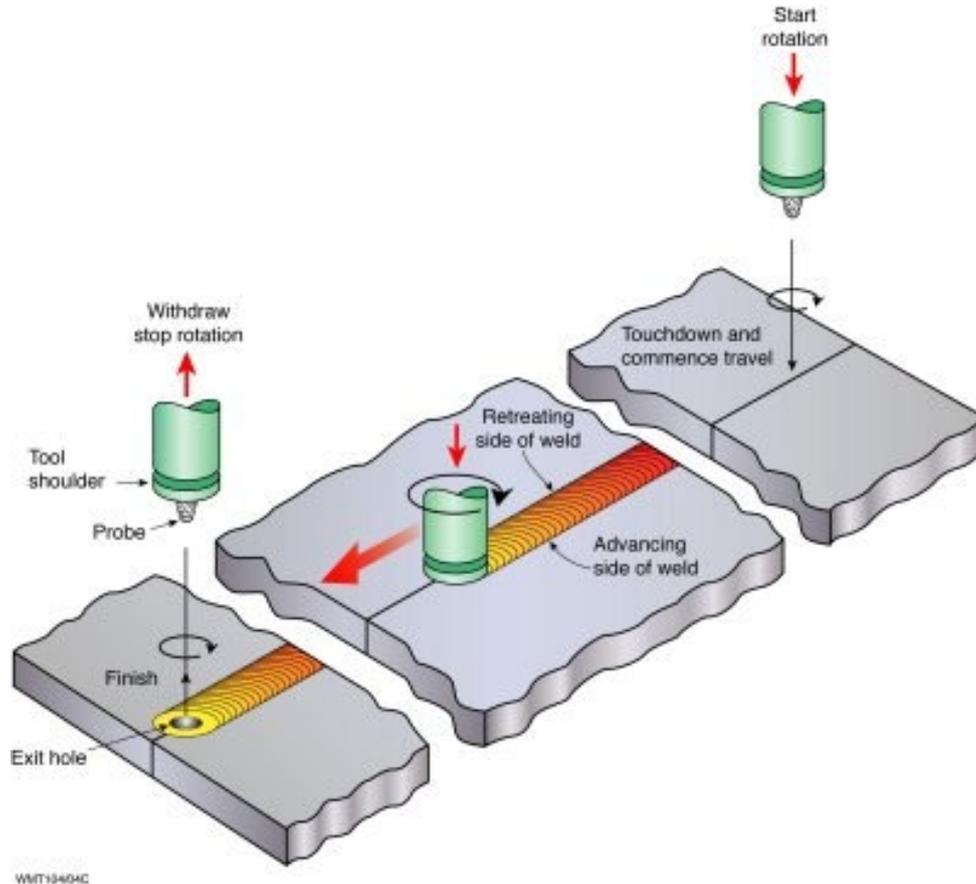


Figure 1-2: les 4 étapes du FSW [5]

e. Les microstructures zones de processus FSW :

À la suite du processus de soudage par friction, une soudure solide apparaît là où les matériaux ont été assemblés. La forme et les propriétés de la soudure sont affectées par quelques facteurs comme la forme de l'outil et des paramètres comme la vitesse d'avance et la vitesse de rotation. Des déformations thermoplastiques peuvent être observées dans la section transversale de la soudure. L'effet de ces propriétés de procédé est l'apparition d'une microstructure complexe qui a un effet significatif sur les propriétés mécaniques du joint. La soudure AFSW peut être divisée en quelques zones (Fig. 1.2). [6]

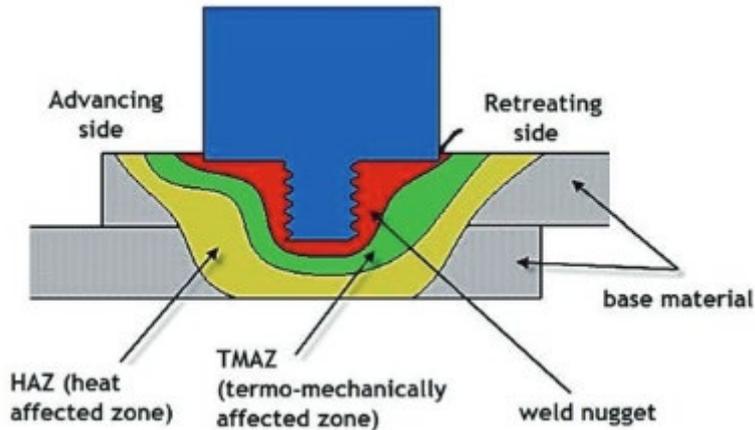


Figure 1-3: Schéma des zones microstructurales dans FSW [6]

i. BM (métal de base) :

Situé loin du joint, le métal de base ne subit aucune déformation mécanique pendant le fonctionnement du soudage et les températures atteintes ne provoquent pas de modifications micro structurelles. Il conserve ses propriétés mécaniques initiales.

ii. HAZ (zone affectée thermiquement) :

Comme le métal de base ne subit aucune déformation mécanique pendant le fonctionnement du soudage, les températures atteintes sont plus élevées, et génèrent des modifications microstructurales qui modifieront localement les propriétés mécaniques initiales.

iii. TMAZ (zone affectée thermo-mécaniquement) :

Située sous l'épaule de l'outil, cette zone est soumise à des températures élevées et à une déformation mécanique importante, due à l'écoulement de matière causé par le passage du pion de l'outil.

iv. WN (ou zone d'agitation) :

La zone d'agitation est la zone la plus affectée par les effets thermiques et mécaniques du processus. Vu en coupe, le noyau est facilement reconnaissable à sa microstructure entièrement recristallisée, l'interface entre la zone de pépite recristallisée et le métal parent est relativement diffuse et lisse sur le RS de l'outil, alors qu'elle est assez nette sur l'AS.

f. Les paramètres de soudage :

La qualité du joint de soudage dépend de l'apport de chaleur et le taux de déformation du joint. Les paramètres qui les affectent sont [7] :

- La vitesse de rotation de l'outil.
- La vitesse d'avance de l'outil.
- Le long de la ligne du joint.
- L'angle d'inclinaison de l'outil.
- L'effort de plongée de l'outil dans la matière à souder.

i. L'effort de plongée de l'outil dans la matière à souder :

La force exercée est mesurée en kilo Newton – kN, on l'appelle force en Z. Si cette force est trop faible, il aura un risque de manque de pénétration de l'outil et donc un risque de défauts de compacité de la soudure. A l'inverse, si elle est trop forte cela engendre un enfoncement excessif de l'outil dans la matière et donc une réduction de la section soudée. [8]

La valeur de cette force dans notre machine est à l'ordre de 450N [9]

ii. La vitesse de rotation de l'outil (ω) :

La vitesse de rotation est mesurée en tour par minute – RPM. Plus l'outil tourne vite, plus le matériau sera chaud. Il est donc important de contrôler et de maîtriser cette vitesse de rotation pour obtenir une soudure FSW parfaite. [7]

La valeur de cette vitesse dans notre machine est à l'ordre de 2000 tr/min [9]

iii. La vitesse d'avance(v)

La vitesse d'avance est mesurée en mm/min. Plus l'outil avance vite, plus le matériau sera froid. Tout comme la vitesse de rotation, la vitesse d'avance doit donc être contrôlée et maîtrisée. [8]

La valeur de cette vitesse dans notre machine est à l'ordre de 100mm/min [9]

Tableau 1: Paramètres typiques de FSW sur machine CNC [8]

Materials / thickness	Rotation	Z force
5754 H11-2mm on 6061 T6 (lap)	1000 RPM	7000N
6061 T6-12mm (butt - double pass of 6mm)	1200 RPM	8000 N
5754 H11 -2mm (butt)	3000 RPM	6000 N
5754 H11 – AS10Fe (casting) 2 mm (butt)	2400 RPM	6000 N
7075 T6 – 2mm on 2024 T3 – 3mm (lap)	900 RPM	6000 N
5754 H11 - 2 mm on S235 – 1 mm (lap)	1000 RPM	4000 N

La stabilité du procédé FSW peut être quantifiée par le feed ratio (k) qui se calcule comme suit :

$$k = \frac{v}{\omega} \quad (1.1)$$

Avec v la vitesse d'avance et ω la vitesse de rotation. Plus k sera petit plus le matériau sera chaud et inversement. Il faut donc trouver la bonne plage de k pour trouver la bonne température de soudage. [8]

iv. L'angle d'inclinaison :

L'angle d'inclinaison est un paramètre très important à prendre en compte dans l'optimisation du procédé. Il est défini comme l'angle entre l'axe de l'outil et la ligne normale à la surface des plaques à souder. Ceci affecte de manière significative le taux de génération de chaleur, le mouvement des matériaux et la consolidation du matériau qui s'écoule derrière le pion de l'outil. L'augmentation de l'angle d'inclinaison génère plus de chaleur grâce à la

présence d'une force axiale importante ce qui améliore la plastification de la matière et rend le noyau de la soudure plus petit. [9]

g. Configurations d'assemblage :

On peut voir à la figure 1.4 diverses configurations d'assemblages que l'on peut souder par friction malaxage. Ces configurations doivent avoir des géométries qui permettent d'assurer un support suffisant pour les forces en jeu et une surface adéquate pour le contact avec l'épaulement de l'outil.

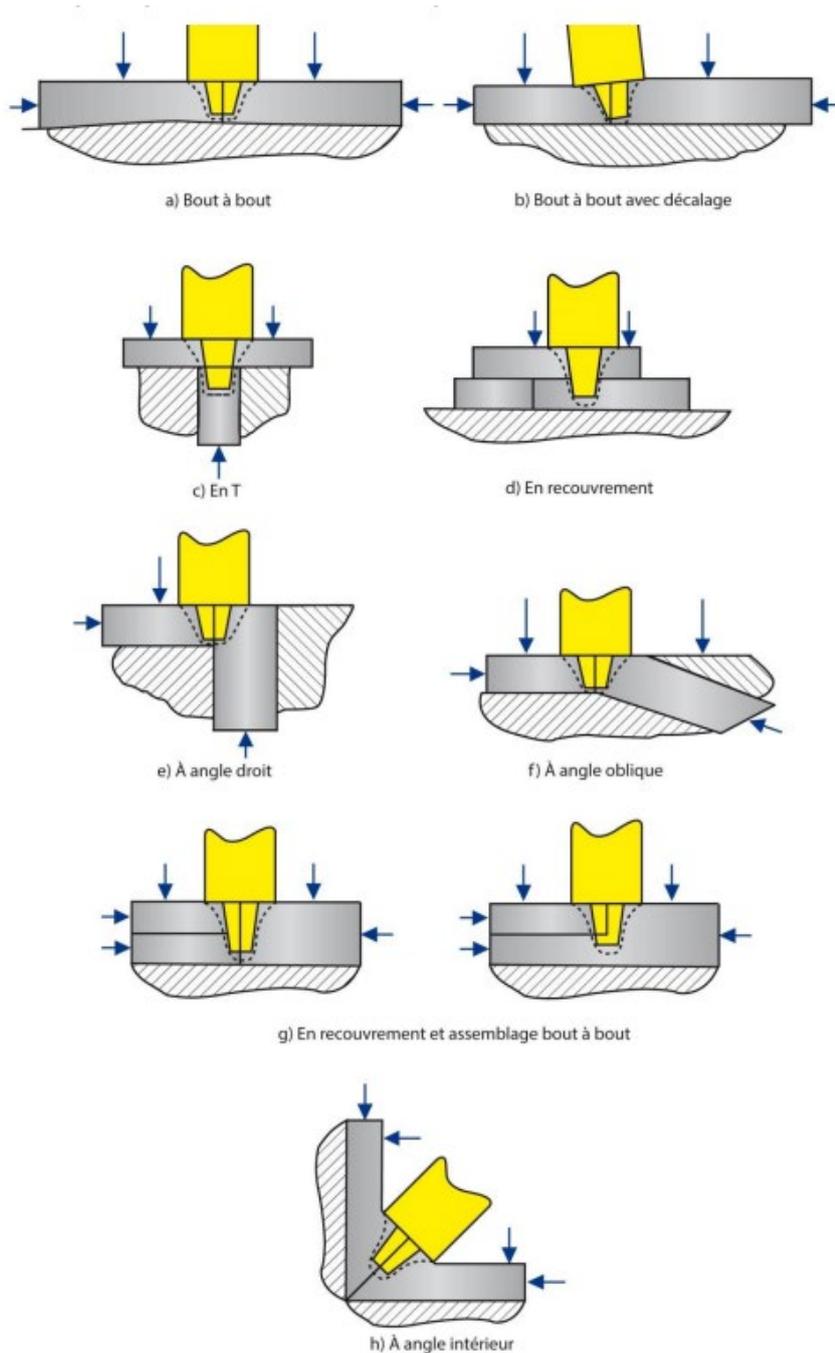


Figure 1-4: Configurations d'assemblage montrant le positionnement de l'outil et les forces de maintien des pièces [3]

h. Les avantages du procédé FSW :

- Absence de porosité et de soufflure.
- Absence de fissuration de solidification.
- Absence de projection.
- Absence de fumée.
- Aucun rayonnement UV émis.
- Aucun gaz de protection requis pour l'aluminium.
- Procédé silencieux.
- Distorsions et retraits réduits.
- Meilleures propriétés mécaniques des assemblages (tension, flexion, fatigue).
- Absence d'arc électrique (équipement de protection réduit).
- Possibilité de soudage dans différentes positions.
- Le soudage des matériaux dissemblables.
- Soudage en une seule passe sans la nécessité de la finition.
- Pas de métaux d'apport ni gaz de protection.
- Soudage des matériaux difficilement soudables avec d'autres procédés. [3]

i. Limitations du procédé FSW :

- Investissement important.
- Limitations à des géométries plutôt simples, avec une surface relativement plane dans la zone soudée.
- Utilisation requise d'un système de maintien des pièces.
- Présence nécessaire d'un support sous les pièces à souder (sauf si on utilise un outil à double épaulement).
- Les départs et les fins de soudage présentent un défaut qui doit être géré.
- Encombrement de la tête de soudage qui peut limiter l'accès à certains endroits. [3]

j. Applications :

Pour des exigences élevées en termes de qualité du joint de soudure, le FSW présente un recours efficace puisqu'il permet d'avoir des qualités de joints de soudures proche des caractéristiques mécaniques du métal de base dans certaines configurations, ce qui est difficile à atteindre avec des procédés de soudage traditionnels. Ces quelques domaines d'utilisation :

i. Construction des bateaux :

La première application commerciale du soudage par friction malaxage concernait la fabrication de panneaux creux en aluminium pour la surgélation du poisson sur les bateaux de pêche (Figure 1-5). Ces panneaux sont fabriqués à partir d'extrusions d'aluminium soudées par friction-malaxage. La distorsion minimale et la reproductibilité élevée font du FSW, à la fois techniquement et économiquement, une méthode très attrayante pour produire ces panneaux rigides.

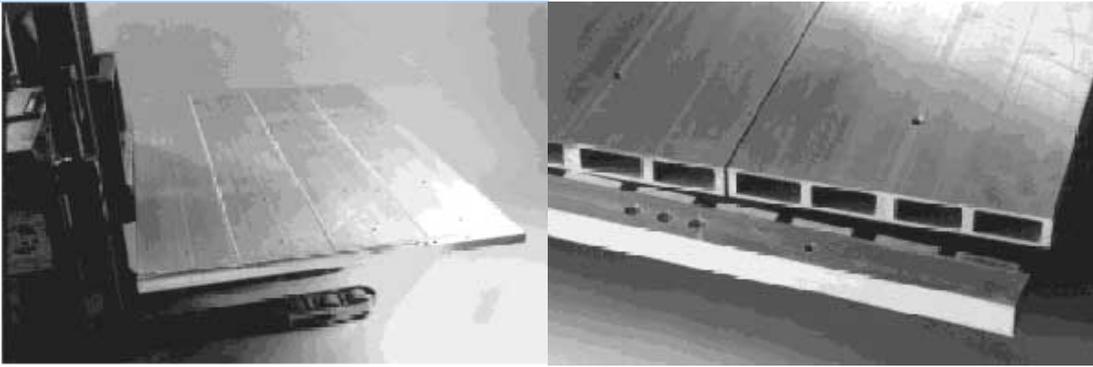


Figure 1-5: assemblage de 2 panneaux creux en aluminium d'un bateau de pêche [10]

Tableau 2: Liste des grandes applications du procédé FSW de 1995 jusqu'à 2004 [1]

Year	Application	Company
1995	*Hollow heat exchangers	Marine Aluminum, Norway
1996	*Commercial shipbuilding	Marine Aluminum, Norway
1998	Delta II rockets	Boeing, US
1999	*Commercial shipbuilding	SAPA, Sweden
2000	*Automotive components	SAPA, Sweden
2000	Laser system housings	General Tool, US
2001	*Motor housings	Hydro Aluminum (formerly Marine Aluminum), Norway
2001	*Automotive components	Showa, Japan
2001	*Train bodies	Hitachi, Japan
2002	*Automotive components	Tower Automotive, US
2003	Aircraft structure	Eclipse, US
2003	*Commercial shipbuilding	Advanced Joining Technologies, US
2004	Space shuttle external tanks	Lockheed Martin, US
2004	Food trays	RIFTEC, Germany

k. Conclusion :

Après avoir présenté en détail le procédé, il est nécessaire de procéder à une étape cruciale consistant à examiner attentivement la conception dans le chapitre qui suit. Cette phase est essentielle pour s'assurer que toutes les composantes et les aspects du procédé ont été correctement pris en compte, et elle offre l'opportunité d'identifier et de corriger d'éventuelles lacunes, incohérences ou inefficacités dans le plan initial.

Chapitre 2 : Vérification et correction de la conception.

3) Chapitre 2 : Vérification et correction de la conception.

a. Introduction :

Dans ce chapitre, nous entreprenons un examen rétrospectif de la conception antérieure en vue d'identifier tout problème ou limitation qui aurait pu se manifester. Notre objectif est de mettre en évidence ces défis et contraintes, puis de procéder à leur résolution. Cette démarche consiste à revisiter la conception initiale, à évaluer son efficacité et sa pertinence à la lumière des données et des retours d'expérience recueillis. Une fois les problèmes et limitations identifiés, nous nous attelons à les corriger et à améliorer la conception pour aboutir à une solution plus robuste, performante et en adéquation avec nos objectifs.

b. Rappel à la conception précédentes :

La conception présente une machine à 3 axes composée par 6 parties majeures :

i. Le châssis :

Le châssis est le support de la machine se composent d'un cadre horizontal, 2 cadres verticaux est une traverse fixée à l'aide des goussets plats et goussets du coin.

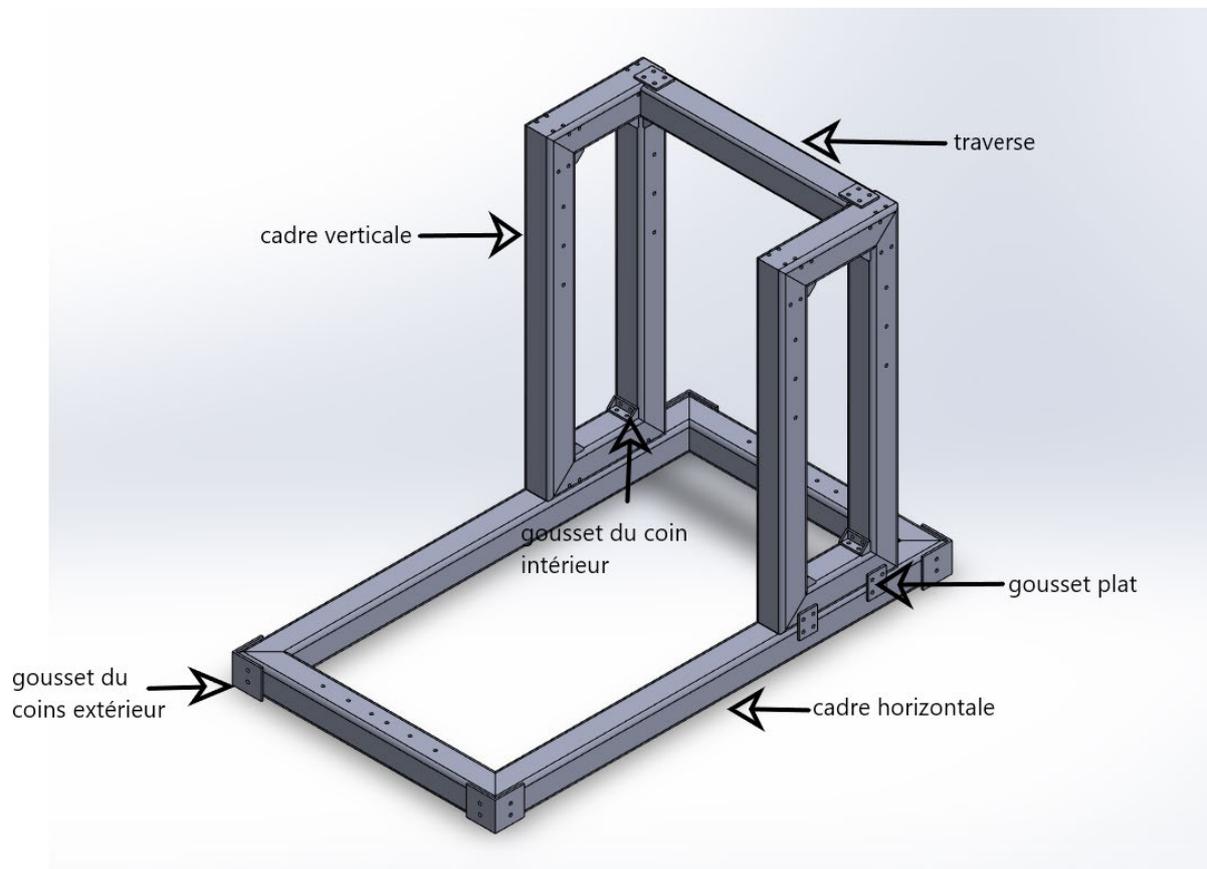


FIGURE 2-1- : LE CADRE CHASSIS

ii. L'axe X :

L'axe X est le système qui va déplacer la table de travail suivant la direction X. Il contient 2 tiges glissière parallèles fixées par des supports, entre ces tiges il y a une vis à bille liée avec un moteur pas à pas à l'aide d'un accouplement flexible d'une coté et un roulement radial fixé avec un palier à l'autre côté. La table de travail est fixée sur 4 paliers à roulement linéaire et le logement de la douille.

