



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Electromécanique
Entrez votre spécialité

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :
SEDRATA MOHAMED HICHAM & SOLTANI HAMZA

Le : mardi 3 juin 2025

Conception et réalisation d'une ligne d'assemblage automobile à base de deux Robots industriels

Jury :

Dr	NAIMI DJEMAI	Prof	Université de Biskra	Président
Dr	BEKHOUCHA NASSIMA	M.C.B	Université de Biskra	Examineur
Dr	MECHGOUG RAIHANE	Prof	Université de Biskra	Rapporteur

Année universitaire : 2024/2025



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Electromécanique
Réf. : Entrez la référence du document

Conception et Réalisation d'un

Le : mardi 3 juin 2025

Présenté par :

SEDRATA MOHAMED HICHAM & SOLTANI HAMZA

Avis favorable de l'encadreur :

Prof. MECHGOUG RAIHANE

Signature Avis favorable du Président du Jury

Cachet et signature

شكر و عرفان

بسم الله الرحمن الرحيم

قال تعالى: ﴿وَلَنُثَنِّيْكُمْ لَأَزِيدَنَّكُمْ﴾

نشكر الله ونحمده حمدا كثيرا مباركا على هذه النعمة الطيبة والنافعة نعمة العلم والبصيرة

أما بعد يشرفنا أن نتقدم بالشكر الجزيل والعرفان إلى الأستاذة المشرفة "مشقوق ربحان" على تفضلها بالإشراف على هذه المذكرة وكل المجهودات التي بذلتها. التي ساهمت في بناء جزء هام من هذا العمل، وأشرفت على خطواته الأولى، ولم تبخل علينا بتوجيهاتها ونصائحها إلى آخر لحظة

بكل امتناننا وتقديرنا نتقدم بخالص الشكر والتقدير للجنة التحكيم التي شرفتنا بحضورها خلال هذه المناقشة العلمية. ونحن نعرب عن عميق امتناننا لهم على الوقت الثمين الذي خصصوه لنا، وكذلك على نصائحهم القيمة التي أنارت لنا طريقنا وشجعتنا على تحسين هذا العمل للوصول إلى أفضل نسخة ممكنة.

Dr NAIMI DJEMAI Prof Université de Biskra Président

Dr BEKHOUCHA NASSIMA M.C.B Université de Biskra Examineur

Dr MECHGOUG RAIHANE Prof Université de Biskra Rapporteur

كما نتقدم بالشكر إلى كل أساتذة قسم، وإلى كل من قدم لنا يد العون لإتمام هذا العمل.

إهداء مذكرة

بكل مشاعر الامتنان والعرفان، أتوجه بالشكر لكل من كان لي عونًا وسندًا خلال هذه المرحلة الهامة من مسيرتي الأكاديمية

أخص بالذكر أساتذتي الأفاضل الذين لم يبخلوا علينا بعلمهم وتوجيهاتهم، وغرسوا فينا قيم الالتزام والمثابرة، فجزاهم الله خير الجزاء على عطائهم اللامحدود

ولا يسعني في هذا المقام إلا أن أرفع أسمى آيات التقدير لعائلتي الكريمة، التي كانت دائمًا مصدر قوتي وإلهامي، وعلى رأسهم والديّ العزيزين، فلولا دعمهما اللامشروط لما تمكنت من بلوغ هذا الهدف

كما لا أنسى إخوتي وأخواتي الذين كان لتشجيعهم دور كبير في تخفيف الصعوبات، وأصدقائي المخلصين الذين رافقوني في كل لحظات التحدي والنجاح

لكم جميعًا مني كل الشكر والتقدير، فأنتم الركيزة التي ارتكزت عليها، والدافع الحقيقي وراء هذا الإنجاز. أسأل الله أن يحفظكم ويبارك فيكم ويجعل التوفيق حليفكم دائمًا.

بكل خشوع وامتنان، أرفع أكف الدعاء لروح والدي الطاهرة، الذي غادر دنيانا بجسده، لكنه باقٍ في قلبي وأثري بكل ما زرعه في من قيم ومبادئ

أسأل الله أن يجعل كل خطوة خطوتها في طلب العلم، وكل معرفة اكتسبتها، في ميزان حسناته، وأن يرزقه أجر العالم والمتعلم، وأن يتغمده بواسع رحمته ويسكنه فسيح جناته

صدرتة محمد هشام

أتقدم بخالص الشكر والامتنان لكل من دعمني وشجّعني خلال هذه المرحلة

أعبر عن تقديري العميق لأساتذتي الكرام الذين بذلوا جهدهم في تعليمنا، وعلموني قيم الاجتهاد والانضباط، فشكرًا لهم على صبرهم وتفانيهم

ولا أنسى أسرتي العزيزة، الداعم الأول لي في كل خطوتي، وخصوصًا أمي وأبي، فلولا دعمهما لما وصلت إلى ما أنا عليه

كما أشكر إخوتي وأخواتي الذين استمدت منهم العزيمة، وأصدقائي الأوفياء الذين وقفوا بجاني في أوقات التحدي

لقد كنتم جميعًا شركاء في هذا الإنجاز، وكل كلمات الشكر لا تكفي للتعبير عن امتناني

أسأل الله أن يجزيكم خير الجزاء ويدمكم سندًا لي، ولكم مني كل التقدير والمحبة والاحترام

سلطاني حمزة

Résumé :

Ce mémoire vise à concevoir et réaliser un prototype réduit d'une ligne d'assemblage automobile à l'aide de deux robots industriels, représentant une démarche appliquée pour intégrer l'automatisation dans l'industrie mécanique en Algérie. L'étude débute par une base théorique sur la robotique industrielle, ses types (sériels, parallèles), ses architectures cinématiques, et ses domaines d'application, avec un accent particulier sur les robots utilisés dans l'industrie automobile (assemblage, peinture, soudage). Les grandes entreprises du domaine comme KUKA et FANUC ont également été présentées.

Le système de commande repose sur une carte Arduino Uno, choisie pour sa simplicité et son faible coût. Des logiciels comme Arduino IDE et SolidWorks ont été utilisés pour la programmation et la modélisation 3D des composants. Le projet inclut la fabrication de deux bras robotiques imprimés en 3D, équipés de servomoteurs variés, capables de manipuler et assembler les différentes pièces d'une voiture miniature (portes, capot, coffre...).

Un tapis roulant a également été conçu artisanalement pour simuler le déplacement des pièces. L'ensemble des éléments a été monté sur une base en PVC, formant une ligne d'assemblage fonctionnelle. Ce projet démontre les avantages de l'automatisation en termes de précision et de réduction des erreurs humaines, tout en contribuant à l'enrichissement de la formation pratique et à la valorisation de la production locale.

Mots clé : Robotique industrielle, Ligne d'assemblage, Arduino Uno, Bras robotique 3D, Automatisation, Industrie automobile, Servomoteurs, Prototype réduit

ملخص

تهدف هذه المذكرة إلى تصميم وإنجاز نموذج مصغر لخط تجميع سيارات باستخدام روبوتين صناعيين، حيث يمثل المشروع خطوة تطبيقية نحو إدماج الأتمتة الصناعية في الصناعة الميكانيكية بالجزائر، بدأت الدراسة بمقدمة نظرية حول الروبوتات الصناعية، أنواعها سيراليية موازية)، بنيتها الحركية مجالات استخدامها، مع تركيز خاص على دورها في صناعة السيارات مثل الروبوتات الخاصة بالتجميع الطلاء واللحام. تم التطرق أيضاً إلى الشركات العالمية الرائدة في هذا المجال مثل KUKA و FANUC

اعتمد المشروع في جانب التحكم على لوحة Arduino Uno، نظراً لبساطتها وكلفتها المنخفضة، إلى جانب استخدام برمجيات مثل Arduino IDE و SolidWorks لتصميم المكونات ثلاثية الأبعاد. شمل الجانب التطبيقي تصنيع ذراعين آليين باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد، موجهين عن طريق محركات سيرفو متنوعة الأحجام والقوة لتأدية مهام تجميع أجزاء سيارة مصغرة (أبواب، غطاء محرك)

كما تم تصنيع ناقل (tapis roulant) يدويًا، وتم دمج كل الأجزاء على لوحة PVC لتشكيل نموذج متكامل يحاكي خط إنتاج فعلي. يُبرز المشروع فوائد الأتمتة في تحسين الدقة وتقليل الأخطاء البشرية، ويمثل مساهمة فعلية في تطوير التعليم التطبيقي وربطه بالصناعة الوطنية.

الكلمات المفتاحية: الروبوتات الصناعية خط تجميع مصغر الأتمتة الصناعية Arduino Uno ذراع آلي مطبوع ثلاثيا محركات سيرفو ناقل صناعي صناعة السيارات في الجزائر

Summary:

This thesis aims to design and implement a miniature prototype of a car assembly line using two industrial robots. The project represents an applied approach to integrating automation into the mechanical industry in Algeria. The study begins with a theoretical overview of industrial robotics, including their types (serial, parallel), kinematic architectures, and application domains, with a specific focus on robots used in the automotive industry such as assembly, painting, and welding robots. Major companies in this field, like KUKA and FANUC, are also presented.

The control system is based on an Arduino Uno board, selected for its simplicity and low cost. Software such as Arduino IDE and SolidWorks were used for programming and 3D modeling of components. The practical part involves the creation of two robotic arms manufactured using 3D printing, equipped with various servomotors to perform tasks like handling and assembling miniature car parts (doors, hood, trunk, etc.).

A conveyor belt was also custom-built to simulate part movement. All components were mounted on a PVC base, forming a functional assembly line. This project highlights the benefits of automation in improving precision and minimizing human error, while also enhancing practical training and supporting local industrial development.

Key words : Industrial robotics, Assembly line, Arduino Uno, 3D printed robotic arms, Servomotors, Automation, Conveyor belt, Automotive industry in Algeria.

Table des matières

شكر وعرفان.....	II
إهداء مذكرة.....	III
Résumé :.....	IV
ملخص.....	IV
Summary:	V
Liste de figures	X
Introduction générale	1

Chapiter I: Généralités sur la Robotique industrielle

I.1. Introduction	2
I.2. Les bras manipulateurs	2
I.3. Architecture cinématique des bras manipulateurs	2
I.3.1. Les bras manipulateurs séries	3
I.3.2. Bras manipulateurs parallèles	7
I.4. Caractéristiques d'un robot manipulateur	8
I.5 Domaines d'application.....	9
I.6. Types de robots dans l'industrie automobile	10
I.6.1. Robots de soudage	10
I.6.2. Robots de peinture	11
I.6.3. Robots d'assemblage	13
I.7. Entreprises internationales spécialisées dans la fabrication de robots Utilisées dans l'industrie d'automobiles.....	15
I.7.1. KUKA Robotics (Allemagne)	15
I.7.2. FANUC (Japon).....	16
I.7.3. ABB Robotics (Suède/Suisse)	16
I.7.4. Yaskawa (Motoman) - Japon.....	17
I.7.5. Comau (Italie).....	18
I.7.6. Kawasaki Robotics (Japon)	18
I.8. Conclusion.....	19

Chapiter II: Généralités sur Arduino et le Logiciel IDE

II.1 introduction	21
II.2. Généralités sur la carte Arduino	21
II.3 Les différents types d'Arduino	22
II.3.1. La carte Arduino UNO	22
II.3.2. La carte Arduino Lenardo	24
II.3.3. La Carte Arduino Mega.....	24
II.3.4. La carte Arduino Due	25
II.3.5.La carte Arduino Mini Pro	25
II.3.6. La carte Arduino Yun.....	26
II.4.Introduction à la programmation Arduino.....	27
II.5 Les logiciels les plus pour la carte Arduino	28
II.5.1. ArduinoDroid (application Android).....	28
II.5.2.Arduino Web Editor (l'éditeur en ligne)	28
II.5.3.PlatformIO.....	29
II.5.4.Arduino IDE (le programme officiel).....	30
II.6.Guide d'utilisation	30
II.6.1.Détaillé de l'Arduino IDE.....	30
II.6.2.Téléchargement et Installation de l'Arduino IDE	31
II.6.3.Interface de l'application	31
II.6.4. Etapes de fonctionnement de l'IDE.....	32
II.6.5. Écrire et téléverser un programme	32
II.6.6.Gestion des bibliothèques.....	32
II.7.Avantages et caractéristiques techniques de l'IDE Arduino (en bref).....	33
II.8.Utilisations de l'application	34
II.9. Exemple pratique.....	35
II.10.Conclusion.....	35

Chapitre III :Description du matériels Utilisés

III.1. Introduction.....	37
III.2. Les composantes	38
III.2.1. Carte de commande.....	38
III.2.2. Les Servomoteurs.....	39

III.2.4. Interrupteur à bascule marche/arrêt.....	42
II.2.5. Fils de liaison	43
II.2.6. LED (5cm).....	44
II.2.7. Pile 9v.....	45
III.2.8. Lampe LED d'éclairage blanc	45
III.2.9. La plaque de base.....	46
III.3.10. Les roulements	46
III.2.11. Les supports de l'axe de rotation.....	47
III.2.12. Le support du tapis roulant.....	48
III.2.13. Un morceau de cuir	48
III.2.14. D'autres matériaux.....	49
II.3. Les Outils d'assemblage des robots	53
III. 3.1. Pièces de robot	53
III.5.2. Pièces de la La voiture	54
III.5. Le logiciel utilisé pour la conception des pièces.....	57
III.5.1. SolidWorks.....	57
III.5.2. Améliorations techniques dans SolidWorks 2025	58
III.6. L'imprimante 3D Elegoo Neptune 4 Max	59
III.7. Description des pièces.....	62
III.7.1. la base de bras robotique	62
III.8.2. Tronc central du robot.....	64
III.7.3. Poignée de robot.....	64
III.9. Conclusion	66
Chapitre IV : Conception et Réalisation de deux Robots industriels pour une chaîne Production de voitures à Base de Carte Arduino Uno	
IV.1. Introduction.....	68
IV.2. Réalisation de Bras de robot d'assemblage	68
IV.2.1. Première étape	68
IV.2.2. Deuxième étape	70
IV.2.3. Troisième étape.....	72
IV.2.4. Quatrième étape.....	76
IV.2.5. La cinquième étape	78

IV.3. Le montage de schéma électrique global	80
IV.4. Réalisation de convoyeur	91
IV.5. Préparation l’arrière-plan visuel de projet	101
IV.6. La programmation de projet	108
IV.6.1. le codage utilisé pour la programmation à l'aide du programme Arduino IDE	109
IV.7. Conclusion	112
Conclusion générale	113
Références	114

Liste de figures

Figure I.1.bras manipulateur	
Figure I.2. Les manipulateurs Séries	
Figure I.3 Manipulateur Cartésien	
Figure I.4. Manipulateur Cylindrique	
Figure I.5. Manipulateur SCARA	
Figure I.6. Manipulateur anthropomorphique	
Figure I.7. Bras manipulateur parallèle	
Figure I.8. Robot de soudage	
Figure I.9. Robots de peinture	
Figure I.10. Robots d'assemblage	
Figure I.11. Robots d'assemblages	
Figure I.12. KUKA robotics	
Figure I.13. FANUC	
Figure I.14. ABB robotics	
Figure I.15. Yaskawa (Motoman)	
Figure I.1.6. Comau (Italie)	
Figure I.1.7. Kawasaki Robotics (Japon)	
Figure II.1. Cart arduino	
FigureII.2. Carte Arduino UNO	
Figure II.3.Caractéristiques de La carte Arduino UNO	
FigureII.4. Carte Arduino Lenardo	
Figure II.5. Carte Arduino Mega	
Figure II.6.Carte Arduino Due	
Figure II.7.Carte Arduino Mini Pro	
Figure II.8. Carte Arduino Yun	
Figure.II.9. La programmation Arduino	
Figure.II.10. Logiciel ArduinoDroid	
Figure.II.11. Logiciel Arduino Web Editor	
Figure.II.12. Logiciel PlatformIO	

Figure.II.13. Le programme Arduino IDE	
Figure.II.14. Interface de l'application Arduino IDE	
Figure.II.15. Gestion des bibliothèques	
Figure.II.16. Utilisations de l'application	
Figure.II.17. Exemple pratique	
Figure III.1. Matériels utilisés	
Figure III.2. Carte arduino uno	
Figure III.3. Servomoteur Mg996R 180 degrés	
Figure III.4. Digital Servomoteur 360 degré	
Figure III.5. Servomoteur SG90	
Figure III.6. ServoMoteur driver	
Figure III.7. Interrupteur à bascule marche/arrêt	
Figure III.8. Fils de liaison	
Figure III.9. LED	
Figure III.10. Pile 9v	
Figure III.11. Lampe LED d'éclairage blanc	
Figure III.12. La plaque de base	
Figure III.13. Les roulements	
Figure III.14. Les supports de l'axe de rotation	
Figure III.15. Le support du tapis roulant	
Figure III.16. Morceau de cuir	
Figure III.17. La colle	
Figure III.18. Vis à métaux à tête cylindrique	
Figure III.19. Élastiques	
Figure III.20. Fer à souder	
Figure III.21. Pince coupant	
Figure III.22. Tournevis	
Figure III.23. Engrenage plastic	
Figure III.24. Aiguille et fil	
Figure III.25. Une Règle	

Figure III.26. Outil rotatif	
Figure III.27. Pièces de robot	
Figure III.28. Logo de FABLAB	
Figure III.29. SolidWorks 2025	
Figure III.30. Les points de fixation spécifique	
Figure III.31. Logo de FABLAB	
Figure III.32. Pièces de La voiture	
Figure III.33. Pièces de port	
Figure III.34. Pièces de coffre	
Figure III.35. Pièces réelle d'automobiles	
Figure III.36. Pièces dans une imprimante 3D	
Figure III.37. Logo de solidworks	
Figure III.38. Interface de solidwork	
Figure III.39. L'imprimante 3D Elegoo Neptune 4 Max	
Figure III.40. Le processus d'impression des pièces	
Figure III.41. L'imprimante 3D Elegoo Neptune 4 Max	
Figures III.42. Pièces de robot	
Figure III.43. Les entrées de pièce	
Figure III.44. De la carte Arduino et du driver des moteurs	
Figures III.45. Pièce tronc central du robot	
Figures III.46. Pièces de Poignée	
Figures III.47. La cavité du moteur de la poignée.	
Figure IV.1. Extension des câbles de connexion de servomoteur SG90	
Figure IV.2. coupe-câbles	
Figure IV.3. Fer à souder	
Figure IV.4. Extension des câbles de connexion de quatre moteurs	
Figure IV.5. La préparation de poignée de robot	
Figure IV.7. La fixation de couvercle rectangulaire	
Figure IV.8. Installation d'engrenages de transmission	
Figure IV.9. Installation d'engrenages de transmission Dans l'axe du servomoteur	

Figure IV.10. La fixation de moteur dans la pièce de robot	
Figure IV.11. La fixation de 2e moteur dans la pièce de robot	
Figure IV.12. Assemblage de pièces de robot avec le poignet	
Figure IV.13. Fixation du disque	
Figure IV.14. La fixation de 3e moteur dans la pièce de robot	
Figure IV.15. La fixation de 4e moteur dans la base de pièces de robot	
Figure IV.16. La fixation de la pièce qui présentait l'axe de rotation	
Figure IV.17. La fixation du 2e disque dans la pièce de robot	
Figure IV.18. L'assemblage de pièces de robot avec le poignet de robot	
Figure IV.19. L'assemblage de tronc central du robot	
Figure IV.20. L'assemblage de tronc central du robot avec les pièces de support	
Figure IV.21. L'assemblage de tronc central du robot avec la base de robot	
Figure IV.22. Installation de la carte Arduino et le driver de moteur	
Figure IV.23. Le schéma électrique de chaque robot	
Figure IV.24. Connexion entre Arduino avec driver de moteur	
Figure IV.25. En connectant la sortie 5V de l'Arduino à l'entrée VCC.	
Figure IV.26. Connecter la sortie GND de l'Arduino à l'entrée GND du driver.	
Figure IV.27 Connecter la sortie A4 de l'Arduino à l'entrée SDA du driver.	
Figure IV.28. Connecter la sortie A5 de l'Arduino à l'entrée SCL du driver.	
Figure IV.29. Raccorder le moteur de la base à 360 degrés à l'entrée 0 de l'unité du driver.	
Figure IV.30. Raccorder le moteur du premier bras, qui est à 360 degrés, à l'entrée numéro 1.	
Figure IV.31. Raccorder le moteur du deuxième bras, qui est à 180 degrés.	
Figure IV.32. Raccorder le moteur du 3e bras, qui est à 180 degrés.	
Figure IV.33. Raccorder le moteur du 4e bras, qui est à 180 degrés.	
Figure IV.34. Le montage de bouton ON OFF et la LED d'éclairage	
Figure IV.35 Le schéma final d'installation électrique	
Figure IV.36. La fermeture de la base de robot	
Figure IV.37. Le processus d'installation des pieds de support du robot.	

Figure IV.38. Résultat final de bras d'assemblage	
Figure IV.39. Plaques-en forex	
Figure IV.40. Les roulements	
Figure IV.41. Procédé de tournage de l'axe de rotation	
Figure IV.42. Tour de labo de mécanique	
Figure IV.43. L'action de fixation de roulement dans l'axe de rotation	
Figure IV.44. Processus de ponçage au papier de verre	
Figure IV.45. Couture du tapis mobile	
Figure IV.46. Préparation du support du tapis roulant	
Figure IV.47. Traçage les dimensions de convoyeur	
Figure IV.48. Les pièces de support de convoyeur	
Figure IV.49. Les composants de convoyeur	
Figure IV.50. La préparation de l'ensemble des composants du tapis roulant	
Figure IV.51. Le tapis roulant	
Figure IV.52. L'arrière-plan visuel de projet	
Figure IV.53. Unité d'éclairage de type LED	
Figure IV.54. Conception de la lampe LED d'éclairage	
Figure IV.55. Lampe LED	
Figure IV.56. Batterie de 9 volts	
Figure IV.57. Interrupteur marche/arrêt	
Figure IV.58. Le schéma électrique d'éclairage	
Figure IV.59. Résultat final de projet	
Figure IV.60. Codage utilisé pour la programmation	
Figure IV.61. Codage utilisé pour la programmation	
Figure IV.62. Organigramme des étapes de marche de robot (grafcet)	

Introduction générale

Les lignes de production mécaniques automatisées constituent l'un des piliers fondamentaux de l'industrie moderne, notamment dans le secteur de la fabrication automobile, qui connaît une évolution continue grâce à l'intégration de technologies avancées telles que les bras robotiques industriels. Ces bras représentent un élément essentiel pour accélérer les processus de fabrication, garantir la qualité de l'assemblage et réduire les erreurs humaines, ce qui en fait un outil indispensable dans les usines automobiles à l'échelle mondiale.

En Algérie, l'industrie automobile a pris une orientation stratégique depuis le lancement de projets d'assemblage local, visant à réduire la dépendance à l'importation et à soutenir la production nationale. Parmi les principales usines opérant dans ce domaine, on retrouve l'usine FIAT à Oran, qui a commencé à produire plusieurs modèles destinés au marché local et à l'exportation, l'usine Chery à Sétif, ainsi que celle de Geely à Tiaret. Ces projets ont permis la création de milliers d'emplois directs et indirects, en plus du transfert de technologie et du renforcement du réseau national de sous-traitance industrielle.

Cette industrie contribue au soutien de l'économie nationale en réduisant la facture d'importation, en augmentant le taux d'intégration locale, et en générant une valeur ajoutée sur le territoire national. Elle joue également un rôle important dans le développement des compétences nationales dans les domaines de la mécanique, de l'électricité et de l'automatisation. L'ingénierie mécatronique, en tant que discipline intégrée, joue ici un rôle central dans la conception et l'exploitation de ces systèmes complexes.

Chapitre I

Généralités sur la

Robotique industrielle

I.1. Introduction

Les robots industriels permettent l'automatisation de tâches de production. Ils fonctionnent grâce au pilotage de parties mécaniques à l'aide de systèmes de commandes programmables associées à des actionneurs et des capteurs. Depuis la deuxième partie du 20^e siècle, les robots ont progressivement été adaptés au domaine industriel, implémentés en premier lieu dans les milieux à risques. Ils ont ensuite été mis en place pour remplacer la main d'œuvre humaine sur de nombreuses tâches fastidieuses et répétitives, impliquant des actions particulièrement physiques ou pouvant engendrer des troubles musculo-squelettiques [1].

I.2. Les bras manipulateurs

Un bras robotique est un manipulateur multifonctions reprogrammable conçu pour déplacer des matériaux, des pièces, des outils ou des dispositifs spécialisés à travers des mouvements programmables variables pour l'exécution de diverses tâches. Pour assurer ces fonctions dans différentes applications, il existe plusieurs types de bras robotiques qui peuvent être classés selon différents critères tels que leurs architectures, leurs capacités de charge, leurs types d'utilisation ou autres [2].

I.3. Architecture cinématique des bras manipulateurs

Nous présentons les manipulateurs suivant leur architecture cinématique : sériele, parallèle [3]



Figure I.1. bras manipulateur [3]

I.3.1. Les bras manipulateurs séries

Les bras manipulateurs à architecture série sont des robots avec une chaîne cinématique ouverte, composés d'une succession de corps rigides connectés par des articulations formant des liaisons (pivot ou glissière). Une chaîne cinématique est dite ouverte lorsqu'il n'y a qu'une seule séquence de liaisons reliant les deux extrémités de la chaîne. Chaque articulation fournit à la structure un degré de mobilité. Une articulation avec une liaison glissière crée un mouvement de translation relatif entre les deux corps rigides liés à l'articulation, tandis qu'avec une liaison pivot, est créé un mouvement de rotation relatif entre les deux corps [4]

- **Le nombre de degrés de liberté :** (DDL) ou Degrees of Freedom (DOF), d'un corps rigide ou d'un système mécanique est le nombre de paramètres ou de coordonnées indépendants qui définissent entièrement sa configuration dans l'espace.
- **Un effecteur ou un organe terminal :** Est le dispositif situé à l'extrémité d'un bras robotique, conçu pour interagir avec l'environnement et effectuer des tâches spécifiques. La nature exacte de cet appareil dépend de l'application du robot. L'effecteur terminal pourrait être
- **L'espace de travail :** d'un bras robotique est défini comme l'ensemble des points qui peuvent être atteints par son effecteur terminal, il s'agit de l'espace 3D dans lequel fonctionne le robot

Selon les liaisons et leurs séquences partant de l'articulation de base du bras robotique jusqu'à l'organe terminal, nous avons les cinq classes usuelles des manipulateurs : cartésien, cylindrique, sphérique, SCARA et anthropomorphe [4].

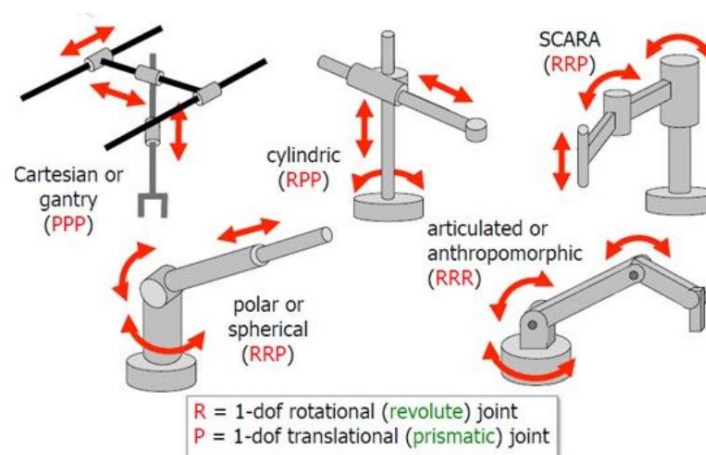


Figure I.2. Les manipulateurs Séries [4]

1. **Manipulateur cartésien** : Les manipulateurs cartésiens sont composés uniquement d'articulations à liaison glissière avec des axes typiquement orthogonaux entre eux dans l'espace. Cette structure permet au bras robotique cartésien d'avoir un espace de travail en forme de parallélépipède rectangle figure I.3

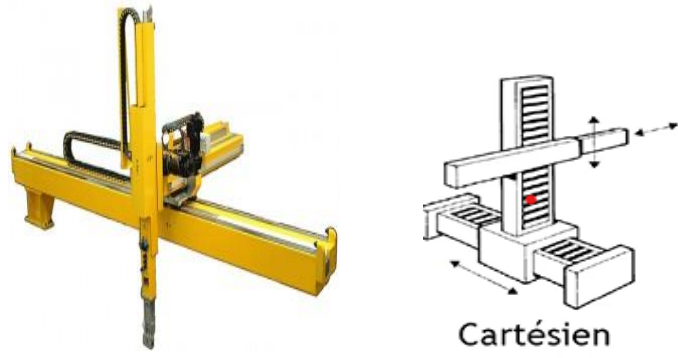


Figure I.3 Manipulateur Cartésien [4]

Caractéristique :

- 3Axes ; Séries ; PPP ; 3DDL
 - Un grand Espace de travail
 - Très bonne précision
 - Lent
 -
2. **Manipulateur cylindrique** : Les manipulateurs cylindriques diffèrent des cartésiens en ce que la première articulation prismatique est remplacée par une liaison pivot, ce qui donne un espace de travail en forme de cylindre creux. La deuxième articulation avec une liaison glissière horizontale permet à l'organe terminal d'accéder à des cavités horizontales figure I.4.

