الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

**Département du Génie Électrique
et de l'Informatique**

Mémoire de Fin d'Études

**Présenté pour l'obtention du Diplôme
de Master en Génie Électrique**

Option : Automatique des systèmes

THEME

Etude, conception et réalisation d'un robot parallèle type Delta

Proposé et dirigé par,

Dr. Mounir BOUHEDDA

Préparé et présenté par,

EULDJI Rafik

SELAMI Yassine

Mémoire préparé au sein du Laboratoire des Systèmes Electroniques Avances (LSEA) de l'Université de Médéa

Année Universitaire 2014-2015

Remerciements

Grace à Dieu le tout puissant et miséricordieux de nous doter de la santé, la volonté, la patience, durant toutes ces longues années, nous exprimons nos vifs remerciements à notre promoteur Dr. BOUHEDDA Mounir qui a guidé ce travail. Son enthousiasme, ses nombreux conseils, sa patience et son aide efficace pour la réalisation de ce mémoire.

Nos remerciements vont également aux responsables des INSFP de médéa.

Nos sincères remerciements s'adressent à tous enseignants surtout M.SKENDER Rida et au chef de département de génie électrique et informatique.

Nous tenons aussi à adresser nos remerciements aux membres de jury Pour nous avoir fait l'honneur et le plaisir d'accepter et juger notre travail.

En fin, nous remercions toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin, au bon déroulement de notre travail et de nos études.

Dédicaces

Grâce à ma foi en l'Islam, et la bénédiction de notre prophète Mohamed « صلى الله عليه وسلم», et l'amour de mon beau pays l'Algérie ma mère patrie,

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail à :

A mes très chers parents qui m'ont soutenu et encouragé durant toute la période de mes études et à qui je leur souhaite une longue et heureuse vie, que dieu les protège et me donne la force pour que je puisse leur rendre un petit peu de leur bienfait et leur bonté.

A mon très cher frère Nounou Et ma très chère sœur Soheir.

A ma très chère grande mère Fatouma.

A mes très chères tantes et leurs époux.

A mes très chers oncles et leurs épouses.

A toute la famille SELAMI.

Une spéciale dédicace à mes voisins et amis: Ayoub, Akram. Imane

A mon très cher binôme Rafik et sa famille

A mes très chers cousins et cousines

A mes très chers amis

A toute ma promotion d'Automatique des systèmes

Et enfin, à tous ceux qui m'aiment

SLD

SiNO

Dédicaces

Je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la force et le courage pour accomplir ce modeste travail.

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail à :

A mes très chers parents qui m'ont soutenu et encouragé durant toute la période de mes études et à qui je leur souhaite une longue et heureuse vie, que dieu les protège et me donne la force pour que je puisse leur rendre un petit peu de leur bienfait et leur bonté.

A mon très cher frère Et ma très chère sœur.

A Mon cher grand père et Ma chère grande mère que je leur souhaite une longue vie.

A toute la famille

Je remercie mon ami et binôme Yassine.

Et tous mes amis

A toute ma promotion d'Automatique des systèmes

Et enfin, à tous ceux qui m'aiment

RAFIK

ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة وانجاز ربوت متوازي من نوع دلتا انطلاقا من انجاز الهيكل الميكانيكي للربوت الى غاية تصنيع بطاقة التحكم، مشيرين الى ان التحكم في الروبوت سيكون عن طريق استعمال المتحكم الدقيق PIC16F877A وبتكوين واجهة رسومية باستعمال الماتلاب بحيث يتم انتقال المعلومات من الكمبيوتر عبر المنفذ التسلسلي (RS232)، وننهي عملنا بتحليل التجارب والتطبيقات التي تظهر أداء الروبوت المنجز.

الكلمات المفتاحية : الروبوت دلتا, تحكم, المتحكم الدقيق, ماتلاب, المنفذ التسلسلي.

Résumé

L'objectif de ce travail est l'étude et la réalisation d'un robot parallèle de type Delta, commençant par la réalisation de la structure mécanique du robot, ensuite la réalisation de la carte électronique, notant que la commande a été réalisée autour d'un PIC 16F877A en utilisant une interface graphique crée sous MATLAB. Sachant que le transfert des données sera réalisé à partir du PC via port série RS232. On termine notre travail par les analyses des tests ainsi que les applications réalisées montrant les performances du robot réalisé.

Mots clé: Robot Delta, Commande, PIC, MATLAB, RS232.

Abstract

The aim of this work is the study and realization of a parallel robot of Delta type, starting by the realization of the mechanic structure of the robot, next the realization of the electronic card, noting that the control is made around a PIC 16F877A using the Graphical User Interface made by MATLAB. Knowing that the data transfer will be made by PC via serial port RS232. We finish our work by the tests analysis and also the realized applications showing the performance of the made robot.

Keywords: Delta Robot, Control, PIC, MATLAB, RS232.

Sommaire

Introduction Generale 1

CHAPITRE I : Présentation des robots industriels

I.1 Introduction 4

I.2 Les Robots Industriels 4

I.2.1 Les robots manipulateurs séries 5

I.2.2 Les robots manipulateurs parallèles 6

I.2.2.1 Définition 6

I.2.2.2 Avantages 7

I.2.2.3 Inconvénients 8

I.2.2.4 Deux générations de robots parallèles 9

I.2.3 Les robots manipulateurs hybrides (parallèle-série) 10

I.3 Les actionneurs utilisés en robotique 11

I.4 Caractéristiques des robots 12

I.5 Le Robot Delta 14

I.5.1 Le Schéma cinématique 15

I.5.2 Le graphe d'agencement. 16

I.5.3 Singularités du robot Delta 17

I.5.4 Exemples de réalisations et performances 19

I.5.4.1 MicroDelta 240 19

I.5.4.2 Delta 720 à entraînement direct 19

I.5.4.3 Version industrielle du robot Delta 20

I.5.4.4 Applications 21

I.6 Conclusion 22

CHAPITRE II : Description du robot Delta réalisé

II.1 Introduction 24

II.2 Schéma synoptique de la réalisation 24

II.3 Partie mécanique 25

II.3.1 Modèle mathématique du robot 25

II.3.1.1 Longueurs paramétriques 25

II.3.1.2 Angles paramétriques 25

II.3.1.3 Les Modèles Géométriques 26

II.3.1.3.1 Modèle Géométrique Direct (MGD) 27

II.3.1.3.2 Modèle géométrique inverse 29

II.3.2 La Construction Mécanique 30

II.3.2.1 La nacelle 31

II.3.2.2 Les articulations 32

II.3.2.3 Les bras LB 32

II.3.2.4 Les bras LA 33

II.3.2.5 Les actionneurs utilisée 33

II.3.2.6 La base du robot delta 34

II.3.2.7 Fixation de la base dans un support 35

II.4 La partie électrique 36

II.4.1 La Partie Actionneur (Servomoteur) 37

II.4.1.1 Principe 37

II.4.1.2 Commande du servomoteur 38

II.4.2 La Partie Electronique 39

II.4.2.1 Le circuit d'alimentation 39

II.4.2.2 Le Circuit de Commande 40
II.4.2.2.1 Le microcontrôleur PIC 40
II.4.2.2.2 Les caractéristiques du PIC 16F877A 41
II.4.2.2.3 Configuration des broches 42
II.4.2.2.4 Programmation du pic 46
II.5 Conclusion 46

CHAPITRE III : Softwares de commande du robot Delta

III.1 Introduction 48
III.2 Chaine d'acquisition 48
III.3 Etape de commande 49
III.3.1 Le système de communication 49
III.3.1.1 Mode câbler par pc 49
III.3.1.2 Création de l'interface 50
III.3.1.3 Organigramme 53
III.3.1.4 Programmation 54
III.3.2 Mode sans fils par téléphone 54
III.3.3 Le transfert des données 55
III.3.3.1 La liaison RS232 55
III.3.3.2 Paramètres de la liaison RS232 55
III.3.4 Le système de commande 57
III.3.4.1 Programmation du PIC 57
III.4 Simulation du programme 61
III.5 Exécution du programme 61
III.6 Test de l'interface sur Proteus 62

III.7 Conclusion 63

CHAPITRE IV : Tests sur le robot réalisé

IV.1 Introduction.....65
IV.2 Performances du robot delta 65
IV.2.1 Volume de travail 66
IV.2.1.1 Hauteur minimale et maximale du robot 67
IV.2.1.2 Le déplacement maximal selon X et Y 68
IV.2.2 La vitesse du robot delta.....69
IV.2.3 La précision 70
IV.2.4 La charge maximale.....70
IV.3 Applications pratiques du robot.....72
IV.3.1 Pick and place.....72
IV.3.2 Synchronisation du Robot delta avec le mini usine.....73
IV.3.3 Le Robot Delta sur la réalisation des formes 2D.....74
IV.4 Conclusion 74
Conclusion Generale..... 76
Bibliographie..... 78
Annexe 80

Liste des figures

CHAPITRE I : Présentation des robots industriels

FIGURE I.1 : STRUCTURE GENERALE D'UN ROBOT INDUSTRIEL 4

FIGURE I.2 : ROBOT INDUSTRIEL IRB 2600 5

FIGURE I.3 : LE ROBOT HEXAPOD-SYSTEM, PHOTO ET GRAPHE D'AGENCEMENT 7

FIGUREI.4:LE ROBOT FLEXPICKER (ABB), PHOTO ET GRAPHE D'AGENCEMENT 10

FIGURE I.5 : ROBOT MANIPULATEUR HYBRIDE XT700S 10

FIGURE I.6 : ACTIONNEUR LINEAIRE PNEUMATIQUE 11

FIGURE I.7 : ACTIONNEUR LINEAIRE HYDRAULIQUE 11

FIGURE I.8 : ACTIONNEUR LINEAIRE ELECTRIQUE 12

FIGURE I.9 : ACTIONNEUR MECANIQUE 12

FIGURE I.10: PRECISION ABSOLUE, RESOLUTION ET REPETABILITE 13

FIGURE I.11 LE ROBOT DELTA 15

FIGURE I.12 : SCHEMA CINEMATIQUE DU ROBOT DELTA. 15

FIGURE I.13 : ROBOT DELTA, IMAGE ET GRAPHE D'AGENCEMENT 17

FIGURE I.14 : REPRESENTATION DES 4 TYPES DE SINGULARITES DU ROBOT DELTA 18

FIGURE I.15 : MICRODELTA 240 19

FIGURE I.16 : ROBOT DELTA 720 20

FIGURE I.17 : ROBOT DELTA VERSION INDUSTRIELLE 20

FIGURE I.18 : DETAIL D'UNE INSTALLATION DE CONDITIONNEMENT DE PRALINES 21

FIGURE I.19 : INSTALLATION DE CONDITIONNEMENT DE BRETZELS DANS LA BOULANGERIE INDUSTRIELLE 21

FIGURE I.20 : ROBOT DELTA AU-DESSUS D'UNE TABLE D'OPERATION 22

CHAPITRE II : Description du robot Delta réalisé

FIGURE II.1 : LE SCHEMA SYNOPTIQUE DE LA REALISATION 24

FIGURE II.2 : LONGUEURS PARAMETRIQUES ET ANGLES CARACTERISTIQUES DU ROBOT 26

FIGURE II.3 : LE MODELE GEOMETRIQUE DE ROBOT 26

FIGURE II.4 : SIMPLIFICATION DE LA GEOMETRIQUE D'ETUDE. 27

FIGURE II.5 : SCHEMA ET PHOTO REELLE DES CONSTITUANTS DU ROBOT DELTA REALISE ..30

FIGURE II.6 : PHOTO REELLE DE LA NACELLE 31

FIGURE II.7 : PHOTO REELLE D'UNE ROTULE AVEC SES DIMENSIONS 32

FIGURE II.8 : PHOTO REELLE DU BRAS L2 AVEC SES DIMENSIONS 32
FIGURE II.9 : PHOTO REELLE DU BRAS L1 AVEC SES DIMENSIONS 33
FIGURE II.10 : LE SERVOMOTEUR HS-5765 MH AVEC SES ACCESSOIRES 33
FIGURE II.11 : CALCULE DU COUPLE DU HS-5765 MH 34
FIGURE II.12 : PHOTO REELLE POUR LE CALCUL DE RA 34
FIGURE II.13 : PHOTO REELLE DE POSITIONNEMENT ET PLACEMENT DES SERVOMOTEURS SUR LA BASE 35
FIGURE II.14 : PHOTO REELLE DE LA FIXATION DES SERVOMOTEURS SUR LA BASE 35
FIGURE II.15 : PHOTO REELLE DU SUPPORT REALISE 36
FIGURE II.16 : LE SCHEMA SYNOPTIQUE DE LA PARTIE ELECTRIQUE 36
FIGURE II.17 : LE CONSTITUANT D'UN SERVOMOTEUR 37
FIGURE II.18 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE SERVOMOTEUR 38
FIGURE II.19 : PWM CHRONOGRAMME DE SERVOMOTEUR 39
FIGURE II.20 : DEMARRAGE DE L'ALIMENTATION ATX-350W 39
FIGURE II.21 : LE CIRCUIT DE COMMANDE 40
FIGURE II.22 : PHOTO REELLE DE PIC 16F877A UTILISE 40
FIGURE II.23 : BROCHAGE DE PIC 16F877A 41
FIGURE II.24 : BROCHAGE DE QUARTZ AVEC LE PIC 42
FIGURE II.25 : BROCHAGE DE BOUTON MCLR AVEC LE PIC 42
FIGURE II.26 : BROCHAGE DES SERVOMOTEURS 43
FIGURE II.27 : MODULE PL2303 DE LA COMMUNICATION SERIE 44
FIGURE II.28 : BROCHAGE DE PL2303 AVEC LE PIC 44
FIGURE II.29 : MODULE DE BLUETOOTH HC-05 45
FIGURE II.30 : BROCHAGE DE BLUETOOTH HC-05 45
FIGURE II.31 : PHOTO REELLE DE PROGRAMMATEUR DE PIC 46

CHAPITRE III : Softwares de commande du robot Delta

FIGURE III.1 : SCHEMA SYNOPTIQUE DE LA CHAINE D'ACQUISITION 48
FIGURE III.2 : L'OUVERTURE DE GUIDE 50
FIGURE III.3 : LE CHOIX DE LA PAGE VIERGE DU GUIDE 50
FIGURE III.4 : L'EMPLACEMENT DES COMPOSANTS DANS LA PAGE VIERGE 51
FIGURE III.5 : NOMINATION DES COMPOSANTES 51

FIGURE III.6 : LA FORME FINALE DE GUI.....52
FIGURE III.7 : ORGANIGRAMME DE COMMANDE 53
FIGURE III.8 : L'INTERFACE ANDROIDE BLUETERM 54
FIGURE III.9 : LA LIAISON RS232.....55
FIGURE III.10 : TRAME DE COMMUNICATION SERIE. 56
FIGURE III.11 : SCHEMA EXPLICATIF DE TMR0.....58
FIGURE III.12 : LA ROTATION DE L'ARBRE DE SERVOMOTEUR SELON LES IMPULSIONS 59
FIGURE III.13 : IMPULSION EN FONCTION DES ANGLES DU HS5765 MH 59
FIGURE III.14 : ORGANIGRAMME DE PROGRAMME DE PIC 60
FIGURE III.15 : SCHEMA DE LA SIMULATION DANS PROTEUS 61
FIGURE III.16 : LES MOTEURS ONT LES MEMES POSITIONS QUE LE VITRUAL TERMINAL.....62
FIGURE III.17 : TESTE DE GUI DE MATLAB AVEC LES SERVOMOTEURS SUR PROTEUS 62

CHAPITRE IV : Tests sur le robot réalisé

FIGURE IV.1 : PHOTO REELLE DU ROBOT DELTA 65
FIGURE IV.2 : LES ANGLES CARACTERISTIQUES DE VOLUME DE TRAVAIL.....66
FIGURE IV.3 : PHOTO REELLE DE H_{MIN} 67
FIGURE IV.4 : PHOTO REELLE DE H_{MAX}.....67
FIGURE IV.5 : PHOTO REELLE DE DEPLACEMENT SUR LE PLAN X, Y. 68
FIGURE IV.6 : DETERMINATION DE LA VITESSE DU ROBOT 69
FIGURE IV.7 : CALCULE DE LA CHARGE MAXIMALE DU SERVO 70
FIGURE IV.8 : MESURE DU POIDS DE TEST 71
FIGURE IV.9 : LE POIDS ACCROCHE A LA NACELLE DU ROBOT.....71
FIGURE IV.10 : APPLICATION DE PICK AND PLACE 72
FIGURE IV.11 : LE ROBOT DELTA RELIE AVEC LE MINI USINE POUR UNE TACHE DE SYNCHRONISATION 73
FIGURE IV.12 : DESSIN DE TREFLE ET L'ETOILE 74

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Représentation normalisée de quelques liaisons.....16
Tableau I.2 : Conventions des graphes d'agencement 16
Tableau II.1 : Les composants mécaniques du robot Delta.....31

Introduction Générale

Introduction Générale

Depuis le milieu des années 70, la robotique est devenue une science extrêmement populaire dans les milieux universitaire. Alliant un grand intérêt pédagogique et industriel, Cette nouvelle science demande beaucoup de créativité et des connaissances pluridisciplinaires (Mécanique, Electronique numérique et analogique, électrotechnique, Programmation, Intelligence artificielle, Temps réel, Automatique…..).C'est pour cette raison on a choisie d'entrer dans ce domaine.

Les travaux de recherche en robotique ont généralement pour objectif la réalisation d'une tâche de la manière la plus précise possible à l'aide d'une structure mécanique. Ainsi, certains travaux s'attachent à définir des structures mécaniques innovantes adaptées à une tâche fixée. La tâche à réaliser est alors définie en fonction de critères. Ainsi, dans le cas de tâches nécessitant une grande dextérité et un espace de travail important, un robot à structure sérielle est souvent utilisé. A l'opposé, si la recherche de vitesse et de répétabilité sont attendues, une machine à structure parallèle est la solution la plus pertinente.

Pour répondre à cette demande, il est nécessaire de connaître avec exactitude le modèle géométrique des structures mécaniques sérielles ou parallèles employées. Quels que soient les modèles employés pour représenter la géométrie des robots, leur précision dépend de l'exactitude des paramètres implantés dans les calculateurs.

Du coté réalisation, il est nécessaire de construire un robot avec des moyen de fabrication qui sont très précis pour garantir une erreur minimal de production.

L'objectif de ce travail est l'étude et la réalisation du robot parallèle delta.

Ce projet est conçu essentiellement d'une partie mécanique qui consiste à la réalisation de la structure mécanique du robot (les pièces constituant le robot delta et le raccordement des pièces entre eux), et une partie électrique qui consiste à Contrôler les actionneurs de type servomoteur autour d'un microcontrôleur (PIC 16F877A).

Après la réalisation de la carte de commande et la programmation du microcontrôleur(en utilisant le compilateur MikroC pro pour pic). Enfin on a crée une interface graphique sur le micro-ordinateur en utilisant MATLAB. Notons que la

commande sera actionnée par PC ou bien par téléphone portable ce qui nous donne la possibilité de modifier et développer l'interface suivant la méthode de la commande que l'on veut utiliser.

Ce robot réalisé a été soumis à des différents tests pour des applications spécifiées

Ce travail est divisé en quatre chapitres : Dans le premier chapitre, nous commençant par une généralité sur les robots (les différents types des robots existants dans l'industrie).

Le deuxième chapitre est consacré à la description de la réalisation du robot delta (mécanique, électrique) Dans le troisième chapitre, nous présentons la réalisation software de la commande du robot. Enfin le contenu du quatrième chapitre présente les performances et tests obtenus avec les applications qu'on a réalisées, Nous terminons ce mémoire par une conclusion et quelques perspectives.

Chapitre I

PRÉSENTATION DES ROBOTS INDUSTRIELS

I.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre on va définir premièrement les différents types des robots industriels, à savoir les robots sériels, les robots parallèles et les robots hybrides, avec mention des avantages et inconvénients des robots sériels et parallèles, puis on s'intéressera particulièrement aux robots parallèles où on va présenter ses variétés. On terminera par une présentation du robot Delta avec ses applications dont quelques versions seront présentées.

I.2 Les Robots Industriels

Un robot manipulateur, quelle que soit la fonction qui lui est attribuée (transfert d'objet, soudage, assemblage), est un mécanisme capable de déplacer et de situer un objet appelé « organe terminal » ou « point outil » dans une partie de l'espace appelée « volume de travail ». Afin de différencier les robots que nous allons étudier des manipulateurs simples dont les mouvements sont déterminés par des butées rigides, nous parlerons de « robot industriel » dont la définition générale est donnée par la Figure **I.1 [1]**.

Le robot industriel se compose d'une structure mécanique animée par des actionneurs, à partir d'ordres élaborés par un calculateur. Ces ordres dépendent des informations délivrées par les capteurs. L'utilisation des capteurs externes, capteurs « extéroceptifs », pour évaluer et mesurer l'interaction du robot avec l'environnement directement depuis son organe terminal devient une pratique de plus en plus courante dans les applications robotiques de haute précision.

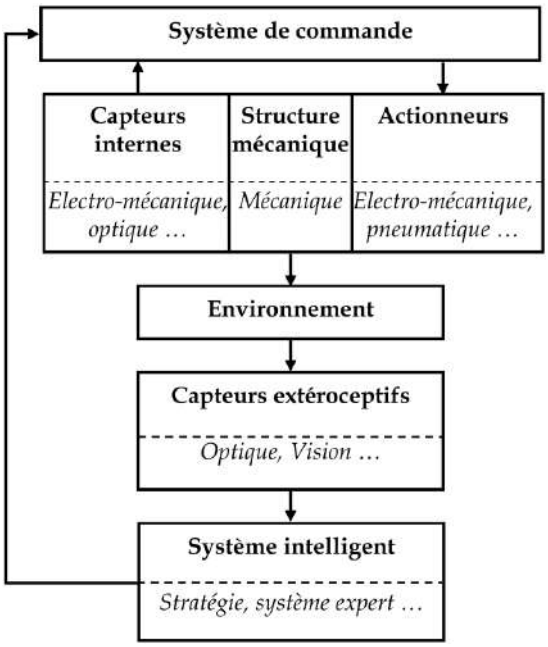


Figure I.1 : Structure générale d'un robot industriel [1]

Nous pouvons déjà distinguer d'après la figure **I.1,** les deux types des coordonnées que l'on rencontre au niveau d'un robot. Il s'agit des coordonnées articulaires ou coordonnées généralisées qui décrivent la configuration du robot (position des articulations motrices) et des coordonnées opérationnelles ou coordonnées de la tâche, qui définissent la position et l'orientation de l'effecteur dans le repère de la tâche propre à l'homme. Les modèles géométriques direct et inverse permettent de passer d'un système de coordonnées à l'autre.

L'architecture mécanique est la structure qui relie la base du robot à son effecteur. Elle est constituée de segments connectés entre eux par des articulations passives ou actives, selon qu'elles sont motorisées ou non **[1]**.

I.2.1 Les robots manipulateurs sériels

Définition : La plupart des robots industriels construits à ce jour sont de type sériel, c'est-à-dire que leur structure mobile est une chaîne ouverte formée d'une succession de segments reliés entre eux par des liaisons à un degré de liberté. Chaque articulation est commandée par un actionneur situé à l'endroit de l'articulation ou sur un des segments précédents (Figure **I.2**).

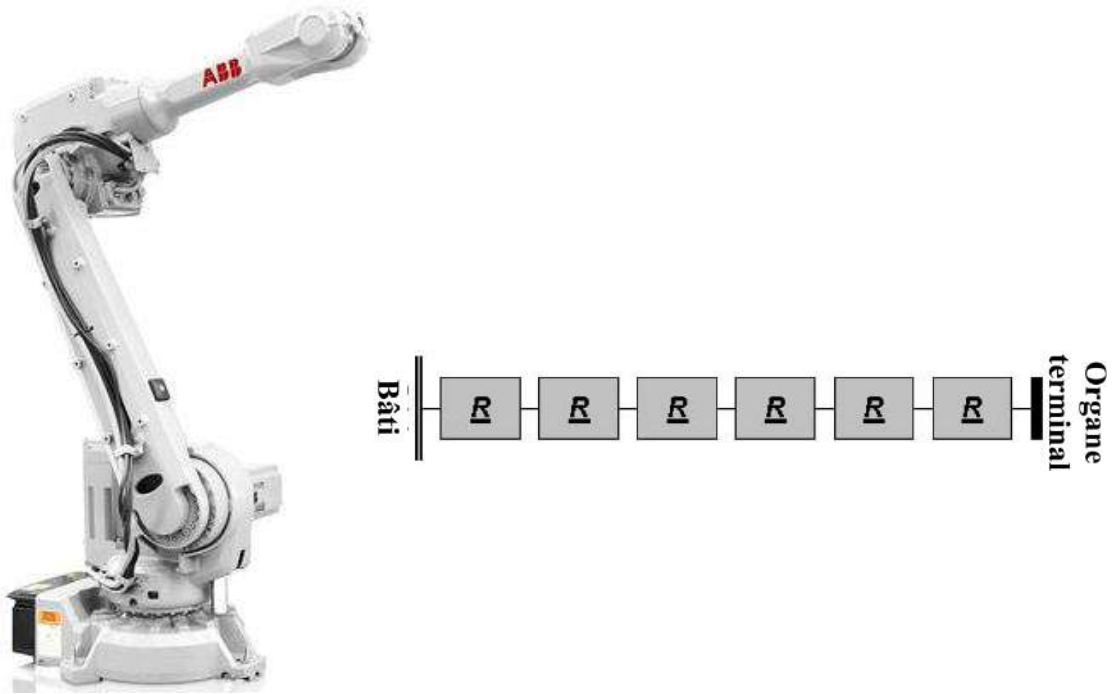


Figure I.2 : robot industriel IRB 2600 [8]

Les robots sériels possèdent l'avantage de disposer d'un grand volume de travail et d'être relativement simples sur le plan des calculs liés à leur commande **[1]**. Leurs principaux inconvénients sont les suivants :

- Inertie élevée à cause de la répartition des masses sur toute la chaîne cinématique (actionneurs, organes de transmission).
- Manque de rigidité par la mise en série d'éléments élastiques, fatigue et usure des liaisons de puissance assurant l'alimentation des actionneurs (câbles, tuyaux flexibles)
- Fatigue et usure des liaisons assurant la circulation des informations entre les capteurs et la commande, ce point est très important lorsqu'il s'agit de sûreté de fonctionnement, puisqu'une erreur de transmission peut avoir des conséquences néfastes sur les mouvements du robot.

I.2.2 Les robots manipulateurs parallèles

Pour certaines applications industrielles tel que l'usinage à grande vitesse (UGV) ou la manutention rapide, les manipulateurs à cinématique sérielle ne semblent plus être les mieux adaptés. En effet, ce type d'architecture implique que chaque axe motorisé supporte le suivant. Les masses en mouvement sont donc élevées, ce qui pénalise les performances dynamiques **[1]**.

C'est pourquoi, les manipulateurs à cinématique parallèle sont aujourd'hui de plus en plus utilisés. Leurs performances dynamiques élevées ainsi que leurs capacités de charge importantes sont avantageusement mises à profit dans le monde industriel, ce qui fait des robots parallèles des robots industriels par excellence.

I.2.2.1 Définition

Un manipulateur parallèle est un mécanisme en chaîne cinématique fermée, dont l'organe terminal est relié à la base par plusieurs chaînes cinématiques indépendantes, En 1947, une nouvelle structure portant le nom de plate-forme de Gough est inventée.

Cette structure révolutionnaire, utilisée pour tester les pneumatiques, appartient à la famille des hexapodes. Elle est aujourd'hui connue sous le nom de plate-forme de Stewart. Par exemple la figure **(I.3).**

Les hexapodes sont aussi utilisés afin de positionner et orienter précisément des objets de masse importante. Dans ce type d'applications, la dynamique de la structure n'est pas un critère de première importance, ce qui importe, c'est de donner une position précise à un

objet pouvant être massique. Dans l'exemple de la Figure **I.3**, l'hexapode présenté permet de positionner une charge de 200 *kg*.

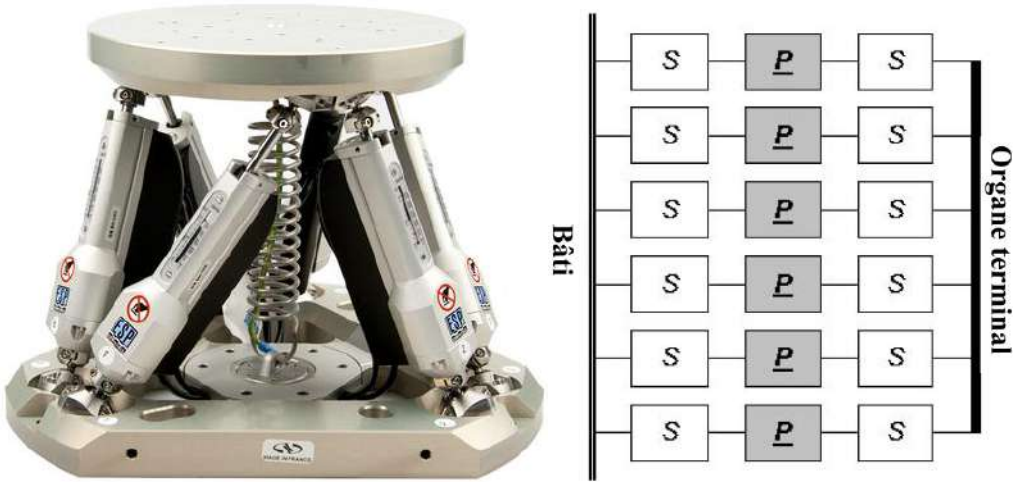


Figure I.3 : Le robot Hexapod-System, photo et graphe d'agencement [9]

Les robots parallèles seront présentés comme étant une solution aux limitations des robots sériels.

Dans ce but, nous allons préciser les avantages des robots parallèles mais aussi présenter leurs limites et inconvénients **[1]**.

I.2.2.2 Avantages

La mise en parallèle de plusieurs chaînes cinématiques entraînées chacune par un actionneur conduit généralement aux avantages suivants **:**

- Capacité de charge élevée.
- Possibilité de mouvements à haute dynamique (accélérations élevées).
- Rigidité mécanique élevée.
- Faibles masses mobiles.
- Fréquence propre élevée, donc peu d'erreur de répétabilité due à une oscillation incontrôlée de la structure mobile.
- Possibilité de positionner les actionneurs directement sur la base fixe ou très proche de celle-ci; cette particularité a les conséquences positives suivantes :
  - grand choix de moteurs et de réducteurs par le fait que leur masse joue peu de rôle dans l'inertie du manipulateur.

- simplification importante des problèmes de liaisons entre les moteurs, les capteurs et le contrôleur (câblage plus simple et plus fiable).
- facilité de refroidissement des actionneurs, donc diminution des problèmes de précision due aux dilatations et puissance potentielle élevée.
- facilité d'isoler les moteurs de l'espace de travail pour des activités en atmosphère propre ou avec risque de déflagration ou encore pour les applications nécessitant des lavages à grande eau.

- Facilité d'intégration de capteurs.
- Construction mécanique modulaire, simplicité de fabrication et possibilité de série par la présence de plusieurs composants identiques sur un robot.
- Effet limité des tolérances de fabrication sur la précision.

Cette liste d'avantages n'est pas forcément respectée par tous les prototypes de robots parallèles. En particulier, les premières machines-outils connaissaient des problèmes de précision et de rigidité.

I.2.2.3 Inconvénients

Par rapport aux robots sériels, les inconvénients des robots parallèles peuvent être résumés de la façon suivante :

- Volume de travail limité en regard du volume total du mécanisme. Pour pallier à ce problème, une solution consiste à utiliser des actionneurs linéaires orientés selon une même direction. Si l'on augmente la course des moteurs, le volume de travail s'allonge en conséquence. Le rapport volume de travail sur volume total de la machine augmente alors. Une autre approche consiste à utiliser des actionneurs rotatifs. En les agençant de manière à ce qu'ils balayent la plus grande plage commune de l'espace, on obtient un volume de travail important.

- Modèles géométriques directs (MGD) parfois difficiles à déterminer. La méthode de résolution itérative de Newton et l'approche par intervalles (qui garantit l'existence de solutions) constituent des éléments de réponse à cette difficulté.

