



Réf:.....

**Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:**

MASTER

Filière : Automatique

**Option : -automatique et informatique
industrielle**

Thème

Etude et conception d'un bras de robot

Présenté par : - Djebarni Alaeddine

- Hamdi Abderraouf

Devant le jury:

Président

Dr.Medad mounir

Université de Bordj Bou Arreridj

Examineur 1

: Dr.Benhadouga Seddik

Université de Bordj Bou Arreridj

Examineur 2

: Dr.Zehar Djamila

Université de Bordj Bou Arreridj

Rapporteur

: Dr.Khanfer Riadh

Université de Bordj Bou Arreridj

DEDICACE

Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux,

le Très Miséricordieux

Tout d'abord je tiens à remercier le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour arriver à ce stade afin de réaliser ce travail que je dédie :

A ma très chère mère : qui n'a jamais cessé de prier pour moi

A mon très cher père : pour ses encouragements

A mes chers frères: salah,amine,masi.

A ma cher sœur : sara

A toute ma grande famille : DJABARNI

A mes meilleurs amis

A mes oncles et tantes

A tout les amis à l'université de mohamed elbachire el ibrahimi BBA

Un spéciale dédicace pour :

Amzali Mohamed Nadir

Bengasmia farouk

Alaeddine

Dédicace

Ce travail est dédié à la femme qui m'a donné la force et m'a poussé et encouragé pour être une étoile dans le ciel quand j'étais une pierre sur le sol...

à ma mère que dieu la conserve ;

à mon père après tout les efforts qui a faits et qu'il fait encore et toujours je lui souhaite une longue et joyeuse vie

à mon frère CHAKER

à ma sœur MALIKA

à tous les amis de l'université de mohamed elbachire el ibrahimi BBA

à mes amis

à mes camarades de Master automatique

kahlouche oussama sofiane chamso ramzi hamza

Un spéciale dédicace pour :

Himoune

Bengasmia farouk

Amzali Mohamed Nadir

ABDERRAOUF

Remerciement

On tient tout d'abord à remercier en premier lieu Allah, le tout puissant, de nous avoir donné autant de courage, de patience

et de volonté pour atteindre ce but.

On tient à exprimer à notre encadreur

Dr.khanfer riadh,

notre

profonde gratitude et toutes nos reconnaissances pour avoir accepté de diriger ce mémoire et de sa patiente durant la période de l'encadrement.

Tous nos remerciements vont également aux membres de jury pour nous avoir fait l'honneur de juger ce modeste travail.

Nos remerciements vont également à toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenue de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

Liste de Tableaux

Liste des tableaux

N°	Titre des tableaux	page
Tableau 2.1	paramètre DH du robot RRRR	22
Tableau 3.1	Caractéristique de la carte arduino UNO	31
Tableau 3.2	caractéristique des servo	35

Liste des

Figures

Liste de figures

N°	Titre de figure	page
Figure1.1	bras manipulateur kuka	03
Figure1.2	robot Unimate 001	04
Figure1.3	PUMA500 robot	05
Figure1.4	l'évolution de la robotique	06
Figure 1.5	Robot articules ABB	07
Figure1.6	Structure fonctionnelle d'un robot	08
Figure 1.7	l'espace de travail des robots	11
Figure 1.8	Architecture des systemes robotiques	11
Figure 1.9	SMA à chaîne cinématique serie et fermee	12
Figure1.10	les organes d'un robot	13
Figure 1.11	Articulation rotoïde	14
Figure 1.12	Articulation prismatique	14
Figure 2.1	Transformation des repères	18
Figure 2.2	Transformation de translation pure	19
Figure 2.3	Transformation de rotation pure autour de l'axe x	20
Figure2.4	robot de type RRRR	22
Figure 2.5	Illustration des coordonnées naturel sur une chaîne cinématique fermée	28
Figure 3.1	la carte arduino UNO	32
Figure 3.2	interface d'arduino programme	33
Figure 3.2	le programme de command	33
Figure 3.3	MG996R Servomoteur	34
Figure 3.4	SG90 Micro Servomoteur	34
Figure 3.5	interface du logicielle	35

Liste des

Figures

N°	Titre de figure	page
Figure 3.6	les démontions de la base	36
Figure 3.7	la base	36
Figure 3.8	les démontions de 1°er brat	37
Figure 3.9	le 1°er brat	37
Figure 3.10	les démontions de 2°eme brat	38
Figure 3.11	le 2°eme brat	38
Figure 3.12	les démontions de 3°eme brat	39
Figure 3.13	le 3°eme brat	39
Figure 3.14	les démontions de L'outil final	40
Figure 3.15	L'outil final (pince)	40
Figure 3.16	schéma de circuit	41
Figure 3.17	l'imprimant 3D 'CR-10'	41
Figure 3.18	prototype d'un robot	42

Liste

D'abréviation

JPL : Jet Propulsion Laboratory

S.M.A : Système Mécanique Articulé

DDL : Degré de liberté

MGD : Modèle géométrique direct

MGI : Modèle géométrique inverse

MCD : Modèle cinématique direct

MCI : Modèle cinématique inverse

MDD : Modèle dynamique direct

MDI : Modèle dynamique inverse

DH : Paramètres de Denavit-Hartenberg

RRRR : Robot rotoïde, rotoïde , rotoïde , rotoïde

IDE : Arduino integrated development environment

CAO : Computer-aided optimization

Sommaire

Dédicaces	
Remerciements	
Liste des Tableaux	
Liste des Figures	
Liste d'abréviation	
Introduction général	1
Chapitre 01 : Généralités sur les robots	2
1. Introduction	3
1.1 Définition	3
1.2 Le robot	3
1.3 La robotique	3
1.4 Que peuvent faire les robots	4
2. L'histoire de la robotique industrielle	4
3. Types de robots	6
3.1 Robot cartésiens	6
3.2 Robots cylindriques	7
3.3 Robots articulés	7
4. Les composants d'un robot	7
4.1 Unité opérationnelle	7
4.2 Unité informationnelle	8
5. Caractéristique des Robots	8
6. Classification des Robots	9
6.1 Classification par fonctionnalité	9
6.2 Classification par domaine	9
6.3 Classification mécanique	10
6.4 Classification géométrique	10
7. Architecture des systèmes robotiques	11
7.1 Système Mécanique Articulé (S.M.A.)	12
7.2 Structure mécanique articulée à chaîne cinématique simple	12
7.3 Structure mécanique articulée à chaîne cinématique fermée	12
8. Vocabulaire de la robotique	13
8.1 La Base	13
8.2 Segment (corps du robot)	13
8.3 organe terminal	13
8.4 Effecteur	13
8.5 Articulation	14
a. Articulation rotoïde	14
b. Articulation prismatique	14
8.6 Actionneurs	14
a. Robots électriques	14
b. Robots hydrauliques	15
c. Robots pneumatiques	15

Sommaire

9. Avantages & Inconvénients des robots	15
9.1 Avantages	15
9.2 Inconvénients	15
10. Conclusion	15
Chapitre 2 : Modélisation d'un brat de robot	16
1. Introduction	17
2. Définition	17
3. Coordonnées homogènes	17
4. Transformation homogène	17
4.1 Transformations homogènes des repères	18
4.2 Matrice de translation pure homogène	19
4.3 Matrice de rotation homogène	19
5. modèles géométriques	20
5.1 Modèle géométrique direct	20
5.2 Paramètres de Denavit-Hartenberg	20
5.3 Modèle géométrique inverse	22
5.4 Calcul du modèle géométrique inverse par la méthode de Paul	23
6. Modélisation Cinématique	24
6.1 Modélisation cinématique directe (MCD)	24
6.2 Modélisation cinématique inverse(MCI)	26
7. Modélisations dynamiques	27
7.1 Modèle dynamique directe (MDD)	27
7.2 Formalisme de Newton-Euler	27
7.3 Modèle dynamique inverse (MDI)	28
7.4 Formalisme de Lagrange	28
7.5 Problèmes du modèle dynamique	29
8. Conclusion	29
Chapitre 03 :Conception et réalisation	30
1. Introduction	31
2. Hardware	31
2.1 La carte arduino	31
2.2 Caractéristique de la carte arduino UNO	31
2.3 zoom sur la carte arduino UNO	32
2.4 Programmes Arduino	32
3. Actionneurs (servomoteurs)	34
3.1 Avantage des servomoteurs	34
3.2 Inconvénient des servomoteurs	34
3.3 Paramètres techniques des servomoteurs	35
4. Software	35
4.1 Solidworks	35

Sommaire

5. La conception des partie de notre robot	36
5.1 La base	36
5.2 La premier brat	37
5.3 La deuxième brat	38
5.4 La troisième brat	39
5.5 L'outil final	40
6. schéma de circuit	41
7. Réalisation	41
8. Conclusion	43
Conclusion générale	44
Bibliographie	

Introduction

Générale

Lorsque nous pensons à la robotique, la première chose qui nous vient à l'esprit est l'automatisation. On sait que les robots exécutent automatiquement des tâches sans grande intervention humaine, à l'exception de la programmation initiale et des instructions qui leur sont fournies.

La première machine, ce que j'ai vu dans mon enfance, lorsque nous nous sommes rendus dans une usine de transformation du lait, la plus proche, pour être appelée un robot, était une machine d'emballage du lait. Il y avait un rouleau de matériel d'emballage qui circulait dans la machine, chaque fois qu'un litre de lait tombait dans le rouleau, puis un mécanisme dans la machine scelle et coupe le paquet.

Cette machine peut être un exemple simple d'un robot très basique. Elle effectue la séquence d'opérations spécifiée à plusieurs reprises avec la même précision. Il a été programmé et fourni avec le matériel requis, puis a commencé

Chapitre 01 :

Généralités sur les

robots

1. Introduction :

La robotique est un vaste sujet qui peut inclure des dispositifs mécaniques, parfois ressemblant à des humains, ou des entités logicielles. En général, ces « robots » peuvent être configurés pour exécuter une ou plusieurs tâches spécifiques.

2. Définition:

2.1 Le robot : est un dispositif mécanique articulé capable d'imiter certaines fonctions humaines telles que la manipulation d'objets ou la locomotion, dans le but de se substituer à l'homme pour la réalisation de certaines tâches matérielles, cette réalisation est plus ou moins autonome selon les facultés de perception de l'environnement dont est doté le robot.[1]

2.2 La robotique : est l'ensemble des activités de construction et de mise en œuvre des robots, on peut dire aussi que tout dispositif comporte une partie [opérationnelle]qui réalise la tâche et une partie [décisionnelle ou commande]qui contrôle la partie opérationnelle.[2]

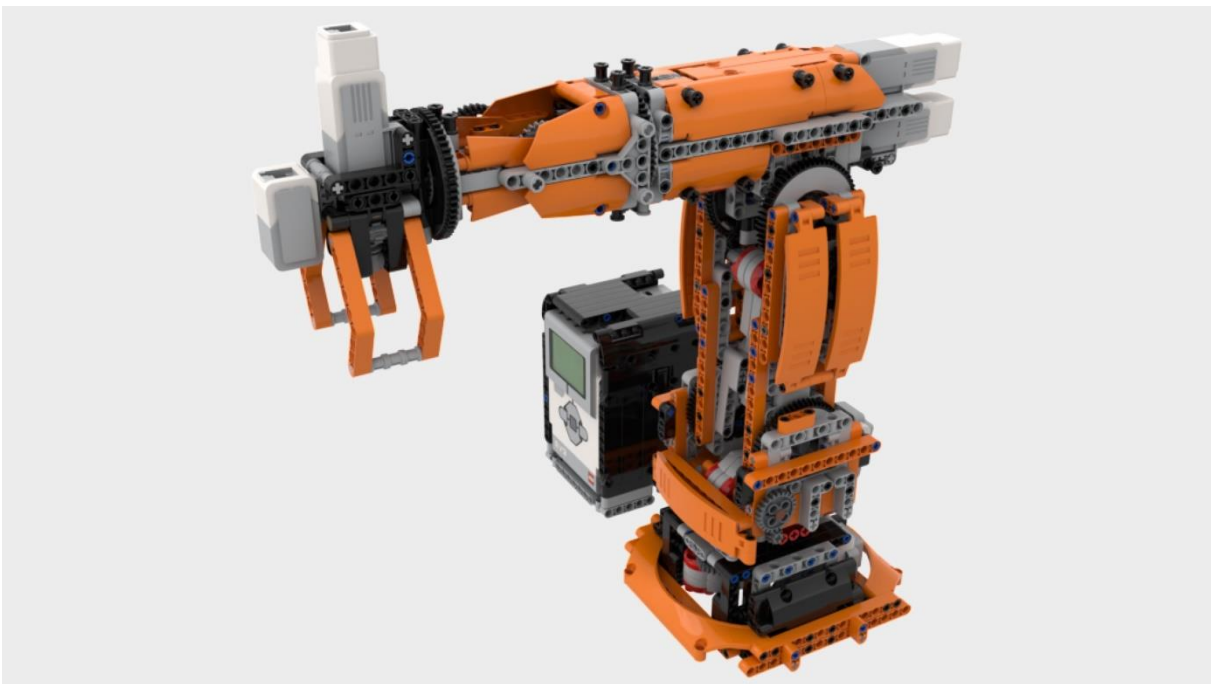


Figure1.1 : bras manipulateur kuka {13}

2.3 Que peuvent faire les robots ?

Essentiellement, il existe autant de types de robots différents que de tâches à accomplir. Les robots peuvent accomplir certaines tâches mieux que les humains, mais d'autres sont mieux laissés aux gens et non aux machines.