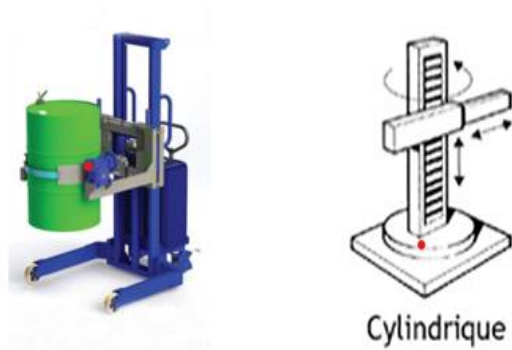


Figure I.4. Manipulateur Cylindrique [4]

Caractéristique :

- 3Axes ; Séries ; RPP ; 3DD
- Espace de travail Cylindrique
- Très rapide

Manipulateur sphérique : Les manipulateurs sphériques diffèrent des cylindriques en ce que leur seconde articulation prismatique est remplacée par une articulation pivot, ce qui donne un espace de travail en forme de portion de sphère creuse figure 1.5

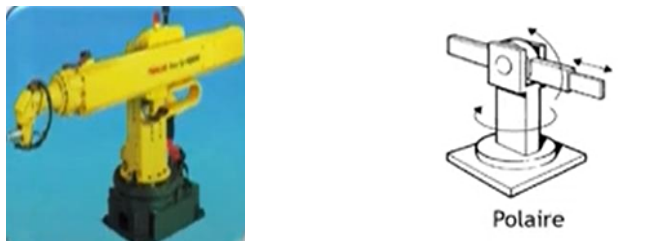


Figure I.5. Manipulateur sphérique [4]

Caractéristique :

- 3 Axes ; Séries ; RRP. 3DDL
- Espace de travail sphérique
- Grande charge utile

- 3. Manipulateur SCARA :** L'acronyme SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) signifie bras robotisé d'assemblage à compliance sélective. Il s'agit d'un manipulateur sphérique, obtenu en combinant trois liaisons pivot parallèle et une articulation glissière typiquement d'axe vertical de telle sorte que tous les axes de mouvement soient parallèles. Le volume de travail devient cylindrique figure 1.6



Figure I.6. Manipulateur SCARA [4]

Caractéristique :

- 3 Axes ; Séries ; RRP. 3DDL
- Espace de travail Cylindrique
- Précis
- Très rapide

- 4. Manipulateur anthropomorphique :** Les manipulateurs anthropomorphes n'utilisent que des articulations à liaison pivot. L'espace de travail est approximativement une partie d'une sphère. Plusieurs manipulateurs anthropomorphiques ont été inventés, certains destinés à l'industrie et d'autres qui appartiennent à la nouvelle génération. Figure I.6.

Caractéristique :

- 3Axes ; Séries ; RRR ; 6 DDL
- Reproduisent la structure d'un bras humaine



Figure I.7 Manipulateur anthropomorphique [4]

I.3.2. Bras manipulateurs parallèles

Un manipulateur parallèle est un mécanisme à chaîne cinématique fermée où l'effecteur est relié à une base fixe par au moins deux chaînes cinématiques indépendantes. Ils sont constitués généralement d'une base fixe connectée à une base mobile par des pattes qui sont motorisées chacune par un actionneur. Les robots parallèles ont une rigidité structurelle élevée par rapport aux robots sériels, puisque la plate-forme mobile est supportée par plusieurs chaînes cinématiques en même temps ce qui permet une répartition des efforts appliqués. L'espace de travail de ce type de robot est limité.

Les manipulateurs parallèles peuvent être classés selon deux grandes familles : les manipulateurs entièrement parallèles et les manipulateurs parallèles à câble [5].

Caractéristique

- Plusieurs chaines cinétiques en parallèle
- Espace de travail réduit
- Précis
- Très rapide

1. **Manipulateur entièrement parallèle** : La chaîne cinématique est strictement égale au nombre de degrés de liberté de la plate-forme mobile. Chaque chaîne cinématique comporte un seul actionneur. La plate-forme de Gough-Stewart illustrée sur la figure 1.7(a) est l'une des architectures connues de manipulateurs dites entièrement parallèles,

composée de six pattes. Chacune de ces pattes est actionnée par un actionneur actif, connectée aux plates-formes à l'aide de joints sphériques passifs. Le robot Delta inventé par le Pr Clavel de l'EPFL est bien connu pour ses performances élevées dans les tâches de pick and place, et son architecture se base sur le principe de parallélogrammes spatiaux. Il est composé de trois bras reliés à des joints universels à la base, comme par exemple le Delta IRB 360 FlexPicker de ABB figure 1.7(b).

2. **Manipulateur parallèle à câbles** : Ces manipulateurs utilisent des câbles pour la transmission du mouvement de la base fixe vers l'organe terminal. Ce type de manipulateur fait l'objet de nombreuses recherches telles que le contrôle des câbles reliés à la plate-forme par des robots mobiles figure 1.7(c) [5]



Figure I.8. Bras manipulateur parallèle [5]

I.4. Caractéristiques d'un robot manipulateur

Un robot doit être choisi en fonction de l'application qu'on lui réserve.

Voici quelques paramètres à prendre, éventuellement, en compte :

- ✚ La charge maximale transportable (de quelques kilos à quelques tonnes), à déterminer dans les conditions les plus défavorables (en élongation maximum).
- ✚ L'architecture de la structure mécanique articulée. le choix est guidé par la tâche à réaliser.
- ✚ L'Espace de travail, défini comme l'ensemble des points atteignables par l'organe terminal. Tous les mouvements ne sont pas possibles en tout point du volume de travail.

- ✚ Le positionnement absolu, correspondant à l'erreur entre un point souhaité (réel), défini par une position et une orientation dans l'espace cartésien et le point atteint est calculé via le modèle géométrique inverse du robot. Cette erreur est due au modèle utilisé, à la quantification de la mesure de position, à la flexibilité du système mécanique. En général, l'erreur de positionnement absolu, également appelée précision, est de l'ordre de 1mm .
- ✚ La répétabilité, ce paramètre caractérise la capacité que le robot à retourner vers un point (position, orientation) donné. La répétabilité correspond à l'erreur maximum de positionnement sur un point prédéfini dans le cas de trajectoires répétitives. En général, la répétabilité est de l'ordre de $0,1\text{ mm}$
- ✚ La vitesse de déplacement (vitesse maximum en élongation maximum).
- ✚ La masse du robot.
- ✚ Le coût du robot.
- ✚ La maintenance [6]

I.5 Domaines d'application

La robotique est un domaine en plein essor depuis quelques années. Les évolutions technologiques, dépassant sans cesse nos espérances, permettent maintenant de réaliser des solutions technologiques s'adaptant au moindre problème.

Par conséquent, la robotique est utilisée dans des domaines extrêmement rigoureux et exigeants. Nous allons explorer ces différents domaines.

- ✚ L'industrie : Le but premier des robots est de remplacer l'homme dans des activités fastidieuses ou onéreuses pour l'employeur. Les robots ont donc commencé à être utilisés dans les chaînes d'assemblage industrielles. Dans ces chaînes d'assemblage, on retrouve des robots soudeurs, manipulateurs, peintres ...
- ✚ Le domaine militaire : Les robots sont de plus en plus utilisés dans le domaine militaire. En effet, la miniaturisation permet aujourd'hui de créer des robots discrets mais dotés de nombreux capteurs, ce qui est idéal pour des missions d'espionnage ou d'éclairage.
- ✚ La santé : Les robots commencent à être de plus en plus utilisés dans le domaine médical, qu'il

s'agisse de « simples » échographies ou d'opérations chirurgicales plus délicates. En fait ces robots ne sont pas complètement autonomes mais ils assistent les médecins ou chirurgiens, jusqu'à permettre des opérations médicales à distance (télémédecine). On parle de surgétique (mot né de l'anglais « surgery » : chirurgie) c'est-à-dire tout ce qui consiste à introduire les derniers outils des technologies informatiques et robotiques dans la pratique médico-chirurgicale. Cette pratique de « chirurgie assistée » est émergente donc bien que peu répandue, elle est en phase de devenir la chirurgie du futur.

✚ L'exploration spatiale : les scientifiques ont envoyé des robots pour explorer le système solaire, dans des environnements souvent mortels pour [6].

I.6. Types de robots dans l'industrie automobile

I.6.1. Robots de soudage

Les robots de soudage sont des systèmes automatisés spécialisés utilisés dans les processus de production, en particulier dans l'industrie automobile, pour effectuer des tâches de soudage avec précision, rapidité et haute efficacité. Ils sont programmés pour accomplir certaines tâches telles que le soudage de pièces métalliques dans la carrosserie, et sont largement utilisés dans les chaînes d'assemblage modernes.



Figure I.9. Robot de soudage[8]

Soudage par points : Lors du soudage par points ou du soudage par résistance, une pression mécanique élevée est appliquée sur une zone relativement petite et une grande quantité d'énergie est fournie sous forme de courant électrique. De cette manière, deux électrodes pressent les plaques l'une contre l'autre et convertissent le courant de soudage en chaleur au niveau de la surface de contact. Il en résulte une liaison solide et permanente entre les deux feuilles.

Soudage à l'arc : Il utilise un arc électrique entre le poteau et la pièce. Courant pour les arêtes structurelles lourdes.

Soudage au laser : Soudage de haute précision au moyen d'un faisceau laser. Il donne des coutures très précises et rapides [8].

I.6.2. Robots de peinture

Les robots de peinture sont des machines automatisées spécialement conçues pour appliquer de la peinture et d'autres matériaux sur diverses surfaces avec une grande précision et efficacité. Ces robots sont utilisés dans de nombreuses industries pour améliorer la qualité des produits, augmenter la productivité, réduire les coûts de main-d'œuvre et de matériel, ainsi que renforcer la sécurité du travail en réduisant l'exposition des travailleurs aux environnements nocifs associés aux opérations de peinture.



Figure I.10 Robots de peinture [8]

Types de robots de peinture dans l'industrie automobile.

1. Robots de charnière

- ✚ **Description** : Caractérisé par plusieurs articulations semblables au bras humain.
- ✚ **Utilisation** : Vous pouvez accéder à des angles difficiles dans la carrosserie de la voiture.
- ✚ **Flexibilité** : Il a une très grande flexibilité, souvent utilisé dans la peinture complète des exosquelettes. 2.

2. Robots linéaires

- ✚ **Description** : Se déplaçant à travers des axes droits, tels que X, Y et Z.
- ✚ **Utilisation** : Idéal pour le revêtement de surface ou les pièces fixes.
- ✚ **Précision** : Il a une haute résolution, mais il est moins flexible par rapport aux robots articulés. 3

3. Robots SCARA

- ✚ **Description** : Conçu pour effectuer des mouvements rapides à niveau horizontal.
- ✚ **Utilisation** : Habituellement utilisé dans la peinture de petites ou des pièces intérieures.

4. Robots Rotatif

- ✚ **Description** : Déplacement de manière cylindrique avec un bras rotatif.
- ✚ **Utilisation** : Adapter les pièces de revêtement telles que les roues ou la découpe circulaire.

5. Robots statiques de galvanoplastie

- ✚ **Description** : dépend de charges électriques pour attirer la peinture sur la surface du véhicule.
- ✚ **Caractéristiques** : Réduit le gaspillage et offre une couverture plus efficace.
- ✚ **Utilisation** : Principalement utilisé pour peindre l'extérieur de la voiture.

6. Robots à têtes multiples

- ✚ **Description** : Contient plusieurs buses ou têtes pour la peinture
- ✚ **Utilisation** : permet de peindre plusieurs pièces ou différentes couleurs en même temps.

✚ **Efficacité** : Vitesse de production considérablement améliorée[8]

I.6.3. Robots d'assemblage

Ce mémoire porte particulièrement sur l'aspect appliqué du prototype de la ligne d'installation automobile. A ce stade, nous allons étudier plus en détail ce robot industriel et ses fonctions.

Définition des robots d'assemblage : L'assemblage est une partie importante des processus industriels. Il s'agit de l'avant-dernière étape au cours de laquelle les composants d'un produit qui ont été fabriqués séparément sont assemblés pour le rendre complet. Il s'agit d'un processus décisif qui fait souvent la différence entre les produits qui réussissent le test de qualité et les unités rejetées.

Compte tenu de l'importance d'un bon assemblage, il est essentiel qu'il soit réalisé avec une grande précision. Les usines, en revanche, préfèrent que cela se fasse rapidement pour économiser sur les coûts et maintenir un taux de production élevé. De cette nécessité est née robots d'assemblage [8].



Figure I.11. Robots d'assemblage [8]

Les robots d'assemblage sont un type de robots industriels utilisés dans les lignes de production automobile et sont conçus pour effectuer des tâches d'assemblage répétitives et de haute précision. Ces tâches comprennent

- ✚ Installation des pièces.
- ✚ Installation de moteurs et de leurs composants.
- ✚ Robots d'assemblage de pièces internes.
- ✚ Installer les boulons et insérer le vissage.

- ✚ Installation de panneaux de comptage.
- ✚ Installation de vitrage avant et arrière.
- ✚ Installer le tableau de bord.
- ✚ Raccordement du fil électrique.
- ✚ Installation de lampes et d'accessoires intérieurs.
- ✚ Installation de la roue et du siège.
- ✚ Pose d'adhésifs et de produits d'étanchéité.

Ces robots se caractérisent par leur capacité à travailler rapidement, avec précision et pour de longues périodes sans avoir à se reposer

Quelques types de robots d'assemblage par tâches et techniques

1. Vissage des robots : Prend en charge la tâche d'insertion et d'installation de boulons avec une grande précision, à l'aide de tournevis électriques ou pneumatiques. Ils sont souvent utilisés dans l'installation de composants de moteur ou de systèmes de suspension.

2. Robots de distribution : Vous mettez des adhésifs ou des mastics comme de la silicone sur les pièces avant de les installer. Couramment utilisé dans l'installation de pare-brise ou de porte

3. Robots d'insertion : Ils sont utilisés pour installer des pièces qui nécessitent une pression spécifique pour assurer leur stabilité, comme les fils ou les prises. Haute précision pour protéger les ingrédients sensibles contre les dommages.

4. Robots d'installation du verre : Personnalisé pour le pare-brise et l'installation arrière du véhicule, il est équipé de bras et de particules précis pour assurer que le verre est installé sans se briser.

5. Robots d'assemblage interne : Ils sont utilisés dans les étapes de montage final pour installer des composants intérieurs de la cabine tels que les sièges, le tableau de bord et le volant [8].

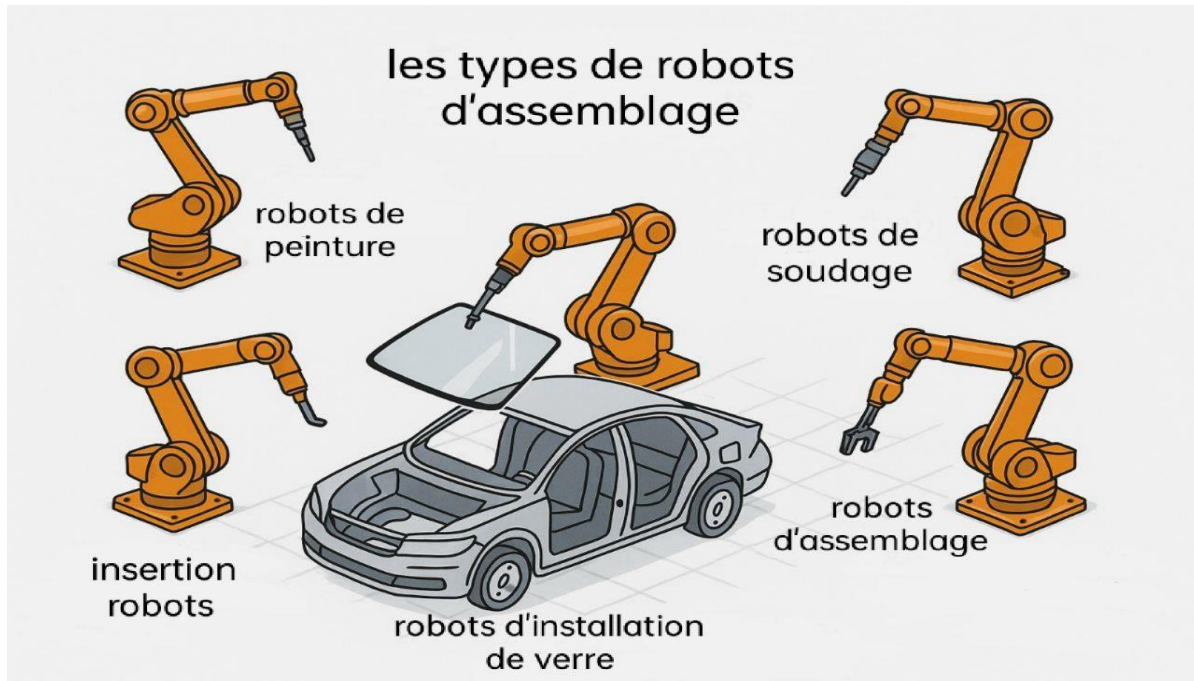


Figure I.12. Robots d'assemblages [8]

I.7. Entreprises internationales spécialisées dans la fabrication de robots Utilisées dans l'industrie d'automobiles

I.7.1. KUKA Robotics (Allemagne)

L'une des entreprises les plus anciennes et les plus puissantes dans le domaine de l'automatisation industrielle. Connu sous le nom de propoide orange, ils sont fortement employés dans les usines automobiles (telles que BMW, Mercedes, Volkswagen). Utilité dans le soudage, l'assemblage, le transport.



Figure I.13. KUKA robotics

I.7.2. FANUC (Japon)

Des grandes entreprises de robotique dans le monde. Ses robots sont de couleur jaune, rapide et fiable. Ils sont fréquemment utilisés dans les chaînes de montage automobile, en particulier dans les processus de soudage et de revêtement[9].



Figure I.14 FANUC [9]

I.7.3. ABB Robotics (Suède/Suisse)

Spécialisé dans l'automatisation industrielle et les robots détaillés. Ils sont affectés à l'assemblage automobile, à la peinture, au soudage et à la manutention. [10]



Figure I.15. ABB robotics [10]

I.7.4. Yaskawa (Motoman) - Japon

Elle est célèbre pour ses robots de soudage et d'assemblage de voitures. Connu pour sa grande précision et fiabilité [11]



Figure I.16. Yaskawa (Motoman) [11]

I.7.5. Comau (Italie)

Filiale du groupe Stellantis (Titans, Peugeot, etc.). Spécialisée dans les solutions d'automatisation complètes pour les chaînes de montage automatique [12].



Figure I.17. Comau (Italie) [10]

I.7.6. Kawasaki Robotics (Japon)

L'une des premières entreprises à entrer dans les robots de l'industrie. Il a un grand rôle dans les lignes d'assemblage et le revêtement automatisé. [13]

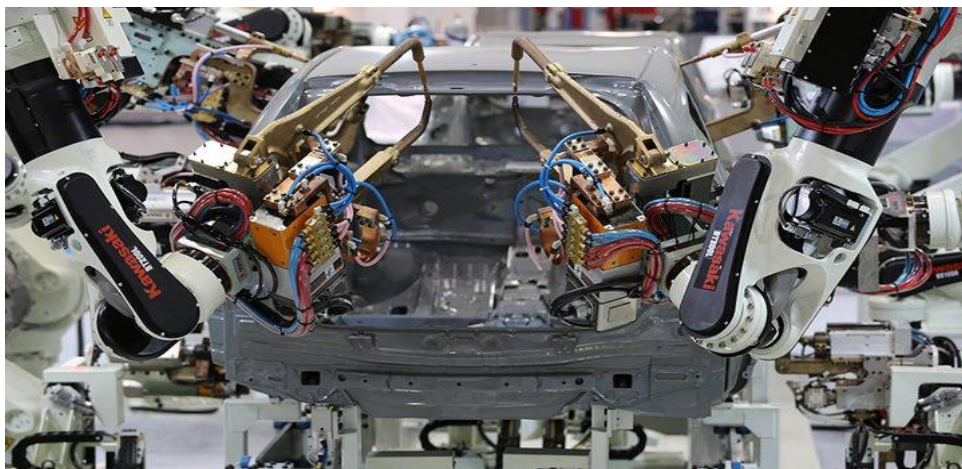


Figure I.18. Kawasaki Robotics (Japon) [13]

I.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu général sur les bras manipulateurs, les types et leurs structures, leurs utilisations et domaines d'application.

Chapiter II

Généralités sur Arduino et le Logiciel IDE

II.1 introduction

Dans ce projet de fin d'études, nous nous appuyons sur la carte Arduino en termes de programmation car elle est facile à utiliser et simple à programmer, et parce que c'est aussi le choix approprié en termes de coûts financiers, car si nous nous appuyons sur un automate, cela coûtera plus d'efforts et d'argent et d'autres appareils plus complexes, nous nous appuyons donc sur l'Arduino [14]

II.2. Généralités sur la carte Arduino

Arduino est une entreprise italienne de matériel et de logiciels open source, un projet et une communauté d'utilisateurs qui conçoit et fabrique des microcontrôleurs mono cartes et des kits de microcontrôleurs pour la construction d'appareils numériques. Ses produits matériels sont sous licence CC BY-SA, tandis que ses logiciels sont sous licence GNU Lesser General Public License ou GNU General Public License, ce qui autorise la fabrication de cartes Arduino et la distribution de logiciels par tous. Les cartes Arduino sont disponibles sur le site web officiel ou auprès de distributeurs agréés [15]



Figure II.1. Cart arduino[15]

Les cartes Arduino utilisent une variété de microprocesseurs et de contrôleurs. Elles sont équipées de broches d'entrée/sortie numériques et analogiques qui peuvent être connectées à diverses cartes d'extension, platines d'expérimentation et autres circuits. Elles disposent d'interfaces de communication série, dont le bus série universel sur certains modèles, qui permettent également le chargement de programmes. Les microcontrôleurs peuvent être programmés en C et C++, grâce à une API standard, également appelée langage de programmation Arduino, inspirée du langage Processing et utilisée avec une version modifiée de l'IDE Processing. Outre l'utilisation de chaînes

d'outils de compilation traditionnelles, le projet Arduino fournit un environnement de développement intégré et un outil en ligne de commande développé en Go.

Le projet Arduino a débuté en 2005 comme outil pour les étudiants de l'Institut de Design Interactif d'Ivrea, en Italie. Il visait à offrir aux novices et aux professionnels un moyen simple et économique de créer des dispositifs interagissant avec leur environnement grâce à des capteurs et des actionneurs. Parmi les exemples courants de tels dispositifs destinés aux amateurs débutants, on trouve des robots simples, des thermostats et des détecteurs de mouvement.

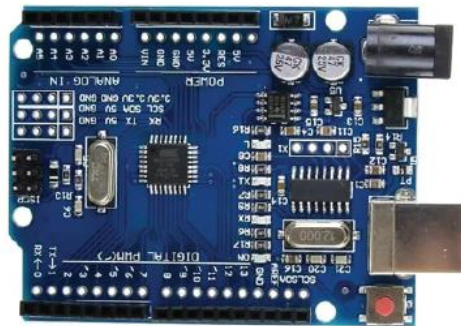
Le nom Arduino vient d'un café d'Ivrée, en Italie, où se réunissaient certains des fondateurs du projet. Le bar doit son nom à Arduin d'Ivrée, margrave de la Marche d'Ivrée et roi d'Italie de 1002 à 1014 [15]

II.3 Les différents types d'Arduino

II.3.1. La carte Arduino UNO

C'est la carte idéale pour découvrir l'environnement ARDUINO. Elle permet à tout débutant de se lancer dans tous ses premiers petits projets. Comme c'est la carte la plus utilisée, il est très facile de se référer aux tutoriels très nombreux sur le net et ainsi de ne pas rester seul dans son exploration.

Sa simplicité devient par contre un handicap lorsqu'il s'agit de multiplier les périphériques, dsmanipuler des algorithmes lourds ou d'interagie avec les OS Androïd pour lesquels d'autres cartes arduino sont plus adaptées [15]



FigureII.2. Carte Arduino UNO [15]

C'est le type que nous utilisons dans ce projet

1. Caractéristiques

- Microcontrôleur : ATmega328
- Tension nominale de fonctionnement : 5 V
- Tension d'alimentation (recommandée) : 7-12 V
- Tension d'alimentation (limites) : 6-20 V
- Entrées/sorties numériques : 14 (dont 6 utilisables comme sorties PWM)
- Entrées analogiques : 6
- Courant continu par broche d'E/S : 40 mA
- Courant continu vers la broche 3,3 V : 50 mA
- Mémoire flash : 32 Ko (ATmega328) dont 0,5 Ko sont utilisés par le pilote
- SRAM: 2 Ko (ATmega328)
- EEPROM: 1 Ko (ATmega328)
- Fréquence d'horloge : 16 MHz

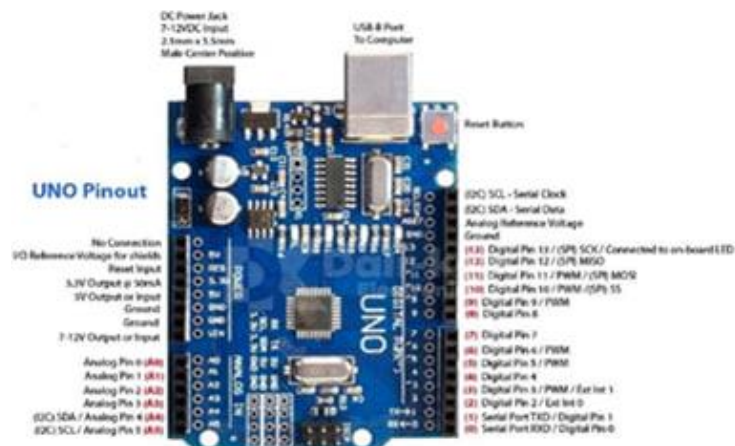
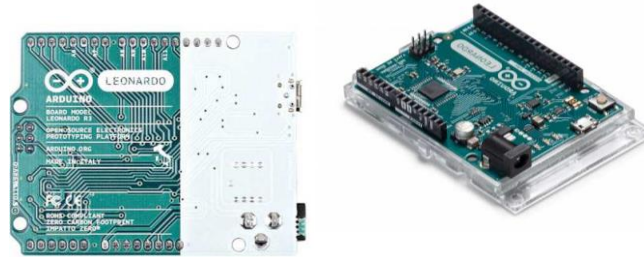


Figure II.3.Caractéristiques de La carte Arduino UN [15]

II.3.2. La carte Arduino Lenardo

C'est la carte qui est prévue pour succéder à la carte Arduino Uno en présentant des Caractéristiques équivalentes mais une ergonomie revue et une stabilité plus éprouvée. Sa Diffusion moins importante limite le support utilisateur disponible sur le net.



FigureII.4. Carte Arduino Lenardo[15]

II.3.3. La Carte Arduino Mega

La carte Arduino Mega est la carte la plus diffusée après la carte Arduino Uno. Elle offre un Nombre d'entrées/sorties beaucoup plus important (54 contre 14), un processeur plus puissant Doté d'une mémoire plus vaste qui permet d'exploiter des algorithmes plus complexes.

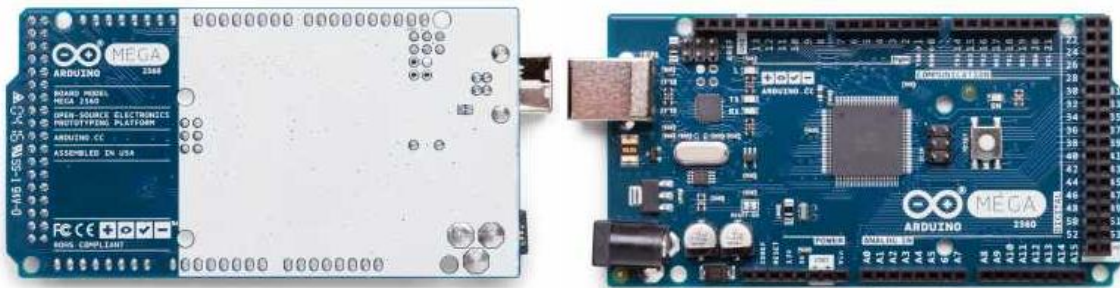


Figure II.5. Carte Arduino Mega[15]

II.3.4. La carte Arduino Due

La carte Arduino Due est une évolution de la carte Arduino Mega et offre des performances Réputées 3 fois supérieures. Elle permet de manipuler rapidement des algorithmes lourds Particulièrement utiles dans le monde de la robotique par exemple.

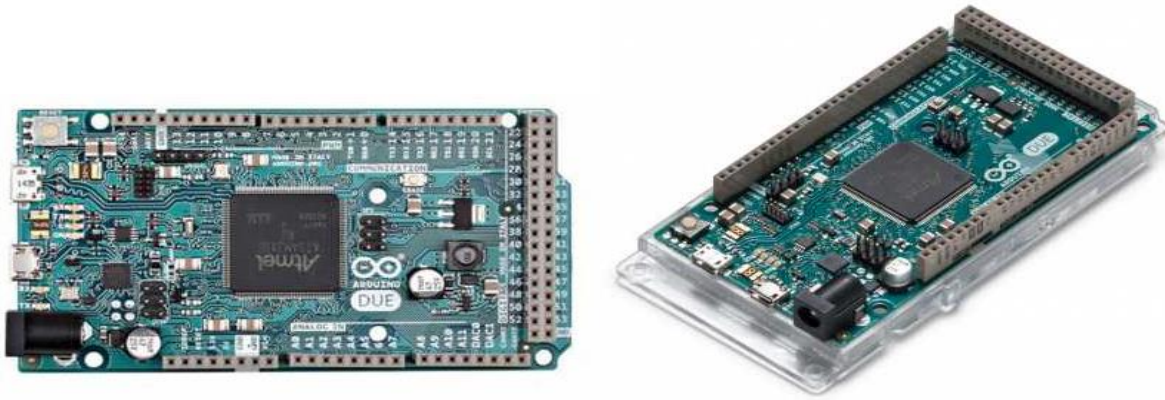


Figure II.6.Carte Arduino Due[15]

II.3.5.La carte Arduino Mini Pro

La carte arduino Mini Pro est une carte Arduino Uno simplifiée à l'extrême permettant néanmoins De piloter de petits projets ou certains éléments d'un projet. Attention, cette carte n'intègre pas de port USB ce qui rends sa connectivité délicate.

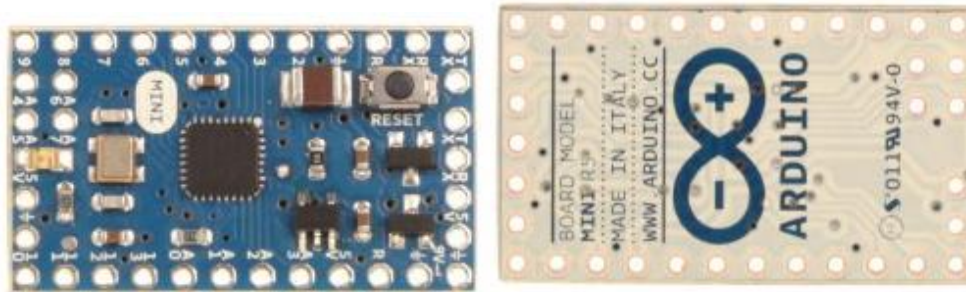


Figure II.7.Carte Arduino Mini Pro[15]

II.3.6. La carte Arduino Yun

La carte Arduino Yun, récemment proposée par Arduino, est conçue pour contrer les avantages De la carte Raspberry. Elle est un dérivé de la carte Leonardo et a pour objectif de combiner la Puissance de Linux avec la facilité d'utilisation d'une carte Arduino. Elle est également la première Carte Arduino à être dotée nativement d'un wifi intégré [15].



