

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master 2

Mention Électronique

Spécialité Automatique et Systèmes

Présenté par :

Khachouche Samir

proposé par :

Mr Kazed Boualem

**Conception et Réalisation d'un Bras Manipulateur De Type PUMA
quatre Degré de Liberté**

Année Universitaire 2017-2018

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU le miséricordieux de m'avoir donné la possibilité de réaliser ce projet, d'arriver à mon souhait et d'atteindre mon objectif.

Je voudrais remercier, dans ces quelques lignes, tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de mon projet, tout au niveau humain qu'au niveau scientifique.

Je tiens tout d'abord à remercier mon encadreur monsieur, Kazed Boualem, j'ai pu bénéficier à la fois de ses compétences scientifiques, et de sa grande disponibilité, tant pour résoudre les difficultés rencontrées lors ma réalisation, de répondre à mes questions. J'ajoute en particulier sa patience et ses encouragements.

Grand remerciements s'adressent également à tous membres de jury, qui ont accepté de nous honorer de leur présence et de juger mon travail. Merci. Et à toute personne ayant contribué de près ou de loin à mon soutien moral.

Dédicace

Je tiens à dédier ce modeste travail avant tout :

A mon très cher père.

A ma très chère mère.

A mes très chers frères.

A toute la famille.

A tous mes amis et mes collègues.

Et à tous ceux qui m'ont aidés de près ou de loin à accomplir ce travail.

Kh.samir

Sommaire

Introduction général.....	10
---------------------------	----

Chapitre 1

Généralités sur les Robots et les bras manipulateurs

Partie1 : les robots manipulateur.....	11
1.1 Introduction.....	11
1.2 Historique.....	11
1.3 Définition.....	12
1.3.1. Robotique.....	12
1.3.2. Robot.....	12
1.4 Les Systèmes Mécaniques Robotisé	13
1.5 Constituant d'un robot.....	15
1.6 Différentes catégories de robots.....	16
1.6.1 Robot mobile.....	16
1.6.2. Robot sous- marins.....	17
1.6.3. Robots volants.....	17
1.6.4. La robotique industrielle.....	18
1.6.5. La robotique domestique.....	18
1.6.6. Le robot médical.....	19
1.6.7. La robotique militaire.....	19
Partie2 : les bras manipulateurs.....	20
1.2 Les bras manipulateurs.....	20
1.2.1 Définition.....	20
1.2.2 Structure mécanique de bras manipulateur.....	21
Conclusion.....	22

Chapitre 2

Modélisation et simulation es robots manipulateurs

2.1	Modélisation des robots manipulateurs.....	23
2.1.1	Introduction.....	23
2.1.2	Anatomie d'un robot manipulateur.....	23
2.1.3	Symboles des articulations Rotiode et Prismatique.....	24
2.1.4	Les type des robots.....	24
2.1.4.1	Le robot SCARA	24
2.1.4.2	Le robot cylindrique.....	25
2.1.4.3	Le robot sphérique.....	26
2.1.4.4	Le robot cartésien.....	27
2.1.4.5	Le robot puma quatre degré de liberté 3ddl.....	27
2.2	Modèles cinématique.....	28
2.2.1	Modèle cinématique direct.....	28
a.	Approche géométrique.....	28
b.	Convention de Dénavit Hardenberg (DH1955).....	29
2.2.2	Modèle cinématique inverse.....	31
2.3	Simulation de bras manipulateur puma 4 degré de liberté 4 ddl.....	33
2.3.1	La toolbox rvctools	33
2.3.2	Cinématique direct.....	34
2.3.2.1	Objectifs.....	34
2.3.2.2	Cinématique directe utilisant les transformations homogènes.....	34
2.3.3	Cinématique inverse.....	38
2.3.4	Trajectoire circulaire	39
2.3.5	Simulation Matlab.....	40
	Conclusion.....	41

Chapitre 3

Description du bras manipulateur et résultats obtenus

3.1 Introduction.....	42
3.2 Partie mécanique du bras manipulateur.....	42
3.3 Partie électronique du bras manipulateur.....	44
3.3.1 Schéma électrique	44
3.3.2 Servomoteurs.....	45
3.4 Partie commande du bras manipulateur.....	46
3.5 Résultats des tests effectués.....	47
3.5.1 Déplacement d'un objet.....	48
3.5.2 Suivi de trajectoire.....	49
Conclusion.....	49
Conclusion général.....	50

ملخص:

الهدف من هذا المشروع هو تصميم و بناء ذراع مناوور من نوع بيما 560 بأربعة درجات من الحرية ، هذا الروبوت سيكون لديه بقق لتحرك الأشياء باستخدام مصاصة، تحت ضغط سلبي تمارس بواسطة مضخة فراغ، سيسمح للجهاز المحطة لتنفيذ هذه العملية. جميع تفاصيل الحسابات المباشرة والعكسية سيتم ذكرها بوضوح في الفصول اللاحقة.

Résumé :

Ce projet a pour but de concevoir et réaliser un bras manipulateur de type PUMA560 avec 4 degrés de liberté, ce robot aura pour taches de faire déplacer des objets en utilisant une ventouse qui, sous une pression négative exercée par une pompe à vide, permettra à l'organe terminal de réaliser cette opération. Tous les détails de calcul de la cinématique directe et inverse seront explicitement exposés.

Abstract:

The aim of this project is to design and construct a 4 degrees of freedom PUMA560 type robot, using a vacuum pump on its end effector this robot arm will be used as a pick and place device. All the required computations dealing with the forward and inverse kinematics will be explicitly presented in subsequent chapters.

Table des matières

Liste des figures

Chapitre1

Figure 1.1 Chaîne de production robotisée	12
Figure 1.2. Parties commande- contrôle et opérative du robot	13
Figure 1.3 Robot humanoïde - Robot série de type sacra - Robot série anthropomorphe.....	14
Figure1.4. Fauteuil équipé d'un bras- Robot chirurgical déambulateur//verticaliste.....	14
Figure1.5. Main articulée-Robot chien-Robot hexapode.....	14
Figure 1.6. Nomenclature de robot.....	15
Figure 1.7. Robots mobiles.....	16
Figure 1.8. Robots sous- marins.....	17
Figure 1.9. Robots volants.....	17
Figure 1.10. Robot industrielle.....	18
Figur1.11. Robot domestique.....	18
Figure 1.12. Le robot médical.....	19
Figure 1.13. La robotique militaire.....	19
Figure 1.14 un bras manipulateur industrielle.....	20
Figure 1.15 Structure de bars manipulateurs.....	21

Chapitre2

Figure 2.1. Cinématique directe et inverse.....	23
Figure 2.2. Anatomie d'un robot manipulateur.....	23
Figure 2.3 deux articulation Rotoïde et prismatique.....	24
Figure 2.4. Le robot sacra.....	24
Figure 2.5. Le robot sonkyo et Adept.....	25
Figure 2.6. Le robot cylindrique.....	25
Figure 2.7. Le robot Seiko.....	26
Figure 2.8. Le robot sphérique.....	26
Figure 2.9. Le robot FANUC.....	26

Figure 2.10. Le robot Cartésien.....	27
Figure 2.11. Le robot Toshiba.....	27
Figure 2.12. Le robot puma.....	27
Figure 2.13 le robot UNIMATE PUMA 560.....	28
Figure 2.14 Approche géométrique.....	28
Figure 2.15 Systèmes de coordonnées et les paramètres de Denavit et Hardenberg.....	29
Figure 2.16 La représentation les 4 paramètres DH.....	30
Figure 2.17 Robot de type RP.....	32
Figure 2.18 bras manipulateur de type RR.....	33
Figure 2.19 les quatre variables articulation de bras puma 4 ddl.....	35
Figure2.20 Les résultats de l'exécution de Matlab.....	37
Figure 2.21 Une vue latérale d'un manipulateur de bras PUMA de 4 ddl.....	39
Figure2.22 Modèle mathématique que trajectoire circulaire.....	40
Figure2.23 Simulation d'un robot puma 4 ddl dessinant un cercle.....	40

Chapitre3

Figure 3.1 : Vues de profil du bras manipulateur.....	43
Figure 3.2 : Schéma électrique de la carte de puissance.....	44
Figure 3.3 Principe d'un servomoteur.....	45
Figure 3.4 Signaux et positions d'un servomoteur.....	45
Figure 3.5 Servomoteurs utilisés dans le bras manipulateur.....	46
Figure 3.6 Principe de fonctionnement du bras manipulateur.....	47
Figure 3.7 Déplacement d'une balle.....	48

Liste des tableaux

Chapitre2

Tableau 2.1 les quatre paramètres Denavit_ Hartenberg	31
Tableau 2.2. Les quatre paramètres DH du robot puma 4 ddl.....	36

Introduction Générale

Introduction Générale

Le robot manipulateur est devenu un outil de travail par excellence dans différents secteurs qui touchent un large spectre des activités humains, et il n'a cessé d'augmenter ces dernières années, allant de l'industrie manufacturière, passant par l'agriculture, le nucléaire, la médecine, jusqu'à la conquête de l'espace. Cette présence très remarquable du robot manipulateur dans ces nombreux domaines peut être expliquée par sa versatilité, sa dextérité et sa précision dans l'exécution des différentes tâches considérées comme aliénantes, fatigantes ou dangereuse pour l'être humain.

De nos jours, l'utilisation des machines dans l'industrie où la recherche est de plus en plus importante. En effet, l'automatisation des systèmes permet une conception plus rapide et plus sûre que certains ouvrages. Dans le domaine de la recherche, on remarque que l'utilisation de la robotique est en constante évolution, car celle-ci permet de manipuler avec beaucoup de précision et donc de manière plus sûre divers produits ou objets, neutres ou dangereux. En plus, la robotique permet d'aider l'homme dans les tâches difficiles, répétitives ou pénibles.

Le problème de manipulation d'objets est l'un des sujets de recherche qui passionnent depuis longtemps les chercheurs en robotique. Les robots assurant cette tâche s'appellent les robots manipulateurs. On les retrouve dans les chaînes de production dans l'industrie automobile et l'industrie électronique ou dans les milieux hostiles ; les milieux à haute pression (milieu sous-marin), basse pression (l'exploration spatiale), hautes températures, Fortes radiations, ...etc.

Aujourd'hui, il existe plusieurs types de robots conçus pour des tâches bien spécifiques. Dans ce travail de mémoire, nous nous sommes intéressés aux bras manipulateurs Puma à degrés de liberté (4 ddl).

L'objectif principal de notre travail est de concevoir et réaliser et commander un bras Manipulateur à quatre degrés de liberté commandé par Arduino.

Ce mémoire se compose de trois chapitres qui peuvent être résumés comme suit :

Dans le **premier chapitre** on va parler d'une façon générale sur les robots et les bras manipulateurs dans plusieurs domaines et plus précisément le robot et les bras manipulateurs industriels ; leurs contributions dans l'industrie et leurs impacts sur la production tout en donnant des exemples à des robots industriels.

Le **deuxième chapitre** présente la modélisation d'une façon générale (**partie 1**) et simulation à l'aide du logiciel **Matlab (partie 2)** sur le bras manipulateur Puma quatre degrés de liberté de façon particulière.

Le **troisième chapitre** est une application sur le bras manipulateur Puma quatre degrés de liberté contrôlé par un module **Arduino**.

Chapitre 1

Généralités sur les Robots et les bras manipulateurs

Partie1 : les robots manipulateurs

1.1 Introduction

A l'origine des robots ont été conçus pour remplacer les travailleurs humains, qui souffraient de problèmes industriels à l'époque, on pensait que les robots seraient des machines universelles capables de la reprogrammation rapide pour une grande variété de tâches, et ces idées qui ont motivé leur développement.