Voici ce que les robots font mieux que les humains :

- Automatiser les activités manuelles ou répétitives en entreprise ou dans l'industrie.
- Travailler dans des environnements imprévisibles ou dangereux pour repérer des dangers comme des fuites de gaz.
- Traiter et fournir des rapports pour la sécurité de l'entreprise.
- Remplir les ordonnances pharmaceutiques
- Livrer les commandes en ligne, le room service et même les paquets de nourriture en cas d'urgence.
- Aider pendant les opérations.
- Les robots peuvent également faire de la musique, surveiller les rivages à la recherche de prédateurs dangereux, aider à la recherche et au sauvetage et même aider à la préparation des aliments.

3. L'histoire de la robotique industrielle :

Le premier à employer le terme robot est Karel Capek, écrivain et dramaturge tchèque du XXème siècle. Il utilisa le terme robot dans sa pièce de science-fiction *Rossumovi univerzální roboti* (RUR) écrite en 1920. Il inventa le mot robot à partir du mot «*rabota*» qui

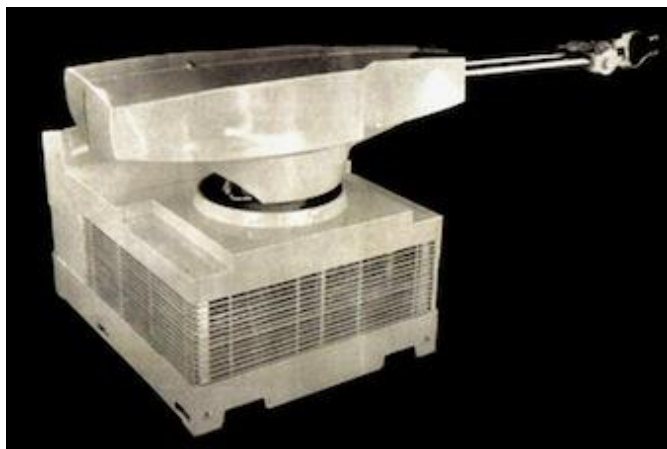


Figure1.2 : Unimate 001 {14}

Chapitre 01

Généralités sur les robots

signifie «corvée» en slave ancien. Enfin, le terme de « robotique » fit sa première apparition dans la nouvelle *Liar* d'Isaac Asimov, publiée en 1941, où le célèbre auteur essaye de trouver les limites des trois lois de la robotique qu'il a lui-même créées.

En 1954 lorsque Georges DEVOL a pu réaliser son brevet sur la robotique. Dans ce brevet Devol a conçu un robot qu'il a intitulé Unimate001.

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

En 1978 un nouveau robot est conçu par Unimation Inc avec l'aide de General Motors. Ensemble ils conçurent le robot PUMA 500. Le robot PUMA (Programmable Universal Machine for Assembly) a été conçu par Vic Schienman).



Figure1.3 : PUMA500 robot [15]

Au milieu des années 70. Le système de ce robot est composé d'un bras manipulateur permettant d'assembler des composants industriels et de son ordinateur de commande. Ce robot est le robot d'assemblage le plus répandu dans l'industrie des années 70.

Chapitre 01

Généralités sur les robots

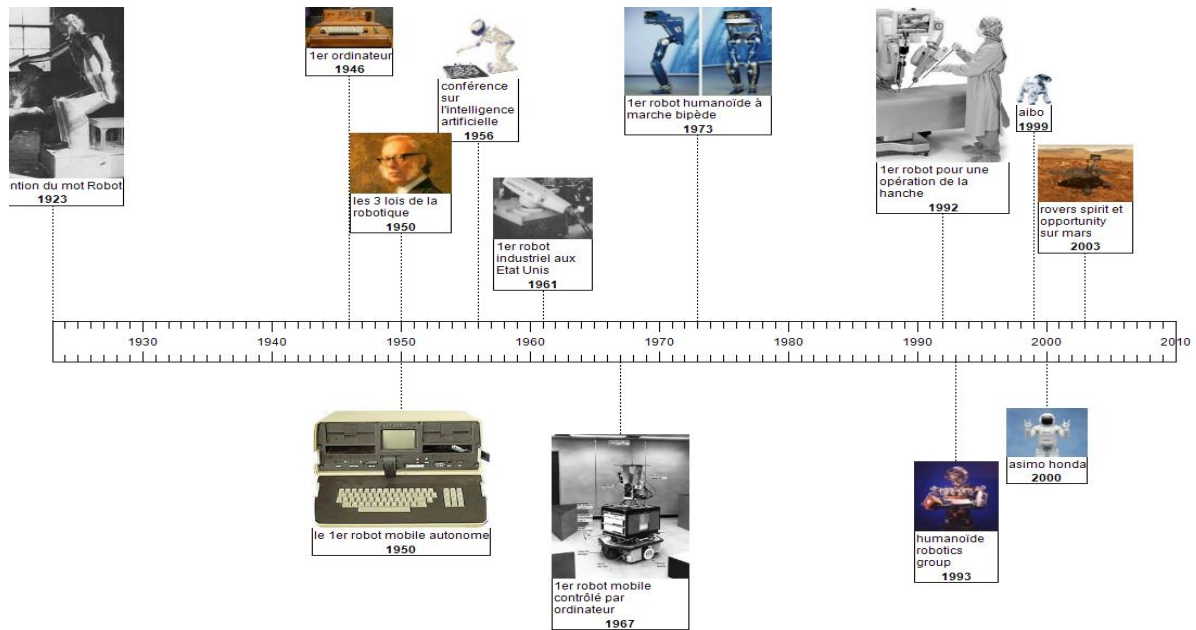


Figure1.4 : l'évolution de la robotique [16]

En 1985, Reymond Clavel a imaginé le Robot Delta qui possède un bras de manipulation formé de 3 parallélogrammes. Son brevet tombe dans le domaine public en 2007 et différents constructeurs devraient alors sortir leur propre robot delta. Le Jet Propulsion Laboratory (JPL) développe un robot industriel hexapode (à 6 pattes) du nom de Lemur. Lemur aura pour mission de monter, assembler et réparer des installations spatiales.

En 1992 le 1ère application d'un robot Delta pour des applications de pick-and-place

En 1998 ABB Flexpicker : 120 objets/minute, vitesse de déplacement 10m/s

4. Types de robots

4.1 Robot cartésiens

On appelle robot cartésien les robots ayant des articulations de type prismatique pour le déplacement de l'outil, mais forcément 3 rotoïdes pour l'orientation de celui-ci.

Pour pouvoir déplacer et orienter l'organe effecteur dans toutes les directions en 3D, un tel robot a besoin de 6 axes : 3 prismatiques pour le déplacement, 3 rotoïdes pour l'orientation. Dans un environnement à 2 dimensions, il suffit de 3 axes : 2 pour le déplacement, 1 pour l'orientation .[3]

4.2 Robots cylindriques

Les robots cylindriques se différencie par leur joint rotatif à la base et au moins un joint prismatique reliant les membres. Ils peuvent se déplacer verticalement et horizontalement en coulissant. La conception compacte de l'effecteur permet au robot d'atteindre des espaces de travail étroits sans aucune perte de vitesse [4]

4.3 Robots articulés

Les robots articulés sont les robots industriels les plus courants. Ils ressemblent à un bras humain, c'est pourquoi on les appelle aussi bras robotisé ou bras manipulateur. Leurs articulations à plusieurs degrés de liberté offre aux bras articulés une grande variété de mouvement[4]



Figure 1.5 :Robot articules ABB
[17]

5. Les composants d'un robot

5.1 Unité opérationnelle

Exerce les actions commandées en empruntant la puissance nécessaire à la source d'énergie. Cette partie, qui constitue le robot physique, intègre la structure mécanique (segments, articulations, architecture,...), les modules d'énergie (amplificateurs, variateurs, servovalves....), les convertisseurs d'énergie (moteurs, vérins....), les chaînes cinématiques de transmission mécanique (réducteurs, vis à billes, courroies crantées)

les capteurs de proprioceptifs placés sur chaque axe pour mesurer en permanence leur position et leur vitesse, et enfin l'effecteur, ou organe terminal, qui est en interaction avec l'environnement.[5]

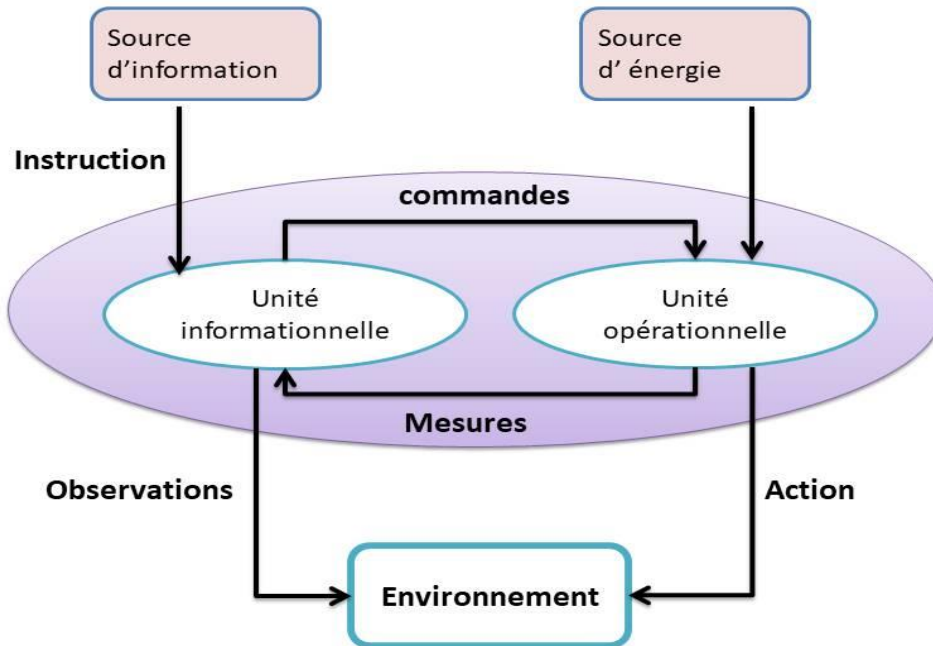


Figure1.6 : Structure fonctionnelle d'un robot

5.2 Unité informationnelle

Reçoit les instructions décrivant la tâche à accomplir, les mesures relatives à l'état interne de la structure mécanique qui constitue le bras manipulateur et les observations concernant son environnement. Elle élabore en conséquence les commandes de ses différentes articulations en vue de l'exécution de ses tâches. Les systèmes actuels fonctionnent en interaction permanente selon le cycle information-décision-action.[5]

6. Caractéristique des Robots

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

Voici quelques paramètres à prendre, éventuellement, en compte :

- **La charge maximale transportable** : (de quelques kilos à quelques tonnes), à déterminer dans les conditions les plus défavorables (c'est-à-dire, en élévation maximale)
- **L'architecture du S.M.A.** : le choix est guidé par la tâche à réaliser. Par exemple, robots à structure rigide vs. robots avec segments et/ou articulations flexibles

Chapitre 01

Généralités sur les robots

- **Le volume ou espace de travail** (“workspace” en anglais) : défini comme l'ensemble des points atteignables par l'organe terminal du robot
- **Volume accessible :**
 - Volume de travail du robot, difficile à représenter pour 6DDL
 - Il dépend de : la cinématique du robot, la longueur des segments, les butées articulaires
 - Graphiquement, on donne le volume accessible d'un point (centre outil, centre poignet) pour au moins une orientation
- **L'exactitude de positionnement :** définie par une position et une orientation dans l'espace cartésien La répétabilité. Ce paramètre caractérise la capacité que le robot à retourner vers un point (position et orientation) donné. En général, la répétabilité est de l'ordre de 0.05 mm
- **La vitesse de déplacement :**(vitesse maximale en élongation maximale), l'accélération
- **La masse du robot** (de quelques centaines de kilos à quelques tonnes)
- **Le coût du robot**
- **La maintenance du robot** (difficile pour les robots qui travaillent dans des environnements hostiles/dangereux, ex. chambre froide)

7. Classification des Robots

Il existe différentes classification, permet ces classification on trouve :

7.1 Classification par fonctionnalité :

Cette classification divise les robots en deux catégories : Industriels et services

- ✓ Les robots industriels sont les robots qu'on peut trouver dans les zones industriels comme les robots manipulateurs et d'usinage, et aussi qu'on trouve dans les hôpitaux.
- ✓ Les robots de services : robots autonomes et robots humanoïdes.

7.2 Classification par domaine

La robotique moderne trouve des applications dans différents domaines:

- ♣ La robotique industrielle ♣ La robotique de service ♣ La robotique médicale
- ♣ La robotique militaire ♣ La robotique scientifique ♣ La robotique de transport

7.3 Classification mécanique

On retiendra pour notre part 3 types de robots :

❖ **Les manipulateurs :**

- Les trajectoires sont non quelconques dans l'espace
- Les positions sont discrètes avec 2 ou 3 valeurs par axe
- La commande est séquentielle.

❖ **Les télémanipulateurs :**

- Appareils de manipulation à distance
- Les trajectoires peuvent être quelconques dans l'espace,
- Les trajectoires sont définies de manière instantanée par l'opérateur

❖ **Les robots :**

- Les trajectoires peuvent être quelconques dans l'espace
- L'exécution est automatique
- Les informations extéroceptives peuvent modifier le comportement du robot

7.4 Classification géométrique :

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

➤ **Robots rectilignes**

Les robots rectilignes a trois axes de mouvement (x, y, z). Pour cette raison, le robot rectiligne est parfois appelé Robot cartésien. Ces robots sont exploités par vérin pneumatique

➤ **Robots cylindriques**

Le robot cylindrique a deux axes de mouvement un axe est pour le mouvement en haut et en bas. L'autre axe est pour la rotation qui se fait par la jonction à la base. De plus, le bras horizontal peut se déplacer à l'intérieur et à l'extérieur, ce qui donne un troisième axe de mouvement limitée.

