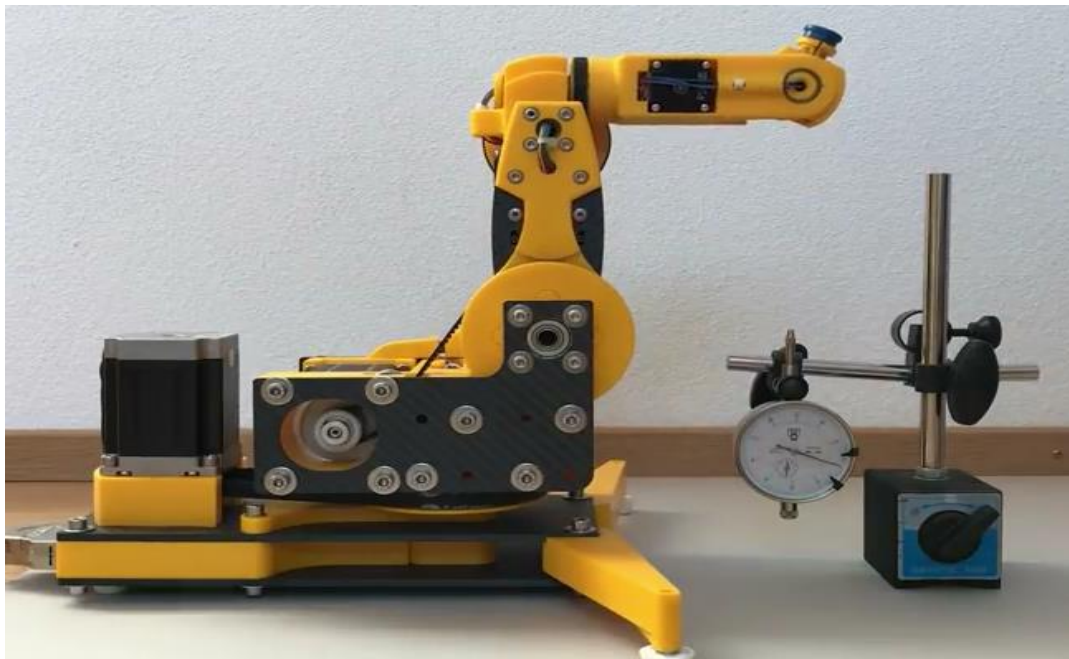


Filière ingénieur : Productique & Mécatronique.

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur a six degrés de libertés



Réalisé par :

Qaddi Zakaria.

Samiri Salah-Eddine.

Encadré par :

Khaouch Zakaria.

Ouaomar Hanaa.

Sommaire

I.	Introduction.....	6
II.	Généralités sur les robots manipulateurs.....	7
A.	Apparition des robots manipulateurs :	7
B.	Définition des robots manipulateurs :	8
C.	Classification des robots :	9
D.	Structure générale d'un robot manipulateur :	9
1.	Système mécanique articulé :	9
2.	Actionneurs ou organes de motorisation :	9
3.	Effecteurs ou organes de préhension :	10
4.	Capteurs ou organes de perception :	10
5.	Système de traitement :	11
E.	Applications des robots manipulateurs :	11
1.	Robots industriels de soudage :	11
2.	Robots manipulateurs de service aux humains :	12
3.	Robots manipulateurs de service aux équipements :	12
F.	Intérêts des robots manipulateurs flexibles :	13
1.	Définition des robots manipulateurs flexibles :	13
2.	Caractéristiques des robots manipulateurs flexibles :	14
3.	Champs d'application :	14
G.	Conclusion :	16
III.	Analyse fonctionnelle et Etude qualité du projet.	17
A.	L'analyse fonctionnelle :	18
B.	Analyse fonctionnelle externe :	19
1.	Verbalisation des besoins :	19
2.	Diagramme bête à cornes :	19
3.	L'actigramme SADT (structured analyse design technics) :	20
4.	Diagramme pieuvre :	20
5.	Synthèse de l'analyse fonctionnelle externe :	21
C.	Etude qualité :	22
1.	La maison qualité :	22
2.	Les étapes pour construire la maison qualité :	22
3.	Synthèse de la maison qualité :	24
D.	Analyse fonctionnelle interne :	24
1.	Diagramme FAST (Function Analysis System Technique) :	25
2.	Synthèse de l'analyse fonctionnelle interne :	26

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

E.	Cahier des Charges :	26
IV.	Chapitre : Etude conceptionnelle du projet.	27
A.	Architecture du robot :	28
1.	Architecture série	28
2.	Architecture parallèle	28
B.	Schéma technique :	29
C.	Chaine cinématique :	29
D.	Transmission entre articulation :	30
E.	Le dessin de bras manipulateurs (Logiciel Catia V5)	30
F.	Conclusion :	32
V.	Modélisation du bras manipulateur.	33
A.	Modélisation cinématique directe :	34
1.	Méthode de Dénavit-Hartenberg :	35
2.	Simulation :	37
3.	MATLAB (Peter Corne robotics Toolbox):	39
B.	Modélisation cinématique inverse :	41
1.	Simulation:	44
C.	Conclusion :	45
VI.	Chapitre : Commande du Bras manipulateur.	46
A.	Microcontrôleur :	47
B.	Actionneur :	48
1.	Moteur pas à pas :	48
C.	Drivers :	50
1.	A4988 :	50
2.	TB6600 :	51
D.	Schéma électronique :	52
E.	App Inventor :	53
F.	Le module HC-05 :	54
G.	Programme:	54
1.	Le code :	55
H.	Conclusion :	55
VII.	Réalisation du projet.	56
A.	Robot Uarm :	57
B.	Découpage des pièces :	59
C.	La commande :	60
		61

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

D.	Conclusion :	61
VIII.	Conclusion :	62

Lise des figures :

Figure 1:Constituons du bras manipulateur.....	11
Figure 2:Robot industriel de soudage.....	12
Figure 3:Manipulateur médical (MKM).....	12
Figure 4:Robot MightyHand.	13
Figure 5:bras manipulateur flexible ERA.....	14
Figure 6:Robot Aesop.	15
Figure 7:Diagramme bête à cornes.....	19
Figure 8:Diagramme SADT.	20
Figure 9:Diagramme pieuvre.....	21
Figure 10:La maison qualité.....	22
Figure 11:Etapes de construction de la maison qualité.	22
Figure 12:La maison qualité.	24
Figure 13:Diagramme FAST.....	26
Figure 14:Robot d'une architecture série.	28
Figure 15:Robot d'une architecture parallèle.	28
Figure 16:Schéma du Robot.	29
Figure 17:chaîne cinématique.....	29
Figure 18:Engrenage.....	30
Figure 19:Axes 2 et 3.	30
Figure 20:Axe1.....	30
Figure 21:La base.....	31
Figure 22:Support.....	31
Figure 23:Laison par engrenage.	31
Figure 24:Coté.	31
Figure 25:Moteur pas à pas.....	31
Figure 26:Dessin d'ensemble.	32
Figure 27:Pose d'un squelette.....	35
Figure 28:Mise en place des repères.	37
Figure 29:Calcul de la matrice de passage sur Matlab.	38
Figure 30:schéma 3d du Robot.....	41
Figure 31:code pour faire une animation.....	41
Figure 32:Déplacement du pied d'un squelette.....	42
Figure 33:Code Matlab.....	44
Figure 34:Mouvement du bras au coordonnées demandées.	45
Figure 35:les entrées et les sorties de l'Arduino méga.	47
Figure 36:Arduino IDE.	48
Figure 37:Moteur pas à pas.	49
Figure 38:Moteur Bipolaire.....	49
Figure 39:Moteur Unipolaire.....	49
Figure 40:A4988.	50
Figure 41:schéma de montage de A4988.	51
Figure 42:TB6600.	51
Figure 43:schéma de montage de TB6600.	52
Figure 44:Schéma de montage.	53
Figure 45:L'application de contrôle.....	54
Figure 46:HC-05 module Bluetooth.....	54

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

Figure 47: Bras robotique à base des moteurs pas à pas.....	57
Figure 48: Uarm robot.....	57
Figure 49: Les différentes pièces.....	58
Figure 50: Le dessin d'ensemble de Uarm.	58
Figure 51: Le drafting des pièces.....	59
Figure 52: La plateforme Aspert.....	59
Figure 53: Importation de G-code et Usinage.....	60
Figure 54: Prototype réalisé.	60
Figure 55: Les deux types de commandes utilisés.	61

I. Introduction

L'être humain depuis son existence cherche à faciliter sa vie et à concevoir des objets et des méthodes qui l'aident à exploiter l'environnement extérieur, la terre, la mer et l'espace. De nos jours, parmi ces objets on trouve les robots et plus précisément les robots manipulateurs. Ces derniers ont prouvé leur importance puisqu'ils substituent efficacement l'homme dans la réalisation d'une tâche tel que la soudure dans les usines automobiles ou la manipulation de produit nucléaires.