Figure II.8. Carte Arduino Yun [15]

II.4.Introduction à la programmation Arduino

La programmation Arduino est l'une des compétences les plus importantes dans le domaine de l'électronique et des systèmes embarqués. Elle permet aux utilisateurs de contrôler des dispositifs électroniques et de créer des projets interactifs à l'aide d'outils simples et efficaces. Arduino est une plateforme open source basée sur des microcontrôleurs programmables, utilisée dans divers domaines tels que la robotique, l'internet des objets (IoT), le contrôle industriel et les projets éducatifs.

Les cartes Arduino sont programmées à l'aide d'un environnement de développement intégré appelé Arduino IDE, qui utilise un langage proche du C++. Cet environnement offre une interface facile à utiliser, adaptée aussi bien aux débutants qu'aux professionnels. En écrivant quelques lignes de code, l'utilisateur peut lire des données provenant de capteurs, contrôler des moteurs, allumer des LED, et réaliser de nombreuses fonctions intelligentes.

Grâce à sa simplicité d'apprentissage et à la richesse des ressources disponibles, la programmation Arduino est devenue une porte d'entrée idéale pour découvrir les concepts de la programmation et de l'électronique pratique. Elle encourage également la créativité et l'innovation dans la conception de solutions techniques aux problèmes de la vie quotidienne [16].

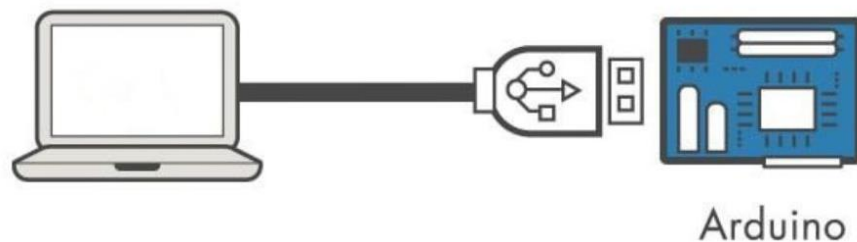


Figure.II.9. La programmation Arduino [16]

II.5 Les logiciels les plus pour la carte Arduino

II.5.1. ArduinoDroid (application Android)

Pour ceux qui n'ont pas toujours un ordinateur à portée de main, il existe une application pratique appelée ArduinoDroid, conçue pour les smartphones Android. Elle permet de programmer les cartes Arduino directement depuis un téléphone.

C'est une solution pratique pour coder en déplacement ou faire des modifications rapides. L'application permet d'écrire le code, d'installer des bibliothèques, de compiler le programme, et de le téléverser sur la carte via un câble OTG.

Même si ArduinoDroid ne propose pas toutes les fonctionnalités de la version ordinatrice, il reste une option très utile pour tester de petits programmes ou travailler sur des projets simples [17].

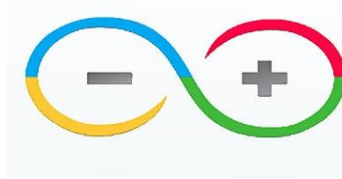


Figure.II.10 Logiciel ArduinoDroid [17]

II.5.2.Arduino Web Editor (l'éditeur en ligne)

L'équipe Arduino propose également un éditeur en ligne appelé Arduino Web Editor, qui fait partie de la plateforme Arduino Create. Cet éditeur fonctionne directement depuis un navigateur, sans besoin d'installer de logiciel sur l'ordinateur. Il suffit de créer un compte gratuit Arduino et d'installer une petite extension pour connecter la carte au navigateur.

Cet éditeur reprend les principales fonctions de l'Arduino IDE classique, avec en plus des avantages comme le stockage des projets dans le cloud, un accès facile depuis n'importe quel appareil, et la possibilité de partager ses codes avec d'autres. Il assure également l'utilisation des versions les plus récentes des bibliothèques et outils de développement, sans avoir à les mettre à jour manuellement.

C'est un excellent choix pour ceux qui travaillent sur des projets simples ou qui souhaitent accéder à leurs codes depuis différents ordinateurs



Figure.II.11. Logiciel Arduino Web Editor [17]

II.5.3.PlatformIO

PlatformIO est une alternative avancée pour les développeurs qui recherchent un environnement de développement plus professionnel. Il s'agit d'une extension que l'on peut installer dans Visual Studio Code, et qui offre de puissants outils pour gérer des projets complexes, en particulier ceux utilisant plusieurs types de cartes ou plateformes embarquées. PlatformIO prend en charge de nombreuses cartes autres qu'Arduino, possède un système de gestion de bibliothèques performant, et s'intègre parfaitement avec des outils comme Git pour le contrôle de version.

Bien qu'il soit très puissant, PlatformIO peut paraître complexe pour les débutants, car il nécessite une configuration plus poussée et une compréhension plus profonde des concepts de développement embarqué.



Figure.II.12. Logiciel PlatformIO [17]

II.5.4.Arduino IDE (le programme officiel)

C'est le programme que nous utiliserons pour programmer ce projet. Arduino IDE est le logiciel principal et le plus utilisé pour programmer les cartes Arduino. Il est développé par l'équipe officielle d'Arduino. Ce programme se distingue par son interface simple et facile à utiliser, ce qui en fait le choix idéal pour les débutants dans le domaine de l'électronique et de la programmation. Arduino IDE utilise un langage de programmation proche du C/C++, et les codes sont écrits dans un fichier appelé Sketch. À travers ce logiciel, on peut écrire le code, le téléverser directement sur la carte, et surveiller les signaux via le moniteur série intégré.

Il existe deux versions principales : la version classique (1.x), connue pour sa stabilité, et la version la plus récente (2.x), qui propose des fonctionnalités plus avancées comme la complétion automatique du code, la coloration syntaxique, et un éditeur plus moderne inspiré des environnements professionnels. Le logiciel est disponible gratuitement sur Windows, macOS et Linux, et peut être téléchargé depuis le site officiel [17]



Figure.II.13. Le programme Arduino IDE [17]

II.6.Guide d'utilisation

II.6.1.Détaillé de l'Arduino IDE

L'Arduino IDE (Environnement de Développement Intégré) est un logiciel libre et open-source utilisé pour programmer les cartes Arduino. Il permet d'écrire, de vérifier et de téléverser du code écrit en langage C/C++ sur des microcontrôleurs Arduino. Cet outil est largement utilisé dans les domaines éducatifs, la robotique et les projets électroniques personnels [18].

II.6.2.Téléchargement et Installation de l'Arduino IDE

Voici les étapes pour installer l'IDE Arduino :

- A. Rendez-vous sur le site officiel : <https://www.arduino.cc/en/software>
- B. Choisissez la version compatible avec votre système (Windows, macOS, Linux).
- C. Téléchargez le fichier d'installation, puis exécutez-le.
- D. Suivez les instructions d'installation standard jusqu'à la fin.
- E Connectez votre carte Arduino à l'ordinateur via un câble USB [20].

II.6.3.Interface de l'application

Une fois le programme ouvert, vous verrez plusieurs composants principaux :

- ✚ Barre d'outils : boutons pour Vérifier, Téléverser, Nouveau, Sauvegarder, etc.
- ✚ Éditeur de code : zone où vous écrivez votre script (sketch).
- ✚ Fenêtre de messages : affiche les erreurs ou les messages de compilation.
- ✚ Moniteur série : permet de suivre les échanges de données entre le PC et la carte Arduino.

[21]

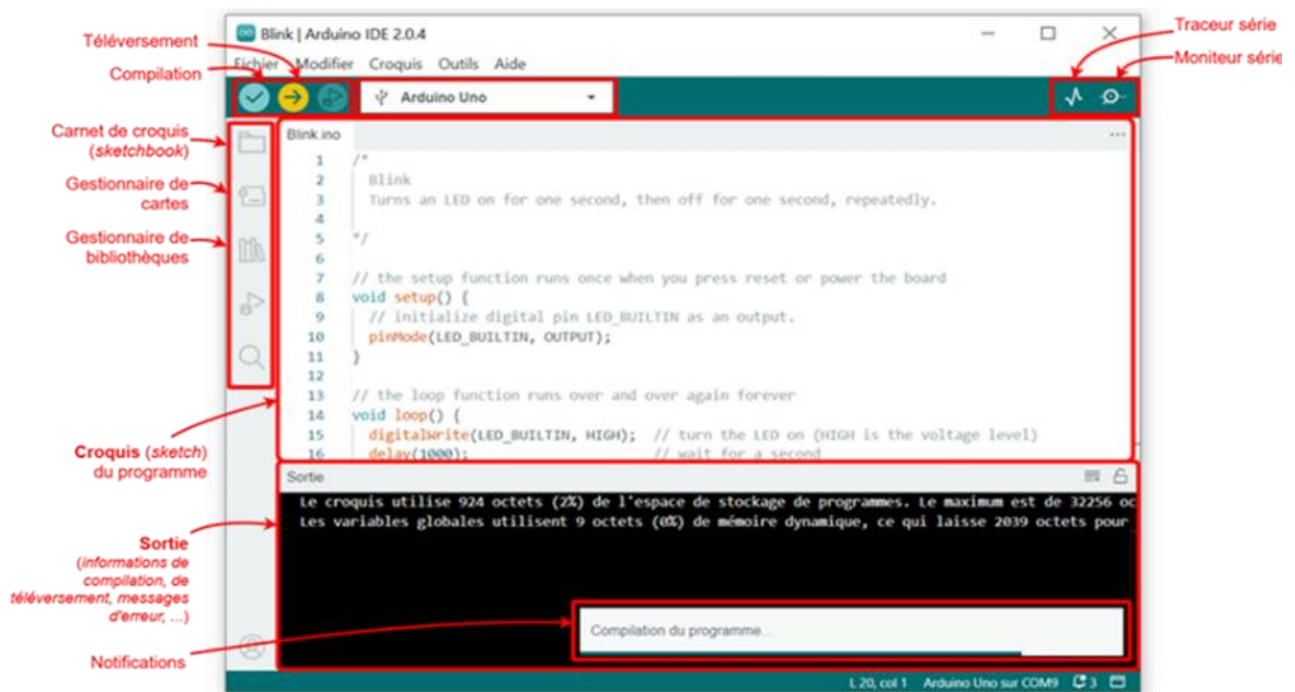


Figure.II.14. Interface de l'application Arduino IDE[21]

II.6.4. Etapes de fonctionnement de l'IDE

Le travail est effectué dans l'IDE Arduino en suivant ces étapes :

- A. Sélectionnez le type de carte : par exemple Arduino Uno ou Nano dans le menu « Outils > Carte ».
- B. Sélection du port : pour sélectionner le port série connecté à la carte.
- C. Écriture du code : Utilisation du langage Arduino basé sur C/C++.
- D. Vérification du code : pour garantir qu'il est exempt d'erreurs.
- E. Téléchargez le code sur la carte : via un câble USB. [22]

II.6.5. Écrire et téléverser un programme

Voici un exemple simple de code pour faire clignoter une LED connectée au port 13 :

```
Void setup () {pinMode(13, OUTPUT); }
```

```
Void loop () {digitalWrite (13, HIGH); delay (1000); digitalWrite (13, LOW); delay (1000);}
```

Après avoir saisi le code, cliquez sur 'Vérifier' pour compiler, puis sur 'Téléverser' pour envoyer le code à la carte [23].

II.6.6. Gestion des bibliothèques

Les bibliothèques permettent d'utiliser facilement des composants comme des capteurs ou écrans

- A. Allez dans Sketch > Include Library > Manage Libraries.
- B. Recherchez la bibliothèque désirée, par exemple LiquidCrystal.
- C. Cliquez sur 'Installer' pour l'ajouter à votre environnement.

Arduino IDE fournit des bibliothèques prêtes à l'emploi pour faciliter l'interaction avec des composants tels que :

-  Capteurs (DHT, ultrasons)
-  Écrans (LCD, OLED)
-  Moteurs (servo, pas à pas)
-  Communications (Wi-Fi, Bluetooth)

Les bibliothèques peuvent être facilement installées via le gestionnaire de bibliothèques intégré.

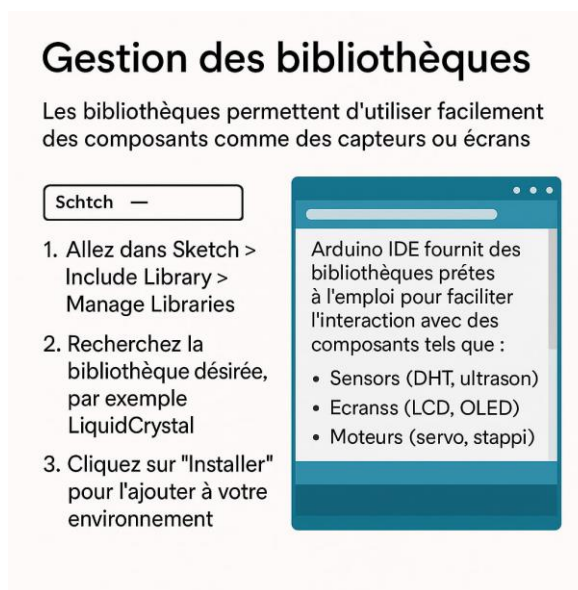


Figure.II.15. Gestion des bibliothèques [23]

II.7. Avantages et caractéristiques techniques de l'IDE Arduino (en bref)

A. Open source

Le code source peut être modifié pour ajouter des fonctionnalités ou prendre en charge de nouveaux panneaux. Permet le développement personnalisé et l'extension de projets.

B. Multiplateforme

- ✚ Fonctionne sur Windows, Linux, macOS.
- ✚ Convient à divers environnements éducatifs et de recherche

C. Interface simple et facile

- ✚ Fournit des outils clés (vérification, téléchargement, surveillance séquentielle).
- ✚ Prend en charge un travail rapide sur des projets sans complexité.

D. Large support pour les panneaux

- ✚ Via Board Manager, vous pouvez installer la prise en charge de dizaines de microcontrôleurs tels qu'ESP32 et STM32.
- ✚ Chaque panneau a ses propres caractéristiques et le logiciel les ajuste automatiquement.

E. Bibliothèques prêtes à l'emploi

- ✚ Des milliers de bibliothèques pour différents appareils.
- ✚ Les opérations complexes sont enveloppées de fonctions simples.

F. Système de levage flexible

✚ Utilisez des outils comme AVRDUDE ou un téléchargeur personnalisé pour chaque carte.

✚ Prend en charge USB, UART, SPI.

G. Performances lumineuses

Il ne nécessite pas de ressources importantes et fonctionne même sur les anciens ordinateurs.

H. Traducteur intégré

Inclut avr-gcc, avr-libc et avrdude, prêts à l'emploi sans configuration manuelle.

I. Prise en charge de la communication série

Via un moniteur/traceur série pour échanger des données avec l'ordinateur.

J. Grande communauté

Des millions d'utilisateurs et un support étendu facilitent le dépannage et l'apprentissage du système [24]

II.8.Utilisations de l'application

Arduino IDE est utilisé pour développer des systèmes embarqués tels que :

- ✚ Systèmes de contrôle industriel : tels que la simulation simple d'automates ou les robots de soudage.
- ✚ Robots autonomes : s'appuyer sur des bibliothèques de contrôle de moteurs et de capteurs.
- ✚ Systèmes Internet des objets (IoT) : avec des modules WiFi comme ESP8266 et ESP32.
- ✚ Projets d'énergie renouvelable : comme le suivi du soleil dans les systèmes photovoltaïques.
- ✚ Éducation et recherche académique : En tant que prototype avant de passer à la conception de circuits imprimés personnalisés [24]

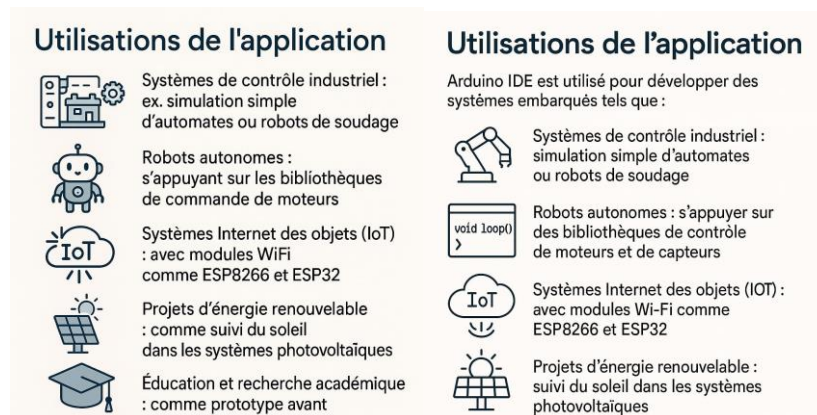


Figure.II.16. Utilisations de l'application [24]

II.9. Exemple pratique

Clignotement d'une LED

Matériel requis : Carte Arduino, LED, résistance 220 ohms, câbles, breadboard.

1. Connectez la LED à la broche 13 via la résistance.
2. Téléversez le code donné ci-dessus.
3. Observez le clignotement de la LED toutes les secondes.

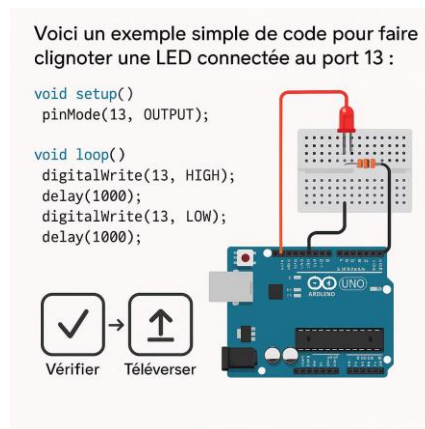


Figure.II.17. Exemple pratique

II.10.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons traité de manière approfondie l'Arduino, en abordant ses différentes variantes, sa programmation, ainsi que l'ensemble des logiciels dédiés à son utilisation. Dans le chapitre suivant, nous procéderons à une analyse détaillée de l'ensemble du matériel et des composants nécessaires à la concrétisation et à l'assemblage du robot ainsi que de la chaîne de montage automobile.

Chapitre III

Description du matériels Utilisés

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, une description technique détaillée de matériels et composants utilisés pour la conception et réalisation et l'assemblage de la ligne de montage automobile sera présentée, en suivant une approche hiérarchique allant des composants de base jusqu'aux sous-systèmes principaux. Chaque élément sera analysé en fonction de ses caractéristiques fonctionnelles et de son rôle dans l'architecture globale du système d'assemblage, avec une progression méthodique garantissant une compréhension claire de l'intégration des dispositifs.

Nous discuterons également des pièces tridimensionnelles qui constituent le cadre mécanique du robot. Celles-ci seront décrites avec précision selon la logique cinématique, en mettant en évidence la chaîne de transmission du mouvement ainsi que les degrés de liberté associés à chaque articulation ou axe de rotation.



Figure III.1. Matériels utilisés

Cette description est divisée en trois axes principaux En commençant par :

III.2. Les composantes

Dans cette section, nous présentons les composants matériels acquis pour la réalisation du prototype du système, comprenant :

III.2.1. Carte de commande

Une carte Arduino uno , utilisée comme unité de contrôle principale pour exécuter les commandes et gérer les différents éléments électroniques [25]



Figure III.2. Carte arduino uno [25]

1. Caractéristiques

- + Micro-contrôleur : ATmega328
- + Tension de fonctionnement nominale : 5V
- + Tension d'alimentation (recommandé) : 7-12V
- + Tension d'alimentation (limites) : 6-20V
- + Entrées/sorties digitales
- + Entrées Analogiques : 6
- + DC Current per I/O Pin: 40 mA
- + DC Current for 3.3V Pin: 50 mA
- + Mémoire Flash : 32 KB (ATmega328) dont 0.5 KB utilisé par le bootloader
- + SRAM: 2 KB (ATmega328)
- + EEPROM: 1 KB (ATmega328)

- ✚ Fréquence d'horloge : 16 MHz
- ✚ Le prix est de 2000 dinars algériens

III.2.2. Les Servomoteurs

Un servomoteur est un dispositif qui permet de contrôler avec précision la position, la vitesse ou le couple d'un mécanisme, en utilisant un système d'asservissement. Il est souvent abrégé en "servo". Ces moteurs sont utilisés dans divers domaines pour leur précision et leur contrôle [26].

1. Servomoteur à engrenages métalliques Mg996R 180 degrés

Le MG996R est un servo numérique de haute qualité avec des engrenages métalliques à couple élevé.



Figure III.3. Servomoteur Mg996R 180 degrés [26]

Caractéristiques

- ✚ Couple de décrochage : 4,8 V – 9,4 kg/cm, 6,0 V – 11 kg/cm
- ✚ Vitesse de fonctionnement à vide : 4,8 V – 0,17 s/60 °, 6,0 V – 0,14 s/60 °
- ✚ Largeur de bande morte : 5 microsecondes
- ✚ Tension de fonctionnement : 4,8 V – 6 V
- ✚ Zone de température : 0°- 55°
- ✚ Poids : 55 g
- ✚ Câble de connecteur 3 broches de 30 cm

- ✚ Engrenage métallique à couple élevé
- ✚ Conception à double roulement à billes
- ✚ Le prix est de 1500 dinars algériens

2. Waterproof 25kg Digital Servomotor

Waterproof 25 kg digital est servomoteur conçu pour résister aux projections d'eau, à l'humidité et peut supporter ou mesurer une charge maximale de 25 kilogrammes



Figure III.4. Digital Servomoteur 360 degré [27]

Caractéristiques

- ✚ Produit : Servomoteur numérique 360° SPT5425LV 25KG
- ✚ Zone morte : 4 μ s
- ✚ Position neutre : 1500 μ s / 330 Hz
- ✚ Moteur : Moteur principal
- ✚ Angle de la télécommande : 360°
- ✚ Plage de tension : 4,8 V-6,0 V
- ✚ Vitesse de travail (4,8 V) : 0,22"/60°
- ✚ Vitesse de travail (6,0 V) : 0,18"/60°
- ✚ Couple de décrochage (4,8 V) : 24 kg.
- ✚ Couple de décrochage (6,0 V) : 26 kg.cm

- ✚ Nous avons utilisé deux de ces moteurs placés dans des zones spécifiques qui représentent les axes de rotation inférieurs.
- ✚ Le prix est de 1800 dinars algériens

3. Mini servomoteur SG90 Tower Pro, rotation à 180 degrés

Le Mini servomoteur SG90 Tower Pro, rotation à 180 degrés est léger et ultra-rapide conçu pour fonctionner avec presque tous les systèmes de contrôle avec excellente performance[28].



Figure III.5. Servomoteur SG90 [28]

Caractéristiques

- ✚ Modulation : analogique
- ✚ Couple : 4,8 V : 1,20 kg-cm (25,00 oz-po)
- ✚ Vitesse : 4,8 V : 0,12 s/60°
- ✚ Dimensions : Longueur : 23 mm (0,91 po)
- ✚ Largeur : 12,2 mm (0,48 po)
- ✚ Hauteur : 29 mm (1,14 po)
- ✚ Type de moteur : tripolaire
- ✚ Type d'engrenage : plastique
- ✚ Rotation/support :
- ✚ Bague Largeur d'impulsion : 500-2400 μ s
- ✚ Type de connecteur : JR
- ✚ Poids : 9 g (0,32 oz)
- ✚ Le prix est de 600 dinars algériens

Ce servomoteur est placé dans la tête du robot, qui représente la poignée du bras robotique. Il permet à la poignée de saisir les objets avec précision sans les n'affecter ni les endommager [28]

III.2.3 le Driver de Servomotor

PCA9685 Driver Servomoteur est spécialement conçu pour piloter une quantité importante de servomoteurs, trouvant ainsi son utilité dans diverses mises en œuvre telles que les structures de bras robotiques[29].

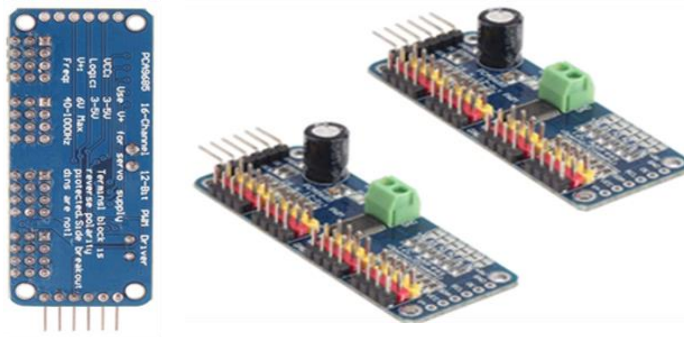


Figure III.6. Servo Motor driver[28]

- ✚ Interface de communication : IIC
- ✚ Commande de direction 16 voies
- ✚ Tension : Alimentation CC 5-10 V
- ✚ La puce PCA9685 est intégrée au centre de la carte.
- ✚ Toutes les lignes de sortie PWM sont protégées par Une résistance série de 220 ohms et peuvent facilement piloter des LED
- ✚ Le prix est de 1500 dinars algériens

III.2.4. Interrupteur à bascule marche/arrêt

L'interrupteur à bascule est un composant électrique de la famille des interrupteurs électroniques. Il permet de commander un circuit en marche ou à l'arrêt, en interrompant ou en cédant le passage du courant électrique [29]



Figure III.7. Interrupteur à bascule marche/arrêt [29]

Caractéristiques

- + Puissance nominale : Max 6 A à 250 V CA, 10 A à 125 V CA
- + Mode de commutation : ON-OFF
- + Structure : SPDT
- + Découpe du panneau : 17 x 13 mm
- + Matériau : plastique et métal
- + Couleur : Noir-rouge
- + Dimensions hors tout : 21 x 15 x 16 mm (L x l x H)
- + Le prix est de 70 dinars algériens [29]

II.2.5. Fils de liaison

Un fil de liaison est un composant électrique qui établit une connexion physique et électrique entre deux points sur un circuit ou une carte de circuit imprimé. Il permet de transférer le courant entre ces deux points, facilitant le fonctionnement du circuit.



Figure III.8. Fils de liaison

Caractéristiques

- ✚ Câble de raccordement multicolore mâle-femelle à 40 broches
- ✚ Longueur de fil de 10 cm/3,94 pouces (M/F)
- ✚ Compatible avec les embases à broches espacées de 2,54 mm
- ✚ Peut être séparé pour former un assemblage
- ✚ Utilisé pour les projets électroniques, Arduino, PCB, cartes mères
- ✚ Fabriqué en fil de cuivre sûr et durable
- ✚ Prix 10 dinars par fil

II.2.6. LED (5cm)

Une LED de 5 cm est généralement un ruban LED ou une petite ampoule. Un ruban LED de 5 cm de long peut être utilisé pour des projets de petite taille, comme un éclairage d'ambiance ou des accents décoratifs. Les ampoules LED peuvent avoir un diamètre de 5 cm, comme les ampoules GU5.3 (MR16).



Figure III.9. LED

- ✚ Tension directe (Forward Voltage) entre 2,8 et 3,6 volts Pour les LED blanches ou transparentes.
- ✚ Courant direct (Forward Current) Typiquement 20 ma (milliamps).
- ✚ Le maximum toléré peut aller jusqu'à 30 mA selon les modèles.
- ✚ Tension inverse maximale Très faible, généralement pas plus De 5 volts – il est déconseillé d'appliquer une tension inverse.
- ✚ Le prix est de 30 dinars algériens

II.2.7. Pile 9v

Une pile à 9V est un dispositif électrique qui fournit une tension de 9 volts, généralement utilisée pour alimenter des appareils comme les détecteurs de fumée, les radios portatives et certains jouets. On l'appelle parfois "pile à transistor" en raison de son usage initial dans les premiers radios à transistors.

- ✚ Marque : HYW
- ✚ Garantie : 2 ans
- ✚ Utilisation/Application : Appareils solaires
- ✚ Pays d'origine : Fabriqué en Inde
- ✚ Couleur : Bleu
- ✚ Tension : 9 V



Figure III.10. Pile 9v

III.2.8. Lampe LED d'éclairage blanc

3 LEDs (75×12 mm) fait généralement référence à un petit module ou composant électronique contenant 3 diodes électroluminescentes (LEDs) encapsulées dans une résine époxy transparente ou diffuse, avec des dimensions d'environ 75 mm de long et 12 mm de large.



Figure III.11. Lampe LED d'éclairage blanc

Caractéristiques

- + Puissance : 0,72 W
- + Tension : 12 V
- + Indice de protection (IP) : IP65
- + Dimensions : 75 mm × 12 mm

III.2.9. La plaque de base

La plaque de base de la ligne de production est fabriquée en mousse PVC (commerciallement connue sous le nom de Forex), avec des dimensions de 60 cm de longueur et 35 cm de la ligne de production miniature, y compris les robots d'assemblage et l'unité de convoyage (tapis roulant).de largeur. Cette plaque sert de plateforme principale pour le montage



Figure III.12. La plaque de base

III.3.10. Les roulements

Sont des **composants mécaniques** qui permettent de **réduire la friction entre deux pièces en rotation** ou en mouvement relatif. Ils facilitent ainsi la rotation ou le déplacement fluide d'un élément (comme un arbre ou un axe) dans une machine.

- + Brand : PPcdfre
- + Matériau : Métal, Caoutchouc
- + Fabricant : PPcdfre
- + Roulement largement utilisé, économique et standard.

- ✚ Fabriqué en acier à roulement de haute qualité, gorge profonde.
- ✚ Moins de friction, vitesses plus élevées et durabilité accrue.
- ✚ Joints spéciaux en caoutchouc double sans contact pour empêcher la saleté de pénétrer tout en offrant des performances sans friction.
- ✚ Installation et remplacement faciles.

