

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



UNIVERSITE DE BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DU GENIE MECANIQUE

Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du Diplôme de Master en
Fabrication mécanique et productique

**Conception et réalisation d'un outil de soudage
par friction par remplissage par point RFSSW**

Promoteur :

Dr. Hadji Idir

CO-Promoteur :

Pr. Tiberkak Rachid

Réalisé par :

Belkhelfa Mohamed Amine

Mokhtari Mohamed Adlane

Promotion : 2022/2023

REMERCIEMENTS

Tout d'abord dieu merci de nous avoir donné la santé et la volonté et la motivation pour réaliser et terminer cet humble travail.

*On aimerait adresser nos remerciements les plus sincères à notre promoteur **HADJI IDIR** pour son travail exceptionnel, sa patience et son soutien infaillible tout au long de ce processus. Ses conseils éclairés, sa disponibilité, son expertise et ses idées clés ont été essentiels pour orienter nos recherches et nous guider vers la réussite. On lui est infiniment reconnaissants pour son engagement sans faille envers notre projet.*

*On tient également à exprimer notre reconnaissance envers notre co-promoteur **TIBERKAK RACHID** pour son encadrement et son soutien dans la partie théorique de ce travail. Ainsi que sa présence et son orientation dans la partie expérimentale.*

*On souhaite aussi remercier l'entreprise **GENERALE LUMIERE ALGERIE** pour nous avoir permis d'accéder à son atelier et de nous avoir fournis tous les moyens nécessaires pour faire notre réalisation.*

On tient aussi à remercier le nombre de jury qui font l'honneur d'examiner notre travail. Enfin, on n'oubliera jamais nos collègues de classe et nos camarades d'étude qui ont partagé cette expérience avec nous.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

Mon grand-père RABAH DRIASSA qui nous a quitter le 08 octobre 2021 et aussi mon oncle TOUFIK MAZA qui lui aussi nous a quitter le 11 février 2023, paix à leur âme.

Je tiens aussi à dédier ce travail à mon père KAMELEDINNE et ma mère qui m'ont toujours poussé vers la réussite ainsi que mes frères et sœurs, et mes proches.

Mohamed adlane

Je dédie ce modeste travail à :

Mon père BELKHELFA DJAMEL qui nous a quitter le 14 mars 2016, paix à son âme.

Je tiens aussi à dédier ce travail à ma mère, mes frères et sœurs, et mes proches.

Mohamed amine

Et ce qui partagent nos bonheurs et malheurs nos chers camarades des étudiants de la promotion 2022/2023.

Toutes les personnes de près ou de loin qui n'ont aidé à réaliser ce travail par leur conseils, encouragement et orientation.

Centre de recherche en technologies industrielles

Le CRTI est un centre de recherche spécialisé dans l'application des technologies avancées aux secteurs industriels clés du pays. Fondé il y a plus de deux décennies, il s'est rapidement imposé comme un acteur majeur dans le paysage scientifique et technologique algérien. Nous avons eu la chance de rejoindre cette institution renommée lors de notre stage de fin d'études, ce qui nous a permis de nous immerger dans un environnement de recherche dynamique et de travailler aux côtés d'une équipe de chercheurs, d'ingénieurs et de techniciens hautement qualifiés.

Pendant notre stage, nous avons été exposés à une multitude de projets passionnants et innovants. Le CRTI se concentre sur la recherche et le développement de technologies de pointe dans des domaines tels que l'énergie, les matériaux, la métallurgie, l'automatisation industrielle, la robotique, l'électronique et les technologies de l'information. Grâce à notre participation active dans ces projets, nous avons pu acquérir une expérience pratique précieuse et développer nos compétences techniques dans des domaines spécifiques.



L'un des aspects remarquables du CRTI est sa capacité à traduire les résultats de la recherche en applications pratiques et commerciales. Le centre favorise l'innovation et l'esprit d'entreprise en soutenant la création de start-ups technologiques et en facilitant le transfert de technologie vers l'industrie. Pendant notre stage, nous avons été témoins de cette volonté de mettre en pratique les connaissances et les avancées technologiques, ce qui nous a permis de comprendre l'importance de la recherche appliquée pour le développement de l'industrie algérienne.

En conclusion, notre stage de fin d'études au Centre de Recherche en Technologies Industrielles algérien a été une expérience exceptionnelle. Le CRTI est une institution de renommée qui contribue activement à l'innovation technologique et au développement de l'industrie en Algérie. Nous sommes reconnaissants d'avoir eu l'opportunité de travailler avec une équipe de chercheurs hautement qualifiés et d'avoir contribué, même modestement, aux projets de recherche du centre.

Table des matières

<i>REMERCIEMENTS</i>	<i>I</i>
<i>DEDICACES</i>	<i>II</i>
<i>Centre de recherche en technologies industrielles</i>	<i>III</i>
<i>Table des matières</i>	<i>IV</i>
<i>Liste des Figures</i>	<i>VIII</i>
<i>Liste des tableaux</i>	<i>XI</i>
.....	<i>XI</i>
<i>Liste des abréviations</i>	<i>XII</i>
<i>Liste des symboles</i>	<i>XII</i>
<i>Introduction générale</i>	<i>XIII</i>
<i>Chapitre I Généralités sur le soudage par friction</i>	<i>I</i>
1.1 Introduction à la soudure	1
1.2 Types de soudage	1
1.2.1 Le soudage automatique :	1
1.2.2 Le soudage hétérogène :	1
1.3 Source d'énergie de soudure	1
1.3.1 Energie électrique	2
1.3.2 Energie chimique.....	2
1.4 Types de soudage par friction	3
1.4.1 Soudage par friction linéaire (FSW) :	4
1.4.2 Soudage par friction par point (FSSW) :	4
1.4.3 Soudage par friction orbitale (OFW) :	5
1.4.4 Soudage par friction rotative (FRW) :	5
1.4.5 Soudage par friction remplissage par point (RFSSW) :	6
1.5 Généralités sur le soudage par friction malaxage FSW	6
1.6 Généralités sur le soudage par friction malaxage par point FSSW	7
1.6.1 Le développement du processus	8
1.7 Introduction au soudage par remplissage par friction malaxage par point (RFSSW)	9
1.7.1 Comparaison entre l'état de surface FSSW et RFSSW	10

1.7.2	L'outil du RFSSW	11
1.7.3	Le déroulement du processus du procédé RFSSW	12
1.8	La structure de la machine.....	14
1.9	Mécanisme de la machine	14
	La tête de soudage :	14
	Le système de contrôle de l'outil :	15
	Le système de maintien de la pièce :	15
1.10	Les paramètres de soudage RFSSW	15
	Vitesse de rotation :	15
	Force axiale :	15
	Temps de soudage :	15
	La plongé de l'outils :	16
1.11	Les avantages du RFSSW	16
	Haute résistance et ductilité :	16
	Distorsion réduite :	16
	Productivité accrue :	16
	Consommation d'énergie réduite :	16
	Respectueux envers l'environnement :	16
1.12	L'impact sur l'industrie	17
	Amélioration de la qualité de la soudure :	17
	Réduction des coûts de production :	17
	Utilisation de matériaux plus légers :	17
	Suppression de l'empreinte de soudage FSSW :	17
	L'utilisation de matériaux légers :	17
	La possibilité de souder des pièces complexes :	18
 Chapitre II Organes machine, étude et calculs		20
2.1	Introduction.....	20
2.2	Plan de travail et objectifs	21
2.2.1	Objectifs mécanique et techniques	21
2.2.2	Objectifs économiques	21
2.2.3	Objectifs opérationnel	21
2.3	Présentation des organes machine.....	22
2.3.1	Moteurs.....	22
2.3.1.1	Moteurs pas à pas	22
2.3.1.2	Les moteurs à induction ou asynchrones	23
2.3.1.3	Les servomoteurs	23
2.3.2	Système de guidage	23
2.3.2.1	Guide linéaire	23
	Avantages	24
	Inconvénient.....	24
2.3.2.2	Vis à billes	24
	Avantages	24

Inconvénient.....	24
2.3.2.3 Roulements	25
Inconvénients	25
Avantages	25
2.3.3 Systèmes de transmission.....	27
2.3.3.1 Courroie	27
Avantages :	27
Inconvénients :	27
2.3.3.2 Les polies	28
Avantages :	28
2.3.3.3 Les accouplements rigides	28
2.3.3.4 Vérins pneumatiques	28
Fonctionnement	29
Éléments du vérin :.....	29
2.3.4 Système de fixation.....	30
2.3.4.1 Soudage	30
Avantages :	30
Inconvénients :	30
2.3.4.2 Anneau élastique	31
2.3.4.3 Boulon	31
2.3.5 Système d’amortissement :	32
2.3.5.1 Ressorts	32
2.3.6 Système électrique.....	33
2.3.6.1 Armoire électrique	33
2.3.6.2 Les interrupteurs fin de courses électrique	33
2.4 Calculs.....	33
2.4.1 Calcul des masses.....	33
2.4.1.1 Calcul des masses pour l’outil RFSSW	34
2.4.1.2 Calcul des masses pour la conception de la machine RFSSW	35
2.4.2 Calculs de l’outil	36
2.4.2.1 Choix du matériau de l’outil.....	36
Domaine d’application	36
Composition chimique %.....	36
Caractéristiques mécaniques moyennes	36
2.4.2.2 Traitement thermique.....	40
2.4.2.2.1 Application	40
2.4.2.3 Résistance de matériau.....	41
• L’arbre.....	41
• Sleeve.....	42
• Le support	43
• Le pin.....	44
2.4.3 Calculs de la machine.....	45
2.4.3.1 Calcul du centre de gravité de la machine RFSSW	45
2.4.3.2 Calculs des vis à billes.....	45
2.4.3.2.1 L’efficacité théorique η	46
2.4.3.2.2 L’efficacité pratique η_p	46
2.4.3.2.3 Calcul de la Force axiale maximale admissible F_p	47

2.4.3.2.4	Application numérique des calculs sur les vis à billes	47
	L'efficacité théorique η	47
	L'efficacité pratique η_p	48
	La Force axiale maximale admissible F_{Amax}	48
2.4.3.2.5	Conclusion	48
2.4.3.3	Calculs des moteurs	48
2.4.3.3.1	Le moteur principale de rotation	48
	La vitesse de rotation V_R	48
	La vitesse d'avance V_A	49
	Le temps de coupe T_C	49
	La force axiale F_A	49
	Le couple de perçage M_C	50
	La puissance de coupe P_C	50
	Application numérique pour le calcul du moteur principal de rotation	50
	2.4.3.3.1.1 Conclusion	51
2.4.3.3.2	Calcul du moteur des vis sans fin	51
	Le couple moteur	51
	Application numérique	51
	Conclusion	51
2.4.3.4	Calculs des courroies	52
	2.4.3.4.1 Application numérique	54
	2.4.3.4.2 Conclusion	54
2.4.3.5	Calculs des roulements	55
	2.4.3.5.1 Conclusion	55
2.4.3.6	Vérins	55
	2.4.3.6.1 Application numérique	56
	2.4.3.6.2 Conclusion	56
2.4.3.7	Calculs des composants selon l'axe des Z	56
	2.4.3.7.1 Forces, vitesse, et pression exercée sur le système	56
	2.4.3.7.2 Application numérique	57
	2.4.3.7.3 Conclusion :	58

Chapitre III Conception et réalisation58

3.1	Introduction	59
3.2	Conception	59
3.2.1	Conception de la machine	59
3.2.1.1	Présentation des Composants de la machine	60
	• Châssis	60
	• Support du vérin	60
	• Les supports des servo-moteur	61
	• Système de bridage	61
	• La base de la machine	62
	• La table	63
	• L'outils	63
	• Support outils	64
	• Boitier	64

• Support moteur asynchrone	65
• Support de mécanisme machine	66
• Support portique de système	66
• Plaque de support de l'axe Z	67
Plaque du support outils	68
• Cornière	68
3.2.2 Conception et réalisation de l'outils	69
3.2.2.1 Présentation grossière des pièces de l'outil	70
• Système de bridage	70
• Outil	72
3.2.3 Conclusion	73
Chapitre IV Essais et résultats.....	74
4.1 Introduction.....	74
4.1.1 Essai 1.....	74
4.1.1.1 Résultats de l'essai 1	75
4.1.1.2 Conclusion	75
4.1.2 Essai 2.....	76
4.1.2.1 Résultats	76
4.1.2.2 Conclusion	76
Conclusion générale.....	77
Références	78
Annexes	81

Liste des Figures

Figure (1.1) la soudure TIG	2
Figure (1.2) le soudage électrique par point	2
Figure (1.3) soudage chimique	2
Figure (1.4) soudage par friction malaxage	3
Figure (1.5) soudage par énergie focalisé	3
Figure (1.6) soudage FSW	4
Figure (1.7) soudage FSSW	4
Figure (1.8) soudage OFW	5
Figure (1.9) soudage FRW	5
Figure (1.10) soudage RFSSW	6
Figure (1.11) soudage par friction malaxage	7

Figure (1.12) déroulement de la soudure FSSW	7
Figure (1.13) trou de soudure du a la soudure FSSW	9
Figure (1.14) démonstration du processus RFSSW	10
Figure (1.15) état de surface d'une soudure FSSW	11
Figure (1.16) Etat de surface d'une soudure RFSSW	11
Figure (1.17) Rendu 3D des outils utilisés dans le processus RFSSW	12
Figure (1.18) Une illustration schématique du mouvement de l'outil.	13
Figure (1.19) Machine RFSSW sous forme fixe du fabricant américain BOND TECHNOLOGIE . (6)	14
Figure (1.20) La machine RFSSW du type robot d'un fabricant chinois.	14
Figure (2.1) moteur pas à pas	22
Figure (2.2) Analyse d'un moteur	22
Figure (2.3) moteur asynchrone	23
Figure (2.4) des servomoteurs de différentes tailles	23
Figure (2.5) Guide linéaire	23
Figure (2.6) vis à billes	24
Figure (2.7) roulements mécanique	25
Figure (2.8) coussinets mécanique	25
Figure (2.9) courroie de transmission	27
Figure (2.10) polie de transmission	28
Figure (2.11) accouplement rigides	28
Figure (2.12) schéma explicatif du principe de fonctionnement d'un vérin pneumatique	28
Figure (2.13) schéma explicatif du principe de fonctionnement d'un vérin pneumatique	29
Figure (2.14) annotation des organes d'un vérin pneumatique.	29
Figure (2.15) procédée du soudage MIG	30
Figure (2.16) anneau élastique	31
Figure (2.17) boulon avec écrou	31
Figure (2.18) ressorts	32
Figure (2.19) Armoire électrique	33
Figure (2.20) Interrupteur de fin de course électrique	33
Figure (2.21) Essai de compression d'un ressort pour connaitre ses caractéristiques mécaniques	39
Figure (2.22) Diagramme de l'effort de compression par rapport à la distance traversée	39
Figure (2.23) le sleeve après trempe	40
Figure (2.24) Essai de durcissement sur la machine du centre de recherche	41
Figure (2.25) maillage de l'arbre	41
Figure (2.26) résultats des contraintes appliqué sur l'arbre	42
Figure (2.27) maillage du Sleeve	42
Figure (2.28) résultats des contraintes appliqué sur le sleeve	43

Figure (2.29) maillage du support _____	43
Figure (2.30) résultats des contraintes appliqué sur Le support _____	44
Figure (2.31) résultats des contraintes appliqué sur Le pin _____	44
Figure (2.32) Centre de gravité de la machine sur l'axe Z _____	45
Figure (2.33) diagramme de la Force de flambage critique théorique (26) _____	47
Figure (2.34) Facteur de correction prenant en compte le type de palier _____	47
Figure (2.35) Schéma explicatif du système _____	52
Figure (3.1) Les différentes vues de la conception de la machine RFSSW _____	59
Figure (3.2) rendu 3D du châssis _____	60
Figure (3.3) Emplacement du châssis dans la machine _____	60
Figure (3.4) Emplacement de support vérin dans la machine _____	60
Figure (3.5) rendu 3D de support vérin _____	60
Figure (3.6) rendu 3D des supports des servo-moteurs _____	61
Figure (3.7) Emplacement des supports des servo-moteur _____	61
Figure (3.8) Emplacement de système de bridage _____	61
Figure (3.9) rendu 3D de notre système de bridage _____	61
Figure (3.10) Exemple sur l'emplacement _____	62
Figure (3.11) Emplacement de la base machine _____	62
Figure (3.12) rendu 3D de la base machine _____	62
Figure (3.13) rendu 3D de la table _____	63
Figure (3.14) Emplacement de la table dans la machine _____	63
Figure (3.15) rendu 3D d'outils RFSSW pour notre machine _____	63
Figure (3.16) Emplacement d'outil dans la machine _____	64
Figure(3.17) Assemblage des 3 pièces _____	64
Figure (3.18) Emplacement de support outils _____	64
Figure (3.19) rendu 3D de support outils _____	64
Figure (3.20) Emplacement du boitier _____	65
Figure (3.21) rendu 3D du boitier _____	65
Figure (3.22) rendu 3D des éléments du boitier _____	65
Figure (3.23) rendu 2D de support _____	65
Figure (3.24) Emplacement de support moteur _____	65
Figure (3.25) rendu 3D du support _____	66
Figure (3.26) Emplacement du support mécanisme _____	66
Figure (3.27) rendu 3D du support portique de système _____	66
Figure (3.28) Emplacement de support portique de système _____	66
Figure (3.29) Aperçu 3D montre tous les supports de la machine _____	67
Figure (3.30) rendu 2D de la plaque de support de l'axe _____	67
Figure (3.31) Emplacement de la plaque de support de l'axe Z _____	67
Figure (3.32) rendu 2D de la plaque de support outils _____	68

Figure (3.33) Emplacement de la plaque de support outils _____	68
Figure (3.34) rendu 3D de la cornière _____	68
Figure (3.35) Emplacement de la cornière dans la machine _____	68
Figure (3.36) Les différentes vues de la conception de l'outils RFSSW montable sur fraiseuse _____	69
Figure (3.37) Les différentes vues de l'outil RFSSW réalisé _____	69
Figure (3.38) le système de bridage assemblé _____	70
Figure (3.39) le système de bridage en vue éclater _____	70
Figure (3.40) la conception de la pièce Clamping ring _____	71
Figure (3.41) vue de coupe de l'alignement du clamping ring avec le sleeve . _____	71
Figure (3.42) Conception du Sleeve _____	72
Figure (3.43) Conception du Pin _____	72
Figure (3.44) le Pin et le Sleeve après réalisation _____	73
Figure (4.1) la pince de serrage _____	74
Figure (4.2) centrage de la pointe de soudage sur les pièces a souder _____	74
Figure (4.3) joint de soudure RFSSW _____	74
Figure (4.4) image de la pièce Sleeve après la cassure. _____	75
Figure (4.5) vue de l'intérieur du clamping ring _____	75
Figure (4.6) la soudure RFSSW réalisé par notre outil _____	76

Liste des tableaux

Tableau (2.1) le calcul de la masse totale de l'outil RFSSW _____	34
Tableau (2.2) le calcul de la masse totale de la machine RFSSW _____	35
Tableau (2.3) Composition chimique de l'acier 42CD4 _____	36
Tableau (2.4) Caractéristiques mécanique de l'acier 42cd4 _____	36
Tableau (2.5) facteur de charge par rapport à la force axiale sur la charge dynamique _____	41
Tableau (2.6) vitesses de coupe par rapport aux matériaux _____	44

Liste des abréviations

FSW	Soudage par friction linéaire
FSSW	Soudage par friction par point
FRW	Soudage par friction rotative
RFSSW	Soudage par friction par remplissage par point
CN	Commande numérique
RDM	Résistance des matériaux
MIG	Metal inert gas
TIG	Tungsten Inert Gas

Liste des symboles

L_{10}	La durée de vie nominale du roulements
C_n	Charge dynamique nécessaire
C_d	La charge dynamique de base
N	Nombre de tours par minute
f_Z	Coefficient supplémentaire des efforts dynamique
f_H	Coefficient de dureté
f_t	Coefficient de température
f_L	Coefficient de durée de vie
P	Charge dynamique appliqué
f_n	Coefficient de nombre de tours
η	L'efficacité théorique
η_p	L'efficacité pratique
φ	L'angle primitif de fonctionnement
ρ''	Angle de frottement

f_i	Facteur de charge
F	La force axiale
F_p	La force axiale maximale admissible
f_c	Facteur de correction
$F_{A\ max}$	La force axiale maximale
V_R	La vitesse de rotation
V_C	La vitesse de coupe
D	Diamètre
V_A	La vitesse d'avance
T_C	Le temps de coupe
I_m	Profondeur de coupe
K'	Coefficient dépend de la géométrie de l'outil
K_C	Coefficient spécifique de coupe
M_C	Le couple de perçage
P_C	La puissance de coupe
T_a	Le couple moteur
n_p	La vitesse de rotation du moteur
n_d	la vitesse de rotation de la polie réceptrice
E'	L'entraxe souhaité
R	Rapport de transmission
V	vitesse linéaire
L_{Th}	La longueur théorique de courriers
P_0	Puissance brute transmissible
P_c	Puissance de calcul
F_1	La force du poids
F_2	La force d'inertie
F_3	L'effort de coupe

مختصر

في هذا المشروع نحن مهتمون بعملية اللحام، اللحام بالاحتكاك بدقة أكبر عن طريق ملء البقعة. نظرًا لأن هذه العملية تعتبر جديدة في عالم الصناعة، فإن الشركات المصنعة لهذا النوع من الآلات قليلة ويظل مبدأ التشغيل وآلية الماكينة غامضة. لهذا السبب اخترنا البحث عن هذه الآلة وتصميمها والعثور على آليتها. بالإضافة إلى تصميم وإنتاج أداة قياسية يمكن تركيبها على جميع آلات الطحن الميكانيكية القياسية. أدواتنا هي الأولى في مجال الصناعة. قمنا أيضًا بإجراء الاختبار وقدمنا النتائج

Abstract

In this project we are interested in the welding process, more precisely friction welding by spot filling. As this process represents an update in the world of industry, the manufacturers of this type of machine are few and the operating principle and mechanism of the machine remain mysterious. This is why we opted to research and design this machine and find its mechanism. As well as the design and production of a standard tool that can be mounted on all standard mechanical milling machines. Our tool is a first in the industrial environment. We also did the test and introduced the results

Résumé

Dans ce projet on s'intéresse au procédé de soudage, plus précisément le soudage par friction par remplissage par point. Comme ce procédé représente une nouvelle dans le monde de l'industrie, les constructeurs de ce type de machine sont peu et le principe de fonctionnement et mécanisme de la machine reste mystérieux. C'est pour cela qu'on a opté à chercher et à faire la conception de cette machine et trouver son mécanisme. Ainsi qu'on a fait la conception et la réalisation d'un outil standard montable sur toutes les fraiseuses mécaniques standard. Notre outil se présente comme une première dans le milieu industriel. Nous avons aussi fait l'essai et introduit les résultats.

Introduction générale

Parmi les procédés d'assemblages, le soudage occupe une place importante dans toutes les branches d'industrie et du bâtiment, car il permet d'adapter au mieux, les formes de construction aux contraintes qu'elles sont appelées à supporter en service.

On trouve le soudage dans presque tous les domaines de construction. Et dans nos jours le soudage par remplissage par friction malaxage par point (**RFSSW**) et l'un des procédés de soudages qui promettent une grande rentabilité et un grand développement dans le domaine de la soudure au future prés. ce qui nous a motivé et encouragé de lancer ce défi et entamé ce projet.

Le mémoire est réalisé en 4 chapitres :

Chapitre I présentation des généralités sur le soudage, le soudage par friction malaxage (**FSW**) , le soudage par friction malaxage par point (**FSSW**) et le soudage par remplissage par friction malaxage par point (**RFSSW**).

Chapitre II présentation des organes de la machine et de l'outil. Ainsi que l'étude et dimensionnement des organes.

Chapitre III Conception de la machine et conception et réalisation de l'outil.

Chapitre IV présentation des essais et les résultats obtenus.

Objectif

Suite à l'importance du sujet dans le monde de l'industrie et de la métallurgie, ainsi que la conception et les mécanismes qui sont retenue comme top secret par tous les fabricants du robot qui enchaines ce type de soudure. L'objectif de notre projet est de faire l'étude, la conception d'une machine RFSSW et la réalisation de son outil de soudage (organe principale) en prenant en compte toutes les contraintes physique et mécanique ainsi qu'économique, et les mécanismes qui font de cette machine un outil capable de réaliser des soudures parfaitement finies laissant un état de surface impeccable.

Chapitre I
Généralités sur le soudage par friction

1.1 Introduction à la soudure

Le soudage est une opération qui consiste à assurer la liaison permanente de deux ou plusieurs parties constitutives de nature identique ou différente, soit par chauffage, soit par pression, soit par l'action simultanée des deux, de la chaleur et de la pression. Le soudage peut être effectué avec ou sans métal d'apport. Dans le cas particulièrement important des matériaux métalliques, le soudage se présente sous deux aspects (1)

1.2 Types de soudage

1.2.1 Le soudage automatique :

Lorsque le métal d'apport et le métal de base sont de nature identique. Dans ce procédé, le métal des pièces à assembler participe à la constitution du joint au même titre que le métal d'apport. Donc c'est une opération de "fusion localisée" de deux pièces de même nature. Le métal de base se dilue dans le métal d'apport. (1)

1.2.2 Le soudage hétérogène :

Le soudage est hétérogène lorsque le métal de base et le métal d'apport sont de nature différente. Dans ce procédé, les pièces à assembler ne sont pas portées à la température de fusion et ne participent pas à la constitution du joint. Ce rôle est uniquement rempli par le métal d'apport, dont la température de fusion est plus basse et qui assure, en se solidifiant, une liaison métallique entre les surfaces à assembler. (1)

1.3 Source d'énergie de soudure

Il existe plusieurs procédés de soudage caractérisés par le type de source d'énergie pour l'échauffement et par l'état du métal à l'endroit du soudage. Selon le type de la source d'énergie on distingue les énergies du type : (1)

- **Energie thermoélectrique.**
- **Energie thermochimique.**
- **Energie mécanique.**
- **Energie de focalisation.**

Les sources d'énergie doivent être capables d'apporter, en un temps assez court, une grande quantité de chaleur en un point bien localisé. De gros progrès technologiques sont venus apporter une solution à ce problème au début du siècle, tout d'abord par l'emploi de la flamme

oxyacéthylinique puis de l'arc électrique. La classification des procédés de soudage en fonction des sources d'énergie se présente comme suit : (1)

1.3.1 Energie électrique

Soudage à l'arc électrique sans protection gazeuse :

- Avec électrode fusible (M.I.G) **Figure (1.1)**.
- Avec électrode réfractaire (T.I.G).
 - Soudage à l'arc électrique sous flux solide avec électrode fusible.
 - Soudage à l'arc électrique avec électrode enrobée.
 - Soudage au plasma d'arc.
 - Soudage à l'hydrogène atomique.
 - Soudage par résistance électrique :
- Par recouvrement :
 - Sur bossage.
 - A la molette.
 - Par point **Figure (1.2)**.
- En bout ou en T :
 - Par étincelage.
 - Par résistance pure.
 - Soudage par induction.
 - Soudage par fer à souder ou plaque chauffante pour brasages tendres.