La mise en place de ces robots manipulateurs est d'une grande importance puisqu'il faut tenir compte du coût à verser, de la rapidité à l'exécution et de la minimisation d'énergie.

Parmi les solutions trouvées, on trouve l'emploi des manipulateurs flexibles qui grâce à leurs structures légères ont révolutionné le monde des robots manipulateurs.

Dans ce rapport, on s'intéresse à ce genre de robots manipulateurs et à la difficulté rencontrée pour sa commande.

Ce rapport est scindé en trois chapitres. Le premier est une introduction générale aux manipulateurs, le second est sur une analyse fonctionnelle et étude qualité le troisième décrit la conception et la réalisation du bras manipulateur flexible, le quatrième va être sur une modélisation de notre projet, le cinquième chapitre traite la commande et le dernier chapitre va aborder la réalisation.

II. Généralités sur les robots manipulateurs.

Ce chapitre traite d'une façon générale les robots manipulateurs ; et met l'accent sur les manipulateurs flexibles et leur intérêt dans différents domaines spatial, médical, industriel ...

A. Apparition des robots manipulateurs :

La genèse des robots manipulateurs est très récente. En effet, grâce au développement des servomécanismes dans la seconde guerre mondiale que les manipulateurs, Maître/Esclave, des substances radioactives ont vu le jour en 1950. En 1954 on a assisté au premier robot manipulateur programmable, deux ans après.

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

Devol introduit un brevet délivré en 1961 intitulé "Programmed Articulated Transfer Device" et en cette année, les travaux de Devol et d'Engelberger conduisent au premier robot industriel sur une chaîne de montage de General Motors construit par la société Unimation Inc. Le point clé du système est d'utiliser un ordinateur en conjonction avec un manipulateur. Grâce à ces efforts, Unimate number 001 est entré en service dans une usine pour 100.000 heures, et Unimation Inc. délivre 66 machines entre 1966 et 1971. Dès 1971, de grands laboratoires de recherche commencent à se développer tels que la JIRA (Association Japonaise de Robotique Industrielle) au Japon, la RIA aux USA en 1975. En 1998, on comptait 700.000 robots industriels dans le monde.

De nos jours, les robots manipulateurs constituent les composants les plus importants des processus de fabrication et de contrôle. Ils ont comme impact ; l'amélioration de la productivité, l'accroissement de la qualité des produits fabriqués, ainsi que la réduction du coût du travail.

B. Définition des robots manipulateurs :

Selon la RIA (Robot Institute of America) c'est un manipulateur qui doit être reprogrammable multifonctionnel conçu pour déplacer des matériaux, des pièces, des outils ou tout autre dispositif spécialisé au moyen d'une série de mouvements programmés et d'accomplir une variété d'autres tâches. L'ISO (International Standard Organization) l'a défini comme étant une machine mue par un mécanisme incluant plusieurs degrés de libertés, ayant souvent l'apparence d'un ou plusieurs bras se terminant par un poignet capable de tenir des outils, des pièces ou un dispositif d'inspection.

Pour le sens commun, un 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 remplacer l'homme pour la réalisation de certaines tâches matérielles.

D'une façon générale, un robot manipulateur quelconque doit obéir aux 3 règles suivantes de la robotique :

- 1.** Un robot ne peut porter atteinte à un être humain, ni en restant inactif laisser cet être humain exposé au danger.
- 2.** Un robot doit obéir aux ordres donnés par les êtres humains, sauf si de tels ordres sont en contradiction avec la Première Loi.
- 3.** Un robot doit protéger sa propre existence dans la mesure où cette protection n'est pas en contradiction avec la Première ou la Deuxième Loi de la robotique.

C. Classification des robots :

Au cours des années, le développement des robots a permis de distinguer entre plusieurs classes. Pour la JIRA, il existe six classes de robots. D'abord les télémanipulateurs qui sont des bras commandés directement par un opérateur humain.

Ensuite les manipulateurs avec séquence fixe qui admettent un contrôle automatique, mais difficile à reprogrammer. Après c'est les Manipulateurs avec séquence variables qui ont un contrôle automatique et qui sont reprogrammés mécaniquement, c'est l'exemple de « Pick and Place Manipulators » ou robot « tout ou rien ». Puis on trouve les Robots Play Back qui exécutent des séquences sous la supervision d'êtres humains et les mémorise pour les rejouer (Play Back). Ensuite, on trouve les robots à un contrôleur numérique où les positions des séquences sont contrôlées par des données numériques. Enfin, on cite les robots intelligents qui peuvent réagir dans leur environnement et à des modifications arrivant durant l'exécution.

D. Structure générale d'un robot manipulateur :

Un robot manipulateur est constitué d'un ensemble de composants, ayant chacun un rôle bien spécifique. Ces composants sont au nombre de cinq que nous détaillons ci-après.

1. Système mécanique articulé :

Un système mécanique articulé (SMA) est un ensemble de solides reliés entre eux par des liaisons (pivot, glissière, rotule, sphérique...) animées avec des joints mécaniques. Dans le SMA, certaines liaisons sont motorisées. On parlera de liaisons actives, c'est le cas des liaisons pivots. D'autres liaisons sont non motorisées ; elles sont appelées passives telles que (les liaisons rotules, etc....).

2. Actionneurs ou organes de motorisation :

Le terme actionneur désigne tout dispositif générateur d'effort à vitesse variable qui permet de modifier la configuration d'un robot manipulateur. Si on se limite aux actionneurs pratiquement utilisables, il est possible de les classer suivant :

a) Le type du mouvement généré :

Dans l'état actuel de la technologie, on trouve les actionneurs linéaires qui développent une force et génèrent un mouvement de translation parallèlement à cette force, et les actionneurs rotatifs qui développent un couple et génèrent un mouvement de rotation autour de l'axe du couple.

b) La nature de la source d'énergie :

On dispose d'actionneurs pneumatiques qui utilisent l'air comprimé comme source d'énergie, d'actionneurs hydrauliques sous pression, et d'actionneurs électriques qui utilisent l'énergie électrique.

La puissance massique et le pouvoir d'accélération sont des critères importants qui permettent une comparaison objective de ces différents types d'actionneurs.

3. Effecteurs ou organes de préhension :

L'effecteur est l'organe terminal du robot, il est fixé au poignet de celui-ci. Ce poignet se termine généralement par une plaque de base, percée de trous filetés, cela permet la fixation de différents effecteurs à un robot universel et donc l'adaptation de celui-ci à des tâches spécifiques. En fait, la plupart des machines de production exigent des outils et des fixations spécialement conçus pour une application particulière ; à cet égard, le robot n'est donc pas une exception. Il faut d'ailleurs noter que beaucoup d'outils conventionnels utilisés à la main ou sur certaines machines (pistolets de peinture ou de collage visseuses, perceuses pinces,) peuvent devenir des effecteurs de robotique, au prix d'un travail d'adaptation permettant de :

- Compenser certaines imprécisions ou dispersions dans les caractéristiques des objets extérieurs ou du robot lui-même.
- Présenter une certaine flexibilité pour se prêter à des tâches diversifiées.

4. Capteurs ou organes de perception :

Un capteur est un organe de prélèvement d'information qui élabore à partir d'une grandeur physique, une autre grandeur physique de nature différente (très souvent électrique). Cette grandeur représentative de la grandeur prélevée est utilisable à des fins de mesure ou de commande. On distingue entre deux types de capteurs : Les premiers se sont les capteurs proprioceptifs qui fournissent l'information sur la configuration du manipulateur tel que la position, la vitesse, l'accélération... pour assurer au robot manipulateur le contrôle de sa structure mécanique articulée ; ils interviennent dans les boucles de régulation afin de permettre à l'unité de commande de prendre la décision adéquate.

Les deuxièmes se sont les capteurs extéroceptifs qui interviennent lorsque l'espace de travail est mal connu, afin de donner les informations sur l'environnement extérieur du manipulateur comme la température, l'image ... Ils permettent de modifier le comportement du manipulateur pour s'adapter aux contraintes imposées.

5. Système de traitement :

C'est lui qui gère l'ensemble des tâches. Il admet trois rôles essentiels : le rôle de l'information, qui consiste à collecter l'information venant des capteurs. Ensuite, le rôle de la décision : en partant d'une tâche définie et en tenant compte des données du système et de l'environnement, il établit les actions adéquates. Finalement, le rôle de la communication.