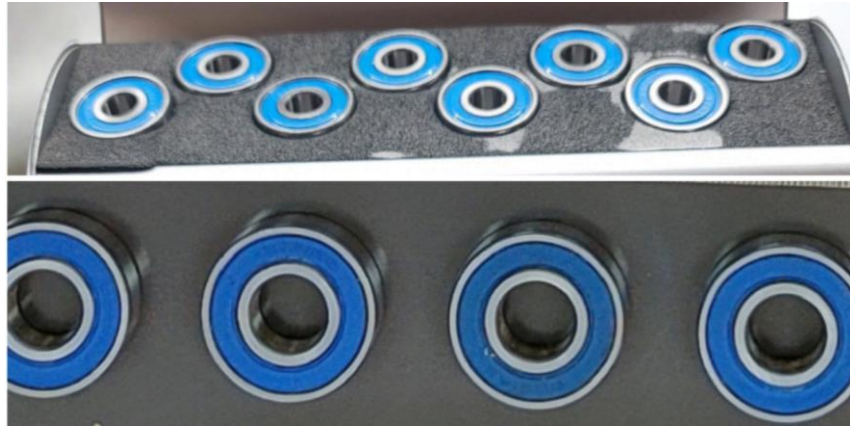


Figure III.13. Les roulements

III.2.11. Les supports de l'axe de rotation.

Deux sections de tuyau de conduite, généralement utilisées dans les réseaux de distribution d'eau domestique, ont été utilisées, chacune d'une longueur de 10 cm. Le diamètre intérieur de chaque tuyau a été modifié de manière à s'adapter précisément au diamètre extérieur des roulements (2,5 cm), afin d'assurer un maintien ferme et de réduire le jeu axial ainsi que les vibrations pendant le fonctionnement.

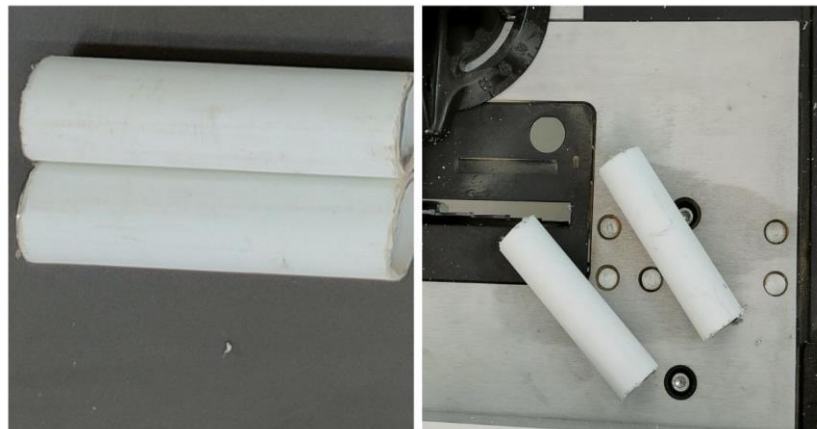


Figure III.14. Les supports de l'axe de rotation

III.2.12. Le support du tapis roulant

Elle est réalisée en panneau Forex, avec des dimensions précises de 48,5 cm de longueur, 9 cm de largeur, et une épaisseur approximative de 0,5 cm.

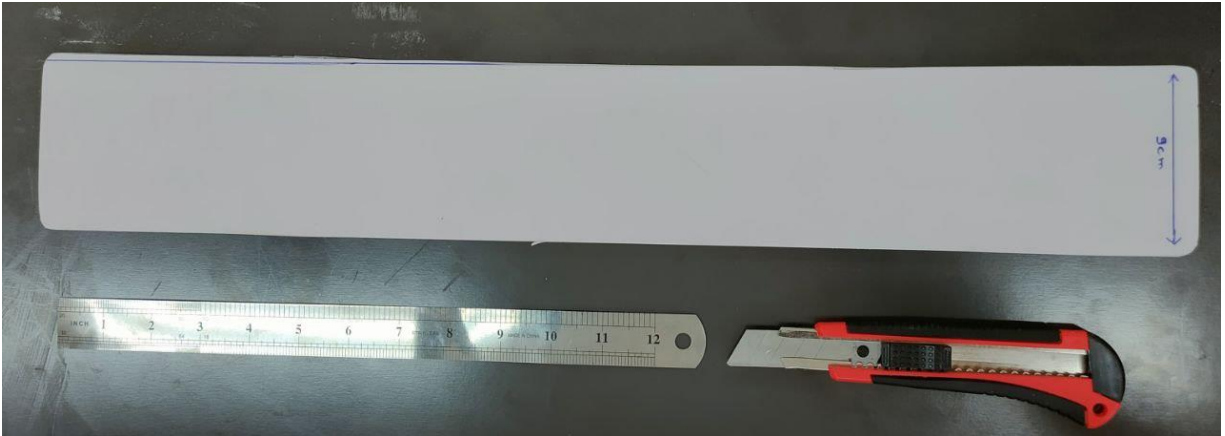


Figure III.15. Le support du tapis roulant.

III.2.13. Un morceau de cuir

Un morceau de cuir, d'une longueur de 120 cm après découpe, dont la longueur est réduite à 60 cm après couture, utilisé comme partie du tapis roulant, de couleur marron.



Figure III.16. Morceau de cuir

III.2.14. D'autres matériaux

Concerne les outils secondaires utilisés dans les opérations d'assemblage et de montage au sein de la ligne de production. Ces outils incluent les instruments auxiliaires qui soutiennent l'exécution précise des tâches, tout en garantissant l'efficacité opérationnelle et la sécurité du processus.

1. La colle : Afin de coller certaines des pièces qui sont placées dans le processus d'assemblage et incarner le robot



Figure III.17. La colle

2. Vis à métaux à tête cylindrique : Nous avons utilisé des vis de différentes longueurs et types dans le processus de fixation des pièces tridimensionnelles qui représentent les pièces du robot, dans le processus de fixation des moteurs à leurs emplacements spécifiques, et également dans le Processus de fixation de la carte Arduino à son emplacement spécifique.

Nous vous expliquerons tout cela dans le processus d'installation.

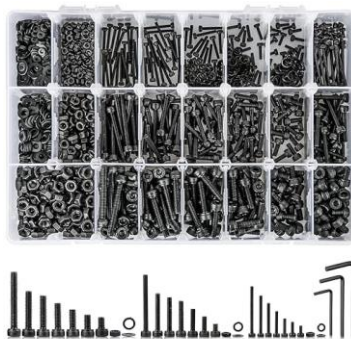


Figure III.18. Vis à métaux à tête cylindrique

3. **Élastiques** : Nous avons utilisé un élastique de 3 cm de diamètre pour la tête du robot, qui représente la poignée, où l'élastique joue le rôle du muscle de la poignée.



Figure III.19. Élastiques

4. **Fer à souder** : Nous l'avons utilisé dans le processus de soudure des fils du moteur après extension.



Figure III.20. Fer à souder

5. **Pince coupant** : Nous l'avons utilisé dans le processus d'extension des fils électriques des moteurs, comme expliqué au chapitre quatre.



Figure III.21. Pince coupant

6. Tournevis : Un tournevis avec différentes têtes est important dans le processus d'installation et d'assemblage des pièces.



Figure III.22. Tournevis

7. Engrenage plastic : Dans le système de transmission utilisé, un mécanisme d'engrènement entre les roues dentées a été adopté comme méthode principale pour transmettre le couple et le mouvement de rotation entre les composants mécaniques. Trois engrenages ont été intégrés dans ce système : deux comportant chacun 40 dents, et un troisième comportant 35 dents. Cette différence dans le nombre de dents permet d'obtenir des rapports de transmission variés qui influencent directement la vitesse de rotation et le couple transmis.

Cette configuration permet d'ajuster la relation entre la vitesse et le couple en fonction des exigences de l'application, que ce soit pour réduire ou augmenter la vitesse de rotation, ou pour renforcer le couple à certaines étapes de fonctionnement. L'utilisation d'engrenages avec un nombre de dents différent permet également de modifier le sens de rotation ou de réduire les pertes mécaniques dans certaines situations



Figure III.23. Engrenage plastic

8. Aiguille et fil : Le type d'aiguille ou de fil n'a pas d'importance.

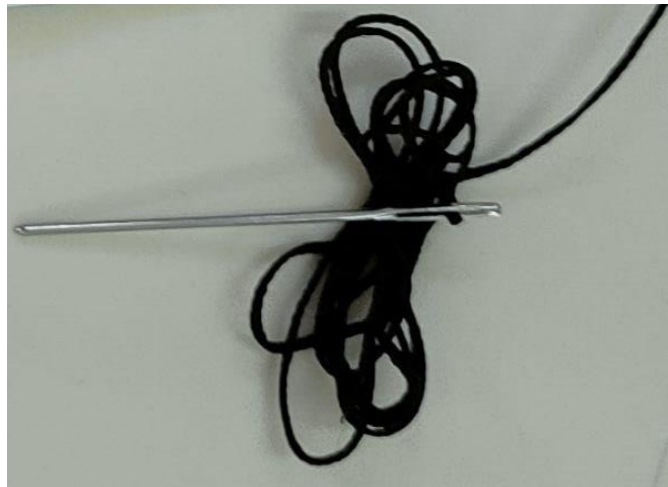


Figure III.24. Aiguille et fil

9. Une Règle : Règle en fer de 30 cm de long.

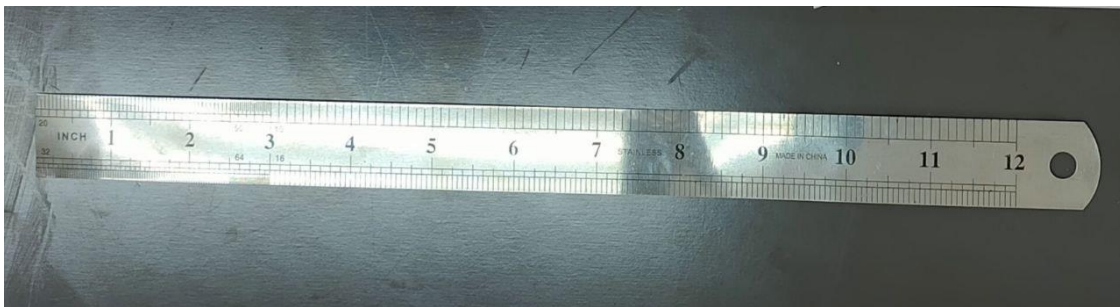


Figure III.25. Une Règle

10. Outil rotatif : Spécifications techniques :

- ✚ Source d'alimentation : 230 V / 50 Hz
- ✚ Consommation d'énergie : 160 W
- ✚ Vitesse : 5000 - 35000 tours par minute
- ✚ Diamètre de pince (min - max) : 0,8 - 3,2 mm
- ✚ Le paquet comprend :
- ✚ Mini meuleuse
- ✚ Ensemble d'accessoires : 200 pièces

- ✚ Arbre flexible
- ✚ Boîte en plastique transparent [30]



Figure III.26. Outil rotatif [30]

II.3. Les Outils d'assemblage des robots

Dans cette partie nous présentons les pièces des robots d'assemblage ainsi que les composants de la voiture à assembler, spécifiquement du point de vue de la conception et de l'impression. La description inclura une explication technique de chaque pièce, en mettant également en lumière les caractéristiques de ces composants.

III. 3.1. Pièces de robot

Les composants mécaniques de ce robot ont été développés et utilisés pour utiliser le logiciel de modélisation 3D SolidWorks. Le système est composé de 18 pièces, il fonctionne donc avec des normes strictes de technologie de conception, pour assurer un mouvement fluide et une réponse mécanique efficace. Le processus de conception repose sur le calcul précis des dimensions, des points de fixation, de la mécanique de rotation et de la liaison entre les différentes pièces, garantissant un assemblage et un fonctionnement optimal. Ces composants sont fabriqués par impression 3D L'imprimante 3D Elegoo Neptune 4 Max utilise la technologie Fused Deposition Modeling (FDM)

Et dispose également d'un laboratoire de recherche et de fabrication à l'Université Mohamed Khider - Biskra. Cela permet la production de prototypes avec une physique de haute précision, conforme aux numéros de modèle et possibilité de tests pratiques pour garantir la qualité des performances et l'efficacité de la conception.

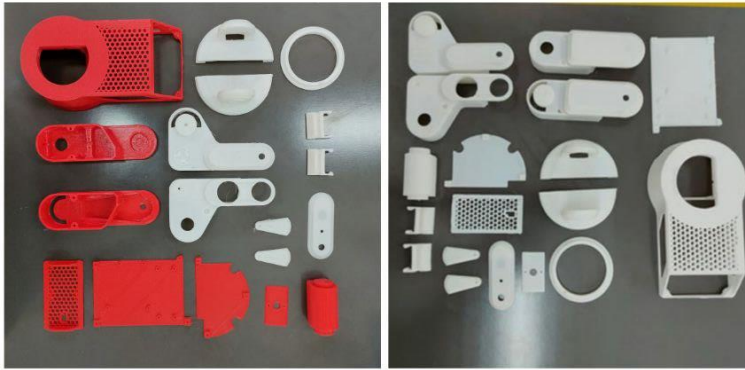


Figure III.27. Pièces de robot



Figure III.28. Logo de FABLAB

III.5.2. Pièces de la La voiture

Les pièces présentées dans les images jointes représentent les composants principaux du véhicule à assembler dans le cadre du projet de ligne de montage automobile miniature. Ce véhicule a été conçu à l'aide du logiciel SolidWorks 2025, et se compose de plusieurs éléments détachables et réassemblables, notamment :

- ✚ les quatre portières,
- ✚ le capot avant (Capot),
- ✚ et le coffre arrière (Coffre).



Figure III.29. SolidWorks 2025[31]

Chaque pièce a été conçue de manière à inclure un point de fixation spécifique adapté à la pince du bras robotisé, facilitant ainsi la prise, le levage et l'installation des éléments par le système robotisé de la ligne d'assemblage.

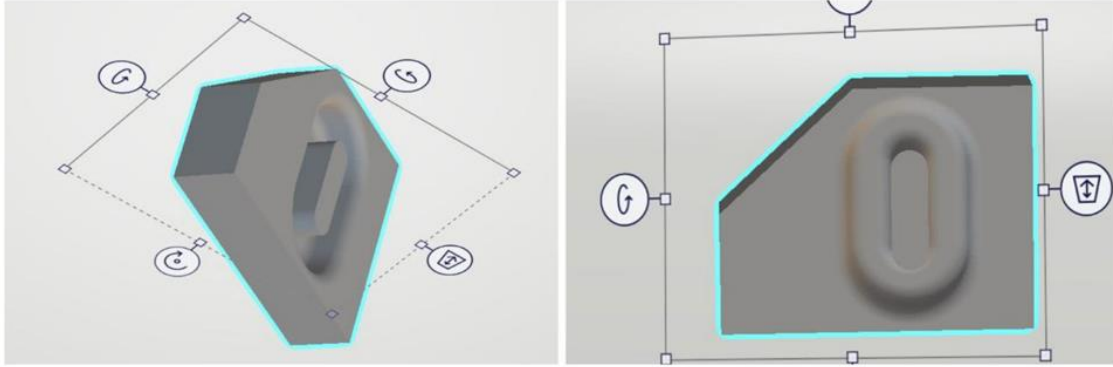


Figure III.30. Les points de fixation spécifique

Le véhicule présente des dimensions moyennes compatibles avec la capacité du convoyeur automatique utilisé dans ce projet, ce qui garantit un transport fluide et une stabilité adéquate pendant les différentes étapes d'assemblage.

Toutes les pièces ont été fabriquées par impression 3D dans le FabLab (Laboratoire de fabrication et d'innovation scientifique) de l'Université Mohamed Khider – Biskra, dans le cadre du développement d'un prototype physique du véhicule.



Figure III.31. Logo de FABLAB

Les images ci-dessous illustrent l'aspect tridimensionnel des pièces conçues, ainsi que des prises de vue documentant le processus d'impression à l'aide de l'imprimante 3D.



Figure III.32. Pièces de La voiture

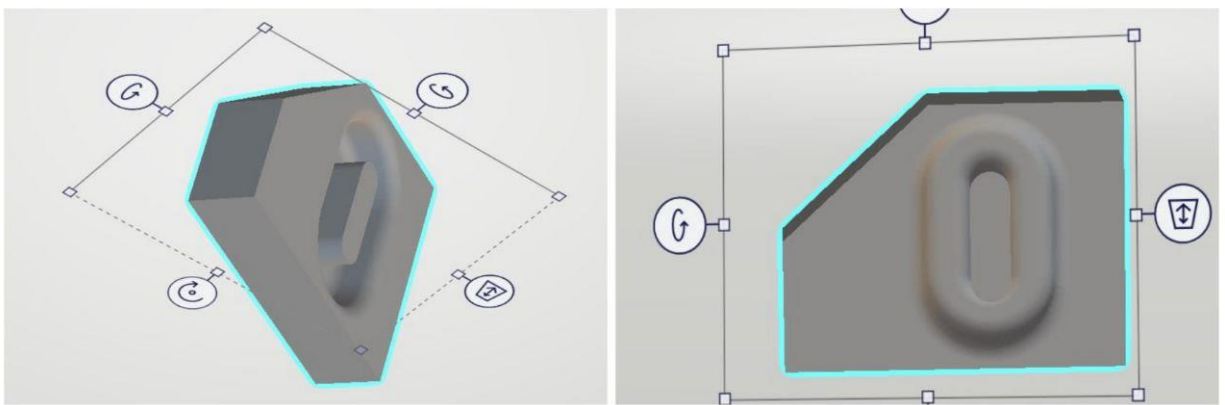


Figure III.33. Pièces de port

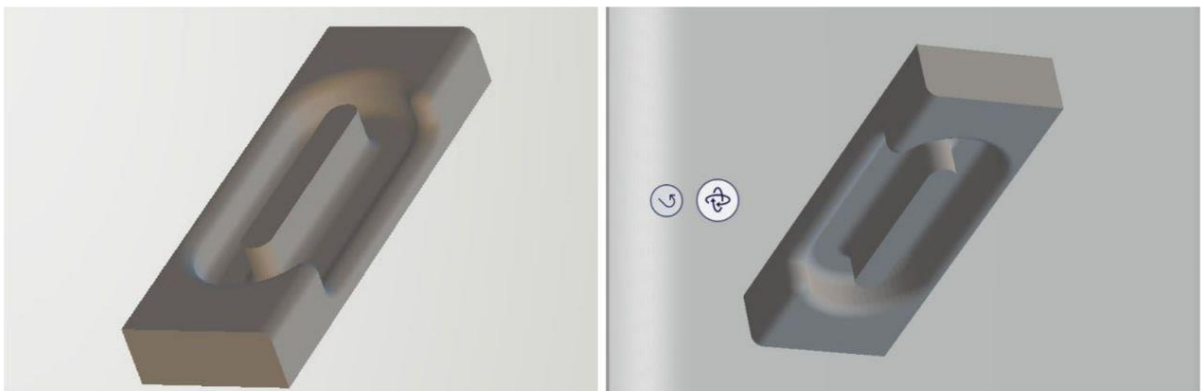


Figure III.34. Pièces de coffre



Figure III.35. pièces réelle de automobiles

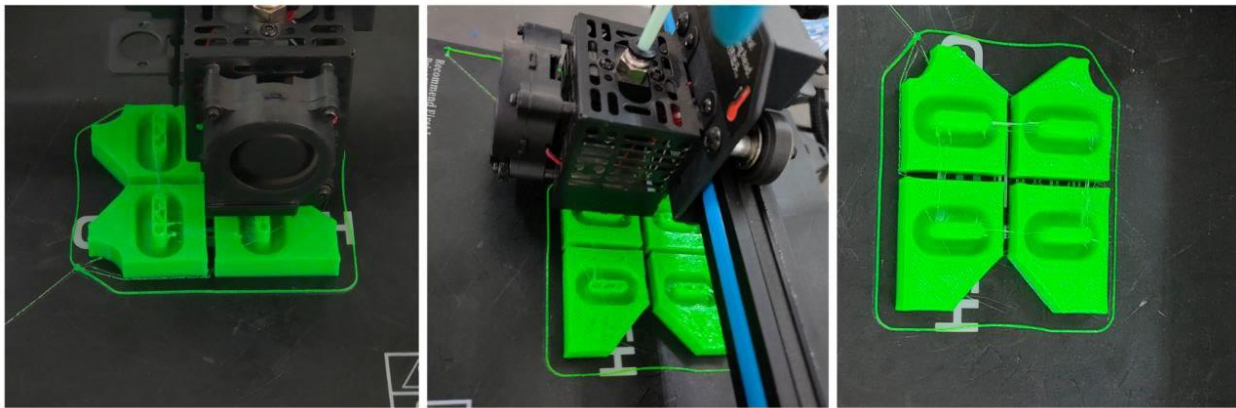


Figure III.36. Pièces dans une imprimante 3D

III.5. Le logiciel utilisé pour la conception des pièces

III.5.1. SolidWorks

est l'un des programmes de conception assistée par ordinateur (CAO) les plus puissants et est largement utilisé dans des domaines tels que l'ingénierie mécanique, la conception industrielle et l'architecture. Il dispose d'une puissante capacité à créer des conceptions 3D précises et à dessiner des diagrammes d'ingénierie 2D, en plus d'outils avancés pour simuler et analyser les performances dans diverses conditions telles que la contrainte, la température et le mouvement. Il permet également la conception et l'assemblage de pièces pour former des produits intégrés, avec la possibilité d'inspecter les interférences et d'analyser les mouvements, ce qui les rend excellents pour le développement de prototypes et de produits finis. Le programme dispose d'une interface

utilisateur relativement simple par rapport à d'autres programmes de CAO et prend en charge la compatibilité avec les processus de fabrication tels que l'impression 3D et l'usinage CNC. Il est disponible en plusieurs versions qui varient en termes d'outils et de capacités, telles que Standard, Professional et Premium, et nécessite des spécifications de fonctionnement assez puissantes telles qu'un processeur moderne, une grande quantité de RAM et une carte graphique professionnelle. Grâce à ces fonctionnalités, SolidWorks est un outil tout-en-un permettant d'accélérer les processus de conception, d'améliorer la qualité et de réduire les coûts dans divers secteurs [31] .



Figure III.37. logo de solidworks [31]

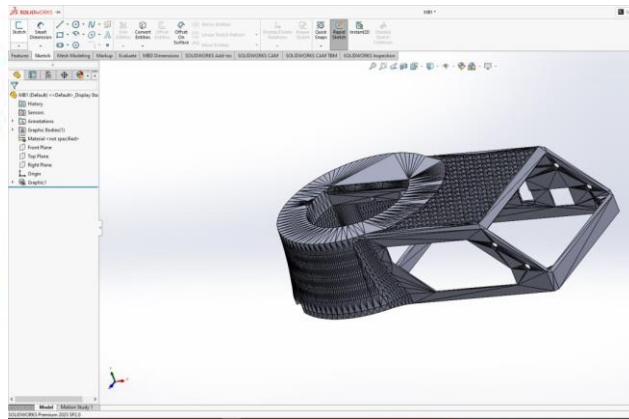


Figure III.38. interface de solidwork

La version SolidWorks 2025 apporte une série d'améliorations techniques visant à accélérer et simplifier les processus de conception et de développement.

III.5.2. Améliorations techniques dans SolidWorks 2025

1. Améliorations des performances et de la gestion des grands assemblages

- ✚ Accélération de l'ouverture et de l'enregistrement des grands assemblages.
- ✚ Optimisation de la gestion des composants pour réduire la consommation des ressources.

2. Renforcement de la collaboration et de la gestion des données

- ✚ Meilleure intégration avec la plateforme 3DEXPERIENCE pour faciliter la collaboration entre les équipes.
- ✚ Améliorations des outils de gestion du cycle de vie du produit (PDM) afin d'accélérer les processus d'approbation et la génération des mises en plan.

3. Améliorations en conception électrique et intégration ECAD/MCAD

Extension des capacités de CircuitWorks pour inclure l'importation des caractéristiques de cuivre internes et externes, facilitant ainsi l'analyse de la masse, de la chaleur et de la structure.

Améliorations dans la conception des câblages et des systèmes électriques pour simplifier la création et la modification des schémas.

4. Améliorations de l'interface utilisateur et de l'expérience d'utilisation

-  Nouveaux outils pour accélérer les processus de sélection et de dessin.
-  Améliorations dans l'importation et l'exportation de fichiers pour une meilleure compatibilité avec d'autres logiciels.

3. Intégration avec les services cloud

SolidWorks 2025 renforce son intégration avec les services cloud grâce à :

-  L'accès aux conceptions depuis n'importe quel endroit via Internet.
-  Une collaboration facilitée entre des équipes situées à différents endroits.
-  Une gestion améliorée des versions et des fichiers à travers le cloud.

III.6. L'imprimante 3D Elegoo Neptune 4 Max

L'imprimante 3D FDM Elegoo Neptune 4 Max est un appareil de pointe et polyvalent, conçu pour les passionnés, les créateurs et les professionnels souhaitant donner vie à leurs projets d'impression 3D. Grâce à ses fonctionnalités avancées et à sa conception intuitive, la Neptune 4 Max offre une expérience d'impression fluide et efficace.

Équipée d'un châssis en aluminium robuste, cette imprimante 3D FDM (Found Deposition Modeling) allie durabilité et stabilité, garantissant une impression précise et fiable. Son grand volume d'impression offre un espace généreux pour créer facilement des objets complexes et volumineux.



Figure III.39. L'imprimante 3D Elegoo Neptune 4 Max

L'imprimante est équipée d'un système d'extrusion à entraînement direct, améliorant le contrôle du filament et prenant en charge une large gamme de matériaux, notamment le PLA, l'ABS, le TPU, etc. Cette polyvalence permet aux utilisateurs d'expérimenter différents matériaux pour obtenir les caractéristiques souhaitées.

Une interface tactile simplifie l'expérience utilisateur grâce à des commandes intuitives pour naviguer dans les paramètres et suivre le processus d'impression. La Neptune 4 Max intègre également des moteurs pas à pas silencieux, minimisant le bruit de fonctionnement et contribuant à un environnement de travail plus silencieux.

De plus, l'imprimante intègre des fonctionnalités telles que le nivellement automatique du plateau et la détection du filament, simplifiant ainsi la configuration et réduisant les risques d'erreurs d'impression. Le plateau chauffant assure une adhérence optimale et minimise les risques de déformation pendant l'impression.

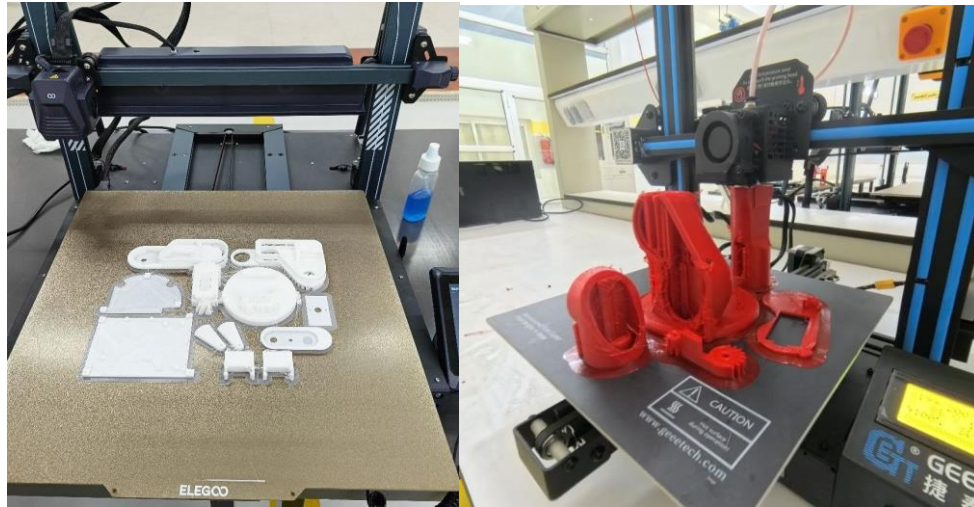


Figure III.40. Le processus d'impression des pièces

Avec son design élégant, ses fonctionnalités avancées et sa compatibilité étendue, l'imprimante 3D FDM Elegoo Neptune 4 Max est un outil fiable pour les projets créatifs, le prototypage et la production d'impressions 3D de haute qualité, avec précision et efficacité. Que vous soyez amateur ou professionnel, la Neptune 4 Max offre une plateforme robuste pour transformer vos conceptions imaginatives en réalités tangibles.



Figure III.41. L'imprimante 3D Elegoo Neptune 4 Max

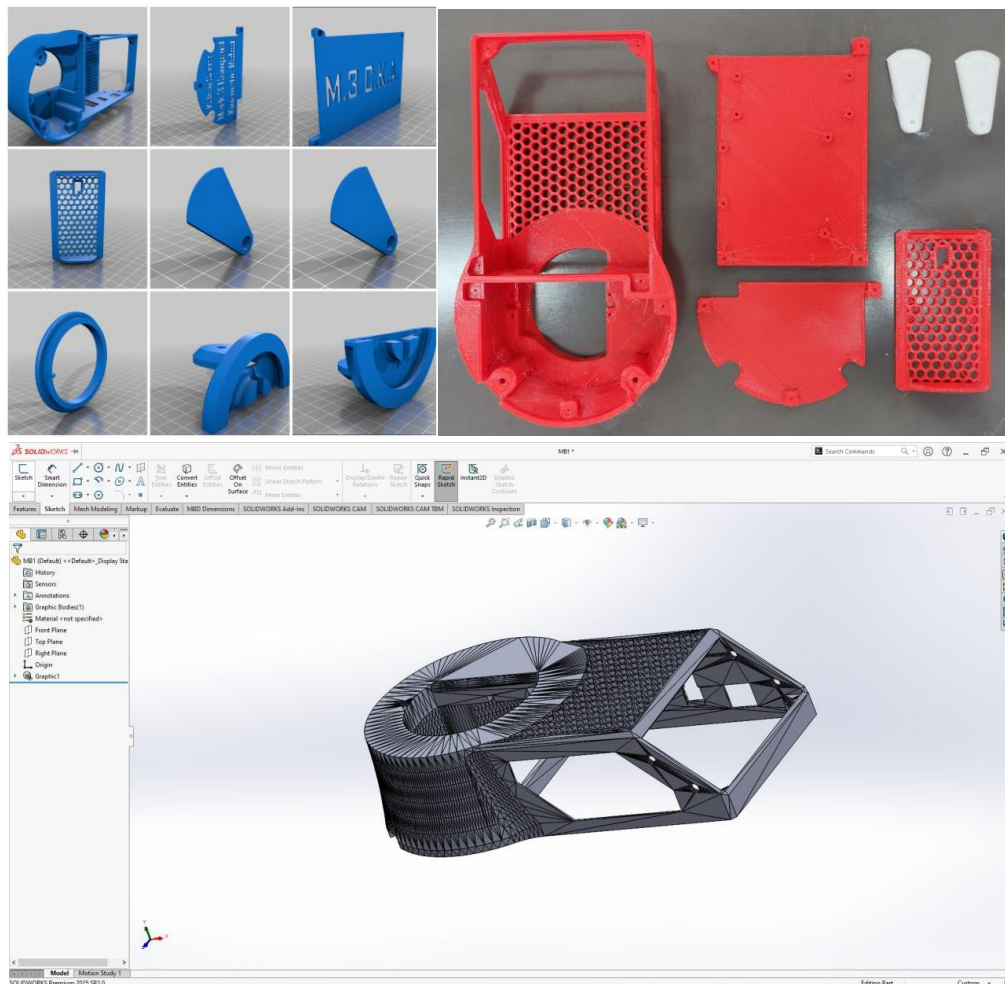
III.7. Description des pièces

III.7.1. la base de bras robotique

L'image présente un ensemble de composants formant la base d'un bras robotique, élément fondamental dans la cinématique du robot. Chaque pièce a été modélisée avec une grande précision pour assurer une fonction spécifique, contribuant à un mouvement fluide et fiable de l'ensemble. L'assemblage est constitué de sept pièces, clairement identifiables sur le visuel.

