

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Génie Mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

Par : DIB Mohammed

Sujet

Conception d'un robot de soudage par points

Soutenu publiquement, le 09 /10 /2025, devant le jury composé de :

M/BOUKHALFA Abdelkrim	Pr.	Université de Tlemcen	Président
M/BELKAID Mohammed	Pr.	Université de Tlemcen	Examinateur
M/HAMZA CHERIF Sidi Mohammed	Pr.	Université de Tlemcen	Encadreur
M/BENMANSOUR Sid Ahmed	MCA	Université de Tlemcen	Co-Encadreur

Année universitaire : 2024 /2025

Remerciement

Avant tout, je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers ALLAH, le Tout-Miséricordieux, pour m'avoir accordé la force, la patience et le savoir nécessaires tout au long de mon cursus universitaire. C'est grâce à Sa grâce que j'ai pu surmonter toutes les difficultés et atteindre ce succès.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à mon encadrant, M. Hamza CHERIF et mon Co-Encadreur M. BENMANSOUR Sidahmed, pour l'aide précieuse, les conseils avisés et le soutien constant qu'il m'a apportés tout au long de la réalisation et de la finalisation de ce mémoire.

Je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux membres du jury, M. BOUKHALFA Abdelkarim et M. AMIRAT Mohamed, pour leur temps, leur expertise et leur précieux retour.

Enfin je remercie aussi chaleureusement mes parents, mes frères et sœurs, mes amis et collègues, pour leur soutien, leur encouragement et leur patience. Les moments agréables que nous avons partagés ont été une source de motivation précieuse.

Dédicace

À mes parents, piliers constants d'inspiration et de soutien dans ma vie. Votre amour, vos prières et vos encouragements indéfectibles m'ont éclairé tout au long de cette aventure.

À mes frères et sœurs, compagnons de route précieux, qui ont partagé avec moi les hauts et les bas de ce parcours, et qui ont toujours été là pour célébrer les réussites et surmonter les défis. Votre présence a ajouté une valeur inestimable à cette expérience.

À ma famille élargie, pour votre soutien infailible, vos prières bienveillantes et vos mots d'encouragement constants.

À mes professeurs de la filière construction mécanique, dont la sagesse, la guidance et la passion pour leur domaine ont été une source inestimable de connaissances.

À tous mes amis, qui ont été un précieux réseau de soutien, d'amitié et de partage tout au long de ce parcours.

*Avec gratitude, **DIB Mohammed***

Résumé :

Les robots de soudage par points représentent une catégorie essentielle des robots industriels, largement utilisés dans les domaines de la fabrication mécanique et de l'automatisation.

La conception de ce type de robot fait appel à plusieurs disciplines, notamment la mécanique, l'électronique et l'automatique, et requiert une parfaite intégration entre la structure mécanique et le système de commande. L'objectif de ce travail est la conception et l'étude d'un robot de soudage par points. La modélisation géométrique tridimensionnelle a été réalisée à l'aide du logiciel SolidWorks 2024, suivie d'une mise en plan des différentes pièces constituant le robot. L'étude statique par éléments finis a permis de vérifier la rigidité et la fiabilité de la structure conçue. La partie commande a consisté à intégrer les principaux éléments du système pour assurer un mouvement précis, fluide et fiable. Le travail réalisé offre une solution robuste et fonctionnelle, tout en servant de support pédagogique pour les étudiants et de base pour de futures recherches dans le domaine de la robotique industrielle.

Mots clés : Soudage par points, conception assisté par ordinateur, bras robotique.

Abstract :

Spot welding robots represent an essential category of industrial robots, widely used in the fields of mechanical manufacturing and automation. The design of this type of robot involves several disciplines, including mechanics, electronics, and automation, and requires perfect integration between the mechanical structure and the control system.

The objective of this work is the design and study of a spot welding robot. The three-dimensional geometric modeling was carried out using **SolidWorks 2024**, followed by detailed drawings of the different components of the robot. A static analysis using the finite element method was performed to verify the rigidity and reliability of the designed structure. The control part consisted of integrating the main components of the system to ensure precise, smooth, and reliable motion. The work carried out offers a robust and functional solution, serving both as an educational tool for students and as a foundation for future research in the field of industrial robotics.

Keywords : Spot welding, computer-aided design, robotic arm.

ملخص:

تُمثل روبوتات اللحام النقطي فئةً أساسيةً من الروبوتات الصناعية، وتُستخدم على نطاق واسع في مجالات التصنيع الميكانيكي والأتمتة.

يتضمن تصميم هذا النوع من الروبوتات تخصصاتٍ متعددة، بما في ذلك الميكانيكا والإلكترونيات والأتمتة، ويتطلب تكاملاً مثالياً بين الهيكل الميكانيكي ونظام التحكم.

يهدف هذا العمل إلى تصميم ودراسة روبوت لحام نقطي. أُجريت نمذجة هندسية ثلاثية الأبعاد باستخدام برنامج ، تلاها رسمٌ للأجزاء المختلفة التي يُكوّنها الروبوت. أتاحت دراسة العناصر المحدودة الثابتة التحقق SolidWorks 2024 من صلابة وموثوقية الهيكل المُصمم.

تألف جزء التحكم من دمج العناصر الرئيسية للنظام لضمان حركة دقيقة وسلسة وموثوقة.

يُقدم هذا العمل المنجز حلاً متيناً وعملياً، ويُمثل في الوقت نفسه دعماً تعليمياً للطلاب وأساساً للأبحاث المستقبلية في مجال الروبوتات الصناعية.

الكلمات المفتاحية: اللحام النقطي، التصميم بمساعدة الحاسوب، الذراع الروبوتية.

Sommaire

<i>Introduction générale</i>	1
1. Structure du mémoire	1
<i>Chapitre I: Généralité</i>	3
1. Introduction :.....	3
2. Description des bras robotique de soudage par points :.....	3
3. Histoire	4
3.1. Évolution des robots en général :.....	4
3.2. Développement des bras robotiques de soudage par point :.....	5
4. Différents types de bras robotiques de soudage par point	5
4.1. Bras articulés à six axes :.....	5
4.2. Robots SCARA (Sélective Compliance Assembly Robot Arm) :.....	6
5. Formulation préliminaire du projet :.....	7
5.1. Analyse du besoin :.....	7
5.1.1. Diagramme bête à cornes :.....	7
5.1.2. Enonce du besoin :.....	7
5.1.3. Validation du besoin :.....	7
6. Analyse de faisabilité :.....	8
6.1. Ressource nécessaire :.....	8
6.2. Estimation des couts :.....	9
7. Conclusion	9
<i>Chapitre II: Etude conceptuel du projet</i>	10
1. Introduction :.....	10
2. Analyse fonctionnelle :.....	10
3. Analyse fonctionnelle externe :	10
3.1. Identification des éléments du milieu extérieur :.....	11
3.2. Diagramme de la pieuvre :.....	11
4. Analyse fonctionnelle interne :.....	13
4.1. La méthode de FAST :.....	13
5. Structure fonctionnelle du projet :	14
6. Cahier des charges fonctionnel du robot :	17
7. Conclusion :	18
<i>Chapitre III: Conception</i>	19

1. Introduction	19
2. Solutions technologiques.....	19
2.1. Structure :.....	19
2.1.1. Option technologiques possible :.....	19
2.1.2. Choix de la solution optimale :.....	21
2.2. Motorisations :	22
2.2.1. Options technologiques possible :.....	22
2.2.2. Choix de la solution optimale :.....	25
2.3. Systèmes de guidage :.....	25
2.3.1. Options technologiques possible :.....	25
2.3.2. Choix de la solution optimale :.....	26
2.3.3. Système de rotation de la base :.....	26
2.3.4. Option technologiques possibles	26
2.3.5. Choix de la solution optimale :.....	27
3. Conception du système :	28
3.1. Chaîne cinématique du système :.....	28
3.2. Modélisation géométrique :	28
3.2.1. La conception de notre bras manipulateur avec SOLIDWORKS :.....	28
3.2.1.1. Parties pièces :.....	28
3.2.1.2. Parties de l'assemblage :.....	37
3.2.1.3. Modélisation 3D du robot :.....	39
4. Conclusion.....	40
<i>Chapitre IV: Soudage par points</i>	<i>41</i>
1. Introduction :.....	41
2. Principe du soudage par points :	41
3. Cycle du soudage par points :	41
3.1. Etape du cycle du soudage :.....	41
4. Types de soudage par points :	42
4.1. Principaux types de soudage par points :.....	43
5. Formation de la soudure :	43
5.1. Etapes de la formation de la soudure :.....	43
6. Principaux paramètres du soudage par points :	44
7. Porte-électrode :	48
7.1. Fonctions et caractéristiques du porte-électrode :.....	48
8. Course de l'électrode :	49
9. Choix des paramètres de soudage par points :	49
10. Conclusion :	50
<i>Chapitre V: Étude statique du robot.....</i>	<i>51</i>
1. Introduction :.....	51
2. Étude statique du robot	51

3. Paramètres de l'étude :	52
3.1. Propriétés de matériau :	52
3.2. Maillage :	52
3.3. Actions extérieurs :	54
4. Résultats de l'étude :	55
4.1. Les contraintes de Von-Mises : pour bras 1	55
4.2. Les déplacements :	56
4.3. Les contraintes de Von-Mises : pour bras 2	57
4.4. Les déplacements :	58
5. Conclusion :	58
<i>Chapitre VI: Commande</i>	<i>59</i>
1. Introduction :	59
2. Motorisation :	59
3. Driver :	60
4. Contrôleur	62
5. Pilote :	63
6. Circuit de commande :	65
7. Conclusion :	66
<i>Conclusion générale</i>	<i>67</i>
<i>Références</i>	<i>68</i>
<i>Annexes</i>	<i>1</i>
Annexe A :	2
Annexe B :	25

Liste des Figures

Figure I-1: Industrie 4.0.....	3
Figure I-2: George Devol	4
Figure I-3: le premier robot industriel Unimate.....	5
Figure I-4: Bras articulés à six axes.....	6
Figure I-5: Robots SCARA.....	6
Figure I-6: Diagramme bête à cornes.....	7
Figure II-1: Diagramme de la pieuvre.....	12
Figure II-2: La méthode de FAST.....	13
Figure II-3: Diagramme FAST de la fonction principale	15
Figure II-4: Structure fonctionnelle du système	16
Figure III-1: Structure à chaine simple	19
Figure III-2 : Structure à chaine arborescente.....	20
Figure III-3 : Structure à chaine complexe.....	20
Figure III-4 : Structure PPP.....	21
Figure III-5 : Structure PRP.....	21
Figure III-6 : Structure PRR.....	21
Figure III-7 : Structure RRP.....	21
Figure III-8 : Poignet à axes concourants	21
Figure III-9 : Structure RRR.....	21
Figure III-10: Moteurs à courant continu.....	22
Figure III-11: Moteurs asynchrones.....	22
Figure III-12: Moteurs synchrones.....	23
Figure III-13: Moteurs pas-à-pas	23
Figure III-14 : servomoteurs.....	23
Figure III-15: Moteurs DC brushless	24
Figure III-16: Moteurs linéaires.....	24
Figure III-17: Moteurs piézoélectriques	24
Figure III-18: Robot parallélogramme.....	25
Figure III-19: Robot a articulation rotatives.....	25
Figure III-20: Réducteur planétaire	26
Figure III-21: Engrenages droits.....	27
Figure III-22: Réducteur Harmonic Drive Gearbox.....	27
Figure III-23: Chaine cinématique du système.....	28
Figure III-24: Epaule	29
Figure III-25: Base partie supérieur.....	29
Figure III-26: Base partie inférieur.....	29
Figure III-27: pied de la base	30
Figure III-28 : Plaque supérieure.....	30
Figure III-29 : Cannelure circulaire S.....	31
Figure III-30: Plaque inférieure	31
Figure III-31: Cannelure circulaire D.....	32

<i>Figure III-32: Cannelure flexible</i>	32
<i>Figure III-33: générateur de vagues</i>	33
<i>Figure III-34: bras</i>	33
<i>Figure III-35: Avant-bras</i>	34
<i>Figure III-36: coude de bras</i>	34
<i>Figure III-37: Tige 1</i>	34
<i>Figure III-38: Tige 2</i>	35
<i>Figure III-39: Petit bras</i>	35
<i>Figure III-40: engrenage</i>	36
<i>Figure III-41: poignet du bras</i>	36
<i>Figure III-42: plaque du pince 1</i>	36
<i>Figure III-43: plaque du pince 2</i>	36
<i>Figure III-44: pince</i>	37
<i>Figure III-45: Partie 1 assemblage de base</i>	38
<i>Figure III-46: Vue en coupe de l'ensemble du réducteur Harmonic Drive Gearbox</i>	38
<i>Figure III-47: Partie 2 assemblage des segments</i>	38
<i>Figure III-48: Partie 3 assemblage de l'organe terminale</i>	39
<i>Figure III-49: Modélisation 3D</i>	39
<i>Figure IV-1: cycle du soudage par points</i>	42
<i>Figure IV-2: Coupe d'un point de soudure</i>	44
<i>Figure IV-3: Electrode à pointe tronconique</i>	46
<i>Figure IV-4: Électrode à pointe sphérique</i>	47
<i>Figure IV-5: Paramètres du soudage choisis</i>	49
<i>Figure V-1 : Maillage</i>	52
<i>Figure V-2 : Propriétés de matériau</i>	53
<i>Figure VI-1: servomoteurs hybrides</i>	60
<i>Figure VI-2: driver HBS57</i>	61
<i>Figure VI-3: contrôleur NVUM V2</i>	63
<i>Figure VI-4: logiciel Mach3</i>	64
<i>Figure VI-5: Schéma de surcircuit de commande</i>	65

Liste des Tableaux

<i>Tableau II-1: Identification des sous systèmes</i>	<i>14</i>
<i>Tableau II-2: Cahier des charges fonctionnel</i>	<i>18</i>
<i>Tableau V-1: Propriétés de matériau.....</i>	<i>52</i>
<i>Tableau V-2:Détails de maillage</i>	<i>53</i>
<i>Tableau V-3: Détails de maillage</i>	<i>53</i>
<i>Tableau V-4:Chargement extérieur de l'élément.....</i>	<i>54</i>
<i>Tableau V-5: Les contraintes de Von-Mises</i>	<i>55</i>
<i>Tableau V-6: Les déplacements résultants.....</i>	<i>56</i>
<i>Tableau V-7: Les contraintes de Von-Mises</i>	<i>57</i>
<i>Tableau V-8:: Les déplacements résultants</i>	<i>58</i>
<i>Tableau 0-1:paramètre de soudage</i>	<i>25</i>

Liste des Abréviations

E.M.E : Eléments du Milieu Extérieur.

FP : Fonction principale.

FC : Fonction contrainte.

FAST : Technique du système d'analyse de fonction, (Function Analysis System Technic).

ISO : Organisation international de Normalisation, (International Organization for Standardization).

ANSI : Institut national américain de normalisation (American National Standards Institute).

D : diamètre

E : épaisseur

K : matrice de rigidité.

q : vecteur des déplacements.

F : vecteur des charges extérieures

α_s : Coefficient de sécurité.

Introduction générale

Les bras robotiques de soudage par point dans l'industrie manufacturière a marqué une étape décisive dans l'évolution des technologies de production. Ces systèmes automatisés, conçus pour assembler des pièces métalliques avec précision et efficacité, ont transformé les chaînes de production, notamment dans des secteurs clés comme l'automobile, l'aéronautique et la construction. Au-delà de leurs performances techniques, ces robots ont joué un rôle déterminant dans l'accélération de la modernisation industrielle, en répondant aux exigences croissantes de productivité, de qualité et de compétitivité. Leur adoption massive a non seulement redéfini les processus de fabrication, mais a également eu un impact significatif sur le marché mondial, stimulant l'innovation, réduisant les coûts de production et influençant les dynamiques économiques et sociales.

Mais malgré leurs avantages majeurs dans l'industrie manufacturière, ils restent difficiles à adopter pour beaucoup, en raison de ressources financières limitées ou la complexité d'intégrer ces équipements imposants dans des environnements de travail restreints.

Dans ce mémoire de master intitulé "Conception et réalisation d'un robot de soudage par points", nous explorons le développement d'une solution automatisée visant à optimiser les procédés de soudage dans l'industrie manufacturière. Ce travail propose d'étudier la conception d'un prototype accessible, répondant aux exigences de performance tout en surmontant ces obstacles, afin de contribuer à la démocratisation de cette technologie essentielle à la modernisation industrielle.

1. Structure du mémoire

Le mémoire est structuré en six chapitre :

- ❖ Une introduction générale au départ où nous avons décrit le contexte derrière ce système et nous avons défini la problématique.
- ❖ Dans le premier chapitre « Généralités », nous présentons les bras robotiques de soudage par points en introduisant leur principe, leur évolution historique ainsi que leurs principales configurations. Nous décrivons ensuite les différents types existants et leurs applications industrielles, avant de formuler le besoin du projet, d'analyser sa faisabilité et d'estimer son coût.

- ❖ Dans le deuxième chapitre « Étude conceptuelle du projet », nous définissons la configuration générale du robot à travers une analyse fonctionnelle externe et interne. Nous établissons ensuite la structure fonctionnelle et le cahier des charges, qui fixent les exigences et contraintes nécessaires à la conception du robot.
- ❖ Dans le troisième chapitre « Conception », nous détaillons les solutions technologiques retenues, la structure mécanique et cinématique du robot, ainsi que les choix liés à la motorisation et au guidage. Ce chapitre inclut aussi la modélisation 3D du système afin de valider la configuration choisie.
- ❖ Dans le quatrième chapitre « Soudage par points », nous présentons le principe et le cycle du procédé, ainsi que ses principaux types et paramètres influents. Nous détaillons ensuite les électrodes, le porte-électrode et la course de l'électrode, avant de conclure sur les conditions optimales pour obtenir des soudures de qualité adaptées aux applications industrielles.
- ❖ Dans le cinquième chapitre « Étude statique du robot », nous analysons la résistance du robot aux charges appliquées à l'aide de la méthode des éléments finis sous SolidWorks.
- ❖ Dans le sixième chapitre « Commande », nous présentons les principaux éléments de la chaîne de commande du robot.
- ❖ Nous clôturons ce mémoire par une conclusion générale et quelques perspectives.

Chapitre I: Généralité

1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous abordons les bras robotiques de soudage par points, en présentant leur principe, leur évolution et leurs principales configurations. Cette présentation permet de situer leur rôle dans l'industrie moderne et de préparer le cadre du projet à développer.

2. Description des bras robotique de soudage par points :

Les bras robotiques de soudage par point sont des systèmes automatisés conçus pour réaliser des soudures par résistance électrique, une technique qui consiste à assembler des pièces métalliques en appliquant une pression et un courant électrique à des points précis. Ces robots, intégrés dans les chaînes de production industrielle, se distinguent par leur capacité à exécuter des tâches répétitives avec une précision et une rapidité supérieures à celles des opérateurs humains. Leur rôle ne se limite pas à l'amélioration de l'efficacité productive, ils incarnent une avancée majeure dans l'automatisation industrielle, contribuant à la transformation des processus de fabrication et à l'émergence de nouveaux paradigmes économiques. En tant que piliers de l'industrie 4.0, ces systèmes s'inscrivent dans une dynamique d'innovation technologique, favorisant l'intégration de solutions intelligentes et connectées dans les usines modernes [1].



Figure I-1: Industrie 4.0

3. Histoire

Pour mieux appréhender l'impact des bras robotiques de soudage par point dans l'industrie moderne, il est essentiel de retracer l'évolution globale de la robotique industrielle et de comprendre comment ces technologies se sont développées pour répondre aux exigences des processus de fabrication. Les sections suivantes explorent d'abord l'histoire des robots industriels, de leurs débuts à leur rôle central dans l'industrie 4.0, avant de se concentrer spécifiquement sur le développement des bras robotiques de soudage par point, qui ont révolutionné les techniques d'assemblage.

3.1. Évolution des robots en général :

L'histoire de la robotique industrielle débute au milieu du XXe siècle, lorsque les premiers concepts d'automatisation ont vu le jour pour répondre aux besoins croissants de productivité dans un contexte de reconstruction économique mondiale. En 1954, George Devol [2] dépose le brevet du premier robot industriel programmable (voire Figure I-2:George Devol), baptisé Unimate, qui sera introduit dans une usine de General Motors en 1961 pour manipuler des pièces chaudes dans un processus de moulage. Cette innovation marque le début de l'ère de l'automatisation industrielle, où les robots commencent à remplacer les tâches manuelles répétitives et dangereuses. Au cours des décennies suivantes, les avancées en informatique, en électronique et en ingénierie des matériaux permettent le développement de robots plus sophistiqués, capables d'exécuter des tâches complexes avec une précision accrue. L'intégration de capteurs, de logiciels de contrôle et, plus récemment, de l'intelligence artificielle a transformé les robots industriels en outils polyvalents, au cœur de la révolution industrielle 4.0. Cette évolution a non seulement amélioré l'efficacité des processus de production, mais a également stimulé l'innovation dans des secteurs variés, de l'automobile à l'aéronautique, en passant par l'électronique [3].



Figure I-2:George Devol



Figure I-3: le premier robot industriel Unimate

3.2. Développement des bras robotiques de soudage par point :

Les bras robotiques de soudage par point émergent spécifiquement dans les années 1960, en réponse aux besoins de l'industrie automobile, où la demande pour des assemblages métalliques rapides et fiables est en forte croissance. Contrairement aux systèmes manuels de soudage par point, qui nécessitaient une intervention humaine intensive, les bras robotiques offrent une solution automatisée capable de produire des soudures uniformes à grande échelle. Les premiers modèles, bien que rudimentaires, permettent déjà de réduire les temps de production et d'améliorer la qualité des assemblages, notamment dans la fabrication de carrosseries automobiles. Au fil des années, ces robots évoluent grâce à l'intégration de technologies avancées, telles que les contrôleurs numériques et les systèmes de vision artificielle, qui leur permettent de s'adapter à des géométries complexes et à des environnements de production dynamiques. Aujourd'hui, les bras robotiques de soudage par point sont des outils incontournables dans de nombreux secteurs industriels, incarnant une convergence entre automatisation, précision et flexibilité [3].

4. Différents types de bras robotiques de soudage par point

Les bras robotiques de soudage par point se déclinent en plusieurs catégories, chacune adaptée à des besoins spécifiques de l'industrie. Bien que leur conception technique varie, leur classification repose principalement sur leur configuration, leur capacité d'adaptation et leur intégration dans les processus industriels. Les principaux types incluent :

4.1. Bras articulés à six axes :

Ces robots, dotés de multiples degrés de liberté, offrent une grande flexibilité pour atteindre des zones complexes sur les pièces à souder. Ils sont particulièrement prisés dans l'industrie automobile pour leur capacité à s'adapter à des géométries variées [4](voire Figure I-4: Bras articulés à six axes) .

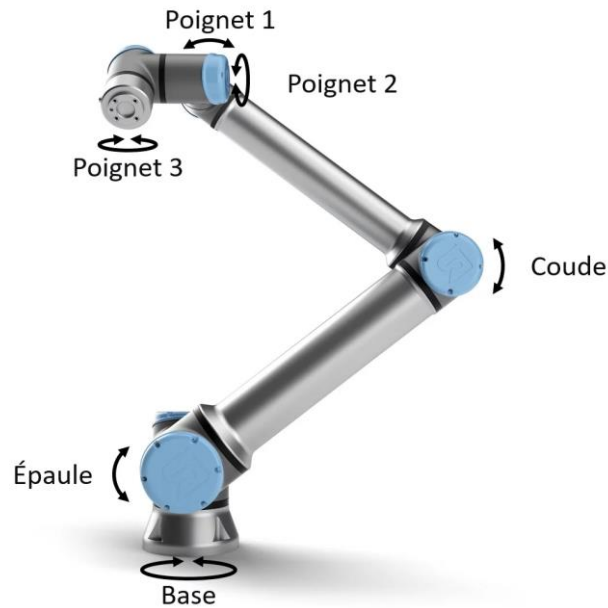


Figure I-4: Bras articulés à six axes

4.2. Robots SCARA (Sélective Compliance Assembly Robot Arm) :

Conçus pour des tâches nécessitant une précision dans un plan horizontal, ces robots sont souvent utilisés dans des applications de soudage par point à petite échelle ou dans des environnements où l'espace est limité [5] (voire Figure I-5: Robots SCARA).

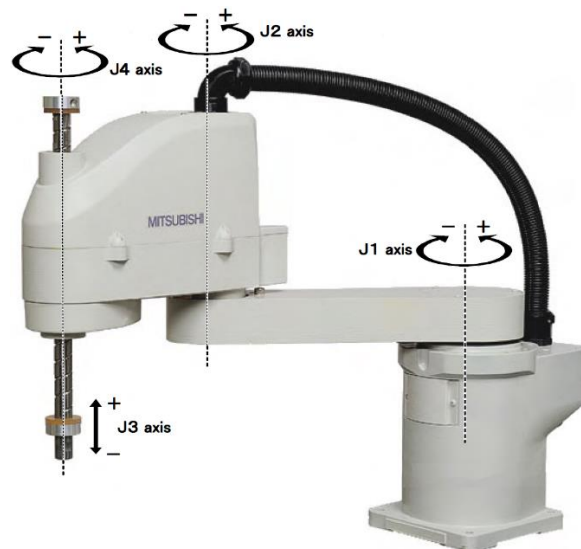


Figure I-5: Robots SCARA

Ces différentes configurations témoignent de la diversité des applications des bras robotiques de soudage par point, qui ont permis d'élargir leur adoption à travers des secteurs variés, tout en stimulant l'innovation dans les technologies associées.

5. Formulation préliminaire du projet :

La formulation préliminaire est la première étape d'un projet. Elle est essentielle, car elle aide à clarifier les objectifs du projet, à confirmer son utilité ou à décider de l'abandonner si nécessaire.

5.1. Analyse du besoin :

5.1.1. Diagramme bête à cornes :

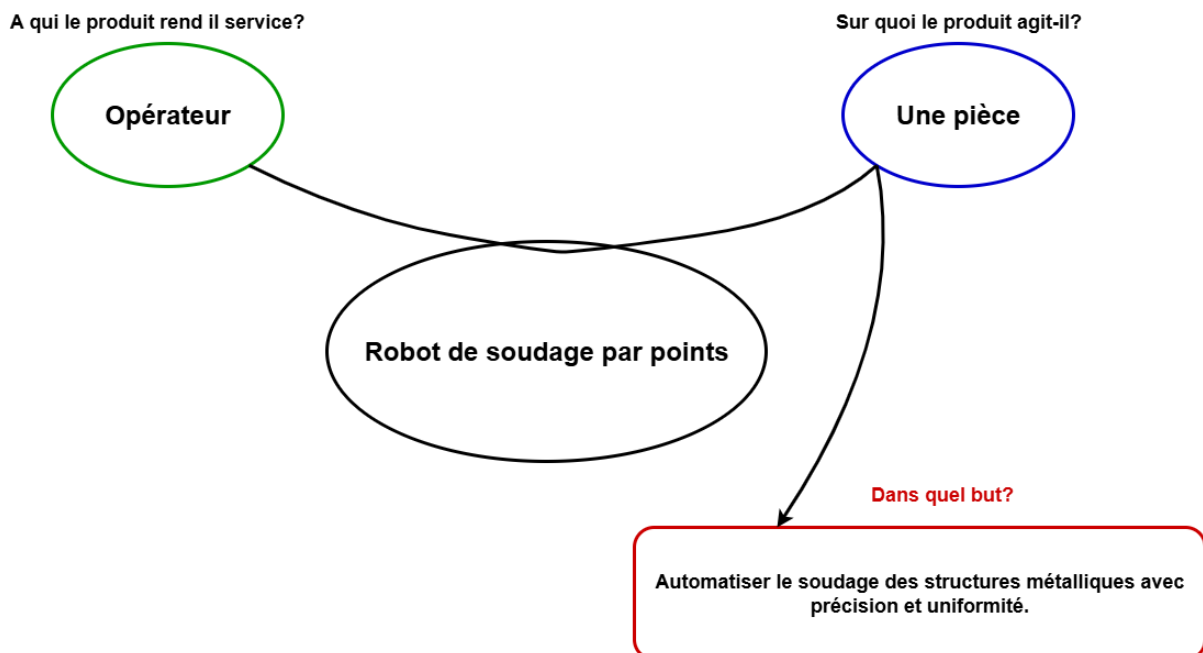


Figure I-6: Diagramme bête à cornes

5.1.2. Enonce du besoin :

Le produit rend service à l'opérateur en lui permettant de Robotisé le procédé de soudage par points sur des objets de différentes formes avec une grande précision.

5.1.3. Validation du besoin :

Pour valider l'expression du besoin, la méthode propose de se poser les trois questions complémentaires suivantes :

- Pourquoi le produit existe-t-il ?

Généralité

Ce produit existe pour automatiser les opérations de soudage par points, réduire les temps de cycle, minimiser les défauts de soudure, améliorer la précision du positionnement, optimiser la productivité, alléger la charge de travail des opérateurs et assurer une intégration économique dans les ateliers de production.

- **Qu'est-ce qui pourrait faire évoluer le besoin ?**

Cette question permet de déterminer le paramètre qui évolue lors de l'utilisation du produit.

Offrent une rapidité supérieure à celle des opérateurs humains. Lorsque la productivité devient une priorité, l'automatisation de ce procédé devient essentielle. Ces robots peuvent être configurés pour répondre à des besoins spécifiques de soudage, avec une programmation aisée via Mach3 permettant une adaptation à diverses tâches de production. Leur conception compacte et légère, grâce à la fibre de verre, les rend parfaits pour les ateliers à espace restreint, tout en assurant précision et efficacité pour le soudage de tôles minces.

- **Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître le besoin ?**

Cette question permet de valider la durée du besoin.

Une diminution de la demande pour le soudage par points, due à un remplacement des tôles minces par des matériaux non soudables (comme des composites collés ou des fixations mécaniques), rendrait le robot obsolète.

Mais Le risque de disparition du besoin est faible, car la demande pour le soudage de tôles minces reste forte dans de nombreux secteurs industriels. Sa conception compacte, économique et programmable répond efficacement aux besoins des petites usines, rendant son remplacement par des technologies plus coûteuses ou complexes peu probable à court terme.

6. Analyse de faisabilité :

Pour déterminer si un projet est réalisable, il faut que ses objectifs soient réalistes et possibles à atteindre avec les ressources disponibles. Le projet initial doit être évalué en tenant compte des contraintes de l'environnement.

6.1. Ressource nécessaire :

La réalisation de notre projet repose sur un ensemble varié de ressources, regroupées en plusieurs catégories complémentaires :

- **Ressources documentaires** : nous avons accès à la bibliothèque de la faculté, aux ressources numériques en ligne, ainsi qu'aux supports de cours et à diverses références techniques.
- **Ressources humaines** : le projet bénéficiera de l'accompagnement des encadreurs, enseignants et ingénieurs de laboratoire.
- **Ressources logicielles** : plusieurs outils numériques seront mobilisés, tels que *SolidWorks 2024*, *ANSYS* et *Arduino IDE*, afin de concevoir, simuler et visualiser les solutions proposées.
- **Ressources matérielles** : l'atelier met à disposition des machines de tournage, fraisage, perçage, soudage et autres équipements nécessaires à la fabrication.
- **Ressources en savoir-faire techniques** : elles incluent les compétences pratiques en ajustage, soudage, montage et autres opérations nécessaires à la fabrication et à l'assemblage des composants.
- **Ressources financières** : elles proviennent principalement de l'autofinancement, complété par d'éventuelles aides ou soutiens financiers.

