



Université ABBES LAGHROUR Khenchela
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Industriel
جامعة عباس لغزور خنشلة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة الصناعية



N° Série :

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Automatique

Spécialité : Automatique et informatique industrielle

Présenté par

BELKHIRI Elhachemi

BENDJEMAA Ismail

THEME

*Réalisation et Commande d'un Bras
Manipulateur à Base d'un Arduino*

Soutenu le 06-09-2020 devant la commission d'examen composée de :

Mr. BENHADDA NABIL	MCB à l'Université de Khenchela	Président
Mr. SAIDI ABDELKADER	MAA à l'Université de Khenchela	Encadreur
Mr. MALLEM ALI	MCB à l'Université de Khenchela	Examineur

Promotion 2019/2020

Remerciements

Tout d'abord je remercie Allah le Tout Puissant qui m'a donné la volonté, le courage et la patience pour terminer ce travail.

Je tiens particulièrement à remercier vivement mon promoteur Mr :SAIDI AbdAlkader d'avoir accepté d'encadrer et diriger ce travail. Je le remercie pour son aide, Pour ses précieux conseils, ainsi que son aide et Directions.

Je tiens à remercier également tous les membres de jury qui ont voulu examiner ce travail.

Et enfin, Ma profonde gratitude s'adresse aussi à l'ensemble des Enseignants qui ont contribué de près ou de loin à ma formation

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à ceux que sont Les plus chers.

*À mon cœur, mes parents (Maman et papa) qui m'ont
encouragé au cours de ma formation.*

*A mes très chers frères et mes sœurs et à ma grande
famille.*

Mes amis proches

Tous mes amis Tous mes collègues d'étude.

*Toute la promotion de 2ème année Master
Automatique, Génie Electrique 2019- 2020.*

Tous ceux qui m'aiment et ceux qui j'aime

Belkhirí Elhachemí

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	2
CHAPITRE 1 : GENERALITES	
I.1. Introduction	5
I.2. Définitions	5
I.2.1. Définition d'un robot.....	5
I.2.2. Définition de la robotique.....	5
I.3. L'histoire de la robotique.....	5
I.4.Types des robot.....	10
I.4.1. Robots mobiles.....	10
I.4.2.Robots manipulateur.....	11
I.5. Robot industriel.....	12
I.6.Bras manipulateur.....	13
I.7. Constituant d'un robot.....	14
I.7.1. Les actionneurs.....	14
I.7.1.1.Actionneurs rotatifs.....	15
I.7.3. Les articulations.....	16
I.7.3.1.Articulation rotoïde.....	16
I.7.3.2.Articulation prismatique.....	16
I.8.Classification des robots.....	17
I.8.2. Classification géométrique.....	20
I.8.2.1. Structure cartésienne (PPP).....	20
I.8.2.2. La structure cylindrique (RPP) ou (PRP).....	21
I.9. Domaines d'application de la robotique.....	23
Conclusion.....	23
CHAPITRE 2 : DESCRIPTION ET MODELISATION DU BRAS MANIPULATEUR	
II.1.Introduction.....	25
II.2. Description mécanique du bras manipulateur.....	25
II .2.1. La structure mécanique du bras.....	25

II.2.1.1.La base.....	25
II .2.1.2.Le bras.....	25
II.2.1.3. La pince.....	26
II.2.1.4. Le robot.....	27
II.2.2. Description des parties constitutives du bras manipulateur.....	27
II.2.2.1.Les actionneurs du bras manipulateur.....	27
II.2.2.3. La commande des servomoteurs.....	30
II.3. Modélisation.....	32
II.3.3. Modèle géométrique direct.....	34
II.3.3.1. Paramètre de Denavit-Hartenberg (DH).....	35
II.3.3.2. Modélisation géométrique direct de notre réalisation.....	35
II.3.4. Le modèle géométrique inverse (MGI).....	38
II.3.5. Modélisation cinématique direct (MCD).....	39
II.3.5.1. Modèle cinématique direct de notre réalisation.....	39
II. 3.6. Modèle cinématique inverse (MCI).....	41
II .3.6.1. Modèle cinématique inverse de notre réalisation.....	41
II .4. Conclusion.....	43

CHAPITRE 3 : COMMANDE ET SIMULATION DU BRAS MANIPULATEUR

III.1. Introduction.....	45
III.2. Présentation de la carte Arduino.....	45
III.2.1.La carte Arduino UNO.....	45
III.2.2.Les caractéristiques de la carte Arduino UNO.....	46
III.2.3.L'environnement de programmation Arduino (IDE).....	47
III.3.4. Présentation du logiciel.....	51
III .3.4.1.1Présentation du logiciel ISIS(Intelligent Schematic Input System).....	51
III .4.5. Types de commande du bras manipulateur.....	52
III .4.5.1. La commande manuelle.....	52
III .4.5.2. La commande sans fil.....	53
III.6.1. Le concept d'App Remotrxy.....	53
III.4. Création d'application.....	54

III.4.1. Interface de contrôle du robot.....	55
III.5. Conception et Réalisation.....	62
III.5.1. Commande par Bluetooth	62
III.5.2.1. La commande manuelle.....	64
III.6. CONCLUSION.....	67

LISTE DES ABREVIATIONS

C

CPU = Central Processing Unit

D

ddl = Degré de liberté

DH = Denavit-Hartenberg

E

E/S = Entrée / Sortie

EEPROM = Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

G

GM = General Motors

I

ISIS = Intelligent Schematic Input System

ISO = International Organizations for Standardization

M

MCC = Moteur à Courant Continu

MCD = Modèle Cinématique Direct

MCI = Modèle Cinématique Inverse

MGD = Modèle Géométrique Direct

MGI = Modèle Géométrique Inverse

P

P = Prismatique

PPP= Trois articulations prismatiques
Consecutives

PWM = Pulse With Modulation

R

R = Rotoïde

RAM = Random Access Memory

ROM = Read-Only Memory

RPP (ou PRP) = Une articulation rotoïde et deux articulations prismatiques

RRP = Deux articulations rotoïdes et une articulation prismatique

RRR = Trois articulations rotoïdes consécutives

S

S.M.A. = Système Mécanique Articulé

SCARA = Selective Compliance Articulated Robot for Assemblage

U

UART = Universal Asynchronous Receiver Transmitter

USB = Universal Serial Bus

LISTE DES SYMBOLES

SYMBOLES

SIGNIFICATIONS

a_i	Distance entre z_{i-1} et z_i , le long de x_i
α_i	Angle entre z_{i-1} et z_i , autour de x_i
$C(\theta, \dot{\theta})$	Matrice appelée courbe de Coriolis
$C(q)$	Vecteur des forces de charges gravitationnelles
$d(q)$	Matrice d'inertie liée à l'accélération
$d_c(t)$	Composante dérivée
d_i	Déplacement de l'articulation
$E_c(t)$	Erreur
f_e	Vecteur de l'effort extérieur
$G(\theta)$	Vecteur des forces de gravité
$H(q, \dot{q})$	Vecteur des forces centrifuges
h_i	Hauteur du centre de masse
$I_c(t)$	Composante intégrale
I_j	Courant de l'induit du moteur j
$J(q)$	Matrice jacobienne
J_j	Inertie propre du moteur j
K_d	Constante dérivée du système
K_i	Constante intégrale du système
K_p	Constante proportionnelle du système
K	Energie cinétique
K_{a_j}	Constante proportionnelle
K_{c_j}	Coefficient du couple moteur j
L	Lagrangien
$M(q)$	Matrice d'inertie
m_i	Paramètres de système
N_j	Rapport de réduction
θ_i	Angle entre x_{i-1} et x_i , autour de z_{i-1} .
P	Energie potentielle
$P_c(t)$	Composante proportionnelle
q	Vecteur des variables articulaires
Q	Force généralisée
T_n	Matrice de transformation
r	Vecteur des couples des actionneurs
u_j	Tension d'entrée
V_m	Vitesse linéaires
ω_m	Vitesse angulaire
ω_n	Pulsation naturelle
X	Coordonnées opérationnelles
ζ	Facteur d'amortissement

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
Figure(I.1) : Robot Unimate	6
Figure(I.2) : Chaîne de production robotisée.	6
Figure(I.3) : Robot Puma.	7
Figure(I.4) : Premier robots mobiles.	7
Figure(I.5) : Robot intelligent.	8
Figure(I.6) : Essor de la robotique	8
Figure(I.7) : (Spirit & Opportunity)	9
Figure(I.8) : les Robot d'Asimo et Aibo.	9
Figure(I.9) : Kengoro robot.	10
Figure (I.10) : Spirit , NASA, 2003 sur Mars	10
Figure (I.11) : Robot manipulateur	11
Figure (I.12) : Bras manipulateur série	13
Figure(I.13) : Bras manipulateur parallèle	13
Figure(I.14) : Constituant d'un robot	14
Figure (I.15) : Représentation d'une articulation rotoïde sous ses différentes formes	16
Figure (I.16) : Représentation d'une articulation rotoïde	17
Figure(I.17) : Manipulateur à commande manuelle « MEGAPARTNER MG	19
Figure(I.18) : Manipulateur automatique.	19
Figure(I.19) : Robot programmable.	20
Figure(I.20) : Robot intelligent	20
Figure(I.21) : Robot cartésien	21
Figure(I.22) : Structure d'un robot cylindrique	21
Figure(I.23) : Structure d'un robot sphérique	22
Figure(I.24) : Structure SCARA	22

Figure(I.25) : Structure d'un robot 3R	23
Figure(II.1) : Base du robot	26
Figure(II.2) : Bras du Robot	26
Figure(II.3) : Pince du robot	27
Figure(II.4) : La structure globale du bras manipulateur.	27
Figure (II.5) : Vue de l'intérieur et L'extérieur d'un servomoteur.	28
Figure(II.6) : Schéma d'un actionneur	28
Figure(II.7) : servomoteur du type MG996R.	29
Figure(II.8) : Exemple de signaux en position pour un servomoteur	30
Figure(II.9) : Schéma d'un engrenage.	31
Figure(II.10) : Différents types d'engrenage.	32
Figure(II.11) : Le système de coordonnées cartésiennes	33
Figure(II.12) : Le système de coordonnées cylindriques	33
Figure(II.13) : Le système de coordonnées sphériques	33
Figure(II.14) : Position d'un solide dans l'espace et son repère associé	34
Figure(II.15) : Schématisation du lien entre le corpsi-1eti	35
Figure (II.16) : Placement des repères selon le modèle DH	36
Figure (II.17) : Schéma fonctionnel d'un actionneur	42
Figure(III.1) : La carte Arduino UNO	47
Figure (III.2) : Environnement de développement Arduino	49
Figure (III.3) : Sens du courant en fonction de l'état des	49
Figure (III.4) : Signal PWM envoyé par la broche PWM de l'Arduino UNO	50
Figure (III.5) : Model Bluetooth HC 05	51
Figure (III.6) : Branchement de Bluetooth HC-05	51
Figure (III.7). De gauche à droite :(a) schéma interne de joystick, (b) Arduino PS2 Joystick	52
Figure (III.8). Alimentation 9V	52

Figure (III.9). Fils de connexion	53
Figure (III.10). Interface de proteus.	53
Figure (III.11) : Logigramme des phases explicatives de la commande manuelle	54
Figure (III.12). app remotXY LOGO	55
Figure (III.13). Interface du site remoteXY	56
Figure (III.14). Création d'application	56
Figure (III.15). Configuration connections	57
Figure (III.16). Connexion Bluetooth	57
Figure (III.17). Device Arduino UNO	58
Figure (III.18). Bluetooth HC-05(06)	58
Figure (III.19). Nommé les variables (seeck bar)	59
Figure (III.20). Interface de l'application	59
Figure (III.21). Interface de contrôle du robot	59
Figure (III.22) Simulation Commande par Bluetooth dans bras manipulateur sous ISIS	62
Figure (III.23). Bras Manipulateur	63
Figure (III.24). Commande du Bras manipulateur par joystick	64
Figure (III.25). Commande du Bras à distance	65

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
Tableau (II.1) Tableau des caractéristiques des servomoteurs du bras.	29
Tableau (II.2) donne le type d'articulations et les angles de rotations possibles de notre réalisation.	36
Tableau (II.3) Tableau des paramètres de DENAVIT- HATENBERG de notre réalisation.	37
Tableau (III.1). Caractéristiques de l'Arduino	48

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le développement de la science et de la technologie, dans les domaines de l'électronique, l'informatique, mathématique et la mécanique, a permis à l'homme de construire des robots hautement perfectionnés capables de se substituer à l'humaine dans ses fonctions motrices, sensorielles et intellectuelles en leur conférant une intelligence artificielle, comme les robots d'exploration, les robots d'intervention, les robots ludiques, les robots de service, industriel, etc. Parmi tous ces robots nous sommes intéressées au bras manipulateur qui est énormément utilisé dans le milieu industriel car il peut réaliser des tâches de façon répétitive, à hautes vitesses, pour satisfaire des temps d'exécution désirés.

La robotique est devenue une discipline extrêmement populaire. Alliant un grand intérêt pédagogique et industriel, elle demande beaucoup de créativité et de connaissances pluridisciplinaires. Aujourd'hui, il existe plusieurs types de robots conçus pour des tâches bien spécifiques. Les robots industriels actuellement en service sont des robots de type manipulateur.

Le bras manipulateur est un système de positionnement où les forces agissant au niveau des articulations sont produites par des actionneurs. Ces derniers peuvent être de types électrique, hydraulique ou pneumatique. Ils sont bien implantés dans les procédés de fabrication modernes et sont employés pour augmenter le volume de production et améliorer la qualité du produit dans les chaînes de montage de l'industrie automobile, ils remplacent les ouvriers dans les tâches pénibles, répétitives ou dangereuses (peinture, soudure...).

Notre projet de fin d'études porte sur la réalisation d'un bras manipulateur dont le circuit de commande est à base d'un microcontrôleur Arduino. Le dialogue avec le système de commande se fait par deux manières, avec un joystick (manette) et une application via un téléphone smart qui serve à la manipulation du robot à distance.

Nous avons choisi ce sujet à cause de l'utilisation la plus courante de ces bras d'un côté, et d'autre côté l'importance de son travail y compris leur force qui dépasse celle du corps humain. De plus, il facilite les tâches avec une haute précision.

L'objectif principal de notre travail consiste en l'étude théorique, ainsi qu'en la réalisation pratique d'un bras robot manipulateur à trois degrés de liberté, en utilisant des servo moteurs permettant à ce dernier d'avoir des déplacements d'une grande précision. Après la réalisation, on a procédé à la programmation, notamment la configuration du Bluetooth et l'implémentation d'une commande à distance avec smart phone à travers une application Android.

INTRODUCTION GENERALE

Afin d'atteindre notre objectif, ce mémoire est organisé en trois chapitres comme suit :

Dans le premier chapitre, nous commençons par une présentation générale sur les robots.

Donne un aperçu sur les robots. Nous définissons le robot industriel et la robotique et nous donnons un bref historique sur la robotique industrielle et les différents types de robots. Ce premier chapitre analyse aussi les différents constituants d'un robot manipulateur qui est l'objet de notre étude et explique ce qu'une structure mécanique articulée (SMA).

Le deuxième chapitre est consacré à la description et la modélisation du bras manipulateur étudié. La première partie porte sur la description mécanique du bras et les différents composants utilisés pour sa réalisation. La deuxième traite de la modélisation et de l'élaboration des modèles géométriques, cinématiques, et dynamiques, ainsi que de la modélisation des actionneurs électriques.

Le troisième chapitre expose la commande et la simulation du bras manipulateur. La première partie concerne la présentation de la carte de commande et son fonctionnement, ainsi que les types de commande qu'on peut utiliser avec notre réalisation.

Enfin, le mémoire se termine avec une conclusion résumant les connaissances acquises tout au long de ce projet, ainsi que les perspectives pouvant venir améliorer notre bras manipulateur et compléter notre travail dans le futur.

CHAPITRE 1 :

GÉNÉRALITÉS

I.1. Introduction

La robotique est considérée comme un des grands axes de progrès scientifiques et techniques, elle consiste à l'automatisation de nombreux secteurs de l'activité humaine afin par exemple, d'augmenter la productivité dans les entreprises, stimuler la compétitivité entre eux et surtout pouvoir travailler dans des zones à haut risque (espace, démantèlement nucléaire, déminage ...etc.).

Les robots sont utilisés de manière privilégiée pour des missions où les objectifs sont quantifiables et clairement définis. Ils sont destinés à faciliter les tâches et à amplifier le rendement.

Dans ce premier chapitre, on va donner un aperçu non exhaustive sur les robots, une définition de la robotique industrielle et présenter les différents types de robots et les éléments constitutifs de ces derniers. Enfin, on évoquera la classification des systèmes robotiques.

I.2. Définitions

I.2.1. Définition d'un robot

La définition générique stipule qu'un robot est un mécanisme automatique capable d'exécuter certaines tâches selon un programme fixe ou modifiable. [1].

Un robot est un dispositif mécatronique (alliant mécanique, électronique et informatique) accomplissant automatiquement des tâches diverses. C'est une machine intelligente fonctionnelle qui nécessite une autonomie de mouvements. [2]

I.2.2. Définition de la robotique

La robotique est une science ou l'ensemble de technique permet la conception et la construction des machines automatiques ou plus simplement de robot. Sa pratique réunie des savoir-faire techniques et des connaissances scientifiques des domaines de l'électronique, de l'informatique et de la mécanique.