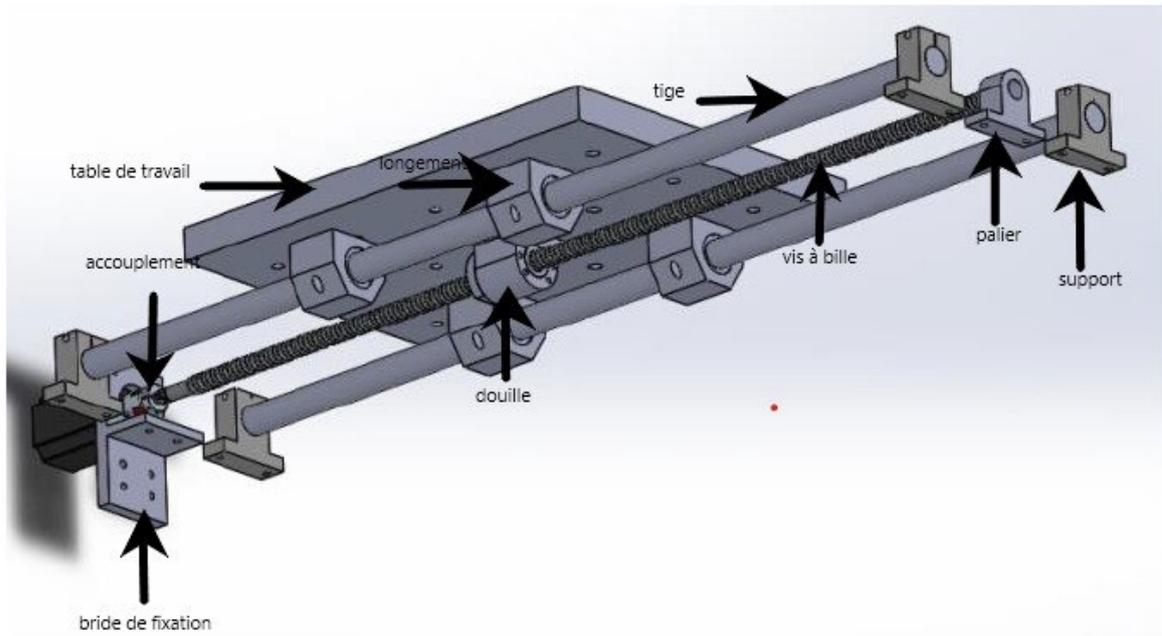
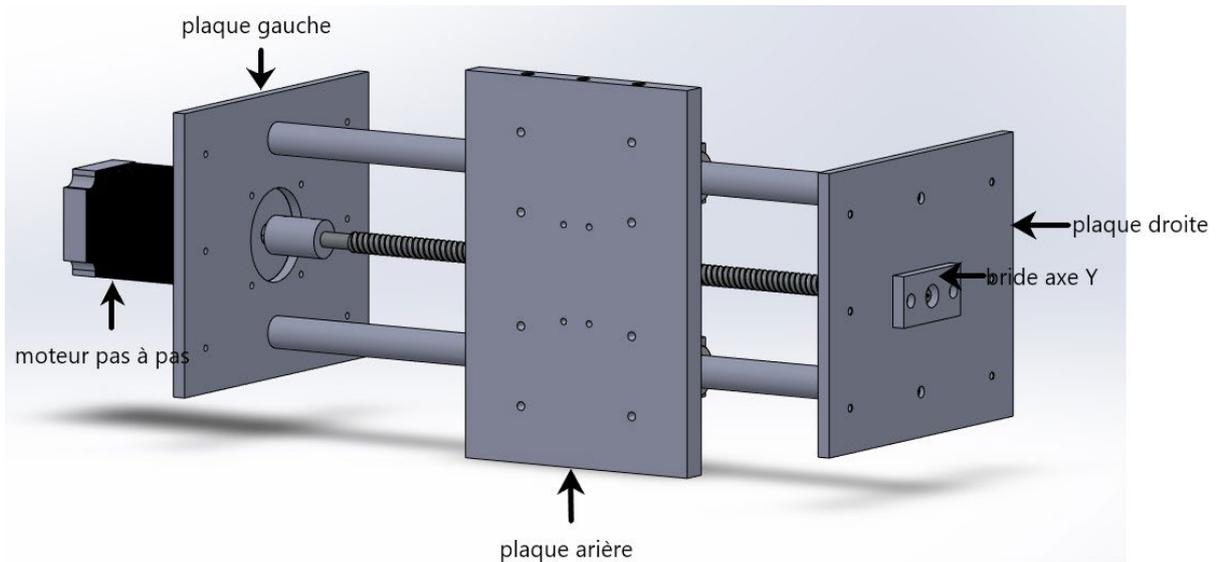


FIGURE 2-1- : L'AXE X

iii. L'axe Y :

L'axe X est le système qui va déplacer l'outil suivant la direction Y. Il a le même principe que l'axe X, cependant à la place de la table de travail on utilise la plaque arrière et les



supports sont remplacés par 2 plaques ; gauche et droite.

FIGURE 2-2- : L'AXE Y

iv. L'axe Z :

L'axe Z est le système qui va déplacer l'outil suivant la direction Z. Il a le même principe que l'axe X et Y sauf qu'à la place de la table de travail on utilise la plaque avant. Cette dernière est liée avec 2 plaques haute et basse à l'aide des vis.

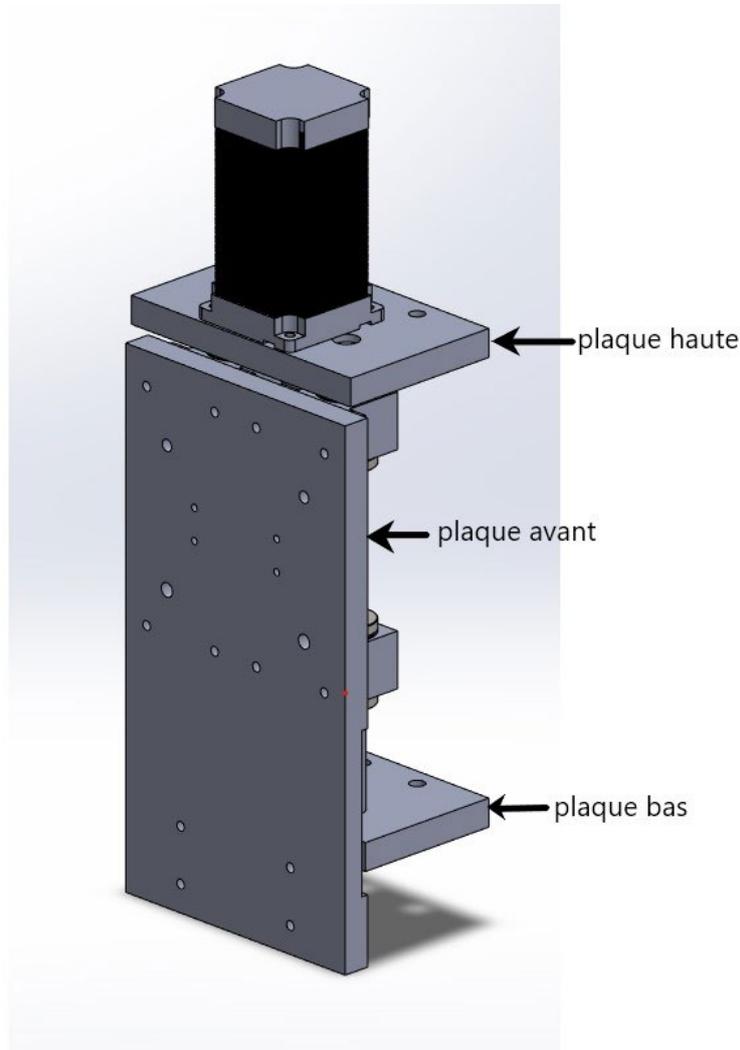


FIGURE 2-3- : L'AXE Z

v. Le porte outil :

Le porte outil est un système qui va transmettre l'énergie mécanique du moteur à l'outil. Il se décompose d'un palier, 2 roulements à rouleaux coniques et un arbre. Toute ces pièces sont deux à deux coïncidentes.

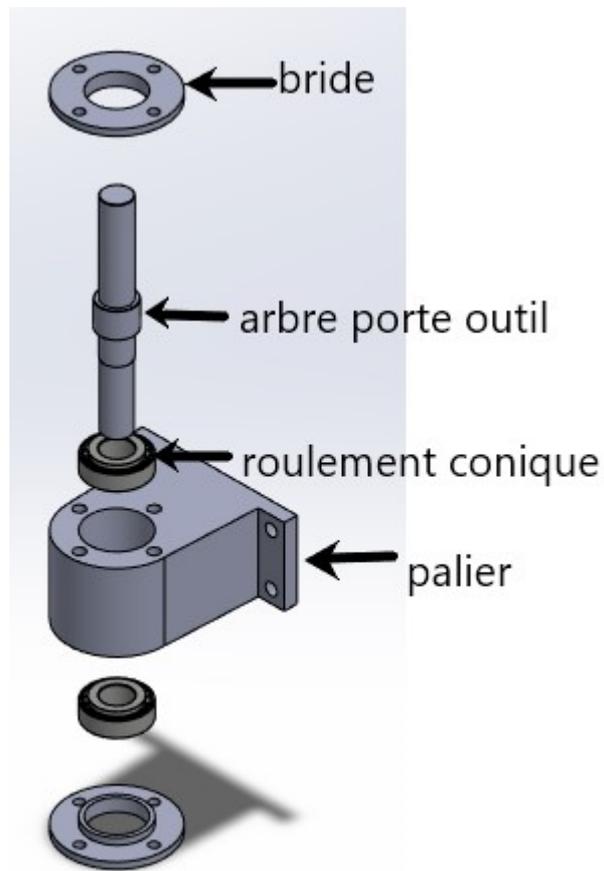


FIGURE 2-3- : PORTE OUTIL

vi. L'outil :

Il contient 2 pièces, le pion et l'épaulement. Ces derniers sont montés avec des vis de pression.

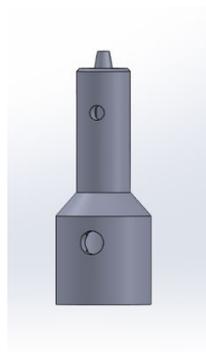


FIGURE 2-3- : OUTIL

c. Les problèmes de conception et ces solutions :

Il y a des problèmes dans la conception à cause de l'absence de quelques accessoires ou un matériel non disponible en Algérie

i. Problème 1 :

On remarque que la conception est très fragile car l'épaisseur du profil du châssis est 4 mm et cette épaisseur n'est pas suffisante pour un filetage et taraudage optimal. En effet on ne peut pas monter le châssis avec telle manière parce qu'il ne peut supporter le poids des autres composantes.

- Solution :

La solution pour ce problème est de monter le châssis avec soudage, cette méthode nous permet d'avoir un montage solide et plus simple à usiner.

ii. Problème 2 :

L'absence de profil carré 60*60*4 dans le marché

- Solution :

On va utiliser le profile L 60*60*4 qui est disponible

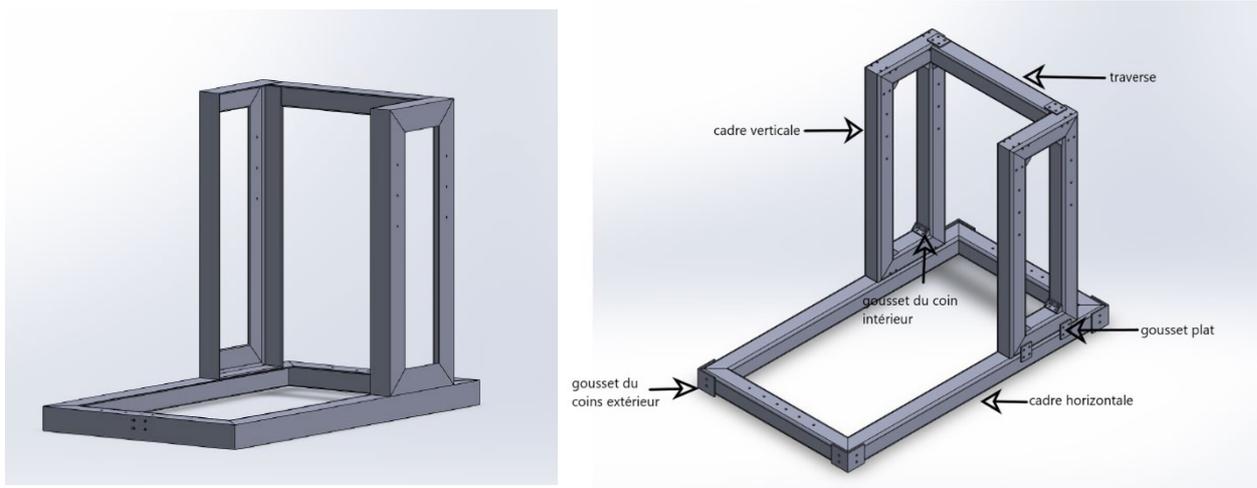


Figure c-1: comparaison entre le nouveau châssis et le châssis précédent

iii. Problème 2 :

L'absence de l'accessoire « Palier roulement linéaire ».

- Solution :

On va remplacer cet accessoire par un roulement linéaire en usinant le palier et les couples à l'aide des circlips.

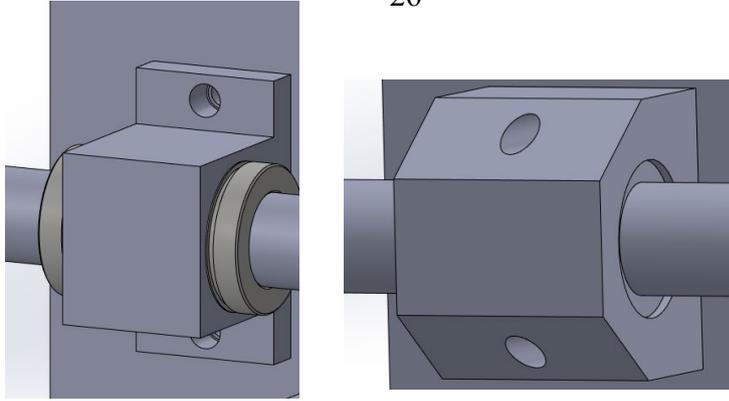


Figure c-2: comparaison entre le nouveau palier et le palier précédent

iv. Problème 3 :

L'absence de l'accessoire « Support d'arbre linéaire ».

- Solution :

On va usiner cet accessoire

v. Problème 4 :

L'absence de la vis à bille d'un diamètre 16 mm

- Solution :

On utilise une vis à bille avec un diamètre 20 mm qui existe dans le département. Alors il faut changer les dimensions de quelques pièces.

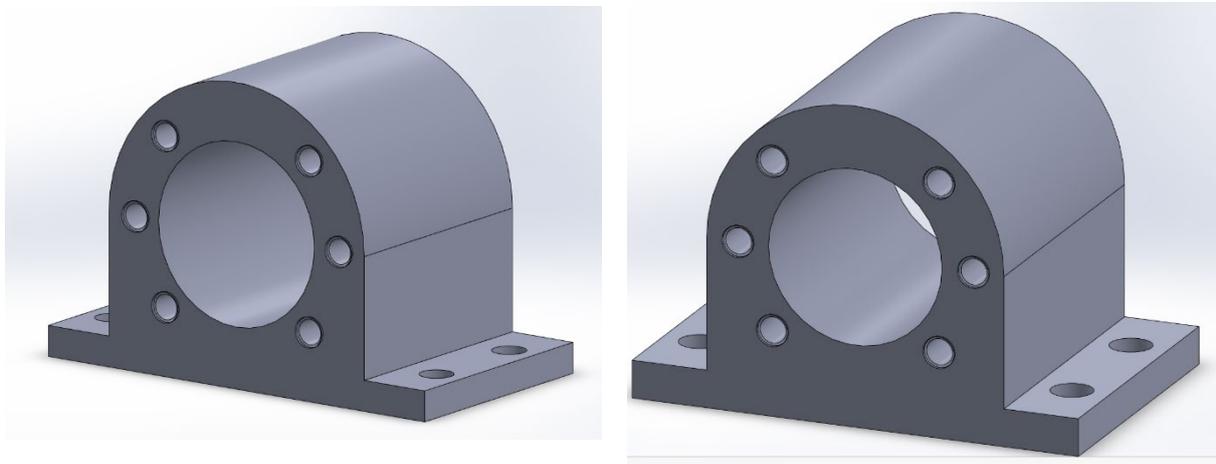


Figure c-3 comparaison entre le logement d'ouille l'ancien et le nouveau

vi. Problème 5 :

Absence du moteur pas à pas Nema 23.

- Solution :

On utilise le moteur pas à pas équivalent à Nema 34 qui existe dans le département. Alors il faut changer les dimensions de quelques pièces.



Figure c-4 les tailles du moteur nema

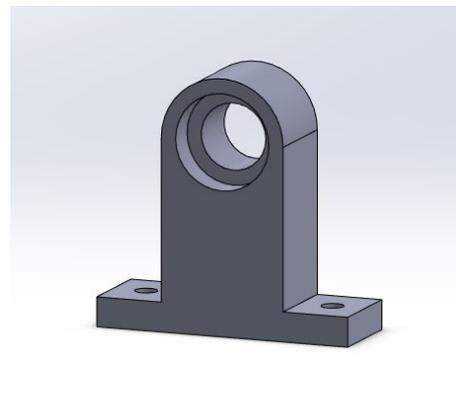
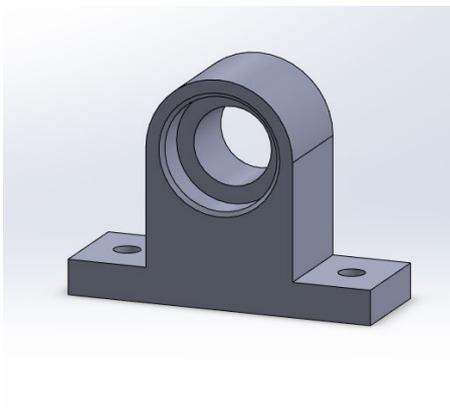
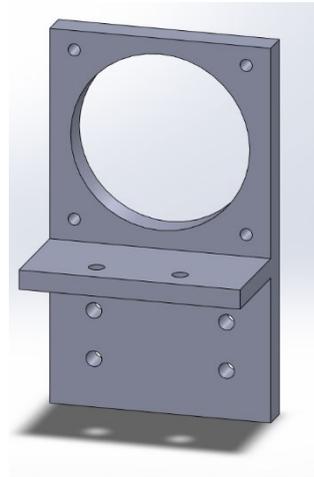
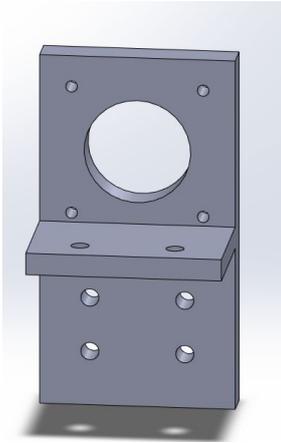
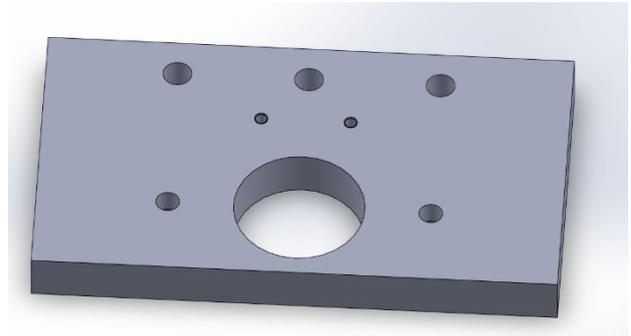
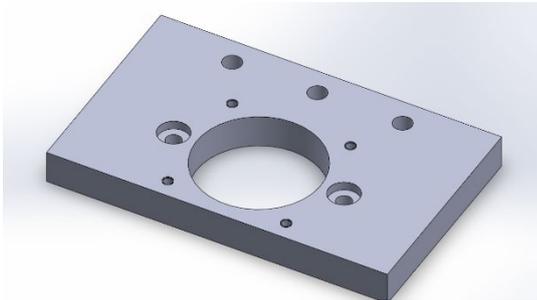


Figure c-5 comparaison entre les pièces anciennes et les nouveaux

vii. Problème 6 :

Indisponibilité de la matière brute pour usiner l'outil (X39 CrMoV5).