- Forts couplages entre le mouvement des différentes chaînes cinématiques. En conséquence, une trajectoire simple demande souvent une action parfaitement

coordonnée de l'ensemble des moteurs. Si au temps de Pollard**,** les moyens électroniques et informatiques ne permettaient pas de commander ce type de robot, de nos jours l'asservissement des robots parallèles est réalisé sans problème majeur du point de vue temps de calcul. Il faut noter que certains problèmes demeurent malgré tout, la génération de trajectoire pour les machines-outils d'architecture parallèle en est un.

- Couplage fortement variable entre les différentes chaînes cinématiques ; cette particularité complique souvent le réglage ; le surdimensionnement des actionneurs est une solution pour contourner cette difficulté.

- Présence de singularités qui conduisent à une perte de contrôle de la structure mobile, voire à une détérioration de la mécanique. C'est le point le plus critique lors de la conception d'une machine à architecture parallèle. Ce manuscrit propose des pistes pour limiter les problèmes de singularités.

I.2.2.4 Deux générations de robots parallèles

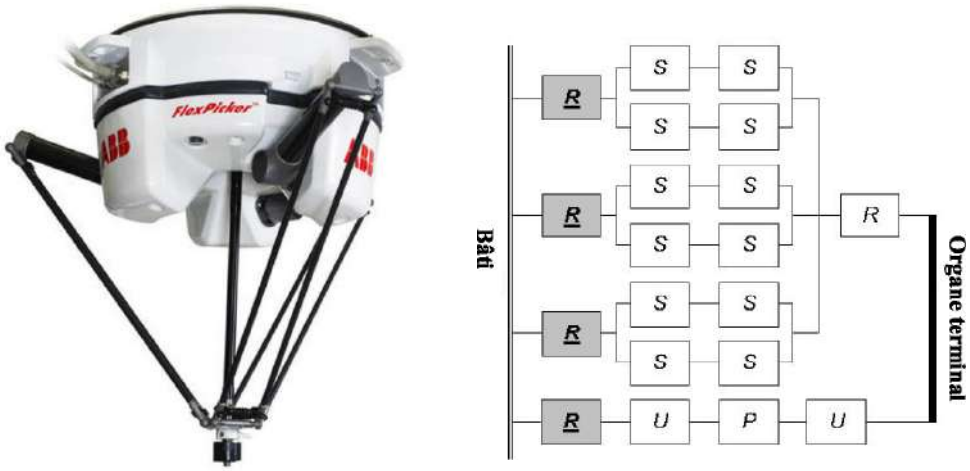
Il existe de nombreux historiques concernant les robots parallèles tels ceux de Bonev ou Merlet qui précisent leurs véritables origines **[1]**.

Nous souhaitons seulement insister sur l'existence de deux générations essentielles de robots parallèles :

- La première génération incarnée par les plates-formes de Gough et Stewart. On parle aujourd'hui de robots hexapodes **:** 6 vérins relient le bâti à une plate-forme mobile (Figure **I.3),** rendant possible l'exécution de mouvements complexes par la mise en parallèle des chaînes cinématiques.

- La deuxième génération incarnée par la structure Delta de Clavel **:** les robots de cette famille sont capables de performances exceptionnelles (vitesses jusqu'à 10 m/s et accélération jusqu'à 20 G). On parle dès lors de robots parallèles légers avec pour principales caractéristiques :

  - des actionneurs fixes sur le bâti.
  - des composants mobiles légers (Figure **I.4).**



FigureI.4:Le robot FlexPicker (ABB), photo et graphe d'agencement [7][10]

I.2.3 Les robots manipulateurs hybrides (parallèle-série)

Les manipulateurs hybrides (figure **I.5**) sont des robots parallèle-série connexion qui donnent lieu à une multitude des robots manipulateurs très éloquents. Ces manipulateurs sont modulaires et peuvent être étendues par des modules supplémentaires sur des grandes distances. Chaque module dispose d'un espace de travail hémisphérique et modules collectifs donnent lieu à un espace de travail symétrique. Ces robots manipulateurs sont montrés pour avoir un rapport de poids-force plusieurs fois supérieure à la valeur actuellement disponible avec manipulateurs industriels ou de recherche, Cela est dû au fait que ces manipulateurs sont hybrides contrainte compensée et ont un poids ultraléger, mais sont extrêmement rigide en raison du fait que la répartition de la force dans leur structure est essentiellement axiale. Les moyens d'actionnement dans ces manipulateurs sont entièrement prismatiques et peuvent être fournis par vis à billes avec écrous anti Back-Lash (contrecoup) ou des moteurs à induction linéaire pour un maximum de précision [12].



Figure I.5 : robot manipulateur hybride XT700S [12]

I.3 Les actionneurs utilisés en robotique

Un actionneur est un organe qui transforme l'énergie qui lui est fournie en un phénomène physique utilisable, le phénomène physique fournit un travail qui modifie le comportement ou l'état de la machine qui est connu aussi dans l'automatisme la partie opérative. On peut distinguer 4 types d'actionneurs dans la robotique :

Pneumatique : qui fournit une énergie emmagasinée dans un gaz sous forme mécanique du fait qu'il est comprimé, le gaz comprimé est utilisé comme moyen de transport et de stockage d'énergie (Figure **I.6**).



Figure I.6 : actionneur linéaire Pneumatique [13]

Hydraulique : qui fournit une énergie par le mouvement de l'eau, est une énergie cinétique liée au déplacement de l'eau sous déplacement peut être sous forme d'un chute d'eau, cours d'eau, courant marin, marée, vague (Figure **I.7**).

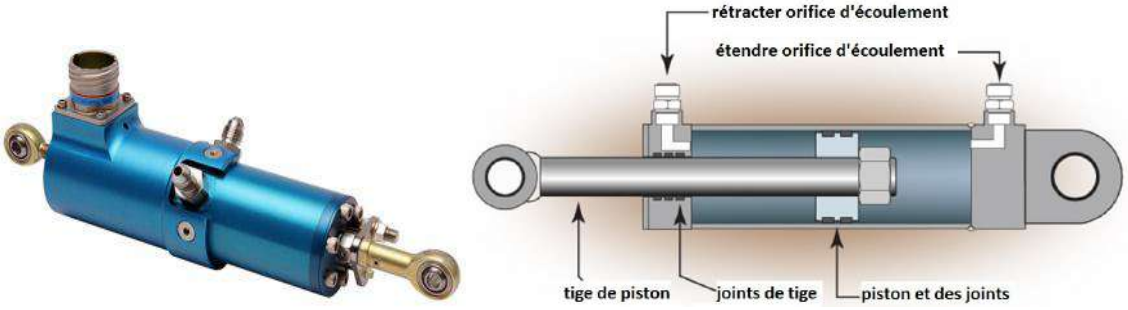


Figure I.7 : actionneur linéaire Hydraulique [14]

Electrique : il est désigné à toute l'énergie transférée ou stockée grâce à l'électricité. Cette énergie est transférée d'un système à un autre par un mouvement de charges (Figure **I.8).**



Figure I.8 : actionneur linéaire Electrique [14]

Mécanique : qui fournit une énergie cinétique ou potentielle mécanique, c'est une quantité conservée lorsqu'aucune force extérieure ou force non conservative (le frottement ou encore un choc) n'intervient dans le système et s'avère, pour cela, pratique à utiliser (Figure **I.9).**

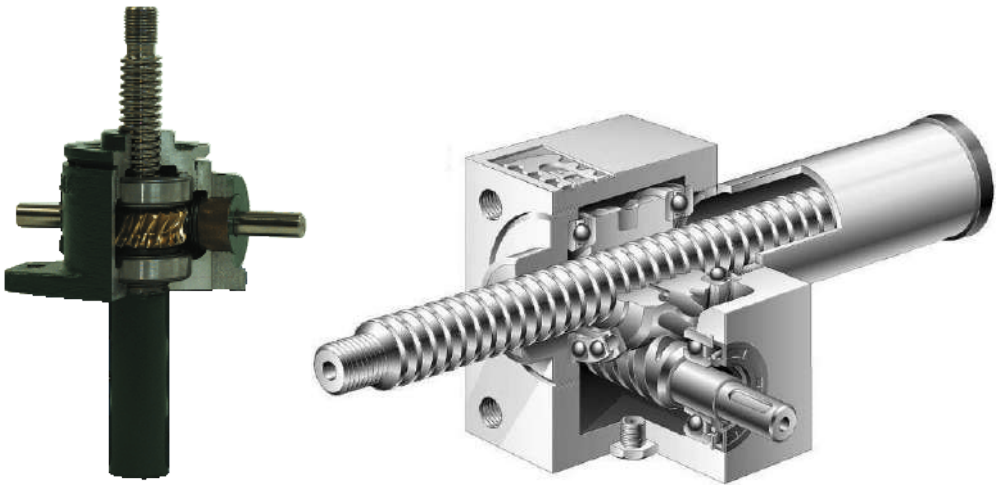


Figure I.9 : actionneur Mécanique [13]

I.4 Caractéristiques des robots

La précision d'un robot est définie par la déviation entre une position commandée et la position atteinte de l'effecteur (position et orientation). Cette déviation est définie dans un repère de référence et est quantifiée par la précision absolue et la répétabilité **[1].**

La répétabilité nommée également précision relative, est la capacité d'un robot à retourner à une position précédente. Elle est définie par la dispersion sur la position de

l'organe terminal visée « n » fois. Elle est influencée essentiellement par les jeux et le frottement entre les différents composants mécaniques du robot, le bruit électrique, la résolution des encodeurs, et d'autres erreurs de type stochastique **[1]**.

La précision absolue correspond à la tolérance à l'intérieur de laquelle l'effecteur peut être placé par rapport à la position désirée. Elle est principalement limitée par des facteurs tels que les perturbations de l'environnement de travail, la différence entre la structure réelle et le modèle géométrique utilisé par le contrôleur, l'effet des forces de frottement, les jeux dans les articulations, les déflexions des articulations et des segments de la structure, la boucle de réglage et l'incertitude entre le repère de référence et celui de l'effecteur **[1]**.

La résolution d'un robot représente le plus petit incrément de déplacement qui peut être exécuté. Elle est déterminée par le type d'actionneur et les capteurs de position. Cependant, la résolution effective par rapport à l'organe terminal peut être influencée par l'environnement de travail, le frottement, les jeux et l'élasticité dans la structure du robot **[1]**.

La figure **I .10** montre la relation entre la position commandée, la position atteinte, la précision, la répétabilité et la résolution. Nous venons de voir que les sources d'imprécision relatives ou absolues d'un robot sont nombreuses, par soucis de clarté pour la suite, nous les répartissons ci-dessous en 4 types**.**

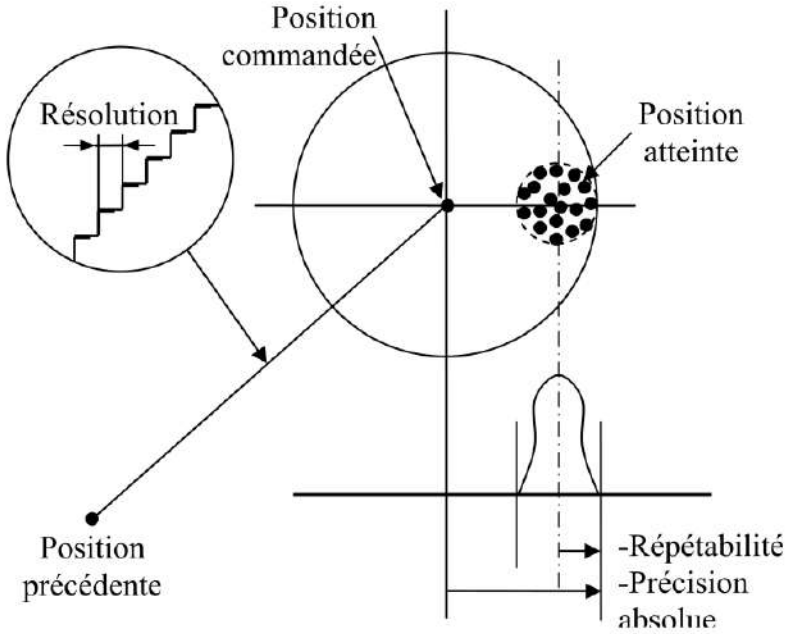


Figure I.10: Précision absolue, résolution et répétabilité [1][7]

- Type 1 : erreurs de nature géométrique qui proviennent de la structure mécanique du robot, telles que les segments et les articulations : tolérances d'usinage, assemblage, référence.
- Type 2 : erreurs issues de non-linéarités, telles que les jeux, le frottement, l'hystérie et les erreurs dues aux déflexions élastiques dans la structure. Ces déflexions sont causées par l'élasticité des segments et la compliance des articulations sous l'effet du poids du robot, des efforts extérieurs ou des forces d'inertie.
- Type 3 : erreurs dans la commande du robot issues de la résolution limitée des encodeurs, de la capacité limitée des calculateurs, du calcul de la cinématique inverse et du suivi de trajectoire (erreurs dynamiques).
- Type 4 : erreurs générées par l'environnement telles que les variations de température, l'humidité, les vibrations, les bruits électriques et erreurs de type stochastique.

I.5 Le Robot Delta

Le robot Delta est né d'un besoin industriel. Les performances visées (cadence de travail élevée, grande précision, puissance consommée faible) excluaient l'utilisation de robots du marché. Il a été développé début des années 80 à l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) par Clavel **[1]**.

Le développement du robot Delta répond à la nécessité de disposer d'un robot apte à transférer des pièces de faible masse (5 à 20 g) à cadence élevée (> 150 pièces par minute) ; pour la plupart des applications de conditionnement envisagées, les translations selon *x, y, z* et une rotation d'axe *z* étaient suffisantes **[4]**.

Le robot Delta (Figure **I.11)** qui a une structure pleinement légère, est constitué d'une base fixe et d'une plate-forme mobile appelée aussi nacelle. Elles sont liées par trois chaînes cinématiques identiques constituées d'un bras et de deux barres parallèles formant un parallélogramme. Chaque bras est entraîné par un moteur-réducteur, solidaire de la base. La nacelle reste toujours parallèle à la base, les mouvements de translation de cette dernière résultent du mouvement combiné des trois actionneurs.

Le préhenseur est actionné par un moteur réducteur fixé directement sur la nacelle (Figure **I.11.a),** ou par l'intermédiaire d'un bras télescopique couplé à un moteur solidaire de la base (Figure **I.11.b) [3].**

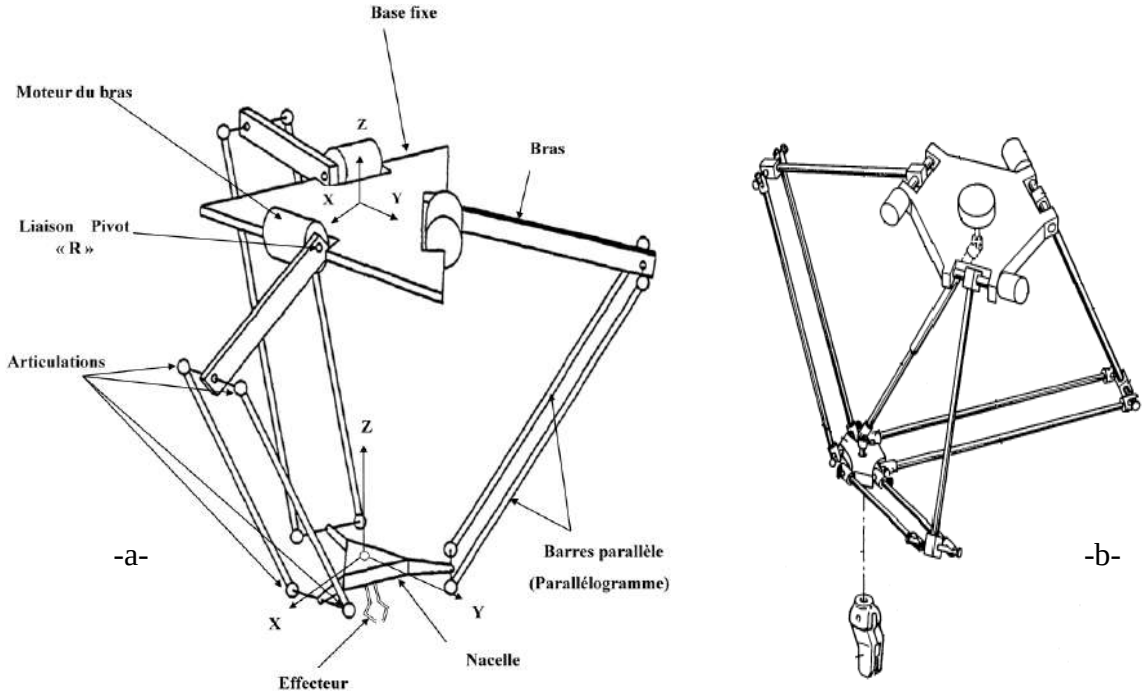


Figure I.11 le Robot Delta [1][3]

I.5.1 Le Schéma cinématique

Les schémas dans le Tableau **I.1** et la figure **I.12** sont très pratiques pour représenter l'agencement des différentes liaisons composant un mécanisme, sont de lecture aisée pour les mécanismes plans et les mécanismes spatiaux simples, mais deviennent vite illisibles pour les mécanismes spatiaux complexes [1].

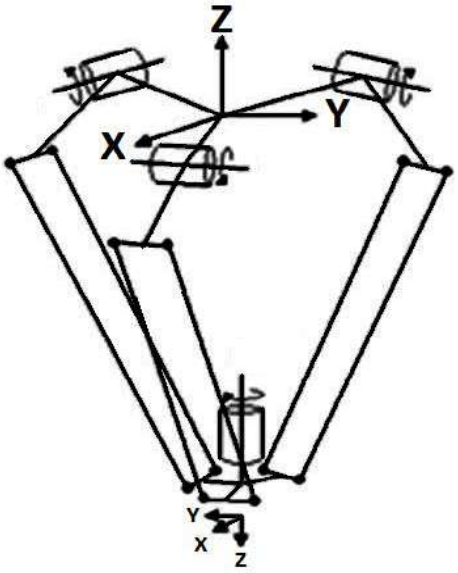
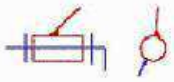
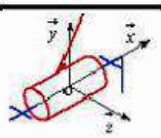
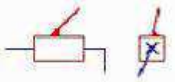
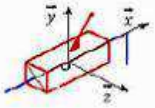
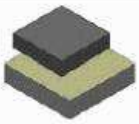


Figure I.12 : Schéma cinématique du robot Delta.

Tableau I.1 : Représentation normalisée de quelques liaisons [5].

Liaisons	Représentation	Mouvements relatifs R	Mouvements relatifs T	Projection orthogonale 2d (ISO)	Perspective 3d
Pivot		R_x	0		
		0	0		
		0	0		
Glissière		0	T_x		
		0	0		
		0	0		
Pivot Glissant		0	0		
		0	0		
		R_z	T_x		
Rotule ou Sphérique		R_x	0		
		R_y	0		
		R_z	0		
Appui plan		0	T_x		
		R_y	0		
		0	T_z		

I.5.2 Le graphe d'agencement.

Les conventions des graphes d'agencements sont présentées sur le tableau **I.2.**

Tableau I.2 : Conventions des graphes d'agencement [1][5].

Nom de la liaison	Représentation	
	Liaison passive	Liaison motorisée
Rotoïde (pivot)	— R —	— R —
Prismatique (glissière)	— P —	— P —
Universelle (cardan)	— U —	
Sphérique (rotule)	— S —	

Avec ce type de représentation (Figure **I.13),** les informations concernant l'agencement géométrique des liaisons sont perdues. Par contre la comparaison des familles de mécanismes

parallèles ainsi que le décompte des degrés de liberté est facilité à l'aide de la formule de Grübler**.**

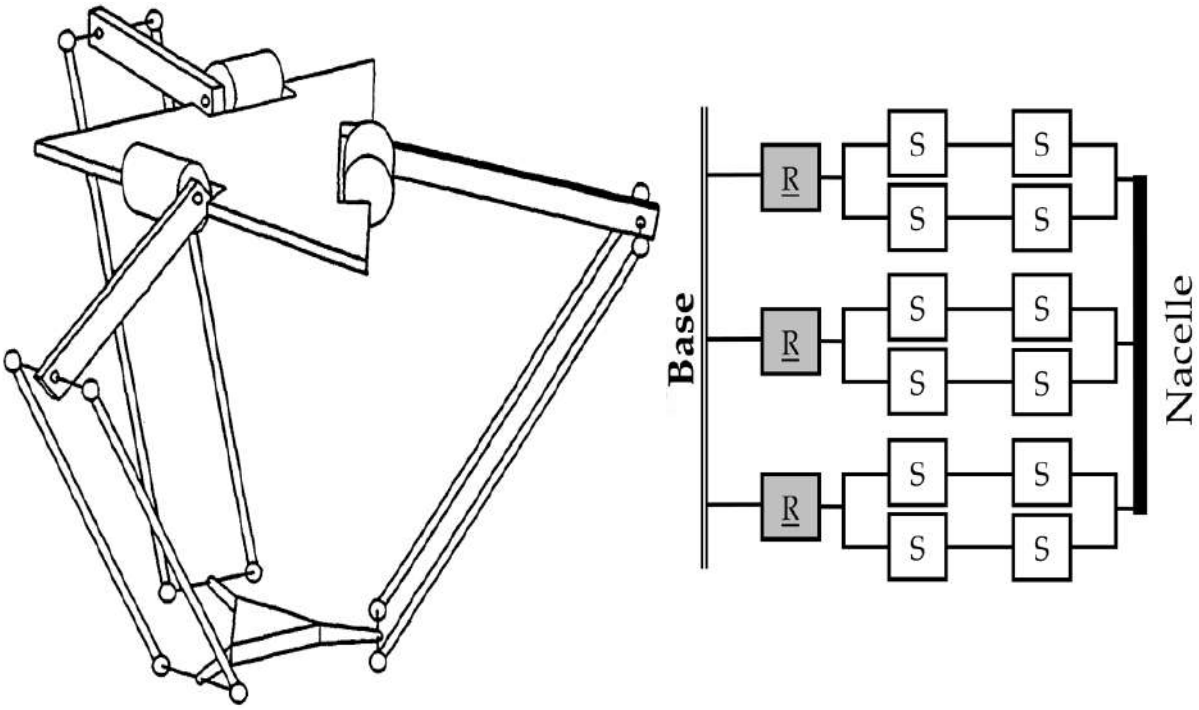


Figure I.13 : Robot Delta, image et graphe d'agencement [7]

I.5.3 Singularités du robot Delta

Dans un manipulateur sériel, les positions singulières découlent de la perte de degrés de liberté alors que dans un manipulateur parallèle, elles résultent du gain de un ou plusieurs degrés de liberté. La plupart du temps, le passage par une singularité provoque un hyper guidage pour ensuite passer par la perte de contrôle d'un ou plusieurs degrés de liberté [3].

Les singularités de la structure considérée ont été déterminées à partir de l'analyse de la position relative des 6 barres solidaires de la nacelle; nous considérons que chaque barre transmet uniquement une force dont la ligne d'action est confondue avec la droite reliant les 2 articulations à ses extrémités [3].

La position de la nacelle est totalement définie et sa stabilité assurée si les conditions suivantes sont respectées:

- les lignes d'action des forces (les barres parallèles dans le cas présent) sont situées dans 3 plans différents non parallèles.

- 2 lignes d'action au maximum sont parallèles. Ces conditions mettent en évidence les 4 types de singularités schématisées à la figure **I.14**

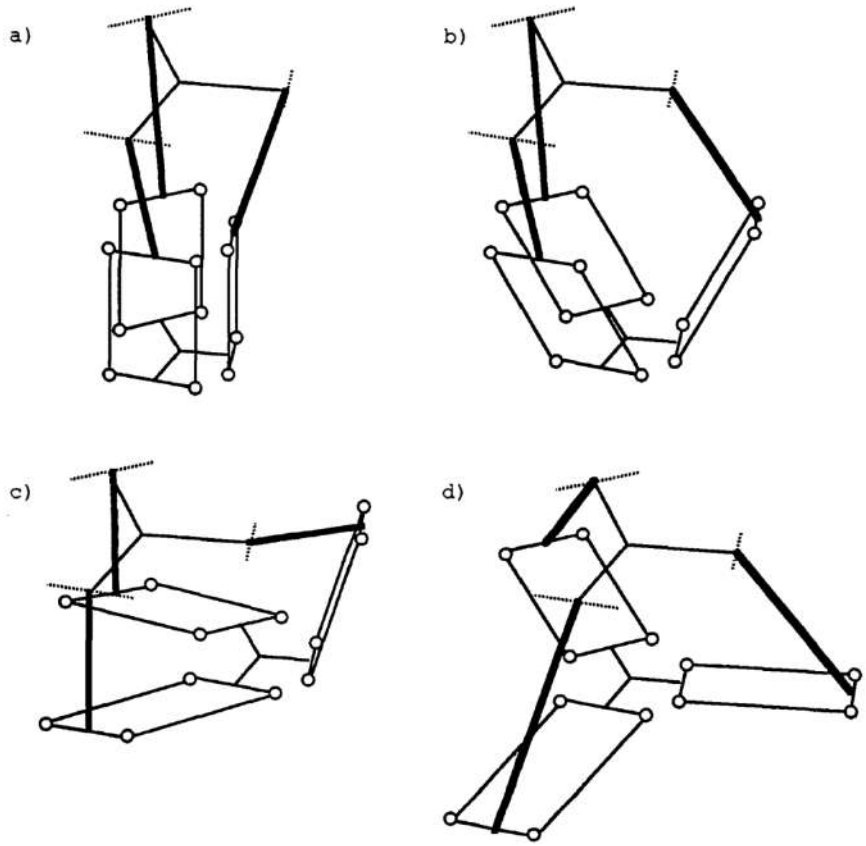


Figure I.14 : Représentation des 4 types de singularités du robot DELTA [3]

a) lorsque les 6 barres (3 paires) sont toutes parallèles à une même direction **(**fig **I.14.a)**, la nacelle conserve 3 degrés de liberté, soit: déplacement sur une portion de sphère et rotation autour d'un axe perpendiculaire à la nacelle.

b) si 4 barres (2 paires) sont parallèles **(**fig **I.14.b)**, la nacelle conserve un degré de liberté, soit: déplacement sur un arc de cercle.

c) si 4 barres (2 paires) sont dans un même plan ou dans 2 plans parallèles **(**fig **I.14.c)**, la nacelle conserve un degré de liberté, soit: rotation définie par l'axe reliant les deux articulations situées entre la nacelle et les deux barres non considérées.

d) lorsque les 3 parallélogrammes sont situés dans 3 plans parallèles ou confondus (voir dans la figure I.14.d), la nacelle conserve 3 degrés de liberté, soit: 2 rotations d'axes appartenant au plan de la nacelle et translation de faible amplitude perpendiculairement au même plan.

I.5.4 Exemples de réalisations et performances

I.5.4.1 Micro Delta 240

Chacun des bras de ce petit robot est entraîné par un ensemble moteur réducteur capteur standard du marché, le jeu dans le réducteur planétaire est éliminé par l'action d'un ressort hélicoïdal de torsion qui pousse les bras de façon calibrée vers le haut. La définition varie entre 0,01mm et 0,02 mm suivant la zone de travail. Ce prototype peut atteindre une cadence de 3 transferts par seconde sur des distances de 100mm à 150 mm avec précision d'environ 0,1 mm (figure **I.15**) **[3][4].**

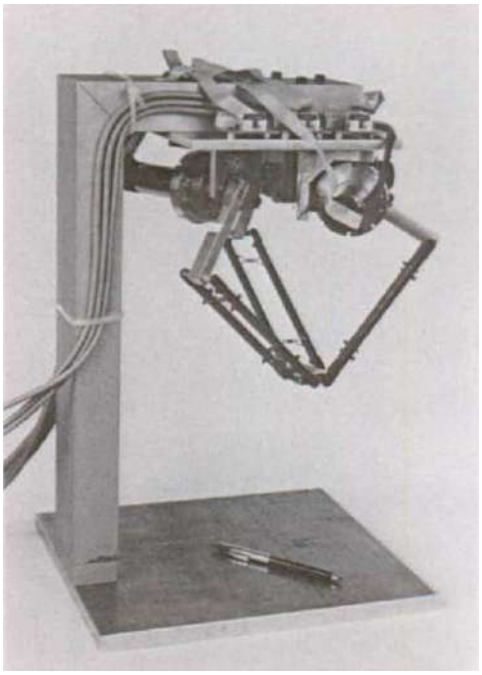


Figure I.15 : Micro Delta 240

I.5.4.2 Delta 720 à entraînement direct

Ce prototype, qui est le plus performant réalisé à ce jour, est caractérisé par son mode d'entraînement direct, c'est-à-dire que chaque bras est directement accouplé à l'arbre moteur. Les moteurs synchrones utilisés ont un couple nominal de 12 N.m qui peut atteindre 21 N.m en pointe. La puissance à disposition permet d'effectuer des transferts de pièces légères sur des distances de plus de 250 mm à des cadences supérieures à 3 par seconde avec une précision de 0,2 mm environ, les accélérations peuvent dépasser 500 m/s^2.

Pour arriver à ces cadences, il est impératif de disposer d'un préhenseur qui assure la prise et la dépose dans des temps très courts (< 10 ms pour la prise, < 20 ms pour la dépose). Un tel préhenseur a été spécifiquement développé pour ce robot.

La prise est commandée directement par le contact mécanique avec la pièce à saisir (d'où l'appellation « préhenseur réflexe »). La résolution varie entre 0,016 et 0,035 mm, Ce prototype a déjà effectué plus de 3 millions de transferts de pièces (figure **I.16**) **[4]**.

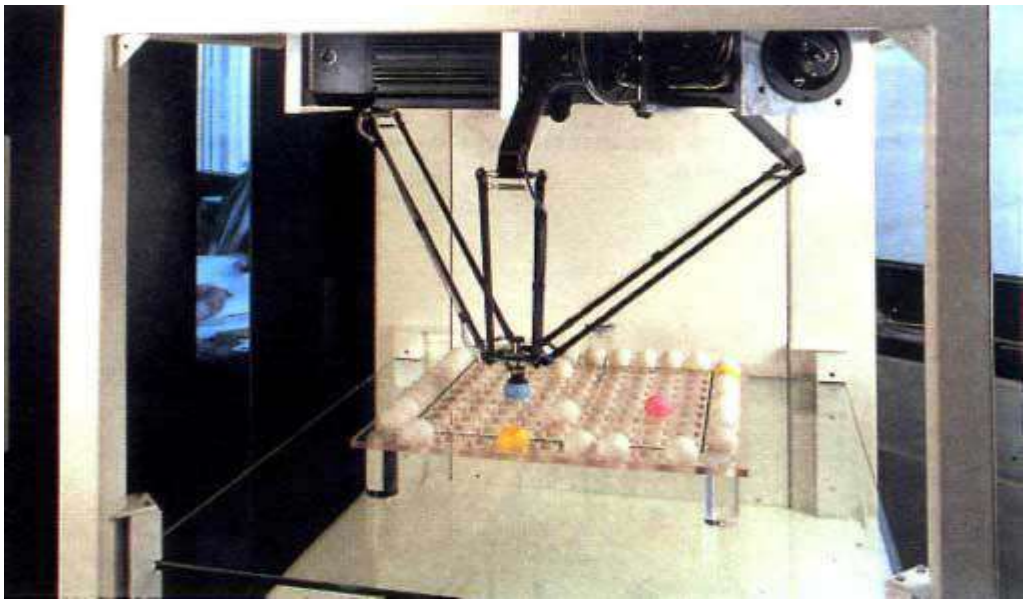


Figure I.16 : Robot Delta 720

I.5.4.3 Version industrielle du robot Delta

Ce robot, produit industriellement par l'entreprise Demaurex Robotique & Microtechnique SA, est entraîné par de petits moteurs à courant continu de 100 W , le réducteur est de type à crémaillère mobile , malgré la faible puissance de ses moteurs, ce robot, muni d'un contrôleur performant et d'un préhenseur réflexe, atteint une cadence supérieure à 2,5 pièces par seconde **(**figure **I.17) [4].**

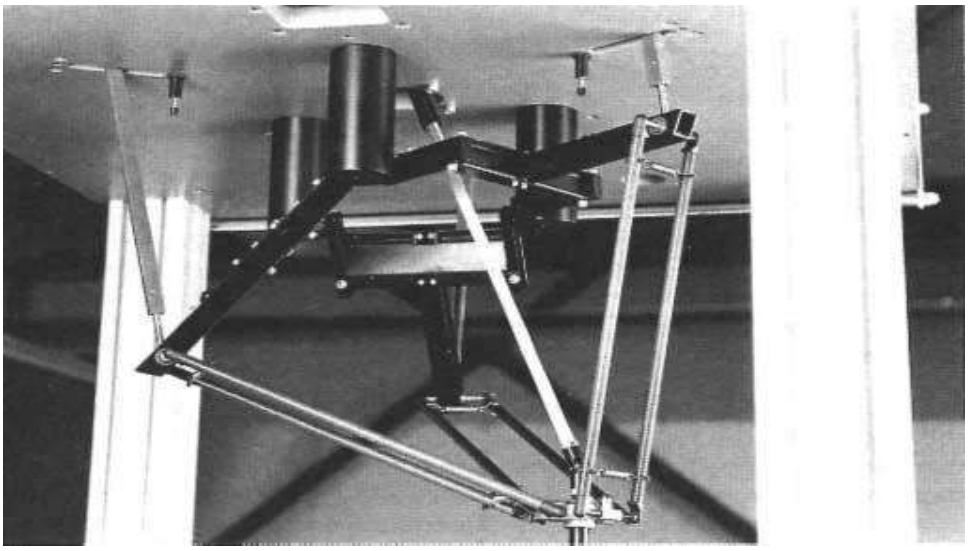


Figure I.17 : Robot Delta version industrielle

I.5.4.4 Applications

Le robot Delta a été développé en vue d'applications de conditionnement dans le domaine alimentaire, il est donc normal que les premières applications industrielles se situent dans ce secteur. Les figures **I.18** et **I.19** montrent 2 applications réalisées par l'entreprise Demaurex **[4].**

La figure **I.18** montre la scène de travail d'une installation de conditionnement de pralinés composée de 2 robots Delta couplés chacun à un système de vision, les pralinés sont saisis sur une bande transporteuse en mouvement continu et déposés dans des barquettes alvéolées également en déplacement continu.