Figure 1: Constituons du bras manipulateur.

E. Applications des robots manipulateurs :

Dans les entreprises manufacturières, des tâches pénibles, répétitives réalisées par des opérateurs humains peuvent être avantageusement confiées à des systèmes mécaniques articulés (les manipulateurs) dont la dextérité est sans égaler celle de l'homme, suffisamment proches de celui-ci pour exécuter des mouvements complexes à l'image de ceux d'un bras humain. L'emploi de ces dispositifs s'avère d'ailleurs nécessaire pour des tâches d'intervention inaccessibles à l'homme en milieu hostile ou délicat, par exemple sous-marin, nucléaire, médical ou spatial. Ils sont alors dotés d'un dispositif de locomotion et peuvent être autonomes ou contrôlés à distance par un opérateur humain.

1. Robots industriels de soudage :

Une des applications les plus courantes de la robotique industrielle est le soudage. Le soudage robotisé des châssis de voiture améliore la sécurité car un robot ne manque jamais son point de soudure et les réalise toujours de la même manière tout au long de la journée. A peu près 25 % des robots industriels sont impliqués dans différentes opérations de soudure.

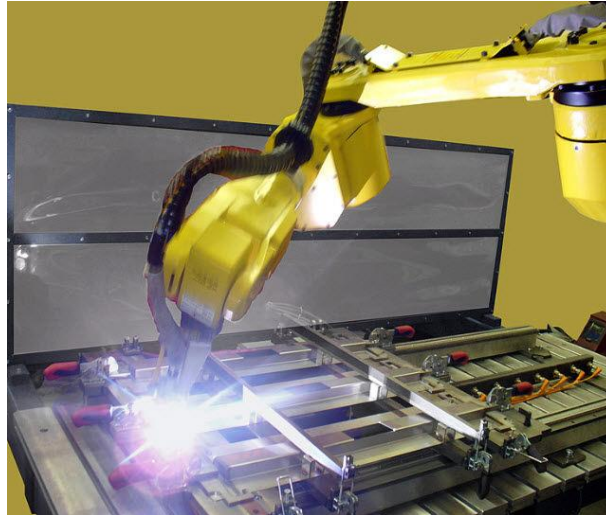


Figure 2: Robot industriel de soudage.

2. Robots manipulateurs de service aux humains :

Le manipulateur médical (MKM) produit par CARL ZEISS en Allemagne, consiste en un bras manipulateur à 6 ddl servo-contrôlés pour un contre-balancement du poids, un ordinateur de contrôle et une station de travail graphique pour la visualisation et la programmation. Dans la version montrée, le système supporte un microscope chirurgical. Les mouvements suivent des chemins préprogrammés ou sont générés manuellement par un système d'entrée ou une commande vocale.



Figure 3: Manipulateur médical (MKM).

3. Robots manipulateurs de service aux équipements :

Les robots peuvent également s'avérer utiles dans le domaine de l'aviation. En effet, "Skywash" (Putzmeister Werke, Germany) peut diminuer par un facteur de 2 le temps de lavage d'un avion. Skywash intègre toutes les composantes d'un système robotique avancé : préprogrammation des mouvements à partir d'un modèle CAO de l'avion, localisation automatique des objets par

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de liberté.

des capteurs 3-D, un asservissement de mouvement par des capteurs tactiles, une architecture fortement redondante (11 ddl) installée sur une base mobile et une sécurité de fonctionnement maximale. Le manipulateur agit sous la supervision d'un être humain.



Figure 4:Robot Skywash.

"MightyHand" (Kajima, Japan) est destiné à porter des éléments lourds dans les travaux de construction : murs en béton, etc. Le robot opère sous la supervision d'un homme



Figure 4:Robot MightyHand.

F. Intérêts des robots manipulateurs flexibles :

1. Définition des robots manipulateurs flexibles :

Ceux sont des robots qui admettent une flexibilité au niveau de leur structure. Nous pouvons alors traiter la flexibilité de la structure en considérant soit :

- Des segments flexibles

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

- Des liaisons sont flexibles, dans ce cas, si le jeu d'une liaison est nul, cela empêche que la partie interne de cette liaison puisse se déformer, les parties externes des liaisons seront considérées non flexibles (forte rigidité)
- Les deux parties segments et parties internes des liaisons sont flexibles et les jeux ne sont pas nuls

2. Caractéristiques des robots manipulateurs flexibles :

Les caractéristiques les plus remarquables des manipulateurs flexibles en comparaison avec les manipulateurs classiques " rigides " sont essentiellement la légèreté, la rapidité et la consommation minimale d'énergie. En effet, ces manipulateurs utilisent des matériaux très légers tel que l'aluminium ; qui avec une densité environ trois fois plus faible que celle de l'acier ou du cuivre ; il est malléable, ductile et facilement usiné et moulé. De plus, il possède une excellente résistance à la corrosion et une grande longévité.

3. Champs d'application :

a) Secteur spatial

Le domaine spatial a constitué le premier secteur à avoir employé ce genre de manipulateur car ce dernier doit être le plus léger possible. D'une part, pour réduire la consommation du carburant du manipulateur lors de son lancement vers l'espace pour une mission bien déterminée, d'autre part parce que l'emploi des bras très longs est essentiel pour la maintenance des stations spatiales de grandes dimensions (l'entretien des batteries solaires, la manutention d'éléments (installation, remplacement), le contrôle visuel des parois extérieures de la station...).



Figure 5: bras manipulateur flexible ERA.

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

Le bras ERA, d'une masse de 630 kg, se déploie sur une longueur de 11,3 mètres et est capable de déplacer jusqu'à 8 tonnes à une vitesse maximale de 10 cm/seconde. Mais ce qui fait son originalité est son caractère ambidextre. Muni à chaque extrémité d'une "main" équipée des mêmes senseurs et connecteurs électriques, il peut se positionner indifféremment d'un côté ou de l'autre, dénommés "main" et "épaule".

b) Secteur médical :

Le domaine médical a profité des technologies spatiales pour construire de nouveaux robots qui répondent aux contraintes spécifiques de l'application. Parmi celles-ci, la sécurité est certainement la contrainte la plus importante pour un robot médical. Ceci conduit à des robots qui sont souvent plus léger que leurs équivalents du domaine industriel. A titre d'exemple, le poids du robot Aesop, le porte endoscope de Computer-Motion, est approximativement de 20 kilogrammes. La conséquence est une structure mécanique qui a plus de flexibilités que les robots industriels



Figure 6: Robot Aesop.

Comme la seconde guerre mondiale a constitué le premier pas vers les manipulateurs classiques, l'espace a incité les chercheurs à concevoir ces manipulateurs flexibles qui ont par la suite été introduits dans les domaines industriels, médicaux et de service puisqu'ils contribuent nettement à la réduction de consommation d'énergie, la diminution du coût, la rapidité de l'exécution et la sécurité lors d'une éventuelle collision avec un autre objet où le bras se déforme et l'effecteur n'est pas détérioré.

Cependant, l'utilisation des manipulateurs flexibles, a introduit un problème dans la commande de trajectoire de l'extrémité du manipulateur en raison de la flexibilité distribuée le long du bras robot.

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

Par la suite, une commande est fortement recommandée pour atteindre la trajectoire désirée tout en supprimant les vibrations sur l'extrémité du bras.

Bien que des progressions significatives ont été faites pendant les dernières années, beaucoup de problèmes ne sont pas encore résolus, et la recherche de commandes simples, efficaces, et fiables pour le contrôle des manipulateurs flexibles reste toujours un but qu'il faut l'atteindre par les roboticiens afin d'élargir les champs d'applications des robots flexibles, et d'une façon générale par les automaticiens pour la contribution à la supervision, au diagnostic et à la détection de défauts... et surtout de faire face aux problèmes au lieu de les négliger.

G. Conclusion :

Les robots manipulateurs sont très intéressants puisqu'ils ont prouvé qu'ils étaient capables de se substituer à l'être humain dans plusieurs tâches difficiles à réaliser et d'effectuer de bonnes performances. Les manipulateurs flexibles constituent une évolution de ces robots car ils amènent des avantages telle que la rapidité, la légèreté... ; cependant la flexibilité cause des vibrations au niveau de l'effecteur qu'il faudra les éliminer grâce à une commande adéquate.

III. Analyse fonctionnelle et Etude qualité du projet.

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

Dans ce chapitre on va commencer par une étude des besoins clientèles dans tout ce qui concerne les bras manipulateurs en essayant de les satisfaire en utilisant les outils de l'analyse fonctionnelle et on va finir par une étude qualité de notre projet.