- Solution :

On va utiliser l'acier 42CrMo4 (également connu sous la désignation 42CD4 en France) pour usiner l'épaulement. Ce matériau offre une excellente combinaison de résistance et de ténacité, le rendant idéal pour de telles applications nécessitant une grande fiabilité et une résistance aux contraintes mécaniques [11]. Pour le pion on utilise comme une matière brute un foret en carbure d'une fraise conventionnelle.

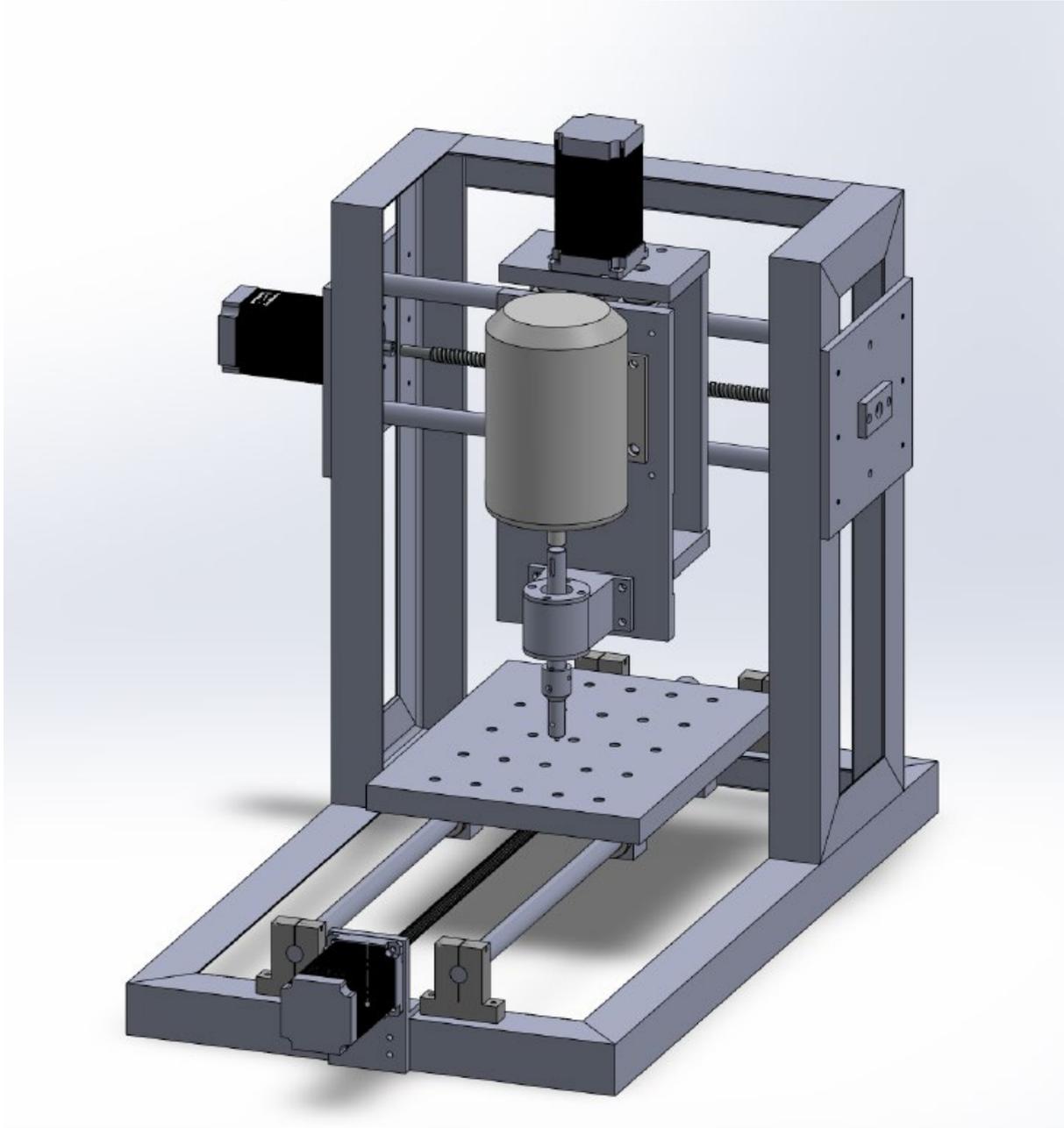
d. La conception finale

Figure c-6 la conception finale

e. Conclusion :

Après avoir apporté les corrections nécessaires à la conception et effectué une vérification approfondie pour s'assurer de son intégrité, nous sommes prêts à passer à la phase d'usinage des pièces et à leur assemblage. Cette étape représente une avancée cruciale dans la mise en œuvre du projet, où nous traduisons les améliorations conceptuelles en réalité physique.

Chapitre 3 : L'usinage et l'assemblage.

4) Chapitre 3 : L'usinage et l'assemblage.

a. Introduction :

Dans ce chapitre on va donner d'abord un aperçu sur la machine où les pièces ont été usinées puis on passera à la gamme d'usinage de ces pièces et la gamme d'assemblage de la machine.

b. Introduction de l'entreprise TECHNONUM :

« EURL TECHNONUM » est une entreprise spécialisée dans la fabrication des pièces mécaniques de précision à l'aide des machines CNC, et de la maintenance industrielle.

Elle démarre en 1933 grâce au diplôme du grand père Mr MEZGHRANI Abdelkader du lycée technique de Ruisseau Kouba, Alger puis en 1954 il fonde l'activité professionnelle à titre privé par son fils M. MEZGHRANI Mahfoud et maintenant son petit-fils Le PDG MEZGHRANI Mohamed Amine qui est Ingénieur d'Etat en Structure Mécanique de l'Université USTHB Bab Ezzouar. [10]



Figure 3-1: le symbole d'entreprise [10]

c. La gamme d'usinage :

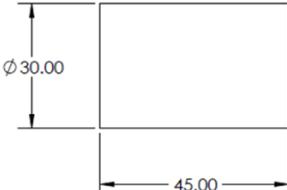
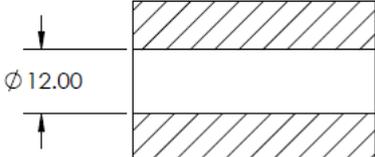
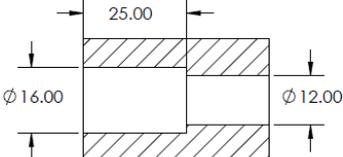
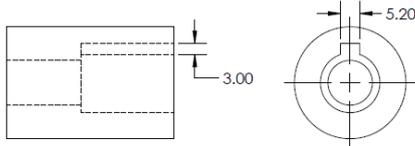
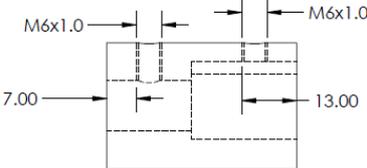
PIECE:	GAMME D'USINAGE			
MATIERE : acier				
NOMBRE :3				
BRUT :32*47				DATE :10/07/2023
PHASE	MACHINE	OUTILS	OPERATION	SCHEMAS
00	Scie		Débitage	
01	Tour	<ul style="list-style-type: none"> • Outil à dresser • Foret à centrer. • Foret 12 de diamètre 	Dressage Perçage Alésage	
02		<ul style="list-style-type: none"> • Alésoir 16 de diamètre 	Alésage	
03	Fraiseuse	Fraise à rainurer	Rainurage	
04	Fraiseuse	Taraud ébauche, 1/2 finition, finition	Taraudage	



Figure 3-2: accouplement

PIECE:	GAMME D'USINAGE			
MATIERE: acier				
NOMBRE:1				
BRUT: 26*162				DATE:27/08/2023
PHASE	MACHINE	OUTILS	OPERATION	SHEMAS
00	Tour	Outil à dresser	Dressage	
01	Tour	Outil coupeau	Chariotage	
02		Outil coupeau	Chariotage	
03		Outil à charioter coudé	Chanfreinage	
04		Outil coupeau	Chariotage	
05		Outil à charioter coudé	Chanfreinage	
06	Fraiseuse :	Fraise à rainurer	Rainurage	



Figure 3-3: arbre porte-outil

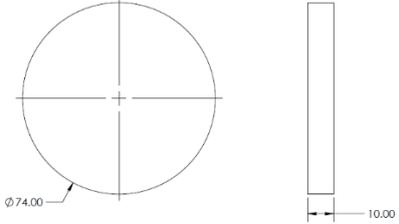
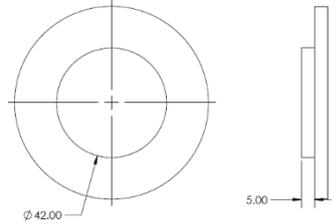
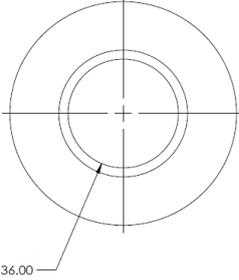
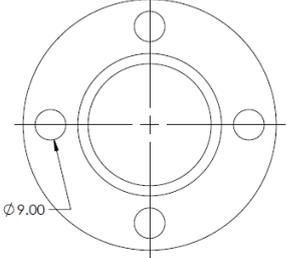
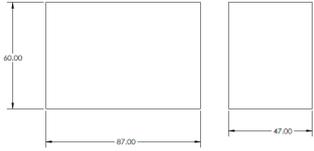
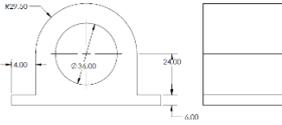
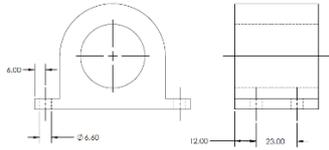
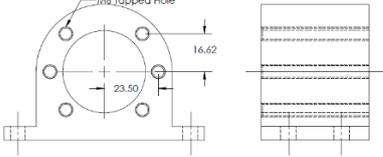
PIECE: bride				
MATIERE: acier				
NOMBRE:2				
BRUT: 74*12				DATE :30/08/2023
PHASE	MACHINE	OUTILS	OPERATION	SHEMAS
00	Scie		Sciage	
01	Tour parallèle	Outil couteau	Chariotage	
02	Fraiseuse	<ul style="list-style-type: none"> • Outil à dresser • Foret à centrer. • Foret 12 de diamètre 	Dressage Perçage Alésage	
03		<ul style="list-style-type: none"> • Foret à centrer. • Foret 9 de diamètre 	Perçage	



Figure 3-4: bride

PIECE : palier d'ouille vis à bille	GAMME D'USINAGE			
MATIERE: acier				
NOMBRE: 3				
BRUT: 60*47*87				
PHASE	MACHINE	OUTILS	OPERATION	SHEMAS
00	Scie		Sciage	
01	Fraiseuse numérique	Fraise	Épaulement Contournage Alésage	
02		Foret à centrer. Foret 6de diamètre	Perçage	
03		Taraude ébauche ½ finition et finition Finisseur M6	Taraudage	

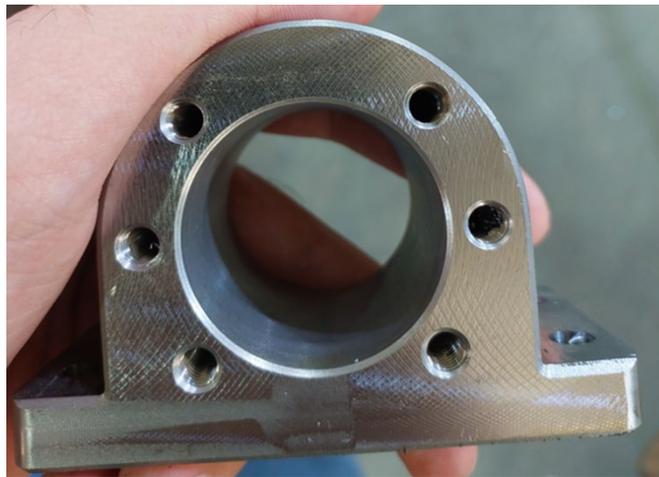


Figure 3-5: logement douille vis à bille

PIECE: support des tiges	GAMME D'USINAGE				
MATIERE: acier					
NOMBRE: 4					
BRUT: 85*24*90					DATE :02*09*2023
PHASE	MACHINE	OUTILS	OPERATION	SHEMAS	
00	Fraiseuse	Fraise à 2 tailles Foret à centrer. Foret	Épaulement Perçage Alésage		
01			Sciage		
02		Foret à centrer. Foret 6de diamètre	Perçage		
03		Foret à centrer. Foret 6de diamètre	Perçage		
04		Taraude ½ finition et finition	Taroudage		

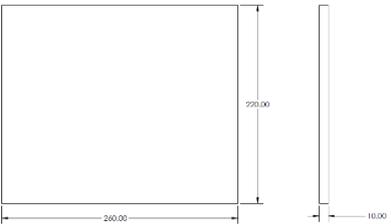
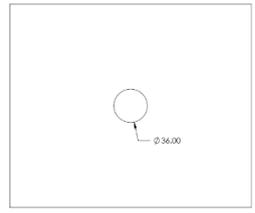
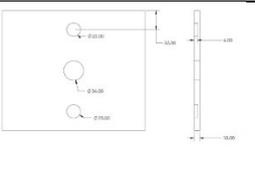
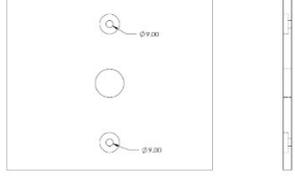
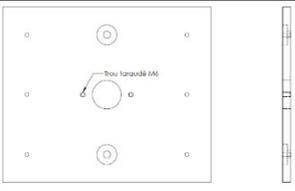


Figure 3-6: support des tiges

PIECE: bride Y	GAMME D'USINAGE			
MATIERE: acier				
NOMBRE: 1				
BRUTE:40*80*18				DATE :04/09/2023
PHASE	MACHINE	OUTILS	OPERATION	SHEMAS
00	Scie		Sciage	
01	Fraiseuse	Fraise	Contournage	
02		Fraise à 2 tailles Foret à centrer.	Perçage Alésage	
03		Fraise à 2 tailles	Alésage	
04			Chanfreinage	
05		Fraise à 2 tailles Foret à centrer.	Alésage Perçage	



Figure 3-7: brides-Y

PIECE: plaque droite	GAMME D'USINAGE			
MATIERE: acier				
NOMBRE:1				
BRUT: 260*220*10				DATE:10/09/2023
PHASE	MACHINE	OUTILS	OPERATION	SHEMAS
00	Scie		Sciage	
01	Fraiseuse	Fraise à 2 tailles Foret à centrer.	Perçage Alésage	
02		Foret à centrer. Alésoir	Perçage Alésage	
03		Alésoir	Alésage	
04		Tarud ébauche ½ finition finition M6	Perçage Taraudage	

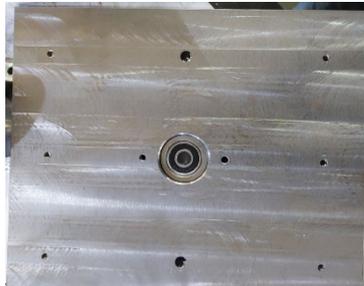
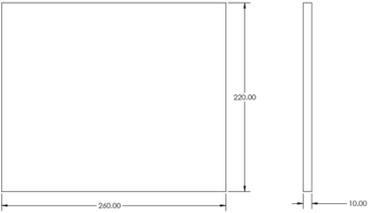
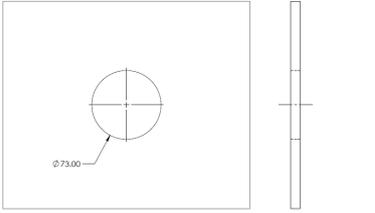
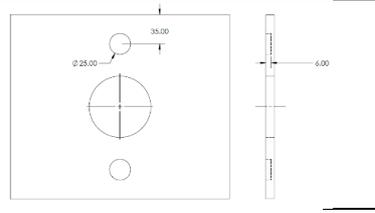
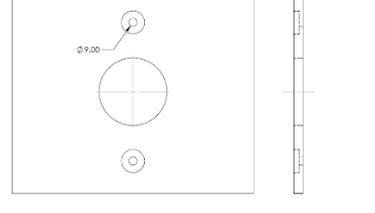
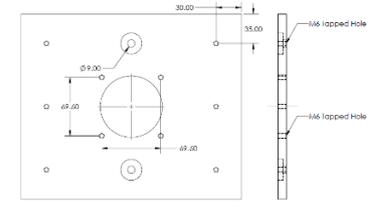


Figure 3-8: plaque droite

PIECE: plaque gauche	GAMME D'USINAGE			
MATIERE : acier				
NOMBRE : 1				
BRUT : 260*220*10				DATE: 15/09/2023
PHASE	MACHINE	OUTILS	OPERATION	SHEMAS
00	scie		Sciage	
01	Fraiseuse	Foret à centr. Alésoir	Perçage Alésage	
02		Foret à centr. Alésoir	Perçage Alésage	
03		Alésoir	Alésage	
04		Taraude ébauche ½ finition finition M6	Perçage Taraudage	

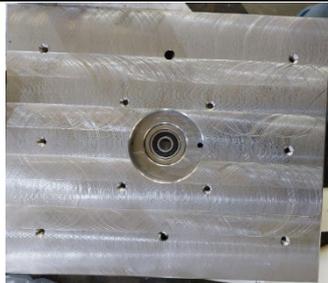


Figure 3-9: plaque gauche

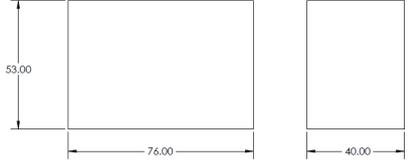
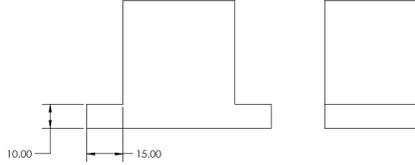
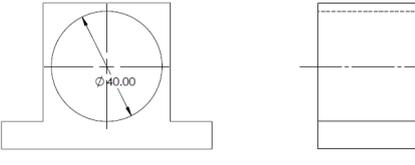
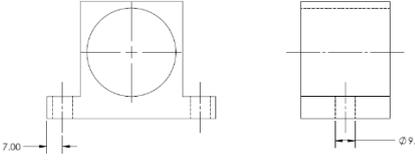
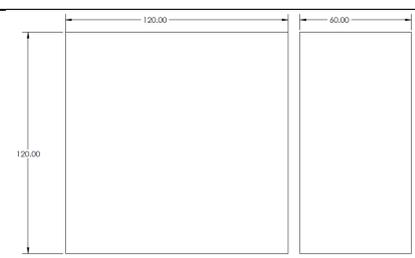
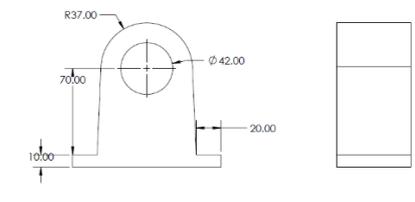
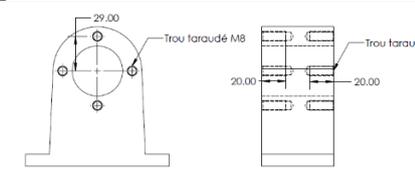
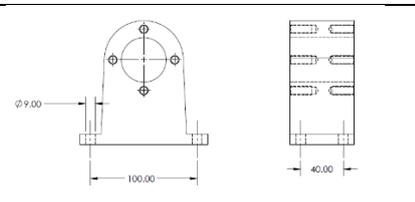
PIECE : support du roulement de tige	GAMME D'USINAGE			
MATIERE : acier				
NOMBRE : 12				
BRUT: 53*76*40				DATE:20/09/2023
PHASE	MACHINE	OUTILS	OPERATION	SHEMAS
00	Scie		Sciage	
01	Fraiseuse	Fraise	Fraisage	
02		Foret à centrer. Alésoir	Perçage Alésage	
03		Foret à centrer.	Perçage	



Figure 3-10: logement douille tiges

PIECE : palier de l'axe de rotation	GAMME D'USINAGE			
MATIERE : acier				
NOMBRE : 1				
BRUT: 120*120*60				DATE:25/09/2023
PHASE	MACHINE	OUTILS	OPERATION	SHEMAS
00	Scie		Sciage	
01	Fraiseuse	Fraise	Contournage Perçage Alésage	
02		Taraud ébauche ½ finition finition M6	Perçage Taraudage	
03			Perçage	