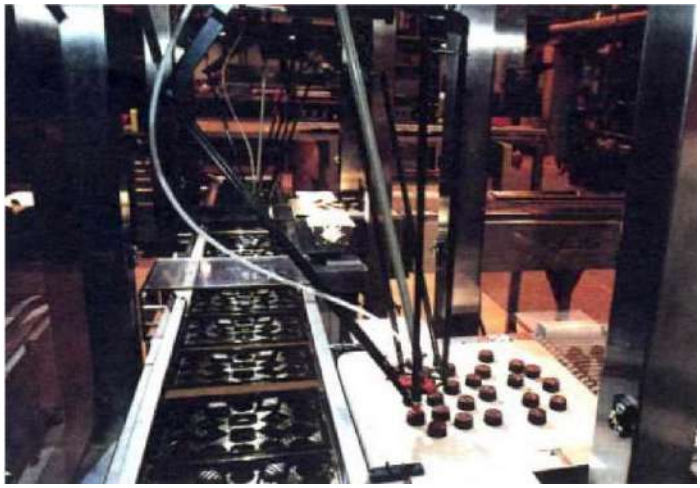


Figure I.18 : Détail d'une installation de conditionnement de pralinés

La figure **I.19** est une vue d'ensemble d'une installation de 6 robots Delta adaptée au conditionnement de bretzels, un préhenseur a spécialement été développé pour cette application, plus de 500 pièces par minute sont conditionnées par cette installation.



Figure I.19 : Installation de conditionnement de bretzels dans la boulangerie industrielle

Une application du robot Delta dans le domaine médical a été développée par l'entreprise DeeMed SA , il s'agit d'un porteur de microscope situé au-dessus d'une table d'opération (figure **I.20**), le microscope peut également être positionné par le robot sur un point précis fonction d'informations reçues d'un système de diagnostic **[7].**



Figure I.20 : Robot Delta au-dessus d'une table d'opération

I.6 CONCLUSION

Dans ce chapitre on a présenté les différents types des robots industriels : les robots sériels, les robots parallèles et les robots hybrides ainsi que les avantages et les inconvénients de chacun, puis on s'est intéressé aux robots parallèles vu qu'ils sont plus favorables que les robots sériels dans les applications de précision, on a donc présenté leurs variétés. Dans le chapitre suivant on s'intéressera à l'étude et la modélisation, et on abordera aussi la construction mécanique et la réalisation électrique du robot Delta. Ce qui fera l'objet en détail du prochain chapitre.

Chapitre II

DESCRIPTION DU ROBOT DELTA RÉALISÉ

II.1 Introduction

Le robot delta n'est rien d'autre qu'une structure mécanique spéciale qui est contrôlée à l'aide d'un actionneur à travers un circuit électrique de commande. Dans ce chapitre qui est divisé en deux grandes parties on a jugé important la présentation du modèle géométrique du robot ainsi que sa construction dans la partie mécanique. Le circuit de commande et d'alimentation sont aussi présentées dans la partie électrique, la partie soft sera expliquée dans le chapitre III.

II.2 Schéma synoptique de la réalisation

Le schéma de la figure **II.1** explique comment les données sont transférées d'un micro-ordinateur (par câble) ou un système d'exploitation Android (sans fils) vers le robot en passant par le système de communication qui est l'interface qui permet du transfert de la commande vers le robot.

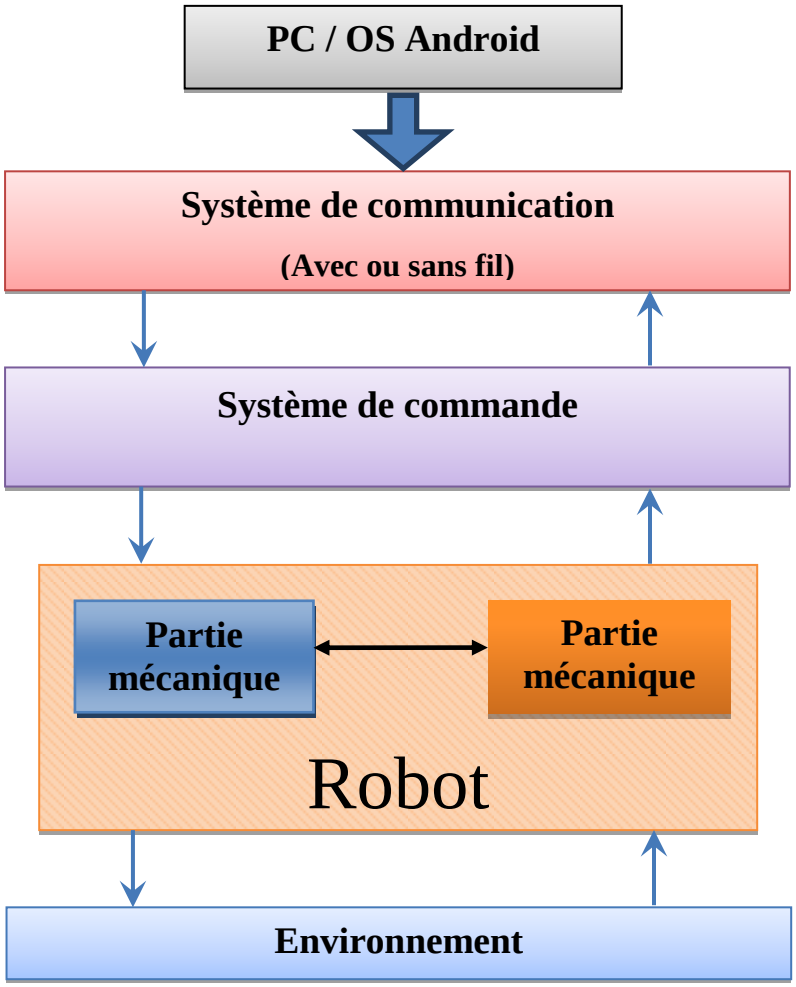


Figure II.1 : le schéma synoptique de la réalisation

II.3 Partie mécanique

La structure du robot est construite avec des matières légères et solides (bois, acier et aluminium) pour diminuer le poids global du robot et maintenir les pièces entières étroitement ensemble avec prise en considération que la conception et la commande des robots nécessitent le calcul de certains modèles mathématiques.

II.3.1 Modèle mathématique du robot

Généralement dans la robotique pour obtenir le modèle mathématique on est obligé de connaitre les longueurs et les angles paramétriques qui caractérisent le robot **[3].**

II.3.1.1 Longueurs paramétriques

Nous considérons la configuration asymétrie ternaire formée de 3 chaines cinématiques identiques disposées selon une période de 120°. Les longueurs paramétriques et les angles caractéristiques de cette structure sont représentés à la figure **II.2**.

RA: distance entre le centre de la base fixe et 1'axe de rotation du bras;

RB: distance entre le centre de la nacelle et le cote du parallélogramme solidaire de la nacelle;

LA : longueur du bras;

LB: longueur d'une barre parallèle;

R : différence entre les longueurs RA et RB; cette distance définit la position du point Ai;

Ce dernier est obtenu par une translation d'amplitude RB de la chaine cinématique i qui amené le point B_i au centre de la nacelle, le point O_i en A_i et le point C_i en C_i'; l'axe de rotation du bras ainsi translate est nommé a_i.

II.3.1.2 Angles paramétriques

$\boldsymbol{\alpha_i}$ **:** Angle entre le i^{eme} bras et le plan de la base fixe; dans la suite, il sera considéré que la base fixe est horizontale; par convention, l'angle αi est positif lorsque le bras est situé du cote de la nacelle;

$\boldsymbol{\beta_i}$ **:** Angle entre le plan du i^{eme} parallélogramme et le plan horizontal, mesure dans un plan vertical n_i contenant le bras i;

$\boldsymbol{\gamma_i}$ **:** Angle entre le plan vertical n_i et une des barres du parallélogramme i;

$\boldsymbol{\theta_i}$: Angle entre le plan n_i et le plan Oxz.

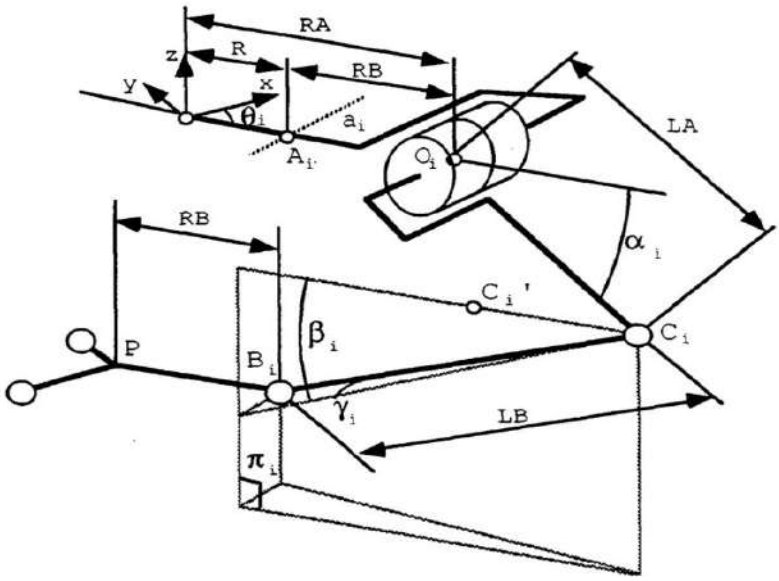


Figure II.2 : Longueurs paramétriques et angles caractéristiques du robot DELTA

II.3.1.3 Les Modèles Géométriques

Pour les robots, il existe deux modèles géométriques (figure **II.3**) **[1]**:

- Le modèle géométrique direct (ou MGD) qui permet, à partir de l'état des actionneurs, de déduire la position et l'orientation de l'organe terminal,
- Le modèle géométrique inverse (ou MGI) qui permet, à partir de la position et de l'orientation de l'organe terminal, de déduire l'état des actionneurs.

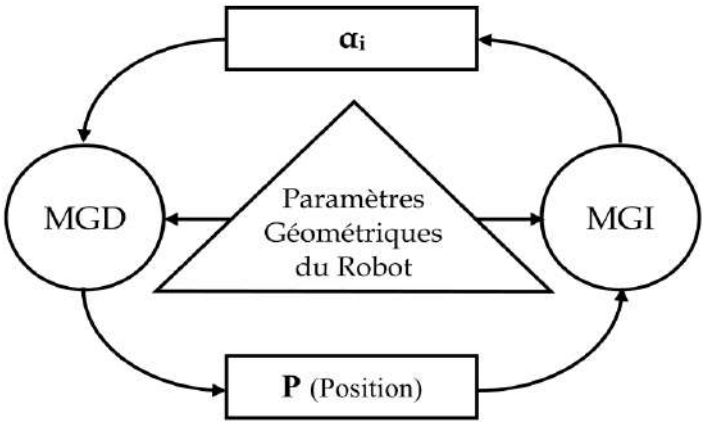


Figure II.3 : Le modèle géométrique de robot

II.3.1.3.1 Modèle Géométrique Direct (MGD)

Pour la modélisation géométrique des robots à structures fermées, une méthode proposée par Khalil et Dombre consisterait à ouvrir les boucles cinématiques au niveau de la nacelle puis à étudier chaque chaîne séparément en fonction des contraintes imposées par les autres chaînes (contraintes de fermeture des boucles). Mais le fait que la nacelle n'effectue que des mouvements de translation permet une formulation plus simple des modèles géométriques. Cette simplification proposé par Clavel est obtenue par une translation de l'ensemble bras- barres parallèles de telle sorte que les points O_i et A_i soient confondus, de même pour les points B_i et P (figure **II.4**) **[2].**

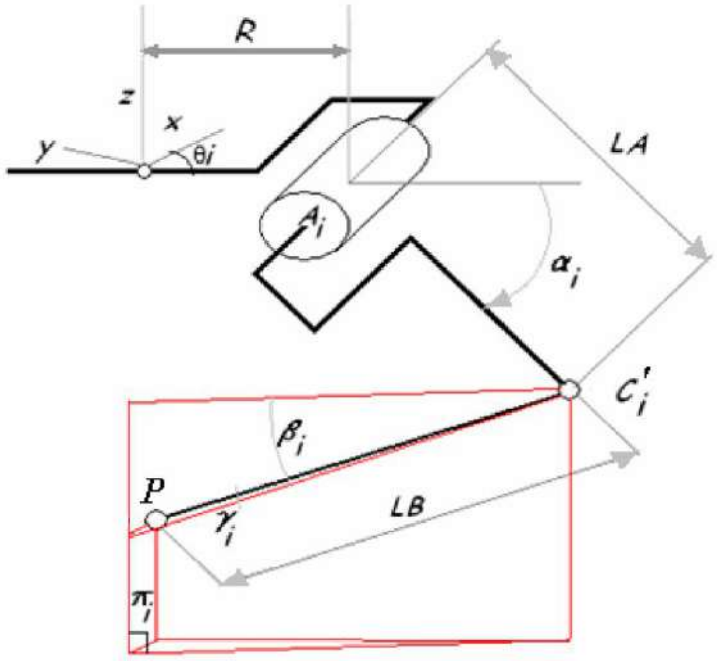


Figure II.4 : simplification de la géométrique d'étude.

Calcule du *MGD*

Clavel propose une simplification basée sur les relations de la géométrie analytique, elle consiste à exprimer les intersections d'une sphère avec 3 cercles.

Le point *P* peut être considéré comme le centre d'une sphère de rayon *Lb*, les points *A*i sont les centres de cercles de rayon *La* appartenant au plan π_i et les points C_i' sont donnés par les intersections des trois cercles de rayon *La* avec la sphère de rayon *Lb* centrée en *P*.

Les projections dans le repère de la base donnent les coordonnées du point *C*i :

$$[(R + La\cos a_i)\cos\theta_i\ ,\ (R + La\cos a_i)\sin\theta_i\ , -La\sin a_i] \quad \textbf{(II.1)}$$

L'équation de sphère de centre $P\ (X, Y, Z)$ et de rayon Lb est :

$$(X - x)^2 + (Y - y)^2 + (Z - z)^2 = Lb^2 \quad \textbf{(II.2)}$$

Pour les points C_i appartenant à la sphère. Remplaçons les coordonnées de **(II.1)** dans **(II.2)** on obtient l'équation **(II.3)** :

$$(R + La\cos(a_i)\cos\theta_i - x)^2 + ((R + La\cos a_i)\sin\theta_i - y)^2 + (-La\sin a_i - z)^2 = Lb^2$$

D'où :

$$x^2 - 2x(R + La\cos a_i)\cos\theta_i + -2y(+La\cos a_i)\sin\theta + z^2 + 2zLa\sin a_i = Lb^2 - La^2 - R^2 - 2RLa\cos a_i \quad \textbf{(II.4)}$$

L'équation **(II.4)** peut être résolue selon *x, y, z* pour obtenir le modèle géométrique direct et selon αi pour le modèle inverse. Pour simplifier l'écriture du MGD, nous introduisons les entités suivantes :

En posant:

$$\begin{cases} D_i = -LB^2 + LA^2 + R^2 + 2\,RLAcos\alpha_i \\ E_i = 2(R + LAcos\alpha_i)cos\theta_i \\ F_i = 2(R + LAcos\alpha_i)\sin\alpha_i = E_i tg(\alpha_i) \\ G_i = -2\,LAsin\alpha_i \\ H1 = E_1G_2 - E_1G_3 - E_2G_1 + E_2G_3 + E_3G_1 - E_3G_2 \\ H2 = -E_1F_2 + E_1F_3 + E_2F_1 - E_2F_3 - E_3F1 + E_3F_2 \\ H3 = -E_1D_2 + E_1D_3 + E_2D_1 - E_2D_3 - E_3D_1 + E_3D_2 \\ H4 = F_1D_2 - F_1D_3 - F_2D_1 + F_2D_3 + F_3D_1 - F_2D_2 \\ H5 = -F_1G_2 + F_1G_3 + F_2G_1 - F_2G_3 - F_3G_1 + F_3G_2 \end{cases} \quad \textbf{(II.5)}$$

Alors:

$$\mathrm{x} = \mathrm{z}\frac{\mathrm{H_5}}{\mathrm{H_2}} + \frac{\mathrm{H_4}}{\mathrm{H_2}} \quad \textbf{(II.6)}$$

$$y = z\frac{H_1}{H_2} + \frac{H_3}{H_2} \quad \textbf{(II.7)}$$

Remplaçons les expressions de *x* et *y* dans l'équation **(II.4)** pour *i* =1

$$z = \frac{-M \mp \sqrt{M^2 - 4LN}}{2L} \quad \textbf{(II.8)}$$

Avec

$$\begin{cases} L = \frac{H_5^2 + H_1^2}{H_2^2} + 1 \\ M = \frac{H_5\, H_4 + H_1 H_3}{H_2^2} + \frac{H_5\, E_1 + H_1 F_3}{H_2} - G_1 \\ N = \frac{H_4^2 + H_3^2}{H_2^2} - \frac{H_4\, E_1 + H_3 F_1}{H_2} + D_1 \end{cases} \quad \textbf{(II.9)}$$

II.3.1.3.2 Modèle géométrique inverse

Le modèle géométrique inverse vise le calcul des coordonnées articulaires α_i correspondant à une situation donnée (*x, y, z*) de l'organe terminal. Il faut donc résoudre l'équation (II.4) selon les variables articulaires motorisées,

$$\begin{cases} Q_i = 2\, x\, cos\theta_i + 2\, y\, sin\theta_i \\ S = \frac{1}{LA}\left(-x^2 - y^2 - z^2 + LB^2 - LA^2 - R^2\right) \end{cases} \quad \textbf{(II.10)}$$

La résolution des équations **(II.4)** donne 1'expression suivante:

On pose :

$$\cos\alpha_i = \frac{1-t^2}{1+t^2} et \sin\alpha_i = 2 \times \frac{t}{1+t^2} \quad \textbf{(II.11)}$$

Avec

$$t_i = tan\left(\frac{\alpha_i}{2}\right) \quad \textbf{(II.12)}$$

Avec remplacement de t_i dans l'équation (**II.4**) on obtient :

$$(2R - Q_i)\left(\frac{1-t_i^2}{1+t_i^2}\right) - 2zp\left(2 \times \frac{t_i}{1+t_i^2}\right) + Q_i \times \frac{R}{LA} - s = 0 \quad \textbf{(II.13)}$$

Pour résoudre cette équation après la simplification, on utilise le delta($\Delta = b^2 - 4ac$)

Finalement on trouve :

$$t_i = \frac{-2z \mp \sqrt{\Delta}}{-2R - S - Q_i\left(\frac{R}{LA} - 1\right)} \quad \textbf{(II.14)}$$

$$\mathrm{tg}\frac{\alpha_i}{2} = \frac{-2z \mp \sqrt{4z^2 + R^2 - S^2 + Q_i^2\left(1 - \frac{R^2}{LA^2}\right) + Q_i\left(-2\frac{RS}{LA} - 4R\right)}}{-2R - S - Q_i\left(\frac{R}{LA} - 1\right)} \quad \textbf{(II.15)}$$

II.3.2 La Construction Mécanique

La structure mécanique est composée de différentes pièces mentionnées dans la figure **II.5** et expliquées par le tableau **II.1**.

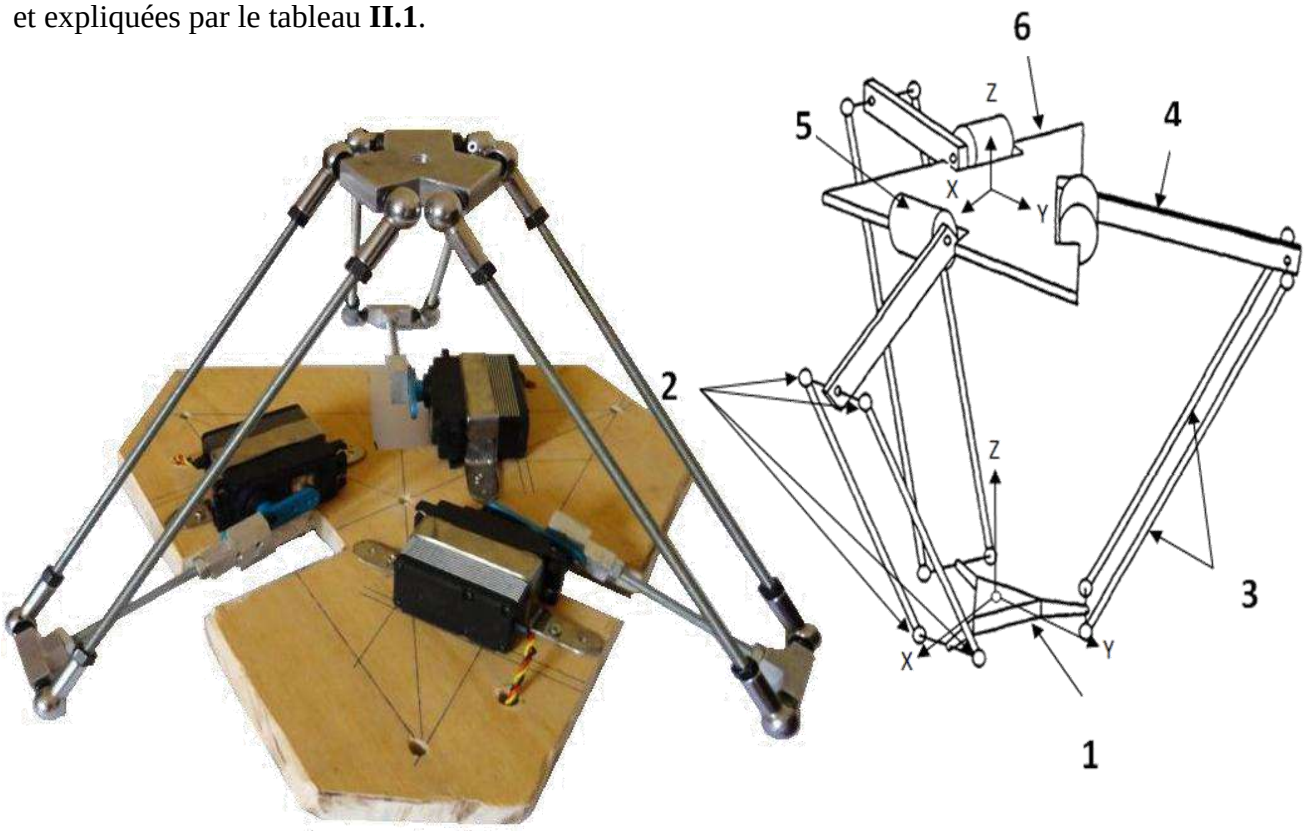


Figure II.5 : Schéma et photo réelle des constituants du robot delta réalisé

Table II.1 : Les composants mécaniques du robot Delta

N° de la Pièce	Nom de la pièce	Dimension
1	La Nacelle	RB=25mm
2	Les articulations	Rotation ±30°
3	Les bras LB	LB=265mm
4	Les bras LA	LA=130mm
5	Les actionneurs	Rotation 0 à 180°
6	La base	RA=75mm

Chacune des pièces du tableau **II.1** fera l'objet d'une description détaillée

II.3.2.1 La nacelle

La nacelle est considérée comme un organe terminal du robot delta, elle relie les barres parallèles ensemble. Nous avons choisi l'aluminium pour la nacelle, car il est très léger (60 grammes) de sorte que les actionneurs peuvent soulever son poids. La Figure **II.6** montre la nacelle avec ses dimensions. Cette nacelle a été réalisée chez un tourneur au niveau de la ville de Médéa.

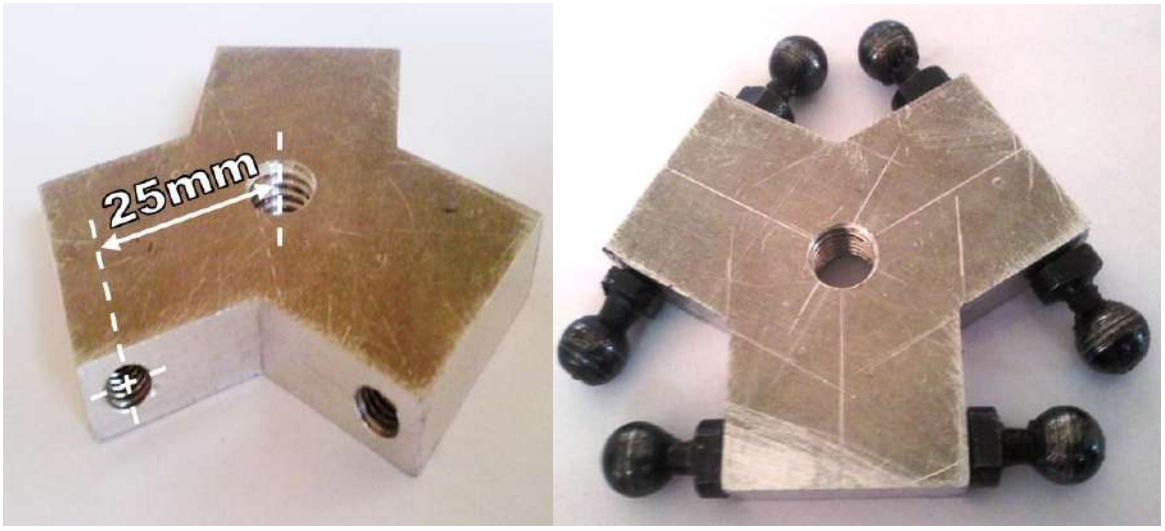


Figure II.6 : photo réelle de la nacelle

II.3.2.2 Les articulations

Les articulations que nous avons choisies sont des rotules. Les rotules utilisées dans notre projet sont faites d'acier et elles pèsent 20 grammes chacune, les dimensions des rotules sont montrées dans Figure **II.7**. Ces rotules sont achetées au niveau d'un magasin de vente de pièces d'occasion « case » pour camions au niveau de la ville de Médéa.



Figure II.7 : photo réelle d'une rotule avec ses dimensions

II.3.2.3 Les bras LB :

La Figure **II.8** représente la forme et la longueur réelle du bras LB, le poids mesure de bras 'LB' est de 70 grammes.

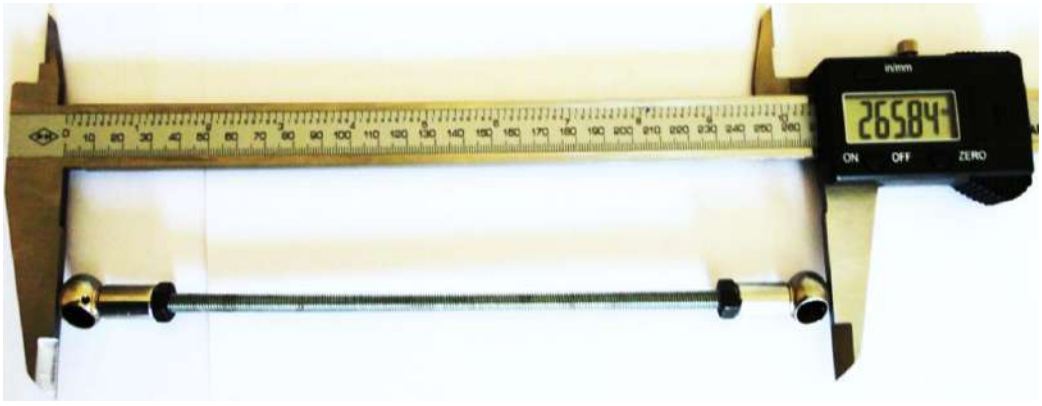


Figure II.8 : photo réelle du Bras LB avec ses dimensions

II.3.2.4 Les bras LA :

La Figure **II.9** exprime la forme et la longueur correspondant des bras moteur. Le poids mesuré du bras '**LA'** est de 40 grammes. Les bras LA et LB sont des bras cylindrique filetées achetées auprès d'une quincaillerie.

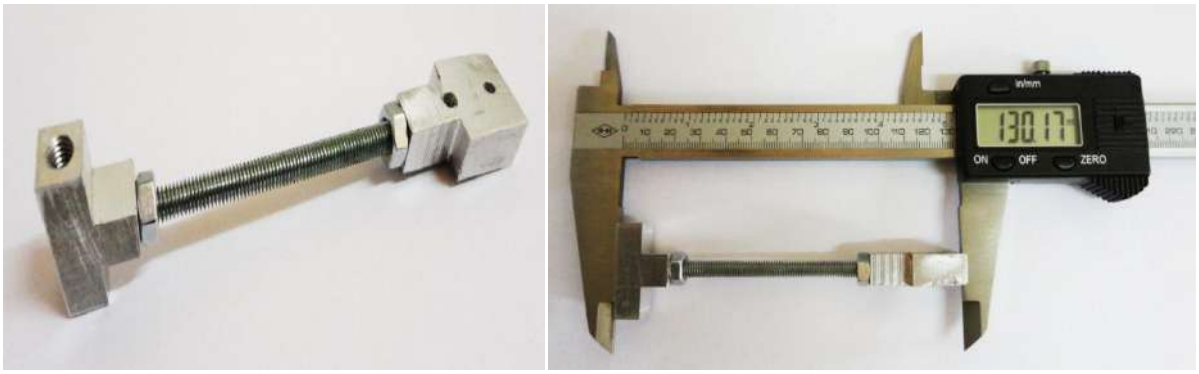


Figure II.9 : photo réelle du Bras LA avec ses dimensions

II.3.2.5 Les actionneurs utilisés

Aujourd'hui dans le monde robotique on trouve beaucoup d'application qui sont réalisées à l'aide des actionneurs électriques de type servomoteur car ils sont facile pour la commande avec une précision élevée et délivre un couple considérable. Pour ces raisons on a choisi de travailler avec le servomoteur de référence HS-5765 MH (Figure **II.10**) achetés au niveau d'un magasin de vente de pièces électroniques. Les détails sur le principe et la commande du servomoteur sont expliqués dans la partie Actionneur.



Figure II.10 : le servomoteur HS-5765 MH avec ses accessoires

Pour quoi le HS5765MH?

Le HS5765MH est capable de supporter des poids, il a des engrenages en métal avec un arbre de sortie de 10mm, avec un couple de 25Kg-cm, le HS-5765MH est suffisamment robuste pour relever des poids considérable.