A. L'analyse fonctionnelle :

L'analyse fonctionnelle consiste à rechercher et à caractériser les fonctions offertes par un produit placé dans un système pour satisfaire les *besoins* de son utilisateur.

- **Besoin :**

Les *besoins* peuvent être de plusieurs natures :

- objectifs.
- subjectifs.

- **Système, Produit :**

Un système est un ensemble d'éléments formant un tout structuré satisfaisant plusieurs besoins cohérents. C'est un ensemble vaste où l'on trouve souvent tous les types de produits représentés (matériel, processus, service). Cela peut être par exemple une coopérative viticole (viticulteurs, cave, négoce, ...)

Le mot produit est pris au sens large du terme. Il peut s'agir

- d'un objet,
- d'un matériel,
- d'un processus administratif ou technique,
- d'un service,
- d'un logiciel, d'un système
- voire, d'un patient.

- **Fonction :**

Les fonctions nécessaires à la satisfaction des besoins peuvent être :

- Des fonctions de service ou d'estime.
- Des contraintes imposées par un client, un milieu environnant particulier ou par certains règlements.

Il ne faut pas confondre une fonction avec une solution :

- La fonction exprime un résultat à atteindre.
- La solution indique le moyen pour l'atteindre.

B. Analyse fonctionnelle externe :

Lorsque l'analyse fonctionnelle concerne l'usage d'un produit, c'est à dire les fonctions qu'il doit assurer pour satisfaire le besoin du client, le produit peut être considéré comme une boîte noire et seules les fonctions qui « sortent » de la boîte vers l'extérieur sont à prendre en considération. Cette forme d'analyse est intitulée analyse fonctionnelle externe ou expression fonctionnelle du besoin. Elle exprime le point de vue du client utilisateur et met en évidence les fonctions de service ou d'estime.

1. Verbalisation des besoins :

Pour verbaliser le besoin, il faut se poser trois questions (... et y répondre !) :

Questions	Réponses (à détailler)
« A qui le produit rend-il service ? »	Au <u>client</u> (préciser)
« Sur quoi le produit agit-il ? »	Sur la <u>matière d'œuvre</u> (préciser)
« Dans quel but ? » (pour_quoi faire ?)	Pour satisfaire le <u>besoin</u> (préciser)

Traditionnellement, on représente le besoin grâce à un outil graphique : le schéma du besoin (la « Bête à cornes »)

2. Diagramme bête à cornes :

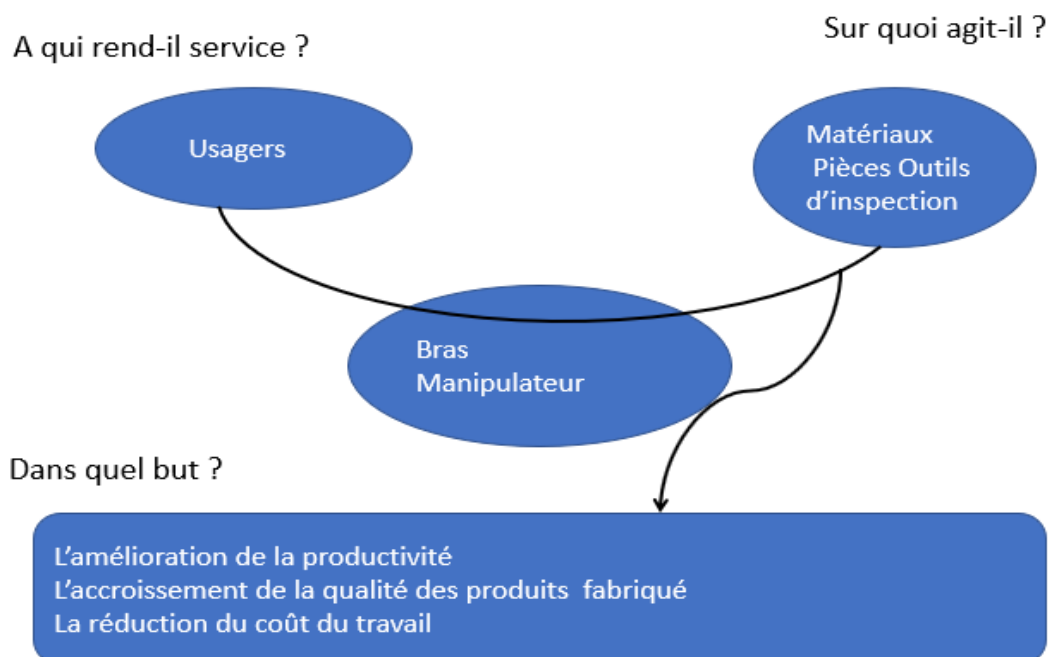


Figure 7: Diagramme bête à cornes.

3. L'actigramme SADT (structured analyse design technics) :

Dans le diagramme SADT on considère notre système comme une boîte noire en définissant les entrées et les sorties de notre système plus les éléments d'énergie(W), d'exploitation(E), de configuration(C), de réglage(R), les nuisances et communication avec l'utilisateur.

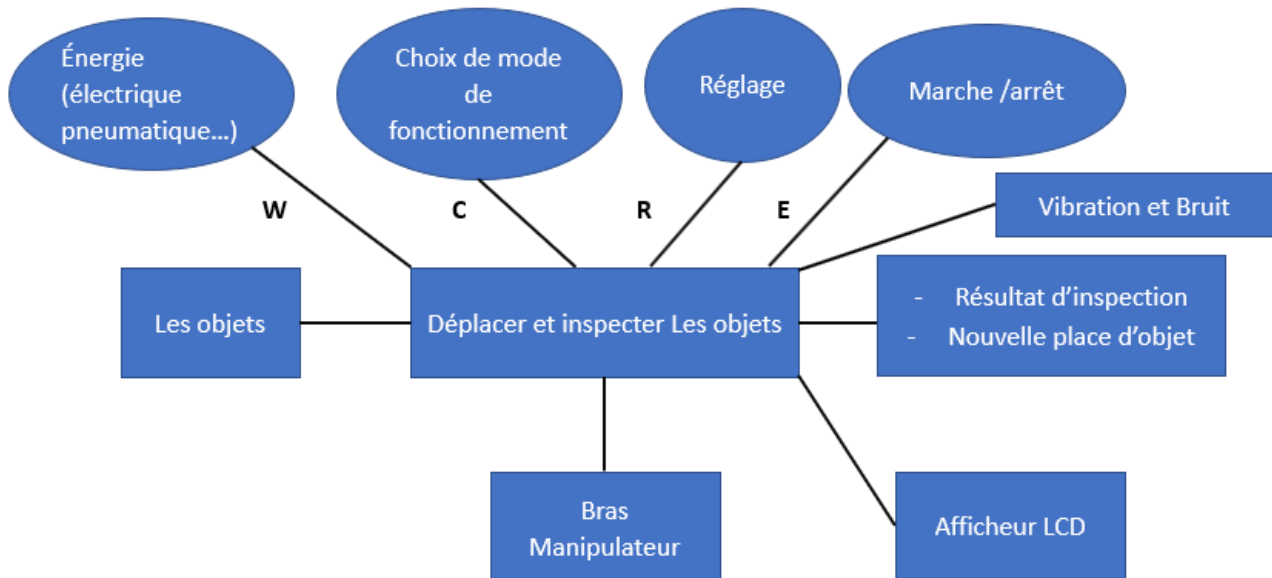


Figure 8:Diagramme SADT.

7

4. Diagramme pieuvre :

On retrouve deux grandes catégories de fonction : les fonctions principales, qui répondent au besoin, elles sont la raison d'être du produit ; les fonctions de contrainte, qui limitent l'imagination du concepteur, elles sont en relation avec le milieu extérieur du produit.

Le milieu extérieur du produit : tous les éléments qui n'appartiennent pas au produit mais qui influencent les fonctions de contrainte.

Diagramme pieuvre : le produit est au centre, tout autour gravitent des milieux extérieurs. Entre chaque élément du milieu extérieur on va retrouver soit une fonction contrainte soit une fonction principale.

Les fonctions principales relient deux ou plusieurs éléments du milieu extérieur en passant par le produit.

Les fonctions de contrainte mettent en relation un élément du milieu extérieur avec le produit. Les fonctions principales et les fonctions de contrainte sont toujours définies par un verbe à

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

l'infinitif. Plus on définit d'éléments de milieu extérieur plus on donne de contraintes à la conception du produit, plus le cahier des charges est complet.

FP1 : Assister l'utilisateur dans la réalisation d'une tâche.

FP2 : Préserver l'environnement du bras (humain ou matériel).

FC1 : Être programmable.

FC2 : Interagir avec l'utilisateur.

FC3 : Doit savoir soutenir une charge.

FC4 : Protéger le câblage apparent.