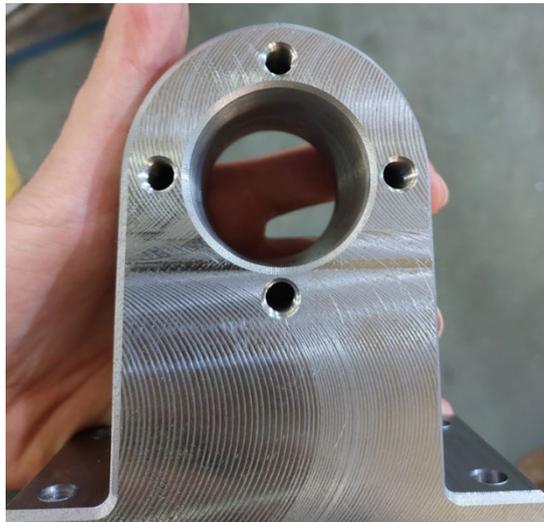


Figure 3-11: palier porte-outil

PIECE :	GAMME D'USINAGE			
MATIERE : acier				
NOMBRE : 1				
BRUT : 6 m				DATE: 17/10/2023
PHASE	MACHINE	OUTILS	OPERATION	SHEMAS
00	Scie		Sciage	
01	Perceuse	Foret, taraud M6	Perçage Taraudage	
02		Foret, taraud M6	Perçage Taraudage	



Figure 3-12: châssis

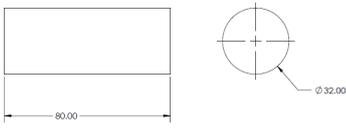
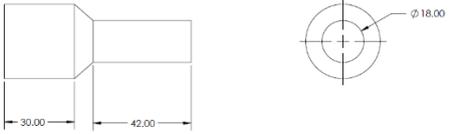
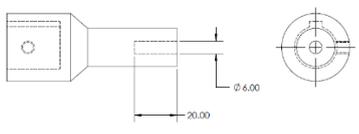
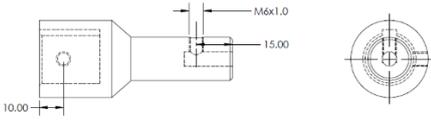
PIECE : épaulement	GAMME D'USINAGE			
MATIERE:14CD4				
NOMBRE:1				
BRUT : 80*35				DATE:10/10/2023
PHASE	MACHINE	OUTILS	OPERATION	SHEMAS
00	Tour	Outil coupeau	Dressage	
01		Outil à charioter coudé	Chariotage Chanfreinage	
02	Fraiseuse :	Fraise à rainurer	Rainurage alésage	
03		Foret, taraud M6	Perçage Taraudage	
04		Foret	Perçage	
05		Foret, taraud M6	Perçage Taraudage	



Figure 3-13: Epaulement

PIECE: plaque arrière	GAMME D'USINAGE			
MATIERE: Aluminium				
NOMBRE:1				
BRUTE:300*200*20				DATE:18/10/2022
PHASE	MACHINE	OUTILS	OPERATION	SHEMAS
00	Scie		Sciage	
01	Fraiseuse	Foret, taraud M6	Perçage Taraudage	



Figure 3-14:plaque arrière

d. La gamme d'assemblage :

i. Préparer des petits sous-assemblage :

Cette étape est essentielle pour organiser le travail

- Monter les roulements des tiges glissières dans ces paliers et les fixer à l'aide des circlips :

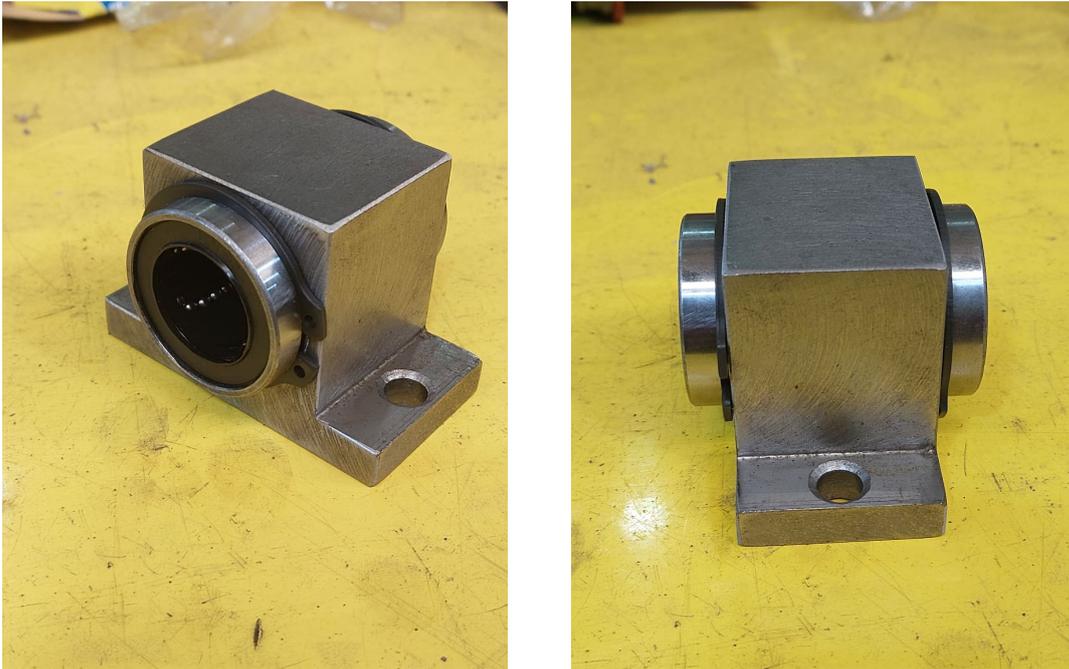


Figure 3-15: le système de glissement des tiges

- Assembler le palier porte outil avec l'arbre, 2 roulements à rouleaux coniques, 2 brides de fixation et fixer avec des vis M8 :



Figure 3-16:l'arbre porte outil

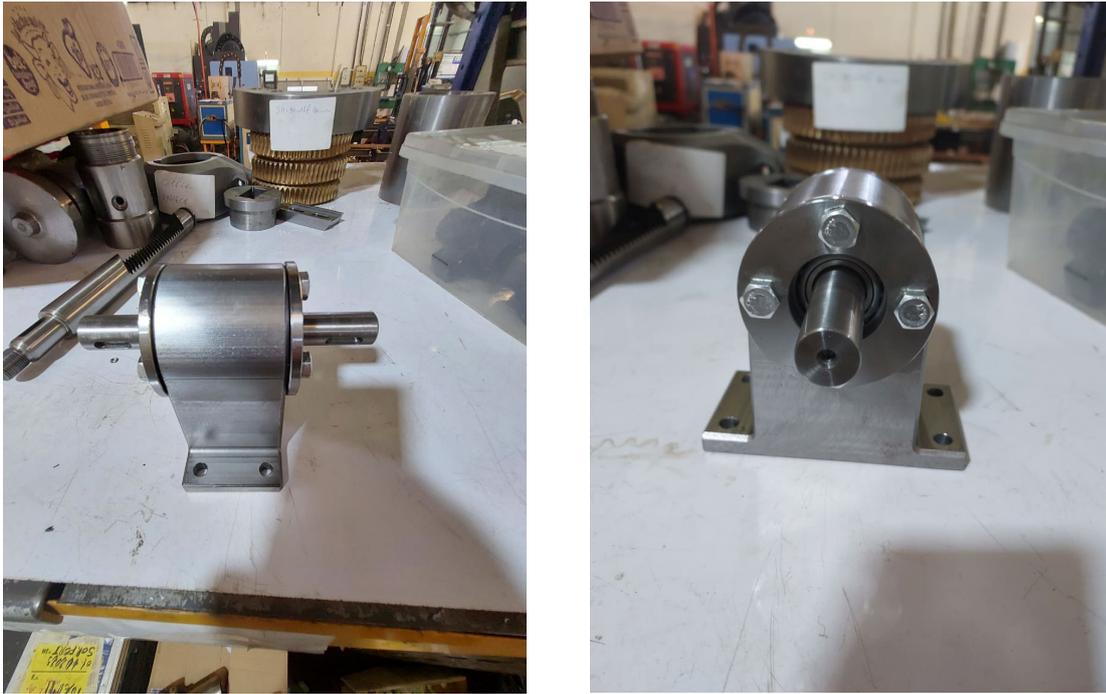


Figure 3-17: assemblage du porte outil

- Assembler le pion avec l'épaulement de l'outil avec des vis de pression M6
- Fixer le système de glissement avec les plaques avec des vis M8.

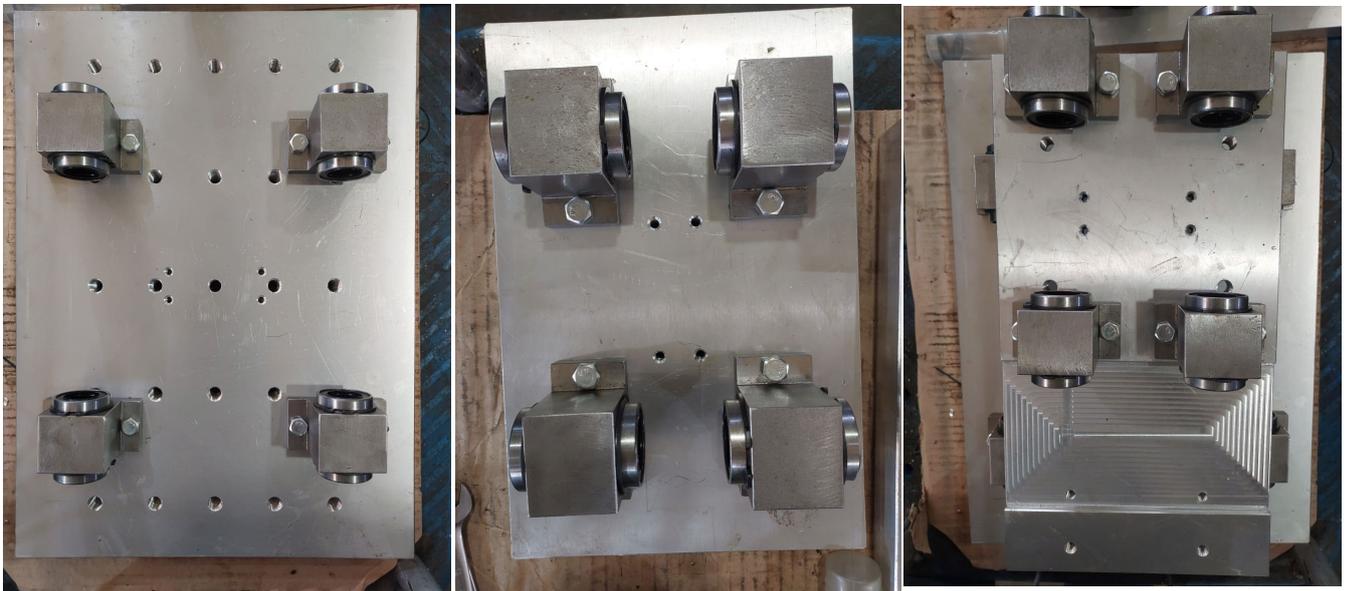


Figure 3-18: les plaques X Y Z

ii. Assemblage du châssis :

- Préparer les cadres et la traverse :



Figure 3-19: les éléments du châssis

- Placer les éléments du châssis sur chariot :



Figure 3-20: les éléments placés

- Assembler le châssis :
- Préparer les pièces qu'on va utiliser :

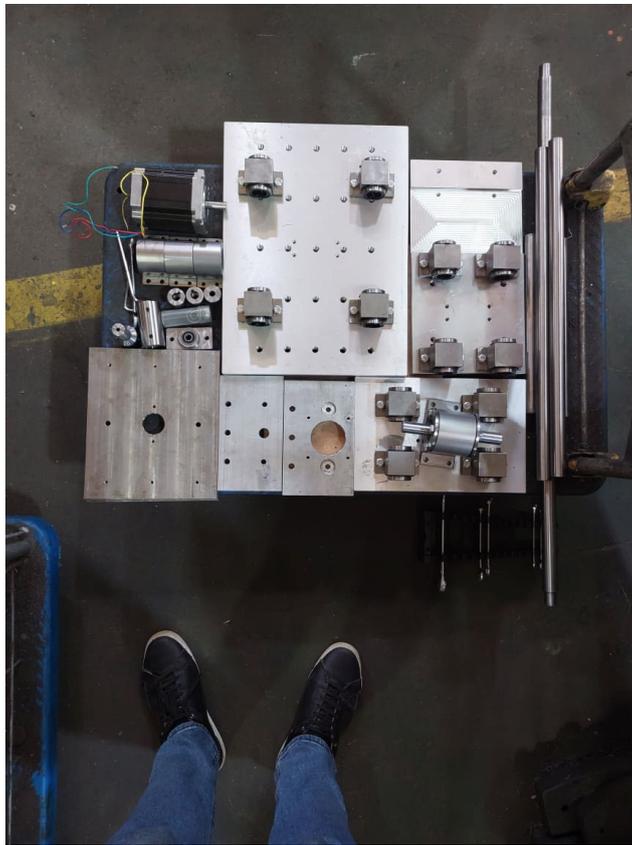


Figure 3-21: préparation des pièces

- Installer l'axe Y sur le châssis :



Figure 3-22: installation de l'axe Y

- Presser les roulements dans les paliers avec une presse hydraulique.



Figure 3-23: Montage du roulement

- Installer l'axe X
- Assembler la vis à bille entre le roulement et l'accouplement :



Figure 3-24: Montage du roulement

- Installer l'axe Z
- Assembler les vis à bille pour l'axe X et Z.
- Fixer les moteurs pas à pas et le moteur asynchrone
- Assembler le porte outil avec l'outil et les fixer sur la plaque avant
- Fixer les accouplements avec les clavettes.



Figure 3-25: assemblage finale

e. Conclusion :

Après avoir achevé l'assemblage de toutes les composantes mécaniques, la machine est prête à passer à la phase de programmation et à l'installation électrique. Cette étape marque une transition majeure vers la mise en service de la machine, où les aspects logiciels et électriques viennent compléter l'ensemble mécanique préalablement construit.

Chapitre 4 : La partie électrique et automatique

5) Chapitre 4 : La partie électrique et automatique

a. Introduction :

Dans ce chapitre on va connaître les éléments électriques de la machine, comment ils fonctionnent, puis on fait l'assemblage du circuit électrique, enfin, on donne la méthode de l'automatisation de la machine.

b. Les éléments électriques :

i. Moteur asynchrone :

Le moteur asynchrone est un moteur électrique à courant alternatif, il se décompose de 2 parties principales le stator et le rotor. Le stator est un enroulement de 3 bobines alimenté à un courant alternatif triphasé, le passage de ce courant dans les bobines est créé par un champ magnétique tournant, et ce champ fait tourner le rotor.

En utilisant le moteur asynchrone dans la machine pour produire le couple et la vitesse de rotation nécessaire pour le soudage par friction et d'après la conception précédente, on a besoin de 1,1kW de puissance et 3000 tr/min de vitesse de rotation. La valeur de puissance est calculé dans le projet de fin d'étude d'année passé en utilisant la relation suivante : [9]

$$P_m = \omega_m a * C_m = \pi N m a C_m / 30$$

$$P_m = \pi * 2000 * 1,243 / 30 = 260,4 \text{ Watt}$$

Eventuellement, la transformation et la transmission de la puissance présentent des pertes qu'on prend en compte dans le calcul de la puissance électrique du moteur.

$$P_e = P_m / (\eta_{palier} * \eta_m)$$

Avec :

- η_{palier} est le rendement mécanique des paliers ($\geq 0,9$).
- η_m est le rendement mécanique du moteur, qu'on prend égal à 0,7 étant donné que les moteurs du constructeur **Electro-Industries** ont des rendements supérieurs à ce dernier.

Donc :

$$P_e = 260,40,9 * 0,7 = 413,3 \text{ Watt}$$



Figure 4-1 le moteur asynchrone ABB 1,1kW de puissance et 3000tr/min de vitesse de rotation

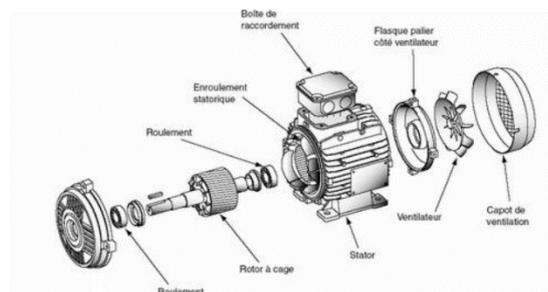


Figure 4-2: la conception du moteur

ii. Moteur pas à pas :

C'est un moteur électrique en courant continu, il a le même principe de fonctionnement du moteur asynchrone mais avec un avantage qui est la précision. Car il peut arrêter de tourner et de changer sa direction dans chaque pas mais il n'a pas de grande vitesse de rotation et de grand couple. C'est pour cela qu'on utilise ce type de moteur dans les axes de translation. [12]

On va utiliser pour cette machine un moteur pas à pas le type Nema 34 parce qu'il nous donne un couple suffisant pour l'avancement de l'outil **8 N.m** parce que le couple minimal est calculé de cette relation : [9]

$$C_{stp} = F_a P_h s / (2000 \pi \eta m)$$

Où :

- C_{stp} est le couple du moteur pas-à-pas [Nm].
- F_a est l'effort axial maximal [N].
- P_h est le pas de la vis [mm]

L'application numérique :

$$C_{stp} = 1000 * 5 * 2 / (2000 \pi * 0,9) = 1,77 \text{ N.m.}$$

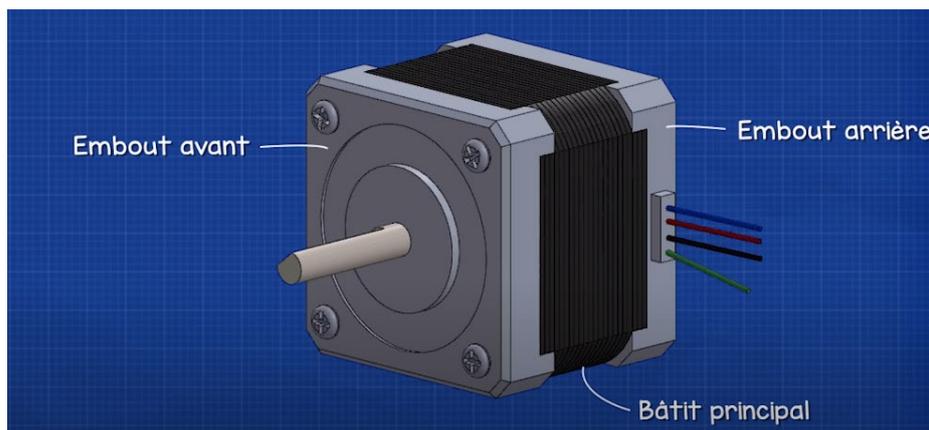


Figure 4-3: dessin d'un moteur pas à pas

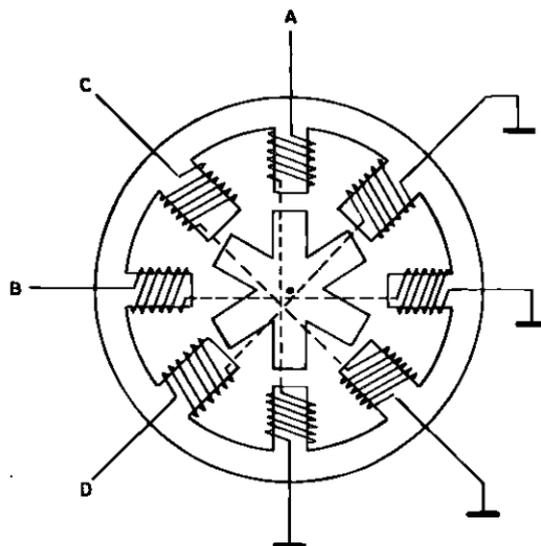


Figure 4-4: la partie transversale du moteur pas à pas [12]

iii. *Driver* :

Le pilote moteur est le dispositif responsable à faire tourner le moteur pas à pas. Il va convertir les ordres de rotation provenant de l'Arduino en impulsions électriques assez puissantes pour faire tourner le moteur.



Figure 4-5: 2Ftb6560-3a-driver-moteur-pas-a-pas-

iv. *Alimentation* :

L'Alimentation est la source d'énergie qui permet aux autres dispositifs de fonctionner.

v. *L'Arduino* :

C'est une carte électronique utilisée pour contrôler la manière de rotation du moteur à l'aide d'un programme.

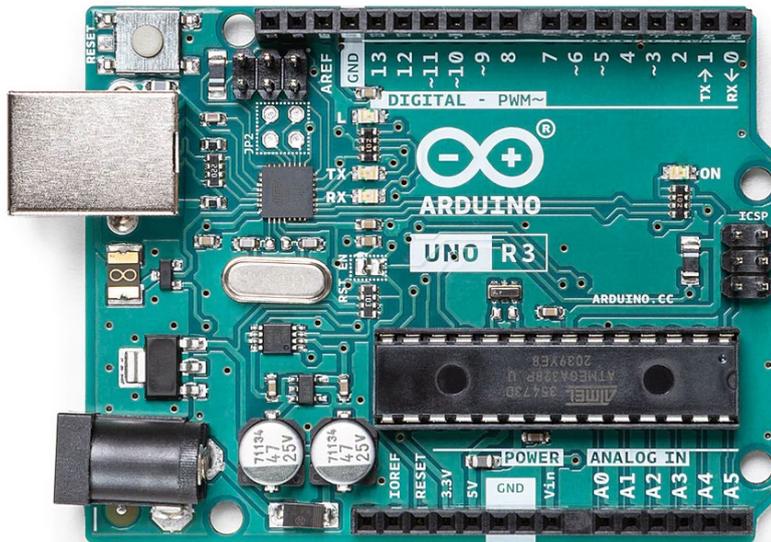


Figure 4-6: Arduino UNO

c. **Le couplage du moteur asynchrone :**

Le moteur a 3 branches (U ; V ; W) de phase et une branche de terre

Il existe 2 types de couplage dont dépend de la tension :

- Le couplage étoile.