La robotique est un ensemble de disciplines techniques (mécanique, électronique, automatique, informatique) articulées autour d'un objectif et d'un objet commun. Cet objectif est l'automatisation flexible de nombreux secteurs de l'activité humaine réputés jusqu'à très récemment comme ne pouvant se passer de la présence de l'homme, et l'objet est le robot, sorte de machine universelle dont l'homme rêve depuis toujours (mais qui n'a pas encore la forme de ce rêve).

1.2 Historique [5]

- **1920 : Apparition du mot robot** : l'origine du mot est la langue tchèque dans laquelle son Ancêtre 'robota' signifie travail forcé. Il a été introduit, en 1920, par l'écrivain tchèque Karel Capek dans la pièce de théâtre Rossum's Universal Robots.
- **1961 : Unimation, le 1^{er} robot industriel** : descendant direct des télémanipulateurs développés pour les besoins du nucléaire. Il est vendu à partir de 1961 par la société American Unimation (devenu Staubli Unimation), crée par George Devol et Joseph Engelberg. Il est utilisé pour la première fois sur les lignes d'assemblage de General Motors. Ce robot, de 1,5 tonnes, était capable de manipuler des pièces de fonderie pesant 150 kg.
- **1972 : 1^{er} chaîne de production robotisée** : Nissan ouvre la première chaîne de production complètement robotisée, selon une étude I'IFR, 2142 de robots ont été fabriqués entre les années 60 et la fin 2010, les analystes

estiment qu'aujourd'hui entre 1 et 1,3 million de robots travaillent pour nous dans les usines dans le monde.

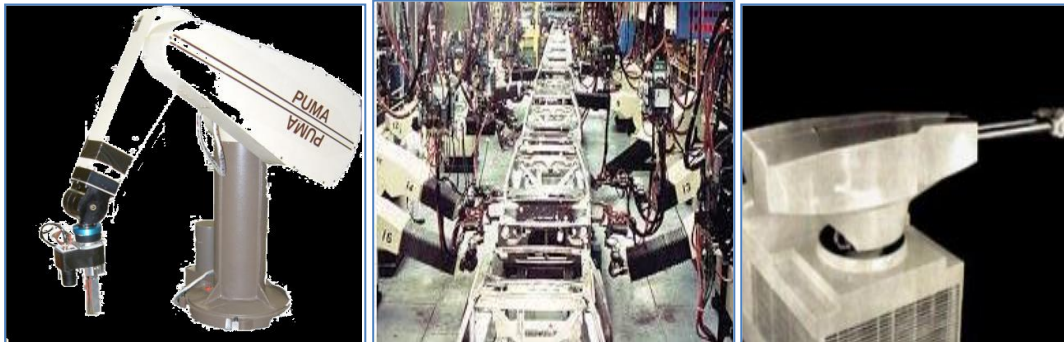


Figure 1.1 Chaîne de production robotisée

- 1947 : premier manipulateur électrique télé opéré.
- 1954 : premier robot programmable.
- 1961 : apparition d'un robot sur chaîne de montage de général Motors
- 1961 : premier robot avec contrôle d'effort.
- 1963 : utilisation de la vision pour commander un robot.

1.3 Définition

1.3.1. Robotique

Ensemble des domaines domestique scientifiques et industriels en rapport avec la Conception et la réalisation des robots.

1.3.2. Robot

- ✓ Un robot est un système mécanique poly articulé mu par des actionneurs et commandé par un ordinateur qui est destiné à effectuer une grande variété de tâches.
- ✓ Appareil automatique capable de manipuler des objets et exécuter selon un Programme fixe modifiable ou adaptable.
- ✓ Le robot est un système automatique dont la partie opérative est une structure mécanique articulée.

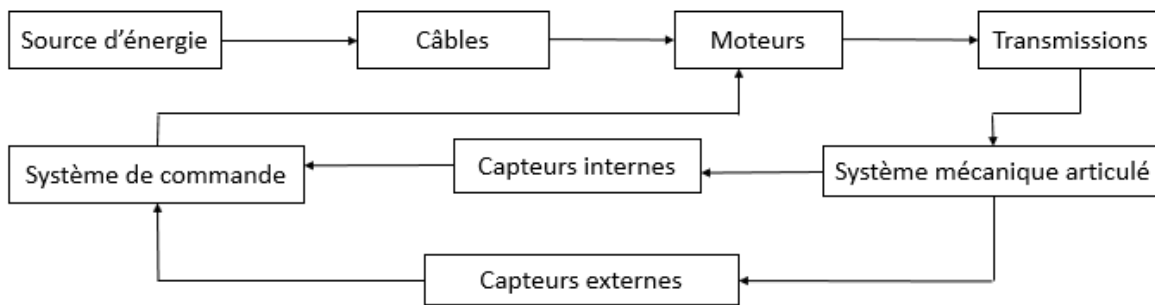


Figure 1.2 Parties commande- contrôle et opérative d'un robot

Pour « mériter » le nom de robot, un système doit posséder une certaine flexibilité Caractérisée par les propriétés suivantes :

- **La versatilité** : Un robot doit avoir la capacité de pouvoir exécuter une variété de Tâches, ou la même tâche de différentes manières ;

- **L'auto-adaptabilité** : Un robot doit pouvoir s'adapter à un environnement Changeant au cours de l'exécution de ses tâches.

- L'association française de normalisation (A.F.N.O.R) définit un robot comme étant un système mécanique de type manipulateur commandé en position, reprogrammable, polyvalent (i.e., usages multiples), à plusieurs degrés de liberté, capable de manipuler des matériaux, des pièces, des outils et des dispositifs spécialisés, au cours de mouvements variables et programmés pour l'exécution d'une variété de tâches. [6]

1.4. Les Systèmes Mécaniques Robotisé [1]

Les systèmes robotiques intéressent de très nombreux domaines civils et militaires. Les Grands champs d'application de la robotique sont :

1. La production manufacturière (usinage, assemblage, soudure, polissage, formage, etc.)
2. Les interventions en milieux hostiles (sous-marin, nucléaire, exploration, planétaire, etc.)
3. Les systèmes de transport des biens et des personnes (véhicules intelligents, robots mobiles, etc.)
4. L'aide et l'assistance aux personnes (robots personnels, aides techniques, etc.)
5. Les nombreux domaines de la santé (chirurgie, rééducation, etc.).
6. Le ludique (robots jouets)

Ils prennent des formes très diverses du point de vue de leur structure mécanique et de leur Commande. Plusieurs types de robots 'génériques' sont illustrés sur les figures qui suivent.



Figure 1.3 Robot humanoïde - Robot série de type scara - Robot série anthropomorphe.

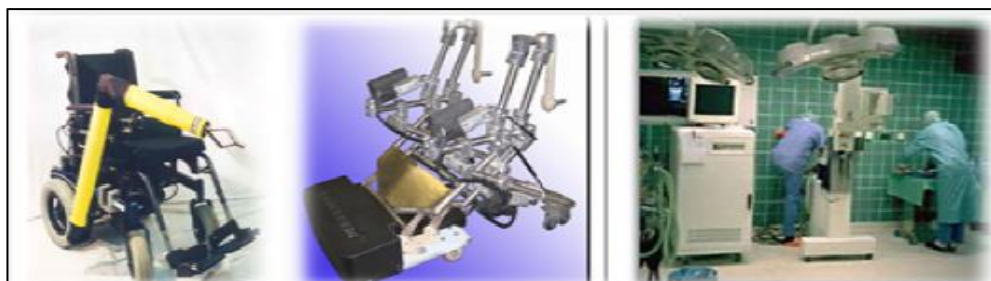


Figure1.4 Fauteuil équipé d'un bras- Robot chirurgical déambulateur//verticaliste.



Figure1.5 Main articulée-Robot chien-Robot hexapode.

1.5. Constituants d'un robot [2]

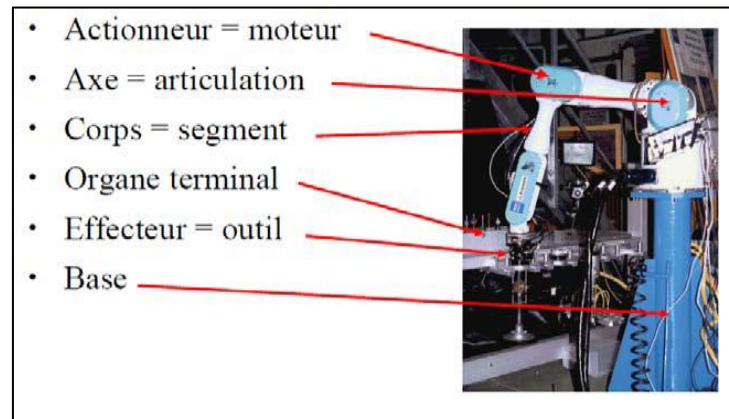


Figure 1.6 Nomenclature de robot

On distingue classiquement 4 parties principales dans un robot manipulateur :

- **Organe terminal** : l'organe terminal est un dispositif fixé à l'extrémité mobile de la structure mécanique (bras). Il est destiné à manipuler des objets (dispositif de serrage, dispositifs magnétiques, ...), ou à les transformer (outil, touche de soudage, pistolet de peinture etc.).
- 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.
- **Le système mécanique articulé (S.M.A)** est un mécanisme ayant une structure plus ou moins proche de celle du bras humain. Il permet de remplacer, ou de prolonger, son action (le terme « manipulateur » exclut implicitement les robots mobiles autonomes). Son rôle est d'amener l'organe terminal dans une situation (position et orientation) donnée, selon des caractéristiques de vitesse et d'accélération données. Son architecture est une chaîne cinématique de corps, généralement rigides (ou supposés comme tels), 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.

- **Les actionneurs** : le S.M.A. comporte des moteurs le plus souvent avec des transmissions, l'ensemble constitue les actionneurs. Les actionneurs utilisent fréquemment des moteurs électriques à aimant permanent, à courant continu, à commande par l'induit.
- **Les capteurs** : les organes de perception permettent de gérer les relations entre le robot et son environnement. Les capteurs dits proprioceptifs lorsqu'ils mesurent l'état interne du robot (positions et vitesse des articulations) et extéroceptifs lorsqu'ils recueillent des informations sur l'environnement.
- **La partie commande** : synthétise les consignes des asservissements pilotant les actionneurs, à partir de la fonction de perception et des ordres de l'utilisateur. S'ajoutent à cela l'interface homme machine à travers laquelle l'utilisateur programme les tâches que le robot doit exécuter

1.6. Différentes catégories de robots [7]

1.6.1 Robot mobile

Un robot mobile est un système mécanique, électrique et informatique agissant physiquement sur son environnement en vue d'atteindre un objectif qui lui a été assigné.

Cette machine est polyvalente et capable de s'adapter à certaines variations de ses conditions de fonctionnement. Elle est dotée de fonction de perception, de décision et d'actions.



Figure 1.7 Robots mobiles

1.6.2. Robot sous- marins

Un robot sous – marins autonome est un robot qui se déplace dans l’eau de manière autonome contrairement auROV.

ROV : Un rov (qu’on pourrait traduire par « véhicule sous-marins téléguidées »).

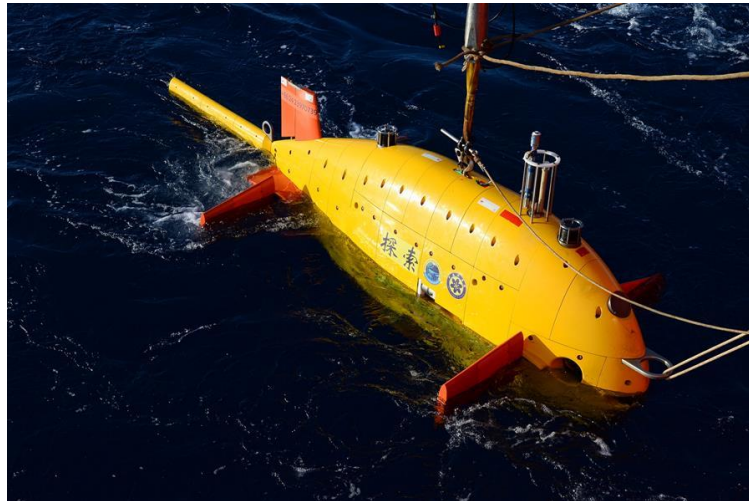


Figure 1.8 Robot sous- marin

1.6.3. Robots volants

Un drone désigne un aéronef sans pilote à bord, il peut avoir un usage civil ou militaire. Les drones sont utilisés au profit des forces armées ou de sécurité.



