الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur & de la Recherche Scientifique
Université Docteur Yahia Farès de MEDEA

Faculté des sciences et de la technologie
Département du Génie de la matière

Projet de Fin d'études

Présenté pour l'obtention du diplôme

De Master en génie mécanique

Spécialité : mécatronique

Thème :

ETUDE, CONCEPTION ET REALISATION D'UN BRAS MANIPULATEUR

Proposé et dirigé par :

Dr. BACHENE Mourad

Dr. TCHOKETCH KEBIR Sofian

Réalisé Par :

- *AMOR Mahdjoub*
- *ASKRI Amine*

Année universitaire 2014-2015

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail.
Tout d'abord je tiens à remercier Dieu le tout puissant de m'avoir donnée la santé, la volonté et le courage.
Ensuite, à mon père et ma mère pour leurs soutien et leurs encouragements et qu'aucune dédicace ne pourra compenser leur sacrifice pour mon bien être et mon bonheur.
A tous mes chers frères.

A toute les personnes de ma famille.
La famille AMOR et TOUIR
A mes amis, en particulier mon collègue du présent projet ASKRI AMINE qui n'a jamais manqué de travailler et ceux de la promotion de la 2ème année master mécatronique
A notre encadreur M. BACHEN Mourad et M.TCHOKETCH KEBIR Sofian
Et à tous ceux qui nous ont soutenus pour l'achèvement de ce projet avec réussite.

AMOR Mahjoub

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail.
Tout d'abord je tiens à remercier Dieu le tout puissant de m'avoir donnée la santé, la volonté et le courage.
Ensuite, à mon père et ma mère pour leurs soutien et leurs encouragements et qu'aucune dédicace ne pourra compenser leur sacrifice pour mon bien être et mon bonheur.
A mes chers frères MOHAMED et HDJER

A toute les personnes de ma famille.
La famille ASKRI.
A mes amis, en particulier mon collègue du présent projet AMOUR Mahdjoub qui n'a jamais manqué de travailler et ceux de la promotion de la 2ème année master mécatronique
A notre encadreur M. BACHEN Mourad et M.TCHOKETCH KEBIR Sofian
Et à tous ceux qui nous ont soutenus pour l'achèvement de ce projet avec réussite.

ASKRI Amine

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier nos profonds gratitudes à DIEU le tout puissant.

*Tous Nos remerciement à Monsieur **BACHEN MOURAD** ET **TCHOKETCH KEBISOFIAN**(encadreur) pour le soutien et l'accompagnement qu'il nous procuré, durant toute la période de recherche de ce projet. Ainsi que mes amis qui m'ont aidés RAFIKE OLJI, TERKMANE MAMI, MOHAMED METIDJI, DIFE ET MADANI.*

Egalement nous remercions les membres de jury pour leur participation dans le jugement de ce travail, ainsi tous nos professeurs, pour l'aide inconditionnel que nous avons reçu durant toutes les années d'étude à l'université de Médéa.

En fin, nous remercions tous ceux qui ont contribué à notre formation durant 18 ans d'étude.

Merci Encore une autre fois

Résumé :

Un robot est un manipulateur reprogrammable à fonctions multiples. Il est conçu pour déplacer des matériaux, des pièces, des outils ou des instruments spécialisés suivant des trajectoires variables programmées, en vue d'accomplir des tâches très diverses.

L'objectif de ce projet est la conception et la réalisation d'un bras manipulateur qui se déplace par deux Moteurs pas a pas à base d'Arduino Uno.

Les mots clés : bras manipulateur, Moteurs pas a pas, Arduino Uno

Abstract :

A robot is a reprogrammable multifunctional manipulator . It is designed to move material , parts, tools or specialized instruments along the programmed trajectory variables in order to accomplish a variety of tasks.

The purpose of this project is to design and realization of a manipulator arm and move by stepper motor -based Arduino Uno .

Key words : manipulator arm, stepper motor, Arduino Uno.

الملخص:

الروبوت هو مناور متعدد الوظائف قابل للبرمجة. وهو مصمم لنقل المواد وقطع الغيار والأدوات أو الآلات المتخصصة على طول مسار المتغيرات مبرمجة من أجل إنجاز العديد من المهام.

الهدف من هذا المشروع هو تصميم وإنشاء ذراع مناور وتحريكه عن طريق المحرك خطوة بخطوة استنادا على المتحكم أردوينو إينو.

الكلمات المفتاحية : ذراع مناور, محرك خطوة بخطوة, أردوينو إينو

Abréviations

$\ddot{q}$: le vecteur des accélérations articulaires.

q : le vecteur des positions articulaires.

$\dot{q}$: le vecteur des vitesses articulaires.

C : la vectrice colonne des couples/forces des actionneurs, selon que l'articulation est rotoïde ou prismatique

F : l'effort extérieur (forces et couples), à exercer par l'organe terminal.

Le formalisme de Lagrange est mieux adapté pour le calcul du modèle dynamique.

L : lagrangien du système égale à E-U

E : énergie cinétique totale du système

U : énergie potentiel totale du système

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES ROBOTS 3

I.1 Introduction 3

I.2 Définitions 4

I.3 Constituants d'un robot 5

I.4 Classification des robots 7
I.4.1 Classification fonctionnelle 8
I.4.2 Classification géométrique 10

I.5 Performances des robots 12
I.5.1 Les performances-tâches 12
I.5.2 Les performances-homme 16
I.5.3 Les performances économiques 17

I.6 Les différents types des robots 18
I.6.1 Les robots SCARA 18
I.6.2 Les robots cylindriques 19
I.6.3 Les robots sphériques 19
I.6.4 Les robots Cartésiens 20
I.6.5 Les robots parallèles 21
I.6.6 Les robots anthropomorphes 22

I.7 Utilisation des robots 23
I.7.1 Tâches simples 23
I.7.2 Tâches complexes 23

I.8 Avenir de la robotique 24

I.9 Conclusion 24

CHAPITRE II : MODÉLISATION MECANIQUE 26

II.1 Introduction : 26

II.2 Structure mécanique et géométrique des robots 26
II.2.1 Structure mécanique 26
II.2.2 Structure géométrique 27

II.3 Modèle géométrique 28
II.3.1 Modèle géométrique direct 28
II.3.2 Modèle géométrique inverse 29

II.4 Modèle cinématique 30
II.4.1 Modèle cinématique direct 30
II.4.2 Modèle cinématique inverse 30

II.5 Modèle dynamique 31
II.5.1 Modèle dynamique direct 31
II.5.2 Modèle dynamique inverse 31
II.5.3 Problèmes du modèle dynamique 32

II.6 Statique des robots 32

II.7 Détermination de la position finale de bras en fonction θ_1, θ_2 33

II.8 Conception du bras manipulateur : 36

II.9 Conclusion : 37

CHAPITRE III : MOTEUR PAS A PAS 39

III.1 INTRODUCTION 39

III.2 Propriétés et applications 39
III.2.1 Utilisations des moteurs pas à pas 40

III.3 Les principaux types de moteurs pas à pas 42
III.3.1 Moteur pas-à-pas à réluctance variable MRV 42
III.3.2 Moteur pas à pas à aimants permanents MP 45
III.3.3 Moteur pas-à-pas hybride MH 48

III.4 Comparaison entre les trois types de moteurs pas à pas 52

III.5 CONCLUSION 53

CHAPITRE IV : REALISATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS 55

IV.1 Introduction : 55

IV.2 Réalisation du driver 55
IV.2.1 Description sur les blocs 55
IV.2.2 Schéma de commande 57

IV.3 Description sur les composants 59
IV.3.1 Régulateur de tension Série 78xx (7805) 59
IV.3.2 Circuit intégré IC 74LS86 60
IV.3.3 Circuit intégré IC 74LS73 61
IV.3.4 Circuit intégré IC ULN2803A 62

IV.4 L 'Arduino: 62
IV.4.1 Présentation de l'Arduino : 62
IV.4.2 La carte Arduino Uno 63

IV.5 L'expérience pratique 65

IV.6 CONCLUSION 70

COCLUSION GENERALE 71

Bibliographie 72

Annexe

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Généralité sur les robots

FIGURE I–1: VOCABULAIRE DU ROBOT.....5
FIGURE I–2: PARTIES PRINCIPALES DANS UN ROBOT.....6
FIGURE I–3: MANIPULATEURS A COMMANDE MANUELLE.....8
FIGURE I–4: MANIPULATEUR A CYCLE PRE-REGLE.....8
FIGURE I–5: ROBOT PROGRAMMABLE 9
FIGURE I–6: ROBOT INTELLIGENT 10
FIGURE I–7: COORDONNEES CARTESIENNES ET CYLINDRIQUES.....11
FIGURE I–8: COORDONNEES POLAIRES ET UNIVERSELLES.....11
FIGURE I–9 : ROBOT SCARA.....11
FIGURE I–10: REPRESENTATION DU VOLUME DE TRAVAIL.....13
FIGURE I–11: STRUCTURE PPP.....13
FIGURE I–12: STRUCTURE RPP (OU PRP)
FIGURE I–13: STRUCTURE RPR
FIGURE I–14: STRUCTURE RRP 14
FIGURE I–15: STRUCTURE RRR 14
FIGURE I–16: SCHEMA DE LES ROBOTS SCARA 18
FIGURE I–17: ROBOT SANKYO
FIGURE I–18: ROBOT ADEPT.....18
FIGURE I–19: LE ROBOT CYLINDRIQUE.....19
FIGURE I–20: ROBOT SEIKO 19
FIGURE I–21: ROBOT SPHERIQUE 19
FIGURE I–22: ROBOT FANUC.....20
FIGURE I–23: ROBOT CARTESIEN 20
FIGURE I–24: ROBOT TOSHIBA.....21
FIGURE I–25: ROBOT COMAU 21
FIGURE I–26: ROBOT ANTHROPOMORPHE.....22
FIGURE I–27: ROBOT KAWASAKI 22
FIGURE I–28: ROBOT ABB.....22
FIGURE I–29: ROBOT SOUDEURS PAR POINTS
FIGURE I–30: ROBOT SOUDEURS A L'ARC 23

FIGURE I–31: ROBOT POMPISTE
FIGURE I–32: ROBOT DE CONSTRUCTION.....23
FIGURE I–33: ROBOT COMPUTER MOTION
FIGURE I–34: ROBOT ASSISTANCE AUX PERSONNES HANDICAPEES 24

CHAPITRE II : MODÉLISATION MECANIQUE

FIGURE II–1 : ROBOT A CHAINE OUVERTE SIMPLE.....27
FIGURE II–2: REPRESENTATION DE DENAVIT-HARTENBERG.....27
FIGURE II–3 : EXEMPLE D'UN MODELE CINEMATIQUE DIRECT.....30
FIGURE II–4: MODELE CINEMATIQUE INVERSE.....31
FIGURE II–5: LES ANGLES ET LES LONGUEURS DE BRAS 33
FIGURE II–6: LES ANGLES ET LES LONGUEURS DE BRAS 34
FIGURE II–7: SCHEMA REPRESENTE LES ANGLES ENTRE LE BRAS ET LE REPERE 35
LA FIGURE II–8 REPRESENTE LES PIECES DU BRAS MANIPULATEUR :....36
FIGURE II–9: LES PIECES DU BRAS.....36
FIGURE II–10: L'ASSEMBLAGE DES PIECES.....36

CHAPITRE III : MOTEUR PAS A PAS

FIGURE III–1: MOTEUR PAS A PAS.....39
FIGURE III–2: SCHEMA D'UN MOTEUR BIPOLAIRE.....41
FIGURE III–3: SCHEMA D'UN MOTEUR UNIPOLAIRE 42
FIGURE III–4: FONCTIONNEMENT EN PAS ENTIER A RELUCTANCE VARIABLE. 44
FIGURE III–5: FONCTIONNEMENT EN MODE « HIGH TORQUE » A RELUCTANCE VARIABLE.....44
FIGURE III–6: FONCTIONNEMENT EN MODE DEMI PAS A RELUCTANCE VARIABLE 45
FIGURE III–7: COMPOSITION D'UN MOTEUR PAS A PAS A AIMANT PERMANENT. 46
FIGURE III–8: FONCTIONNEMENT EN PAS ENTIER A AIMANT PERMANENT. 46
FIGURE III–9: FONCTIONNEMENT EN MODE « HIGH TORQUE » A AIMANT PERMANENT. 47

FIGURE III–10: FONCTIONNEMENT EN MODE DEMI PAS M. A AIMANT PERMANENT. 47
FIGURE III–11: COMPOSITION D'UN MOTEUR PAS A PAS HYBRIDE. 49
FIGURE III–12: MOTEUR PAS A PAS HYBRIDE EN FONCTIONNEMENT..... 49
FIGURE III–13: MOTEUR PAS A PAS HYBRIDE 4 FILS..... 50
FIGURE III–14: MOTEUR PAS A PAS HYBRIDE 6 FILS..... 51
FIGURE III–15: MOTEUR PAS A PAS HYBRIDE 8 FILS..... 51

CHAPITRE IV : REALISATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

FIGURE IV–1: DIAGRAMME DESCRIPTIF DES BLOCS..... 56
FIGURE IV–2: L'ALIMENTATION STABILISEE..... 56
FIGURE IV–3: SCHEMA DU DRIVER. 57
FIGURE IV–4: CIRCUITS IMPRIME DU DRIVER ET IMPLANTATION DES COMPOSANTS. 58
FIGURE IV–5: REGULATEUR DE TENSION 7805..... 59
FIGURE IV–6: DISSIPATEUR THERMIQUE..... 60
FIGURE IV–7: SCHEMA DU 74LS86..... 60
FIGURE IV–8: SCHEMA DU 74LS73..... 61
FIGURE IV–9: SCHEMA DE L'ULN2803A ET CHAQUE PAIRE DE DARLINGTON. 62
FIGURE IV–10: DIFFERENTS CARTE ARDUINO 63
FIGURE IV–11: DIFFERENTS ELEMENTS DE LA CARTE ARDUINO UNO. ... 64
FIGURE IV–12 :L'ASSEMBLAGE AVEC MOTEUR PAS A PAS
FIGURE IV–13:L'ASSEMBLAGE AVEC MOTEUR A COURANT CONTINU. 65
FIGURE IV–14: HACHEUR 4 QUADRANTS..... 65
FIGURE IV–15: LE SENS DE ROTATION DE MOTEUR 66
FIGURE IV–16: LE DRIVER DE MOTEUR A COURANT CONTINU..... 66
FIGURE IV–17: BOITIER DU PIC 16F877A..... 68
FIGURE IV–18: OPTOCOUPLEUR CNY17-3 68
FIGURE IV–19: TRANSISTOR TIP122 69
Figure IV–20 : Les essais expérimentaux……...…….....69
Figure IV–*21 :* Le mécanisme réalisé……...……70

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE III : MOTEUR PAS A PAS

TABLEAU III-1: ALIMENTATION D'UN ENROULEMENT A LA FOIS. 41

TABLEAU III-2: ALIMENTATION DE DEUX ENROULEMENTS A LA FOIS. .41

TABLEAU III-3: SEQUENCE D'ALIMENTATION DES ENROULEMENTS. 42

TABLEAU III-4: COMPARAISON DES PERFORMANCES POUR LES TROIS TYPES DE MOTEURS PAS A PAS. 52

CHAPITRE IV : REALISATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

TABLEAU IV-1: TABLE DE FONCTION 74LS86. 61

TABLEAU IV-2: TABLE DE FONCTION 74LS73. 61

INTRODUTION GENERALE

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 de connaissances pluridisciplinaires (Mécanique, Electronique numérique et analogique, électrotechnique, Programmation, Intelligence artificielle, Temps réel, Automatique…..)

C'est dans ce cadre que s'insère notre projet, qui se base sur la conception et la réalisation d'un bras manipulateur qui se déplace par Moteurs pas a pas à base d'Arduino Uno.

Arduino est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation. Cet environnement matériel et logiciel permet à l'utilisateur de formuler ses projets par l'expérimentation directe à l'aide de nombreuses ressources disponibles en ligne. Pont tendu entre le monde réel et le monde numérique, Arduino permet d'étendre les capacités de relations humain/machine ou environnement/machine. Arduino est un projet en source ouverte : la communauté importante d'utilisateurs et de concepteurs permet à chacun de trouver les réponses à ses questions. La carte Arduino repose sur un circuit intégré (appelé également microcontrôleur) associée à des entrées et sorties qui permettent à l'utilisateur de brancher différents types d'éléments externes.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres : on commence le premier chapitre par une généralité sur les robots (ses constituants et classifications). Le deuxième chapitre est dédié à une présentation des différents modèles utilisés pour décrire le mouvement des articulations d'un bras manipulateur. Le troisième chapitre étudie les moteur pas-à-pas avec ses différents types ainsi que leurs diverses technologie et leur mode de commande. Le dernier chapitre contient les résultats de la réalisation.

Chapitre I

Généralités sur les robots

Chapitre I : Généralité sur les robots

I.1 Introduction :

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

Historiquement, le terme «robot» a été introduit en 1920 par l′écrivain tchèque Karel Čapek dans sa pièce de théâtre RUR (Rossum′s Universel Robots). Ce terme, provenant du tchèque robot signifie «travail forcé », désigne à l′origine une machine androïde capable de remplacer l′être humain dans toutes ses tâches. Ensuite, dans les années quarante, les progrès de l′électronique permettent de miniaturiser les circuits électriques (inventions des transistors et circuits intégrés), ouvrant ainsi de nouvelles horizons à la fabrication de robots. Dans les premiers temps de la robotique, le robot est considéré comme une imitation de l′homme, aussi bien fonctionnelle que physique. Aujourd′hui, les constructeurs ne tentent plus de reproduire l′aspect humain sur un robot, privilégiant avant tout sa fonctionnalité.

Actuellement, les robots sont très répandus dans le secteur industriel, notamment en construction automobile et chez la plupart des fabricants d′ordinateurs. Leurs capacités d′effectuer rapidement des travaux répétitifs ne cessent de croitre. Ils sont notamment utilisés dans les chaînes de montage et de fabrication. On les emploie également dans des environnements difficilement supportables par l′homme caractérisés par des conditions extrêmes de température ou de pression, radioactivité élevée, etc... L′industrie du nucléaire a ainsi largement contribué au développement de la robotique, notamment dans la conception de bras télémanipulateurs.

I.2 Définitions [1] :

La définition que l'on donne actuellement du robot industriel diffère quelque Peu selon les pays.

Le Petit Larousse définit un robot comme étant un appareil automatique capable de manipuler des objets, ou d'exécuter des opérations selon un programme fixe ou modifiable.

C'est au Japon que la définition est la plus vague. Où le rôle du robot y est essentiellement de servir d'intermédiaire entre l'homme et la machine. On le qualifie de :

« Tout mécanisme permettant d'effectuer, en tout ou en partie, une tâche normalement réalisée par l'homme ».

Le rôle du robot y est essentiellement de servir d'intermédiaire entre l'homme et la machine. Il permet de changer le système de production d'un système à interaction directe entre la machine et l'homme en un système où l'homme gère la machine par l'intermédiaire du robot.

Le peu de précision de la définition japonaise du robot a une incidence immédiate sur les statistiques correspondantes :

Le *JIRA (Japan Industrial Robot Association)* a recensé en 1981 77000 robots industriels dans l'industrie japonaise. Toutefois, plus de 50% de ces robots sont des manipulateurs à séquence fixe qui ne seraient pas recensés comme tels aux USA ou en France, où la définition d'un robot est beaucoup plus restrictive.

La définition américaine du robot (*Robot Institue of America*) est beaucoup plus spécifique :

« Un robot est un manipulateur reprogrammable à fonctions multiples. Il est conçu pour déplacer des matériaux, des pièces, des outils ou des instruments spécialisés suivant des trajectoires variables programmées, en vue d'accomplir des tâches très diverses ».

C'est la définition de l'Association Française de Robotique Industrielle (*A.F.R.I*) qui est la plus explicite, et aussi la plus proche de la technologie actuelle des robots :

« Un robot industriel est une machine formée de divers mécanismes comportant divers degrés de liberté, ayant souvent l'apparence d'un ou de plusieurs bras se terminant par un poignet capable de maintenir un outil, une pièce ou un instrument de contrôle. En particulier, son unité de contrôle doit contenir un système de mémorisation, et il peut parfois utiliser des accessoires sensitifs et adaptables qui tiennent compte de l'environnement et des circonstances. Ces machines, ayant un rôle pluridisciplinaire, sont généralement conçues pour effectuer des fonctions répétitives, mais sont adaptables à d'autres fonctions ».

En plus de la définition américaine, la définition française, du fait qu'elle envisage la perception de l'environnement par le robot, implique une certaine prise de décision. Elle annonce la génération des robots dits « intelligents ».