Dans notre projet, l'ensemble de la construction pèse 600 grammes, et la longueur des bras atteint 13 cm, avec un calcul simple, nous prouverais que le moteur peut élever un poids de 1,92 kg comme il est montré par la figure **II.11**, ce qui convient notre projet.

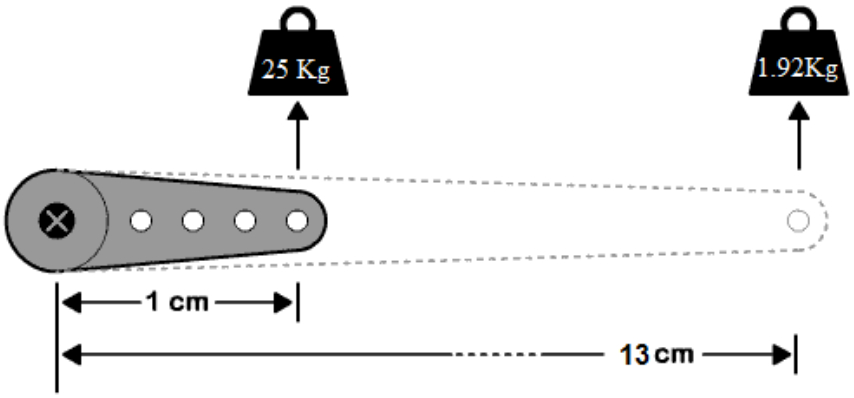


Figure II.11 : calcule du couple du HS-5765 MH

II.3.2.6 La base du robot delta

Pour construire la base il faut tracer un triangle équilatéral de 26 cm avec ses médianes pour avoir 120° entre les trois servomoteurs. La Figure **II.12** montre comment on peut trouver le paramètre 'Ra' avec $Ra = \frac{e}{2} \times \tan(30)$.

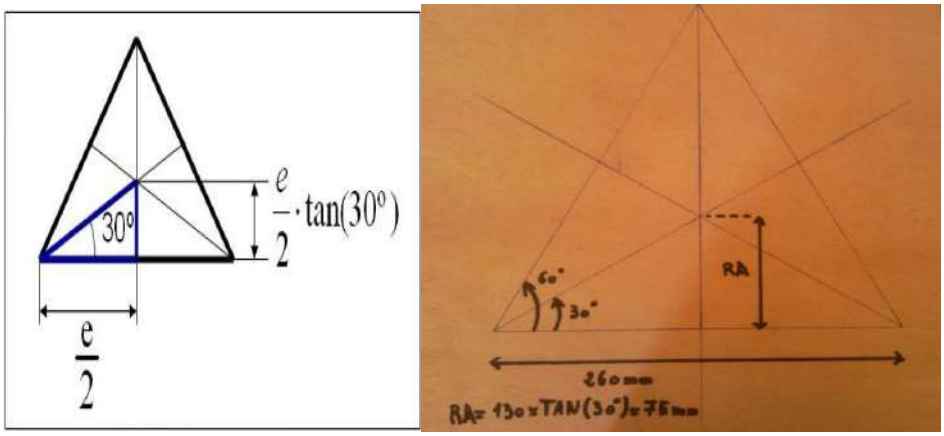


Figure II.12 : photo réelle pour le calcul de RA

Les trois moteurs doivent être fixés sur l'intersection des médianes avec la coté opposée du triangle de la base. Ce positionnement nécessite un calcul géométrique pour avoir un bon positionnement (figue **II.13**). Les trois moteurs sont aussi fixés et ça donne la figure **II.14**.

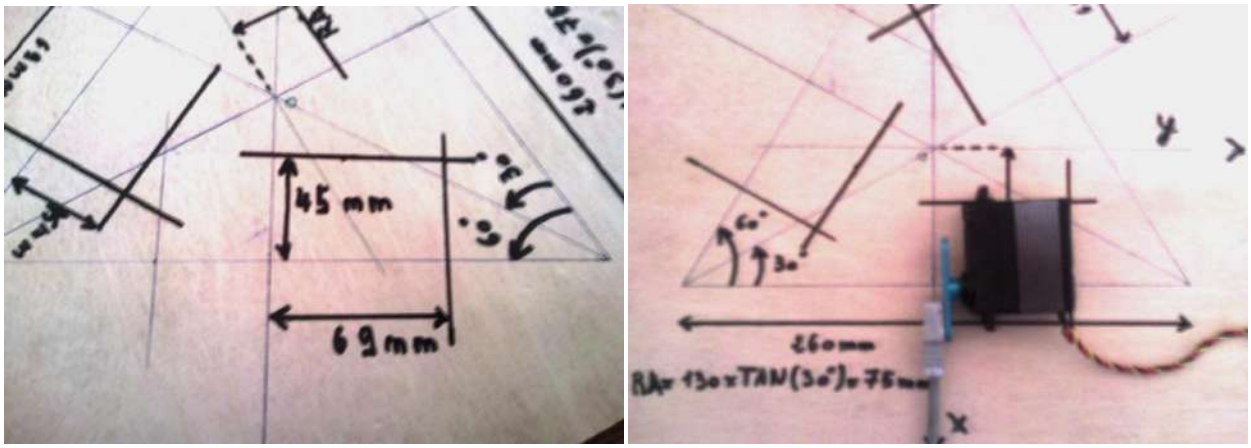


Figure II.13 : photo réelle de positionnement et placement des servomoteurs sur la base

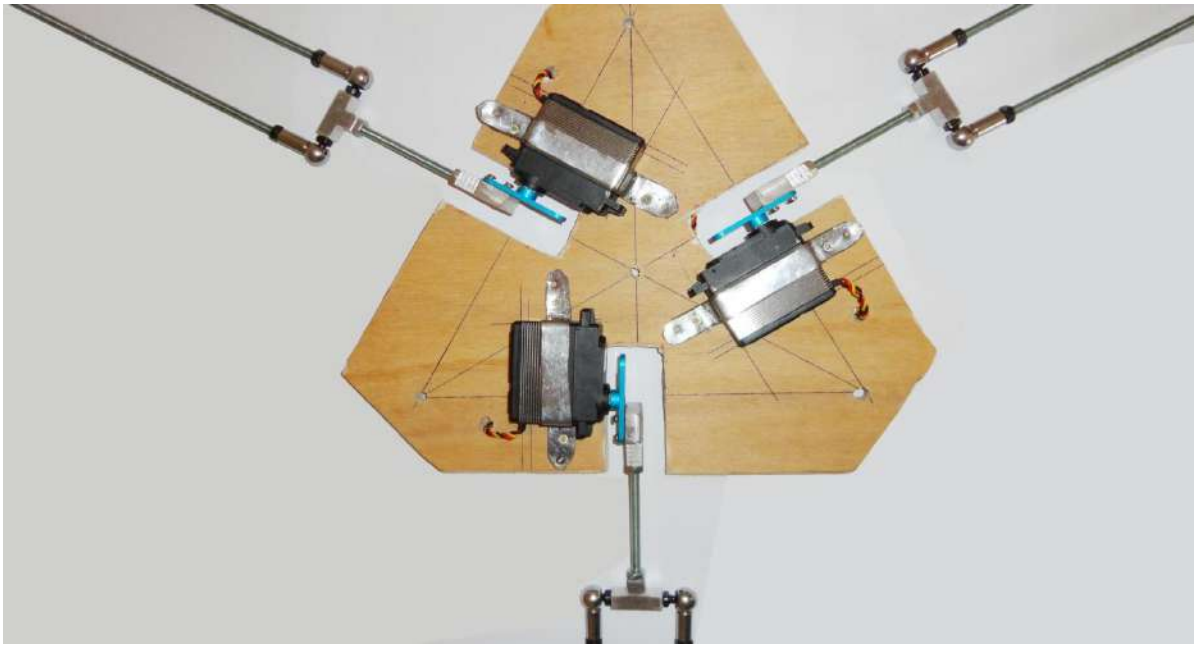


Figure II.14 : photo réelle de la fixation des servomoteurs sur la base

II.3.2.7 Fixation de la base dans un support

On a construit un support pour fixer la base sur une hauteur bien déterminée.

La Figure **II.15** montre le support du robot Delta construit.

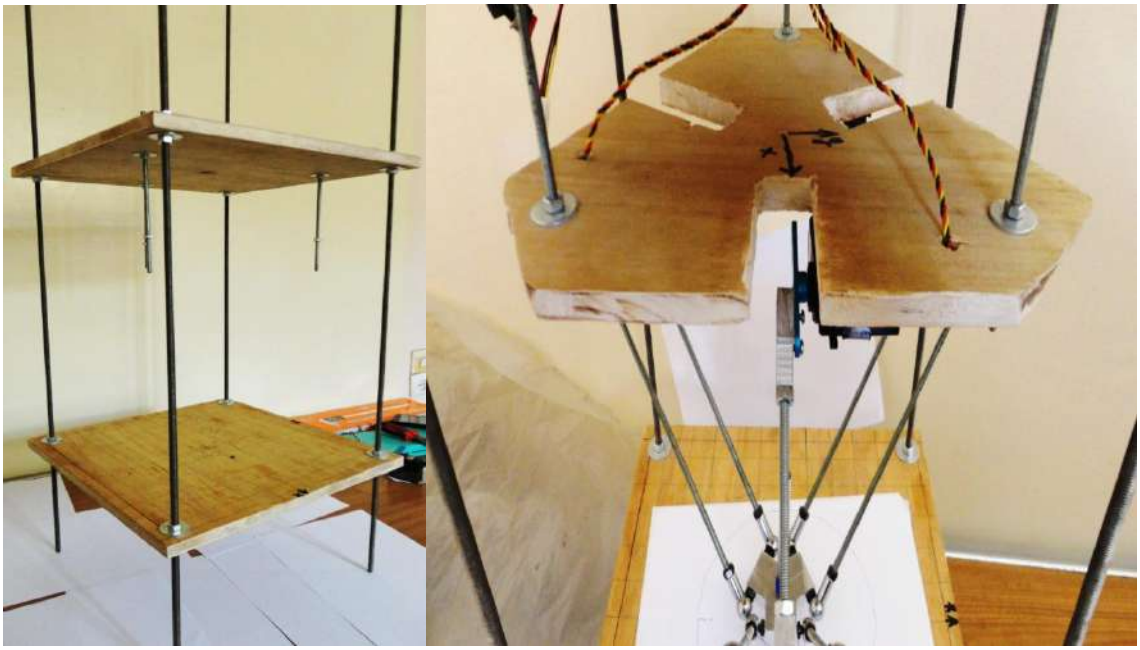


Figure II.15 : photo réelle du support réalisé

II.4 La partie électrique

Le schéma de la figure **II.16** donne une description sur les constituants de la partie électrique et la liaison entre eux.

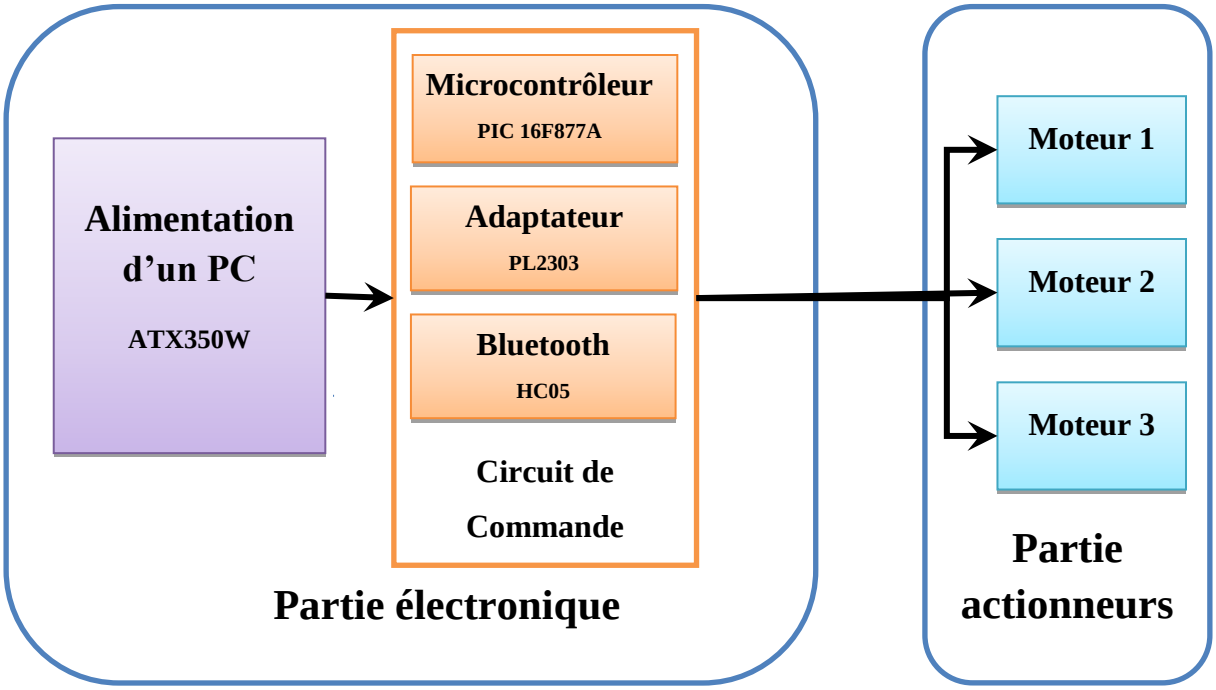


Figure II.16 : Le schéma synoptique de la partie électrique

II.4.1 La Partie Actionneur (Servomoteur)

II.4.1.1 **Principe**

Un servomoteur est un moteur à courant continu spécial avec un réducteur et équipé d'un circuit électronique pour commander le sens de rotation, ainsi que la position de l'arbre du moteur (figure **II.17**) **[11] [18]**.

Les servomoteurs permettent un positionnement angulaire précis de leur arbre de sortie, ils sont largement utilisés dans la robotique et les voitures radiocommandées, des avions et des bateaux pour contrôler le mouvement de leurs différentes parties.

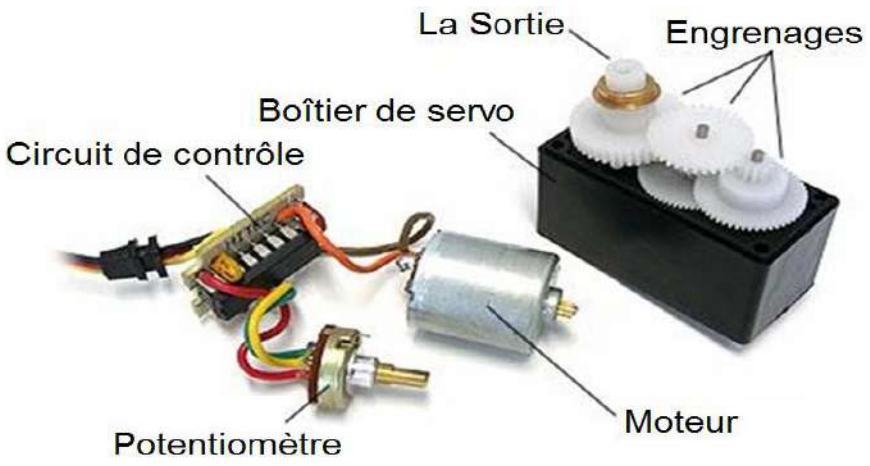


Figure II.17 : Le constituant d'un servomoteur

Pour faire fonctionner le servomoteur, une information de positionnement instantané de l'arbre de sortie est renvoyée au circuit de commande au moyen d'un transducteur. Une façon simple de procéder consiste à attacher un potentiomètre à l'arbre de sortie ou quelque part dans le train d'engrenages.

L'électronique de commande compare le signal de contre-réaction (qui contient la position courante de l'arbre) à partir du potentiomètre au signal d'entrée de commande (qui contient les informations de la position désirée de l'arbre), et toute différence entre les valeurs réelles et désirées (connu sous le nom de signal d'erreur) est amplifié et utilisé pour entraîner le moteur à courant continu dans une direction nécessaire pour réduire ou éliminer l'erreur. L'erreur est nulle lorsque l'arbre de sortie arrive à la position désirée.

Le schéma de principe de fonctionnement d'un servomoteur typique est montré dans la Figure **II.18**.

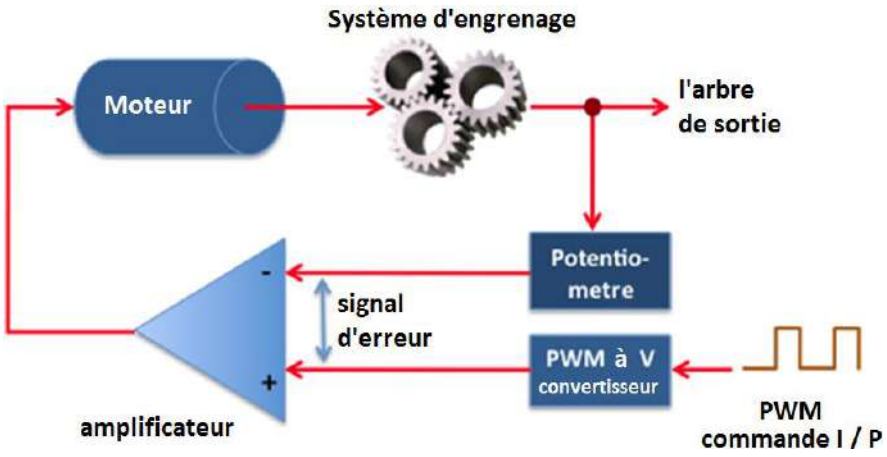


Figure II.18 : principe de fonctionnement de servomoteur

II.4.1.2 Commande du servomoteur

L'entrée de commande d'un servomoteur est un signal à modulation de largeur d'impulsion (PWM), généralement de fréquence 50 Hz. Cela signifie que l'impulsion doit être répétée toutes les 20ms. La largeur de l'impulsion détermine la position angulaire de l'arbre de sortie. Un circuit électronique à l'intérieur du servomoteur convertit le signal PWM à une tension de sortie proportionnelle qui est comparée à la tension de rétroaction à partir du potentiomètre. Si une différence existe entre les deux, le circuit de commande entraîne le moteur dans une direction appropriée jusqu'à ce que la différence devienne nulle **[11]**.

Une valeur typique de la largeur d'impulsion se situe dans la plage de 1,0 à 2,0 millisecondes (ms). Pour un servo standard, une largeur d'impulsion entre 1,0 ms et 1,5 ms réalise un asservissement à tourner dans le sens horaire, entre 1,5 ms et 2,0 ms permettent de tourner dans le sens antihoraire, et une largeur d'impulsion 1,5 ms transforme le servomoteur à son centre. Cependant, ces valeurs peuvent varier en fonction de la marque du moteur.

La plupart des servos tournent de 0 à 180°. Cependant. Il y a certains qui pourraient tourner à travers un 360 ° ou plus. Les Servomoteurs sont largement utilisés comme les joints mobiles dans les bras robotiques pour leur positionnement angulaire précis.

Les valeurs de PWM pour différentes positions angulaires de se servo sont données par la figure **II.19**.

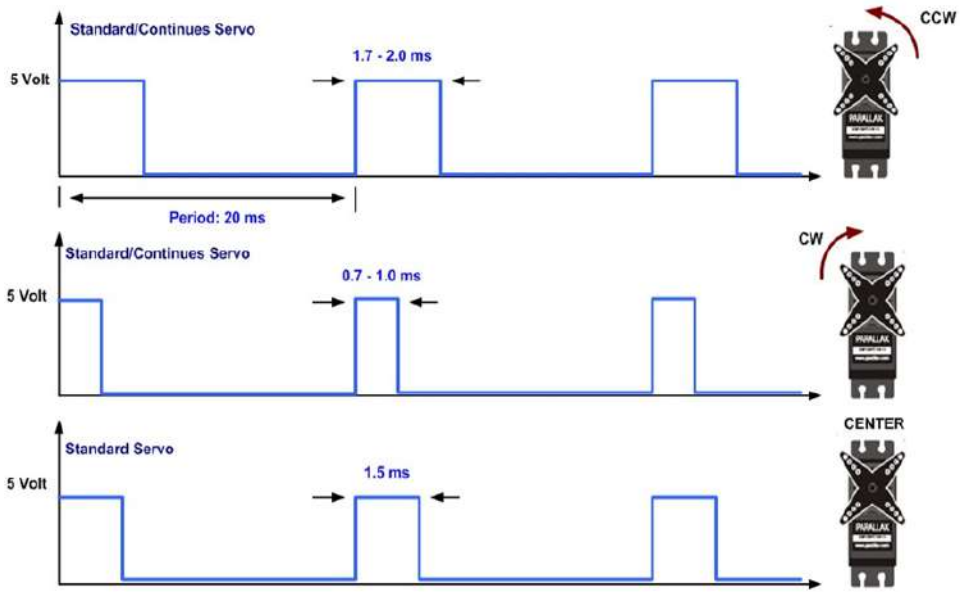


Figure II.19 : Chronogramme de commande de Servomoteur

II.4.2 La Partie Electronique

II.4.2.1 Le circuit d'alimentation

Cette partie est très simple, nous avons besoin de produire une tension stabilisée de 0 à 5V donc on utilise une alimentation PC, car elle produit un courant très fort et elle est sécurisée (limitation), elle est convenable pour les servomoteurs vue que chacune consomme 0.5A. L'Alimentation qu'on a choisie est de type ATX-350W.

Remarque : pour démarrer l'alimentation il suffit de court-circuiter le câble vert et noir comme la figure **II.20** :



Figure II.20 : démarrage de l'alimentation ATX-350W

II.4.2.2 Le Circuit de Commande

Dans cette partie du projet on va parler sur les différents constituants du circuit de commande avec des explications détaillé sur chaque compostant (figure **II.21**).

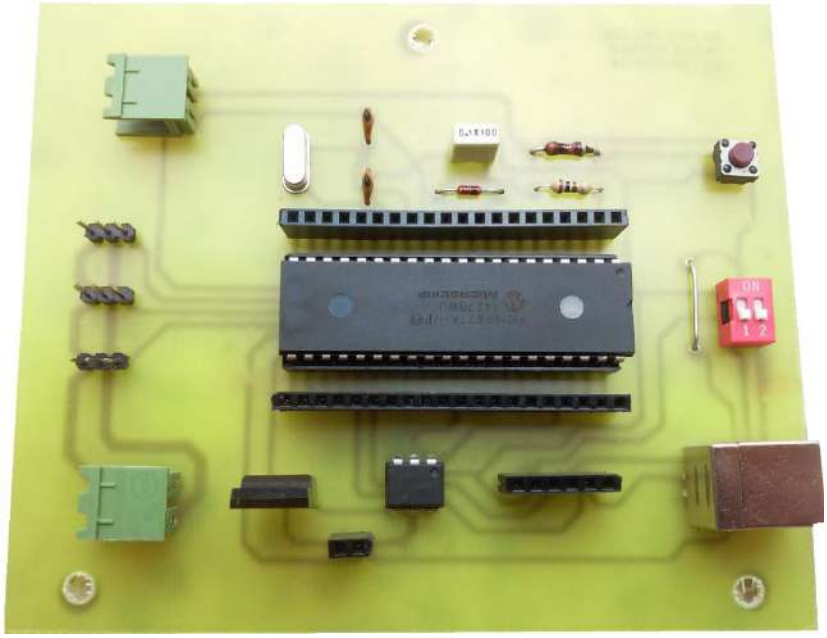


Figure II.21 : Le Circuit de Commande

II.4.2.2.1 Le microcontrôleur PIC

Il est intéressant de souligner que notre choix s′est porté sur un microcontrôleur de la firme *MICROCHIP*, C'est le PIC 16F877A (figure **II.22**), Ce microcontrôleur est le plus répandu dédié pour des applications de la robotique. Son prix compétitif, la disponibilité de la documentation, ses performances et la distribution gratuite des logiciels pour le programmer et le déboguer, font de lui un bon candidat pour différentes applications industrielles.

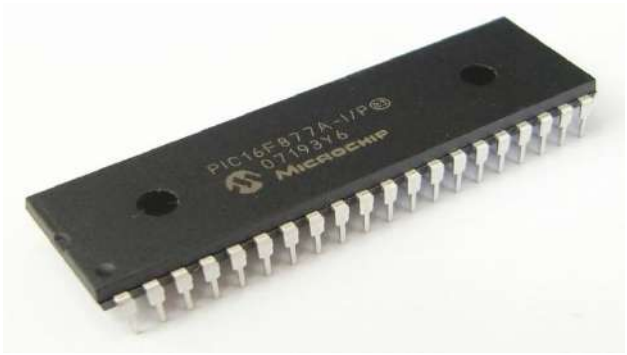


Figure II.22 : Photo réelle de PIC 16F877A utilisé

II.4.2.2.2 Les caractéristiques du PIC 16F877A

Le PIC 16F877A possède 40 broches (figure **II.23**) dont les caractéristiques générales peuvent être résumées comme suit **[6] [16]**:

- Vitesse d'exécution allant jusqu'à 20MHz permettant l'exécution rapide du programme, une instruction en cycle d'horloge de 200ns.
- Une mémoire vive « RAM » de 368 octets, répartie sur 4 banque 0, 1, 2, 3 ‘mémoire de données’
- Une mémoire EEPROM pour sauver des paramètres de 256 octets ‘moire de données’.
- Une mémoire morte « ROM » mémoire programme de type FLASH de 8ko ‘1mot=14bit’.
- 33 Entrées/Sorties programmables multiplexés.
- 8 entrées « canaux » du module de conversion analogique numérique 10 bits.
- Comparateurs analogiques programmables avec une référence de tension, programmable également. Conservation des informations en mémoire vive jusqu'à 1.5v.
- Une plage d'alimentation de 2.0V à 5V. Module de capture PWM programmable permettant de capturer un signal « logique » en fonction du temps, ou d'offrir un signal MLI (PWM): Modulation de Largeur d'Impulsion, ce paramètre représente une grande importance dans notre réalisation.
- De nouvelles fonctionnalités, comme les gestions des ports «Série».

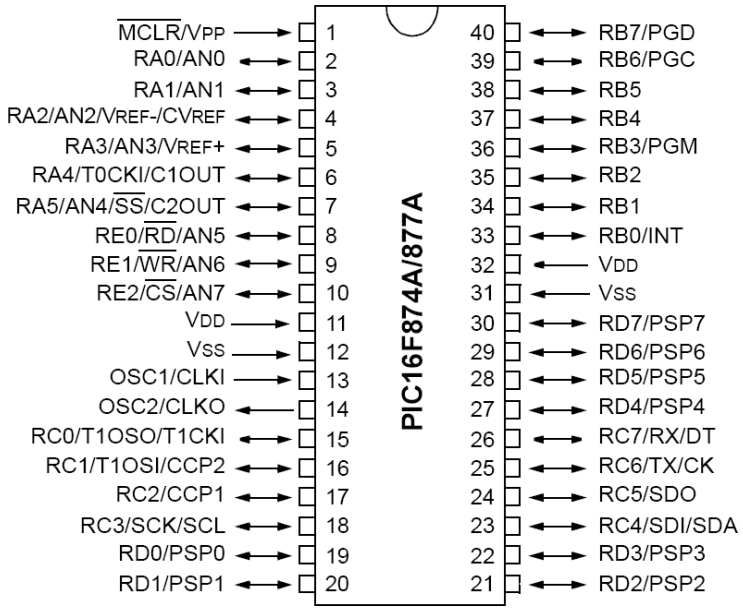


Figure II.23 : Brochage de PIC 16F877A

II.4.2.2.3 Configuration des broches

Pour la configuration des broches, nous avons utilisé les broches d'alimentation, broche d'horloge, broche MCLR (Master Clear), les broches de ports B et C.

Alimentation « VDD ET VSS »

Ce sont les broches d'alimentation du circuit, les tensions qui peuvent être appliqués sont :

- De 4V à 6V pour la gamme standard.
- De 2V à 6V pour la gamme étendue.

La broche VDD est la broche d'alimentation (+5V) et la broche VSS est la masse (0V)

L'horloge

Le signal d′horloge fourni au *PIC* est généré par un petit circuit oscillant composé de 2 condensateurs d′une capacité de *22pF* chacun et d′un oscillateur quartz (figure **II.24**). La fréquence fournie est de *4MHz*.

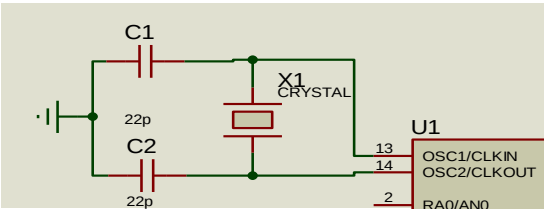


Figure II.24 : Brochage de Quartz avec le PIC

MCLR (figure II.25)

La réinitialisation du pic est assurée en générant un *RESET MATERIEL* sur la broche 1

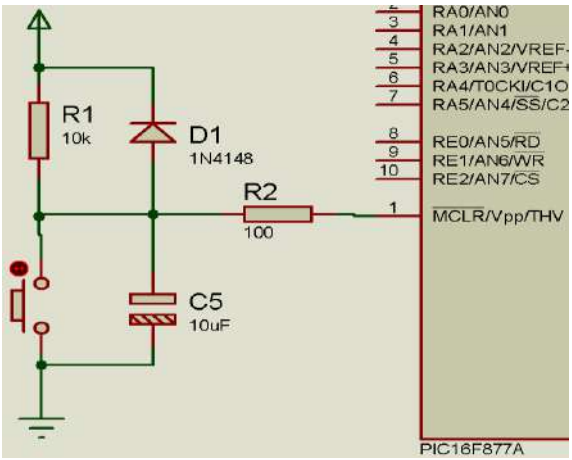


Figure II.25 : Brochage de bouton MCLR avec le PIC

Le port B: (8 pins entrées/sorties.)

Les pins *RB1, RB2 et RB3* sont choisi comme des sorties destinées à commander la position des trois servomoteurs.

Les trois pins génèrent un signal MLI (modulation de largeur d'impulsion) pour commander la position des trois moteurs (les détails sur la commande seront expliqués dans le chapitre suivant).

Brochage du servomoteur

Un servomoteur a trois fils: deux sont désignés pour l'alimentation (Vcc et la masse) et le troisième fil est pour le signal de commande. Le fil Vcc est habituellement rouge et la masse est noire ou brun. Le fil de signal de commande est de couleur blanche, jaune ou orange. Le servomoteur utilisé dans ce travail est de technologies de high-tech et a des couleurs rouge, noir et jaune destiné respectivement pour Vcc, GND, et le signal de commande, (figure **II.26**). Il fonctionne sur une alimentation de 7,4 V et fournit une rotation angulaire de 180 °

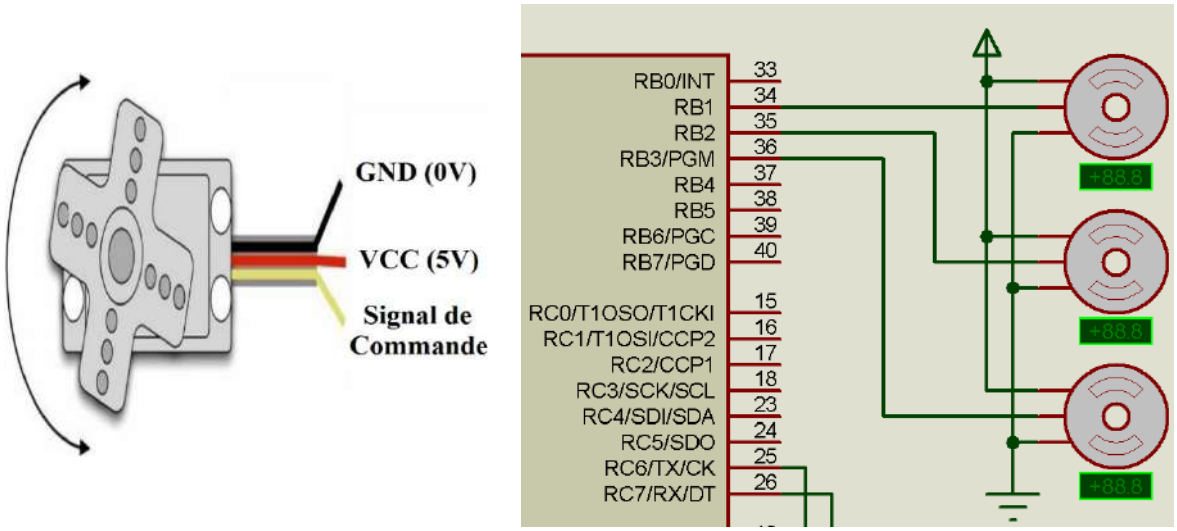


Figure II.26 : Brochage des Servomoteurs

Le port C: (8 pins entrées / sorties.)