Dans ce cas, les enroulements reçoivent une tension réduite (divisé par la racine carrée de 3). Il s'utilise donc si la tension du réseau d'alimentation est égale à la tension du moteur. Si le moteur affiche une tension nominale 230/400 V et que celle de l'alimentation est 230/400 V. [13]

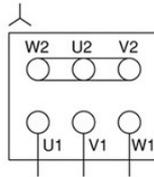


Figure 4-7: schéma du couplage en étoile des moteurs triphasés [13]

- Le couplage triangle.

Chaque enroulement reçoit la tension appliquée, on l'utilise donc si la plus grande tension du réseau est égale à la plus petite tension motrice. Ex : un moteur affichant une tension nominale de 230V/400V sur un réseau dont la tension serait de 127/230V [13]

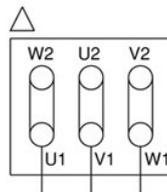


Figure 4-8 : schéma du couplage en triangle des moteurs triphasés [13]

d. Le pilotage des moteurs pas à pas :

Pour le pilotage des moteurs pas à pas en va d'abord programmer l'Arduino. Et pour faire ça on suit les étapes suivantes :

i. Installation du logiciel : Arduino IDE

Ce logiciel présente l'environnement de développement qui va permettre de programmer la carte Arduino. Il est basé sur le langage C. Pour l'installer on doit juste le télécharger dans le site officiel d'Arduino puis l'installer. Après ça, on va connecter la carte avec l'ordinateur.

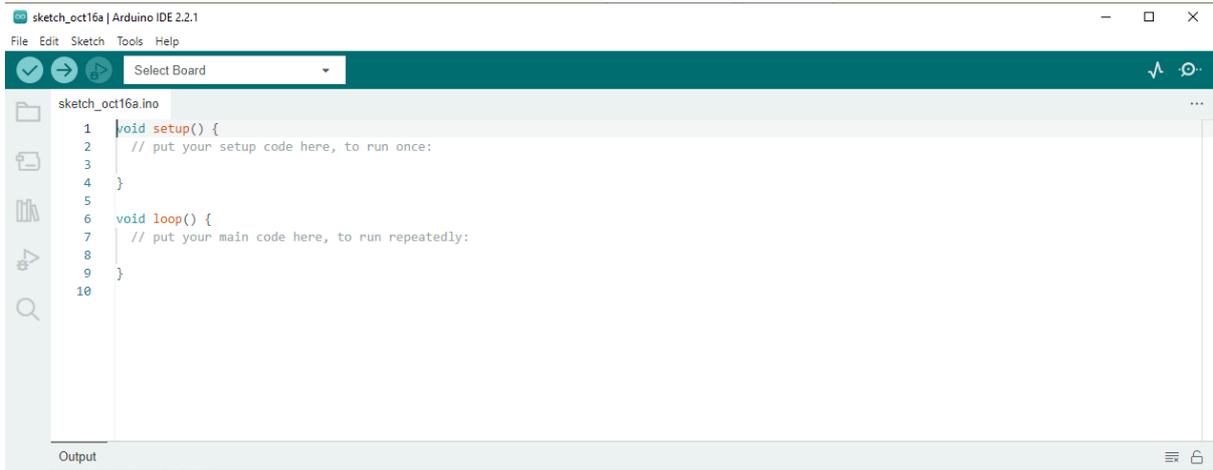


Figure 4-9: l'affichage du logiciel Arduino IDE

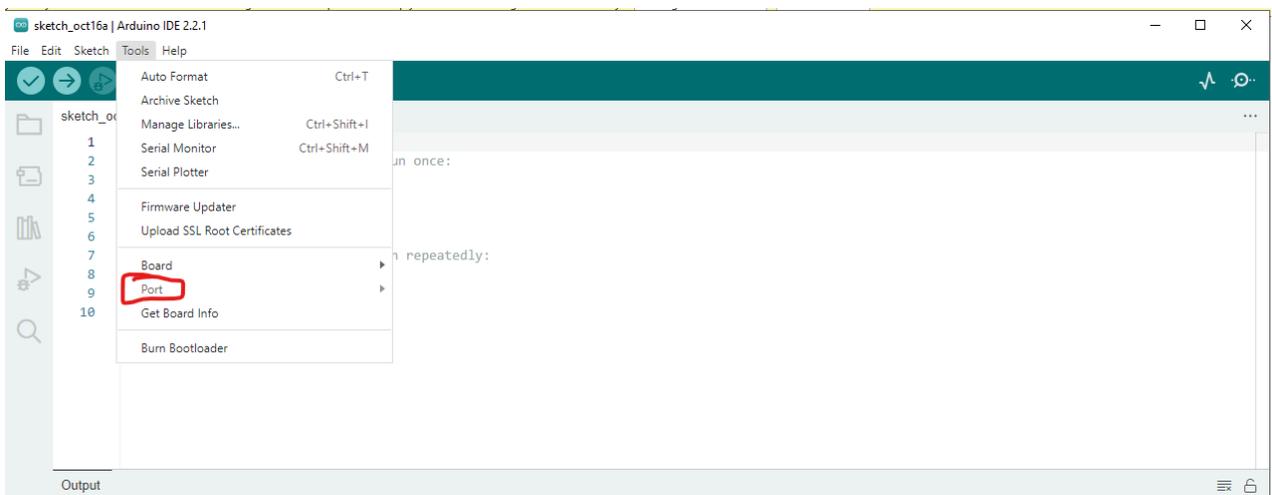


Figure 4-10: le lieu de la connexion de la carte

ii. Utilisons du programme GRBL CNC :

C'est le programme le plus utilisé dans les machines à commande numérique, c'est un programme d'une source ouverte. Il nous permet de contrôler la machine en utilisant le code G.

Pour l'installer on va le télécharger de ce site :

<https://github.com/gnea/grbl/releases>

- Décompresser de fichier RAR télécharger.

build	8/26/2019 2:13 AM	File folder	
doc	8/26/2019 2:13 AM	File folder	
grbl	10/16/2023 4:42 AM	File folder	
.gitignore	8/26/2019 2:13 AM	GITIGNORE File	1 KB
COPYING	8/26/2019 2:13 AM	File	35 KB
Makefile	8/26/2019 2:13 AM	File	4 KB
README.md	8/26/2019 2:13 AM	MD File	8 KB

Figure 4-11: la liste des fichiers après la décompression

- Inclure la bibliothèque GRBL dans l'Arduino IDE :

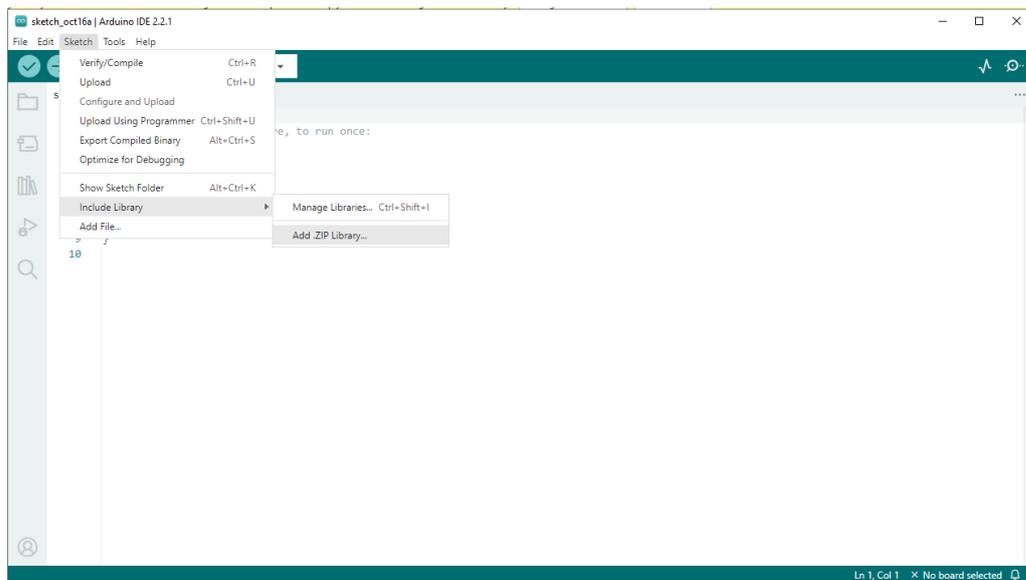


Figure 4-12: méthode d'inclure le GRBL bibliothèque

- Transmettre le code GRBL sur l'Arduino.

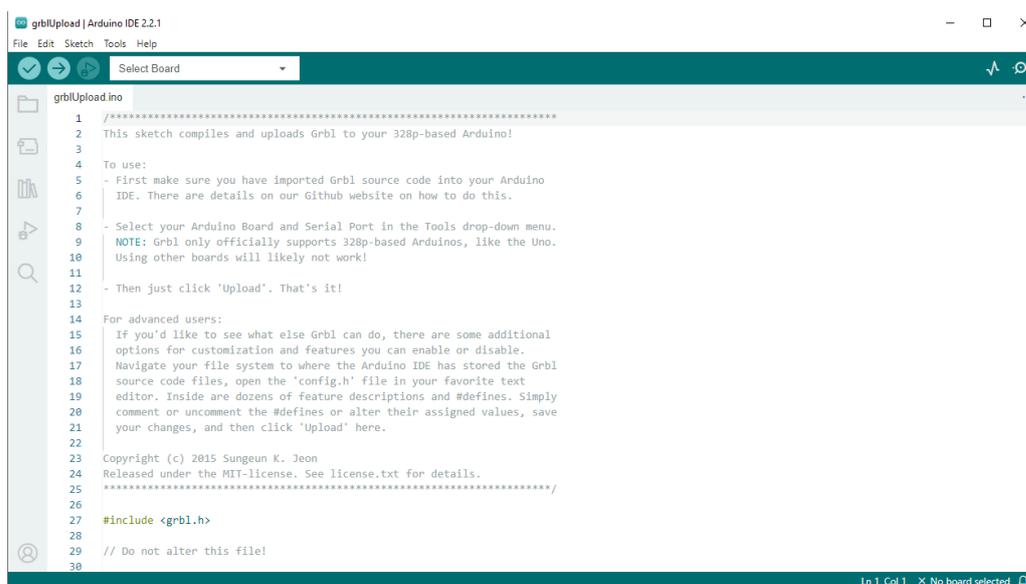


Figure 4-13: l'affichage de logicielle Arduino IDE après la programmation

iii. Installation de CNC GS :

Après le téléversement la carte est programmée sauf qu'on a aucun moyen de vérifier ça, donc on va utiliser le 3^{ème} programme qui est : CNC JS.

Le CNC JS est un logiciel qui nous permet de piloter les moteurs pas à pas et de régler ces paramètres.

Pour l'utiliser on va télécharger ce logiciel et l'installer.

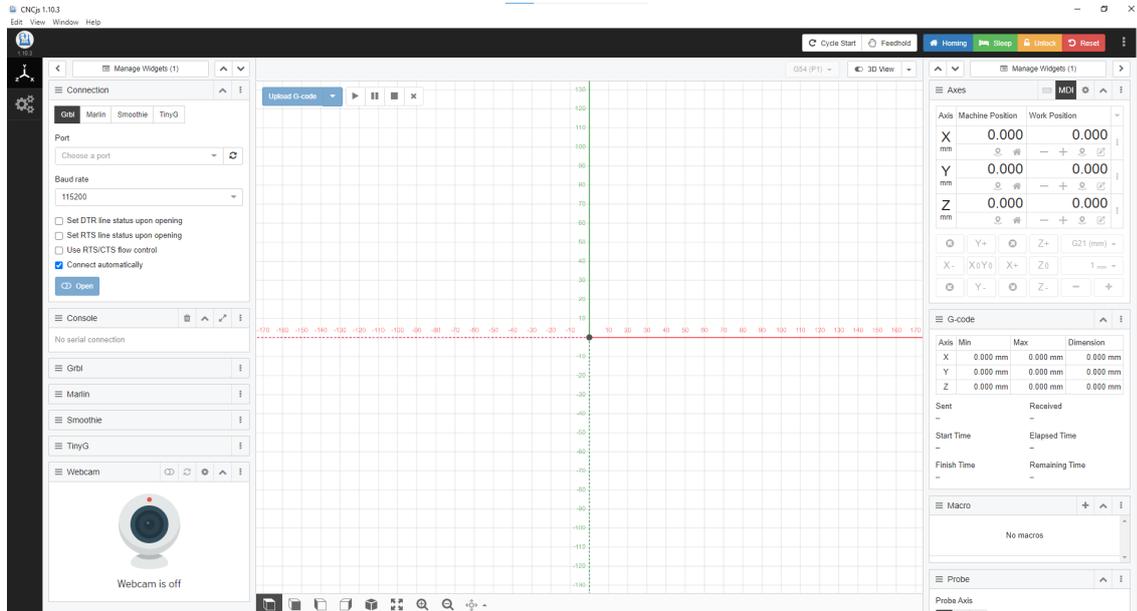


Figure 4-14: l'interphase de CNC JS

- Sélectionner la carte Arduino
- Cliquer ouvrir
- Vérifier les paramètres affichés dans la console

e. Le circuit électrique :

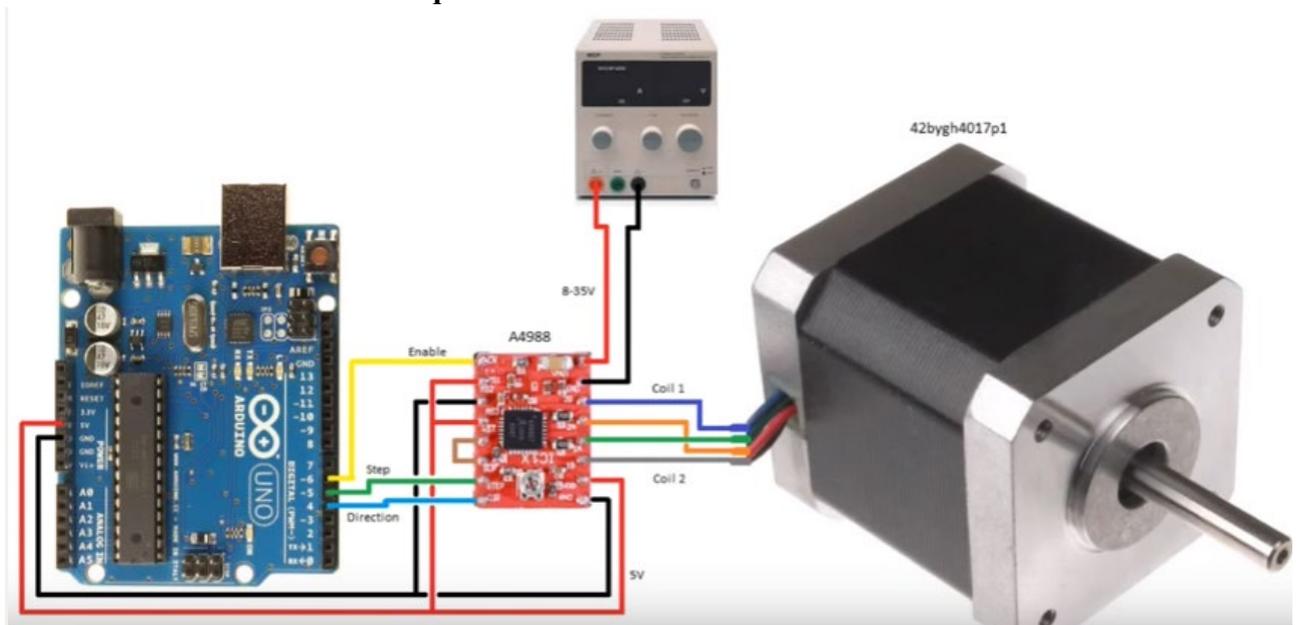


Figure 4-15: le circuit électrique du moteur pas à pas, le driver et l'Arduino [14]

f. Conclusion :

Après l'automatisation de la machine on peut la contrôler en utilisant ordinateur et pour l'utiliser on va faire un manuel TP qui est le dernier chapitre.

6) CONCLUSION GENERALE :

La réalisation de ce projet de conception et de construction d'une soudeuse par friction malaxage représente une étape significative dans la quête de l'innovation et de l'amélioration des techniques de soudage dans l'industrie. À travers l'exploration de l'étude bibliographique sur le soudage par friction malaxage, la vérification et la correction de la conception, l'usinage et l'assemblage, la partie électrique et automatique, ainsi que le manuel de TP, nous avons accompli un parcours complexe et exigeant.

La compréhension approfondie des bases théoriques du FSW, ainsi que la recherche sur les dernières avancées dans ce domaine, nous ont permis de fonder notre projet sur des principes solides. La phase de vérification et de correction de la conception a permis de s'assurer que notre soudeuse est à la hauteur des normes de qualité et de sécurité requises. L'usinage et l'assemblage ont représenté des étapes pratiques essentielles, transformant notre concept en une réalité fonctionnelle.

La partie électrique et automatique a apporté une dimension de contrôle et de précision à notre soudeuse, la rendant adaptée à une utilisation industrielle. Enfin, le manuel TP offre un guide complet pour l'utilisation de l'équipement, garantissant sa maintenance préventive et sa gestion efficace.

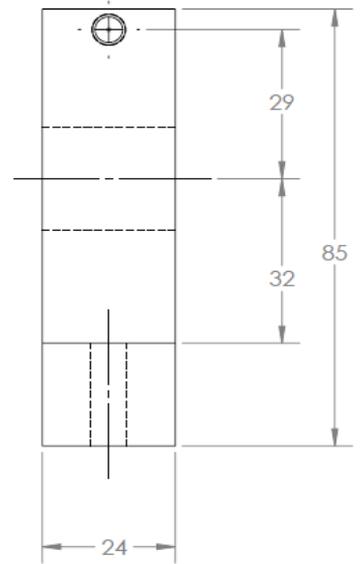
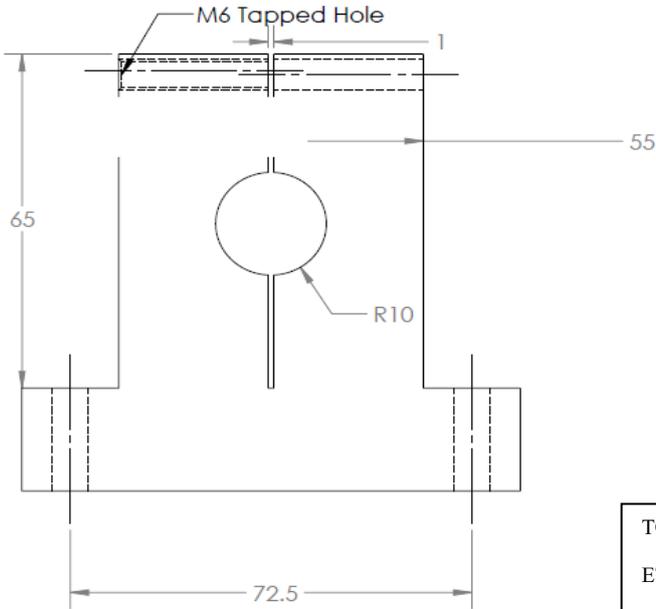
Ce projet n'est pas seulement la construction d'une soudeuse par friction malaxage, mais aussi une contribution à l'avancement de cette technologie de soudage avancée. Il offre une plateforme pour l'apprentissage, la formation, et la recherche continue dans le domaine du FSW. Il ouvre également des perspectives passionnantes pour son application future dans divers secteurs industriels.

En conclusion, ce projet incarne un engagement envers l'innovation et la qualité dans le domaine de la soudure par friction malaxage. Il symbolise le potentiel de la technologie pour améliorer l'efficacité, la durabilité et la qualité des assemblages métalliques. Tout en marquant la fin de cette phase du projet, il représente aussi un nouveau départ, où les connaissances acquises et les réalisations accomplies continueront à influencer positivement l'industrie et à stimuler des développements futurs passionnants dans le domaine du FSW.