[3]

I.3. L'histoire de la robotique

Depuis la nuit des temps, un des rêves essentiels de l'homme, c'est de créer une machine intelligente à son image. Ce rêve fait désormais partie de la réalité frappante de notre monde. Le concept du robot a été établi par de nombreuses réalisations historiques créatives, tel que : l'horloge à

l'eau de Clepsydre introduite par les Babyloniens (1400 avant JC), Le théâtre de l'automate du Héros d'Alexandrie (100 après JC), les machines hydrauliques hydro alimentées et les humanoïdes d'Al-Jazari (1200) et les nombreux designs ingénieux de Léonard de Vinci (1500). Néanmoins, l'émergence du robot physique a dû attendre l'avènement de ses technologies sous-jacentes au cours du XX^e siècle [4].

➤ **1920-1941 : Apparition du mot robot et robotique :**

L'origine du mot robot provient de la langue tchèque dans laquelle sont ancêtre "rabota «signifie travail forcé. Il a été introduit, en 1920, par l'écrivain tchèque Karel Capek dans la pièce de théâtre Rossums Universel Robots. Le terme robotique a été employé pour la première fois par Asimov en 1941. [5]

➤ **1961 : Unimation, le 1er robot industriel :**

Descendant direct des télémanipulateurs développés pour les besoins du nucléaire. Il est vendu à partir de 1961 par la société américaine Unimation (devenu Stäubli Unimation), créée par George Devol et Joseph Engelberger. Il est utilisé pour la première fois sur les lignes d'assemblage de General Motors. Ce robot, grâce à son bras articulé de 1,5 tonne, était capable de manipuler des pièces de fonderie pesant 150 kg. [5]

En 1966, l'entreprise Unimation continue de développer des robots et élaborent notamment des robots permettant de faire d'autres tâches, comme des robots de manipulation matérielle ou encore des robots conçus pour la soudure ou pour d'autres applications de ce genre. [6]



Figure(I.1) : Robot Unimate.

➤ **En 1972 : 1ere chaîne de production robotisée :**

Nissan ouvre la première chaîne de production complètement robotisée, Selon une étude de l'IFR, 2142 millions de robots ont été fabriqués entre les années 60 et la fin 2010, Les analystes estiment qu'aujourd'hui, de 1 à 1,3 million de robots travaillent pour nous dans les usines dans le monde. En 1978 un nouveau robot est conçu par Unimation Inc avec l'aide de General Motors. Ensemble ils conçurent le robot PUMA 500. Le robot PUMA (Programmable Universal Machine for Assembly) a été conçu par Vic Schienman et fut financé par General Motors. [6]



Figure(I.2) : Chaîne de production robotisée.



Figure (I.3) : Robot Puma.

➤ **1970-1980 : Premiers robots mobiles :**

- 1960-64 : Ouverture des laboratoires d'Intelligence Artificielle au M.I.T., Stanford Research Institute (SRI), Sanford Université, Université of Edinburgh.
- Fin des années 60 : Mise en place de "Shakey" premier robot mobile Intégrant perception, planification et exécution.
- 1970 : Sandford Carte
- 1977 : premier robot mobile français HILARE au LAAS (CNRS Toulouse). [7]



Figure (I.4) : Premier robots mobiles.

➤ **1980-1990 : l'intelligence Artificielle**

L'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique pour une vaste gamme d'applications de la reconnaissance faciale à la détection des maladies dans les imageries médicales jusqu'aux compétitions mondiales dans des jeux tels que les échecs et Go. Les nations investissent d'ores et déjà d'énormes montants d'argent dans le secteur, qui doit être au cœur de l'avancée de la technologie et qui sera déterminant dans la croissance économique du monde entier. [8]



Figure (I.5) : Robot intelligent.

➤ **1990-2000 : Essor de la robotique mobile :**

- 1992 : Mise en place de la compétition annuelle AAAI sur la robotique mobile.
- 1995 : Mise en place de la Robo Cup (lien vidéo).
- 1997 : premier robot mobile extra planétaire sur Mars.
- 1999 : Lancement d'Aibo. [7]



Figure (I.6) : Essor de la robotique.

➤ **Depuis 2000 : Exploration :**

- 2003 : Projet "Mars Exploration Rover" (Spirit & Opportunity).
- 2009 : projet "Mars Science Laboratory" succédant au projet Rover, envoi prévu de Curiosity fin 2011. [7]



Figure (I.7): (Spirit & Curiosity)

➤ **Depuis 2000 : Démocratisation des robots :**

- 2000 : Lancement d'Asimo
- Diversification des compétitions de robotique.
- Utilisation de drones en situation réelle (Irak...).
- 2006 : le projet Aibo n'est plus assez rentable, fin de la production. 2009 : robot Nautilus à la Robocup Soccer. [7]



Figure(I.8) : les Robot d'Asimo et Aibo.

➤ **Entre 2010 et 2019 :**

Cette période est riche invention et on ne peut pas mentionner tous en raison des différents domaines et le nombre important, il y avait des inventions et un développement de nombreux types de robots et dans différent domaine, les plus récents sont des robots humanoïde basée sur l'intelligence artificielle telle que le robot kenshiro et kengoto, ce derniers est développer par l'université de Tokyo, capable de transpirer quand il fait du sport un moyen pour refroidir ces circuits. [9]



Figure(I.9) : Kengoro robot.

I.4.Types des robots

Il existe deux types de robots : les robots mobiles et les robots manipulateurs

I.4.1. Robots mobiles

Ce sont des robots capables de se déplacer dans leur environnement. Celui-ci est à déterminer : aquatique, aérien, sur sol plat, accidenté, sable, pelouse,... [10]

CHAPITRE 1 : GENERALITE

Ils sont équipés ou non de manipulateurs suivant leur utilisation, (les robots explorateurs, les robots de services...).



Figure (I.10) : Spirit, NASA, 2003 sur Mars

I.4.2. Robots manipulateurs

Les robots manipulateurs sont des robots intégrés dans un espace propre destiné au transfert de produits semi-finis entre les lignes de production. Le robot est généralement suspendu pour des questions d'encombrement et par contraintes d'implantation. [11]



Figure (I.11) : Robot manipulateur

I.5. Robot industriel

La définition diffère selon les pays, on se contentera de la version normalisée par l'organisation internationale de normalisation (ISO) :

« Une machine formée par un mécanisme incluant plusieurs degrés de libertés, ayant souvent l'apparence d'un ou de plusieurs bras se terminant par un poignet capable de tenir des outils, des pièces ou un dispositif d'inspection.[12]

La définition que l'on donne actuellement au robot industriel diffère quelque peu selon les pays :

I.5.1.Robots Institute of America

Un robot est un manipulateur reprogrammable à fonction multiples. Il est conçu pour déplacer des matériaux, des pièces, des outils ou des instruments spéciaux suivant des trajectoires variables programmées, en vue d'accomplir des tâches très divers. [13]

I.5.2. Association Japonaise de Robotique Industrielle

Tout mécanisme permettant d'effectuer, en tout ou en partie, une tâche normalement réalisée par l'homme. [13]

I.5.3. L'association Française de Robotique Industrielle

Un robot industriel est une machine formée de divers mécanismes comportant divers degrés de liberté, ayant souvent l'apparence d'un ou de plusieurs bras se terminant par un poignet capable de maintenir un outil, une pièce ou un instrument de contrôle.

En particulier son unité de contrôle doit contenir un système de mémorisation, et il peut parfois utiliser des accessoires sensitifs et adaptables qui tiennent compte de l'environnement et des circonstances.

Ces machines sont généralement conçues pour effectuer des fonctions répétitives, mais sont adaptables à d'autres fonctions. [13]

I.5.4. International Standard Organization (ISO)

Une machine formée par un mécanisme incluant plusieurs degrés de liberté, ayant souvent l'apparence d'un ou plusieurs bras se terminant par un poignet capable de tenir des outils, des pièces ou un dispositif d'inspection. [13]

I.6. Bras manipulateur

C'est des robots ancrés physiquement à leur place de travail et généralement mis en place pour réaliser une tâche précise et répétitive. Ce sont des manipulateurs automatiques programmés qui se substituent à l'homme pour l'accomplissement de tâches répétitives tels que les bras manipulateurs médicaux, les robots industriels.



Figure (I.12) : Bras manipulateur série [14]



Figure (I.13) : Bras manipulateur parallèle [15]

Un bras manipulateur est un bras d'un robot généralement programmable, avec des fonctions similaires à un bras humain. Il peut être autonome ou contrôlé manuellement et peut être utilisé pour effectuer une variété de tâches avec une grande précision. [16]

I.7. Constituant d'un robot

On distingue classiquement 4 parties principales dans un robot manipulateur :

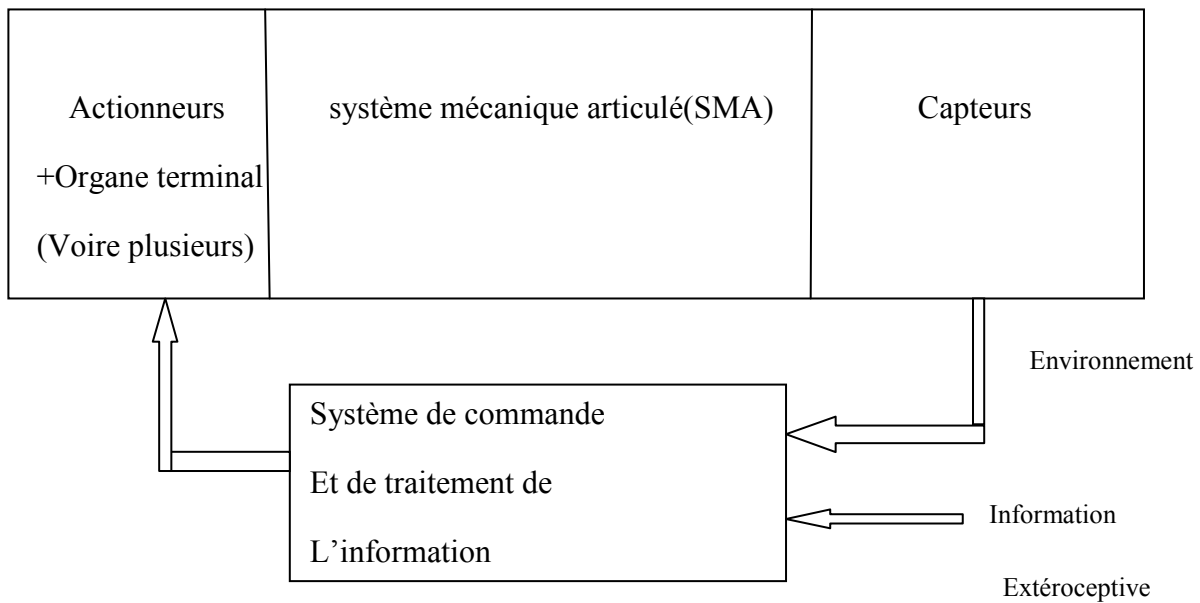


Figure (I.14) : Constituant d'un robot [17]

I.7.1. Les actionneurs

Un « actionneur » peut être défini comme un dispositif qui convertit l'énergie (en robotique, cette énergie tend à être électrique) en un mouvement physique. La grande majorité des actionneurs produit un mouvement soit rotatif, soit linéaire. Par exemple, un « moteur à courant continu » est donc un type d'actionneur. [18]

Les actionneurs sont l'ensemble des moteurs associés à des transmissions (courroies crantées) pour animer le S.M.A. Ils utilisent souvent des moteurs électriques à aimant permanent, à courant continu et à commande par l'induit (la tension n'est continue qu'en moyenne, car en général l'alimentation est un hacheur de tension à fréquence élevée). [17]

Un actionneur est la partie du robot lui permettant d'agir sur son environnement. C'est grâce à lui que le robot peut exécuter un travail. On peut aussi l'appeler "partie opérative".

I.7.1.1.Actionneurs rotatifs

Comme son nom l'indique, ce type d'actionneurs transforme l'énergie électrique en un mouvement rotatif. Il existe deux principaux paramètres mécaniques qui les distinguent :

- (1) le couple, la force qu'ils peuvent produire à une distance donnée (généralement exprimée en N.m)
- (2) la vitesse de rotation (habituellement mesurée en tours par minute, ou (tr/min)).

On peut distinguer les différents types des moteurs suivants :

- ✓ **Moteur à courant alternatif.**
- ✓ **Moteurs à courant continu.**
- ✓ **Servomoteurs.**
- ✓ **Moteurs pas à pas.**

I.7.1.2.Actionneur hydraulique

Il est l'une des plus intéressantes dans la robotique pour de multiples raisons :

- Puissance massique élevée.
- Temps de réponse court.
- Précision.

Les actionneurs sont le plus souvent hydrauliques pour les robots devant manipuler de très lourdes charges (par exemple, une pelle mécanique). Ils doivent agir en translation (vérin hydraulique) ou en rotation (moteur hydraulique). Il existe également des actionneurs pneumatiques ayant un usage général pour les manipulateurs à cycles. [19]

I.7.2.Le système mécanique articulé (S.M.A.)

Il s'agit d'un mécanisme ayant une structure plus ou moins proche de celle du bras humain. Il permet de remplacer, ou de prolonger, son action. Le rôle du S.M.A. est de guider l'organe terminal dans une situation (position et orientation) donnée, selon des caractéristiques de vitesse et d'accélération données. Il est composé d'une chaîne cinématique de corps, généralement rigides, assemblés par des liaisons appelées articulations. Sa motorisation est réalisée par des actionneurs électriques, pneumatiques ou hydrauliques qui transmettent leurs mouvements aux articulations par des systèmes appropriés. [19]

I.7.3. Les articulations

Une articulation lie deux corps successifs en limitant le nombre de degré de liberté, de l'un par rapport à l'autre [20]

I.7.3.1. Articulation rotoïde

Il s'agit d'une articulation de type pivot, notée R, réduisant le mouvement entre deux corps à une rotation autour d'un axe commun. La situation relative entre les deux corps est donnée par l'angle autour [21].

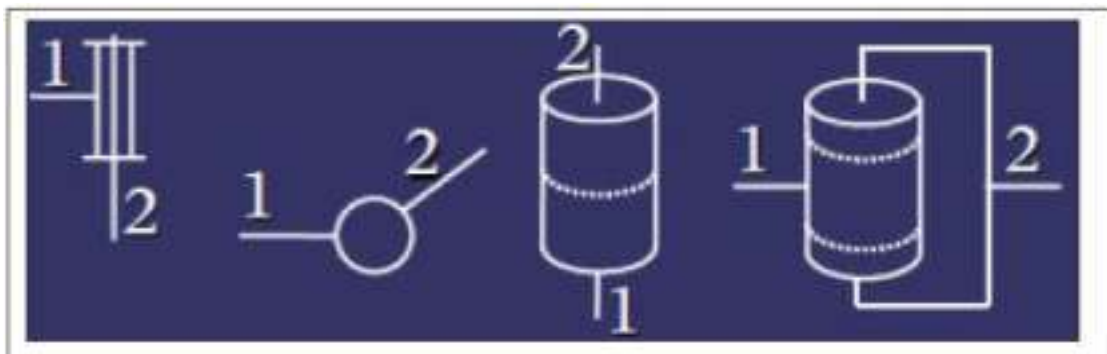


Figure (I.15) : Représentation d'une articulation rotoïde sous ses différentes formes [18]

I.7.3.2. Articulation prismatique

Il s'agit d'une articulation de type glissière, notée P, réduisant le mouvement entre deux corps à une translation le long d'un axe commun. La situation relative entre les deux corps est mesurée par la distance le long de cet axe [22].

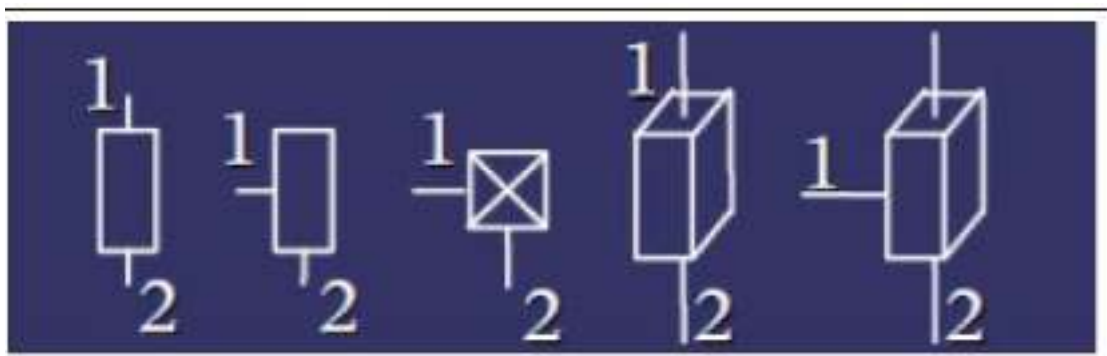


Figure (I.16) : Représentation d'une articulation rotoïde

I.7.4.Organe terminal

On regroupe tout dispositif destiné à manipuler des objets (dispositifs de serrage, dispositifs magnétiques, à dépression, ...), ou à les transformer (outils, torche de soudage, pistolet de peinture, ...). En d'autres termes, il s'agit d'une interface permettant au robot d'interagir avec son environnement. Un organe terminal peut être multifonctionnel, au sens où il peut être équipé de plusieurs dispositifs ayant des fonctionnalités différentes. Il peut aussi être monofonctionnel, mais interchangeable. Un robot, enfin, peut-être multi-bras, chacun des bras portant un organe terminal différent. On utilisera indifféremment le terme organe terminal, préhenseur, outil ou effecteur pour nommer le dispositif d'interaction fixé à l'extrémité mobile de la structure mécanique, exemple : pistolet pour la soudure dans les robots industriels. [23]

I.7.5.Les capteurs :

Les capteurs sont les organes de perception. Ils sont dits proprioceptifs lorsqu'ils mesurent l'état interne du robot (positions et vitesses des articulations) et extéroceptifs lorsqu'ils recueillent des informations sur l'environnement (détection de présence, de contact, mesure de distance, vision artificielle). [18]

I.7.6.La commande :

La partie commande synthétise les consignes des asservissements pilotant les actionneurs, à partir de la fonction de perception et des ordres de l'utilisateur.