6.2. Estimation des couts :

Pour estimer le coût total de notre projet, nous avons retenu l'approche suivante [6] :

- **Analyse détaillée des besoins** : évaluation des ressources matérielles, humaines et logicielles nécessaires, en se basant sur des données techniques précises.
- **Évaluation progressive** : calcul des coûts par poste (achat, fabrication, assemblage, tests, maintenance), puis addition pour obtenir le montant global.

Le cout du projet est estimé à environ 400 000.00 DA.

7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une étude préliminaire portant sur les bras robotiques de soudage par points, en retraçant leur évolution, leurs types et leurs applications industrielles. Cette analyse a permis de définir clairement le besoin, d'identifier les ressources nécessaires et d'estimer le coût global du projet. Elle constitue ainsi une base solide pour orienter les choix techniques et organisationnels à venir, tout en garantissant la faisabilité et la pertinence du projet.

Chapitre II: Etude conceptuel du projet

1. Introduction :

L'étude conceptuelle est une étape clé de la conception, car elle permet de définir les fonctions essentielles du système et de préciser ses interactions avec l'environnement. À travers l'analyse fonctionnelle, externe puis interne, le projet est décomposé en sous-systèmes afin de mieux orienter les choix techniques. Ce chapitre présente donc cette démarche, les outils associés (diagramme de la pieuvre, FAST, arbre fonctionnel) ainsi que le cahier des charges fonctionnel qui fixe les exigences du robot.

2. Analyse fonctionnelle :

L'analyse fonctionnelle est une méthode systématique utilisée en ingénierie et en conception pour décomposer un système ou un produit en ses fonctions essentielles, afin d'optimiser sa conception et sa réalisation. Elle débute par l'identification de la fonction principale, qui représente l'objectif global du système, suivie d'une décomposition en sous-fonctions qui détaillent les étapes ou les actions nécessaires pour atteindre cet objectif. Cette approche permet de lister les entrées et les sorties, tout en intégrant les contraintes techniques, économiques ou environnementales. Elle s'appuie sur des outils comme les diagrammes FAST (Function Analysis System Technique) ou les arbres fonctionnels pour structurer les relations entre fonctions et moyens, tout en définissant des critères d'appréciation mesurables. En favorisant une vision globale, l'analyse fonctionnelle guide le choix des technologies, anticipe les interactions entre composants, et valide les spécifications, offrant ainsi une base solide pour itérer et adapter la conception à divers contextes industriels ou innovants [7].

L'analyse fonctionnelle est divisée en deux parties :

- Analyse fonctionnelle externe.
- Analyse fonctionnelle interne.

3. Analyse fonctionnelle externe :

L'analyse fonctionnelle externe se focalise sur les interactions entre un système et son environnement extérieur. Cette méthode met en lumière les besoins des utilisateurs. Elle utilise des outils graphiques, pour cartographier ces relations. Elle évalue les performances attendues, telles que l'efficacité ou la durabilité.

Etude conceptuel du projet

Ainsi, elle oriente les choix initiaux de conception en fonction de l'usage prévu. Elle anticipe aussi retours d'expérience.

Enfin, elle pose les bases pour une analyse fonctionnelle interne détaillée.

3.1. Identification des éléments du milieu extérieur :

Pour déterminer les fonctions d'un produit, il est essentiel de décrire son environnement, désigné sous le terme de « Milieu Extérieur ». Toutes les entités reconnues comme étant extérieures au produit sont qualifiées d'Éléments du Milieu Extérieur (E.M.E).

Un E.M.E doit être défini de manière objective, accessible à tous les participants de l'étude. Si un élément ne peut être entièrement caractérisé par des critères objectifs, il ne sera pas considéré comme un Éléments du Milieu Extérieur [7].

L'examen de l'environnement du système, conduit à :

- Identifier les composantes extérieures (tout ce qui est en contact direct ou indirect avec le produit).
- Etablir les relations entre le produit et les composantes extérieures en termes de fonctions appelées fonctions de service.

Dans notre cas, les éléments du milieu extérieur sont :

- Opérateur.
- Pièce.
- Environnement.
- Energie.
- Normes.
- Milieu ambiant.
- Temps.
- Commande.
- Prix.

3.2. Diagramme de la pieuvre :

Le diagramme suivant donné par la figure représente le diagramme de la pieuvre du système avec les éléments du milieu extérieur (voire Figure II 1).

- FP : Fonction de service qui met en relation deux EME ou plus, via le produit.

- FC : Fonction de service qui met en relation le produit avec un seul EME.

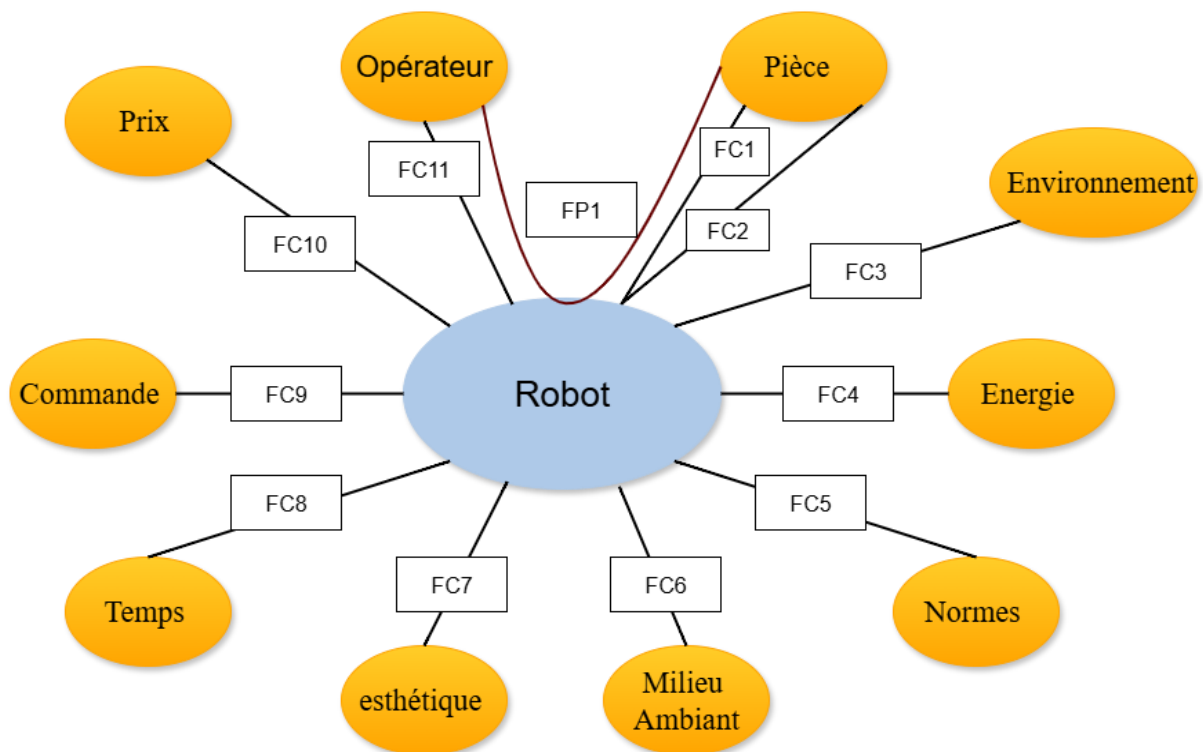


Figure II-1: Diagramme de la pieuvre

❖ Les fonctions du service :

- FP1 : soude une pièce avec précision.
- FC1 : Respecter les limites de courant et de pression pour la soudure.
- FC2 : Préserver l'intégrité de la pièce soudée.
- FC3 : respecter l'environnement.
- FC4 : utiliser l'énergie électrique.
- FC5 : respecter les normes de sécurité pour les utilisateurs.
- FC6 : protéger le robot du milieu ambiant.
- FC7 : être esthétique.
- FC8 respecter le temps de la conception et la réalisation.
- FC9 : permettre la commande (le contrôle) du robot.
- FC10 : être commercialisé à un prix raisonnable.
- FC11 : facile à mettre en œuvre par l'utilisateur.

4. Analyse fonctionnelle interne :

L'analyse fonctionnelle interne se concentre sur les mécanismes et les composants internes d'un système pour accomplir ses fonctions. Elle décompose la fonction principale en sous-fonctions spécifiques, telles que le traitement, le transport ou la conversion d'énergie. Elle définit les flux internes, notamment d'énergie, de matière ou d'information, reliant chaque sous-système. Elle s'appuie sur des outils comme les diagrammes FAST pour structurer ces relations.

Ainsi, elle guide l'optimisation de la conception interne.

Enfin, elle prépare une intégration cohérente avec l'analyse externe pour un système complet [7].

4.1. La méthode de FAST :

Le diagramme FAST (Function Analysis System Technique) est un outil graphique qui permet de convertir les fonctions de service en fonctions techniques, puis en solutions techniques. Une fois les fonctions de service identifiées, elles sont disposées de gauche à droite et hiérarchisées de manière logique (voire Figure II-2: La méthode de FAST). Cette méthode facilite ainsi leur décomposition progressive jusqu'à l'obtention de solutions techniques adaptées. Basé sur une approche interrogative, le diagramme débute par la fonction principale, puis organise les fonctions selon une logique de questionnement. Chaque fonction technique, représentée dans un rectangle, doit pouvoir répondre aux trois questions clés suivantes [7] :

- Pourquoi ? une fonction doit-elle être assurée
- Comment ? cette fonction doit-elle être assurée
- Quand ? cette fonction doit-elle être assurée

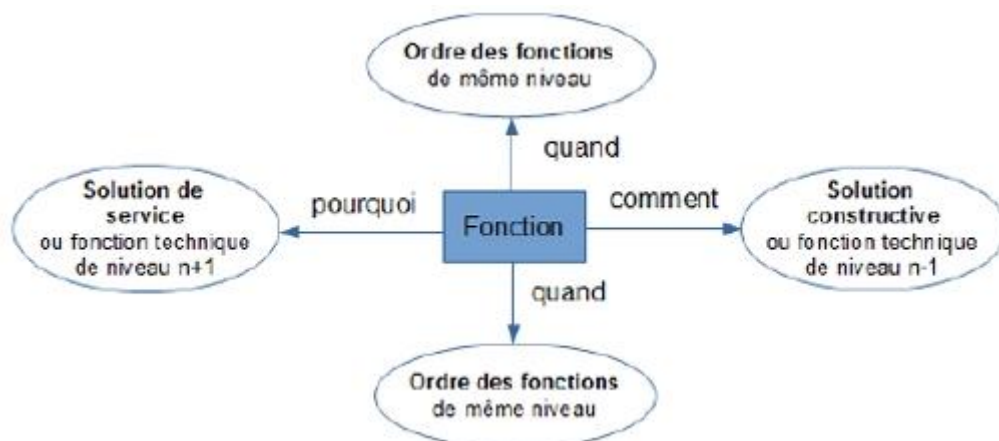


Figure II-2: La méthode de FAST

5. Structure fonctionnelle du projet :

Il est très important de remarquer qu'après la réalisation de l'arbre fonctionnel, les sous-systèmes du produit apparaissent et qui sont donnés par le tableau suivant (Tableau II-1: Identification des sous systèmes) :

Fonctions techniques	Sous système
Déplacer l'objet suivant l'axe X	Sous système de déplacement suivant X
Déplacer l'objet suivant l'axe Y	Sous système de déplacement suivant Y
Déplacer l'objet suivant l'axe Z	Sous système de déplacement suivant Z
Déplacer l'objet suivant l'axe A	Sous système de déplacement suivant A
Piloter les quatre axe	Sous système de commande
Souder la pièce	Sous système de soudage

Tableau II-1: Identification des sous systèmes

Ces six sous-systèmes couvrent tous les aspects de la conception (voir Figure II-3: Diagramme FAST de la fonction principale) sur lesquels il faudra travailler pendant la phase de recherche de concept. Voir la structure fonctionnelle du système dans la Figure II-3: Diagramme FAST de la fonction principale:

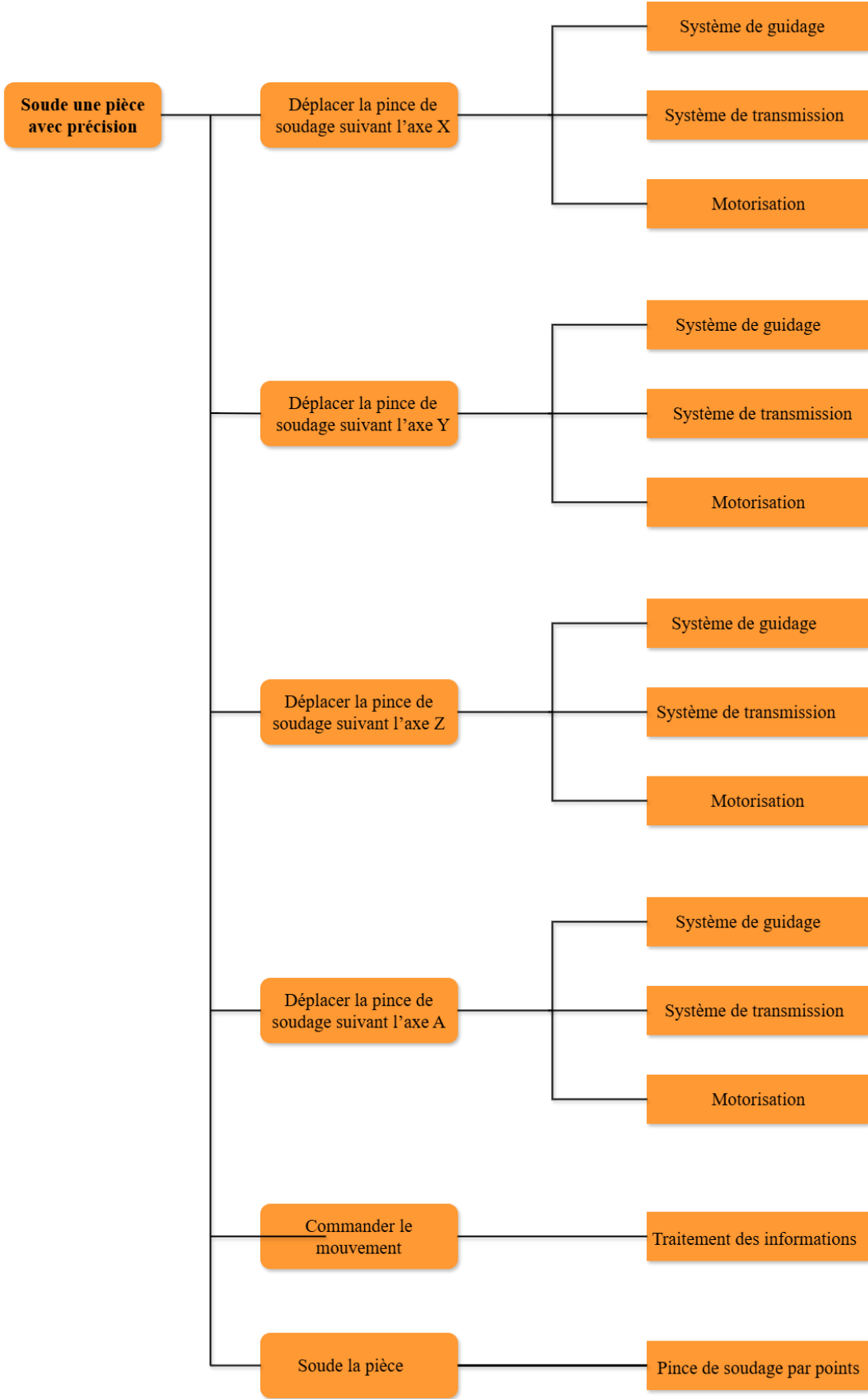


Figure II-3: Diagramme FAST de la fonction principale

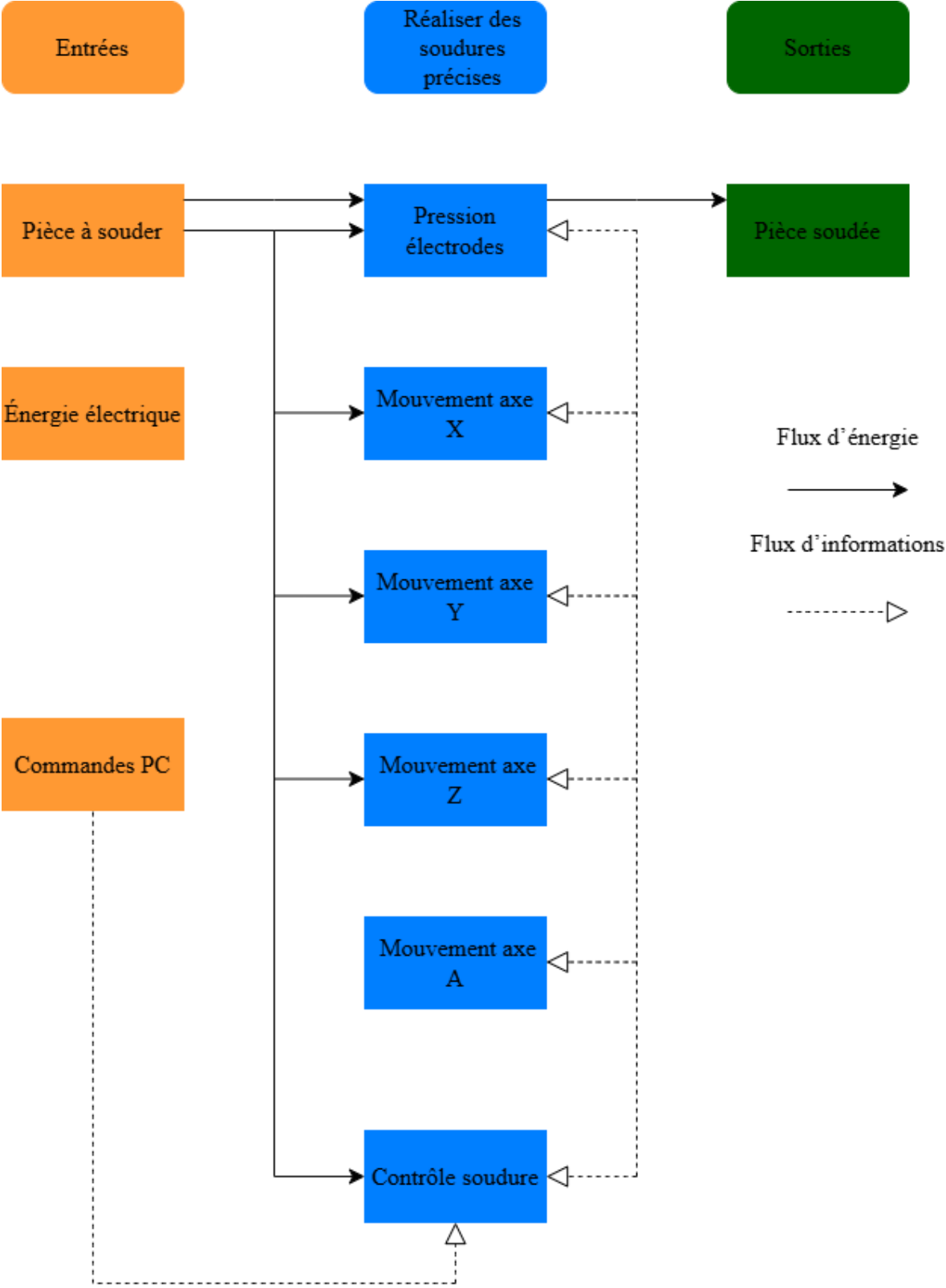


Figure II-4: Structure fonctionnelle du système

Etude conceptuel du projet

6. Cahier des charges fonctionnel du robot :

Le cahier des charges fonctionnel est un document structuré qui définit précisément un besoin, en décrivant les fonctions attendues du système ainsi que l'ensemble des contraintes auxquelles il doit répondre, qu'elles soient techniques, réglementaires, budgétaires ou autres.

Le cahier des charges fonctionnel de la machine est donné par le Tableau II-2: Cahier des charges fonctionnel :

Repères	Fonctions	Critère d'appréciation	Niveau
FP1	Soude une pièce avec précision	Précision	± 0.5 mm
		Nombre d'axes	4 axes
		Masse de déplacement	0.5 à 1 m/s
FC1	Respecter les limites de courant et de pression pour la soudure	Pression	± 10 % de la force nominale
		Courant	± 5 % de la valeur nominale spécifiée
		Température maximale	< 80 % du point de fusion du matériau
FC2	Préserver l'intégrité de l'objet soudé.	Déformations	< 0,5 mm
		Résistance à la traction	≥ 90 % de la résistance du matériau de base
		Tolérance dimensionnelle	$\pm 0,2$ mm
FC3	respecter l'environnement	Recyclage	Utiliser les matériaux recyclables
FC4	utiliser l'énergie électrique	Type de technologie	Toute technologie permettant d'assurer l'alimentation
		Type de générateur	Energie électrique 12V
FC5	Garantir la conformité aux normes de sécurité pour les utilisateurs	Normes de sécurité mondiale	ISO, ANSI, ...
FC6	protéger le robot du milieu ambiant	Chocs	Léger
		Humidité de l'aire	de 5 % à 95 %
		Corrosion	acier inoxydable, peinture antirouille...
		Température	de 0 °C à 45 °C

Etude conceptuel du projet

FC7	Présenter une conception visuellement soignée et adaptée aux standards mécaniques	Encombrement	Dimensions compatibles
		Masse totale du robot	≤ 35 kg
		Couleur	Doit être attractif pour être commercialisé
FC8	Respecter les délais de conception et de réalisation	Etude, conception et réalisation du robot	6 mois
FC9	Permettre le contrôle et la commande du robot	Pilotage du robot	Commande simple avec visionnage des déplacements
FC10	Être proposé à un prix abordable	Prix total du robot	200 000 DA
FC11	Être simple à utiliser pour l'utilisateur	Mise en service du robot	Manuelle, automatique, semi-automatique
		Maintenance	Facile à monter et à démonter les pièces qui composent le robot

Tableau II-2: Cahier des charges fonctionnel

7. Conclusion :

Ce chapitre a visé à identifier la fonction principale du robot, ses interactions internes entre composants et externes avec l'environnement et les utilisateurs. L'analyse fonctionnelle (externe et interne) a clarifié les besoins et mécanismes, et on a créé un cahier des charges fonctionnel via une analyse conceptuelle du projet qui a fixé les exigences et contraintes du robot.

Chapitre III: Conception

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous explorons les solutions technologiques envisageables pour la conception d'un robot dédié aux opérations de soudage par points. L'objectif principal est d'analyser les options disponibles en matière de structure mécanique, de motorisation et de systèmes de guidage, afin de sélectionner celles qui offrent les meilleures performances en termes de précision, de rigidité, de vitesse et de fiabilité.

2. Solutions technologiques

Cette section présentera les solutions technologiques possibles afin de choisir les plus adaptées.

2.1. Structure :

La structure mécanique joue un rôle fondamental dans la performance globale du robot. Elle doit garantir une rigidité élevée pour minimiser les déformations sous charge, permettre des mouvements précis et rapides pour le positionnement de l'effecteur terminal, et assurer une orientation stable lors des opérations de soudage par points. De plus, elle doit être conçue pour supporter des cycles répétés à haute cadence tout en nécessitant un entretien minimal et en respectant les contraintes d'encombrement et de coût propres à une application industrielle.

2.1.1. Option technologiques possible :

- **Structure à chaîne simple :** (Figure III-1:Structure à chaîne simple)

Pour ce type de structure, il n'existe qu'un seul trajet possible pour aller du bâti à l'organe terminal [8].

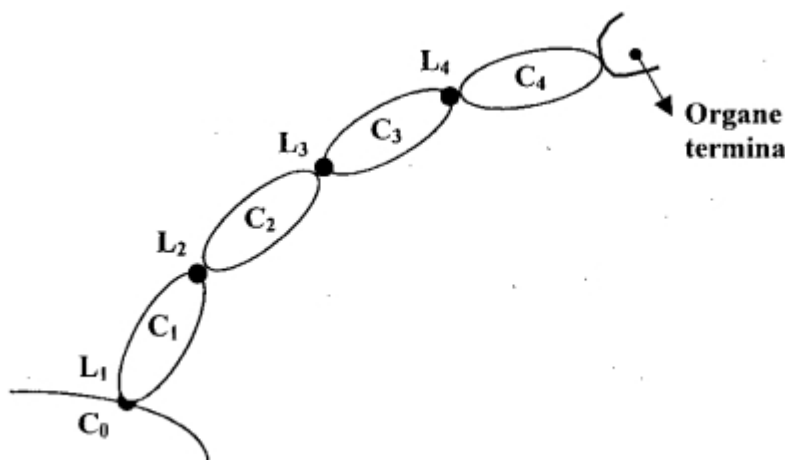


Figure III-1:Structure à chaîne simple

Conception

- **Structure arborescente :** (Figure III-2 :Structure à chaine arborescente)

Elle possède deux ou plus de chaînes simples qui partent d'une même base commune, chacune pouvant avoir un effecteur [8].

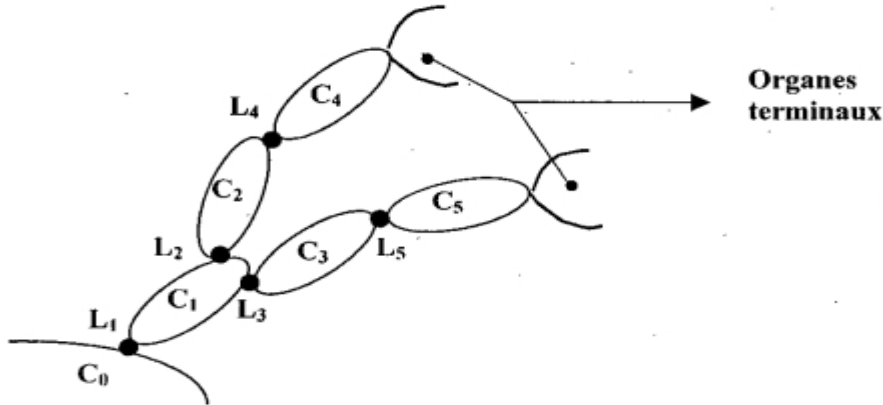


Figure III-2 :Structure à chaine arborescente

- **Structure à chaine complexe :** (Figure III-3 :Structure à chaine complexe)

Constituée de boucles mécaniques fermées, c'est-à-dire des chemins qui partent d'un corps pour y revenir après une succession de corps et de liaisons [8].

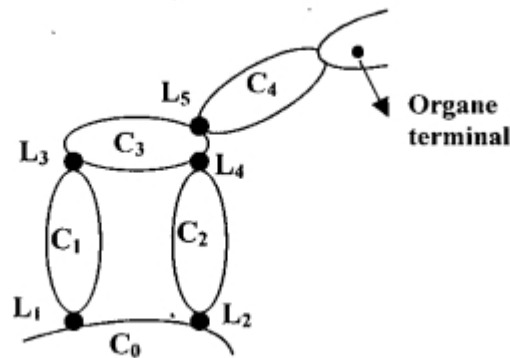


Figure III-3 :Structure à chaine complexe

- **Constitution de la structure mécanique :**

Un robot comporte 2 parties essentielles [8]:

Le porteur : Structure mécanique articulée constituée des 3 premiers degrés de liberté à partir du bâti. Ils sont dérivés des différents systèmes de repérage.

Le poignet : il est destiné à l'orientation de la pince ou de l'outil porté par le robot.

2.1.2. Choix de la solution optimale :

Dans cette étude, une structure à chaîne complexe de type RRR (voir Figure III-9 :Structure RRR) a été choisie pour concevoir le robot destiné aux opérations de soudage par points, en raison des avantages suivants : une vitesse et une accélération élevées, une haute rigidité, Orientation stable de l'effecteur.

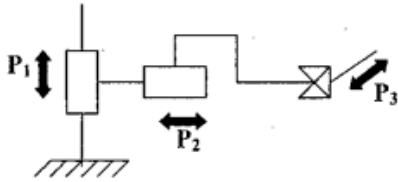


Figure III-5 :Structure PRP

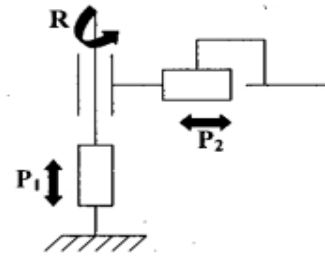


Figure III-4 :Structure PPP

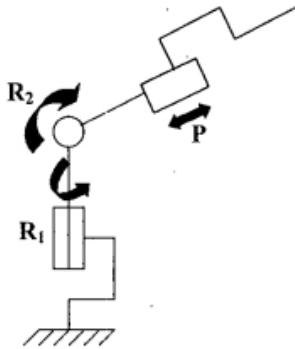


Figure III-7 :Structure RRP

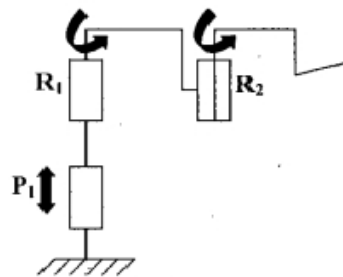


Figure III-6 :Structure PRR

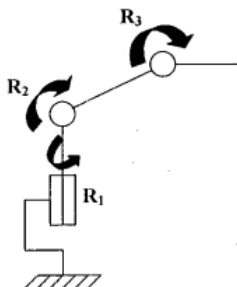


Figure III-9 :Structure RRR

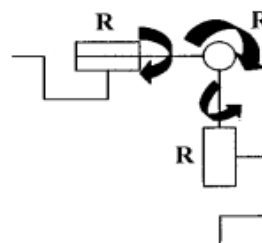


Figure III-8 :Poignet à axes concourants

2.2. Motorisations :

Les moteurs jouent un rôle clé dans la chaîne de commande du mouvement. Ils doivent répondre rapidement aux signaux de commande, fonctionner aussi bien à l'arrêt qu'à des vitesses de plusieurs milliers de tours par minute, supporter des surcharges ponctuelles et requérir un minimum d'entretien [9].

2.2.1. Options technologiques possible :

1. Moteurs électriques rotatifs classiques :

Moteurs à courant continu (DC) : Moteurs électriques simples, alimentés en courant continu, offrant un contrôle précis de la vitesse et un couple élevé à basse vitesse, mais nécessitant un entretien régulier en raison des balais (voire Figure III-10:Moteurs à courant continu).



Figure III-10:Moteurs à courant continu

Moteurs asynchrones : Fonctionnent en courant alternatif, robustes et peu coûteux, adaptés aux applications à vitesse constante, mais moins précis pour un contrôle fin en robotique (voire Figure III-11:Moteurs asynchrones).



Figure III-11:Moteurs asynchrones

Moteurs synchrones : Alimentés en courant alternatif, ils synchronisent la rotation avec la fréquence du courant, offrant une efficacité élevée et une bonne précision, idéaux pour des applications à haute vitesse (voire Figure III-12:Moteurs synchrones).