I.3 Constituants d'un robot [2] :

La Figure I.1 représente les vocabulaires du robot :

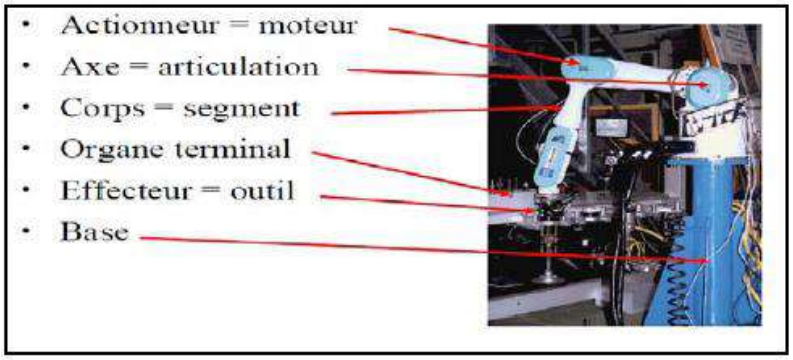


Figure I–1: vocabulaire du robot

On distingue classiquement 4 parties principales dans un robot manipulateur :

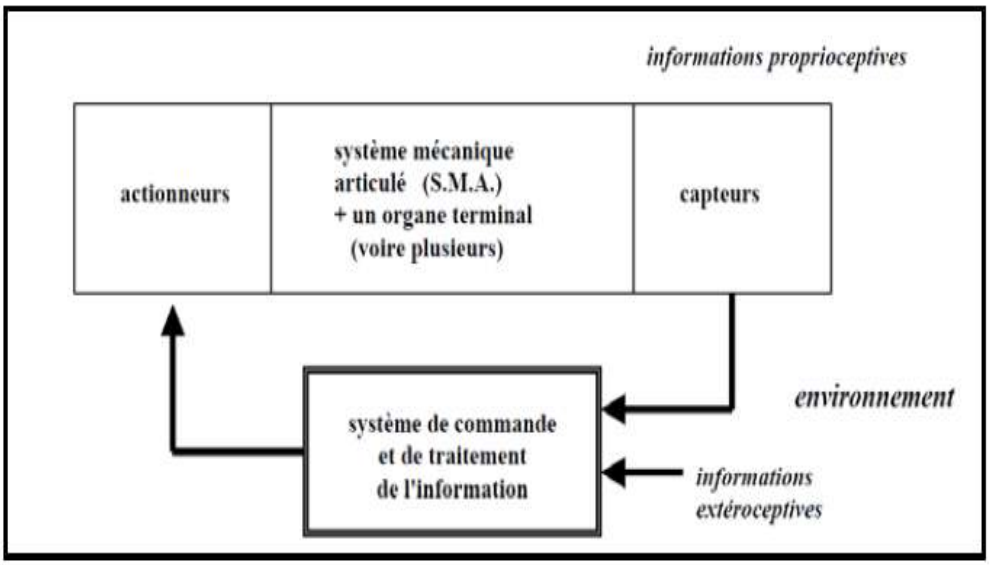


Figure I–2: parties principales dans un robot

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

- Le système mécanique articulé (S.M.A.) : est un mécanisme ayant une structure plus ou moins proche de celle du bras humain. Il permet de remplacer, ou de prolonger, son action (le terme "manipulateur" exclut implicitement les robots mobiles autonomes). Son rôle est d'amener l'organe terminal dans une situation (position et orientation) donnée, selon des caractéristiques de vitesse et d'accélération données. Son architecture est une chaîne cinématique de corps, généralement rigides (ou supposés comme tels), assemblés par des liaisons appelées articulations. Sa motorisation est réalisée par des actionneurs électriques, pneumatiques ou hydrauliques qui transmettent leurs mouvements aux articulations par des systèmes appropriés.

- **Les actionneurs :** le S.M.A. comporte des moteurs le plus souvent avec des transmissions (courroies crantées), l'ensemble constitue les actionneurs. Les actionneurs utilisent fréquemment des moteurs électriques à aimant permanent, à courant continu, à commande par l'induit (la tension n'est continue qu'en moyenne car en général l'alimentation est un hacheur de tension à fréquence élevée ; bien souvent la vitesse de régime élevée du moteur fait qu'il est suivi d'un réducteur, ce qui permet d'amplifier le couple moteur). On trouve de plus en plus de moteurs à commutation électronique (sans balais), ou, pour de petits robots, des moteurs pas à pas. Pour les robots devant manipuler de très lourdes charges (par exemple, une pelle mécanique), les actionneurs sont le plus souvent hydrauliques, agissant en translation (vérin hydraulique) ou en rotation (moteur hydraulique).

Les actionneurs *pneumatiques* sont d'un usage général pour les *manipulateurs à cycles* (*robots tout ou rien*). Un manipulateur à cycles est un S.M.A. avec un nombre limité de degrés de liberté permettant une succession de mouvements contrôlés uniquement par des capteurs de fin de course réglables manuellement à la course désirée (asservissement en position difficile dû à la compressibilité de l'air).

-Les capteurs : Les organes de perception permettent de gérer les relations entre le robot et son environnement. Les capteurs Dits *proprioceptifs* lorsqu'ils mesurent l'état interne du robot (positions et vitesses des articulations) et *extéroceptifs* lorsqu'ils recueillent des informations sur l'environnement (détection de présence, de contact, mesure de distance, vision artificielle).

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

- L'interface homme-machine à travers laquelle l'utilisateur programme les tâches que le robot doit exécuter.

- Le poste de travail, ou l'environnement dans lequel évolue le robot.

I.4 Classification des robots [1] :

On peut classer les robots d'un point de vue fonctionnel ou d'après leur structure géométrique.

I.4.1 Classification fonctionnelle :

Le nombre de classe et les distinctions entre celles-ci varient de pays à pays (6 classes au Japon, 4 en France). L'A.F.R.I. distingue 4 classes illustrées ci-dessous :

I.4.1.a Manipulateurs à commande manuelle ou télécommande :

La Figure I.3 représente les manipulateurs à commande manuelle :

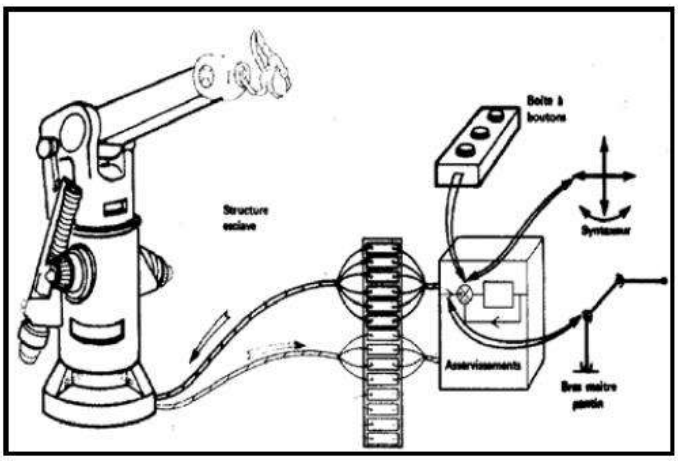


Figure I–3: manipulateurs à commande manuelle

I.4.1.b Manipulateurs automatiques à cycles préréglés :

Le réglage se fait mécaniquement par cames, butées comme le montre la Figure I.4, la commande peut se faire par automate programmable on peut distinguer entre manipulateurs à cycle fixe et manipulateurs à cycle programmable.

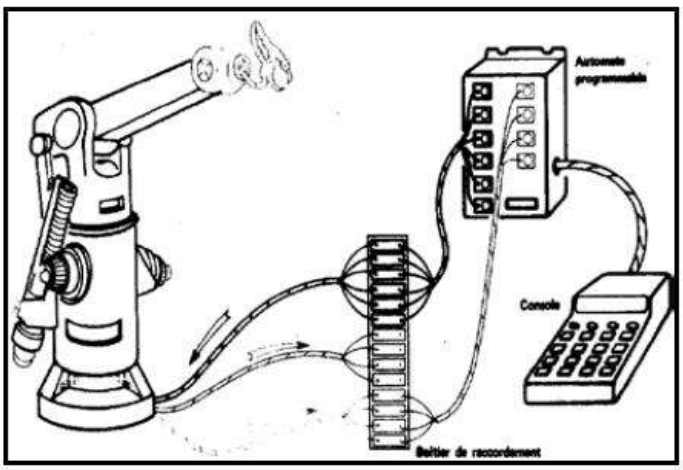


Figure I–4: Manipulateur à cycle pré-réglé

I.4.1.c Robots programmables :

C'est la première génération de robots industriels ; ils répètent les mouvements qu'on leur a appris ou programmés, sans informations sur l'environnement ou la tâche effectuée. On peut aussi faire la distinction entre robots « play-back » qui reproduisent la tâche apprise et robots à commande numérique qui peuvent être programmés hors-ligne. Pour de nombreux robots, l'apprentissage de la tâche se fait à l'aide d'un «syntaxeur » (« boite à boutons » , « teach pendant ») qui permet à un opérateur d'amener le robot en un certain nombre de points, qui sont ensuite mémorisés , lors de l'exécution de la tâche, le robot suivra une trajectoire passant successivement par tous les points programmés, le passage d'un point au suivant se faisant suivant un profil de vitesse en fonction du temps qui est prédéfini (triangulaire ou trapézoïdal), l'opérateur n'ayant qu'à choisir la fraction de la vitesse maximum à laquelle il souhaite que le robot effectue la tâche. Pour certains robots, par exemple les robots de peinture, qui doivent suivre une trajectoire complexe qu'il est difficile d'exprimer mathématiquement, un opérateur humain spécialiste de la tâche effectue la trajectoire en guidant le bras du robot à l'aide d'un « pantin », et l'entièreté de la trajectoire est mémorisée par le robot et la figure I.5 représente les robots programmable :

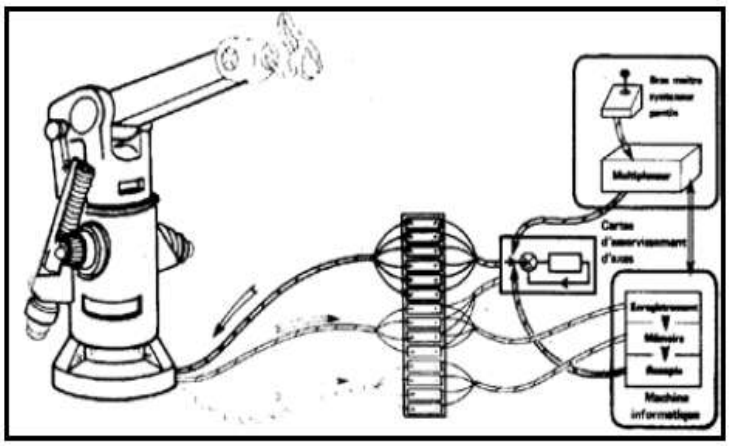


Figure I–5: Robot programmable

I.4.1.d Robots intelligents :

On trouve actuellement des robots de seconde génération qui sont capables d'acquérir et d'utiliser certaines informations sur leur environnement (systèmes de vision, détecteurs de proximité, capteurs d'efforts,...) comme le montre la Figure I.6. On étudie des robots de troisième génération, capables de comprendre un langage oral proche du

langage naturel et de se débrouiller de façon autonome dans un environnement complexe, grâce à l'utilisation de l'intelligence artificielle.

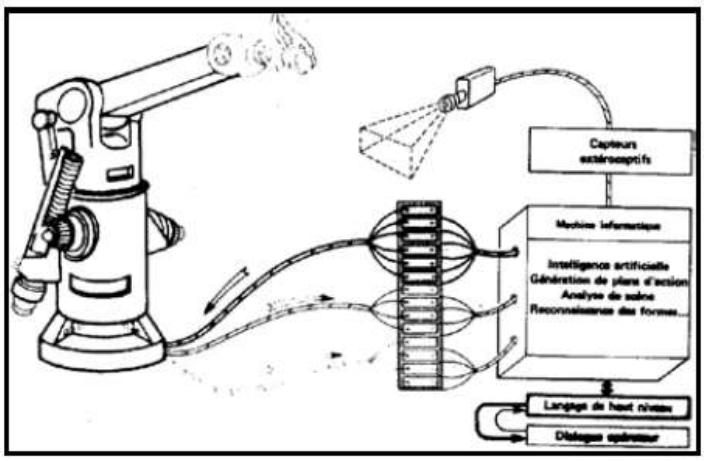


Figure I–6: Robot intelligent

I.4.2 Classification géométrique :

On peut aussi classer les robots suivant leur configuration géométrique, autrement dit l'architecture de leur porteur. Les 3 premiers ddm d'un robot peuvent être réalisés avec un grand nombre de combinaisons de translations (max. 3T) et de rotations (max. 3R), autrement dit par des articulations **prismatiques** (P) ou **rotoïdes** (R) ; en pratique, on n'utilise que 4 ou 5 d'entre elles :

- porteur cartésien (TTT ou PPP) : les 3 axes sont animés d'un mouvement de translation.
- porteur en coordonnées cylindriques (RTT ou RPP) : un mouvement de rotation et une translation axiale, complétées par une translation radiale3(voir figure I.7).
- porteur en coordonnées polaires ou sphériques (RRT ou RRP) : deux rotations (longitude et latitude) autour d'axes orthogonaux, complétées par une translation radiale comme le montre la figure I.8.
- porteur en coordonnées universelles, appelé aussi configuration poly articulée ou anthropomorphe (RRR), trois rotations dont les deux ornières se font autour d'axes parallèles orthogonaux au premier, les trois articulations correspondant respectivement au tronc (base), à l'épaule et au coude d'un être humain.

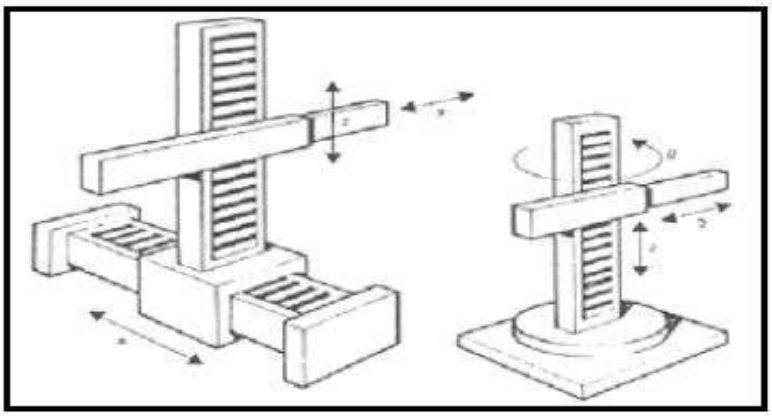


Figure I–7: Coordonnées cartésiennes et cylindriques

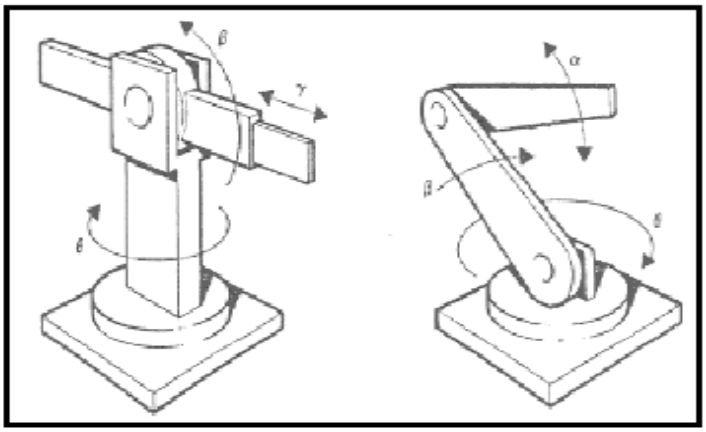


Figure I–8: Coordonnées polaires et universelles

Une cinquième architecture comprend deux rotations autour de deux axes parallèles, précédées ou suivies d'une translation dans la même direction (éventuellement celle-ci peut être reportée au niveau du poignet, qui peut aussi tourner autour du même axe, soit au total 4 ddm). Cette architecture est celle des robots SCARA (Selective Compliance Arm for Robotic Assembly) que l'on utilise dans des opérations d'assemblage et la figure I.9 représente le robot scara.



Figure I–9 : Robot SCARA

I.5 Performances des robots [1]

Lorsqu'on désire fabriquer un appareil, une machine ou un équipement quelconque, l'utilisateur ou celui qui passe commande présente un cahier des charges. Ce cahier des charges définit les contraintes d'exploitation et il est souvent aisé de mesurer les performances de l'appareillage réalisé car elles s'expriment vis-à-vis de ces contraintes. Celles-ci peuvent être le poids et l'indépendance énergétique pour une machine transportable, le respect de la précision, la vitesse d'exécution, la fiabilité, etc... Pour d'autres machines.

On a vu qu'une des caractéristiques d'un robot est la versatilité, c'est-à-dire cette possibilité de faire des tâches diverses mais dont on ne sait pas dire lesquelles à l'avance. Comme on ignore à priori les utilisations du robot, on peut difficilement connaître les paramètres de référence permettant d'établir les performances. Certains se sont lancés dans des énumérations de qualité impliquant plusieurs centaines de paramètres si bien qu'il est impossible de s'y retrouver.

I.5.1 Les performances-tâches

Un robot appliquant des efforts et des déplacements à son organe terminal, on peut en cerner les caractéristiques qui sont importantes en pratique.

I.5.1.a Le volume atteignable (volume de travail)

Le volume de travail en position d'un robot manipulateur est défini comme l'espace physique engendré par un point de l'organe terminal lorsque la configuration du robot évolue. Il s'exprime en unités volumiques, mais la forme de son enveloppe (qui peut-être compliquée puisque formée par la combinaison des mouvements de plusieurs articulations) est aussi importante (voir figure I.10). Il est plus simple et plus parlant de la décrire par une surface inscrite au vrai volume mais de forme simple (par exemple intersection de sphères ou des parallélépipèdes ou des ellipsoïdes). Sinon il faut une représentation graphique. Le volume de travail est alors habituellement représenté par deux sections perpendiculaires choisies en fonction du type de robot manipulateur, cette représentation étant préférable à une seule vue en perspective.

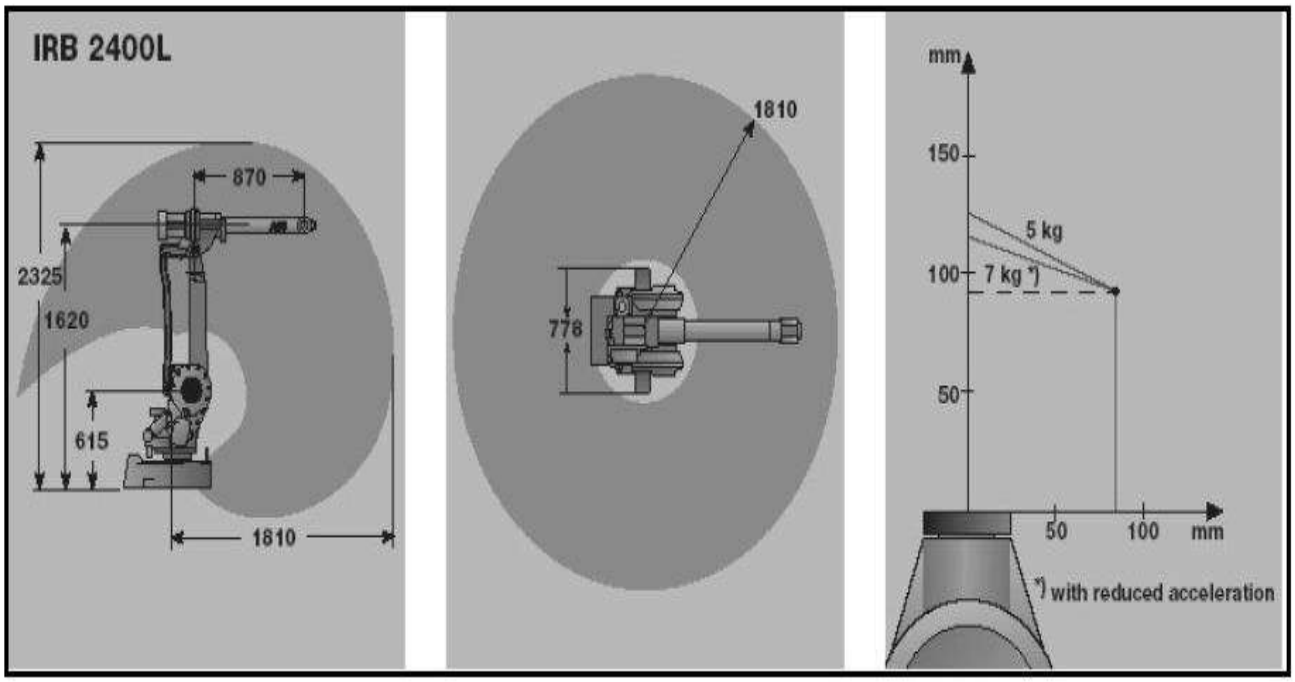


Figure I–10: Représentation du volume de travail

Quelques exemples sur les volumes de travail du robot :