I.8.Classification des robots :

Quand on commande un robot, on a intérêt à pouvoir contrôler individuellement chaque articulation ou axe pour être bien maître de la trajectoire. C'est pourquoi on utilise principalement des liaisons pivot (articulations cylindriques). Elles ont par ailleurs l'avantage d'une réalisation pratique peu onéreuse comparée aux articulations à plusieurs degrés de liberté. On comprend qu'une combinaison d'articulations cylindriques et prismatiques permet de réaliser toutes les liaisons mécaniques autour de trois axes normaux concourants donnent une rotule à l'articulation rotoïde.

La classification des systèmes robotiques est difficile, car il existe de nombreux critères pour leurs descriptions. Cependant nous allons les classer selon deux structures qui sont les suivantes :

- Point de vue fonctionnel.
- Point de vue géométrique.

I.8.1. Point de vue fonctionnel

Le nombre de classe et les distinctions entre celles-ci varient de pays à pays (six classes au Japon, quatre en France). L'A.F.R.I. distingue quatre classes [24] :

I.8.1.1. Manipulateur à commande manuelle

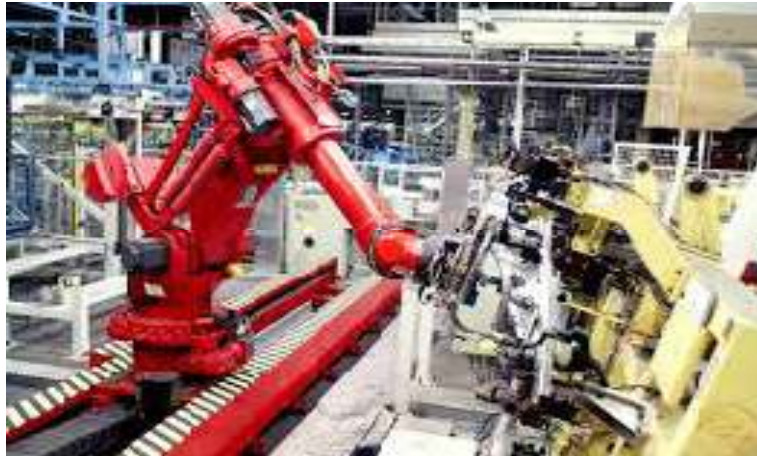
Le manipulateur à commande manuelle conçu et réalisé pour les manipulations particulièrement difficiles, répond spécifiquement aux exigences liées à la manutention de charges élevées, dans tous les points du volume de travail sans effort et dans des conditions optimales d'ergonomie et de sécurité.[25]



Figure (I.17) : Manipulateur à commande manuelle « MEGAPARTNER MG »

1.8.1.2. Manipulateur automatique

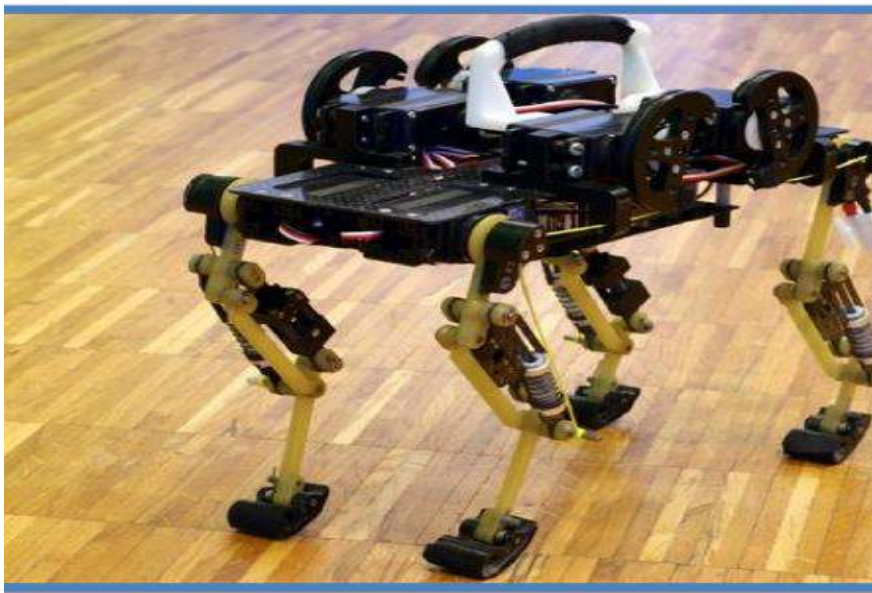
La figure (I.18) montre un bras manipulateur qui exerce des mouvements de soudure sans l'intervention de l'homme.[25]



Figure(I.18) : Manipulateur automatique.

I.8.1.3. Robots programmables

Ils répètent les mouvements qu'on leur a appris ou programmés sans informations sur l'environnement ou la tâche effectuée. On peut aussi faire la distinction entre robots« playback » qui reproduisent la tâche apprise et robots à commande numérique qui peuvent être Programmés hors-ligne. Pour certains robots, par exemple les robots de peinture, qui doivent Suivre une trajectoire complexe qu'il est difficile d'exprimer mathématiquement, un opérateur Humain spécialiste de la tâche effectue la trajectoire en guidant le bras du robot à l'aide d'un « Pantin», et l'entièreté de la trajectoire est mémorisée par le robot [26].



Figure(I.19) : Robot programmable.

I.8.1.3. Robots intelligente

On trouve actuellement des robots de seconde génération qui sont capables d'acquérir et d'utiliser certaines informations sur leur environnement (systèmes de vision, détecteurs de proximité, capteurs d'efforts,...).

Les robots de troisième génération sont capables de comprendre un langage oral proche du langage naturel et se débrouiller de façon autonome dans un environnement complexe grâce à l'utilisation de l'intelligence artificielle [27].



Figure(I.20) : Robot intelligent [28].

1.8.2. Classification géométrique

On peut aussi classer les robots suivant leur configuration géométrique, autrement dit l'architecture de leur porteur [29].

1.8.2.1. Structure cartésienne (PPP) prismatique

C'est une structure à trois liaisons prismatiques et est la plus ancienne. Historiquement, elle découle logiquement de la conception traditionnelle d'une machine-outil à trois axes, type rectifieuse ou fraiseuse par exemple. Cette structure est relativement peu utilisée sauf dans quelques applications particulières telles que robots pratiques, robots de magasinage. [23]



Figure (I.21) : Robot cartésien

1.8.2.2. La structure cylindrique (RPP) ou (PRP)

Cette structure associe une rotation et deux translations. Elle présente l'inconvénient d'offrir un volume de travail faible devant un encombrement total important. Elle n'est pratiquement plus utilisée. [30]



Figure (I.22) : Structure d'un robot cylindrique

1.8.2.3. La structure sphérique ou polaire à axe de rotation orthogonale (RRP)

Est une structure quasiment abandonnée pour des raisons similaires à l'abandon de la structure cylindrique [31].

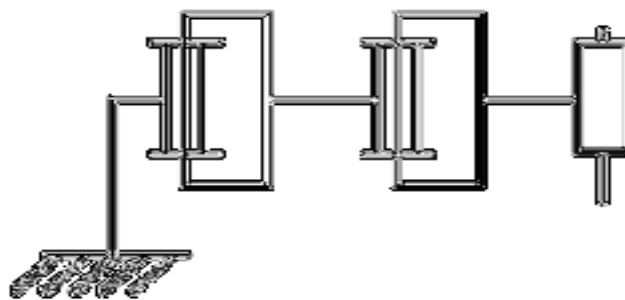


Figure(I.23) : Structure d'un robot sphérique [32].

1.8.2.4. La structure dite SCARA

Les caractéristiques d'une structure SCARA (Sélective Compliance Articula Ted Robot For Assemblage) sont : 3 axes en série cylindrique (RRP) ayant trois degrés de liberté. Les particularités de cette structure sont qu'elles sont précises et très rapides [33].

A axes de rotation parallèles, elle est l'une des plus utilisées en particulier pour des tâches de manutention ou d'assemblages très fréquents dans l'industrie. Ce succès commercial est lié au fait que le ratio entre le volume de travail et l'encombrement est très favorable et aussi au fait que la structure SCARA est très adaptée à ce type de tâches. [23]



Figure(I.24) : Structure SCARA [33]

1.8.2.5. La structure anthropomorphe (RRR)

Permet d'amener un solide en un point de l'espace par trois rotations, généralement une à axe vertical et deux à axes horizontaux et parallèles c'est le porteur généraliste par Excellence, pouvant se programmer facilement pour différent types de taches et disposant d'un volume de travail conséquent [31].

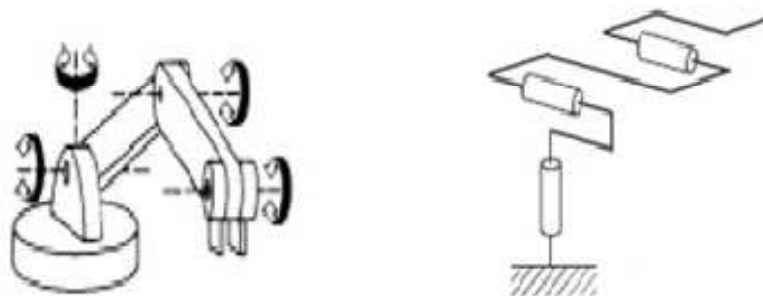


Figure (I.25) : Structure d'un robot 3R [34].

I.9. Domaines d'application de la robotique [35]

I.9.1 Industriel

Les robots sont très souvent utilisés dans le domaine de l'industrie comme, par exemple. Dans le montage, la soudure ou la peinture.

I.9.2 Médical

De nos jours, les médecins et plus précisément les chirurgiens sont assistés par les robots Intelligents capables de pratiquer des incisions de plus en plus précises. On retrouve ces robots En chirurgie, télé-chirurgie et en macro-chirurgie.

I.9.3 Spatial

L'espace étant très vaste, il est très difficile de l'explorer à l'échelle humaine. C'est Pourquoi les robots sont très utilisés dans ce domaine.

Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons donné un aperçu général sur la robotique l'historique des robots, leurs structures, leurs utilisations, leurs différents types, leurs classifications ainsi que leurs domaines d'application ce qui va nous servir pour la construction de notre bras. Les robots sont utilisés à jouer un rôle de plus en plus important dans notre vie.

CHAPITRE 2 :

DESCRIPTION ET MODÉLISATION DU BRAS MANIPULATEUR

II.1. Introduction

Dans tout système en robotique la mécanique et l'électronique sont liées, ceci se Matérialise par l'étude des actionneurs des chaînes cinématiques associées et aussi par l'étude Des capteurs qui constituent la source d'information. Par suite notre étude dans ce chapitre consiste à réaliser et commander un bras manipulateur à 4 degrés à l'aide d'une carte arduino puis on va passer à la modélisation qui consiste à représenter les aspects importants de ce système par des relations mathématiques.

II.2. Description mécanique du bras manipulateur

II .2.1. La structure mécanique du bras

II.2.1. 1.La base

La base est le socle fixe du bras, elle contient un servomoteur qui permet la rotation du Bras de 0° à 180° . [35]

Comme le montre la figure suivante :

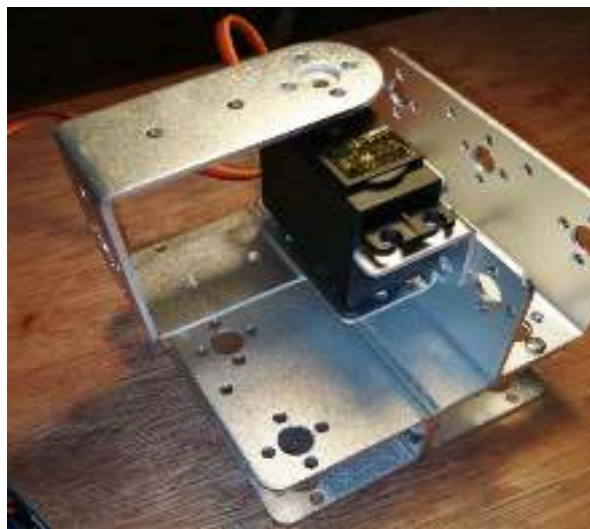


Figure (II.1) : Base du robot

II .2.1.2. Le bras

Il relie la base avec le bras. Par des vis et de deux servomoteurs. Ils se trouvent sur les côtés comme l'illustre la Figure (II.1) Ceux-ci contrôlent les mouvements avant/arrière et haut/bas du bras. [36]



Figure (II.2) : Bras du Robot

II.2.1.3. La pince

La pince est l'organe terminal de notre robot. En effet, elle permet de saisir les différents objets qu'on lui présente. La pince est constituée d'un servomoteur qui contrôle l'ouverture ou la fermeture de celle-ci grâce à un mécanisme d'engrenage. [37]



Figure (II.3) : Pince du robot

II.2.1.4. Le robot

Après avoir vu les différentes pièces constituant le bras manipulateur, nous avons passé à leur assemblage. La figure ci-dessous montre le bras manipulateur après l'assemblage Figure (II.4)



Figure (II.4) : Bras robot entier conçu sur 3D Builder

II.2.2. Description des parties constitutives du bras manipulateur

Pour que le bras manipulateur puisse exécuter une tâche il a besoin d'actionneur et de transmetteur, ces derniers servent à transmettre de l'énergie des actionneurs aux articulation srotoïdes. De plus pour asservir ces actionneurs on a besoin aussi de capteurs.

II.2.2.1. Les actionneurs du bras manipulateur

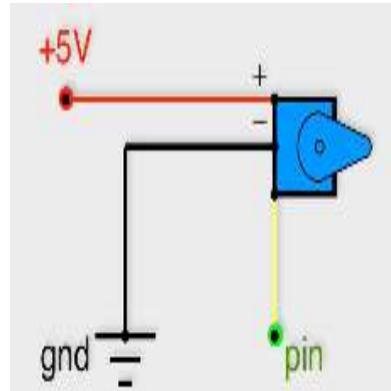
Un actionneur est un dispositif qui transforme l'énergie délivrée par l'interface de puissance, en énergie utilisable par les effecteurs de processus. Un actionneur est la partie du robot lui permettant d'agir sur son environnement.

C'est grâce à lui que le robot peut exécuter un travail. On peut aussi l'appeler "partie opérative".
[38] [39]

Il s'agit d'organes qui permettent au robot d'exécuter une tâche. Leur but est de produire assez de force pour provoquer le mouvement du robot, celui-ci représente la transformation d'une énergie mécanique.



Figure II.15 : Vue de l'intérieur



Figure(II.6) : Schéma d'un actionneur

L'extérieur d'un servomoteur :

Dans ce projet On a choisi d'utiliser comme actionneurs quatre servomoteurs qui sont des moteurs à courant continu (MCC), asservis en position à l'aide d'un capteur de position et d'un circuit électronique interne au moteur.

L'asservissement est un moyen de gérer, corriger une commande en fonction d'une consigne et d'un capteur de position. Pour pouvoir réaliser la correction de l'angle du bras, le servomoteur utilise une électronique d'asservissement. Cette électronique est constituée d'un comparateur qui compare la position du bras du servomoteur à la consigne. Après une rapide comparaison entre la consigne et la valeur réelle de la position du bras, le servomoteur applique correction si le bras n'est pas orienté à l'angle imposé par la consigne [40].

Un servomoteur Contient à trois fils de connexion pour fonctionner. Deux fils servent à son alimentation, le dernier étant celui qui reçoit le signal de commande :

- Rouge : pour l'alimentation positive (4.5V à 6V en général).
- Noir ou marron : pour la masse (0V).
- Orange, jaune, blanc, ... : entrée du signal de commande



Figure (II.7) : servomoteur du type MG996R [41],

II.2.2.2. Les paramètres techniques des servomoteurs

Les paramètres techniques des servomoteurs utilisés sont donnés par le **Tableau. II.1.**

Tableau. II.1. **Tableau des caractéristiques des servomoteurs du bras [41].**

Références	MG996R
Caractéristique	
Poids	55 g
Dimensions	40mm x 19mm x 43mm
Couples d'arrêt	13 kg-cm (180,5 oz-in) à 4,8 V
	15 kg-cm (208,3 oz-in) à 6V
Tensions de fonctionnement	4.8 - 7.2 Volts
Vitesses	0.17sec / 60 degrés (4.8V sans charge)
	0.13sec / 60 degrés (6.0V sans charge)
Angles de rotation	180°

II.2.2.3. La commande des servomoteurs

La consigne envoyée au servomoteur est un signal électronique de type PWM. Il dispose cependant de deux caractéristiques indispensables pour que le servomoteur puisse fonctionner :

La fréquence fixe : le signal qu'on va devoir générer doit avoir une fréquence de 50 Hz,

La durée de l'état haut : cette durée indique au servomoteur l'angle précis qui est souhaité par l'utilisateur [40].