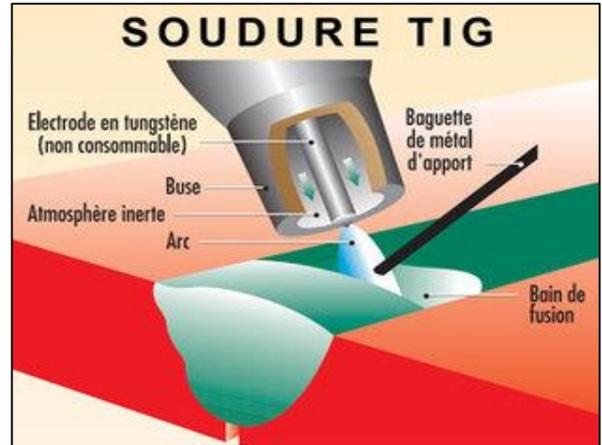


Figure (1.1) la soudure TIG (27)

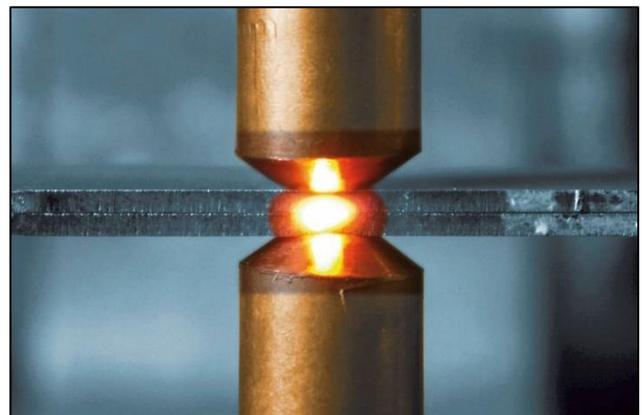


Figure (1.2) le soudage électrique par point (28)

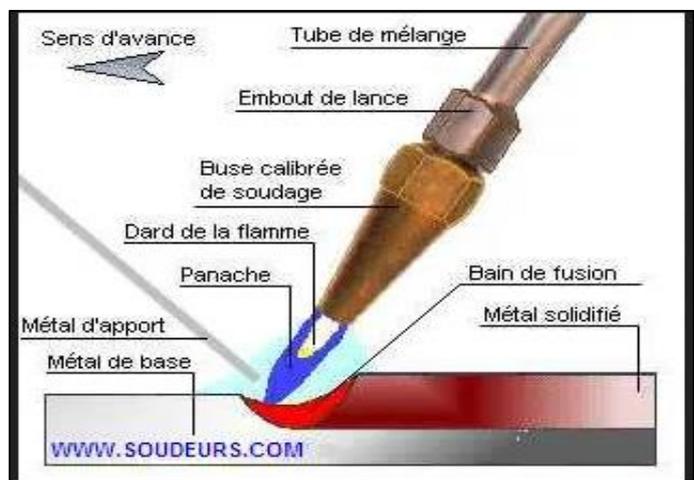


Figure (1.3) soudage chimique (29)

1.3.2 Energie chimique

- Soudage à la flamme, spécifié par la nature de la flamme. Ex. :

- Soudage oxyacéthylinique.

Figure (1.3).

- Soudage par réaction exothermique. Ex. :
 - Aluminothermie.
 - Soudage avec lampe à souder pour brasages tendres.

c. Energie mécanique

- Soudage à la forge.
- Soudage par ultrasons.
- Soudage par friction. **Figure (1.4)**
- Soudage par pression.

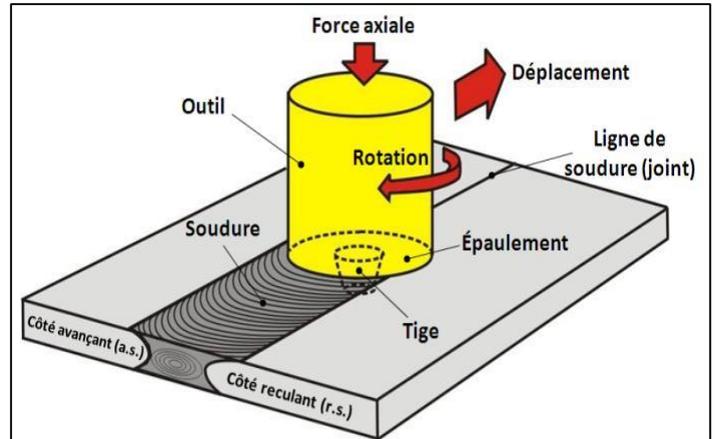


Figure (1.4) soudage par friction malaxage (30)

d. Energie focalisée

- Soudage au rayon laser. **Figure (1.5)**
- Soudage par bombardement électronique sous vide.

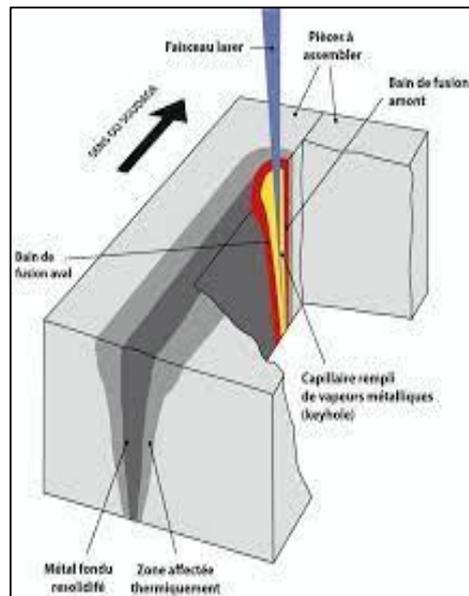


Figure (1.5) soudage par énergie focalisé (32)

Dans notre projet on s'intéresse au soudage mécanique, plus précisément au **soudage par friction**.

1.4 Types de soudage par friction

Il existe plusieurs types de soudage par friction, chacun avec ses propres caractéristiques et applications. Voici quelques exemples : (2)

1.4.1 Soudage par friction linéaire (FSW) :

Ce type de soudage par friction est utilisé pour souder des pièces linéaires. Il implique l'utilisation d'un outil de soudage cylindrique qui tourne et se déplace le long de la ligne de soudure, générant de la chaleur par friction entre l'outil et les pièces à souder **Figure (1.6)**. Le matériau se plastifie et se mélange pour former une soudure solide. (2)

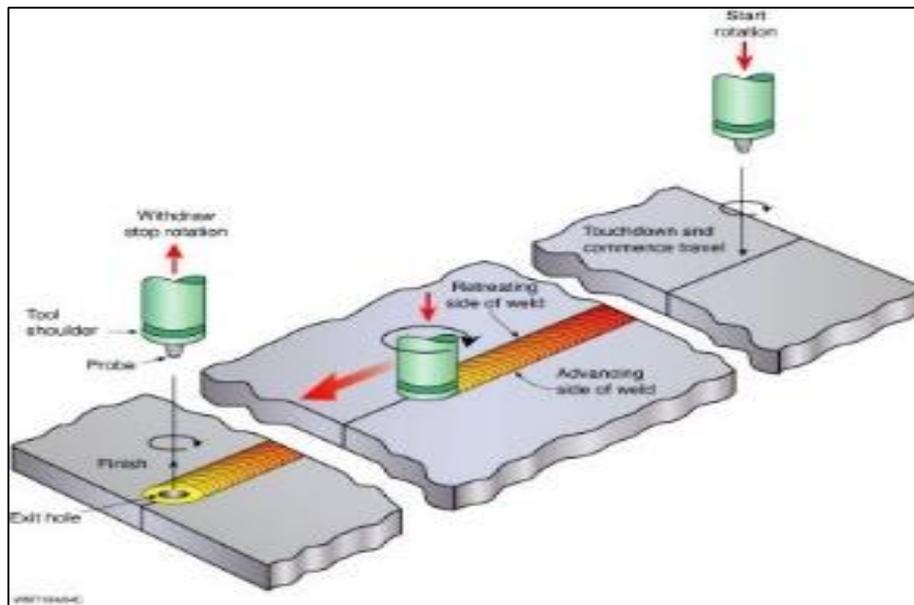


Figure (1.6) soudage FSW (31)

1.4.2 Soudage par friction par point (FSSW) :

Ce type de soudage par friction est utilisé pour souder des pièces à l'aide d'un outil de soudage cylindrique qui génère de la chaleur par friction à un seul point de contact **Figure (1.7)**. Le matériau est alors agité pour produire une soudure solide. (2)

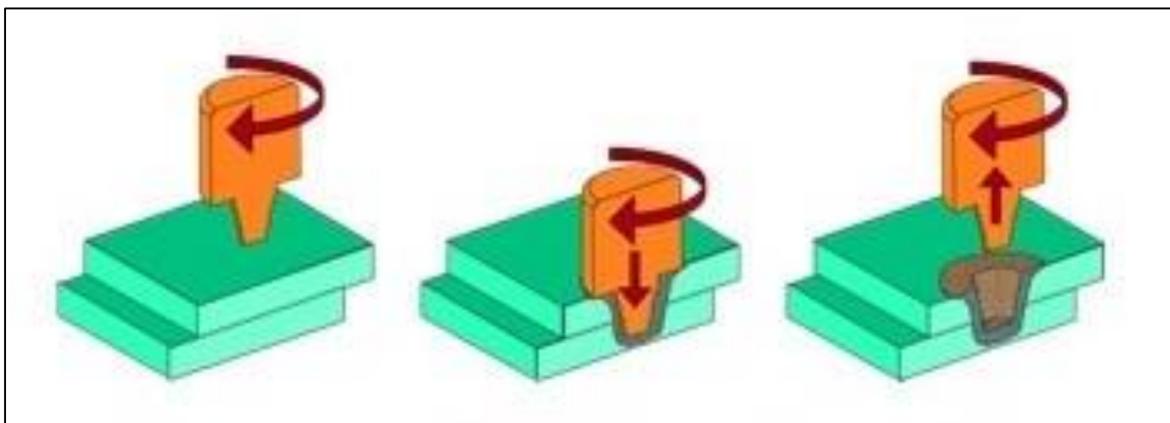


Figure (1.7) soudage FSSW (33)

1.4.3 Soudage par friction orbitale (OFW) :

Ce type de soudage par friction est utilisé pour souder des pièces cylindriques, telles que des tuyaux ou des tubes. L'outil de soudage est positionné sur le côté de la pièce et tourne en cercles autour de la circonférence, générant de la chaleur par friction **Figure (1.8)**. Le matériau est plastifié et agité pour former une soudure solide. (2)

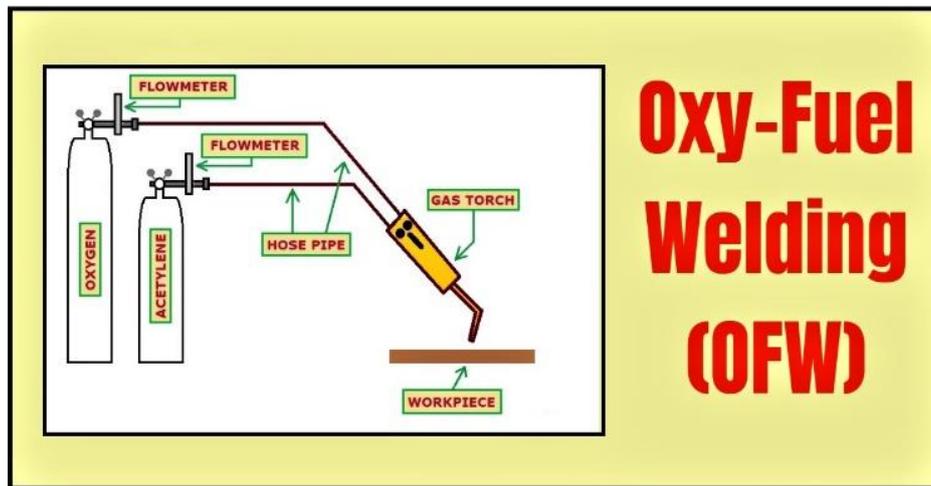


Figure (1.8) soudage OFW (34)

1.4.4 Soudage par friction rotative (FRW) :

Ce type de soudage par friction est utilisé pour souder des pièces circulaires, telles que des disques ou des anneaux. Il implique l'utilisation d'un outil de soudage rotatif qui tourne et se déplace le long de la circonférence de la pièce, générant de la chaleur par friction **Figure (1.9)**. Le matériau est plastifié et agité pour former une soudure solide. (2)

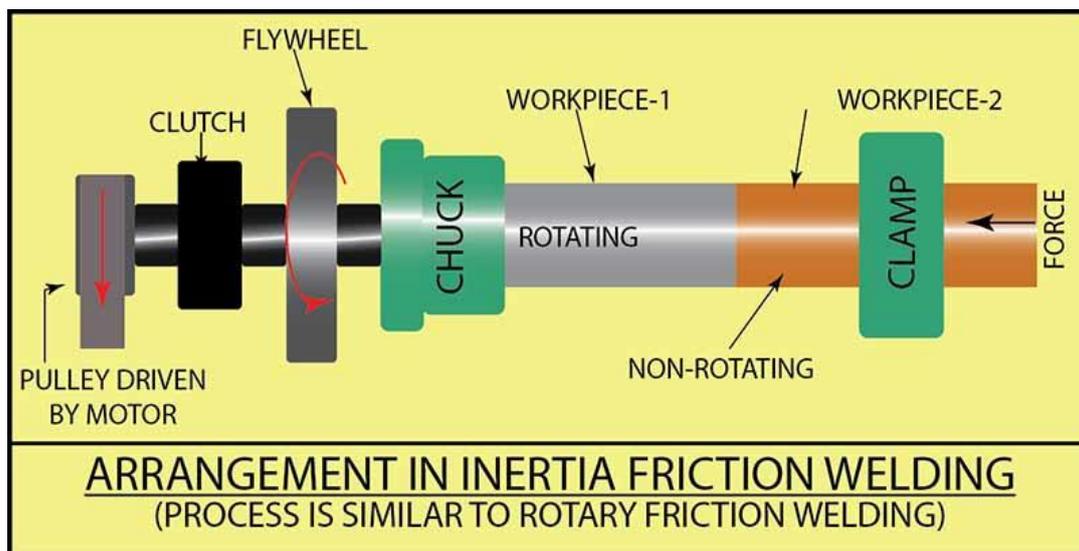


Figure (1.9) soudage FRW

1.4.5 Soudage par friction remplissage par point (RFSSW) :

Ce type de soudage implique l'application d'une pression et d'une chaleur contrôlées à deux pièces de métal qui sont maintenues en contact l'une avec l'autre. La chaleur est générée en faisant tourner une broche en tungstène à grande vitesse sur la surface de la pièce, créant ainsi une friction entre les deux pièces qui les amène à se ramollir et à se mélanger comme montrer sur la **Figure (1.10)**. (2)

En somme, chaque type de soudage par friction a ses propres avantages et applications spécifiques. Ils sont largement utilisés dans de nombreux domaines, notamment l'automobile, l'aéronautique, la construction navale, l'industrie pétrolière et gazière, et la fabrication de structures métalliques légères. (2)

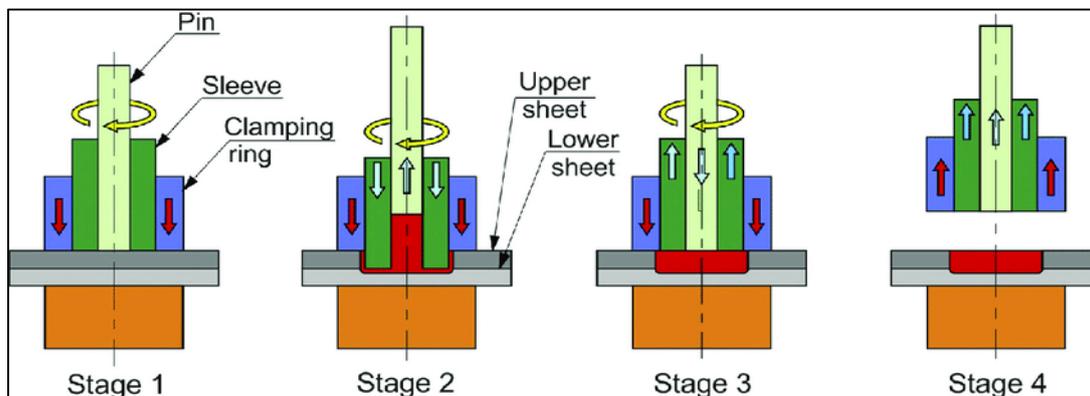


Figure (1.10) soudage RFSSW (35)

1.5 Généralités sur le soudage par friction malaxage FSW

Le soudage par Friction Malaxage est un procédé de soudage à l'état solide et sans ajout de métal d'apport. Il présente de nombreux avantages pour des applications mettant en œuvre des matériaux réputés difficilement soudables. La chaleur générée par le frottement de l'épaulement de l'outil provoque un ramollissement local qui permet le travail de la matière **Figure (1.11)**. A l'issue de la phase de préchauffage, l'outil en rotation se déplace le long du joint à une vitesse définie afin de réaliser la soudure. De nombreuses configurations de soudage sont possibles avec le procédé FSW : soudage bout à bout, soudage en recouvrement, soudage en T, soudage en angle extérieur, soudage par point. (3)

Aujourd'hui, la maturité technique du procédé est telle que les principaux industriels d'aviation et d'aéronautique commencent à l'utiliser en production. C'est le cas notamment du fuselage et des ailes de l'Eclipse 500 soudés par FSW (alliage 20/24). 70% des rivets ont été supprimés et la durée de vie initiale de cet appareil a été doublée. De même, la robotisation des

assemblages se poursuit chez Dassault, tant sur les voilures que sur les fuselages, avec notamment la mise en œuvre de ce procédé sur les revêtements du Falcon 5X. (3)

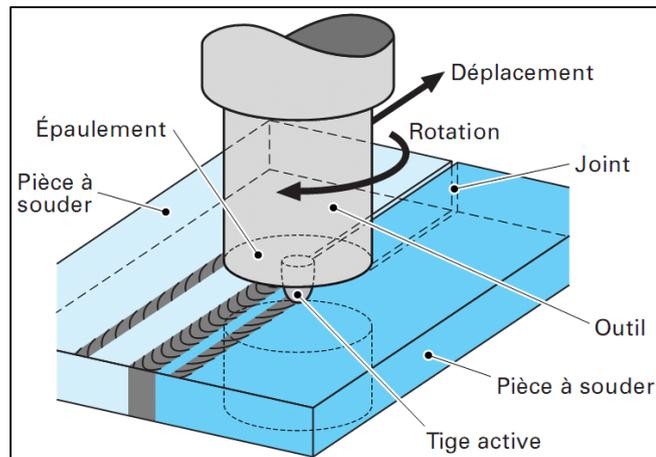


Figure (1.11) soudage par friction malaxage (36)

1.6 Généralités sur le soudage par friction malaxage par point FSSW

Le soudage par friction malaxage par point (FSSW) est un procédé dérivé du procédé FSW. Il est souvent utilisé pour les alliages d'aluminium, mais il peut également être utilisé pour d'autres matériaux comme le cuivre, le titane et les aciers spéciaux. (2)

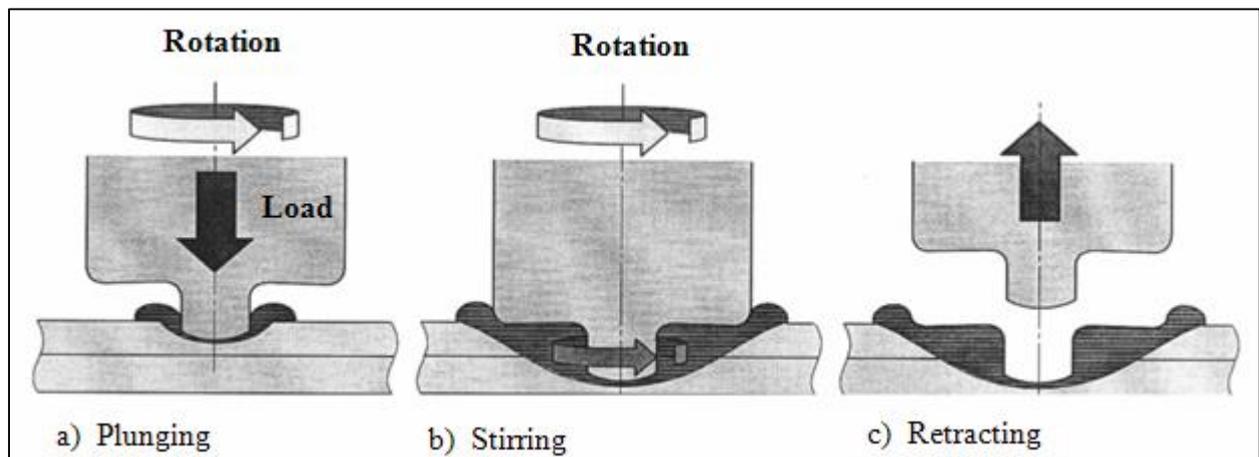


Figure (1.12) déroulement de la soudure FSSW

La soudure FSSW implique l'utilisation d'un outil de soudage en forme de broche cylindrique qui tourne à grande vitesse et applique une force axiale sur les matériaux à souder **Figure (1.12)**. La chaleur est générée par friction entre l'outil et les matériaux, qui sont agités pour former une soudure à l'état solide. (2)

Le FSSW est souvent utilisé pour joindre des matériaux de faible épaisseur. Les principales applications comprennent l'industrie aéronautique, la construction automobile, les produits électroniques et les industries du transport. (2)

Les avantages du FSSW incluent une faible déformation des matériaux, une haute qualité de soudure et une production rapide. En outre, il peut être automatisé pour des applications à grande échelle, offrant des économies de coûts et des gains de productivité. (2)

1.6.1 Le développement du processus

Friction stir spot welding (FSSW) a été développé pour remplacer le soudage électrique par points (RSW) et le rivetage auto-perçant dans l'industrie automobile. Le principe du FSSW est similaire à celui du soudage par friction linéaire (FSW), mais le mécanisme d'assemblage du FSSW conventionnel est plutôt compliqué car le temps de soudage lui-même est plus court. Cela contraint toute la dynamique du processus aux étapes transitoires de la plongée de l'outil, de la période d'arrêt (lorsque le mélange se produit) et de la rétraction de l'outil. Sakano (2001) a signalé pour la première fois le FSSW conventionnel, qui est utilisé pour les panneaux de porte en aluminium depuis 2003, et pour joindre des dispositifs de retenue de boulons en aluminium à en acier dans un couvercle de coffre. Badarinarayan et al. (2007) ont constaté que l'utilisation de FSSW conventionnels entraînait des économies d'énergie d'environ 90 % et une réduction d'investissement en capital d'environ 40 % par rapport au RSW des alliages Al. Uematsu et al. (2008) ont affirmé que l'un des plus grands inconvénients du FSSW conventionnel est le trou de serrure laissé après le processus de soudage. Le trou de soudure entraîne une réduction de la zone de liaison effective et de la résistance de la soudure, et fournit ainsi une concentration de contraintes et un point d'initiation de corrosion potentiel puisque la peinture de carrosserie peut ne pas recouvrir complètement le trou de soudure. Selon Tozaki et al. (2007) et Shen et al. (2013a), une pénétration de l'épaule de l'outil de 0,1 à 0,3 mm était couramment appliquée pour garantir la force axiale pour la formation de la soudure, mais une telle pénétration pourrait entraîner un amincissement de la feuille supérieure **Figure (1.13)**. De plus, Shen et al. (2013a) ont signalé que la pénétration de la goupille d'outil dans la feuille inférieure peut entraîner un accrochage à l'interface, ce qui diminue la région collée effective et l'intégrité des soudures par points. (4)

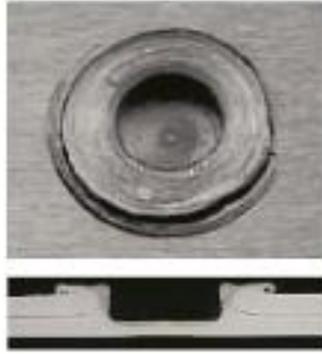


Figure (1.13) trou de soudure du a la soudure FSSW (4)

1.7 Introduction au soudage par remplissage par friction malaxage par point (RFSSW)

Comme mentionné ci-dessus, la présence d'un trou de soudure, l'amincissement de la feuille supérieure et la formation de caractéristiques d'accrochage sont les trois problèmes les plus critiques dans les FSSW conventionnels. Pour surmonter ces inconvénients, Schilling et al (2004) ont proposé de recharger le FSSW pour obtenir des résistances de joint plus élevées par rapport au FSSW conventionnel en augmentant la surface de soudure effective. Ce qui nous a conduits à la nouvelle technique de soudage **RFSSW**. (4)

En raison de l'imperfectionnement de la finition du soudage FSSW, le **RFSSW (Refill Friction Stir Spot Welding)** a été développée pour la première fois en 1999, qui consiste à faire un soudage par friction malaxage par point et assurer au même temps la finition de la surface de la pièce après le soudage en faisant le remplissage de la matière dans l'empreinte faite par l'outil de soudage. (4)

Refill Friction Stir Spot Welding (RFSSW) est un processus d'assemblage par points à l'état solide dans lequel un ensemble d'outils cylindriques, comprenant trois composants imbriqués, est agité et articulé de telle sorte qu'une section transversale de matériau plastifié est tirée puis éjectée, similaire au fluide dans une seringue **Figure (1.14)**. Formant un joint affleurant, semblable à un rivet entre deux feuilles d'aluminium dans une configuration à recouvrement. Contrairement aux méthodes d'assemblage par points traditionnelles FSSW, le RFSSW est capable d'assembler des pièces constituées de jauges minces, d'alliages différents, d'épaisseurs différentes et même de matériaux traditionnellement considérés comme non soudables. Par exemple, en comparant les joints RFSSW au rivet aérospace ; les joints RFSSW ont atteint des résistances au cisaillement de recouvrement de 6,329 kN, tandis que les rivets comparables n'ont montré que 2,651 kN en cisaillement de recouvrement. (4)

Le développement de **RFSSW** a été dirigé par de nombreux auteurs ; un objectif commun du développement a été de caractériser les effets des paramètres de processus tels que la vitesse de la broche, la profondeur de plongée ou le temps d'assemblage sur la qualité de l'assemblage. Par exemple, Zhou et al. ont utilisé une méthode de surface de réponse pour évaluer l'effet de la vitesse de rotation de l'outil, de la profondeur de plongée de l'épaulement et de la vitesse de plongée de l'épaulement sur la résistance au cisaillement du recouvrement. Ils ont constaté que la profondeur de plongée avait le plus grand effet sur la qualité des joints et ont utilisé leur modèle mathématique pour trouver des paramètres capables de produire des joints avec un maximum de 7,94 kN dans des feuilles de 2 mm de AA661-T6. Plusieurs auteurs ont caractérisé la structure métallographique et les propriétés mécaniques des joints RFSSW, et d'autres ont montré comment le procédé peut être utilisé dans des applications automobiles ou aérospatiales.