Figure III-12: Moteurs synchrones

2. Moteurs électriques à commande spécifique :

Moteurs pas-à-pas : Transforme les impulsions électriques en déplacements angulaires précis, parfait pour un contrôle de position en boucle ouverte, économique mais limité en couple à haute vitesse (voire Figure III-13: Moteurs pas-à-pas).



Figure III-13: Moteurs pas-à-pas

Servomoteurs : combine, la partie mécanique et l'électronique dédiée à la commande et à l'asservissement. Il fonctionne exclusivement en boucle fermée, ce qui permet d'atteindre de grandes vitesses de déplacement et une précision élevée (voire Figure III-14 : servomoteurs).



Figure III-14 : servomoteurs

Moteurs DC brushless : Sans balais, ils combinent l'efficacité des moteurs DC avec une durabilité accrue, offrant un contrôle précis et une maintenance réduite, adaptés aux applications robotiques exigeantes (voire Figure III-15:Moteurs DC brushless).



Figure III-15:Moteurs DC brushless

3. Moteurs spécialisés :

Moteurs linéaires : Produisent un mouvement linéaire direct sans engrenages, offrant une grande précision et rapidité, mais coûteux et complexes à intégrer (voire Figure III-16:Moteurs linéaires).



Figure III-16:Moteurs linéaires

Moteurs piézoélectriques : Utilisent des matériaux piézoélectriques pour des déplacements très précis à l'échelle nanométrique, idéaux pour des applications ultra-précises, mais limités en force et en amplitude (voire Figure III-17:Moteurs piézoélectriques).



Figure III-17:Moteurs piézoélectriques

2.2.2. Choix de la solution optimale :

Le servomoteur a été retenu pour la motorisation des axes du robot en raison de ses caractéristiques techniques. Il offre un couple élevé à faible vitesse, une précision de positionnement remarquable grâce à son système de contrôle en boucle fermée, ainsi qu'une grande facilité d'intégration dans des systèmes automatisés. De plus, sa compatibilité avec divers protocoles de commande en fait une solution optimale pour des applications robotiques exigeantes.

2.3. Systèmes de guidage :

Le guidage permet de déplacer le robot le long d'une trajectoire définie avec une grande précision. De nombreuses solutions existent, toutes visant à minimiser le jeu mécanique. Parmi elles, deux types sont très courants [10]:

2.3.1. Options technologiques possible :

- Guidage par Système parallélogramme (voire Figure III-18:Robot parallélogramme).

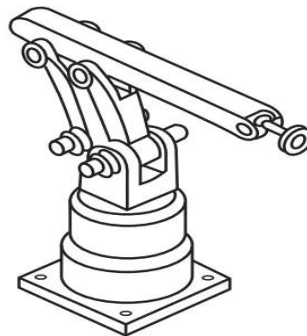


Figure III-18:Robot parallélogramme

- Guidage par articulations rotatives (voire Figure III-19:Robot a articulation rotatives).

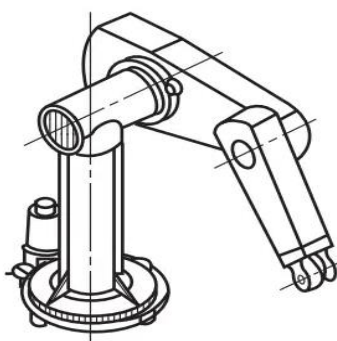


Figure III-19:Robot a articulation rotatives

2.3.2. Choix de la solution optimale :

Dans cette étude le choix est porté sur le système de guidage par le Système parallélogramme pour les raisons suivantes :

- Maintien de l'orientation constante.
- Haut rendement mécanique
- Réduction du jeu mécanique
- Longue durée de vie

2.3.3. Système de rotation de la base :

La rotation de la base permet au robot d'orienter son bras dans différentes directions autour de son axe vertical, assurant ainsi une meilleure accessibilité dans l'espace de travail.

2.3.4. Option technologiques possibles

Plusieurs solutions peuvent être envisagées pour assurer la rotation de la base du robot [7]:

- Un réducteur planétaire : C'est un mécanisme composé d'un engrenage central (pignon solaire), de plusieurs engrenages satellites et d'une couronne dentée. Les satellites tournent autour du pignon central, transmettant le mouvement à la sortie (voire Figure III-20:Réducteur planétaire).

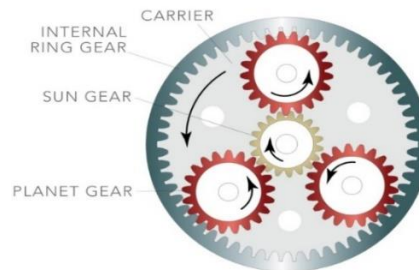


Figure III-20:Réducteur planétaire

- Un système d'engrenages droits : C'est la forme la plus simple de transmission mécanique. Il est constitué de deux roues dentées à axes parallèles, dont les dents droites s'engrènent pour transmettre le mouvement (voire Figure III-21:Engrenages droits).



Figure III-21: Engrenages droits

- Un réducteur Harmonic Drive Gearbox : C'est un mécanisme de transmission à engrenage flexible qui permet d'obtenir des rapports de réduction très élevés avec une grande précision angulaire et aucun jeu perceptible [10] (voire Figure III-22: Réducteur Harmonic Drive Gearbox).

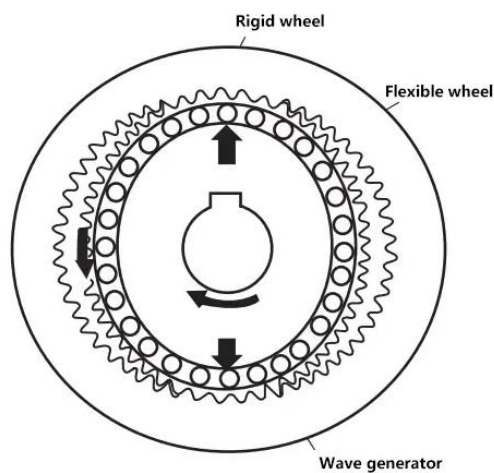


Figure III-22: Réducteur Harmonic Drive Gearbox

2.3.5. Choix de la solution optimale :

Dans cette étude, le choix est porté sur le réducteur Harmonic Drive Gearbox pour les raisons suivantes :

- Haute précision angulaire, permettant un positionnement exact de la base.
- Absence quasi totale de jeu, garantissant un mouvement fluide et stable.
- Rapport de réduction élevé dans un encombrement réduit.
- Grande rigidité et durabilité, adaptées aux applications robotiques.
- Amélioration de la stabilité et réduction des vibrations lors des changements de direction.

3. Conception du système :

3.1. Chaîne cinématique du système :

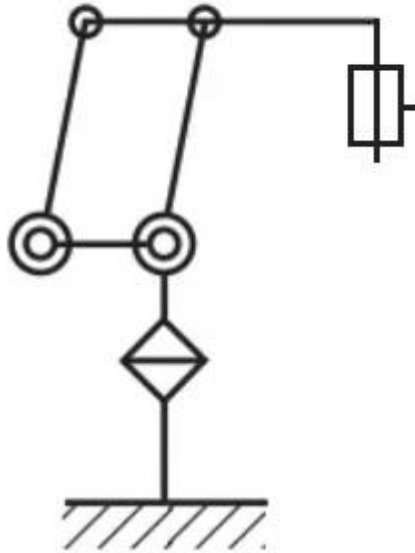


Figure III-23: Chaîne cinématique du système

3.2. Modélisation géométrique :

3.2.1. La conception de notre bras manipulateur avec SOLIDWORKS :

3.2.1.1. Parties pièces :

La conception des pièces de machine dans SolidWorks [11] s'effectue en trois étapes principales :

- Choix du plan de référence : Sélection du plan initial (face, profil ou autre) servant de base pour la modélisation.
- Modélisation de la forme tridimensionnelle : Création du volume de base de la pièce à l'aide de la fonction « bossage extrudé » pour générer la géométrie 3D.
- Ajout des caractéristiques spécifiques : Définition des détails fonctionnels et esthétiques, tels que les perçages, chanfreins ou autres particularités propres à chaque pièce.

Les figures suivantes illustrent certaines pièces du bras manipulateur modélisées selon cette méthode :

Conception

Epaule : Située entre la base et le bras, elle permet la rotation et l'orientation du bras du robot. Cette articulation joue un rôle essentiel dans la mobilité et la flexibilité du système.

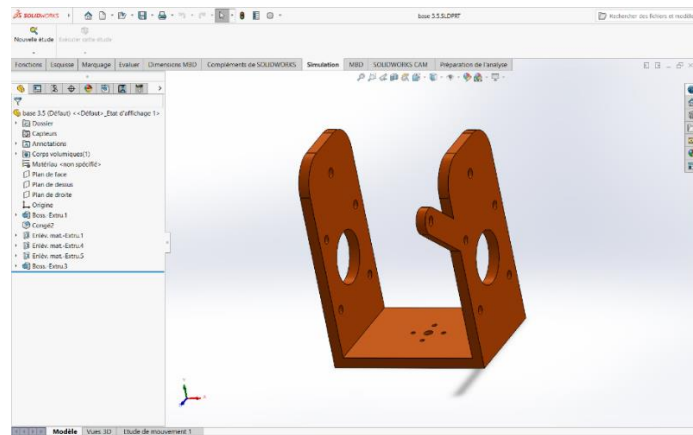


Figure III-24:Epaule

Base partie supérieure : Elle assure la liaison entre l'épaule et le réducteur Harmonic Drive.

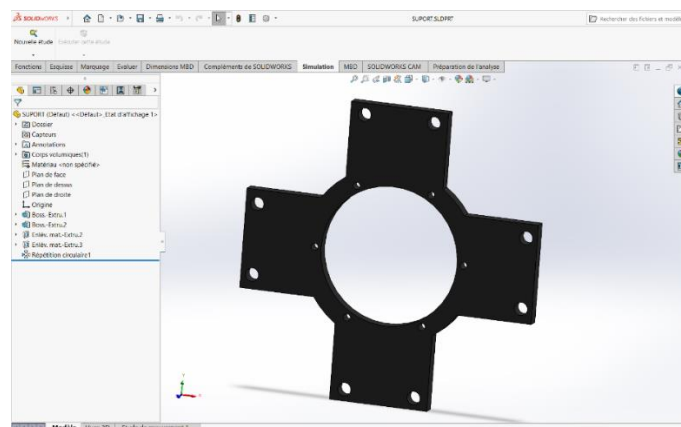


Figure III-25:Base partie supérieure

Base partie inférieure : Elle sert de support principal du robot, en assurant sa fixation solide à la plateforme ou à la structure porteuse.

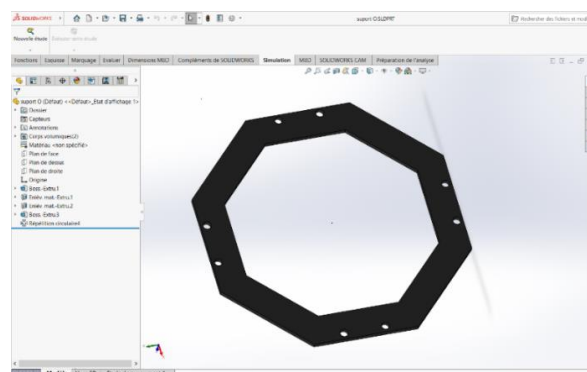


Figure III-26:Base partie inférieure

Conception

Pied de la base : Il assure la liaison mécanique entre la partie supérieure et la partie inférieure de la base du robot.

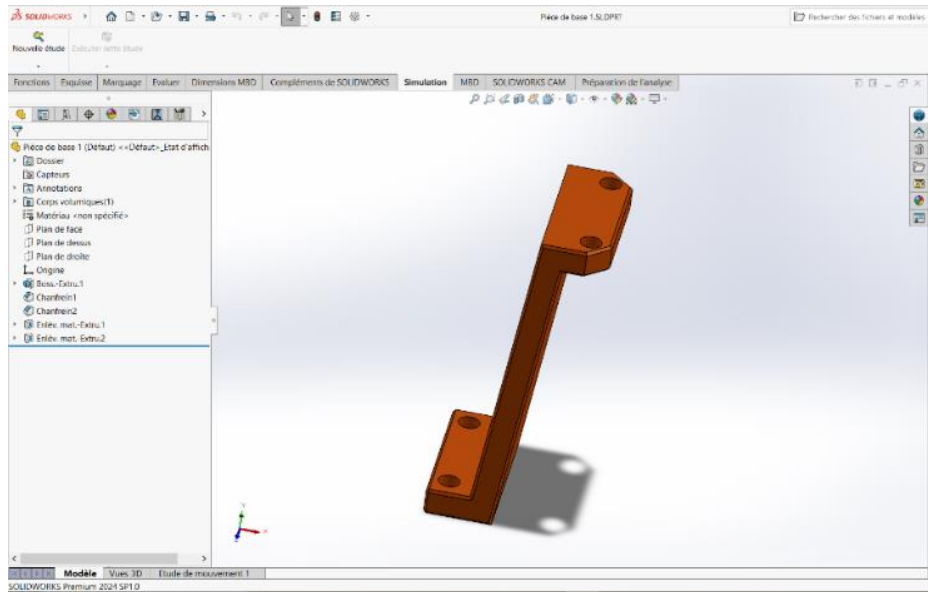


Figure III-27: pied de la base

Plaque supérieure : Elle assure la fermeture et la rigidité de l'ensemble du réducteur, tout en permettant la fixation du support de l'arbre de sortie.

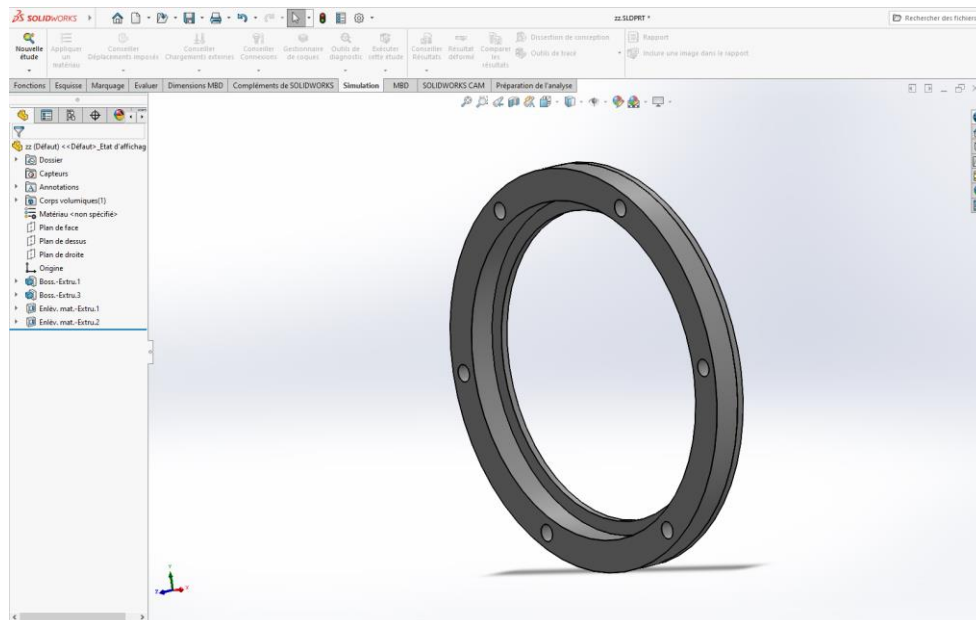


Figure III-28 :Plaque supérieure

Conception

Cannelure circulaire S : Elle constitue la partie fixe du réducteur Harmonic Drive, servant de couronne dentée interne dans laquelle s'engrène le flexspline. Elle permet la transmission du mouvement avec un rapport de réduction élevé, tout en assurant la stabilité et la précision de rotation du système.

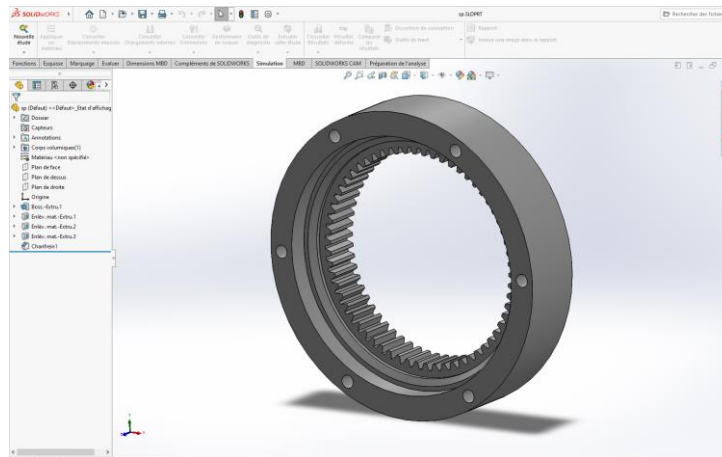


Figure III-29 :Cannelure circulaire S

Plaque inférieure : Elle sert de base de soutien au réducteur Harmonic Drive, en assurant la fixation solide de l'ensemble sur la structure porteuse du robot.

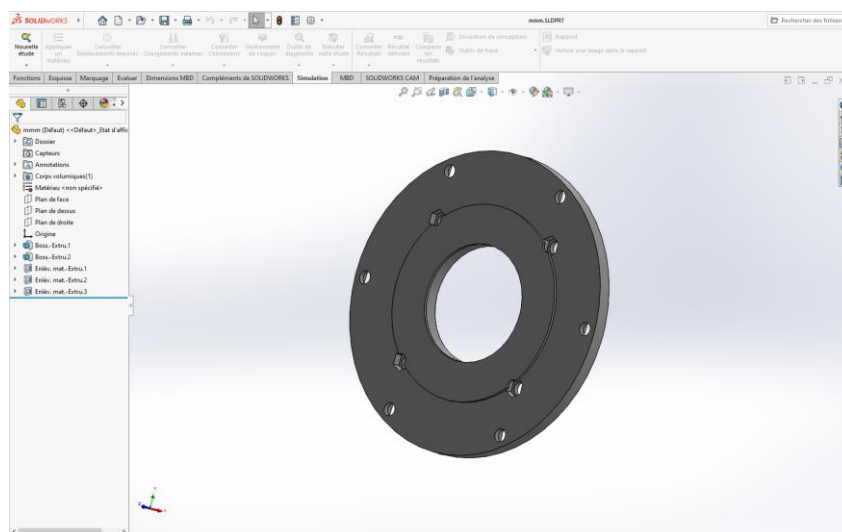


Figure III-30:Plaque inférieure

Conception

Cannelure circulaire D : Elle représente la pièce mobile du réducteur Harmonic Drive, solidaire du Cannelure flexible. En s'engrenant partiellement avec la cannelure circulaire fixe (S), elle permet la transmission du mouvement différentiel qui génère le rapport de réduction élevé caractéristique du système.

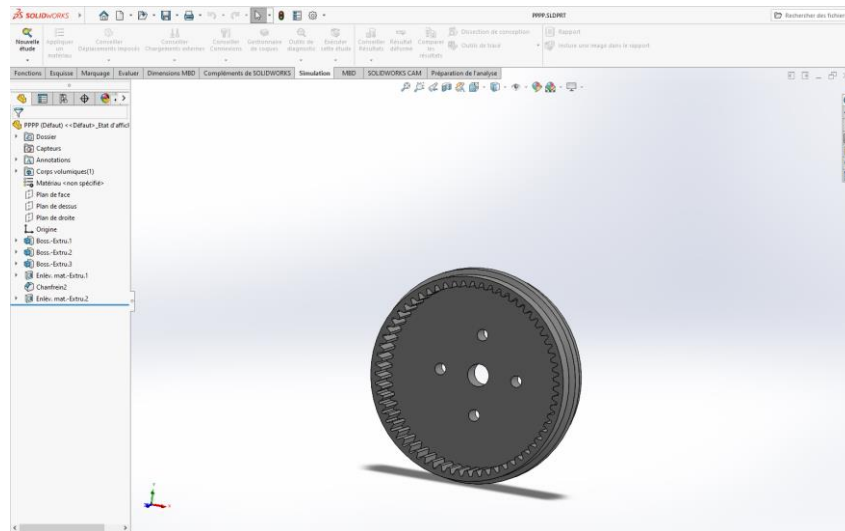


Figure III-31: Cannelure circulaire D

Cannelure flexible : C'est l'élément déformable et central du réducteur Harmonic Drive. Il prend la forme d'un cylindre mince à dents externes, capable de se déformer sous l'action de l'onde générée par le générateur d'onde.

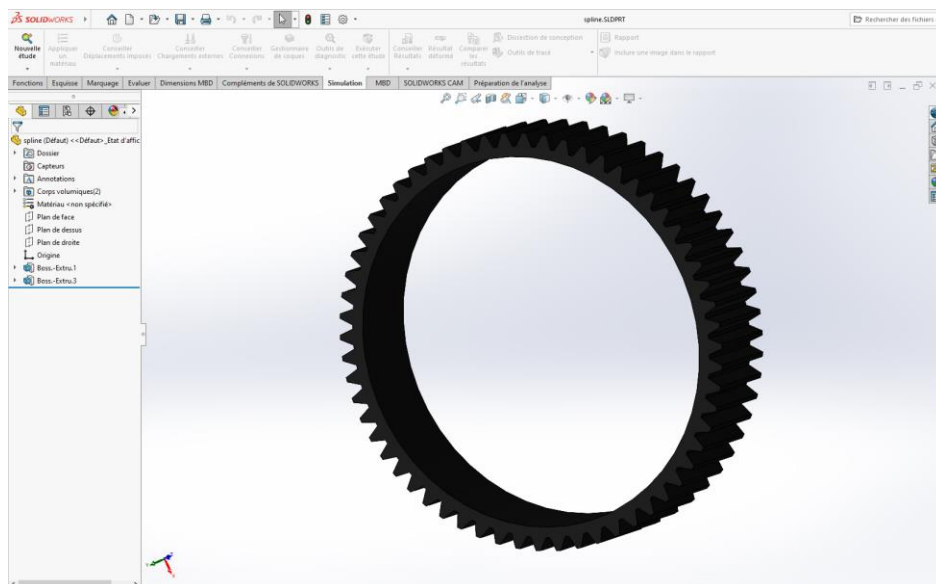


Figure III-32: Cannelure flexible

Conception

Générateur de vagues : Il constitue le composant d'entrée du réducteur Harmonic Drive, chargé de créer la déformation elliptique du Cannelure flexible.

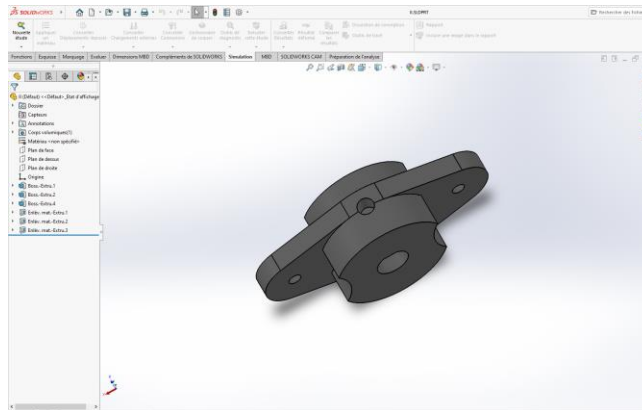


Figure III-33: générateur de vagues

Bras : Il constitue la partie intermédiaire du robot, reliant la base à l'avant-bras. Sa fonction principale est d'assurer le support et le déplacement de l'effecteur à travers les différents axes de rotation.

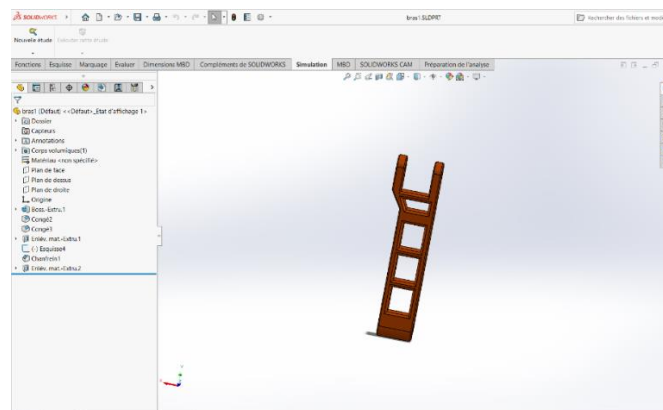


Figure III-34: bras

Avant-bras : Situé entre le bras et l'effecteur, il sert à prolonger le mouvement et à affiner la position de travail du robot.

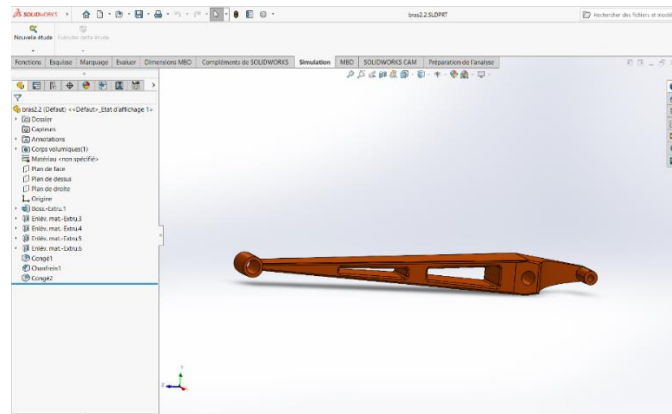


Figure III-35: Avant-bras

Coud de bras : relie le bras a l'avant-bras et permet le mouvement articulé et flexible.

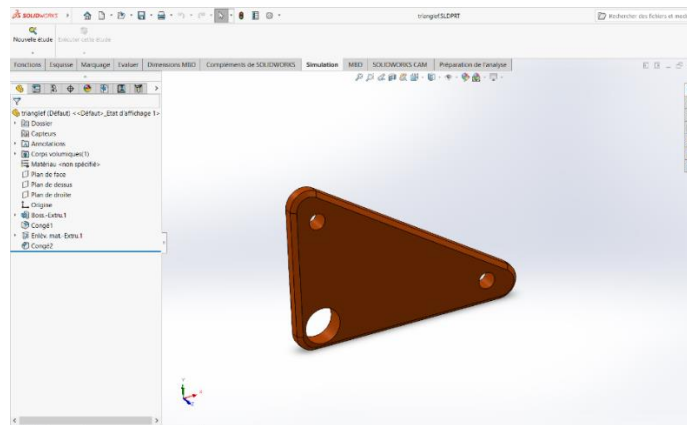


Figure III-36:coud de bras

Tige1 : Elle sert à guider et stabiliser les mouvements du robot lors de ses déplacements.

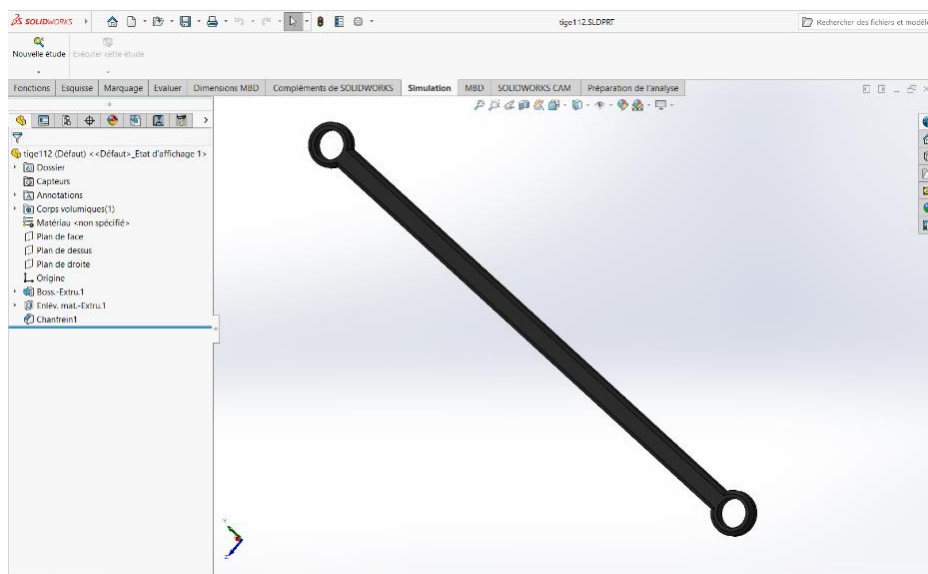


Figure III-37:Tige 1

Conception

Tige2 : Elle sert à guider et stabiliser les mouvements du robot lors de ses déplacements.

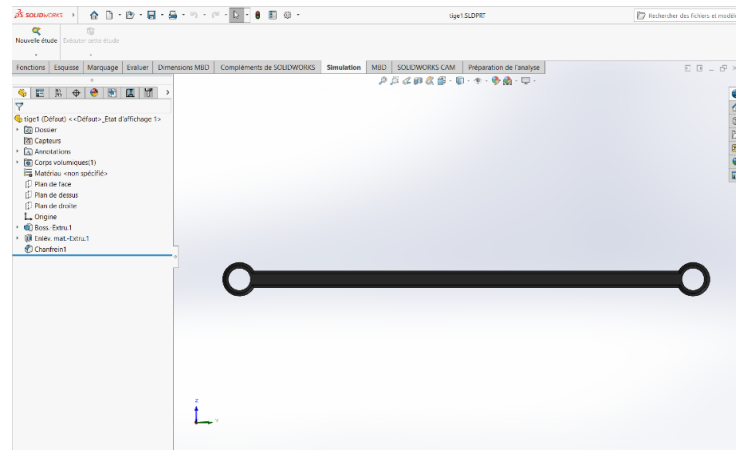


Figure III-38:Tige 2

Petit bras : il contrôle les mouvements du bras.

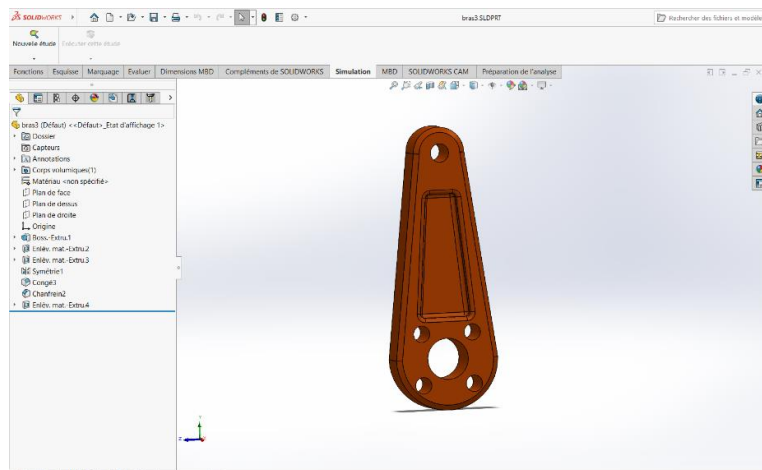


Figure III-39:Petit bras

engrenage : il contrôle les mouvements du bras.