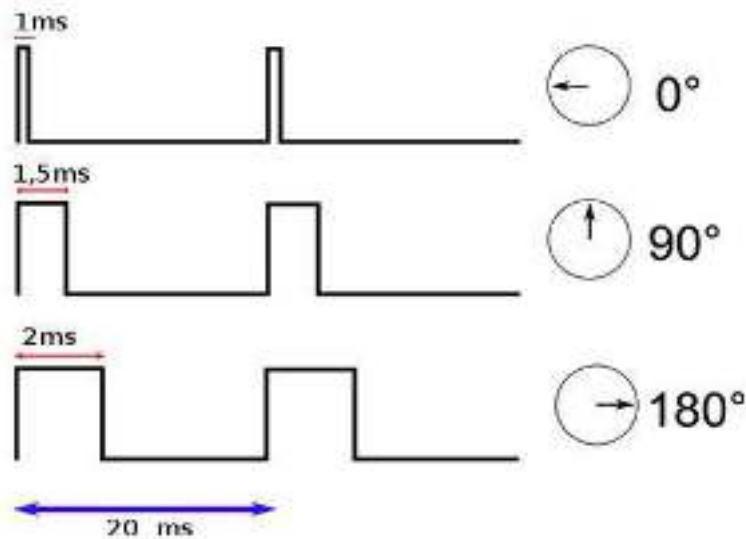
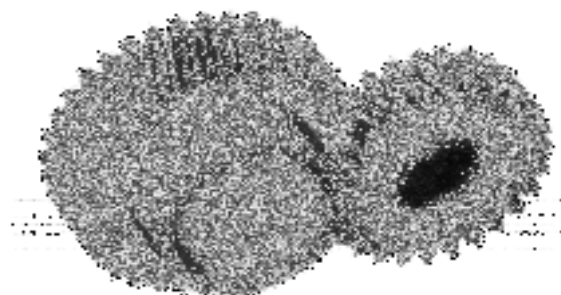


Figure (II.8) : Exemple de signaux en position pour un servomoteur.

II.2.2.4. Transmission entre articulations (les engrenages) :

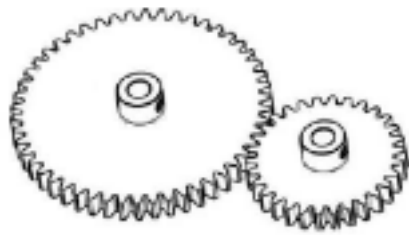
On trouve, au niveau de la pince, des engrenages reliés au servomoteur. Les transmissions par engrenages sont des organes mécaniques utilisés pour transformer et transmettre à un organe récepteur le couple et le mouvement de rotation générés par un moteur. [42]



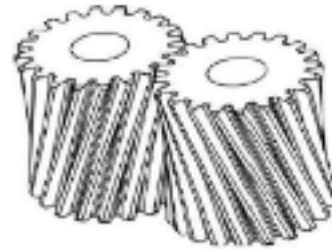
Figure(II.9) : Schéma d'un engrenage.

Il est rare que la sortie d'un actionneur soit directement utilisée pour produire un mouvement. Un moteur à courant continu tourne normalement à des vitesses de l'ordre de plusieurs milliers de tours par minute et produit un couple très faible. Afin de diminuer cette vitesse de rotation tout en

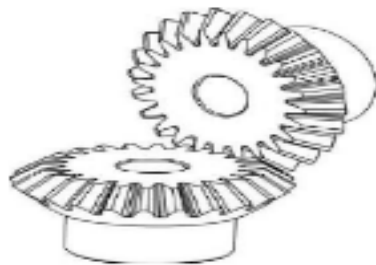
augmentant significativement le couple disponible, on place entre l'axe moteur et l'axe articulaire un réducteur. La transmission entre les articulations de notre bras manipulateur est assurée par un système d'engrenage illustré dans la figure suivante. [43]



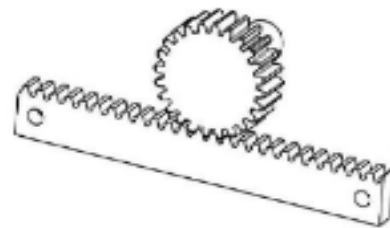
(a) Parallèles à denture droite



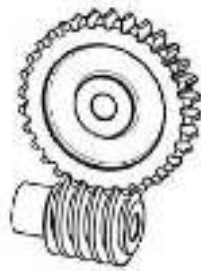
(b) Parallèles à denture hélicoïdale



(c) Coniques



(d) Pignon-crémaillère



(e) Roue et vis sans fin

Figure (II.10) : Différents types d'engrenage.

II.2.3.3. Les capteurs

Un capteur est un dispositif convertissant une grandeur physique analogique (pression, température, déplacement, débit,...) en un signal analogique rendu transmissible et exploitable par un système de conditionnement (courant électrique, radiation lumineuse, radiofréquence). Le capteur est la partie d'une chaîne de mesure qui se trouve au contact direct du mesurande [44].

Le rôle des capteurs est de gérer les relations entre le robot et son environnement. Ils permettent de contrôler plus facilement les tâches qu'on lui ordonne.

Il est important de distinguer deux types de capteurs :

- Les capteurs proprioceptifs qui mesurent l'état mécanique interne du robot,
- Les capteurs extéroceptifs qui recueillent des informations sur l'environnement [45].

Les capteurs ont comme fonction de lire les variables relatives au mouvement du robot pour permettre un contrôle convenable. Nous n'avons pas utilisé un capteur extéroceptif car dans notre application nous considérons que l'espace de travail est sans obstacle.

L'utilisation des capteurs proprioceptifs n'était pas également nécessaire vu que les servomoteurs contiennent un capteur potentiométrique qui sert à l'asservissement de position.

II.3. Modélisation

II.3.1. Repères et référentiels

À un instant donné, on repère la position du point M par le vecteur $\vec{r} = \overrightarrow{OM}$ appelé vecteur position. Ce dernier est représenté par les valeurs algébriques des projections sur une base orthonormée [46].

II.3.1.1. Coordonnées cartésiennes

On considère un repère constitué de trois axes rattachés à un point origine O, caractéristique du solide de référence (R). À ce repère on associe une base orthonormée directe [46]. $(\vec{U}_x, \vec{U}_y, \vec{U}_z)$ Les vecteurs $\vec{U}_x, \vec{U}_y, \vec{U}_z$ sont alors les vecteurs unitaires des axes OX, OY et OZ respectivement [46]. Les coordonnées cartésiennes sont les plus utilisées en robotique, car elles sont les plus simples pour la mesure des distances.

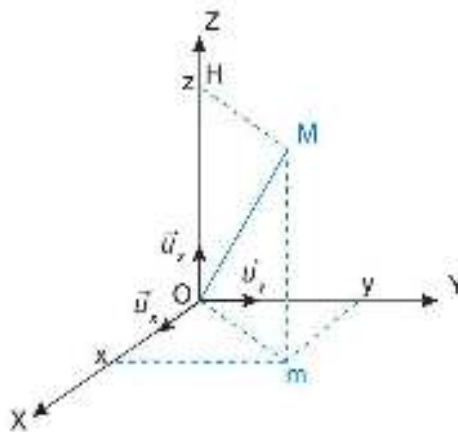


Figure (II.11) : Le système de coordonnées cartésiennes.

II.3.1.2. Coordonnées cylindriques

La position du point M est définie dans un repère $(O, \vec{U}_\rho, \vec{U}_\theta, \vec{U}_z)$. On introduit la base $(\vec{U}_\rho, \vec{U}_\theta, \vec{U}_z)$ orthonormée directe, associée aux coordonnées cylindriques (ρ, θ, z) . Les relations entre les coordonnées cylindriques et cartésiennes sont les suivantes [46].

$$\begin{cases} x = \rho \sin(\theta) \cos(\varphi) \\ y = \rho \sin(\theta) \sin(\varphi) \\ z = \rho \cos \theta \end{cases} \quad (\text{II.1})$$

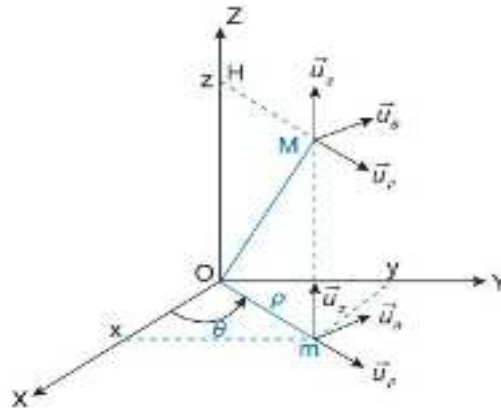
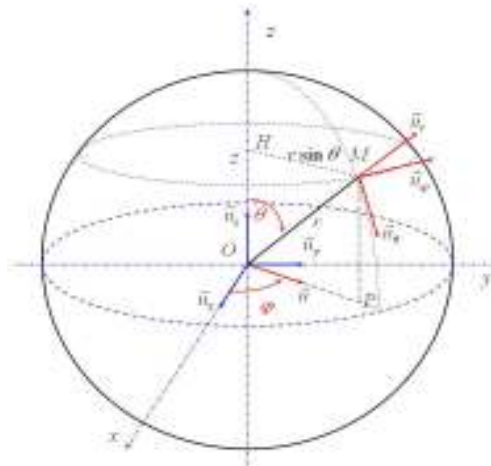


Figure (II.12) : Le système de coordonnées cylindriques.

II.3.1.3. Coordonnées sphériques

La position du point M est définie dans un repère $(O, \vec{U}_p, \vec{U}_\theta, \vec{U}_\varphi)$. On introduit la base $(O, \vec{U}_\rho, \vec{U}_\theta, \vec{U}_\varphi)$ orthonormée directe, associée aux coordonnées sphériques (ρ, θ, φ) . Les relations entre les coordonnées sphériques et cartésiennes sont les suivantes [47].

$$\begin{cases} x = \rho \sin(\theta) \cos(\varphi) \\ y = \rho \sin(\theta) \sin(\varphi) \\ z = \rho \cos \theta \end{cases} \quad (\text{II.2})$$



Figure(II.13) : Le système de coordonnées sphériques..

II.3.2. Position et orientation d'un solide

Si pour décrire la position d'un point, trois dimensions sont nécessaires et suffisantes, ce n'est plus le cas pour décrire la position d'un solide et son orientation. Il faut trois coordonnées pour positionner le centre d'inertie des solides et trois autres coordonnées pour son orientation dans l'espace. Six coordonnées sont donc nécessaires et suffisantes pour placer un objet dans l'espace [47].

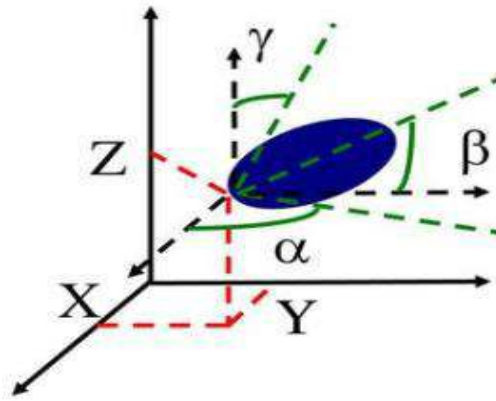


Figure (II.14) : Position d'un solide dans l'espace et son repère associé.

II.3.3. Modèle géométrique direct [35]

Le modèle géométrique direct (MGD) est l'ensemble des relations qui permettent d'exprimer la situation de l'organe terminal, c'est-à-dire les coordonnées opérationnelles du robot, en fonction de ses coordonnées articulaires. Dans le cas d'une chaîne ouverte simple, il peut être représenté par la matrice de transformation T_n^0 :

$$T_n^0 = T_1^0(q_1)T_2^1(q_2) \dots T_n^1(q_n) \quad (II.3)$$

Le MGD du robot peut aussi être représenté par la relation :

$$X = f(q) \quad (II.4)$$

Avec, q : Vecteur des variables articulaires tel que :

$$q = [q_1 q_2 \dots q_n]^T \quad (II.5)$$

Les coordonnées opérationnelles sont définies par :

$$X = [x_1 x_2 \dots x_m]^T \quad (II.6)$$

Plusieurs possibilités existent pour définir le vecteur X . Par exemple, avec les éléments de la matrice T_n^0 :

$$X = [P_x P_y P_z S_x S_y S_z n_x n_y n_z a_x a_y a_z]^T \quad (II.7)$$

Ou bien, sachant que :

$$X = [P_x P_y P_z n_x n_y n_z a_x a_y a_z]^T$$

II.3.3.1. Paramètre de Denavit-Hartenberg (DH) [35]

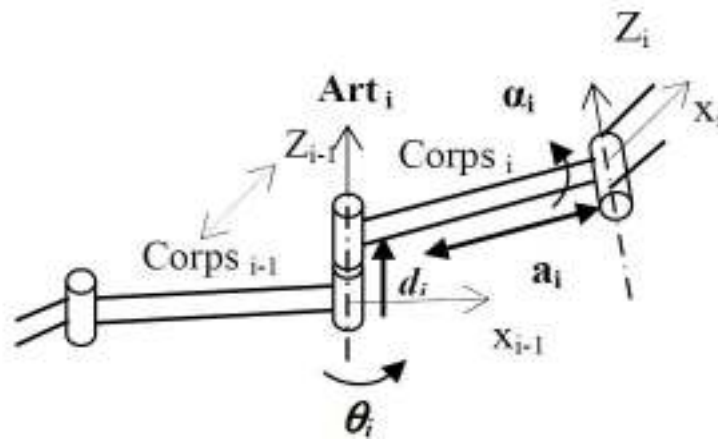
Afin d'établir les paramètres de DH, chacun des repères est établi en se basant sur trois règles l'axe Z_{i-1} est selon l'axe de mouvement de l'art-i.

L'axe X_{i-1} est aligné entre les articulations i et (i+1). Si a_i est nul, alors X_{i-1} est perpendiculaire à Z_{i-1} et Z_i .

L'axe Y_i complète le repère i pour former un repère « main droite ».

Pour passer de R_{i-1} à R_i , on peut suivre le chemin suivant :

- Rotation (Z_{i-1}, θ_i) avec, a_{i-1} : Distance entre Z_{i-1} et Z_i , le long de X_{i-1} .
- Translation (Z_{i-1}, d_i) α_i : Angle entre Z_{i-1} et Z_i , autour de X_i .
- Translation (X_i, a_i) θ_i : Angle entre X_{i-1} et X_i , autour de Z_{i-1} .
- Rotation (X_i, α_i) d_i : Distance de O_{i-1} à l'intersection de Z_{i-1} avec X_i .



Figure(II.15) : Schématisation du lien entre le Corps i-1 et i.

La matrice de passage d'une articulation à la suivante est donc :

$$T = T_{i-1}^i = T_{z,\theta} T_{z,d_i} T_{x,a_i} = \begin{bmatrix} c\theta_i & -c a_i . s\theta_i & s a_i . s\theta_i & a_i . c\theta_i \\ s\theta_i & c a_i . c\theta_i & -s a_i . c\theta_i & a_i . s\theta_i \\ 0 & s a_i & c a_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (II.8)$$

Le MGD d'un bras de robot est obtenu en utilisant le produit :

$$TMG = T_0^n = T_0^1 . T_1^2 \dots T_{n-1}^n \quad (II.9)$$

II.3.3.2. Modélisation géométrique direct de notre réalisation [35]

Notre réalisation est un bras manipulateur de quatre ddl qui se compose d'un organe terminal et d'une structure mécanique articulée. L'organe terminal est constitué d'un servomoteur qui contrôle l'ouverture et la fermeture de la pince. La structure mécanique contient trois servomoteurs qui

CHAPITRE 2 : DESCRIPTION ET MODELISATION DUBRAS MANIPULATEUR

contrôlent les articulations (de types rotoïdes). Le rôle de cette structure est d'amener l'organe terminal dans une situation (position et orientation) donnée.

Le Tableau (II.2) : le type d'articulations et les angles de rotations possibles de notre réalisation.

Type d'articulations, d'angles et de rotations de notre réalisation			
Nombre d'articulations		4	
Nombre d'actionneurs		4 servomoteurs	
Rotations		Angles	Types
La base		180°	Rotoïde
Le bras	L'épaule	180°	Rotoïde
	Le coude	180°	Rotoïde
Ouverture de la pince (en mm)		80	

II.3.3.3. Identification des paramètres de DH de notre bras manipulateur

La figure ci-dessous représente le placement des repères, selon la convention DH, que l'on a utilisé pour élaborer le MGD du bras.

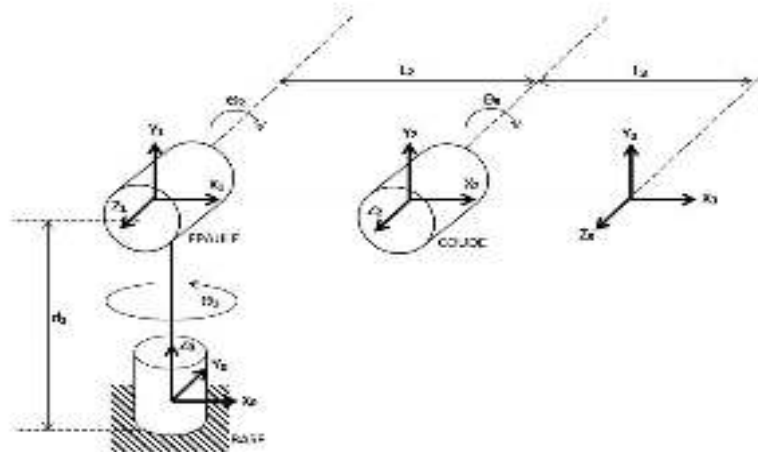


Figure (II.16) : Placement des repères selon le modèle DH.

La méthode générale de Raghavanet Roth, donnant la solution générale des robots à six articulations à partir d'un polynôme de degré, au plus, égal à 16.