- **robot PPP :** Le volume de travail est un parallélépipède dont les dimensions sont les translations permises par les trois liaisons prismatiques, d'où :

$$V = L1L2L3$$

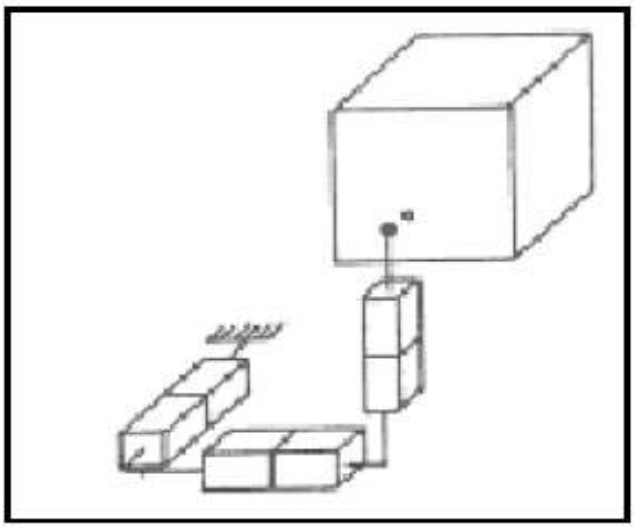


Figure I–11: Structure PPP

- **robots RPP et RPR ou RRP :** Le volume de travail est un cylindre plein ou creux, autrement dit un tore à section rectangulaire, dont la hauteur L est la translation permise par une liaison prismatique et dont les rayons intérieur et extérieur, Ri et Re, sont fixés soit par la disposition d'une liaison prismatique et la translation qu'elle permet, soit par les longueurs des deux parties du bras :

$$V = \pi L \left(R_e^2 - R_i^2\right)$$

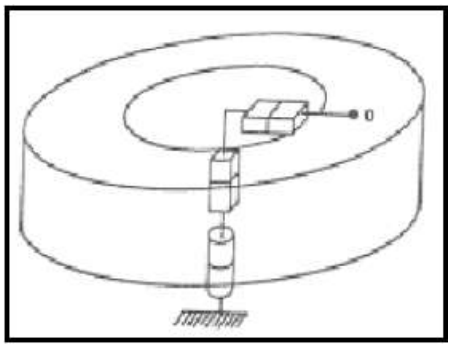


Figure I–12: Structure RPP (ou PRP)

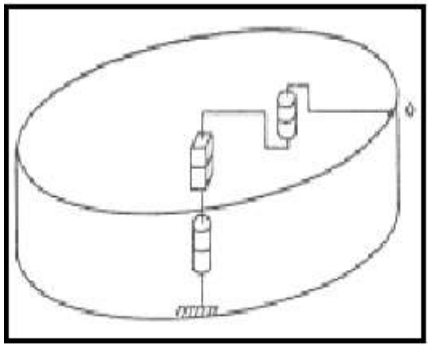


Figure I–13: Structure RPR

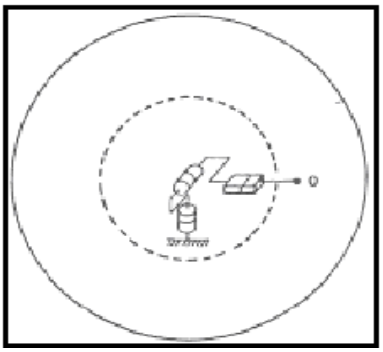


Figure I–14: Structure RRP

- **robots RRP et RRR :** Le volume de travail est une sphère creuse, dont les rayons intérieur et extérieur, Ri et Re, sont fixés soit par la disposition de la liaison prismatique et la translation qu'elle permet, soit par les longueurs des deux parties du bras :

$$V = \frac{4}{3}\pi \left(R_e^3 - R_i^3\right)$$

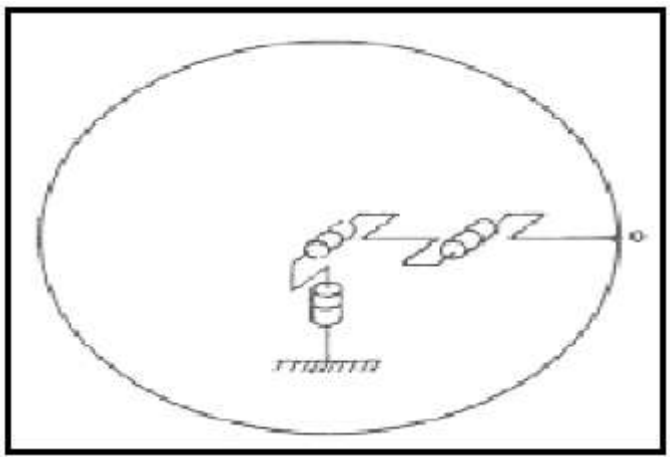


Figure I–15: Structure RRR

I.5.1.b Charge utile

C'est la charge maximale que peut porter le robot sans dégrader la répétabilité et les performances dynamiques. La charge utile est nettement inférieure à la charge maximale que peut porter le robot qui est directement dépendante des actionneurs.

I.5.1.c Précision / Répétabilité

- La précision du robot manipulateur est définit par l'écart entre la situation programmée et la situation moyenne. Elle caractérise l'aptitude du robot à situer l'organe terminal en conformité avec la situation programmée.
- Répétabilité : la répétabilité d'un robot est l'erreur maximale de positionnement répété de l'outil en tout point de son espace de travail.
- En général, la répétabilité < 0.1 mm.

I.5.1.d La vitesse

C'est évidemment une caractéristique fondamentale pour les robots industriels, puisqu'elle déterminera les temps nécessaires à l'exécution d'une tâche. Or, ce sont ceux—ci qui intéressent essentiellement l'utilisateur. Dans l'évaluation des performances à priori, on ignore naturellement ces tâches. Il faut donc s'en tenir à des vitesses de déplacement et de rotation de l'organe terminal.

Les constructeurs sont assez évasifs sur les performances en vitesse de leurs robots. On parle d'ordre de grandeur ou de vitesse maximum, mais toujours pour des translations de l'organe terminal (1 à 2 m/s). On donne aussi souvent les vitesses de rotations articulaires maximales (1 rad/s à 1 tour/s), mais il est difficile d'en déduire la vitesse instantanée dans l'espace de la tâche, qui est la grandeur que l'utilisateur attend.

I.5.1.e L'orientation possible de l'organe terminal

De par la présence de butées sur chaque articulation, et aussi parfois de par l'existence de couplages mécaniques entre articulations, il n'est pas toujours possible d'atteindre le débattement maximum sur chacun des degrés de mobilité de l'organe terminal dans tout le volume atteignable.

Il y aurait donc lieu, soit de donner les débattements angulaires minimaux de l'organe terminal par rapport au repère fixe dans tout le volume atteignable, soit de

fournir une cartographie de ces débattements. (Ceci serait plus utile que la présentation des constructeurs, qui donnent le débattement de chaque articulation a partir d'une position de référence, en négligeant les problèmes de butées et de couplages qui modifient quelquefois de façon non négligeable les possibilités du mécanisme).

I.5.1.f La fiabilité

Bien qu'elle mette en jeu tous les éléments présents dans le robot, c'est une donnée qui intéresse au plus haut point l'utilisateur, même s'il ignore tout du système. C'est pourquoi on peut la classer dans les performances-tâche.

Comme pour tout autre système, elle sera définie par un taux de pannes, celui-ci étant exprimé soit par la fraction du temps durant laquelle le robot ne remplit pas la fonction qui lui est assignée, soit par un MTBF (Mean Time Between Failures). On exprime aussi souvent cette fiabilité à l'aide d'un diagramme fréquentiel (fréquence de pannes) tout au long de la vie du système.

Le robot peut être sujet à deux grandes catégories de pannes :

1. arrêt total du fonctionnement
2. dégradation des performances. Par exemple sur la précision spatiale : une dérive plus ou moins lente peut se produire et, après un certain temps, le robot n'exécute plus la tâche. Ou bien un degré de mobilité ne fonctionne plus (il serait intéressant alors d'avoir une redondance des degrés de mobilité qui permette par une procédure automatique de compenser la défaillance en attendant de pouvoir réparer le robot).

I.5.2 Les performances-homme

On entend par là la facilité d'utilisation du robot, ce dernier étant sur le site d'utilisation et entre les mains d'un opérateur non spécialiste. Les compétences exigées pour faire fonctionner un robot ont trait :

- à la connaissance du matériel réglage, etc.
- à la connaissance du logiciel programmation du robot.

I.5.3 Les performances économiques

Il s'agit essentiellement de la rentabilité d'utilisation de robots dans l'entreprise. Elle dépend bien sûr d'un grand nombre de facteurs :

1. coûts d'investissements :
   - prix d'achat
   - coût d'installation du robot et des équipements de péri-robotique
   - coût de modification de l'atelier ou de la chaîne de production.
2. coûts d'exploitation
   - énergies, maintenance, espérance de vie, fiabilité (doit-on laisser une possibilité de travail manuel en cas de panne ?) et pourcentage temporel d'utilisation.
3. nature des tâches que les robots vont exécuter
   - tâches qui revenaient cher en main-d'œuvre ou non ?
   - la cadence de la fabrication augmentera-t-elle ?
   - la qualité de la production sera-t-elle améliorée ?
   - y aurait-il réduction de la main-d'œuvre ? (supprime-t-on un poste d'O.S. pour le remplacer par un poste de technicien ?)
4. le degré d'automatisation déjà présent dans l'atelier
   - Insérer un robot entre deux hommes ou réciproquement ne se justifie que dans des circonstances particulières, par exemple si la tâche est dangereuse
5. la taille de l'entreprise
   - Un robot seul peut ne pas être "rentable" mais une chaîne de plusieurs robots en ligne peut l'être.

Le constructeur de robots ne peut que proposer des robots "les plus performants possibles" et au "meilleur prix", en espérant atteindre le bon créneau après une étude de marché. C'est à l'utilisateur d'établir les performances économiques qu'il peut espérer, après avoir défini les tâches qu'il veut automatiser et les performances tâches et homme que les constructeurs peuvent lui proposer.

I.6 Les différents types des robots [3]

I.6.1 Les robots SCARA

SCARA = Selective Compliance Articulated Robot for Assembly.

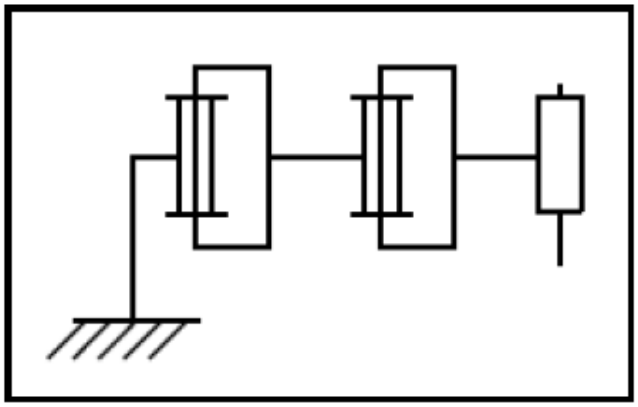


Figure I–16: schéma de Les robots SCARA

Caractéristiques :

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

Exemples :

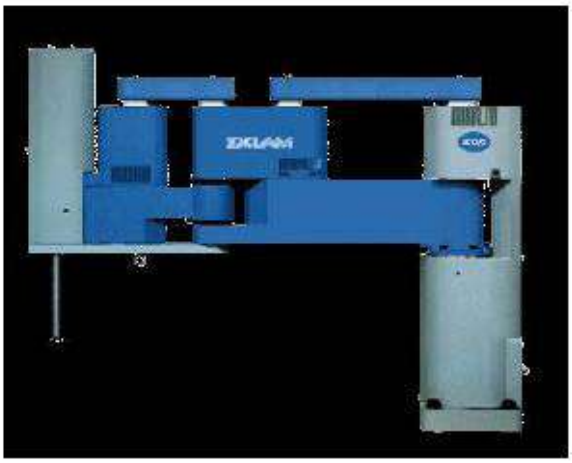


Figure I–17: Robot Sankyo



Figure I–18: robot Adept

I.6.2 Les robots cylindriques

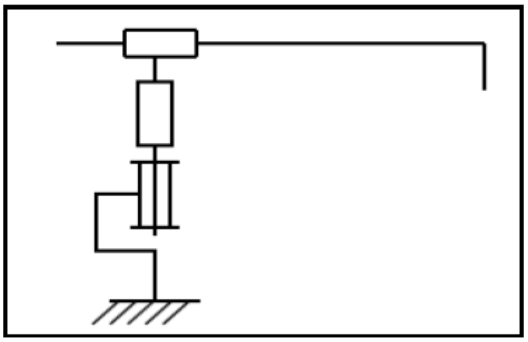


Figure I–19: Le robot cylindrique

Caractéristiques :

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

Exemples :



Figure I–20: Robot Seiko

I.6.3 Les robots sphériques

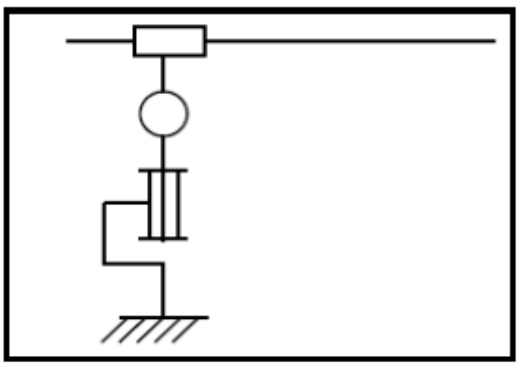


Figure I–21: robot sphérique

Caractéristiques :

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

Exemples :



Figure I–22: ROBOT FANUC

I.6.4 Les robots Cartésiens

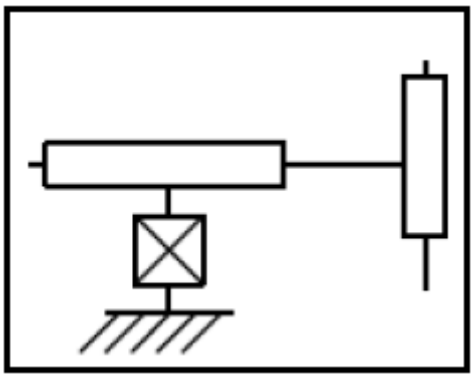


Figure I–23: robot Cartésien

Caractéristiques :

- 3 axes ⊥ 2 à 2, série, PPP, 3 DDL.
- Très bonne précision.
- Lent.

Exemples :



Figure I–24: robot Toshiba

I.6.5 Les robots parallèles

Caractéristiques :

- Plusieurs chaînes cinématiques en parallèle.
- Espace de travail réduit.
- Précis (grande rigidité de la structure).
- Rapide.

Exemples :



Figure I–25: robot COMAU

I.6.6 Les robots anthropomorphes

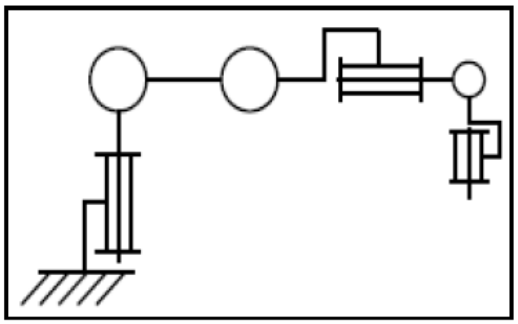


Figure I–26: robot anthropomorphe

Caractéristiques :

- Reproduisent la structure d'un bras humain.
- 6 axes, série, 6R, 6 DDL.

Exemples :

- Architecture standard :

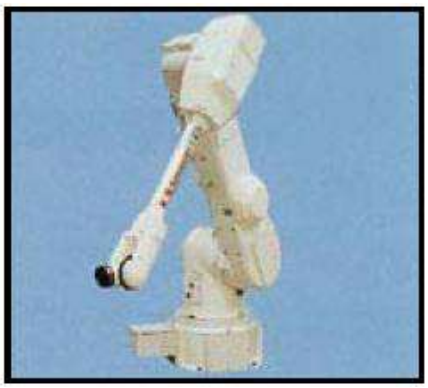


Figure I–27: robot Kawasaki

- Architecture à parallélogramme :

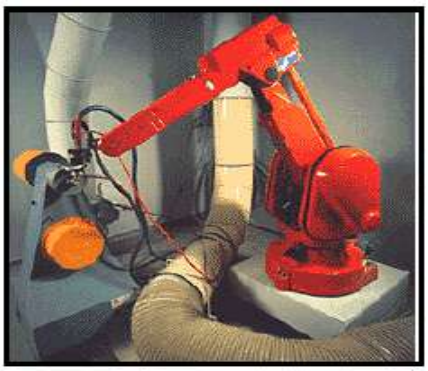


Figure I–28: robot ABB

I.7 Utilisation des robots [4]

I.7.1 Tâches simples

- La grande majorité des robots est utilisée pour des tâches simples et répétitives.

- Les robots sont programmés une fois pour toute au cours de la procédure *d'apprentissage*.

-Critères de choix de la solution robotique :

- La tâche est assez simple pour être robotisée.
- Les critères de qualité sur la tâche sont importants.
- Pénibilité de la tâche (peinture, charge lourde, environnement hostile, ...)

Exemples :

- Robot soudeurs :

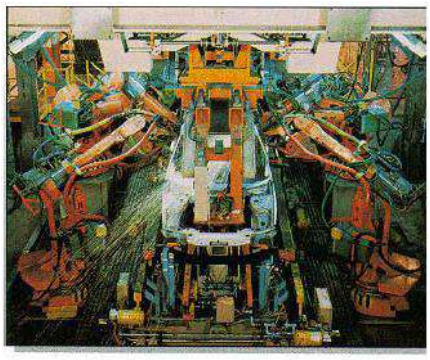


Figure I–29: Robot soudeurs Par points



Figure I–30: Robot soudeurs à l'arc

I.7.2 Tâches complexes

- Robotique de service :



Figure I–31: Robot pompiste



Figure I–32: Robot de construction



Figure I–33: robot Computer motion



Figure I–34: robot Assistance aux personnes Handicapées

I.8 Avenir de la robotique [3]

- Stagnation du nombre de robots utilisés pour des tâches simples.

- Forte croissance du nombre des robots utilisés pour des tâches complexes :

- robotique de service
- robotique d'assistance aux manipulations dans la recherche biologique et génétique.
- robotique médicale.

I.9 Conclusion

Le présent chapitre fait l'objet d'une description sur le domaine de la robotique en mettant l'accent sur les domaines applicatifs des robots industriels. Ensuite la classification des robots est abordée.

Chapitre II

MODÉLISATION MECANIQUE

Chapitre II : MODÉLISATION MECANIQUE

II.1 Introduction :

La modélisation de Système polyarticulé a pour but de représenter au mieux le robot dans son environnement pour ensuite lui programmer des trajectoires avec la Planification de mouvement.

La modélisation du robot consiste à représenter son comportement par des équations algébriques, soit du point de vue des positions, c'est le modèle géométrique, soit de point de vue des vitesses, c'est le modèle cinématique ou encore en considérant les efforts mis en jeux, c'est le modèle dynamique.

II.2 Structure mécanique et géométrique des robots

II.2.1 Structure mécanique

La structure mécanique du robot manipulateur peut être divisée en deux parties distinctes comme le montre la figure 2.1 [8] :

-Organe terminal : les tâches qui sont dévolues aux robots sont très variées. Pour chaque opération ou travail spécifique, l'organe terminal prend un aspect particulier.

- Elément porteur : il est composé d'un ensemble de corps souples ou rigides liés par des articulations, servant à déplacer l'organe terminal d'une configuration à une autre.

Avant de décrire les relations géométriques entre les différents corps du robot, on définit les notions suivantes :

- **Degré de liberté** : nombre de paramètres utilisés pour spécifier la configuration d'un élément de la chaîne cinématique par rapport à un autre.
- **Degré de mobilité** : toute articulation est caractérisée par son degré de mobilité m, c'est-à-dire le nombre de degrés de liberté entre deux corps successifs de la chaîne cinématique ($0 \leq m \leq 6$)
- **Espace articulaire** : représente l'état des corps composant le robot en fonction des variables articulaires, sa dimension n est égale au nombre de degrés de liberté du robot.
- **Espace opérationnel** : décrit la position et l'orientation de l'organe terminal du robot par rapport à un repère de référence, sa dimension $m \leq 6$.

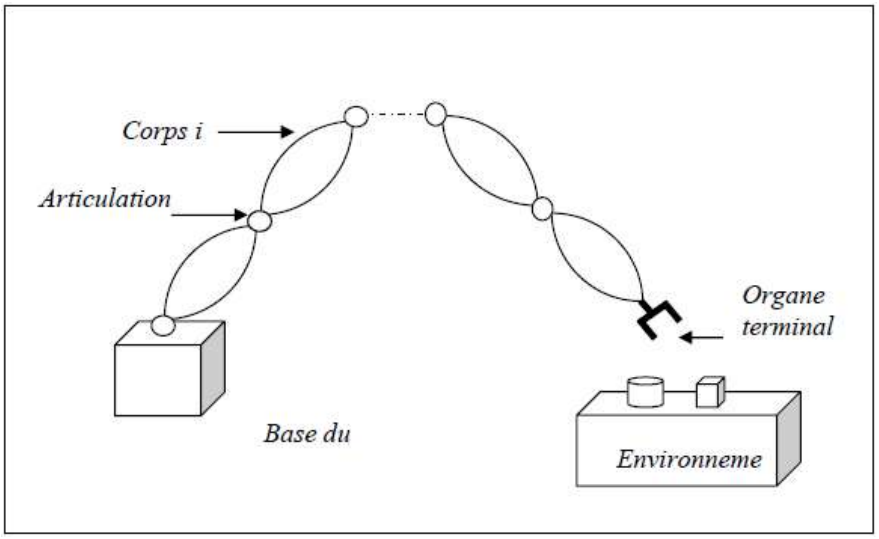


Figure II–1 : Robot à chaîne ouverte simple

II.2.2 Structure géométrique

Parmi les diverses méthodes utilisées pour déterminer la position et l'orientation de l'organe terminal par rapport au repère de référence, la plus répandue est celle de Denavit Hartenberg [8] **(**figure 2.2).

Pour exprimer le passage du repère Ri-1 au repère Ri, on définit les paramètres géométriques suivants:

-Translation selon Xi-1 d'une distance ai.

-Rotation autour de Xi-1 d'un angle αi.

-Translation selon Zi d'une distance di.

-Rotation autour de Zi d'un angle ω.