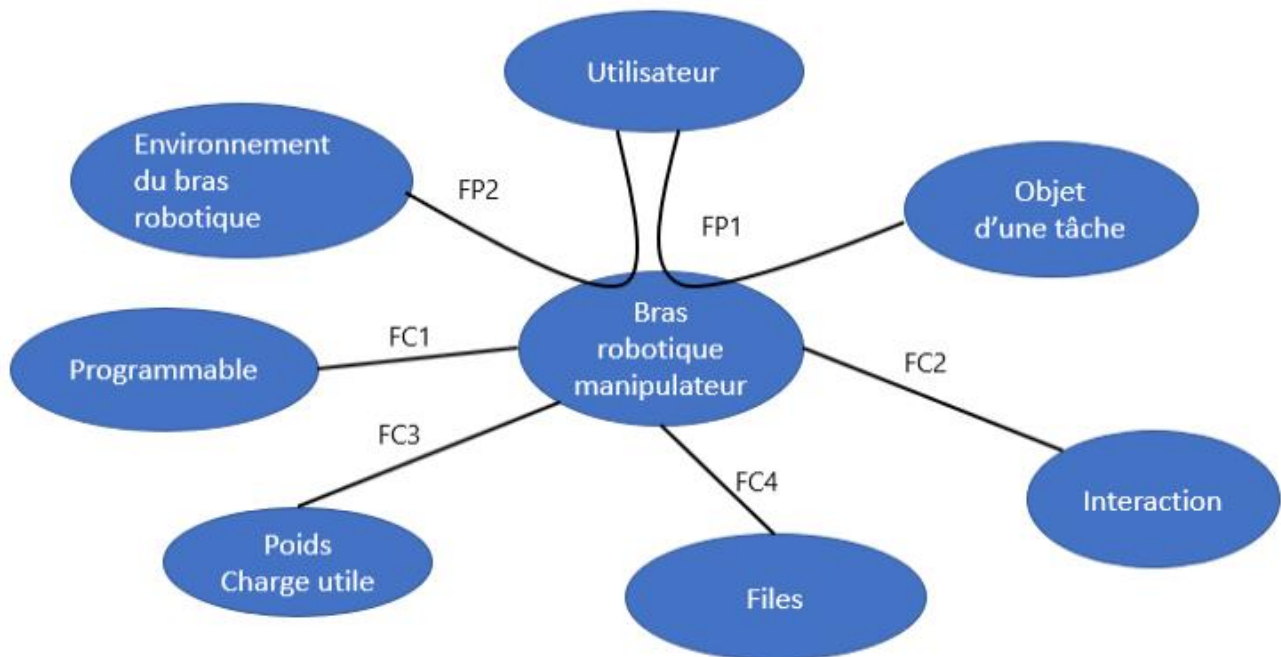


Figure 9:Diagramme pieuvre.

5. Synthèse de l'analyse fonctionnelle externe :

L'analyse fonctionnelle externe considère notre projet comme une boîte noire avec ses trois diagramme le diagramme bête à cornes nous a permis de verbaliser les besoins en répondant aux 3 questions (A qui : Sur quoi. Pourquoi), de même pour l'actigramme SADT ou son entrée est les objets à déplacer ou à inspecter, l'énergie est électrique, pneumatique..., la configuration mode de travail playback ou commande directe, réglage de vitesse et pour l'exploitation le robot contient un bouton pour la marche et l'arrêt dans la sortie du SADT on trouve les résultats de l'inspection, la nouvelle place de l'objet d'entrée sans oublier les nuisances exprimé en terme de vibration et bruit et un afficheur pour informer l'utilisateur des coordonnées de l'effecteur, après savoir les besoins clients et l'entrée et la sortie de notre projet et les éléments d'énergie ,d'exploitation, de réglage et de configuration il faut définir les fonctions principales qui doit

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

remplir notre bras ainsi que les contraintes qu'on doit dépasser pour les réaliser c'est le rôle de la pieuvre ou les 2 fonctions principales pour notre projet c'est faire la commande demandé par l'utilisateur et de connaître son environnement et parmi les contraintes trouvés c'est être programmable avec un poids faible au maximum possible.

C. Etude qualité :

1. La maison qualité :

La Maison de la qualité est une technique qui permet de déterminer les besoins réels des clients et de les traduire en fonctions et requis pour le produit à concevoir.

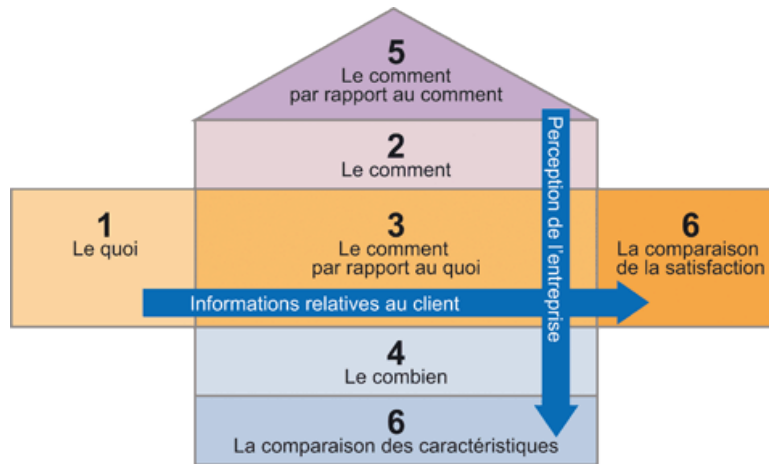


Figure 10: La maison qualité.

2. Les étapes pour construire la maison qualité :

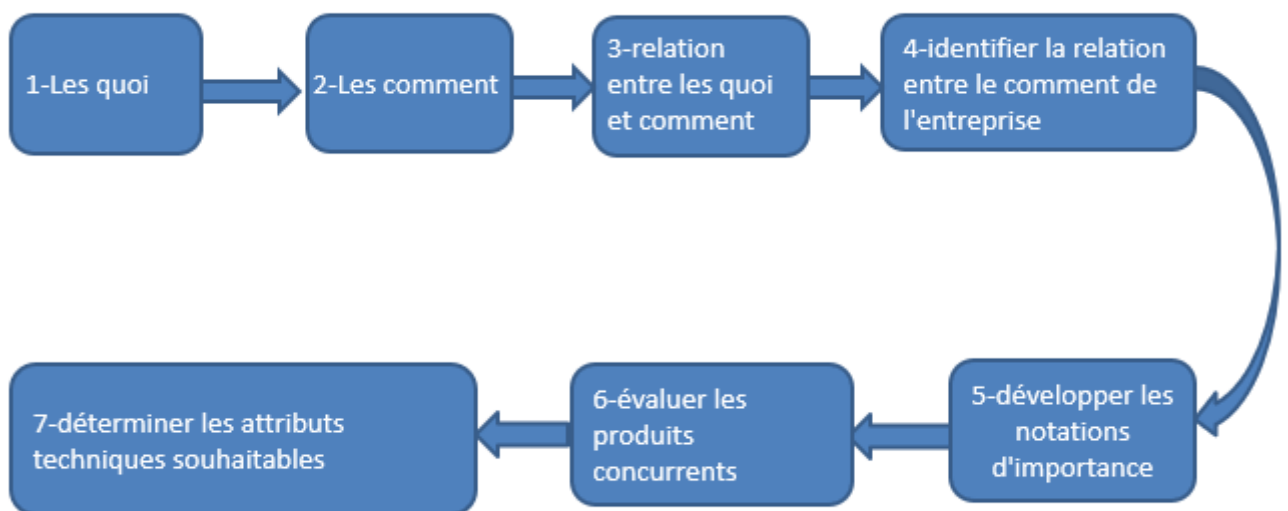


Figure 11: Etapes de construction de la maison qualité.

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

Les quoi ? (Les besoins clientèles) :

- Rapidité.
- Reprogrammable.
- Multitâches.
- Sécurisé.
- Précision.
- Facile a utilisé.
- Prix convenable.
- Poids faible.

Après avoir définir les besoins clientèles on passe aux spécifications internes pour notre produit (qu'est-ce qu'on va faire pour répondre aux besoins).

Les comment (spécifications internes) :

- Utilisation des moteurs pas à pas.
- Plusieurs effecteurs accessibles.
- Bras avec six axes.
- Plateforme électronique pour la communication.
- Guide d'utilisation.

Les combien :

- Utilisations de 6 moteurs.
- Utilisation de l'aluminium et un matériau composite.
- Description détaillée des modes de fonctionnements.