(4)

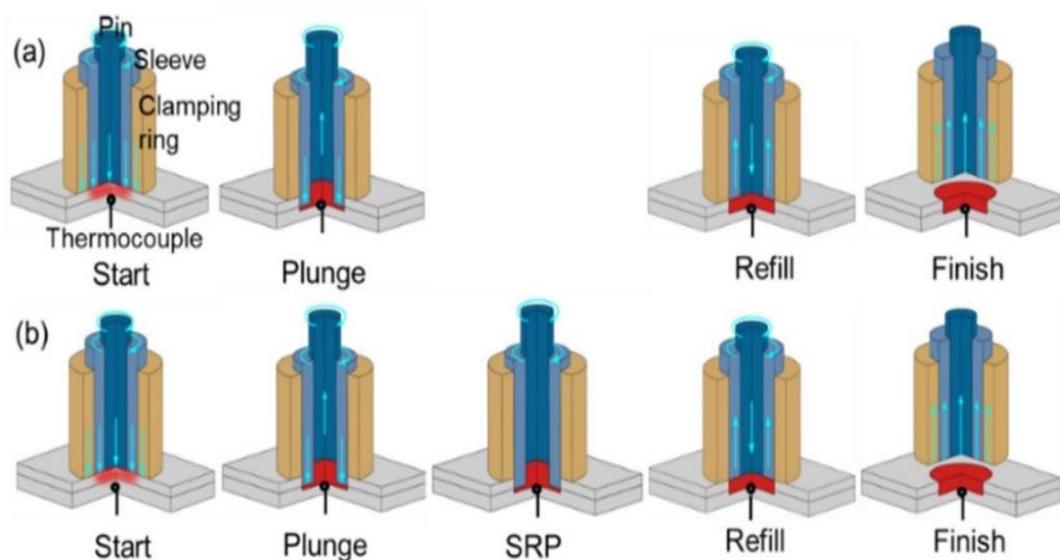


Figure (1.14) démonstration du processus RFSSW

1.7.1 Comparaison entre l'état de surface FSSW et RFSSW

Le soudage par friction par point (**FSSW**) peut produire un état de surface rugueux en raison de la présence de l'empreinte de soudure causé par l'outil de soudage sur la zone soudée **Figure (1.15)**. Cependant, la rugosité de surface peut être réduite en utilisant des outils spéciaux et en ajustant les paramètres de soudage tels que la vitesse de rotation de l'outil, la pression de soudage et le taux d'avance, Ainsi que le remplissage manuel qui doit être réalisé manuellement après la soudure. (2)

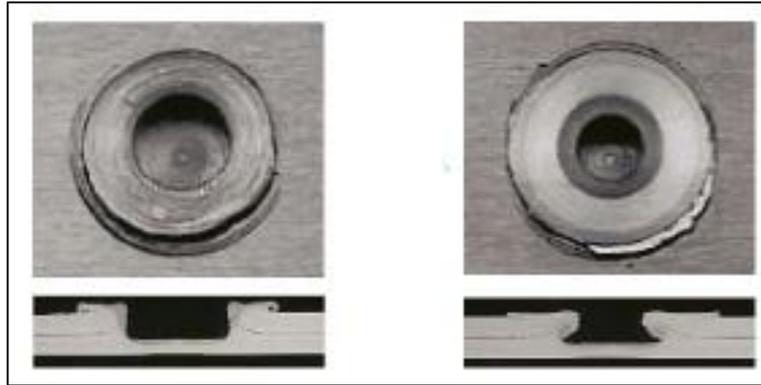


Figure (1.15) état de surface d'une soudure **FSSW** (37)

Le soudage par friction remplissage par point (**RFSSW**) en revanche, produit généralement un état de surface plus uniforme en raison de l'effet du remplissage de la zone de soudage **Figure (1.16)**. Comme le RFSSW utilise des outils de soudage stationnaires plutôt que des outils rotatifs, il produit moins défauts d'empreinte et de déformations. Cela peut se traduire par une surface plus lisse et plus uniforme. (2)

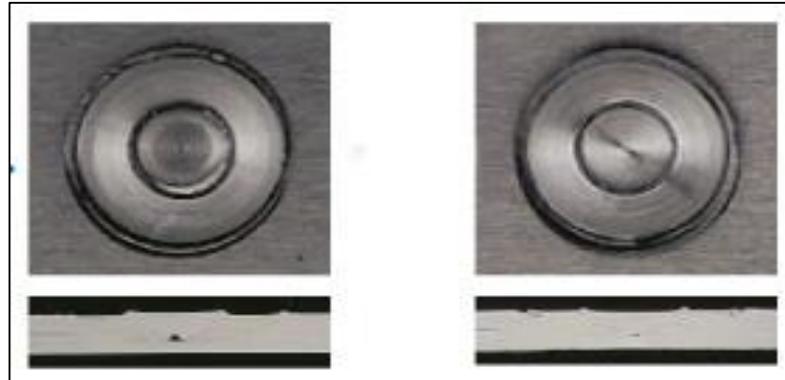


Figure (1.16) État de surface d'une soudure **RFSSW** (37)

En fin de compte, l'état de surface dépendra des paramètres de soudage, des caractéristiques des matériaux et des exigences de la pièce soudée, mais surtout de la technologie de l'outil de soudage. Les deux techniques offrent des avantages uniques et semblable sur le plan technique mais différentes sur le plan esthétique. (2)

1.7.2 L'outil du RFSSW

Quelle que soit la machine RFSSW utilisée, le temps nécessaire pour créer une soudure RFSSW dépend des paramètres de conception de la soudure. Dans le procédé RFSSW, une combinaison de trois outils concentriques est utilisée pour mélanger localement et ainsi joindre

deux feuilles de matériau dans une configuration de recouvrement ou bien de remplissage. Un ensemble d'outils RFSSW standard comprend un pion cylindrique (pin) emboîtée à l'intérieur d'un épaulement cylindrique creux (sleeve) qui est lui-même emboîté à l'intérieur d'une cavité cylindrique creuse d'une bague de serrage (clamping ring) (**Figure 1.17**). Ces trois outils concentriques peuvent être articulés individuellement selon un même axe linéaire. Les joints RFSSW sont réalisés en une série d'étapes, au cours desquelles différents composants de cet ensemble d'outils sont tournés et translatsés pour mélanger le matériau à assembler. (5)



Figure (1.17) Rendu 3D des outils utilisés dans le processus RFSSW (38)

1.7.3 Le déroulement du processus du procédé RFSSW

Le processus est généralement décrit en quatre étapes décrit comme suit sur la **Figure (1.18)** ; cependant, des étapes supplémentaires sont parfois ajoutées et les descriptions spécifiques des étapes peuvent varier. (5)

Dans la première étape (**stage 1**), l'outil en contact avec la surface supérieure de la tôle à souder fait chauffer le matériau par une rotation à grande vitesse en créant un frottement élevé, C'est ce qu'on appelle une étape de préchauffage. La force de maintien est assuré par la bague de serrage (clamping ring). (5)

Pendant l'étape de plongée (**stage 2**), pion et l'épaulement qui sont mis en rotation avec frottement commencent la procédure de soudage par un changement de position. L'épaulement effectue une plongée dans la tôle à souder tandis que la sonde fait une translation vers le haut dans la direction opposée faisant un effet d'aspiration du matériau qui se trouve dans un état pâteux après un échauffement intense de la matière, similaire au fluide dans une seringue. (5)

Par la suite, lors de la phase de remplissage (stage 3), la sonde et l'épaulement sont ramenés à leurs positions initiales et le matériau précédemment étiré est repoussé dans la zone de soudure, créant un joint affleurant de type RFSSW. (5)

La dernière étape (stage 4), les deux outils opératoires se trouvent dans la même position en effectuant un frottement en rotation comme au début du procédé pour bien maintenir la matière remplie dans le joint, et aussi d'assurer un bon état de surface après avoir effectué la soudure tout en assurant la bonne malaxation de la matière des deux tôles. (5)

Une étape supplémentaire est souvent ajoutée après la fin de l'étape de remplissage dans laquelle la sonde et l'épaulement sont articulés de sorte que les surfaces inférieures de la sonde et de l'épaulement soient alignées au-dessus de la surface de soudure, puis rapidement plongées sur une distance relativement petite dans la soudure. Cette courte plongée secondaire de l'épaulement et de la sonde sert à réduire les défauts de soudure et à améliorer la résistance et la qualité globales du joint malgré une légère réduction de l'épaisseur du matériau. (5)

Bien que les étapes du processus de RFSSW puissent varier, ces cinématiques d'outils décrites définissent les éléments de conception de base d'un joint RFSSW. Chaque étape d'une soudure peut être composée individuellement, le mouvement de l'outil étant déterminé par des paramètres tels que les vitesses d'alimentation linéaires de l'outil, les vitesses de rotation de l'outil et par les distances auxquelles les outils sont plongés ou rétractés du matériau. Une compréhension de la cinématique de l'outil dans le processus RFSSW est fondamentale pour comprendre le temps de cycle de soudage pour le développement de soudures ayant des temps de cycle plus rapides. La durée totale de toutes les étapes de soudage à partir du moment où l'outil touche la tôle supérieure jusqu'à ce que les outils cessent le contact avec le matériau de soudure doit être considérée comme le temps de cycle du procédé RFSSW. Pour un fabricant utilisant un matériau donné, une conception de soudure optimale contiendra l'ensemble des paramètres qui produisent des joints avec une qualité acceptable dans un temps acceptable. (5)

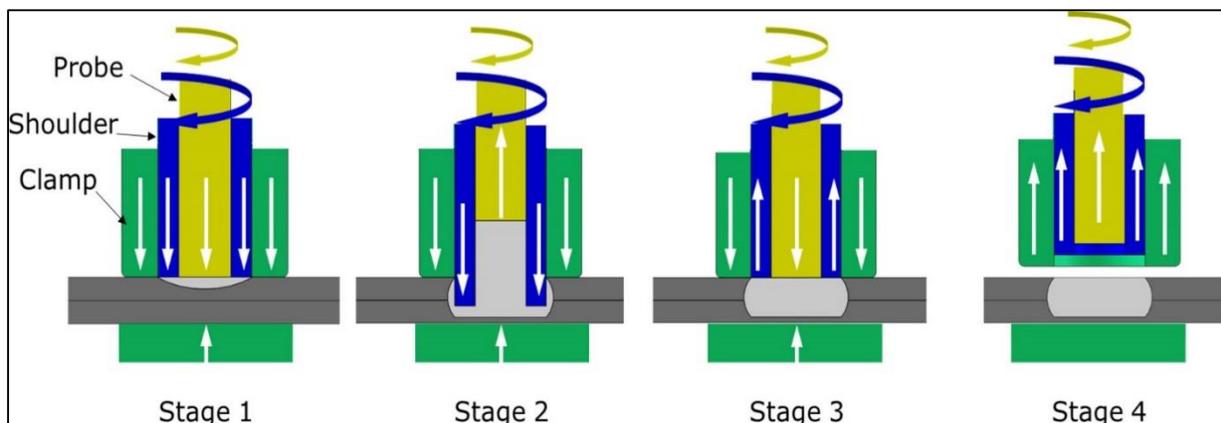


Figure (1.18) Une illustration schématique du mouvement de l'outil. (39)

1.8 La structure de la machine

La machine RFSSW se présente généralement sous forme d'un robot **Figure (1.20)** constitué d'un nombre de mécanismes, la machine contient un seul axe de translation suivant l'axe Y (1 degré de liberté). Parmi les fabricants les plus connus sur le marché, le fabricant américain **bond technologies** **Figure (1.19)** qui se présente comme le leader de ce type de machine. Fabricant des modèles de hautes gammes et de haute performance. (6)

Les figures suivantes les deux types de machine RFSSW :



Figure (1.19) Machine RFSSW sous forme fixe du fabricant américain **BOND TECHNOLOGIE**. (6)



Figure (1.20) La machine RFSSW du type robot d'un fabricant chinois. (40)

1.9 Mécanisme de la machine

Le mécanisme de la machine de soudage par point de friction-malaxage (RFSSW) est généralement composé de plusieurs éléments clés, notamment : (2)

La tête de soudage :

La tête de soudage est l'élément principal de la machine RFSSW. Elle est composée d'un outil en rotation et d'une matrice stationnaire qui maintient les pièces à souder en place pendant le soudage. L'outil en rotation génère la chaleur nécessaire pour le soudage et malaxe les matériaux pour créer la soudure. Les vis sans fin jouent un rôle principal dans la translation inversée du **pin** et du **sleeve** (les outils qui font la rotation et exécute le soudage).

Le système de contrôle de l'outil :

Le système de contrôle de l'outil est responsable de régler la vitesse de rotation de l'outil et la pression de soudage pour atteindre les paramètres de soudage souhaités. Il peut être contrôlé manuellement ou automatiquement en fonction des besoins de l'application. Il assure aussi les réglages des courses de certains organes en termes de sécurité et de précaution contre le dépassement des courses.

Le système de maintien de la pièce :

ce système maintient les pièces à souder en place pendant le soudage. Il est conçu pour fournir un support solide pour les pièces tout en permettant à la tête de soudage de les atteindre facilement. Le système de maintien de la pièce peut être ajusté pour s'adapter à différentes tailles et formes de pièces.

En résumé, le mécanisme d'une machine RFSSW est conçu pour fournir un support solide pour les pièces à souder tout en permettant à la tête de soudage de créer la soudure. Il est équipé de systèmes de contrôle de l'outil, de maintien de la pièce et de refroidissement pour assurer des performances de soudage optimales.

1.10 Les paramètres de soudage RFSSW

Les paramètres de soudage RFSSW peuvent varier en fonction des matériaux à souder, de l'équipement utilisé et des exigences de la pièce finie, voici paramètres : (2)

Vitesse de rotation :

La vitesse de rotation est la vitesse à laquelle la broche de soudage tourne autour de l'axe de la pièce. Elle dépend des matériaux à souder et des exigences de la pièce finie. Les vitesses de rotation courantes sont de l'ordre de 1000 à 4000 tr/min.

Force axiale :

La force axiale est la force exercée sur la pièce pour la maintenir en place pendant le soudage. Elle dépend des matériaux à souder, de l'équipement utilisé et des exigences de la pièce finie. Les forces axiales courantes sont de l'ordre de 5 à 20 kN.

Temps de soudage :

Le temps de soudage dépend de la taille de la pièce, de la vitesse de rotation et de la force axiale. Les temps de soudage courants sont de l'ordre de 1 à 5 minutes.

La plongé de l'outils :

la plongé de l'outils peut varier selon l'épaisseur de la tôle à souder, sa peut aller jusqu'à 10mm de profondeur, c'est aussi selon le matériau et sa résistance.

Ces paramètres peuvent varier en fonction des spécifications de la pièce et des matériaux à souder. Il est important de suivre les recommandations du fabricant de l'équipement et de procéder à des essais préliminaires pour déterminer les paramètres optimaux pour chaque application de soudage RFSSW.

1.11 Les avantages du RFSSW

Haute résistance et ductilité :

RFSSW crée un joint de soudure ductile à haute résistance avec une zone affectée par la chaleur (HAZ) réduite. Il en résulte des propriétés mécaniques améliorées, notamment une résistance élevée à la fatigue et une résistance à la fissuration. (6)

Distorsion réduite :

RFSSW produit moins de distorsion que les techniques de soudage traditionnelles, telles que le soudage à l'arc ou le soudage par résistance. En effet, RFSSW crée une distribution de chaleur plus uniforme sur la zone soudée. (6)

Productivité accrue :

RFSSW est un processus rapide qui peut produire des soudures de haute qualité en peu de temps. Cela augmente la productivité et réduit les coûts de production. (6)

Consommation d'énergie réduite :

RFSSW consomme moins d'énergie que les techniques de soudage traditionnelles, telles que le soudage à l'arc ou le soudage par résistance. En effet, RFSSW ne nécessite pas une grande quantité de chaleur pour créer une soudure. (6)

Respectueux envers l'environnement :

RFSSW ne produit ni fumée ni gaz, ce qui en fait un procédé de soudage respectueux envers l'environnement. Cela élimine également le besoin de systèmes de ventilation et réduit le risque d'exposition des travailleurs à des fumées de soudage nocives. (6)

Dans l'ensemble, RFSSW est une technique de soudage prometteuse qui offre plusieurs avantages par rapport aux méthodes de soudage traditionnelles, ce qui en fait un choix populaire pour de nombreuses applications dans diverses industries. (6)

1.12 L'impact sur l'industrie

Le soudage RFSSW a un impact significatif sur l'industrie pour plusieurs raisons : (2)

Amélioration de la qualité de la soudure :

La technologie RFSSW permet de réaliser des soudures solides à l'état solide avec une grande résistance mécanique et une absence de porosité et de fissures. Cela améliore considérablement la qualité de la soudure et la durabilité de la pièce finale.

Réduction des coûts de production :

Le soudage RFSSW est un procédé automatisé et rapide, ce qui permet de réduire les coûts de production et d'augmenter l'efficacité de la chaîne de production. La réduction du temps et de l'énergie nécessaire pour réaliser la soudure, ainsi que la réduction des pertes de matières, permettent également de réduire les coûts de production.

Utilisation de matériaux plus légers :

Le soudage RFSSW permet de souder des matériaux légers et complexes, tels que l'aluminium et le titane, qui sont souvent difficiles à souder avec des procédés conventionnels. Cela permet d'augmenter la performance des pièces finales tout en réduisant leur poids.

Suppression de l'empreinte de soudage FSSW :

Grâce à la technique de remplissage apportée par le soudage RFSSW, l'empreinte causée par l'outil de soudage sera éliminée totalement, ce qui rend l'état de surface de la pièce soudeuse parfaite, et qui peut être validée sans rectification. Ce qui nous conduit à des gains sur le plan productif et économique.

Le soudage RFSSW est une technologie prometteuse qui a un impact significatif sur l'industrie en améliorant la qualité de la soudure, en réduisant les coûts de production, en permettant l'utilisation de matériaux plus légers et en réduisant l'empreinte carbone. Ainsi, le RFSSW a porté ses bienfaits au domaine aéronautique et aérospatial sur plusieurs points tel que :

L'utilisation de matériaux légers :

Les industries aéronautique et spatiale ont souvent besoin d'utiliser des matériaux légers tels que l'aluminium, le magnésium, le titane et leurs alliages pour réduire le poids des avions et des vaisseaux spatiaux. Le soudage RFSSW permet de souder ces matériaux légers avec

précision et fiabilité, en évitant les problèmes de déformation et de fissuration, pour produire des structures plus légères et plus résistantes.

La possibilité de souder des pièces complexes :

Le soudage RFSSW peut souder des pièces complexes avec des géométries difficiles à souder par d'autres méthodes de soudage. Cela permet une plus grande liberté de conception et la possibilité de produire des structures plus complexes avec une grande précision.

Le soudage RFSSW a un impact significatif sur le domaine aéronautique et spatial en permettant l'utilisation de matériaux légers, en améliorant la qualité de la soudure, en réduisant les coûts de production et en permettant la soudure de pièces complexes. Ces avantages sont particulièrement importants dans le domaine de l'aéronautique et de l'aérospatiale, où la fiabilité, la sécurité et la légèreté sont des caractéristiques essentielles pour les structures et les composants.

Chapitre II
Organes machine, étude et calculs.

2.1 Introduction

La structure de notre projet peut être réalisée en plusieurs parties :

Partie 1 identification de tous les organes qui nous servent dans la réalisation et la conception de notre machine. Et présenter les calculs qui nous ont conduit à cette réalisation.

Partie 2 conception d'une machine complète qui réalise notre procédé avec logiciel **SolidWorks**.

Partie 3 conception d'un outil RFSSW compatible avec une fraiseuse avec logiciel **SolidWorks**. Et présenter les étapes de sa réalisation.

Partie 4 essais de soudure sur une fraiseuse et présentation des résultats.

Partie 5 conclusion.

Pour **la partie 1**, nous avons utilisé des catalogues et des sites de marques spécialisé dans la production des différents composants que nous venant de mettre dans ce projet.

Pour **les parties 2 et 3**, on a utilisé le logiciel de conception **SolidWorks** qui se présente comme le logiciel numéro 1 en termes des dessins, des animations 3D et des raccourcis dans lesquelles il dispose. On l'a aussi trouvé très utile concernant la partie étude, car il nous a permis de connaître quelque coefficient et quelque donnée qu'on avait besoin pour terminer notre étude en plus de l'étude RDM.

Pour **la partie 4**, on a demandé à une entreprise professionnelle dans le domaine de la fabrication de nous accueillir et nous permettre de réaliser nos pièces en utilisant ses machines. Cette dernière nous a donné l'accès de travaillé au sein de son atelier et nous a permis d'utiliser des différentes machines comme le tour mécanique et la fraiseuse mécanique.

2.2 Plan de travail et objectifs

Notre mémoire de fin d'étude est une partie d'un projet de 3 ans présenté par le **centre de recherches en technologies industrielles (CRTI)**, notre objectif principal est de réaliser un outil standardisé adapté aux fraiseuses mécaniques et qui réalise la soudure RFSSW. Notre objectif secondaire est de trouver un mécanisme qui réalise ce type de soudure appliqué sur une machine spécialisée que nous abordant son concept.

2.2.1 Objectifs mécaniques et techniques

- Assurer la soudure sur fraiseuse sans avoir de cassure ou bien un dérèglement de l'outil.
- Dimensions de l'outil par rapport à une fraiseuse standard.
- Résistance de la tête de l'outils a la friction et la chaleur excessif.
- Translation du système porteur d'organes de la machine selon l'axe des Z.
- Assurer la résistance du mécanisme aborder à la charge axiale appliqué sur la tête de l'outils
- Assurer la translation des deux outils qui réalise la soudure.
- Diminuer le poids de la machine

2.2.2 Objectifs économiques

- Diminuer le cout de production de la machine et de l'outil.
- Le bon choix des matériaux des pièces a usiné tout en étant économique et optimale.

2.2.3 Objectifs opérationnels

- Facilité le montage et démontage de la machine en cas de panne ou de changement de pièces.
- Facilité le montage et le démontage de l'outil sur fraiseuse.
- Facilité la programmation de la machine par l'opérateur.

2.3 Présentation des organes machine

2.3.1 Moteurs

2.3.1.1 Moteurs pas à pas

Le moteur pas à pas est un moteur qui tourne en fonction d'impulsions électriques reçues dans ses bobinages. L'angle de rotation minimal entre deux modifications des impulsions électriques s'appelle un pas. On caractérise un moteur par le nombre de pas par tour (c'est à dire pour 360°). Les valeurs courantes sont 48, 100 ou 200 pas par tour. (7)



Figure (2.1)
moteur pas à pas

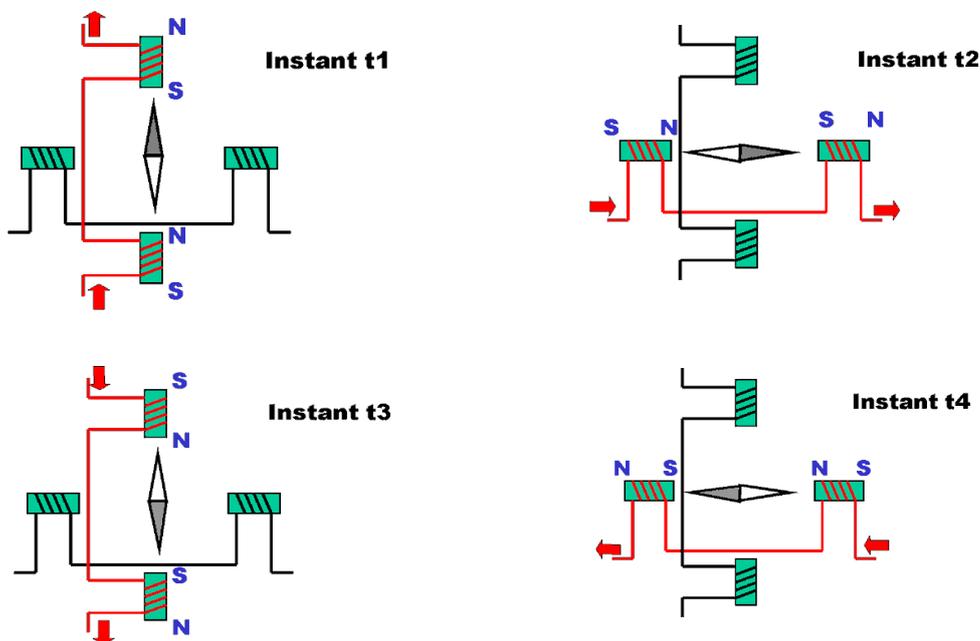


Figure (2.2) Analyse d'un moteur

Le passage d'un courant, successivement dans chaque bobinage, fait tourner l'aimant **Figure (2.2)**.

Les impulsions électriques sont du type tout ou rien c'est à dire passage de courant ou pas de passage de courant. Les tensions d'utilisation des moteurs sont de 3,3V à 48V continues. La consommation est de 0,2 A à 1,5 A. Le couple du moteur est de l'ordre de 5 N. Cm à 64 N. Cm

L'électronique actuelle permet de piloter la chronologie de ces impulsions avec beaucoup de précision et d'en comptabiliser le nombre.

Le moteur pas à pas et son circuit de commande permettent donc la rotation d'un axe avec beaucoup de précision en vitesse et en amplitude.

2.3.1.2 Les moteurs à induction ou asynchrones

Ils utilisent l'induction électromagnétique pour transformer l'énergie électrique en énergie mécanique. C'est le type de moteur le plus souvent utilisé dans l'industrie, car ils présentent une conception robuste, des prix moins élevés et ils sont faciles à entretenir. Sur la base de la construction du rotor, ces moteurs sont classés en deux types, à savoir à cage d'écureuil et à rotor bobiné. (8)



Figure (2.3) moteur asynchrone

2.3.1.3 Les servomoteurs

Également appelés servo, les servomoteurs sont des dispositifs d'entraînement permettant de contrôler avec précision la vitesse, le couple et la position. Ils offrent de meilleures performances et une plus grande précision que les entraînements utilisant des convertisseurs de fréquence, car ceux-ci n'offrent pas de contrôle de position et ne sont pas très efficaces à basse vitesse. (9)



Figure (2.4) des servomoteurs de différentes tailles

Un servomoteur est un moteur qui contient un codeur à l'intérieur, appelé décodeur, qui convertit le mouvement mécanique (tours d'arbre) en impulsions numériques interprétées par un contrôleur de mouvement. Ils utilisent également un pilote, qui forment ensemble un circuit pour commander la position, le couple et la vitesse.

2.3.2 Système de guidage

2.3.2.1 Guide linéaire

Si on a besoin d'un moyen rapide et facile de faciliter un profil de mouvement linéaire, le guidage linéaire est un excellent choix, surtout si on a pas d'exigences élevées en matière de tolérance ou de précision. Habituellement, deux arbres sont utilisés pour supporter un chariot mobile avec des douilles linéaires qui coulisent le long des arbres. Les arbres doivent être dimensionnés pour supporter la charge dans une tolérance de déviation acceptable, trop de poids et les arbres se plieront, provoquant une erreur de positionnement. L'interface bague-arbre est également



Figure (2.5) Guide linéaire

relativement lâche, ce qui peut entraîner des problèmes de précision et de répétabilité. Cependant, ces erreurs sont généralement faibles, de l'ordre de quelques millièmes de pouce. La configuration et la maintenance sont également très peu coûteuses par rapport aux autres options. (10)

Avantages :

- Faible coût
- Facile à installer
- Facile à entretenir et à entretenir
- Faible frottement

Inconvénients

- Possibilité d'erreurs de positionnement
- Des vitesses élevées peuvent causer des problèmes

2.3.2.2 Vis à billes

Les vis à billes permettent de convertir un mouvement de rotation en mouvement linéaire. L'écrou en acier comprend plusieurs circuits de billes indépendants. Les billes ont une trajectoire hélicoïdale puis sont recyclées grâce à un insert de recirculation (pion ou tube). Dans le domaine des entraînements, il s'agit d'un des produits dont le rendement est le plus élevé (entre 85 et 95 %, contre 45 % pour les vis à filet trapézoïdal modèle B4). La vitesse de rotation maximale peut atteindre 3 000 tr/mn au niveau de l'écrou, mais il faut tenir compte du battement de la vis (vitesse critique à partir de laquelle, du fait de sa longueur, des vibrations se produisent) et des efforts supportés. La précision du pas est de 35 µm/300 mm. (11)



Figure (2.6) vis à billes

Avantages

- Précision de déplacement et de positionnement.
- Fonctionnement sans à-coups.
- Excellente répétabilité.
- Vitesse de déplacement élevée.
- Faible usure et durée de vie élevée.
- Puissance d'entraînement réduite.

Inconvénient

- Cout élevé
- Bruyant

2.3.2.3 Roulements

Les roulements soutiennent et guident, avec un frottement minimal, des éléments de machine en rotation ou oscillants, tels que des arbres, axes ou roues et transfèrent les charges entre les composants de la machine. Les roulements permettent une précision élevée et un faible frottement pour atteindre des vitesses de rotation élevées tout en réduisant le bruit, les échauffements, la consommation d'énergie et l'usure. Sauf produits spécifiques, leurs caractéristiques répondant à des normes nationales ou internationales qui permettent qu'ils soient produits en série. Les roulements sont ainsi des composants avec un bon rapport performances/prix, offrant une possibilité d'interchangeabilité d'une marque à l'autre. (12)



Figure (2.7) roulements mécaniques

Avantages

- Le coefficient de frottement du roulement faible
- Jeu radial du roulement faible, précision élevée.
- Largeur axiale du roulement est petite des composants normalisés très standardisés

Inconvénients

- La résistance aux chocs est faible
- Des vibrations et un bruit important
- Durée de vie réduite à grande vitesse et à forte charge

2.2.2.4 Coussinets

Les coussinets peuvent être d'une seule pièce ou en deux parties pour faciliter le montage. La matière employée est fonction de l'usage et du prix de revient. Économiques, souvent utilisés, les coussinets sont des bagues cylindriques, de forme tubulaire, avec ou sans collerette, interposés entre un arbre et son logement pour faciliter le mouvement de rotation.

Construits à partir de matériaux présentant de bonnes qualités (bronze, étain, plomb, graphite, Téflon, PTFE, polyamide), ils peuvent, suivant les variantes, être utilisés à sec ou avec lubrification.



Figure (2.8) coussinets mécaniques

Il existe de nombreuses familles aux dimensions normalisées et de nombreux produits dérivés : rondelles, rotules, bandes de frottement, pièces sur mesure **Figure (2.8)**. (13)

- Métallique : fonte douce (ou fonte grise) ou bronze phosphoreux, pour les faibles charges et vitesse réduite.
- Métallique antifriction : bronze ou fonte avec revêtement antifriction ;
- Régule, alliage de plomb, étain et/ou antimoine, utilisé surtout dans la grande série comme l'automobile (montage bielle-manivelle ou paliers d'arbre à cames), excellent rapport qualité-prix.
- Matière frittée, avec des poudres métalliques imprégnées de lubrifiant ou des céramiques. Permet d'obtenir des formes complexes et d'épaisseur réduite.
- Matière plastique : elle présente, par rapport au bronze, un faible coefficient de frottement, une meilleure résistance à l'usure, l'absence de grippage et une simplification de la lubrification qui peut même être réalisée avec de l'eau. Ces coussinets ont leur utilisation aussi bien dans les très petites mécaniques que dans les grosses applications telles que les paliers de laminoir ou les paliers d'arbre porte hélice qui travaillent dans l'eau.
- Bois : pour les coussinets en gaïac pour arbre d'hélice de bateaux, où il est lubrifié directement par l'eau de mer.
- Bois compressé : généralement pour des coussinets auto-graissés par injection d'huile dans la matière.
- Céramique composite à très forte résistance à l'abrasion.
- À film d'huile (lubrification hydrodynamique¹): pour les paliers de grands diamètres d'arbre où on veut réduire la température due au frottement, en lubrifiant avec un film d'huile total obtenu par la vitesse de rotation et des coussinets spécifiques (paliers Mitchell). Ils permettent des charges très élevées et une plus grande vitesse de rotation tout en réduisant les pertes d'énergie dues au frottement.