Les paramètres, selon DH, sont donnés par **Tab. II.3.**

Segment	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	θ_1	d_1	0	90°
2	θ_2	0	L_2	0
3	θ_3	0	L_3	0
4	θ_4	0	L_4	90°

Tableau (II.3) Tableau des paramètres de DENAVIT- HATENBERG de notre réalisation.

$$T_0^1 = \begin{bmatrix} c\theta_1 & -c\theta_1 \cdot s\theta_1 & s\alpha_1 \cdot s\theta_1 & a_1 c\theta_1 \\ s\theta_1 & c\theta_1 \cdot c\theta_1 & -s\alpha_1 \cdot c\alpha_1 & a_1 \cdot s\theta_1 \\ 0 & s\alpha_1 & c\alpha_1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & -C_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (II.10)$$

$$T_1^2 = \begin{bmatrix} c\theta_2 & -c\theta_2 \cdot s\theta_2 & s\alpha_2 \cdot s\theta_2 & a_2 c\theta_2 \\ s\theta_2 & c\alpha_2 \cdot c\theta_2 & -s\alpha_2 \cdot c\alpha_2 & a_2 \cdot s\theta_2 \\ 0 & s\alpha_1 & c\alpha_1 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & L_2 C_2 \\ S_1 & C_1 & 0 & L_2 S_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (II.11)$$

$$T_2^3 = \begin{bmatrix} c\theta_3 & -c\alpha_3 \cdot s\theta_3 & s\alpha_3 \cdot s\theta_3 & a_3 c\theta_3 \\ s\theta_3 & c\alpha_3 \cdot c\theta_3 & -s\alpha_3 \cdot c\theta_3 & a_3 \cdot s\theta_3 \\ 0 & s\alpha_3 & c\alpha_3 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & L_3 C_3 \\ S_1 & C_1 & 0 & L_3 S_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (II.12)$$

$$T_3^4 = \begin{bmatrix} c\theta_3 & -c\alpha_4 \cdot s\theta_4 & s\alpha_4 \cdot s\theta_4 & a_4 c\theta_4 \\ s\theta_3 & c\alpha_4 \cdot c\theta_4 & -s\alpha_4 \cdot c\theta_4 & a_4 \cdot s\theta_4 \\ 0 & s\alpha_4 & c\alpha_4 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_3 & -S_3 & 0 & L_4 C_4 \\ S_2 & C_2 & 0 & L_4 S_4 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (II.13)$$

Le MGD s'obtient à partir de l'équation qui nous donne le résultat suivant :

$$T_0^4 = T_0^1 T_1^2 T_2^3 T_3^4 = \begin{bmatrix} C_1 C_{24} & -C_1 S_{34} & S_1 & C_1 (L_4 C_{23} + L_2 C_2) \\ S_1 C_{24} & -S_1 S_{34} & -C_1 & S_1 (L_4 C_{23} + L_2 C_2) \\ S_{23} & C_{23} & 0 & L_4 S_{23} + L_2 S_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (II.14)$$

II.3.4. Le modèle géométrique inverse (MGI)

On a vu que le modèle géométrique direct d'un robot a permis de calculer les coordonnées opérationnelles donnant la situation de l'organe terminal en fonction des coordonnées articulaires. Le problème inverse consiste à calculer les coordonnées articulaires correspondant à une situation donnée de l'organe terminal. [20]

On peut distinguer trois méthodes de calcul du MGI :

- La méthode de Paul qui traite séparément chaque cas particulier et convient pour la plupart des robots industriels
- La méthode de Peiper qui permet à résoudre le problème des robots à six ddl possédant trois articulations rotoides d'axes concourants ou trois articulations prismatiques,
- La méthode générale de Raghavan et Roth, donnant la solution générale des robots à six articulations à partir d'un polynôme de degré, au plus, égal à 16.

II.3.4.1. Le modèle géométrique inverse de notre réalisation

Pour calculer θ_1 , θ_2 et θ_3, θ_4 on a :

$$T_0^4 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13}r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23}r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33}r_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1C_{24} & -C_1S_{34} & S_1 & C_1(L_4C_{23} + L_3C_2) \\ S_1C_{24} & -S_1S_{34} & -C_1S_1(L_4C_{23} + L_3C_2) \\ S_{23} & C_{23} & 0 & L_4S_{23} + L_2S_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II. 15})$$

On remarque que le calcul de θ_1 est directement obtenue à partir de r_{13} et r_{23} , ce qui implique que :

$$\theta_1 = \text{atan2}(r_{13}, -r_{23}) \quad (\text{II. 16})$$

Le calcul de θ_2 peut se faire en utilisant les composantes r_{14} et r_{34} , tel que :

$$r_{14} = C_1(L_3C_{23} + L_2C_2) \quad (\text{II. 17})$$

$$r_{34} = (L_3S_{23} + L_2S_2 + d_1) \quad (\text{II. 18})$$

Ce qui implique que :

$$C_2 = \frac{r_{14} - L_3C_1C_{23}}{L_2C_1} \quad (\text{II. 19})$$

$$S_2 = \frac{r_{34} - L_3r_{31} - d_1}{L_2} \quad (\text{II. 20})$$

Ce qui nous donne :

$$\theta_2 = \text{atan2}(S_2, C_2) \quad (\text{II. 21})$$

On obtient le calcul de θ_1 à partir de r_{31} et r_{32} comme suit :

On pose :

$$\beta = \text{atan2}(r_{31}, r_{32}) \quad (\text{II.22})$$

Ce qui nous donne :

$$\theta_3 = \beta - \theta_2 \quad (\text{II.23})$$

II.3.5. Modélisation cinématique direct (MCD) [48]

Le MCD d'un robot manipulateur décrit les vitesses des coordonnées opérationnelles en fonction des vitesses articulaires. Il est noté :

$$\dot{X} = J(q)\dot{q} \quad (\text{II.24})$$

Avec, $J(q)$: Matrice jacobienne de dimension (mxn) du mécanisme.

On peut obtenir la matrice jacobienne par une méthode de calcul direct, fondée sur la relation entre les vecteurs des vitesses de translation et de rotation V_n et ω_n du repère R_n , et les vitesses articulaires \dot{q} :

$$\begin{bmatrix} V_n \\ \omega_n \end{bmatrix} = J_n \dot{q} \quad (\text{II.25})$$

II.3.5.1. Modèle cinématique direct de notre réalisation

On commence par le calcul des vitesses angulaires :

$$\omega_0^0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (\text{II.26})$$

$$\omega_{0^+}^1 = \omega_0^0 + \theta_1^0 Z_0^0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.27})$$

$$\omega_1^1 = \omega_{0^+}^0 R_1^0 \omega_0^1 = \begin{bmatrix} c_1 & s_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ s_1 & -c_1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\theta}_1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (\text{II.28})$$

$$\omega_1^2 = \omega_1^1 + \theta_2^0 Z_1^1 = \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\theta}_1 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} \quad (\text{II.29})$$

$$\omega_2^2 = R_2^1 \omega_1^2 = \begin{bmatrix} c_2 & s_2 & 0 \\ -s_2 & c_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 s_2 \\ \dot{\theta}_1 c_2 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} \quad (\text{II.30})$$

$$\omega_2^3 = \omega_2^2 + \theta_3^0 Z_2^2 = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 s_2 \\ \dot{\theta}_1 c_2 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 s_2 \\ \dot{\theta}_1 c_2 \\ \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} \quad (\text{II. 31})$$

$$\omega_3^3 = R_2^3 \omega_2^3 = \begin{bmatrix} c_3 & s_3 & 0 \\ -s_3 & c_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 s_2 \\ \dot{\theta}_1 c_2 \\ \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 (c_3 s_2 + s_3 c_2) \\ \dot{\theta}_1 (c_2 c_3 - s_2 s_3) \\ \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 s_{23} \\ \dot{\theta}_1 c_{23} \\ \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} \quad (\text{II. 32})$$

$$\omega_0^3 = R_0^3 \omega_3^3 = \begin{bmatrix} c_1 c_{23} & -c_1 s_{23} & s_1 \\ s_1 c_{23} & -s_1 s_{23} & -c_1 \\ s_{23} & c_{23} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 s_{23} \\ \dot{\theta}_1 c_{23} \\ \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & s_1 & s_1 \\ 0 & -c_1 & -c_1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} \quad (\text{II. 33})$$

Ensuite, on poursuit par les vitesses linéaires :

$$V_0^0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (\text{II. 34})$$

$$V_0^1 = V_0^0 + \omega_0^1 P_0^1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ d_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (\text{II. 35})$$

$$V_1^2 = V_1^1 + \omega_1^2 P_1^2 = \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} L_2 c_2 \\ L_2 s_2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dot{\theta}_2 L_2 s_2 \\ \dot{\theta}_2 L_2 c_2 \\ -\dot{\theta}_1 L_2 c_2 \end{bmatrix} \quad (\text{II. 36})$$

$$V_2^2 = R_2^1 V_1^2 = \begin{bmatrix} c_2 & s_2 & 0 \\ -s_2 & c_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\dot{\theta}_2 L_2 s_2 \\ \dot{\theta}_2 L_2 c_2 \\ -\dot{\theta}_1 L_2 c_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ L_2 \dot{\theta}_2 \\ -\dot{\theta}_1 L_2 c_2 \end{bmatrix} \quad (\text{II. 37})$$

$$V_2^3 = V_2^2 + \omega_2^3 P_2^3 = \begin{bmatrix} 0 \\ L_2 \dot{\theta}_2 \\ -\dot{\theta}_1 L_2 c_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 s_2 \\ \dot{\theta}_1 c_2 \\ \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} L_3 c_3 \\ L_3 s_3 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (\text{II. 38})$$

$$V_3^3 = R_3^2 V_2^3 = \begin{bmatrix} c_3 & s_2 & 0 \\ -s_3 & c_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -(\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) L_3 s_3 \\ L_2 \dot{\theta}_2 + L_3 c_3 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \\ -\dot{\theta}_1 L_3 c_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_2 L_2 s_3 \\ \dot{\theta}_2 L_2 c_3 + L_3 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \\ -\dot{\theta}_1 L_3 c_{23} \end{bmatrix} \quad (\text{II. 39})$$

$$\begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -L_3 c_{23} s_1 & L_2 c_1 (s_3 c_{23} - c_3 s_{23}) - L_3 c_1 s_{23} & -L_3 c_1 s_{23} \\ L_3 c_{23} c_1 & L_2 s_1 (s_3 c_{23} - c_3 s_{23}) - L_3 s_1 s_{23} & -L_3 s_1 s_{23} \\ 0 & -c_1 & -c_1 \end{bmatrix}^{-1} \dot{X}r \quad (\text{II. 44})$$

Le modèle cinématique dans R3 est donné par :

$$\begin{bmatrix} V_2^3 \\ \omega_2^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & L_2 s_3 & 0 \\ 0 & L_3 + L_2 c_3 & L_3 \\ -L_3 c_{23} & 0 & 0 \\ s_{23} & 0 & 0 \\ c_{23} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} \quad (\text{II. 41})$$

$$\begin{bmatrix} V_4^4 \\ \omega_4^4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & L_3 s_4 & 0 \\ 0 & L_3 + L_3 c_4 & L_4 \\ -L_4 c_{34} & 0 & 0 \\ s_{34} & 0 & 0 \\ c_{34} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{bmatrix} \quad (\text{II. 42})$$

Le modèle cinématique final dans R0 est donné par :

$$\begin{bmatrix} V_0^4 \\ \omega_0^4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -L_4 c_{34} s_1 & L_3 c_1 (s_3 c_{23} - c_3 c_{23}) - L_4 c_1 s_{23} & -L_4 c_1 s_{23} \\ L_4 c_{34} c_1 & L_3 s_1 (s_3 c_{23} - c_3 s_{23}) - L_4 s_1 s_{23} & L_4 s_1 s_{23} \\ 0 & L_3 (s_3 s_{23} - c_3 c_{23}) + L_4 c_{23} & L_4 c_{23} \\ 0 & s_1 & s_1 \\ 0 & -c_1 & -c_1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{II. 43})$$

II. 3.6. Modèle cinématique inverse (MCI) [48]

L'objectif du MCI est de calculer, à partir d'une configuration q donnée, les vitesses articulaires qui assurent au repère terminal une vitesse opérationnelle \dot{X} imposée. Pour obtenir le modèle cinématique inverse, on inverse le modèle cinématique direct en résolvant un système d'équations linéaires. La mise en œuvre peut être faite de façon analytique ou numérique. Les solutions analytiques réduisent le nombre d'opérations de façon remarquable par rapport aux solutions numériques. Mais, il faut traiter les cas singuliers distinctement. Les solutions numériques sont plus générales et traitent tous les cas de la même manière.

II.3.6.1. Modèle cinématique inverse de notre réalisation

Pour ce faire, on peu utilisé la matrice $J_0(3 \times 4)$ réduite, que l'on obtient en supprimant les lignes 3, 4 et 6 du MCD. En considérant la matrice jacobéenne réduite nous avons :

$$J_{0(3 \times 4)} = \begin{bmatrix} -L_3 c_{23} s_1 & L_2 c_1 (s_3 c_{23} - c_3 s_{23}) - L_3 c_1 s_{23} & -L_3 c_1 s_{23} \\ L_3 c_{23} c_1 & L_2 s_1 (s_3 c_{23} - c_3 s_{23}) - L_3 s_1 s_{23} & -L_3 s_1 s_{23} \\ 0 & -c_1 & -c_1 \end{bmatrix} \quad (\text{II. 44})$$

Son MCI est obtenu en calculant $J_0^{-1}(3 \times 3)$ réduite avec le nouveau vecteur $\dot{X}_r = [v_x \ v_y \ v_y]^T$:

$$\dot{\theta} = J_{0(3 \times 3)}^{-1} \dot{X}_r$$

$$\begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -L_3 c_{23} s_1 & L_2 c_1 (s_3 c_{23} - c_3 s_{23}) - L_3 c_1 s_{23} & -L_3 c_1 s_{23} \\ L_3 c_{23} c_1 & L_2 s_1 (s_3 c_{23} - c_3 s_{23}) - L_3 s_1 s_{23} & -L_3 s_1 s_{23} \\ 0 & -c_1 & -c_1 \end{bmatrix}^{-1} \dot{X}_r \quad (\text{II. 45})$$

Le déterminant vaut :

$$L_2 L_3 c_{23} (s_3 c_{23} - c_3 s_{23}) \quad (\text{II. 46})$$

On se pose : On pose : $(s_3 c_{23} - c_3 s_{23}) = \alpha$

Ce qui nous donne :

$$\begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{bmatrix} \frac{1}{L_2 L_3 c_{23} c_1(\alpha)} \times \begin{bmatrix} -L_2 s_1 c_1(\alpha) & L_2 c_1^2(\alpha) & 0 \\ L_3 c_{23} c_1^2 & L_3 s_1 c_1 c_{24} & -L_3^2 c_{23} s_{23} \\ -L_3 c_{23} c_1^2 & L_3 c_{23} (-L_3 s_{24} + L_2(\alpha)) & L_3 c_{23} (L_3 s_{24} - L_2(\alpha)) \end{bmatrix} Xr \quad (II.47)$$

II.3.8. Modélisation des actionneurs électriques [48]

Les servomoteurs, comme évoqué précédemment, sont des MCC qui sont asservis en position : ce sont des actionneurs électriques. C'est donc pour cela que l'on va consacrer cette partie à leur modélisation.

Les actionneurs électriques produisent les couples nécessaires aux articulations. Ces couples sont déterminés à partir des équations modélisant ces derniers.

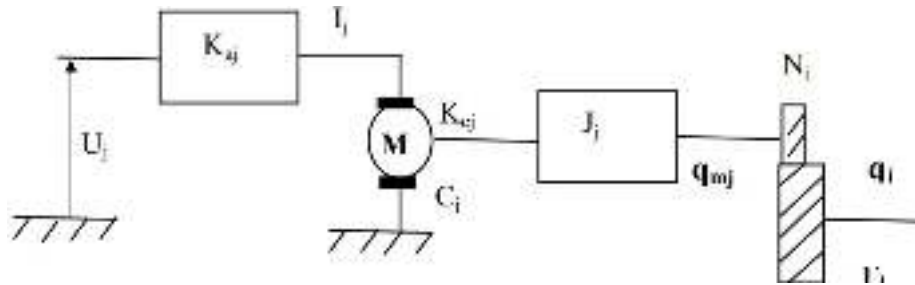


Figure (II.17) : Schéma fonctionnel d'un actionneur [67]

On peut écrire :

$$I_j = K_{aj} \cdot u_j \quad (II.48)$$

Avec, I_j : Courant de l'induit du moteur j

u_j : Tension d'entrée

K_{aj} : Constante proportionnelle

Le courant, traversant l'induit du moteur, produit un couple moteur :

$$C_j = K_{cj} I_j = K_{cj} K_{aj} u_j = J_j \ddot{q}_{mj} + \frac{\Gamma_i}{N_j}$$

Avec :

$$\ddot{q}_{mj} = N_j \cdot \ddot{q}_j$$

$$\dot{q}_{mj} = N_j \cdot \dot{q}_j$$

N_j : Rapport de réduction,

K_{cj} : Coefficient du couple moteur j ,

J_j : Inertie propre du moteur j ramené à l'arbre du moteur plus celle des organes de transmission,

\dot{q}_{mj} : Vitesse angulaire produite par le moteur j ,

\dot{q}_j : Vitesse angulaire transmise au corps j à travers le réducteur,

Γ_i : Couple transmis à la $j^{\text{ème}}$ articulation.

On a alors :

$$N_j K_{cj} K_{aj} u_j = (N_j^2 \cdot J_j) \cdot \dot{q}_j + \Gamma_1 = I_{aj} \cdot \ddot{q}_j + \Gamma_1 \quad (\text{II. 49})$$

En utilisant la forme matricielle on obtient :

$$N K_c K_a u = I_a \cdot \ddot{q} + \Gamma \quad (\text{II. 50})$$

Après avoir obtenu la modélisation des actionneurs électriques, on peut obtenir le modèle dynamique complet du robot, tel que :

$$\Gamma = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q}) + G(q) \quad (\text{II. 51})$$

En substituant (II.78) dans (II.77), on obtient :

$$N K_c K_a u = [I_a + M(q)] \cdot \ddot{q} + C(q, \dot{q}) + G(q) \quad (\text{II. 52})$$

Avec, $M(q)$: Matrice d'inertie ($n \times n$) symétrique, liée à l'accélération,

$C(q, \dot{q})$: Vecteur des forces centrifuges et Coriolis non linéaire lié à la vitesse,

$G(q)$: Vecteur des forces de charges gravitationnelles.