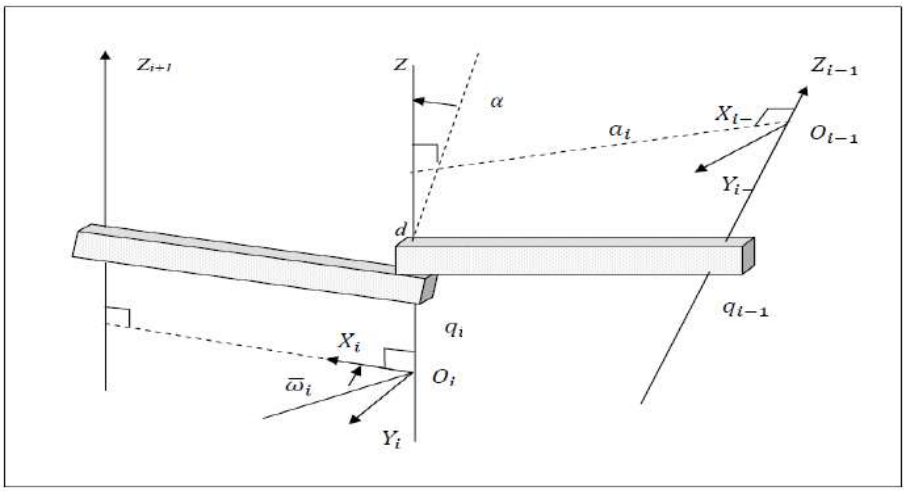


Figure II–2: Représentation de Denavit-Hartenberg

La matrice de transformation homogène est donnée comme suit :

$$^{i-1}T_{i} = Trans(x_{i-1}, a_{i-1})\,Rot(x_{i-1}, \alpha_{i-1})\,Trans(z_{i}, d_{i})\,rot(z_{i}, \overline{\omega})$$

$$^{i-1}T_{I} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \alpha_{i-1} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} & 0 \\ 0 & s\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_{i} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c\overline{\omega_{i}} & s\overline{\omega_{i}} & 0 & 0 \\ c\overline{\omega_{i}} & c\overline{\omega_{i}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$^{i-1}T_{I} = \begin{pmatrix} c\omega_{i} & -s\overline{\omega_{i}} & 0 & d_{i-1} \\ C\alpha_{i-1}s\overline{\omega_{i}} & C\alpha_{i-1}s\overline{\omega_{i}} & -s\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1}d_{i} \\ s\alpha_{i-1}s\overline{\omega_{i}} & s\alpha_{i-1}s\overline{\omega_{i}} & c\alpha_{i-1} & -c\alpha_{i-1}d_{i} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$^{i-1}T_{I} = \begin{pmatrix} ^{i-1}A_{I} & ^{i-1}P_{i} \\ 0_{3} & 1 \end{pmatrix} \qquad \text{(I.1)}$$

Avec :

$$^{i-1}A_{i} = \begin{pmatrix} c\overline{\omega_{i}} & -s\overline{\omega_{i}} & 0 \\ c\alpha_{i-1}s\overline{\omega_{i}} & c\alpha_{i-1}c\overline{\omega_{i}} & -s\alpha_{i-1} \\ s\alpha_{i-1}s\overline{\omega_{i}} & s\alpha_{i-1}c\overline{\omega_{i}} & c\alpha_{i-1} \end{pmatrix}, \qquad ^{i-1}P_{i} = \begin{pmatrix} d_{i-1} \\ -s\alpha_{i-1}d_{i} \\ c\alpha_{i-1}d_{i} \end{pmatrix}$$

Si on désigne par : $^{0}T_{n}$ la matrice de transformation reliant le repère Rn au repère R0 alors :

$$^{0}T_{n} = {}^{0}T_{1}\,{}^{1}T_{2\ldots\ldots}\,{}^{n-1}T_{n} \qquad \text{(I.2)}$$

II.3 Modèle géométrique

II.3.1 Modèle géométrique direct

Le modèle géométrique direct permet de déterminer la position et l'orientation de l'organe terminal du manipulateur par rapport à un repère de référence en fonction des variables articulaires, le modèle s'écrit :

$$X = f(q) \qquad \text{(I.3)}$$

Où

$q = [q_1, q_2, \cdots q_n]^T \in R^n$: Vecteur des variables articulaires.

$X = [X_1, X_2, \cdots X_n]^T \in R^m$: Vecteur des variables opérationnelles, m ≤ n.

Par exemple, si le manipulateur se déplace dans l'espace on pose m=6 (3 coordonnées pour la position et 3 coordonnées pour la rotation). S'il se déplace dans un plan on pose m=2 et si en plus on est concerné par la rotation on pose m=3.
La position de l'organe terminal peut être définie par des cordonnées cartésiennes, cylindriques ou sphériques. Le choix d'une structure particulière est guidé par les caractéristiques du robot, ainsi que par celle de la tâche à réaliser [8].

II.3.2 Modèle géométrique inverse

Le modèle géométrique inverse permet de déterminer le vecteur des variables Articulaires à partir du vecteur de coordonnées opérationnelles, le modèle s'écrit :

$$q = f^{-1}(X) \qquad (I.4)$$

Parmi les méthodes utilisées pour déterminer le modèle géométrique inverse on cite :

- **Les méthodes géométriques :** permettent de déterminer le vecteur q par utilisation des Transformations géométriques en prenant avantage de la structure particulière du manipulateur considéré.
- **Les méthodes algébriques :** permettent de déterminer le vecteur q en effectuant des transformations algébriques sur l'équation (I.3). Parmi les méthodes utilisées on cite la méthode de Paul qui consiste à multiplier successivement les deux membres du modèle géométrique direct par les matrices homogènes ${}^{i-1}T_I$ avec $(i = 1 \cdots n-1)$ permettant ainsi d'isoler et d'identifier les variables articulaires l'une après l'autre.

Lors de la résolution du problème géométrique inverse on rencontre pratiquement les Situations suivantes.

- Solutions en nombre fini, lorsqu'elles peuvent être calculées sans ambiguïté.
- Aucune solution possible lorsque la position désirée ne peut être atteinte par le manipulateur.

- Plusieurs solutions possibles lorsque le manipulateur est redondant ou lorsqu'il passe par une configuration singulière.

II.4 Modèle cinématique [10]

II.4.1 Modèle cinématique direct

Le Modèle cinématique direct d'un robot manipulateur est le modèle qui permet de calculer la vitesse de déplacement du point p en fonction des variables articulaires $\dot{q}$, il s'agit de déterminer le vecteur $\dot{X}$ défini par la vitesse de rotation $W_i{}^j$ du repère R_j par rapport au repère R_i et la vitesse de déplacement $V_i{}^j$ du point p .

$$dX = J(\mathrm{q})\,\mathrm{dq} \tag{I.5}$$

Où $J = J(\mathrm{q})$ est la matrice jacobienne de la fonction f, de dimension m × n :

$$J : \mathrm{T}_q \rightarrow T_X M$$

$$\dot{q} \rightarrow \dot{X} = J\dot{q} \quad \text{Où} \quad J = \frac{\partial f}{\partial q} \tag{I.6}$$

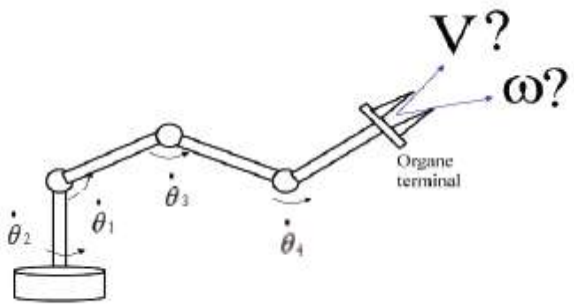


Figure II–3 : Exemple d'un Modèle cinématique direct

II.4.2 Modèle cinématique inverse

L'objectif du modèle cinématique inverse est de calculer, à partir d'une configuration q donnée, les vitesses articulaires q qui assurent au repère terminal une vitesse optimale X imposée.

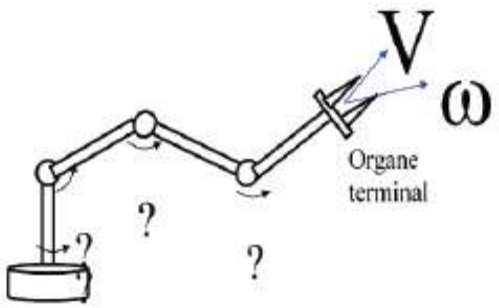


Figure II–4: Modèle cinématique inverse

II.5 Modèle dynamique [10]

II.5.1 Modèle dynamique direct

Le modèle dynamique est le modèle des efforts, lorsqu'on prend en compte les effets dynamiques. Le modèle dynamique direct est celui qui exprime les accélérations en fonction des positions, vitesses et couples des actionneurs. Il est alors représenté par la relation :

$$\ddot{q} = g(\mathrm{q}, \dot{\mathrm{q}}, \mathrm{C}, \mathrm{F}) \qquad \text{(I.7)}$$

$\ddot{q}$: C'est le vecteur des accélérations articulaires.

q : C'est le vecteur des positions articulaires.

$\dot{\mathrm{q}}$: C'est le vecteur des vitesses articulaires.

C : c'est la vectrice colonne des couples/forces des actionneurs, selon que l'articulation est rotoïde ou prismatique

F : c'est l'effort extérieur (forces et couples), à exercer par l'organe terminal.

Le formalisme de Lagrange est mieux adapté pour le calcul du modèle dynamique.

II.5.2 Modèle dynamique inverse

les équations qui donnent les couples ou forces à appliquer par les actionneurs en fonction des positions, des vitesses et des accélérations des variables de ces

actionneurs, et en fonction des efforts extérieurs appliqués sur les différents éléments du robot : pesanteur et effort sur l'outil.

Formalisme de Lagrange : Le formalisme de Lagrange décrit les équations du mouvement en termes de travail et d'énergie du système :

$$\Gamma_i = \frac{d}{dt}\frac{\partial L}{\partial qi} - \frac{\partial L}{\partial qi} \qquad \text{(I.8)}$$

Avec :

-L : lagrangien du système égale à E-U

-E : énergie cinétique totale du système

-U : énergie potentiel totale du système

II.5.3 Problèmes du modèle dynamique

Le développement de la technologie des calculateurs et des logiciels du calcul symbolique peut remédier à certains problèmes de modélisation tels que le risque d'erreur lors des calculs mais, il existe toujours d'autres problèmes. Le modèle d'un robot est conçu non seulement dans un but simulation, mais surtout de la commande. Dans ce dernier cas on se trouve face à trois types de problèmes :

- le modèle doit être valide, c'est-à-dire suffisamment précis. Or, plus le comportement devient dynamique moins on va pouvoir négliger des effets considérés comme parasites.

- le modèle dynamique étant essentiellement non linéaire, de nombreux coefficients fonction de la configuration vont devoir être évalues en ligne ce qui pose un problème d'exécution en temps réel.

II.6 Statique des robots

Les modelés géométriques, cinématiques et dynamiques permettent d'engendrer des commandes ayant pour effet de déplacer le robot dans son environnement qui est la première fonction, la deuxième fonction est le calcul des forces et des couples ressentis sur les actionneurs lorsque l'organe terminal, en l'absence de mouvement, est soumis à un effort extérieur ou doit exercer un effort sur son environnement.

La statique d' un robot manipulateur consiste à chercher l'équilibre sous l'effet des différentes forces appliquées au robot.

II.7 Détermination de la position finale de bras en fonction θ_1, θ_2

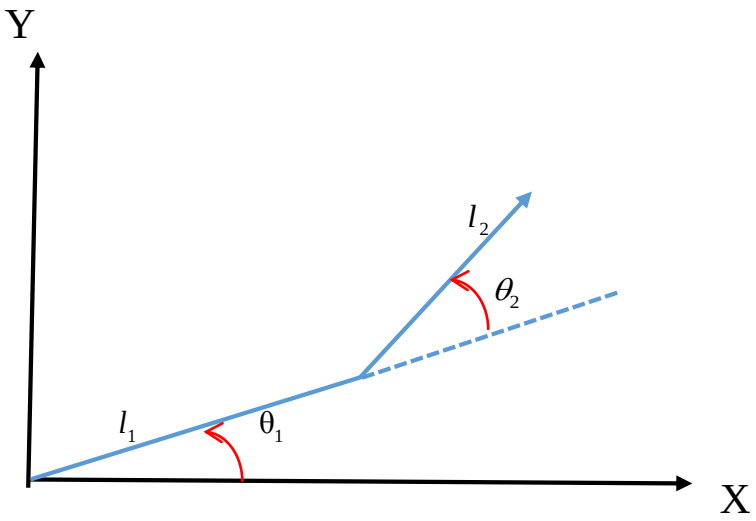


Figure II–5: les angles et les longueurs de bras

On veut déterminer la position finale de la tête de bras manipulateur (x, y) en fonction de paramètre θ_1, θ_2

$$X = l_1 \cos\theta + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2)$$

$$Y = l_1 \sin\theta + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

On a : $\begin{cases} \cos(\theta_1 + \theta_2) = \cos\theta_1 \sin\theta_1 - \sin\theta_1 \sin\theta_2 \\ \sin(\theta_1 + \theta_2) = \sin\theta_1 \sin\theta_1 + \sin\theta_2 \cos\theta_1 \\ \cos^2\theta_i + \sin^2\theta_i = 1 \end{cases}$

$$\Rightarrow X^2 + Y^2 = \left[l_1 \cos\theta_1 + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2)\right]^2 + \left[l_1 \sin\theta_1 + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2)\right]^2$$

$$\Rightarrow X^2 + Y^2 = l_1^2 \cos^2\theta_1 l_1^2 \cos^2(\theta_1 + \theta_2) + 2l_1 l_2 \cos\theta_1 \cos(\theta_1 + \theta_2)$$

$$+ l_1^2 \sin^2\theta_1 + l_2 \sin^2(\theta_1 + \theta_2) + 2l_1 l_2 \sin\theta_1 \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

$$\Rightarrow x^2 + Y^2 = l_1^2(\cos^2\theta_1 + \sin^2\theta_1) + l_2^2\left(\cos^2(\theta_1 + \theta_2)\sin^2(\theta_1 + \theta_2)\right)$$

$$+2l_1 l_2 \left(\cos\theta_1 \cos\theta_1 \cos\theta_2 - \cos\theta_1 \sin\theta_1 \sin\theta_2 + \sin\theta_1 \sin\theta_1 \cos\theta_2 + \sin\theta_1 \sin\theta_2 \cos\theta_2\right)$$

$$\Rightarrow X^2 + Y^2 = l_1^2 + l_2^2 + 2l_1 l_2 \left(\cos^2\theta_1 \cos\theta_2 + \sin^2\theta_1 \cos\theta_2\right)$$

$$\Rightarrow X^2 + Y^2 = l_1^2 + l_2 + 2l_1 l_2 \cos\theta_2 \Rightarrow \boxed{\cos\theta_2 = \frac{X^2 + Y^2 - L_1^2 - L_2^2}{2l_1 l_2} = \lambda} \qquad \text{(I.9)}$$

-Déterminé θ_2 :

On a : $\cos^2\theta_2+\sin^2\theta_2=1\Rightarrow\sin\theta_2=\pm\sqrt{1-\cos^2\theta_2}=\pm\sqrt{1-\lambda^2}$

Donc on a : $\cos\theta_2=\lambda$ et $\sin\theta_2=\pm\sqrt{1-\lambda^2}$

$$\tan\theta_2=\frac{\sin\theta_2}{\cos\theta_2}=\pm\frac{\sqrt{1-\lambda^2}}{\lambda}$$

$$\Rightarrow\theta_2=\tan^{-1}\left[\pm\frac{\sqrt{1-\lambda^2}}{\lambda}\right] \qquad (I.10)$$

Pour θ_1 on utilise la figure suivante :

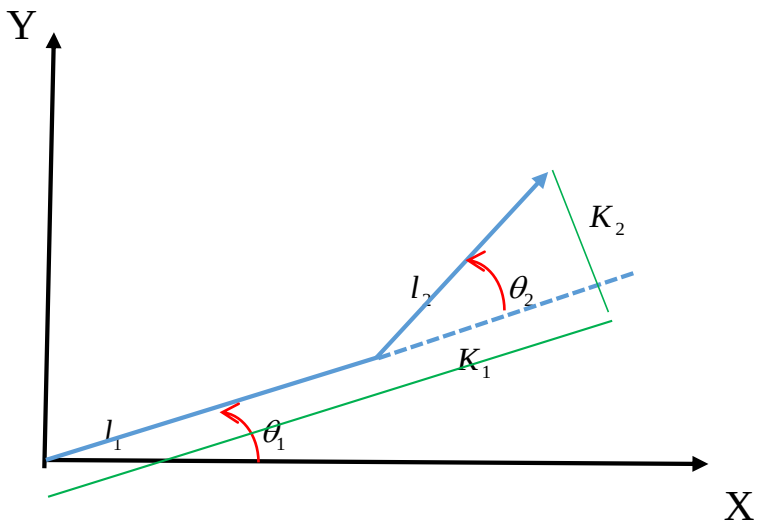


Figure II–6: les angles et les longueurs de bras

On a : $K_1=l_1+l_2\cos\theta_2$

$$K_2=l_2\sin\theta_2$$

$$\Gamma=\sqrt{k_1^2+k_2^2}$$

$$\begin{cases}X=l_1\cos\theta_1+l_2\cos(\theta_1+\theta_2)\\Y=l_1\sin\theta_1+l_2\sin(\theta_1+\theta_2)\end{cases}\Rightarrow\begin{cases}X=K_1\cos\theta_1-K_2\cos\theta_1\\Y=K_1\sin\theta_1+K_2\cos\theta_1\end{cases}$$

On a :

$$\cos(\theta_1+\gamma)=\frac{X}{\Gamma}\ ,\ \sin(\theta_1+\gamma)=\frac{Y}{\Gamma}\ ,$$

Tel que $\Gamma=\sqrt{K_1^2+K_2^2}$

Avec $K_1=\Gamma\cos\gamma$ et $K_2=\Gamma\sin\gamma \Rightarrow \gamma=\tan^{-1}\left(\frac{K_2}{K_1}\right)$

$$\Rightarrow \theta_1+\gamma=\tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right)\Rightarrow \theta_1=\tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right)-\gamma$$

$$\Rightarrow \theta_1=\tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right)-\tan^{-1}\left(\frac{K_2}{K_1}\right)$$

$$\Rightarrow \boxed{\theta_1=\tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right)-\tan^{-1}\left(\frac{l_2\sin\theta_2}{l_1+l_2\cos\theta_2}\right)} \qquad (I.11)$$

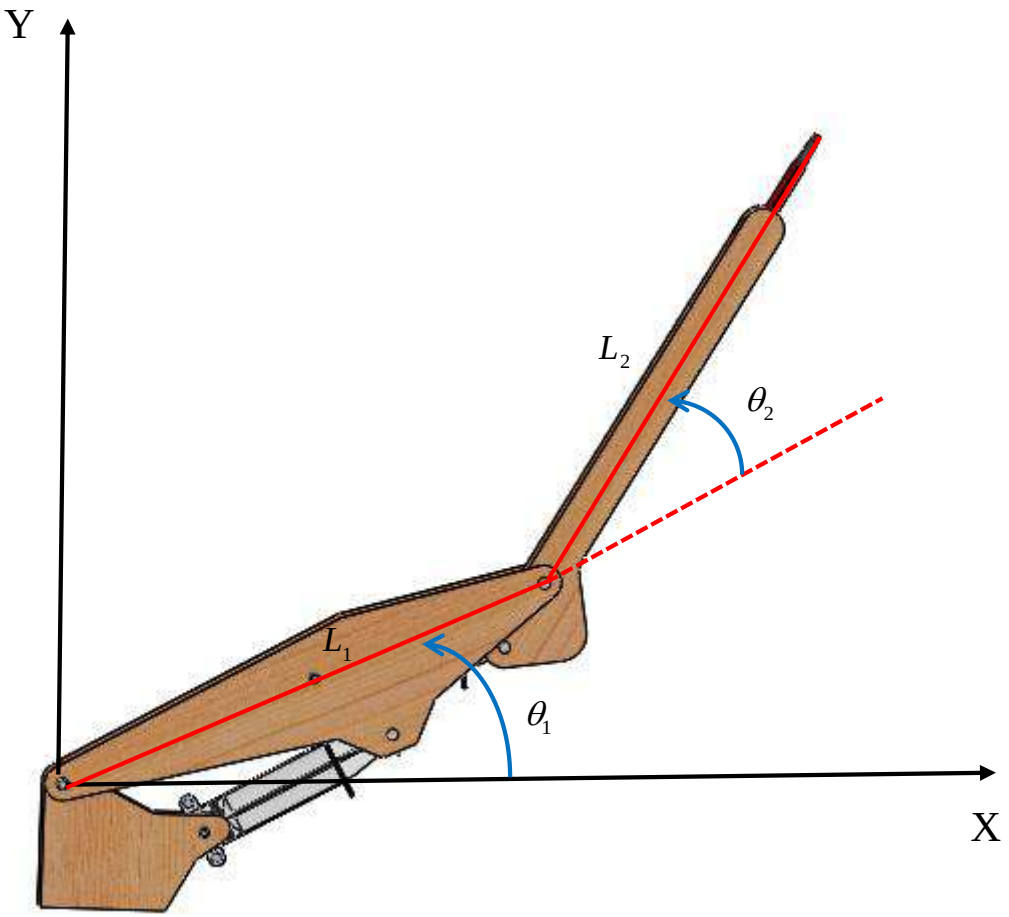


Figure II–7: schéma représente les angles entre le bras et le repère

II.8 Conception du bras manipulateur :

Pour la conception du bras on a utilisé le logiciel de dessin solidworks ,celui-là est très usé, SolidWorks est un modeleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan.