Le coussinet est pourvu de petites gorges où la vitesse de rotation vient « coincer » l'huile entre celui-ci et l'arbre, qui est automatiquement centré sur le palier.

Une application bien connue et très répandue est l'utilisation du palier à bain d'huile des turbocompresseurs qui équipent nos véhicules et supportent des vitesses et des températures très élevées. Dans l'aéronautique, ces paliers sont utilisés pour les moteurs qui peuvent avoir plus de 100 paliers de tous types et dont l'énergie totale consommée par frottement est inférieure à 1 % de l'énergie des moteurs.

2.3.3 Systèmes de transmission

2.3.3.1 Courroie

Les courroies sont des liens flexibles utilisés pour transmettre des puissances moyennes entre arbres parallèles ou non, séparés généralement par des distances d'entraxes importantes. Suivant le type de système envisagé, la courroie transmet les efforts tangentiels d'une manière conservative ou non, c.-à-d. en préservant ou non l'égalité des efforts périphériques Q . Ce transfert de puissance ne peut néanmoins s'opérer sans un effet d'adhérence efficace au contact des jantes. Une résistance suffisante au glissement d'ensemble n'apparaîtra dès lors qu'à la condition d'imposer une contrainte initiale de traction ou tension de pose dans les brins de la courroie. (14)

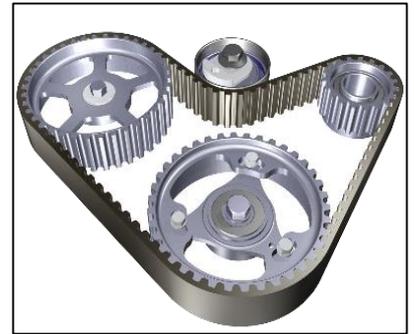


Figure (2.9) courroie de transmission

Avantages :

- Entraxe élevé
- Bon rendement
- Fonctionnement silencieux
- Construction et montage simples
- Entretien aisé et fonctionnement sans lubrification
- Prix de revient raisonnable
- Amortissement partiel des chocs
- Normalisation des dimensions des poulies et des largeurs des courroies
- Possibilité de créer une variation de vitesse par démontages utilisant des poulies étagées ou coniques.

Inconvénients :

- Encombrement important
- Risques d'accident plus importants que d'autres systèmes tels que les engrenages
- Charges radiales généralement élevées sur arbres et paliers d'appui

2.3.3.2 Les polies

Roue en métal, en matière plastique ou en bois, qui peut tourner sur un axe soutenu par une chape, dont la jante, généralement creusée d'une gorge, est destinée à recevoir une courroie, une corde, une chaîne ou un câble, et sert à soulever une charge ou à transmettre un mouvement. (15)



Figure (2.10) polie de transmission

Avantages :

- Assure la transmission du mouvement
- Facilité du montage
- Réduction des vibrations

2.3.3.3 Les accouplements rigides

Les accouplements rigides, eux, assureront une liaison rigide entre des lignes d'arbres. Ils transmettent des couples sans torsion et sans jeu. Ils doivent, par conséquent, être utilisés en absence de défauts d'alignement. (16)



Figure (2.11) accouplements rigides

2.3.3.4 Vérins pneumatiques

Un vérin pneumatique est un actionneur qui se présente sous la forme d'un tube cylindrique. Il a pour objectif de créer un mouvement mécanique. En transformant l'énergie pneumatique créée par l'air comprimé (souvent exprimée en bar) en énergie mécanique **Figure (2.12)**. Généralement, un ou plusieurs orifices permettent de faire entrer ou sortir l'air. Cet air est comprimé dans le but de créer des mouvements linéaires ou rotatifs dans un sens comme dans l'autre. (17)



Figure (2.12) schéma explicatif du principe de fonctionnement d'un vérin pneumatique

Fonctionnement

Rien de bien compliqué. L'air comprimé (jusqu'à 10 bars pour un usage courant) est introduit dans l'une des chambres pour pousser un piston. Cette énergie va déplacer la tige et évacuer ainsi l'air du corps du vérin présent dans l'autre chambre. Pour obtenir l'effet inverse, il suffit d'inverser le procédé.

Ce qui amène à parler du vérin simple effet qui ne fait que tirer ou pousser alors que le vérin double effet est en mesure d'effectuer les deux opérations. Pour que ce soit plus clair, voici un schéma explicatif **Figure (2.13)**. (17)

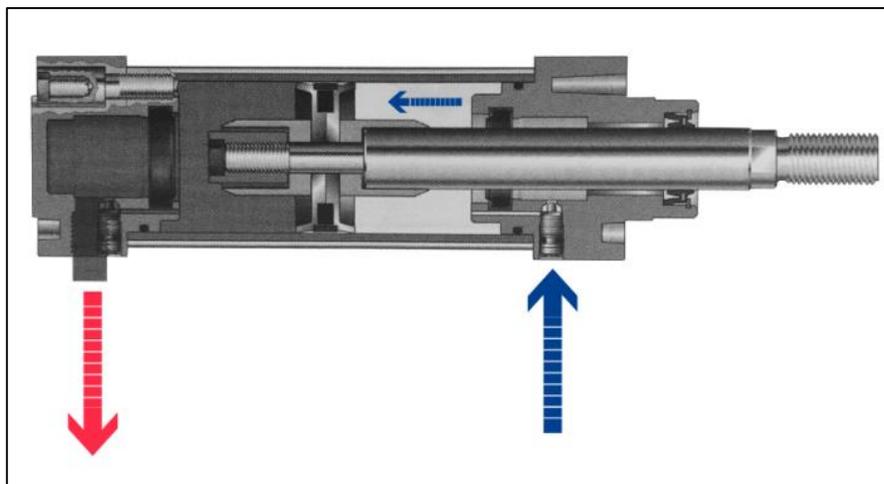


Figure (2.13) vue de coupe et démonstration du mécanisme d'un vérin pneumatique

C'est utile de savoir comment fonctionne vos vérins pneumatiques mais c'est encore mieux quand on sait de quoi ils sont composés.

Éléments du vérin :

On retrouve sur chaque vérin :

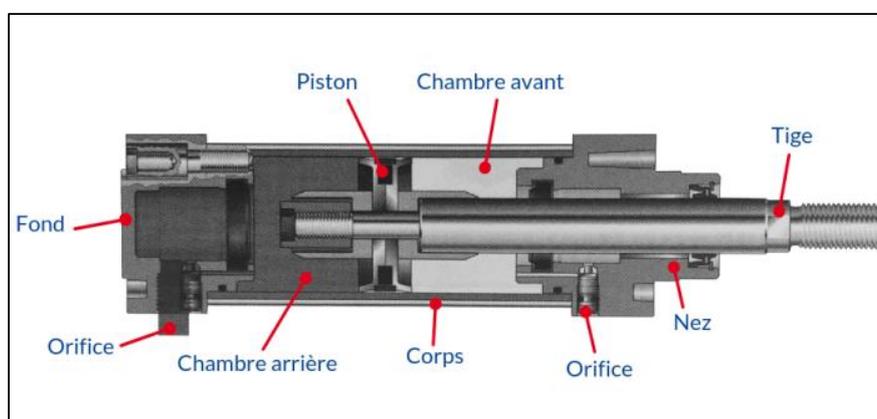


Figure (2.14) annotation des organes d'un vérin pneumatique.

- Un orifice d'alimentation et un orifice d'échappement (de sortie). C'est par ce dernier que l'air est introduit ou expulsé pour faire entrer ou sortir la tige.
- Un fond. C'est essentiel pour l'étanchéité de la chambre arrière.
- Un nez. Il s'agit ce coup-ci d'une pièce essentielle pour l'étanchéité de la chambre avant et sert à guider la tige.
- Une tige. Elle sert à pousser ou tirer. Elle a pour objectif de transmettre la force et le mouvement.
- Un corps. C'est le cylindre du vérin qui est plus ou moins long. C'est à l'intérieur que le piston va coulisser.
- Un piston. Il est solidaire de la tige et transforme l'énergie pneumatique en mouvement.
- Une chambre avant. Une fois remplie d'air, la tige rentre car le piston est poussé.
- Une chambre arrière. À l'inverse, elle fait ressortir la tige. **Figure (2.14)** (17)

2.3.4 Système de fixation

2.3.4.1 Soudage

Parmi les procédés de mise en œuvre des matériaux métalliques, le soudage se situe en première position. En effet, une grande partie des objets manufacturés qui nous entourent font appel à des technologies d'assemblage par soudage pour leur réalisation. La connaissance de ces technologies permet d'améliorer et/ou de diminuer les coûts de fabrication de ces objets. Le principal but de cet article est de faire une introduction générale sur les procédés de soudage des matériaux métalliques. (18)



Figure (2.14) procédé du soudage MIG

Avantages :

- Assurer une fonction mécanique optimale
- Possible de fixer solidement diverses pièces métalliques les unes aux autres

Inconvénients :

- Les pièces portées à hautes températures peuvent provoquer des brûlures cutanées par contact.
- Les projections des gouttelettes et de laitier peuvent provoquer des lésions oculaires et des brûlures cutanées.

- Les rayonnements émis dépendent du métal soudé et de l'intensité du courant de soudage.

2.3.4.2 Anneau élastique

Un anneau élastique est un composant d'assemblage mécanique généralement monté dans une gorge réalisée sur des portées cylindriques extérieures (arbres, axes...) ou dans des alésages. Il permet de réaliser des arrêts axiaux, des rattrapages de jeu destinés à réduire le bruit de fonctionnement des mécanismes, etc. Les applications sont très nombreuses en mécanique générale et dans de très nombreux secteurs industriels : automobile, électroménager, machines de bureau, etc. Le montage se fait à l'aide d'une pince à circlips (anneau élastique). (19)



Figure (2.15) anneau élastique

Les anneaux extérieurs **Figure (2.15)** enfilés dans la direction de l'axe se reconnaissent généralement, mais pas toujours, à leur ouverture étroite. Ceux qui sont mis en place radialement ont au contraire une ouverture très grande. (19)

Les anneaux intérieurs sont toujours montés axialement, ils ont pratiquement tous une ouverture importante qui correspond à la nécessité de diminuer leur diamètre lors du montage. (19)

2.3.4.3 Boulon

Un boulon traditionnel est un ensemble constitué d'une vis, d'un écrou et, le cas échéant, d'une ou deux rondelles **Figure (2.16)**. En construction métallique, les têtes de vis sont généralement de forme hexagonale. (20)

Du fait de sa simplicité de pose et des possibilités de réglage qu'il autorise, le boulonnage est un moyen d'assemblage très utilisé.

Les boulons traditionnels peuvent être classés selon leur mode de mise en œuvre qui conditionne également le mode de transmission des efforts. On distingue les boulons ordinaires, mis en place par un serrage sans spécification particulière, et les boulons précontraints pour lesquels le serrage est contrôlé. (20)



Figure (2.16) boulon avec écrou

2.3.5 Système d'amortissement :

2.3.5.1 Ressorts

Les ressorts sont des composants élastiques très répandus dans toutes sortes de machines et d'équipements. En raison de leur souplesse, ils diffèrent radicalement des autres pièces mécaniques dont on cherche, au contraire, à limiter les déformations sous charge. (21)

Le terme déformation d'un ressort, veut dire un changement de forme qui se traduit, dans les cas les plus simples, par le déplacement d'une de ses extrémités par rapport à l'autre. (21)



Figure (2.17) : ressorts

On peut attendre des ressorts :

- Qu'ils se déforment d'une certaine façon sous l'effet des charges qu'ils subissent
- Ou qu'ils fournissent certains efforts lorsqu'on leur impose une déformation.

Les deux modes de travail à charge imposée ou à déformation imposée ne sont pas équivalents, en particulier pour les ressorts qui, en raison de leur forme ou de leur montage, possèdent plusieurs positions stables de repos.

Un ressort que l'on déforme emmagasine une énergie mécanique qui peut être restituée, idéalement en totalité, lorsque la déformation cesse. Naturellement aucun ressort n'est parfait et une fraction plus ou moins importante de cette énergie mécanique est perdue lors des cycles de fonctionnement et transformée en chaleur.

L'un des premiers ressorts inventés par l'homme n'est autre que l'arc, une pièce de bois courbe et élastique bien plus efficace que le bras humain pour lancer à grande vitesse les flèches utilisées pour la chasse ou pour la guerre. Des peintures rupestres attestent que l'homme a inventé cette arme voici plus de 10 000 ans. (21)

2.3.6 Système électrique

2.3.6.1 Armoire électrique

Les armoires électriques sont des boîtiers robustes **Figure (2.18)** utilisés pour protéger les composants électriques ou électroniques et les appareillages de commutation. Les armoires électriques protègent ainsi l'alimentation électrique contre l'eau, la poussière et la chaleur, mais aussi contre le vandalisme par des personnes non autorisées. En fonction de l'application (dans le cadre d'un événement plein air, un chantier, la construction etc...), la taille, le matériau et le niveau de protection IP requis de l'armoire électrique diffère. (22)



Figure (2.18)
Armoire électrique

2.3.6.2 Les interrupteurs fins de courses électrique

Un interrupteur fin de course est un appareil électromécanique qui comprend un actionneur mécaniquement connecté à un ou plusieurs contacts **Figure (2.19)**. Ce sont des produits très importants pour la sécurité, aussi bien pour les applications industrielles que pour des domaines plus courants. (23)



Figure (2.19) Interrupteur de fin de course électrique

En fait, lorsqu'un objet vient en contact avec l'actionneur, cela agit sur les contacts pour activer (mettre en route) ou désactiver (arrêter) un circuit électrique. (23)

Certains de ces interrupteurs sont utilisés dans l'industrie, tandis que d'autres sont présents dans nos maisons pour des utilisations courantes.

2.4 Calculs

2.4.1 Calcul des masses

Il est important de calculer la masse totale supportée par chaque axe de l'outil et de la machine afin de s'assurer que les deux systèmes peuvent supporter la charge prévue sans risque de défaillance. Pour cela, il est nécessaire de prendre en compte la masse de tous les composants qui composent l'axe.

- Pour les composants standardisés tels que les vis et les écrous, il est possible de trouver leur masse dans les différents catalogues disponibles.

- Pour les composants préfabriqués et électriques, les valeurs peuvent être trouvées dans les fiches techniques correspondantes.
- Pour les pièces que nous avons fabriquées, on a utilisé la fonction de calcul de masse du logiciel de conception 3D SolidWorks 2020, qui peut fournir des résultats très précis.

Il est important de noter que les résultats des calculs de masse ne doivent pas être utilisés seuls pour déterminer la capacité de charge de l'outil ou de la machine. D'autres facteurs tels que les contraintes mécaniques, la résistance des matériaux et les forces appliquées doivent également être pris en compte.

Puisque nos deux systèmes sont posés sur un seule et unique **axe Z**, tous nos composent sont supporter par ce dernier, ce qui signifie que notre masse totale est supporter par l'axe des Z, les autres axes se présente comme nul.

2.4.1.1 Calcul des masses pour l'outil RFSSW

Ce calcul **Tableau (2.1)** a été effectué à travers le logiciel de conception 3D **SolidWorks 2020**.

Tableau (2.1) le calcul de la masse totale de l'outil RFSSW.

Axe Z		
m_i	Nom de la pièce	Masses (kg)
m₁	Rondelle d'appuie	0.0568
m₂	Ecrou	0.0239
m₃	Pièce de serrage supérieur	0.1992
m₄	Pièce de serrage inferieur	0.1639
m₅	Pièce porteuse N1	0.0218
m₆	Arbre porteur de système N2	0.3785
m₇	Pin	0.0158
m₈	Sleeve	0.0335
m₉	Roulement a rouleaux conique	0.1500
m₁₀	Roulement à rouleaux cylindrique	0.1400
Total		1.9097

2.4.1.2 Calcul des masses pour la conception de la machine RFSSW

Le calcul des masses de l'outil **Tableau (2.2)** a été effectué à travers le logiciel de conception 3D **SolidWorks 2020**.

Tableau (2.2) le calcul de la masse totale de la machine RFSSW.

Axe Z		
m_i	Nom de la pièce	Masses (kg)
m1	Moteur asynchrone triphasé	15
m2	Servomoteurs	10
m3	Palier F4BC	1,1
m4	Palier SKF d20	0,23
m5	Plaque arrière	3
m6	Plaque support	7,64
m7	Support moteur	3,2
m8	Support mécanisme	2,68
m9	Support machine	9
m10	Clamping ring	0,0805
m11	Sleeve	0,0433
m12	Pin	0,0202
m14	G Arbre	0,455
m15	P Arbre	0,186
m16	Vis sans fin	1,9
m17	Support écrou	0,6635
m18	Support écrou 2	0,615
m19	Ecrou	0,906
m20	Support servo-moteur	1,224
m21	Support fixation	0,115
m22	Courroie SPA	0,200
m23	Roulements	1
m24	Polies	2
Total		60,1

2.4.2 Calculs de l'outil

2.4.2.1 Choix du matériau de l'outil

Selon notre procédé, on définira le matériau dont on doit usiner l'outil. Tout d'abord, on doit prendre en considération les efforts et les contraintes que notre outil va subir en enchaînant la soudure. Le type de soudure RFSSW, se base sur un mouvement de rotation toute en frottant le matériau à souder, ce qui va générer par la suite une torsion sur l'outils rotatif. C'est pourquoi notre matériau doit présenter une résistance élevée à la torsion et à l'usure à cause du frottement sur le matériau à souder.

Pour choisir le bon matériau, on a consulté un site qui porte le nom de **METAUX DETAIL SERVICES** qui nous a donner plein d'information sur des différent types d'acier **Tableau (2.3)** et qui nous a suggérer l'acier outils le plein utilisé dans l'industrie le **42 CD 4 (AFNOR) / 42 Cr Mo 4 (DIN)**. Ce type d'acier est connue pour sa grande résistance et son apport élevé en carbone **Tableau (2.4)** qui fait de ce dernier un acier dur et compatible pour ce genre de procédé.

Domaine d'application

Acier très employé en mécanique, pour des pièces de moyennes à fortes sections : arbres, essieux, crémaillères, vilebrequins, bielles, engrenages. Cet acier est parfois utilisé pour des pièces trempées superficiellement. (24)

Composition chimique %

Tableau (2.3) Composition chimique de l'acier 42CD4 (24)

C	Cr	Mo	S	Mn	P	Si
0,38 - 0,45	0,90 - 1,20	0,15 - 0,30	≤ 0,035	0,60 - 0,90	≤ 0,035	0.40 Maxi

Caractéristiques mécaniques moyennes

Tableau (2.4) Caractéristiques mécanique de l'acier 42cd4 (24)

Rm N/mm²	Re N/mm²	A %
750 / 1300	500 / 900	10 / 14

2.3.2.2 Calculs des roulements

Les roulements placés sur l'arbre de l'outil et sur l'arbre moteur de la machine sont dimensionnés en fonction de deux critères :

1. Capacité de charge dynamique : La capacité de charge dynamique du roulement, notée C_d , doit être supérieure à la charge dynamique nécessaire notée C_n . Cela garantit que le roulement est capable de supporter la charge et les contraintes pendant le fonctionnement.

2. Durée de vie : La durée de vie nominale du roulement, notée L_{10} , doit être supérieure à la durée de vie nécessaire, notée L_n . Cela signifie que le roulement est conçu pour fonctionner pendant une durée spécifiée sans défaillance prématurée.

En respectant ces critères, on s'assure que les roulements sont dimensionnés de manière adéquate pour supporter la charge et fonctionner de manière fiable sur une période donnée.

Pour cela on utilisera les formules suivantes : (25)

$$L_{10} = \left(\frac{C_d}{P}\right)^n \cdot \frac{10^6}{60 \times N} \quad [h] \quad ; \quad C_n = \frac{f_L \times f_Z \times P}{f_t \times f_n \times f_H} \quad (2.1)$$

Avec :

C_d : La charge dynamique de base (on obtient cette charge à partir du catalogue SKF).
[kN]

P : Charge dynamique appliqué. [kN]

(Puisque la charge va être appliquée manuellement sur une fraiseuse, on prend la charge appliquée $P = 6 \text{ kN}$)

N : nombre de tours par minute. [Tr/min]

n : exposant de la formule

= 3 pour les roulements à billes

= 10/3 pour les roulements à rouleaux

f_Z : Coefficient supplémentaire des efforts dynamiques. On le prend $f_Z = 1$.

f_H : Coefficient de dureté. On considère $f_H = 1$.

f_t : Coefficient de température. Dans notre cas $f_t = 1$.

f_L : Coefficient de durée de vie. On prend $L_h \text{ nécessaire} = 1000 \text{ h}$.

$$f_L = \sqrt[3]{\frac{L_h \text{ nécessaire}}{500}} \quad (2.2)$$

f_n : Coefficient de nombre de tours.

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{100}{3 \times n}} \quad (2.3)$$

2.3.2.1.1 Application numérique

$$f_L = \sqrt[3]{\frac{1000}{500}} = 1,25$$

Et

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{100}{3 \times 3536}} = 0,21$$

$$C_n = \frac{1,25 \times 6000}{0,21} = 36000 \text{ N}$$

→

$$L_{10} = \left(\frac{36000}{6000}\right)^{3,3} \times \frac{10^6}{60 \times 3536}$$

$$L_{10} = 1742 \text{ [h]} > L_{h \text{ nécessaire}} = 1000 \text{ [h]}$$

2.3.2.3 Conclusion

Selon les calculs établis, on a choisi deux références de roulements pour deux emplacements différents mais pour les mêmes caractéristiques : **NUP 205 N** et **33205 J**.

Choix des ressorts

Pour notre application, on doit choisir un ressort qui peut élever une charge de 1 kg avec sa force de rappel. En vue des faibles informations disponibles sur le marché sur les caractéristiques et les raideurs des ressorts, on a pris quelques ressorts de différents diamètres, de longueurs et d'épaisseur, et on les a testés en suite sur la machine des essais de traction et de compression disponible au niveau du **centre de recherche des technologie industrielle CRTI** pour savoir exactement combien ils peuvent générer comme force de rappel et le quel on doit choisir.

Le test a été effectué en plaçant le ressort entre les mors de la machine et effectuer une compression sur ce dernier tout en calculant le déplacement et la déformation comme montré sur la **Figure (2.20)**.

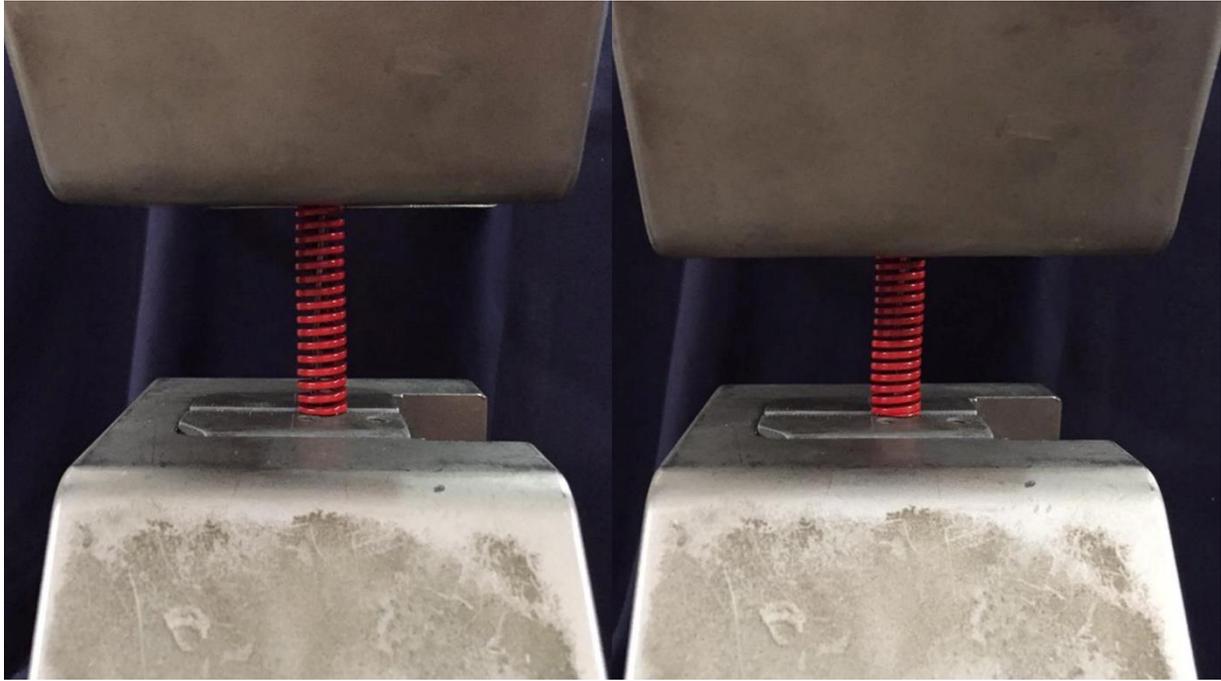


Figure (2.20) Essai de compression d'un ressort pour connaître ses caractéristiques mécaniques

D'après cet essai on put avoir le diagramme suivant :

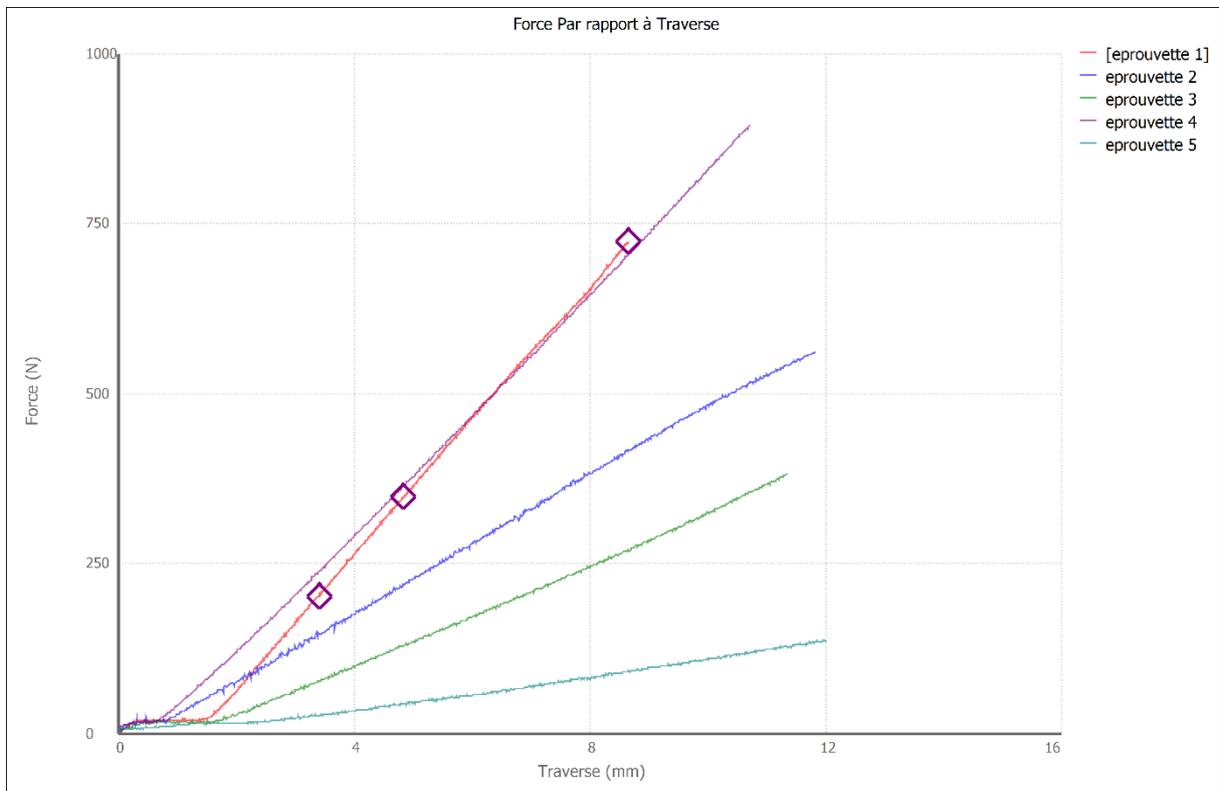


Figure (2.21) Diagramme de l'effort de compression par rapport à la distance traversée

2.4.2.2 Traitement thermique

Le traitement thermique vise principalement à améliorer les propriétés des matériaux, telles que la dureté, la résistance, la ductilité, la ténacité et la résistance à la corrosion. Il permet également d'ajuster la structure cristalline des matériaux, ce qui peut avoir un impact significatif sur leur comportement mécanique et leurs performances globales.