Figure 1.9 Robot volant

1.6.4. La robotique industrielle

La robotique industrielle est officiellement définie par l'ISO, comme un contrôle automatique, reprogrammable dans trois ou plusieurs axes.

Les applications typiques incluent des robots de soudage de peinture et d'assemblage.

Les robots industriels sont très utilisés en automobiles.



Figure 1.10 Robots industriels

1.6.5. La robotique domestique

Un robot domestique est un robot de service personnel utilisé pour des tâches ménagères.

Jusqu'à présent, il n'y a que des rares modèles.

Les robots domestiques sont utilisés par exemple en vaisselle, en nettoyage et en cuisine.



Figur1.11 Robot domestique

1.6.6. Le robot médical

Un robot médical est un système robotique utilisé dans le cadre d'une application thérapeutique, par exemple lors d'une chirurgie ou au cours d'un programme de réhabilitation neuromatrice.

Du fait des contraintes importantes en matière de sécurité, ce type de robot est en général doté d'un faible niveau d'autonomie.



Figure 1.12 Le robot médical

1.6.7. La robotique militaire

Les robots sont beaucoup utilisés par l'armée pour simplifier la vie des soldats et limiter les pertes humaines, en voici quelques catégories :

- Les robots démineurs.
- Les drones.
- Les robots de combat.

Le premier robot militaire étant le **'Goliath'** utilisé par l'armée allemande durant la 2^{ème} guerre mondiale.



Figure 1.13 La robotique militaire

Partie2 : les bras manipulateurs

1.2 Les bras manipulateurs

1.2.1 Définition

Un bras manipulateur est un robot généralement programmable, avec des fonctions similaires à un bras humain. Les liens de ce manipulateur sont reliés par des axes permettant, soit du mouvement de rotation (comme dans un robot articulé) ou de translation (linéaire) de déplacement.

Il peut être autonome ou contrôlé manuellement et peut effectuer une variété de tâches avec une grande précision.

Les bras manipulateurs peuvent être fixes ou mobiles (avec ou sans roues) et peuvent être conçus pour des applications industrielles.



Figure 1.14 un bras manipulateur industriel

Les positions sont définies par des longueurs et des angles qui correspondent à des paramètres de constructions des bras. Ce sont donc des grandeurs constantes pour un bras donné, qui caractérisent sa géométrie.

Le manipulateur mécanisme généralement composé d'éléments en série articulaires ou coulissants l'un par rapport à l'autre, dont le but est la saisie et déplacement d'objets suivant plusieurs degrés de liberté. Il est multifonctionnel et peut- être commandé directement par un opérateur humain ou par tout système logique (système à cames, logique pneumatique, logique électrique câblée ou programmée), et le robot industriel « Manipulateur automatique, asservi en position, reprogrammable, polyvalent, capable de positionner et d'orienter des matériaux ou pièces, outils ou dispositif spécialisés au cours de mouvement variables et programmés pour l'exécution de tâches variées, il se présente souvent sous la forme d'un ou plusieurs bras se terminant par un poignet.

Son unité de commande utilise, notamment, un dispositif de mémoire et éventuellement de perception de l'environnement.

Ces machines polyvalentes sont généralement étudiées pour effectuer la même fonction de façon cyclique et peuvent être adaptées à d'autres fonctions sans modification permanente du matériel.

1.2.2 Structure mécanique des bras manipulateurs

Le bras manipulateur est constitué de deux parties principales :

- ✓ **Organe terminal** : 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. Les tâches qui sont dévolues aux bras sont très variées. Pour chaque opération ou travail spécifique, l'organe terminal prend un aspect particulier.
- ✓ **Elément porteur** : il est composé d'un ensemble de corps souples ou rigides liés par des articulations, servant à déplacer l'organe terminal d'une configuration à une autre.

Le porteur a pour rôle de fixer la position du point d'intersection, noté P, des axes des 3 dernières articulations (centre du poignet) ; cette position (P) ne dépend que de la

Configuration des solides (corps) 1,2 et 3 (i.e., du porteur),

- le poignet est destiné à l'orientation de l'organe terminal (pince, outil).

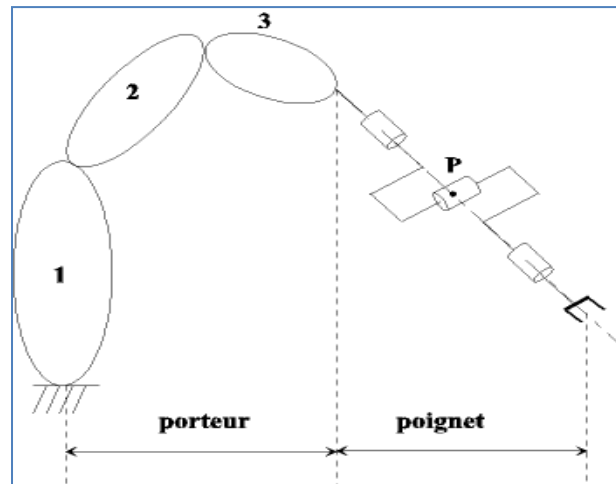


Figure 1.15 Structure de bars manipulateurs

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu général sur les robots et les bras manipulateurs, les différents constituants et structures mécaniques ainsi que la terminologie utilisée en robotique.

2.1 Modélisation des robots manipulateurs

2.1.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons traiter les modèles cinématique directe et cinématique inverse des robots manipulateurs de type série, le modèle cinématique directe est une description géométrique de la position et de l'orientation de l'effecteur final en fonction des variables articulaires.

Le modèle cinématique inverse consiste à déterminer les variables articulaires du robot connaissant la position et l'orientation de l'organe terminal.

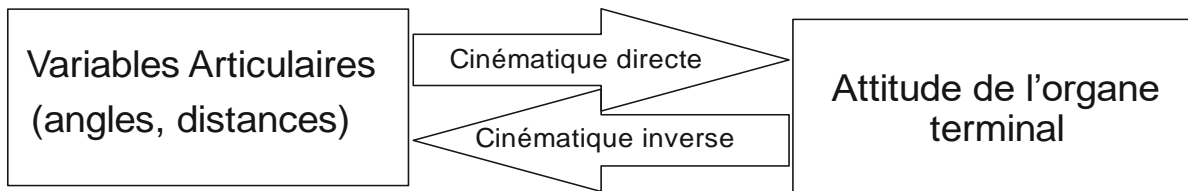


Figure 2.1. Cinématique directe et inverse

2.1.2 Anatomie d'un robot manipulateur

La figure ci-dessous montre un exemple de robot industriel avec la nomenclature utilisée pour désigner les différentes parties du robot.

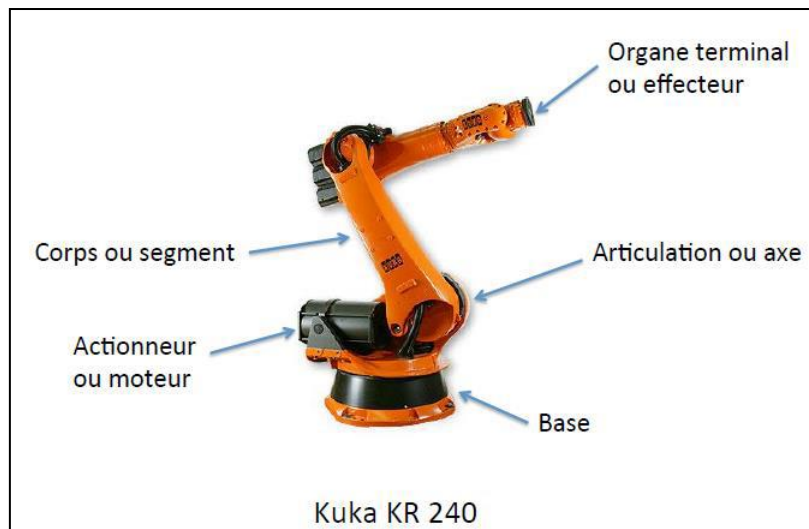
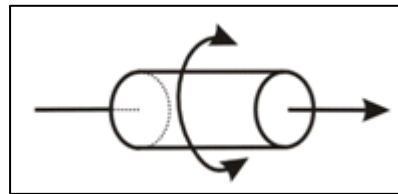


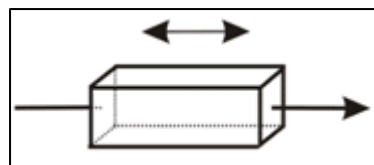
Figure 2.2. Anatomie d'un robot manipulateur

2.1.3 Symboles des articulations Rotoïde et prismatique

Afin de symboliser les articulations d'un robot manipulateur les figures suivantes schématisent les articulations Rotoïde (**rotation - R**) et Prismatique (**translation - P**) utilisée en robotique.



Rotoïde(R)



Prismatique(P)

Figure 2.3 deux articulation Rotoïde et prismatique

Un robot manipulateur compose de liaisons connectées par des articulations rotoïde et/ou prismatique pour constituer une chaîne cinématique. Une articulation rotoïde est notée par la lettre **R**, une articulation prismatique est notée par la lettre **P**. les parties suivantes donnent les principales configurations connus dans le domaine industriel.

2.1.4 Les types de robots [3]

2.1.4.1 Le robot SCARA:

SCARA= Slective Complaint Articulated Robot for Assembly

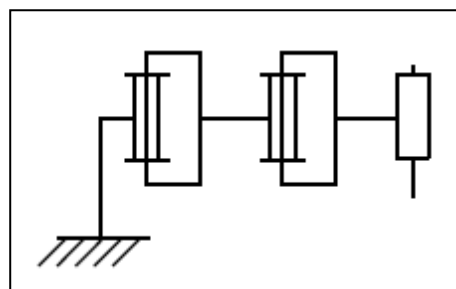


Figure 2.4. Le robot scara

Caractéristique :

- . 3 axes, série, RRP, 3 DDL.
- . Espace de travail cylindrique.
- . Précis.
- . Très rapide.

Exemple :

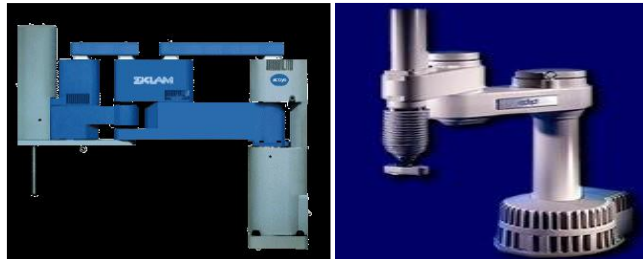


Figure 2.5. Le robot sonkyo et Adept

2.1.4.2 Le robot cylindrique

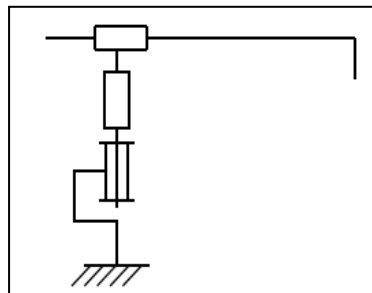


Figure 2.6. Le robot cylindrique

Caractéristiques :

- . 3 axes, série, RPP, 3DDL.
- . Espace de travail cylindrique.
- . Très rapide.