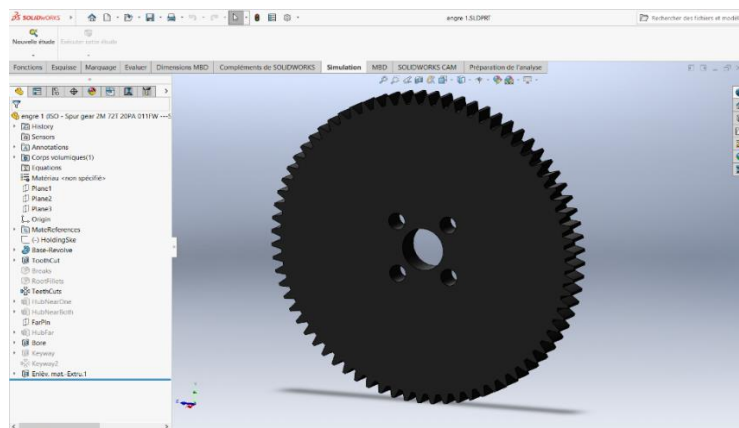


Figure III-40:engrenage

Poignet : il permet de contrôle l'orientation du la pince.

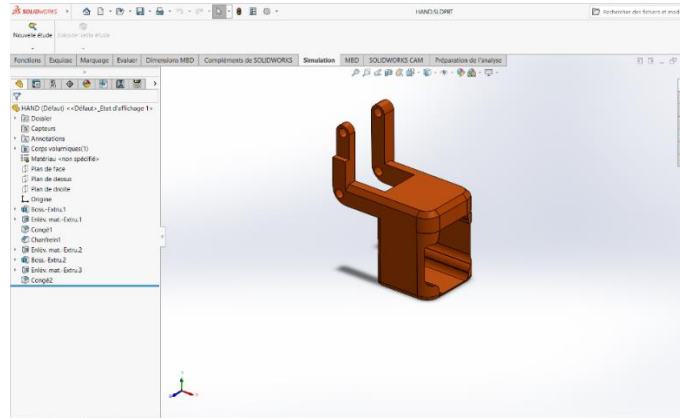


Figure III-41:poignet du bras

plaque du pince 1 : Elle constitue l'un des éléments de fixation et de support de la pince du robot.

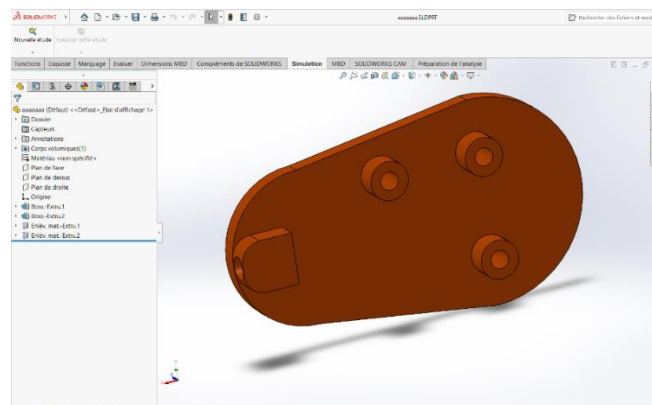


Figure III-42:plaque du pince 1

plaque du pince : Elle constitue l'un des éléments de fixation et de support de la pince du robot.

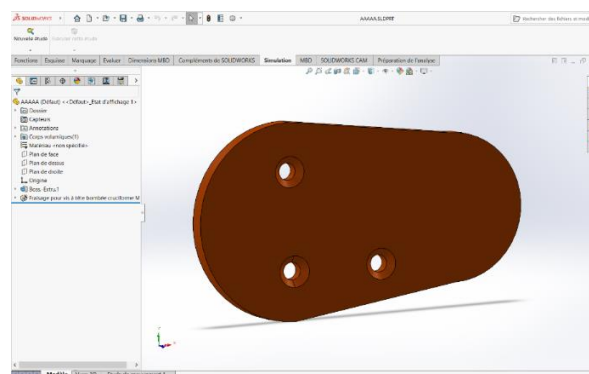


Figure III-43:plaque du pince 2

Conception

Pince : Elle constitue l’outil terminal du robot dédié à la réalisation du soudage par points. Composée de deux électrodes conductrices.

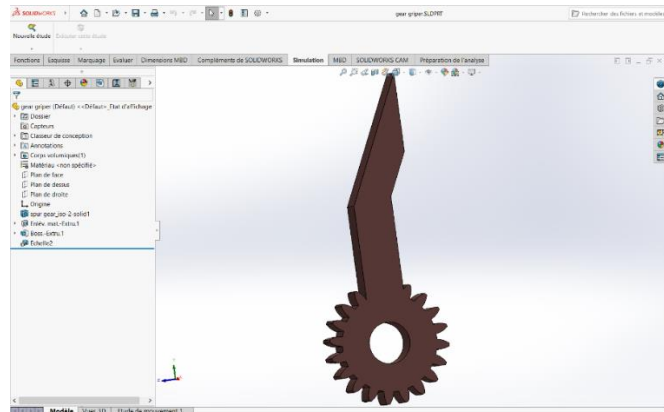


Figure III-44:pince

Le dessin technique de chaque pièce avec les dimensions est dans l’Annexe A.

3.2.1.2. Parties de l’assemblage :

Dans cette section, nous avons assemblé les pièces les unes aux autres selon un ordre précis, en les regroupant en trois sous-ensembles principaux :

La base : Fondation du robot assurant la stabilité et le support initial.

La base : Élément fondamental du robot assurant la stabilité et le support initial. Elle est composée de deux parties principales :

- La fondation, qui garantit la fixation et la stabilité de l’ensemble du robot.
- Le réducteur Harmonic Drive Gearbox, intégré à la base pour permettre la rotation précise du robot autour de son axe vertical tout en assurant un mouvement fluide et sans jeu.

Les segments : Composants articulés formant la structure mobile du bras manipulateur.

L'organe terminal : Effecteur final dédié à l'exécution des tâches, comme le soudage par points.

Ces sous-ensembles sont illustrés dans les figures suivantes :

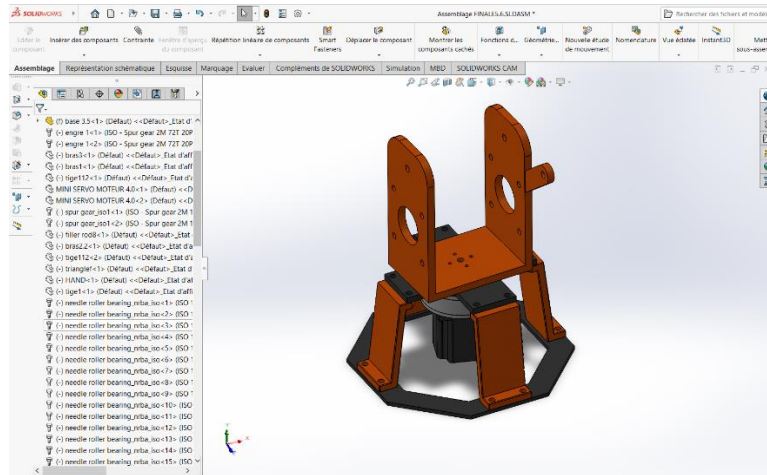


Figure III-45: Partie 1 assemblage de base

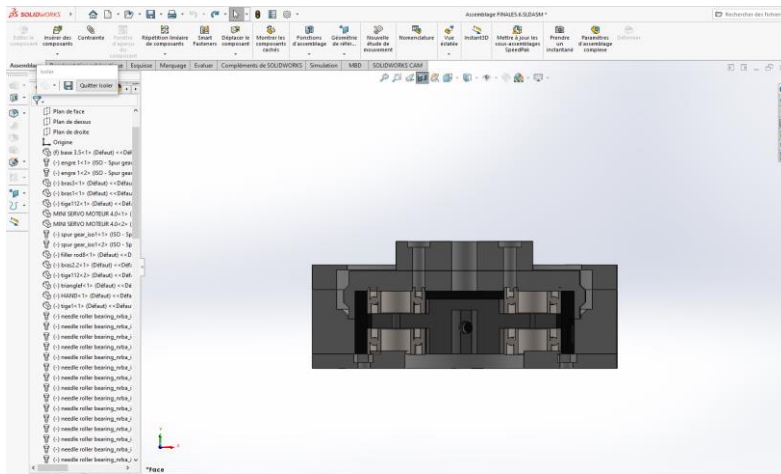


Figure III-46: Vue en coupe de l'ensemble du réducteur Harmonic Drive Gearbox

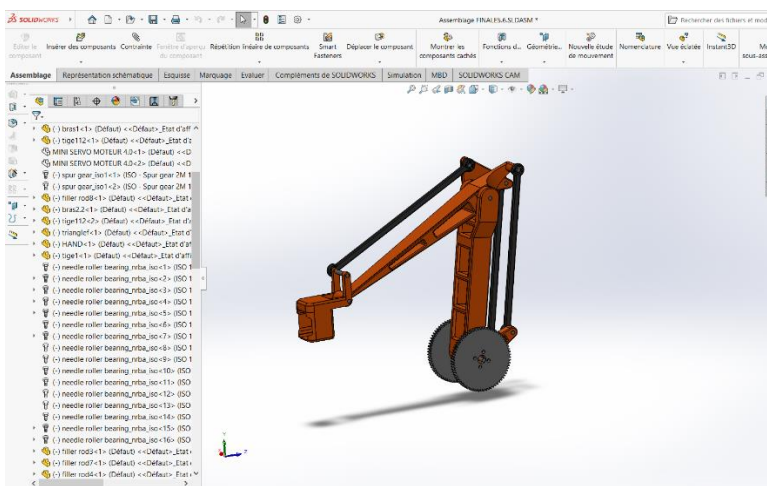


Figure III-47: Partie 2 assemblage des segments

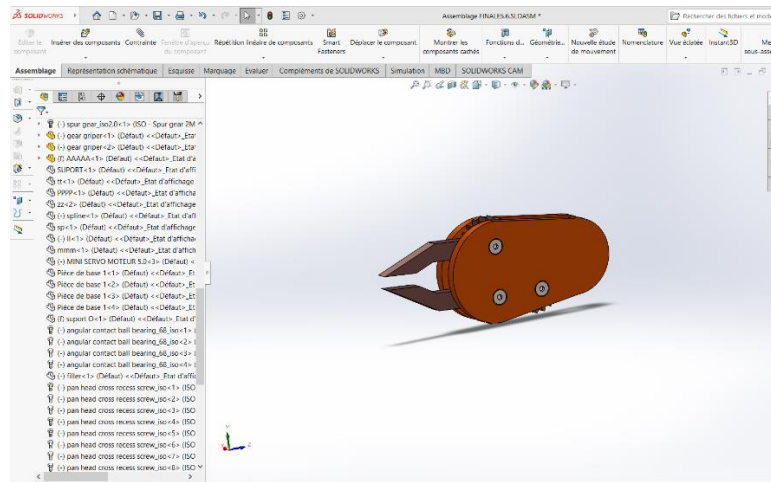


Figure III-48: Partie 3 assemblage de l'organe terminale

3.2.1.3. Modélisation 3D du robot :

La solution technologique du système est donnée sous la forme d'une modélisation 3D du robot en utilisant le logiciel Solid Works 2024. (Figure III-49)

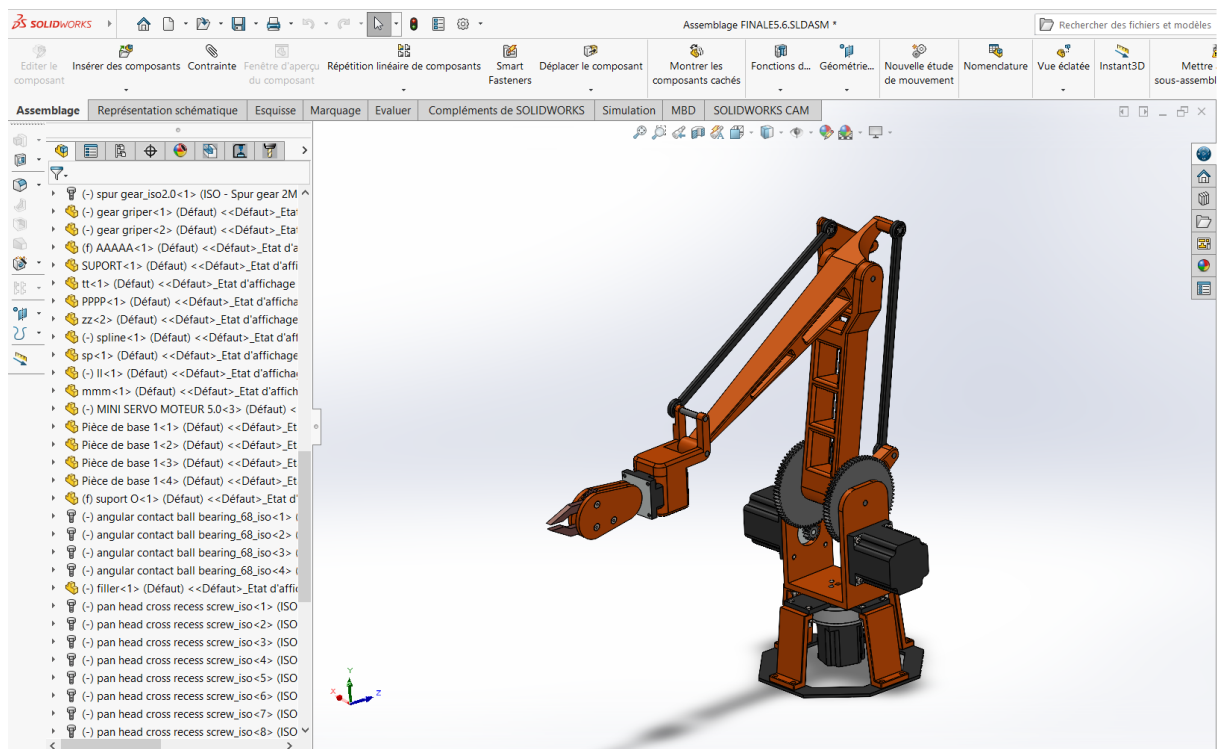


Figure III-49 Modélisation 3D

4. Conclusion

Ce chapitre s'est concentré sur la conception du prototype de robot de soudage par points, en détaillant les choix technologiques effectués pour ses composants clés. Il a présenté les structures mécaniques, les motorisations et les systèmes de guidage retenus, ainsi que leur intégration dans une modélisation 3D réalisée sous SolidWorks 2024, garantissant une solution optimisée pour les exigences industrielles.

Chapitre IV: Soudage par points

1. Introduction :

Le soudage par points, technique d'assemblage par résistance électrique, occupe une place prépondérante dans les industries modernes, notamment l'automobile, l'aéronautique et l'électroménager, grâce à sa rapidité et sa fiabilité. Ce procédé, qui repose sur la fusion localisée des métaux sous l'effet de la chaleur générée par un courant intense, offre une solution économique et efficace pour joindre des tôles métalliques sans ajout de matériau. Ce chapitre se propose d'explorer les principes fondamentaux, les paramètres influents, les équipements tels que les électrodes et le porte-électrode, ainsi que les spécificités pratiques.

2. Principe du soudage par points :

Le soudage par points, également connu sous le nom de soudage par résistance, est une technique d'assemblage métallique largement utilisée dans l'industrie, notamment pour la fabrication de structures en tôle.

Ce procédé repose sur l'application d'un courant électrique intense à travers deux électrodes de cuivre en contact avec les pièces métalliques à assembler, générant une forte chaleur localisée par effet Joule. Cette chaleur fait fondre le métal au point de contact, formant un point de soudure ou "nugget" qui lie solidement les pièces une fois refroidi. Le soudage par points se distingue par sa rapidité, son efficacité et sa capacité à créer des joints solides sans ajout de matériau d'apport, ce qui en fait une solution privilégiée dans des secteurs comme l'automobile, l'aéronautique et l'électroménager [12].

3. Cycle du soudage par points :

Le cycle du soudage par points est une séquence précise d'étapes permettant d'obtenir une soudure de qualité par résistance électrique. Ce procédé, essentiel dans l'assemblage de tôles métalliques, repose sur une combinaison contrôlée de pression, de courant électrique et de temps [9].

3.1. Etape du cycle du soudage :

1. **Phase de serrage** : Les électrodes appliquent une pression sur les pièces à assembler pour assurer un contact optimal, réduisant la résistance électrique et préparant la zone de soudure (voire Figure IV-1:cycle du soudage par points).

Soudage par points

2. **Passage du courant** : Un courant électrique intense est appliqué à travers les électrodes, générant une chaleur par effet Joule qui fait fondre le métal au point de contact, formant un point de soudure ou "nugget".
3. **Maintien sous pression** : Après l'arrêt du courant, la pression est maintenue brièvement pour permettre au métal fondu de se solidifier, garantissant la solidité du joint.
4. **Relâchement** : Les électrodes se retirent, libérant les pièces soudées, prêtes pour la prochaine opération.

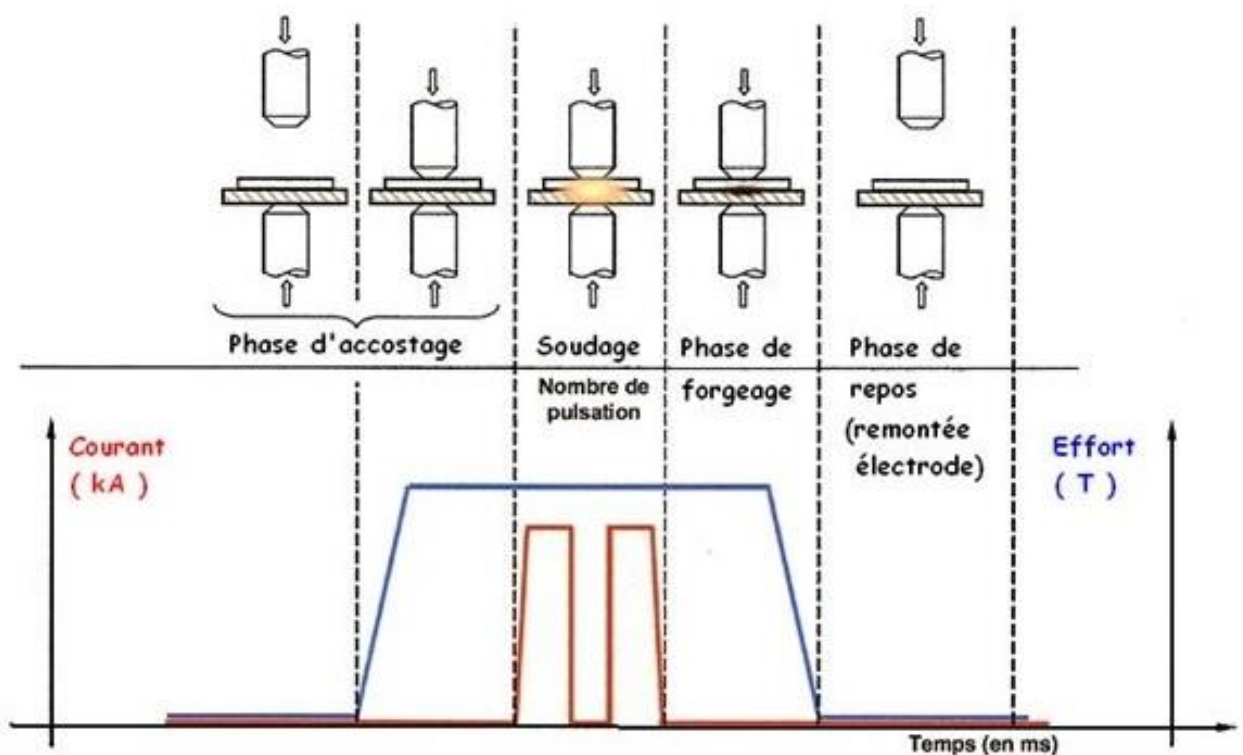


Figure IV-1: cycle du soudage par points

Ce cycle, ajusté selon les matériaux et l'épaisseur des pièces, garantit des soudures rapides, fiables et reproductibles, particulièrement adaptées aux applications industrielles comme l'automobile ou l'électroménager.

4. Types de soudage par points :

Le soudage par points, une méthode d'assemblage par résistance électrique, se décline en plusieurs variantes adaptées à des applications spécifiques et à des matériaux variés. Chaque

Soudage par points

type présente des caractéristiques distinctes en termes de configuration, d'équipement et d'utilisation, répondant aux exigences de divers secteurs industriels [13].

4.1. Principaux types de soudage par points :

- **Soudage par points direct** : Ce type classique utilise deux électrodes positionnées de part et d'autre des pièces à assembler, appliquant courant et pression pour former un point de soudure. Il est idéal pour les tôles minces et les applications standard.
- **Soudage par points indirect** : Une seule électrode est utilisée, l'autre étant remplacée par une surface conductrice (comme une plaque de support). Cette méthode convient aux géométries complexes ou aux pièces difficiles d'accès.
- **Soudage par projection** : Une variante où des protubérances préformées sur une pièce concentrent le courant, réduisant la surface de contact et augmentant l'efficacité. Il est souvent utilisé pour assembler des pièces épaisses ou des métaux à haute conductivité.
- **Soudage par points à impulsions multiples** : Ce procédé applique plusieurs impulsions de courant pour mieux contrôler la chauffe, réduisant les risques de déformation ou de brûlure, particulièrement pour les alliages sensibles comme l'aluminium.

Chaque type de soudage par points est sélectionné en fonction des propriétés des matériaux, de la géométrie des pièces et des exigences de production, garantissant des assemblages robustes et efficaces.

5. Formation de la soudure :

La formation de la soudure dans le soudage par points est un processus critique qui détermine la qualité et la solidité du joint obtenu. Ce phénomène repose sur l'interaction précise de la chaleur, de la pression et du temps, permettant la fusion localisée des matériaux métalliques. La compréhension de ce mécanisme est essentielle pour optimiser les paramètres de soudage et garantir des assemblages fiables dans des applications industrielles telles que l'aéronautique [14].

5.1. Etapes de la formation de la soudure :

1. **Chauffage initial** : Le passage d'un courant électrique à travers les pièces, via les électrodes, génère une chaleur intense par effet Joule. Cette chaleur est concentrée au point de contact, où la résistance électrique est la plus élevée.

Soudage par points

2. **Fusion localisée** : La température atteint le point de fusion du métal, formant une zone fondue. La taille et la forme de cette zone dépendent de l'intensité du courant, de la durée d'application et des propriétés des matériaux.
3. **Solidification** : Une fois le courant coupé, la pression maintenue par les électrodes permet au métal fondu de se solidifier rapidement, créant un joint solide. Une solidification contrôlée évite les défauts comme les fissures ou les porosités.
4. **Refroidissement final** : Après le relâchement des électrodes, le joint refroidit à température ambiante, consolidant la liaison mécanique entre les pièces.

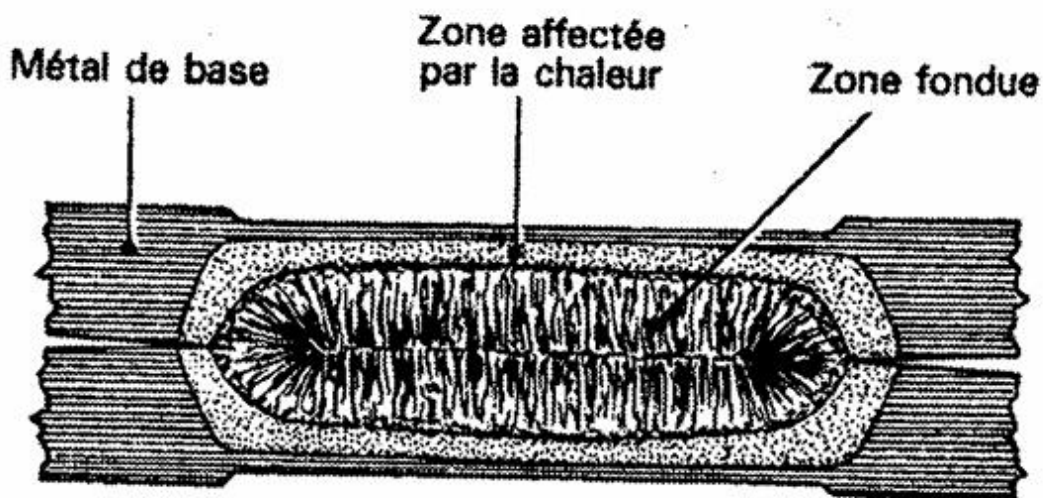


Figure IV-2: Coupe d'un point de soudure

La qualité de la soudure dépend de l'équilibre entre ces étapes, influencé par des paramètres comme la force de serrage, l'intensité du courant et le type de métal, assurant ainsi un joint robuste et durable.

6. Principaux paramètres du soudage par points :

Le soudage par points est un procédé sensible à plusieurs paramètres essentiels qui conditionnent la qualité et la solidité de l'assemblage. La maîtrise de ces paramètres permet d'obtenir une soudure fiable, évitant les défauts tels que les soudures incomplètes, les brûlures ou les déformations. Les principaux facteurs influençant le procédé sont les suivants [15] :

1. **Intensité du courant** : La quantité de courant électrique détermine la chaleur générée par effet Joule. Une intensité trop faible peut entraîner une fusion insuffisante, tandis qu'une intensité excessive risque de provoquer des brûlures ou des projections.

2. **Temps de soudage** : La durée d'application du courant affecte la taille du point de soudure. Un temps trop court limite la fusion, tandis qu'un temps trop long peut déformer les pièces.
3. **Force de serrage** : La pression exercée par les électrodes assure un contact optimal entre les pièces, réduisant la résistance électrique et stabilisant la zone de soudure. Une force inadéquate peut causer des défauts comme des soudures incomplètes.
4. **Type et état des électrodes** :

L'électrode est l'élément en contact direct avec les pièces à souder, il assure à la fois le passage du courant de soudage et la transmission de l'effort de compression aux points précis où les soudures doivent être effectuées.

Qualités demandées à une électrode :

- Bonne conductivité électrique.
 - ▶ Pour permettre un passage efficace du courant de soudage sans pertes excessives.
- Bonne conductivité thermique.
 - ▶ Pour dissiper rapidement la chaleur et éviter la surchauffe de l'électrode.
- Résistance mécanique élevée.
 - ▶ Pour supporter les efforts de compression sans se déformer ou s'user prématurément.
- Résistance à l'usure.
 - ▶ L'électrode doit conserver sa forme malgré les cycles répétés de soudage.
- Bonne tenue à la température.
 - ▶ Elle doit rester stable et efficace à haute température sans dégradation.
- Faible adhérence avec les matériaux à souder.
 - ▶ Pour éviter que les pièces ne collent à l'électrode après la soudure.
- Forme stable et bien adaptée.
 - ▶ La géométrie de l'électrode doit rester constante pour garantir la qualité des soudures.

Soudage par points

- Facilité d'usinage ou de reconditionnement.
 - Pour permettre sa remise en forme ou son remplacement lorsque nécessaire.

Caractéristiques des électrodes :

Types de formes des électrodes : Deux formes principales sont utilisées :

la pointe tronconique : caractérisée par une Forme conique avec un sommet plat ou légèrement arrondi..

la pointe sphérique ou bombée : caractérisée par une Forme arrondie à l'extrémité, comme une demi-sphère.

Dimensions : Le diamètre de l'électrode est proportionnel à l'intensité du courant, au temps de soudage et à la cadence. Un diamètre plus grand est requis pour des courants élevés, tandis que des relations spécifiques déterminent les tailles en fonction de l'épaisseur des pièces à souder par les relations :

$$D = 5\sqrt{e}$$

$$r = A.e + B$$

Ou D, r et e exprimé en mm

Avec : A=20 et B=50 mm pour l'acier doux et l'acier inoxydable.

A=70 et B=70 mm pour l'alliages légers.

1. Électrode à pointe tronconique (voire Figure IV-3:Electrode à pointe tronconique)



Figure IV-3:Electrode à pointe tronconique

Soudage par points

Avantages :

- Bonne concentration du courant au point de soudure → facilite la fusion.
- Permet une pression localisée, idéale pour des soudures précises.
- Moins de déformation des pièces minces.
- Adaptée aux soudages répétitifs avec un bon contrôle.

Inconvénients :

- Usure rapide de la pointe (écrasement ou déformation du cône).
- Nécessite un réusinage fréquent.
- Moins adaptée aux surfaces irrégulières.
- Peut provoquer un échauffement excessif si mal réglée.

2. Électrode à pointe sphérique (voire Figure IV-4:Électrode à pointe sphérique)



Figure IV-4:Électrode à pointe sphérique

Avantages :

- Bonne répartition de la pression, idéale pour matériaux plus épais ou irréguliers.
- Moins de risque de marquage ou de perçage sur les pièces.
- Meilleure durabilité de la forme de l'électrode.
- Convient aux pièces galvanisées ou avec revêtement.

Inconvénients :

- Moins de concentration du courant peut donner des soudures plus larges et moins précises.
- Risque de chauffe insuffisante sur des tôles fines.
- Peut provoquer des soudures moins nettes si mal calibrée.

L'ajustement précis de ces paramètres, en fonction des caractéristiques des matériaux et des besoins spécifiques de l'application, est essentiel pour obtenir des soudures par points de haute qualité, minimisant les défauts tout en maximisant la productivité.

7. Porte-électrode :

Le porte-électrode est un composant essentiel dans le procédé de soudage par points, assurant la fixation et la transmission efficace du courant et de la pression vers les électrodes. Son rôle est déterminant pour maintenir la précision et la stabilité durant le cycle de soudage.

7.1. Fonctions et caractéristiques du porte-électrode :

1. **Fixation et alignement** : Le porte-électrode maintient l'électrode en position, garantissant un alignement parfait avec les pièces à souder pour une répartition homogène de la pression et du courant.
2. **Conduite électrique** : Fabriqué dans un matériau à haute conductivité, comme le cuivre, il transmet le courant électrique depuis la source vers l'électrode, minimisant les pertes d'énergie.
3. **Résistance mécanique** : Il doit supporter des efforts importants et des températures élevées sans se déformer, assurant une durabilité même lors de cycles de soudage intensifs.
4. **Ajustabilité** : Certains porte-électrodes permettent des ajustements pour s'adapter à différentes tailles d'électrodes ou à des configurations spécifiques, améliorant la polyvalence du système.

Un porte-électrode bien conçu et entretenu contribue à optimiser la qualité des soudures et à prolonger la durée de vie des électrodes, renforçant ainsi l'efficacité globale du procédé.

8. Course de l'électrode :

La course de l'électrode désigne le mouvement vertical ou le déplacement contrôlé de l'électrode durant le cycle de soudage par points, jouant un rôle clé dans l'application de la pression et la formation du joint. Ce paramètre, ajusté selon les épaisseurs et les matériaux des pièces, est essentiel pour assurer un contact efficace et une soudure de qualité.

Avantages de la course de l'électrode :

- ❖ Précision accrue : Une course bien calibrée permet un contact précis entre les électrodes et les pièces, optimisant la localisation du courant et réduisant les défauts.
- ❖ Adaptabilité : Elle s'ajuste aux variations d'épaisseur ou de rigidité des matériaux, offrant une flexibilité pour différents types de soudage.
- ❖ Réduction de l'usure : En contrôlant la pression exercée, la course limite l'usure des électrodes, prolongeant leur durée de vie.
- ❖ Amélioration de la qualité : Une course régulée favorise une fusion homogène, garantissant des points de soudure solides et uniformes.

Cette gestion rigoureuse de la course de l'électrode contribue à une efficacité accrue et à une fiabilité optimale du procédé de soudage par points, mais il est essentiel d'adopter la course la plus courte possible pour avoir ses avantages.