Le traitement thermique typique pour l'acier 42CD4 comprend généralement les étapes suivantes :

1. **Recuit** : L'acier 42CD4 est chauffé lentement à une température d'environ 750 à 800 °C, puis maintenu à cette température pendant un certain temps pour permettre la diffusion des éléments d'alliage. Ensuite, il est refroidi lentement dans un four ou à l'air libre. Le recuit permet de réduire les contraintes internes, d'améliorer la ductilité et de faciliter les étapes de formage ultérieures.
2. **Trempe** : Après le recuit, l'acier est chauffé à une température supérieure à sa plage de transformation austénitique, généralement entre 850 et 900 °C. Il est ensuite rapidement refroidi dans un milieu de trempe tel que l'huile, l'eau ou l'air. La trempe assure une transformation rapide de la structure en austénite en martensite, qui confère à l'acier une dureté élevée et une résistance accrue.
3. **Revenu** : Après la trempe, l'acier est chauffé à une température inférieure à celle de la trempe, généralement entre 150 et 600 °C, et maintenu à cette température pendant un certain temps. Cette étape permet de réduire la fragilité induite par la trempe et d'ajuster les propriétés mécaniques selon les besoins spécifiques. Le revenu confère à l'acier une combinaison optimale de dureté, de résistance et de ténacité.

2.4.2.2.1 Application

Pour augmenter dureté de notre structure, on doit laisser notre pièce dans une température de 800° pendant une période de 15 min, ensuite on fait une trempe à l'huile pour garder la structure **Figure (2.22)**.



Figure (2.22) le sleeve après trempe

Après la trempe on fait un essai de dureté sur la machine disponible au **Centre de recherche** comme illustré sur la **Figure (2.23)**.



Figure (2.23) Essai de durcissement sur la machine du centre de recherche

Avant traitement thermique la dureté était de **270 HV**. Cette valeur est insuffisante car l'aluminium sur laquelle on va faire le soudage a une dureté de **200 HV**. Après la trempe notre acier à augmenter sa dureté jusqu'à **500 HV** qui est pratiquement une dureté assez suffisante pour la soudure.

2.4.2.3 Résistance de matériau

L'étude RDM a été réalisée à travers le logiciel **SolidWorks 2020**. On a fait l'étude des 4 pièces qui subissent l'effort de couple comme effort de torsion. Sachant que toutes les pièces ont été faites en acier 42CD4, leur position par rapport à l'effort a fait varier la résistance de chacune. Toutes les pièces sont exposées à un couple de **7 N.m**, concernant le maillage on a utilisé un maillage tétraédrique de taille moyenne. Chaque pièce est suivie par sa figure ci-dessous :

- **L'arbre**

D'après l'étape de maillage **Figure (2.24)** et de l'application des charges on a obtenu le résultat par méthode des éléments finis **Figure (2.25)** et a constaté d'après ce résultat que notre arbre résiste aux efforts appliqués

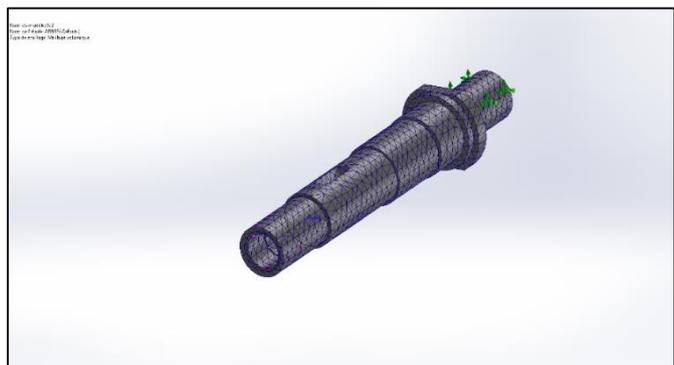


Figure (2.24) maillage de l'arbre

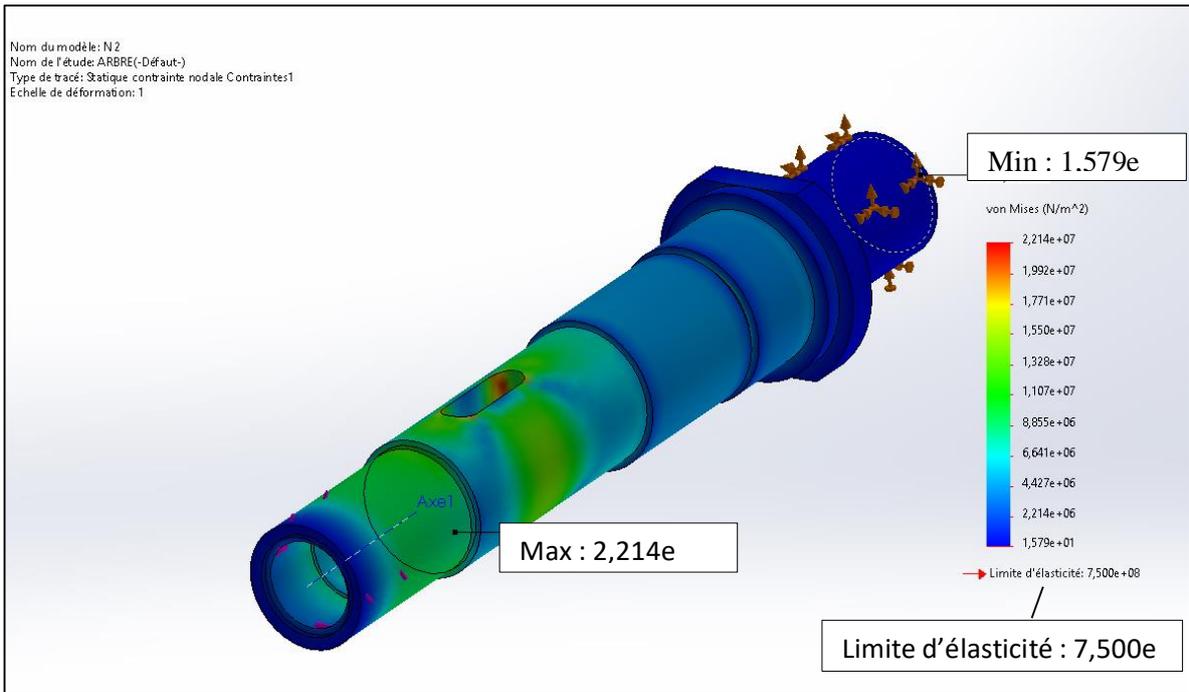


Figure (2.25) résultats des contraintes appliqué sur l'arbre

- **Sleeve**

D'après l'étape de maillage et de l'application des charges **Figure (2.26)** on a obtenu le résultat par méthode des éléments finis **Figure (2.27)** et a constaté d'après ce résultat que notre sleeve résiste aux efforts appliqués.

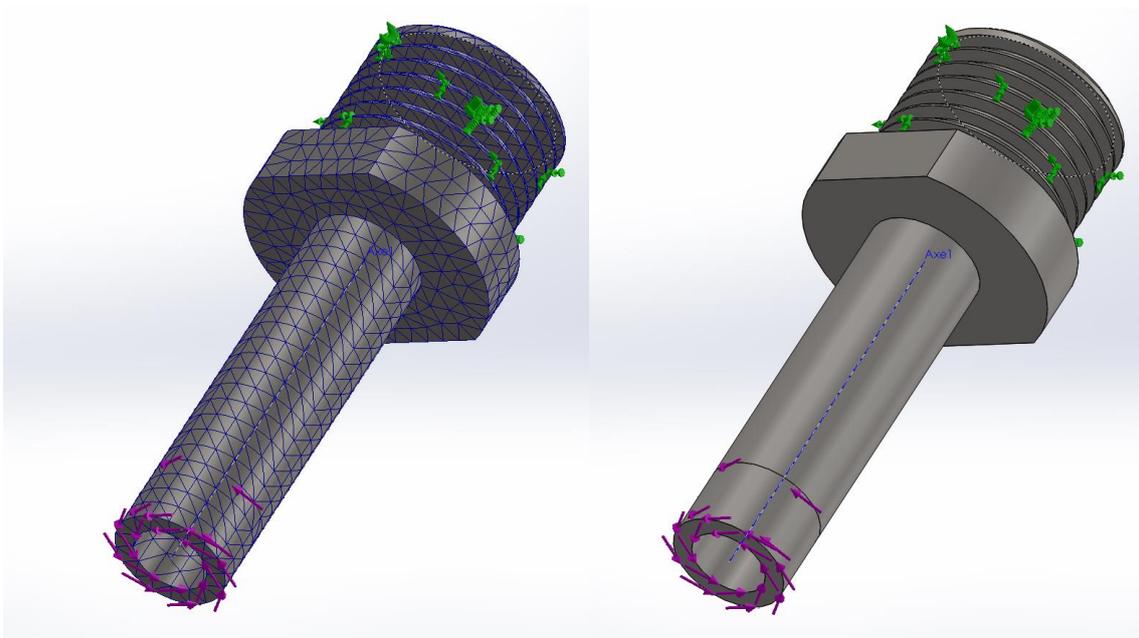


Figure (2.26) maillage du Sleeve

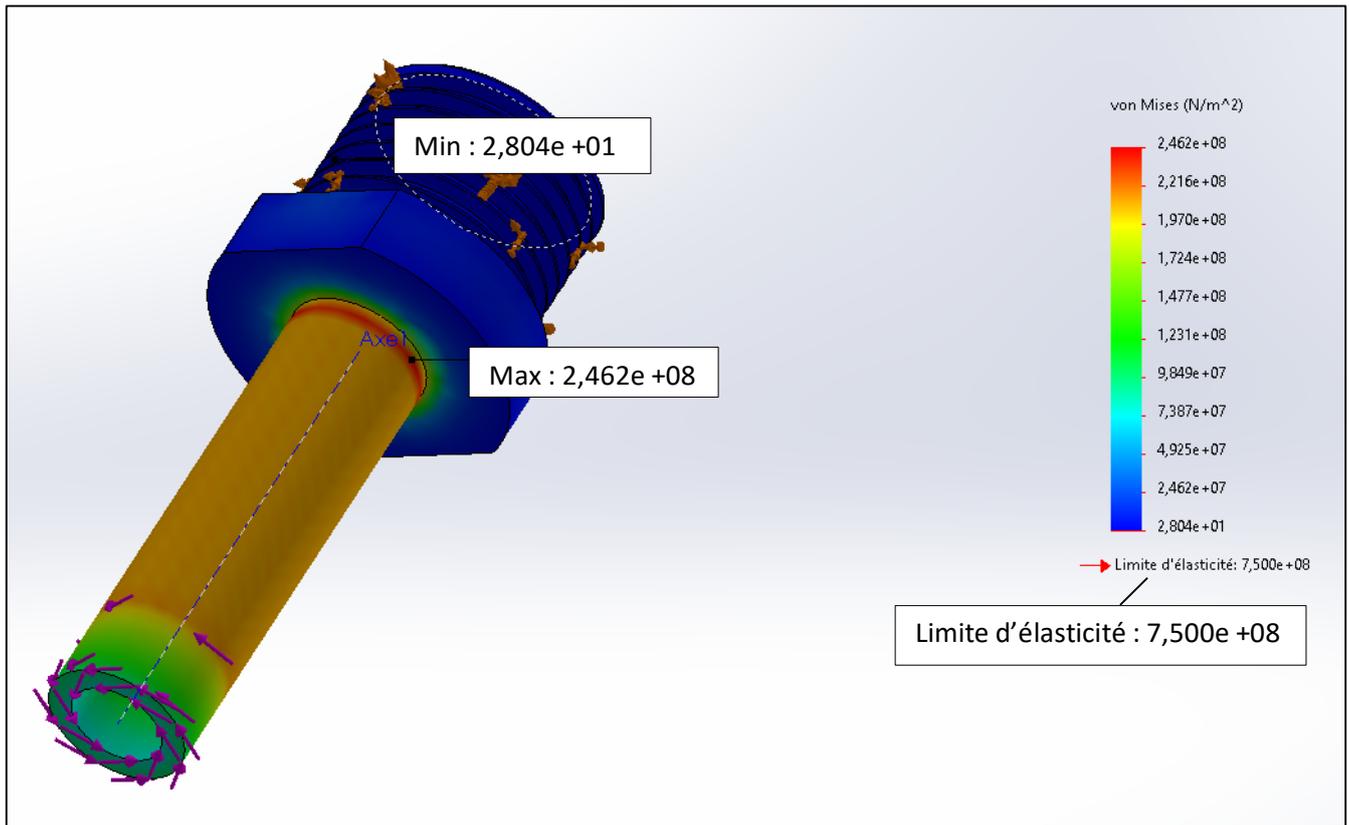


Figure (2.27) résultats des contraintes appliqué sur le sleeve

- **Le support**

D'après l'étape de maillage **Figure (2.28)** et de l'application des charges on a obtenu le résultat par méthode des éléments finis **Figure (2.29)** et a constaté d'après ce résultat que notre support résiste aux efforts appliqués.

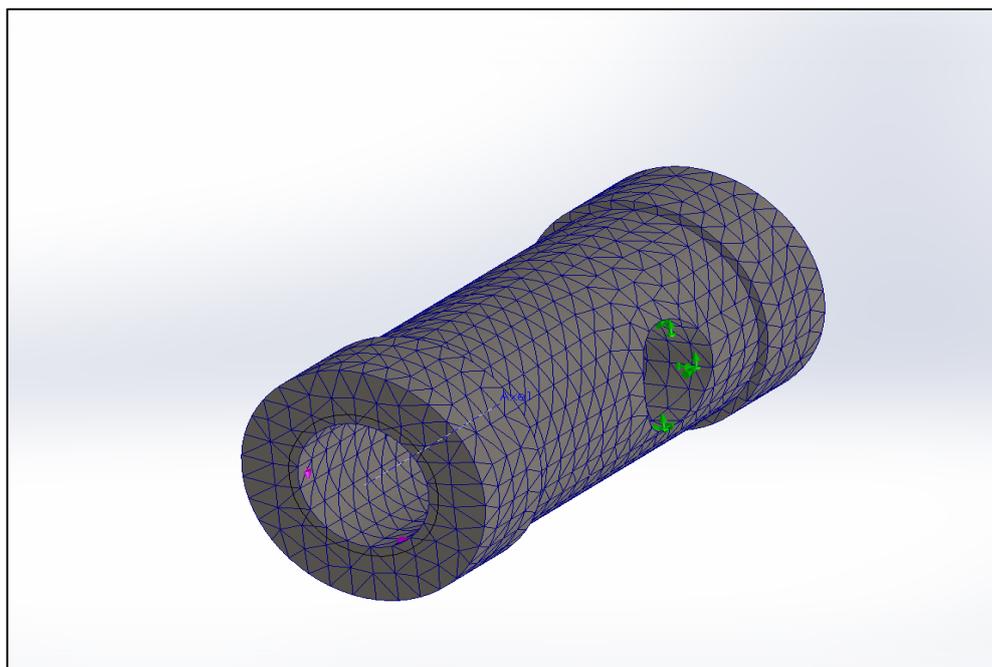


Figure (2.28) maillage du support

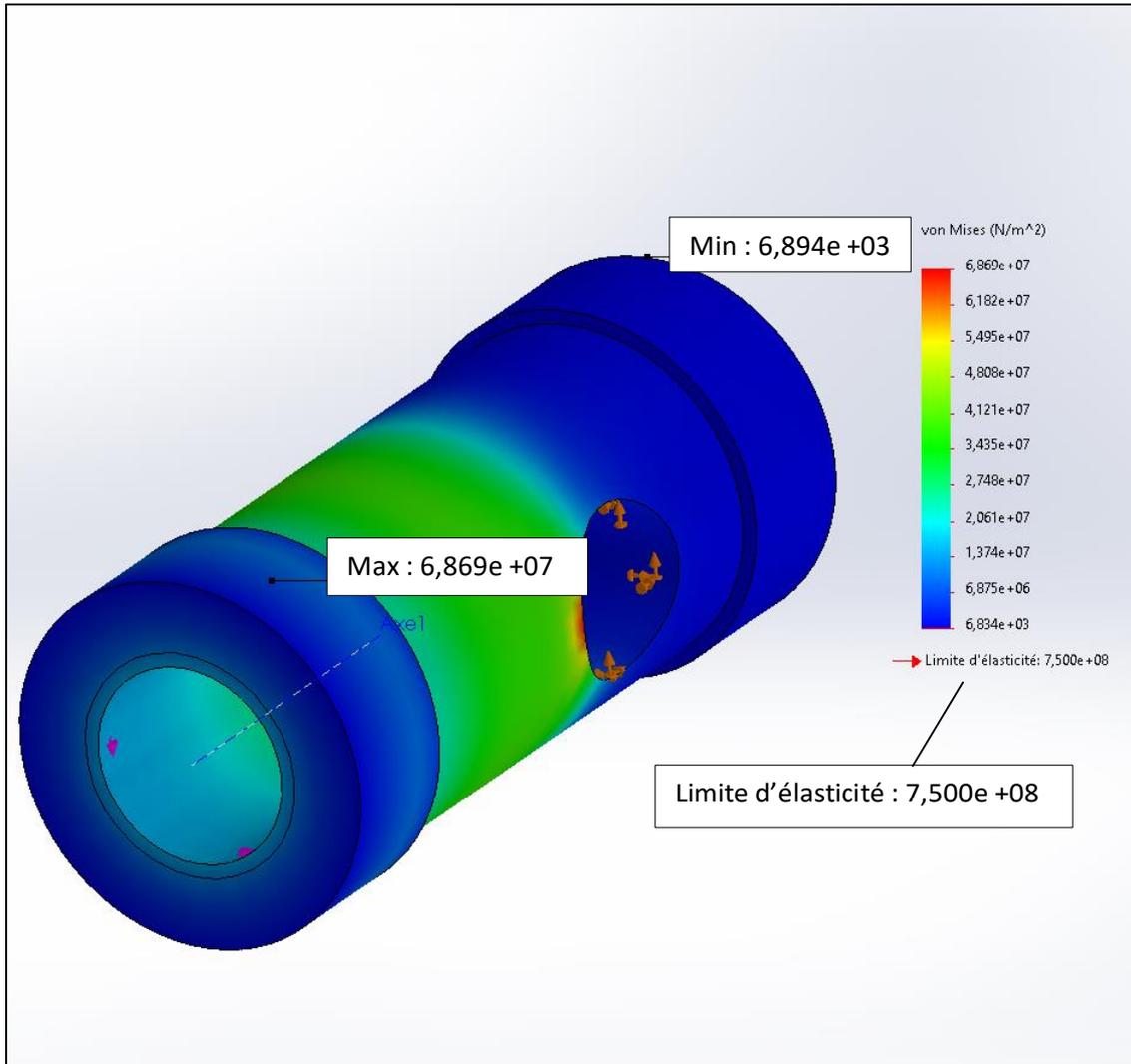


Figure (2.29) résultats des contraintes appliqué sur Le support

- **Le pin**

D'après le résultat obtenu par la méthode des éléments finis **Figure (2.30)** le pin ne résiste pas à l'effort. Donc le traitement thermique est nécessaire.

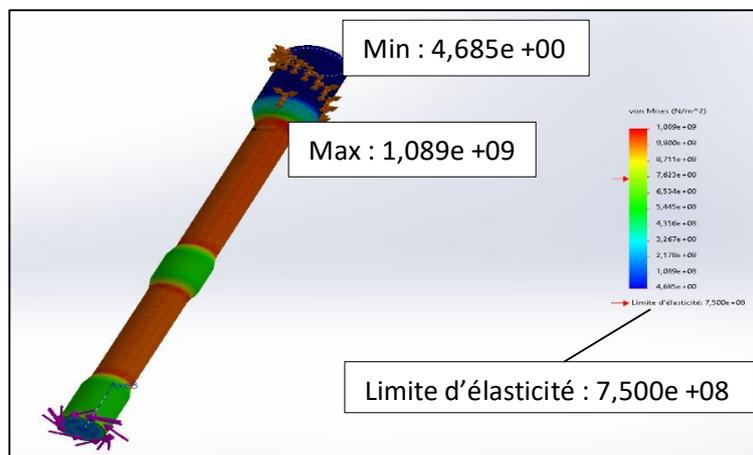


Figure (2.30) résultats des contraintes appliqué sur Le pin

2.4.3 Calculs de la machine

2.4.3.1 Calcul du centre de gravité de la machine RFSSW

Pour assurer que notre machine ne présente aucune instabilité en faisant la soudure, on doit calculer son centre de gravité le long de l'axe Z.

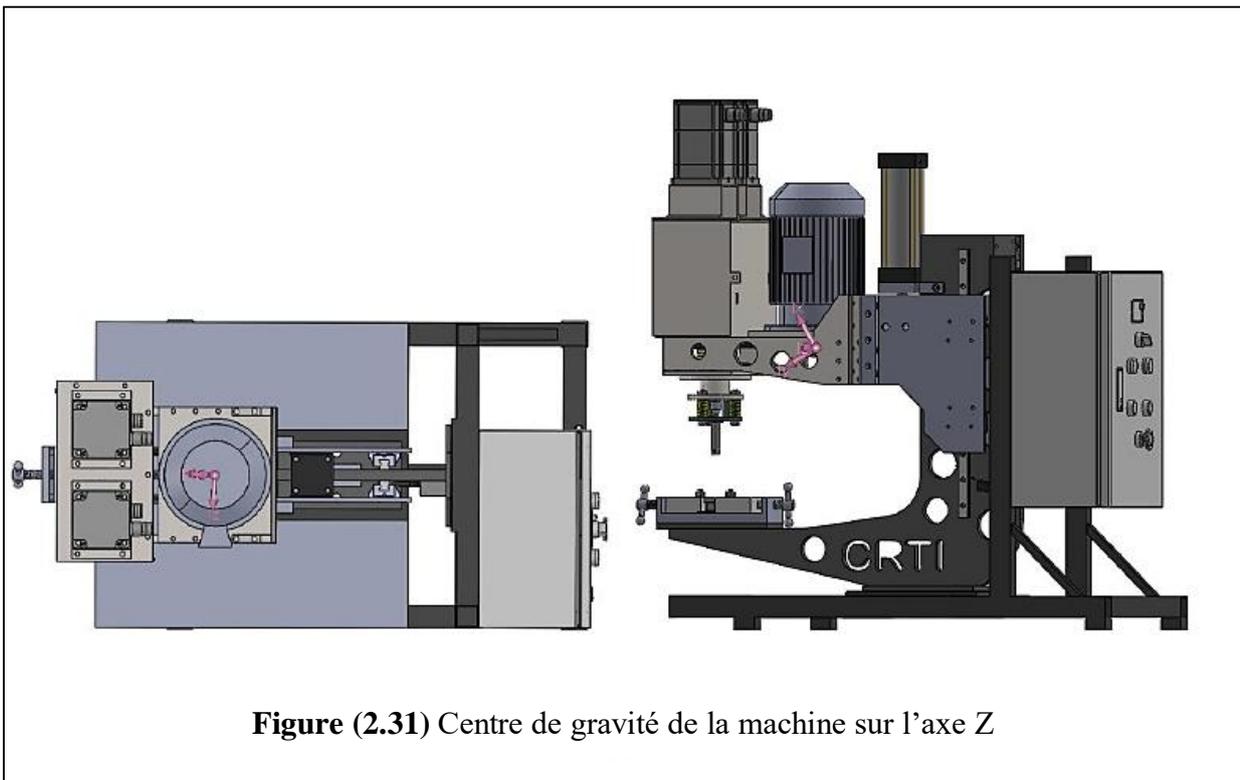
Pour se faire on a utilisé la fonction des calculs des masses du logiciel de conception 3D **SolidWorks Figure (2.31)**. Par la suite on a obtenu les résultats et la position suivante :

Centre de gravité : (*millimètres*)

$$X = -11.87$$

$$Y = 108.86$$

$$Z = 245.37$$



2.4.3.2 Calculs des vis à billes

De nombreux facteurs de fonctionnement et données géométriques ont un impact sur l'efficacité, ce qui signifie que les valeurs réelles peuvent fluctuer de $\pm 5\%$ par rapport aux valeurs calculées.

Le niveau de l'efficacité théorique est réduit d'à peu près 5% lubrification. Si le ratio de la charge F par rapport à la charge nominale dynamique C_{am} est inférieur à 0,5, une réduction encore plus importante est réalisée sur la base du facteur de charge f_l (voir le **Tableau (2.5)**) L'efficacité résultante s'applique uniquement à la vis à billes La figure suppose que la vis à billes est lubrifiée, et dépourvue de joint racleur et de palier.

Pour effectuer ce calcul des vis à billes, on a utilisé un catalogue d'une entreprise spécialisé dans les vis à billes et leur système **THOMSON**.

2.4.3.2.1 L'efficacité théorique η (26)

$$\eta = \frac{\tan \varphi}{\tan(\varphi - \rho'')} \quad \text{Où} \quad \tan \varphi = \frac{P_{h0}}{d_0 \times \pi} \quad (2.4)$$

φ : Angle primitif de fonctionnement.

ρ'' : Angle de frottement.

$\rho'' = 0,23^\circ$ Dans les classes de tolérance P et T1-T3.

$\rho'' = 0,34^\circ$ Dans la classe de tolérance T5.

P_{h0} : le pas du filetage. [mm]

d_0 : diamètre de la vis. [mm]

2.4.3.2.2 L'efficacité pratique η_p (26)

$$\eta_p = \eta \times 0.95 \times f_l \quad (2.5)$$

f_l : Facteur de charge.

$\frac{F}{C_{am}}$	f_l
0.4	0.99
0.3	0.98
0.2	0.97
0.1	0.96

Avec :

F : la force axiale. [kN]

C_{am} : la charge dynamique. [kN]

Tableau (2.5) facteur de charge par rapport à la force axiale sur la charge dynamique

2.4.3.2.3 Calcul de la Force axiale maximale admissible F_p (26)

Sous une charge de compression axiale, les composants fins tels que les arbres risquent de subir un flambage d'un côté La force axiale admissible selon Euler peut être déterminée en suivant la procédure ci-dessous Les facteurs de sécurité adaptés au système doivent être pris en compte avant de spécifier la force de compression admissible

$$F_p = 0.8 \times F_c \times f_c \quad [kN] \quad (2.6)$$

Où :

F_c : Force de flambage critique théorique [kN] → voir le diagramme

f_c : Facteur de correction prenant en compte le type de palier → voir le tableau

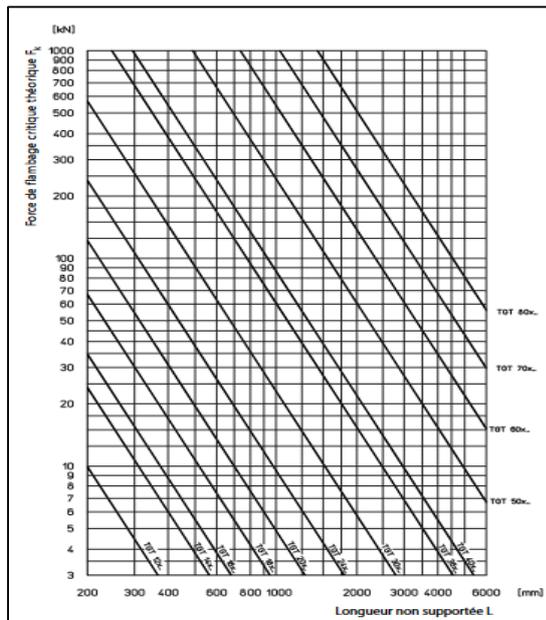


Figure (2.32) diagramme de la Force de flambage critique théorique F_c (26)

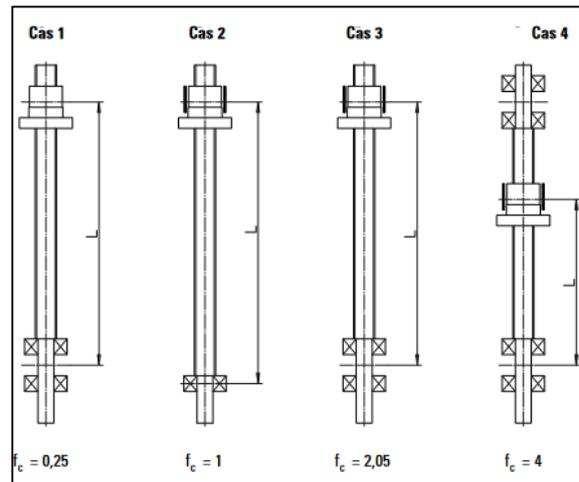


Figure (2.33) Facteur de correction prenant en compte le type de palier

2.4.3.2.4 Application numérique des calculs sur les vis à billes

L'efficacité théorique η

$$\tan \varphi = \frac{5}{30 \times \pi} = 0,053 \rightarrow \varphi = 3,036^\circ$$

$$\eta = \frac{\tan 3,036}{\tan(3,036 - 0,23)} = 1,08$$

L'efficacité pratique η_p

$$\eta_p = 1,08 \times 0,95 \times 0,99 = 1,01$$

La Force axiale maximale admissible F_{Amax}

Puisque notre la longueur de la vis sans fin est inférieure à **400 mm** et d'après le diagramme de la **Figure (2.32)**, la **force de flambage critique théorique F_c** est égale à **25 kN**.

$$F_{Amax} = 0,8 \times 25 \times 1 = 20 \text{ kN}$$

2.4.3.2.5 Conclusion

Pour bien dimensionner nos vis à billes, on a effectué les calculs précédents qui vont nous servir à dimensionner le moteur nécessaire pour faire fonctionner notre système aux conditions parfaites. Ainsi qu'on a calculé la force axiale maximale admissible pour assurer que notre mécanisme ne présentera pas de défaillance au niveau des vis à billes. Par la suite, ce calcul nous a permis de limiter la force axiale sur les vis à billes.