La figure II–8 représente les pièces du bras manipulateur :

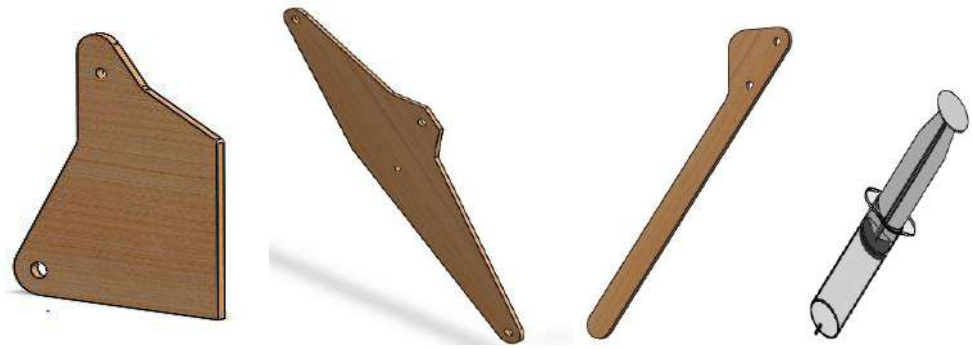


Figure II–9: les pièces du bras

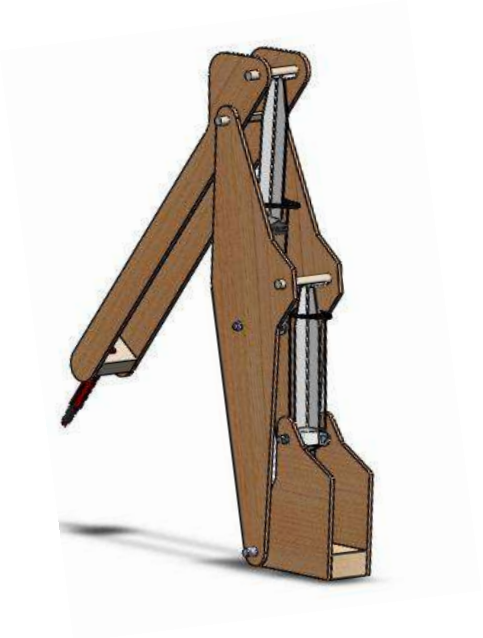


Figure II–10: l'assemblage des pièces

II.9 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons exposé les différents modèles utilisés pour décrire les mouvements des articulations d'un manipulateur et on a déterminé les positions du bras en fonction des angles. Enfin nous avons présenté la conception du bras manipulateur.

Chapitre III

Moteur Pas à pas

Chapitre III : Moteur Pas à pas

III.1 INTRODUCTION

Les moteurs pas à pas sont utilisés depuis une trentaine d'années dans des applications de positionnement et d'entraînement à vitesse variable. Les raisons principales de leur succès tiennent à leur faible coût et à leur facilité de mise en œuvre pour des positionnements de précision élevée.

Le moteur pas à pas est à la base un moteur synchrone polyphasé à plusieurs groupes de pôles. Il est devenu "pas à pas" lorsqu'on s'est avisé qu'il était facile de le faire tourner en commutant en tout ou rien l'alimentation des enroulements. Il s'est alors diversifié en trois types majeurs dont deux restent couramment employés de nos jours.



Figure III–1: Moteur pas à pas

III.2 Propriétés et applications

Le moteur pas à pas a été conçu à partir de deux démarches logiques très différentes. D'une part, on a cherché un moteur capable de développer un couple important à faible vitesse, voire même à l'arrêt. D'autre part, on a étudié un dispositif capable de convertir des informations de caractère discret. Le convertisseur d'énergie à basse vitesse et le transmetteur de l'information sont devenu un moteur pas à pas moderne vers les années 1970 [5], grâce au développement conjugué de l'électronique de puissance et, surtout, grâce à l'apparition de l'électronique numérique à forte intégration.

Le moteur pas à pas est actuellement le principal élément intermédiaire entre les dispositifs de traitement d'information et le monde électromécanique extérieur. Par ailleurs, ses capacités à contrôler la position et la vitesse, par un train d'impulsions de commande, assurent à ce convertisseur des applications comme :

- La traction des robots mobiles.
- Le fonctionnement en moteur couple de grande puissance.
- L'indexage rotatif ou linéaire.

Dans sa version classique, le moteur pas à pas est alimenté à partir d'une source (de courant ou de tension) continue et le contrôle de la vitesse ou/et de la position s'effectue en boucle ouverte.

Le pilotage en boucle ouverte, qui constitue un des principaux avantages du moteur pas à pas, aussi bien du point de vue économique (coût et fiabilité d'installation) que fonctionnel (commande naturelle par "tout ou rien" à partir d'une horloge séparée ou intégrée dans un microprocesseur), présente un certain nombre d'inconvénients comme la limitation du couple de démarrage, des instabilités de fonctionnement à certaines fréquences, des accélérations relativement modestes.

III.2.1 Utilisations des moteurs pas à pas

A l'époque de leur création, les moteurs pas à pas devaient leur succès à la simplicité du circuit de commande pour une application de positionnement.

En effet, ce sont les seuls moteurs capables de fonctionner en boucle ouverte dans les utilisations de positionnement, de ce point de vue, ils constituent la transposition dans le mouvement circulaire continu de ce que l'électro-aimant est pour le mouvement alternatif.

Pour les applications d'entraînement, bien que les autres types de moteurs (continu, asynchrone) soient satisfaisants [6, 7], le moteur pas à pas est beaucoup plus précis. Seul le moteur synchrone lui est comparable, mais il ne peut fonctionner qu'à vitesse fixe. Actuellement, ces qualités sont toujours un atout majeur, mais on sait faire des circuits de commande plus raffinés qui augmentent encore les performances des moteurs ; on peut aussi les coupler à des codeurs optiques de position pour augmenter la précision du positionnement. Les performances d'un moteur pas à pas dépendent grandement du circuit de commande. Aussi, l'étude des moteurs pas à pas est

indissociable de celle des circuits de commande. C'est ce qui justifie le plan du présent exposé.

On peut classer les moteurs pas à pas en deux types selon l'alimentation de bobinage :

- **Les moteurs bipolaires**

Ils ont en général 4 fils et se commandent en inversant le sens du courant dans une des deux bobines, qui sont alimentés une fois dans un sens, une fois dans l'autre sens. Ils créent une fois un pôle nord, une fois un pôle sud d'où le nom de bipolaire.

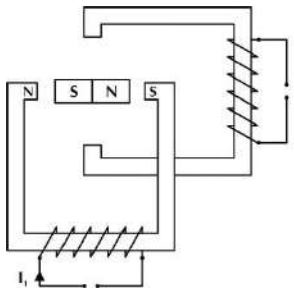


Figure III–2: Schéma d'un moteur bipolaire

La commande du moteur s'effectue par envoie successif, une à une, des combinaisons Suivantes :

- ***Mode 1 :*** On alimente un enroulement à la fois :

Tableau III-1: Alimentation d'un enroulement à la fois.

Séquence	$I_1 > 0$	$I_1 < 0$	$I_2 > 0$	$I_2 < 0$	Angle
1	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	90°
3	0	1	0	0	180°
4	0	0	0	1	270°

- ***Mode 2 :*** On alimente deux enroulements à la fois :

Tableau III-2: Alimentation de deux enroulements à la fois.

Séquence	$I_1 > 0$	$I_1 < 0$	$I_2 > 0$	$I_2 < 0$	Angle
1	1	0	1	0	45°
2	0	1	1	0	135°
3	0	1	0	1	255°
4	1	0	0	1	315°

❖ **Les moteurs unipolaires**

Ils ont en général 6 fils, dont deux sont reliés au milieu des bobines. Ils se commandent en les alimentant tour à tour, mais les bobinages sont alimentés toujours dans le même sens par une tension unique d'où le nom d'unipolaire.

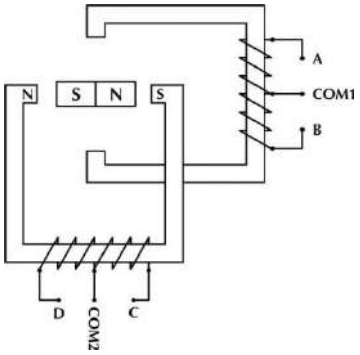


Figure III–3: Schéma d'un moteur unipolaire

Séquence d'alimentation des enroulements :

Tableau III-3: Séquence d'alimentation des enroulements.

Séquence	A	B	C	D	Angle
1	1	0	0	0	90°
2	0	0	1	0	0°
3	0	1	0	0	180°
4	0	0	0	1	270°

III.3 Les principaux types de moteurs pas à pas

Trois types principaux des moteurs seront abordés, les moteurs pas-à-pas à réluctance variable, les moteurs pas-à-pas à aimants permanents, les moteurs pas-à-pas hybride.

III.3.1 Moteur pas-à-pas à réluctance variable MRV

Il est constitué d'un rotor plein en fer doux muni de pôles saillants, non aimanté. Le stator est semblable à celui d'un moteur à courant continu à excitation avec des épanouissements polaires et une bobine sur chaque pôle. Le stator est souvent triphasé. Le nombre de systèmes de pôles est de 6 ou 12 le plus souvent. Ce moteur est susceptible d'une grande vitesse comparativement à celui à aimant permanent. Il n'est plus utilisé car remplacé par le moteur hybride.

III.3.1.a Composition d'un moteur pas à pas à réluctance variable

Un moteur pas à pas à réluctance variable est composé d'un rotor feuilleté en fer doux comportant un certain nombre de dents, et d'un stator également en fer doux feuilleté comportant un certain nombre de bobines. Le nombre de bobines doit être différent du nombre de paires de dents du rotor.

L'alimentation de chacune des bobines va permettre la création d'un champ magnétique dans le stator, et le rotor s'oriente suivant les lignes de champ. On peut noter que lorsque le moteur n'est pas alimenté, comme il n'y a pas d'aimant permanent, le rotor peut prendre n'importe quelle position : un moteur pas à pas à réluctance variable n'a pas de couple résiduel ou couple de détente.

III.3.1.b Technologie des moteurs pas-a-pas à réluctance variable

Les circuits magnétiques du rotor et du stator sont assemblés à partir de tôles magnétiques de haute perméabilité (fer-silicium ou même fer-cobalt). Certaines machines, destinées au positionnement ou à une rotation très lente, peuvent avoir un rotor ou/et un stator en fer massif. Il existe un grand nombre d'astuces de construction pour augmenter le nombre de pas par tour [6].

Pour minimiser la force magnétomotrice et augmenter la puissance massique, l'entrefer des moteurs pas à pas à reluctance variable doit être aussi petit que possible. Plusieurs géométries du rotor et du stator ont été ainsi imaginées par les constructeurs pour remplir des cahiers des charges particuliers.

On distingue trois géométries de base, à savoir :

- Les moteurs pas à pas à réluctance variable à plots statoriques non dentés
- Les moteurs pas à pas à réluctance variable à plots statoriques dentés
- Les moteurs pas à pas à réluctance variable à plots statoriques non denté décalés

III.3.1.c Les modes de commande d'un moteur pas à pas à réluctance variable

- **Fonctionnement en pas entier**

Comme pour le moteur pas à pas à aimant permanent, on alimente successivement les différentes bobines. Par contre, ici le sens d'alimentation n'a pas

d'importance car le rotor n'est pas polarisé. Le rotor va prendre une position telle qu'une des paires de dents soit alignée avec la bobine alimentée.

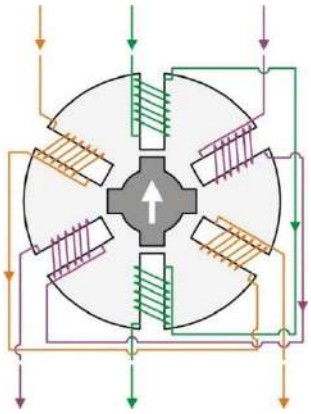


Figure III–4: Fonctionnement en pas entier à réluctance variable.

- **Fonctionnement en mode « High Torque » (fort couple)**

De même, on peut utiliser un moteur pas à pas à réluctance variable en mode « High torque » en alimentant deux bobines. Le rotor prendra donc les positions intermédiaires, et comme pour le moteur à aimant permanent, le couple sera plus élevé dans ce mode que dans le mode précédent.

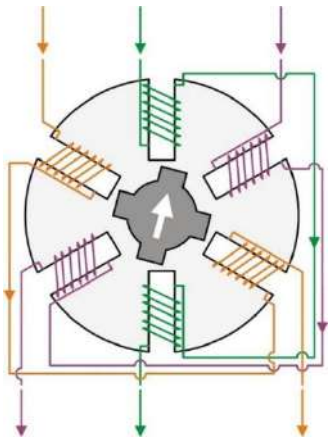


Figure III–5: Fonctionnement en mode « High Torque » à réluctance variable.

- **Fonctionnement en mode demi pas**

En combinant les deux modes précédents, on obtient un fonctionnement en 24 pas, et donc une résolution de 15°. Le fonctionnement est illustré par l'image suivante.

Globalement le nombre de pas (en fonctionnement pas entier) d'un moteur pas à pas MRV est donné par la formule suivante :

$$N_p = \frac{N_s \times N_r}{N_s - N_r}$$

Np : nombre de pas.

Ns : nombre de dents du stator.

Nr : nombre de dents du rotor.

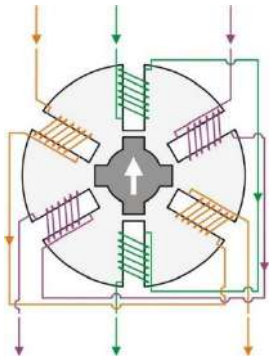


Figure III–6: Fonctionnement en mode demi pas à réluctance variable

III.3.2 Moteur pas à pas à aimants permanents MP

C'est le modèle le plus simple dans son fonctionnement. Sa constitution est très simple, et la rotation est obtenue en contrôlant l'alimentation des bobines ainsi que le sens du courant dans celles-ci. Il est constitué d'un rotor aimanté en ferrite à plusieurs paires de pôles (couramment 6 ou 12) et de deux stators indépendants comportant chacun une bobine cylindrique et des pièces polaires en tôle découpée donnant autant de paires de pôles qu'il y en a sur le rotor.

C'est un moteur de construction économique et de performances modestes. Il n'est fabriqué que pour de petites puissances ($< 10W$).

III.3.2.a Composition d'un moteur pas à pas à aimant permanent

C'est le modèle le plus simple dans son fonctionnement. Le rotor est constitué d'un aimant permanent, et le stator comporte deux bobinages (ou deux groupes de bobinages). En contrôlant l'alimentation des bobines, et le sens du courant dans celles-ci, on peut faire varier le champ dans le moteur.

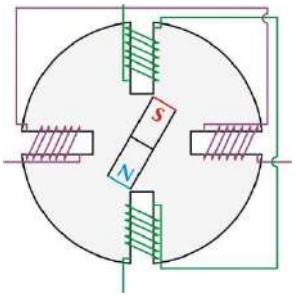


Figure III–7: Composition d'un moteur pas à pas à aimant permanent.

III.3.2.b Les modes de commande d'un moteur pas à pas à aimant permanent

- **Fonctionnement en pas entier**

Dans ce mode de fonctionnement, les bobines sont alimentées l'une après l'autre dans un sens puis dans l'autre. L'aimant permanent suit le déplacement du champ magnétique créé par ces bobines et s'oriente selon une de ses 4 positions stables.

Comme le rotor est aimanté, lorsque le moteur n'est pas alimenté le flux magnétique dû à l'aimant permanent va à lui seul créer un couple résiduel ou couple de détente, en se mettant dans l'axe de l'une des bobines.

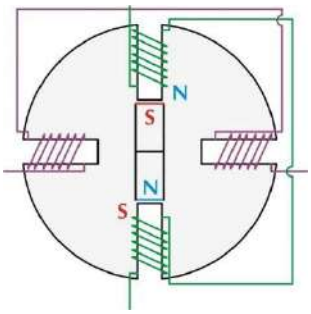


Figure III–8: Fonctionnement en pas entier à aimant permanent.

- **Fonctionnement en mode « High Torque » (fort couple)**

Pour augmenter l'intensité du flux magnétique créé par le stator, et donc le couple moteur, on peut alimenter les deux bobines en même temps, en faisant varier uniquement le sens du courant dans chacune d'entre elles. Le rotor prendra donc également l'une des 4 positions de la figure 3.9, suivant le sens d'alimentation de chacune des bobines.

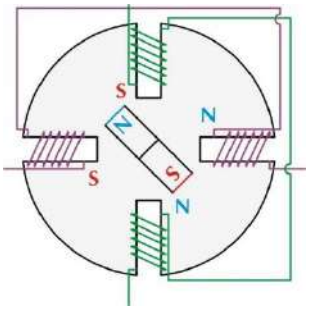


Figure III–9: Fonctionnement en mode « High Torque » à aimant permanent.

- **Fonctionnement en mode demi pas**

Pour augmenter le nombre de positions stables et donc de pas du moteur à aimant permanent, on peut combiner les deux modes précédents dans un mode de commande appelé « demi pas ». La figure III.10 montre le fonctionnement de ce mode. Les moteurs pas à pas à aimant permanent ont un couple moteur important, mais une résolution (nombre de pas par tour) faible, et une fréquence de rotation faible. La commande de ces moteurs pas à pas nécessite de contrôler le sens du courant dans chaque bobine.

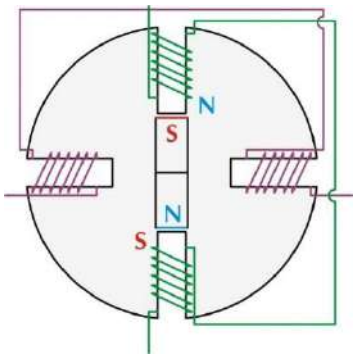


Figure III–10: Fonctionnement en mode demi pas m. à aimant permanent.

III.3.2.c Les avantages et les inconvénients des moteurs pas à pas aimant permanent

Avantages du moteur à aimant permanent :

- Dimensions réduites.
- Bon rendement.
- Bon amortissement des oscillations.

Inconvénients du moteur à aimant permanent :

- Puissance faible
- Paliers en bronze ou plastique (pas de roulement).

- ❖ Couple résiduel sans courant.
- ❖ Vitesse faible.

III.3.3 Moteur pas-à-pas hybride MH

C'est une combinaison des deux modes de construction. On utilise un rotor aimanté à pôles saillants et un stator aussi à pôles saillants. Chaque pôle (ils sont le plus souvent 8) reçoit un enroulement et ceux-ci sont associés un pôle sur deux de façon à constituer deux enroulements diphasés.

Le rotor et le stator sont pourvus d'encoches constituant autant de petits pôles mais le pas angulaire est différent au stator et au rotor, de sorte que seuls certains micro-pôles se correspondent.

Par exemple, le rotor comporte 50 dents, et le stator à un pas de 1/48 de tour entre deux dents. Ceci provoque un effet de vernier qui multiplie le nombre apparent de pôles, de sorte à avoir le plus souvent 50 systèmes de pôles. C'est pourquoi on les appelle parfois "moteurs vernier".

Ces moteurs ont une plus grande puissance massique que les précédents et tournent plus lentement à cause du nombre de pôles, ce qui est très souvent avantageux car l'entraînement direct de la charge (sans réducteur) est souvent possible. De plus, ils fonctionnent sur une large gamme de vitesses et existent pour des puissances variées, de $1W$ à $1kW$.

Un nouveau mode de construction comporte un rotor en forme de disque passant dans l'entrefer du stator. Le rotor lisse comporte 25 paires de pôles ce qui rend ce type de moteur comparable avec les types traditionnels mais avec des performances plus élevées, en particulier une très faible inertie qui permet de très grandes accélérations.

Les moteurs hybrides sont les plus répandus actuellement pour les applications demandant une précision et une puissance moyennes.

III.3.3.a Composition d'un moteur pas à pas hybride :

Le rotor présente plusieurs dents comme pour un moteur pas à pas à réluctance variable, mais chaque dent est polarisée comme pour un moteur pas à pas à aimants permanents.

Physiquement le rotor est composé de deux éléments identiques à un rotor de moteur à réluctance variable (rouge et bleu), reliés ensemble par un aimant permanent (noir), avec un déphasage d'une 1/2 dent.

De ce fait ces deux éléments ont une polarisation différente (nord et sud) et vont réagir à la polarisation de chacune des dents du stator.

C'est cette polarisation qui permet de n'utiliser que deux bobines, qui forment en réalité 4 états différents puisque le sens du courant entre ici en jeu.

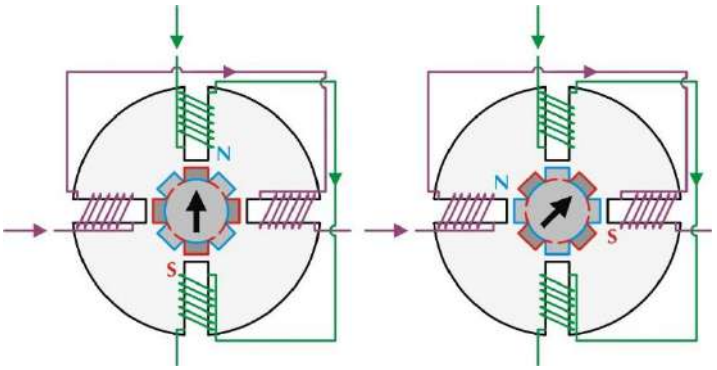


Figure III–11: Composition d'un moteur pas à pas hybride.