9. Choix des paramètres de soudage par points :

Pour notre étude, nous considérons des tôles en (acier doux) d'épaisseur $e = 0.5$ mm les paramètres de soudage sont tirés du tableau de paramètre de soudage dans l'annexe B (voir Figure IV-5: Paramètres du soudage choisies).

e(mm)	Diamètre de l'électrode (mm)	Effort de pression F(N)	Intensité du courant (A)	Temps de soudage (S)	Diamètre Du point soudé (mm)
0.5	4	600	2000	0,2	4

Figure IV-5: Paramètres du soudage choisies

10. Conclusion :

Ce chapitre a examiné les fondements du soudage par points, incluant son principe, et ses différents cycle, types, et paramètres clés. Il a mis en lumière l'importance des électrodes, du porte-électrode et de la course pour des joints de qualité. Adapté aux tôles métalliques, ce procédé repose sur la résistance électrique et la pression, optimisé par des ajustements précis. L'étude offre une base pour explorer ses applications pratiques et améliorer les assemblages industriels.

Chapitre V: Étude statique du robot

1. Introduction :

Ce chapitre se concentre sur l'étude statique du robot, visant à évaluer sa réponse aux charges appliquées et à garantir sa robustesse structurelle. Nous analyserons en détail les résultats obtenus, en examinant les contraintes exercées sur les composants du robot et en vérifiant leur conformité par rapport aux limites des matériaux utilisés. Cette analyse permettra d'assurer que le robot peut résister efficacement aux forces externes dans des conditions d'utilisation prévues.

2. Étude statique du robot

Une étude statique consiste à analyser le comportement d'une structure ou d'un système mécanique soumis à des charges constantes, sans prise en compte des effets dynamiques comme les vibrations ou les variations temporelles. Elle permet d'évaluer la rigidité des composants, de vérifier leur précision et d'examiner les contraintes appliquées pour garantir leur fiabilité.

Dans le cadre de l'étude du robot, ce dernier est soumis à la charge qu'il doit déplacer, laquelle inclut les forces d'inertie générées lors des phases d'accélération et de décélération.

Les calculs sont effectués à l'aide de la méthode des éléments finis, en utilisant le logiciel SolidWorks 2024.

L'équation statique à résoudre est la suivante : $[K] \{q\} = \{F\}$

$[K]$: matrice de rigidité.

$\{q\}$: vecteur des déplacements.

$\{F\}$: vecteur des charges extérieures.

3. Paramètres de l'étude :

3.1. Propriétés de matériau :

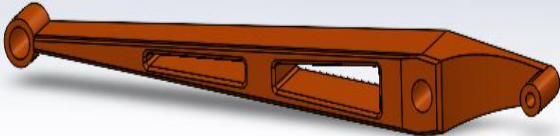
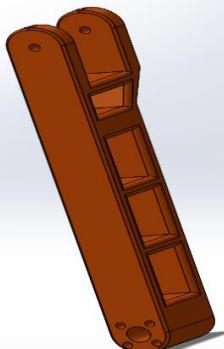
Reference du modèle	Propriétés
	<p>Nom : AISI 304</p> <p>Type de modèle : Linéaire élastique isotropique</p> <p>Module d'élasticité : $1.9e^{+11}$ N/m²</p> <p>Coefficient de poisson : 0,29 S.O.</p> <p>Module de cisaillement : $7,5e^{+10}$ N/m²</p> <p>Masse volumique : 8000 kg/m³</p> <p>Limite de traction : 517017000 N/m²</p> <p>Limite d'élasticité : 206807000 N/m²</p> <p>Coefficient de dilatation thermique : $1.8e^{-5}$ /K</p>
	<p>Nom : AISI 304</p> <p>Type de modèle : Linéaire élastique isotropique</p> <p>Module d'élasticité : $1.9e^{+11}$ N/m²</p> <p>Coefficient de poisson : 0,29 S.O.</p> <p>Module de cisaillement : $7,5e^{+10}$ N/m²</p> <p>Masse volumique : 8000 kg/m³</p> <p>Limite de traction : 517017000 N/m²</p> <p>Limite d'élasticité : 206807000 N/m²</p> <p>Coefficient de dilatation thermique : $1.8e^{-5}$ /K</p>

Tableau V-1: Propriétés de matériau

3.2. Maillage :

La figure suivante représente le maillage de l'élément de

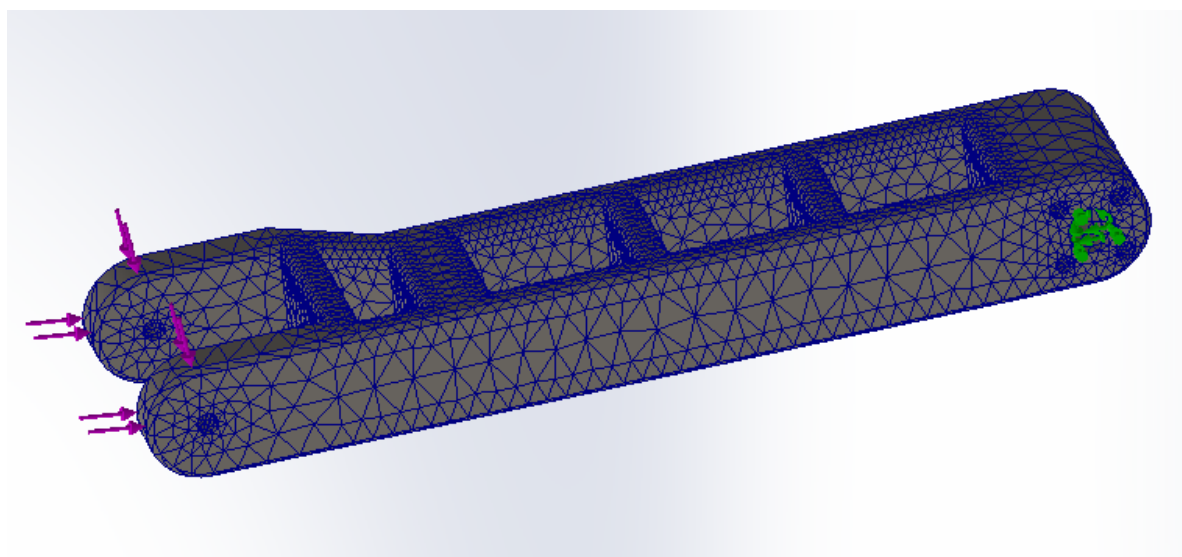


Figure V-1 :Maillage

Étude statique du robot

Type de maillage	Maillage volumique
maillage utilisé	Maillage raccordé basé sur la courbure
Qualité de maillage	Haute
Taille d'élément maximum	17.40383411mm
Taille d'élément minimum	2.71705237mm
Points de Jacobien	16 Points

Tableau V-2: Détails de maillage

La figure suivante représente le maillage de l'élément de

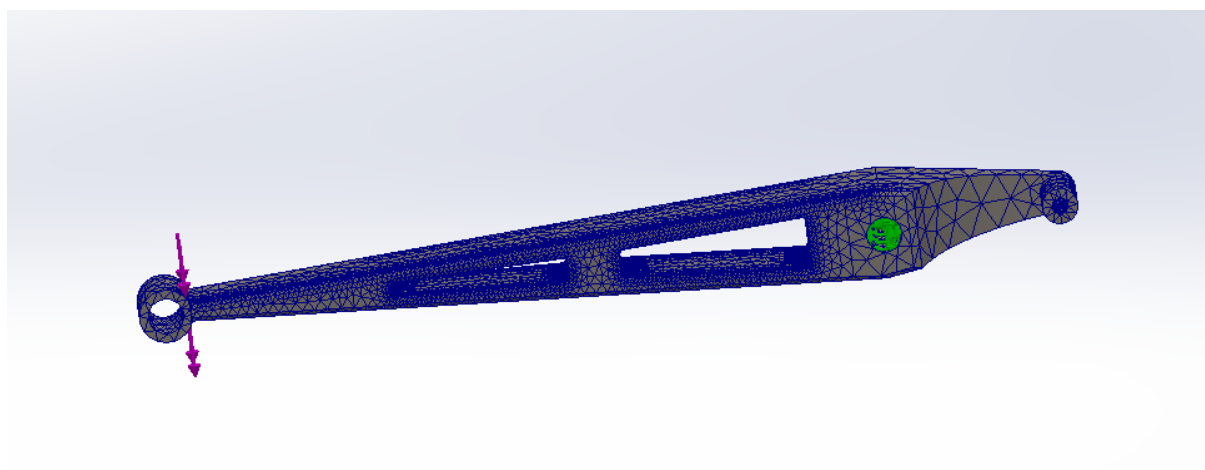


Figure V-2 : Propriétés de matériau

Type de maillage	Maillage volumique
maillage utilisé	Maillage raccordé basé sur la courbure
Qualité de maillage	Haute
Taille d'élément maximum	14.21059752mm
Taille d'élément minimum	1.62640459mm
Points de Jacobien	16 Points

Tableau V-3: Détails de maillage

3.3. Actions extérieures

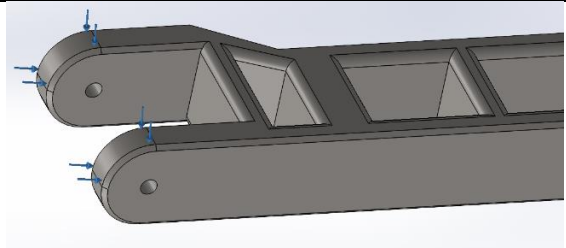
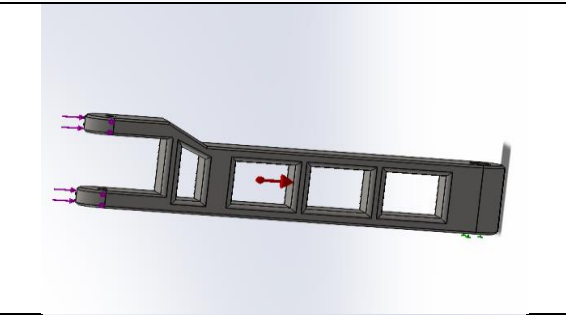
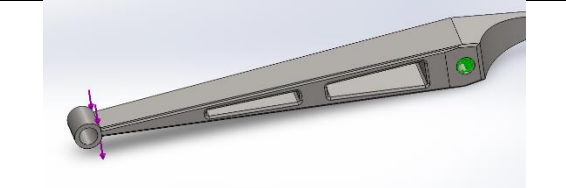
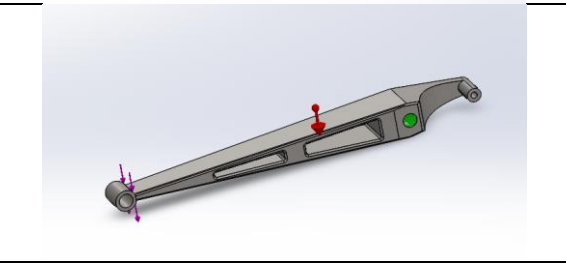
Nom du chargement	Image du chargement	Détails du chargement
Force		Type : Force normale Valeur : 13 N
Gravité		Valeurs : 0 - 9,81 Unités : m/s ²
Force		Type : Force normale Valeur : 7 N
Gravité		Valeurs : 0 - 9,81 Unités : m/s ²

Tableau V-4: Chargement extérieur de l'élément

4. Résultats de l'étude :

4.1. Les contraintes de Von-Mises : pour bras 1

Les contraintes de Von-Mises sont données par le tableau suivant :

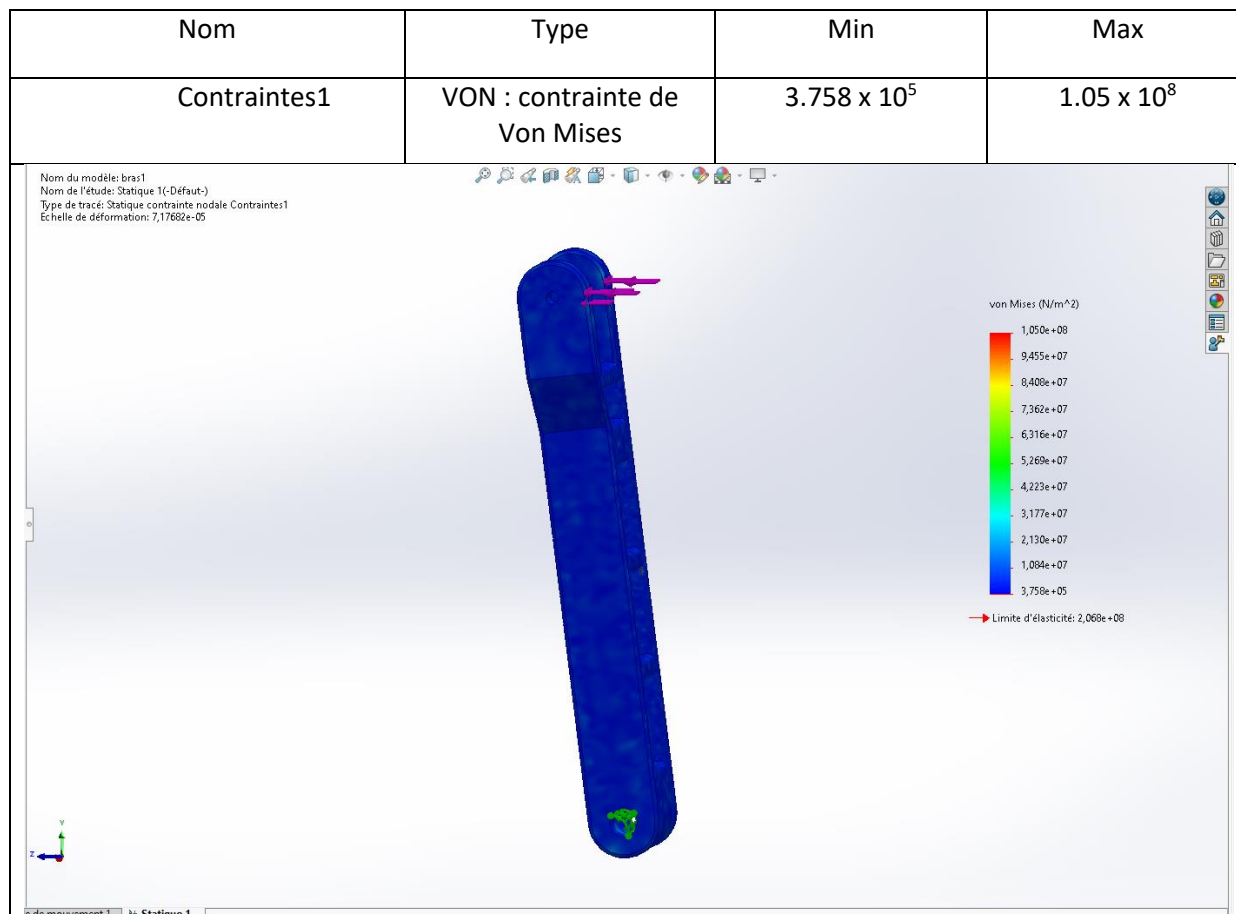


Tableau V-5: Les contraintes de Von-Mises

On observe que la contrainte maximale, qui s'élève à $1.05 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, est nettement inférieure à la limite élastique du matériau de l'élément, fixée à $2,068 \times 10^8 \text{ N/m}^2$. Par conséquent, l'élément résiste efficacement aux charges externes.

Coefficient de sécurité : $\alpha_s = 1.96$

Le coefficient de sécurité obtenu est un coefficient de sécurité confortable.

4.2. Les déplacements :

Les déplacements de l'élément sont donnés par le tableau suivant :

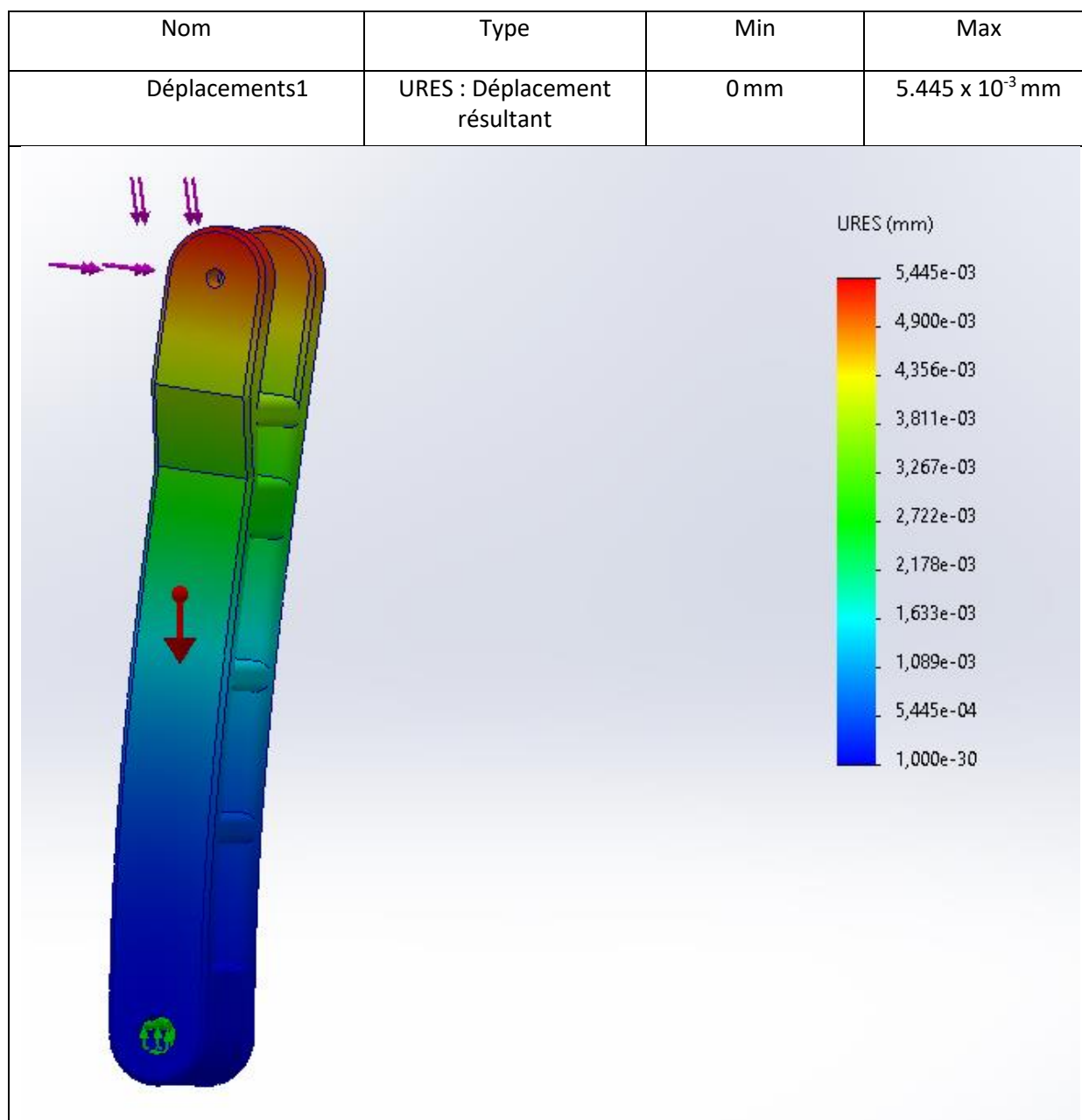


Tableau V-6: Les déplacements résultants

Le calcul de déplacement permet de valider la rigidité du support, on constate que le déplacement maximal est à l'extrémité de l'élément. Ces déplacements peuvent affecter la précision du robot.

Dont notre cas le déplacement maximal est de 0.0054mm, cette valeur est tout à fait acceptable.

4.3. Les contraintes de Von-Mises : pour bras 2

Les contraintes de Von-Mises sont données par le tableau suivant :

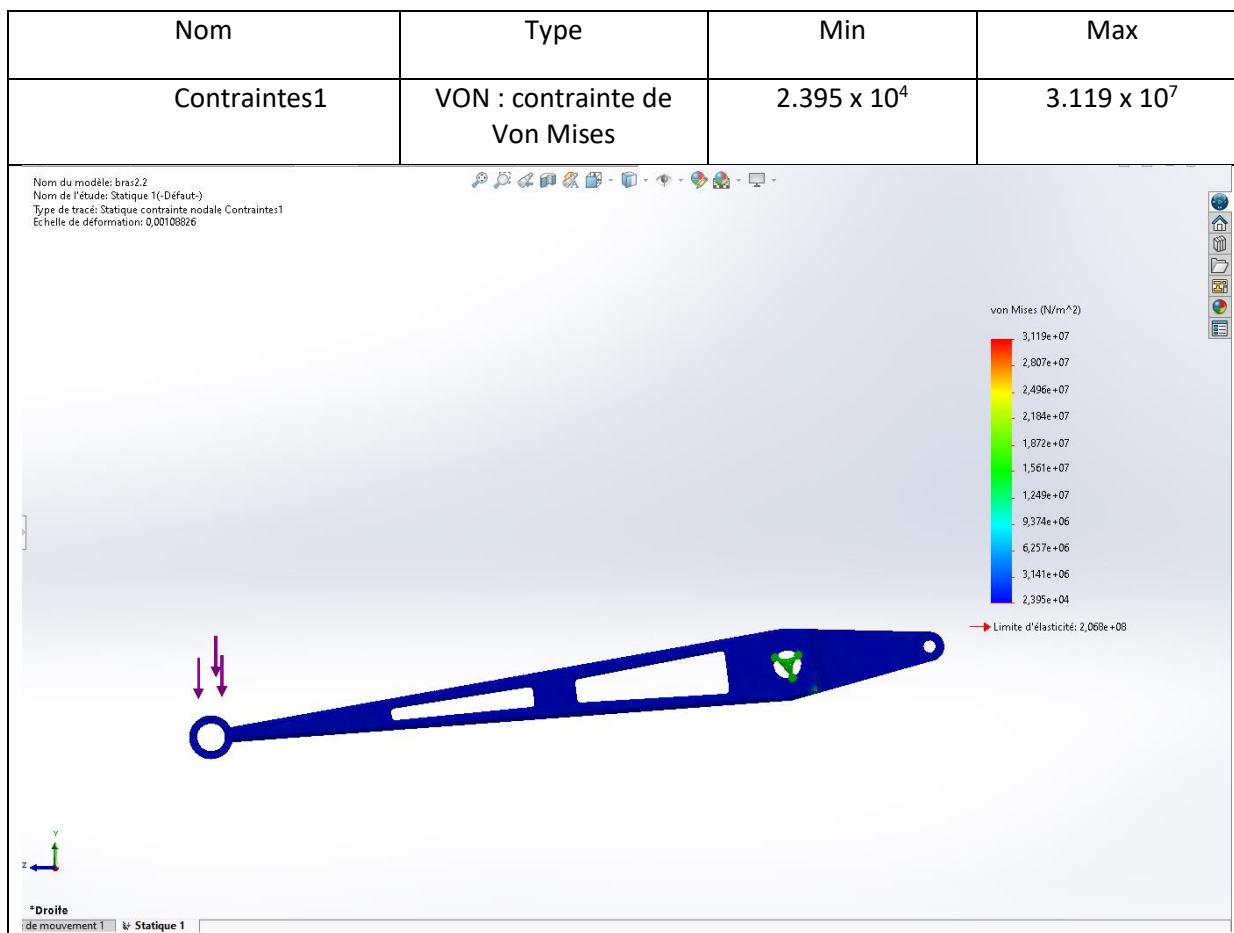


Tableau V-7: Les contraintes de Von-Mises

On observe que la contrainte maximale, qui s'élève à $3.119 \times 10^7 \text{N/m}^2$, est nettement inférieure à la limite élastique du matériau de l'élément, fixée à $2,068 \times 10^8 \text{N/m}^2$. Par conséquent, l'élément résiste efficacement aux charges externes.

Coefficient de sécurité : $\alpha_s = 6.63$

Le coefficient de sécurité obtenu est un coefficient de sécurité confortable.

4.4. Les déplacements :

Les déplacements de l'élément sont donnés par le tableau suivant :

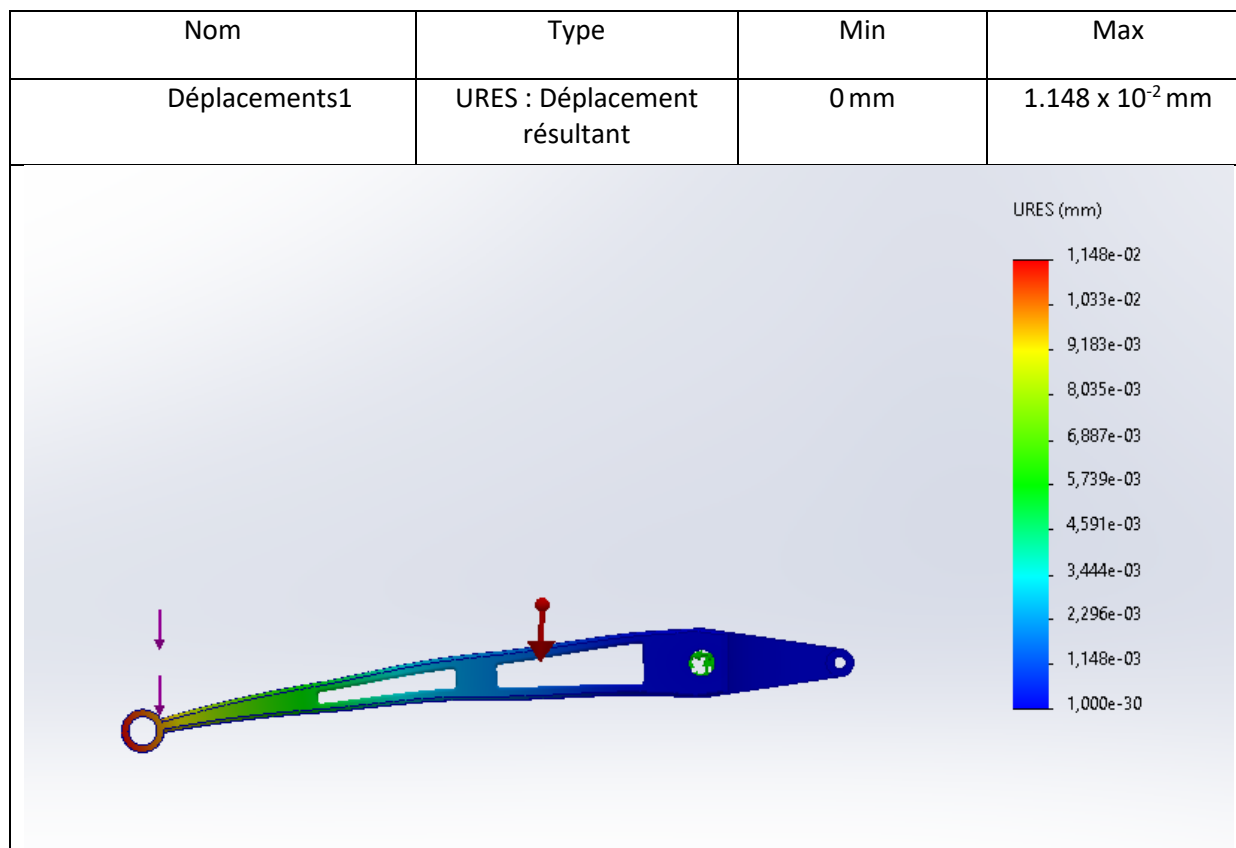


Tableau V-8.: Les déplacements résultants

Le calcul de déplacement permet de valider la rigidité du support, on constate que le déplacement maximal est à l'extrémité de l'élément. Ces déplacements peuvent affecter la précision du robot.

Dont notre cas le déplacement maximal est de 0.011 mm, cette valeur est tout à fait acceptable .

5. Conclusion :

Ce chapitre a permis d'effectuer une analyse statique approfondie du robot, réalisée via la méthode des éléments finis dans SolidWorks 2024, confirme sa robustesse et sa conformité aux exigences. Les contraintes maximales des bras 1 et 2 sont bien inférieures à la limite élastique du matériau AISI 304, avec des coefficients de sécurité élevés. Les déplacements, très faibles, respectent la précision requise ($\pm 0,5$ mm). Le robot est donc fiable et apte à supporter les charges prévues.

Chapitre VI: Commande

1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons présenter les différents composants qui interviennent dans la commande du robot ainsi que les moyens mis en œuvre pour assurer son contrôle. L'objectif est de donner une vue d'ensemble sur les éléments matériels et logiciels qui permettent de générer, transmettre et réguler les mouvements du robot. Nous aborderons notamment les dispositifs de commande, leurs rôles respectifs et leur importance dans la coordination et la précision des déplacements. Cette présentation servira de base pour mieux comprendre le fonctionnement global du système de commande sans entrer encore dans les détails d'une étude approfondie.

2. Motorisation :

Les servomoteurs hybrides, comme le modèle 57HBM100-100, combinent les avantages des moteurs pas à pas et des servomoteurs classiques. Ils fonctionnent à l'aide d'un signal de commande constitué d'impulsions et de signaux de direction, similaires aux moteurs pas à pas, mais intègrent en plus un codeur qui assure une boucle de rétroaction. Cette caractéristique permet au système de corriger en temps réel les éventuelles pertes de pas, garantissant ainsi une meilleure précision et une plus grande fiabilité dans le positionnement.

Contrairement aux moteurs pas à pas classiques, le servomoteur hybride peut maintenir une vitesse plus élevée sans perte de synchronisation, tout en développant un couple important. Grâce à son retour d'information, il offre un fonctionnement plus stable, un positionnement précis et une réduction notable des vibrations et du bruit. Cela en fait un choix adapté pour les systèmes robotiques nécessitant à la fois rapidité, précision et robustesse.

Le moteur choisi est de type 57HBM100-100, qui dispose d'un couple nominal élevé et convient parfaitement aux besoins de commande du robot [16](voir figure suivante).

Les caractéristiques du servomoteur :

- Modèle : 57HBM100-100.
- Type : servomoteur hybride (closed-loop stepper).
- Angle de pas : $1,8^\circ$
- Courant nominal : 6,0 A.
- Couple nominal : 3 N·m.
- Couple maximal : 4,5 N·m.
- Résolution du codeur : 1000 PPR (Pulse Per Revolution).

- Longueur du moteur : 103 mm.
- Diamètre de l'arbre : 8 mm.
- Poids : \approx 1,6 kg.



Figure VI-1: servomoteurs hybrides

3. Driver :

Le driver HBS57 est un variateur spécialement conçu pour le pilotage des servomoteurs hybrides de la série 57HBM. Il assure la génération et la gestion des signaux nécessaires au fonctionnement du moteur, en tenant compte à la fois des impulsions de commande et des informations de retour fournies par l'encodeur intégré. Grâce à cette boucle fermée, le driver permet de corriger en temps réel les éventuelles erreurs de positionnement et d'éliminer le risque de perte de pas, problème fréquent avec les moteurs pas à pas traditionnels.

Le HBS57 reçoit en entrée des signaux **STEP/DIR** (impulsions et direction) provenant du contrôleur principal. Chaque impulsion est interprétée comme un déplacement angulaire du moteur, tandis que le signal de direction fixe le sens de rotation. Le driver compare ensuite la position réelle du rotor, transmise par l'encodeur, avec la position de consigne. Si un écart est détecté, il ajuste automatiquement le courant et la vitesse pour ramener le moteur à la position correcte.