Exemple :



Figure 2.7. Le robot Seiko

2.1.4.3. Le robot sphérique :

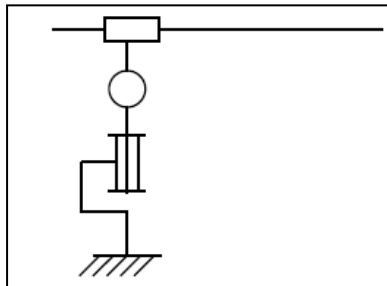


Figure 2.8. Le robot sphérique

Caractéristiques :

- . 3 axes, série, RRT, 3 DDL.
- . Espace de travail sphérique.
- . Grande charge utile

Exemple :



Figure 2.9. Le robot FANUC

2.1.4.4 Le robot cartésien :

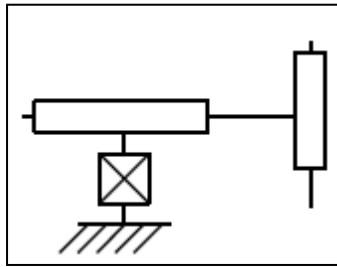


Figure 2.10. Le robot Cartésien

Caractéristiques :

- . 3 axes $\perp 2$ à 2 , série, ppp, 3 DDL.
- . Très bonne précision.
- . Lent

Exemple :



Figure 2.11. Le robot de Toshiba

2.1.4.5 Le robot Puma 3ddl :

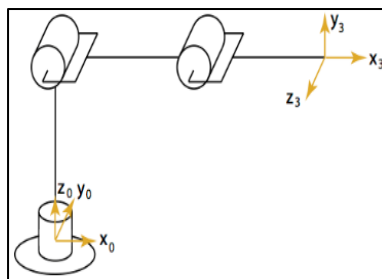


Figure 2.12. Le robot Puma

Caractéristiques :

- . 3 axes, série, RRR, 3 DDL.
- . Bonne précision.
- . Rapide.

Exemple :



Figure 2.13 le robot UNIMATE PUMA 560

2.2 Modèles cinématique

2.2.1 Modèle cinématique directe

Il s'agit d'une description mathématique donnant la position de l'organe terminal, calculer à partir des articulations rotoides et prismatiques constituant le robot

a. Approche géométrique

Dans le cas où nous avons un nombre réduit d'articulations nous pouvons obtenir une relation entre les coordonnées de l'organe terminal par rapport au repère fixe, l'exemple suivant représente cette approche géométrique :

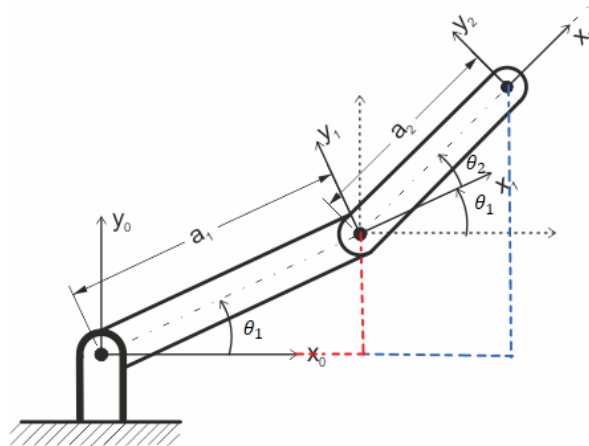


Figure 2.14 Approche géométrique

A partir de cette figure nous avons

$$X_p = a_1 \cos(\theta_1) + a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (2.1)$$

$$Y_p = a_1 \sin(\theta_1) + a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (2.2)$$

Ainsi nous avons directement les coordonnées de l'organe terminal (p) dans le repère fixe (O, Xo, Yo) lorsque l'architecture du robot est plus compliquée, notamment en 3 dimensions, les coordonnées de l'organe terminal ne peuvent pas être calculées d'une manière aussi simple.

b. Convention de Dénavit Hardenberg (DH 1955)

La convention DH consiste en un ensemble de règles qui permettent de simplifier l'analyse de la cinématique directe. L'avantage de cette méthode devient apparent lorsque le nombre de liaison (prismatique et rotoïde) devient important.

Ainsi l'application de cette méthode permet d'exprimer toutes les transformations homogènes de la chaîne cinématique en termes d'un produit de 4 transformations de bras comme suit :

$$H^{i-1}_i = \text{Trans}_{z(i-1)}(d_i) * \text{Rot}_{z(i-1)}(\Theta_i) * \text{Trans}_{x(i)}(a_i) * \text{Rot}_{x(i)}(\alpha_i) \dots \dots \dots (2. 3)$$

$$H^{i-1}_i = \left[\begin{array}{ccc|c} \cos\theta_i & -\sin\theta_i \cos\alpha_i & \sin\theta_i \sin\alpha_i & a_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i \cos\alpha_i & -\cos\theta_i \sin\alpha_i & a_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

$$= \left[\begin{array}{ccc|c} R & & & T \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

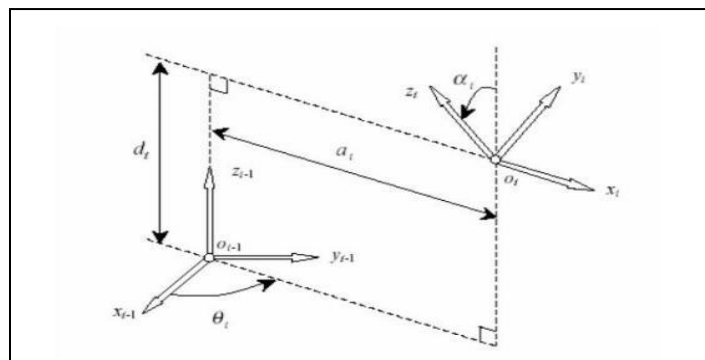


Figure 2.15 Systèmes de coordonnées et les paramètres de Denavit et Hardenberg

Les variables Θ_i , a_i , d_i , α_i sont des paramètres associés au lien i et l'articulation $i-1$. Cette matrice nous montre donc qu'avec cette méthode de 4 paramètres sont suffisants pour caractériser une transformation homogène, alors qu'il en fallait 6 (3 angles et 3 coordonnées) avec la représentation précédente.

Les conditions essentielles qu'il faudra respecter sont :

- 1- Les mouvements de l'articulation (Rotoïde ou prismatique) sont toujours sur axes Z_i
- 2- X_i doit être perpendiculaire à Z_{i-1}
- 3- X_i doit couper à l'axe Z_{i-1}

La figure suivante montre le cas général où les axes de mouvement (Z_{i-1} et Z_i) n'ont pas de point d'intersection, dans ce cas il n'y a qu'une seule et unique droite perpendiculaire aux deux axes (normal commune).

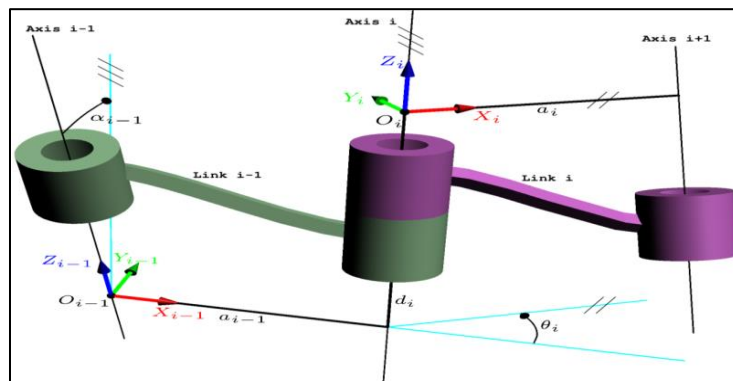


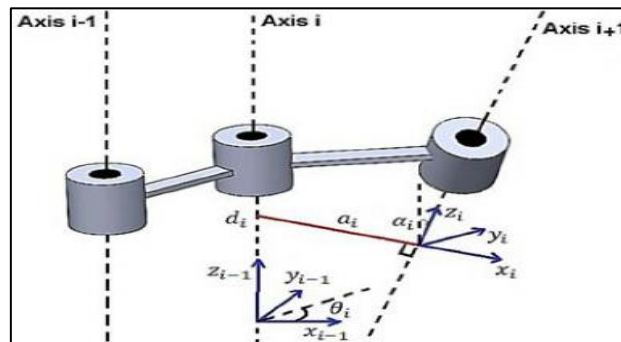
Figure 2.16 La représentation les quatre paramètres DH

Pour ce cas les paramètres de la convention DH représentent l'opération suivante :

- . d_i représente la distance entre les deux origines O_{i-1} et O_i le long de axe Z_{i-1} .
- . θ_i représente l'angle entre les deux axes X_{i-1} et X_i autour de l'axe Z_{i-1} .
- . a_i représente la distance entre les deux origines O_{i-1} et O_i le long de l'axe X_i .
- . α_i représente l'angle entre les deux axes Z_{i-1} et Z_i autour de l'axe X_i .

Remarque :

- 1) Dans le cas où les axes (Z_{i-1} et Z_i) ont un point d'intersection, l'origine du repère(i) sera placé sur ce même point et l'axe X_i choisi comme étant le produit vectoriel ($Z_{i-1} * Z_i$), il sera aussi perpendiculaire à ces deux axes :



- 2) Concernant le cas où les axes (Z_{i-1} et Z_i) sont parallèles nous avons en nombres infini de droites perpendiculaires aux deux axes, dans cette situation il est préférable de choisi l'axe X_i le long de la perpendiculaire passant par l'origine du repère O_{i-1} .

La figure ci- dessous illustre un exemple de ce genre de situation.

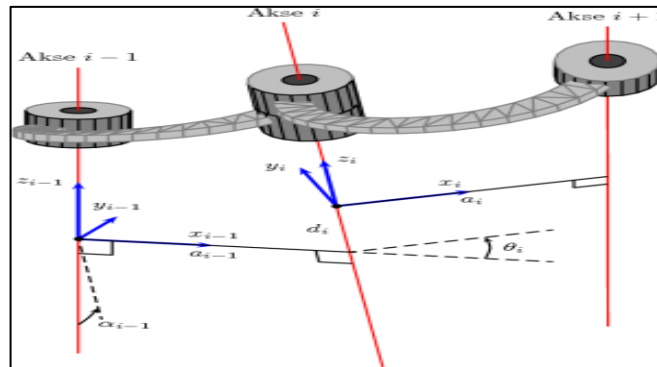


Tableau des paramètres DH : Après avoir placé les repères relatifs à toutes les articulations il faut dresser un tableau contenant les variables de la chaîne cinématique comme suit :

Articulations	Θ	d	a	α
1	Θ_1	d_1	a_1	α_1
2	Θ_2	d_2	a_2	α_2
.....
i	Θ_i	d_i	a_i	α_i
$i+1$	Θ_{i+1}	d_{i+1}	a_{i+1}	α_{i+1}
....
n	Θ_{n+1}	d_n	a_n	α_n

Tableau 2.1 les 4 paramètres Denavit_ Hartenberg

2.2.2 Modèles cinématique inverse

Afin de faire fonctionner un bras manipulateur nous avons très souvent besoin de résoudre le problème de la cinématique inverse, ce dernier consiste à calculer les variables articulaires (angles, distance) que doivent atteindre les actionneurs connaissant les coordonnées (positions, orientations) de l'organe terminale.