II .4. Conclusion

Au cours de ce chapitre nous avons exposé les différents organes constituant notre bras manipulateur. Par la suite, on a donné une modélisation aussi simpliste que possible de son modèle géométrique, cinématique et dynamique. Enfin, on a terminé par la modélisation des actionneurs électriques afin d'obtenir le modèle dynamique complet généralisé d'un bras manipulateur. On va dès à présent débiter la partie concernant la commande de notre réalisation

CHAPITRE 3 :

COMMANDE ET SIMULATION DU BRAS MANIPULATEUR

III.1.Introduction

La commande d'un bras manipulateur nécessite la commande des articulations une à une, afin de réaliser une tâche. Pour commander un bras il y'a deux méthode de commande (manuelle et automatique), dans notre travail nous allons choisir la commande manuelle comme cas d'étude,

Dans ce chapitre on va expliquer le contrôle d'un bras manipulateur via une carte Arduino par la présentation de la carte Arduino (définition des différents constituants. etc.) ; ensuite on va définir l'utilisation des différents procédures et programmes pour contrôler le robot via une application Android

III.2. Présentation de la carte Arduino

La carte Arduino est un microcontrôleur open source, qui a été adopté par la communauté des concepteurs. Il s'agit d'un système numérique à processeur entouré d'une mémoire et des interfaces avec le monde extérieur [49].

Arduino est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation [50].

Un microcontrôleur programmé peut analyser et produire des signaux électriques de manière à effectuer des tâches très diverses. Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électrotechnique industrielle et embarquée ; le modélisme, la domotique mais aussi dans des domaines différents comme l'art contemporain et le pilotage d'un robot, commande des moteurs et faire des jeux de lumières, communiquer avec l'ordinateur, commander des appareils mobiles (modélisme) [51].

III.2.1.La carte Arduino UNO

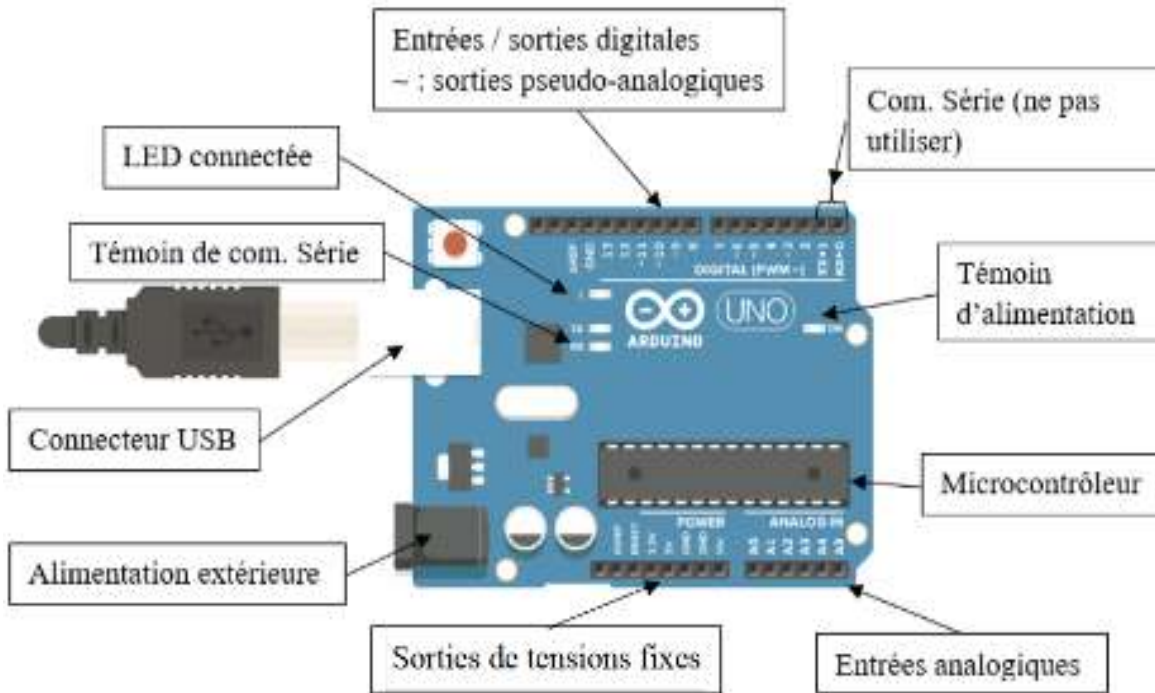
L'Arduino UNO est une carte de développement avec un microcontrôleur Atmel ATMEGA328P qui est couramment utilisé par le grand public.

L'avantage de cette carte est d'éviter d'utiliser des composants nus. Les composants périphériques nécessaires sont déjà présents, il n'y a donc pas besoin de les souder. De plus, l'ATMEGA est assez complet et facile à utiliser. Enfin, elle est également peu chère et connaît un grand succès [52].

Le microcontrôleur contient, notamment :

- ❖ Un CPU (Central Processing Unit)
- ❖ Une mémoire RAM
- ❖ Une mémoire ROM
- ❖ Des entrées-sorties

Le brochage Atmega 328 P 32-pin TQFP est donné dans l'Annexe A.



Figure(III.1) : La carte Arduino UNO [53]

III.2.2. Les caractéristiques de la carte Arduino UNO

Tab (III.1). Caractéristiques de l'Arduino [54].

Microcontrôleur	ATmega328
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'alimentation	7-12V
Tension d'alimentation (limites)	6-20V
Broches E/S numériques	14 (dont 6 fournissent une sortie PWM)
Broches d'entrées analogiques	6

Intensité maxi disponible pour la sortie 3.3V	50 Ma
Intensité maxi disponible pour la sortie 5V	40 Ma
Mémoire programme Flash	32 KB (dont 0.5 KB utilisés par le chargeur de démarrage)
Mémoire SRAM (mémoire volatile)	2 KB
Mémoire EEPROM (mémoire non volatile)	1 KB
Vitesse d'horloge	16 MHz

III.2.3.L'environnement de programmation Arduino (IDE)

Le logiciel de programmation de la carte Arduino sert d'éditeur de code (langage proche du C). Une fois, le programme tapé ou modifié au clavier, il sera transféré et mémorisé dans la carte à travers de la liaison USB. Le câble USB alimente à la fois en énergie la carte et transporte aussi l'information ce programme appelé IDE Arduino [55].

L'IDE Arduino permet d'éditer un programme, de le compiler en langage« machine » à base d'une carte électronique, puis le téléverser ver la mémoire de l'Arduino et enfin de communiquer avec cette dernière grâce au terminal.

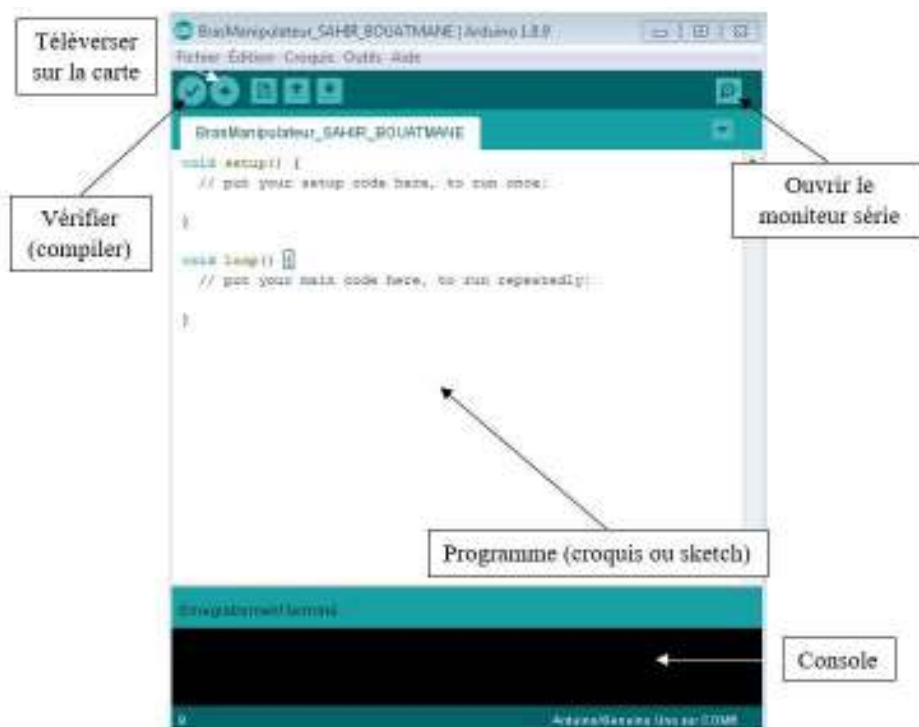


Figure (III.2) : Environnement de développement Arduino

A. Le pont H

Un des avantages de bien servir des moteurs est de pouvoir aller dans les deux sens. En effet, inversant le courant envoyé dans le rotor, il est possible de le faire tourner dans le sens inverse. Les schémas ci-dessous illustrent ce processus, grâce à des transistors, il est possible de modifier la direction du passage du courant.

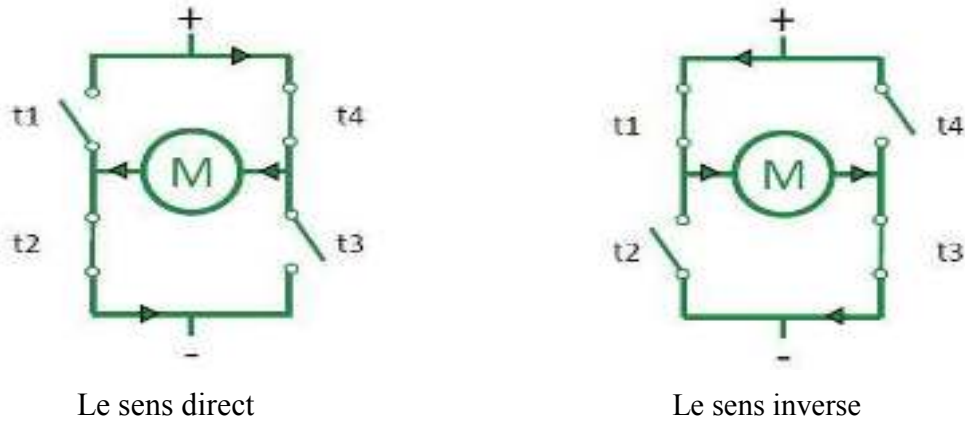


Figure (III.3) : Sens du courant en fonction de l'état des

L'utilisation de transistors pour modifier le sens du courant peut aussi dégrader le montage, en effet :

- Si t1 et t3 sont ouverts : un courant positif traverse le moteur.
- Si t2 et t4 sont ouverts : un courant négatif traverse le moteur.
- Si plus de 2 transistors sont ouverts : le courant ne circule pas.
- Si t1 et t2 ou t3 et t4 sont fermés : le montage est court-circuité

B. La technique PWM

La technique de modulation de largeur d'impulsion (Pulse Width Modulation PWM) consiste à générer un signal carré avec un rapport cyclique modulé en fonction d'un signal de commande. Le signal généré peut servir à commander un circuit de puissance à découpage (pont en H), associé à un filtrage passe-bas inductif, pour générer une onde sinusoïdale ou d'une autre forme.

Le rapport cyclique défini par la relation suivante :

$$a = U_0/m$$

m : est la valeur maximale de la porteuse

U_0 : La moyenne de ce signal carré

C. Utilisation de la technique PWM

La modulation par largeur d'impulsion (MLI en français) est une technique utilisée pour contrôler la puissance envoyée à un périphérique. Nous l'utiliserons dans ce projet pour contrôler la quantité d'énergie alimentant le moteur et par conséquent sa vitesse de rotation.

Le schéma ci-dessous montre le signal PWM tel qu'il est envoyé par la broche PWM de l'Arduino UNO.

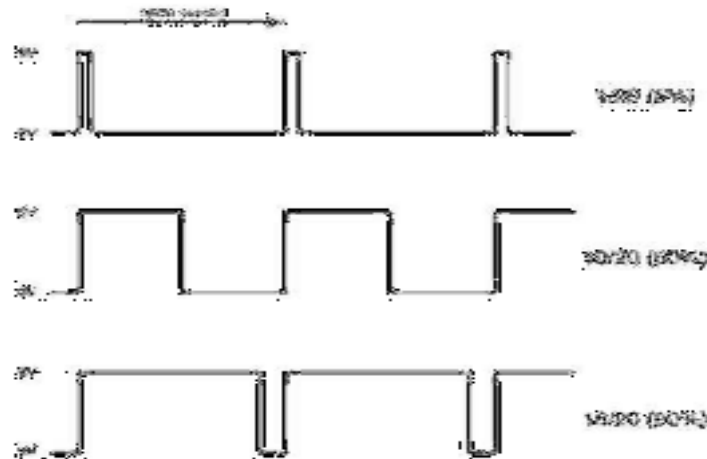


Figure (III.4) : Signal PWM envoyé par la broche PWM de l'Arduino UNO

Chaque 1/500^{ème} de seconde, la sortie PWM produit une impulsion. La longueur de cette impulsion (dans le temps) contrôle la quantité d'énergie qui alimente le moteur. Comme vous pouvez le constater sur le graphique, la longueur de l'impulsion peut varier de 0 à 100%. Sans impulsion, le moteur ne fonctionne pas, une courte impulsion le fera tourner lentement. Si l'impulsion est active pendant cinquante pour cent du cycle, le moteur recevra la moitié de la puissance qu'il recevrait avec des impulsions maximales (constante dans le temps).

III.3.1 Model Bluetooth HC 05



Figure (III.5): Model Bluetooth HC 05

Ce module communique via une liaison série avec une carte Arduino ou compatible. Cette liaison s'établit sur deux broches RX et TX définies dans notre programme en tant que broches 11 et branche 10.

La broche RX de la carte UNO doit être raccordée à la broche TX du module Bluetooth HC-05. La broche TX de la carte UNO doit être raccordée à la broche RX du module HC-05.

Connexion du module

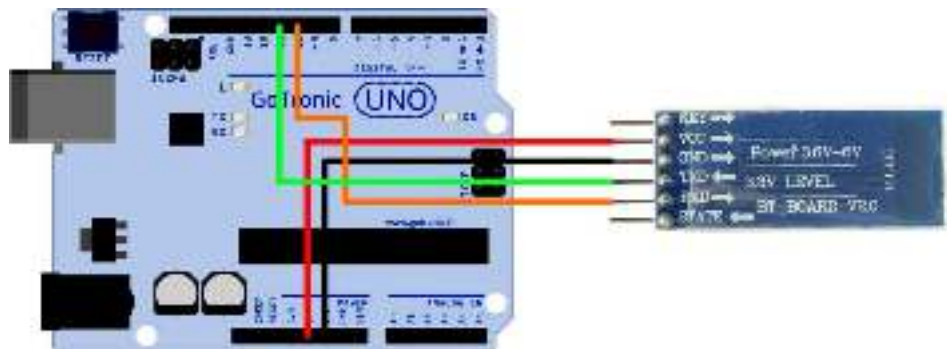


Figure (III.6) : Branchement de Bluetooth HC-05

III.3.2. Joystick (organe de commande) référence

Le joystick est un appareil à commande manuelle, qui offre un moyen pratique d'obtenir l'entrée de l'opérateur. Il se compose fondamentalement de deux potentiomètres et d'un bouton-poussoir. Les deux potentiomètres à 10kΩ. Ce périphérique d'entrée s'interface avec l'Arduino via cinq broches. Trois d'entre eux sont des entrées pour l'Arduino, tandis que les deux autres sont pour la tension d'alimentation et la masse. Dans notre réalisation on a utilisé le type Breakout bouclier. Comme illustre dans [56,57], fig.3.4. Ci-dessous :

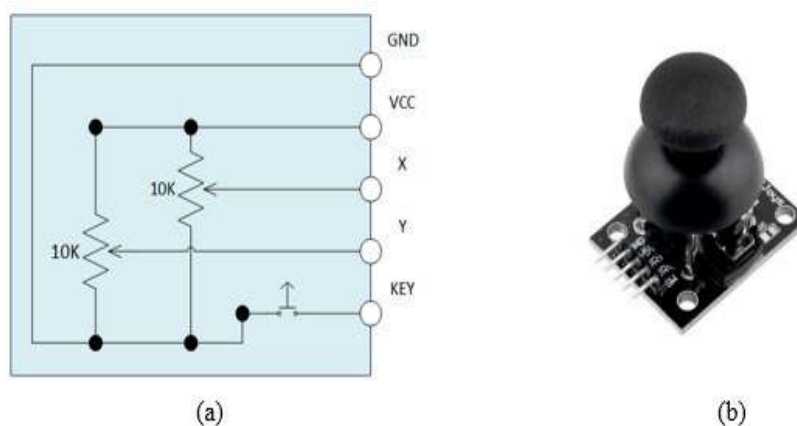


Figure (III.7). De gauche à droite :(a) schéma interne de joystick [56], (b) Arduino PS2 Joystick [57].

III .3.3. Alimentation



Figure (III.8). Alimentation 9V

III 3.3.1 Les fils de connexion

Les fils de connexion Arduino avec son environnement.