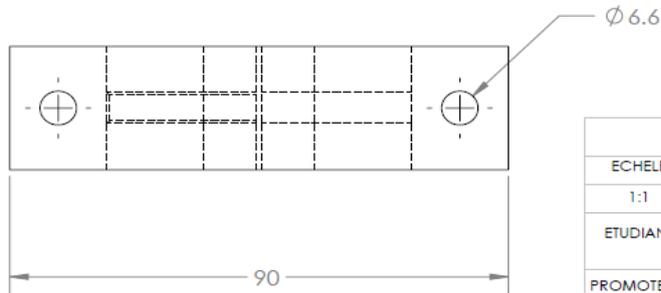
7) Références

- [1] G. E. Anne-Catherine Hauglustaine, Les techniques de soudage électrique dans les industries de l'armement, 1914-1939, Bulletin d'histoire de l'électricité..
- [2] R. F..... Réalisation d'une machine de soudage par friction malaxage.PFE. Université de Biskra, 2020.
- [3] Maurice Duval.SOUDAGE DE L'ALUMINIUM PAR FRICTION MALAXAGE (FSW).
- [4] «FSW et innovation,» [En ligne]. Available: <https://www.tra-c.com/fr/fsw-et-innovation/technologie-fsw/>.
- [5] d. i. K. Faes, «Soudage par friction-malaxage,» [En ligne]. Available: <https://bil-ibs.be/fr/publicatie/soudage-par-friction-malaxage>.
- [6] W. d. s. J. W. W. Burek r, The effect of tool wear on the quality of lap joints between 7075 T6 aluminum alloysheet metal created with the FSW method, eksploatacja i Niezawodnosc: Maintenance and reliability, 2018, p. 100–106.
- [7] Y. a. K. N. Chen, Effect of the surface state of steel on the microstructure and mechanical properties of dissimilar metal lap joints of aluminum and steel by friction stir welding, Metallurgical and materials transactions A, 2008, pp. 1985-1992.
- [8] «4 éléments essentiels pour une soudure FSW de très haute qualité,» stirweld, [En ligne]. Available: <https://stirweld.com/4-elements-pour-une-soudure-fsw-de-tres-haute-qualite/>.
- [9] S. KEDDOUS.Mustapha, «Conception et dimensionnement d'une machine de soudage. PFE, Ecole nationale de polytechnique, Alger, 2022.
- [10] tecnonum, [En ligne]. Available: <https://technonum.com/>.
- [11] ASM Handbook volume 1: proprietes and selection:iron,steels,und high-performance aloys, ASM international, 1990, p. 1063.
- [12] «moteur asynchone,» [En ligne]. Available: <https://energieplus-lesite.be/techniques/ascenseurs7/moteur-asynchrone/>.
- [13] «MOTEURS _ÉLECTRIQUES_ & _ACCESSOIRES,» [En ligne]. Available: <https://www.motac.fr/blog/2018/05/14/le-couplage-des-moteurs-asynchrones-etoile-ou-triangle>.
- [14] institut_d'automatisation_industrielle, système électromécanique,chapitre7,les moteurs pas à pas.

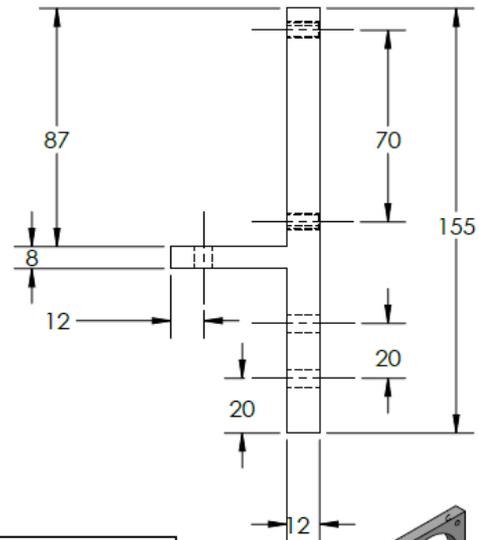
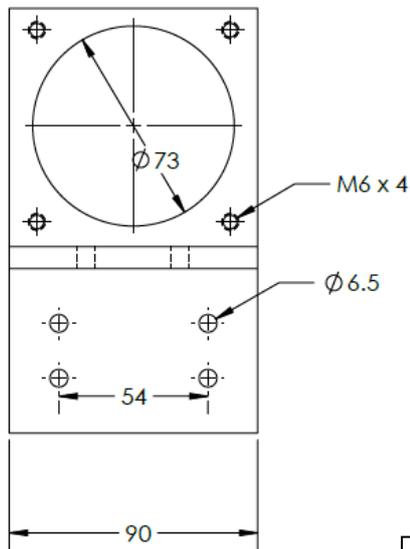
ANNEXE



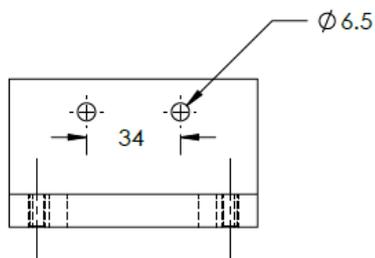
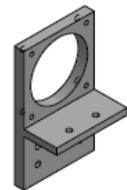
TOLERANCE : ± 0.1
 ETAT DE SURFACE : Ra 6.3



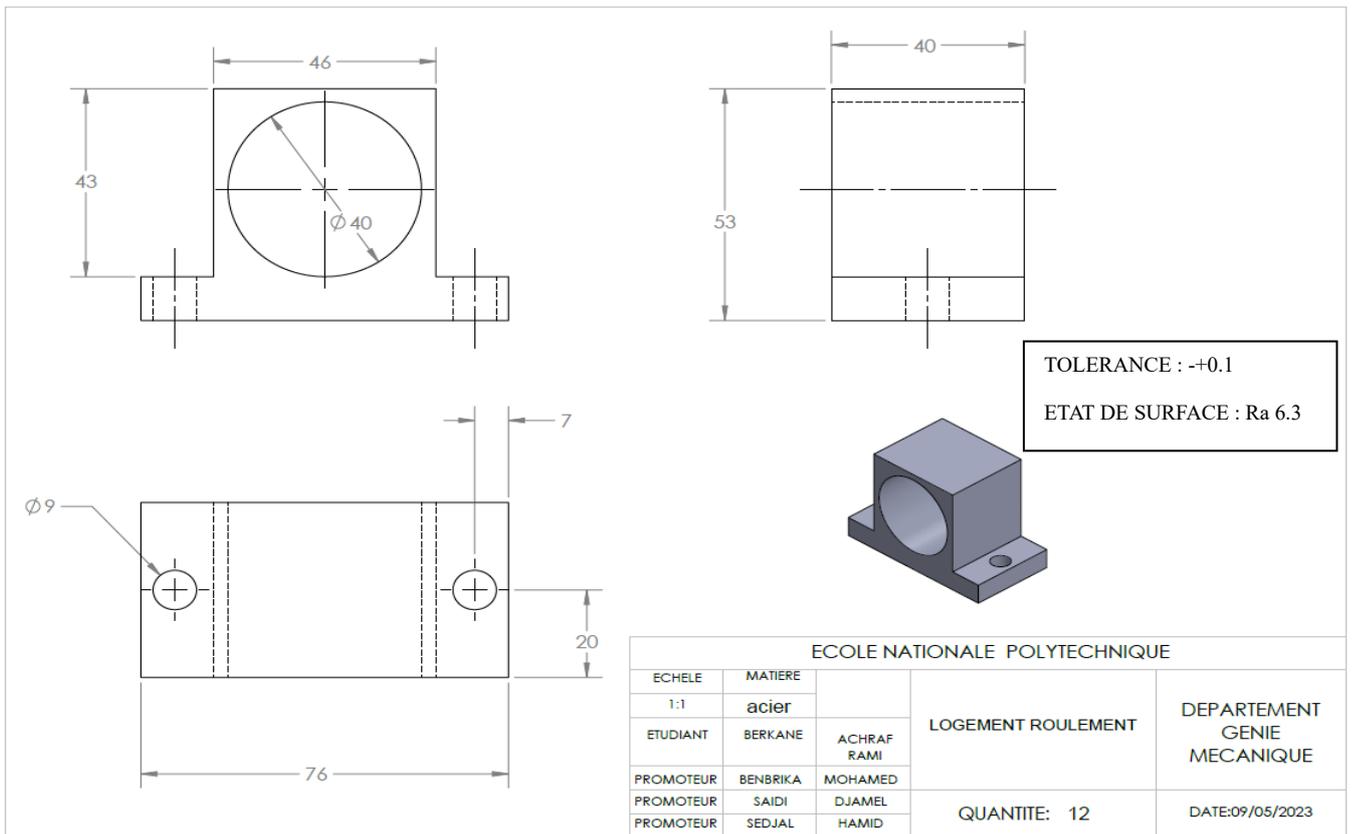
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
ECHÉLE	MATIERE		SUPPORT TIGES	DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE
1:1	ACIER			
ETUDIANT	BERKANE	ACHRAF RAMI	QUANTITE: 4	DATE:09/05/2023
PROMOTEUR	BENBRIKA	MOHAMED		
PROMOTEUR	SAIDI	DJAMEL		
PROMOTEUR	SEDJAL	HAMID		

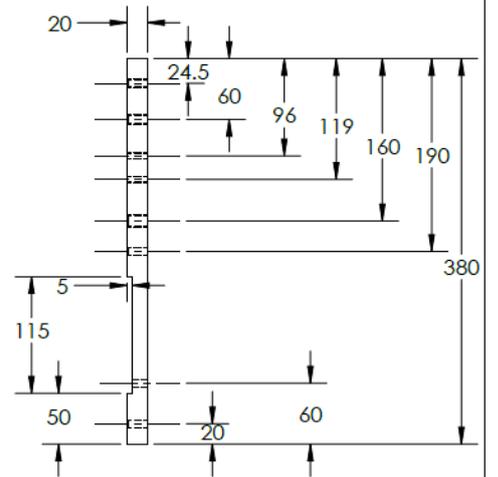
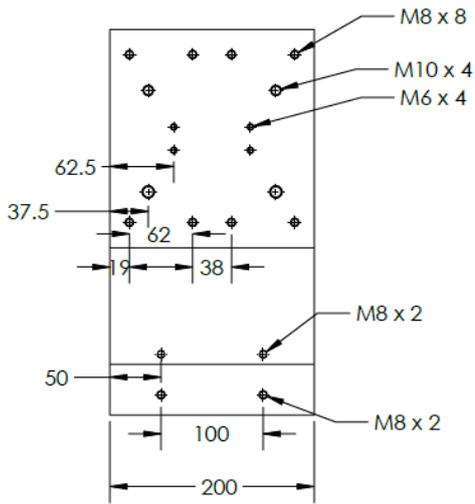


TOLERANCE : ± 0.1
 ETAT DE SURFACE : Ra 6.3



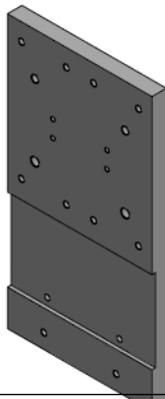
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
ECHÉLE	MATIERE		BRIDE MOTEUR X	DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE
1:1	ACIER			
ETUDIANT	BERKANE	ACHRAF RAMI	QUANTITE: 1	DATE:09/05/2023
PROMOTEUR	BENBRIKA	MOHAMED		
PROMOTEUR	SAIDI	DJAMEL		
PROMOTEUR	SEDJAL	HAMID		



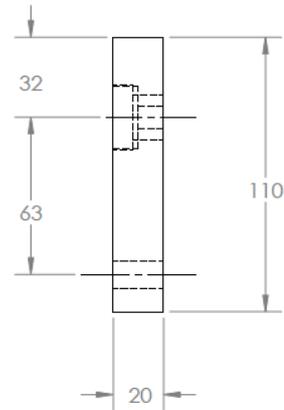
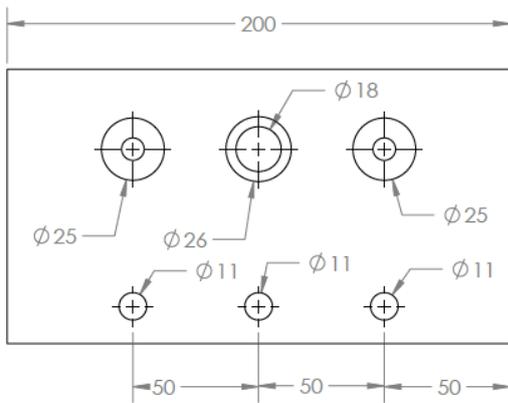


TOLERANCE : $-+0.1$

ETAT DE SURFACE : Ra 6.3

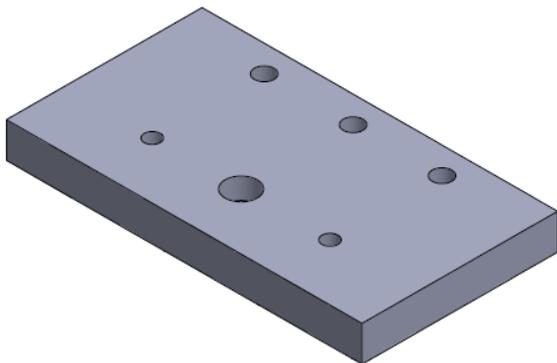


ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
ECHÉLE	MATIERE		PLAQUE ARIERE	DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE
1:1	ACIER			
ETUDIANT	BERKANE	ACHRAF RAMI	QUANTITE: 1	DATE:09/05/2023
PROMOTEUR	BENBRIKA	MOHAMED		
PROMOTEUR	SAIDI	DJAMEL		
PROMOTEUR	SEDJAL	HAMID		

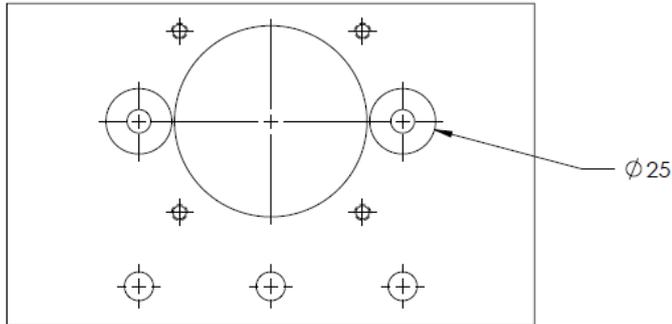
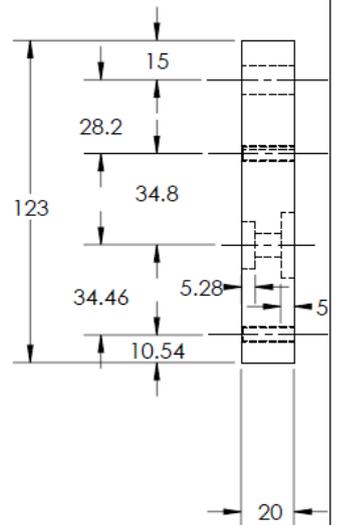
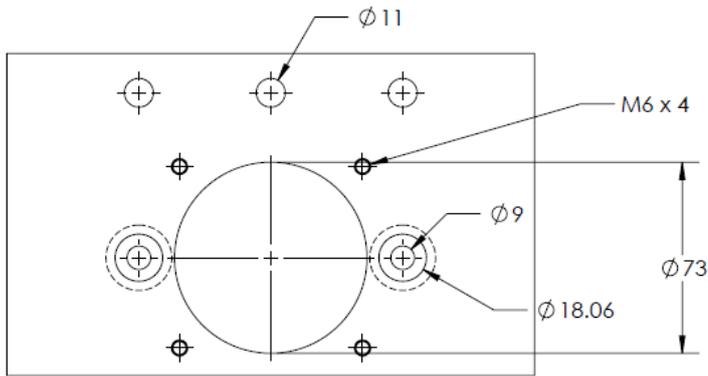


TOLERANCE : $-+0.1$

ETAT DE SURFACE : Ra 6.3

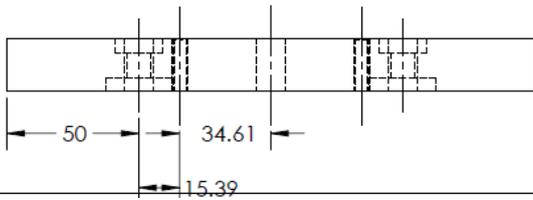


ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
ECHÉLE	MATIERE		PLAQUE BAS	DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE
1:1	ALUMINIUM			
ETUDIANT	BERKANE	ACHRAF RAMI	QUANTITE: 1	DATE:09/05/2023
PROMOTEUR	BENBRIKA	MOHAMED		
PROMOTEUR	SAIDI	DJAMEL		
PROMOTEUR	SEDJAL	HAMID		



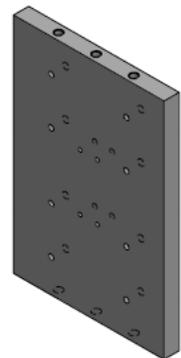
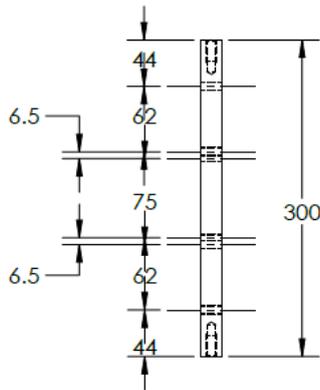
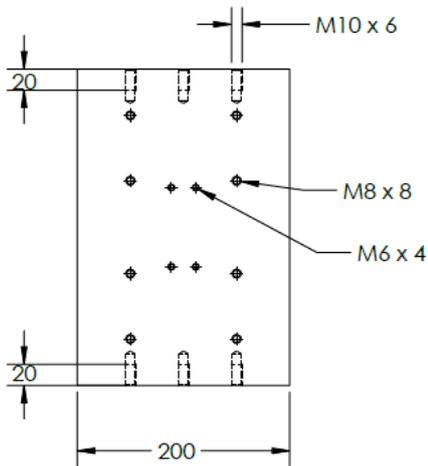
TOLERANCE : ± 0.1

ETAT DE SURFACE : Ra 6.3



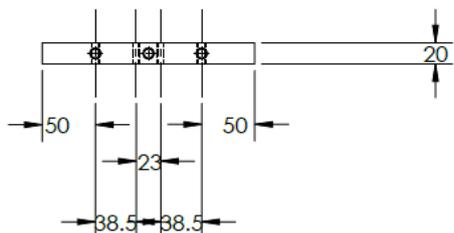
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

ECHÉLE	MATIÈRE			DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE
1:1				
ETUDIANT	BERKANE	ACHRAF RAMI		
PROMOTEUR	BENBRIKA	MOHAMED		
PROMOTEUR	SAIDI	DJAMEL	QUANTITE:	DATE:09/05/2023
PROMOTEUR	SEDJAL	HAMID		



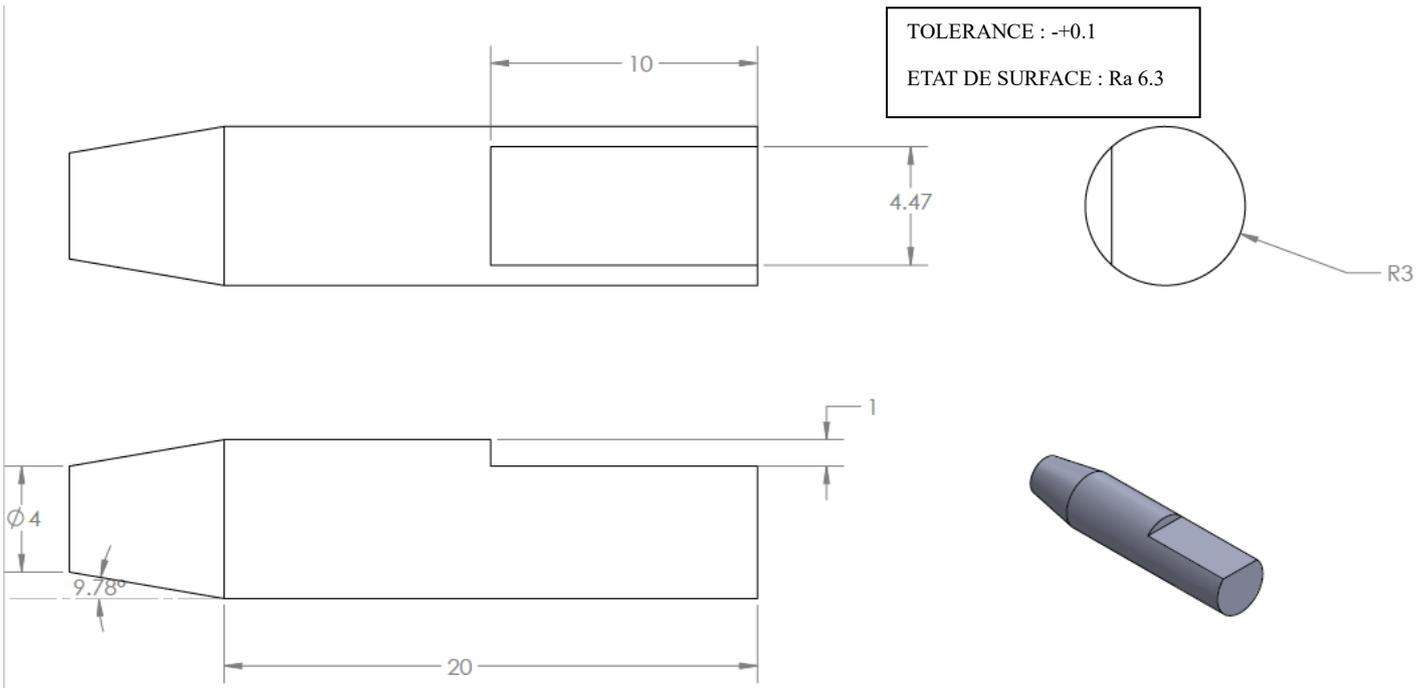
TOLERANCE : ± 0.1

ETAT DE SURFACE : Ra 6.3



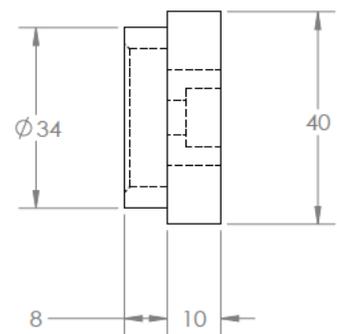
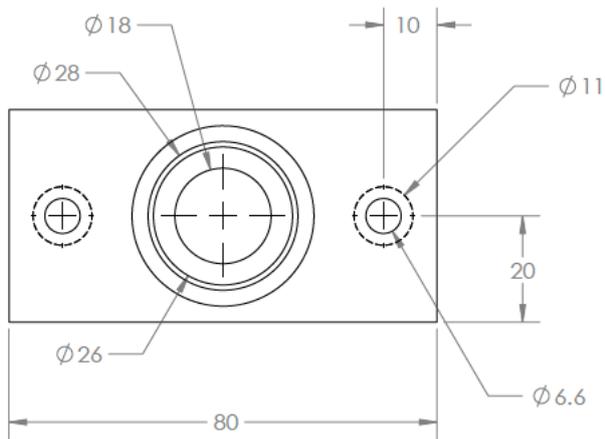
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