Le pin RC6 et RC7 destinées pour la communication série, dans notre réalisation nous avons besoin de la communication série pour passer l'information (les commandes du robot) du microordinateur vers le pic 16F877A en utilisant le Circuit PL2303 et Le module Bluetooth HC-05.

Le circuit PL2303

L'adaptateur PL-2303 (figure **II.27**) est un accessoire intelligent et pratique pour la connexion de périphériques série RS-232 à l'ordinateur doté de ports USB. Il fournit une connexion de pont avec un DB9 broches connecteur mâle de port série standard à une extrémité et un connecteur de type A USB standard à l'autre bout. Il permet d'une manière simple et facile d'ajouter des connexions série au PC sans avoir à passer par l'insertion d'une carte série et la configuration traditionnelle de port. La figure suivante donne une photo du circuit [15].

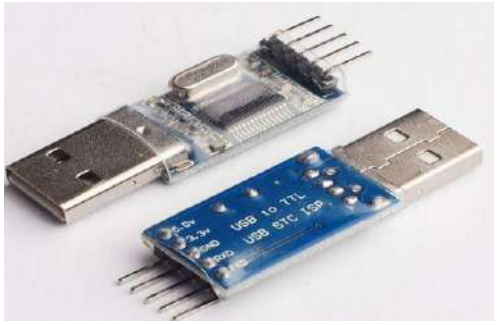


Figure II.27 : Module PL2303 de la communication série

La figure **II.28** montre comment on peut relier l'adaptateur avec le PIC 16F877A.

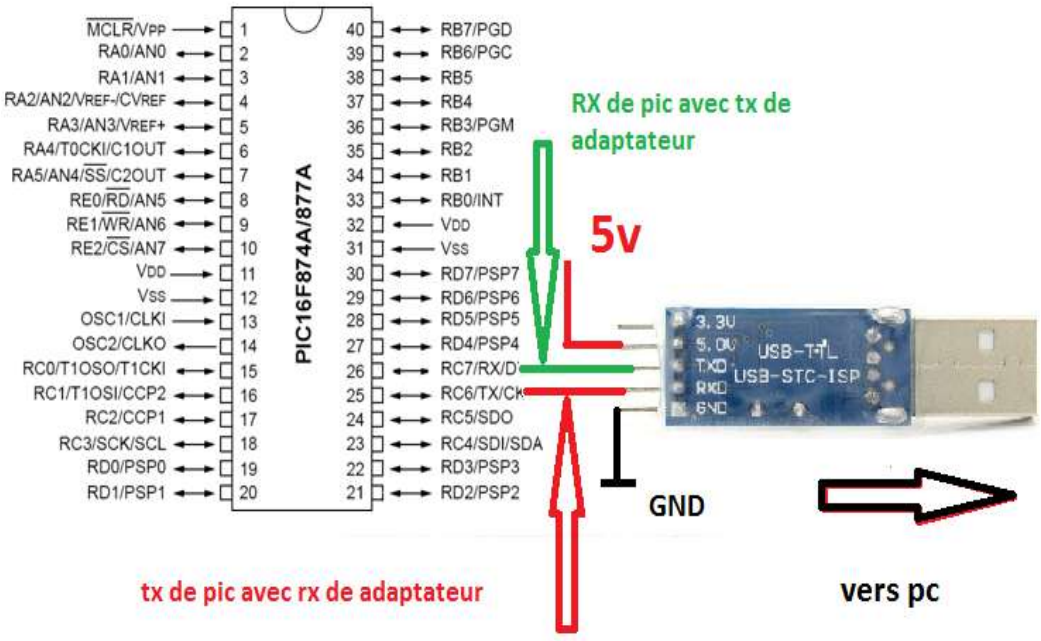


Figure II.28 : Brochage de PL2303 avec le PIC

Le circuit hc-05 (Bluetooth)

Module HC-05 (figure **II.29**) est un outil facile à utiliser Bluetooth SPP (Serial Port Protocole) module, conçu pour une configuration transparente de connexion série sans fil. Module Bluetooth de port série est Bluetooth V2.0 entièrement qualifié + EDR (Enhanced Data Rate) 3Mbps Modulation complète avec émetteur-récepteur radio de 2,4 GHz et la bande de base [15].

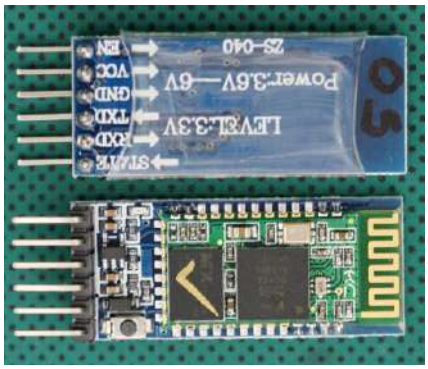


Figure II.29 : module de Bluetooth HC-05

La figure **II.30** montre comment on peut relier le HC05 avec le pic 16F877A.

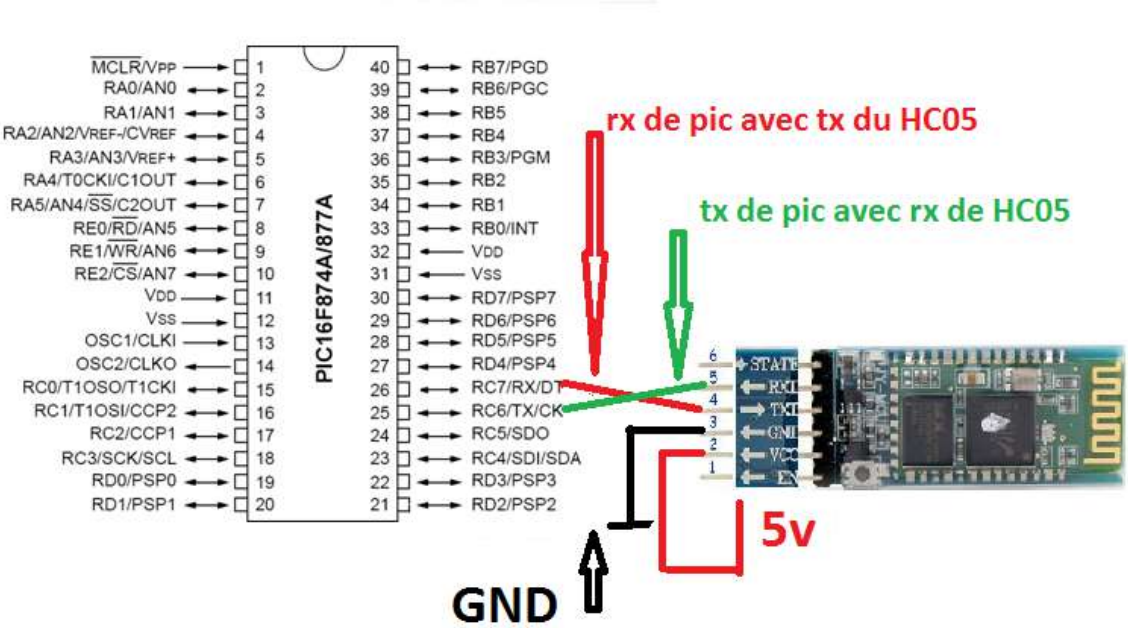


Figure II.30 : Brochage de Bluetooth HC-05

II.4.2.2.4 Programmation du pic

Pour la programmation de PIC nous avons réalisé un circuit programmateur qui s'appelle programmateur USB (figure **II.31**). Ce type de programmateur a l'avantage d'être simple, puisque l'alimentation est tirée du port USB. Le logiciel adapté au circuit hardware (programmateur) est le *WinPic800* qui est distribué gratuitement sur le net.

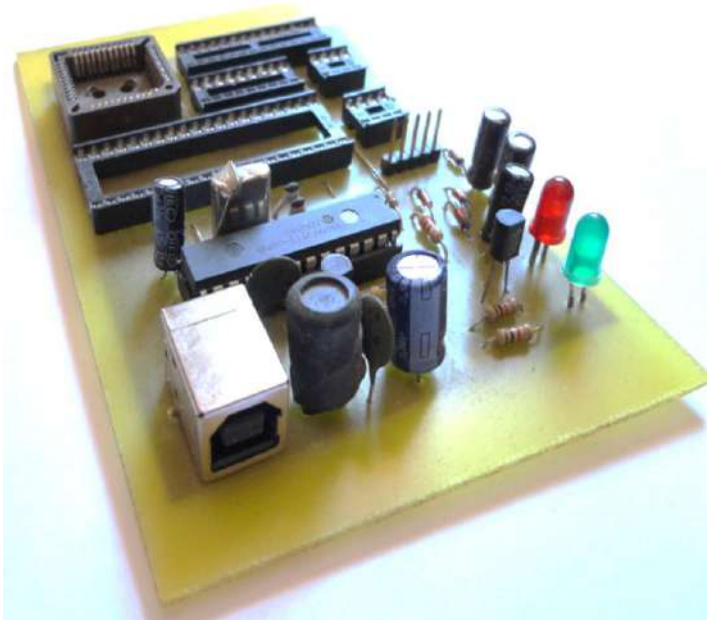


Figure II.31 : Photo réelle de programmateur de PIC

II.5 Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté toutes les parties nécessaires à notre réalisation en passant par la structure mécanique ou la modélisation mathématique est présentée ensuite des détails sont données sur la partie électrique du robot Delta ou les circuits d'alimentation, de commande et de communication sont présentées, la partie software de la commande et le transfert des données au robot feront objet de chapitre suivant.

Chapitre III

SOFTWARES DE COMMANDE DU ROBOT DELTA

III.1 Introduction

Dans ce chapitre le software de commande est présenté en insistant sur deux volets importants qui sont le contrôle des moteurs et le transfert des données.

Avant de passer à la commande de robot delta réel, des simulations ont été réalisées pour tester la partie software du projet.

III.2 Chaine d'acquisition

Le schéma de la figure **III.1** montre la chaine d'acquisition des données qui explique comment les informations (le transfert des trois angles) sont transférées d'un micro-ordinateur ou d'un téléphone portable vers le robot Delta à travers d'un microcontrôleur (PIC 16F877A).

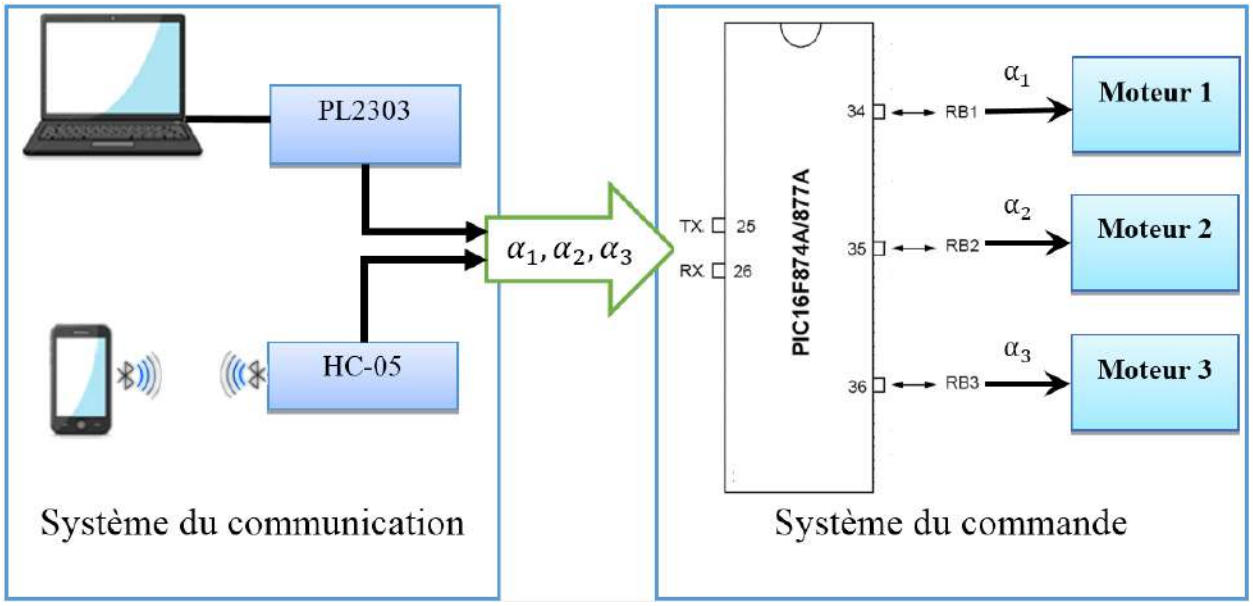


Figure III.1 : Schéma synoptique de la chaine d'acquisition

La commande du robot delta est reçue de la part du pc vers les servomoteurs à travers une chaine acquisition, l'angle de chaque actionneur est calculé par Matlab à travers une interface graphique GUI.

Le transfert de données est réalisé à l'aide de la liaison série soit par un adaptateur USB - RS232 ou bien par Bluetooth pour une communication transparente de connexion série sans fil. Le transfert des données doit être en code ASCII.

Le circuit de commande va convertir le code ASCII vers Décimal et génère le signal de commande qui correspond à l'information obtenu par le Matlab.

Finalement les actionneurs transforme l'information électrique vers une rotation mécanique de l'arbre du moteur l'ensemble de la structure mécanique du robot delta se met en mouvement.

III.3 Etape de commande

III.3.1 Le système de communication

La communication avec le robot peut se faire en deux manières qui sont :

- En utilisant une interface graphique sur Matlab installé sur PC.
- En utilisant un téléphone portable d'un système d'exploitation Androïd avec l'application BlueTerm.

III.3.1.1 Mode câbler par pc

Pour simplifier la commande du robot on a réalisé une interface graphique par Matlab pour rendre la commande aisée et interactive. Cette interface a deux tâches principales:

- Calcul du modèle géométrique inverse (MGI) pour afin d'obtenir les angles de rotation de chaque moteur.
- Envoyer les angles de rotation vers les actionneurs.

Pour calculer le MGI on a utilisé l'équation (**II.15**) du chapitre II :

$$\operatorname{tg}\frac{\alpha_i}{2} = \frac{-2z \mp \sqrt{4z^2+R^2-S^2+Q_i^2\left(1-\frac{R^2}{LA^2}\right)+Q_i\left(-2\frac{RS}{LA}-4R\right)}}{-2R-S-Q_i\left(\frac{R}{LA}-1\right)} \qquad \text{(III.1)}$$

Pour atteindre une certaine position, chaque moteur doit obtenir certain angle, nous avons réalisé un programme qui calcule l'angle pour chaque moteur. Ce programme est implanté dans l'interface graphique, a partir de la GUI (Graphical User Interface) on peut déterminer le volume de travail du robot ainsi des tests sur le robot (vitesse, précision...), le détaille sur les tests qu'on a fait sur le robot va être expliqué dans le dernier chapitre.

III.3.1.2 Création de l'interface

Pour crée notre interface graphique on a suivi par les étapes suivantes :

Lancer le guide de création de GUI en tapant guide la fenêtre de commande MATLAB ou File ➔ New ➔ GUI (Figure **III.2**).

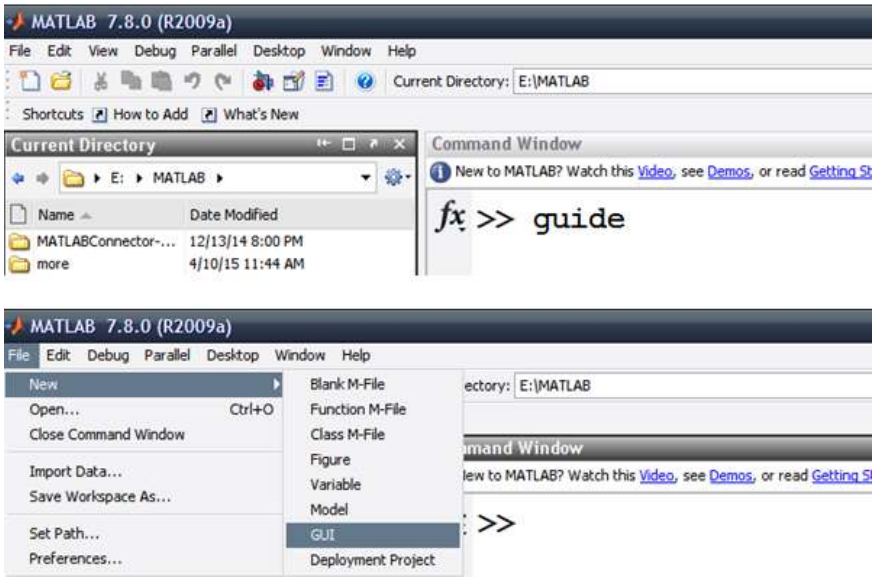


Figure III.2 : L'ouverture de GUIDE

On choisit ''Blank GUI (default)'' et on clique sur ''ok'' (Figure **III.3**).

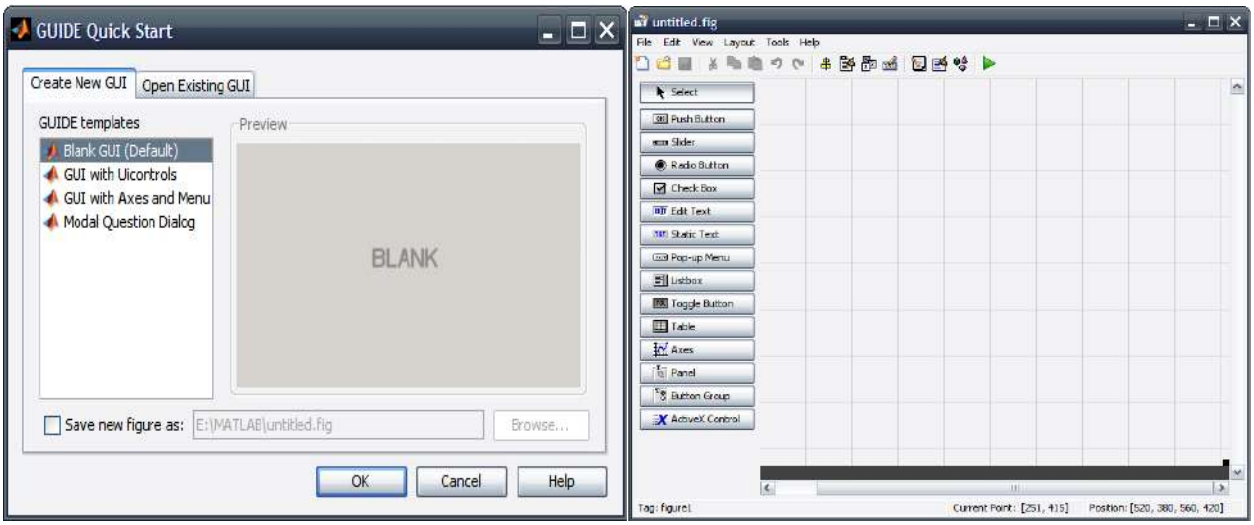


Figure III.3 : le choix de la page vierge du GUIDE

On ajoute les deux boutons poussoirs de l'interface utilisateur. On Sélectionne l'outil bouton poussoir à partir de la palette de composants à gauche de l'éditeur de mise en page et on le fait glisser dans la zone de disposition comme il est montré dans la figure suivante, et après Ajouter le reste des composants de l'interface utilisateur (Figure **III.4**).

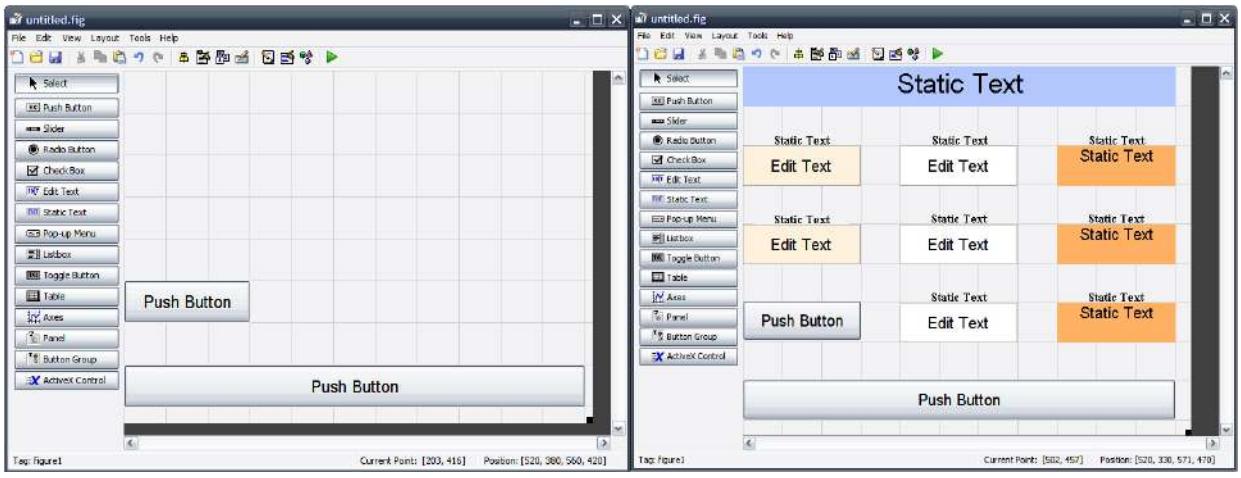


Figure III.4 : l'emplacement des composants dans la page vierge

On nomme chaque compostant, en double cliquant sur le composant, une fenêtre s'ouvrira, on remarque que la case «string» a le même nom que le nom du composant par défaut, dans ce cas on double clique le nom par défaut et on procède aux changements (Figure **III.5**)

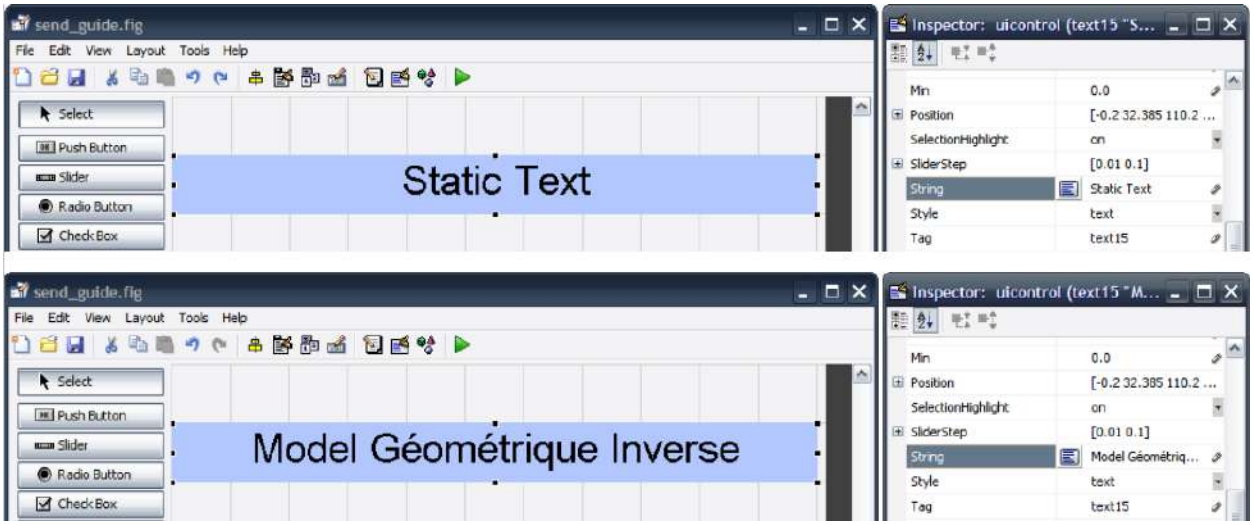


Figure III.5 : Nomination des composantes

On fait la même chose avec le reste des composants, et enfin réalise ce formulaire pour notre GUI.

La Figure **III.6** montre l'interface graphique que nous avons créé pour contrôler le robot, l'interface graphique est basée sur le MGI (Modèle Géométrique Inverse), tout d'abord, nous devons définir le numéro de port de communication en écrivant dans la case de PORT, ensuit en réglant le Baudrate qui est la vitesse de transmission des données, nous avons mis 9600 par défaut, les cases Xp, Yp et Zp ont été définies comme des entrées, nous entrons les coordonnées que nous voulons permettant de tester le robot, puis nous cliquons sur "Envoyer Aux Moteurs ", l'interface calcule et affiche les angles de chaque moteur dans les cases thêta 1 (moteur 1), thêta 2 (moteur 2) et thêta 3 (moteur 3) et enfin envoyer les positions, lorsque on termine avec l'interface graphique on clique sur 'Exit' pour quitter l'interface.

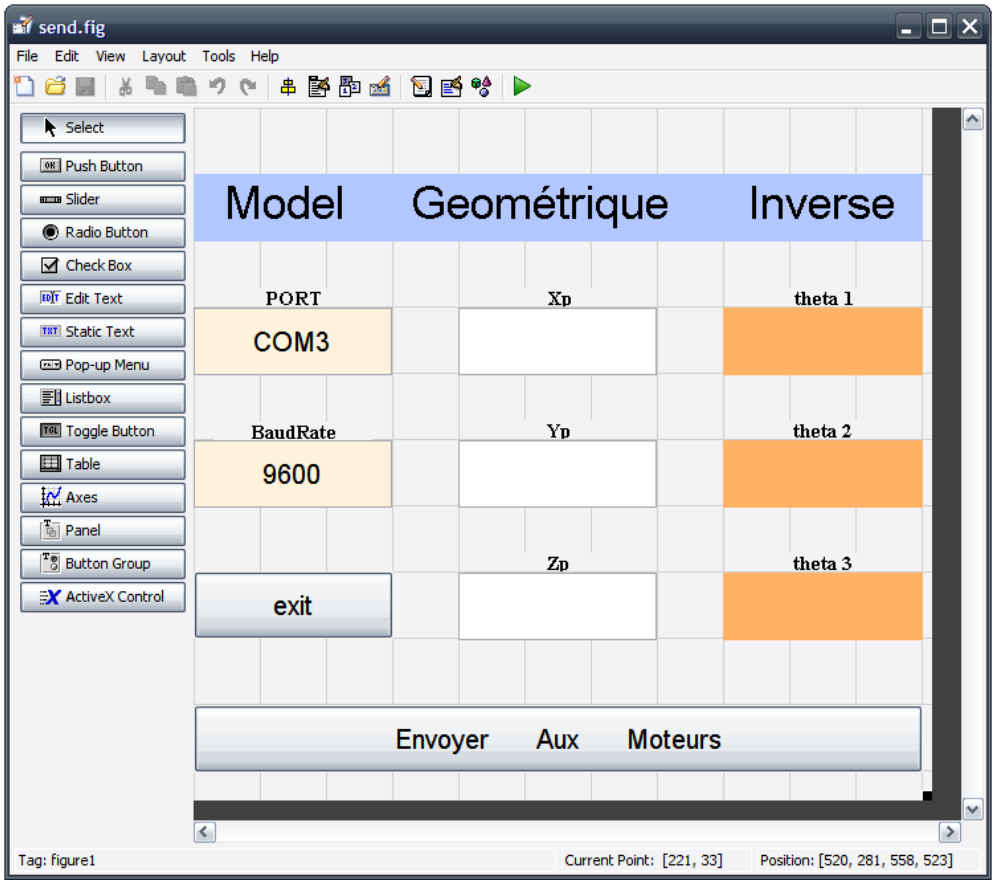


Figure III.6 : La forme finale de GUI

III.3.1.3 Organigramme

La figure **III.7** Donne l'organigramme de fonctionnement de programme réalisé.

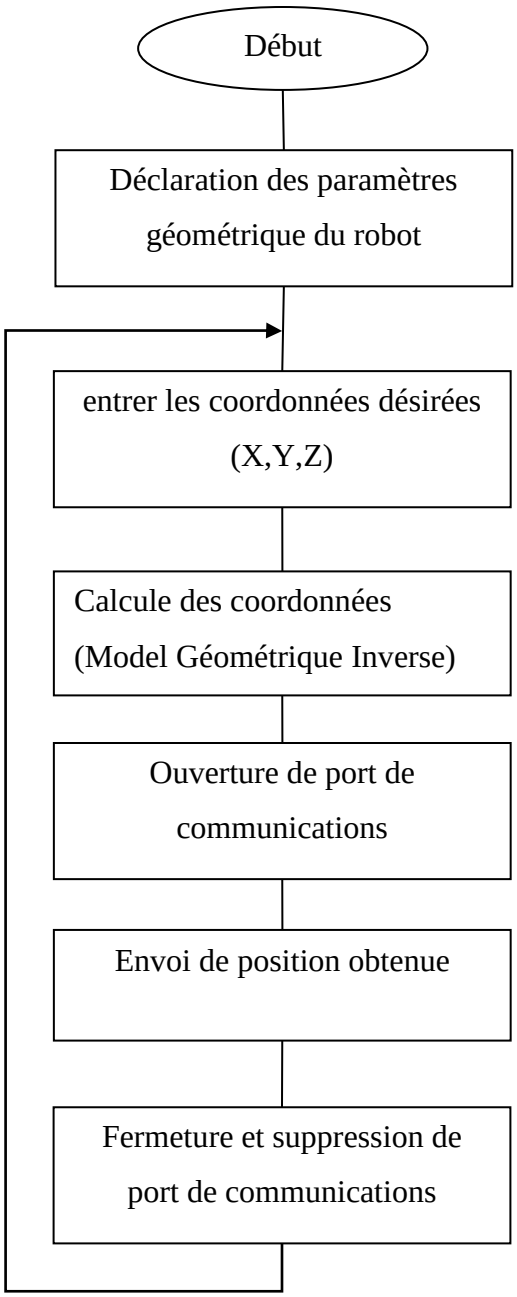


Figure III.7 : Organigramme de commande

III.3.1.4 Programmation

On a déjà mentionné que l'interface a été créée par Matlab, On a commencé notre programme par la déclaration des paramètres géométrique du robot, ces informations seront données pour le calcul de modèle géométrique inverse, maintenant on peut entrer n'importe quel coordonnées cartésiennes. Les coordonnées doivent être dans les limites du volume de travail, c'est par accident quelqu'un entrer des coordonnées qui dépasse les limites, le programme va prend le maximum de la valeur qui est valable dans le volume de travail. C'est des mesures de sécurité qui sont prise par le bon fonctionnement du robot.

Afin d'obtenir les angles pour le mouvement désiré, le programme transfère les données obtenue vers le système de commande en utilisant un Protocol d'envoi, il est basé sur les instructions suivantes :

- Serial : pour choisir le port de communication.
- Set ('baudrate') : pour choisir le baudrate de transfère (la vitesse de transfert).
- Fopen : pour ouvrir le port de communication.
- Fprintf : pour envoyer la donnée.
- Fclose : pour fermer le port de communication.
- Delete : pour supprimer le port de communication.

III.3.2 Mode sans fils par téléphone

Pour ce mode on a utilisé une application Android Blueterm qui est disponible sur PlayStore. Cette application permet d'envoi les commandes par Bluetooth et dans notre cas on a utilisé le Bluetooth terminal pour envoyer directement les angles de rotation (Figure **III.8**).



Figure III.8 : l'interface androide BlueTerm

On peut utiliser une application MATLAB téléchargeable sur PlayStore, on peut donner les coordonnées cartésiennes et l'application délivre directement les angles de rotation. Cela nécessite une License de MATLAB afin de connecter l'application au serveur de MATHWORKS pour le calcul à distance.

III.3.3 Le transfert des données

On a déjà mentionné qu'il y a deux modes de transfert des données vers le système de commande :

- Communication par câble en utilisant l'adaptateur PL2303 (pour le PC).
- Communication sans fil en utilisant un module Bluetooth (HC05) (pour le téléphone).

Les deux modes sont réalisés par le protocole RS232.