Figure (III.9). Fils de connexion

III.4. Présentation du logiciel

III.4.1.1 Présentation du logiciel ISIS (Intelligent Schematic Input System)

Le logiciel ISIS de proteus est principalement connu pour éditeur des schémas Electriques. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler ces schémas ce qui permet de déceler certaines erreurs de l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits [58].



Figure (III.10). Interface de proteus.

III.5. Types de commande du bras manipulateur

Pour commander les quatre servomoteurs du bras manipulateur, on a réalisé trois types de commande : la commande manuelle, la commande via une application mobile et la commande par les angles des organes du robot, préprogrammés directement via l'environnement de développement IDE.

Le dispositif assurant la tâche de la commande manuelle est le potentiomètre rotatif.

III.5.1. La commande manuelle

Afin d'établir une commande manuelle au bras manipulateur, on a créé un programme qui permet de le commander par le biais de potentiomètres.

La connexion entre la carte électronique et l'environnement de programmation se fait via une liaison USB. On commence, tout d'abord, par déclarer la bibliothèque `<Servo.h>`, qui est une fonction prédéfinie qui nous permet d'utiliser les servomoteurs dans notre programme.

On a utilisé la fonction `analogRead()` qui permet de lire les entrées analogiques

Le fonctionnement de la commande manuelle se résume dans l'organigramme ci-dessous :

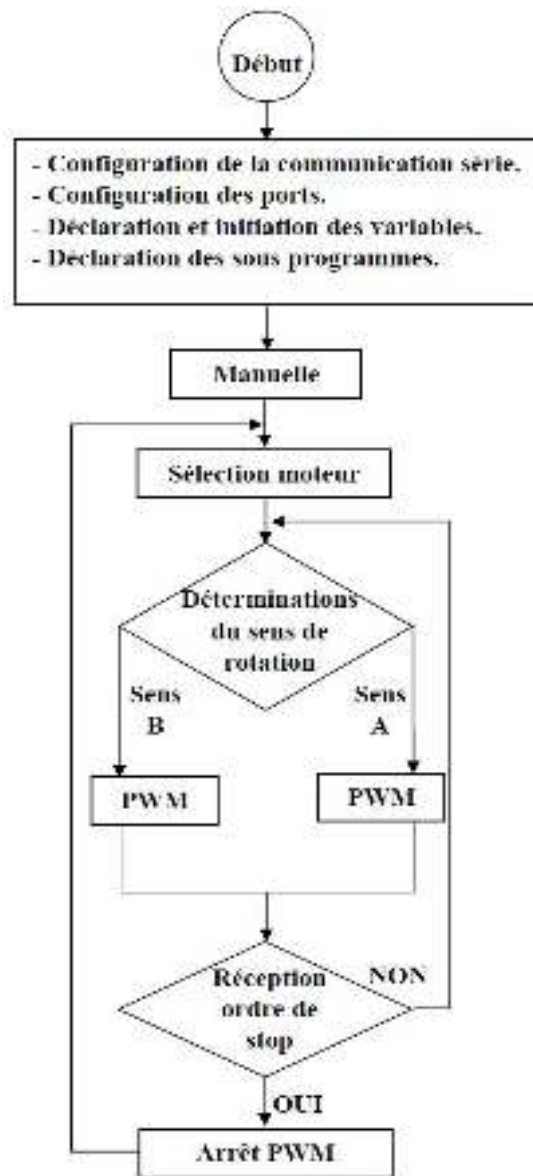


Figure (III.11) : Logigramme des phases explicatives de la commande manuelle

III.5.2. La commande sans fil

Afin d'établir une commande sans fil qui nous donnera un contrôle à distance pour notre réalisation, on a utilisé un récepteur Bluetooth. On a également conçu une application mobile Android grâce à l'outil de développement créé par Google App remoteyx pour assurer la communication entre l'Arduino et l'interface réalisée.

III.5.2.1. Le concept d'App Remotrx

La programmation s'accomplit en ligne à l'aide d'un langage de bloc d'instructions et sous un environnement logiciel au choix (Mac, Linux ou Windows). Les informations sont

stockées sur des serveurs distants. La seule contrainte à laquelle nous sommes confrontés est de devoir posséder un compte Gmail pour pouvoir y accéder.



Figure (III.12). Application remotXY LOGO

III.4. Création d'application

III.4.1. Interface de contrôle du robot

On va entrer sur le site de <http://remotexy.com/>



Figure (III.13). Interface du site remoteXY

Et on clique sur « START NOW ».



Figure (III.14). Création d'application

D'abord, on va faire la configuration d'interface pour avoir une cohérence entre l'application Android et les systèmes électroniques.



Figure (III.15). Configuration connections

Puis, on sélectionne Bluetooth.



Figure (III.16). Connexion Bluetooth

On choisit la carte utilisée (dans notre cas, il s'agit de la carte Arduino UNO).



Figure (III.17) : Device Arduino UNO

Ensuite, on choisit le Bluetooth (HC-05(06)).



Figure (III.18) : Bluetooth HC-05(06)

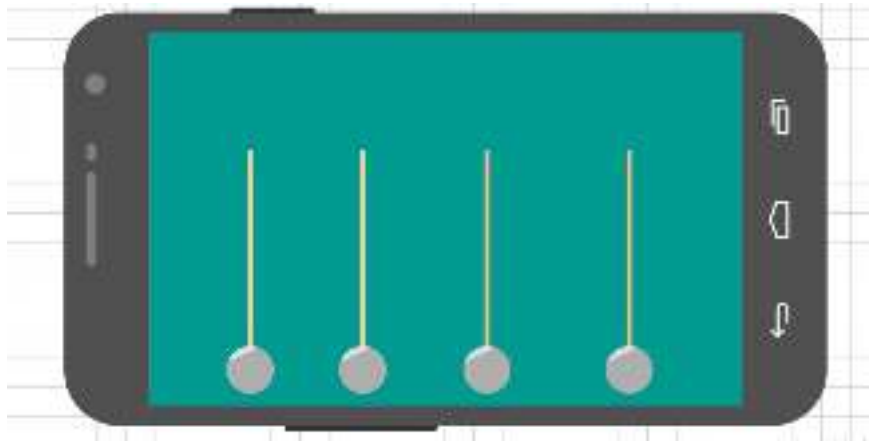


Figure (III.19) : Nommé les variables (seek bar)

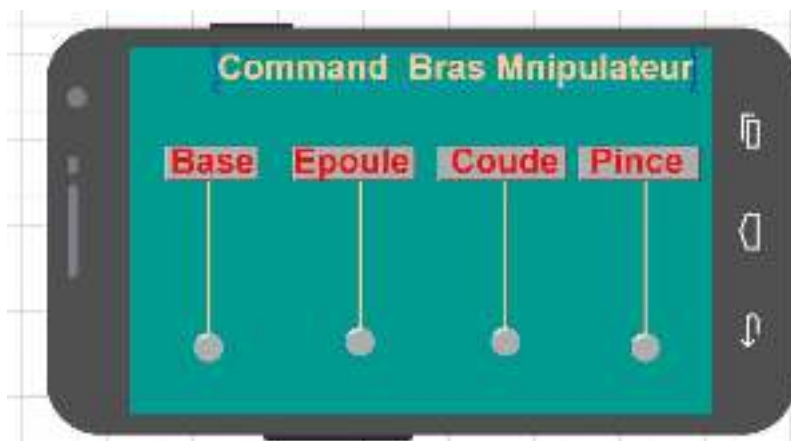


Figure (III.20) : Interface de l'application

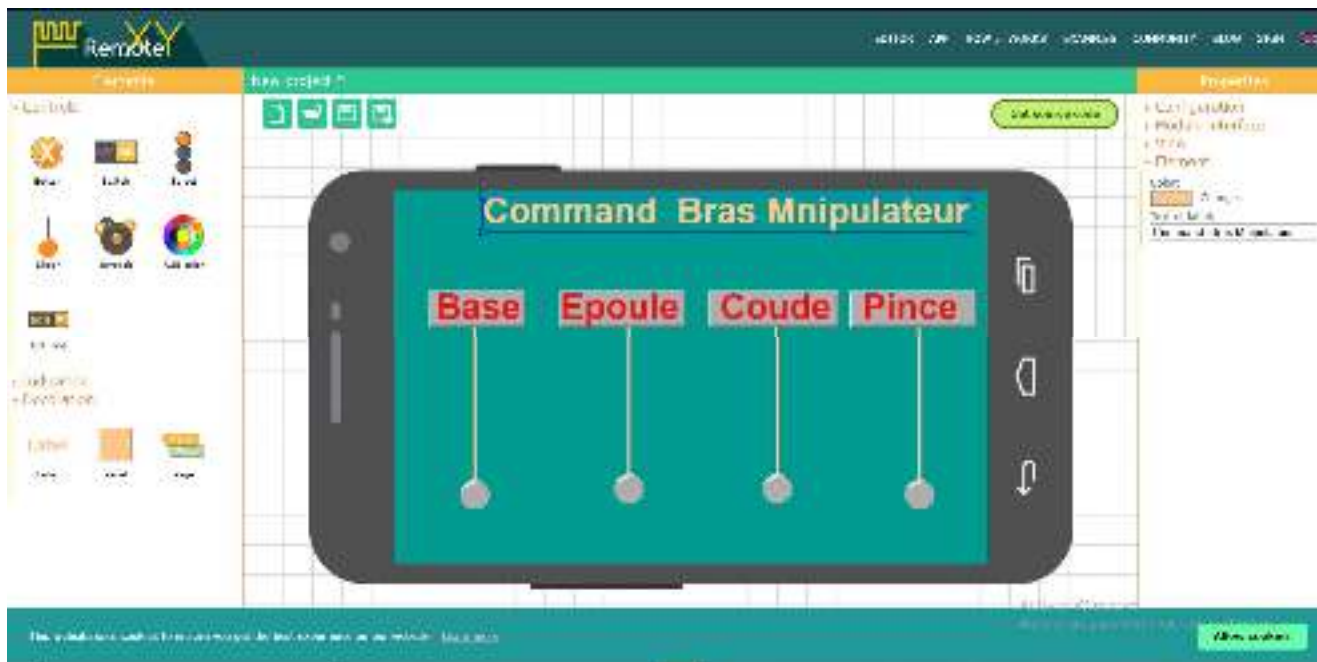


Figure (III.21) : Interface de contrôle du robot

Ce site vous permet de créer une interface simple avec les boutons, les variables, les led en couleurs de backgrounds, des commentaires, des afficheurs, etc.

Le site remoteXY vous donne le code concernant votre choix d'interface afin de simplifier la création.



Source code of project: New project

1. Download the source code of the program, open it in the Arduino IDE.
2. Install RemoteXY library for Arduino IDE.
3. Compile the source code and upload it to the Arduino board using the Arduino IDE.
4. Correctly connect the ESP8266 Wi-Fi module to the Arduino board. ESP8266 Firmware AT_V0.20 or up.
5. Install the mobile app RemoteXY ver.4.1.1 for smartphones/tablet.
6. Connect to Arduino using mobile app.

[project.ino](#) [Download code](#) [Download library](#)

```

/*
  -- New project --

  This source code of graphical user interface
  has been generated automatically by RemoteXY editor.
  To compile this code using RemoteXY library 2.3.3 or later version
  download by link http://remotexy.com/en/library/
  To connect using RemoteXY mobile app by link http://remotexy.com/en/download/
  - For ANDROID 4.1.1 or later version;
  - For IOS 11.1.1 or later version;

  This source code is free software; you can redistribute it and/or
  modify it under the terms of the GNU Lesser General Public
  License as published by the Free Software Foundation; either
  version 2.1 of the license, or (at your option) any later version.
*/

//////////////////////////////////////
// RemoteXY include library //
//////////////////////////////////////

// RemoteXY select connection mode and include library
#define REMOTEXY_MODE_ESP8266_SERIAL_PORT

#include <RemoteXY.h>

// RemoteXY connection settings
#define REMOTEXY_SERIAL Serial
#define REMOTEXY_SERIAL_SPEED 115200
#define REMOTEXY_WIFI_SSID "BreadCircuits.com"
#define REMOTEXY_WIFI_PASSWORD "B0417ea055braahae"
#define REMOTEXY_SERVER_PORT 8377
#define REMOTEXY_ACCESS_PASSWORD "admin"

// RemoteXY configure
#pragma pack(push, 1)
struct RemoteXY_CONF {
  { 255,5,0,0,0,123,0,0,0,105,0,
    4,0,12,23,5,34,2,26,4,0,
    20,23,5,31,2,25,4,0,30,23,
    5,30,2,25,4,0,60,21,1,31,
    2,26,4,0,66,23,5,31,2,26,
    129,0,10,20,6,4,37,64,101,116,
    185,0,126,0,38,38,99,4,37,82,
    111,110,94,101,118,100,0,120,0,48,
    36,0,4,37,77,185,100,101,117,0,
    129,0,67,20,6,4,37,64,97,115,
    180,0,120,0,63,38,8,4,37,62,
    111,110,97,116,185,115,110,0,119,0,
    0,1,84,0,37,96,111,100,100,101,
    118,100,101,10,66,114,97,115,32,77,
    87,110,105,112,117,105,97,116,101,117,
    104,32,0,120,0,0,7,88,0,37,
    95,95,95,95,95,95,95,95,95,
    91,95,95,95,95,95,95,95,95,95,
    95,95,95,95,95,95,0,120,0,18,
    38,73,5,37,90,85,81,81,95,90,
    99,95,95,95,95,99,95,95,95,95,
    95,95,95,95,95,95,95,95,95,
    95,95,95,95,95,95,95,95,9 }
};

// this structure defines all the variables of your control interface
struct {

  // input variables
  int8_t slider_Left; // =0..100 slider position
  int8_t slider_Right; // =0..100 slider position
  int8_t slider_Mid; // =0..100 slider position
  int8_t slider_Base; // =0..100 slider position
  int8_t slider_Top; // =0..100 slider position
}

```

```

// other variable
uint8_t connect_Flag; // =1 if wire connected, else =0

} RemoteXY;
#pragma pack(pop)

////////////////////////////////////
//      END RemoteXY Include      //
////////////////////////////////////

void setup()
{
  RemoteXY_Init ();

  // TODO you setup code

}

void loop()
{
  RemoteXY_Handler ();

  // TODO you loop code
  // use the RemoteXY structure for data transfer

```

On assemble tous les programmes et les commandes dans un programme unique et général. Au début, on configure le module ESP8266-01, puis, on déclare la structure d'interface de l'application suivi par la déclaration des variables de l'application. Ensuite, on inclut la bibliothèque des servomoteurs <servo.h>. Après, on déclare les pins sortie de chaque servomoteur, et on définit les servomoteurs en définissant le temps de transfert data entre l'application et le Shield.

Dans la fonction setup(), on attache la variable qui définit le servo à le variable qui définit le pin de sortie, puis, on affecte une valeur moyenne aux variables sur l'application (50/100 car nous aurons besoin d'une rotation +90° et -90°).

Dans la fonction loop(), on déclare la fonction RemoteXY_Handler () qui est une fonction de remoteXY, ensuite, on définit le temps de transfert data, après, on fait l'écoute du servomoteur aux variables de l'application.

CHAPITRE 3 : COMMANDE ET SIMULATION DU BRAS MANIPULATEUR

teste_poj | Arduino 1.8.10

Fichier Édition Croquis Outils Aide



```
teste_poj
////////////////////////////////////

#include <Servo.h>

#define PIN_LED_LEFT 6
#define PIN_LED_RIGHT 7

#define PIN_LEFT_SERVO 8
#define PIN_RIGHT_SERVO 9
#define PIN_HEAD_SERVO 10

Servo left_servo;
Servo right_servo;
Servo head_servo;

unsigned char led_state = 0;
unsigned long led_time=0;
unsigned long prev_time=0;

void setup()
{
  RemoteXY_Init ();

  // TODO you setup code

  pinMode (PIN_LED_LEFT, OUTPUT);
  pinMode (PIN_LED_RIGHT, OUTPUT);

  left_servo.attach(PIN_LEFT_SERVO);
  right_servo.attach(PIN_RIGHT_SERVO);
  head_servo.attach(PIN_HEAD_SERVO);

  RemoteXY.slider_left=50;
  RemoteXY.slider_right=50;
  RemoteXY.slider_head=50;
```

```
}  
  
void loop()  
{  
  RemoteXY_Handler ();  
  
  // TODO you loop code  
  // use the RemoteXY structure for data transfer  
  /* unsigned long time = millis();  
  unsigned long d_time = time - prev_time;  
  prev_time = time;  
  
  if (RemoteXY.switch_1==0) {  
    digitalWrite(PIN_LED_LEFT, (RemoteXY.button_left==0)?LOW:HIGH);  
    digitalWrite(PIN_LED_RIGHT, (RemoteXY.button_right==0)?LOW:HIGH);  
  }  
  else {  
    led_time+=d_time;  
    if (led_time>500) {  
      if (led_state==0) led_state=1;  
      else led_state=0;  
      led_time-=500;  
    }  
    digitalWrite(PIN_LED_LEFT, (led_state==0)?LOW:HIGH);  
    digitalWrite(PIN_LED_RIGHT, (led_state==1)?LOW:HIGH);  
  }  
  /*  
  
  left_servo.writeMicroseconds (RemoteXY.slider_left*20+500);  
  right_servo.writeMicroseconds (2500-RemoteXY.slider_right*20);  
  head_servo.writeMicroseconds (RemoteXY.slider_head*20+500);  
  
  }  
}
```

III.5. Conception et Réalisation

III.5.1. Commande par Bluetooth

Nous avons validé notre projet à la plate forme du logiciel Proteus, comme le montre la figure ci-dessous, on va avoir une idée générale avec les parties composantes d'un bras manipulateur soit mécanique ou logiciels (programmation), par la communication Bluetooth (module HC-05) et la carte arduino avec ces 4 servomoteur, ce schéma permet d'analyser et interpréter les résultats de notre travail qui est basé sur l'utilisation de la commande arduino qui est permet de contrôler les servomoteurs.