ECHÉLE	MATIÈRE			DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE
1:1				
ETUDIANT	BERKANE	ACHRAF RAMI		
PROMOTEUR	BENBRIKA	MOHAMED		
PROMOTEUR	SAIDI	DJAMEL	QUANTITE:	DATE:09/05/2023
PROMOTEUR	SEDJAL	HAMID		

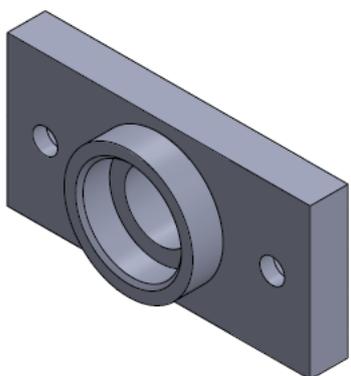


TOLERANCE : ± 0.1
 ETAT DE SURFACE : Ra 6.3

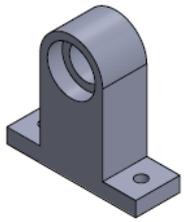
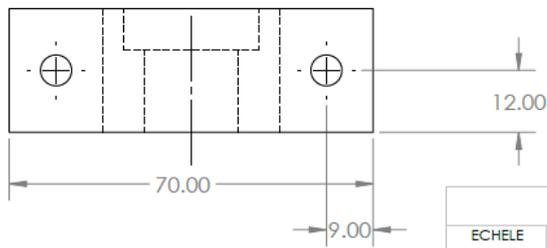
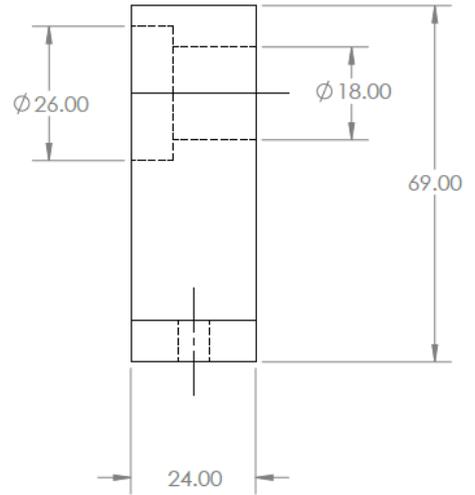
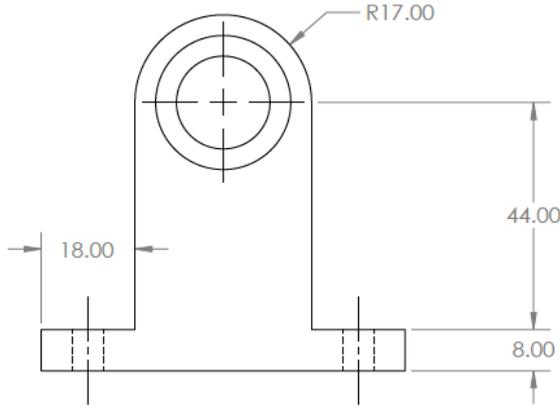
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
ECHÉLE	MATIERE		PION	DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE
1:1	CARBURE			
ETUDIANT	BERKANE	ACHRAF RAMI	QUANTITE: 1	DATE:09/05/2023
PROMOTEUR	BENBRIKA	MOHAMED		
PROMOTEUR	SAIDI	DJAMEL		
PROMOTEUR	SEDJAL	HAMID		



TOLERANCE : ± 0.1
 ETAT DE SURFACE : Ra 6.3

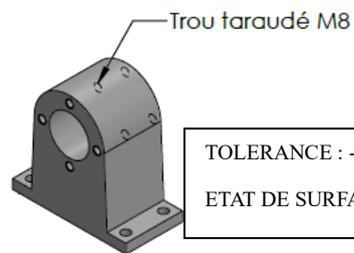
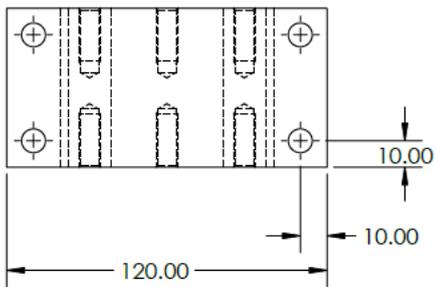
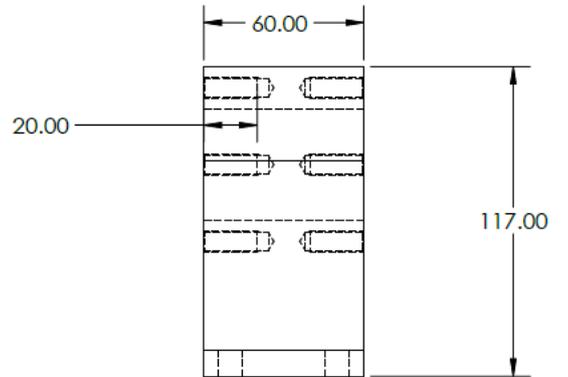
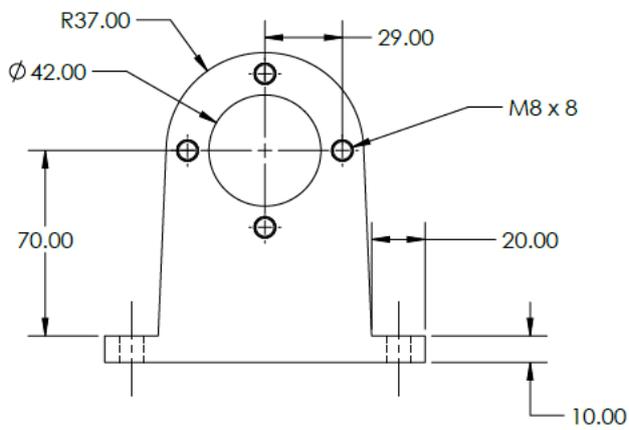


ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
ECHÉLE	MATIERE		PALIER Y	DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE
1:1	ACIER			
ETUDIANT	BERKANE	ACHRAF RAMI	QUANTITE: 1	DATE:09/05/2023
PROMOTEUR	BENBRIKA	MOHAMED		
PROMOTEUR	SAIDI	DJAMEL		
PROMOTEUR	SEDJAL	HAMID		



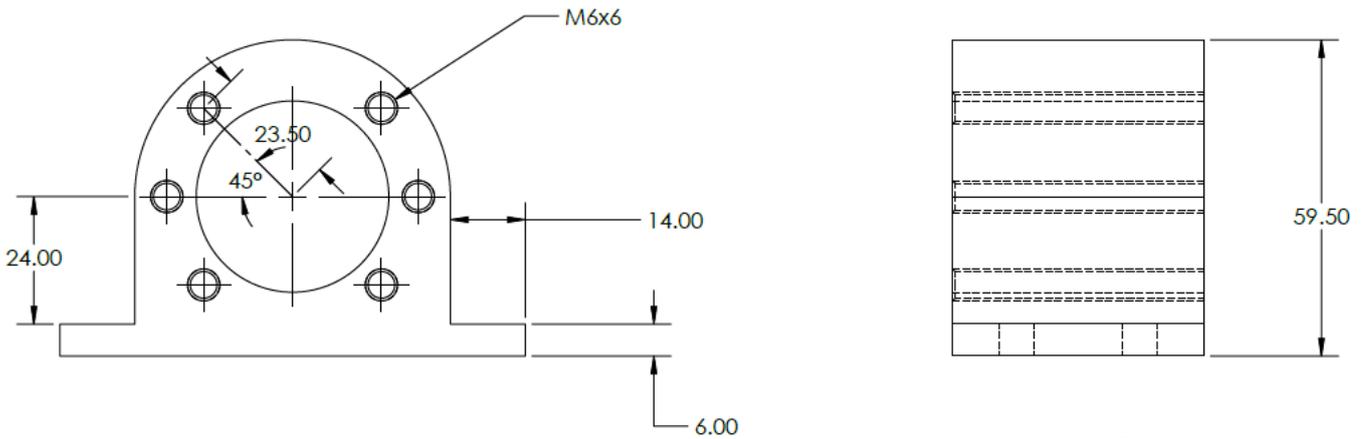
TOLERANCE : ± 0.1
 ETAT DE SURFACE : Ra 3.6

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
ECHÉLE	MATIERE			
1:1	ACIER			
ETUDIANT	BERKANE	ACHRAF RAMI	PALIER X	DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE
PROMOTEUR	BENRIKA	MOHAMED		
PROMOTEUR	SAIDI	DJAMEL	QUANTITE: 1	DATE:09/05/2023
PROMOTEUR	SEDJAL	HAMID		

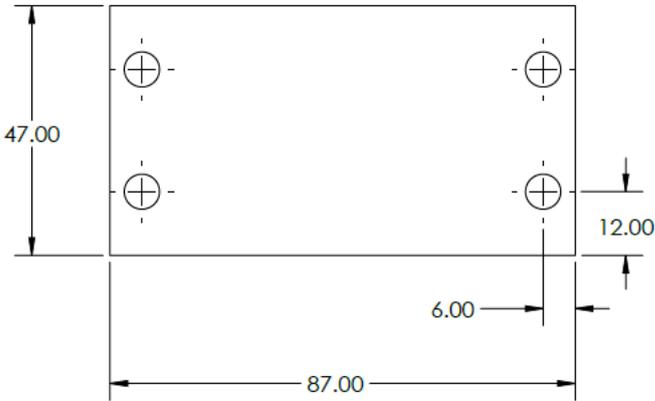
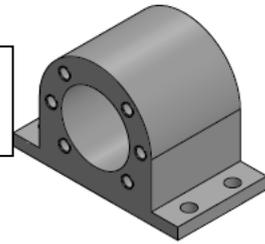


TOLERANCE : ± 0.1
 ETAT DE SURFACE : Ra 3.6

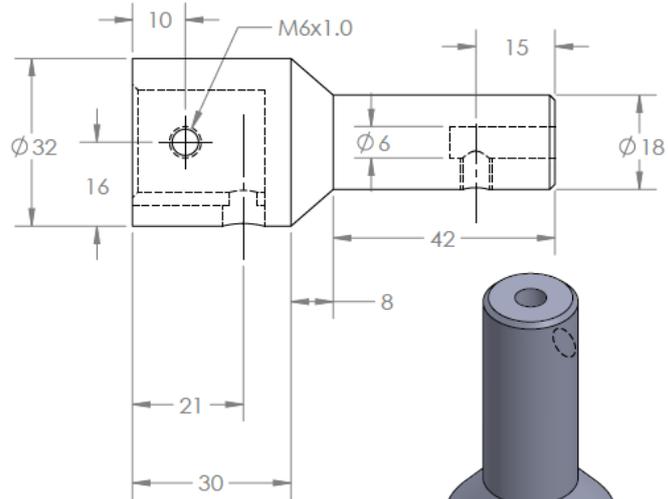
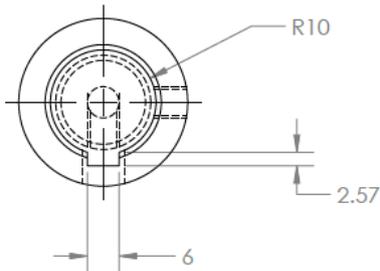
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
ECHÉLE	MATIERE			
1:1				
ETUDIANT	BERKANE	ACHRAF RAMI		DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE
PROMOTEUR	BENRIKA	MOHAMED		
PROMOTEUR	SAIDI	DJAMEL	QUANTITE:	DATE:09/05/2023
PROMOTEUR	SEDJAL	HAMID		



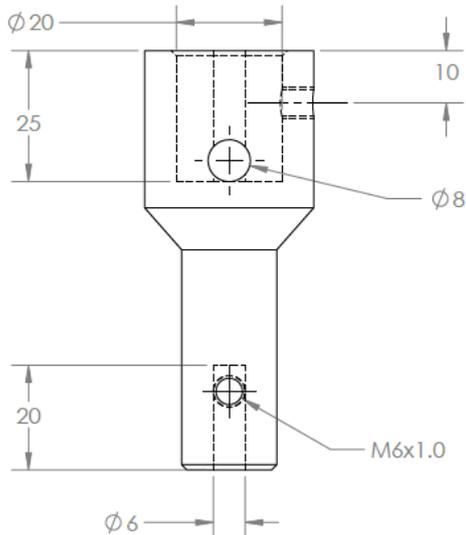
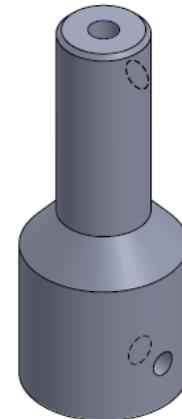
TOLERANCE : ± 0.1
 ETAT DE SURFACE : Ra 6.3



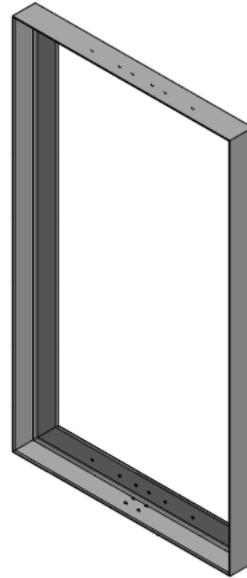
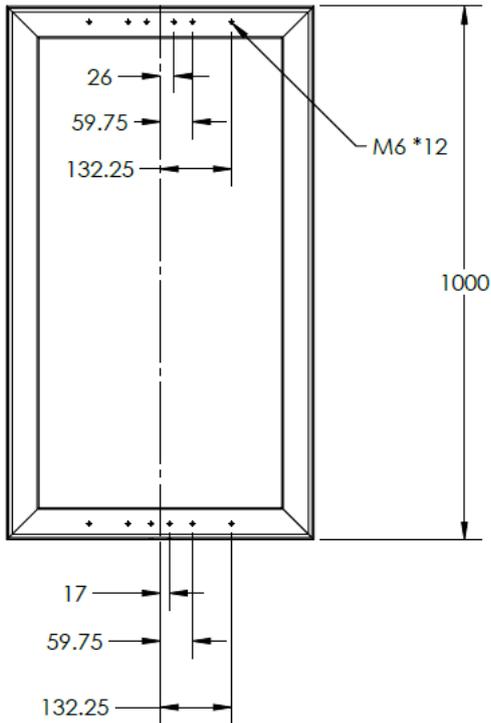
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
ECHÉLE	MATIÈRE			DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE
1:1				
ETUDIANT	BERKANE	ACHRAF RAMI		
PROMOTEUR	BENBRIKA	MOHAMED		
PROMOTEUR	SAIDI	DJAMEL		
PROMOTEUR	SEDJAL	HAMID	QUANTITE:	DATE:09/05/2023



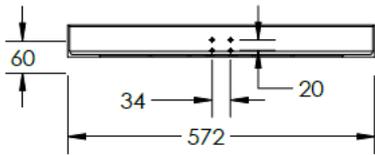
TOLERANCE : ± 0.1
 ETAT DE SURFACE : Ra 3.6



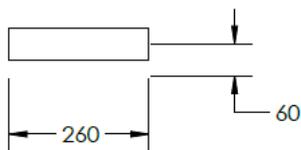
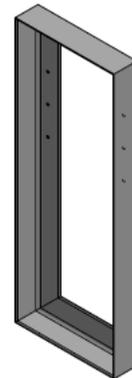
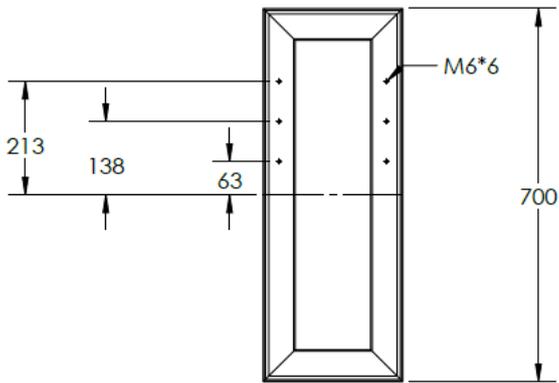
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
ECHÉLE	MATIÈRE			DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE
1:1	42cd4			
ETUDIANT	BERKANE	ACHRAF RAMI	EPOLEMENT	
PROMOTEUR	BENBRIKA	MOHAMED		
PROMOTEUR	SAIDI	DJAMEL		
PROMOTEUR	SEDJAL	HAMID	QUANTITE: 1	DATE:09/05/2023



TOLERANCE : ± 0.1
 ETAT DE SURFACE : Ra 3.6

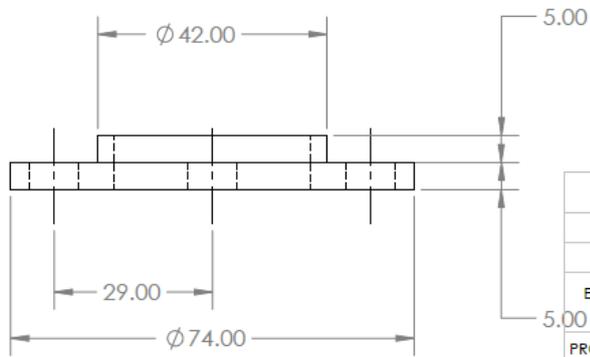
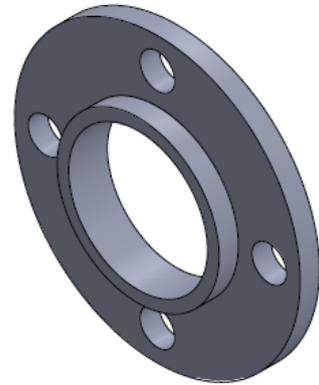
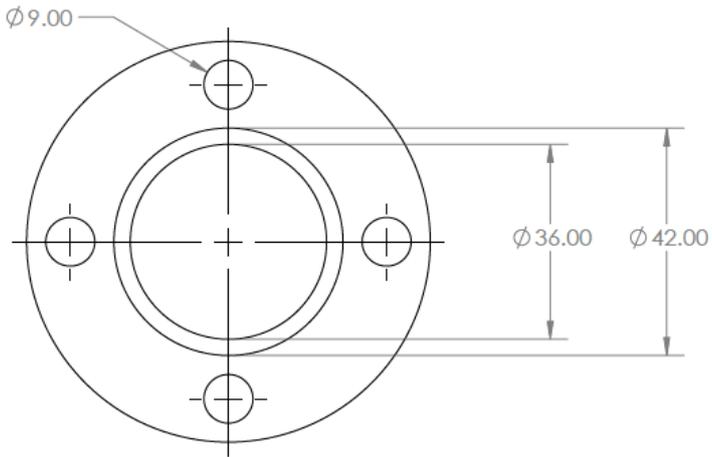


ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
ECHÉLÉ	MATIERE			DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE
1:1				
ETUDIANT	BERKANE	ACHRAF RAMI		
PROMOTEUR	BENBRIKA	MOHAMED	QUANTITE:	DATE:09/05/2023
PROMOTEUR	SAIDI	DJAMEL		
PROMOTEUR	SEDJAL	HAMID		



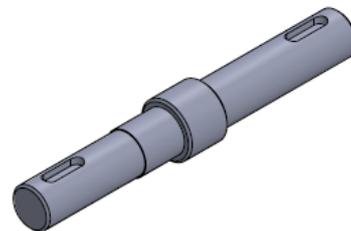
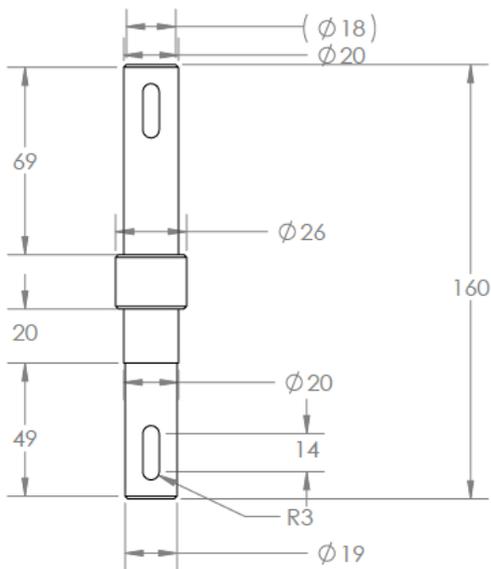
TOLERANCE : ± 0.1
 ETAT DE SURFACE : Ra 3.6