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

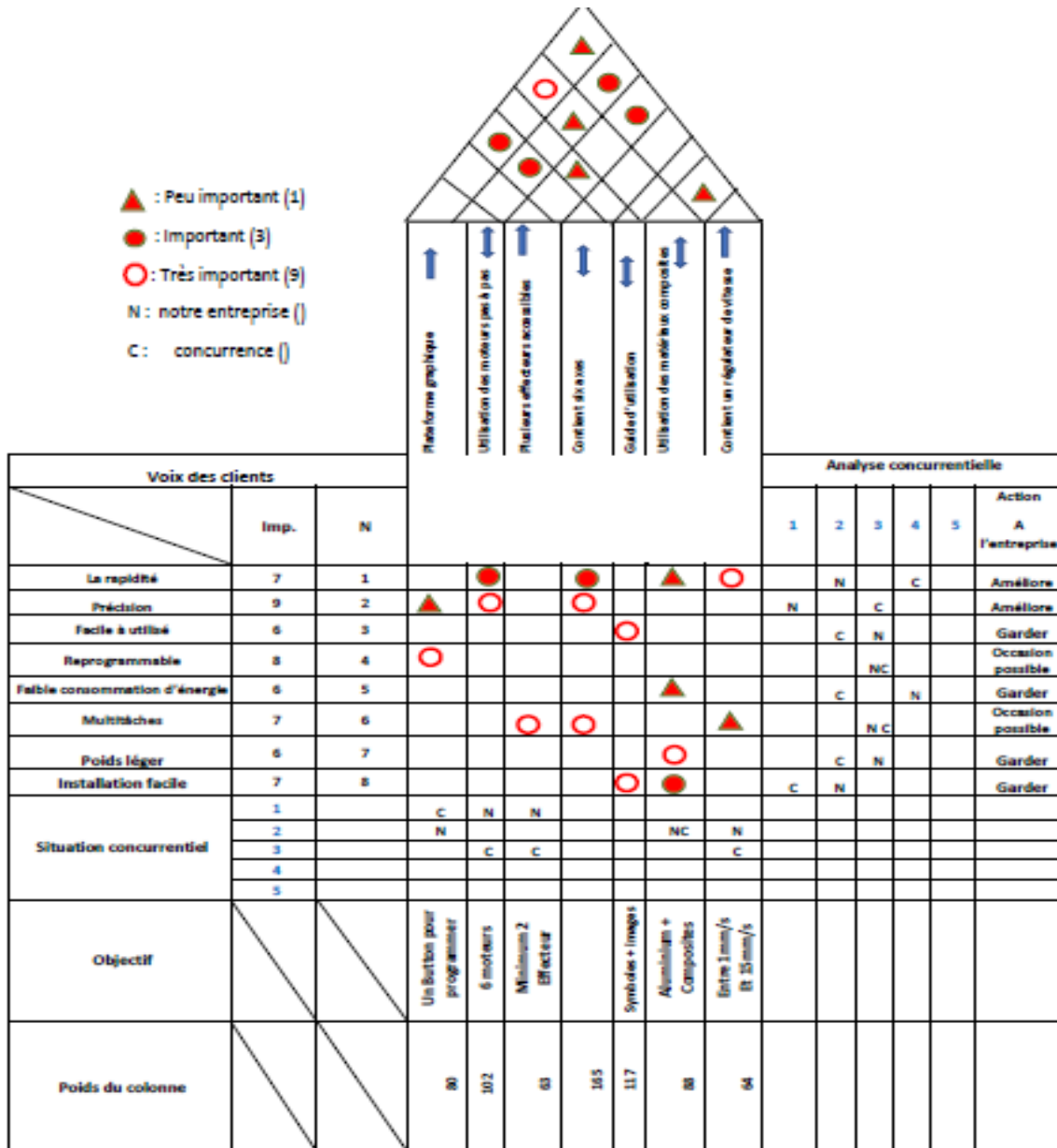


Figure 12: La maison qualité.

3. Synthèse de la maison qualité :

La maison de la qualité nous a permis de traduire les besoins clients déjà obtenues par l'analyse fonctionnelle interne en des fonctions techniques à faire en faisant une étude concurrentielle avec les robots commercialisées qui nous a guidé au choix de matériau et les types des actionneurs a utilisé.

D. Analyse fonctionnelle interne :

Lorsque l'analyse porte sur le produit lui-même, pour :

- Améliorer son comportement,
- Diminuer son coût,

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

- Améliorer sa fiabilité,
- etc.

Il n'est plus considéré comme une boîte noire, mais au contraire l'analyse va porter sur l'intérieur de la boîte pour comprendre ses fonctionnalités internes. Le produit est considéré comme un assemblage de constituants dont chacun remplit certaines fonctions vis-à-vis des autres. L'analyse est alors intitulée analyse fonctionnelle interne. Elle exprime le point de vue du concepteur réalisateur du produit. Elle met en évidence les fonctions techniques.

1. Diagramme FAST (Function Analysis System Technique) :

Un diagramme FAST présente une traduction rigoureuse de chacune des fonctions de service en fonction(s) technique(s), puis matériellement en solution(s) constructive(s). Il se construit de gauche à droite, dans une logique du pourquoi au comment. Grâce à sa culture technique et scientifique, l'ingénieur développe les fonctions de service du produit en fonctions techniques. Il choisit des solutions pour construire finalement le produit. Il constitue alors un ensemble de données essentielles permettant d'avoir une bonne connaissance d'un produit complexe et ainsi de pouvoir améliorer la solution proposée.

- **Fonctions de service :**

Les fonctions de service constituent une relation entre le système et le milieu extérieur, elles traduisent l'action attendue ou réalisée par le produit pour répondre à un élément du besoin d'un utilisateur donné. Il faut souvent plusieurs fonctions de service pour répondre à un besoin. Dans une étude donnée, leur énumération et leur formulation qualitative et quantitative résultent de l'analyse du besoin à satisfaire et le décrivent d'une manière nécessaire et suffisante.

Il existe deux types de fonctions de service :

- les fonctions principales, correspondant au service rendu par le système pour répondre aux besoins.
- les fonctions contraintes, traduisant des réactions, des résistances ou des adaptations à des éléments du milieu extérieur.

- **Fonctions techniques :**

Les fonctions techniques sont internes au produit, elles sont choisies par le constructeur dans le cadre d'une solution, pour assurer une fonction de service.

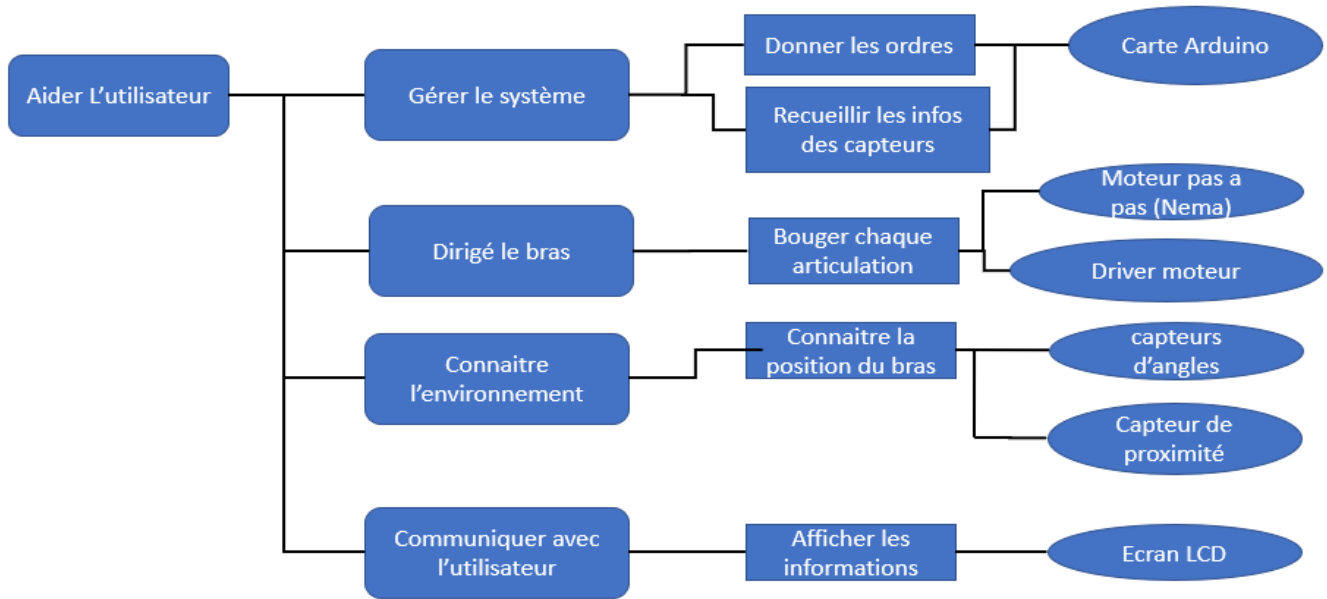


Figure 13:Diagramme FAST.