III.3.3.b Fonctionnement d'un moteur pas à pas hybride :

En mode pas entier, les bobines sont alimentées une par une alternativement, dans un sens puis dans l'autre. On voit bien ici l'intérêt d'avoir un rotor polarisé : quand on coupe l'alimentation de la bobine verte et qu'on alimente la bobine mauve, en l'absence de polarisation du rotor on n'aurait aucun contrôle sur le sens de rotation, les deux dents bleues et rouges étant attirés de la même façon par la bobine.

Avec un rotor polarisé, on peut choisir une de ces deux dents en agissant sur le sens du courant dans la bobine. Il en résulte le mouvement décrit sur l'image suivante.

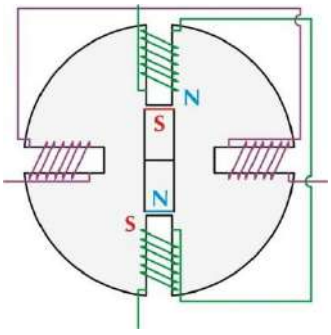


Figure III–12: Moteur pas à pas hybride en fonctionnement.

III.3.3.c Technologie des moteurs pas à pas hybrides

Les moteurs pas à pas hybrides réunissent, au moins en partie, les avantages des moteurs pas à pas à réluctance variable et à aimants permanents, à savoir :

- Un grand nombre de pas par tour,
- Une fréquence propre mécanique importante,
- Un couple massique élevé,
- Un amortissement interne important, une mémoire de position.

III.3.3.d Commande d'un moteur pas à pas hybride

Nous venons de voir que pour commander un moteur pas à pas hybride, comme pour un moteur à aimant permanent, on doit contrôler le sens courant dans chacune des bobines.

En pratique, le bobinage est généralement réalisé sur une pièce en fer doux dentée, et polarise cette pièce suivant le sens du courant. Pour cela, il existe trois types de câblages pour les moteurs pas à pas :

- **Câblage 4 fils**

Il n'y a qu'une seule bobine pour chaque pôle. Ce type de configuration impose de pouvoir changer le sens du courant au niveau du système d'alimentation.

Ces moteurs sont appelés moteurs pas à pas bipolaires, car lors de leur rotation chacune des bobines va être polarisée de deux façons différentes.

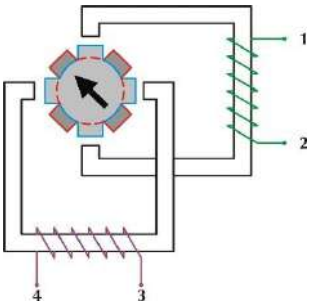


Figure III–13: Moteur pas à pas hybride 4 fils.

- **Câblage 6 fils**

Un point milieu est créé sur chacun des bobinages. Généralement ces deux points milieux (2 et 5) sont reliés à une borne du dispositif d'alimentation. En alimentant un des 4 autres points on peut choisir le sens du courant sans avoir d'inversion de polarité.

L'inconvénient est qu'on n'utilise que la moitié du cuivre, ces moteurs pas à pas unipolaires ont donc un rendement massique plus faible.

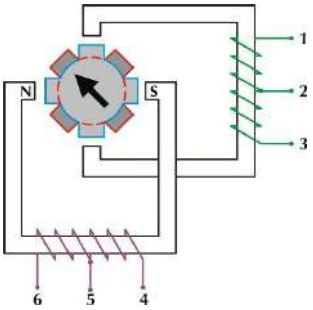


Figure III–14: Moteur pas à pas hybride 6 fils.

- **Câblage 8 fils :**

Cette configuration de moteur pas à pas permet de choisir entre les deux configurations précédentes au moment du câblage. On peut relier les bobines de chaque groupe en série ou en parallèle pour utiliser le moteur en bipolaire, ou les relier en série en gardant le point milieu pour l'utiliser en unipolaire.

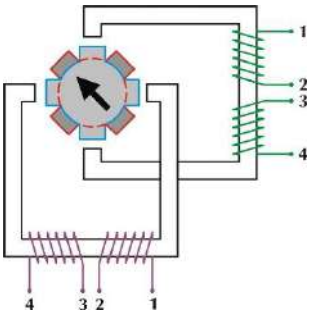


Figure III–15: Moteur pas à pas hybride 8 fils.

III.3.3.e Avantages et inconvénients du moteur pas à pas hybride

Avantage :

- ❖ Couple important

- Plus de puissance
- Rendement assez bon
- Courbe Démarrage/Arrêt, assez élevée
- Bon amortissement
- Adapté au fonctionnement micro-pas
- Roulement à billes pour une meilleure charge radiale et plus longue durée de vie
- Petit angle de pas

Inconvénients :

- Inertie élevée
- Couple résiduel sans courant
- Plus couteux
- Plus volumineux

III.4 Comparaison entre les trois types de moteurs pas à pas

Le Tableau donne une comparaison entre les divers types de moteurs pas à pas [5, 7].

Tableau III-4: Comparaison des performances pour les trois types de moteurs pas à pas.

Type de moteur pas à pas	Moteur à réluctance variable	Moteur à aimants permanents	Moteur hybride
Résolution (N pas/tr)	Bonne	Moyenne	Elevée
Couple moteur	Faible	Elevée	Elevée
Sens de rotation	Dépend de l'ordre d'alimentation des phases	Dépend de l'ordre d'alimentation des phases et du sens du courant dans les bobines	
Fréquence de travail	Grand	Faible	Grande
Puissance	Quelque Watts	Quelques dizaines de Watts	Quelques K Watts
Inconvénients	Pas de mémoire de position		

III.5 CONCLUSION

Nous avons vus dans ce chapitre les moteurs pas à pas avec ses divers et principaux types, qui sont les moteurs pas à pas à réluctance variable « MRV », les moteurs pas à pas à aimant permanant « MP » et les moteurs pas à pas hybrides « MH ».

En deuxième étape, on a vu le mode de fonctionnement de chaque type en un pas entiers et en mode demi pas.

Enfin, nous avons fait une petite comparaison entre ces trois types.

Chapitre IV

Réalisation et interprétation des résultats

Chapitre IV : Réalisation et interprétation des résultats

IV.1 Introduction :

Ce chapitre sera consacré à la présentation expérimentale du travail accompli selon différents phases de réalisation, généralement, on peut dire que notre projet est constitué de deux principales parties :

- Partie Programmations (coté soft).
- Parie Mécatroniques (coté hard).

Ce dernier est pour le but de commander un moteur pas à pas à l'aide d'une commande, en utilisant l'outil de programmation MATLAB.

Le langage MATLAB, ou « MATRIX LABORATORY », est un langage de programmation et de développement de quatrième génération. Développé par la société « The Math Works », MATLAB permet la manipulation de matrice, afficher des courbes et des données, mettre en œuvre des algorithmes, créer des interfaces utilisateurs, et peut s'interfacer avec d'autres langages comme le C, C++, Java, et Fortran. Les utilisateurs de MATLAB sont de milieux très différents comme l'ingénierie, les sciences et l'économie dans un contexte aussi bien industriel que pour la recherche. Au cours de notre projet, nous avons utilisé MATLAB R2014b qui est plus développé que les anciennes versions surtout dans le domaine de l'ingénierie.

IV.2 Réalisation du driver

IV.2.1 Description sur les blocs

Notre driver est constitué de quatre blocs :

- **Bloc 01** : Programmation PC
- **Bloc 02** : Réalisation de l'alimentation
- **Bloc 03** : Driver
- **Bloc 04** : Mécanisme

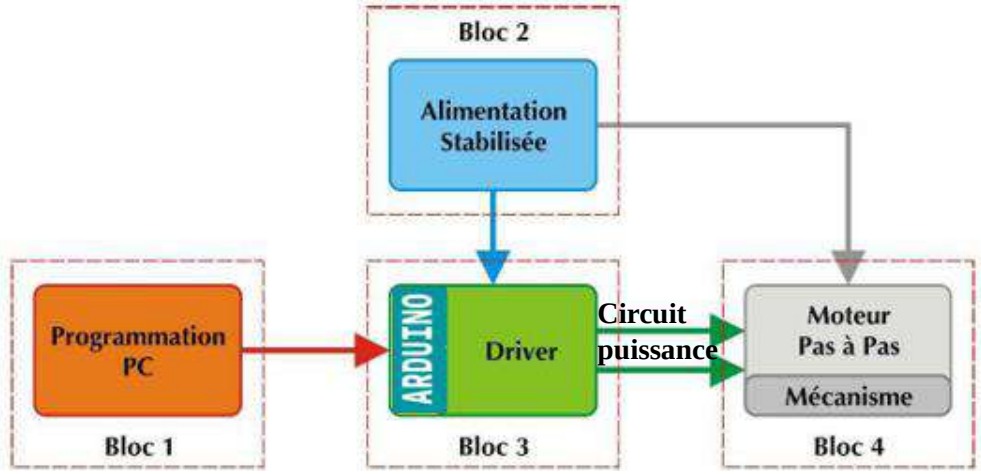


Figure IV–1: Diagramme descriptif des blocs.

- **bloc 01 : Programmation PC**

Cette étape est commandée le bras manipulateur à l'aide d'un programme MATLAB.

- **bloc 02 : L'alimentation Stabilisé**

Le montage devra être alimenté par une tension de $+12V$ et sous un ampérage minimum de $1A$. La tension $+VCC$ ne sera pas obligatoirement stabilisée par contre, la tension $+5V$ d'alimentation des circuits TTL devra l'être. Pour cela, on utilisera tout simplement un régulateur de tension 7805. Un transformateur fournissant une tension de $+10V$ sur son enroulement secondaire et d'une puissance de $12VA$ fera amplement l'affaire.

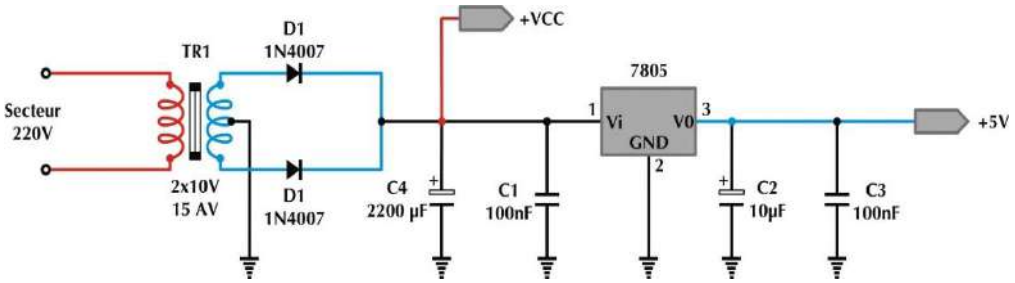


Figure IV–2: l'alimentation stabilisée..

- **bloc 03 : Driver**

Est un circuit permet de générer les différentes séquences de commande du .moteur à partir d'un signal d'horloge et faire la commande des deux moteurs à l'aide des circuits intégrés gérés par un Arduino Uno.

- **bloc 04 : Mécanisme**

Ce mécanisme représente un bras manipulateur usiné en bois léger et dure. Il permet de détecter des points bien précis dans des positions difficiles à traiter par l'être humain. Ainsi, le bras est doté d'un système de commande facilitant le traitement des objets. Le fonctionnement du bras se déroule comme suit :

Le moteur électrique fait tourner la vis sans fin qui est à son tour donne un mouvement de translation au tube taraudé, le tube taraudé fait pousser (ou tirer) la seringue qui anime le bras manipulateur par les mouvements désirés.

IV.2.2 Schéma de commande

Pour le bon fonctionnement du moteur pas à pas, nous avons utilisés le schéma de commande suivant :

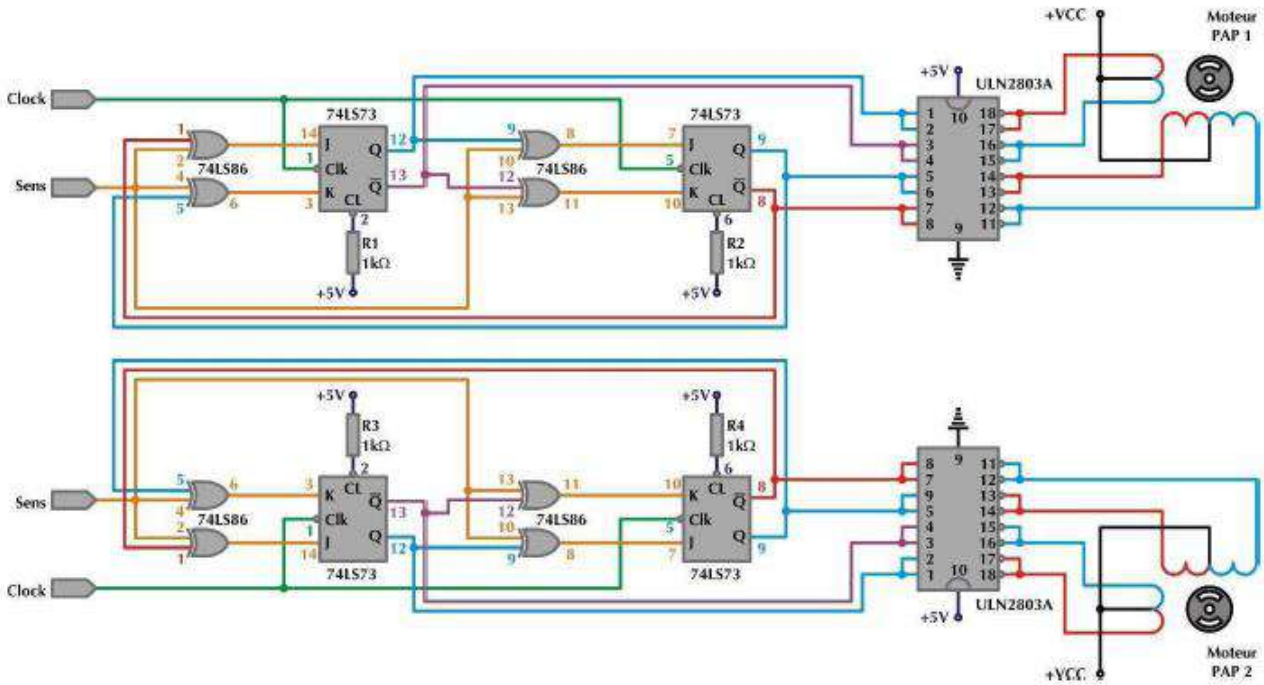


Figure IV–3: Schéma du driver.

IV.2.2.a Principe

Le schéma du driver de la figure 4.3 est d'une grande simplicité puisqu'il ne nécessite que quatre circuits intégrés très courants : deux de type TTL et deux de puissance. Ce circuit est un ensemble de quatre portes contenus dans un boitier de type 74LS86 combiné à deux bascules 74LS73 permet de générer les différentes séquences de commande du moteur à partir d'un seul signal d'horloge. De plus, l'application d'un niveau bas ou haut sue deux portes Ou-Exclusif permet d'inverser le sens de rotation.

Le circuit de puissance utilise un circuit intégré ULN2803A, comportant un octuple réseau de transistors Darlington[3] connectés en parallèle deux à deux. Ce circuit supporte une tension maximale de 50V et un courant de 500mA par transistor .

IV.2.2.b La réalisation pratique

Le dessin du circuit imprimé et l'implantation des composants est représentés en figure 4.4. Les strapes seront implantés en premier lieu, puis viendra le tour des résistances, des condensateurs de petite capacité et des diodes de redressement.

Les supports de circuits intégrés, le régulateur de tension, les borniers à vis seront ensuite soudés sur la platine. La mise en place des composants s'achèvera par l'implantation du condensateur chimique de filtrage.

On terminera par un contrôle rigoureux des soudures afin de s'assurer de l'absence de court-circuit, surtout au niveau des broches des circuits intégrés.

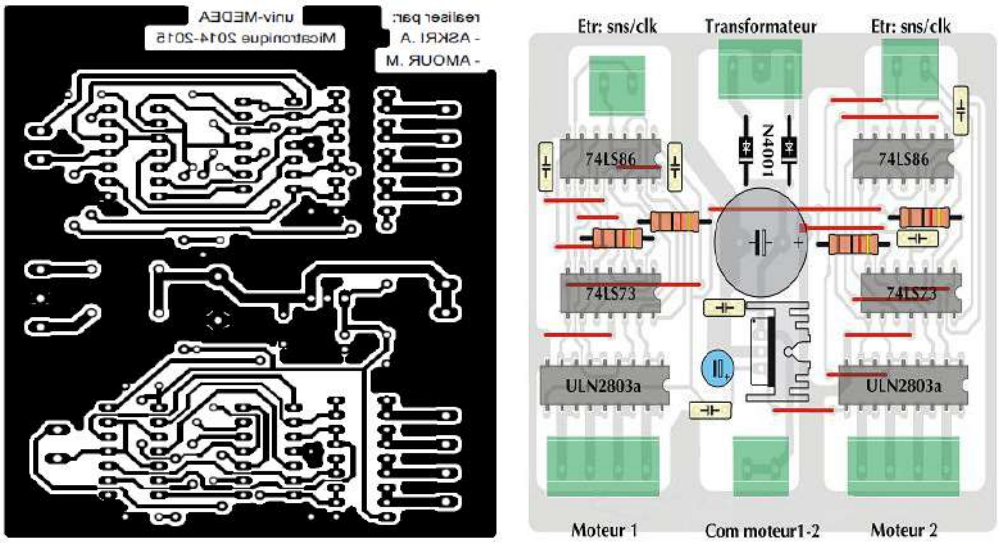


Figure IV–4: Circuits imprimé du driver et implantation des composants.

Les essaies selon le mode choisi pour la commande de la carte, on la raccordera à la sortie parallèle de l'ordinateur de type USB avec ARDUINO Uno capable de générer les impulsions nécessaires à la génération des pas.

IV.3 Description sur les composants

Pour commander un moteur pas-à-pas, il y'a plusieurs montages ainsi que plusieurs types de commande. Et pour ce projet, on a utilisé différents types des composants :

IV.3.1 Régulateur de tension Série 78xx (7805)

Il s'agit d'un membre de 78xx série de circuits intégrés régulateurs de tension linéaires fixes. La source de tension dans un circuit peut avoir des fluctuations et ne donnerait pas la sortie de tension fixe. Le régulateur de tension IC maintient la tension de sortie à une valeur constante. Le xx en 78xx indique la tension de sortie fixe, il est conçu pour fournir. 7805 fournit +5 V alimentation régulée. Les condensateurs de valeurs appropriées peuvent être connectés à des broches d'entrée et de sortie en fonction des niveaux de tension respectifs [9].

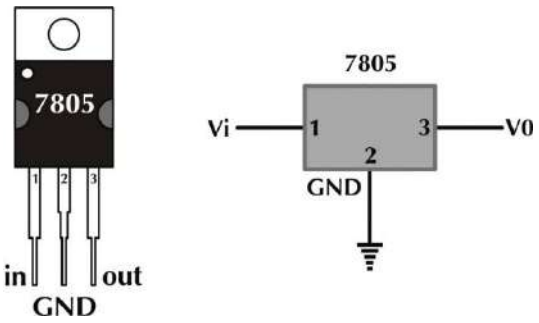


Figure IV–5: Régulateur de tension 7805.

Ces régulateurs fixes positifs sont sans doute les plus utilisés. Ils disposent tous d'une limitation interne du courant et d'une protection thermique. Seule contrainte : la tension d'entrée minimale V_{in} min doit être égale ou supérieure à $(V_{out} + 2V)$. Ces modèles bénéficient d'une tolérance à 5% (suffixe C).

$\boldsymbol{V_{in}\ max}$	$\mathbf{30}\boldsymbol{V}$ ($\mathbf{40}\boldsymbol{V}$ pour 7824)
$\boldsymbol{V_{out}\ XX}$	05, 06, 08, 09, 10, 12, 15, 18, 24 V
$\boldsymbol{I_{out}\ max}$	1A (2A en pointe) ; 100mA pour 78LXX

Par mesure de précaution, on équipera les régulateurs fixes d'un radiateur à visser sur le boîtier, dans le trou prévu à cet effet, dès lors que V_{in} sera nettement supérieur à V_{out} et/ou que le courant de sortie sera susceptible de dépasser la moitié de sa valeur maximale. On pourra choisir, sans s'embarrasser de calculs, un modèle de radiateur de résistance thermique R_{th} égale à $37°C/W$. En cas de doute sur la puissance maximale dissipée, choisir la taille au-dessus ($R_{th}15°C/W$).

D'abord, il convient de rappeler qu'un régulateur, comme tout composant, est susceptible de s'échauffer, sous l'influence de l'effet Joule, et que cela n'est pas bon. Pour prévenir tout emballement thermique qui pourrait dégrader les performances du composant concerné, l'endommager, voire même le détruire, il est nécessaire de veiller à ce qu'il ne dépasse pas les limites de résistance thermique fixées par le fabricant [9].



Figure IV–6: Dissipateur thermique.