III.3.3.1 La liaison RS232 (figure III.9)

La liaison série à la norme RS 232 est utilisée dans tous les domaines de l'informatique. Elle permet la réalisation d'une liaison simple à mettre en œuvre entre 2 équipements. Elle est de type asynchrone, c'est à dire qu'elle ne transmet pas de signal horloge, les deux équipements doivent être configurés avec une même vitesse de transmission identique. Ils doivent par ailleurs utiliser le même protocole **[17]**.

Le PIC est configuré en mode USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter), permet une communication série de type asynchrone sous la norme RS232, avec un ordinateur via ses pattes Rx (réception) et Tx (transmission) branchées sur un port série.

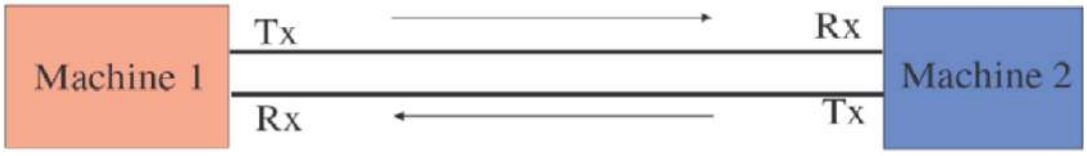


Figure III.9 : la liaison RS232

III.3.3.2 Paramètres de la liaison RS232

L′utilisation du port série, impose la détermination des paramètres de communications sur le port. Ces paramètres sont **[17][19]**:

Débit des données : La vitesse de transmission caractérise le nombre de bits transmis par secondes. Elle s'exprime en bauds. Les valeurs courantes sont entre 300 et 9600 bauds.

Format des trames (Figure **III.10**)

- Au repos, la ligne est à 1. Un passage à 0 indique que la transmission va commencer, c'est le **bit de début.**
- **Les bits de données** sont ensuite transmis sur un format de 7 ou 8 bits.
- **Un bit de parité** peut être ajouté pour vérifier la validité des données.
- **Un ou deux bits** de stop terminent la transmission pour le retour au repos de la ligne.

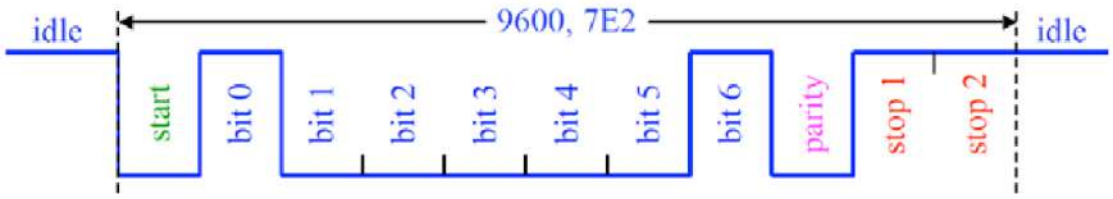


Figure III.10 : Trame de communication série.

Le bit de parité est tel que la somme des bits à l'état 1 est paire, dans le cas contraire, il y a eu une erreur de transmission. Il est aussi possible de travailler avec un nombre impair de bits.

III.3.3.3 Types de liaisons séries

Si on se penche sur le nombre de fils nécessaires pour réaliser une liaison série on peut trouver quatre types:

- **Liaison simplex**

Un système est émetteur, l'autre récepteur. C'est par exemple le cas des émissions radio ou télévision.

- **Liaison half duplex**

Les deux systèmes peuvent être à la fois émetteurs et récepteurs, mais les émissions ne peuvent avoir lieu en même temps.

- **Liaison full duplex**

Elle dispose du même câblage que la liaison half duplex mais les deux interlocuteurs peuvent émettre et recevoir en même temps.

- **Liaison full duplex complète**

Elle a été décrite uniquement pour faire communiquer un ordinateur avec un périphérique en mode *RS232,* et Permet de dialoguer dans les deux sens en même temps et elle possède des fils supplémentaires permettant de contrôler le flux de données.

Donc elle est la plus perfectionné.

III.3.4 Le système de commande

La réception des données est faite à l'aide du PIC qui est l'élément le plus important du circuit de commande, le microcontrôleur va décoder l'information ASCII envoyé du système de communication (Figure **III.11**) et il va la convertir on décimal pour transformer l'information obtenue en un signal impulsionnel (signale MLI) pour contrôler les trois actionneurs (donc le contrôle de robot).

III.3.4.1 Programmation du PIC

Pour la programmation du notre PIC 16F877A on a utilisé le logiciel de programmation MikroC PRO. Le *mikroC* pour PIC est trouvé dans des larges applications pour le développement de systèmes embarqués sur la base de microcontrôleur. Il assure une combinaison de l'environnement de programmation avancée *IDE* (Integrated Development Environment), et d'un vaste ensemble de bibliothèques pour le matériel, de la documentation complète et d'un grand nombre des exemples.

Lorsque l'information des trois angles arrivent sur les broches RC7 et RC6 (Tx et Rx), ce dernier reçoit des données à partir de l'adaptateur ou du Bluetooth et il convertit le code ASCII vers décimale pour générer le signale MLI qui va commander le sens et la direction des servomoteurs, pour générer un signal MLI on utilise les interruptions du timer du PIC **[16][20]**.

Le microcontrôleur 16F877A contient 3 TIMERs :

- Timer0 : 8 bits en mode compteur/timer programmable
- Timer1 : 16 bits en mode compteur/timer programmable
- Timer2 : 8 bits en mode compteur/timer avec un registre de 8 bits programmable

Dans ce projet on s'intéressera au Timer0.

En premier lieu, vous pouvez compter les impulsions reçues sur le pin RA4/TOKI (mode compteur) ou compter le nombre des cycles du microcontrôleur (mode timer). Dans ce projet on utilise l'horloge interne du PIC pour effecteur le comptage, donc on est en mode timer.

La sélection d'un ou l'autre de ces deux modes de fonctionnement (timer/compteur) s'effectue par le bit 5 du registre OPTION : T0CS (Tmr0 Clock Source Select bit).

- T0CS = 1 : Fonctionnement en mode compteur
- T0CS = 0 : Fonctionnement en mode timer

Les registres en relation avec le Timer0 :

TIMER0 : 8 bits en lecture et écriture, c'est le registre qui contient la valeur du timer.

OPTION_REG : C'est le registre qui va nous permettre de choisir le mode fonctionnement du Timer0 et définir le facteur d'échelle, dans ce projet on a choisi un facteur de 256.

INTCON : Registre de configuration des interruptions.

La figure **III.11** donne un schéma explicatif du TIMER0.

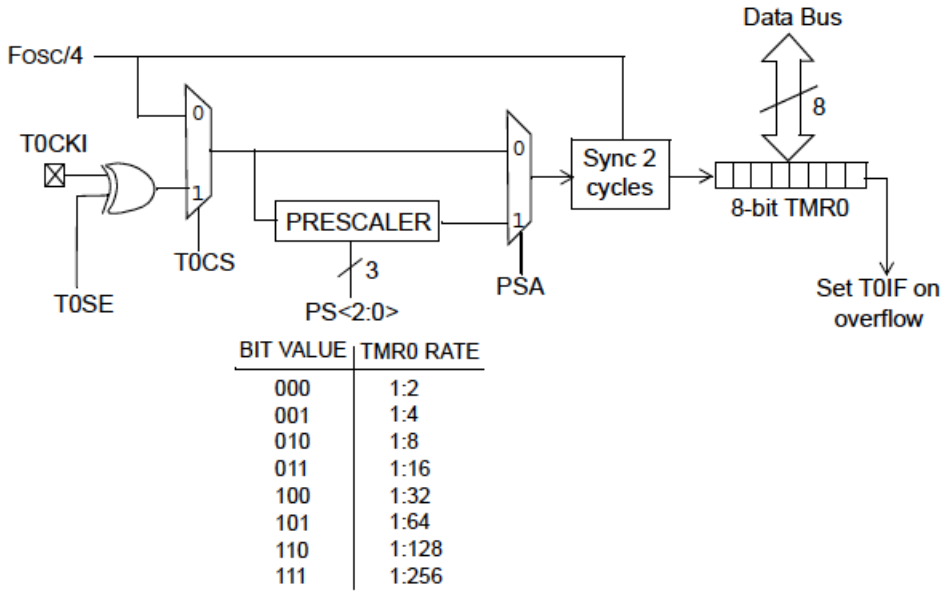


Figure III.12 : Schéma explicatif de TMR0

Maintenant les broches RB1, RB2, RB3 délivrent un signal impulsionnelle de 20 ms pour commander les servomoteurs, Donc la génération de la fréquence de 50Hz est faite à l'aide de TMR0 et pour varier la largeur d'impulsion de ce signal on utilise une fonction intégrée sur la bibliothèque de MikroC dite Delay_Cyc (). Cette fonction permet de faire varier la largeur de l'impulsion du signal de commande de 0,6 ms à 2,4 ms. Pour déplacer l'arbre des trois servomoteurs vers la position désirée :

La figure **III.12** montre la relation entre l'impulsion de commande et l'angle correspondant.

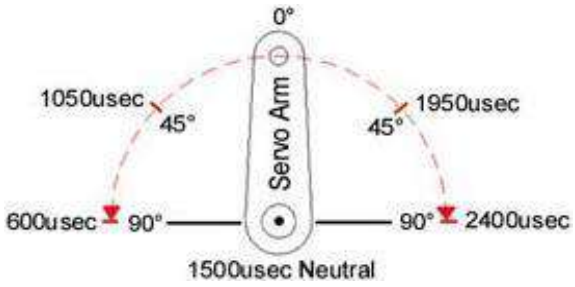


Figure III.13 : La rotation de l'arbre de servomoteur selon les impulsions

La relation entre l'impulsion de la commande et la position peut être donnée par l'équation **(III.2)** et le graphe correspondant est donné par la figure **III.13.**

$$\boldsymbol{impulsion = 0.01 \times (angle) + 1.5} \qquad \textbf{(III.2)}$$

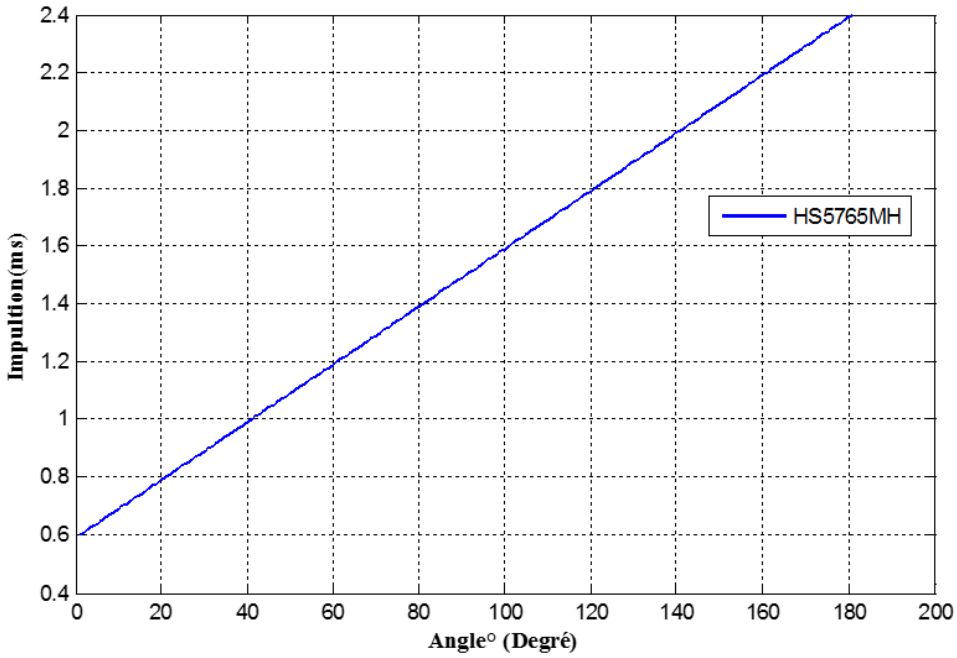


Figure III.14 : Impulsion en fonction des angles du HS5765 MH

L'organigramme de la figure **III.14** montre comment la programmation de PIC est faite :

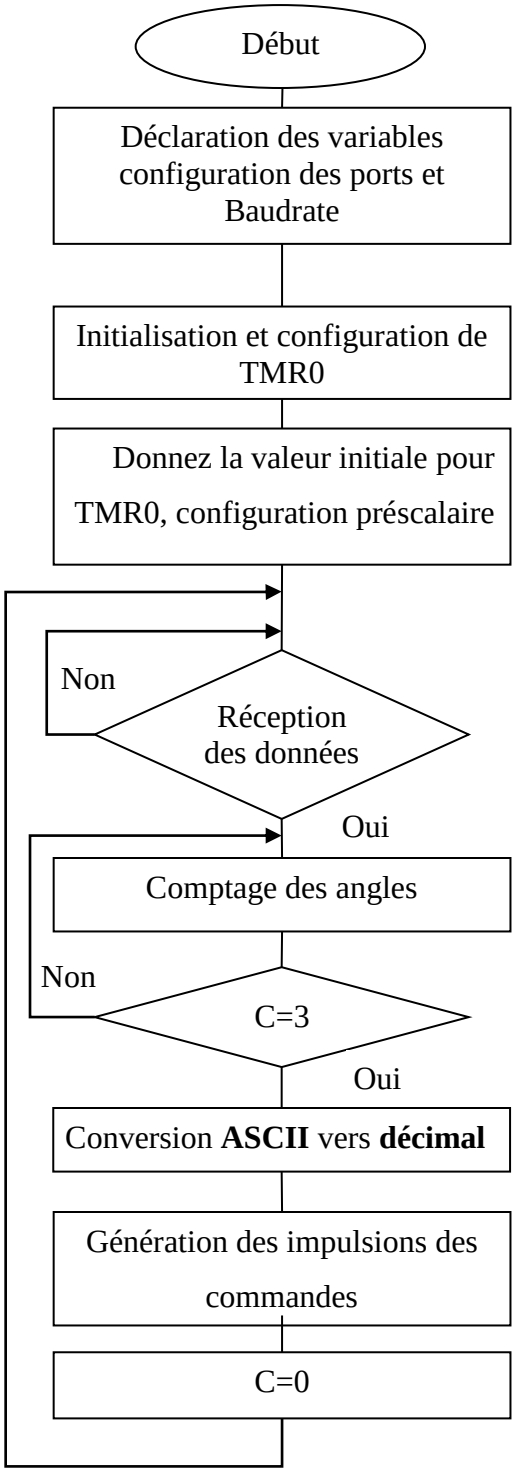


Figure III.15 : Organigramme de programme de PIC

Avant de passer vers la commande réelle du robot on a fait une simulation pour tester le bon fonctionnement du programme, la simulation est faite par le logiciel Proteus.

III.4 Simulation du programme

Sur le schéma de simulation on trouve les trois servomoteurs qui sont reliés avec le PIC sur le port B avec un oscilloscope pour afficher les signaux de commande.

Pour commander les trois moteurs on a utilisé une composante dite Virtual Terminal, cette dernière ouvre une fenêtre noire qui donne l'accès pour entrer les angles pour les moteurs.

La figure **III.15** donne une illustration sur le schéma de simulations.

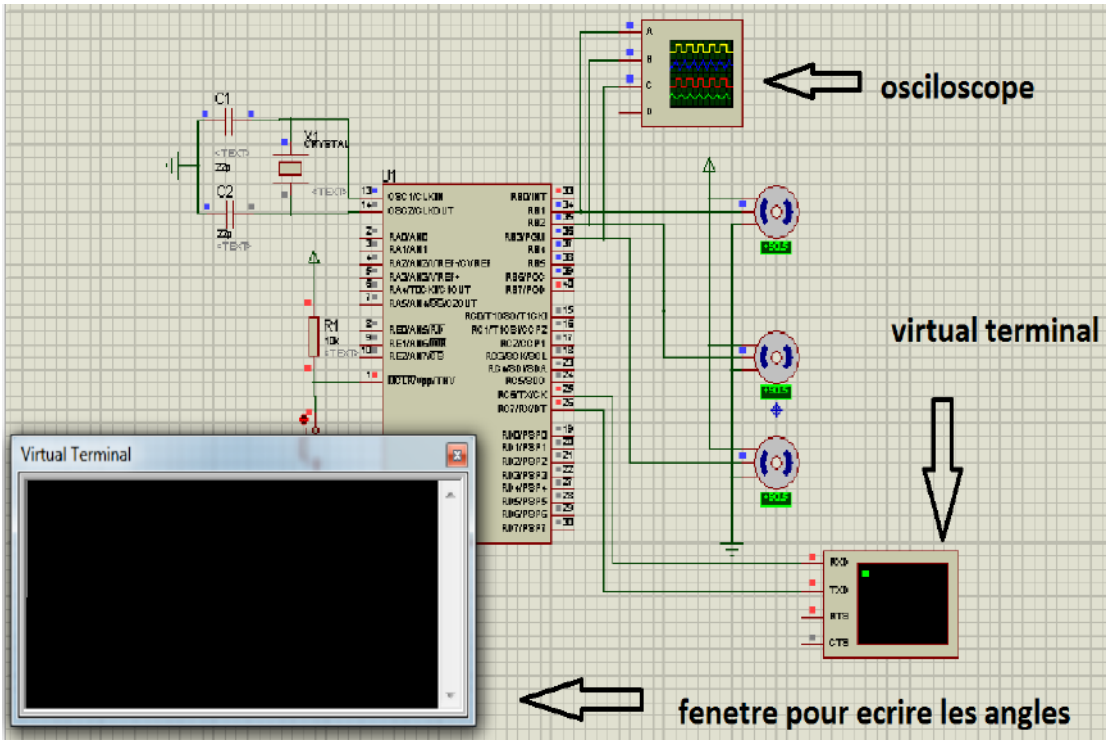


Figure III.16 : schéma de la simulation dans Proteus

III.5 Exécution du programme

La figure **III.16** est le résultat du programme qui montre comment on utilise le Virtual Terminal avec l'affichage des impulsions de commande sur l'oscilloscope.

Pour être proche du système réalisé on a en l'idée d'utiliser le GUI du Matlab avec Proteus.

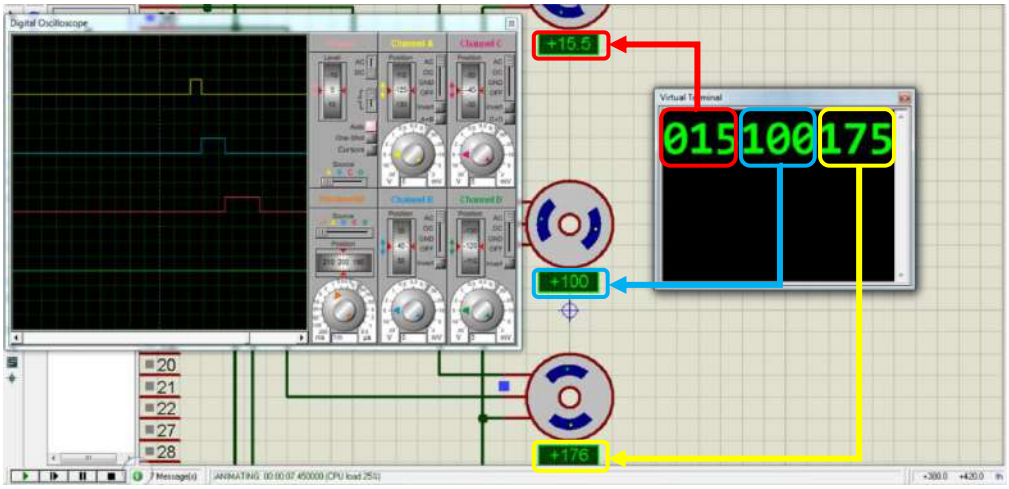


Figure III.17 : les moteurs ont les mêmes positions que le Vitrual Terminal

On remarque que les servomoteurs prennent les mêmes angles qu'on a envoyés par le Virtual Terminal.

III.6 Test de l'interface sur Proteus (figure III.17)

Pour tester le GUI il suffit premièrement de créer un port virtuel pour la transmission de l'information vers Proteus. Pour cela on a besoin d'un logiciel qui relier le MATLAB avec Proteus par la création des COM Ports Virtuel, après les recherches sur internet on a trouvé le logiciel Virtual Serial Port Emulator qui peut faire cette fonction.

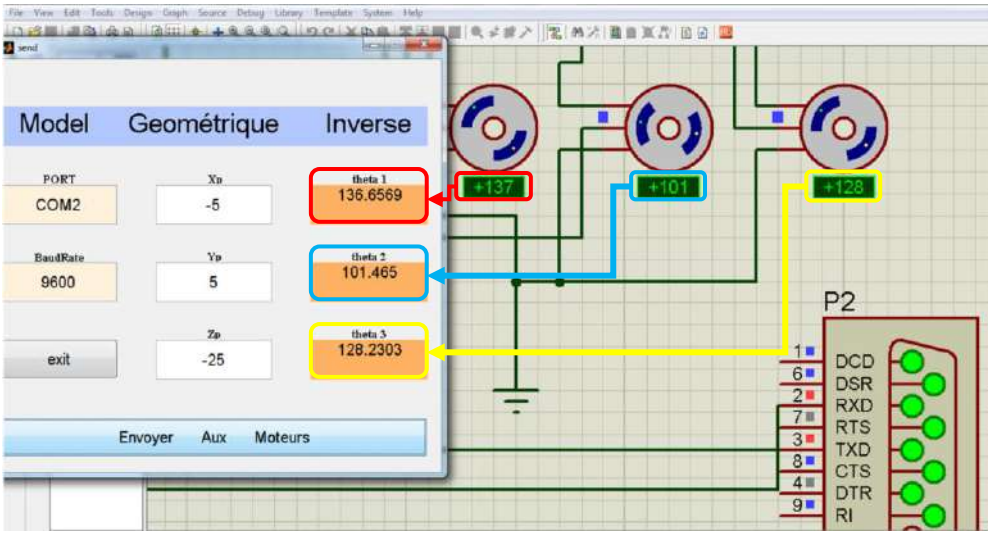


Figure III.18 : teste de GUI de Matlab avec les servomoteurs sur Proteus

On remarque encore que les servomoteurs prennent les mêmes positions de l'interface graphique,

III.7 Conclusion

Ce chapitre présente la partie software de la commande du robot Delta, d'après les tests de simulation sur proteus on peut dire que l'interface qu'on a créée sur Matlab et le programme implanté dans le pic fonctionne correctement donc on va passer à la commande en hardware ce qui va être expliqué dans le chapitre suivant qui est considéré comme le résultat et performance du robot Delta réalisé.

Chapitre IV

TESTS SUR LE ROBOT RÉALISÉ

IV.1 Introduction

Ce chapitre donne une description des caractéristiques du robot delta qu'on a réalisé et les applications du robot dans le domaine industriel, mais notre projet est un prototype et en plus nous étions très limités par le temps et le manque des sources, donc nous ne sommes arrivés à un point à faire des applications simples.

Alors on trouve dans ce chapitre les détails sur ces performances et finalement les applications de notre robot.

IV.2 Performances du robot delta

La Figure **IV.1** montre une photo réelle du robot réalisé. Dans cette partie le robot va être soumis à des tests afin d'en tirer quelques caractéristiques qui sont :

- Le volume de travail
- La vitesse
- La précision
- La charge maximale

Apres avoir donné une application détaillée sur la partie mécanique et électrique du robot, dans ce chapitre on va tester notre robot par la réalisation de plusieurs tâches et on testera aussi les performances du robot Delta réalisé.

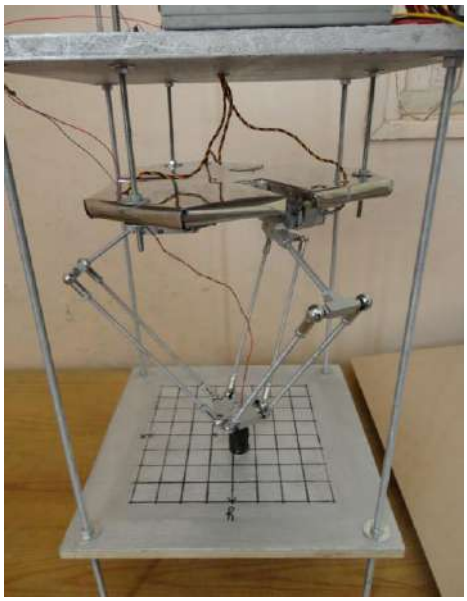


Figure IV.1 : Photo réelle du robot delta réalisé

IV.2.1 Volume de travail

Le volume de travail est la zone que le point *P* centre de la nacelle peut atteindre, le montage d'un outil provoque un décalage du point de travail vers le bas et une translation correspondante du volume de travail **[3]**. Par le fait que les dimensions des constituants sont finies et qu'ils ont des mouvements relatifs restreints, le déplacement de la nacelle est limité à une portion de l'espace. Des limitations sont encore imposées à certains mouvements pour éviter les ambiguïtés lors du calcul des transformations de coordonnées et les singularités mentionnées dans le chapitre I. La détermination de l'espace de travail est faite par des tests on utilisant l'interface graphique.

Dans cet espace, les contraintes qui limitent le mouvement du robot sont de trois types :

- Les limitations sur les coordonnées articulaires : les articulations actives ont un angle minimum et un angle maximum (limitation de la rotation des bras moteur).
- Les butées mécaniques sur les articulations passives : articulation de la rotule.
- Les collisions entre segments.

Tout ça pour éviter les configurations singulières. On a limité les angles γi, βi et αi comme suit :

$$-\gamma_{max} \leq \gamma_i \leq \gamma_{max}$$

Avec $\gamma_i = 30°$

$$30° \leq \alpha_i + \beta_i \leq 160°$$

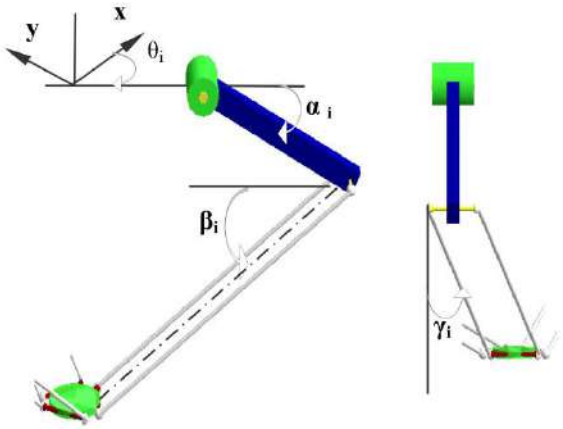


Figure IV.2: Les angles caractéristiques de volume de travail

IV.2.1.1 Hauteur minimale et maximale du robot

Parmi des caractéristiques importantes à prendre en considération est la hauteur minimale (H_{min}) et la hauteur maximale (H_{max}), donc pour notre robot le H_{min} est de 12.5 cm comme il est montré dans la Figure **IV.3** et pour le H_{max} est 32 cm comme il est montré dans la Figure **IV.4**, les deux figures précédentes sont réalisées avec l'utilisation de l'interface graphique qui permet d'afficher les valeurs**.**



Figure IV.3 : Photo réelle de H_{min}

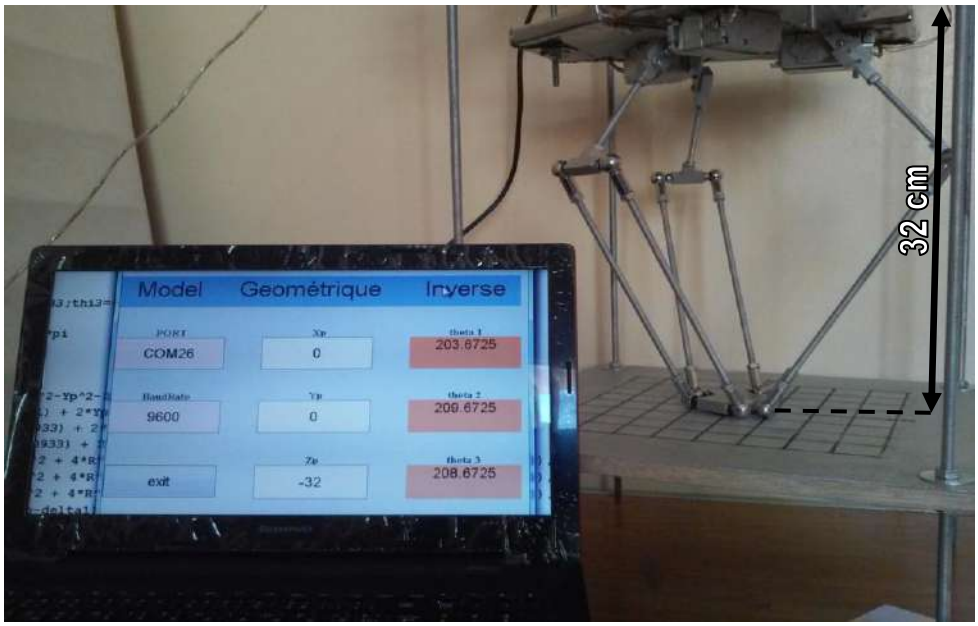


Figure IV.4 : Photo réelle de H_{max}

IV.2.1.2 Le déplacement maximal selon X et Y

Le robot delta peut faire un déplacement maximal selon x et y comme suivant :

- par rapport à l'axe des abscisses : $-10\ \text{cm} \leq x \leq 10\ \text{cm}$
- par rapport à l'axe des ordonner : $-10\ \text{cm} \leq y \leq 10\ \text{cm}$

La figure **IV.5** donne les tests réels obtenus à l'aide de l'interface réalisé.

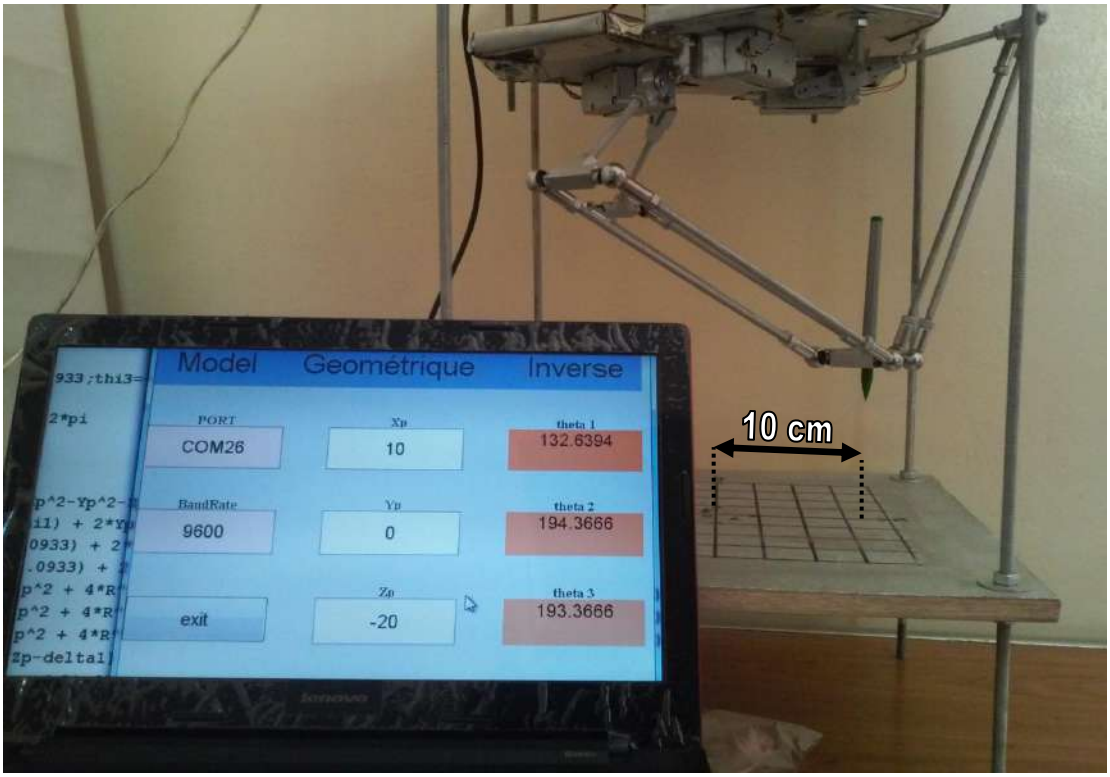


Figure IV.5 : photo réelle de déplacement sur le plan X, Y.