➤ **Robots sphériques**

Le robot sphérique est de grande taille avec un bras télescopique qui assure un mouvement à l'intérieur ou à l'extérieur. Les mouvements de base du robot sphérique sont de rotation (à la base) et angulairement en haut ou en bas (sur le bras).

Chapitre 01

Généralités sur les robots

➤ Robots articulés

Le bras articulé du robot ressemble à un bras humain. Il se compose de deux éléments, nommés l'avant-bras et le bras supérieur. Ce type de robot n'a généralement pas besoin d'un lieu séparé.

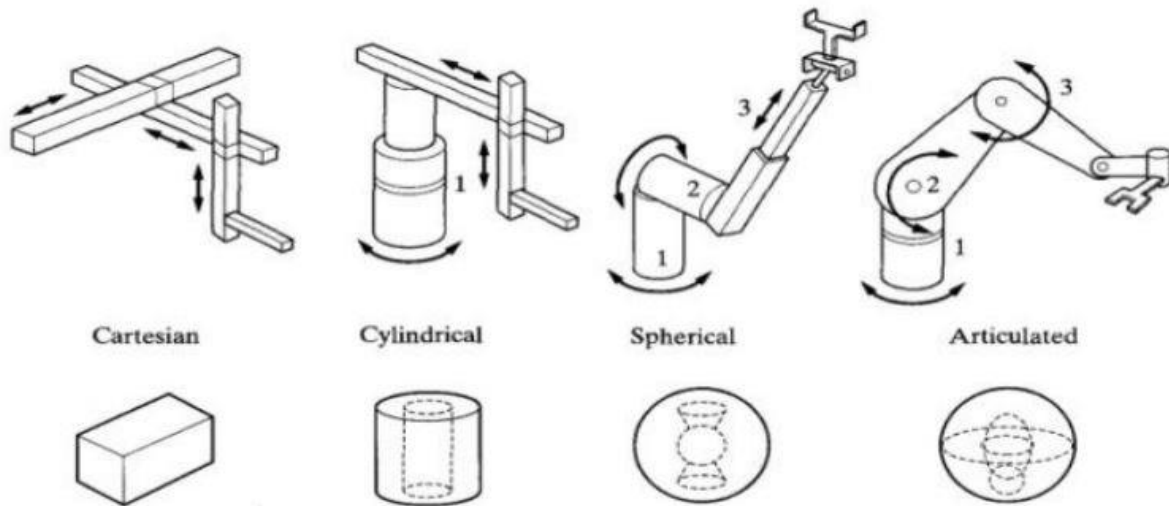


Figure 1.7 : l'espace de travail des robots [18]

8. Architecture des systèmes robotiques :

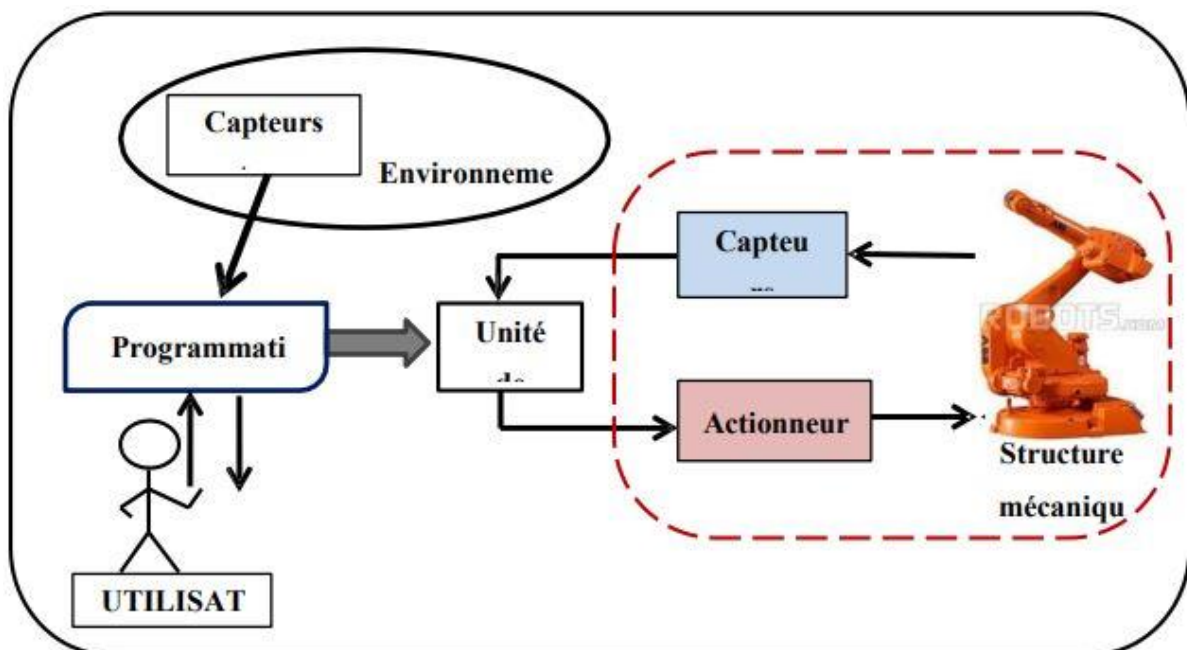


Figure 1.8 : Architecture des systèmes robotiques

8.1 Système Mécanique Articulé (S.M.A.)

Un mécanisme ayant une structure plus ou moins proche de celle du bras humain. Il permet de remplacer, ou de prolonger, son action.

Son rôle est d'amener l'organe terminal dans une pose (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) reliés 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 (ex. réducteurs).[6]

8.2 Structure mécanique articulée à chaîne cinématique simple

C'est une chaîne cinématique dont chaque membre possède un degré de connexion (nombre de liaisons mécaniques) inférieur ou égal à deux. Un robot sériel est formé d'une chaîne cinématique simple dont la base et l'organe effecteur possèdent un degré de connexion de un (c'est-à-dire qu'il n'est relié qu'à un seul corps) et les autres éléments un degré de connexion de deux.

8.3 Structure mécanique articulée à chaîne cinématique fermée :

C'est une chaîne cinématique qu'il existe un retour mécanique d'un ou plusieurs segments à un autre dans la chaîne .

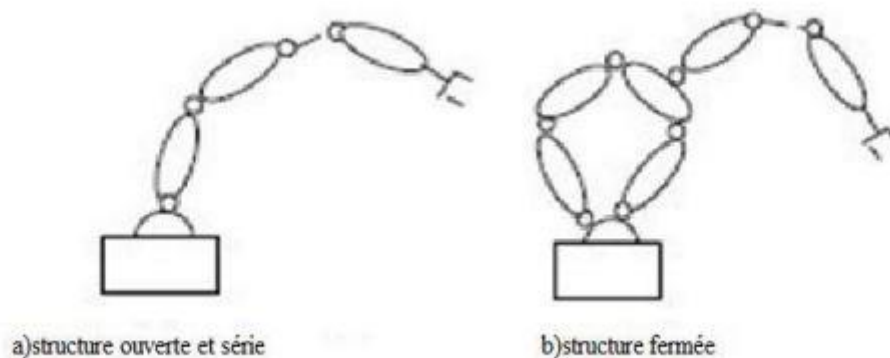


Figure 1.9 : SMA à chaîne cinématique série et fermée [19]

9. Vocabulaire de la robotique

- Actionneur = moteur
- Axe = articulation
- Corps = segment
- Organe terminal
- Effecteur = outil
- Base

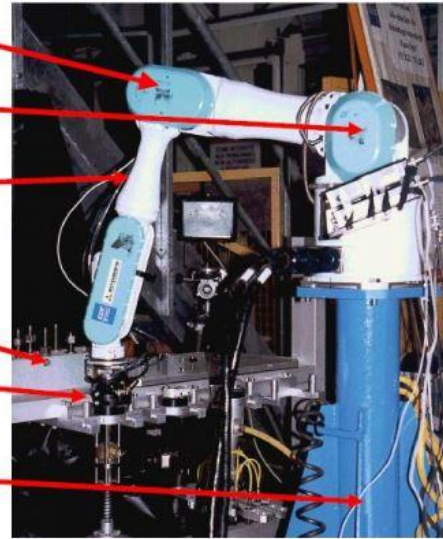


Figure1.10 : les organes d'un robot
[20]

9.1 La Base :

La base du manipulateur est fixée sur l'emplacement du travail, Ceci est le cas de la quasi-totalité des robots industriels

9.2 Segment (corps du robot) :

Corps solides rigides susceptibles d'être en mouvement par rapport à la base, et les uns par rapport aux autres

9.3 organe terminal :

Désigne tout dispositif destiné soit à manipuler des objets comme les dispositifs de serrage, les dispositifs magnétiques ou à dépression, soit à transformer. Il s'agit d'une interface permettant au robot d'interagir avec son environnement.

9.4 Effecteur :

L'effecteur final se connecte au bras du robot et fonctionne comme une main. Cette pièce entre en contact direct avec le matériau que le robot manipule. Certaines variantes d'un effecteur sont une pince, une pompe à vide, des aimants et des torches de soudage. Certains

robots sont capables de changer les effecteurs finaux et peuvent être programmés pour différents ensembles de tâches

9.5 Articulation :

Une articulation lie deux corps successifs en limitant le nombre de degré de liberté de l'un par rapport à l'autre. Soit m le nombre de degré de liberté résultant, encore appelé mobilité de l'articulation. La mobilité d'une articulation est telle que : $0 \leq m \leq 6$

Lorsque $m = 1$; ce qui est fréquemment le cas en robotique, l'articulation est dite simple : soit rotoïdes, soit prismatique.[7]

a) Articulation rotoïde :

Il s'agit d'une articulation de type pivot, notée R, réduisant le mouvement entre deux corps à une rotation autour d'un axe qui leur est commun. n. La situation relative entre les deux corps est donnée par l'angle autour de cet axe[7]

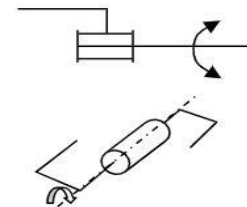


Figure 1.11 : Articulation rotoïde

b) Articulation prismatique :

Il s'agit d'une articulation de type glissière, notée P, réduisant le mouvement entre deux corps à une translation le long d'un axe commun. La situation relative entre les deux corps est mesurée par la distance le long de cet axe [7]

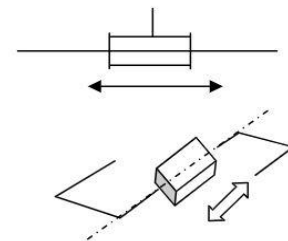


Figure 1.12 : Articulation prismatique

9.6 Actionneurs :

Le SMA comporte des moteurs le plus souvent avec des transmissions , des capteurs délivrant des informations sur l'état du SMA et à son extrémité un outil ou un préhenseur, ce que l'on qualifie plus généralement d'effecteur car c'est lui qui aura un effet direct sur l'environnement. On distingue :

- A. **Robots électriques** : Les actionneurs les plus fréquents utilisent des moteurs électriques

Généralités sur les robots

B. **Robots hydrauliques** : Pour les robots devant manipuler de très lourdes charges, les actionneurs sont le plus souvent hydrauliques

C. **Robots pneumatiques** : Les actionneurs pneumatiques sont d'un usage général pour les manipulateurs à cycles. Un manipulateur à cycle (automate ou bras transfert), est un SMA, permettant une succession de mouvements contrôlés uniquement par des capteurs de fin de course réglables manuellement à la course désirée.

10. Avantages & Inconvénients des robots :

10.1 Avantages :

- ♣ Augmentation des taux de production.
- ♣ Amélioration de la qualité du produit.
- ♣ Réduction du gaspillage de matériel.
- ♣ Réduction des accidents.
- ♣ Faible taux d'emploi (réduite de la main-d'œuvre).
- ♣ Plus grande flexibilité et programmabilité (d'évolutivité).

10.2 Inconvénients :

- ♣ Remplacement du travail humain.
- ♣ Les robots représentent un coût initial coûteux.
- ♣ Ne peut faire que ce qui lui est demandé ; ni plus ni moins.
- ♣ Plus grand chômage.

11. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons donné des information générale sur les robots (les différents types de robots , l'historique des robots, leurs structures, leurs utilisations) pour le but de fabriquer notre bras manipulateur .

Chapitre 02 :
Modélisation d'un
bras de robot

1. Introduction :

Le contrôle et la simulation des robots nécessitent le développement de modèles mathématiques. Plusieurs niveaux de modélisation - géométrique, cinématique et dynamique - sont nécessaires en fonction des objectifs, des contraintes de la tâche et de la performance souhaitée. Dans ce chapitre, nous parlons des coordonnées et des types de modélisation de robots

2. Définition :

La modélisation est la représentation d'un système par un autre, plus facile à appréhender. Il peut s'agir d'un système mathématique ou physique.

La modélisation d'un robot considéré comme étant un système mécanique commandé, articulé et actionné, la fonction générale d'aide à la conception et la réalisation . [8]

3. Coordonnées homogènes :

Un point est représenté par P_x, P_y, P_z coordonnées cartésiennes :

$$P = \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

4. Transformation homogène :

La notion de transformation de repère est donc fondamentale, elle permet :

- D'exprimer les situations des différents corps du robot les uns par rapport aux autres.
- De spécifier les situations que doit prendre le repère associé à l'organe terminal
- De décrire et de contrôler les efforts mis en jeu lorsque le robot interagit avec son environnement.