En plus de la correction de position, le HBS57 optimise le courant délivré au moteur en fonction de la charge. Cela permet de réduire la consommation d'énergie, les échauffements et le bruit, tout en augmentant la durée de vie du système. Le driver dispose également de

Commande

fonctions de protection (surchauffe, surtension, surintensité, perte de signal d'encodeur), garantissant une grande fiabilité d'utilisation [17].

Caractéristiques principales du driver HBS57 :

- Tension d'alimentation : 24 – 50 VDC.
- Courant de sortie : 0 – 6 A (réglable).
- Entrées de commande : STEP, DIR, ENABLE (compatibles TTL).
- Résolution programmable : jusqu'à 51 200 pas par tour.
- Signal d'encodeur : 1000 PPR, boucle fermée avec correction automatique
- Fonctions de protection intégrées : surintensité, surtension, surchauffe erreur d'encodeur.
- Dimensions compactes : 118 × 75 × 34 mm.

Grâce à ces caractéristiques, le HBS57 constitue un élément essentiel du système de commande, garantissant un mouvement fluide, précis et fiable du servomoteur 57HBM100-100.



Figure VI-2: driver HBS57

4. Contrôleur

Le contrôleur NVUM V2 est une carte de commande numérique (CNC motion Controller) destinée à piloter des systèmes multiaxes. Dans sa version 4 axes, il permet de contrôler simultanément jusqu'à quatre moteurs pas à pas ou servomoteurs via leurs drivers respectifs. Il constitue l'interface entre l'ordinateur (ou logiciel de pilotage comme Mach3) et les actionneurs du robot, en traduisant les instructions logicielles en signaux électriques exploitables par les drivers.

Le NVUM V2 utilise une connexion USB pour la communication avec le PC. Les données de trajectoire sont générées par le logiciel de commande numérique (Mach3, généralement), puis envoyées au contrôleur qui les convertit en signaux STEP/DIR pour chaque axe. Cela assure un mouvement synchronisé, fluide et précis, même pour des trajectoires complexes.

En plus du pilotage de base, le contrôleur dispose d'entrées et de sorties programmables (E/S) permettant d'intégrer des capteurs de fin de course, des boutons d'arrêt d'urgence, ou encore des relais pour la commande d'éléments auxiliaires (broche, pompe, etc.). La carte intègre également une gestion avancée des vitesses et accélérations, permettant de réduire les vibrations et d'améliorer la stabilité du système mécanique [18].

Caractéristiques principales du NVUM V2 (4 axes) :

- Nombre d'axes supportés : 4 axes indépendants.
- Interface de communication : USB 2.0 haute vitesse.
- Logiciel compatible : Mach3 (Windows).
- Entrées : fins de course, origine, bouton d'arrêt d'urgence.
- Sorties : relais pour la commande de la broche ou d'autres périphériques.
- Fréquence de sortie : jusqu'à 200 kHz pour chaque axe.
- Alimentation : 24 V DC.
- Dimensions compactes facilitant l'intégration.



Figure VI-3: contrôleur NVUM V2

5. Pilote :

Le logiciel Mach3 est un programme de commande numérique largement utilisé pour piloter des machines-outils CNC, des robots et divers systèmes automatisés. Il assure l'interface entre l'utilisateur et le contrôleur de mouvement (comme le NVUM V2), en convertissant les instructions de programmation ou de conception (G-code) en signaux de commande adaptés aux différents axes de la machine.

Mach3 fonctionne sur un ordinateur classique sous Windows et se connecte au contrôleur via un port USB ou Ethernet, selon le modèle utilisé. L'utilisateur peut importer un fichier de trajectoire (G-code), généré à partir d'un logiciel de CAO/FAO, ou bien programmer directement dans l'interface du logiciel. Ce G-code est ensuite traduit en impulsions STEP/DIR envoyées aux drivers des moteurs, permettant ainsi de contrôler avec précision les mouvements des axes.

Le logiciel dispose d'une interface graphique conviviale qui permet de visualiser en temps réel la position des axes, la trajectoire suivie et les paramètres de coupe (vitesse, avance, profondeur, etc.). Il intègre aussi plusieurs options de personnalisation, comme l'ajout de macros, la configuration des entrées/sorties, ou encore le paramétrage des vitesses et accélérations [19].

Commande

Fonctionnalités principales de Mach3 :

- Compatibilité jusqu'à 6 axes de mouvement.
- Lecture et exécution de programmes G-code.
- Interface graphique pour visualiser et contrôler la trajectoire.
- Paramétrage des vitesses, accélérations et limites des axes.
- Gestion des entrées (fins de course, capteurs, boutons d'arrêt d'urgence).
- Gestion des sorties (broche, pompe, relais divers).
- Possibilité d'ajouter des macros personnalisées (VBScript).
- Communication via USB ou Ethernet selon le contrôleur utilisé.

Grâce à sa flexibilité et sa simplicité d'utilisation, **Mach3** est devenu une référence dans le domaine du pilotage CNC. Associé au contrôleur NVUM V2, aux drivers HBS57 et aux servomoteurs 57HBM100-100, il permet de constituer une solution complète de commande, alliant robustesse, précision et facilité de mise en œuvre pour le système robotisé.

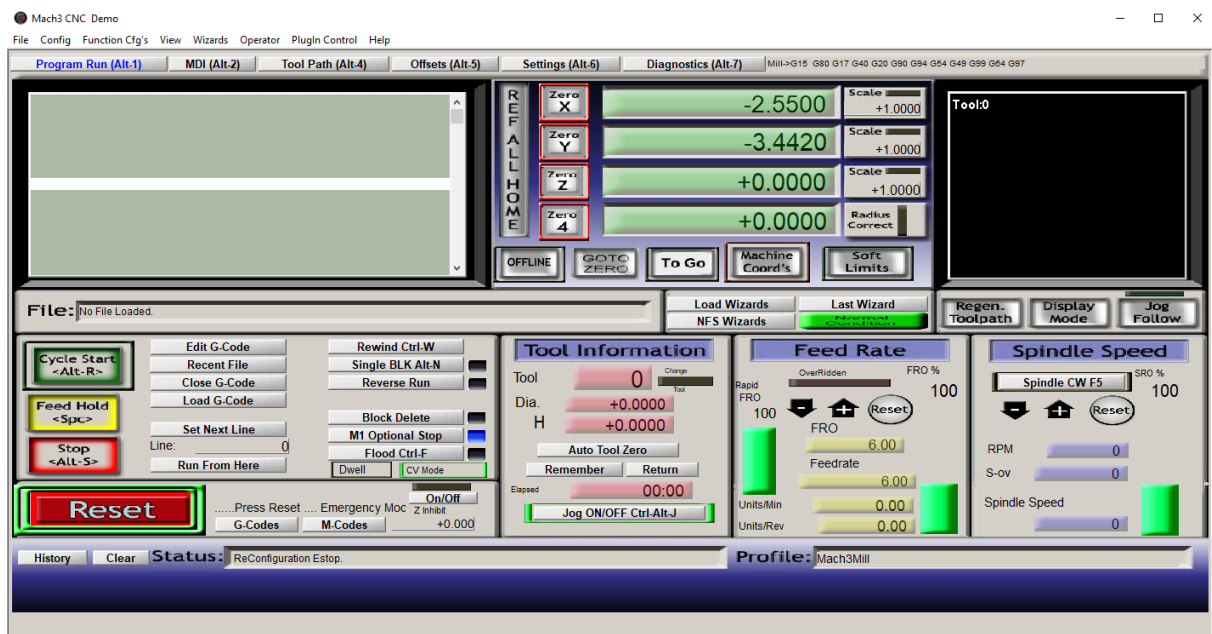


Figure VI-4: logiciel Mach3

6. Circuit de commande :

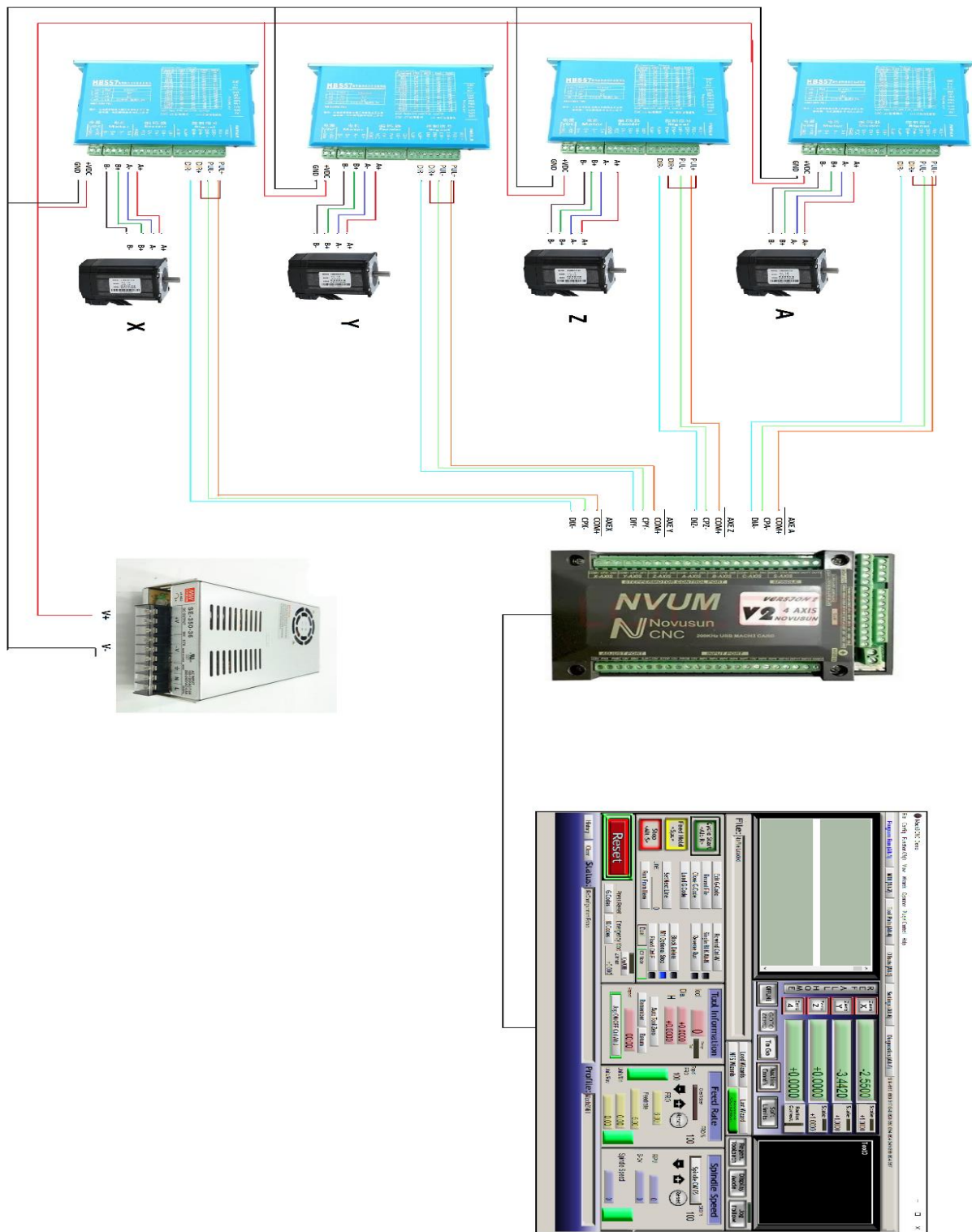


Figure VI-5: Schéma de surcuit de commande

7. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les principaux éléments de commande du robot, allant du moteur et de son driver jusqu'au contrôleur et au logiciel de pilotage. L'ensemble de ces composants travaille de manière complémentaire pour assurer un fonctionnement précis et fiable du système. Cette présentation met en évidence le rôle essentiel de la chaîne de commande dans la maîtrise des mouvements du robot.

Conclusion générale

Ce mémoire a permis d'étudier et analyser un robot de soudage par points à travers une démarche progressive allant de l'analyse des besoins à la validation des performances. Dans un premier temps, un état de l'art a mis en évidence les caractéristiques des bras robotiques existants, leurs avantages et leurs limites, ce qui a permis de situer notre travail dans un cadre industriel précis. L'étude conceptuelle a ensuite défini la configuration générale du robot à l'aide d'une analyse fonctionnelle et d'un cahier des charges détaillant les exigences et contraintes.

La phase de conception a abouti au choix et à la modélisation de la structure mécanique et cinématique, en tenant compte des paramètres de motorisation, de guidage et des solutions technologiques adaptées. Parallèlement, l'étude du procédé de soudage par points a permis de définir les principes du cycle, les types de soudures, les paramètres influents ainsi que les caractéristiques des électrodes et de leur porte-outil.

Une analyse statique par éléments finis a ensuite validé la robustesse du robot les contraintes maximales relevées sont largement inférieures à la limite élastique du matériau, les coefficients de sécurité sont élevés et les déplacements obtenus respectent la précision imposée par le cahier des charges. Enfin, l'étude de la commande a présenté la chaîne complète – moteurs, drivers, contrôleur et logiciel Mach3 – qui assure la génération et la régulation des mouvements du robot, garantissant sa précision et sa fiabilité en fonctionnement.

Ainsi, les travaux menés confirment la faisabilité du robot de soudage par points proposé, tant sur le plan mécanique que sur le plan de la commande. Les résultats obtenus montrent que le système est capable de répondre aux exigences de robustesse, de précision et de fiabilité fixées au départ. Ce mémoire constitue donc une base solide pour de futures améliorations, notamment en intégrant une étude dynamique plus approfondie, des essais expérimentaux et une optimisation des performances énergétiques et économiques.

Références

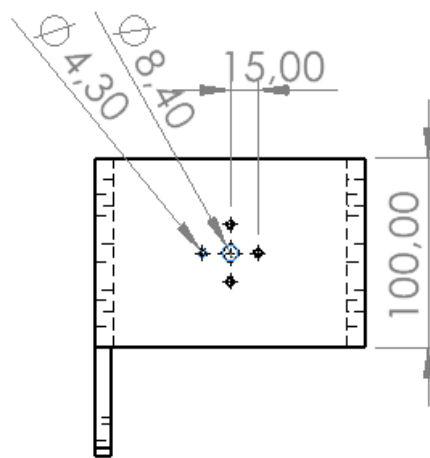
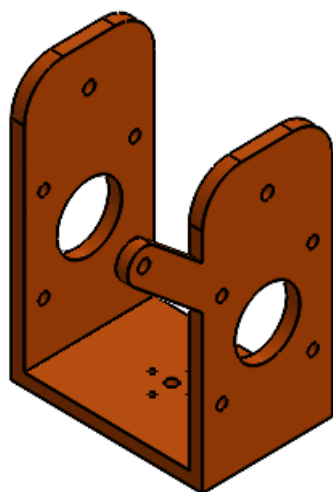
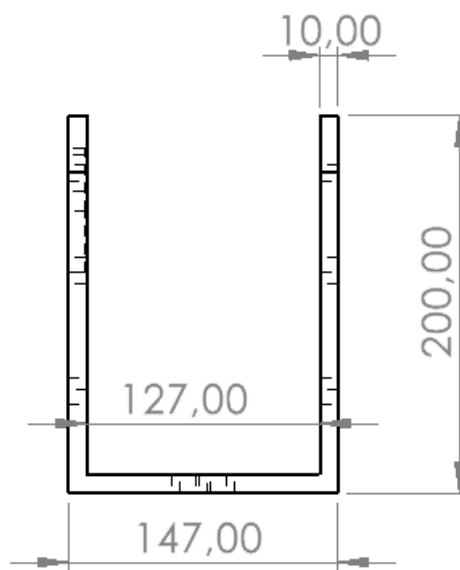
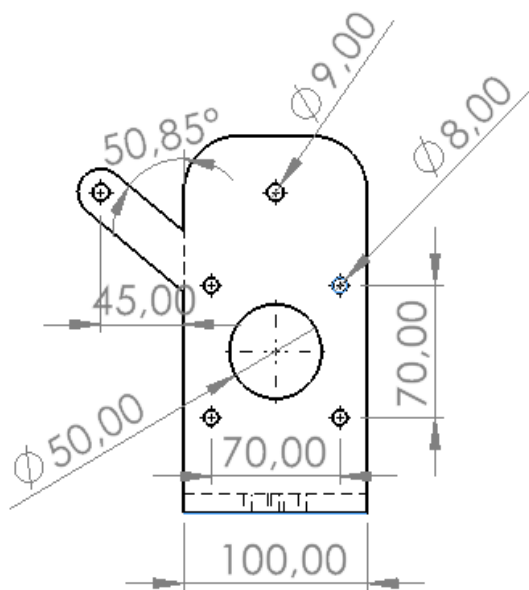
- [1] H. R. S. hyamjith Uralath, «Selection and Applications of Automatic Spot Welding Methods,» *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 2014.
- [2] «National Inventors Hall of Fame,» [En ligne]. Available: <https://www.invent.org/inductees/george-devol>.
- [3] D. Turney, «Autodesk,» 12 08 2022. [En ligne]. Available: <https://www.autodesk.com/design-make/articles/history-of-industrial-robots>.
- [4] «HMI MBS,» [En ligne]. Available: <https://www.hmi-mbs.fr/robot-6-axes..>
- [5] «Standard Bots,» 23 04 2025. [En ligne]. Available: <https://standardbots.com/blog/what-is-a-scara-robot-a-brief-introduction>.
- [6] M. T. R. J. Saeed Bozorgmehr Nia, «Achieving Realistic Cost Estimates in Building Construction Projects: A Reliability Assessment of Pre-Construction Stage Cost Estimates,» *International Journal of Construction Engineering and Management*, 2023.
- [7] HAMZA CHERIF Sidi Mohammed, «Cour de Conception Mecanique,» faculte de technologie Universite de Tlemcen.
- [8] J.-L. Boimond, «slideshare,» Universite angers, [En ligne]. Available: <https://fr.slideshare.net/souissi2013/cours-robotique-27452132>. [Accès le 2025].
- [9] «neurones.espci,» [En ligne]. Available: https://www.neurones.espci.fr/Theses_PS/MONARI_G/chapitre6.pdf?
- [10] «Artizono,» 28 06 2024. [En ligne]. Available: <https://artizono.com/fr/a-linterieur-des-robots-industriels/>. [Accès le 04 06 2025].
- [11] Perrat.Alexandre, «Inteligence et performance au ceur des machines,» 2012.
- [12] «SOLIDWORKS,» [En ligne]. Available: <https://www.solidworks.com/fr/media/first-look-solidworks-cad>.
- [13] SSM, «SSMALLOYS,» 19 12 2024. [En ligne]. Available: https://ssmalloys.com/fr/types-de-soudage/#elementor-toc__heading-anchor-2.
- [14] K. FEDAOUI, Ecole nationale d'ingénieurs de Sousse, [En ligne]. Available: https://fac.umc.edu.dz/ista/pdf/cours/Chapitre%201_introduction%20sur%20le%20soudage.pdf.
- [15] Rocdacier, «Cours de soudage, chaudronnerie et tuyauterie,» 06 09 2017. [En ligne]. Available: <https://www.rocdacier.com/le-soudage-par-point/>.
- [16] «HBS57 Hybrid stepping servo driver User manual version V1.01-2-,» [En ligne]. Available: <https://publikz.com/wp-content/uploads/2023/12/HBS57.pdf?>

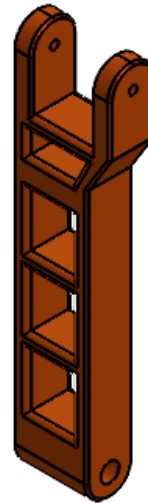
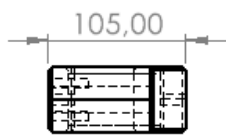
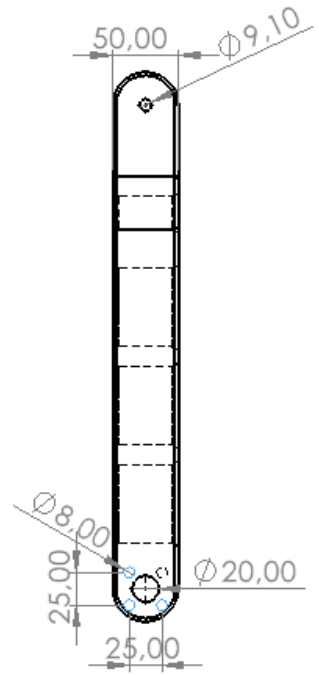
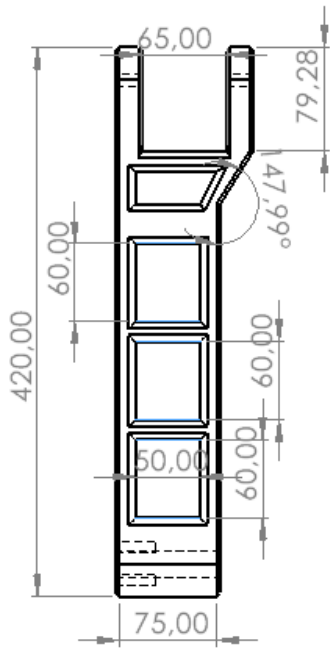
Références

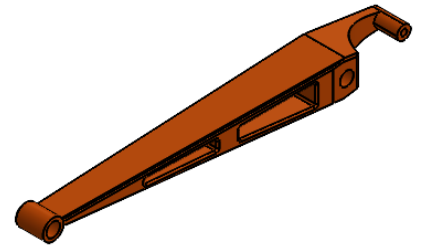
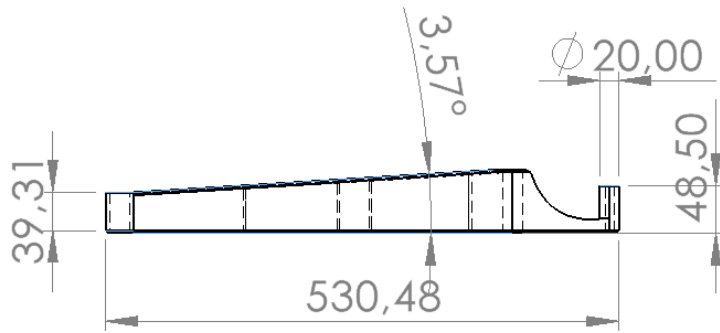
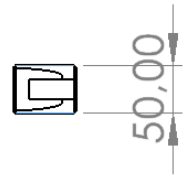
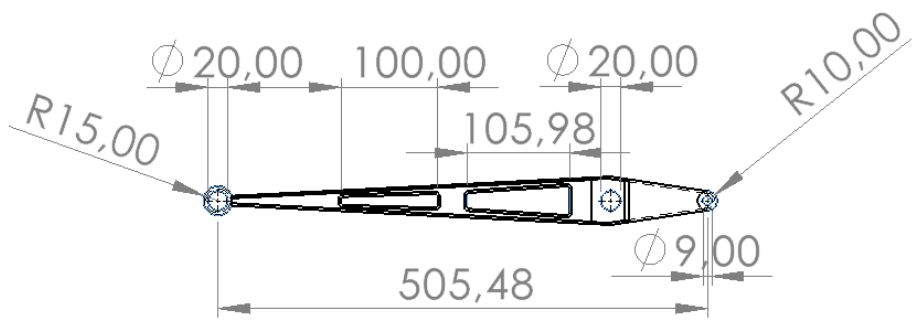
- [17] «Lishui Hengli Automation Technology Co., Ltd.» [En ligne]. Available: <https://www.hlt-cnc.com/motor-and-driver/hbs57-stepper-driver.html?>.
- [18] «MACH3 USB Card NVUMv2.1 Manual,» [En ligne]. Available: https://bulkman3d.com/wp-content/uploads/2019/01/NVCNC_NVUMv2_EN.pdf?.
- [19] «mach,» [En ligne]. Available: https://www.machsupport.com/wp-content/uploads/2013/02/Mach3Mill_1.84.pdf?.

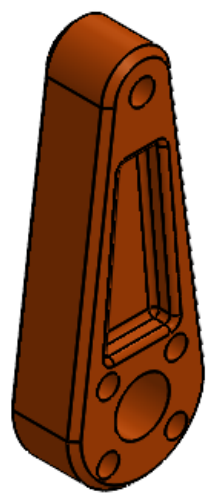
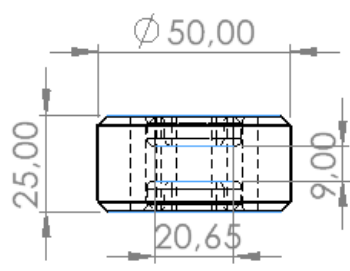
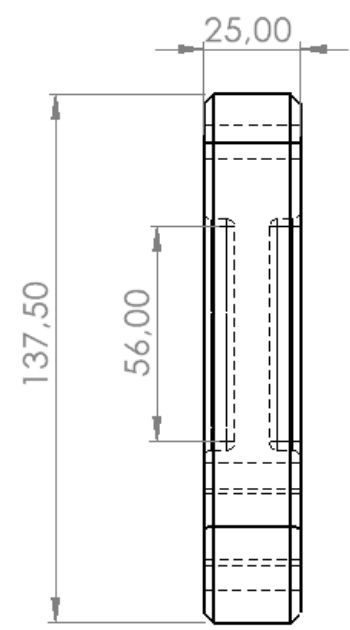
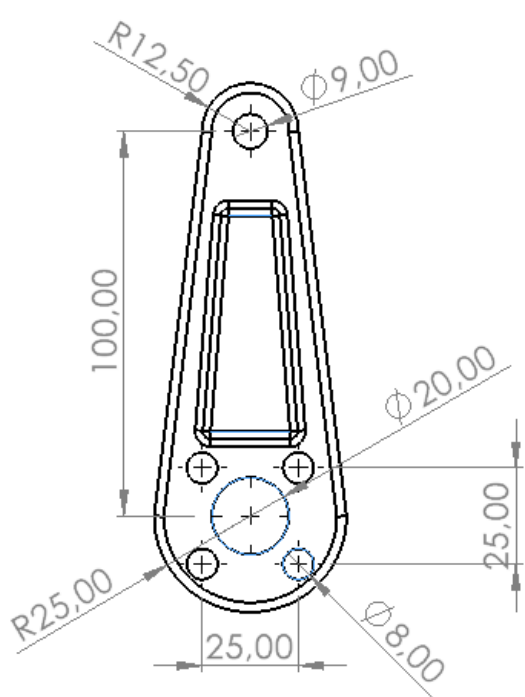
Annexes

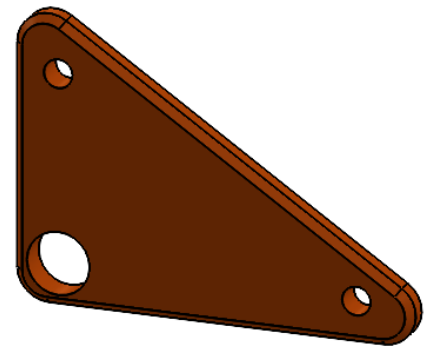
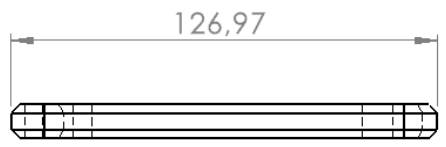
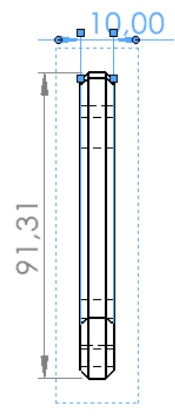
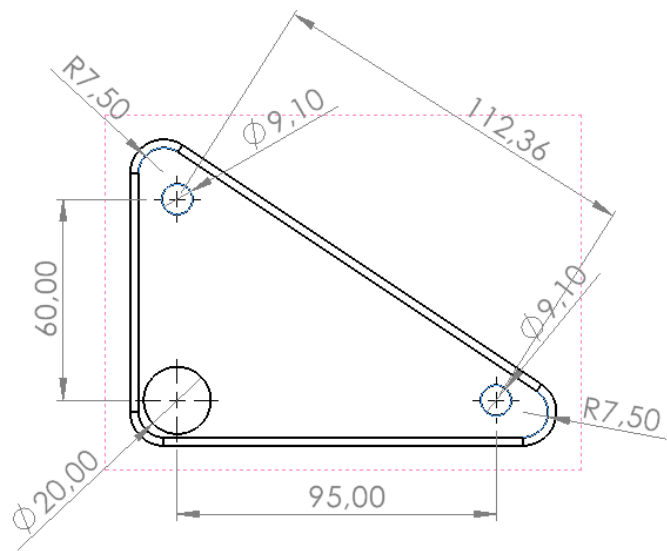
Annexe A :

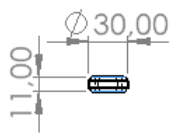
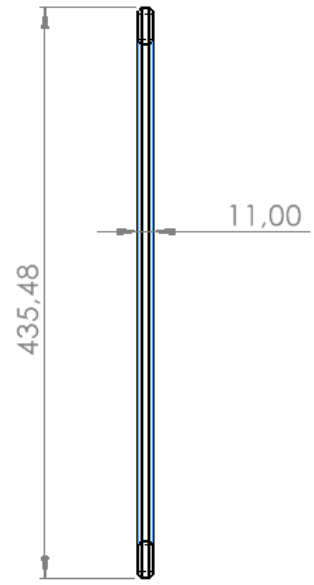
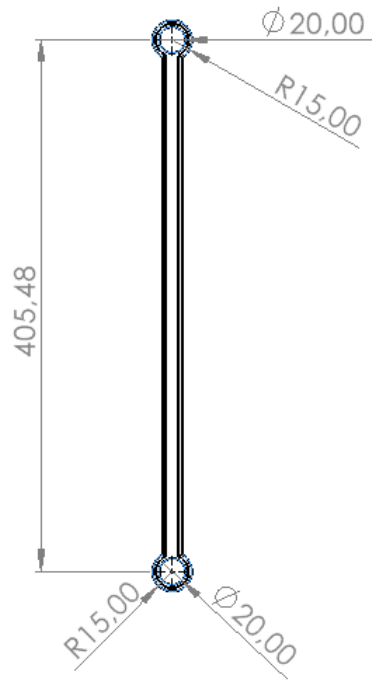


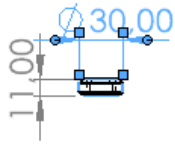
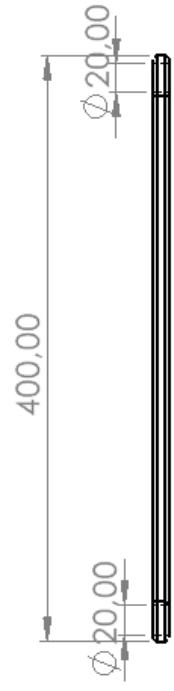
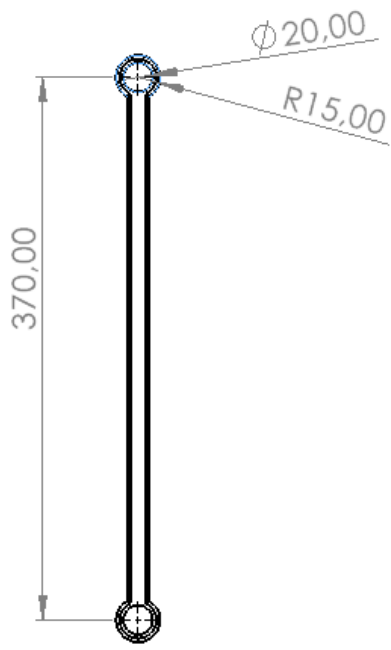