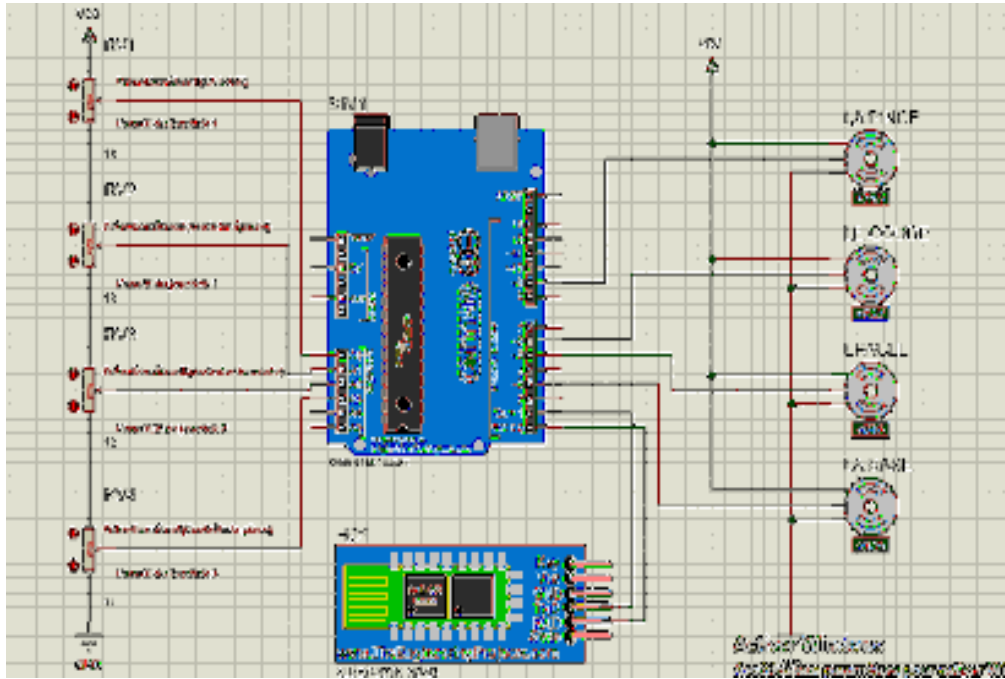


Figure (III.22) Simulation Commande par Bluetooth dans bras manipulateur sous ISIS

III.5.2. Commande par angles préprogrammés

Dans cette partie, on teste notre bras manipulateur final avec la commande préprogrammée qui nous permet de déplacer un objet d'une position à une autre. On a opté pour une séquence d'images afin de mieux illustrer les résultats.

III.5.3. Commande du bras manipulateur

La partie de réalisation nous décrit deux différents de commande tels que, la commande manuelle via un joystick, et la commande à distance à base d'un Bluetooth

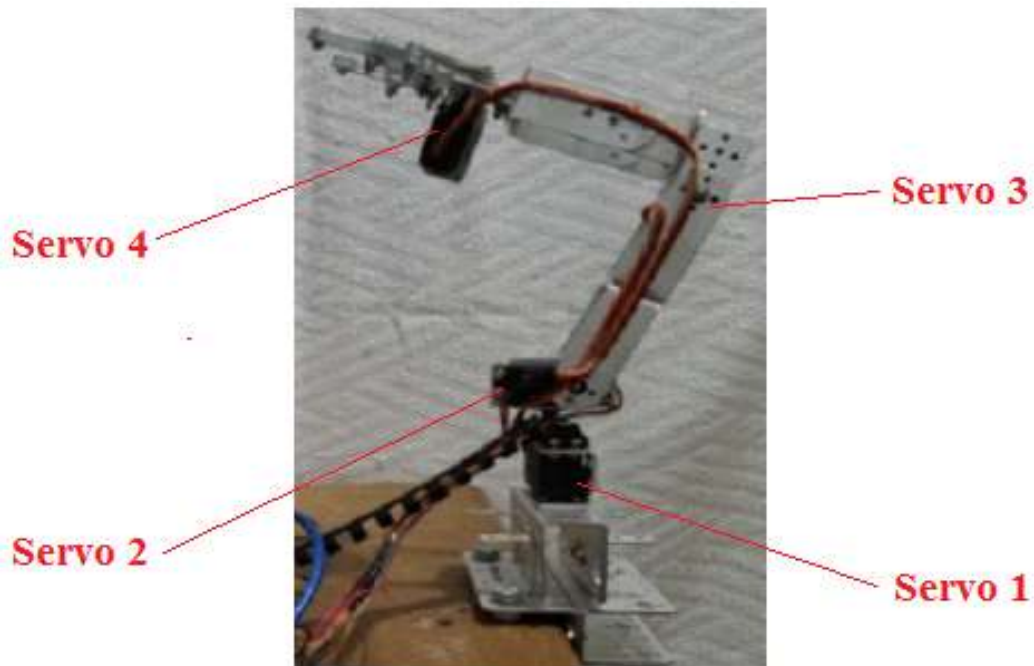


Figure (III.23). Bras Manipulateur à 4 degré de liberté

III.5.2.1. La commande manuelle

En va commander le bras manipulateur par utiliser La carte de commande est équipée d'une carte Arduino de type UNO, de quatre servomoteur qui sont placées sur des postions pour permet la manipulation du bras par quatre degrés de liberté

Potentiomètres (Qui représente le joystick) pour contrôlent manuellement le bras et de quatre servomoteurs.



Figure (III.24). Commande du Bras manipulateur par joystick

III.5.2.2. La commande à distance :

La manipulation du bras par quatre degrés de liberté, ce fait par communication à distance entre la carte Arduino, et un téléphone Smart via une application sous Android



Figure (III.25). Commande du Bras à distance

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre, on a appris comment accéder à notre carte Arduino à distance via Bluetooth par une application Android. Dans la première partie, nous avons décrit le kit du robot en définissant chaque module. Dans la deuxième partie (électronique), nous avons vu comment connecter l'application avec les composants électroniques. Dans la troisième partie, nous avons configuré le module HC 05 et créé l'interface de l'application. Enfin, nous avons assemblé toutes les commandes dans un programme unique afin de le téléverser vers la carte Arduino.

CONCLUSION

GÉNÉRALE

CONCLUSION GENERALE

Ce mémoire présente notre travail qui concerne l'étude et la réalisation d'un bras manipulateur à quatre degrés de liberté, avec l'hypothèse d'un environnement de travail sans obstacles. Après une exploration générale du domaine de la robotique, on a abordé le vif du sujet en étudiant les différents organes constituant notre bras manipulateur. Par la suite, on s'est penché sur la modélisation et l'élaboration des modèles géométrique, cinématique et dynamique, qui ont pour rôle respectivement de générer des trajectoires de références, d'analyser les singularités et de commander et simuler le robot. Enfin, on a procédé à l'étude pratique et l'implémentation des techniques de commande prévues sur notre réalisation (par potentiomètres, application mobile et angles préprogrammés).

Pour la réalisation pratique, le châssis a été conçu par découpe laser. La programmation est faite à base du Logiciels Arduino et a fait l'objet d'une implémentation sur la carte Arduino UNO. Le contrôle du bras manipulateur se fait à l'aide d'une application mobile réalisée (sans fil) et grâce au shield incluant des potentiomètres

Le manuscrit a été organisé en trois chapitres. Le premier présente des généralités. La seconde porte sur la description et la modélisation du bras manipulateur étudié. Le troisième chapitre expose la commande et la simulation du bras manipulateur commandé

L'étude et la réalisation de ce projet nous ont permis d'approfondir nos connaissances théoriques et pratiques acquises durant notre formation, notamment en robotique et en systèmes embarqués. Nous avons pu appréhender différents points importants comme le fait de travailler en équipe et de concevoir et mener à bien un projet.

Bien que ce modeste travail ait atteint ses objectifs, on estime qu'il pourrait être encore amélioré. En effet, les travaux décrits dans ce mémoire peuvent se poursuivre sur plusieurs voies. Tout d'abord, il serait intéressant d'envisager un environnement de travail avec obstacles, ce qui n'est pas le cas dans cette étude. Il serait également intéressant d'implémenter des commandes en boucle fermée, plus utiles en présence des perturbations. Cela constitue une bonne extension de ce projet. Pour la réalisation du bras, il serait avantageux d'optimiser la construction en utilisant un matériau plus solide. On pourrait utiliser des servomoteurs offrant un couple moteur plus important, dans le but de soulever des objets plus lourds.

Références bibliographiques

- [1] Dictionnaire Reverso, 2010, Edition en ligne.
- [2] F. GUERRACHE 'Modélisation d'un robot à structure parallèle', Université de Boumerdes, option construction mécanique, 2005.
- [3] ABDELAZIZ Mourad, Bendounane Seddam-Hussein, Conception et Réalisation de la Commande d'un Bras Manipulateur ROB3, Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de MASTER université Dr Tahar Moulay de Saida ; 2015
- [4] Bruno Siciliano et Oussama Khatib, *Springer Handbook of Robotics*, 2eéd, Springer, 2016.
- [5] Bruno livre [la robotique industrially eusol](#)
- [8] [indexcoursL1robotique 2018](#)
- [9] [robothumanoide transpire sport](#)
- [10] http://www.univ-saida.dz/butec/index.php?lvl=notice_display&id=376131
- [11] Bostelman Roger « Performance measurement of mobil manipulators », Thèse de Doctorat, University of Burgundy, 16 mars 2018.
- [12] ISO (International Standard Organization), 1947.
- [13] A. Benali, Robotique et Automatisation Industriel
- [14] <http://pysimiam.sourceforge.net/coursera.html>
- [15] Julien Hubert, Manipulateurs parallèles, singularités et analyse statique « Ecole Doctorale des Mines de Paris - PARISTECH INRIA - Sophia-Antipolis », Thèse,
- [16] Laurent Guillaume, CHAILLET Nicolas « Robotique industrielle » Cours, Université de Bourgogne Franche-Comté, 2017.
- [17] BOIMOND, Jean-Louis. « ROBOTIQUE » Cours, ISTIA, Université Angers, 2017.
- [18] http://bu-ouargla.dz/master/pdf/master_Chaal.pdf?idmemoire=519 page 12
- [19] R. Gourdeau, ELE4203 — Robotique : Modélisation des Robots Manipulateurs, Département de génie électrique, Ecole Polytechnique de Montréal, 4 novembre 2010.
- [20] W. Khalil et E. Dombre, Modélisation identification et commande des robots, 2e éd. Paris : Hermès Sciences, 1999.
- [21] « Caractéristiques techniques des manipulateurs pneumatiques série partner EQUO », dans Dalmec, (2013). Disponible :
- [22] Chaal Merouane, « Modélisation cinématique d'un robot manipulateur à chaîne continue ouverte », Université Kasdi Merbah Ouargla Option Maintenance Industrielle, (2013)
- [23] Boukli Hacene Lotfi Fazil « Commande et supervision d'un ensemble de robots via internet », Mémoire en vue de l'obtention de Magister, Université Des Sciences Et De La Technologie D'oran, 26 avril 2012.
- [24] M. A. Rashidifar, A. A. Rashidifaret D. Ahmadi, "Modeling and Control of 5 DOF Robot.
- [25] « L'art s'empare des robots industriels », dans digital art and innovation, 2012. [En ligne]. Disponible : http://media.digitalarti.com/fr/blog/digitalarti_mag/lart_pour_robots_industriels
- [26] K. Ait Dahmane, M. Ait Ziane ' Conception et Réalisation d'un Bras Manipulateur Commandé par API' Université de Khemis Miliana, option Automatique des systèmes et production, 2014.
- [27] S. Ramzy et S. Nassereddine, « Réalisation de carte à microcontrôleur pour le contrôle de bras manipulateur via un PC », Mémoire de master. Département de Génie Electrique Option micro informatique et instrumentation, Université Mohamed Khider, Biskra, Algérie, 2010.
- [28] J. Graham, « CES 2017: Cars, robots are expected to star » dans USA TODAY, 2017. [En ligne]. Disponible : <https://www.usatoday.com/story/tech/2016/12/30/cars-robotsexpected-star-ces2017/95890122/>
- [29] J.D. Boissenant, B. Faverjon, J.P. Merlet ' Technique de la robotique', Hermès, Paris, tome 1, 1988

- [30] Rashidifar, Mohammad Amin, Ali Amin, et Ahmadi, Darvish, « Modeling and Control of a Robot Arm Using Fuzzy Logic Supervisory Control », International Journal of Robotics and Automation (IJRA).Article, vol. 2, no 2, 2089-4856, Janvier 2013,
- [33] E. Dombre, *Analyse et modélisation des robots manipulateurs*, 2ème éd. France : Hermès Sciences, 2001
- [34] Gangloff Jacques « Cours de Robotique », Cours, ENSPS 3A Master ISTI, 2018.
- [35] Mendil B. « Cours de Robotique », Cours, Université Abderrahmane Mira, Béjaia, 2017.
- [36] Laurent Guillaume, CHAILLET Nicolas « Robotique industrielle » Cours, Université de Bourgogne Franche-Comté, 2017
- [37] Fisette P., BUYSE H., SAMIN J.C. « Introduction à la robotique » Cours, 19 février2004
- [38] dondon.vvv.enseirb-matmeca.fr/RSIcapteur/a.
- [39] « Introduction à la Robotique » dans FANCU. 2014. [En ligne].Disponible:
- [40] Ferrero F. « Moteurs et transistors MOS », Cours, Université de Nice, 2017.
- [41] Datasheet « MG90S Metal Gear Servo », Components 101, 2019.
- [42] Bettaieb Mohamed Nizar « Modélisation du comportement mécanique d'engrenages. Couplages entre engrènement et éléments de structures flexibles », Thèse de Doctorat, Ecole Doctorale Des Sciences Pour L'Ingénieur De Lyon, 16 juin 2006
- [44] www.technologuepro.com/cours-capteurs.../ch12-les-differents-types-de-capteurs.pdf
- [45] Datasheet « HC-05 Bluetooth to Serial Port Module », Components 101, 2018.
- [46] Gautron Laurent « Physique tout le cours en fiches », Dunod, Livre, 2015.
- [47] Pasquier Claude « Mécanique », Cours, Polytech Paris-Sud, 2012
- [48] Lafond Roger « Analyse dynamique du mouvement », Cours, 2018.
- [49] Bouquet Frédéric, BOBROFF Julien « Microcontrôleur arduino », Cours, Université Paris Sud, printemps 2015.
- [50] <http://www.generationrobots.com/fr/152-arduino>. Consulter lemars 2015
- [51] <https://wiki.mdl29.net/.../fetch.php...Arduino-pour-bien-commencer-en-électronique>.
- [52] RAO Michael « Introduction à l'Arduino », Cours, Université de Lyon,2016.
- [53] C. Tavernier, « Arduino applications avancées ». Version Dunod.
- [54] Datasheet « Arduino UNO », Components 101, 2018.
- [55] Jean- Noël, « livret Arduino en français », centre de ressources art sensitif .
- [56] « Arduino PS2 Joystick Schematic » dans Henry's Bench. [En ligne]. Disponible: <http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/arduino-sensors-and-input/arduino-ps2-joystick-tutorial-keys-ky-023-deek-robot/>
- [57] « 5-Pin 2-Way Arduino Compatible PS2 Joystick Game Controller Module » dans FASTECH. [En ligne]. Disponible :<https://www.fasttech.com/product/1320202-5-pin-2-wayarduino-compatible-ps2-joystick-game>
- [58] « Proteus (ISIS et ARES) » dans Elektronique. [En ligne]. Disponible : <http://www.elektronique.fr/logiciels/proteus.php>

Résumé

Titre : Commande d'un bras manipulateur via une application Android

Les progrès continus des technologies de la microélectronique et réseaux de capteurs permettent maintenant d'envisager le déploiement de services sur des réseaux d'objets communicants intelligents interconnectés : c'est la vision d'internet des objets.

Le but majeur des cartes Arduino vise à fusionner le monde virtuel de l'informatique avec le monde physique de l'électronique afin de créer une machine intelligente commandée via un système lot.

Dans ce contexte, ce projet de fin d'études consiste à commander un bras manipulateur à distance via Bluetooth depuis une application Android de manière précise et en temps réel.

Abstract

Title : control of a manipulator arm via an Android application

Continues Progress in microelectronic technologies and sensor networks now makes it possible to consider the deployment of services on networks of interconnected intelligent communicating objects: this is the vision of the Internet of Things.

The major goal of Arduino boards is to merge the virtual world of computing with the physical world of electronics to create an intelligent machine controlled via a LOT system.

In this context, this end of studies project consists of controlling a remote manipulator arm via Bluetooth from an Android application in a precise manner and in real time.

الملخص

العنوان : تحكم في ذراع عبر تطبيق اندرويد

إن التقدم المستمر في تقنيات الإلكترونيات الدقيقة وشبكات الاستشعار يجعل من الممكن الآن النظر في نشر الخدمات على شبكات كائنات اتصال ذكية مترابطة: هذه هي رؤية إنترنت الأشياء.

الهدف الرئيسي من لوحة الأردو ينو هي دمج العالم الافتراضي للحوسبة مع العالم المادي من الإلكترونيات الانشاء الة ذكية يتم التحكم فيها عبر نظام أنترنت.

وفي ظل هذا السياق , يشمل مشروع نهاية الدراسة هذا على التحكم في ذراع التحكم عن بعد عبر البلوتوث من تطبيق الأردو ينو بطريقة دقيقة في الوقت الفعلي