La base intègre un axe de rotation à 360 degrés, actionné par un servo-moteur de 25 kg•cm, délivrant un couple élevé, parfaitement adapté aux exigences de performance dynamique et à la manipulation de charges importantes, ce qui en fait une solution optimale pour ce type d'application robotique.

Équipé de ports de ventilation optimisés pour réduire la température, ce qui contribue à assurer des performances fonctionnelles stables et efficaces.



Figures III.42. Pièces de robot

La pièce se compose de quatre entrées C'est montré sur la photo.:

- ✚ La première entrée est utilisée pour le transfert de la programmation depuis la carte Arduino via un câble USB de type A B.
- ✚ La deuxième entrée est destinée à l'alimentation électrique de 5 volts provenant du Transformateur électrique de 220 V AC à 5 V DC.
- ✚ La troisième entrée est concerne l'interrupteur ON/OFF destiné à l'activation et à l'arrêt du robot.
- ✚ La quatrième entrée de la lampe LED



Figure III.43. les entrées de pièce

La base du robot comporte des emplacements spécifiques pour le montage de la carte Arduino et du driver des moteurs. Ces emplacements sont spécialement conçus pour s'adapter aux dimensions de chaque composant, et les fixations se font à l'aide de vis appropriées assurant leur stabilité et leur maintien pendant le fonctionnement.

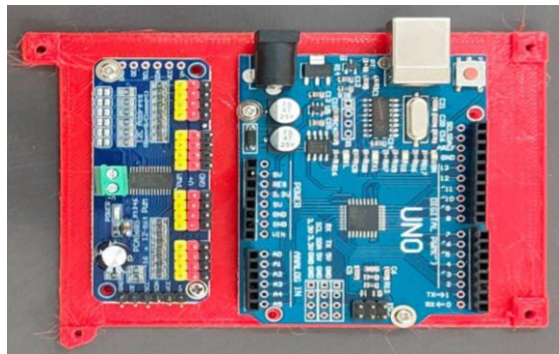


Figure III.44. de la carte Arduino et du driver des moteurs

III.8.2. Tronc central du robot

L'image illustre un ensemble de composants modélisés à l'aide du logiciel SolidWorks. Ces huit éléments constituent la section critique et la plus sensible du bras robotique, intégrant trois degrés de liberté correspondant aux axes de rotation fondamentaux du système.

Chaque pièce a été conçue avec une haute précision afin de permettre une cinématique fluide et contrôlée, garantissant ainsi une grande exactitude dans l'exécution des mouvements et une performance optimale du robot.

La fluidité du mouvement est assurée par des servomoteurs intégrés aux axes de rotation, capables d'effectuer une rotation jusqu'à 180 degrés, offrant un large spectre de mobilité fonctionnelle.

Ces pièces intègrent des emplacements de fixation précisément définis pour chaque vis, chaque position étant conçue pour correspondre au type de vis qui lui est dédié. Cela garantit un serrage efficace, empêche tout desserrage ou vibration pendant le fonctionnement, et contribue à la stabilité des composants ainsi qu'à la performance mécanique optimale.



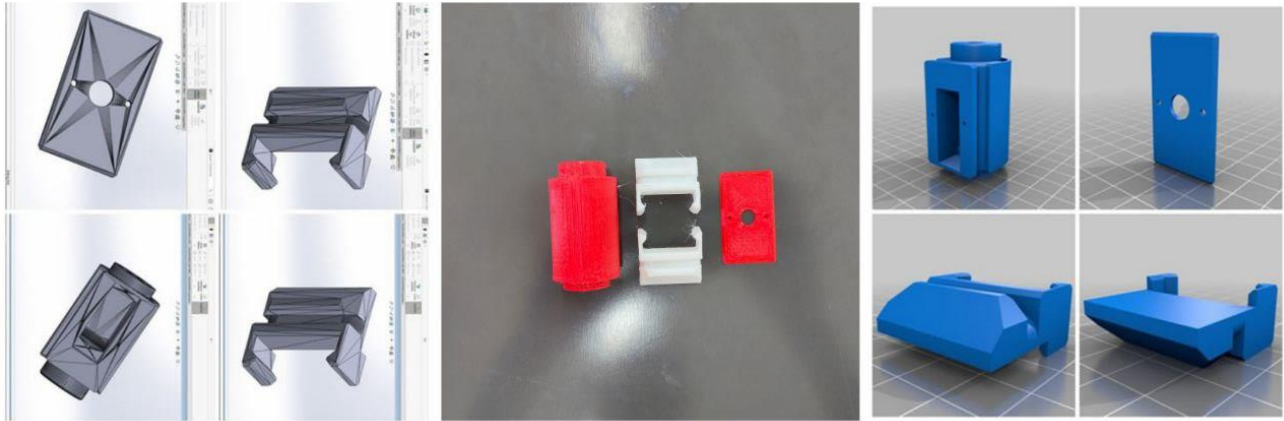
Figures III.45. Pièce tronc central du robots

III.7.3. Poignée de robot

L'image illustre quatre composants mécaniques modélisés avec le logiciel SolidWorks, qui une fois assemblés, forment le préhenseur du bras robotique, élément essentiel pour la préhension et la manipulation des objets.

Le préhenseur a été conçu avec une grande précision afin d'assurer la protection des pièces manipulées, souvent fragiles ou sensibles, en garantissant une prise contrôlée et sans dommages.

Ce sous-système intègre un micro servo-moteur 9g SG90 de 180 degrés, assurant des mouvements précis et fluides, rendus possibles grâce à une architecture mécanique interne optimisée pour une réponse rapide et stable.



Figures III.46. Pièces de Poignée

Une cavité dédiée a été conçue avec une grande précision
À l'intérieur de la pince du robot afin d'accueillir le moteur
De manière parfaitement ajustée,
Éliminant ainsi tout espace pouvant nuire à l'efficacité
Mécanique de la pince.

Le moteur est fixé en place à l'aide de petites vis,
Insérées dans des orifices spécialement prévus à cet effet,
Répartis de manière à assurer une fixation mécanique stable
Et à minimiser les vibrations pendant le fonctionnement.



Figures III.47. La cavité du moteur de la poignée.

III.9. Conclusion

Une fois l'assemblage et l'intégration de l'ensemble des composants décrits ci-dessus terminés, on obtient une ligne d'assemblage automobile complète intégrant deux robots de montage, chacun doté de cinq degrés de liberté correspondant aux axes de rotation fondamentaux du robot. Cela permet un mouvement fluide et une performance cinématique optimisée sur le plan mécanique.

Tous les aspects techniques liés aux opérations d'assemblage et de montage seront détaillés dans le chapitre suivant.

Chapitre IV

Conception et Réalisation de deux Robots industriels pour une chaine Production de voitures à Base de Carte Arduino Uno

IV.1. Introduction

La phase de matérialisation et d'assemblage constitue l'une des étapes les plus cruciales de ce projet, car elle représente la base opérationnelle sur laquelle reposent toutes les actions ultérieures en vue d'atteindre l'objectif final : la mise en place d'une ligne d'assemblage de voitures fonctionnant avec une grande précision et une efficacité optimale. Cette section présentera une documentation complète de toutes les étapes de matérialisation, allant de l'assemblage mécanique des composants à l'implémentation de la programmation et du contrôle, garantissant ainsi une exposition détaillée et intégrée de toutes les informations techniques nécessaires à la compréh

IV.2. Réalisation de Bras de robot d'assemblage

IV.2.1. Première étape

Préparation des servomoteurs et extension des câbles de connexion. Dans cette phase, cinq servomoteurs sont pris en charge, répartis comme suit :

-  2 servomoteurs à rotation continuë (360 degrés de type SPT5425LV 25KG).
-  2 servomoteurs standards à rotation limitée (180 degrés de type Mg996R).
-  1 micro servomoteur de type SG90, à rotation de 180 degrés.

Les servomoteurs sont généralement fournis avec des câbles de connexion courts. Il est donc nécessaire de prolonger ces câbles afin d'assurer une portée de mouvement suffisante et d'éviter toute contrainte mécanique sur les points de connexion.

1. Extension des câbles de connexion de servomoteur SG90

Des fils supplémentaires de haute qualité sont utilisés pour prolonger les connexions électriques de l'ensemble des servomoteurs, en veillant à respecter les spécifications de courant pour éviter les pertes de tension.

Pour le micro servomoteur SG90, une rallonge de 30 cm est ajoutée afin de garantir une flexibilité optimale durant le fonctionnement.

L'alimentation électrique et les signaux de commande sont transférés depuis la carte Arduino et le driver de servomoteurs vers les moteurs via ces câbles prolongés.

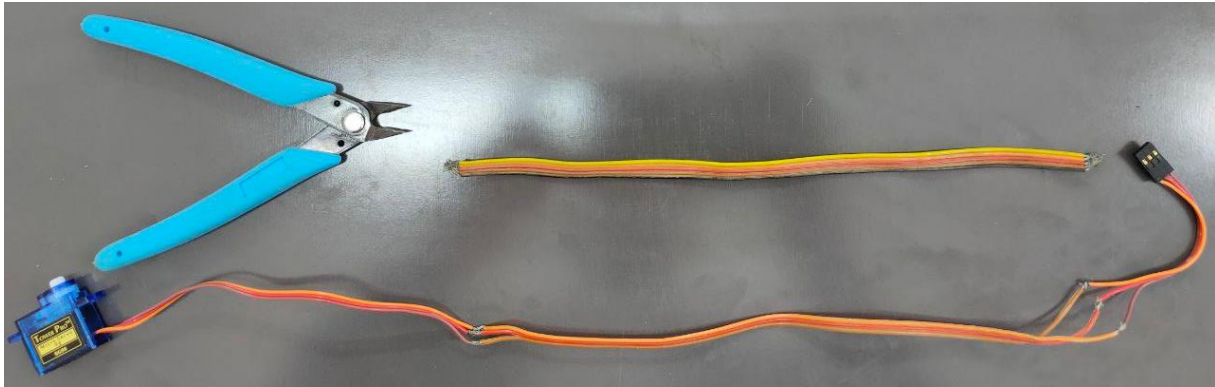


Figure IV.1. Extension des câbles de connexion de servomoteur SG90

2. Fixation et sécurisation des connexions

Un fer à souder est utilisé pour souder les câbles supplémentaires aux câbles d'origine des servomoteurs, en s'assurant de la propreté des surfaces métalliques et de la qualité des soudures.

Des gaines thermorétractables sont recommandées (si disponibles) pour isoler et protéger mécaniquement les points de soudure.

Des outils spécialisés tels qu'un coupe-câbles et un dénudeur sont utilisés pour préparer les fils avec précision avant la soudure.



Figure IV.2. coupe-câbles



Figure IV.3. fer à souder

3. Extension des câbles de connexion de

Nous allons répéter la même étape avec les quatre moteurs restants, en utilisant des câbles d'un type différent ne nécessitant pas de soudure, car ils sont munis de connecteurs mâle/femelle per quatre moteurs mettant une insertion directe dans les ports dédiés. Ce type de connexion facilite l'installation et le démontage, ce qui simplifie les opérations de maintenance et de remplacement si nécessaire. La longueur des câbles est de 15 cm, ce qui constitue une dimension idéale pour garantir une alimentation électrique stable et un transfert de mouvement efficace, sans provoquer de perturbations ou d'interférences dans le système.

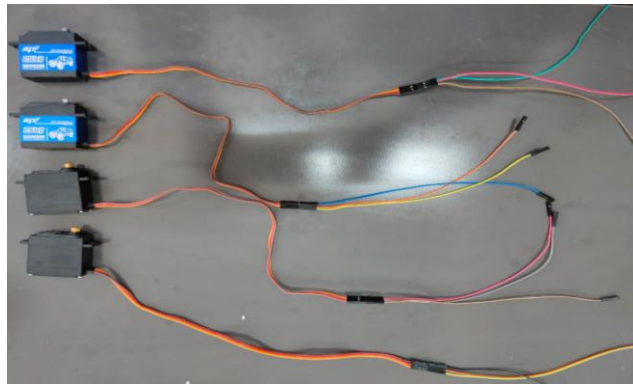


Figure IV.4. Extension des câbles de connexion de quatre moteurs

IV.2.2. Deuxième étape

Dans la deuxième étape, nous allons préparer la poignée du robot.

La première action consiste à fixer le moteur SG90 avec un angle de rotation de 180 degrés à son emplacement dédié, après avoir fait passer le fil que nous avons prolongé à travers son chemin prévu.

Ensuite, le moteur sera fixé à l'aide des petites vis fournies dans le kit multifonction.

L'image ci-dessous illustre cette opération en détail.

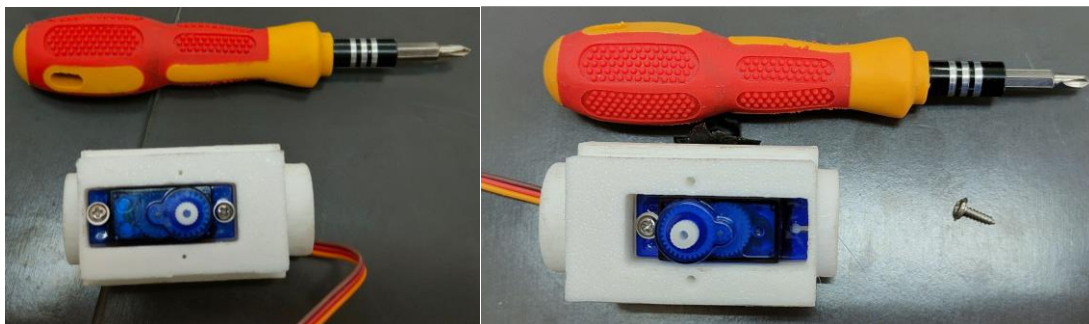


Figure IV.5. La préparation de poignée de robot

Ensuite, le couvercle rectangulaire est installé à son emplacement dédié afin d'assurer la protection du moteur. Le couvercle est fixé à l'aide de petites vis spéciales, comme indiqué sur la figure ci-dessous.

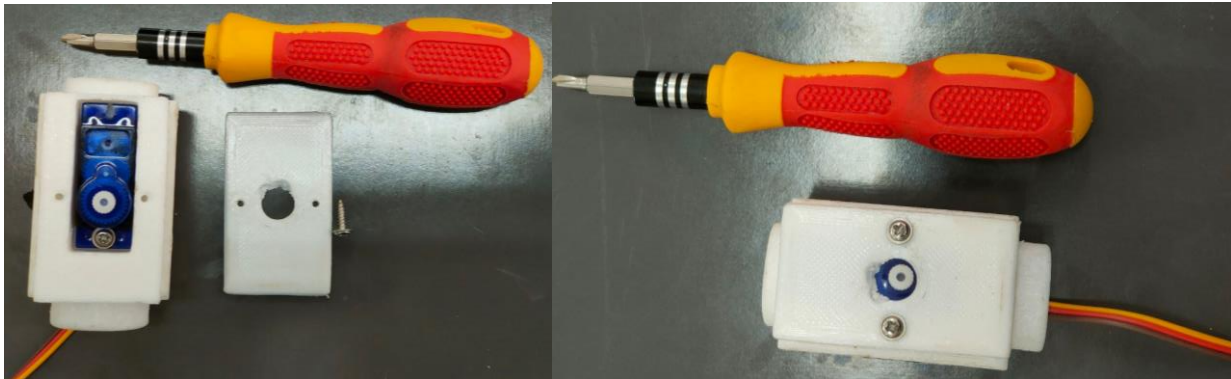


Figure IV.7. La fixation de couvercle rectangulaire

Puis, les doigts de la poignée sont montés dans leurs emplacements, ce qui leur permet de se déplacer le long de l'axe X en va-et-vient.

L'ouverture de la poignée est assurée par le moteur SG90, qui effectue une rotation selon un angle programmé. La fermeture ou la contraction de la poignée est réalisée grâce à l'élastique, dont le rôle dans la connexion de l'engrenage a été expliqué précédemment. La figure ci-dessous illustre cette opération en détail.

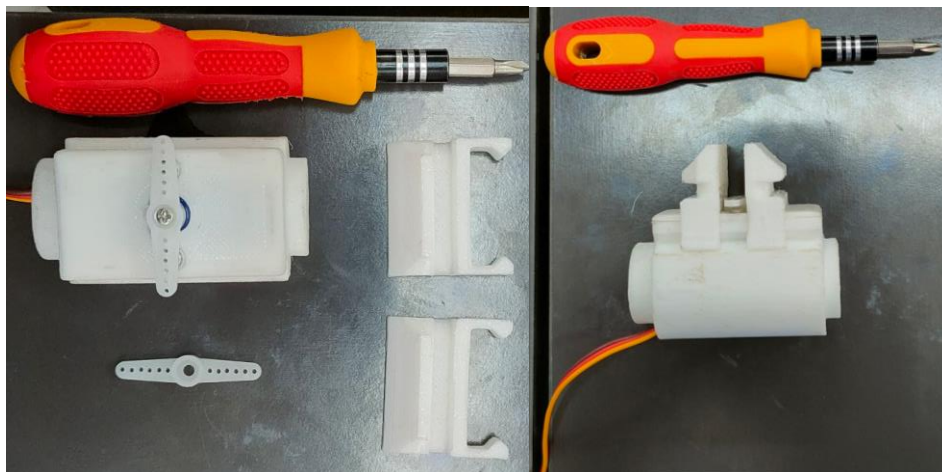


Figure IV.7. Installation des doigts de la poignée

Lors de l'étape suivante, le disque équipé de dents mécaniques spécialement conçues pour la transmission du mouvement par engrenages est fixé. Ce disque constitue un élément fonctionnel essentiel dans l'un des degrés de liberté du bras robotique.

Une adhésive industrielle haute performance, spécialement formulé pour les applications mécaniques de précision, est utilisé afin d'assurer une liaison solide et durable entre la surface du disque et les surfaces de contact dans la structure cinématique, garantissant ainsi une stabilité mécanique fiable et empêchant tout glissement ou perte de transmission du mouvement.

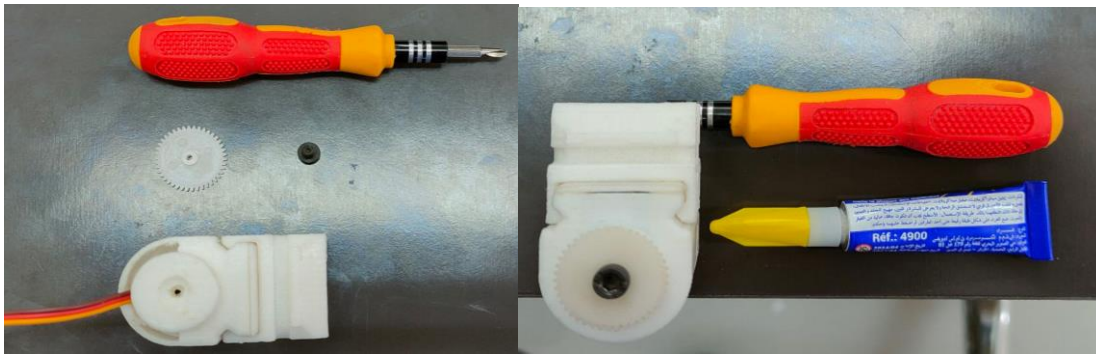


Figure IV.8. Installation de engrenages de transmission

IV.2.3. Troisième étape

Préparation du tronc central du robot (Tronc du robot) . Cette étape constitue une phase essentielle dans la construction de la structure générale du robot. Elle consiste à préparer le tronc central, désigné dans la terminologie technique par "Tronc" ou "Structure centrale du robot". Cette partie représente l'élément structurel central reliant la base, les extrémités et la tête, et constitue le support principal sur lequel reposent les autres composants mécaniques et électroniques du robot.

Le processus de préparation de la partie centrale du robot commence par l'installation des moteurs de mouvement, où un servomoteur avec un angle de rotation de 180 degrés est préparé. Les engrenages de transmission sont fixés avec précision sur l'axe dédié, qui constitue l'un des axes de rotation principaux du robot. L'engrenage est fixé à l'aide de vis spéciales avec l'ajout d'une bague d'appui (entretoise) pour éliminer tout jeu entre le moteur et l'engrenage, ce qui améliore la stabilité du mouvement et garantit une rotation précise et stable autour de l'axe central. Cela est illustré dans les figures ci-dessous.

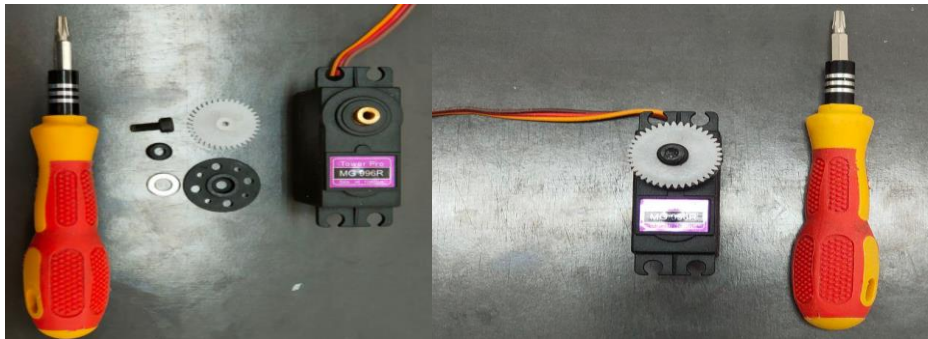


Figure IV.9. Installation d'engrenages de transmission Dans l'axe du servomoteur

Après avoir fixé l'engrenage en place, vient l'étape d'installation du moteur dans son emplacement dédié au sein d'une pièce de la structure du robot. Cette opération est réalisée à l'aide de vis spéciales, insérées dans des emplacements précis conçus avec soin pour correspondre parfaitement à la forme du moteur et aux points de fixation des vis. Le processus d'installation est illustré dans les figures ci-dessous.



Figure IV.10. La fixation de moteur dans la pièce de robot

La même procédure de fixation est répétée avec le second servomoteur à rotation de 180 degrés, installé dans la même unité mécanique de la structure du robot, à l'intérieur de son logement dédié, conçu avec précision. Le moteur est fixé à l'aide de vis du même type que celles utilisées précédemment, insérées dans des points de fixation prévus pour correspondre géométriquement aux dimensions du moteur et à ses orifices de fixation. La figure ci-dessous illustrent cette étape de l'assemblage.

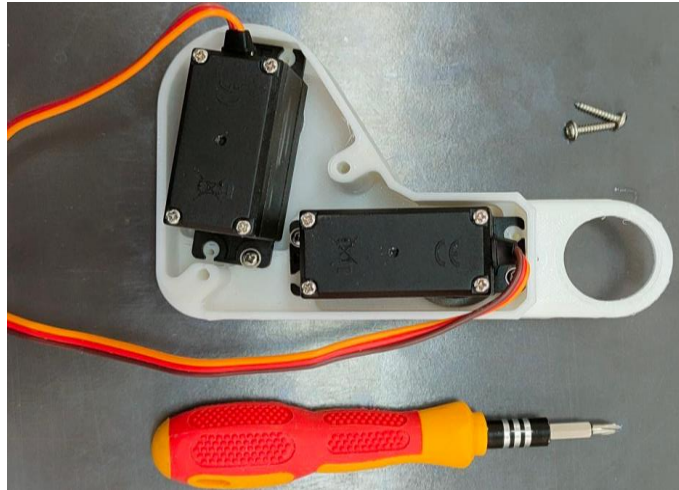


Figure IV.11. La fixation de 2e moteur dans la pièce de robot

Après l'installation des deux servomoteurs à rotation de 180 degrés dans leurs emplacements prévus au sein de la structure, on procède à l'assemblage des deux moitiés du châssis. Cette étape est précédée par le passage des câbles électriques à travers une ouverture dédiée, spécialement conçue pour permettre leur acheminement sans contrainte, garantissant ainsi une liberté de mouvement optimale du robot dans toutes les directions, sans sollicitation excessive des fils.

Les deux moitiés du châssis sont fixées à l'aide de vis à tête plate de type BTR M3×25, insérées dans des points d'ancrage usinés avec précision afin d'assurer une répartition homogène des forces et une liaison mécanique robuste entre les deux parties. Toutes les étapes de ce processus sont illustrées dans les figures ci-dessous.

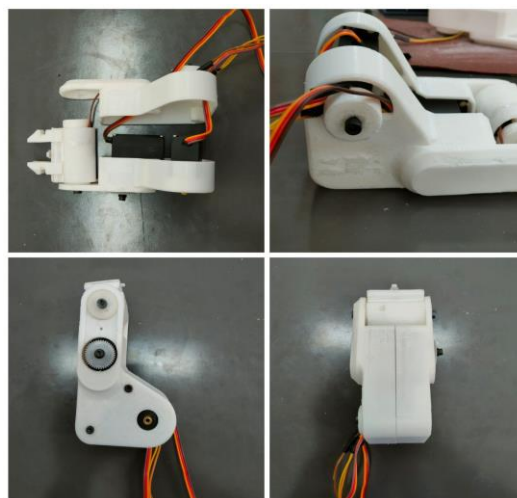


Figure IV.12. Assemblage de pièces de robot avec le poignet

À ce stade, nous passons à l'étape de fixation du disque servant de support mécanique pour l'un des axes de rotation, dans son emplacement spécifiquement conçu au sein de la structure du robot. La fixation est réalisée à l'aide d'un adhésif industriel à haute performance, garantissant une liaison solide et durable dans le temps, sans compromettre les performances dynamiques du système. La surface de contact a été conçue avec précision afin d'optimiser l'adhérence mécanique entre le disque et la structure. La figures ci-dessous illustrent les détails de cette opération.

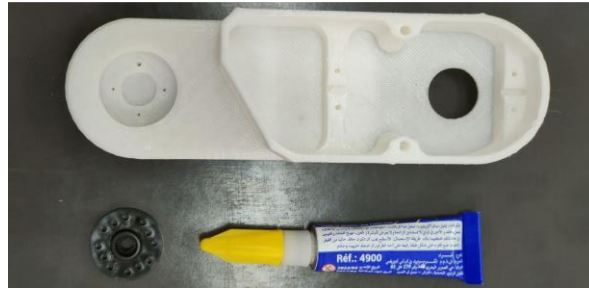


Figure IV.13. Fixation du disque

Après l'installation du disque support de l'axe de rotation, on procède à l'étape de montage du servomoteur à rotation de 360 degrés dans son emplacement dédié au sein d'un élément de la structure du robot.

La fixation est réalisée à l'aide de vis spéciales assurant une stabilité mécanique optimale du moteur pendant le fonctionnement, tout en minimisant les déplacements ou vibrations pouvant affecter la précision du mouvement.

Les points de fixation ont été conçus avec précision pour s'adapter aux dimensions du moteur et permettre une répartition équilibrée des contraintes. Les figures ci-dessous illustrent les détails de cette phase d'assemblage.

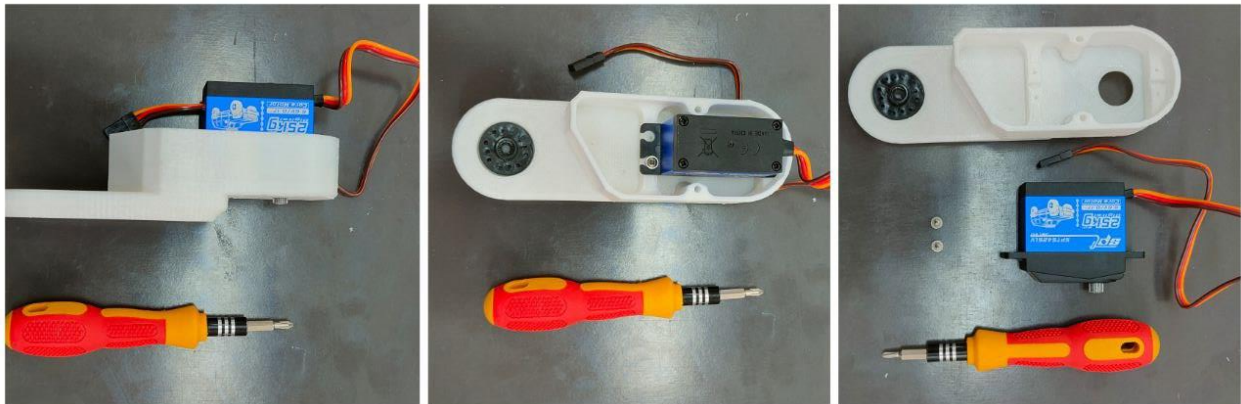


Figure IV.14. La fixation de 3e moteur dans la pièce de robot

IV.2.4. Quatrième étape

Après l'achèvement de l'assemblage des composants mécaniques et électroniques de la partie centrale du robot, commence l'étape d'installation des éléments constituant la base du robot.

Cette opération est réalisée selon un enchaînement de phases bien défini, visant à assurer l'intégration structurelle optimale entre la base et la partie centrale, tout en garantissant la stabilité mécanique et l'accessibilité aux connexions.

Chaque étape du processus d'assemblage sera illustrée à travers une série d'images explicatives.

Dans la première étape de l'assemblage de la base du robot, un servomoteur à rotation de 360 degrés, capable de produire un couple de 25 kg.cm, est installé dans son emplacement dédié au sein de l'élément central de la base.

La position de montage a été conçue avec une précision mécanique afin d'être centrée parfaitement, garantissant ainsi une rotation symétrique autour de l'axe vertical du robot.

La fixation du moteur est assurée par des vis spéciales, offrant une stabilité mécanique élevée au sein de la structure de la base, tout en maintenant des performances dynamiques précises pendant le fonctionnement.