Chapitre 02

Modélisation d'un bras de robot

4.1 Transformations homogènes des repères :

On définit la matrice de transformation homogène par :

$${}^i_jT = \begin{bmatrix} {}^i_s & {}^i_n & {}^i_a & {}^i_p \\ s_x & n_x & a_x & p_x \\ s_y & n_y & a_y & p_y \\ s_z & n_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

${}^i_s, {}^i_n$ et i_a sont les vecteurs unitaires des axes X_j, Y_j et Z_j du repère R_j , exprimé dans R_i

i_p vecteur exprimant l'origine du repère R_j dans le repère R_i

On dit également que la matrice i_jT définit le repère R_j dans le repère R_i , comme on peut noter la matrice de transformation sous forme partitionnée :

$${}^i_jT = \begin{bmatrix} 0 & {}^iA & 0 & {}^iP \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^i_s & {}^i_n & {}^i_a & {}^iP \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

- ✓ La matrice A représenté la matrice de rotation ou d'orientation du repère R_i par rapport à R_j
- ✓ La colonne P représente la translation du repère R_i par rapport à R_j
- ✓ Dans le cas d'une translation pure $A = I_3$, tel que I est la matrice unité.

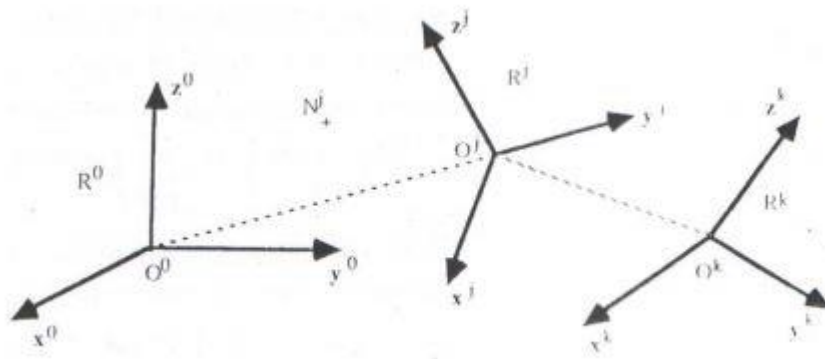


Figure 2.1 : Transformation des repères [21]

Chapitre 02

Modélisation d'un bras de robot

4.2 Matrice de translation pure homogène :

Soit $T_r(a,b,c)$ une transformation qui désigne la translation a , b , et c le long des axes x , y , et z respectivement.

La transformation dans ce cas s'exprime par :

$${}^i T_j = \text{Trans}(a, b, c) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Propriétés :

- $T_r(a,b,c) = T_r(x,a) T_r(y,b) T_r(z,c)$
- L'ordre des multiplications étant quelconque.

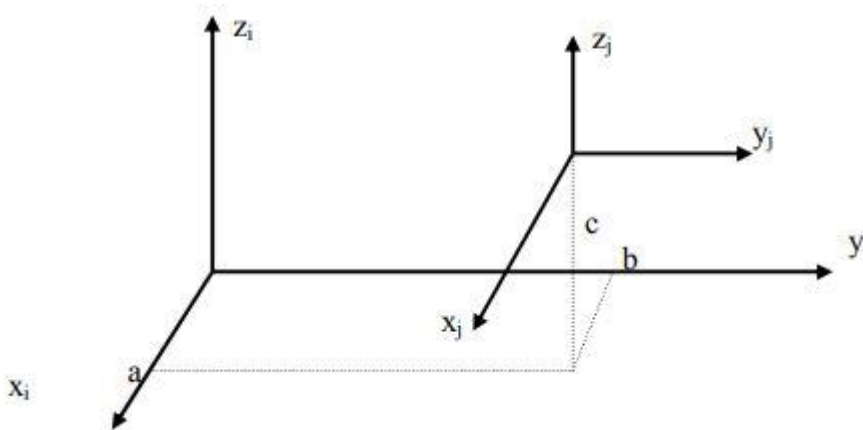


Figure 2.2 : Transformation de translation pure
[22]

4.3 Matrice de rotation homogène :

On définit $\text{Rot}(x,\theta)$, $\text{Rot}(y,\theta)$, $\text{Rot}(z,\theta)$ la transformation homogène qui s'exprime par :

$${}^i T_j = \text{Rot}(x, \theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c\theta & -s\theta & 0 \\ 0 & s\theta & c\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

$${}^i T_j = \text{Rot}(y, \theta) = \begin{bmatrix} c\theta & 0 & s\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -s\theta & 0 & c\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

$${}^i T_j = \text{Rot}(z, \theta) = \begin{bmatrix} c\theta & -s\theta & 0 & 0 \\ s\theta & c\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

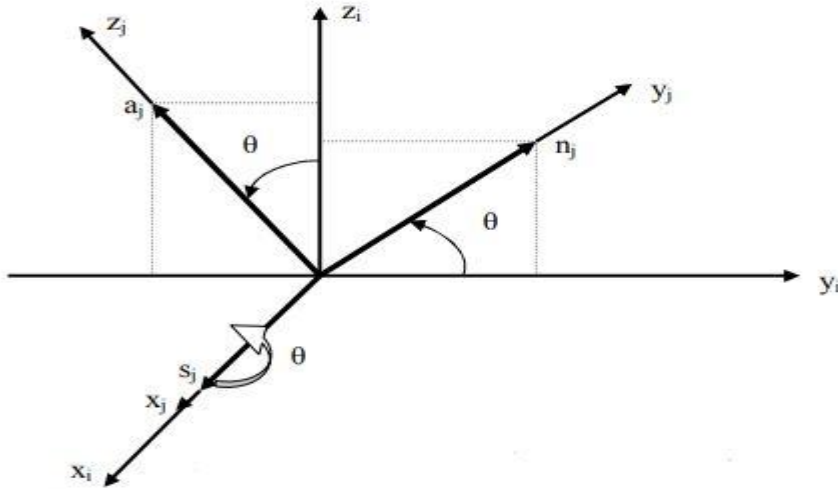


Figure 2.3 : Transformation de rotation pure autour de l'axe x

5. modèles géométriques :

Exprime la situation de l'organe terminal en fonction des variables articulaire du mécanisme et inversement.

5.1 Modèle géométrique direct :

Représente l'ensemble des relations géométriques permettant le calcul des coordonnées opérationnelles en fonction des coordonnées articulaires. En d'autres termes, ce modèle permet de décrire la situation (position et/ou orientation) de l'organe terminal à partir des mesures de positions articulaires.[9]

5.2 Paramètres de Denavit-Hartenberg :

Les paramètres de Denavit-Hartenberg permettent de disposer d'un paramétrage des liaisons tel que les matrices de passage aient toutes la même forme littérale, ce qui facilite les calculs.

La méthode qui suit s'applique lorsque le robot correspond à une chaîne simple ouverte et que ses articulations sont rotoïdes, ou prismatiques (ce qui est le cas en général). Les corps constituant le robot sont supposés parfaitement rigides et connectés par des articulations idéales (pas de jeu mécanique, pas d'élasticité).[10]

Chapitre 02

Modélisation d'un bras de robot

Passage du repère R_{j-1} au repère R_j , détermination des paramètres de Denavit-Hartenberg :

- ✓ Nommer les corps du robot de $i=0$ jusqu'à $i=n$ en commençant par la base du robot avec $i=0$; Nommer les articulations de $i=1$ à n (1 pour le premier degré de liberté et n pour le dernier) ; Pour $i=0$ jusqu'à $i=n-1$ fixer l'axe Z_i sur l'articulation $i+1$;
- ✓ L'origine du repère R_0 sera un point quelconque de l'axe Z_0 , de sorte que, X_0 et Y_0 forment un repère orthonormé direct ;
- ✓ Pour $i=1,2,\dots,n-1$, l'origine du repère est fixé à l'intersection de l'axe Z_i avec la droite perpendiculaire commune à Z_{i-1} et Z_i .
- ✓ Si les deux axes se coupent, l'origine est le point d'intersection. Si par contre, les axes sont parallèles l'origine est l'origine du repère de l'articulation $i+1$. L'axe X_i est la droite perpendiculaire commune à Z_{i-1} et Z_i , et l'axe Y_i est choisi de sorte que le repère soit orthonormé direct. parallèles l'origine est l'origine du repère de l'articulation $i+1$. L'axe X_i est la droite perpendiculaire commune à Z_{i-1} et Z_i , et l'axe Y_i est choisi de sorte que le repère soit orthonormé direct.

Le passage du repère R_{j-1} au repère R_j s'exprime en fonction des 4 paramètres suivants :

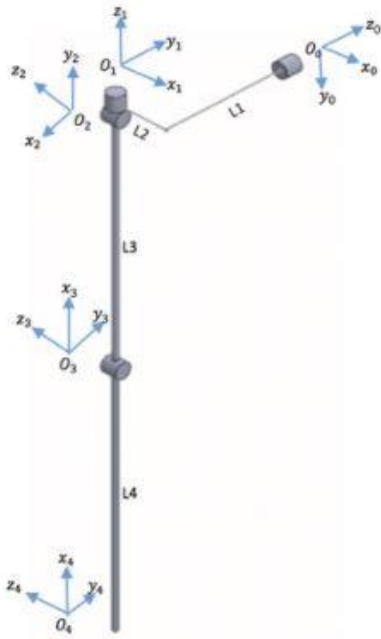
- On note α_j l'angle de rotation entre les axes z_{j-1} et z_j autour de l'axe x_{j-1} ,
- On note d_j la distance entre z_{j-1} et z_j mesurée le long de l'axe x_{j-1} ,
- On note θ_j l'angle de rotation entre les axes x_{j-1} et x_j autour de l'axe z_j ,
- On note r_j la distance entre x_{j-1} et x_j mesurée le long de l'axe z_j .

Il peut être représenté la matrice de passage 0T_n par :

$$T_{j-1,j} = ROT(X_{j-1}, \alpha_j) \times TRAN(X_{j-1}, d_j) \times ROT(Z_j, \theta_j) \times TRAN(Z_j, r_j)$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha_j) & -\sin(\alpha_j) & 0 \\ 0 & \sin(\alpha_j) & \cos(\alpha_j) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & d_j \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \cos(\theta_j) & -\sin(\theta_j) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_j) & \cos(\theta_j) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & r_j \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} \cos(\theta_j) & -\sin(\theta_j) & 0 & d_j \\ \cos(\alpha_j)\sin(\theta_j) & \cos(\alpha_j)\cos(\theta_j) & -\sin(\alpha_j) & -r_j\sin(\alpha_j) \\ \sin(\alpha_j)\sin(\theta_j) & \sin(\alpha_j)\cos(\theta_j) & \cos(\alpha_j) & r_j\cos(\alpha_j) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.8)$$



Frame	θ_i	α_i	d_i	a_i
1	θ_1	$\frac{\pi}{2}$	L_1	L_2
2	$\theta_2 - \frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2}$	0	0
3	$\theta_3 + \frac{\pi}{2}$	0	0	L_3
4	θ_4	0	0	L_4

Figure2.4 : robot de type RRRR

Tableau2.1 : paramètre DH du robot RRRR

5.3 Modèle géométrique inverse :

Le problème inverse consiste à calculer les coordonnées articulaires correspondant à une situation donnée de l'organe terminal. Lorsqu'elle existe, la forme explicite qui donne toutes les solutions possibles (il y a rarement unicité de solution) constitue le modèle géométrique inverse nous présentons trois méthodes de calcul du MGI :

- la méthode de Paul : qui traite séparément chaque cas particulier et convient pour la plupart des robots industriels.
- la méthode de Peiper : qui permet de résoudre le problème pour les robots à six degrés de liberté possédant trois articulations rotoides d'axes concourant ou trois articulations prismatiques .
- la méthode générale de Raghavan et Roth : donnant la solution générale des robots à six articulations à partir d'un polynôme de degrés plus au égal à 6 .[11]

5.4 Calcul du modèle géométrique inverse par la méthode de Paul :

Considérons un robot manipulateur dont la matrice de transformation homogène a pour expression :

$${}^0T_n = {}^0T_1(q_1) \times {}^1T_2(q_2) \times \dots \times {}^{n-1}T_n(q_n) \quad (2.9)$$

soit U_0 la situation désirée telle que :

$$U_0 = \begin{bmatrix} s_x & n_x & a_x & P_x \\ s_y & n_y & a_y & P_y \\ s_z & n_z & a_z & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

On cherche à résoudre le système d'équation s suivant :

$$U_0 = {}^0T_1(q_1) \times {}^1T_2(q_2) \times \dots \times {}^{n-1}T_n(q_n) \quad (2.11)$$

Pour trouver les solutions de l'équation ,Paul a proposé une méthode qui consiste à pré multiplier successivement les deux membres de l'équation par les matrices ${}^jT_{j-1}$ pour j variant de 1 à n-1 , opérations qui permettent d'isoler et d'identifier l'une après l'autre les variables articulaires que l'on cherche.

Pour un robot à six degrés de liberté par exemple, on procède comme suit :

- multiplication à gauche de l'expression par 1T_0 :

$${}^1T_0 \times U_0 = {}^1T_2 \times {}^2T_3 \times {}^3T_4 \times {}^4T_5 \times {}^5T_6$$

Le terme de droite est fonction des variables $q_2 \dots q_6$

le terme de gauche n'est fonction que des éléments de U_0 et de la variable q_1 ;

Identification terme à des deux membres de l'équation . On est ramené à un système à une ou deux équations fonction de q_1 uniquement, dont la structure appartient à un type particulier parmi une dizaine de types possible.