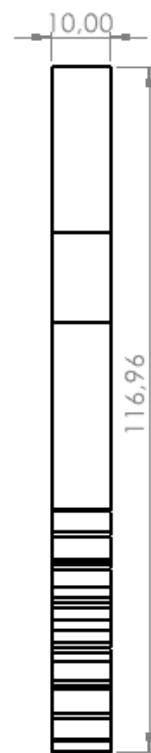
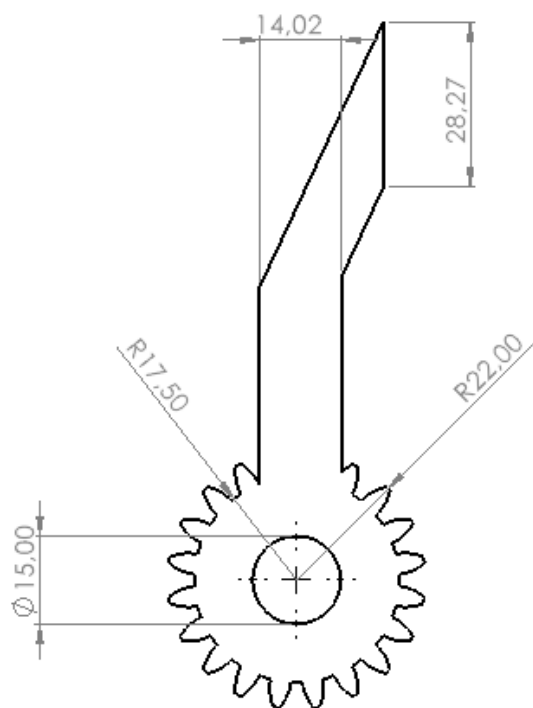


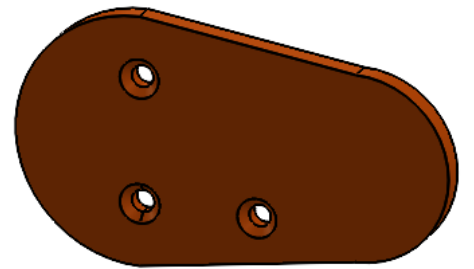
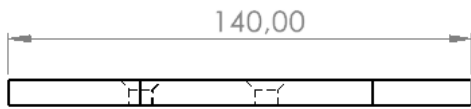
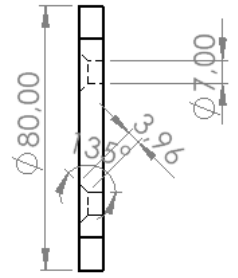
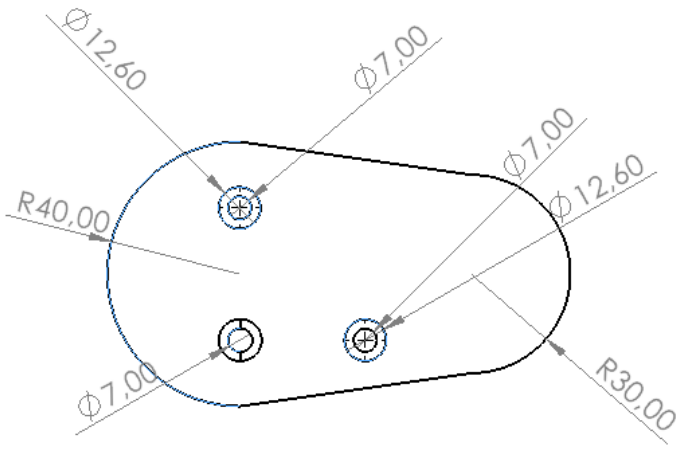


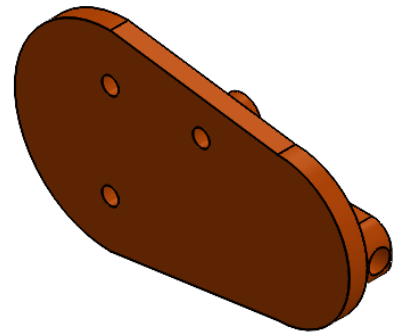
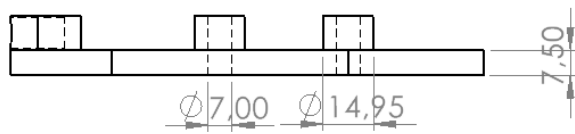
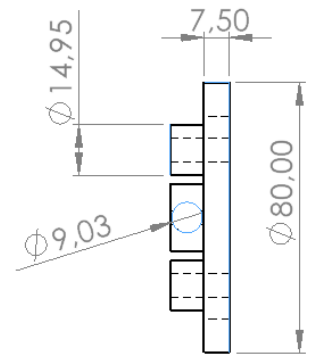
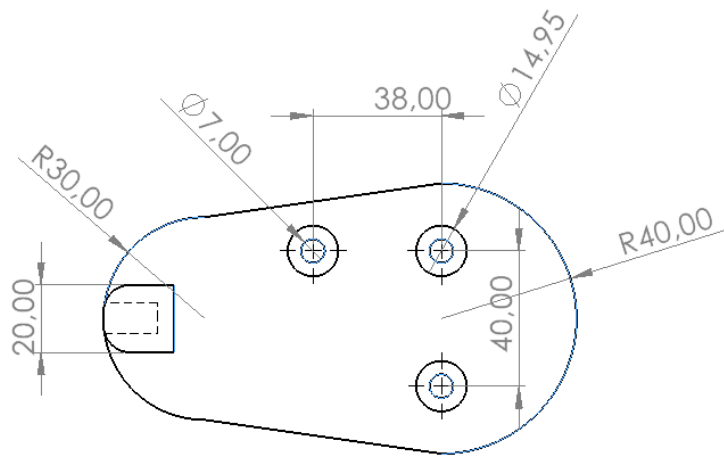


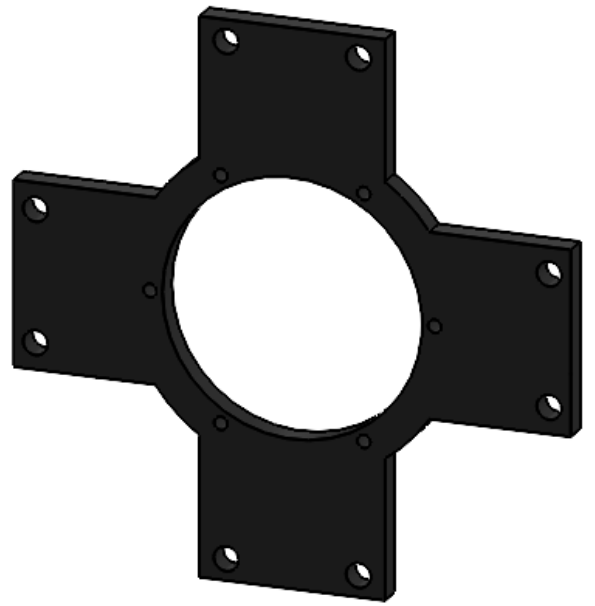
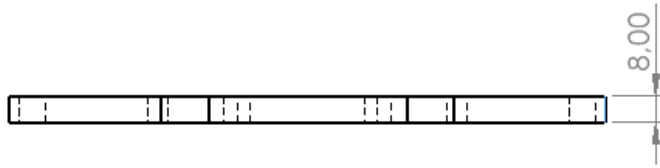
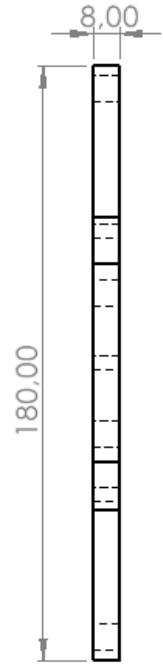
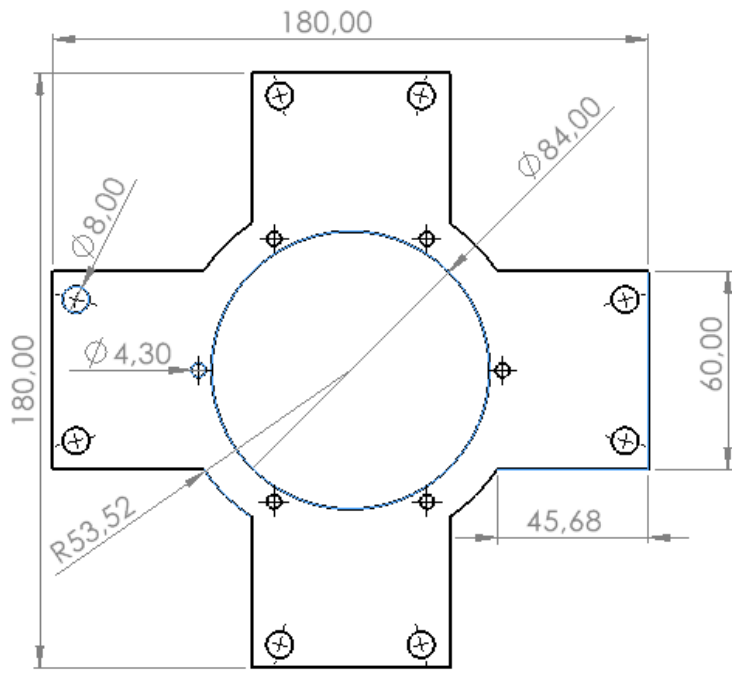


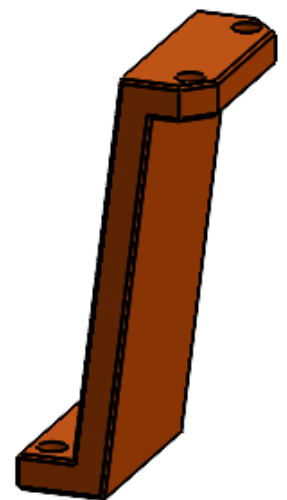
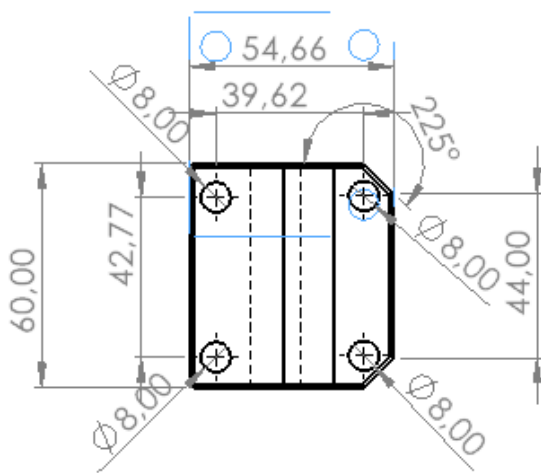
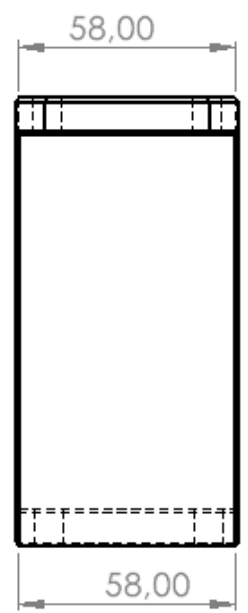
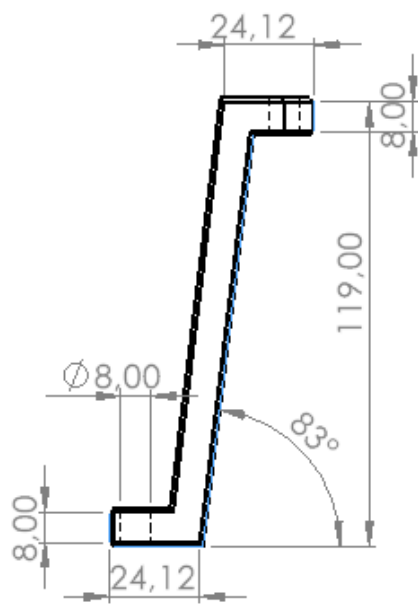


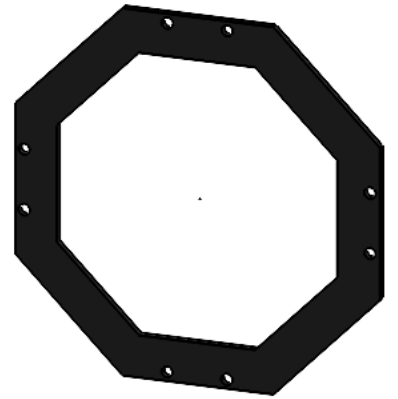
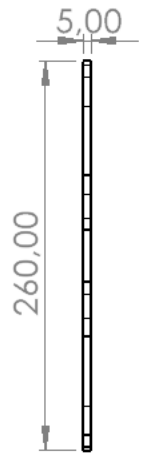
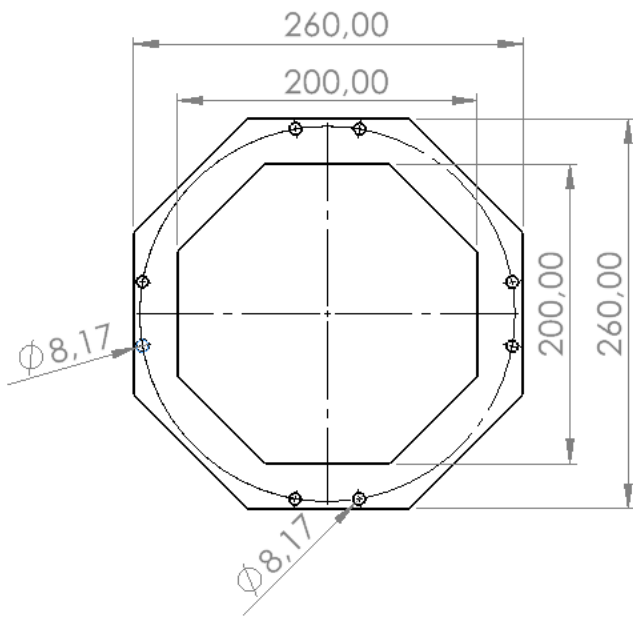


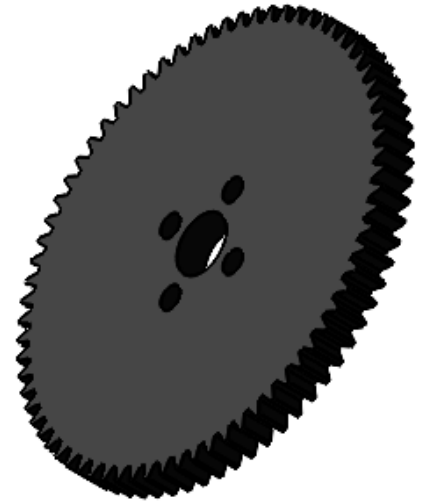
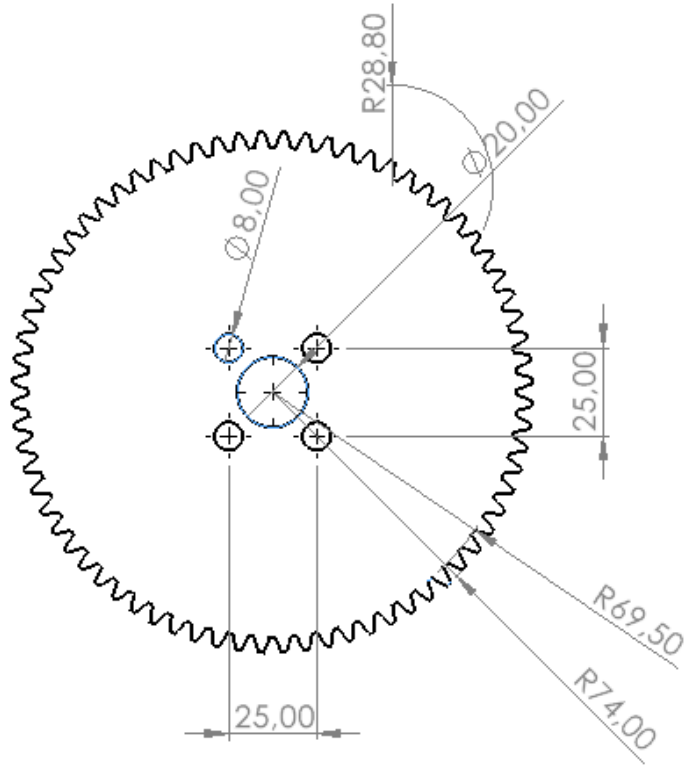


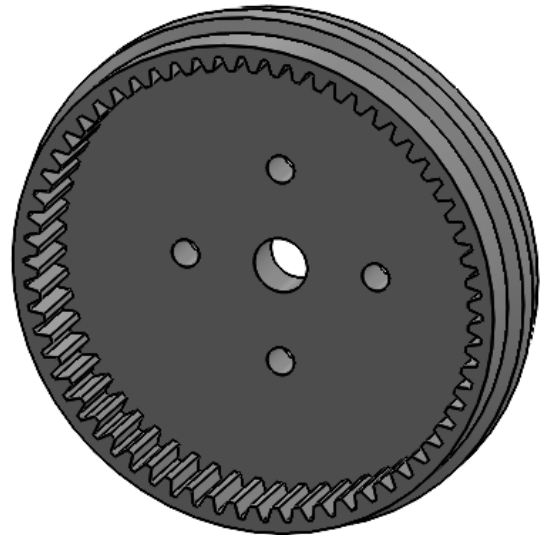
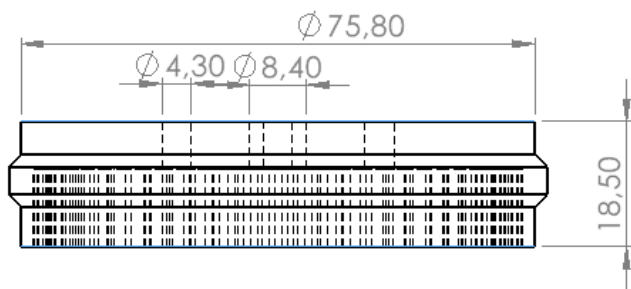
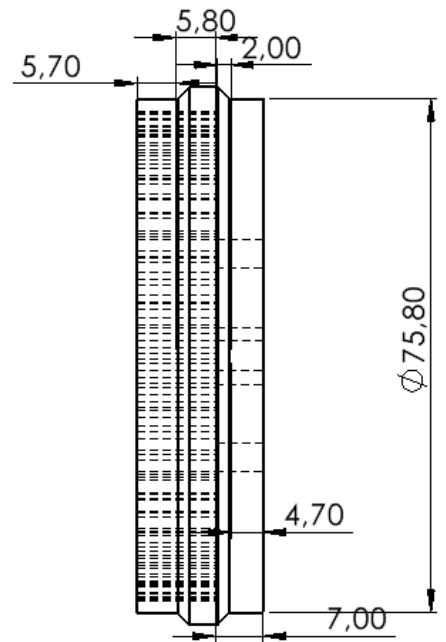
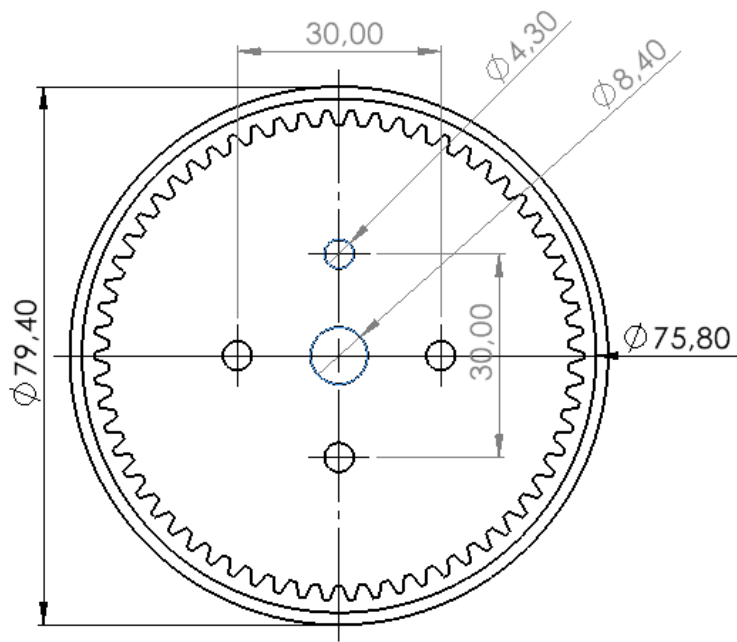


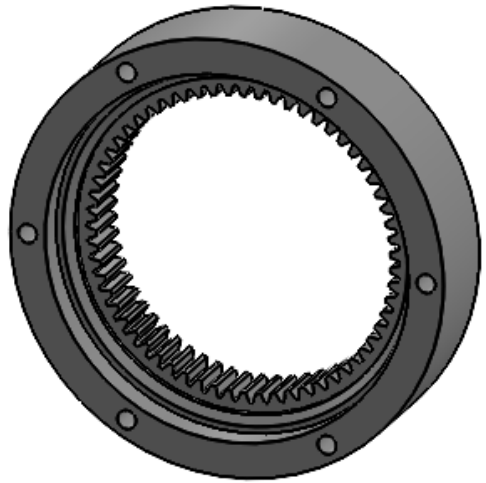
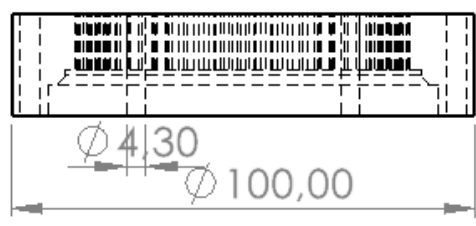
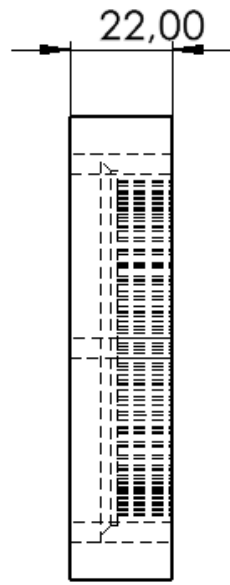
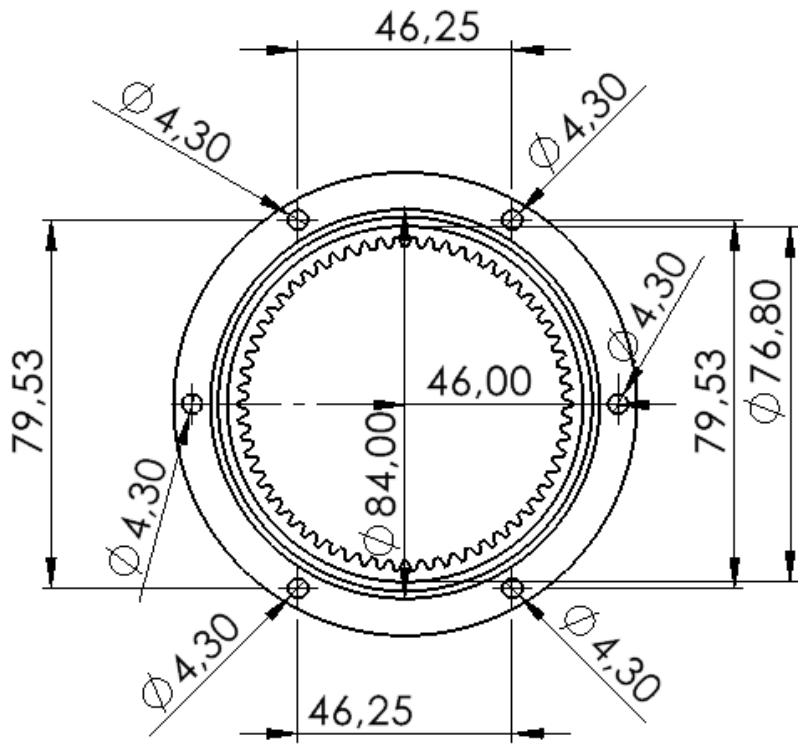


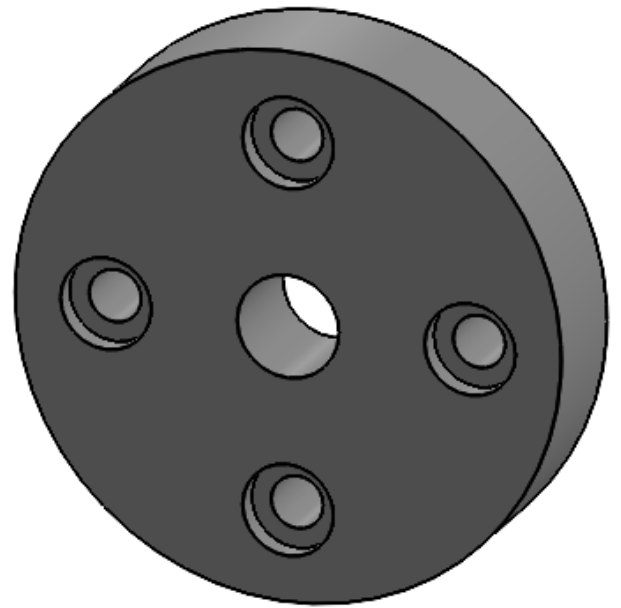
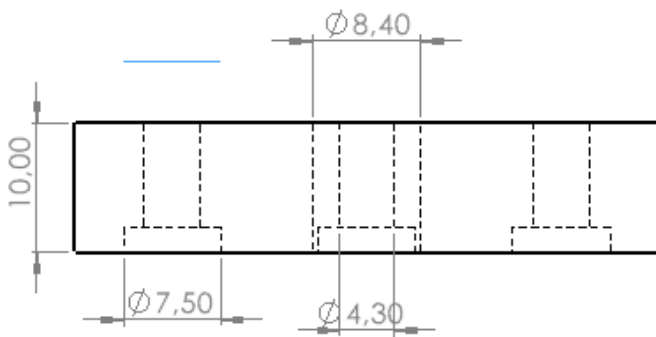
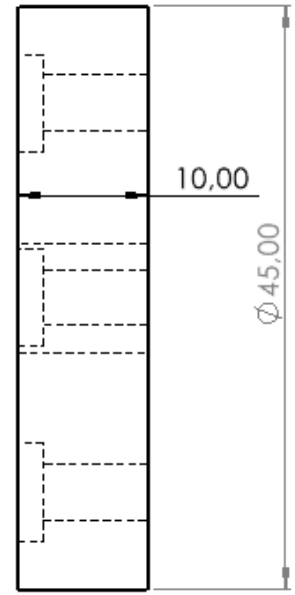
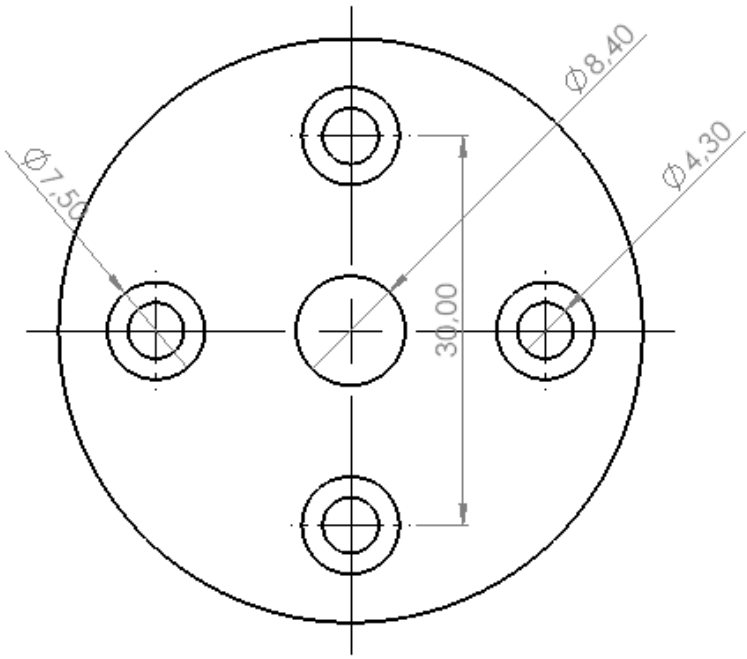


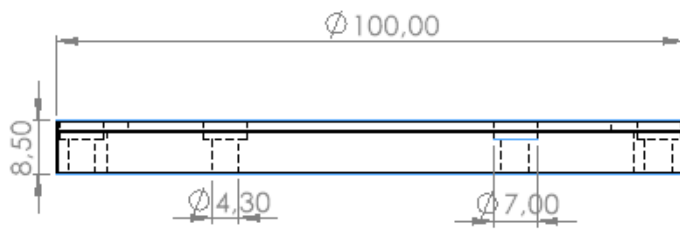
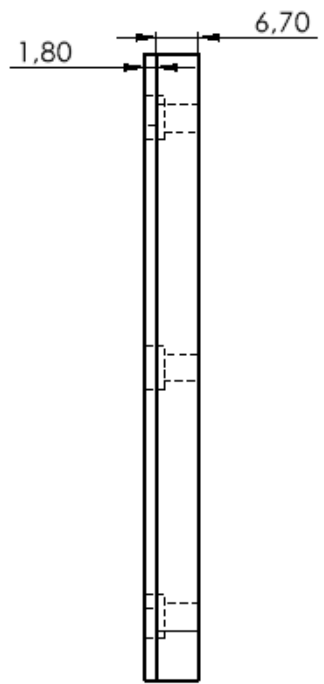
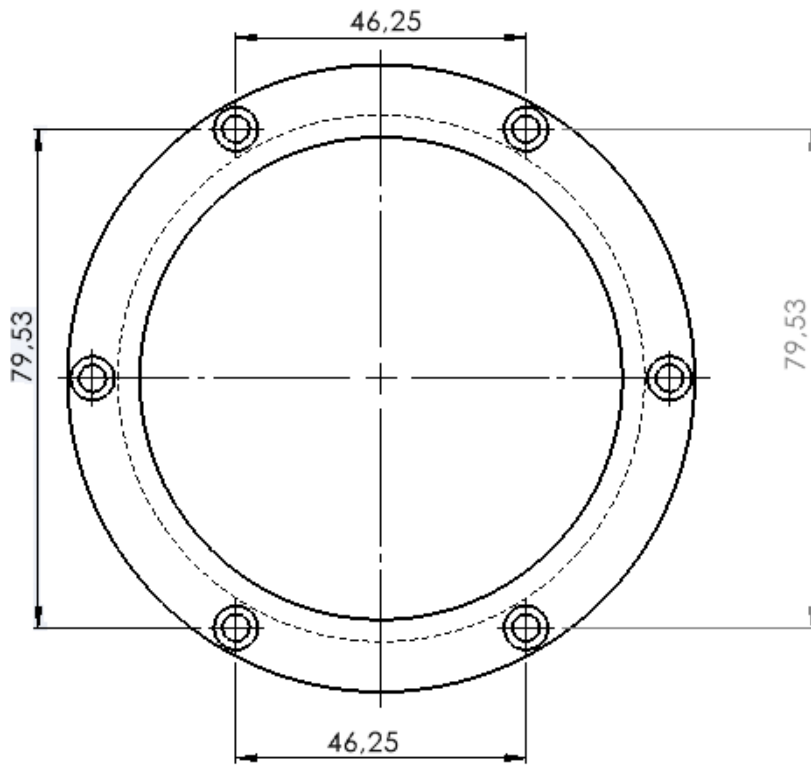