Tous les détails de cette opération sont illustrés dans Les figures ci-dessous.

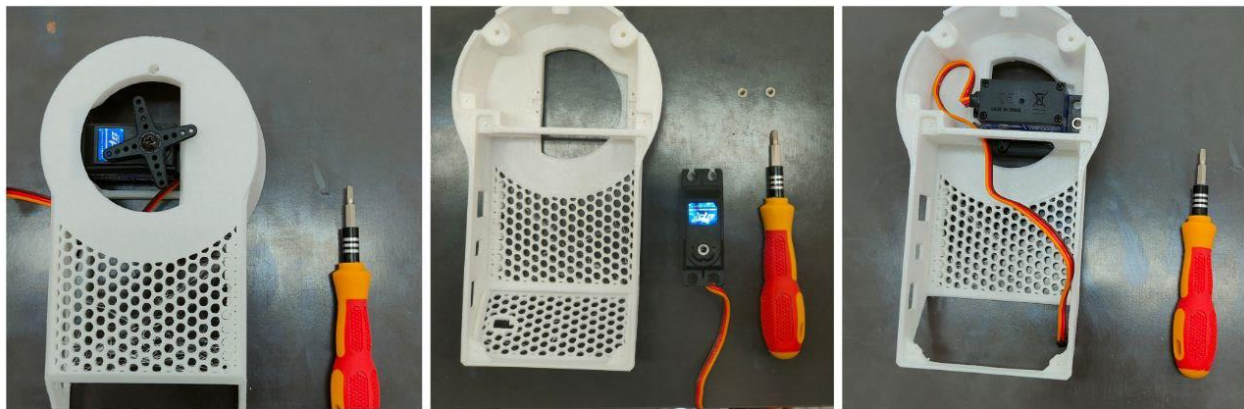


Figure IV.15. La fixation de 4e moteur dans la base de pièces de robot

Nous poursuivons le processus de préparation et d'assemblage de la base du robot en fixant la pièce responsable de guider et de définir la trajectoire de rotation de la partie centrale du robot à 360 degrés.

Cette pièce est munie d'un engrenage intégré, permettant l'interaction mécanique avec le moteur de rotation. Elle est installée avec précision dans un emplacement dédié au sein de la structure de la base, garantissant un alignement optimal du trajet et assurant une rotation fluide et correcte du système.

La fixation est réalisée à l'aide d'une adhésive industrielle haute performance, assurant une adhérence durable et une stabilité mécanique sous charge. Les Figures ci-dessous illustrent en détail cette étape de l'assemblage.



Figure IV.16. La fixation de la pièce qui présentait l'axe de rotation

Après avoir fixé la pièce guidant la trajectoire de rotation dans son emplacement dédié au sein de la base du robot, on procède à l'installation du disque servant de support au porte-élément central du robot.

Ce disque est fixé à l'aide d'un adhésif industriel de haute qualité, sélectionné pour assurer une adhérence robuste et une cohésion mécanique parfaite entre le disque et la structure de la base, renforçant ainsi la stabilité de l'ensemble pendant la rotation et évitant tout déplacement indésirable. La figure ci-dessous illustre cette opération en détail.

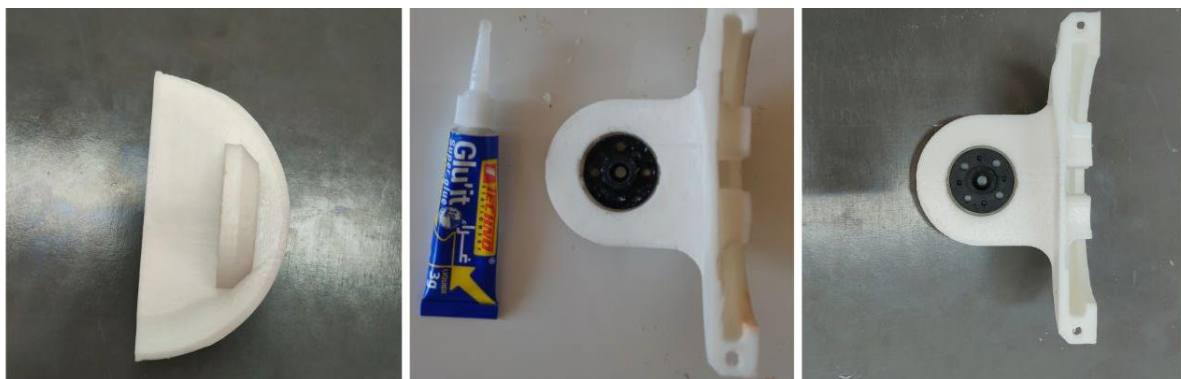


Figure IV.17. La fixation du 2e disque dans la pièce de robot

IV.2.5. La cinquième étape

Après l'installation des moteurs et la préparation des différents modules du robot, commence la phase d'assemblage final des composants principaux : la poignée du robot, la partie centrale et la base.

Cette étape débute par la mise en place de la poignée du robot dans son emplacement dédié, conçu avec précision afin d'assurer une compatibilité mécanique optimale et une stabilité fonctionnelle lors du fonctionnement.

Les images ci-dessous illustrent en détail cette étape dans le cadre du processus d'assemblage.

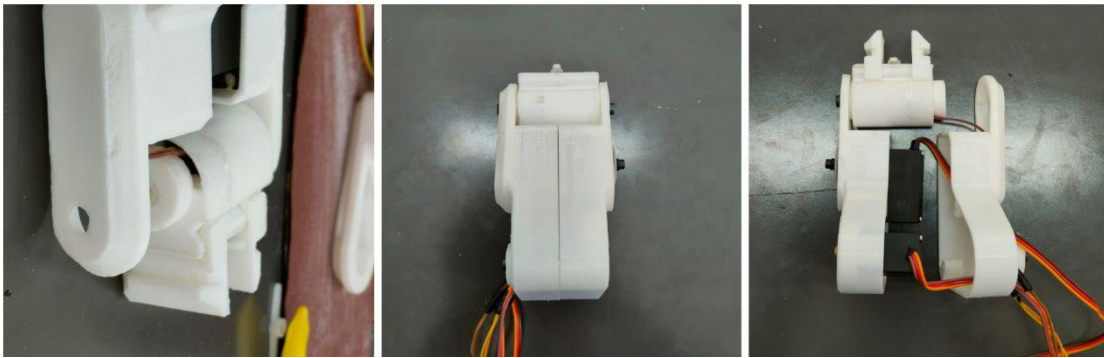


Figure IV.18. L'assemblage de pièces de robot avec le poignet de robot

Les deux pièces de la partie centrale du robot sont assemblées ensemble en les fixant à l'aide de vis spéciales de type BTR de différentes dimensions (3×7 mm, 2×7 mm, 4×5 mm). Ces vis sont installées dans les disques intégrés aux pièces du robot selon leurs emplacements précis, comme illustré dans les figures ci-dessous, afin d'assurer une fixation solide et une stabilité structurelle de la partie centrale.

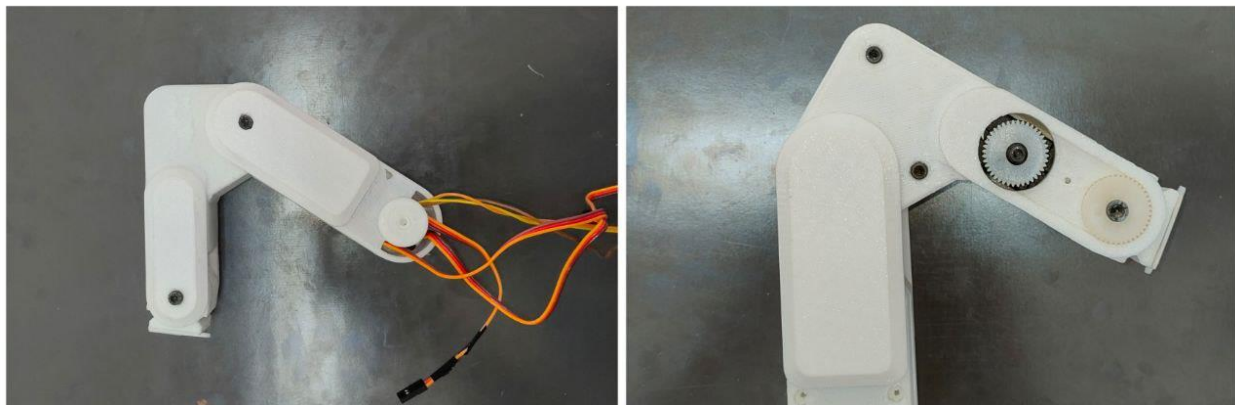


Figure IV.19. L'assemblage de tronc central du robot

Après avoir fixé les deux pièces de la partie centrale du robot, le support de cette partie est monté et relié à ces deux éléments. L'opération de fixation s'effectue à travers le disque intégré au support, conformément à la méthode déjà décrite, en alignant le support avec la tête rotative du moteur à l'aide d'une vis spéciale de type BTR de dimension 2×7 mm. Un alignement précis et une fixation mécanique stable sont essentiels afin d'assurer un fonctionnement fiable du mouvement rotatif.

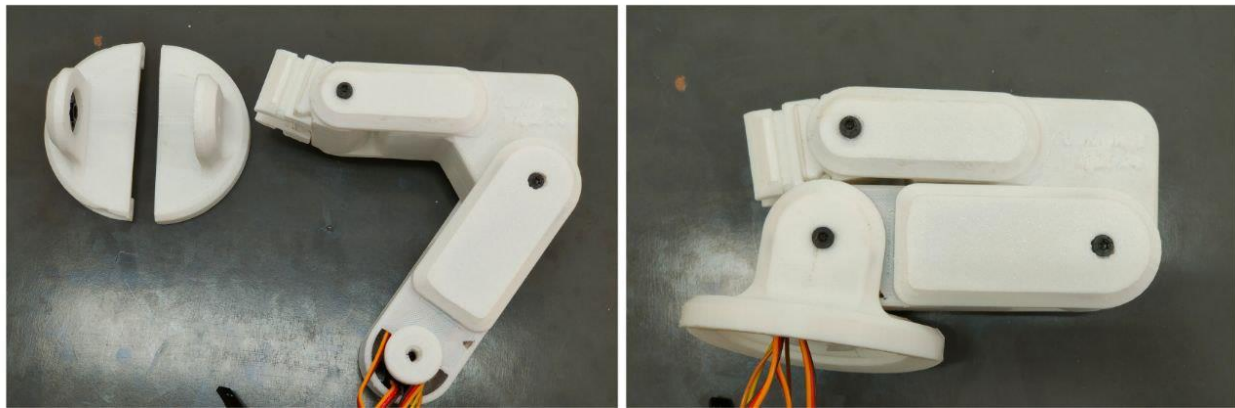


Figure IV.20. L'assemblage de tronc central du robot avec les pièces de support

Après l'installation du support de la partie centrale, celui-ci est fixé à l'intérieur de l'anneau de guidage circulaire, préalablement collé à l'aide d'une colle, comme expliqué dans l'étape précédente. L'opération de fixation est réalisée manuellement avec soin et précision afin de positionner le support de manière optimale, permettant un mouvement rotatif fluide et sans obstruction. Le mécanisme de rotation repose sur le moteur fixé à la base du système, lequel assure une rotation à 360 degrés avec un couple suffisant pour supporter le poids du robot ainsi que la charge transportée. Les détails de l'opération de fixation sont clairement illustrés dans la figure ci-dessous.

Les deux pièces du support de la partie centrale du robot sont assemblées à l'aide d'une vis axiale spéciale, permettant leur rotation autour d'un axe commun, ce qui les fait fonctionner comme une seule unité mécanique cohérente avec un mouvement rotatif synchronisé.

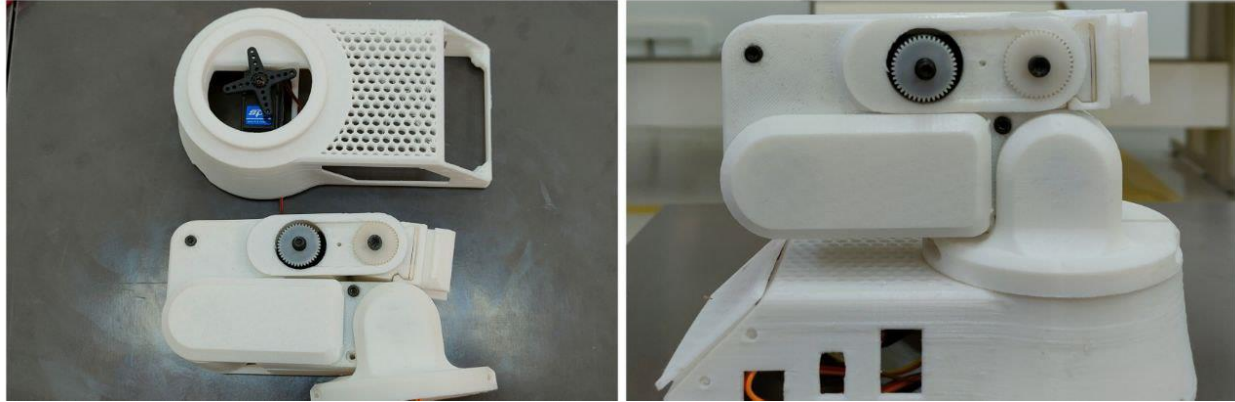


Figure IV.21. L'assemblage de tronc central du robot avec la base de robot

IV.3. Le montage de schéma électrique global

Avant de fermer la base du robot par le dessous, il est essentiel d'installer avec précision et méthode les composants électroniques principaux afin d'assurer des performances optimales et une maintenance aisée. Ces composants incluent :

1. Carte de contrôle (Carte Arduino) : Elle doit être fixée en un emplacement central facilement accessible, en utilisant des vis ou des entretoises plastiques appropriées pour garantir sa stabilité et éviter tout court-circuit.
2. Module de commande des moteurs (Motor Driver) : Il doit être installé à proximité de la carte Arduino afin de réduire la longueur des câbles et éviter les pertes de signal, tout en assurant une bonne ventilation pour prévenir la surchauffe.
3. Connexions électriques des moteurs : Les moteurs doivent être connectés à l'aide de fils de section appropriée, capables de supporter le courant requis, en utilisant des câbles torsadés ou des connecteurs verrouillables pour éviter tout débranchement lors des mouvements.
4. Éclairage LED : Les LED doivent être installées à des emplacements spécifiques pour la visibilité ou les signaux lumineux, avec des résistances adaptées pour les protéger contre les surtensions.
5. Interrupteur marche/arrêt (ON/OFF Switch) : Il doit être monté à un endroit extérieur facilement accessible sans avoir à ouvrir le robot, et connecté entre la source d'alimentation et la carte Arduino afin de permettre un contrôle complet de l'alimentation.

Les étapes d'installation seront détaillées dans la section suivante, accompagnées de schémas explicatifs et de recommandations spécifiques pour chaque composant, garantissant ainsi précision et efficacité lors du montage.

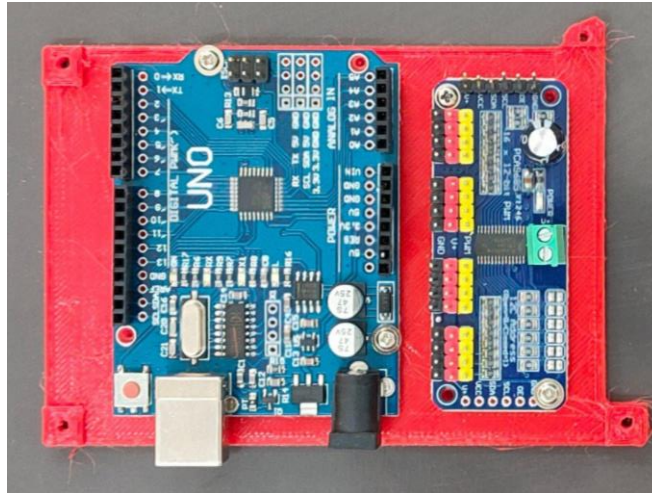


Figure IV.22. Installation de la carte Arduino et le driver de moteur

Après l'assemblage de la partie inférieure représentant la base mécanique du robot et son raccordement avec la partie centrale (la structure supérieure), l'ossature générale du robot devient presque complète sur le plan mécanique. Cette étape est suivie par le câblage électrique, qui est réalisé conformément à un schéma électrique simplifié illustrant la répartition des connexions entre les composants électroniques.

Le câblage électrique comprend la connexion de la carte de commande Arduino au module de commande des moteurs (Motor Driver), ainsi que le raccordement à une source d'alimentation appropriée (un adaptateur de courant continu) afin d'assurer la stabilité de la tension et du courant nécessaires au fonctionnement du système.

- ✚ À ce stade, il est essentiel de prendre en compte les points suivants :
- ✚ Vérifier la correspondance entre la tension d'entrée des moteurs et les spécifications du module de commande.
- ✚ Connecter correctement les broches de signal de l'Arduino aux entrées de commande du Driver.
- ✚ Relier la masse électrique commune (GND) entre tous les composants pour garantir une référence électrique unifiée.

Utiliser, si nécessaire, des résistances ou des composants de protection supplémentaires, comme des diodes, afin de protéger les circuits contre les tensions inverses. Cette étape constitue la base du fonctionnement du système et permet le contrôle des mouvements du robot via la programmation de la carte Arduino par la suite.

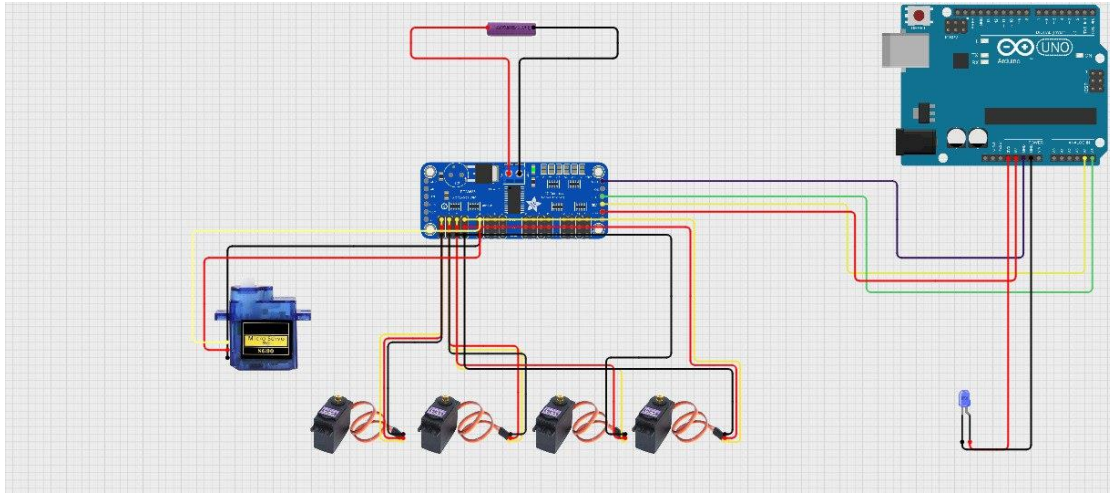


Figure IV.23. Le schéma électrique de chaque robot

Dans ce paragraphe, nous allons expliquer la méthode technique de connexion de la carte Arduino Uno au pilote de moteur (Motor Driver), qui agit comme un intermédiaire entre le microcontrôleur (Arduino Uno) et les moteurs électriques, dans le but d'assurer un contrôle fluide et efficace du mouvement des moteurs.

Le module de commande est utilisé pour réguler la tension et le courant envoyés aux moteurs en fonction des signaux de commande provenant de l'Arduino, car la carte Arduino ne peut pas fournir directement le courant nécessaire aux moteurs. La connexion est réalisée à l'aide de fils de connexion spécifiques, dont les caractéristiques et le schéma de câblage ont été détaillés dans le chapitre trois, garantissant une transmission stable à la fois des signaux de commande et de l'alimentation.

Cette connexion permet l'exécution précise et sécurisée des instructions programmées sur Arduino, assurant un contrôle réactif de la direction et de la vitesse de rotation des moteurs, ce qui constitue un élément fondamental pour le fonctionnement du système de la ligne de production.

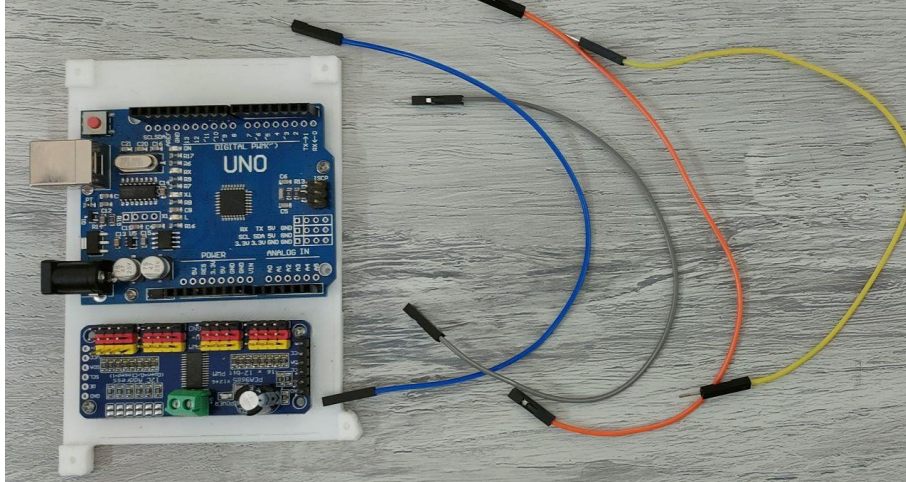


Figure IV.24. Connexion entre Arduino avec driver de moteur

1 Au départ, la sortie de tension continue 5V de la carte Arduino Uno est connectée à l'entrée VCC du pilote de moteur (Motor Driver).

Cette connexion est utilisée pour fournir la tension d'alimentation nécessaire aux circuits de commande internes du pilote, ce qui lui permet de recevoir et de traiter correctement les signaux numériques envoyés par l'Arduino. Il est essentiel de s'assurer que le courant requis pour alimenter les circuits de commande du pilote ne dépasse pas la capacité de sortie du 5V de l'Arduino, qui est généralement limitée à 500 mA lorsqu'il est alimenté via le port USB. Cela garantit la sécurité et la stabilité du système électronique.

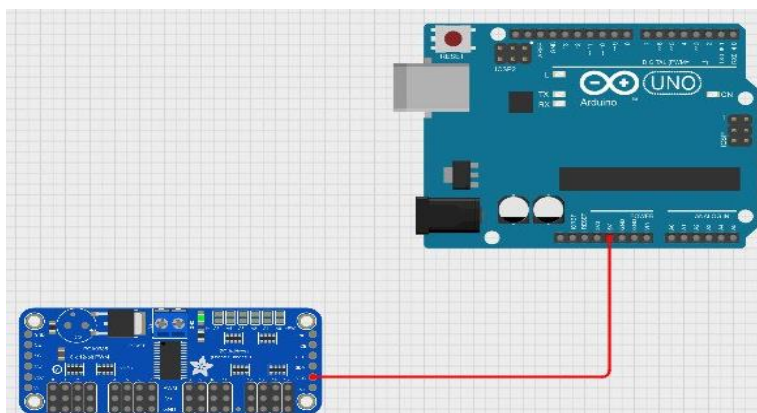


Figure IV.25. En connectant la sortie 5V de l'Arduino à l'entrée VCC.

2 Deuxièmement, la sortie GND (masse) de la carte Arduino Uno est connectée à l'entrée GND du driver de moteur (Motor Driver).

Cette connexion représente la référence de tension commune entre la carte de contrôle et le pilote, ce qui est essentiel pour le bon fonctionnement des signaux de commande numériques. Sans cette masse commune, des différences de potentiel peuvent survenir, entraînant des erreurs dans la réception des signaux ou un comportement imprévisible des moteurs. Par conséquent, cette connexion constitue une étape fondamentale dans l'intégration des circuits électroniques. Il est important de s'assurer qu'elle est correctement réalisée à l'aide de fils adaptés en termes d'épaisseur et de longueur, et que tous les composants du système partagent la même référence de masse afin de garantir la stabilité des signaux et d'éviter les interférences électriques.

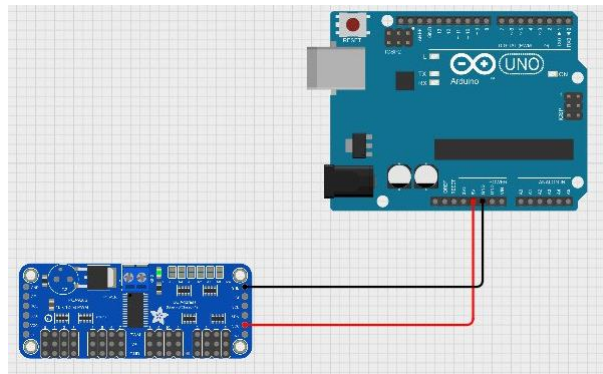


Figure IV.26. Connecter la sortie GND de l'Arduino à l'entrée GND du driver.

3 Troisièmement, la sortie GND de la carte Arduino Uno est connectée à l'entrée GND du driver de moteur, afin de fournir une référence de tension commune garantissant la fiabilité et la stabilité de la transmission des signaux numériques entre les deux modules.

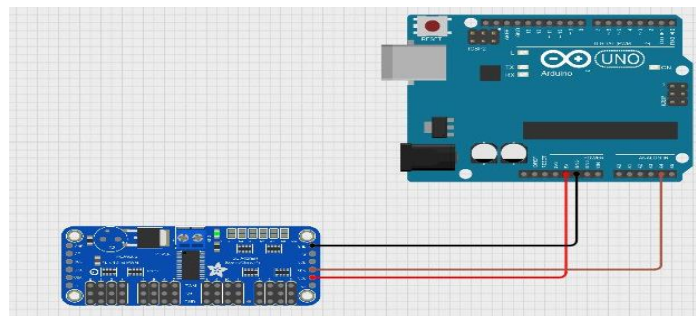


Figure IV.27 Connecter la sortie A4 de l'Arduino à l'entrée SDA du driver.

4 Quatrièmement, la sortie A5 de la carte Arduino est connectée à l'entrée SCL du driver.

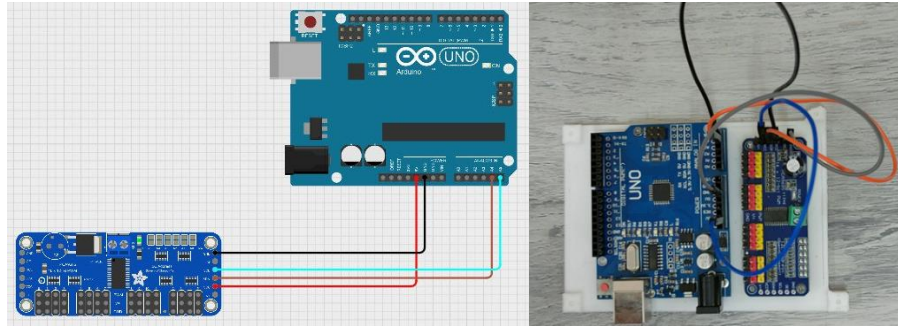


Figure IV.28. Connecter la sortie A5 de l'Arduino à l'entrée SCL du driver.

Et maintenant, la connexion entre la carte Arduino et le driver a été établie avec succès.

À cette étape, le raccordement des moteurs du bras robotique au driver dédié est effectué selon les étapes techniques suivantes, afin d'assurer une précision de contrôle et une stabilité de fonctionnement.

Tout d'abord, le moteur de la base à rotation de 360 degrés est connecté au port 0 du driver, en veillant à faire correspondre les couleurs des fils avec celles des bornes afin d'assurer l'intégrité du signal et d'éviter tout impact négatif sur les performances.

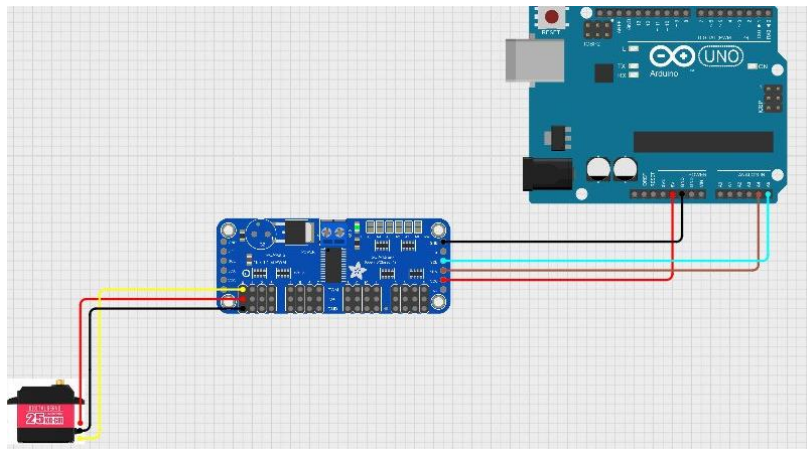


Figure IV.29. Raccorder le moteur de la base à 360 degrés à l'entrée 0 de l'unité du driver.

Ensuite, le deuxième moteur du bras, ayant une rotation de 360 degrés, est connecté au port numéro 1 du driver, en veillant à la correspondance des couleurs des fils.

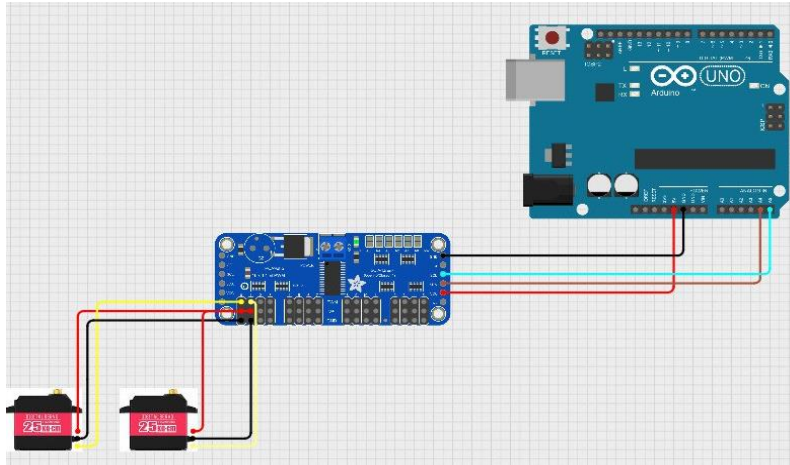


Figure IV.30. Raccorder le moteur du premier bras, qui est à 360 degrés, à l'entrée numéro 1. À présent, le troisième moteur du bras robotique, ayant une rotation de 180 degrés, est connecté au port numéro 2 du driver en veillant à un câblage. Correct basé sur la correspondance des couleurs.