Multiplication à gauche de l'expression par 2T_1 et calcule de q_2

Modélisation d'un bras de robot

. la succession des équations permettant le calcul de tous les q_j est la suivante :

$$\begin{aligned}
 U_0 &= {}^0T_1 {}^1T_2 {}^2T_3 {}^3T_4 {}^4T_5 {}^5T_6 \\
 {}^1T_0 U_0 &= {}^1T_2 {}^2T_3 {}^3T_4 {}^4T_5 {}^5T_6 \\
 {}^2T_1 U_1 &= {}^2T_3 {}^3T_4 {}^4T_5 {}^5T_6 \\
 {}^3T_2 U_2 &= {}^3T_4 {}^4T_5 {}^5T_6 \\
 {}^4T_3 U_3 &= {}^4T_5 {}^5T_6 \\
 {}^5T_4 U_4 &= {}^5T_6
 \end{aligned} \tag{2.12}$$

Avec :

$$U_{j+1} = {}^{j+1}T_j U_j \rightarrow j=0, \dots, 4$$

6. Modélisation Cinématique :

La modélisation cinématique d'un robot manipulateur détermine la relation entre la vitesse articulaire \dot{q}_i pour $i=1 \dots n$ et la vitesse de la sonde sur le corps du patient :

\dot{P} (vitesse linéaire) et W (vitesse angulaire).

6.1 Modélisation cinématique directe (MCD) :

Le modèle cinématique directe du robot décrit les variations élémentaires des coordonnées opérationnelles en fonction des variations élémentaires des coordonnées articulaires

Il est noté :

$$\begin{cases} dX = J(q) dq \\ \dot{X} = f(q, \dot{q}) \end{cases} \tag{2.13}$$

Le modèle cinématique directe, déterminé par les dérivées par rapport au temps des coordonnées opérationnelles \dot{P} et \dot{q}_i des coordonnées articulaires, exprime les vitesses opérationnelles en fonction des vitesses articulaires

\dot{P} et W : Sont des vitesses de translation et de rotation de la sonde dans l'espace opérationnelles, données par la relation suivante :

$$\begin{pmatrix} \dot{P} \\ W \end{pmatrix} = J(q) * \dot{q} \tag{2.14}$$

\dot{P} : Représentant la vitesse linéaire absolue de la sonde par rapport à R0.

Chapitre 02

Modélisation d'un bras de robot

W : représentant le vecteur de rotation absolue de la sonde par rapport à R0.

J(q) : la matrice jacobienne en fonction des variables articulaire de dimension (m x n) Avec :

- n : le nombre de degré de liberté de la structure articulé

- m ≤ 6 degrés de liberté de l'OT. Si m=6 c'est-à-dire 3 pour la vitesse de translation et 3 pour la vitesse de rotation.

Les relations donnent :

$$\dot{P} = \frac{dP}{dt} = \frac{\partial P}{\partial q_i} \times \frac{\partial q_i}{\partial t} = \frac{\partial p}{\partial q_i} \times \dot{q}_i \quad (2.15)$$

$$\dot{P} = \begin{pmatrix} \dot{P}_x \\ \dot{P}_y \\ \dot{P}_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n \frac{\partial p_x}{\partial q_i} \dot{q}_i \\ \sum_{i=1}^n \frac{\partial p_y}{\partial q_i} \dot{q}_i \\ \sum_{i=1}^n \frac{\partial p_z}{\partial q_i} \dot{q}_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial p_x}{\partial q_1} & \dots & \dots & \frac{\partial p_x}{\partial q_i} & \dots & \dots & \frac{\partial p_x}{\partial q_n} \\ \frac{\partial p_y}{\partial q_1} & \dots & \dots & \frac{\partial p_y}{\partial q_i} & \dots & \dots & \frac{\partial p_y}{\partial q_n} \\ \frac{\partial p_z}{\partial q_1} & \dots & \dots & \frac{\partial p_z}{\partial q_i} & \dots & \dots & \frac{\partial p_z}{\partial q_n} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \dot{q}_1 \\ \vdots \\ \dot{q}_i \\ \vdots \\ \dot{q}_n \end{pmatrix} \quad (2.16)$$

Les vitesses de rotation de la sonde sont déterminées par la relation suivante

$$W = \begin{pmatrix} W_x \\ W_y \\ W_z \end{pmatrix} = [\bar{\sigma}_1 * {}^0A_1 * a_1 \dots \dots \bar{\sigma}_j * {}^0A_j * a_j \dots \dots \bar{\sigma}_n * {}^0A_n * a_n] * \begin{pmatrix} \dot{q}_1 \\ \vdots \\ \dot{q}_j \\ \vdots \\ \dot{q}_n \end{pmatrix} \quad (2.17)$$

0A_j : c'est une matrice de rotation exprimée le repère R_i dans la base R₀.

$a_j = (0, 0, 1)^T$: vecteur unitaire porté par l'axe z_j de l'articulation q_j .

σ_i : coefficient binaire de l'articulation ($\sigma_j = 1$: prismatique et $\bar{\sigma}_j = 1$ rotoïde)

Modélisation d'un bras de robot

Les équations et donnent le produit de la jacobéenne et les vitesses articulaires :

$$\begin{pmatrix} \dot{P} \\ W \end{pmatrix} = J(q) * \begin{pmatrix} \dot{q}_1 \\ \vdots \\ \dot{q}_j \\ \vdots \\ \dot{q}_n \end{pmatrix} \quad (2.18)$$

C'est-à-dire :

$$J(q) = \begin{pmatrix} \frac{\partial p_x}{\partial q_1} & \dots & \dots & \frac{\partial p_x}{\partial q_j} & \dots & \dots & \frac{\partial p_x}{\partial q_n} \\ \frac{\partial p_y}{\partial q_1} & \dots & \dots & \frac{\partial p_y}{\partial q_j} & \dots & \dots & \frac{\partial p_y}{\partial q_n} \\ \frac{\partial p_z}{\partial q_1} & \dots & \dots & \frac{\partial p_z}{\partial q_j} & \dots & \dots & \frac{\partial p_z}{\partial q_n} \\ \bar{\sigma}_1 \times^0 A_1 \times a_1 & \dots & \dots & \bar{\sigma}_j \times^0 A_j \times a_j & \dots & \dots & \bar{\sigma}_n \times^0 A_n \times a_n \end{pmatrix} \quad (2.19)$$

6.2 Modélisation cinématique inverse(MCI) :

L'objectif du modèle différentielle inverse est de calculer, à partir de la configuration \mathbf{q} donnée, la différentielle articulation \mathbf{dq} à commander pour satisfaire une différentielle des coordonnées opérationnelles \mathbf{dX} imposée \mathbf{X} :

$$\dot{\mathbf{q}} = \mathbf{J}^{-1} * \dot{\mathbf{X}} \quad (2.20)$$

Pour obtenir le modèle cinématique inverse ,on inverse le modèle cinématique direct en résolvant un système d'équations linéaires dont la solution est donnée par la relation

$$\begin{pmatrix} \dot{r}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \\ \dot{\theta}_4 \\ \dot{\theta}_5 \\ \dot{\theta}_6 \end{pmatrix} = J(q)^{-1} \begin{pmatrix} \dot{P}_x \\ \dot{P}_y \\ \dot{P}_z \\ \dot{W}_x \\ \dot{W}_y \\ \dot{W}_z \end{pmatrix} \quad (2.21)$$

7. Modélisations dynamiques :

Une des étapes les plus importantes dans la commande, l'étude ou la synthèse de robots est la modélisation du comportement dynamique

La modélisation dynamique consiste à établir les relations entre les efforts des actionneurs et les mouvements qui en découlent, autrement dit, à expliciter les équations différentielles du second ordre que sont les équations du mouvement .

7.1 Modèle dynamique directe (MDD) :

Ce modèle est nécessaire à la simulation temporelle du système, il permet de décrire la trajectoire du robot à partir des efforts qui lui sont appliqués. Il permet aussi d'écrire le modèle sous forme d'état pour la commande. Le modèle dynamique direct est celui qui exprime les vitesses et les couples des actionneurs .les accélérations en fonction des positions, [9]

Il est alors représenté par la relation :

$$\ddot{\mathbf{q}} = \mathbf{g}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \mathbf{C}, \mathbf{F}) \quad (2.22)$$

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

\mathbf{q} : c'est le vecteur des positions articulaires.

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

\mathbf{C} : c'est le vecteur colonne des couples/forces des actionneurs, selon que l'articulation est rotoïde ou prismatique

\mathbf{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.[9]

7.2 Formalisme de Newton-Euler :

Basé sur les équations de Newton (seconde loi) et d'Euler (correspondant au théorème du moment cinétique), ce formalisme est bien adapté au calcul du modèle dynamique (sous forme inverse ou directe), il utilise des coordonnées relatives. Les algorithmes de génération du MDI, comme du MDD, utilisent une double récurrence (de la base à l'effecteur et inversement) ; l'écriture du torseur dynamique dans un repère lié à une liaison du solide permette de ne pas faire

Modélisation d'un bras de robot

apparaître les efforts de réaction dans les liaisons. La mise en œuvre par calcul symbolique itératif avec le paramétrage de Denavit Hartenberg modifié et les paramètres inertiels de base permet d'obtenir de façon systématique [9]

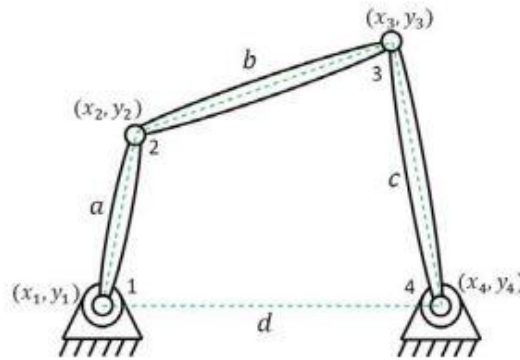


Figure 2.5: Illustration des coordonnées naturelles sur une chaîne cinématique fermée[23]

7.3 Modèle dynamique inverse (MDI) :

Ce modèle est utile pour la commande et la planification de trajectoire car il permet de calculer les efforts articulaires nécessaires pour suivre une trajectoire donnée. Le MDI peut également servir pour écrire le modèle descripteur destiné à certaines lois de commande.

7.4 Formalisme de Lagrange :

Ce formalisme est certainement le plus populaire. L'approche est basée sur l'expression des énergies cinétique et potentielle du manipulateur en fonction des variables généralisées. Des coordonnées indépendantes ou dépendantes peuvent être utilisées comme variables généralisées.[9]

En utilisant n coordonnées dépendantes q_1, q_2, \dots, q_n , le modèle dynamique comprendra les équations de contraintes algébriques correspondantes ainsi que les équations différentielles ordinaires issues de la différentiation du Lagrangien comme suit :

$$F = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial L}{\partial q} + J^T \lambda \quad (2.23)$$

$L = E_c - E_p$ est le Lagrangien, E_c représente l'énergie cinétique E_p représente l'énergie potentielle

Chapitre 02

Modélisation d'un bras de robot

$\mathbf{q} = [q_1 \ q_2 \ \dots \ q_n]^T$ est le vecteur des coordonnées généralisées,

$\mathbf{F} = [F_1 \ F_2 \ \dots \ F_n]^T$ est le vecteur des forces généralisées.

$\lambda \in \mathbf{R}^{n\varphi}$ est le vecteur des multiplicateurs de Lagrange, avec

$$n\varphi = \dim(\varphi(\mathbf{q}, \lambda)),$$

$\mathbf{J} \in \mathbf{R}^{n\varphi \times n}$ est la matrice jacobéenne établie à partir de la dérivée temporelle des équations de contraintes algébriques

L'intérêt de cette approche est sa grande facilité de mise en œuvre pour les chaînes cinématiques ouvertes et fermées et sa grande souplesse de paramétrage. Malheureusement, les équations générées sont en général complexes, sauf dans les cas simples, et dépendent complètement des choix paramétriques effectués.

7.5 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. 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 évalués en ligne ce qui pose un problème d'exécution en temps réel.[12]

8. Conclusion :

Dans ce chapitre on a représenté les différents types de modélisation d'un robots d'une manière générale, commençant par la description des modèles géométrique , cinématique et dynamique directe et inverse et la simplification mathématique

Chapitre 03 :

Conception et réalisation

1. Introduction :

Les chapitres précédents sont portés sur l'étude des différents modèles (géométrique et cinématique, dynamique) pour le but de fabriquer les corps de notre robot. Dans ce chapitre on va expliquer les composants et faire l'assemblage du robot. Après cela il faudra faire des essais.

2. Hardware :

2.1 La carte arduino :

Arduino est une plateforme électronique open-source basée sur du matériel et des logiciels faciles à utiliser. Les cartes Arduino sont capables de lire des entrées - lumière sur un capteur, un doigt sur un bouton, ou un message Twitter - et le transformer en sortie - activer un moteur, allumer une LED, publier quelque chose en ligne. Vous pouvez dire à votre carte quoi faire en envoyant un ensemble d'instructions au microcontrôleur sur la carte. Pour ce faire, vous utilisez le langage de programmation Arduino (basé sur le câblage), et le logiciel Arduino (IDE), basé sur le traitement.