Exemple1 :

Calcul de l'angle et l'élongation d'un robot de type RP [4]

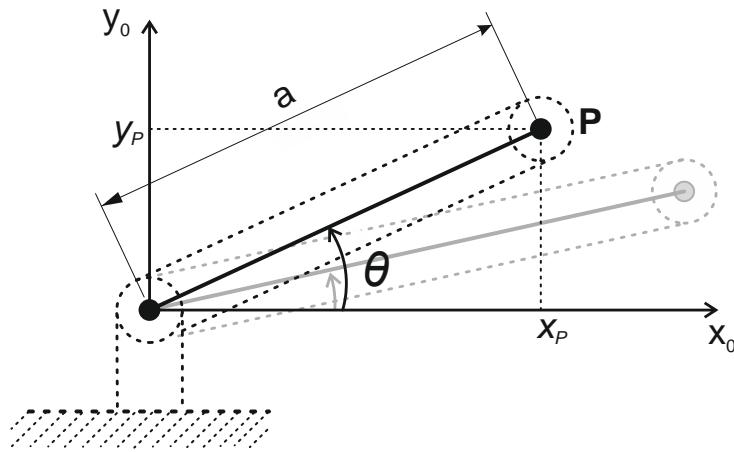


Figure 2.17 Robot de type RP

La figure ci-dessus montre le cas d'un bras robotisé ayant 2 variables articulaires (Θ , a), connaissant les coordonnées (X_p , Y_p) de l'organe terminal P le problème est de calculer Θ et a en fonction de x_p et y_p .

Nous avons :

$$\Theta = \arctan\left(\frac{y_p}{x_p}\right) \quad (2.4)$$

$$a = \sqrt{x_p^2 + y_p^2} \quad (2.5)$$

Exemple2 :

La cinématique inverse d'un bras manipulateur de type RR [4]

La figure suivant illustre l'exemple d'un bras à deux degrés de liberté, étant donné la position du point P (organe terminal) le problème le problème consiste à déterminer les angles Θ_1 et Θ_2 Permettant d'atteindre cette position.

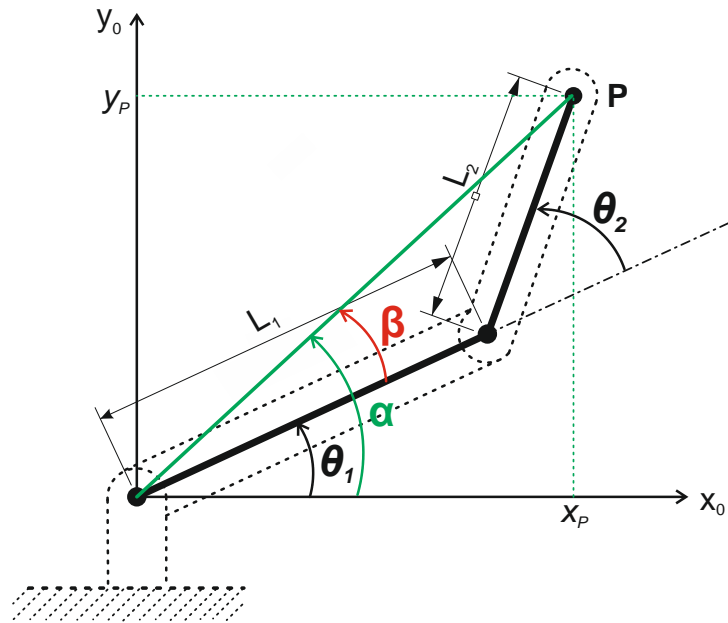


Figure 2.18 bras manipulateur de type RR

A partir de cette figure 1.2 nous avons : [4]

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{y_P}{x_P} \pm \cos^{-1} \left(\frac{x_P^2 + y_P^2 + L_1^2 - L_2^2}{2L_1 \sqrt{x_P^2 + y_P^2}} \right)$$

et

$$\theta_2 = \pm \cos^{-1} \left(\frac{x_P^2 + y_P^2 - L_1^2 - L_2^2}{2L_1 L_2} \right)$$

2.3 Simulation de bras manipulateur Puma quatre ddl

2.3.1 La toolbox rvctools

La toolbox **rvctools** est un ensemble de routines développées sous l'environnement Matlab, par Peter Corke [site web], pour être exploitées dans le domaine de la robotique et la vision artificielle. Cet ensemble contient des fonctions utiles pour l'étude et la simulation d'un très

Grand nombre de robots y compris leurs modèles cinématique, dynamique ainsi la génération de trajectoires.

L'utilisation du RVC Tools permet d'effectuer les calculs matriciels et surtout faciliter la représentation graphique des opérations relatives aux transformations rigides, nécessaire à l'étude des mouvements des articulations rotoides et prismatique dont sont munis les robots manipulateurs. Cet outil offre un grand nombre de fonctions exploitables à partir de l'environnement Matlab.

2.3.2 Cinématique directe

2.3.2.1 Objectifs : Le but sera de faire l'étude cinématique directe d'un robot puma (RRRR) quatre degrés de liberté (4ddl), le travail consiste à déterminer l'attitude de l'organe terminal du robot en fonction des trois variables articulaires. Dans cette partie le calcul de la position et l'orientation de l'organe terminal se fera à travers l'utilisation de la méthode basée sur la convention de Denavit-Hartenberg et les produits des matrices de transformations homogènes successives.

2.3.2.2 Cinématique directe utilisant les transformations homogènes

Dans cette partie il s'agit de choisir les repères correspondants à chaque variable articulaire pour ensuite produire les matrices de transformations homogènes permettant d'obtenir l'attitude de l'organe terminal en fonction de ces variables.

Ici, nous allons afficher les matrices de transformations homogènes dans le cas général, et Notez que ceci est le produit de deux déplacements. Les matrices associées à ces opérations sont :

$$\text{Trans}_{z_{n-1}}(d_n) = \left[\begin{array}{ccc|c} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_n \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

$$\text{Rot}_{z_{n-1}}(\theta_n) = \left[\begin{array}{ccc|c} \cos \theta_n & -\sin \theta_n & 0 & 0 \\ \sin \theta_n & \cos \theta_n & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

$$\text{Trans}_{x_n}(r_n) = \left[\begin{array}{ccc|c} 1 & 0 & 0 & r_n \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

$$\text{Rot}_{x_n}(\alpha_n) = \left[\begin{array}{ccc|c} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_n & -\sin \alpha_n & 0 \\ 0 & \sin \alpha_n & \cos \alpha_n & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

Cela donne:

$${}^{n-1}T_n = \left[\begin{array}{ccc|c} \cos \theta_n & -\sin \theta_n \cos \alpha_n & \sin \theta_n \sin \alpha_n & r_n \cos \theta_n \\ \sin \theta_n & \cos \theta_n \cos \alpha_n & -\cos \theta_n \sin \alpha_n & r_n \sin \theta_n \\ 0 & \sin \alpha_n & \cos \alpha_n & d_n \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{ccc|c} & & & \\ & R & & T \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

La figure suivant montre les quatre variables articulaires de bras Puma quatre ddl :

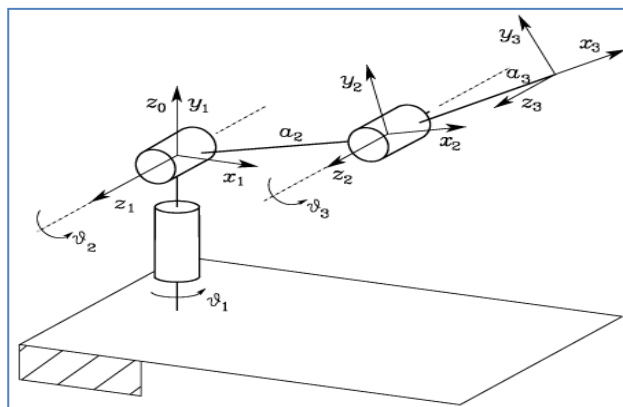


Figure2.19 les quatre variables articulaires du bras Puma quatre ddl

Pour trouver les transformations homogènes il faut suivre le tableau ci-dessous :

Articulations	Θ	d	a	α
Link1	Θ_1	d_1	0	Pi/2
Link2	Θ_2	0	a_2	0
Link3	Θ_3	0	a_3	0
Link4	Θ_4	0	a_4	0

Tableau2.2. Les quatre paramètres DH du robot Puma quatre ddl

Les matrices de transformations homogènes sont données par :

Nous prenons des valeurs numériques pour les quatre variables du tableau précédente comparé pas rapport les résultats sur matlab :

$\Theta_1 = 0^\circ$, $d_1=14$, $a_1=0$, $\alpha_1=90^\circ$, $\Theta_2=0^\circ$, $d_2=0$, $a_2=11$, $\alpha_2=0^\circ$, $\Theta_3 = 0^\circ$, $d_3=0$, $a_3=11$, $\alpha_3=0^\circ$, $\Theta_4=0^\circ$, $d_4=0$, $a_4=4$, $\alpha_4=0^\circ$,

$$T_0^1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 14 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_1^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 11 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_2^3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 11 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_3^4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_4^0 = T_0^1 * T_1^2 * T_2^3 * T_3^4$$

Le produit de trois matrices données :

$$T_4^0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 26 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 14 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

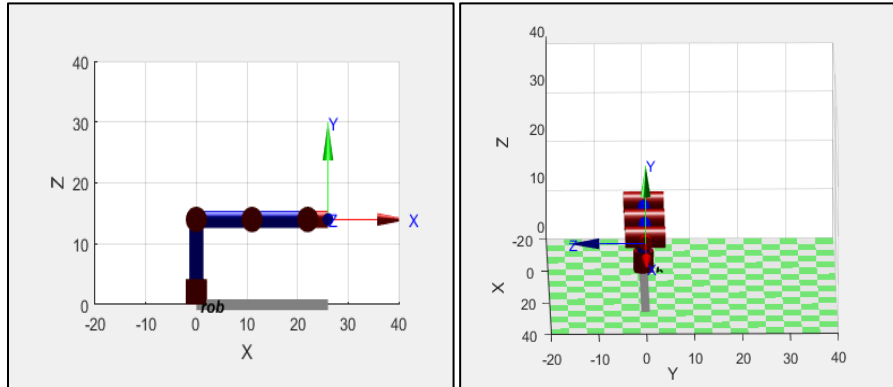
La colonne trois donnée la position de l'organe terminal :

x=26, y=0, z=14,

Donc on comparer avec les résultats d'exécution du programme matlab.

X=26,

Y=0,



Z=14,

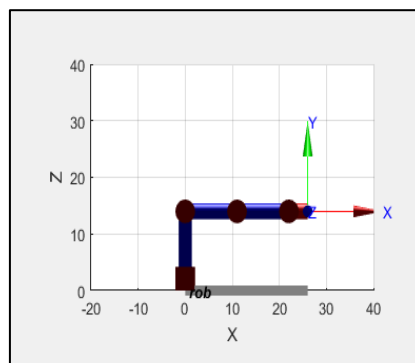


Figure2.20 Les résultats de l'exécution de Matlab

2.3.3 Cinématique inverse

La plupart du temps, nous devons régler l'organe terminal du bras manipulateur sur une certaine position, et l'orientation on utilise la cinématique inverse, le problème de la cinématique consiste à calculer les variables articulaires (angles, distance) que doivent atteindre les actionneurs connaissant les coordonnées (positions, orientation) de l'organe terminal.