2. Synthèse de l'analyse fonctionnelle interne :

L'analyse fonctionnelle interne nous a permis de détailler la fonction principale qui est aider l'utilisateur en des sous fonctions techniques.

E. Cahier des Charges :

- ✓ Réaliser un bras robotisé 6 axes.
- ✓ Le robot peut apprendre une trajectoire et le refaire (play-back).
- ✓ La partie commande sera réalisée sur une carte type Arduino.
- ✓ La précision au bout du bras devrait être au moins de 4 mm
- ✓ Les coordonnées de position du robot devront pouvoir être entrées à l'aide de la plateforme Arduino IDE.
- ✓ Le robot devrait également être pilotable à l'aide d'un module Bluetooth.
- ✓ Le robot devra pouvoir se déplacer avec une charge d'au moins 200g dans sa pince.
- ✓ Celui-ci devra pouvoir être pilotable dans un repère cartésien avec des déplacements linéaires.

IV. Chapitre : Etude conceptionnelle du projet.

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

Dans ce chapitre, on va présenter la structure de notre projet, son schéma technique et cinématique plus la conception de ses pièces dans le logiciel catia afin de construire les draftings des différents composants pour l'utiliser dans l'usinage.

A. Architecture du robot :

Il existe deux types des architectures du robot manipulateur une série et autre parallèle.

1. Architecture série

Mécanisme en chaîne cinématique ouverte constitué d'une alternance de corps et de liaisons.



Figure 14: Robot d'une architecture série.

2. Architecture parallèle

Mécanisme en chaîne cinématique fermée dont l'organe terminal est relié à la base par plusieurs chaînes cinématiques indépendantes.



Figure 15: Robot d'une architecture parallèle.

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

Notre bras appartient alors au type du robot a architecture série.

B. Schéma technique :

Notre projet est constitué de 6 axes, chacun est lié à un actionneur qui sont des moteurs pas à pas de types différents

AXES : A1, A2, A3, A4, A5 et A6.
MOTEURS PAS A PAS : Nema 23, 17, 11 et 8.

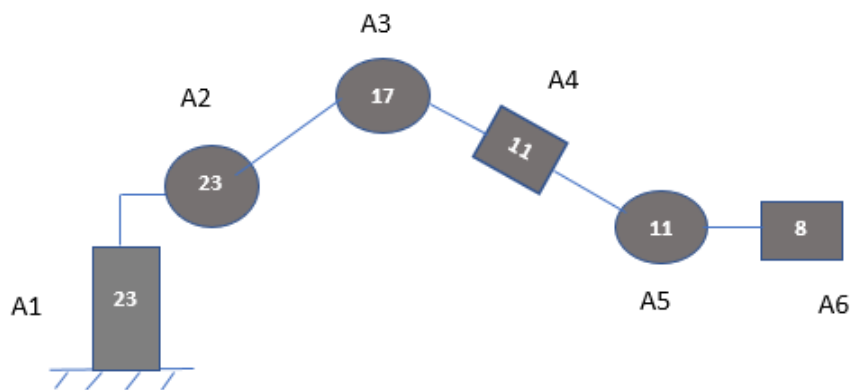


Figure 16:Schéma du Robot.

C. Chaîne cinématique :

A partir du schéma technique on a constaté le schéma cinématique de notre projet.

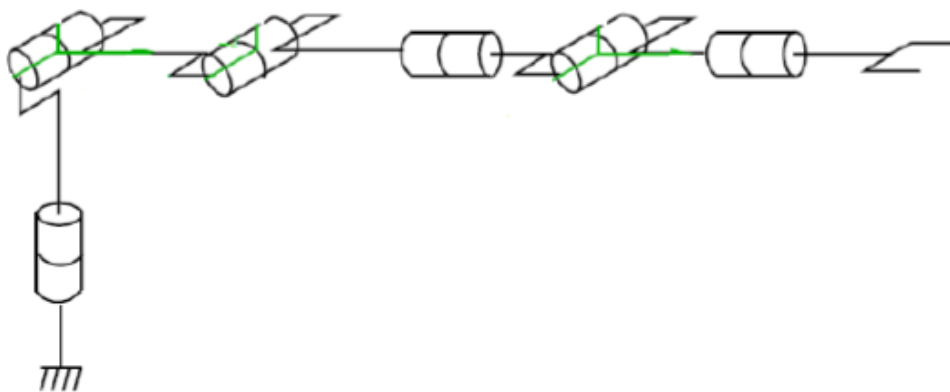


Figure 17:chaîne cinématique.

D. Transmission entre articulation :

Une transmission est un dispositif mécanique permettant de transmettre un mouvement d'une pièce à une autre. Cet élément de la chaîne d'énergie a pour fonction l'adaptation du couple et de la vitesse entre l'organe moteur et l'organe entraîné. Dans notre cas on a utilisé les mécanismes accessibles dans l'atelier c'est la transmission par engrenage constitué de deux roues dentées.

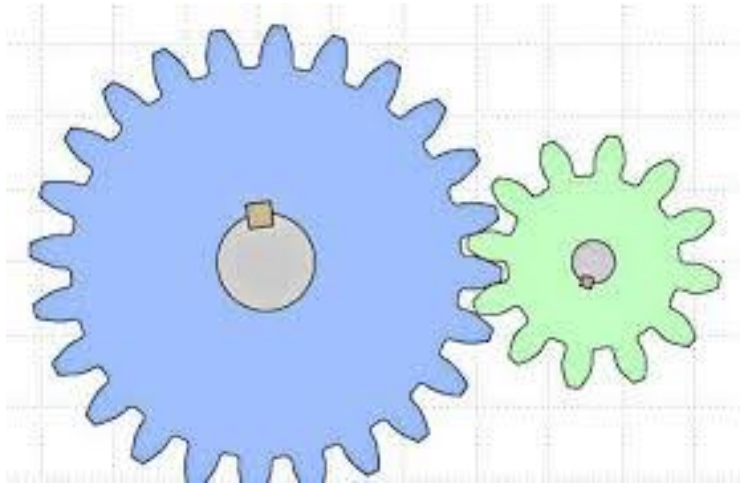


Figure 18:Engrenage.

E. Le dessin de bras manipulateurs (Logiciel Catia V5)

Les images ci-dessous représentent la conception des différentes articulations de notre bras manipulateur.

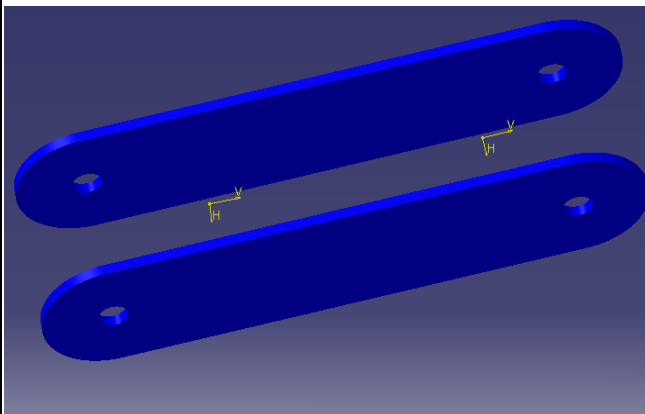


Figure 20:Axe1.

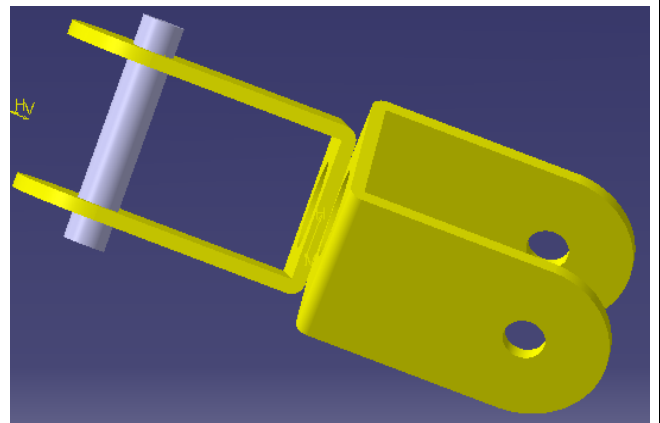


Figure 19:Axes 2 et 3.

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de liberté.