Remarque :

- Le volume de travail obtenu est limité a cause des articulations actives : les servomoteurs ne tourne pas jusqu' à 180 degré car les tests montrent que la rotation maximale des actionneurs ont un angle minimum et un angle maximum de 15 degrés à 160 degrés donc la rotation des bras moteur est très limitée.
- Les rotules utilisées dans notre projet font une rotation de ±30º donc c'est pour cette raison qu'on a limité le volume de travail pour éviter le dépassement des limites et le risque d'endommager les moteurs.

IV.2.2 La vitesse du robot delta

Le calcul de la vitesse du robot implique le calcul de la vitesse des actionneurs, d'après le Datasheet du HS-5765MH on trouve que pour une alimentation de 7.4 volt le moteur fait une rotation de 60 degrés pour un temps de 0.13 seconde.

Pratiquement on a alimenté nos moteurs par 5 volts donc la vitesse va être réduite et on a utilisé une méthode approximative pour mesurer la vitesse du robot consiste à l'utilisation d'une vidéo avec un chronomètre pour calculer le temps de déplacement du robot.

On a trouvé que le robot delta fait un déplacement de 20 cm pour un temps de 0.4 seconde ce qui est équivalant à une vitesse de 0.5 m/s.

La figure **IV.6** montre le calcul de la vitesse obtenu par le chronomètre.

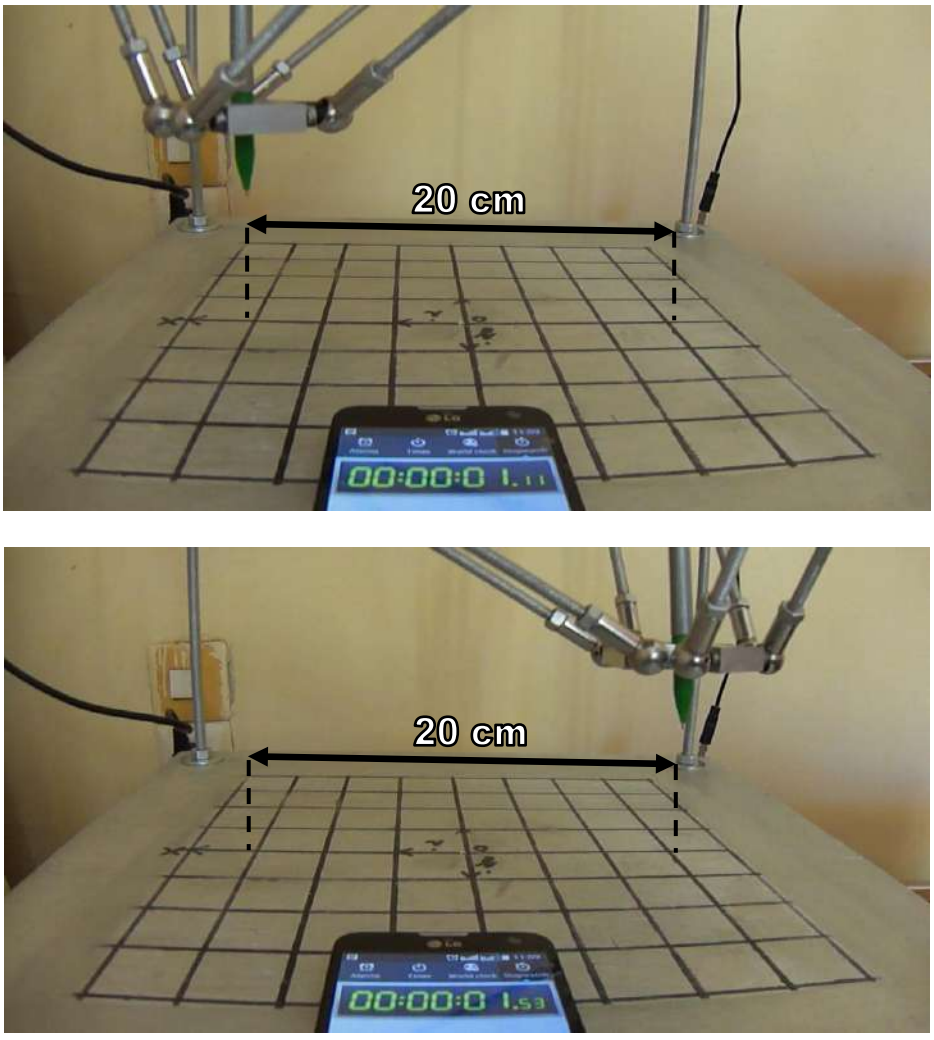


Figure IV.6 : détermination de la vitesse du robot

IV.2.3 La précision

Pour déterminer la précision du robot delta il suffit de déterminer la précision de chaque actionneur.

Le Datasheet du Servomoteur ne donne aucune information sur le Dead band du servomoteur, car elle a une relation directe avec la précision du servomoteur, donc on a pris le Deadband = 10 µs comme une maximum erreur de la rotation, ce qui est équivalent à un déplacement de un degré.

On utilise l'interface pour calculer la petite variation de la position que peut faire le robot et on a trouvé que la valeur maximale de l'erreur atteint 3mm.

IV.2.4 La charge maximale

Théoriquement pour calculer la charge maximale qui le robot peut porter, on calcule le couple maximal du l'actionneur, donc du servomoteur.

Dans notre projet, l'ensemble de la construction pèse 600 grammes, et la longueur de chaque bras atteint 13 cm, avec un calcul simple, nous trouvons que le moteur peut soulever un poids de 1.92 Kg (Figure **IV.7**).

Sachant que le robot delta contient trois actionneurs ce qui implique une charge maximale de $\mathbf{1.92 * 3Kg - 600\ g = 5.160Kg.}$

Donc la charge maximale qui le robot peut porter est de $5.160Kg$.

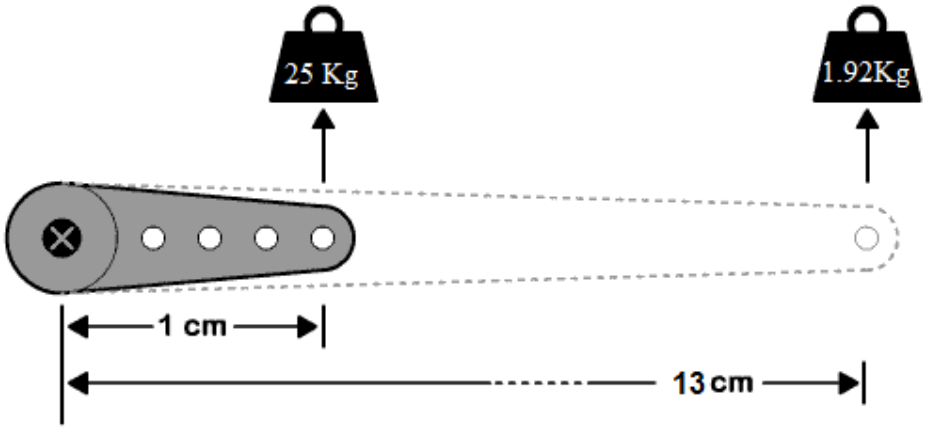


Figure IV.7 : Calcule de la charge maximale pour un moteur

Selon le calcul de la charge maximale du robot nous avons fait un test de charge utilisant un poids de 1.037Kg (figure **IV.8**).



Figure IV.8 : mesure du poids de test

Le poids est accroché à la nacelle du robot comme il est montré dans la figure **IV.9**. Nous avons remarqué que le robot a facilement levé le poids, nous avons choisi un poids de 1Kg juste comme une procédure de sécurité pour éviter le risque d'endommage la construction mécanique. C'est-à-dire que le robot peut élever un poids supérieurs.

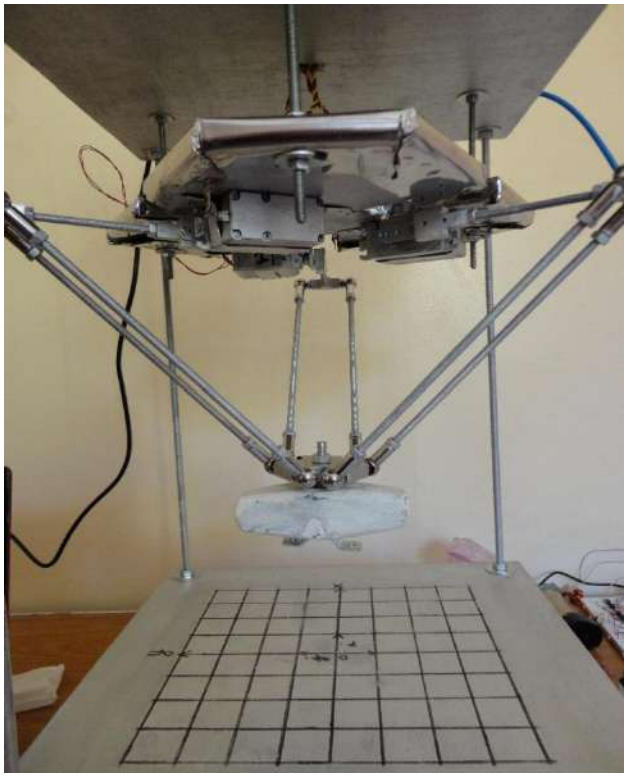


Figure IV.9 : le poids accroché à la nacelle du robot

IV.3 Applications pratiques du robot

IV.3.1 Pick and place:

Cette application est très utilisée en industrie qui s'appelle PICK AND PLACE (prenez et placez), elle prend les pièces métalliques à l'aide d'un électro-aimant qui est fixé dans la nacelle (considérer comme un effecteur de l'organe terminal) et stocke ces pièces qui sont positionnées dans le plans X,Y dans une boite de stockage.

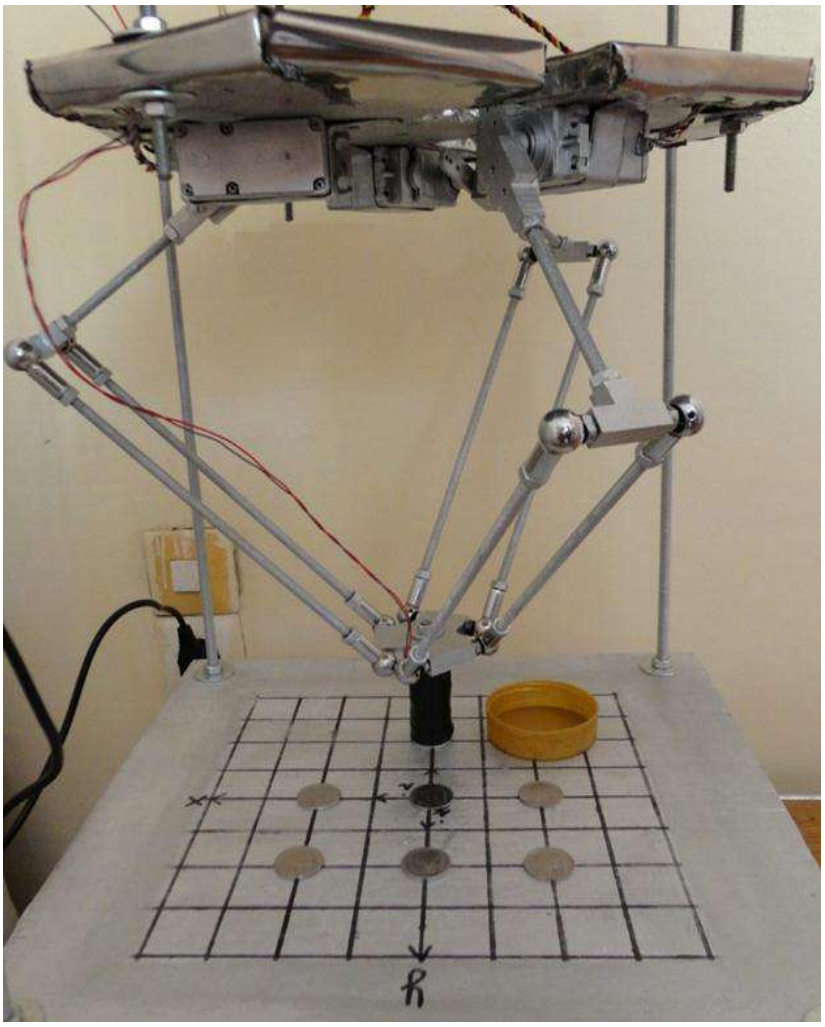


Figure IV.10 : application de Pick And Place

La figure **IV.10** la disposition des 6 pièces dans le plan X,Y. la tâche du robot est de déplacer toutes les 6 pièces et les mettre dans la boite, le robot va terminer la tâche durant un temps de 8 secondes (temps nécessaire pour le stockage de toutes les pièces dans le boitier).

IV.3.2 Synchronisation du Robot delta avec la mini usine

Cette application a été faite au niveau du laboratoire de notre université, nous avons relié le robot avec la mini-usine (ED-4031 Factory Automation Trainer) en utilisant le détecteur de pièces, le détecteur est fixé à côté d'un tapis roulant comme il est indiqué dans la figure **IV.11**. Le tapis ramène des objets, (Nous avons choisi les objets métalliques, car notre effecteur est un électro-aimant), une fois le détecteur détecte un objet, le robot va le prendre et le place dans la boîte noire (boîte de stockage), et revient à la position initiale et attend un autre objet. Ceci montre la synchronisation du robot avec la mini-usine.

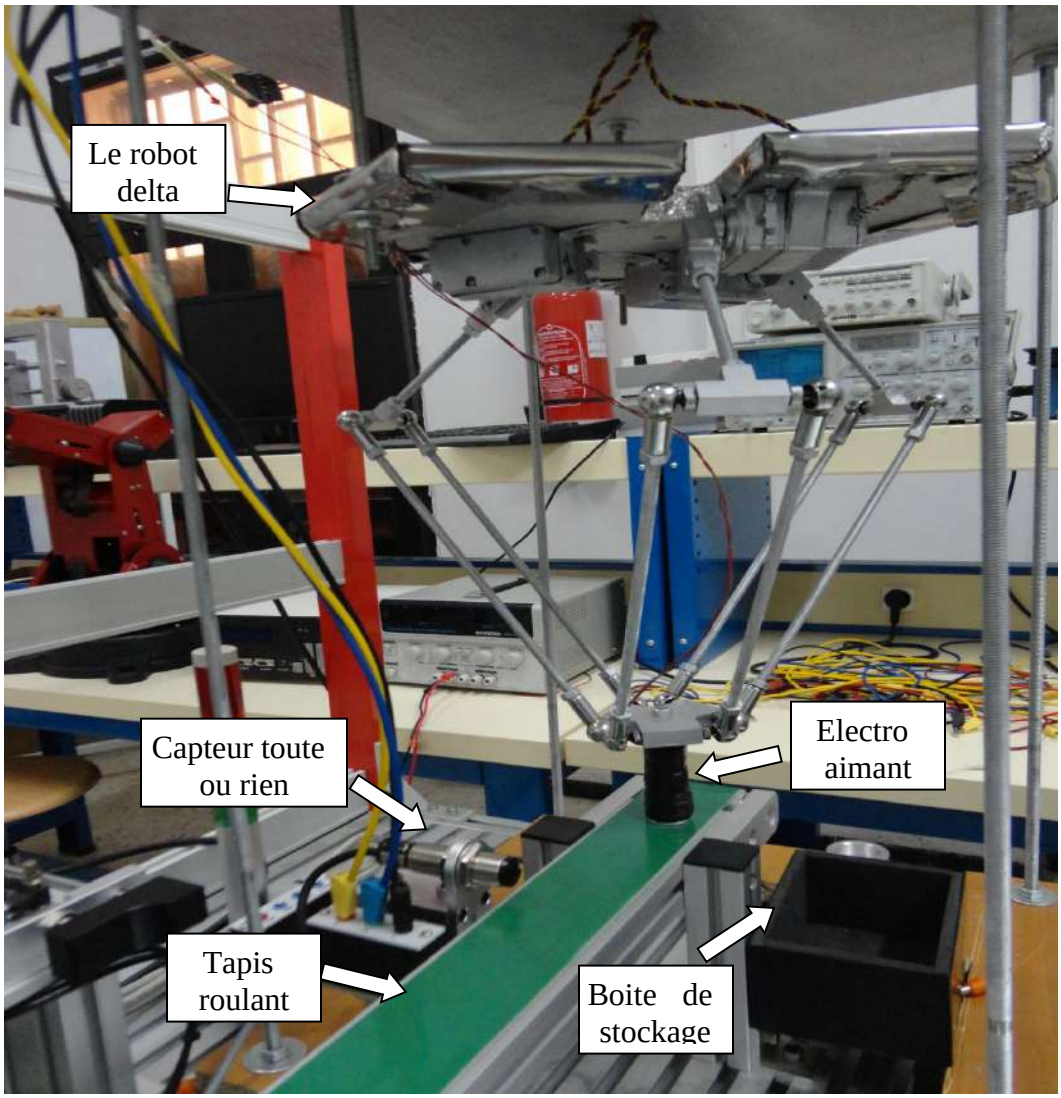


Figure IV.11 : le robot delta relie avec le mini usine pour une tâche de synchronisation

IV.3.3 Le Robot Delta sur la réalisation des formes 2D

Nous avons aussi réussi à utiliser le robot pour réaliser des formes en deux dimensions, tout ce que nous devons faire est d'insérer l'équation mathématique de la forme. Cette application est très pratique en l'industrie, surtout pour des tâches 2D telles que : soudure, peinture, dessin sur matériaux spéciaux comme la céramique, marbre etc.

Comme un manipulateur qui fait des tâches en 2D comme soudure peinture, dessin sur les matériaux spéciaux.

De certains des dessins en 2D que le robot peut tirer, nous avons choisi le trèfle de quatre feuilles et l'étoile comme indiqué dans la figure **IV.12**.

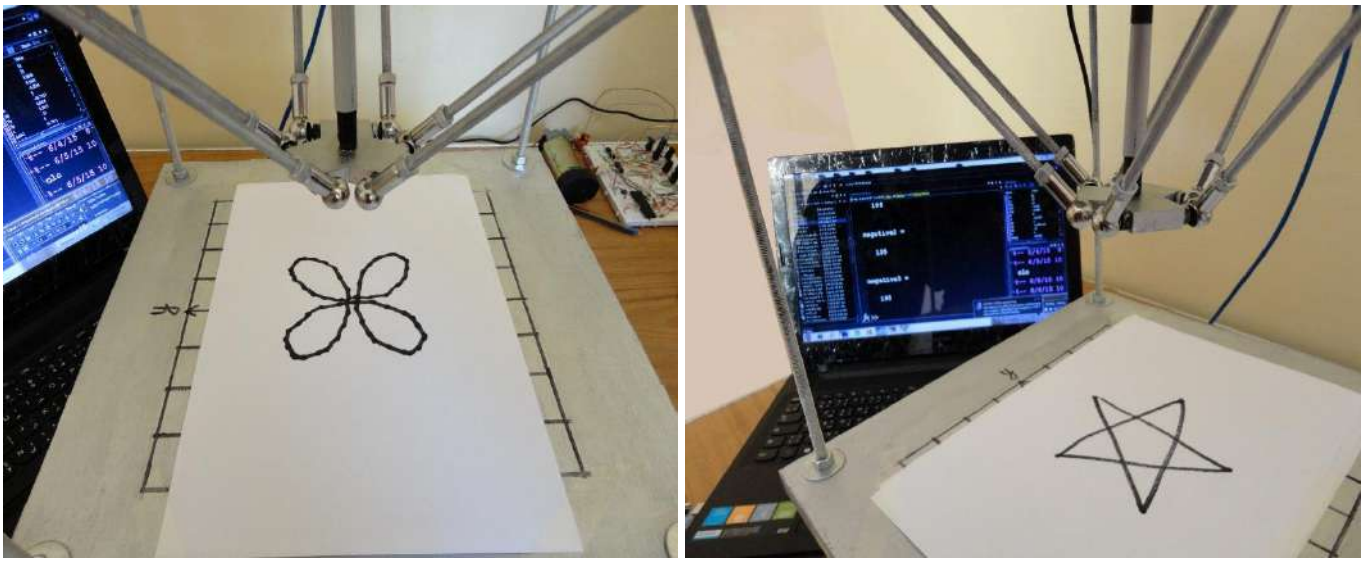


Figure IV.12 : dessin de trèfle et l'étoile

IV.4 Conclusion

Quelques caractéristiques ont été données montrant les performances du robot réalisé malgré les moyens limités qu'on avait à notre disposition surtout pour les composants mécaniques et la précision des servomoteurs. D'après les tests réalisés, le robot montre de bonne performance et peut être utilisé pour plusieurs tâches.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Finalement, le robot delta fonctionne parfaitement, Ceci est réalisé au prix d'un effort énorme, commencent par la réalisation de la structure mécanique du robot vers la réalisation du circuit de commande et l'interface graphique sur Matlab, en passant par les aspects suivants :

Aspect mécanique

- ✓ Etude du robot delta du point de vue réalisation mécanique : la nacelle, les bras, la base, le raccordement des pièces entre eux.
- ✓ Etude pratique sur le robot du point de vue test des performances obtenu :
  - La vitesse du robot : 0.5 m/s.
  - La précision : erreur de 1mm à 3mm.
  - La charge maximale qui porter le robot : dépasse 1Kg.

Aspect électronique

- ✓ La simulation et la réalisation de la carte de commande du robot en utilisant le logiciel PROTEUS.
- ✓ Etude théorique et pratique sur le circuit PL2303 et HC05 pour la communication avec le PC.
- ✓ Etude théorique et pratique sur le microcontrôleur pic 16F877A.
- ✓ Etude théorique sur le principe de la commande des servomoteurs.

Aspect informatique

- ✓ Programmation de la carte électronique pour la commande des servomoteurs en utilisant le compilateur MikroC pro pour PIC.
- ✓ Etude théorique et pratique sur la communication série pour l'exécution des commandes transmises par le PC et création d'une interface graphique en Matlab permettant de commander le robot
- ✓ Etudes théorique et pratique pour commander le module Bluetooth et utilisation du logiciel Teraterm pour changer l'Etat du Bluetooth (maitre vers esclave ou inverse).
- ✓ Utilisation d'une application androïde pour commander le robot par téléphone portable (sans fil) qui dit BlueTerm.

- ✓ Utilisation du logiciel Virtual Serial Port Emulator pour crée des ports virtuels entre Proteus et Matlab pour tester l'interface graphique.

Aspect mathématique

- ✓ Etude théorique sur les modèles géométrique du robot delta.
- ✓ Etude théorique sur le principe d'une imprimante 2D : déclaration des équations mathématique dans Matlab qui permet de déplacer l'organe terminale sur une trajectoire qui va être déterminé par des fonction mathématiques.

On peut dire que les résultats sur les tests des caractéristiques du robot sont acceptables mais de précision est de 3mm ceci est due à l'erreur de construction des pièces et l'erreur de fabrication des rotules ainsi que la vibration des tiges constituant le robot.

En effet ce projet de réalisation a été une expérience très fructueuse, bénéfique et enrichissante. Il nous a permis d'exploiter les différentes notions théoriques pour le contrôle du robot. Il nous a permis également de mettre un premier pas dans le monde pratique de la robotique.

Ce projet nous avons mis directement en contact avec des langages de programmation puissants tel que le langage C, ainsi que différents logiciels spécialisés dans ce domaine qui sont cité dans les paragraphes présidentes.

En fin nous espérons qu'on va améliorer notre travail en future. Comme perspectives nous proposons :

- ✓ Amélioration de la précision et la rapidité du robot.
- ✓ Commander le robot par des technique de l'intelligence artificielle telle que logique floue, réseau de neurone, …
- ✓ Amélioration de l'application Androïd pour commander le robot.
- ✓ La commande par des caméras (on utilisant le traitement d'image).
- ✓ imprimante pour les formes 3D.

Bibliographie

[1] Toufik BENTALEB ‘Contribution à l’étalonnage géométrique des robots industriels’ thèse de Magister, filière : robotique, automatique et informatique industrielle, école militaire de polytechnique, Alger, Algérie 2006.

[2] Toufik BENTALEB, Belouchrani Med El Amine, HENINI Noureddine, ‘Analyse de l'Exactitude d’un Robot Parallèle Delta’, 4th International Conference on Computer Integrated Manufacturing CIP’2007.

[3] R. Clavel, “Robots parallèles”. Techniques de l’Ingénieur, Art. 7710, Vol. S,

Juillet 1994.

[4] R. Clavel, “Conception d’un robot parallèle rapide à 4 degrés de liberté”, Thèse

Doctorat N°925, Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), 1991.

[5] Cherfia Abdelhakim, « analyse cinématique des robots parallèles, thèse de Doctorat, filière : génie mécanique », université de Mentouri Constantine 2007.

[6] Saadi Ramzy et Salhi nassereddine ‘réalisation de carte à microcontrôleur pour le contrôle de bras manipulateur via un PC’, filière : électronique, thèse master, université de Mohammed khaidar Biskra promotion 2009/2010.

[7] David Corbel ‘‘Contribution à l'amélioration de la précision des robots parallèles’’ thèse de doctorat, Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc, 2008

[8] site ABB, lien http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-2600, date de dernière consultation : 10/06/2015.

[9] site New Port, lien http://www.newport.com/HXP100-Series-Standard-exapods/848797/1033/info.aspx, date de dernière consultation : 10/06/2015.

[10] site ABB, lien http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-360, date de dernière consultation : 10/06/2015.

[11] Site Servo city, lien https://www.servocity.com/, date de dernière consultation : 10/06/2015.

[12] Mohsen Shahinpoor, ‘‘Article Kinematics of a parallel-serial (Hybrid) manipulator’’ Journal of Robotic Systems Division of Engineering and Applied Science California Institute of Technology Pasadena, CA 1992.

[13] site Direct Industry, lien http://www.directindustry.com, date de dernière consultation : 10/06/2015.

[14] site india mart, lien http://www.indiamart.com/inmee-co/screw-jacks-rnf-series-cubic-gearbox-type.html, date de dernière consultation : 10/06/2015.

[15] site Ali Express, site www.aliexpress.com, date dernière consultation : 10/06/2015.

[16] Milan verle, livre ‘‘PIC mictronrollers Programming in C’’, Deuxieme Edition Mikroelektronika, 2012.

[17] Ying Bai, livre ‘’The Windows Serial Port Programming Handbook’’ Première Edition CRC Press LLC, USA 2005.

[18] Riazollah Firoozian, livre “Servo Motors and Industrial Control Theory”, Springer première edition 2009.

[19] Jan Axelson, livre “Serial Port Complete” , Lakeview Research LLC Madison 2007.

[20] PIC 16F877A DataSheet.

Annexe

1 Servomoteur HS 5765MH

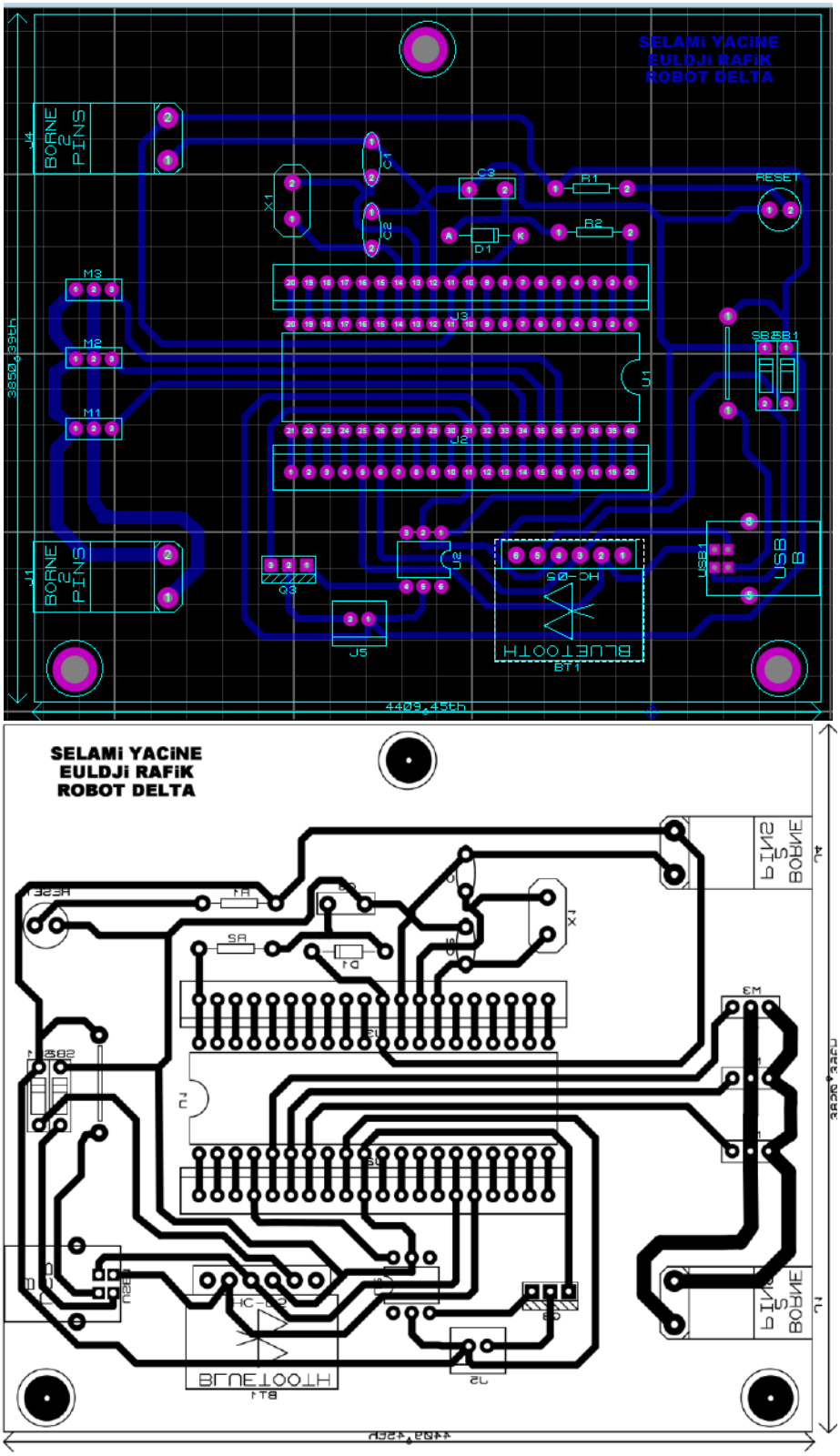
1.1 Caractéristiques

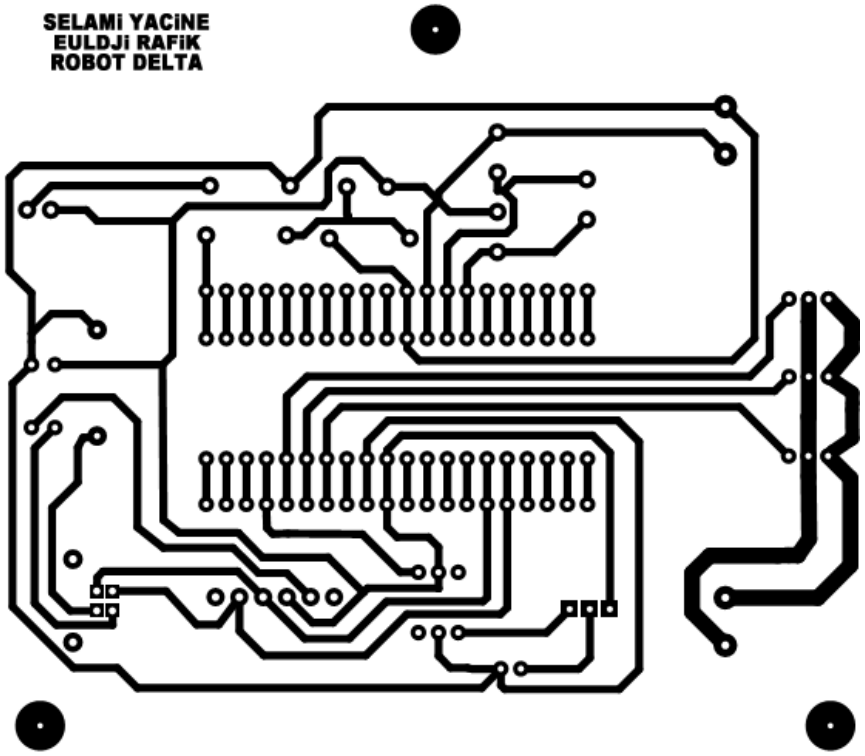
- Amplificateur numérique -Programmable avec un circuit Mosfet.
- Durable métal résistant Gears avec 1 métal-résine de vitesse
- Triple roulements à billes
- Métal Servobras Inclus
- L'eau et étanche à la poussière
- Super efficace dissipateur de chaleur
- Corne rigide avec anneau métal