Dans notre projet on a choisi la carte arduino UNO

2.2 Caractéristique de la carte arduino UNO :

Microcontrôleur	ATmega328
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'alimentation (recommandée)	7-12V
Tension d'alimentation (limites)	6-20V
Broches E/S numériques	14 (dont 6 disposent d'une sortie PWM)
Broches d'entrées analogiques	6 (utilisables en broches E/S numériques)
Intensité maxi disponible par broche E/S (5v)	40 mA (ATTENTION : 200mA cumule pour l'ensemble des broches E/S)
Intensité maxi disponible pour la sortie 3.	50 mA
Intensité maxi disponible pour la sortie 5v	Fonction de l'alimentation utilisée - 500mA max si port USB utilise seul
Mémoire programme Flash	32 KB (ATmega328) dont 0.5 KB sont utilisés par le boot loader
Mémoire SRAM (mémoire volatile)	2 KB (ATmega328)
Mémoire EEPROM (mémoire non volatile)	1 KB (ATmega328)
Vitesse d'horloge	16 MHz

Tableau 3.1 : Caractéristique de la carte arduino UNO

2.3 zoom sur la carte arduino UNO :

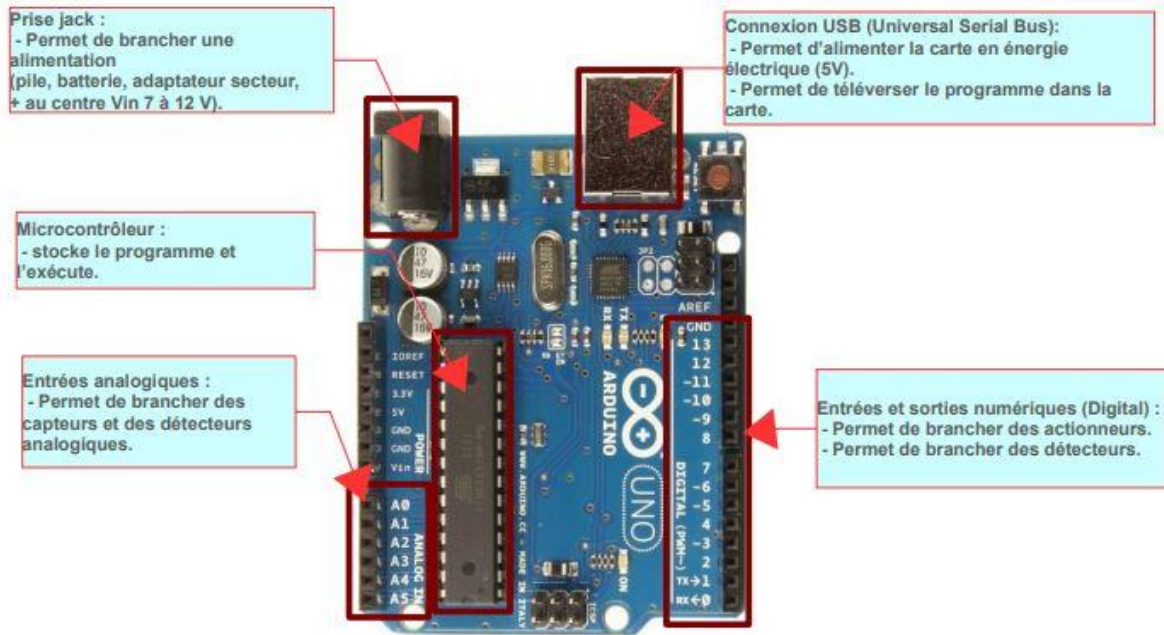


Figure 3.1 : la carte arduino UNO

2.4 Programmes Arduino :

Les programmes Arduino sont écrits dans l'environnement de développement intégré Arduino (IDE). Arduino IDE est un logiciel spécial fonctionnant sur votre système qui vous permet d'écrire des croquis (synonyme de programme en langage Arduino) pour différentes cartes Arduino. Le langage de programmation Arduino est basé sur un langage de programmation matériel très simple appelé traitement, qui est similaire au langage C. Une fois le croquis écrit dans l'IDE Arduino, il doit être téléchargé sur la carte Arduino pour exécution. L'exécution d'un programme Arduino s'effectue de manière séquentielle, c'est-à-dire que les instructions sont exécutées les unes à la suite des autres.

La syntaxe du langage arduino est composée de :

- ❖ **Ponctuation :** Le code est structuré par une ponctuation stricte
- ❖ **Les variables :** est un espace réservé dans la mémoire de l'ordinateur. C'est comme un compartiment dont la taille n'est adéquate que pour un seul type d'information.
- ❖ **Les fonctions :** est un bloc d'instructions que l'on peut appeler à tout endroit du programme.
- ❖ **Les structures de contrôle :** Les structures de contrôle sont des blocs d'instructions qui s'exécutent en fonction du respect d'un certain nombre de conditions. Il existe quatre types de structure : (**if**, **else**), **while**, **for**, (**switch/case**)

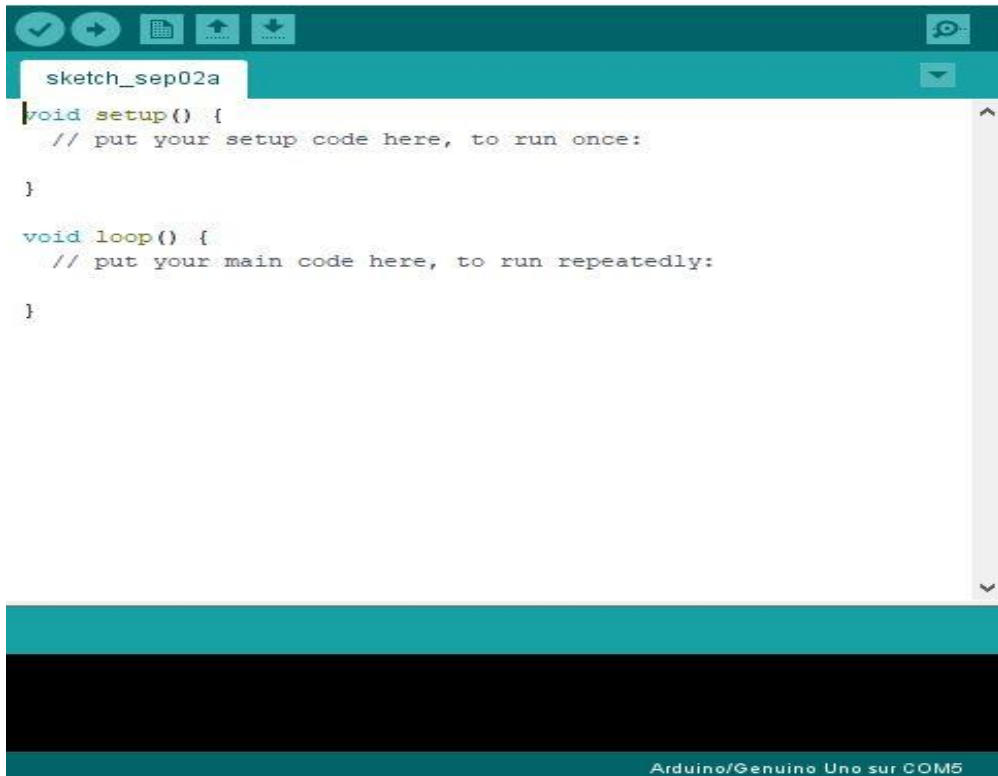


Figure 3.2 : interface d'arduino programme

Et celui-ci notre programme qui commande le bras de robot :

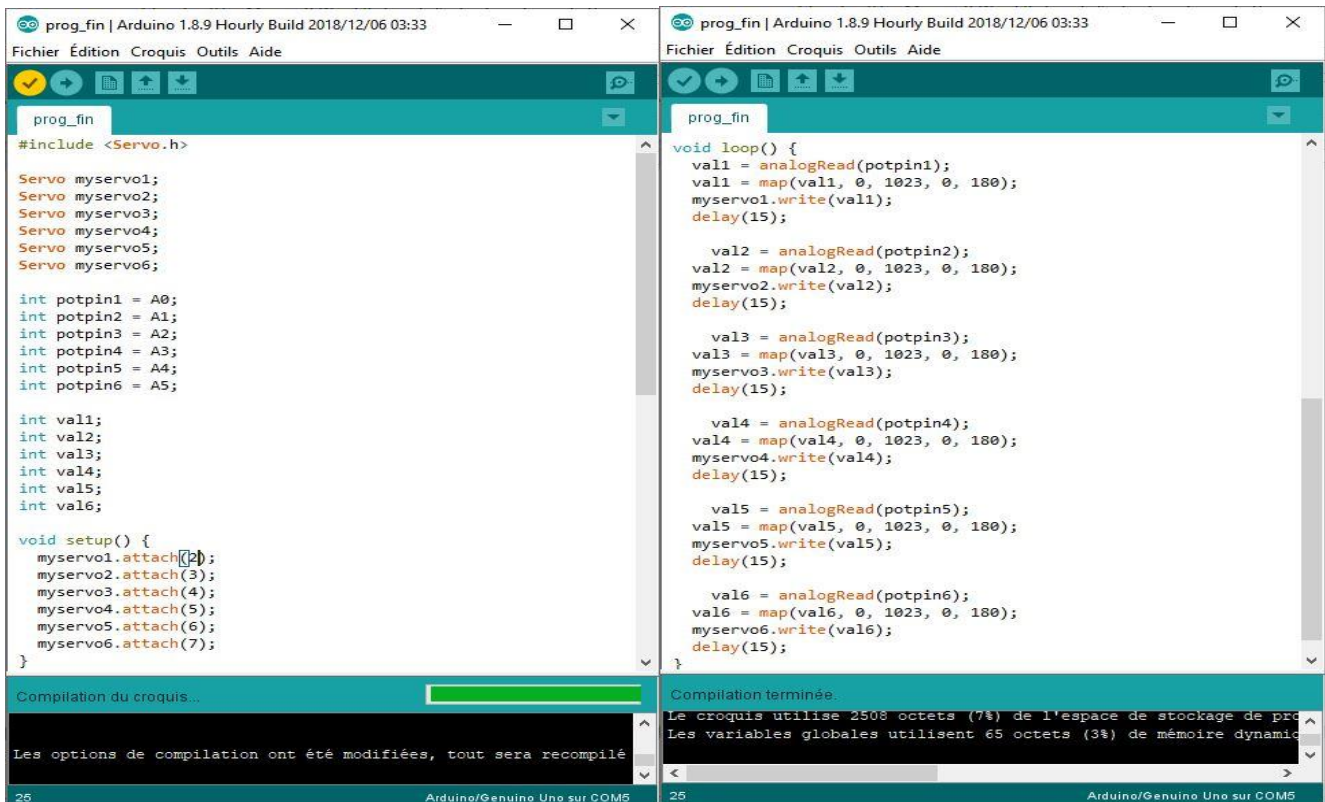


Figure 3.2 : le programme de command

3. Actionneurs (servomoteurs) :

Un servomoteur se compose d'un moteur à courant continu, d'un axe de rotation, d'un capteur de position de l'angle d'orientation de l'axe et d'une carte électronique. Celle-ci est utilisée pour contrôler la position de l'axe et le pilotage du moteur.

le servomoteur se distingue par une plus grande précision et une puissance accrue. Il fonctionne sur le système d'une boucle fermée.

Un servomoteur est capable de maintenir une position prédéterminée dans les instructions.

3.1 Avantage des servomoteurs

L'un des avantages principaux est qu'il peut tourner à grande vitesse tout en conservant le couple nominal. Ils peuvent aussi supporter jusqu'à près de deux fois leur couple nominal pour une courte période de temps. Attention car ceci entraîne un échauffement et donc nécessite de pouvoir dissiper cette chaleur par la suite. Ces moteurs sont équipés de codeurs ce qui les rend précis et fiables.

3.2 Inconvénient des servomoteurs

Ces moteurs peuvent être très chers. Ils nécessitent des codeurs complexes. Si le codeur n'est pas configuré correctement, il peut nécessiter plus de maintenance. Les servomoteurs peuvent aussi nécessiter l'adjonction d'un réducteur de vitesse pour utiliser des vitesses de rotation faibles ou pour augmenter le couple disponible. Cela ajoute évidemment un élément de complexité au système et donc un coût supplémentaire.