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
ECHÉLÉ	MATIERE			DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE
1:1				
ETUDIANT	BERKANE	ACHRAF RAMI		
PROMOTEUR	BENBRIKA	MOHAMED	QUANTITE:	DATE:09/05/2023
PROMOTEUR	SAIDI	DJAMEL		
PROMOTEUR	SEDJAL	HAMID		

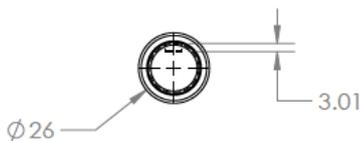


TOLERANCE : ± 0.1
 ETAT DE SURFACE : Ra 6.3

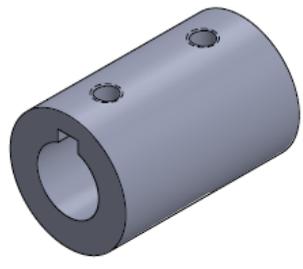
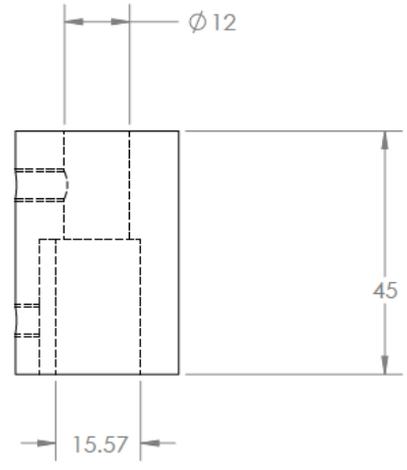
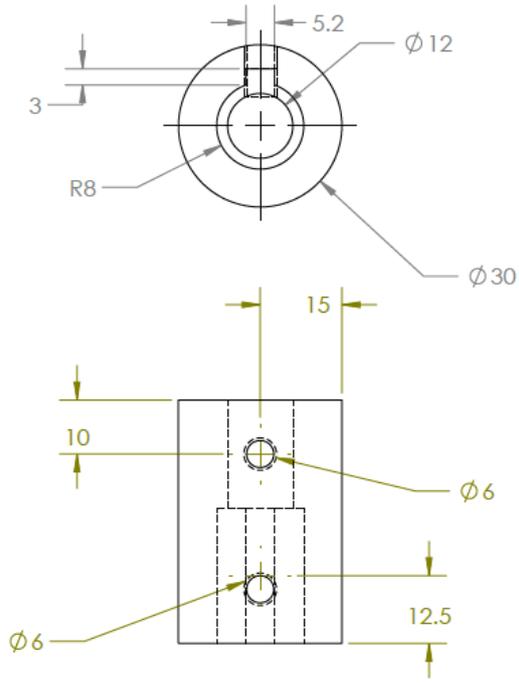
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
ECHÉLE	MATIERE			
1:1	acier			
ETUDIANT	BERKANE	ACHRAF RAMI	bride	DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE
PROMOTEUR	BENBRIKA	MOHAMED		
PROMOTEUR	SAIDI	DJAMEL		
PROMOTEUR	SEDJAL	HAMID	QUANTITE: 2	DATE:09/05/2023



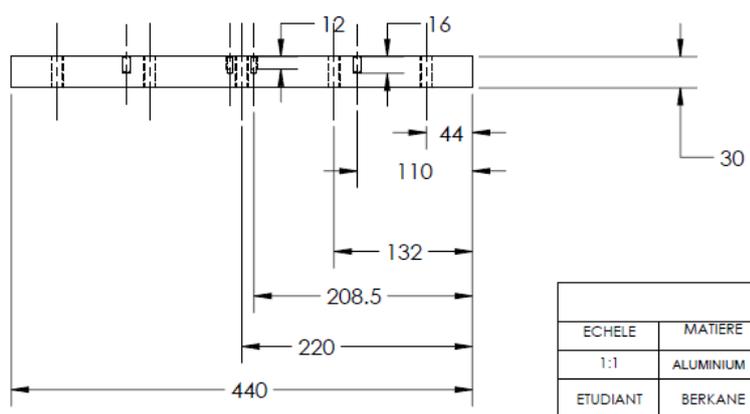
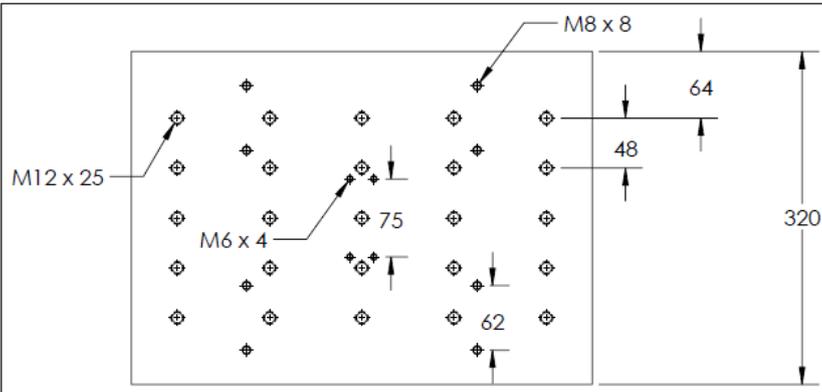
TOLERANCE : ± 0.1
 ETAT DE SURFACE : Ra 3.6



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
ECHÉLE	MATIERE			
1:1				
ETUDIANT	BERKANE	ACHRAF RAMI	arbre pore outil	DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE
PROMOTEUR	BENBRIKA	MOHAMED		
PROMOTEUR	SAIDI	DJAMEL		
PROMOTEUR	SEDJAL	HAMID	QUANTITE: 1	DATE:09/05/2023



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
ECHÉLE	MATIERE			DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE
1:1				
ETUDIANT	BERKANE	ACHRAF RAMI		
PROMOTEUR	BENBRIKA	MOHAMED	QUANTITE: 3	DATE:09/05/2023
PROMOTEUR	SAIDI	DJAMEL		
PROMOTEUR	SEDJAL	HAMID		



TOLERANCE : -+0.1
ETAT DE SURFACE : Ra 6.3

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE				
ECHÉLE	MATIERE		TABLE DE TRAVAIL	DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE
1:1	ALUMINIUM			
ETUDIANT	BERKANE	ACHRAF RAMI		
PROMOTEUR	BENBRIKA	MOHAMED	QUANTITE: 1	DATE:09/05/2023
PROMOTEUR	SAIDI	DJAMEL		
PROMOTEUR	SEDJAL	HAMID		

8) Annexe :

Manuel TP :

a. Les règles de sécurité :

- Porter des lunettes de protection (par ex. : lors des opérations de soufflage)
- Porter des chaussures de sécurité
- Interdiction de porter des gants en mode de réglage
- Ne porter ni bagues, ni montres, ni bracelets
- Ne pas porter de vêtements amples, en particulier au niveau des manches
- Utiliser des crèmes de protection de la peau
- Ne jamais procéder à des mesures, à un nettoyage ou à des réglages lorsque la machine est en marche.

b. La préparation des plaques à souder :

On va utiliser une plaque d'acier bien définie et de même surface que les 2 plaques d'aluminium à souder comme un support pour protéger la table de travail, puis en va fixer les plaques par des brides de fixation et des vis fixées dans les trous taraudés de la table de travail.

Après la fixation des pièces on va bien définir le parcours du soudage par rapport à la position de référence

c. Méthode d'utilisation de la machine :

On peut souder les pièces par 2 méthodes :

i. Soudage manuel :

Cette méthode est proposée pour les soudages simples tels qu'on va utiliser la fenêtre des axes sur le logiciel CNC JS pour déplacer l'outil

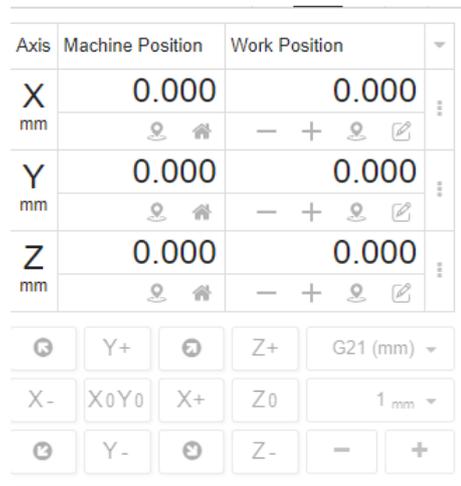


Figure 0-1: la fenêtre des axes

ii. Soudage automatique :

Cette méthode est basée à écrire le programme de G-code pour les opérations en ordre chronologique puis on va le téléverser sur le logiciel CNC JS.

Cette méthode est plus précise mais elle prend beaucoup de temps

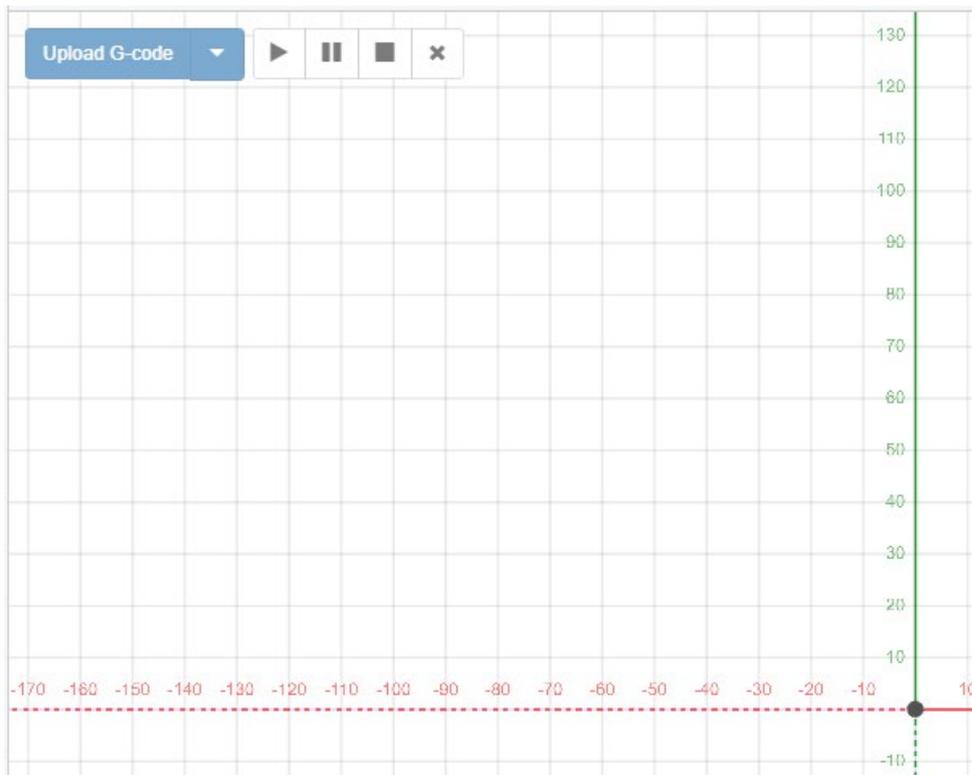
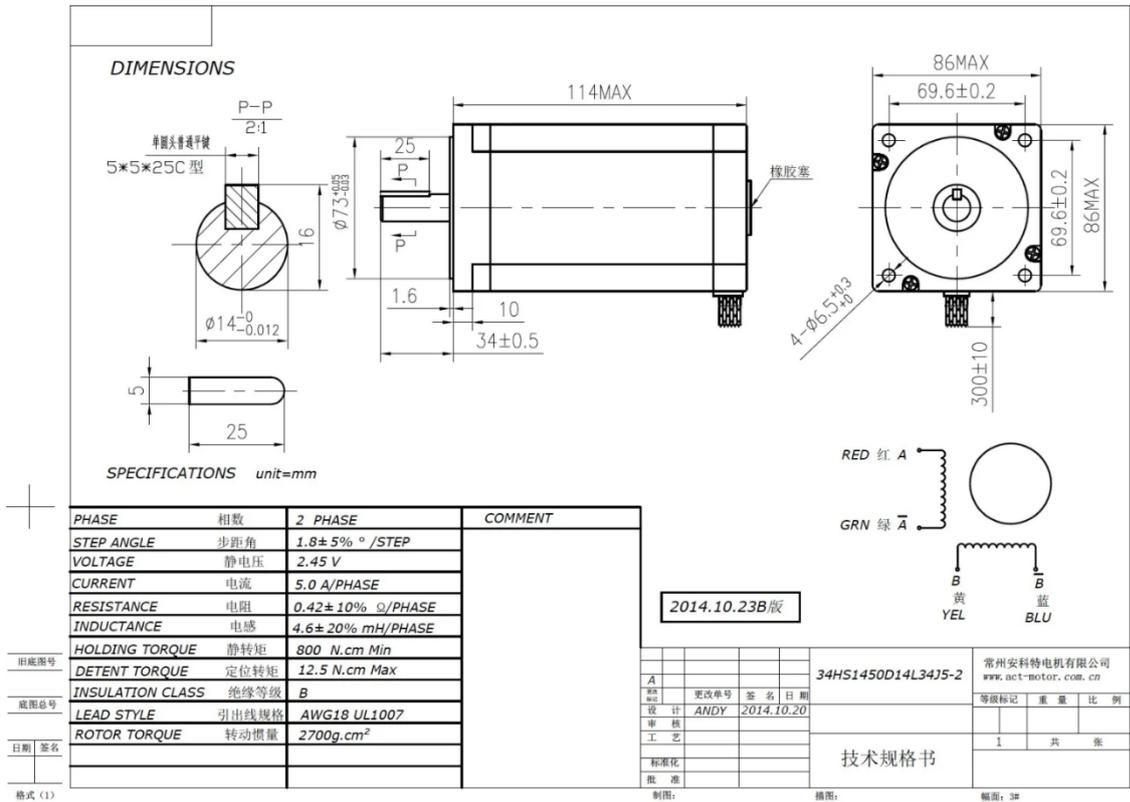


Figure 0-2: le bouton utilisé pour téléverser le programme G-code

d. Maintenance :

- Inspection visuelle : examiner la machine pour repérer toute usure, corrosion ou dommage évidente. Il faut assurer que toutes les pièces sont en place.
- Nettoyage : nettoyer soigneusement toutes les parties de la machine, en particulier les zones de friction, pour enlever les résides de matériau.
- Graissage : on doit appliquer la graisse ou de l'huile sur les paliers, les roulements, les vis à billes pour assurer un bon fonctionnement.
- Test de fonctionnement : faites fonctionner la machine à vide ou avec une charge minimale pour assurer qu'elle fonctionne correctement.
- Documentation : tenez un registre de toutes les opérations de maintenance effectuées, y compris les dates et les détails des travaux.
- Maintenance préventive : établissez un calendrier de maintenance préventive régulière pour éviter les pannes et prolonger la durée de vie de la machine.

e. Fiche technique du moteur pas à pas :



f. L'organisation de l'atelier :

Il existe 2 ateliers principaux :

- L'atelier numérique :
 - 03 Centres d'usinage CNC 04 Axes.
 - 01 Centre d'usinage CNC 03 Axes.
 - 02 Tours CNC 02 Axes.
 - 01 Tours CNC 02 Axes + Axe « C »



Figure 0-3: quelques machines dans l'atelier numérique

- L'atelier conventionnel :

Atelier de découpe Plasma CNC, allant jusqu'à $ep=75\text{mm}$, table $3000 \times 2000\text{ mm}$.

Atelier de forge à chaud et à froid, doté d'équipement composé d'une presse 400 Tonnes et système de chauffage par induction (chauffage des barres d'acier rondes à 1000 C° en 15 secondes)

01 Presse hydraulique de 400 Tonnes.

01 Machine à induction pour chauffer l'acier rond de 50mm à 1000C° en 15 secondes.

Atelier d'usinage équipé de 22 machines conventionnelles.

05 Tours à charioter et à fileter conventionnels (6000 mm, 3000mm, 2000mm, 1500mm).

03 Fraiseuses conventionnelles.

01 Rectifieuse plane.

01 Rectifieuse cylindrique / excentrique, 2100 mm entre pointes.

02 Mortaiseuses.

02 Aléseuses.

01 Tailleuse d'engrenage, $\text{Ø } 1000\text{ mm}$, $ep=400\text{ mm}$.

Procédés de soudage par MIG/MAG/TIG/à L'Arc et par point.

01 Rouleuse de tôle $Ep=01$ Long=1000m.

02 Scies à ruban.

01 Perceuse à colonne.



Figure 0-4: quelques machines dans l'atelier conventionnel

Tableau 3: l'organisation de l'atelier conventionnel

Perceuse	Rectifieuse cylindrique			Tour Biamo 3
Mortaiseuse	Sableuse		Tailleuse d'engrenage	Tour Trens
Mortaiseuse Biamo	Glaceuse		Fraiseuse Gambin	Tour « Marque espagnol »
Rectifieuse plane Brown & Sharpe	Fraiseuse Biamo 1	Aléuseuse	Fraiseuse Biamo 2	Tour Biamo 2
	Presse biamo			Tour Biamo 1

	Tour Biamo		
--	-------------------	--	--

Tableau 4: l'organisation de l'atelier numérique

V30	Passage	Bureau du chef d'atelier
V 40		
V 50		CAZNEUVE
V 32		
Doosan		
Passage		T8
T8 M		

g. Diagramme des projets :

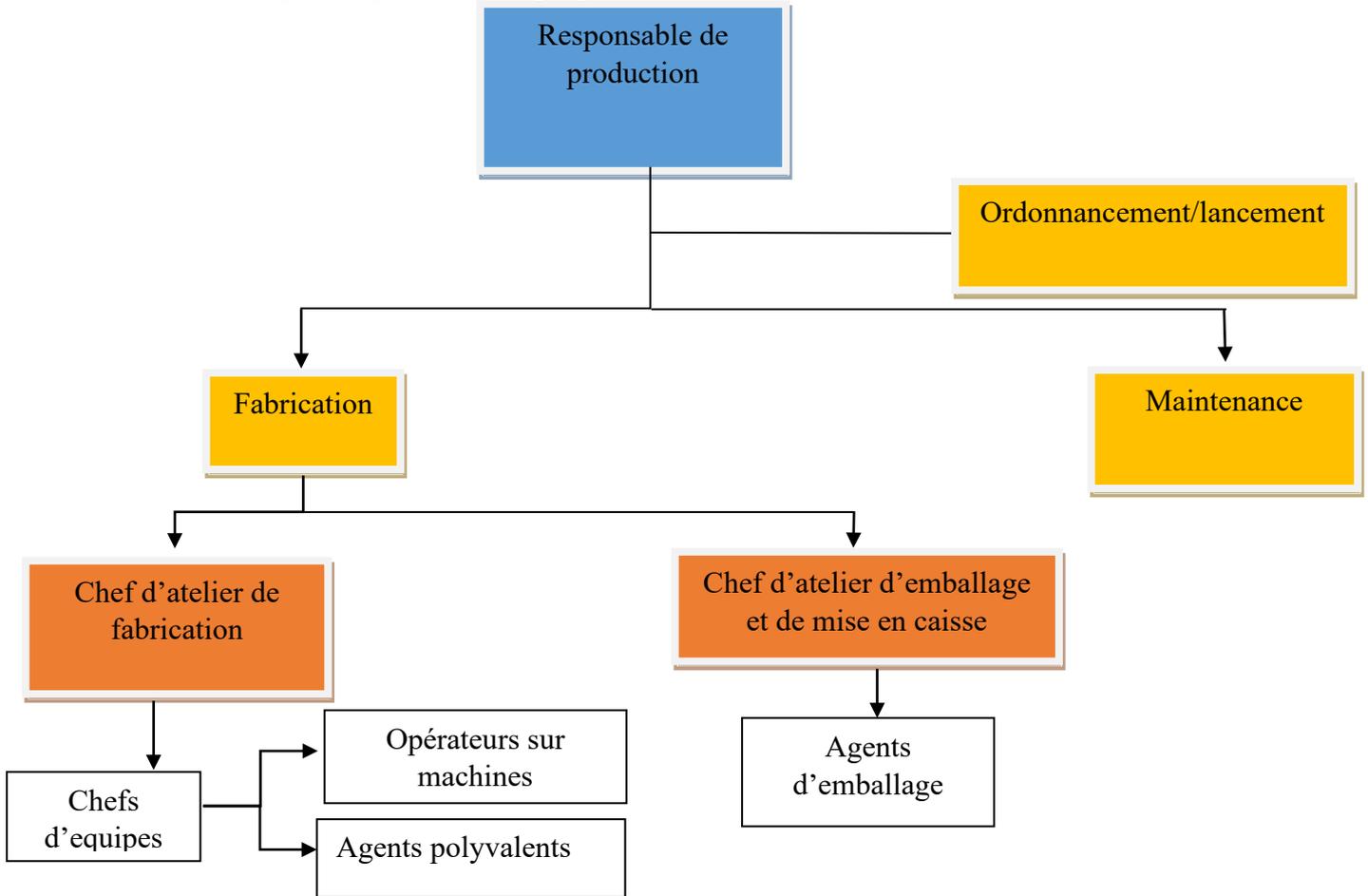


Figure 0-5: l'organigramme des projets