2.4.3.3 Calculs des moteurs

2.4.3.3.1 Le moteur principal de rotation

La vitesse de rotation V_R

Pour éviter les échauffements et ne pas ainsi endommager l'outil ou les matériaux à souder, il est très important d'avoir une bonne vitesse de rotation [27].

$$V_R = \frac{1000 \times V_C}{\pi \times D} \quad [\text{Tr}/\text{min}] \quad (2.7)$$

Avec :

V_C : Vitesse de coupe (dépend du matériau à usiner, voir **Tableau (2.4)**).

D : Diamètre de l'outil à souder. [**mm**]

Dans le **tableau (2.6)** on trouve les différentes vitesses de coupe par rapport au matériau à souder :

Tableau (2.6) vitesses de coupe par rapport aux matériaux

Le matériau	La vitesse de coupe
Acier	20 m/min
Acier inoxydable	10 m/min
Cuivre	30 m/min
Laiton	40 m/min
Aluminium	100 m/min

La vitesse d'avance V_A

$$V_A = a \times V_R \quad [mm/min] \quad (2.8)$$

Avec :

a : l'avance de l'outil. $[mm/tr]$

Le temps de coupe T_C

$$T_C = \frac{I_m}{V_A} \quad [min] \quad (2.9)$$

Avec :

I_m : Profondeur de coupe. $[mm]$

La force axiale F_A

$$F_A = K' \times K_C \times a \times \frac{D}{2} \quad [kN] \quad (2.10)$$

Avec :

K' : Coefficient dépend de la géométrie de la pointe de l'outil.

K_C : Coefficient spécifique de coupe dépend du matériau (K_C : **850 DaN/mm² pour les alliages d'aluminium**)

Le couple de perçage M_C

$$M_C = \frac{K_C \times a \times D^2}{8000} \quad [N.M] \quad (2.11)$$

La puissance de coupe P_C

$$P_C = M_C \times V_R \quad [kW] \quad (2.12)$$

Application numérique pour le calcul du moteur principal de rotation

- La vitesse de rotation V_R

$$V_R = \frac{1000 \times 100}{\pi \times 9} \rightarrow \boxed{V_R = 3536 \text{ [Tr/min]}}$$

- La vitesse d'avance V_A :

$$V_A = 5 \times 3536 \rightarrow \boxed{V_A = 17683 \text{ [mm/min]}}$$

- Le temps de coupe T_C :

$$T_C = \frac{10}{17683} \rightarrow \boxed{T_C = 5,6 \times 10^{-4} \text{ [min]}}$$

- La force axiale F_A :

$$F_A = 1 \times 850 \times 5 \cdot \frac{3}{2} \rightarrow \boxed{F_A = 6,3 \text{ [kN]}}$$

- Le couple de perçage M_C :

$$M_C = \frac{850 \times 5 \times 3^2}{8000} \rightarrow \boxed{M_C = 4,78 \text{ [N.M]}}$$

- La puissance de coupe P_C

$$P_C = 4,78 \times 370,289 \rightarrow \boxed{P_C = 1,7 \text{ [kW]}}$$

2.4.3.3.1 Conclusion

D'après les calculs que nous avons établis et les résultats obtenus, pour faire fonctionner notre système on aura besoin d'un moteur **ASYNCHRONE triphasé a une seule vitesse de référence 90L du fabricants algérien GROUPE ELEC EL DJAZAIR.**

2.4.3.3.2 Calcul du moteur des vis sans fin (26)

Le couple moteur

$$T_a = \frac{F_{Amax} \times P_{h0}}{2000 \times \pi \times \eta_p} [N.m] \quad (2.13)$$

Avec :

P_{h0} : le pas du filetage. [mm]

F_{Amax} : La force axiale maximale [kN]

η_p : L'efficacité pratique.

Application numérique

$$T_a = \frac{20000 \times 5}{2000 \times \pi \times 1,01} \rightarrow \boxed{T_a = 15,75 [N.m]}$$

Conclusion

D'après nos calculs, le moteur qu'on doit utiliser est **un servo-moteur de la marque allemande schneider de référence BMH1002P01A1A qui génère un couple allant jusqu'à 18,4 N.m.**

2.4.3.4 Calculs des courroies

Pour effectuer les calculs sur les courroies, on s'est référé à un catalogue d'un constructeur de courroies trapézoïdales **TEXROPE**. Pour commencer on doit d'abord avoir nos données initiales qui sont les suivants :

***P** : La puissance moteur = 2,2 Kw.*

***n_D** : La vitesse de rotation du moteur = 3000 Tr/min.*

***n_d** : La vitesse de rotation de la poulie réceptrice = 3536 Tr/min.*

***D** : Le diamètre de la poulie motrice = 90 mm.*

***E** : L'entraxe souhaité = 200 mm.*

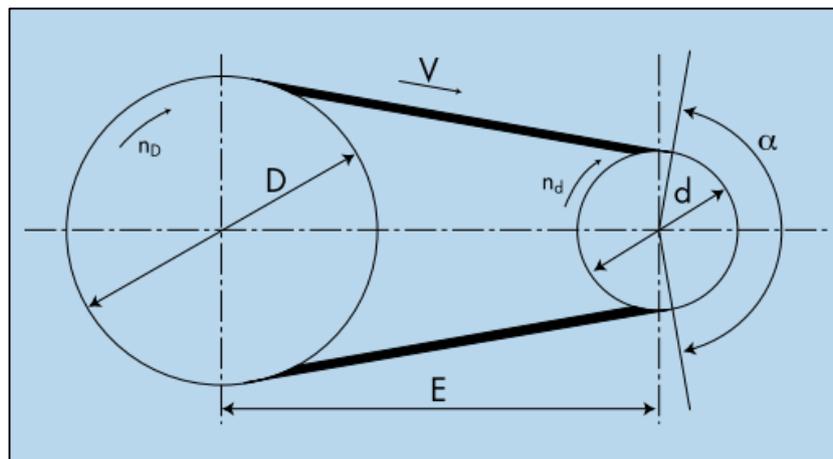


Figure (2.34) Schéma explicatif du système

On doit d'abord définir le diamètre de la poulie réceptrice ***d*** selon la vitesse de rotation souhaité. Pour ce faire, on doit calculer **le rapport de transmission** défini par la formule suivante :

$$R = \frac{n_d}{n_D} = \frac{D}{d} \text{ toujours } \geq 1 \quad (2.14)$$

Ensuite, on doit calculer la vitesse linéaire ***V*** :

$$V = \frac{n_d \times d}{19100} = \frac{n_D \times D}{19100} \quad (2.15)$$

Après avoir calculer la vitesse linéaire, on calcule maintenant *la longueur théorique des courroies* L_{th} ; avec la formule suivante :

$$L_{th} = 2E' + 1,57 \times (D + d) + \frac{(D - d)^2}{4E'} \quad (2.16)$$

On effectue maintenant le calcul de *l'entraxe* E avec la formule suivante :

$$E = \frac{L - 1,57 \times (D + d)}{2} - \frac{(D - d)^2}{4[L - 1,57 \times (D + d)]} \quad (2.17)$$

Avec :

L : La longueur de courroie choisie selon le calcul théorique L_{th} .

Pour finaliser nos calculs, on doit définir **le nombre de courroie N** qu'on doit utiliser pour faire une transmission parfaite et sécurisé.

$$N = \frac{P \times S}{P_0 \times a \times C_L} = \frac{P_C}{P_0 \times a \times C_L} \quad (2.18)$$

Avec :

P_0 : Puissance brute de transmission (d'après le tableau du catalogue) = **3,2 kW**.

P_C : Puissance de calcul

$$P_C = P \times S \rightarrow P_C = 2,2 \times 1 = \mathbf{2,2 \text{ kW}} \quad (2.19)$$

S : Facteur de service (d'après le tableau du catalogue) = **1**

C_L : Facteur de correction de longueur (d'après le tableau du catalogue) = **0,83**

a : Facteur d'arc (d'après le tableau du catalogue) = **0,99**

2.4.3.4.1 Application numérique

- **Rapport de transmission R et diamètre de la poulie réceptrice d**

$$R = \frac{3536}{3000} = 1,17$$

Donc

$$R = \frac{D}{d} \rightarrow d = \frac{D}{R} = \frac{90}{1,17}$$

$$d = 76,9 \approx 77 \text{ mm}$$

- **La vitesse linéaire V**

$$V = \frac{3536 \times 90}{19100} = 14,23 \text{ m/s}$$

- **La longueur théorique des courroies L_{th}**

$$L_{th} = 2 \times 200 + 1,57 \times (90 + 77) + \frac{(90 - 77)^2}{4 \times 200} ; L_{th} = 662,4 \text{ mm}$$

D'après ce calcul et selon le catalogue on prend $L = 665 \text{ mm}$.

- **L'entraxe E**

$$E = \frac{665 - 1,57 \times (90 + 77)}{2} - \frac{(90 - 77)^2}{4[665 - 1,57 \times (90 + 77)]} ; E = 201,3 \text{ mm}$$

- **Le nombre de courroie N**

$$N = \frac{2,2}{3,2 \times 0,99 \times 0,83}$$
$$N = 0,82 \approx 1$$

2.4.3.4.2 Conclusion

D'après les calculs effectués et le catalogue du constructeur on choisit **une seule courroie étroite de référence SPZ 662.**

2.4.3.5 Calculs des roulements

Pour calculer les roulements de la machine, on utilise les mêmes équations utilisées lors du calcul des roulements de l'outil, On va juste changer la charge appliquer car selon les calculs effectués lors du calcul des moteurs (page x), on l'a trouvé $P = 6,3 \text{ kN}$ on aura donc :

$$f_L = \sqrt[3]{\frac{1000}{500}} = 1,25$$

Et

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{100}{3 \times 3536}} = 0,21$$

$$C_n = \frac{1,25 \times 6300}{0,21} = 37500 \text{ N}$$

→

$$L_{10} = \left(\frac{37500}{6300}\right)^{3,3} \times \frac{10^6}{60 \times 3536}$$

$$L_{10} = 1058 \text{ [h]} > L_{h \text{ nécessaire}} = 1000 \text{ [h]}$$

2.4.3.5.1 Conclusion

A la suite des calculs établies, on a choisi la référence de roulements **NUP 205 N**.

2.4.3.6 Vérins

Le dimensionnement des vérins est une étape cruciale dans la conception de nombreux systèmes mécaniques, notamment dans les domaines de l'automatisation industrielle, de l'ingénierie des machines et de la robotique. Les vérins sont des actionneurs linéaires qui transforment l'énergie pneumatique ou hydraulique en mouvement linéaire, permettant ainsi de déplacer des charges ou d'exercer une force dans une direction spécifique.

Le processus de dimensionnement des vérins comprend plusieurs étapes clés qui garantissent que le vérin choisi sera capable de répondre aux exigences du système.

En fonction de la charge à déplacer ou de la force à exercer, il est nécessaire de calculer la force requise pour le vérin. Cela peut être fait en utilisant la formule suivante :

$$F = m \times g \text{ [N]} \quad (2.20)$$

F : la force

m : la masse [kG]

g : la force de gravité [m/s]

En fonction des exigences du système et des spécifications disponibles, on doit choisir entre un vérin pneumatique ou un vérin hydraulique. Les vérins pneumatiques sont généralement utilisés pour des applications légères à moyennes, tandis que les vérins hydrauliques sont plus adaptés aux charges lourdes ou aux environnements plus exigeants. Après avoir appliqué nos données sur la formule précédente, on projette nos résultats sur les caractéristiques proposées par le fabricant sur son catalogue pour choisir le vérin le plus fiable pour notre cas.

2.4.3.6.1 Application numérique

En prenant la masse de la machine 100 kg et on effectue notre calcul :

$$F = 100 \cdot 9,81 = 981 \text{ [N]}$$

2.4.3.6.2 Conclusion

D'après la force obtenue après calcul, notre système ne nécessite pas une grande force ce qui signifie que le type de **vérin pneumatique** sera plus fiable pour notre procédé. Donc, on va choisir un vérin pneumatique de la marque **TRIMAN TEC de référence SC63×150FA** qui génère une force de poussé de **1,2 kN** et une force de levage de **1,1 kN**.

2.4.3.7 Calculs des composants selon l'axe des Z

Puisque notre procédé se base sur des translations selon l'axe Z, et que les axes X et Y se présentent comme nulles en termes des efforts et des translations, on va se baser sur l'axe Z pour faire nos calculs en négligeant le reste des axes.

2.4.3.7.1 Forces, vitesse, et pression exercée sur le système

L'effort axiale total qui s'exerce sur notre système se compose de 3 forces :

F_1 : qui représente la force du poids des composants sur cet axe. (25)

$$F_1 = \sum m_i \times g \quad (2.21)$$

F_2 : qui représente les forces d'inertie due aux accélérations et aux décélérations. (25)

$$F_2 = \sum m_i \times \gamma \quad \text{Où} \quad \gamma = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (2.22)$$

ΔV : La variation de la vitesse linéaire.

$$\Delta V = P \times n \quad (2.23)$$

P : Le pas du filetage.

n : Nombre de tour par minute.

F_3 : qui représente l'effort de coupe et de pénétration. (25)

$$F_3 = \frac{1}{3} F_c \quad \text{Où} \quad F_c = K_c \times a \times f \quad (2.24)$$

F_c : Effort de coupe.

K_c : Coefficient spécifique de coupe dépend du matériau ($K_c = 850$ pour les alliages d'aluminium).

f : profondeur de passe , dans notre cas $f = 10$ mm

a = l'avance de l'outil. [mm/tr]

On aura donc :

$$F = F_1 + F_2 + F_3 \quad (2.25)$$

2.4.3.7.2 Application numérique

- Calcul du F_1

$$F_1 = 60,1 \times 9,81 = 589,58 \text{ N}$$

- Calcul du F_2

$$\Delta V = \frac{5 \times 3536}{60} = 294,6 \text{ mm/s}$$

On prend $\Delta t = 0,1$

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{294,6}{0,1} = 2946 \text{ mm/s}^2 \text{ O\grave{u} } 2,946 \text{ m/s}^2$$

Donc :

$$F_2 = 60,1 \times 2,946 = 177,05 \text{ N}$$

- **Calcul du F_3**

$$F_c = 850 \times 5 \times 10 = 42500 \text{ N}$$

On aura donc :

$$F_3 = \frac{1}{3} \times 42500 = 14166 \text{ N}$$

- **Calcul de la force total F sur l'axe Z**

$$F = 589,58 + 177,05 + 14166 = 14932 \text{ N}$$

2.4.3.7.3 Conclusion :

D'après nos calculs, les conditions de fonctionnements sont idéales pour effectuer le procédé de soudage voulu, et donc l'usure est faible sur l'arbre et les composants rotatif.

Chapitre III
Conception et réalisation

2.5 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter la conception et la réalisation de l'outils ainsi que la conception de la machine. Cette conception a été réalisé grâce au logiciel de conception assister par ordinateur (CAO) **SolidWorks 2019**.

Pour la réalisation de l'outils, toutes les pièces ont été usiné d'après la conception sauf la vise de fixation qui a était acheté.

Prenant en compte le délai de la présentation de 3 mois de notre stage de fin d'étude, nous n'avons pas pu continuer la réalisation de notre machine donc on s'est arrêter à l'étude.

2.6 Conception

2.6.1 Conception de la machine

Voici quelque capture d'écran des différentes vues de la machine dans la **Figure (3.1)** :

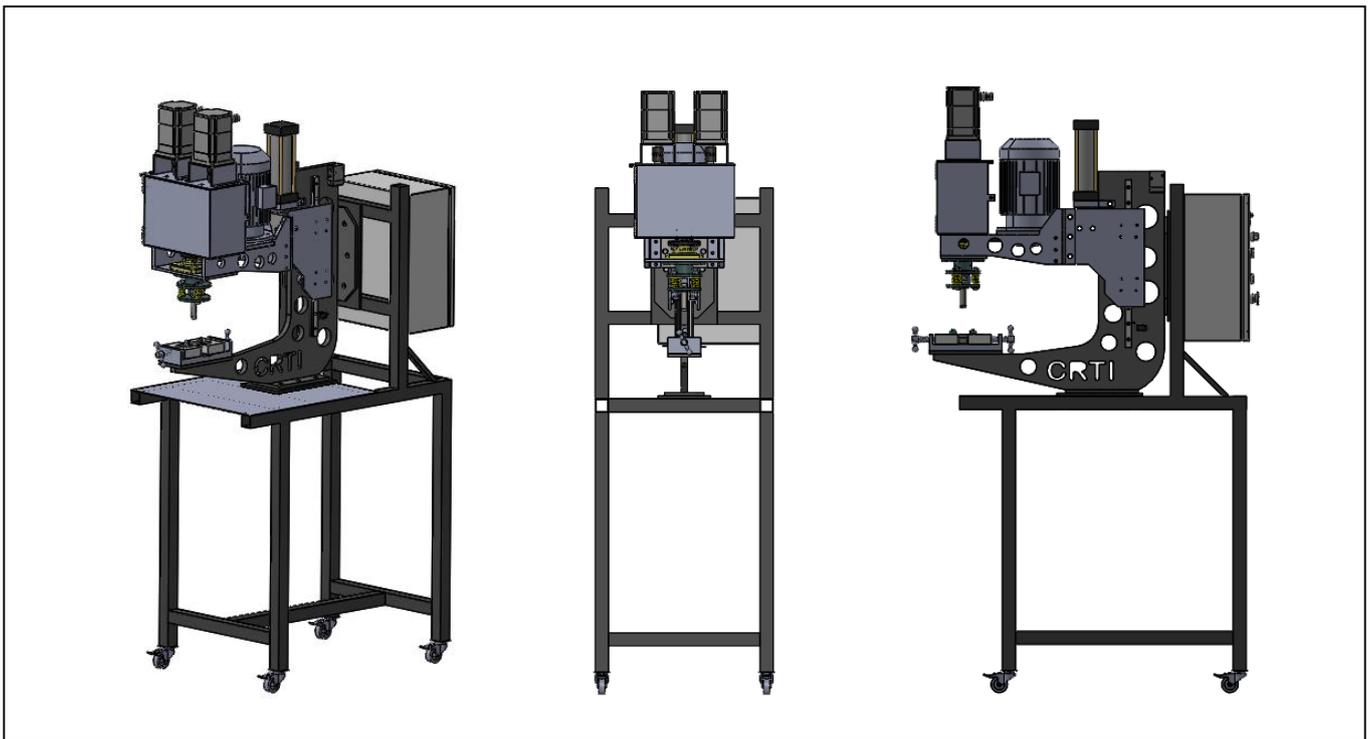


Figure (3.1) Les différentes vues de la conception de la machine RFSSW

2.6.1.1 Présentation des Composants de la machine

- **Châssis**

La solidité et la rigidité du châssis sont essentielles, car il constitue le fondement de notre machine et doit être capable de supporter les forces de coupe, de torsion et de flexion et les vibrations générées par celle-ci.

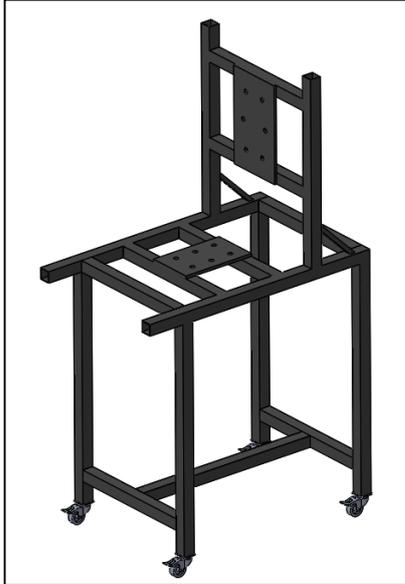


Figure (3.2) rendu 3D du châssis

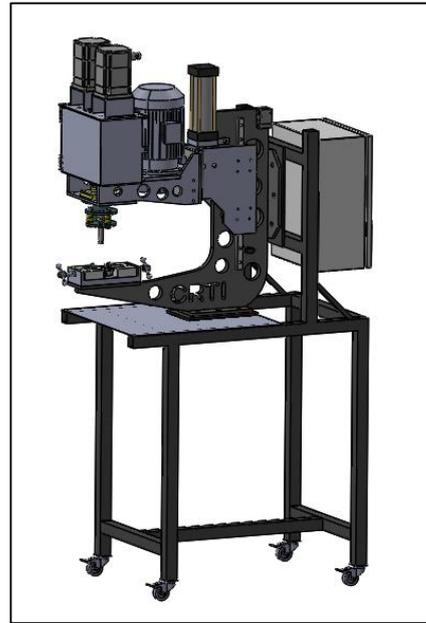


Figure (3.3) Emplacement du châssis dans la machine

On projette à utiliser des tubes métalliques carrée d'acier de taille 40x40x2, et 20x20x2 comme montrer sur la **Figure (3.2)** soudés ensemble.

Nous allons également équiper le bas du châssis de roues pour faciliter le déplacement de la machine **Figure (3.3)**.

- **Support du vérin**

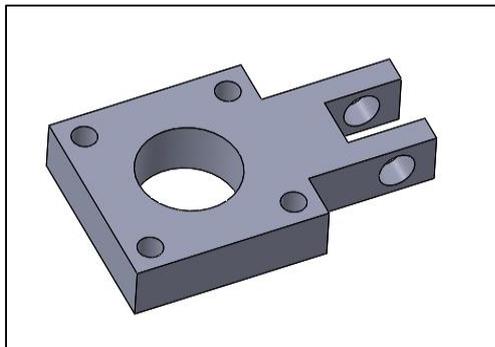


Figure (3.4) rendu 3D de support vérin

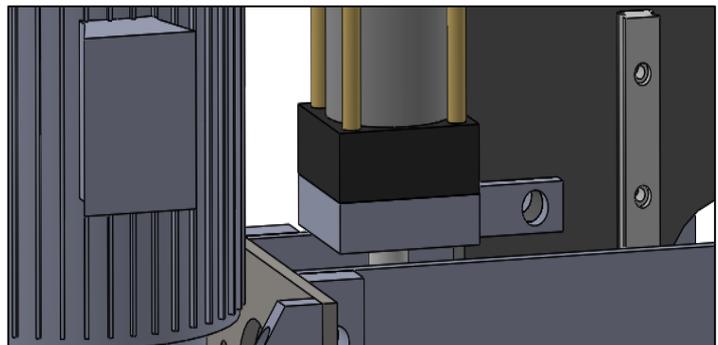


Figure (3.5) Emplacement de support vérin dans la machine

Le support du vérin joue un rôle principal dans le système. En prenant en compte la charge et les vibrations supporter par le support, ce dernier est sera fabriqué d'une tôle en acier trempé d'une épaisseur de 20 mm **Figure (3.4)** afin d'assurer une stabilité et une rigidité optimales. L'assemblage se fait par boulonnage avec la base de la machine **Figure (3.5)**.

- **Les supports des servo-moteur**

De son tour, les supports des servo-moteur jouent le rôle de structure de montage **Figure (3.7)**. On a pensé à les fabriqué en utilisant une tôle d'une épaisseur de 4 mm pliée en forme puis percée selon les trous de montage des servo-moteurs afin de garantir une stabilité et une rigidité optimales **Figure (3.6)**.

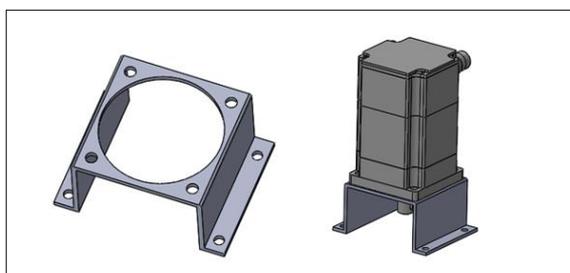


Figure (3.6) rendu 3D des supports des servo-moteurs

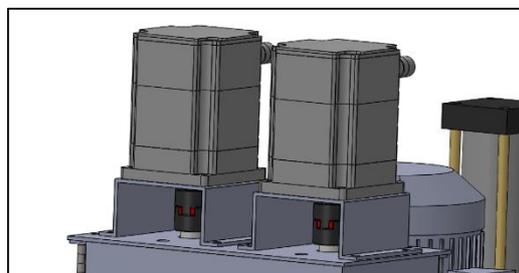


Figure (3.7) Emplacement des supports des servo-moteur

Le montage est réalisé avec une fixation pas vis-écrou.

- **Système de bridage**

Afin d'assurer un bon bridage adapté à notre soudage, Nous avons développé ce système de fixation **Figure (3.8)** et **Figure (3.9)**, afin d'assurer une adhérence optimale de l'éprouvette et garantir une soudure de qualité .

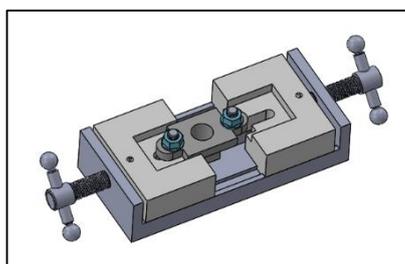


Figure (3.8) rendu 3D de notre système de bridage

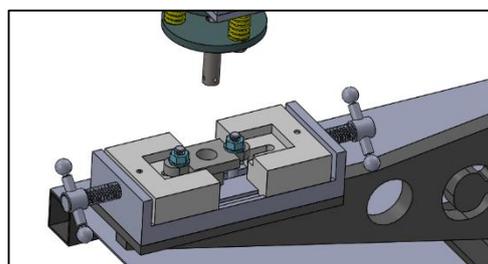


Figure (3.9) Emplacement de système de bridage

Ce dispositif de bridage est composé de plusieurs éléments **Figure (3.10)** :

- Deux vis sans fins avec leurs tiges de serrage
- Deux plaques glissantes
- Une pièce de centrage avec deux vis-écrou
- Petit châssis de système

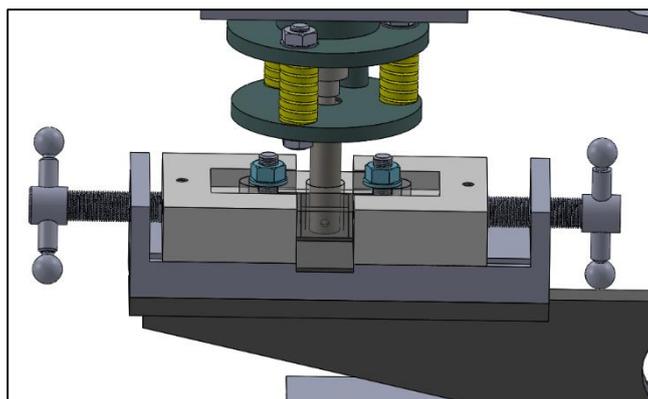


Figure (3.10) Exemple sur l'emplacement

- **La base de la machine**

La construction de la base de la machine doit être bien estimée, car elle constitue l'élément fondamental de l'ensemble. Ainsi, il est impératif de la rendre extrêmement solide et rigide. Pour atteindre cet objectif tout en optimisant le poids, nous avons utilisé dans notre conception une tôle métallique d'une épaisseur de 20 mm **Figure (3.11)** et **Figure (3.12)**.



Figure (3.11) rendu 3D de la base machine

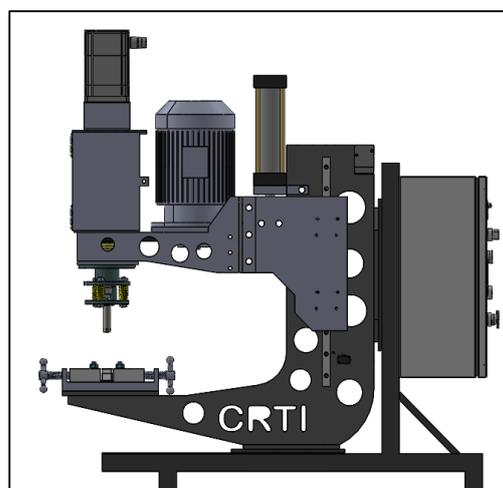


Figure (3.12) Emplacement de la base machine

De plus, afin de réduire le poids total, nous avons procédé à la découpe stratégique de certains morceaux de la tôle.