Dans notre projet on a choisi :



Figure 3.3 : MG996R Servomoteur



Figure 3.4 : SG90 Micro Servomoteur

3.3 Paramètres techniques des servomoteurs

Spécifications \ Références	SG90	MG996R
Poids	9g	55 g
Couple d'arrêt	1.8 kgf ·cm	9.4 kgf ·cm (4.8 V), 11 kgf ·cm (6 V)
Tension de fonctionnement	4.8 V (~5V)	4.8 V à 7.2 V
Vitesse	0.1 s/60°	0.17 s/60o (4.8 V) ,0.14 s/60o (6V).
Rotation angle	180°	180°

Tableau 3.2 : caractéristique des servo

4. Software

4.1 Solidworks :

Solidworks est également connu sous le nom de «DSS Solidworks». DSS désigne Dassault Systèmes, qui est le développeur de ce logiciel de CAO. Il s'agit d'un logiciel de CAO qui permet de créer des modèles solides 2D ou 3D sans aucune complexité

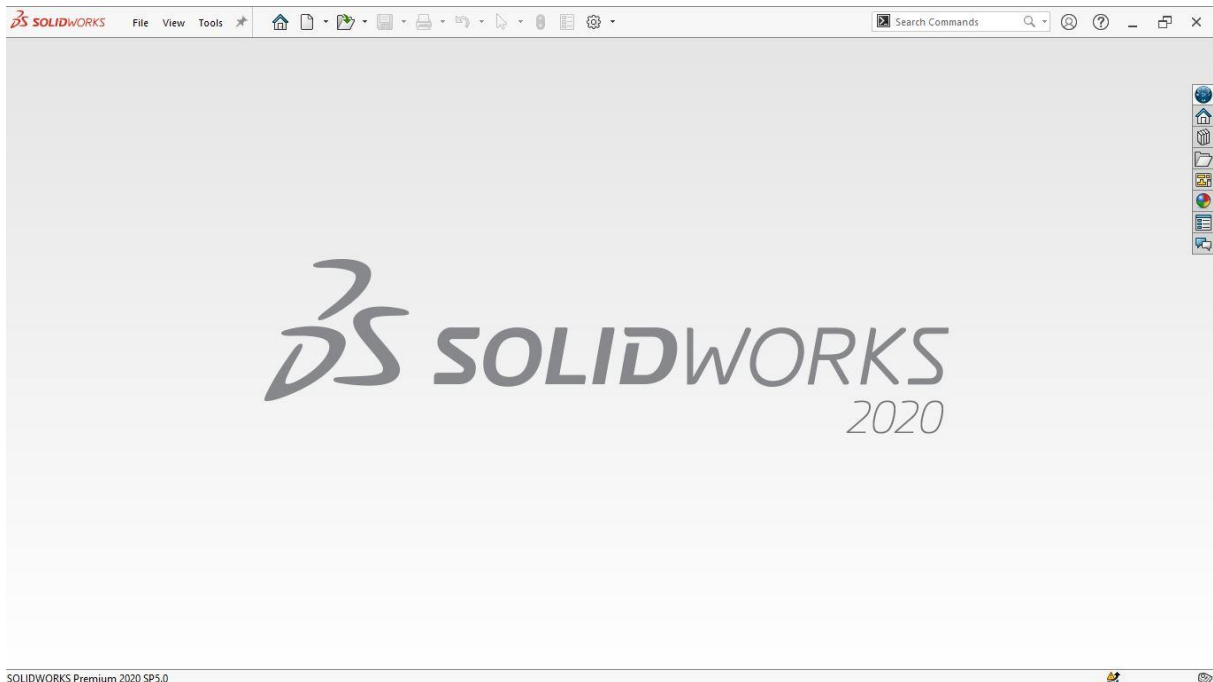
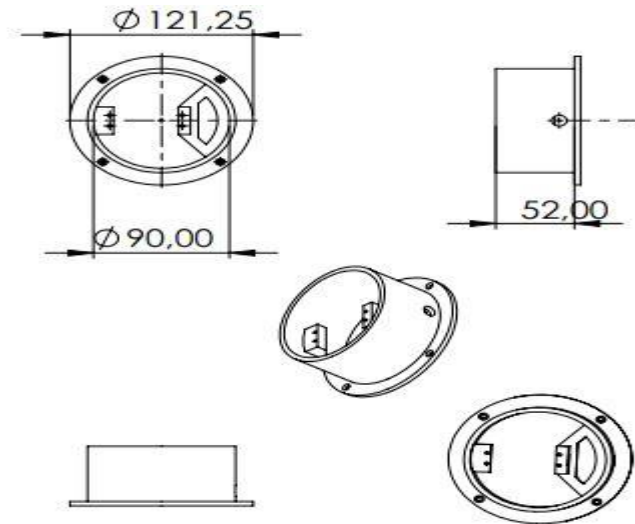


Figure 3.5 : interface du logicielle

5. La conception des partie de notre robot

5.1 La base :

la figure suivant représente les démentions du la base sous solidwork



dans la figure ce dessus un representation en 3D du la base :

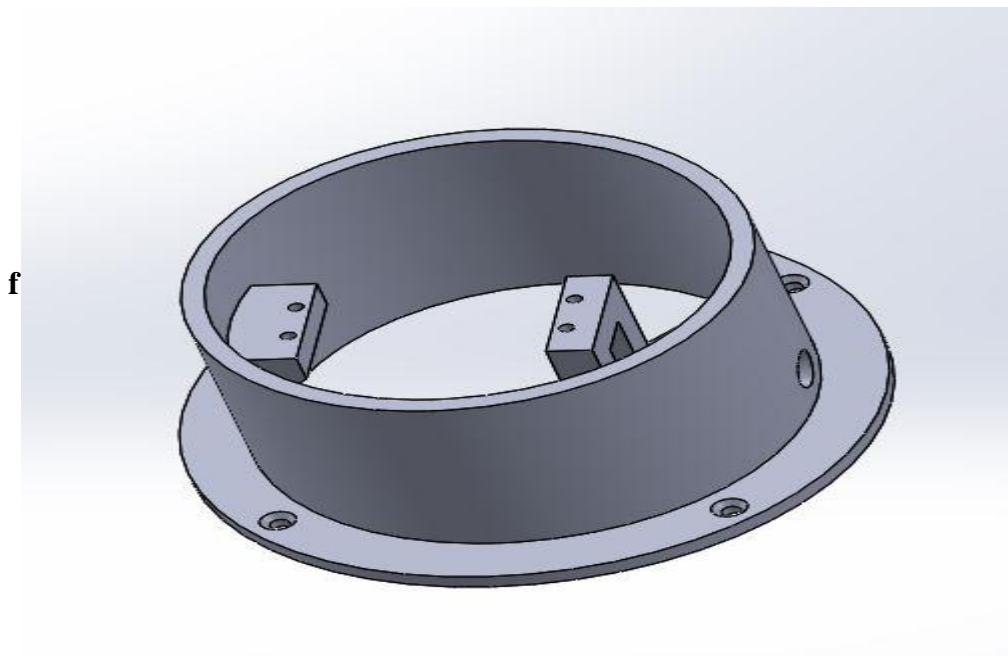


Figure 3.7 : la base

5.2 La premier bras

Nous représentons notre dimensions du le premier bras comme suite

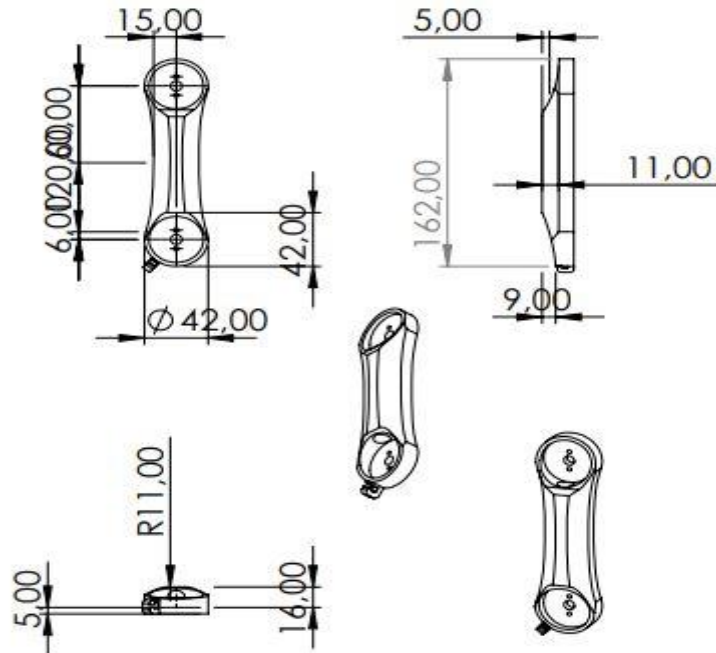


Figure 3.8 : les démontions de 1°er bras

Le premier bras représenté en 3d :



Figure 3.9 : le 1°er bras

5.3 La deuxième bras :

La figure ce dessus représenté les dimensions du le deuxième bras :

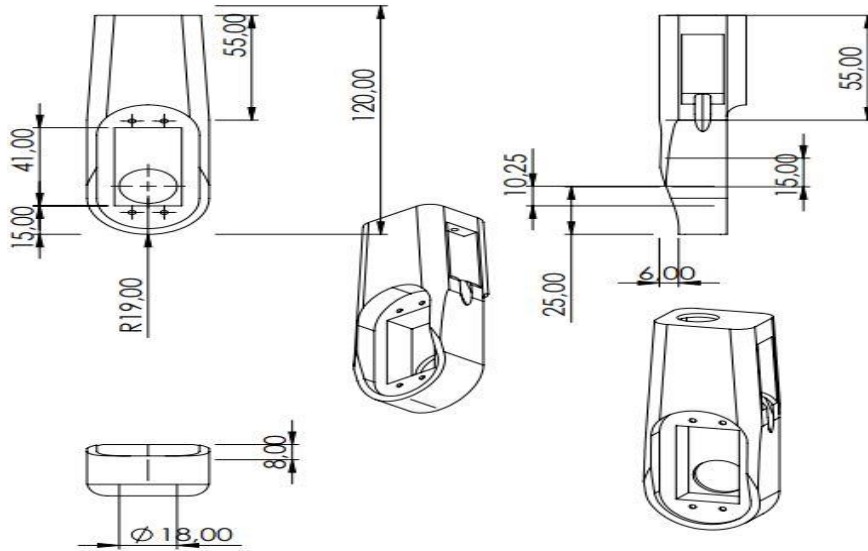


Figure 3.10 : les démontions de 2°eme bras

La conception en 3D comme suite :

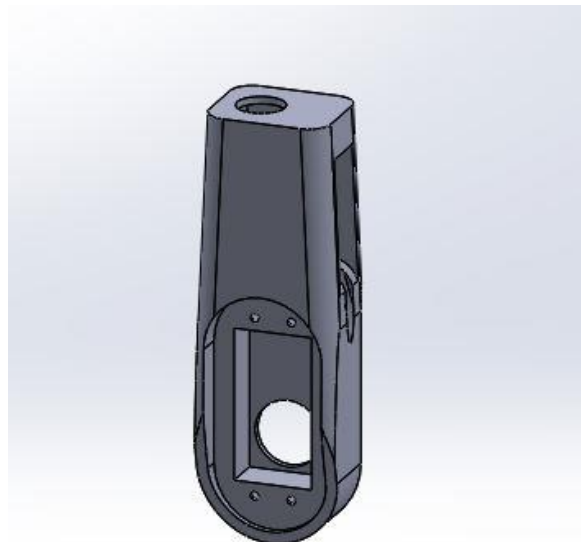


Figure 3.11 : le 2°eme bras

5.4 La troisième bras :

La figure suivant représenté les dimensions de troisième bras :

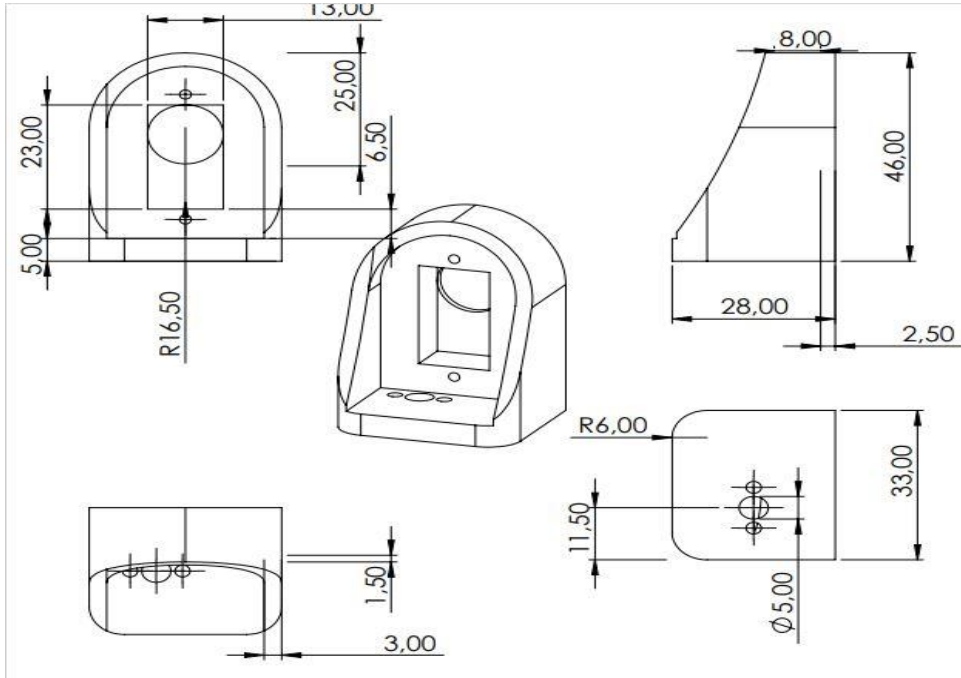


Figure 3.13: le 3^{ème} bras

Le model en 3D :

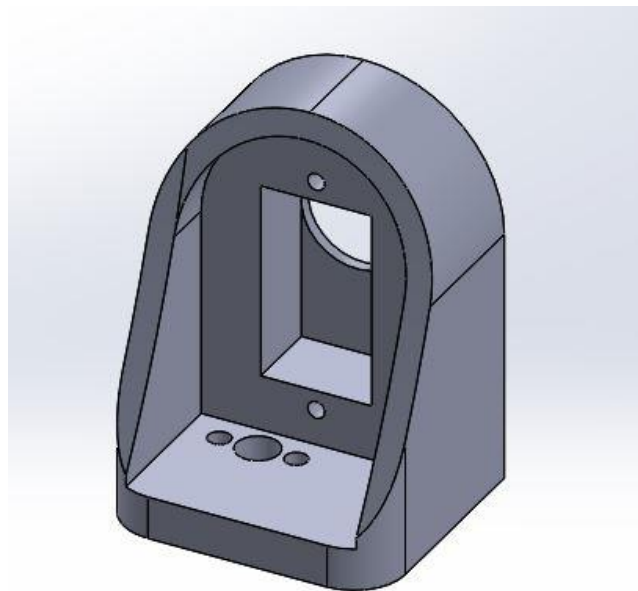


Figure 3.13 : le 3^{ème} bras

5.5 L'outil final :

La figure suivant représenté l'outil finale (pince) :