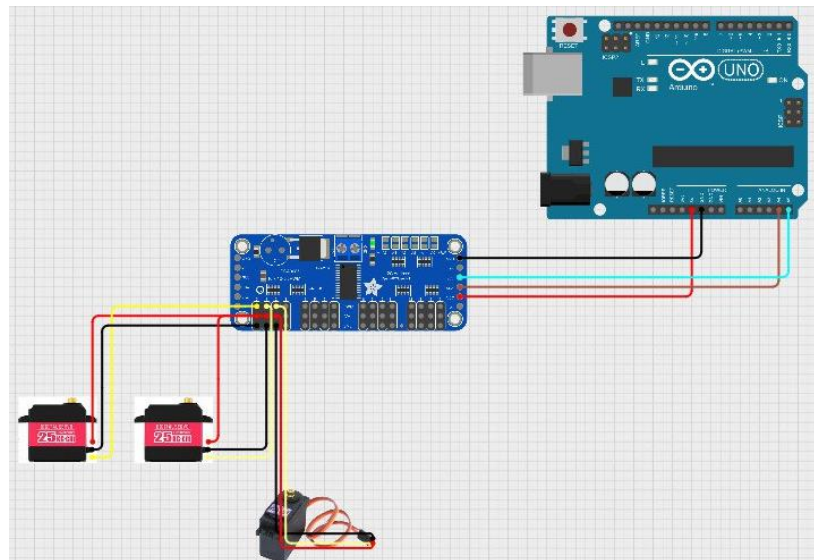


Figure IV.31. Raccorder le moteur du deuxième bras, qui est à 180 degrés.

Ensuite, le quatrième moteur, responsable de la transmission du mouvement par engrenage et actionnant la pince du bras robotique, est connecté au port numéro 3 du driver en veillant à un câblage. Correct.

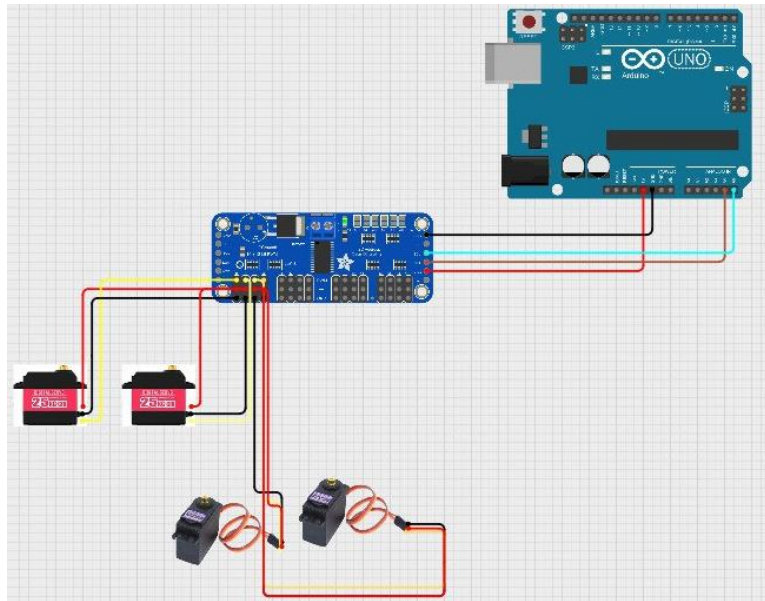


Figure IV.32. Raccorder le moteur du 3e bras, qui est à 180 degrés.

À présent, le moteur de la pince robotique est connecté au port numéro 4 en veillant à la correspondance des couleurs lors du câblage.

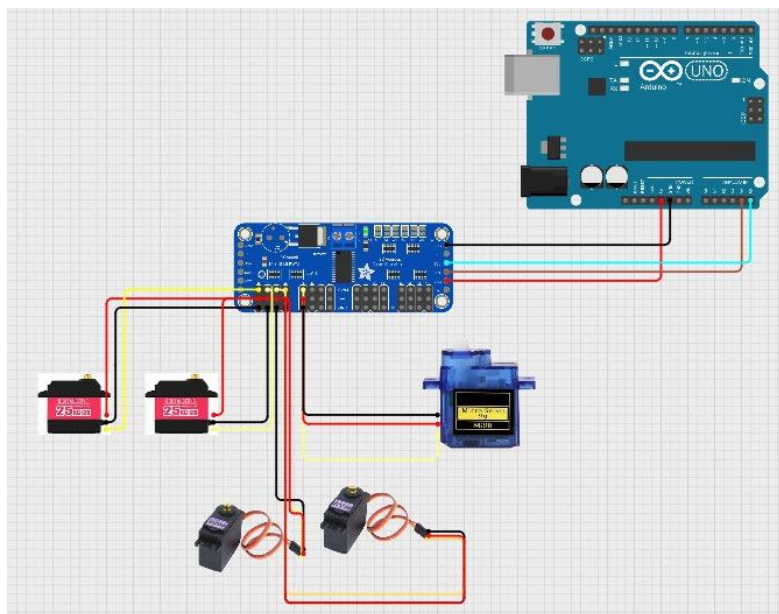


Figure IV.33. Raccorder le moteur du 4e bras, qui est à 180 degrés.

À présent, l'alimentation électrique du driver, de l'Arduino, ainsi que de la LED d'éclairage du robot est connectée.

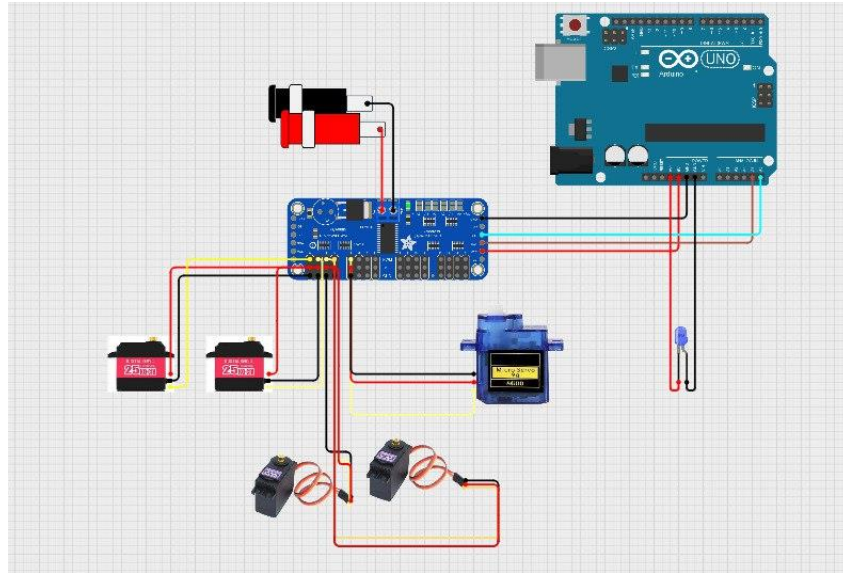


Figure IV.34. Le montage de bouton ON OFF et la LED d'éclairage

L'Arduino est alimenté par l'ordinateur via son port USB. L'alimentation du driver est réalisée en connectant l'entrée GND à la sortie d'un module de conversion de 220V à 5V, ainsi que l'entrée 5V du même module, avec l'intégration en série d'un interrupteur ON/OFF dans le circuit d'alimentation, afin de garantir la sécurité des composants et de permettre un contrôle efficace de la source d'alimentation.

L'alimentation de la LED est effectuée directement à partir de la carte Arduino, en connectant la borne négative de la LED (GND) au port GND de l'Arduino, tandis que la borne positive de la LED est reliée à la sortie 3,3V de la carte Arduino, afin de fournir la tension de fonctionnement appropriée pour l'éclairage.

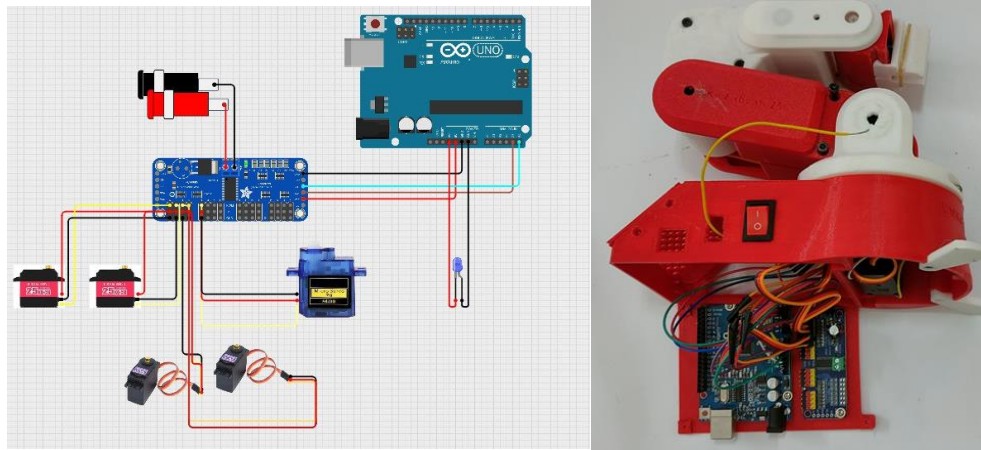


Figure IV.35 Le schéma final d'installation électrique

Après avoir terminé le câblage électrique, l'étape suivante consiste à fixer la base du robot en installant l'unité contenant la carte Arduino et le driver à son emplacement dédié dans la structure. Cette unité est sécurisée à l'aide de vis spéciales conçues pour garantir une fixation solide et durable, assurant ainsi une stabilité optimale et une cohérence parfaite de tous les composants électriques et mécaniques qui y sont connectés.

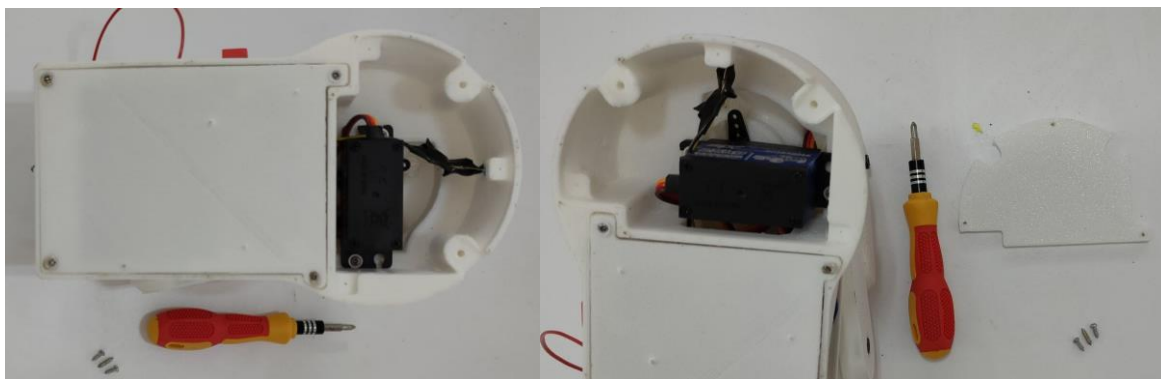


Figure IV.36. La fermeture de la base de robot

Après la fermeture du compartiment contenant la carte Arduino et le module de commande des moteurs (Driver), deux supports frontaux sont solidement fixés afin de renforcer la stabilité structurelle du robot. Ces supports ont pour objectif d'éviter le basculement vers l'avant ou une inclinaison excessive lors de l'exécution des tâches opérationnelles, notamment en cas

d'accélération ou de résistance frontale, garantissant ainsi la continuité des performances et la précision du déplacement.



Figure IV.37. Le processus d'installation des pieds de support du robot.

Après avoir complété toutes les étapes précédentes, un bras robotique à cinq degrés de liberté a été développé, permettant l'exécution de mouvements de rotation multiples avec fluidité et une grande efficacité mécanique. Les articulations et axes ont été conçus avec précision afin d'assurer une flexibilité de mouvement et une stabilité de performance, ce qui permet au bras d'accomplir les tâches qui lui sont assignées avec une grande précision et efficacité. Les deux modèles robotiques sont illustrées dans La figure ci-dessous, représentant l'intégration entre un design mécanique rigoureux et un mouvement dynamique équilibré.

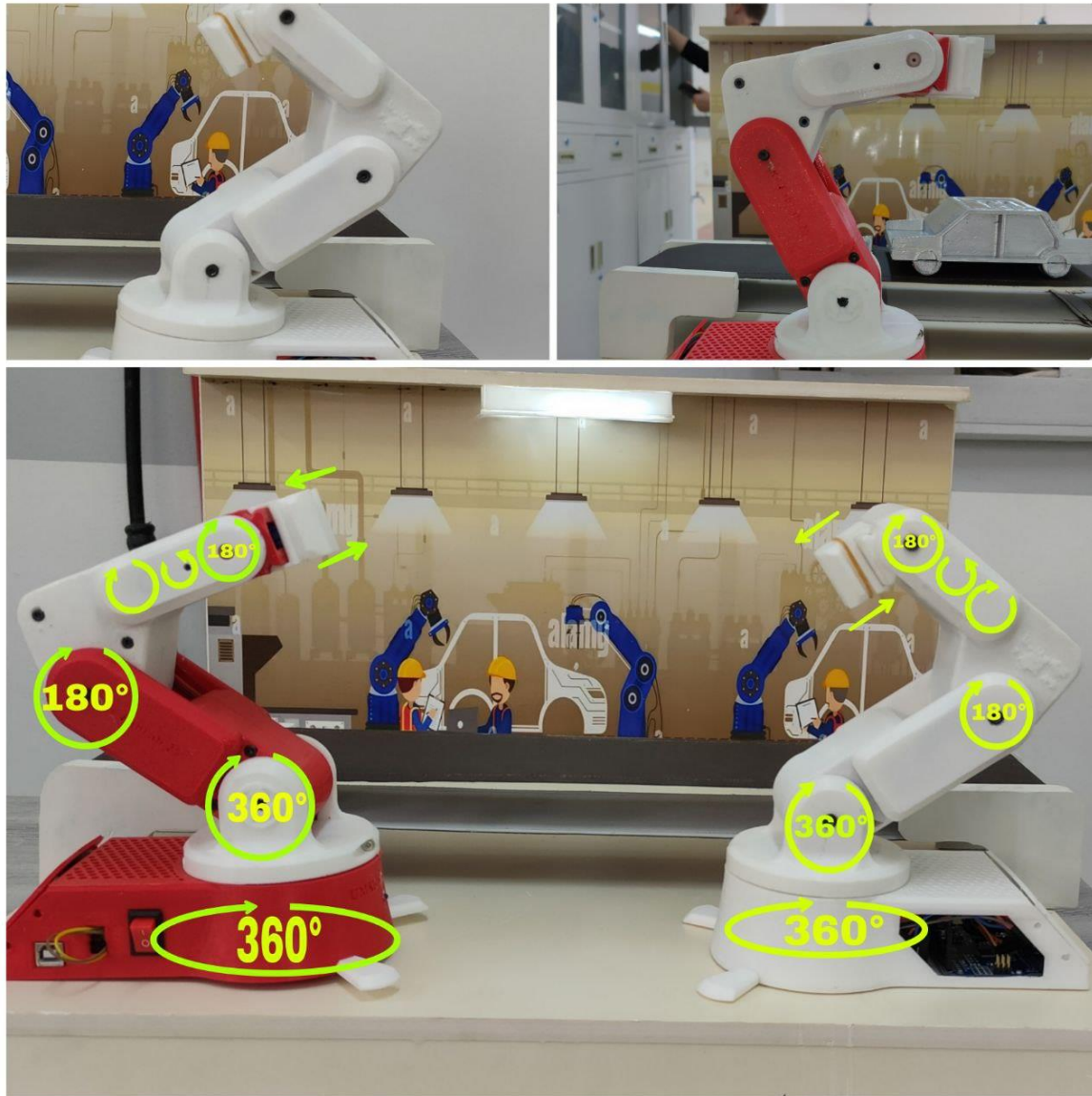


Figure IV.38. Résultat final de bras d'assemblage

IV.4. Réalisation de convoyeur

Processus d'installation et de mise en œuvre du tapis roulant : Séquence méthodique des procédures techniques

À cette étape, le processus d'installation et de mise en œuvre du tapis roulant a été réalisé selon une méthodologie d'ingénierie structurée, en suivant une série d'étapes successives exécutées avec une grande précision et en conformité avec des normes techniques strictes. Ce qui suit est une présentation détaillée de chaque phase :

La conception de la base du tapis roulant commence par l'utilisation d'une plaque en forex (PVC expansé) d'épaisseur appropriée. Une plaque de dimensions 60 cm de long sur 35 cm de large est utilisée comme unité de base représentant la plateforme de la ligne de production.

Deux longerons longitudinaux, également en forex, de 60 cm de long et de 4 cm de large chacun, sont fixés parallèlement le long des bords longitudinaux de la plaque. Ces longerons servent de supports pour la structure supérieure de la base de la ligne de production, et offrent une plateforme stable pour l'installation de la ligne d'assemblage et de montage.

Cette structure constitue l'étape fondamentale dans la construction de la plateforme de travail destinée à simuler un système de montage automatisé à l'aide d'un tapis roulant et de robots industriels.



Figure IV.39. Plaques-en forex

Après la préparation et l'installation de la base de la ligne de production, la phase de montage du tapis roulant commence par la fixation de quatre roulements métalliques qui servent d'axes de rotation pour le tapis.

Les roulements, fabriqué en métal résistant à l'usure, possède un diamètre extérieur de 2,5 cm et un diamètre intérieur de 1 cm, permettant l'installation d'axes de rotation adaptés assurant la stabilité du mouvement.

Ces roulements présentent des caractéristiques mécaniques conformes aux exigences de la ligne d'assemblage, incluant une fabrication de précision, une résistance à l'usure, et une capacité à réduire les frottements, garantissant ainsi un mouvement fluide et régulier du tapis roulant dans les conditions opérationnelles de la ligne de production.

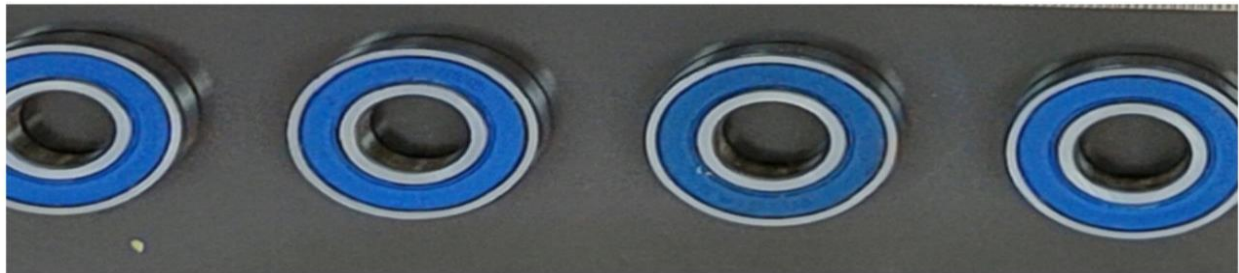


Figure IV.40. Les roulements

Pour la préparation des quatre axes de rotation (roulements), deux sections de tubes en PVC utilisés dans les réseaux de distribution d'eau domestique ont été découpées, chacune d'une longueur de 10 cm. Le diamètre intérieur de chaque tube a été précisément ajusté pour correspondre au diamètre extérieur du roulement, en l'élargissant à 26 mm (2,6 cm) afin d'assurer un ajustement parfait avec les dimensions extérieures du roulement.



Figure IV.41. Procédé de tournage de l'axe de rotation

Cette modification a été réalisée à l'aide d'un tour de précision dans le laboratoire de mécanique de l'Université Mohamed Khider de Biskra, garantissant ainsi une compatibilité exacte entre les tubes et les roulements, permettant un assemblage stable et fiable des axes de rotation. La figure ci-jointe illustre les détails de la modification et les dimensions finales des pièces.



Figure IV.42. Tour de labo de mécanique

Après avoir procédé à la découpe des deux tubes de direction et à l'usinage de leur diamètre intérieur selon les dimensions requises, le roulement (roulement à billes) est fixé à l'intérieur du diamètre intérieur élargi de chaque tube. Il est essentiel que le montage soit serré afin d'assurer un ajustement par interférence approprié entre le diamètre extérieur du roulement et le diamètre intérieur du tube, garantissant ainsi un axe de rotation fluide et efficace, comme illustré dans les figures suivantes.



Figure IV.43. L'action de fixation de roulement dans l'axe de rotation

Après l'installation des quatre roulements à l'intérieur des tubes de guidage, la surface des tubes de guidage est traitée avec un papier abrasif de type papier de verre à rugosité très élevée. Cette opération vise à augmenter la rugosité superficielle des tubes de guidage, ce qui améliore le frottement de surface entre les tubes de guidage et le tapis mobile.

Cela engendre une force de friction suffisante entre les tubes de guidage et le tapis mobile, permettant ainsi de transférer le mouvement rotatif des tubes de guidage en un mouvement linéaire horizontal du tapis. L'efficacité de ce transfert dépend du coefficient de friction résultant entre les deux surfaces, garantissant qu'il n'y ait pas de glissement des tubes de guidage sur le tapis mobile et permettant la conversion d'un mouvement rotatif en un mouvement linéaire continu et précis.

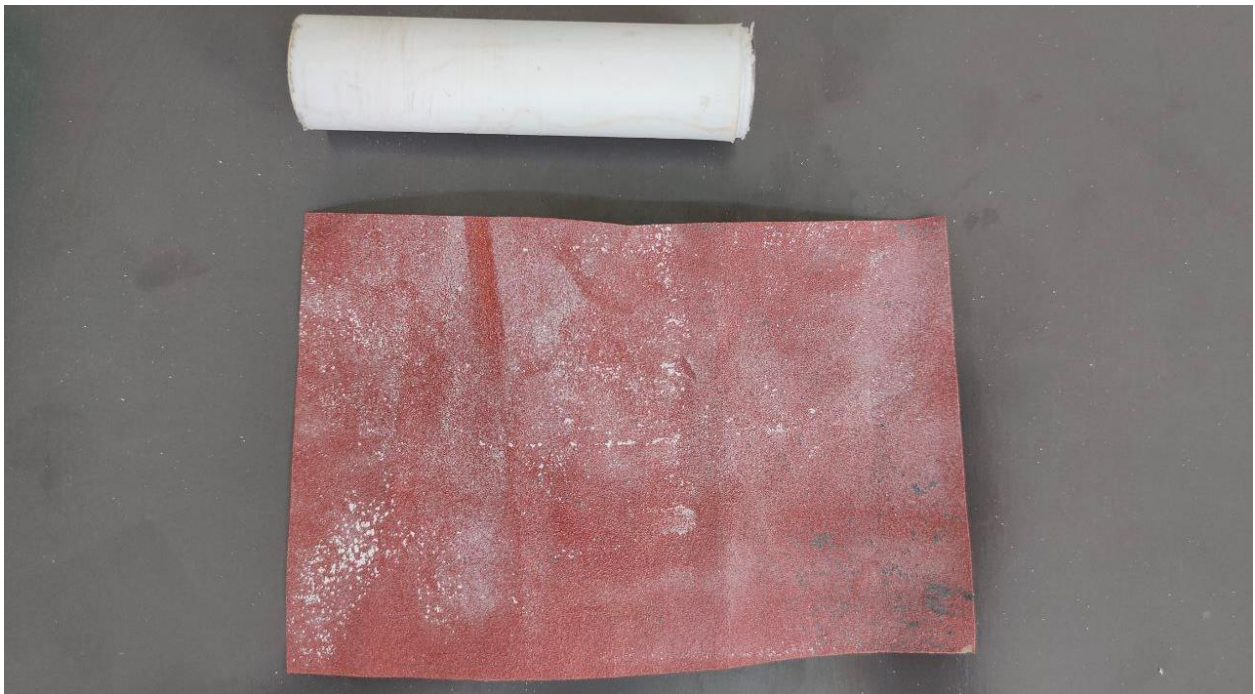


Figure IV.44. Processus de ponçage au papier de verre

Après la préparation des axes de rotation du tapis mobile, on passe à l'étape de confection et de couture du tapis mobile. Le tapis est fabriqué à partir d'un matériau en cuir possédant des propriétés mécaniques adaptées, avec une longueur de 60 cm en position enroulée, et atteignant 120 cm lorsqu'il est entièrement déplié.

La couture est réalisée avec précision afin de former une boucle fermée qui s'installe autour des axes de rotation préalablement préparés. Le tapis tourne grâce au frottement direct entre sa surface interne et les axes de rotation. La texture de la face interne du tapis joue un rôle essentiel dans l'efficacité du transfert de mouvement, en générant une force de friction suffisante pour assurer une rotation stable et synchronisée avec le mouvement des axes.

L'ensemble de ce processus est documenté en détail dans les figures ci-dessous, illustrant les étapes d'assemblage et de couture



Figure IV.45. Couture du tapis mobile

Après la finition de la couture et de la préparation du tapis roulant à l'aide de cuir synthétique, il est nécessaire de prévoir un support inférieur afin d'assurer la capacité de charge exercée sur la surface du tapis.

Ce support est fabriqué en Forex (PVC expansé), en raison de ses propriétés mécaniques appropriées, notamment sa légèreté et sa rigidité relative.

Caractéristiques techniques du support :

✚ Longueur : 48,5 cm

- ✚ Largeur : 9,0 cm
- ✚ Épaisseur : 0,5 cm
- ✚ Matériau : Forex (PVC expansé)

Le support est conçu de manière à répartir la charge de façon homogène sous le tapis roulant, garantissant ainsi une stabilité structurelle lors du fonctionnement.

L'image jointe illustre les dimensions précises du support ainsi que le schéma de découpe nécessaire pour le préparer conformément au design du tapis.



Figure IV.46. Préparation du support du tapis roulant

Le tapis roulant ainsi que sa plaque de support nécessitent une structure porteuse caractérisée par sa robustesse et sa solidité, afin de résister aux forces de traction générées par le mouvement du tapis ainsi qu'aux charges verticales dues au poids de la charge transportée.

Pour répondre à ces exigences, le choix s'est porté sur l'utilisation de plaques en Forex (PVC expansé), en raison de leur légèreté et de leurs bonnes propriétés mécaniques, ce qui en fait une solution idéale pour assurer un support structurel efficace sans alourdir l'ensemble du système.

✚ **Conception du support :** La conception des pièces du support est réalisée manuellement à l'aide d'une règle et d'un traceur (conception manuelle de précision) sur une plaque de Forex, avec un traçage rigoureux des dimensions, comme illustré dans le plan joint, afin de garantir la précision de fabrication et la qualité de la découpe.

Le support comprend des emplacements dédiés à la fixation des axes de rotation ainsi que des points de fixation pour la plaque de support du tapis roulant, assurant ainsi une bonne cohésion des éléments et un mouvement fluide pendant le fonctionnement.

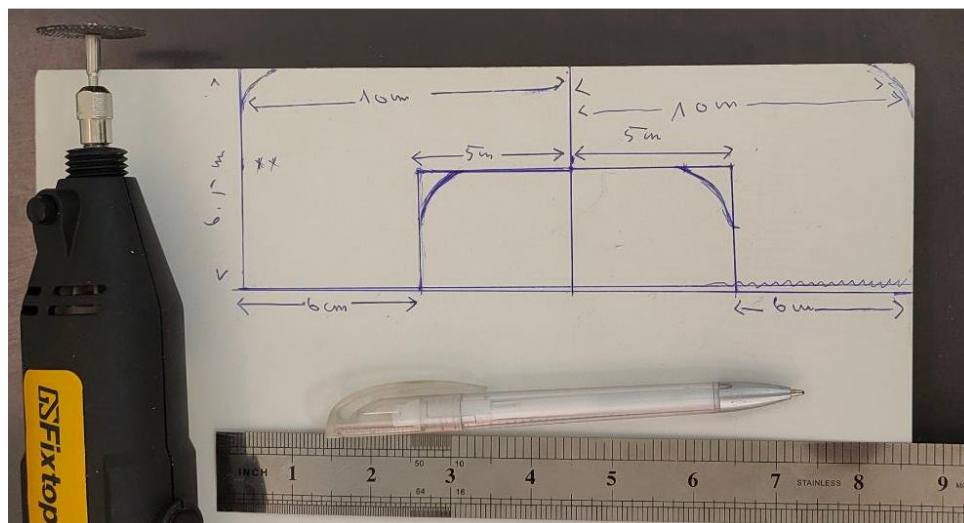


Figure IV.47. Traçage les dimensions de convoyeur

Le découpage des pièces du support est réalisé à l'aide d'une machine spécialisée équipée d'une tête de coupe spécifique, conçue pour travailler efficacement avec des matériaux tels que le Forex (PVC expansé).

Cette tête de coupe permet d'effectuer des découpes avec fluidité et une grande précision, sans endommager les bords ni altérer les pièces, garantissant ainsi le respect des dimensions géométriques et une finition de qualité.

Cette machine a été précédemment présentée et décrite en détail, en mettant l'accent sur son efficacité de coupe, le type de lame utilisé, ainsi que la vitesse d'alimentation optimale pour assurer des résultats de fabrication précis et fiables.

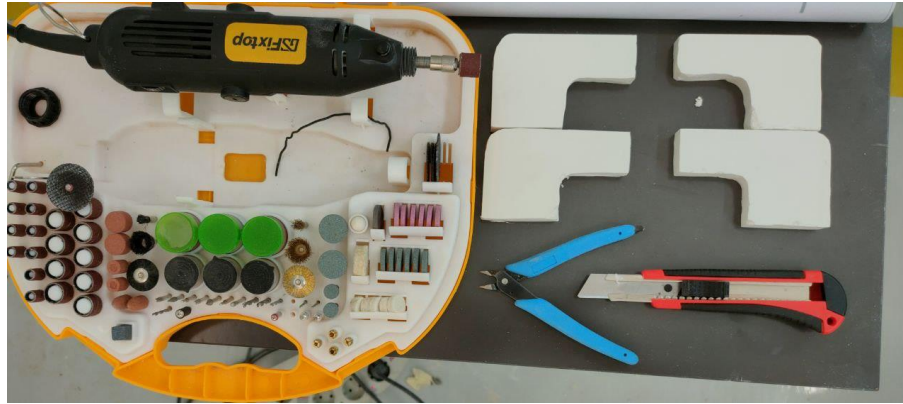


Figure IV.48. Les pièces de support de convoyeur

Après avoir découpé les différentes pièces constituant le support du tapis roulant, celles-ci sont disposées côte à côte selon la séquence d'assemblage mécanique, afin d'illustrer le concept de conception et de simplifier le fonctionnement du système. Cette étape permet de visualiser les relations dimensionnelles entre les composants et de vérifier leur compatibilité avant l'assemblage final, comme illustré sur la figure suivante.