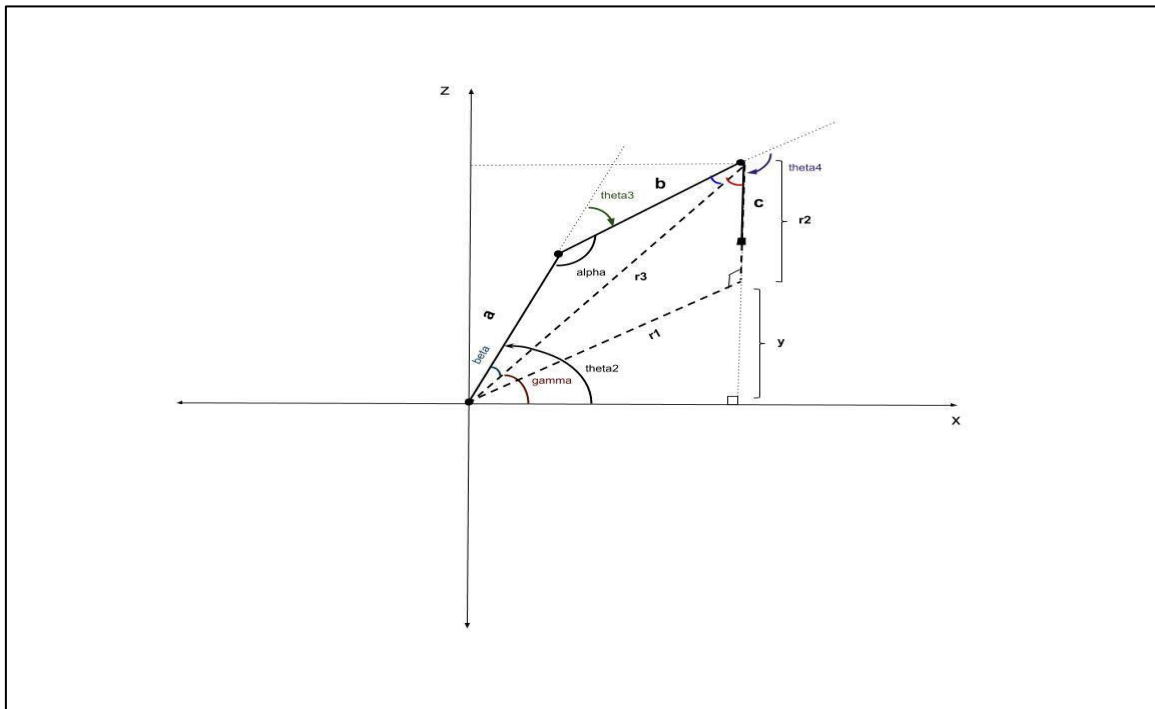


Figure 2.21 Une vue latérale d'un manipulateur de bras PUMA de quatre ddl

A partir de cette figure 2.22 on calcul Θ_1 comme suit :

$$\Theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right)$$

Nous avons une relation simple entre Θ_2 et les deux angles α et β donnée par :

$$\Theta_2 = \alpha + \beta$$

On calcule α et β :

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{r_2}{r_1}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{z - d_1 + a_4}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right)$$

Avec :

$$r_1 = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad r_2 = z - d_1 + a_4$$

A partir de la loi de cosinus on calcule β :

$$b^2 = a^2 + r_3^2 - 2*a*r_3*\cos(\beta)$$

$$\beta = \cos^{-1}\left(\frac{a^2 + r_3^2 - b^2}{2*a*r_3}\right)$$

Alors Θ_2 égale :

$$\Theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{z-d}{\sqrt{x^2+y^2}}\right) + \cos^{-1}\left(\frac{a^2 + r_3^2 - b^2}{2*a*r_3}\right)$$

On calcule Θ_3 :

$$\Theta_3 = -\pi + \gamma$$

$$\gamma = \cos^{-1}\left(\frac{a^2 + b^2 - r_3^2}{2*a*b}\right)$$

$$\text{Avec : } r_3 = \sqrt{r_1^2 + r_2^2}$$

Alors :

$$\Theta_3 = -\pi + \cos^{-1}\left(\frac{a^2 + b^2 - r_3^2}{2*a*b}\right)$$

On calcul Θ_4 :

$$\Theta_4 = \pi - (\pi - \cos^{-1}\left(\frac{b^2 + r_3^2 - a^2}{2*a*r_3}\right)) - (\pi/2 - \text{atan2}(z-d_1+a_4, r_1))$$

Finalemnt :

- $\Theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right)$
- $\Theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{z-d}{\sqrt{x^2+y^2}}\right) + \cos^{-1}\left(\frac{a^2 + r_3^2 - b^2}{2*a*r_3}\right)$
- $\Theta_3 = -\pi + \cos^{-1}\left(\frac{a^2 + b^2 - r_3^2}{2*a*b}\right)$
- $\Theta_4 = \pi - (\pi - \cos^{-1}\left(\frac{b^2 + r_3^2 - a^2}{2*b*r_3}\right)) - (\pi/2 - \text{atan2}(z-d_1+a_4, r_1))$

2.3.4 Une trajectoire circulaire

Pour que le bout du bras dessine un cercle sur une feuille de papier, il faut deux paramètres, un diamètre et coordonnée centrale (nous les choisissons librement tant qu'ils sont à l'intérieur de l'enveloppe de travail), nous allons les utiliser comme entrées pour une équation nous donne la coordonnées (x, y) de chaque point du cercle en tant que sorties.

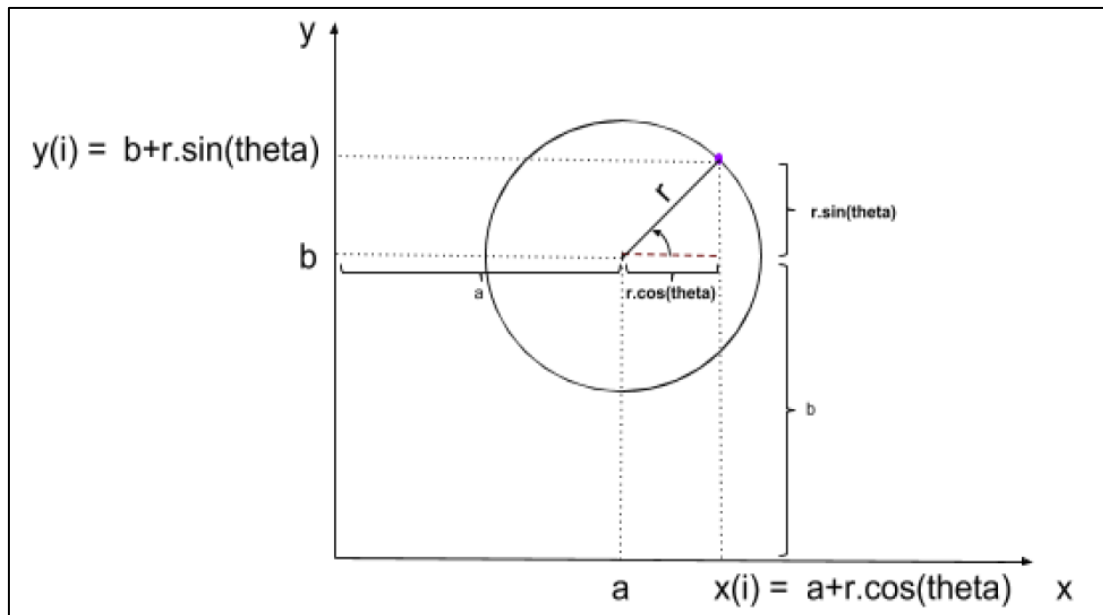


Figure2.22 Modèle mathématique d’une trajectoire circulaire

2.3.5 Simulation Matlab

On trouve une fonction pour calculer tous les coordonnées possible chaque point à partir du cercle et les stocker sur leur variable d’espace de travail appropriée, puis nous passons ces coordonnées à la fonction cinématique inverse pour placer la pointe du bras sur eux.

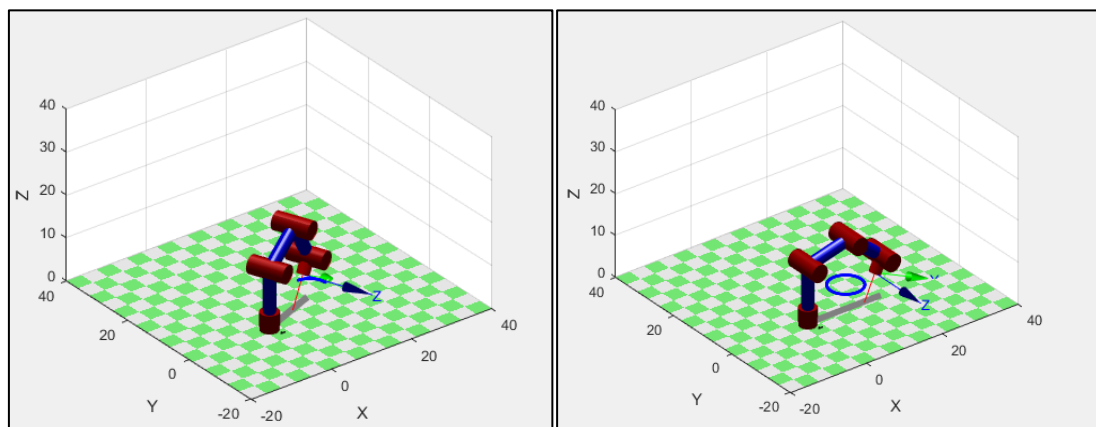


Figure2.23 simulation d’un robot Puma quatre ddl dessinant un cercle

Conclusion

Dans ce chapitre on a représenté les différents types de robots d'une manière générale, commençant par la description des modèles cinématique directe et inverse qui ont été décrits d'une manière générale. Ensuite on passe à la simulation dans toolbox de matlab du bras manipulateur puma quatre degré de liberté RRRR.

Chapitre 3

Description du bras manipulateur et résultats obtenus

3.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter toutes parties constituants notre bras manipulateur, nous commencerons par montrer la structure mécanique avec les différentes liaisons et articulations de la base jusqu'à l'organe terminal. La partie électronique sera brièvement discutée étant donné que nous avons utilisé une carte de puissance réalisée auparavant dans le cadre d'un autre projet. La partie la plus importante de ce projet réside dans l'étude cinématique inverse et son implémentation sur la plateforme réalisée.

3.2 Partie mécanique du bras manipulateur

La structure mécanique de notre robot a été réalisée à partir de plusieurs pièces en aluminium et en plastique. La première articulation est assurée par un servomoteur de type HS-805BB pouvant développer un couple allant de 19.8 à 24.7 kg/cm, cette articulation fait tourner l'ensemble de la structure sur l'axe vertical, la deuxième articulation est constituée par un deuxième servomoteur (HS-475HB) monté verticalement donnant ainsi une première rotation sur l'axe horizontal, celle-ci est suivie par une deuxième articulation, à l'aide d'un troisième servomoteur (HS-HS422) autour d'un axe horizontal parallèle au premier axe. Afin d'assurer que l'organe terminal soit toujours orienté dans la direction verticale, un quatrième servomoteur a été fixé au bout du deuxième bras. Tel qu'illustré par les figures ci-dessous, nous avons conçu l'organe terminal de sorte qu'il puisse assurer au moins deux fonctions ; La première étant de pouvoir écrire sur une surface horizontale, la deuxième fonction consiste à utiliser une ventouse capable de soulever un objet pour le déplacer d'un point donné à un autre.