- **La table**

La table de travail est constituée d'une fine tôle d'une épaisseur de 2 mm **Figure (3.13)** et elle est considérée comme notre surface de travail principale. Son rôle est de fournir une surface plane sur laquelle nous pouvons monter les pièces nécessaires lors de l'utilisation de la machine comme montré sur la **Figure (3.14)**.

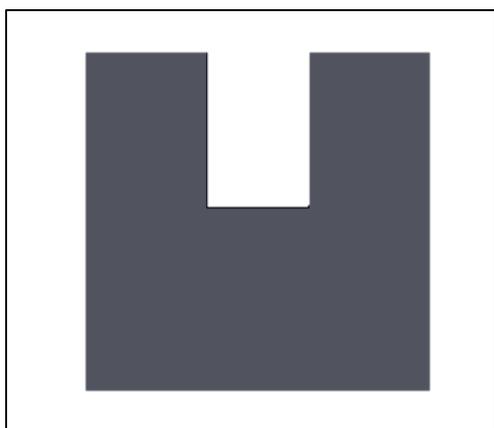


Figure (3.13) rendu 3D de la table

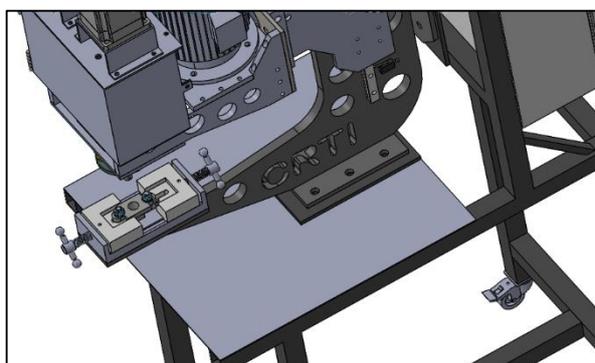


Figure (3.14) Emplacement de la table dans la machine

Nous avons conçu cette table pour être à la fois légère et solide, afin de répondre aux exigences de performance tout en offrant une facilité d'utilisation optimale.

- **L'outils**

Comme expliqué dans l'introduction (Chapitre 1), pour réaliser une telle soudure, il est nécessaire d'utiliser 3 outils : Pin, Sleeve et le Clamping ring. Dans la **Figure (3.15)** suivante on présente la conception des trois pièces :

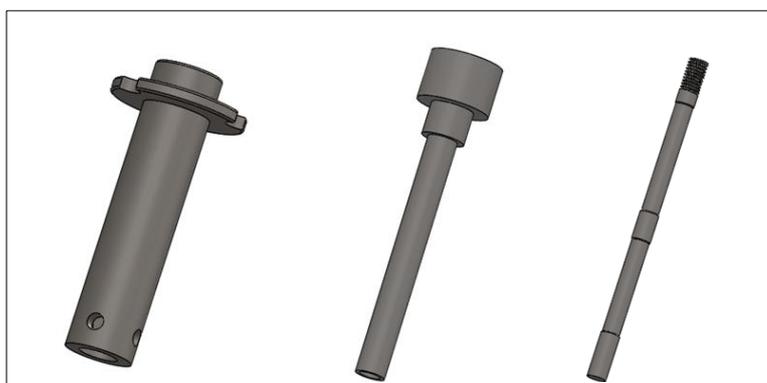


Figure (3.15) rendu 3D d'outils RFSSW pour notre machine

Dans les figures (3.16) et (3.17) suivantes on présente le montage des 3 pièces dans le système :

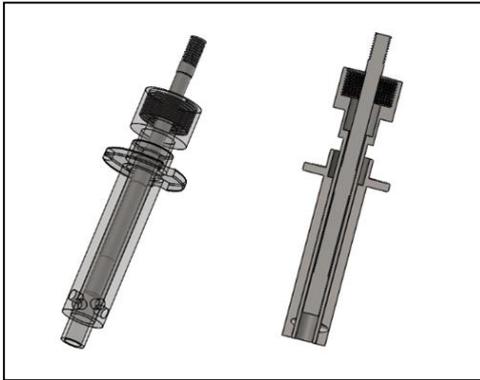


Figure (3.16) Assemblage des 3 pièces

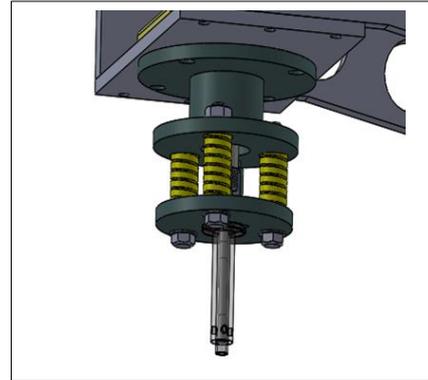


Figure (3.17) Emplacement d'outil dans la machine

- **Support outils**

Le support d'outils est un composant essentiel qui joue le rôle d'amortisseur. Il se compose de deux pièces, l'une supérieure fixe et l'autre inférieure capable d'être comprimée à l'aide de ressorts de compression.

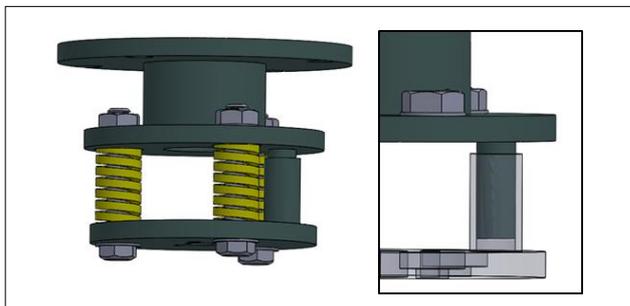


Figure (3.18) rendu 3D de support outils

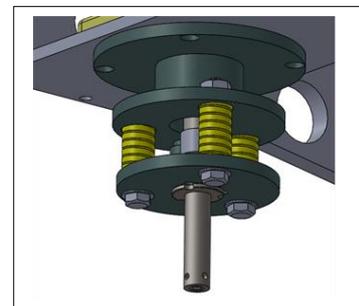


Figure (3.19) Emplacement de support outils

Les ressorts sont montés à l'aide de vis-écrous pour assurer un assemblage sécurisé. Pour garantir l'alignement des deux pièces, nous avons mis en place un système de guidage et de verrouillage. Ce système utilise une tige mâle et une tige femelle, comme illustré dans la **Figure (3.18)**, afin de maintenir les deux pièces solidement ensemble.

- **Boîtier**

Le boîtier est le composant qui abrite notre mécanisme. Nous l'avons conçu sous la forme d'une boîte qui peut être ouverte à l'aide de charnières, facilitant ainsi les interventions si nécessaires.

Pour sa fabrication, nous avons opté pour l'utilisation de tôles de 4 mm d'épaisseur, pliées et perforées selon les spécifications indiquées dans la **Figure (3.20)** et la **Figure (3.22)**.

En ce qui concerne l'assemblage **Figure (3.21)**, nous avons choisi une méthode de boulonnage pour assurer une solidité et une facilité de maintenance maximales. Bien que le soudage puisse également être utilisé, nous avons préféré le boulonnage pour faciliter les éventuelles modifications ou réparations ultérieures.

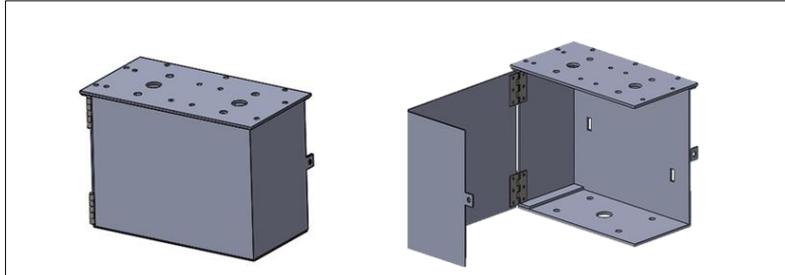


Figure (3.20) rendu 3D du boîtier

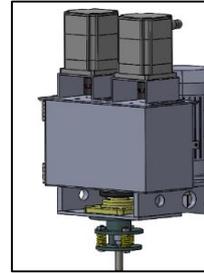


Figure (3.21) Emplacement du boîtier

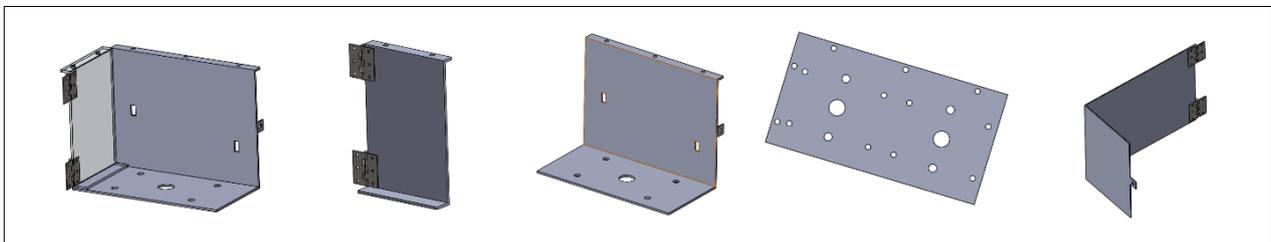


Figure (3.22) rendu 3D des éléments du boîtier

- **Support moteur asynchrone**

Le support moteur d'après la conception sera fabriqué en utilisant une tôle d'une épaisseur de 12 mm **Figure (3.23)**, Cette tôle est soigneusement percée en fonction des trous de montage du moteur **Figure (3.24)** et des points de fixation nécessaires dans la machine.

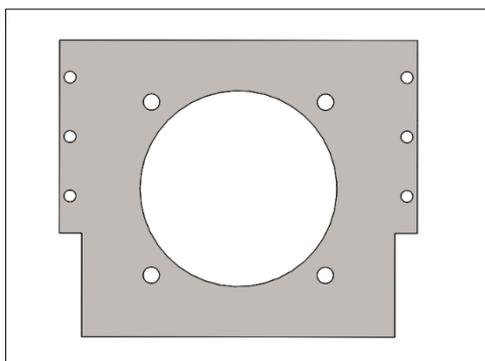


Figure (3.23) rendu 2D de support

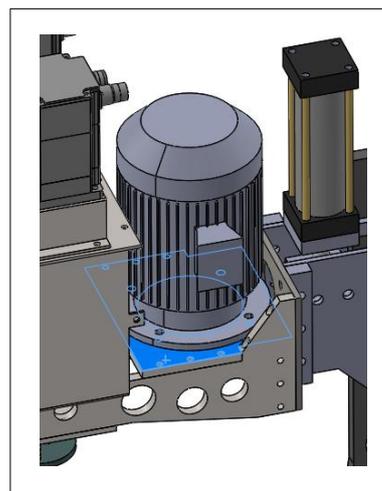


Figure (3.24) Emplacement de support moteur

- **Support de mécanisme machine**

Les supports mécanismes sont indéniablement les pièces les plus importantes, car elles déterminent les dimensions finales de la machine. Pour répondre aux charges importantes qu'ils doivent supporter et aux dimensions des filetages nécessaires, nous avons utilisé dans notre conception des tôles d'une épaisseur de 14 mm **Figure (3.25)**.

Ces pièces jouent un rôle important en permettant l'assemblage de plusieurs composants tels que le support moteur et le support d'outil **Figure (3.26)**. Nous avons également réalisé de grands trous dans ces supports dans le but de réduire le poids global de la machine, tout en maintenant leur résistance structurelle.

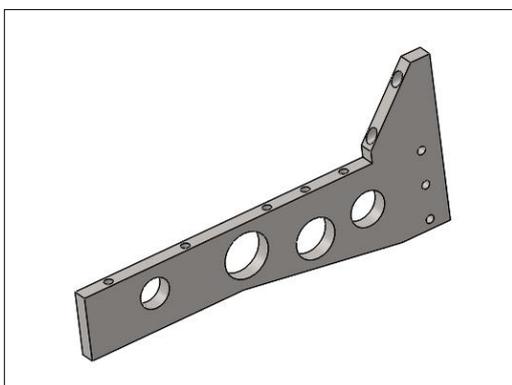


Figure (3.25) rendu 3D du support

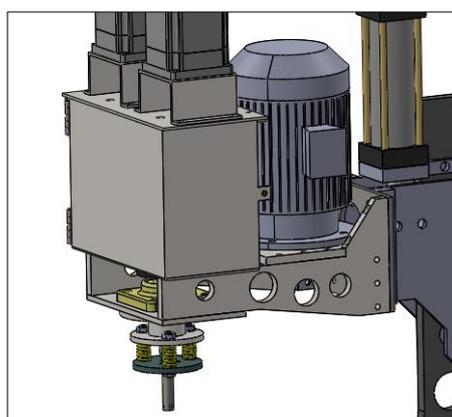


Figure (3.26) Emplacement du support mécanisme

- **Support portique de système**

Les supports portiques **Figure (3.27)** dans notre machine de leur rôle, ils permettent le mouvement de glissement sur l'axe **Z** grâce au vérin que nous avons choisi, ainsi qu'au guidage linéaire assemblé avec la plaque du support **Figure (3.28)**.

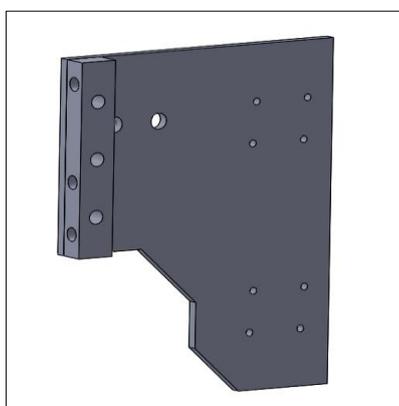


Figure (3.27) rendu 3D du support portique de système

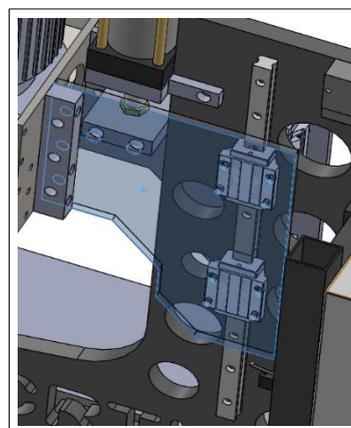


Figure (3.28) Emplacement de support portique de système

Pour leur fabrication, nous avons fait le concept d'une tôle d'une épaisseur de 8 mm. De plus, nous avons ajouté une petite pièce de 20 mm d'épaisseur, entourée en rouge dans la **Figure (3.29)**, afin d'assurer l'assemblage des supports portiques avec le support de mécanisme. Cette pièce renforce la solidité de la structure et favorise la stabilité globale du système.

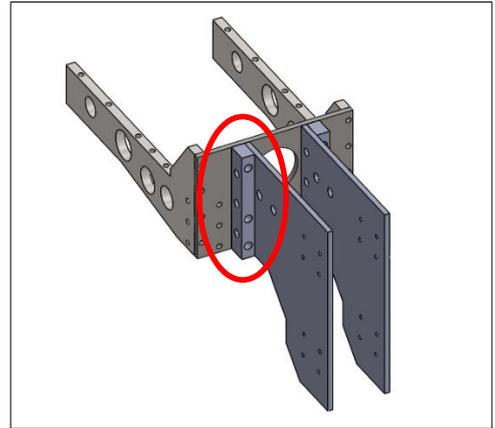


Figure (3.29) aperçu 3D montre tous les supports de la machine

- **Plaque de support de l'axe Z**

Cette pièce assure la jonction de tous les supports. Elle joue le rôle de surface de montage pour de nombreux composants. Cette dernière est une tôle d'épaisseur de 8 mm, ce qui garantit sa solidité et sa durabilité.

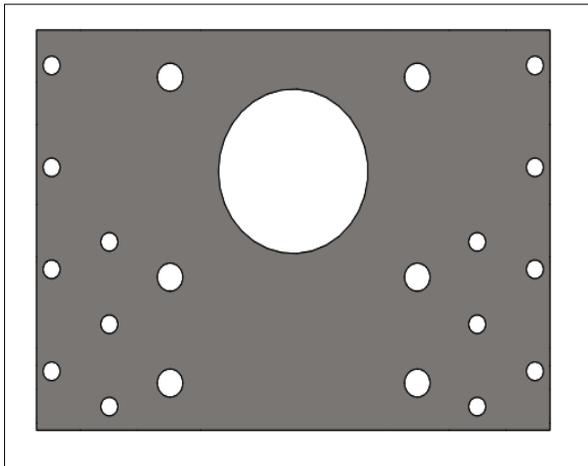


Figure (3.30) rendu 2D de la plaque de support de l'axe

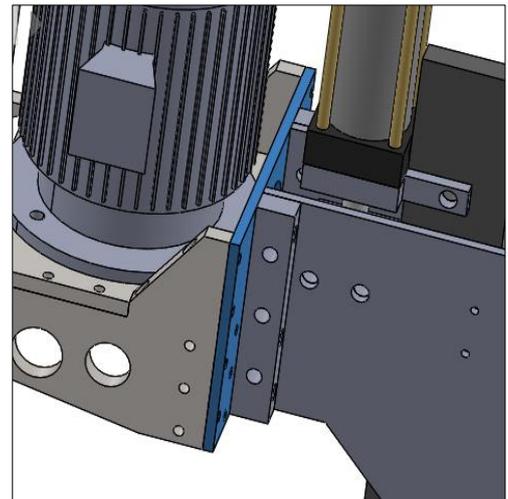


Figure (3.31) Emplacement de la plaque de support de l'axe Z

- **Plaque du support outils**

Cette plaque est essentielle dans notre machine **Figure (3.32)**. Son rôle principal est d'assurer l'alignement précis des arbres avec le support d'outil **Figure (3.33)**. Cela garantit un fonctionnement fluide et précis de la machine, en permettant un positionnement précis et stable de l'outil par rapport aux arbres.

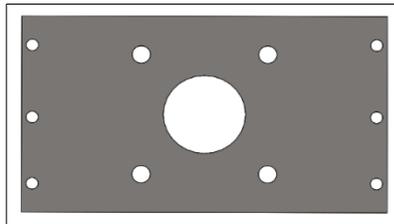


Figure (3.32) rendu 2D de la plaque de support outils

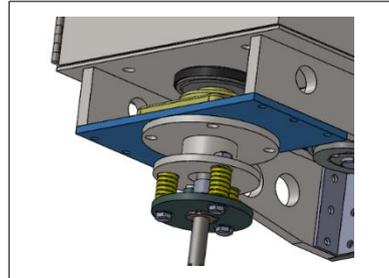


Figure (3.33) Emplacement de la plaque de support outils

- **Cornière**

La cornière s'identifie comme étant indispensable sur ce type de machine. en renforçant l'assemblage entre la plaque de support de l'axe z et le support du mécanisme, elle assure ainsi la stabilité et la durabilité de la machine.

Nous avons choisi d'utiliser une cornière de dimensions 40x40x4, que nous avons découpée selon nos besoins spécifiques. Cette cornière renforce l'assemblage global, offrant une meilleure résistance aux forces appliquées et assurant la stabilité de l'ensemble de la machine.

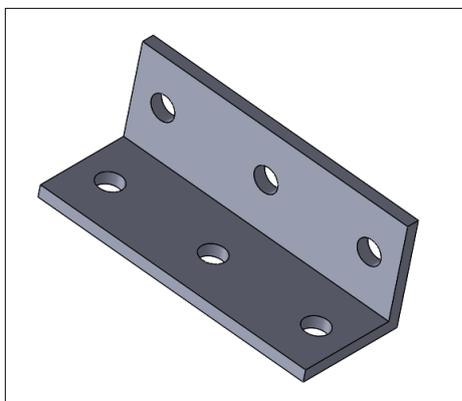


Figure (3.34) rendu 3D de la cornière

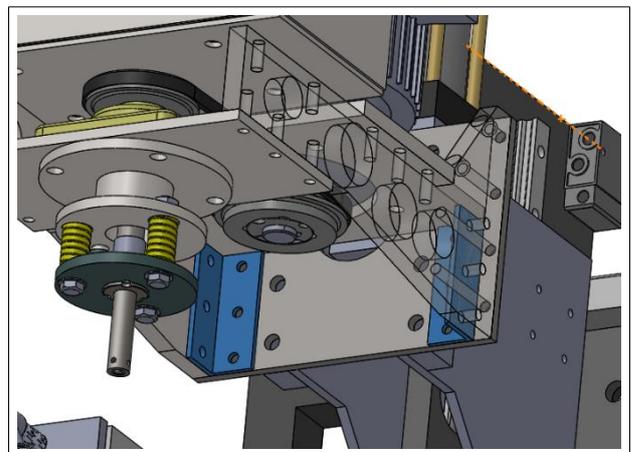


Figure (3.35) Emplacement de la cornière dans la machine

2.6.2 Conception et réalisation de l'outils

Comme expliqué au début de ce chapitre, on a fait la conception et la réalisation de cet outil en prenant en compte toute les contraintes possibles lors de son fonctionnement. La réalisation de l'outil a été effectué entre le **centre de recherche en technologies industrielles** et l'entreprise de fabrication métallique **GENERALE LUMIERE ALGERIE**. Voici ci-dessous dans la **Figure (3.36)** les différentes vues d'après la conception de l'outils.

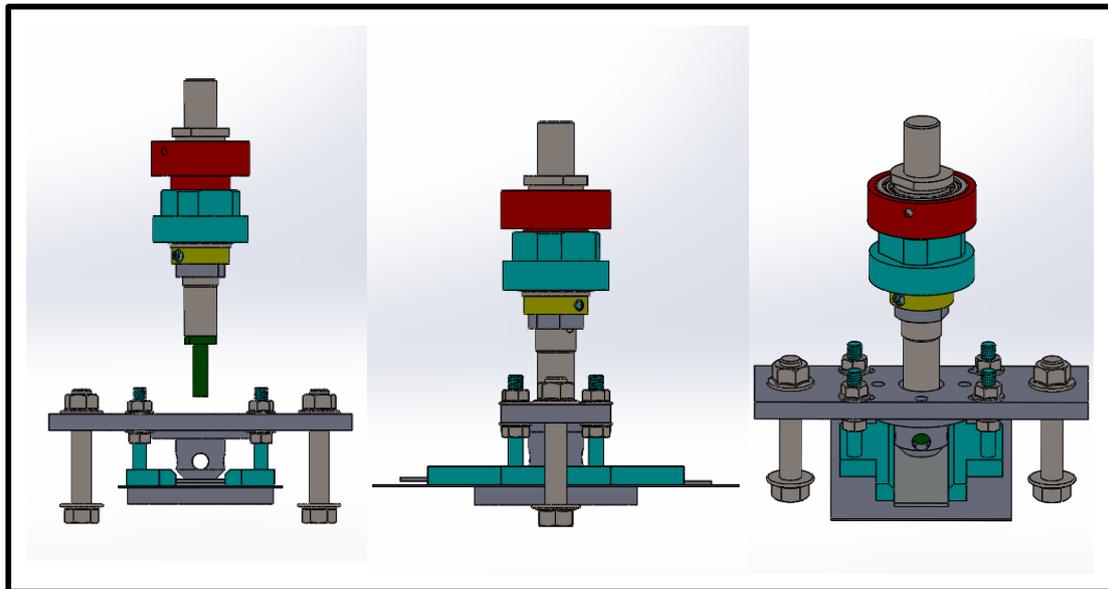


Figure (3.36) Les différentes vues de la conception de l'outils RFSSW

Et dans la **Figure (3.37)** suivante, on vous présente les différentes vues de l'outil après réalisation :

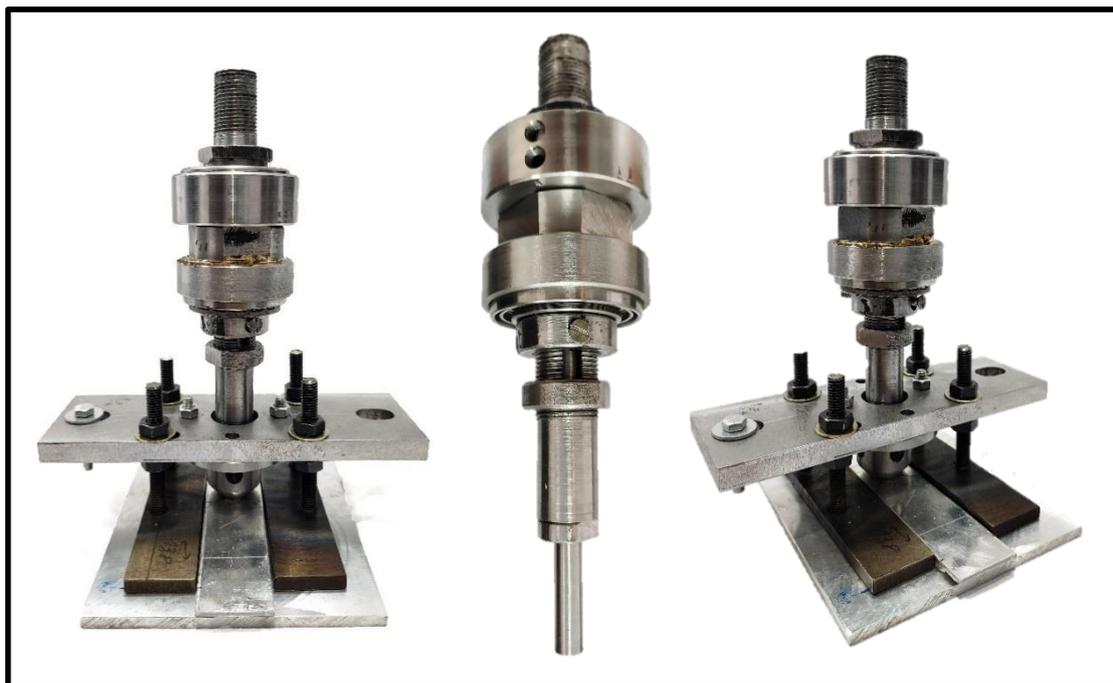


Figure (3.37) Les différentes vues de l'outil RFSSW réalisé

2.6.2.1 Présentation grossière des pièces de l'outil

- **Système de bridage**

Dans notre procédé le système de bridage joue un rôle majeur. Ou les deux tôles à souder nécessite une bonne force de maintien pour que la soudure se fait parfaitement au centre de l'intersection de la première tôle avec la deuxième. C'est pour cela qu'on a développé un système de bridage bien étudié pour maintenir les deux tôles bien en position lors de la soudure. Dans la **Figure (3.38)** et la **Figure (3.39)** suivantes, on présente les différentes pièces du système de bridage :

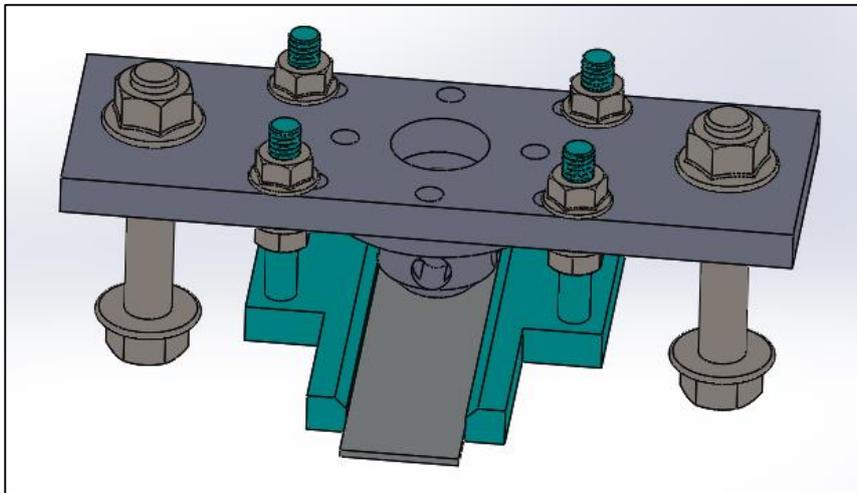


Figure (3.38) le système de bridage assemblé

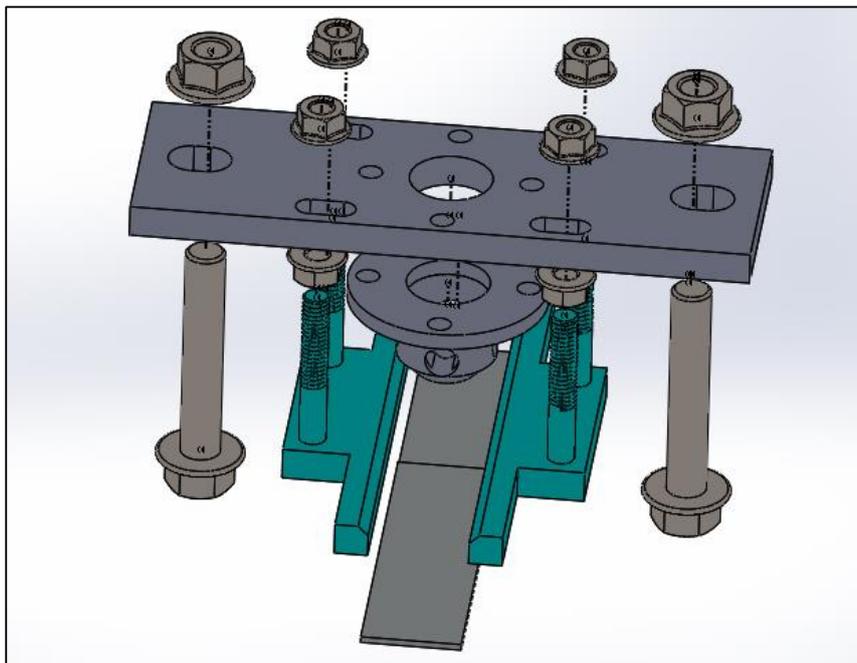


Figure (3.39) le système de bridage en vue éclater

Dans le système de bridage la pièce la plus importante est le **Clamping ring**. Cette pièce tien à maintenir le centre de l'intersection des deux tôles bien en place et assurer que la matière fusionner ne s'échappe pas de l'intérieur du joint de soudure pour une soudure parfaite une empreinte bien fini.