1.2 Spécifications détaillées

- Système de contrôle: + Pulse Width Control 1500usec Neutre
- Pulse requis: 3-5 Volt crête à crête d'onde carrée
- Type d'amplificateur: Amplificateur numérique & Mosfet pilote
- Tension de fonctionnement: 6,0 à 7,4 Volts
- Température de fonctionnement: -20 à +60 degrés C
- Vitesse d'exploitation (6.0V): 0.16sec / 60 ° au pas de charge
- Vitesse d'exploitation (7.4V): 0.13sec / 60 ° au pas de charge
- Stall couple (6.0V): 277,74 oz / in. (20 kg.cm)
- Stall couple (7.4V): 347,17 oz / in. (25 kg.cm)
- Angle de fonctionnement: 40 Deg. une impulsion de côté voyager 400usec
- Rotation Continue modifiable: Oui
- Type de moteur: 3 pôles de ferrite
- Potentiomètre dur: 2-Slider, Direct Drive
- Type de roulement: Triple Roulement à billes
- Type d'engin: 1 Résine, 3 Metal Gears
- Connecteur de Fil Longueur: 11.8 "(300mm)
- Connecteur Calibre de fil: 25AWG
- Dimensions: 2.32 "x 1.14" x 2.04 "(59 x 29 x 52mm)
- Poids: 6,07 oz (172g)

2 Circuit imprimé de la carte de commande





2.1 Liste des composantes

composantes	Nombre
PIC 16F877A	1
Quartz 4 Mhz	1
Résistance 100 Ohm	1
Résistance 1K Ohm	1
Capacité céramique 22pF	2
Capacité 100nF	1
Diode 1N4148	1
Bouton poussoir	1
Switch	1
USB-B (femelle)	1
Optocoupleur (CNY17_3)	1
Transitor TIP122	1
Bornier	2
Bluetooth HC-05	1
Adaptateur PL2303	1

2.2 PIC16F877A datasheet

MICROCHIP

PIC16F87XA

28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

High-Performance RISC CPU:

- Only 35 single-word instructions to learn
- All single-cycle instructions except for program branches, which are two-cycle
- Operating speed: DC – 20 MHz clock input
  DC – 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of Flash Program Memory, Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM), Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to other 28-pin or 40/44-pin PIC16CXXX and PIC16FXXX microcontrollers

Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during Sleep via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master mode) and I^2C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) – 8 bits wide with external $\overline{RD}$, $\overline{WR}$ and $\overline{CS}$ controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

Analog Features:

- 10-bit, up to 8-channel Analog-to-Digital Converter (A/D)
- Brown-out Reset (BOR)
- Analog Comparator module with:
  - Two analog comparators
  - Programmable on-chip voltage reference (V_{REF}) module
  - Programmable input multiplexing from device inputs and internal voltage reference
  - Comparator outputs are externally accessible

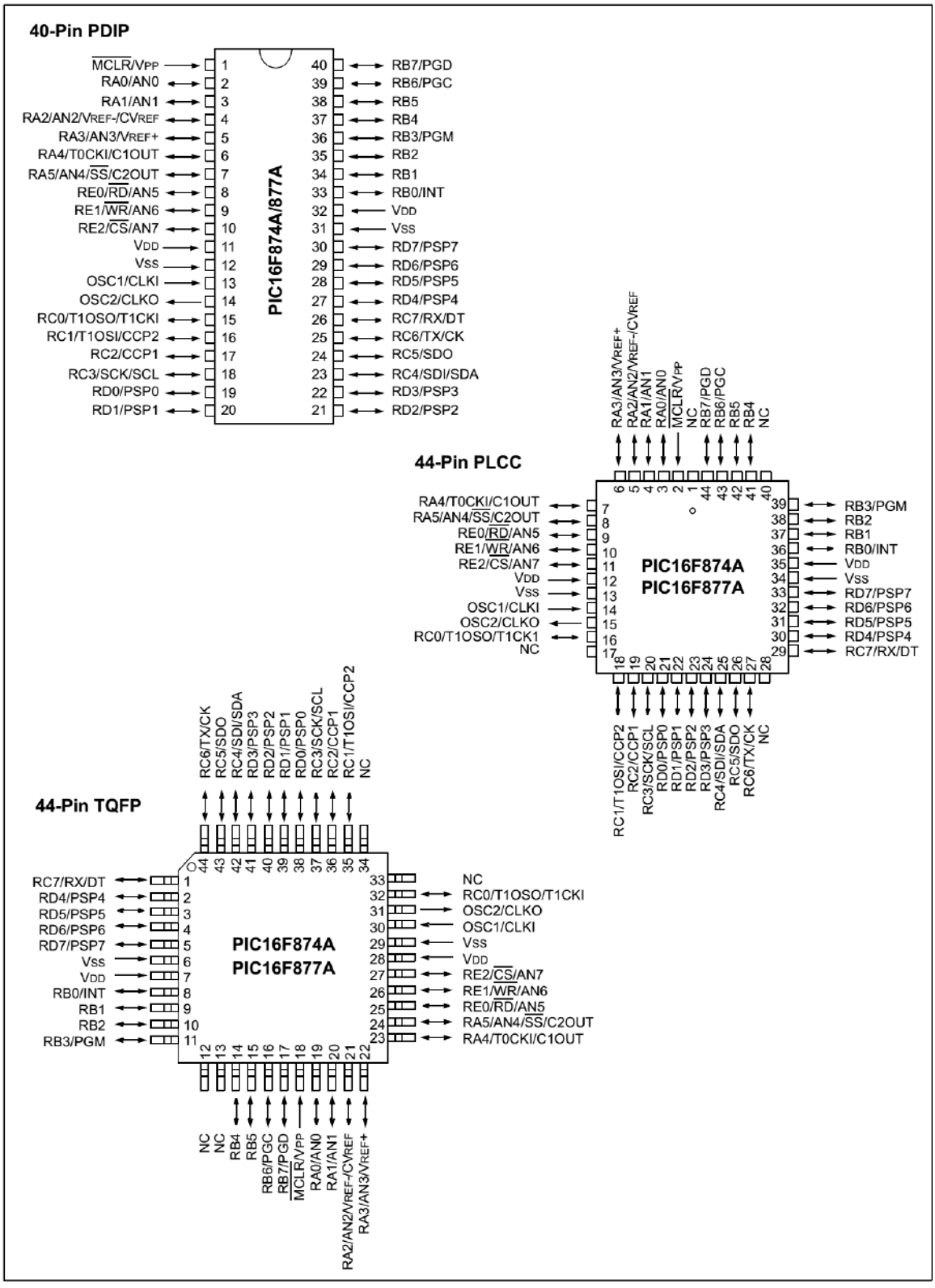
Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory typical
- Data EEPROM Retention > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving Sleep mode
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

CMOS Technology:

- Low-power, high-speed Flash/EEPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption

Device	Program Memory		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit	Comparators
	Bytes	# Single Word Instructions						SPI	Master I^2C			
PIC16F873A	7.2K	4096	192	128	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F874A	7.2K	4096	192	128	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F877A	14.3K	8192	368	256	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2


40-Pin PDIP
PIC16F874A/877A
MCLR/VPP 1
RA0/AN0 2
RA1/AN1 3
RA2/AN2/VREF-/CVREF 4
RA3/AN3/VREF+ 5
RA4/T0CKI/C1OUT 6
RA5/AN4/SS/C2OUT 7
RE0/RD/AN5 8
RE1/WR/AN6 9
RE2/CS/AN7 10
VDD 11
VSS 12
OSC1/CLKI 13
OSC2/CLKO 14
RC0/T1OSO/T1CKI 15
RC1/T1OSI/CCP2 16
RC2/CCP1 17
RC3/SCK/SCL 18
RD0/PSP0 19
RD1/PSP1 20
40 RB7/PGD
39 RB6/PGC
38 RB5
37 RB4
36 RB3/PGM
35 RB2
34 RB1
33 RB0/INT
32 VDD
31 VSS
30 RD7/PSP7
29 RD6/PSP6
28 RD5/PSP5
27 RD4/PSP4
26 RC7/RX/DT
25 RC6/TX/CK
24 RC5/SDO
23 RC4/SDI/SDA
22 RD3/PSP3
21 RD2/PSP2
44-Pin PLCC
PIC16F874A
PIC16F877A
RA3/AN3/VREF+ 6
RA2/AN2/VREF-/CVREF 5
RA1/AN1 4
RA0/AN0 3
MCLR/VPP 2
NC 1
RB7/PGD 44
RB6/PGC 43
RB5 42
RB4 41
NC 40
RA4/T0CKI/C1OUT 7
RA5/AN4/SS/C2OUT 8
RE0/RD/AN5 9
RE1/WR/AN6 10
RE2/CS/AN7 11
VDD 12
VSS 13
OSC1/CLKI 14
OSC2/CLKO 15
RC0/T1OSO/T1CK1 16
NC 17
39 RB3/PGM
38 RB2
37 RB1
36 RB0/INT
35 VDD
34 VSS
33 RD7/PSP7
32 RD6/PSP6
31 RD5/PSP5
30 RD4/PSP4
29 RC7/RX/DT
18 RC1/T1OSI/CCP2
19 RC2/CCP1
20 RC3/SCK/SCL
21 RD0/PSP0
22 RD1/PSP1
23 RD2/PSP2
24 RD3/PSP3
25 RC4/SDI/SDA
26 RC5/SDO
27 RC6/TX/CK
28 NC
44-Pin TQFP
PIC16F874A
PIC16F877A
RC6/TX/CK 44
RC5/SDO 43
RC4/SDI/SDA 42
RD3/PSP3 41
RD2/PSP2 40
RD1/PSP1 39
RD0/PSP0 38
RC3/SCK/SCL 37
RC2/CCP1 36
RC1/T1OSI/CCP2 35
NC 34
RC7/RX/DT 1
RD4/PSP4 2
RD5/PSP5 3
RD6/PSP6 4
RD7/PSP7 5
VSS 6
VDD 7
RB0/INT 8
RB1 9
RB2 10
RB3/PGM 11
33 NC
32 RC0/T1OSO/T1CKI
31 OSC2/CLKO
30 OSC1/CLKI
29 VSS
28 VDD
27 RE2/CS/AN7
26 RE1/WR/AN6
25 RE0/RD/AN5
24 RA5/AN4/SS/C2OUT
23 RA4/T0CKI/C1OUT
12 NC
13 NC
14 RB4
15 RB5
16 RB6/PGC
17 RB7/PGD
18 MCLR/VPP
19 RA0/AN0
20 RA1/AN1
21 RA2/AN2/VREF-/CVREF
22 RA3/AN3/VREF+

3 Programmation de PIC

3.1 Winpic

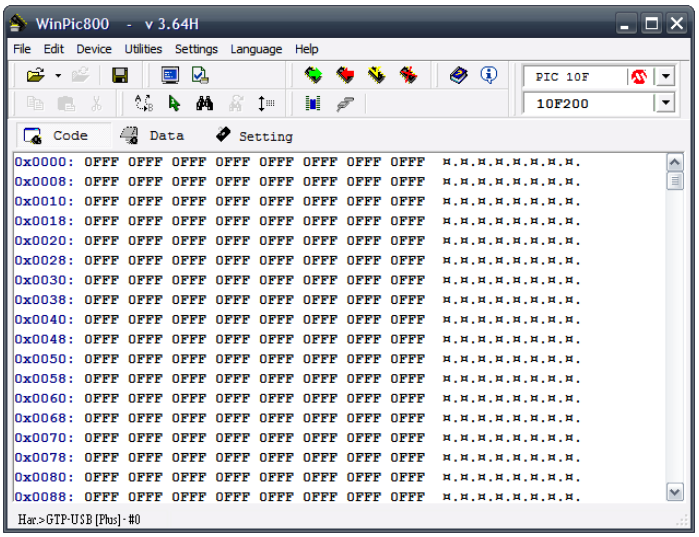
WinPIC800 est un logiciel de programmation microcontrôleur PIC pour Windows XP uniquement.



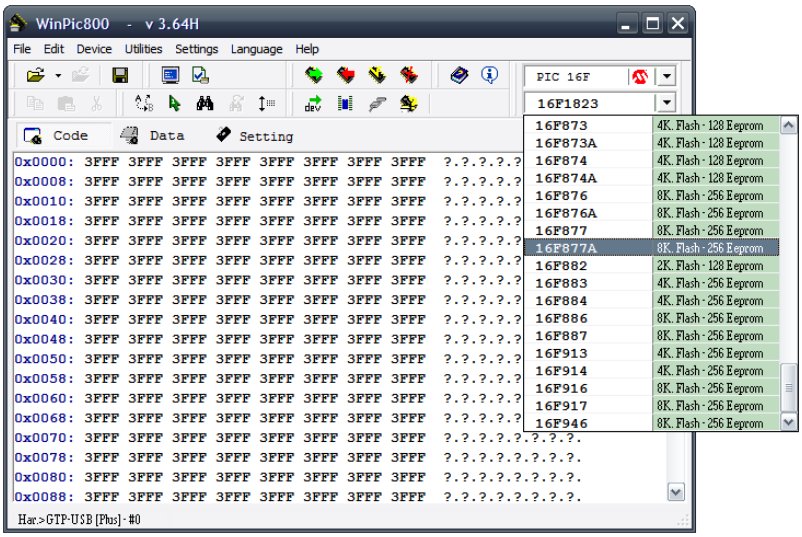
Les etapes d'utilisation de logiciel WinPIC

Apres la connexion du programmateur

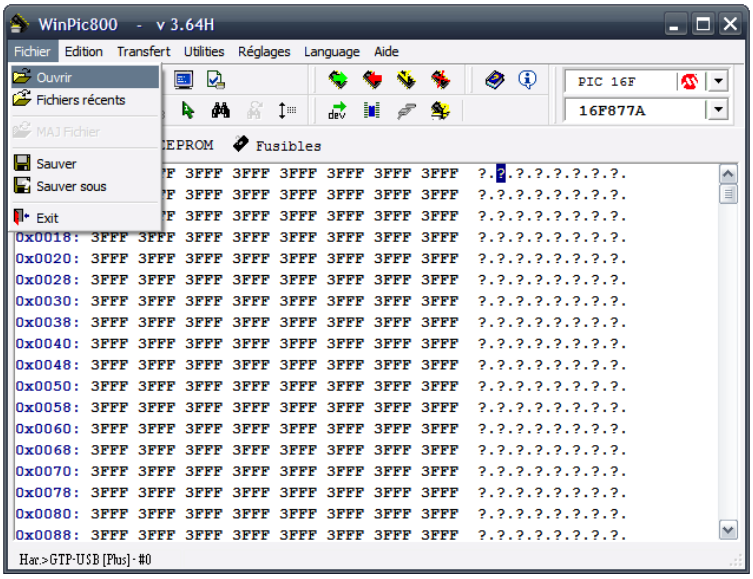
1- on click deux fois sur l'icône du logiciel pour l'ouvrir

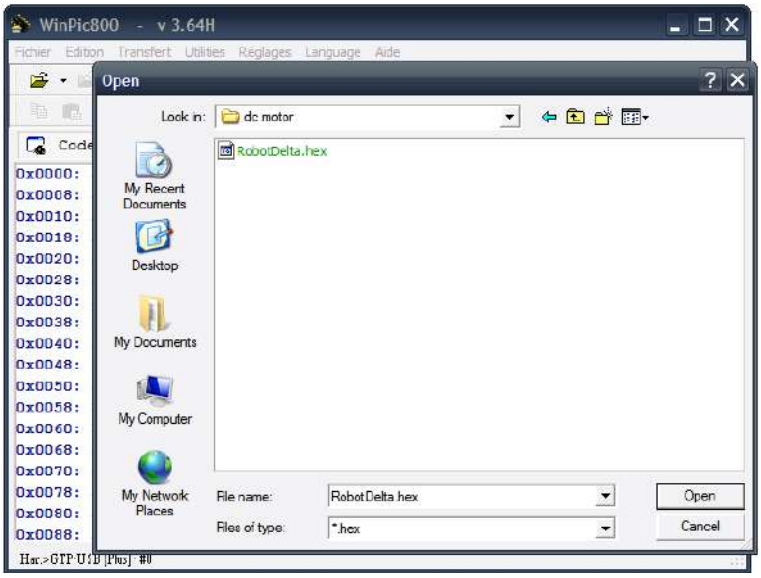


2- choix du pic

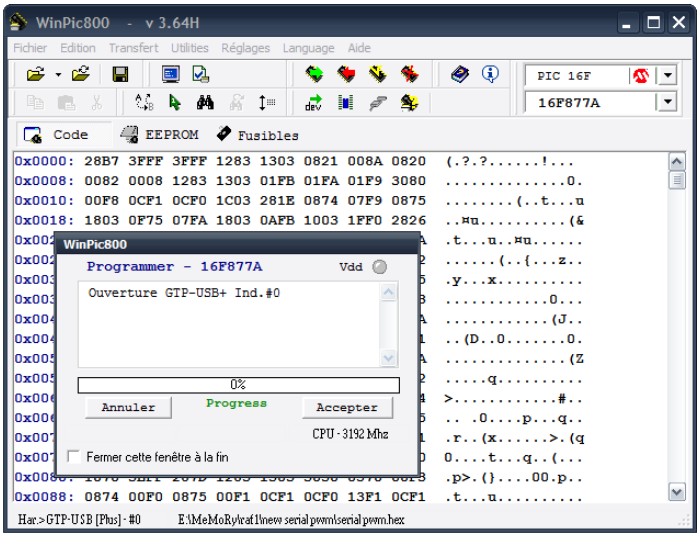


3- choix du programme qui est à l'extension du .HEX





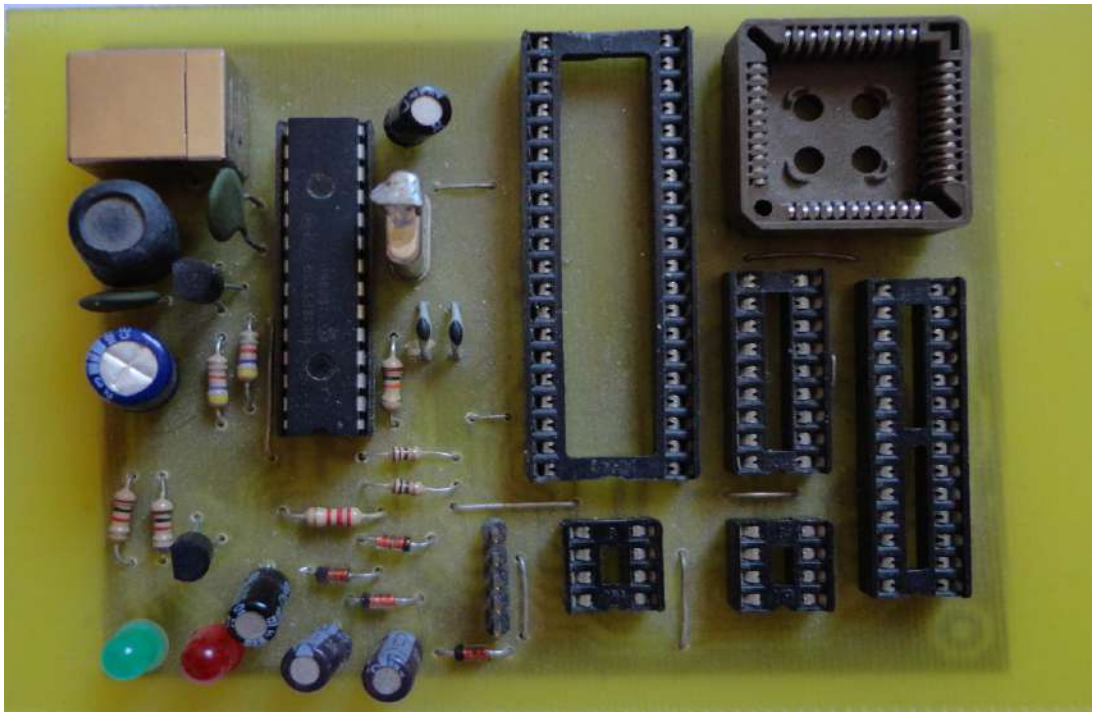
4- âpres la vérification du programme a l'aide du bouton  on peut transféré le programme vers le micro contrôleur a l'aide du 



5- Après le transfert de données atteint 100 % on peut débrancher le programmateur et retirer le microcontrôleur.

6- le microcontrôleur est prêt à utiliser.

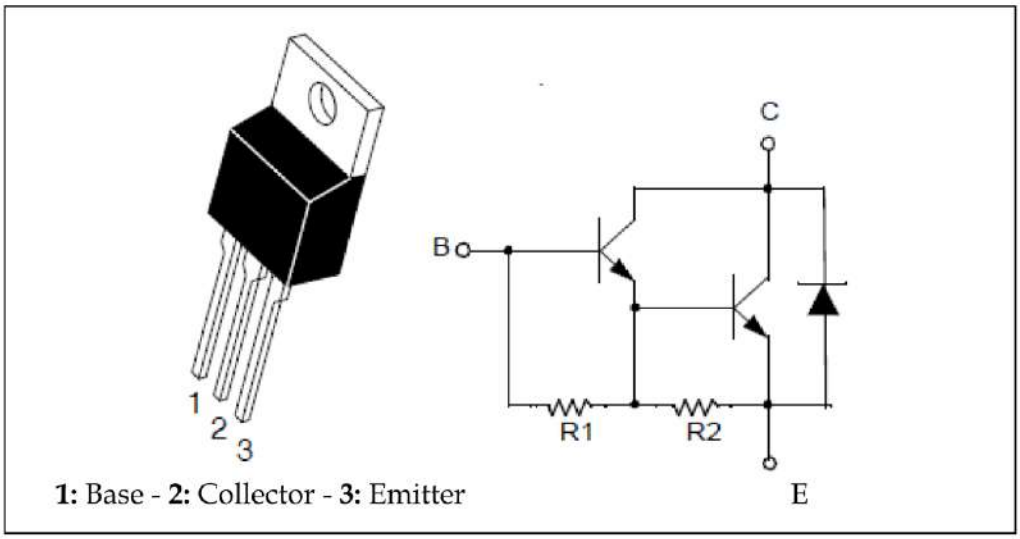
3.2 Programmateur de PIC



4 TIP122

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

TIP120/TIP121/TIP122 NPN Epitaxial Darlington



1: Base - **2:** Collector - **3:** Emitter

2

Symbole	paramètre	Classements	
VCBO	Collecteur-émetteur Qayum tension: TIP120 : TIP121 : TIP122	60 80 100	V V V
VCEO	Collector courant coupé : TIP120 : TIP121 : TIP122	60 80 100	V V V
VEBO	Tension émetteur-base	5	V
IC	Le collecteur de courant continu (DC)	5	A
ICP	Le collecteur de courant (Pulse)	8	A
IB	Base du courant continu (DC)	120	mA
PC	Collecteur Dissipation (TC=25°C)	65	W
TJ	base-émetteur Tension d'activation	150	°C
TSTG	capacité de sortie	- 65 ~ 150	°C

5 Optocoupleur

TOSHIBA CNY17-2,CNY17-3,CNY17-4

TOSHIBA PHOTOCOUPLER GaAs IRED & PHOTO-TRANSISTOR

CNY17-2, CNY17-3, CNY17-4

AC LINE / DIGITAL LOGIC ISOLATOR

DIGITAL LOGIC / DIGITAL LOGIC ISOLATOR

TELEPHONE LINE RECEIVER

TWISTED PAIR LINE RECEIVER

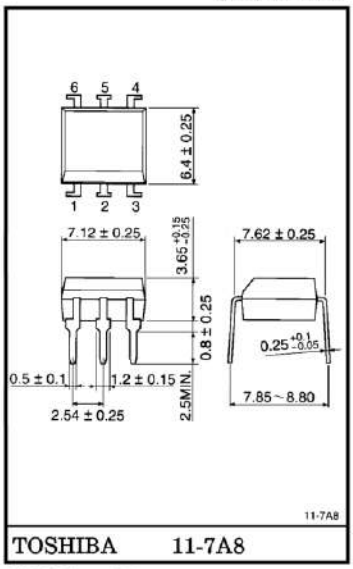
HIGH FREQUENCY POWER SUPPLY FEEDBACK CONTROL

RELAY CONTACT MONITOR

The TOSHIBA Corporation CNY17 consist of a gallium arsenide infrared emitting diode coupled with a silicon photo transistor in a dual in-line package.

- Small Package Size and Low Cost
- Fast Switching Speeds : 5μs (TYP.)
- High DC Current Transfer Ratio : CTR (I_F = 10mA, V_{CE} = 5V)
  CNY17-2 : 63~125%
  CNY17-3 : 100~200%
  CNY17-4 : 160~320%
- High Isolation Resistance : $10^{11}\Omega$ (TYP.)
- High Isolation Voltage : 4400V (MIN.)

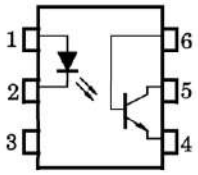
Unit in mm



TOSHIBA 11-7A8

Weight : 0.4g

PIN CONFIGURATION



1 : ANODE
2 : CATHODE
3 : N.C.
4 : EMITTER
5 : COLLECTOR
6 : BASE

6 Adaptateur PL2303 Datasheet

1.0 Features

- Fully compliant with USB Specification v1.1 and USB CDC v1.1
- Supports RS232 Serial interface
- Supports automatic handshake mode
- Supports Remote wake-up and power management
- 256-bytes buffer each for upstream and downstream data flow
- Supports default ROM or external EEPROM for device configuration
- On-chip USB transceiver
- On-chip crystal oscillator running at 12MHz
- Supports Windows 98/SE, ME, 2000, XP, Windows CE3.0, CE .NET, Linux, and Mac OS
- Designed for Windows XP/2000 Certified Logo Drivers
- USB-IF Logo Compliant with TID 10240590
- 28-Pin SSOP package

2.0 Introduction

The PL-2303 operates as a bridge between one USB port and one standard RS232 Serial port. The two large on-chip buffers accommodate data flow from two different buses. The USB bulk-type data is adopted for maximum data transfer. Automatic handshake is supported at the Serial port. With these, a much higher baud rate can be achieved compared to the legacy UART controller.

This device is also compliant with USB power management and remote wakeup scheme. Only minimum power is consumed from the host during Suspend. By integrating all the function in a SSOP-28 package, this chip is suitable for cable embedding. Users just simply hook the cable into PC or hub's USB port, and then they can connect to any RS-232 devices.

3.0 Functional Block Diagram

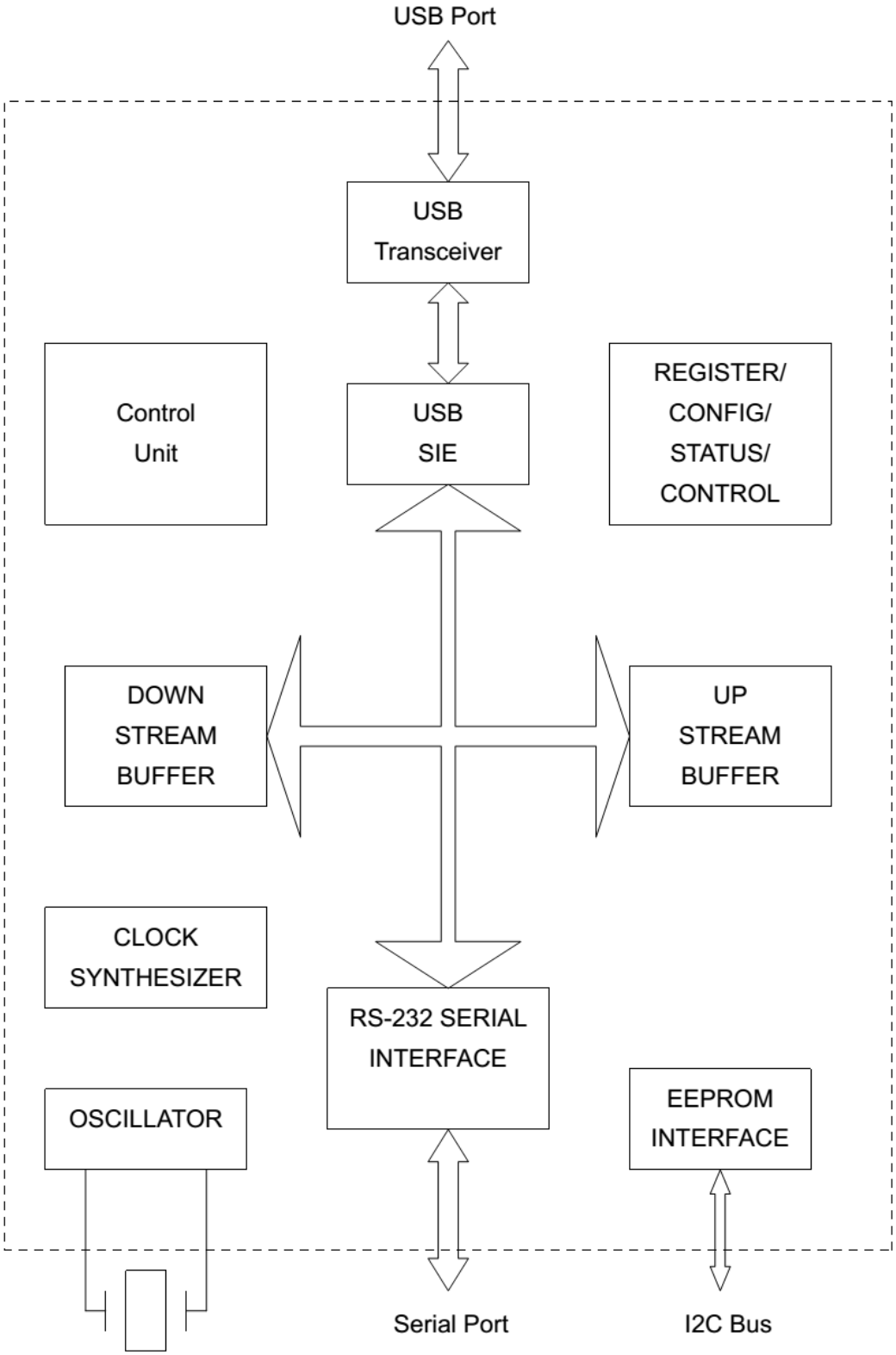


Figure 3-1 Block Diagram of PL-2303

7 Bluetooth HC-05

ITead Studio
Make innovation easier
Tech Support: info@iteadstudio.com

HC-05

-Bluetooth to Serial Port Module

Overview



HC-05 module is an easy to use Bluetooth SPP (Serial Port Protocol) module, designed for transparent wireless serial connection setup.

Serial port Bluetooth module is fully qualified Bluetooth V2.0+EDR (Enhanced Data Rate) 3Mbps Modulation with complete 2.4GHz radio transceiver and baseband. It uses CSR Bluecore 04-External single chip Bluetooth system with CMOS technology and with AFH(Adaptive Frequency Hopping Feature). It has the footprint as small as 12.7mmx27mm. Hope it will simplify your overall design/development cycle.

Specifications

Hardware features

- Typical -80dBm sensitivity
- Up to +4dBm RF transmit power
- Low Power 1.8V Operation ,1.8 to 3.6V I/O
- PIO control
- UART interface with programmable baud rate
- With integrated antenna
- With edge connector

Software features

- Default Baud rate: 38400, Data bits:8, Stop bit:1,Parity:No parity, Data control: has. Supported baud rate: 9600,19200,38400,57600,115200,230400,460800.
- Given a rising pulse in PIO0, device will be disconnected.
- Status instruction port PIO1: low-disconnected, high-connected;
- PIO10 and PIO11 can be connected to red and blue led separately. When master and slave are paired, red and blue led blinks 1time/2s in interval, while disconnected only blue led blinks 2times/s.
- Auto-connect to the last device on power as default.
- Permit pairing device to connect as default.
- Auto-pairing PINCODE:"0000" as default
- Auto-reconnect in 30 min when disconnected as a result of beyond the range of connection.

Hardware