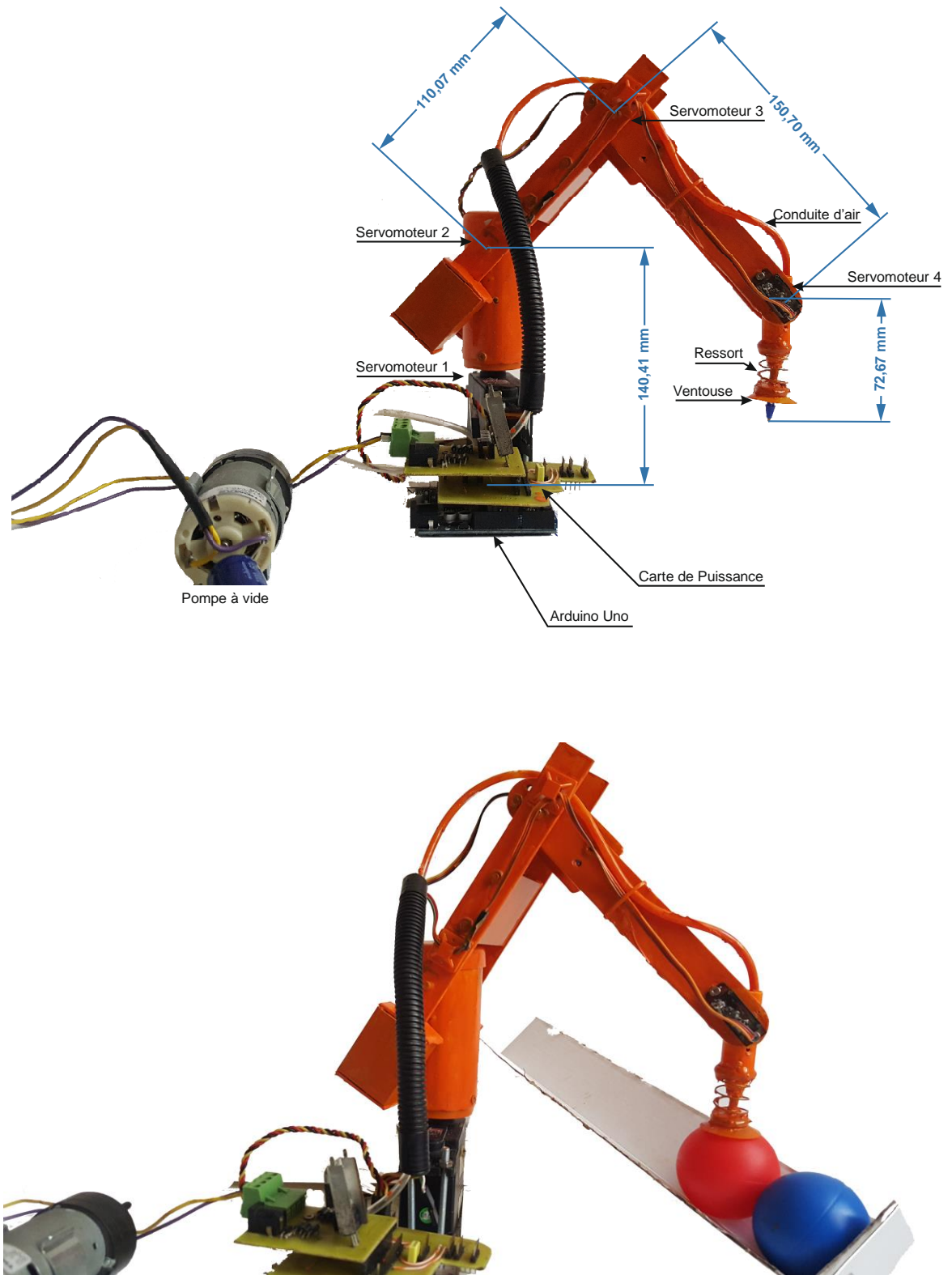


Figure 3.1 Vues de profil du bras manipulateur

Chapitre 3 Description du Bras Manipulateur et résultats obtenus

3.3 Partie électronique du bras manipulateur

3.3.1 Schéma électrique

Comme cité précédemment nous pas eu besoin de réaliser une carte de puissance spécifique à notre projet car nous avons utilisé celle déjà disponible au laboratoire de robotique et qui a été conçue pour contrôler deux moteurs à courant continu. Cette dernière dispose d'un pont en H et de toutes les connexions nécessaires lui permettant d'être branchée directement sur une carte de type Arduino UNO ou Mega. Une carte de liaison servant d'interface entre le pont en H et le module Arduino dispose de quatre connecteurs mâles spécialement dédiés au branchement des servomoteurs. Une des deux sorties du pont en H est utilisée pour alimenter la pompe à vide constituant l'organe terminal du bras. La figure 3.2 ci-dessous illustre le schéma électrique de l'ensemble.

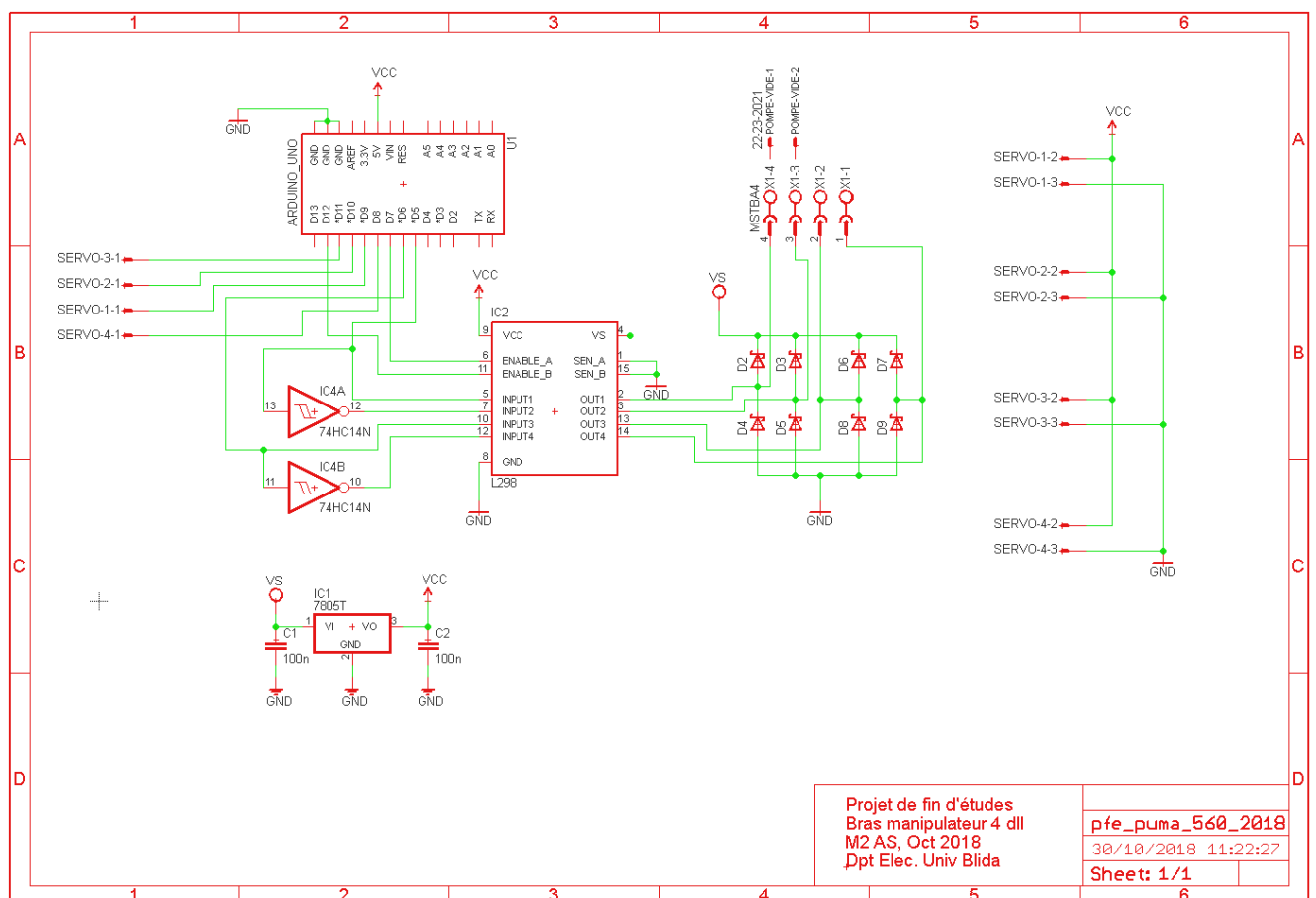


Figure 3.2 Schéma électrique de la carte de puissance

3.3.2 Servomoteurs [4]

Les quatre articulations de notre bras sont assurées par actionneurs basés sur des servomoteurs. En général le terme servomécanisme désigne un système comprenant tous les éléments nécessaires lui permettant de générer la réponse désirée à une commande externe. Un servomoteur est constitué d'un moteur à courant continu et de toute l'électronique réalisant une boucle fermée pour un control adéquat de l'angle de rotation de l'axe du moteur, la figure 3.3 schématise le principe de fonctionnement.

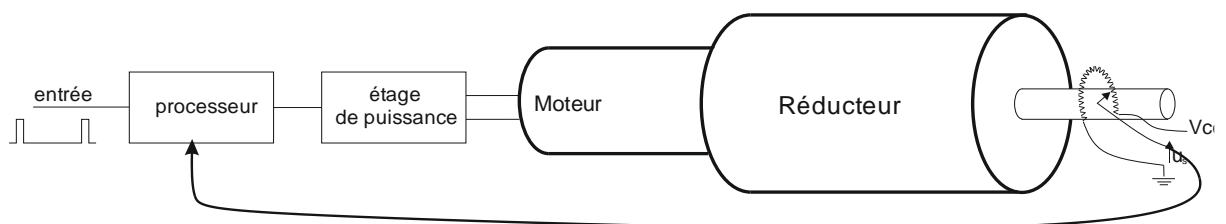


Figure 3.3 Principe d'un servomoteur

Le signal de commande est donné sous forme d'impulsions de largeur variable, correspondant à l'angle de rotation désiré. Afin de maintenir une position donnée le signal doit être périodique avec une fréquence entre 50 et 100 Hz. La valeur maximale de l'angle de rotation peut varier en fonction du modèle, mais est généralement entre +/- 90°, la figure 3.4 donne des exemples de signaux pour 3 positions de l'axe de rotation.

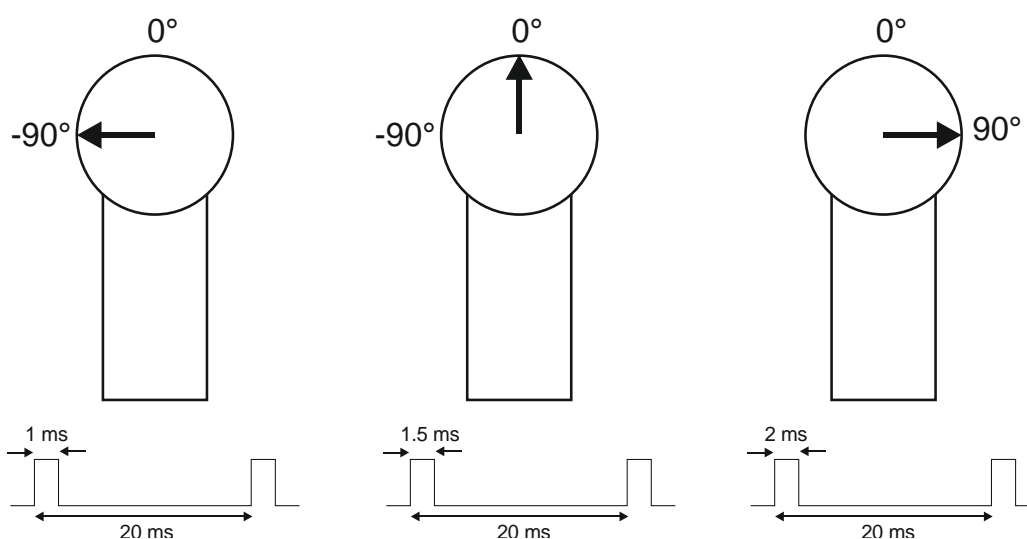


Figure 3.4 Signaux et positions d'un servomoteur



Figure 3.5 Servomoteurs utilisés dans le bras manipulateur

3.4 Partie commande du bras manipulateur

Une fois les parties mécanique et électronique réalisées il reste à faire fonctionner l'ensemble du système de manière à ce que l'organe terminal atteigne la position désirée. Dans ce projet nous avons d'abord commencé par une étude théorique approfondie de notre bras, ceci afin de pouvoir implémenter le modèle cinématique permettant de réaliser des simulations pour tester l'exactitude de ce modèle. Tel que montré dans le chapitre 2 nous avons obtenu le modèle cinématique inverse adéquat, ceci étant donné que l'organe terminal suit la trajectoire désirée d'une manière parfaite. Afin de faire effectuer les mêmes mouvements au robot réel nous avons d'abord implémenté l'algorithme réalisant la cinématique inverse sur le module Arduino, ce programme reçoit les coordonnées (x, y, z) à partir d'une commande sous l'environnement Matlab, cette commande est ensuite décodée puis utilisée comme entrée à la routine réalisant les calculs de la cinématique inverse, aboutissant aux largeurs d'impulsions attaquant chacun des quatre servomoteurs pour obtenir les angles $(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4)$ nécessaires correspondants aux coordonnées (x, y, z) désirées. La figure 3.6 illustre le principe de fonctionnement du système.