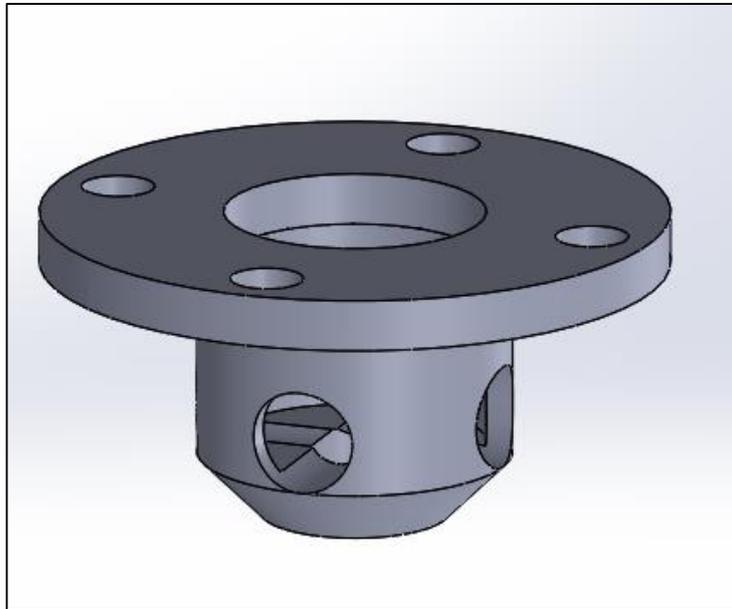


Figure (3.40) la conception de la pièce Clamping ring

Ainsi que le **clamping ring** doit être bien centrée et bien alignée avec le **sleeve** qui fait le soudage afin d'éviter tout type de cassure des pièces comme démontrer dans la **Figure (3.41)**.

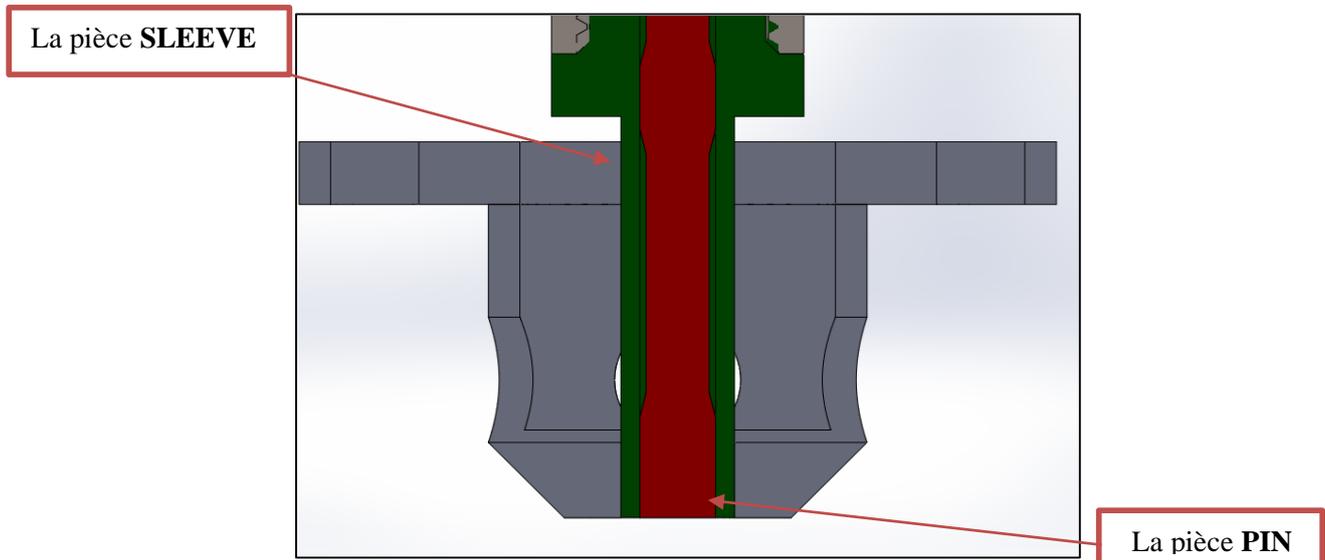


Figure (3.41) vue de coupe de l'alignement du clamping ring avec le sleeve.

- **Outil**

Par rapport à l'outil, les deux pièces les plus importantes et qui participent principalement dans le procédé sont le **Pin** et le **Sleeve**. Comme mentionné dans le chapitre 1, le **Sleeve** a comme rôle de percer dans les deux tôles dans la première étape du procédé, ensuite viendra le rôle du **Pin** à la fin de la soudure pour écraser la matière et créer le joint de soudure souhaité.

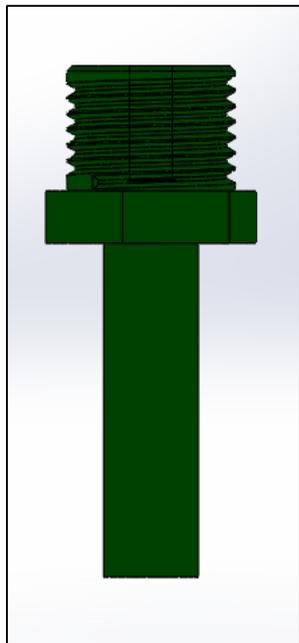


Figure (3.42) Conception du Sleeve

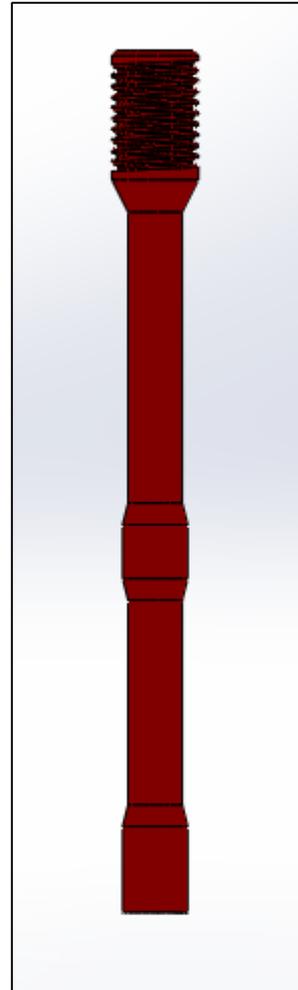


Figure (3.43) Conception du Pin

Sachant que le **Pin** et le **Sleeve** se trouvent dans la même situation que le **Sleeve** et le **Clamping ring**, l'alignement du **Pin** par rapport au **Sleeve** doit aussi centrer et bien aligner pour éviter tout type de cassure ou de frottement excessif.

En vue des efforts appliqués et des forces subies par ces deux pièces, on fait en sorte que ces deux derniers soient changeables.



Figure (3.44) le Pin et le Sleeve après réalisation

En prenant en compte les efforts appliqués sur ces deux pièces, on devait choisir un matériau résistant selon notre étude en chapitre 2. L'acier de nuance 42cd4 était le parfait matériau pour ce type de soudure.

2.6.3 Conclusion

Dans ce chapitre on a introduit les deux concepts qu'on a créé, le premier était un concept d'une machine cnc qui réalise le type de soudage RFSSW et le deuxième concept qu'on put réaliser était un outil montable sur tout type de fraiseuse mécanique qui réalise le type de soudure RFSSW et qui représente une première dans ce domaine.

Chapitre IV
Essaies et résultats

2.7 Introduction

Pour valider notre outil on doit valider son efficacité et validé la soudure. Pour cela la partie étude est très importante. Dans ce chapitre on va présenter deux essais. Le premier qui n'était pas réussi en raison d'un accident qui a fait la cassure de la pièce nommé **Sleeve**, tandis que le deuxième essaie a réussi le soudage souhaité.



Figure (4.1) la pince de serrage

2.7.1 Essaie 1

Pour faire le montage de l'outil sur la fraiseuse on a besoin d'une pince de serrage. C'est pour cela qu'on a fait la conception selon le diamètre de la pince 18 mm. L'étape qui suit le montage de l'outil consiste à centrer l'outil avec le centre de l'intersection des deux tôles. Pour ce faire on doit indiquer manuellement le centre de la tôle pour qu'on puisse projeter la tête de l'outil sur ce point indiquer.

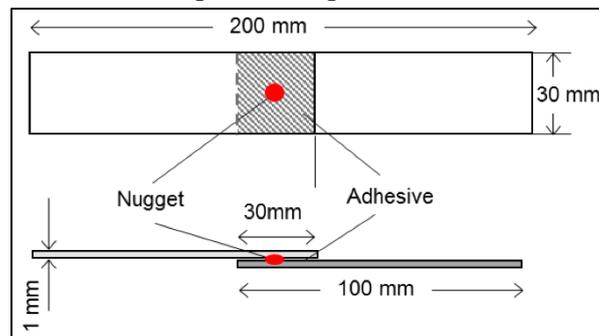


Figure (4.2) centrage de la pointe de soudage sur les pièces à souder

Après avoir terminé, on doit ensuite bien centrer le système de bridage avec l'intersection des deux tôles puis avec l'outil.

Finalement on peut entamer la procédure de soudage. Pour un premier essai, on a effectué la soudure sur deux tôles en aluminium d'épaisseur de 2mm.

L'objectif de cet essai est de faire la soudure est avoir une empreinte comme dans la **Figure (4.3)**, tout en perçant la première tôle et quelque dixième de millimètre de la deuxième tôle.



Figure (4.4) joint de soudure RFSSW

2.7.1.1 Résultats de l'essai 1

A cause d'un désaxement de la tête de fraise, on a eu un accident qui a fini par la cassure de la pièce **Sleeve** comme le montre la **Figure (4.5)**. La cassure était sous forme de cisaillement car le **Sleeve** doit être bien centré lorsqu'il entre dans le **clamping ring** libre sans jeu. Le

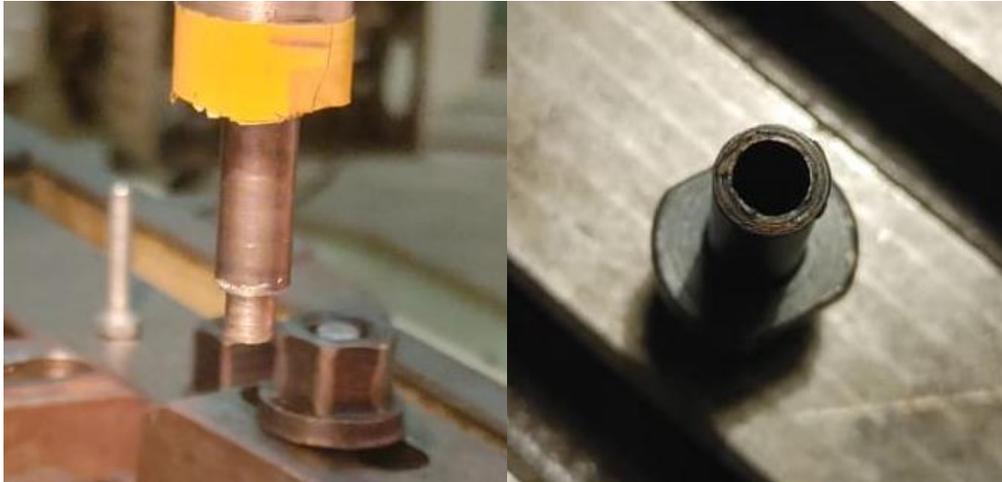


Figure (4.5) image de la pièce **Sleeve** après la cassure.

désaxement a fait en sorte que le **sleeve** frotte sur le **clamping ring** **Figure (4.6)** en rotation et par la suite le **sleeve** a été cisailé à cause de sa faible épaisseur. La soudure était à 50% quand l'outil a subi l'accidents

La partie cisailée
du sleeve

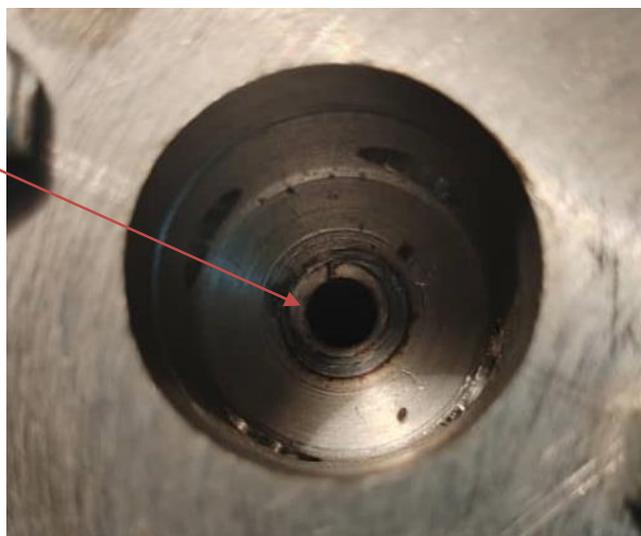


Figure (4.6) vue de l'intérieur du **clamping ring**

2.7.1.2 Conclusion

En conclusion, et après l'accident que l'outil a subi. On peut dire que l'essai 1 a échoué.

2.7.2 Essai 2

D'abord, et en raison du cisaillement du **sleeve** on devait usiner un nouveau **sleeve** pour refaire notre essai. On devait aussi refaire le traitement thermique pour augmenter la dureté de l'outil. Après avoir assemblé l'outil, on a refait toutes les étapes concernant le procédé allant du montage jusqu'au centrage de l'outil. Cette fois on a assuré que la tête de la fraiseuse mécanique est bien centrée pour éviter le même problème de l'essai 1.

2.7.2.1 Résultats

En fin, après plusieurs ajustements on a finalement réussi d'obtenir l'empreinte souhaiter. La durée de la soudure était de 2min. La durée du procédé est due au travail manuel sur l'outil. Ce qui reste a développé au plus tard.



Figure (4.7) la soudure RFSSW réalisé
par notre outil

2.7.2.2 Conclusion

Après de nombreux essaies, on a finalement réussi notre soudage RFSSW en utilisant notre outil. L'empreinte n'était pas parfaite en raison de la complexité du procédès.

Conclusion générale

En conclusion, cette étude a examiné en détail le procédé de soudage par friction par remplissage par point (RFSSW) et son application potentielle dans diverses industries. Les résultats obtenus ont démontré que l'outil réalisé de notre part fait bien son travail sachant que ce concept est un concept primaire qui sera développer dans future.

L'analyse des paramètres clés du RFSSW a permis de déterminer leur impact sur la qualité et les propriétés des joints soudés. Il a été constaté que la vitesse de rotation de l'outil, la pression axiale et la vitesse d'avance jouent un rôle crucial dans la formation du joint et doivent être soigneusement contrôlées pour obtenir des résultats optimaux.

Ainsi, l'analyse du fonctionnement des machines de ce type nous a donné l'inspiration pour faire la conception d'un outil standard montable sur toutes les types de fraiseuses mécanique. le procèdes dans le cas de cet outil se réalisera manuellement . Ce qui représente une toute première dans le domaine du soudage RFSSW.

Par ailleurs, chaque invention doit être basé sur une étude solide et c'est la partie la plus importante dans ce mémoire, ou on a pris en considération toutes les contraintes qui peuvent affecter notre outil. Ainsi que les paramètres de soudage qui on était pris en considération lors du dimensionnement des différents organes comme les roulements et le choix du matériau avec lequel on a usiner notre outil.

En conclusion, malgré les difficultés qu'on a rencontrées tout le long de la conception et la réalisation de cet outil, on a réussi à obtenir un résultat se soudage satisfaisant sur le plan mécanique et technique.

Références

1. **bensaada**. *Université de biskra*. [En ligne] 18 Novembre 2019. <https://www.univ-biskra.dz/enseignant/bensaada/4%20Le%20soudage%2018%20pages.pdf>.
2. **openai.com**. *chatGPT*. [En ligne] <https://chat.openai.com/>.
3. **DUCHATEAU, Jean-Christophe**. *éduSCOL*. [En ligne] 23 Juin 2015. <https://eduscol.education.fr/sti/actualites/soudage-par-friction-malaxage-une-technologie-mature>.
4. **Shen, Z., et al**. *sciencedirect*. [En ligne] Février 2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924013617304831>.
5. **Yuri Hovanski, Chair, Tracy W. Nelson et Michael P. Miles**. *scholarsarchive*. [En ligne] 21 Juin 2020. <https://scholarsarchive.byu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=9513&context=etd>.
6. **bond technologies**. *bond technologies*. [En ligne] <https://bondtechnologies.net/rfssw-series/>.
7. **amor, Gettafi**. *université de batna*. [En ligne] http://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/guettafi_amor/files/5-moteurs_pas_a_pas.pdf.
8. **simon**. *ST solutions*. [En ligne] Juillet 2020. <https://stsolutions.ch/principaux-types-moteurs-electriques/>.
9. **IP systemes**. *IP systemes*. [En ligne] <https://www.ip-systemes.com/details-qu+est+ce+qu+un+servomoteur+et+comment+cela+fonctionne+-869.html#>.
10. **Layosa, Carlicia**. *misumi Mech lab*. [En ligne] Aout 2014. <https://us.misumi-ec.com/blog/sliding-guides-part-2-linear-bushings-vs-linear-guides/>.
11. **Michaud chailly**. *Michaud chailly*. [En ligne] https://www.michaud-chailly.fr/custom/images/rtf/guide-technique-vis-bille-114-ko-pdf-mc_technique_vis_billes-lmod1.pdf.
12. **SKF**. *SKF*. [En ligne] https://www.skf.com/binaries/pub43/Images/0901d1968094ddb3-Rolling-bearings---17000_1-FR_tcm_43-121486.pdf.
13. **Wikipédia**. *Wikipédia*. [En ligne] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Palier_\(m%C3%A9canique\)#Crapaudines](https://fr.wikipedia.org/wiki/Palier_(m%C3%A9canique)#Crapaudines).
14. **Duysinx, Pierre**. TRANSMISSION PAR COURROIE ET POULIES. *University of liège*. [En ligne] 2019/2020. http://www.ingveh.ulg.ac.be/uploads/education/MECA-0444/13_MECA0444-Belt.pdf.
15. **Centre nationale de roussources textuelles et lexicales**. *Poulies*. *Centre nationale de roussources textuelles et lexicales*. [En ligne] <https://www.cnrtl.fr/definition/poulie>.
16. **A rubix company**. *Accouplements*. *VERMEIRE*. [En ligne] <https://www.vermeire.com/fr/accouplements>.

17. **AHR** . Qu'est ce qu'un vérin pneumatique ? *AHR*. [En ligne] <http://www.ahr-socah.fr/socah/definition-verin-pneumatique.html>.
18. **PAILLARD, Pascal**. Procédés de soudage. *Techniques de l'ingénieur* . [En ligne] 10 Mars 2021. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mecanique-th7/assemblage-des-materiaux-par-soudage-42512210/procedes-de-soudage-bm7700/>.
19. **Wikipédia**. *Wikipédia* . [En ligne] https://fr.wikipedia.org/wiki/Anneau_%C3%A9lastique.
20. **MUZEAU, Jean-Pierre**. *Techniques de l'ingénieur* . [En ligne] Mai 2005. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-les-superstructures-du-batiment-tiacd/archive-1/constructions-metalliques-c2521/boulons-traditionnels-c2521niv10001.html>.
21. **Wikibooks** . Les ressorts . *Wikibooks* . [En ligne] Aout 2022. https://fr.wikibooks.org/wiki/Les_ressorts.
22. **Diagnostique électrique** . Armoire électrique. *Diagnostique électrique* . [En ligne] <https://www.diagnosticelectrique.com/definition-armoire-electrique/>.
23. **FANDIS blog** . Qu'est-ce qu'un interrupteur fin de course ? *FANDIS blog* . [En ligne] Avril 2021. <https://blog.fandis.com/fr/armoires-electriques/quest-ce-quun-interrupteur-fin-de-course/>.
24. **métaux détail**. acier 42 cd 4. *métaux détail* . [En ligne] https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjB-9yPoK__AhUy9LsIHdtFBclQFnoECAwQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.metaux-detail.com%2Fpdf%2Facier%2F42cd4.pdf&usq=AOvVaw2prqjCmmL9y8H6_tNSbJ1Q.
25. **Zammouchi , oualid benyoucef et Bougaila , Ali** . thèses de fin d'études . *Conception et réalisation d'une machine CNC a 3 axes* . Blida : Université de saad dahleb blida 1, Juin 2021.
26. **THOMSON LINEAR**. screws. *THOMSON LINEAR*. [En ligne] https://www.thomsonlinear.com/downloads/screws/Metric_Precision_Ball_Screws_bren.pdf.
27. **easy weld** . *easy weld*. [En ligne] [Citation : 05 04 2023.] <https://www.easyweldfrance.com/procede-tig-guide-du-soudeur/>.
28. **Metal blog**. *metal blog*. [En ligne] 25 mai 2020. <https://www.easyweldfrance.com/procede-tig-guide-du-soudeur/>.
29. **soudeurs.com**. *soudeur.com*. [En ligne] 5 Janvier 2019. <https://www.soudeurs.com/site/qu-est-ce-que-le-brasage-et-le-soudage-la-flamme-oxyacetylenique-341/>.
30. **Lyne, st-georges**. *ResearchGate*. [En ligne] Janvier 2011. https://www.researchgate.net/publication/265125708_Etude_numerique_et_experimentale_des_mecanismes_thermiques_lors_du_soudage_par_friction_malaxage.
31. **Institut Belge de la Soudure asbl**. *Institut Belge de la Soudure asbl*. [En ligne] <https://bil-ibs.be/fr/publicatie/soudage-par-friction-malaxage>.

32. **barka, nouridine.** *researchgate*. [En ligne] Septembre 2018. https://www.researchgate.net/profile/Noureddine-Barka-2/publication/327971924_Optimisation_des_procedes_de_soudage_au_laser_et_par_resistance_electrique_-_Rapport_d%27essais/links/5c17fc95299bf139c7605b02/Optimisation-des-procedes-de-soudage-au-laser-et-p.
33. **Wikipédia .** *Wikipédia* . [En ligne] 28 Mars 2023. https://en.wikipedia.org/wiki/Friction_stir_spot_welding.
34. **weldingandndt.com.** *weldingandndt*. [En ligne] www.weldingandndt.com.
35. **Kubit, Andrzej, Rafał , Kluz et Tomasz, Trzepieciński.** *ResearchGate* . [En ligne] Janvier 2018. https://www.researchgate.net/figure/Schematic-illustration-of-the-RFSSW-processes_fig1_318921517.
36. **Siret, Olivier.** *researchgate*. [En ligne] Juil 2014. https://www.researchgate.net/figure/Schema-de-principe-du-soudage-par-friction-malaxage-FSW-40_fig17_264352996.
37. **UACJ Automobile technologie .** *UACJ Automobile technologie* . [En ligne] https://uacj-automobile.com/joining_technology02.html.
38. **Shen, Zhikang.** *springeropen*. [En ligne] 19 aout 2021. <https://cjme.springeropen.com/articles/10.1186/s10033-021-00593-0>.
39. **dodds, Steve.** *linkedin*. [En ligne] 12 Decembre 2019. <https://www.linkedin.com/pulse/friction-stir-spot-welding-overview-steve-dodds>.
40. **twi-global.** *twi*. [En ligne] <https://www.twi-global.com/media-and-events/insights/what-is-refill-friction-stir-spot-welding>.
41. **Ghiles, GOUCHENE et MOHAMMEDI Sami.** Etude Et Dimensionnement D'une Perceuse Sensitive À Colonne. *Thèse de fin d'étude* . Bijaia : Université de bijaia, 2019-2020.



Photo A.1 l'outil réalisé



Photo A.2 l'outil assemblé

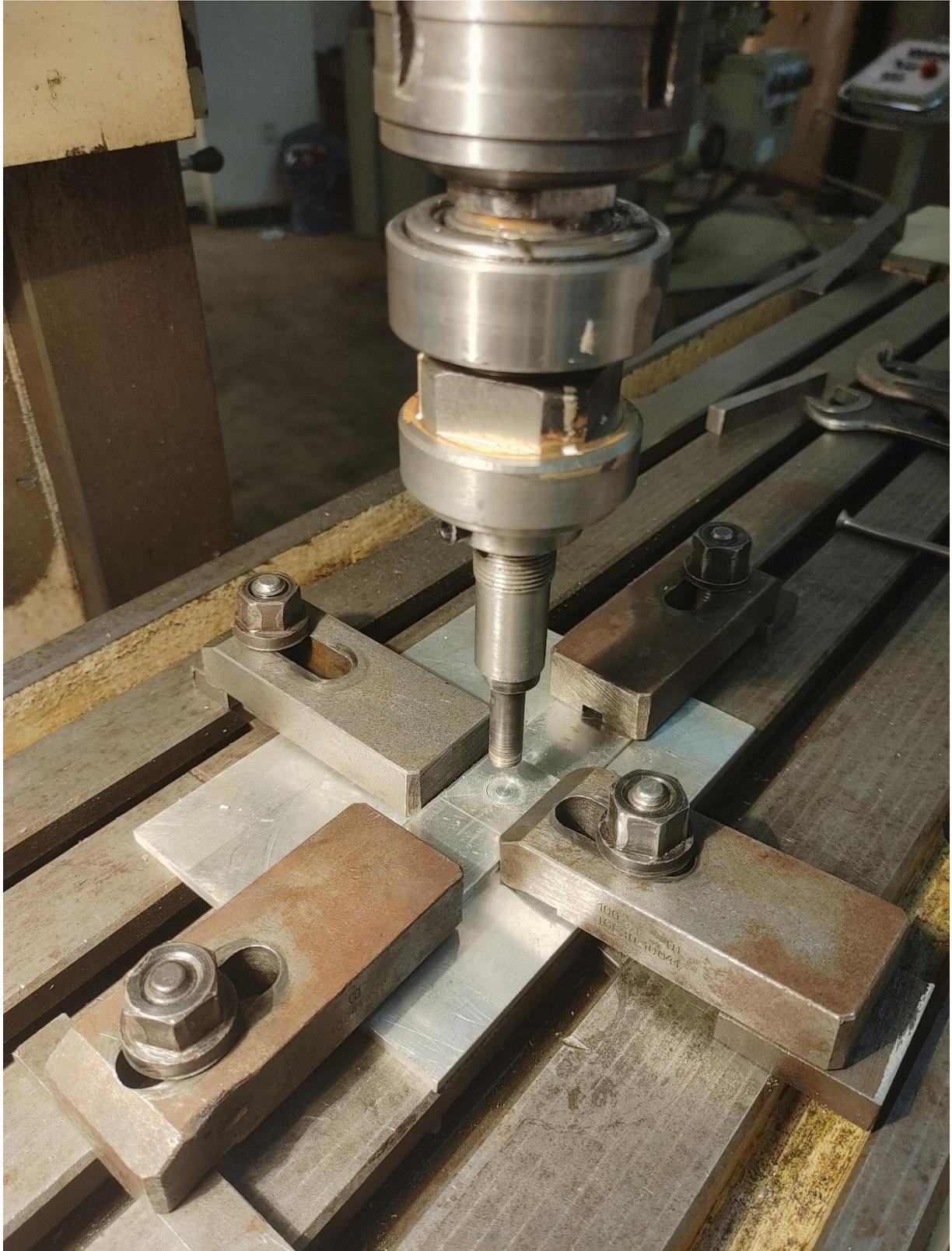


Photo A.3 l'outil monter sur une fraiseuse mécanique



Photo A.4 l'usinage du pin



Photo A.5 des soudures faites par notre outil