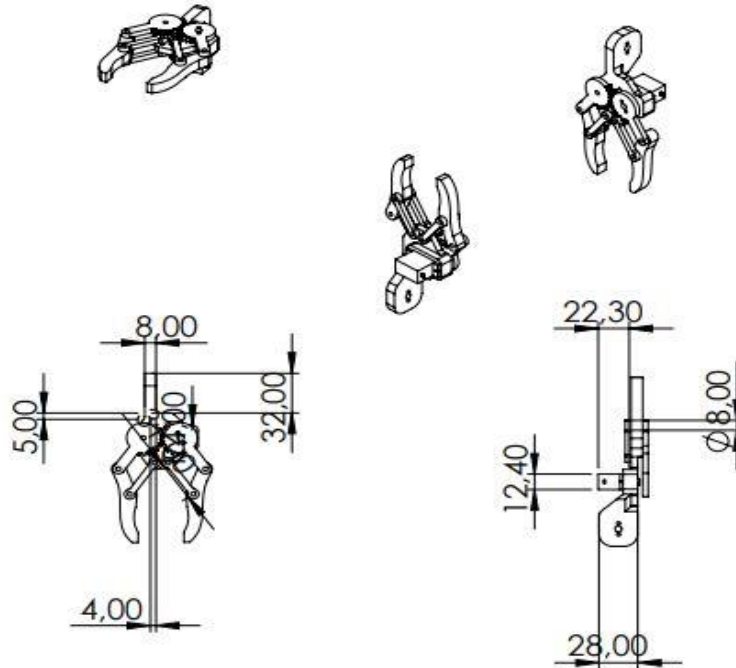


Figure 3.14 : les démontions de L'outil final

Le model du pince en 3D :

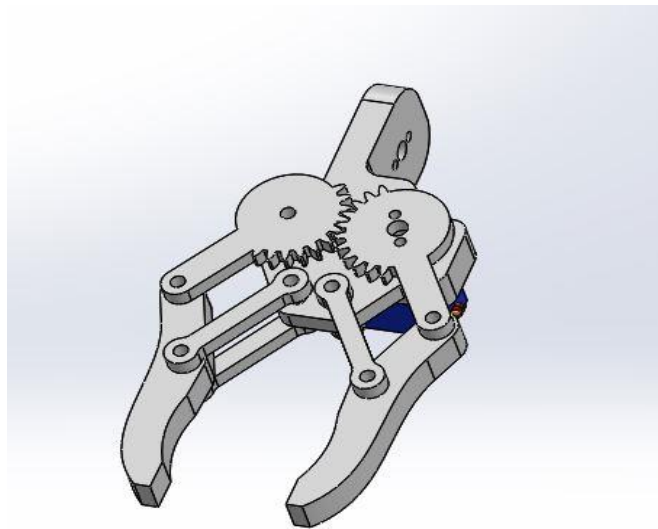


Figure 3.15 : L'outil final (pince)

6. schéma de circuit :

la figure suivant représenté le câblage de notre robot avec l'Arduino :

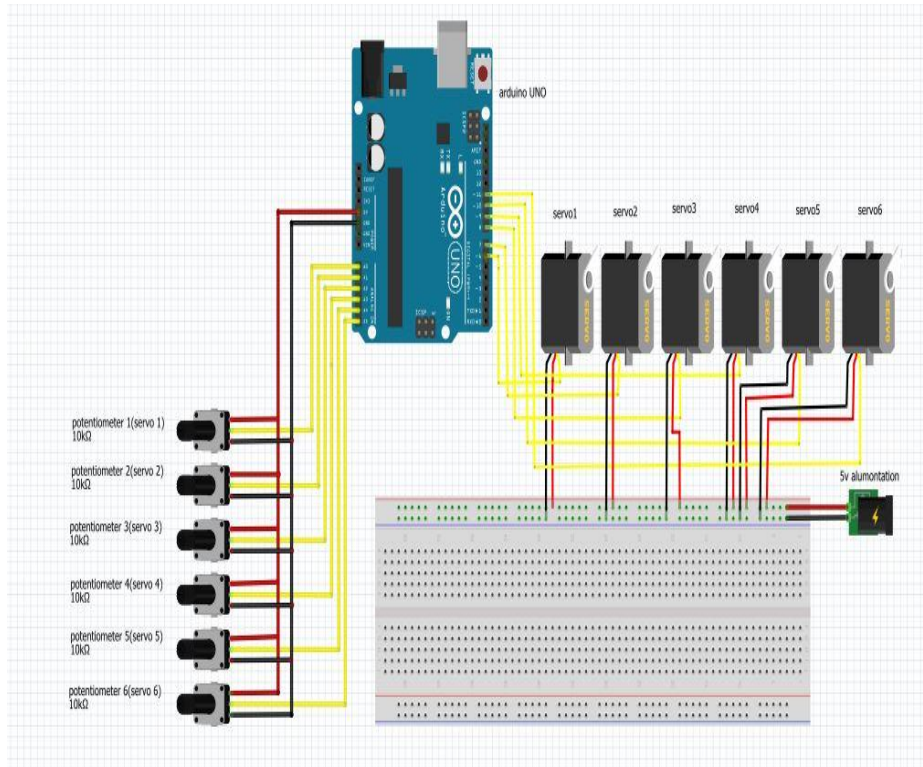


Figure 3.16 : schéma de circuit

7. Réalisation :

En a utiliser l'imprimant 3D 'CR-10 ' pour réaléser notre prototype

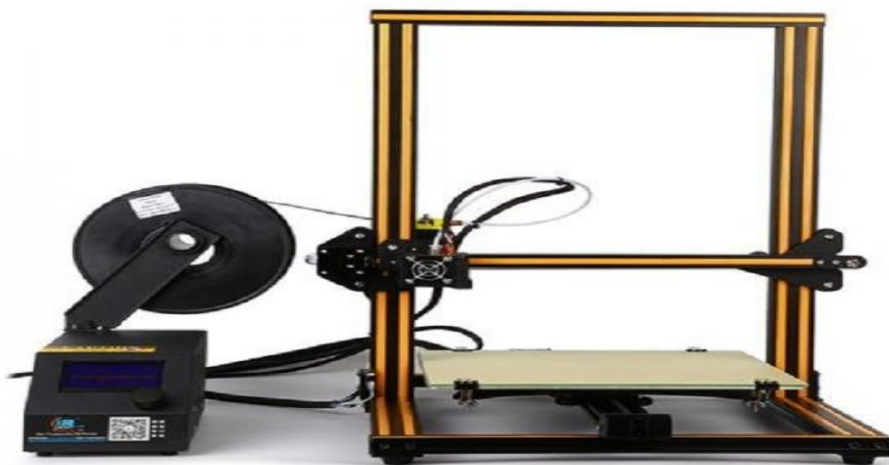


Figure 3.17 : l'imprimant 3D 'CR-10'

Notre prototype :

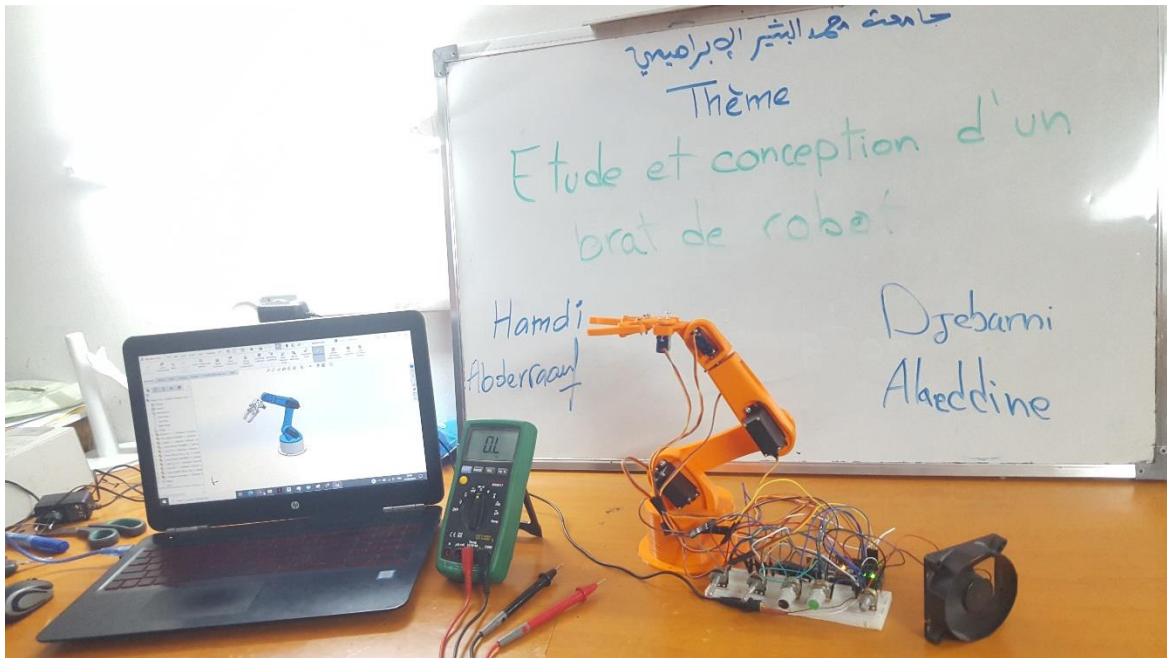


Figure 3.18 : prototype d'un robot

8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons abordé les différents aspects (hardware et software) relatifs à la réalisation de notre projet. Nous avons étudié également les différents composants de notre bras ainsi que la commande du bras manipulateur. en utilisant ici la commande par un ARDUINO UNO et commander les articulation par des potentiomètres.

Conclusion

Générale

Tout comme dans l'industrie manufacturière, la plupart des entreprises qui ont atteint le succès ont mis à niveau leur machine en quelque chose d'automatisé. Les productions ont augmenté depuis qu'ils ont amélioré les machines qu'ils utilisent dans la production de leurs produits. Si vous utilisez 30 ans machine et il ne fournit pas le certain nombre de produits requis, vous perdrez certainement un beaucoup sur votre revenu, cela est vrai en particulier sur l'embouteillage et le département d'emballage. Si vos travailleurs et les machines sont trop vieux pour gérer de grandes commandes que vous pourriez torturer votre équipement et coûtent beaucoup les dommages qu'il subira si vous le forcez à travailler continuellement.

Un simple bras robotisé a montré comment un système automatisé peut faciliter vie. De l'industrie à votre domotique peut vous aider à construire un meilleur système. La technologie a toujours été un cadeau pour nos vies. C'est juste que nous l'utilisons bien. Si nous pouvons faire les choses plus vite et mieux, alors il doit être un don de Dieu.

Référence

Bibliographie

- [1] Généralités sur les robots manipulateurs - chelly nizar
- [2] Généralités sur la robotique- introduction aux structures rigides et flexibles universite biskra
- [3] Robotique industrielle – Wikipédia
- [4] Robotique industrielle - fr.LinkFang.org
https://fr.linkfang.org/wiki/Robotique_industrielle
- [5] https://bu.univ-ouargla.dz/master/pdf/master_Chaal.pdf
- [6] <https://home.mis.u-picardie.fr/~fabio/Eng/documenti/Teaching/INRO17-18/InitRob1.pdf>
- [7] <http://smartrobotique.blogspot.com/2017/11/robot-suiveur-de-courbe.html>
- [8] <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/matiere-modelisation-11321/>
- [9] Thèse de doctorat Pour obtenir le grade de Docteur de l'Université de VALENCIENNES ET DU HAINAUT-CAMBRÉSIS Spécialité : Automatique
- [10] Cours robotique. 1. ROBOTIQUE Jean-Louis Boimond Université Angers
- [11] Cours modelisation des robots | Hattab Abdellilah
- [12] MÉMOIRE DE MAGISTER Présenté au Laboratoire d'Automatique et Productique
- [13] <https://www.kuka.com/en-de/company/press/news/2020/05/diy-robot>
- [14] <https://www.tomarzaesnafsanatkarlarodasi.xyz/products.aspx?cid=34&cname=unimate+the+first+robot>
- [15] https://www.researchgate.net/figure/The-PUMA-robot-from-16_fig5_329590080
- [16] <https://alexlelion3b.wordpress.com/2014/10/13/frise-sur-lhistoire-des-robots/>
- [17] <https://www.directindustry.fr/prod/abb-robotics/product-30265-2025891.html>
- [18] cour Commande de robots de manipulation f.zaoui
- [19] Robotique_cours (ensta-bretagne.fr)
- [20] Introduction à la robotique - PDF Free Download (docplayer.fr)
- [21] Eléments de Robotique Université Blaise Pascal T. Château 2012/2013
- [22] <https://www.zonetronek.ch/la-carte-arduino-uno>
- [23] <https://www.3dnatives.com/lab-test-imprimante-3d-cr-10-creality-10012018/R-10-3Dnatives>
- [24] B. SICILIANO et O. KHATIB « handbook of robotics » Springer, 2008
- [25] MURRAY R., LI Z., SASTRY S «A Mathematical Introduction to Robotic manipulation», Boca Raton, FL: CRC press. (1994).

Référence

Bibliographie

- [26] DANIEL SIDOBRE « Manipulation robotisée et interaction » Habilitation à diriger les recherches, présentée devant l'université Paul Sabatier de Toulouse, 2009
- [27] ABB , ABB lance une nouvelle génération de cobots, Zurich, Suisse | 2021-03-09
- [28] ABDELKADER OURGHI & ALI ABERKANE « Modélisation et commande par pc du robot AID » spécialité Génie Electrique, école militaire polytechnique 1998
- [29] GIORDANO MAX & LOTTIN JACQUES « cours de robotique: description et fonctionnement des robots industriels»: Edition ARMAND COLIN (1990).
- [30] PIERRE DUYSINX « éléments de robotique aspects mécaniques »
Département PROMETHE, (Productique, Mécanique et Thermodynamique
- [31] W. Khalil « Commande des robots manipulateurs», Hermes Science Publications, 2002.