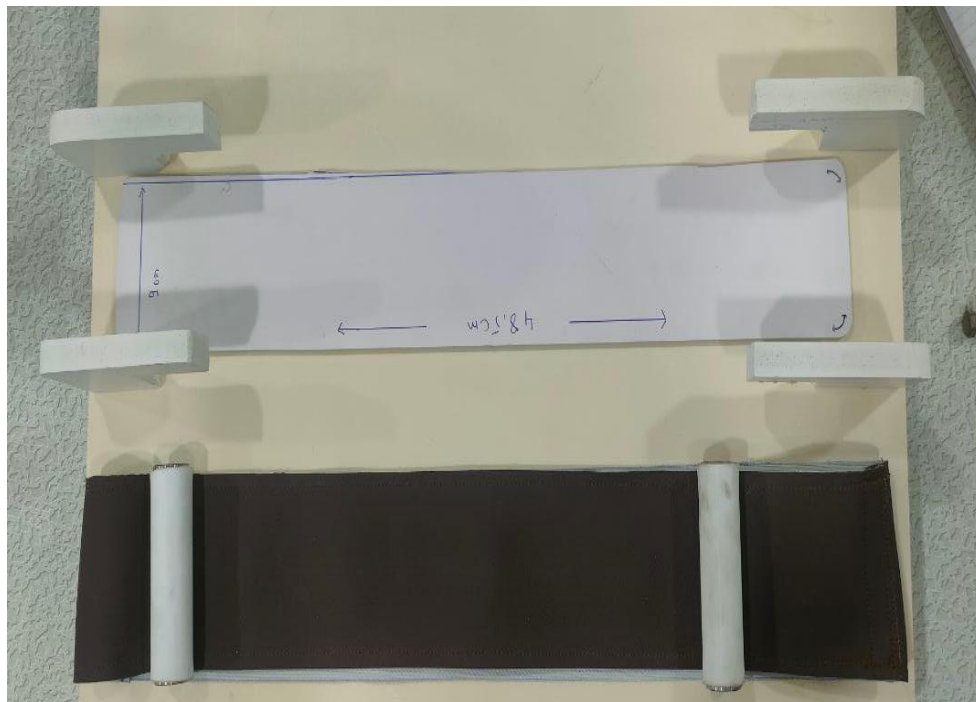


Figure IV.49. Les composants de convoyeur

Après avoir terminé le découpage et la préparation de l'ensemble des composants du tapis roulant, l'assemblage est réalisé selon une séquence méthodique, en commençant par les éléments secondaires et simples, pour aboutir progressivement aux composants principaux du système. Cette démarche respecte l'ordre fonctionnel et mécanique des pièces afin d'assurer une intégration optimale et de faciliter le calibrage lors de la mise en service

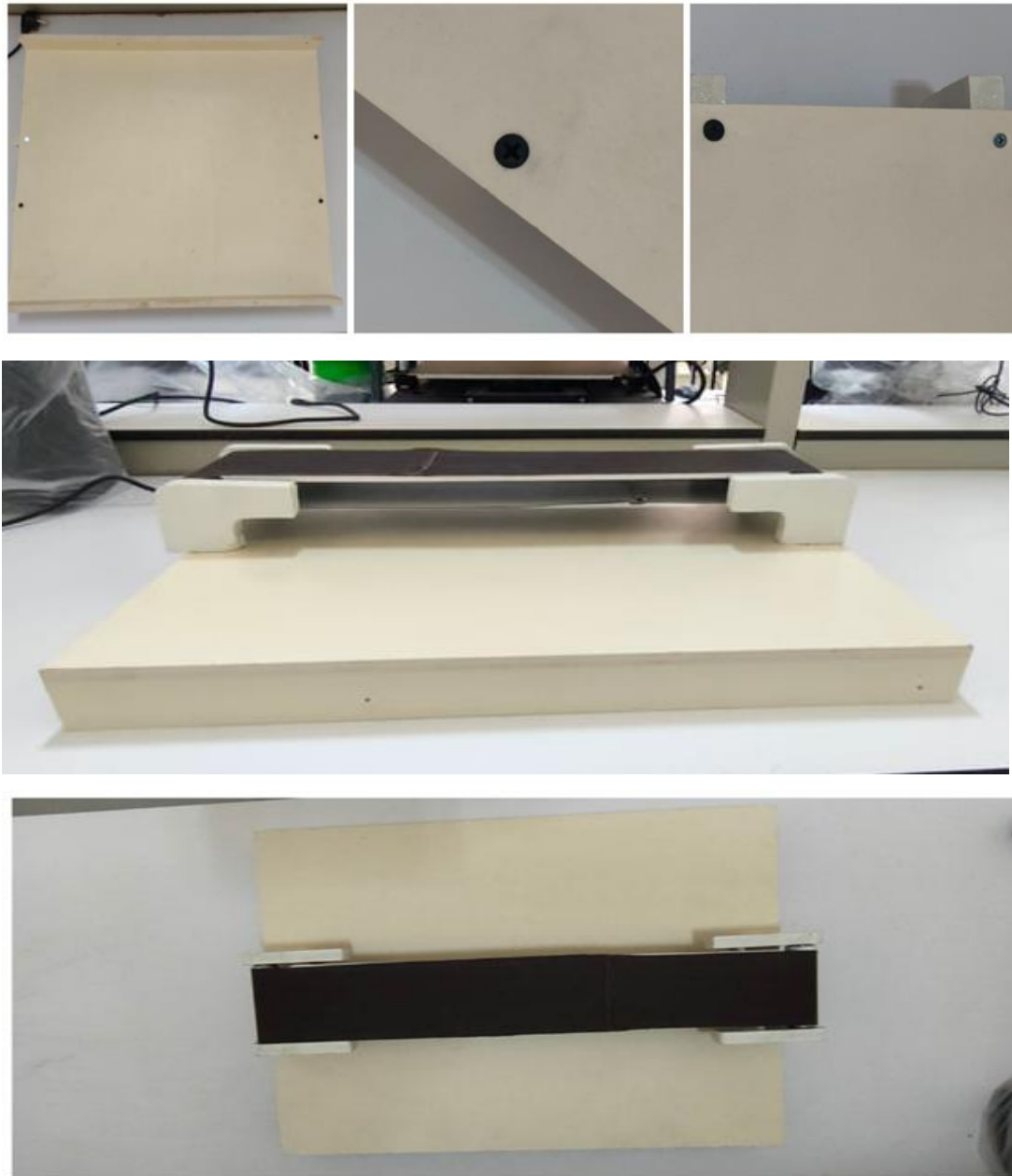


Figure IV.50. La préparation de l'ensemble des composants du tapis roulant,

Après l'achèvement de l'ensemble des étapes et phases précédentes, le système du tapis roulant destiné à la ligne d'assemblage a été entièrement réalisé et assemblé. Il fonctionne avec une grande efficacité et une fluidité mécanique équilibrée. Les premiers tests de fonctionnement ont démontré la stabilité de la performance mécanique ainsi que la bonne synchronisation des mouvements entre les composants, confirmant ainsi la fiabilité de la conception et la précision de l'exécution.

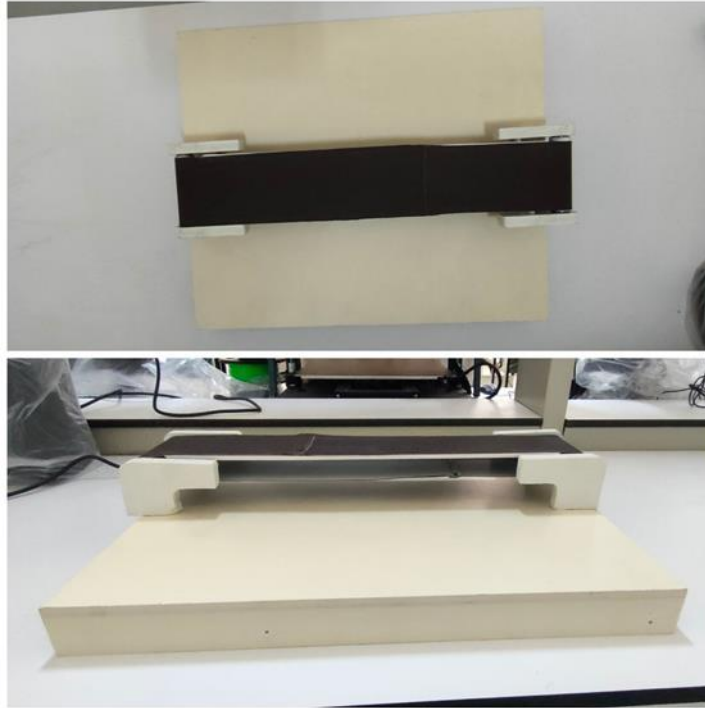


Figure IV.51. Le tapis roulant

IV.5. Préparation l'arrière-plan visuel de projet

Après l'achèvement de la préparation de la base de la ligne d'assemblage, on procède à l'installation de l'arrière-plan visuel du modèle. Cet arrière-plan est constitué d'une fresque représentant une scène d'usine de production automobile, imprimée en haute résolution sur un papier texturé afin de renforcer le réalisme visuel.

La fresque est fixée sur un panneau arrière en Forex, un matériau reconnu pour sa stabilité et sa durabilité. Les dimensions du panneau arrière sont de 53 cm de large sur 33 cm de haut, correspondant exactement à celles de la fresque imprimée, assurant ainsi une couverture complète sans décalage ni espaces vides.

La fixation de la fresque est réalisée à l'aide d'un adhésif approprié garantissant une adhérence solide et durable, sans altérer la qualité de l'impression ni déformer la surface du papier.



Figure IV.52. L'arrière-plan visuel de projet

L'arrière-plan comprend, dans sa partie supérieure, une unité d'éclairage de type LED à lumière blanche, fabriquée manuellement au sein du laboratoire de fabrication (FabLab), conformément aux normes du design industriel standard. Le processus de fabrication repose sur le recyclage des résidus de matériaux d'impression 3D, avec une conception de la structure de l'éclairage sous forme de parallélépipède rectangle de couleur blanche.



Figure IV.53. Unité d'éclairage de type LED

La phase de mise en forme a été réalisée par découpe précise des pièces nécessaires à l'aide d'outils manuels (ciseaux industriels), selon les dimensions spécifiées et illustrées dans la documentation et les figures suivantes. Les pièces ont ensuite été assemblées et fixées à l'aide d'une tige de plastique fondu spécialement conçue pour le soudage (Hot Melt Plastic Welding Rod), garantissant ainsi une solidité et une cohésion structurelle optimales.

Les images jointes documentent l'ensemble des étapes de fabrication de l'unité d'éclairage, depuis la conception et la découpe, en passant par l'assemblage, jusqu'à l'installation finale au sommet de la fresque, assurant une distribution lumineuse homogène qui renforce l'esthétique et la fonctionnalité visuelle du modèle.



Figure IV.54. Conception de la lampe LED d'éclairage

L'unité d'éclairage comprend deux lampes LED, comme illustré dans la figure suivante. Chaque lampe se distingue par une capacité d'éclairage élevée et une luminosité adéquate, assurant une couverture lumineuse efficace de la zone ciblée dans la partie supérieure du modèle. Ce type de lampe a été choisi pour son efficacité énergétique, sa longue durée de vie opérationnelle et sa faible émission thermique, le rendant parfaitement adapté aux environnements miniatures et aux maquettes architecturales ou industrielles exposées.

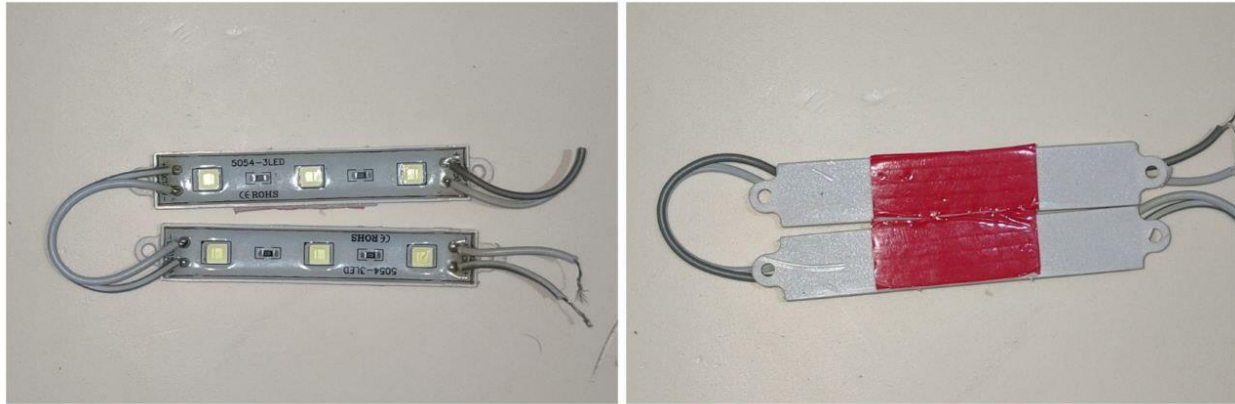


Figure IV.55. lampe LED

L'unité d'éclairage est alimentée par une batterie de 9 volts, comme illustré dans les figures suivantes. Cette source a été choisie pour sa capacité à fournir une tension stable et suffisante pour faire fonctionner efficacement les lampes LED, sans nécessiter de convertisseurs externes. La batterie est connectée au circuit d'éclairage à l'aide de fils conducteurs isolés, garantissant ainsi la sécurité électrique et la stabilité des performances.



Figure IV.56. Batterie de 9 volts

L'unité d'éclairage intègre un interrupteur marche/arrêt (Switch ON/OFF) dans le circuit électrique, permettant un contrôle manuel de l'allumage et de l'extinction du système, comme illustré dans la figure suivante. L'interrupteur est installé de manière à garantir un accès facile et une utilisation pratique, tout en assurant une isolation électrique adéquate afin d'éviter tout contact indésirable. Cet élément contribue à optimiser la consommation d'énergie, à prolonger la durée de vie de la batterie, et constitue un composant essentiel pour la sécurité opérationnelle du modèle.



Figure IV.57. Interrupteur marche/arrêt

7

Le schéma électrique adopté pour la réalisation du système d'éclairage électrique est illustré dans la figure ci-dessous. Il montre le raccordement des composants électriques de base conformément aux normes techniques en vigueur, afin d'assurer un fonctionnement correct et sécurisé du système.

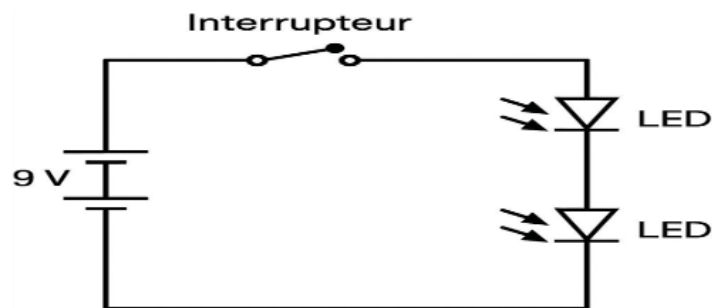


Figure IV.58. Le schéma électrique d'éclairage

Enfin, après l'installation des robots d'assemblage, la mise en place du tapis roulant avec sa base, ainsi que le montage de l'arrière-plan avec le système d'éclairage, nous obtenons une ligne de montage et d'assemblage automobile complète, fonctionnant avec une grande efficacité.

Ce système se distingue par la fluidité de son fonctionnement et la synchronisation de ses composants, grâce à un programme de contrôle précis assurant la coordination parfaite entre les unités robotiques, le mécanisme de transport des pièces et l'éclairage des zones de travail, ce qui améliore la productivité et réduit les marges d'erreur humaine.



Figure IV.59. Résultat final de projet



Figure IV.59. Résultat final de projet

IV.6. La programmation de projet

Après la réussite de la modélisation physique du prototype, nous passons à l'étape la plus complexe et la plus cruciale du développement de la ligne d'assemblage : la programmation.

Cette étape s'effectue à l'aide d'un environnement de développement dédié aux cartes Arduino, où des instructions précises sont téléchargées vers les unités robotiques afin de leur permettre d'exécuter des tâches spécifiques représentant les différentes étapes du processus de montage et d'assemblage du véhicule. Ces instructions reposent sur une séquence logique rigoureuse garantissant une coordination fluide entre les différents robots, tout en assurant un contrôle total sur le temps d'exécution des opérations, leur ordre, ainsi que leur adaptation aux variables de l'environnement de travail. Cela permet une exécution précise et une efficacité optimale du système automatisé de la ligne d'assemblage automobile

IV.6.1. le codage utilisé pour la programmation à l'aide du programme Arduino IDE

```

1  #include <Wire.h>
2  #include <Adafruit_PWMServoDriver.h>
3
4  Adafruit_PWMServoDriver pwm = Adafruit_PWMServoDriver();
5
6  #define servoMIN 150
7  #define servoMAX 600
8
9  #define NUM_SERVOS 5
10 #define STEP_DELAY 10 // كلما زاد، الحركة أبطأ
11
12 // مناسبة PWM تحويل زاوية إلى قيمة
13 int angleToPWM(int angle) {
14     return map(angle, 0, 180, servoMIN, servoMAX);
15 }
16
17 // تحريك محرك واحد من زاوية إلى أخرى ببطء
18 void moveServoSlowly(int servoIndex, int startAngle, int endAngle) {
19     if (startAngle == endAngle) return;
20
21     int step = (startAngle < endAngle) ? 1 : -1;
22     for (int angle = startAngle; angle != endAngle + step; angle += step) {
23         pwm.setPWM(servoIndex, 0, angleToPWM(angle));
24         delay(STEP_DELAY);
25     }
26
27 // تحريك مجموعة محركات دفعة واحدة إلى وضع معين ببطء
28 void moveAllServosSmoothly(int targetAngles[NUM_SERVOS], int currentAngles[NUM_SERVOS]) {
29     // افترض أن جميع المحركات يجب أن تتحرك بالتوازي ببطء
30     bool moving = true;
31     while (moving) {
32         moving = false;
33         for (int i = 0; i < NUM_SERVOS; i++) {
34             if (currentAngles[i] != targetAngles[i]) {
35                 moving = true;
36                 int step = (currentAngles[i] < targetAngles[i]) ? 1 : -1;
37                 currentAngles[i] += step;
38                 .....pwm.setPWM(i, 0, angleToPWM(currentAngles[i]));
39                 .....}
40             .....}
41             .....delay(STEP_DELAY);
42         }
43     }
44 }
45
46 void setup() {
47     pwm.begin();
48     pwm.setPWMFreq(60);
49     delay(20);
50
51     int currentAngles[NUM_SERVOS] = {90, 180, 0, 0, 0};
52
53     int currentAngles[NUM_SERVOS] = {90, 180, 0, 0, 0};
54
55     // الحالة الأولى (الوضع الابتدائي)
56     int target1[NUM_SERVOS] = {90, 180, 0, 0, 0};
57     moveAllServosSmoothly(target1, currentAngles);
58     delay(2000);
59
60     // الحالة الثانية
61     int target2[NUM_SERVOS] = {90, 100, 0, 80, 0};
62     moveAllServosSmoothly(target2, currentAngles);
63     delay(2000);
64
65     // الحالة الثالثة
66     int target3[NUM_SERVOS] = {70, 50, 0, 195, 0};
67     moveAllServosSmoothly(target3, currentAngles);
68     delay(2000);
69
70     int target4[NUM_SERVOS] = {90, 180, 0, 0, 0};
71     moveAllServosSmoothly(target4, currentAngles);
72     delay(2000);
73
74     int target5[NUM_SERVOS] = {90, 180, 120, 0, 0};
75     moveAllServosSmoothly(target5, currentAngles);

```

Figure IV.60. Codage utilisé pour la programmation

```

65     moveAllServosSmoothly(target3, currentAngles);
66     delay(2000);
67
68
69     int target4[NUM_SERVOS] = {90, 180, 0, 0, 0};
70     moveAllServosSmoothly(target4, currentAngles);
71     delay(2000);
72
73     int target5[NUM_SERVOS] = {90, 180, 120, 0, 0};
74     moveAllServosSmoothly(target5, currentAngles);
75     delay(2000);
76
77     int target6[NUM_SERVOS] = {180, 145, 110, 110, 100};
78     moveAllServosSmoothly(target6, currentAngles);
79     delay(2000);
80
81     // المودة للوضع الابتدائي
82     int target7[NUM_SERVOS] = {90, 180, 0, 0, 0};
83     moveAllServosSmoothly(target7, currentAngles);
84 }
85
86 void loop() {
87     // لا تغيير في loop
88 }
89

```

Figure IV.61.Codage utilisé pour la programmation

IV.6.2.Organigramme des etapes de marche de robot (grafcet)

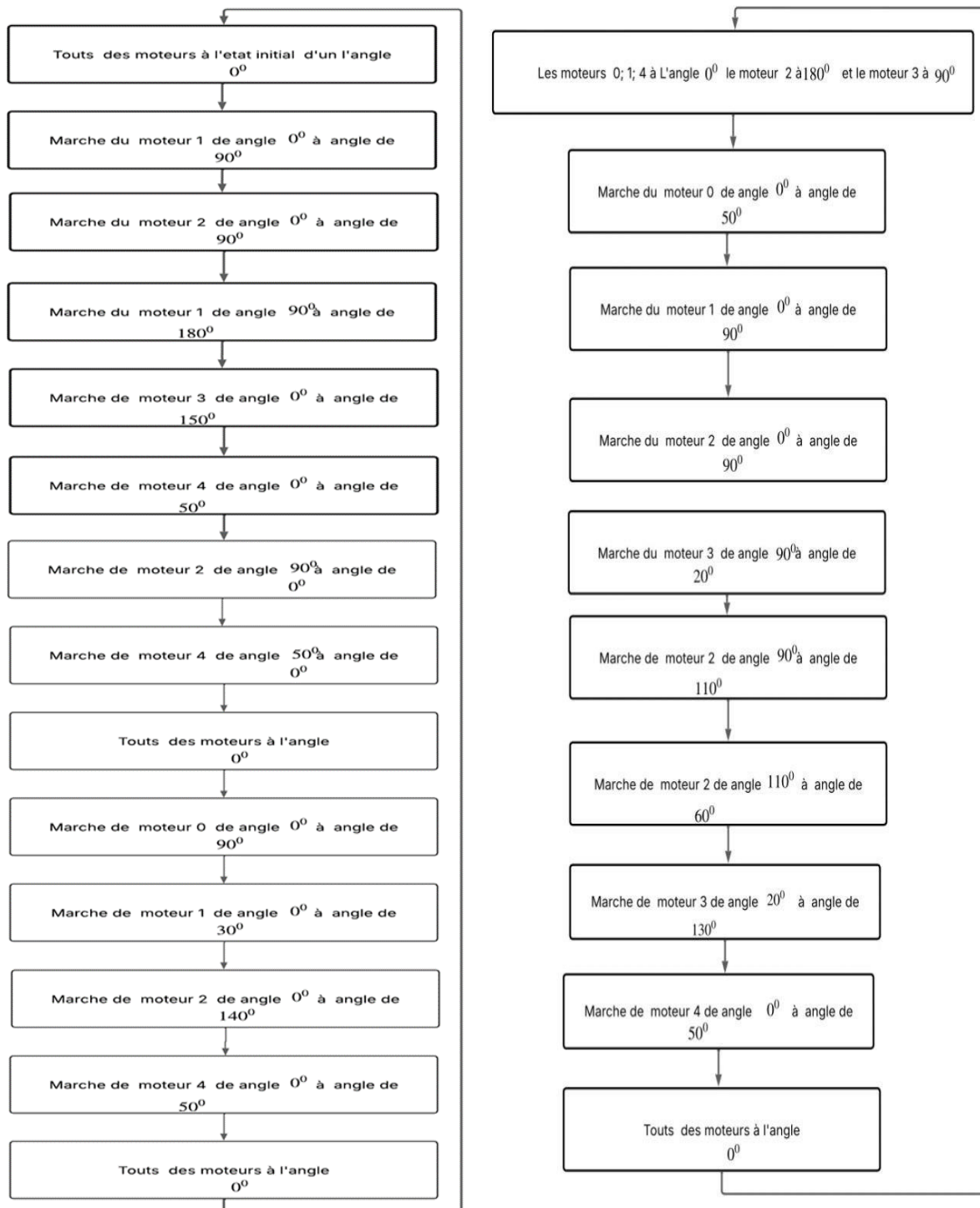


Figure IV.6.2. Organigramme des etapes de marche de robot (grafcet)

IV.7. Conclusion

Le but de notre projet a été atteint. On a réalisé une chaîne système de production des voitures, ce système utilise deux robots industriels et convoyeur. On a étudié chaque partie toute seule, après on a fait l'essai de chaque partie comme indiquent les figures. Enfin on a construit un système.

Conclusion générale

Ce mémoire met en lumière l'importance croissante de l'intégration des robots industriels dans les lignes d'assemblage modernes, en particulier dans le secteur automobile en pleine mutation vers l'automatisation et la numérisation. En combinant des connaissances théoriques sur la robotique, les types de bras manipulateurs et les systèmes de contrôle via Arduino, avec une application pratique concrète, nous avons réalisé un prototype fonctionnel de ligne d'assemblage miniature.

Ce projet démontre que l'utilisation de technologies accessibles et peu coûteuses, telles que l'Arduino et l'impression 3D, peut mener à des solutions innovantes, viables et évolutives. Cela ouvre la voie à une démocratisation de la robotique industrielle, aussi bien dans les universités que dans les start-ups locales.

Ainsi, cette expérience a permis de maîtriser les aspects de conception, de modélisation et d'intégration d'un système mécatronique complet. Elle illustre parfaitement comment la formation académique peut répondre aux besoins industriels réels, en favorisant la créativité, l'autonomie et la recherche de solutions adaptées au contexte national.

Références

- [1] Nathan. (2023). Sciences de l'ingénieur – Terminale STI2D. Éditions Nathan.
<https://enseignants.nathan.fr/offre/sti2d-sciences-de-l-ingenieur-9782091674426.htm>

- [2] ISO 8373:2012 – Robots and robotic devices – Vocabulary
ISO. (2012). ISO 8373 :2012 - Robots et dispositifs robotiques — Vocabulaire. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/55890.html>

- [3] Techniques de l'Ingénieur. (2021, 10 septembre). Robots parallèles. <https://www.techniques-ingenieur.fr>

- [4] Laumond, J.-P. (2018). Robotique – Modélisation, commande et simulation. Paris: Dunod

- [5] Merlet, J.-P. (2019). Parallel Robots. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-13095-3>

- [6] ABB. (2022). Fiches techniques des produits ABB. Récupéré de <https://new.abb.com/fr/produits>

- [7] Martin, J., & Durand, L. (2020). Sciences de l'ingénieur – Terminale STI2D. Paris : Éditions Nathan.

- [8] Dupont, P. (2021, 12 juin). Robots industriels et automatisation. Paris : Éditions Techniques.

- [9] FANUC. (2023). FANUC Robotics. Retrieved from <https://www.fanucamerica.com>

- [10] ABB. (2023). ABB Robotics. Retrieved from <https://new.abb.com/products/robotics>

- [11] Yaskawa. (2023). Yaskawa Robotics. Retrieved from <https://www.yaskawa.com>

- [12] Comau. (2023). Comau Robotics. Retrieved from <https://www.comau.com>

- [13] Kawasaki. (2023). Kawasaki Robotics. Retrieved from <https://robotics.kawasaki.com>
- [14] Smith, J. (2020). Arduino for Beginners. New York, NY: Tech Press.
- [15] Arduino. (15 mars 2023). Produits Arduino. <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>
- [16] Arduino. (2023). Référence du langage Arduino.
<https://www.arduino.cc/en/Reference/HomePage>
- [17] Arduino. (2022). Arduino IDE. <https://www.arduino.cc/en/software>
- [18] Arduino. (2022). Arduino IDE : environnement de développement, sur
<https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment>
- [20] [Arduino Project Hub. (2023). Arduino projects using Arduino IDE, from
<https://create.arduino.cc/projecthub/projects/tags/arduino-ide>
- [21] [TutorialsPoint. (30 .06 .2017). Arduino IDE. From
https://www.tutorialspoint.com/arduino/arduino_ide.htm
- [22] Monk, S. (2013, February 28). Arduino Lesson 0: Getting Started. Adafruit Learning System.
<https://learn.adafruit.com/arduino-lesson-0-getting-started/overview>
- [23] [Arduino Project Hub. (22 .02 .2010), from
<https://create.arduino.cc/projecthub/projects/tags/arduino-ide>
- [24] [Electronics Hub. (15 janvier 2024). *200+ projets Arduino avec codes, schémas [Débutant & Avancé]*. <https://www.electronicshub.org/arduino-project-ideas/>
- [25] Arduino. (2021). Arduino Uno Rev3 — Technical specifications. Arduino AG.
<https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>

- [26]Tower Pro. (2019). MG996R Digital Servo – High Torque Metal Gear Servo Specifications. Tower Pro Ltd. <https://www.towerpro.com.tw/product/mg996r/>
- [27]SmartPowerTech. (2020). SPT5425LV 25KG Waterproof Digital Servo Specifications. SmartPowerTech Co., Ltd. <https://www.sptservo.com/product/spt5425lv>
- [28]Tower Pro. (2018). SG90 9g Micro Servo – Technical Specifications. Tower Pro Ltd. <https://www.towerpro.com.tw/product/sg90-9g-micro-servo/>
- [29]Elegoo. (2023). PCA9685 Driver de servomoteur PWM 16 canaux 12 bits - Fiche technique [Fiche produit]. Récupéré de <https://www.elegoo.com/pca9685>
- [30]ProTools. (2023). Fiche technique Mini Meuleuse Rotative 230V 50Hz - Manuel du produit [Fiche produit]. Récupéré de <https://www.protools.com/mini-meuleuse>
- [31]Dassault Systèmes. (2025, février 1). SolidWorks 2025 [Logiciel de conception assistée par ordinateur]. Récupéré le 26 mai 2025, de <https://www.solidworks.com>