IV.3.2 Circuit intégré IC 74LS86

Ce dispositif comporte quatre portes indépendantes dont chacune remplit, la fonction logique OU-EXCLUSIF. Il exerce les fonctions booléennes

$$\boldsymbol{Y = A \oplus B = A\overline{B} + \overline{A}B}$$

En logique positive, une application courante est aussi un élément vrai complément. Si l'une des entrées est faible, l'autre entrée sera reproduite en vraie forme à la sortie. Si une des entrées est élevée, le signal sur l'autre entrée sera reproduit inversé à la sortie.

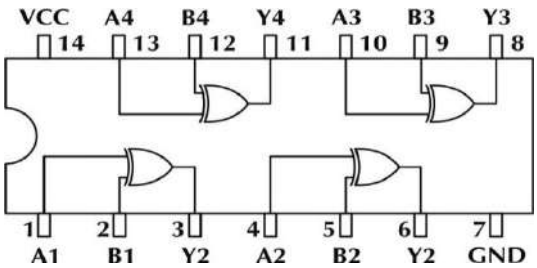


Figure IV–7: Schéma du 74LS86.

Tableau IV-1: Table de fonction 74LS86.

Input		Output
A	**B**	**Y**
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	L

IV.3.3 Circuit intégré IC 74LS73

Ce dispositif comporte deux front négatif indépendant déclenché bascules JK avec sorties complémentaires. Les données J et K sont traitées par les bascules sur le front descendant de l'impulsion d'horloge. L'horloge de déclenchement se produit à un niveau de tension, et n'est pas directement lié à la durée de transition du bord de sens négatif de l'impulsion d'horloge.

Les données sur les entrées J et K sont autorisés à changer alors que l'horloge est haut ou bas sans affecter les sorties tant que configuration et maintenez fois ne sont pas violés. Un niveau logique bas sur l'entrée d'effacement permet de réinitialiser les sorties indépendamment des niveaux des autres intrants.

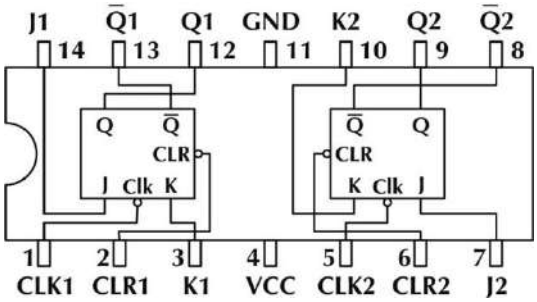


Figure IV–8: Schéma du 74LS73.

Tableau IV-2: Table de fonction 74LS73.

Input				Output	
CLR	**CLK**	**J**	**K**	**Q**	**$\overline{Q}$**
L	X	X	X	L	H
H	↓	L	L	Q_0	$\overline{Q}0$
H	↓	H	L	H	L
H	↓	L	H	L	H
H	↓	H	H	Basculer	
H	H	X	X	Q0	$\overline{Q}0$

H = Niveau logique haut L = Niveau logique bas

X = Niveau logique faible ou élevé ↓ = Négatif bord de l'impulsion en cours.

Q0 = Niveau logique de sortie avant que les conditions d'entrée indiqués ont été établis. Basculer = Chaque évolution de la production au complément de son niveau précédent sur chaque front descendant de l'impulsion d'horloge.

IV.3.4 Circuit intégré IC ULN2803A

Le dispositif se compose de huit paires NPN Darlington qui comportent des sorties à haute tension avec courant cathode des diodes de serrage pour la commutation de charges inductives. La note collecteur de courant de chaque paire Darlington est de 500 mA. Les paires Darlington peuvent être connectées en parallèle pour une capacité de courant élevée. L'ULN2803A a une résistance de base de la série 2,7-kΩ pour chaque paire Darlington pour l'opération directement avec TTL.

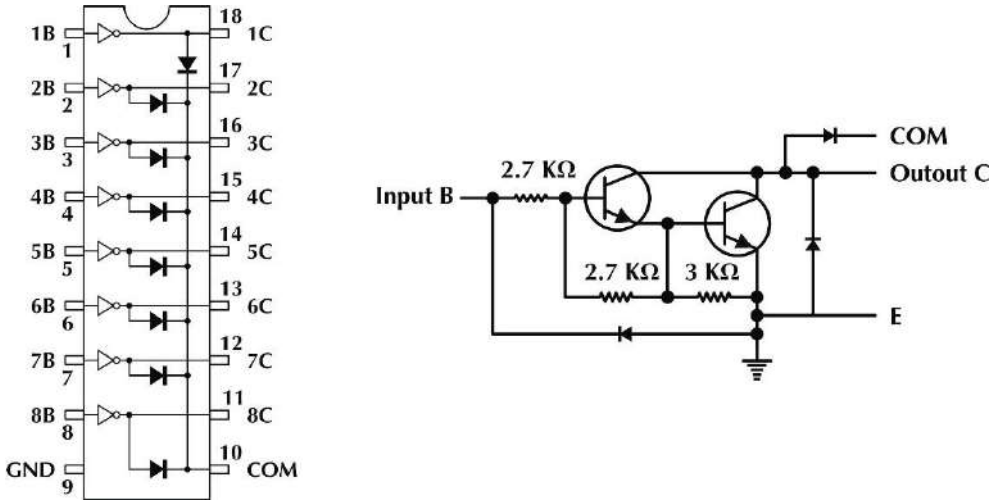


Figure IV–9: Schéma de l'ULN2803A et chaque paire de Darlington.

IV.4 L 'Arduino:

IV.4.1 Présentation de l'Arduino :

L'Arduino est une plateforme open source d'électronique programmée qui est basée sur une carte à microcontrôleur et un logiciel. Plus simplement, on peut dire que l'Arduino est un module électronique, doté d'un microcontrôleur programmable. Il peut être utilisé pour développer des objets interactifs, munis d'interrupteurs ou de capteurs, et peut contrôler une grande variété de lumières, moteurs ou toutes autres sorties matérielles.

Le principe de fonctionnement est simple :

1. On réalise le programme sur un ordinateur.
2. On connecte l'ordinateur à l'Arduino via une prise USB.
3. On envoie le programme sur l'Arduino.
4. L'Arduino exécute enfin le programme de manière autonome



Figure IV–10: Différents carte Arduino .

IV.4.2 La carte Arduino Uno

Il existe plusieurs types de cartes Arduino. La carte Arduino Uno est une des versions majeures des cartes Arduino.

Le modèle UNO de la société ARDUINO est une carte électronique dont le cœur est un microcontrôleur ATMEL de référence ATMega328. Le microcontrôleur ATMega328 est un microcontrôleur 8 bits de la famille AVR dont la programmation peut être réalisée en langage C. L'intérêt principal des cartes ARDUINO (d'autres modèles existent) est leur facilité de mise en œuvre. ARDUINO fournit un environnement de développement s'appuyant sur des outils open source. Le chargement du programme dans la mémoire du microcontrôleur se fait de façon très simple par port USB. En outre, des bibliothèques de fonctions "clé en main" sont également fournies pour l'exploitation d'entrées-sorties courantes : gestion des E/S TOR, gestion des convertisseurs ADC, génération de signaux PWM, exploitation de bus TWI/I2C, ...

IV.4.2.a Présentation

Il s'agit d'une carte au format « standard » Arduino c'est-à-dire environ 52 mm sur 65mm. Deux rangées de connecteurs, situées de part et d'autre de la carte, permettent la connexion des composants extérieurs ou des modules shields, au format

Arduino, il est possible d'enficher directement ces derniers dans la carte de base, sur plusieurs niveaux si nécessaire.

IV.4.2.b Différents éléments de la carte Arduino Uno :

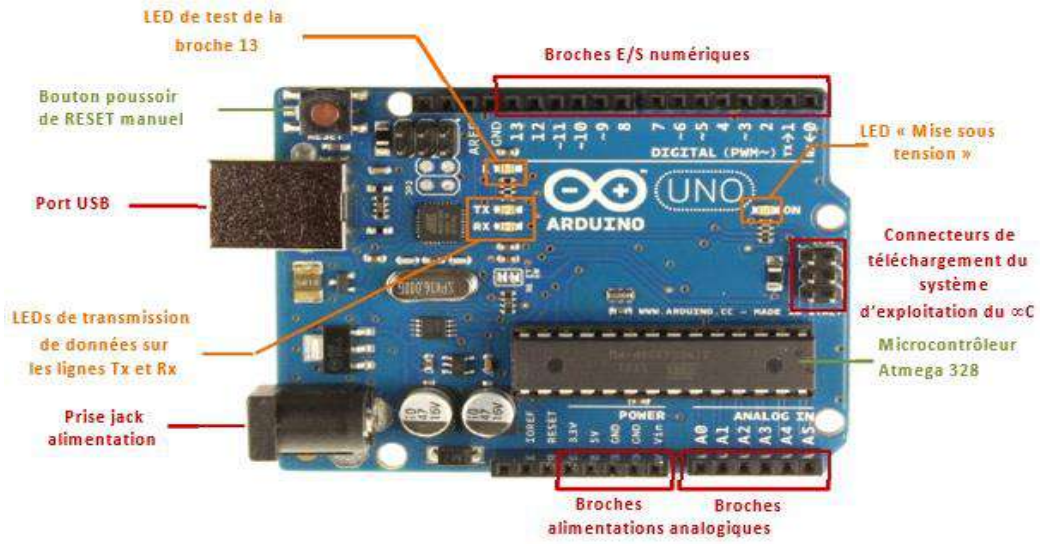


Figure IV–11: Différents éléments de la carte Arduino Uno.

IV.4.2.c Caractéristiques de la carte Arduino Uno :

- Microcontrôleur : ATmega328
- Tension d'alimentation interne : 5 V
- Tension d'alimentation (recommandée) : 7 à 12 V.
- Entrées/sorties numériques : 14 dont 6 sorties PWM
- Entrées analogiques : 6
- Courant max par broches E/S : 40 mA
- Courant max sur sortie 3,3V : 50mA
- Mémoire Flash 32 kb dont 0.5 kb utilisée par le bootloader
- Mémoire SRAM 2 kb
- mémoire EEPROM 1 kb
- Fréquence horloge : 16 MHz
- Dimensions : 68.6mm x 53.3mm

IV.5 L'expérience pratique

Après plusieurs essais, le moteur pas à pas est incapable de déplacer le bras manipulateur comme demandé, Parce qu'il a été endommagé lors de l'assemblage avec la vis à cause du manque d'expérience et de moyens, pour cela on a changé le moteur pas à pas par un moteur à courant continu.



Figure IV–12 :l'assemblage avec moteur pas a pas



Figure IV–13:l'assemblage avec moteur à courant continu.

Après cette opération il est nécessaire de commander le sens de rotation du moteur à courant continu, donc on a utilisé la commande par pont de transistors : Le Hacheur 4 quadrants

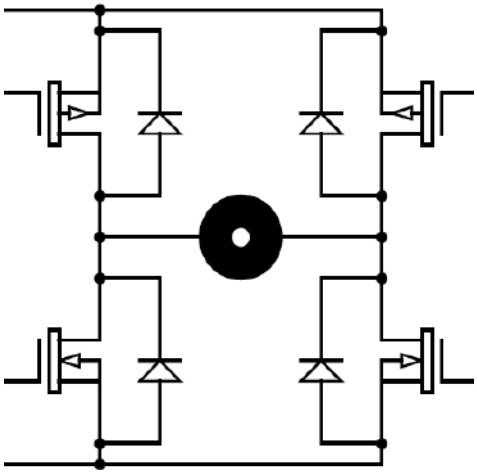


Figure IV–14: Hacheur 4 quadrants

IV.5.1.a Principe de fonctionnement

4 transistors, symbolisés dans la figure 4-15 par des interrupteurs T1, T2, T3 et T4, sont montés en pont et permettent de commander le sens de rotation du moteur :

Lorsque T1 et T4 sont fermés (saturés), le moteur tourne dans un sens (sens 1). Lorsque T2 et T3 sont fermés, le moteur va tourner dans l'autre sens (sens 2).

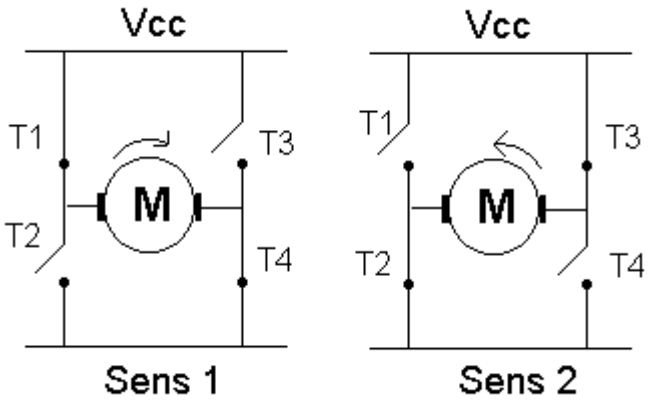


Figure IV–15: le sens de rotation de moteur

Pour le bon fonctionnement des deux moteurs nous avons utilisés le driver réalisé ci-dessous :

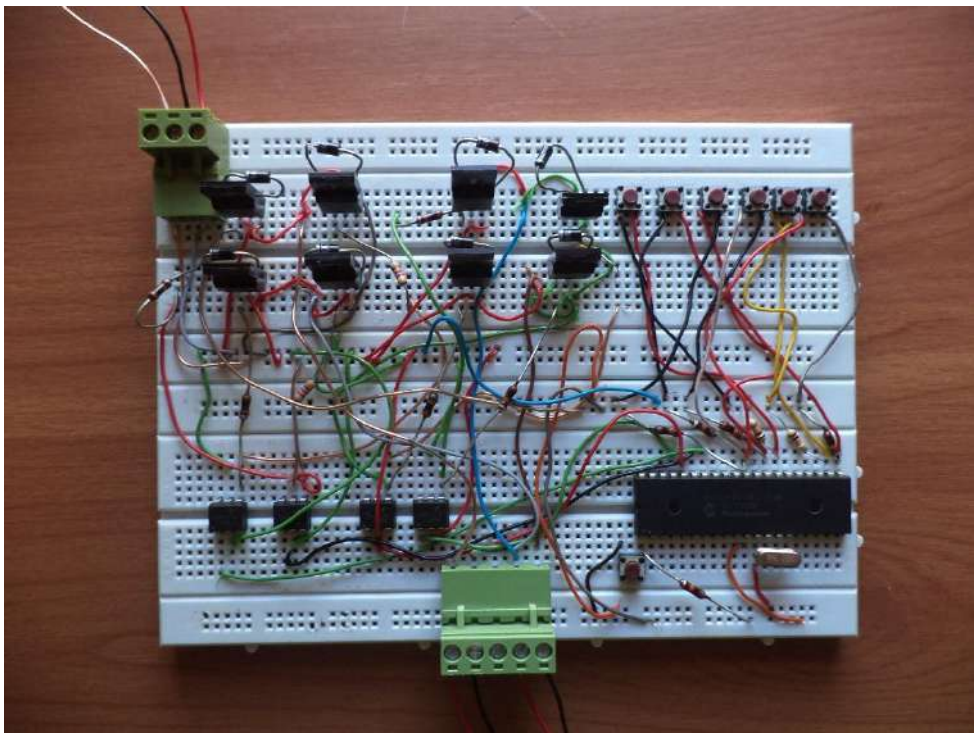


Figure IV–16: Le driver de moteur à courant continu.

Ce driver comportant les composants suivants :

- TRANSISTOR TIP122
- Optocoupler CNY17-3

- PIC16F877A
- diode à roue libre 1N4007
- résistances $(100\Omega, 4.7K\,\Omega)$
- bouton poussoirs

IV.5.1.b Description sur les composants :

PIC16F877A : Nous avons utilisé le microcontrôleur PIC 16F877A pour commander le bras manipulateur, ce PIC un circuit intégré à 40 broches dont les caractéristiques générales peuvent être résumé comme suit :

- 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 « mémoire 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.
- **2** 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 **PWM : M**odule de **L**argeur d'**I**mpulsion, ce paramètre représente une grande importance dans notre réalisation.
- De nouvelles fonctionnalités, comme les gestions de ports «Série».

Le PIC 16F877A parmi les plus puissants microcontrôleurs de la gamme « Midrange» chez Micro-chip. Dans notre travail, on s'intéresse au convertisseur analogique/numérique au Timer2 et aux modules CCP1 et CCP2

pour la génération du signal PWM nécessaire à la commande du moteur à courant continu.

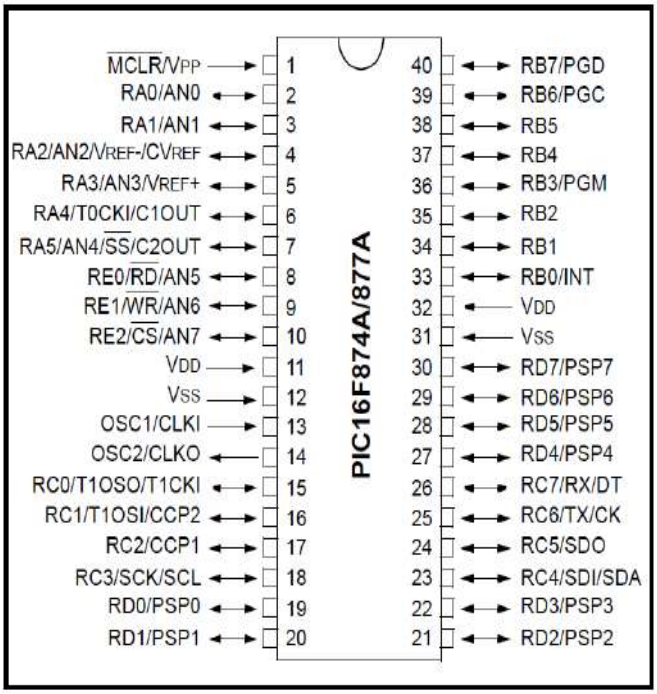


Figure IV–17: Boitier du PIC 16F877A

Optocoupler: Le CNY17 est une paire couplée optiquement composé d'un l'arséniure de gallium diode émettrice infrarouge couplée optiquement à un phototransistor de NPN de silicium Signal d'information , y compris un niveau continu , peut être transmis par le dispositif , tout en maintenant un haut degré d'énergie électrique l'isolement entre l'entrée et la sortie. Le CNY17 peut être utilisé pour remplacer les relais et les transformateurs dans de nombreuses applications à interface numérique, ainsi que analogique applications telles que la modulation CRT.



Figure IV–18: optocoupleur cny17-3

TRANSISTOR TIP122 : Le transistor bipolaire NPN est un composant électronique essentiel. Il est apprécié pour ses fonctions d'amplificateur, et de commutateur. À la différence du transistor bipolaire, le transistor de puissance est plus efficace à gérer les hautes tensions. Convient pour tous types d'usages électroniques.