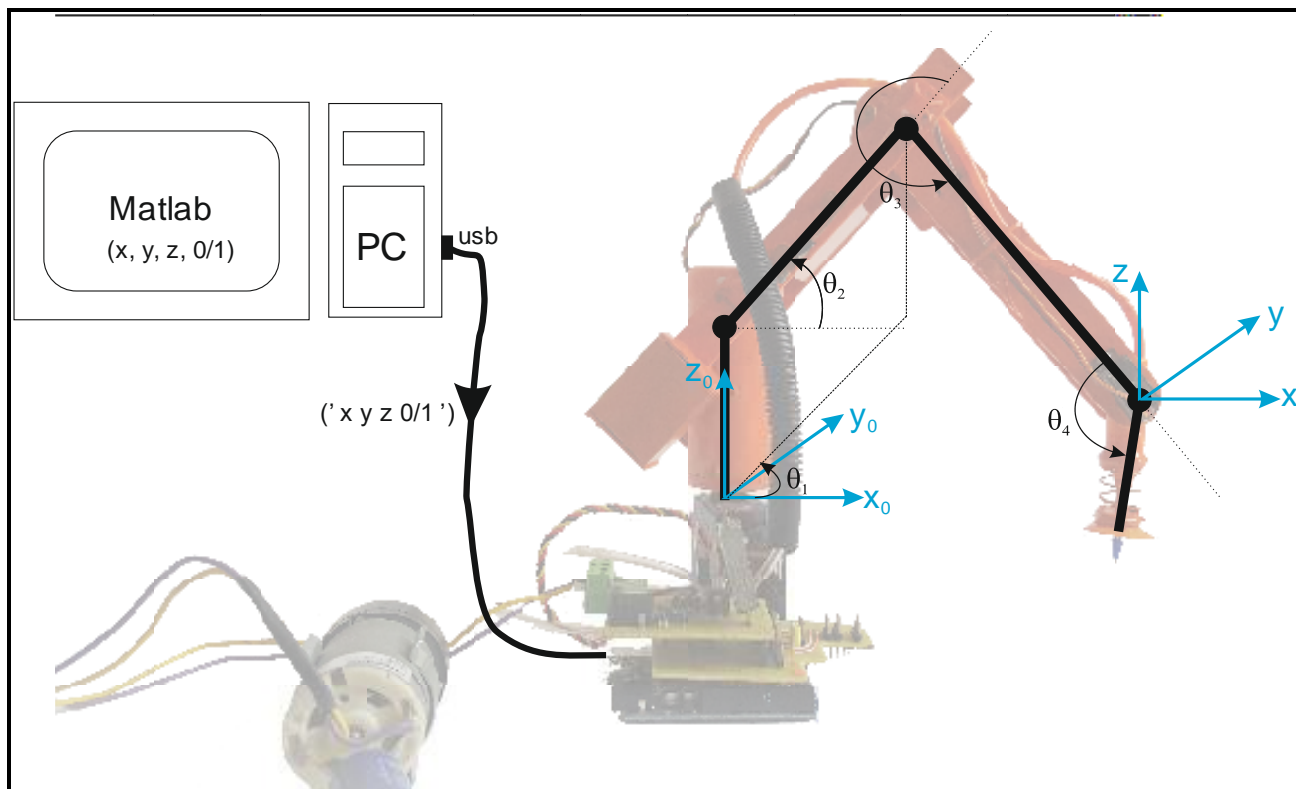


Figure 3.6 Principe de fonctionnement du bras manipulateur

Sur la figure ci-dessous nous montré un schéma synoptique expliquant globalement la liaison entre un PC et la carte Arduino contrôlant les articulations du bras. A partir de l'environnement Matlab, l'utilisateur envoie, à travers le port série, une trame de donnée contenant les coordonnées (x, y, z) désirées ainsi que l'état de la pompe d'aspiration ; le quatrième paramètre est une variable binaire permettant de mettre en marche la pompe si cette variable est à 1 et de l'éteindre si celle-ci est mise à 0.

3.5 Résultats des tests effectués

Dans ce paragraphe nous allons présenter quelques exemples de résultats obtenus illustrant le fonctionnement de notre robot.

3.5.1 Déplacement d'un objet

La figure 3.7 montre un exemple des testes effectués consistant à programmer notre bras pour qu'il puisse déplacer un objet d'un point P_1 de coordonnées (X_1, Y_1, Z_1) vers un point P_2 de coordonnées (X_2, Y_2, Z_2) . Afin d'obtenir ce résultat nous devons envoyer tous les étapes que doit effectuer le robot à partir d'un script Matlab sous le format suivant ;

>> fprintf ("Port Série", ' x y z 0/1 '). Pour le cas de la figure 3.7 nous avons choisi les points $P_1 = [13, -13, 9.5]$ et $P_2 = [13, 13, 22]$, les coordonnées étant exprimées en centimètres. Sachant que lorsque nous voulons envoyer nos données sans perdre en précision, nous avons préféré multiple les coordonnées (X, Y) par 100 et ajouter la valeur 2000 pour éviter d'envoyer des valeurs négatives sur le port série, Z est aussi multiplié par la valeur 10.

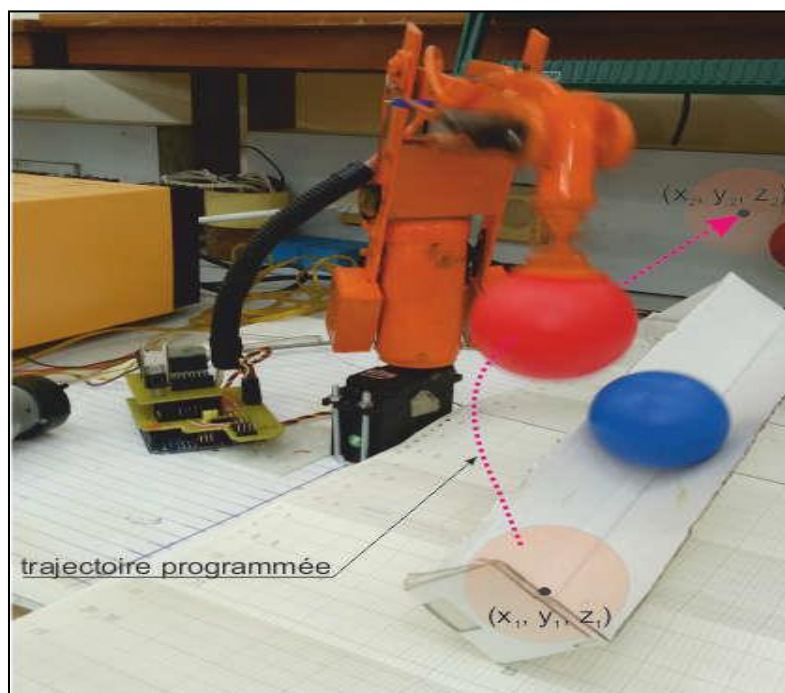


Figure 3.7 Déplacement d'une balle

Chapitre 3 Description du Bras Manipulateur et résultats obtenus

Les opérations inverses sont effectuées au niveau de la réception de ces données au niveau du Module Arduino. Ainsi pour aboutir aux mouvements décrits par la figure 3.7 nous avons

Écrit les séquences suivantes ;

```
>>fprintf ("COM4", ' 3300 700 95 1 ') % x1 = 13 cm, y1 = -13 cm pompe à vide alimentée
>>pause(1) % attendre une seconde
>>fprintf ("COM4", ' 3300 700 220 1 ') % faire monter l'organe terminal à 22 cm
>>pause(1) % attendre une seconde
>>fprintf ("COM4", ' 3300 3300 220 1 ') % aller à x2= 13 cm et y2 = 13 cm
>>pause(1) % attendre une seconde
>>fprintf ("COM4", ' 3300 3300 220 0 ') % lâcher la balle, pompe à vide éteinte
```

3.5.2 Suivi de trajectoire

A l'état actuel de notre robot le suivi de trajectoire ne peut s'effectuer correctement qu'en reliant un ensemble de points décrivant des segments de droites le long de cette trajectoire. Nous avons tenté de faire suivre notre robot une trajectoire décrite par des équations paramétriques telle cela était décrit en chapitre 2 mais les résultats n'ont pas été satisfaisants, nous avons testé de tracer une trajectoire circulaire pour suivre celle obtenue en simulation mais le résultat obtenu était une courbe fermée qui reprend l'allure générale d'un cercle avec beaucoup trop de déviations.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons résumé l'essentiel de notre travail, en décrivant les différentes parties de notre robot. Nous avons aussi présenté la manière de procéder pour exploiter notre robot à l'aide d'un simple script Matlab et un exemple d'application consistant à faire déplacer un objet d'un endroit à un autre.

Conclusion Générale

La réalisation de ce projet nous a permis de découvrir et surtout d'affronter les nombreux problèmes rencontrés lorsque nous ne disposons pas des outils nécessaires pour travailler dans le domaine de la robotique. Le premier défi était donc de construire une structure mécanique suffisamment robuste et fiable capable supporter les différentes contraintes liées aux rotations des différentes articulations de ce robot. Cette partie nous a pris beaucoup de temps mais nous a porté une grande satisfaction au vue de son comportement durant les différents tests que nous avons effectués. L'implémentation de la cinématique inverse du bras proposé a été présentée au chapitre 2, l'algorithme proposé, qui dans un premier temps a été testé sous Matlab, a été concrétisé dans le chapitre 3. La solution proposée qui consiste à utiliser l'environnement Matlab pour programmer les mouvements du robot s'est avérée très utile dans le sens où cela permet d'exploiter ce bras par un opérateur qui n'a pas nécessairement de connaissances dans le domaine de la robotique.

Comme cela est le cas dans tout travail de recherche il reste encore beaucoup d'améliorations à prévoir et notamment concernant la calibration des servomoteurs pour obtenir des mouvements comparables à ceux calculés en simulation. Pour ce qui concerne les projets qui vont être proposés à partir de notre plateforme il y aura l'inclusion d'une caméra numérique permettant de donner au robot les coordonnées cartésiennes des positions à atteindre durant les mouvements qu'il doit effectuer. L'utilisation de la vision artificielle est un aspect très important en robotique, le projet ainsi complété ouvrira un champs d'applications bien plus important. Il faut aussi noter que notre bras sera utilisé en tant que plateforme pédagogique pour apporter une précieuse valeur ajoutée aux travaux pratiques des étudiants en robotique.

Références bibliographiques

[1] Robotique. Aspects fondamentaux, J.-P. Lallemand, S. Zegloul, Masson1994, 312 pages.

[2] Jean-Louis Boimond « ROBOTIQUE », ISTIA, Université Angers.

[3] : Jacques Gangloff « Cours de Robotique »

[4] notes de cours commandes de Robots de Manipulations /master2/automatique et systèmes/année 2017/2018, université de Blida, Mr Kazed Boualem.

Les site Web

[5]http://edusol.education.fr/sti/sites/edusol.educatin.fr.sti/files/ressources/techniques/5875/5875-la-robotique-industrielle-eduscol-2015_0.pdf,2015,date de consultation, mars 2018

[6] https://www.ensta-bretagne.fr/jaulin/mastersds_cours_robot_boimond.pdf

[7]https://www.google.fr/webhp?source=search_app&gfe_rd=cr&ei=lzIQWOqWIYv_8AeH9o_IDg&gws_rd=ssl#q=%C3%A9tymologie+du+mot+robotiqu