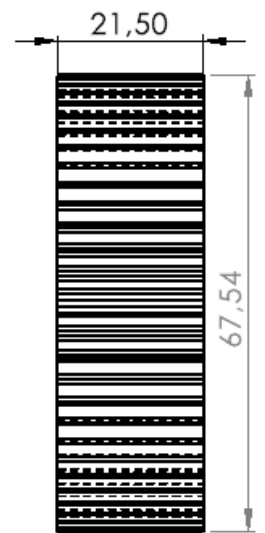
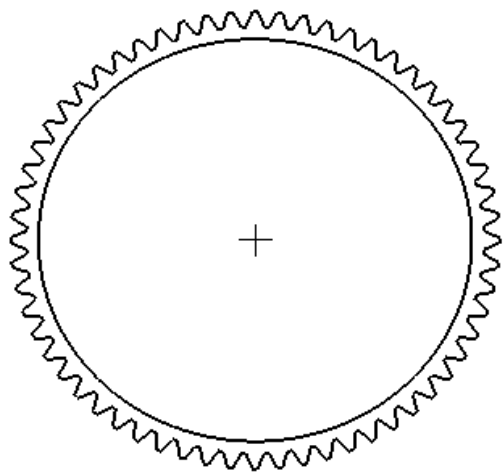


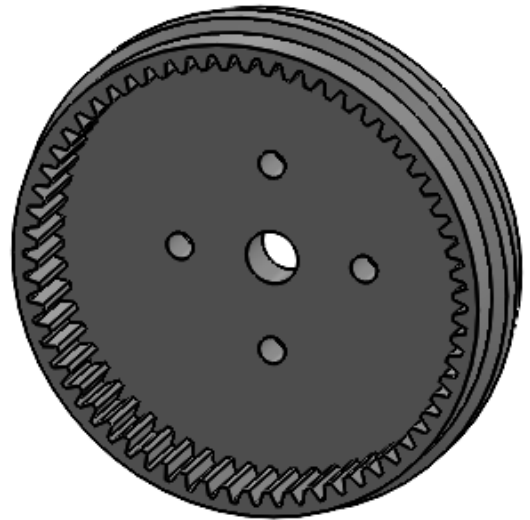
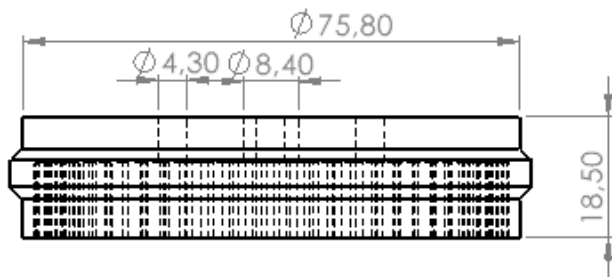
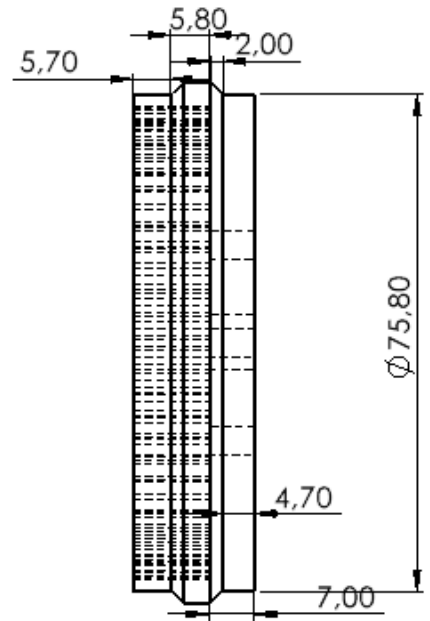
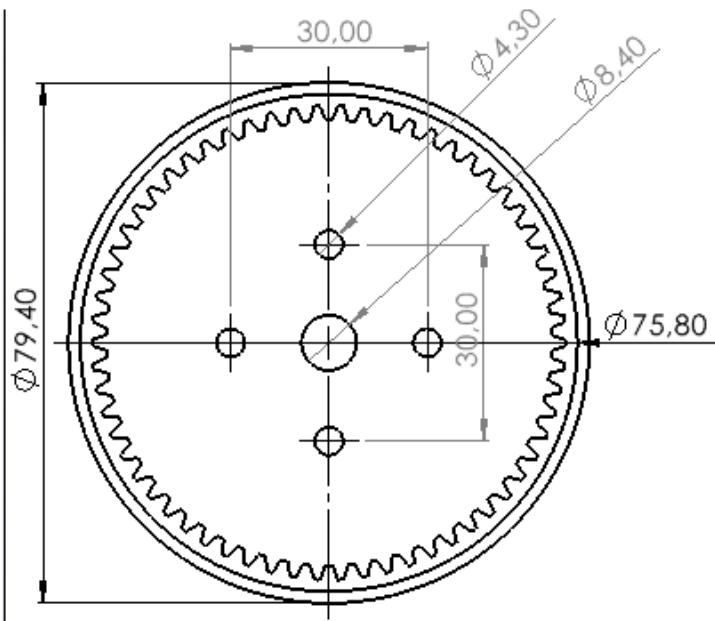


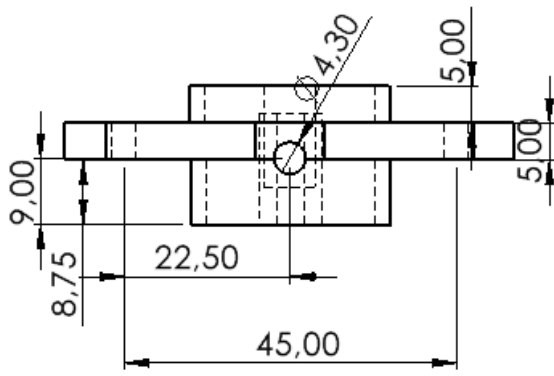
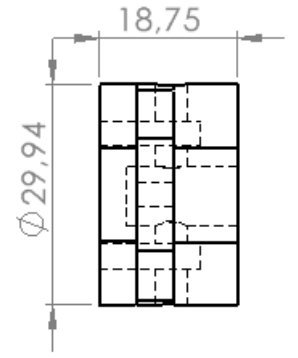
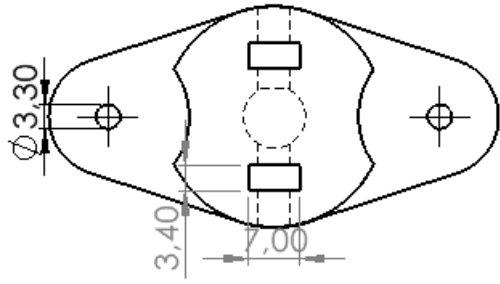


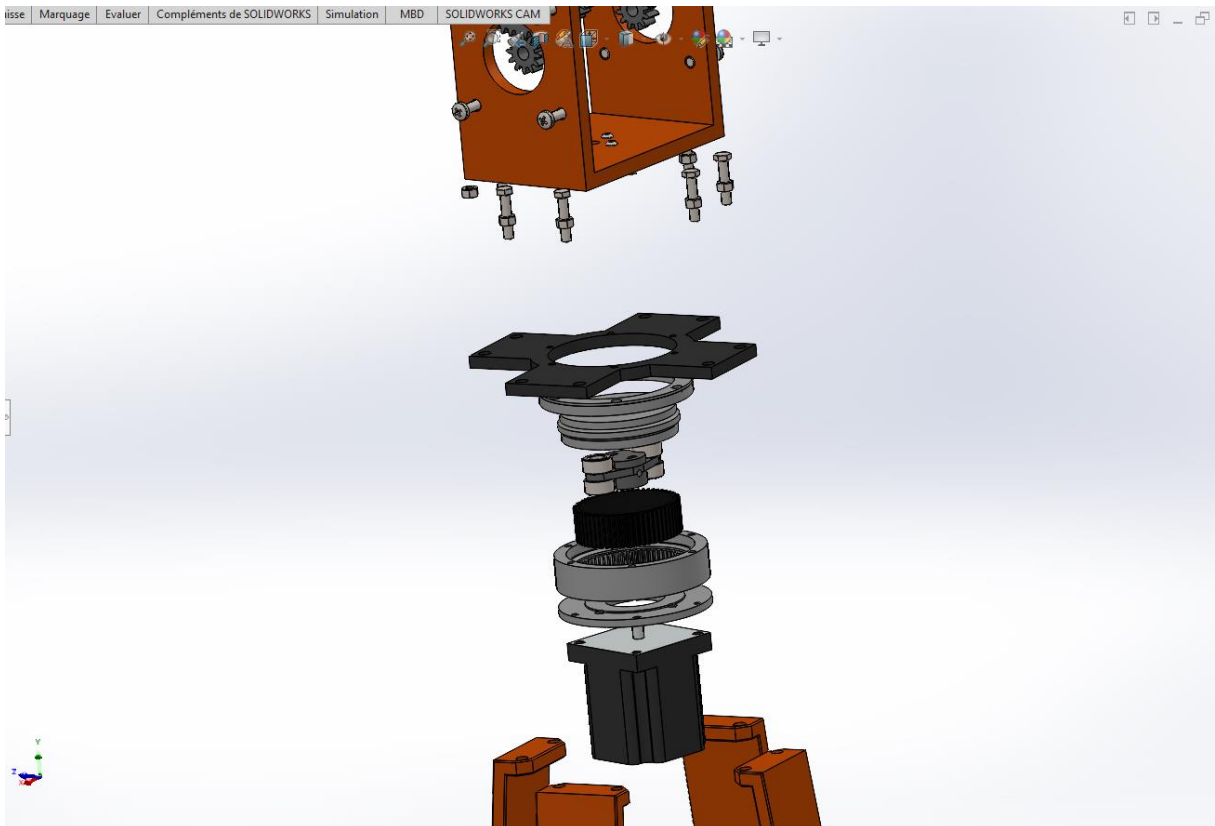
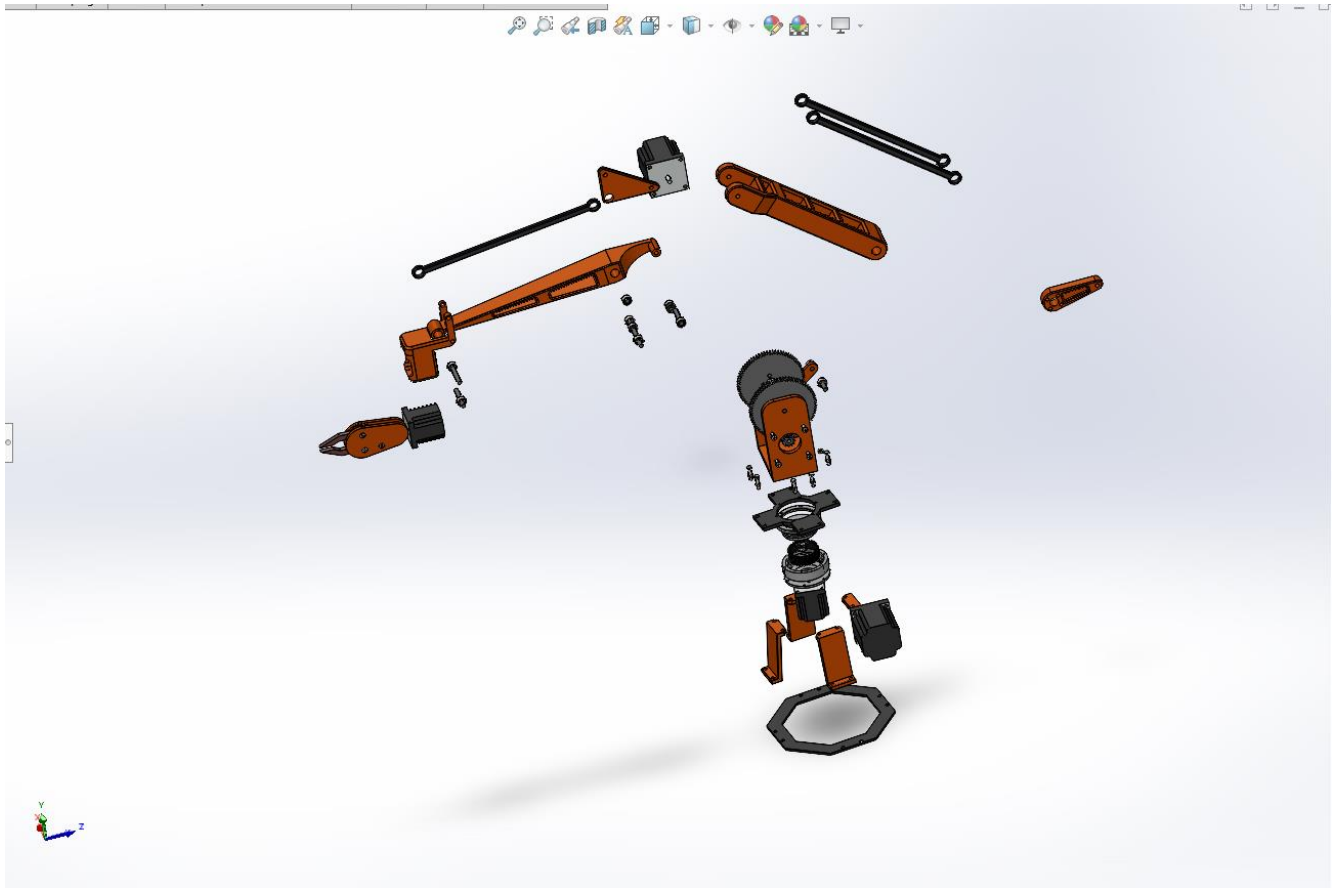


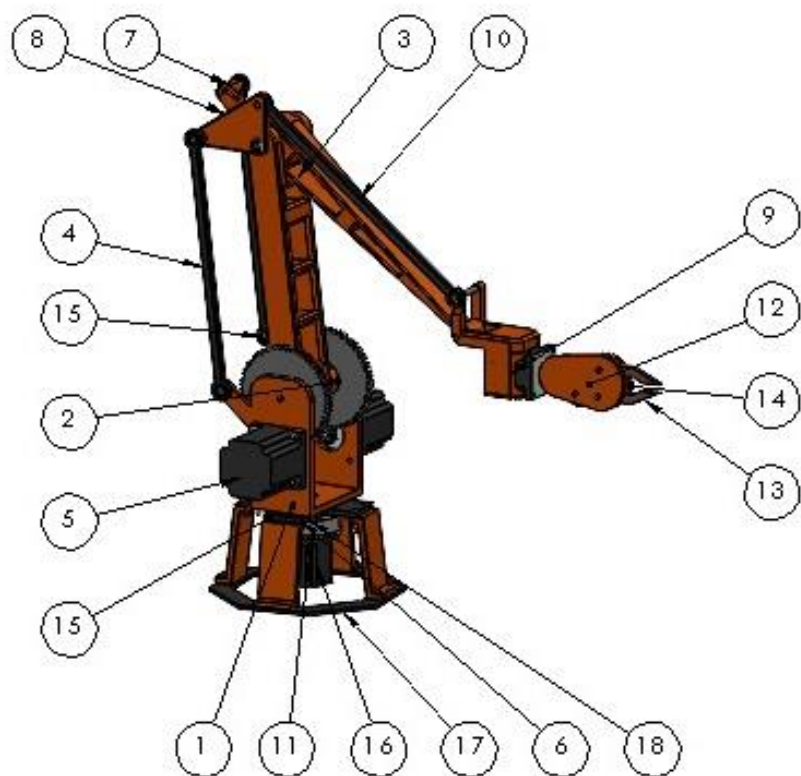












No. ARTICLE	NUMERO DE PIECE	QTE
1	Epaule	1
2	Peutit bras	1
3	Bras	1
4	Tige1	2
5	SERVO MOTEUR	4
6	Plaque inferieur	1
7	Avant-bras	1
8	Coud	1
9	Poignet	1
10	tige2	1
11	Canaleur circulaire S	1
12	Plaque du pince 1	1
13	Machoire	2
14	Plaque du pince 2	1
15	Base partir superieure	1
16	Pied de la base	1
17	Base partie inferieur	1
18	Plaque superieure	1

Annexe B :

Aciers doux et mi-durs								Aciers inoxydables 18/8						
e mm	∅ de l'électrode mm	Soudage lent			Soudage rapide			∅ du point soudé mm	e mm	∅ de l'électrode mm	Effort de pression N	Intensité du courant A	Temps de soudage s	∅ du point soudé mm
		Effort de pression N	Intensité du courant A	Temps de soudage s	Effort de pression N	Intensité du courant A	Temps de soudage s							
0,5	4	600	2000	0,2	1500	4000	0,04	4	0,5	4	1750	3750	0,04	3,5
1	5	1000	3000	0,4	2500	8000	0,1	5	0,8	4,5	3000	6000	0,10	4
2	7	2000	5000	1	5000	14000	0,3	6,5	1	5	4000	7600	0,14	4,5
3	9	3000	8000	2	8000	19000	0,6	8,5	1,5	6	6500	11000	0,20	5,5
4	11	3800	10000	3,2	12500	24000	0,9	10,5	2	7	9000	14000	0,24	6,5
5	13	4500	12000	4,5	17000	28000	1,4	12,5	2,5	7,5	12000	16000	0,28	7
8	19	.....	.....	.....	37000	40000	3	18	3	8,5	15000	18000	0,32	8
Alliages légers (suivant normes industrielles)						Alliages légers (suivant normes aéronautiques)								
e mm	r du dôme mm	Effort de pression N	Intensité du courant A	Temps de soudage s	∅ du point soudé mm	e mm	r du dôme mm	Effort de serrage N	Effort de pression de forgeage N	Intensité du courant A	Temps de soudage s	Temps de refroidissement contrôlé s	Temps de forgeage s	∅ du point soudé mm
0,5	75	1800	15000	0,04	2,8	0,5	75	2000	6000	25000	0,02	0,04	0,02	3
0,8	100	2300	25000	0,04	4	0,8	100	3000	7000	31000	0,04	0,08	0,06	4
1	110	2500	30000	0,06	4,5	1	110	4000	8000	35000	0,04	0,08	0,08	5
1,5	150	3200	40000	0,06	6,2	1,5	150	6000	13000	50000	0,06	0,12	0,12	7
2	180	4000	50000	0,08	8	2	180	8000	18000	64000	0,08	0,16	0,14	8,5
2,5	210	5200	55000	0,1	9	2,5	210	12000	28000	80000	0,10	0,20	0,18	10
3	240	6000	60000	0,12	10	3	240	15000	36000	98000	0,12	0,24	0,20	12

Tableau 0-1: paramètre de soudage



الشعبية الديمقراطية الجزائرية الجمهورية
العلمي والبحث العالي التعليم وزارة
تلمسان - أبوبكر بلقايد جامعة-



جامعة أبو بكر بلقايد
+08.0044 0000 0112.581 4100.1
UNIVERSITY OF TLEMEN

Business Model Canvas

نموذج العمل التجاري

Etudiant :

Nom : Dib

Prénom : Mohammed

Encadrante :

Nom : Hamza cherif

Prénom : Sidi Mohammed

Code du projet : FT-016

Nom du projet : « Pulsar bras » (Conception et réalisation d'un robot de soudage par points)

Année universitaire : 2024/2025

Table des matières

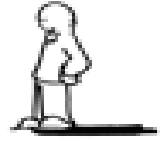
1) Value proposition (القيم المقترحة)	2
2) Customer segments (العملاء شرائح).....	2
3) Customer relationships (العملاء مع العلاقات)	2
4) Channels (القنوات)	2
5) Key partners (الرئيسيين الشركاء).....	4
6) Key activities (الرئيسية الأنشطة).....	5
7) Key Resources (الرئيسية الموارد).....	6
8) Cost structure (التكاليف هيكل)	7
9) Revenue streams (الايرادات مصادر).....	7
10) Business Model Canvas:	8

i. Value proposition (القيمة المقترحة)



Notre solution offre une automatisation abordable, jusqu'à 50 à 70 % moins chère qu'un bras robotique classique, tout en restant compacte et adaptée aux espaces restreints. Elle se distingue par une interface intuitive qui facilite son utilisation, ainsi que par une grande précision et fiabilité pour travailler sur différents matériaux. Enfin, son installation simple et rapide peut être réalisée en moins d'une journée, garantissant un gain de temps et d'efficacité immédiat.

ii. Customer segments (العملاء شرائح)



Nos principaux segments de clientèle sont constitués des **PME industrielles** spécialisées dans la fabrication métallique et électronique, des **ateliers artisanaux** orientés vers la production sur mesure, ainsi que des **start-ups technologiques** en phase de développement de prototypes. Nous cibons également les **entreprises des marchés émergents** disposant de budgets limités mais cherchant à automatiser leurs processus de manière efficace et économique.

iii. Customer relationships (العلاقة مع العملاء)



Nous proposons un support technique 24/7 via une plateforme en ligne multilingue, afin d'accompagner nos clients en continu. Des sessions de formation initiale, sur site ou à distance, sont mises en place pour faciliter la prise en main. Nous garantissons également des mises à jour logicielles régulières afin d'améliorer les performances et d'assurer la pérennité des équipements. Une communauté en ligne permet aux utilisateurs d'échanger leurs expériences et d'apporter des retours constructifs. Enfin, un programme de fidélité est prévu pour récompenser nos clients et renforcer la relation sur le long terme.

iv. Channels (القنوات)



Les canaux que nous avons identifiés pour promouvoir notre bras robotique et attirer de nouveaux clients.

Site web

Le site web constitue le canal principal d'information et de communication avec les clients. Il présente en détail les produits, leurs caractéristiques, ainsi que les services associés. Il permet également de gérer les demandes de devis, les achats en ligne et d'offrir un support technique centralisé.

Distributeurs locaux

Les distributeurs partenaires jouent un rôle essentiel pour rapprocher la solution des clients, en particulier dans les régions éloignées. Ils assurent non seulement la vente, mais également le suivi, la maintenance et parfois la formation, ce qui renforce la proximité et la confiance avec les utilisateurs.

Salons professionnels

La participation aux salons spécialisés dans l'industrie et la robotique permet de présenter la solution à un large public professionnel. C'est une opportunité de démontrer en direct les performances du système, de nouer des partenariats et de développer la notoriété auprès des décideurs et investisseurs.

Réseaux sociaux

Les réseaux sociaux constituent un canal de communication moderne et interactif. Ils permettent de diffuser des actualités, de partager des démonstrations vidéo, de promouvoir des événements et de recueillir les retours d'expérience des utilisateurs. Ils contribuent aussi à créer une communauté engagée autour de la solution.

v. Key partners (الرئيسيين الشركاء)



En ce qui concerne nos partenaires clés, voici comment nous percevons les acteurs avec lesquels nous souhaitons collaborer :

Fournisseurs de composants (moteurs, capteurs, électrodes)

Les fournisseurs de composants constituent un partenaire essentiel, car ils assurent l'approvisionnement en éléments critiques comme les moteurs, capteurs ou électrodes. Une collaboration étroite permet de réduire les coûts d'achat, de garantir la qualité et d'assurer la disponibilité continue des pièces.

Distributeurs industriels

Les distributeurs industriels jouent un rôle clé dans l'élargissement de la portée commerciale. Grâce à leur réseau et leur connaissance du marché local, ils facilitent l'accès à de nouveaux clients et contribuent à accroître la visibilité et la crédibilité de la solution.

Universités

Les partenariats avec les universités permettent de valider les performances des solutions proposées et d'explorer de nouvelles pistes d'innovation. Ces collaborations offrent également l'opportunité d'accéder à des ressources de recherche et à des talents spécialisés, renforçant ainsi le développement technologique.

Intégrateurs de systèmes

Les intégrateurs de systèmes assurent l'installation et la mise en service des solutions chez les clients. Leur expertise technique garantit une intégration fluide dans les environnements industriels existants, réduisant ainsi le temps de déploiement et augmentant la satisfaction des utilisateurs.

vi. Key activities (الرئيسية الأنشطة)



Les actions principales et stratégiques que nous devons réaliser :

Concevoir et tester un bras compact et fiable

L'activité principale consiste à développer un bras robotisé répondant aux exigences de compacité, de robustesse et de précision. Des phases de conception, de prototypage et de tests permettent de garantir la fiabilité du système dans divers environnements industriels.

Développer un logiciel de contrôle intuitif

Un logiciel de commande simple et accessible est indispensable pour faciliter l'utilisation du robot. L'objectif est de proposer une interface claire, adaptée aussi bien aux opérateurs expérimentés qu'aux utilisateurs débutants, tout en assurant un contrôle précis et flexible.

Mettre en place une chaîne de production optimisée

La mise en œuvre d'un processus de fabrication efficace et standardisé permet de réduire les coûts, d'améliorer la qualité et d'assurer une production régulière. L'optimisation logistique et l'automatisation de certaines étapes contribuent également à augmenter la compétitivité.

Lancer des campagnes marketing ciblées

La communication et la promotion du produit sont essentielles pour toucher les segments de clientèle définis. Des campagnes marketing adaptées aux salons professionnels, réseaux sociaux et partenariats industriels permettent de renforcer la visibilité et d'attirer de nouveaux clients.

Fournir un support technique et des mises à jour logicielles

Un accompagnement continu est proposé aux clients à travers un support technique réactif et des mises à jour logicielles régulières. Cela garantit la pérennité du système, améliore ses performances au fil du temps et fidélise les utilisateurs.

vii. Key Resources (الرئيسية الموارد)



Les éléments essentiels dont notre startup a besoin pour fonctionner et réaliser ses activités :

Ligne de production pour fabriquer le bras

Une ligne de production dédiée est essentielle pour assurer la fabrication en série du bras robotisé. Elle permet de garantir la qualité, de réduire les coûts de fabrication et de répondre efficacement à la demande du marché.

Brevets pour la conception compacte

La protection intellectuelle par le dépôt de brevets constitue une ressource stratégique. Elle sécurise la conception innovante et compacte du bras robotisé, tout en offrant un avantage concurrentiel durable face aux autres acteurs du marché.

Logiciel de contrôle intuitif

Le logiciel représente une ressource clé puisqu'il facilite l'utilisation et le pilotage du robot. Son caractère intuitif et évolutif permet d'élargir l'accessibilité du produit à différents profils d'utilisateurs et d'assurer un positionnement différenciant.

Équipe R&D et support technique

Une équipe spécialisée en recherche et développement (R&D) constitue un pilier fondamental pour améliorer en continu le produit et développer de nouvelles fonctionnalités. Le support technique, quant à lui, garantit l'accompagnement des clients et le maintien de la satisfaction à long terme.

Plateforme cloud pour le support client

La mise en place d'une plateforme cloud permet de centraliser les services d'assistance et de mise à jour logicielle. Elle facilite la communication avec les clients, le déploiement de correctifs, ainsi que la collecte de données pour améliorer l'expérience utilisateur.

viii. Cost structure (التكاليف هيكل)



- **Coûts mensuel des charges** (~45.000 DZD par mois)
- **Coûts de marketing et de publicité** (entre gratuit et 1000 DZD par jour).
- **Coûts d'un développeur** (entre 30.000 DZD et 50.000 DZD par mois).
- **Coûts d'un Technicien de support** (entre 30.000 DZD et 40.000 DZD par mois).
- **Coûts de service d'hébergement et de cloud** (entre 10.000 DZD et 100.000 DZD par an).

Projection des coûts pour la première année :

- **Coûts mensuel des charges** : 45 000 DZD par mois.
- **Coûts de marketing et de publicité** : 10 000 DZD par mois.
- **Coûts de la main-d'œuvre** : 35 000 DZD par mois.
- **Coûts d'un Technicien de support** : 30 000 DZD par mois.
- **Coûts Location d'un atelier industriel** : 100 000 DZD par.

Coût total :

(220 000 DZD x 12 mois) = 2 640 000 DZD

ix. Revenue streams (الإيرادات مصادر)



- **Revenus de Vente directe du bras robotique à 120 000-360 000 DA selon la configuration.**
- **Revenus de Contrats de maintenance annuelle (14 000-120 000 DA).**
- **Revenus de Formations payantes (24 000-72 000 DA par session).**
- **Revenus de Vente de pièces détachées et accessoires pour le bras.**

Projection des revenus pour la première année :

- **Nombre de ventes estimé pour la première année est 30 bras robotique de gamme intermédiaire au prix unitaire de: 180 000 DZD.**
- **Revenus Contrats de maintenance moyen : 25 000 DZD par ans.**

Revenu total :

(180 000 DZD+ 25 000 DZD) x 30 bras= 6 150 000 DZD

Bénéfice net pour la première année :

Revenu total – Coût total = 3 510 000 DZD

Projection financière pour les 6 premières années :

Année	Annual Growth Rate	Nombre de Bras robotique	Prix moyen de bras robotique (DZD)	Revenus Contrats de maintenance moyen (DZD)	Revenu total annuel (DZD)	Coûts total annuel (+20% par an) (DZD)	Bénéfice net annuel (DZD)
2026	-	30	180 000	25 000	6 150 000	2 640 000	3 510 000
2027	96,7 %	59	180 000	25 000	12 095 000	3 168 000	8 927 000
2028	27,1 %	75	180 000	25 000	15 375 000	3 801 600	11 573 400
2029	13,3%	85	180 000	25 000	17 425 000	4 561 920	12 863 080
2030	8 ,2%	92	180 000	25 000	18 860 000	5 474 304	13 385 696
2031	5.4%	97	180 000	25 000	19 885 000	6 569165	13 315 835

x. Business Model Canvas :

Key Partners



Fournisseurs de composants (moteurs, capteurs, électrodes) pour réduire les coûts.

Distributeurs industriels pour élargir la portée commerciale.

Universités pour valider les performances et innover.

Intégrateurs de systèmes pour faciliter l'installation.

Key Activities



Concevoir et tester un bras compact et fiable.

Développer un logiciel de contrôle intuitif.

Mettre en place une chaîne de production optimisée.

Lancer des campagnes marketing ciblées.

Fournir un support technique et des mises à jour logicielles.

Key Resources



Ligne de production pour fabriquer le bras.

Brevets pour la conception compacte.

Logiciel de contrôle intuitif.

Équipe R&D et support technique.

Plateforme cloud pour le support client.

Value Propositions



Automatisation abordable (50-70% moins cher qu'un bras classique).

Compacité pour espaces restreints.

Facilité d'utilisation avec interface intuitive.

Précision et fiabilité pour divers matériaux.

Installation rapide en moins d'une journée.

Customer Relationships



Support technique 24/7 via plateforme en ligne multilingue.

Sessions de formation initiale sur site ou à distance.

Mises à jour logicielles régulières pour améliorer les performances.

Communauté en ligne pour échanges et retours.

Programme de fidélité avec

Channels



Site web

Distributeurs locaux

Salons professionnels

Réseaux sociaux

Customer Segments



PME industrielles dans la fabrication métallique et électronique.

Ateliers artisanaux pour productions sur mesure.

Start-ups technologiques développant des prototypes.

Entreprises des marchés émergents avec budgets limités

Cost Structure



Coûts fixes: salaires R&D, loyer des installations.

Coûts variables: composants, transport, marketing.

Principaux coûts: production et R&D.

Optimisation via fournisseurs locaux et campagnes digitales.

Revenue Streams



Vente directe du bras robotique à 120 000-360 000 DA selon la configuration.

Contrats de maintenance annuelle (14 000-120 000 DA).

Formations payantes (24 000-72 000 DA par session).

Vente de pièces détachées et accessoires pour le bras.