Figure IV–19: TRANSISTOR TIP122

IV.5.1.c Les essais expérimentaux :

l'expérience est basée sur le déplacement du bras manipulateur Pour cela, nous devons utiliser les boutons poussoirs comme il est indiqué sur la Figure IV–20:

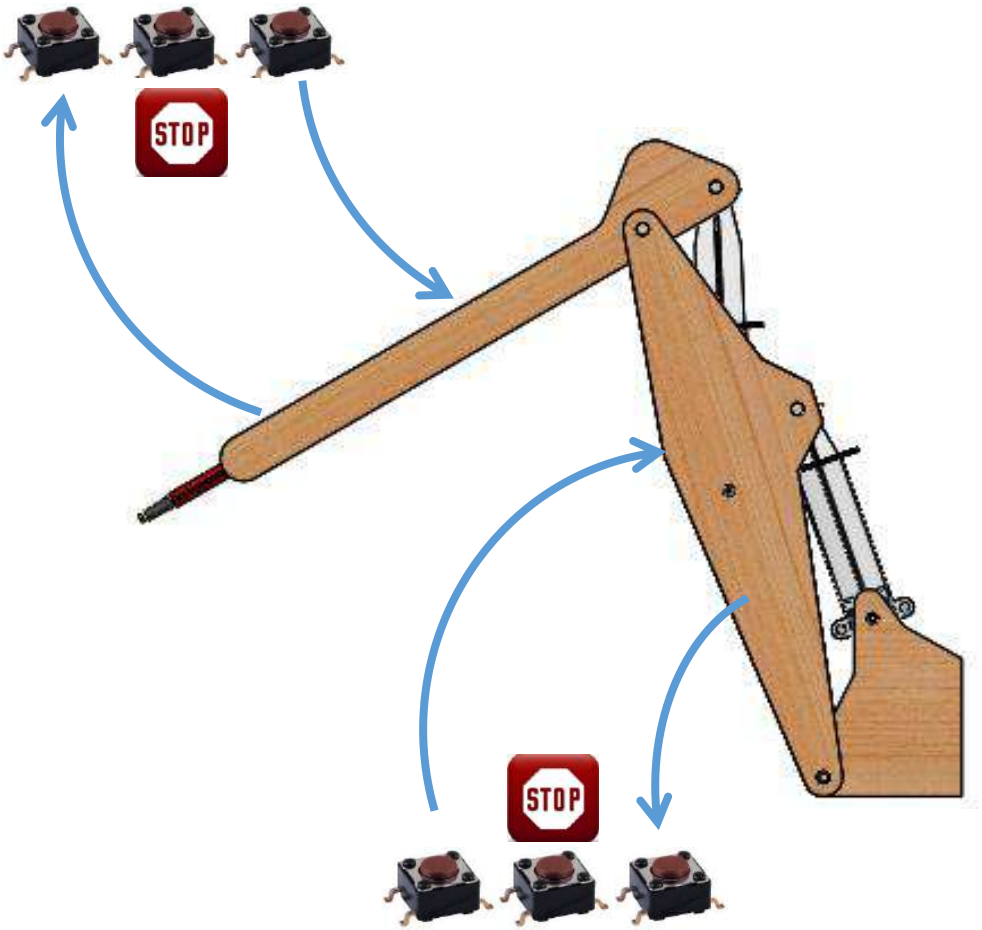


Figure IV–20 : Les essais expérimentaux

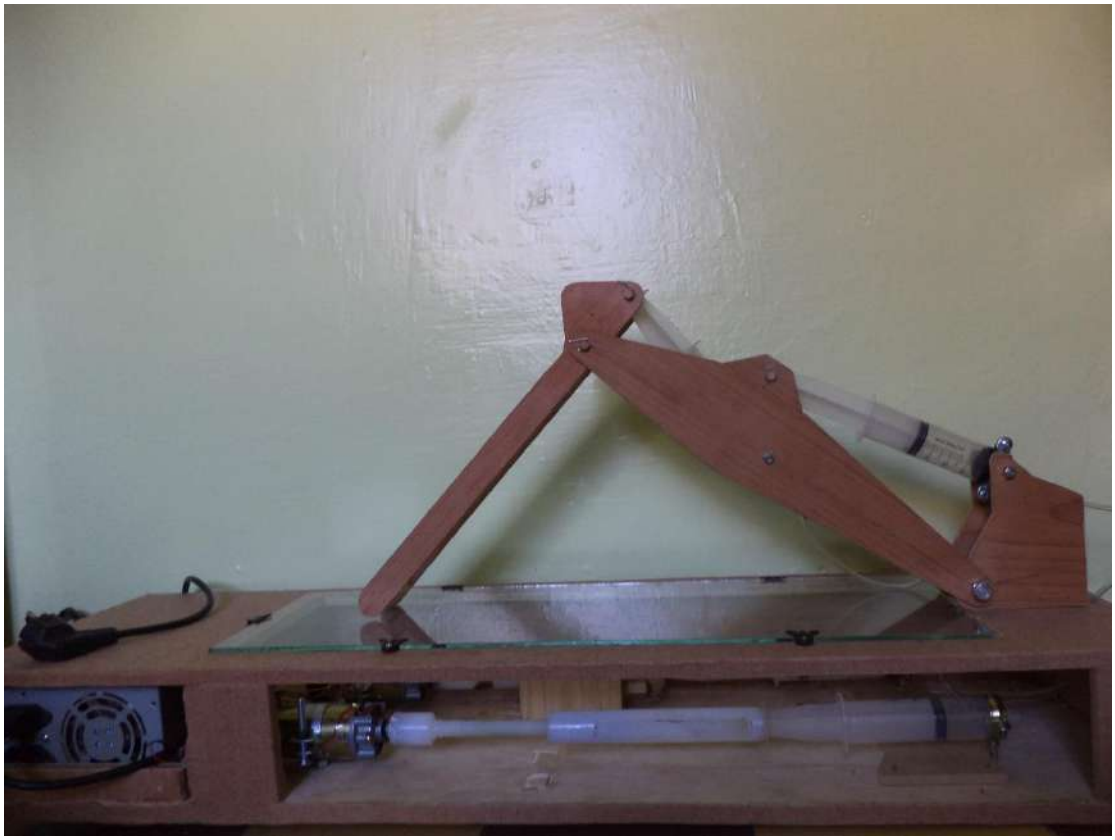


Figure IV–211 : Le mécanisme réalisé.

IV.6 CONCLUSION

Nous avons décrit dans ce chapitre toutes les étapes de notre réalisation telle que les circuits utilisés ainsi que les schémas internes de chaque élément jusqu'à l'étude et l'implémentation des logiciels de simulation et programmation d'une part, d'autre part la réalisation d'un mécanisme capable d'adapter toute une réalisation et une commande électronique afin de construire un système Mécatronique qui répond à nos besoins.

Enfin on a pu faire des semples tests sur le bras malgré les difficultés de réalisation qu'on a trouvées dans ce travail.

Conclusion générale

Finalement, le bras manipulateur est en état de marche. Ceci est réalisé au prix d'immense sacrifice, tant sur le plan intellectuel que matériels.

Ainsi, Pratiquement nous avons consacré notre temps aux tâches suivantes :

Aspect mécanique :

- Etude de la robotique du point de vue réalisations
- Etude les différents types des bras manipulateur.

-Etude des différents modèles utilisés pour décrire le mouvement des articulations d'un bras manipulateur

Aspect électronique :

-La réalisation des cartes électroniques pour la commande de notre bras.

Aspect informatique :

- Programmation du robot pour la commande des moteurs à courant continu utilisés et pour l'exécution des commandes transmises par les boutons poussoirs.

En effet, ce projet de réalisation nous a été une expérience très fructueuse, bénéfique et enrichissante. Il nous a permis d'exploiter les différentes notions théoriques vues durant notre période de formation. Il nous permet également de mettre le premier pas dans le monde pratique de la robotique. En fin nous espérons que notre travail va être amélioré en futur par d'autres étudiants.

Bibliographie :

[1] : P. Fissette, H.Buyse, J.C.Samin « Introduction à la robotique », 29 juin 2009

>>**http://meca2732.pdf**

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

>> www.istia.univ-angers.fr/~boimond/Cours_robotique.pdf

[3] : Jacques Gangloff « Cours de Robotique »

>> http://eavr.u-strasbg.fr/wiki/upload/a/a4/Cours_rob_intro.pdf

[4] : O.Ahcene, NEMMICHE Belkacem, BELHAMITI hadj Afif, BERRAHO Ismail, « Commande en 3D d'un bras robot à 5 DL par positionnement en temps réels par deux caméras », Université ABDELHAMID IBN BADIS De Mostaganem.

[5] : Marcel Jufer. « Traite d'électricité », ELECTROMECANIQUE, volume IX, Mars 1995, ISBN 2-28074-285-4.

[6] : Nicolas Wavre. « Entrainements Electrique II » Ecole Polytechnique Fédéral deLausanne, 2012.

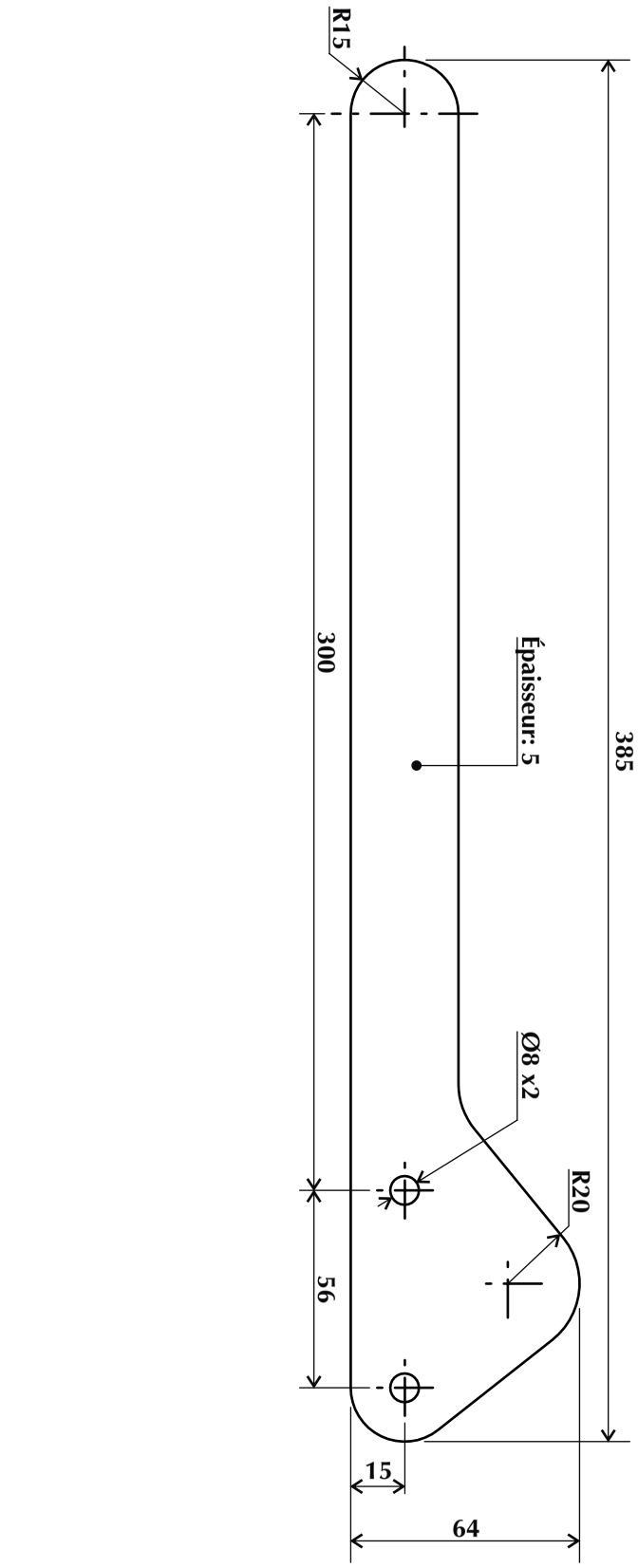
[7] : J.R. Hendershot and Tje Miller. « Design of Brushless Permanent-Magnet Motors». Oxford Science Publication, Mars 2010, ISBN 1-881-885-03-01.

[8] : AZOUI NAWAL «Commande non linéaire d'un bras manipulateur» thèse d'ingéniorat, UNIVERSITE DE BATNA 2008/2009

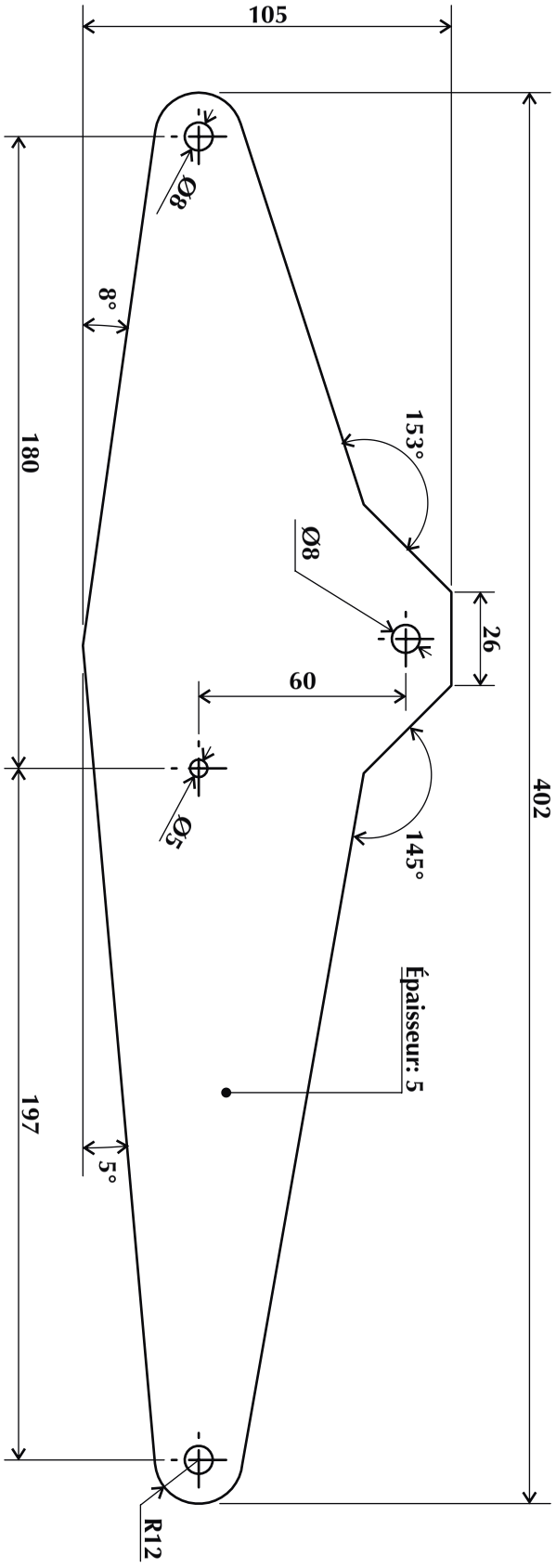
[9] Christian, « Les Régulateurs de tension » (29/04/2014), [en ligne] (URL : http://www.engineersgarage.com/electronic-components/7805-voltage-regulator-ic).

[10] : DJOUGGANE Fadhila «étude et conception d'un robot manipulateur pour l'enmtp , UNIVERSITE DE BATNA 2011/2012

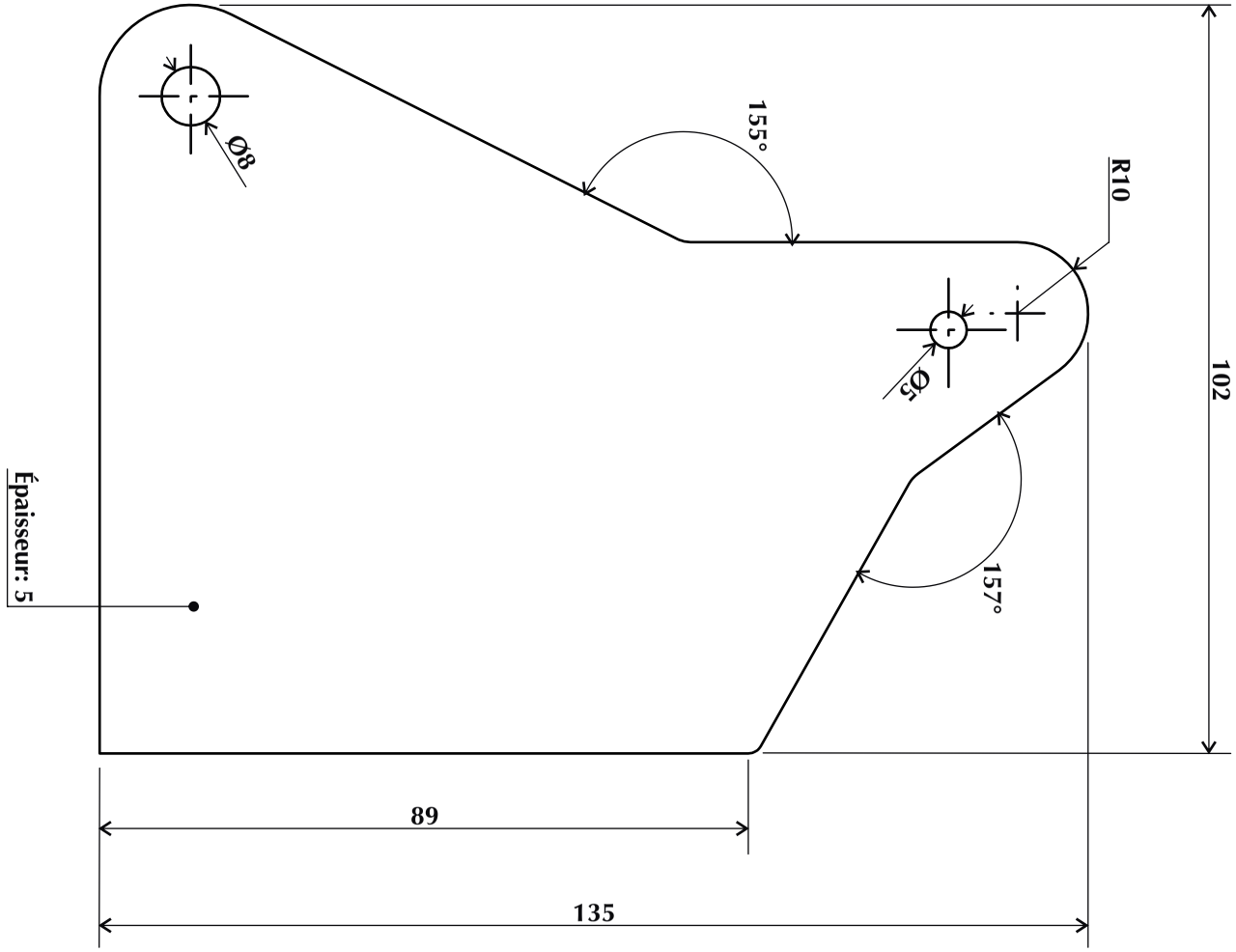
Annexe



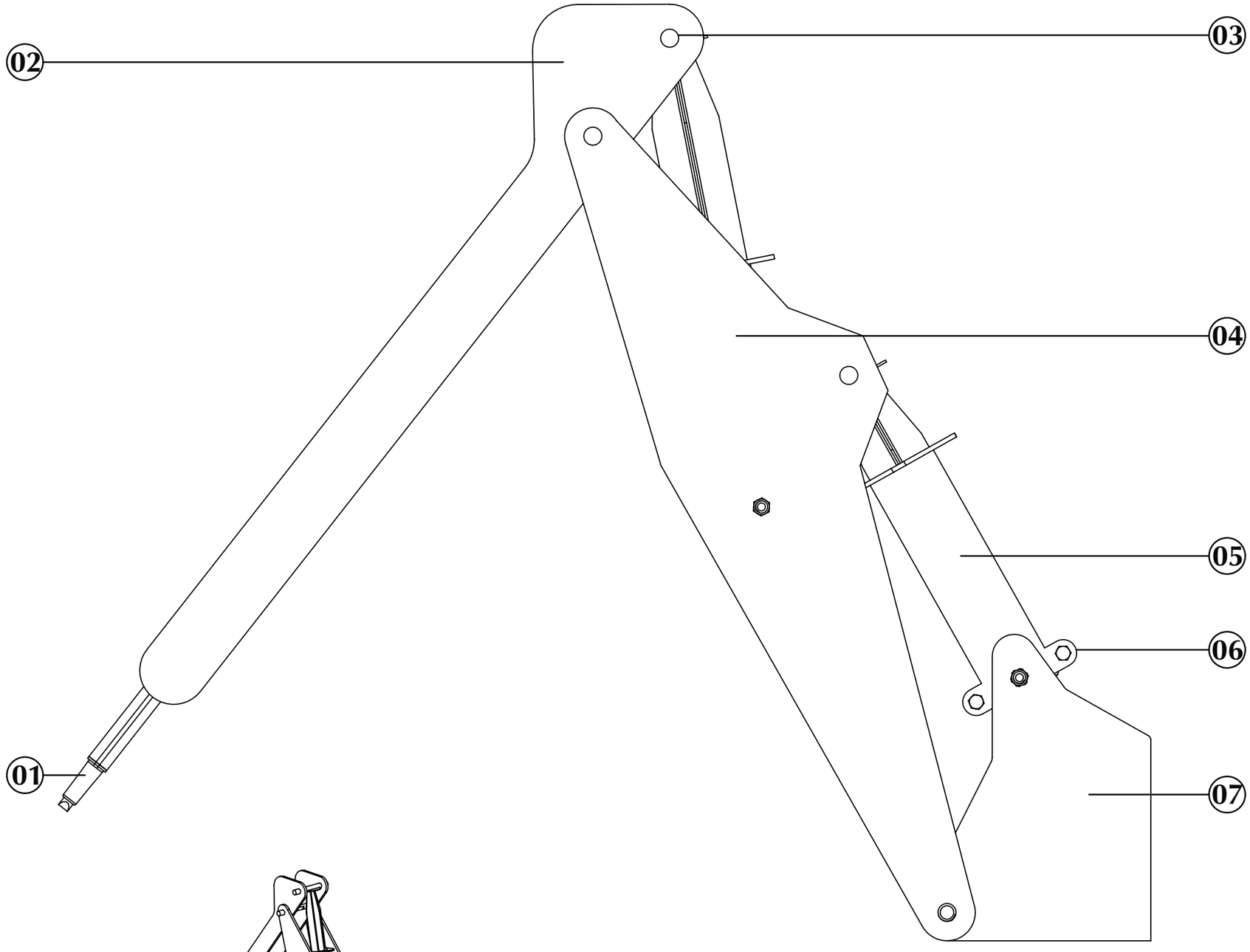
Université de Médéa Dr Yahia FARES		
Pièce N°01	ECL 1:2	Mécatronique
		Format A4
Amor / Askari		14/05/2015

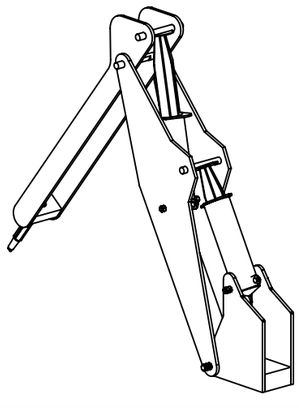


Université de Médéa Dr Yahia FARES		
Pièce N°02	ECL 1:2	Mécatronique
		Format A4
Amor / Askari		14/05/2015



Université de Médéa Dr Yahia FARES		
Pièce N°03	ECL 1:1	Mécatronique
		Format A4
Amor / Askari		14/05/2015





Rep.	N°	Désignations	Matériaux	Observation
07	2	Base	Bois	
06	2	Collier		PCL-NG-3
05	2	Seringue à colle		Acheté
04	2	Pièce 2	Bois	
03	6	Goupille		ISO 8734
02	2	Pièce 1	Bois	
01	1	la tête		

Université de Médéa Dr Yahia FARES

Bras manipulateur 3D

ECL 1:1

Mécatronique

Format A3

Amor / Askari

14/05/2015