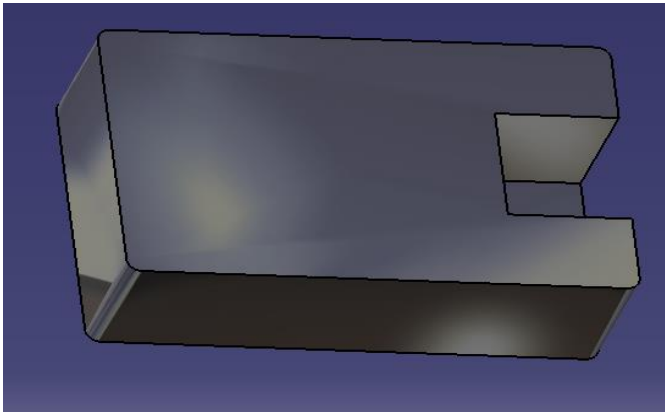


Figure 21:La base.

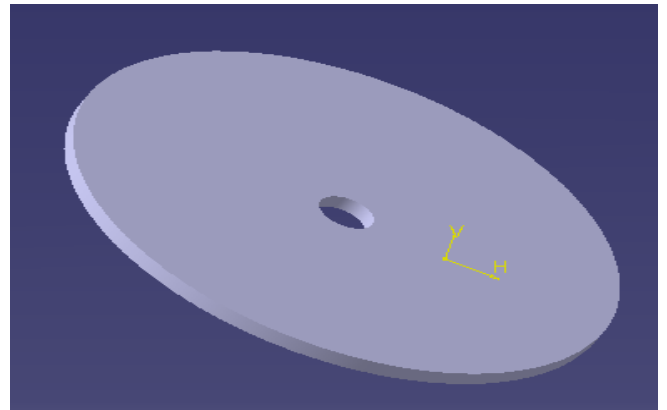


Figure 22:Support.

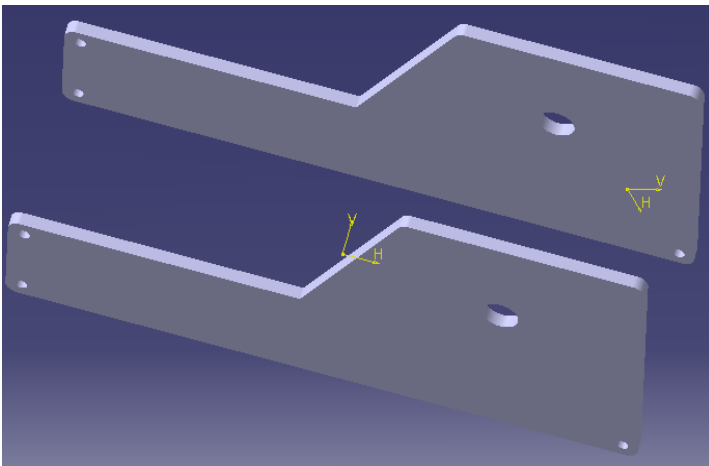


Figure 24:Coté.

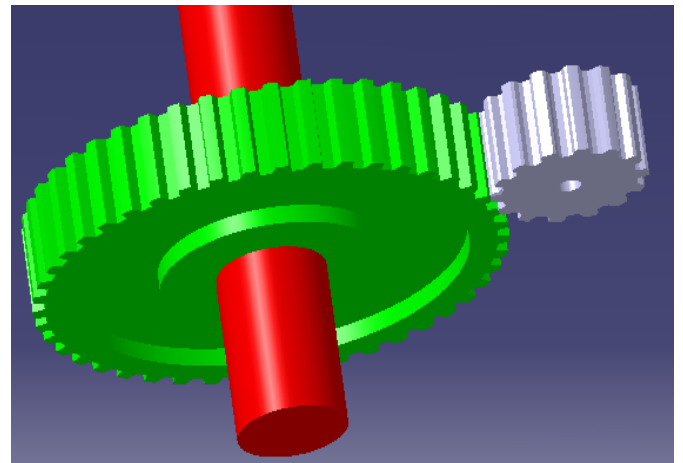


Figure 23:Liaison par engrenage.

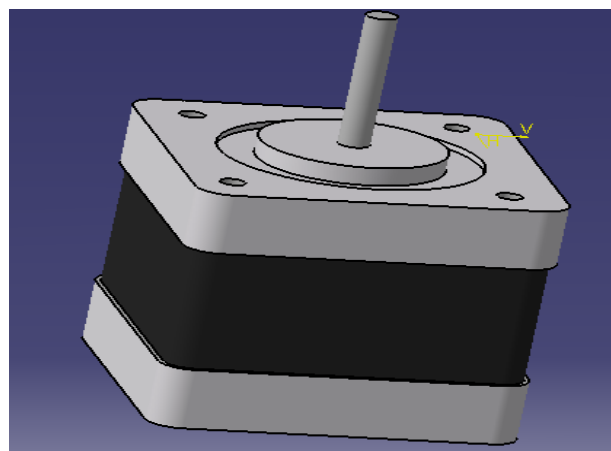


Figure 25:Moteur pas à pas.

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

Après l'assemblage des articulations voici le design final de notre bras

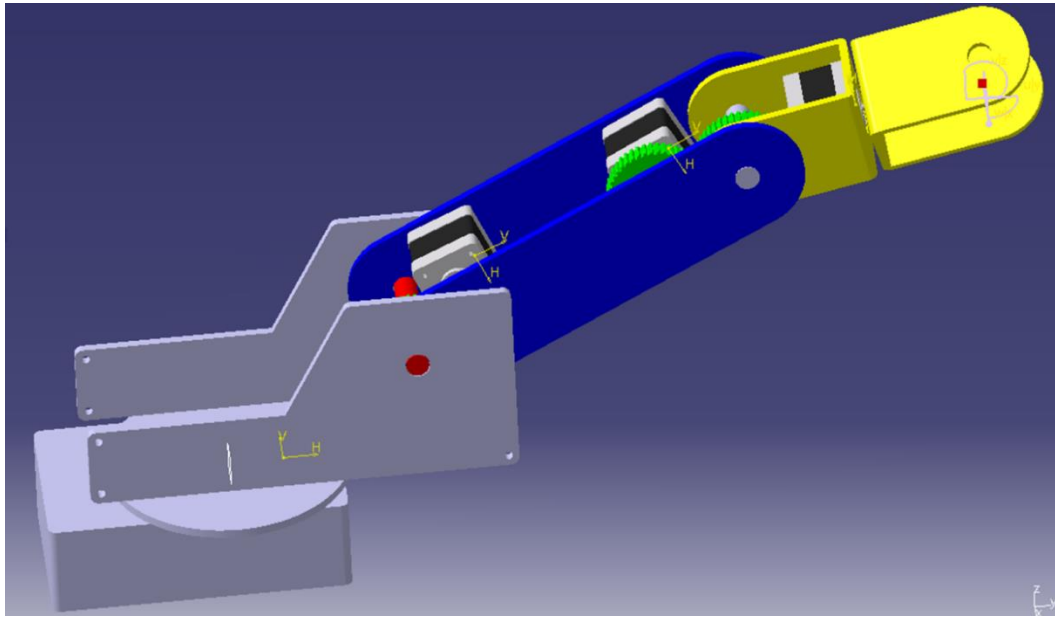


Figure 26:Dessin d'ensemble.

F. Conclusion :

Dans cette partie on est arrivé à définir l'architecture et le schéma cinématique de notre projet ainsi que le système de transmission entre les articulations et on a fini par le dessin d'ensemble de notre projet, le chapitre suivant va consacrer à la modélisation de notre projet.

V. Modélisation du bras manipulateur.

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

L'objectif de ce chapitre est de construire des relations entre l'effecteur de notre projet et les angles d'articulations.

Un manipulateur est considéré comme étant une chaîne de liaisons connectées entre elles par des articulations rationnelles ou prismatiques, une extrémité de cette chaîne est attachée à la base, tandis que l'autre extrémité est libre et reliée à l'outil terminal, en vue de manipuler les objets ou effectuer des tâches d'assemblages, le mouvement relatif de chaque articulation entraîne celui des liaisons, ce qui permet de positionner l'extrémité libre et de donner à l'outil terminal l'orientation désirée. En effet, dans la plupart des applications en robotique, on s'intéresse à la trajectoire et la position finale de l'outil terminal par rapport à la référence fixe, la cinématique d'un robot veut l'étude analytique de cette trajectoire sans voir les forces et moments qui causent le mouvement, dans ce qui suit, nous considérons un manipulateur dont les paramètres géométriques sont supposés connus et nous répondrons aux deux questions suivantes :

- Pour un manipulateur dont les paramètres géométriques sont supposés connus, pour chaque vecteur des variables d'articulation $[q_1 \ q_2 \ q_3 \dots q_n]$, n étant le nombre de degrés de liberté du manipulateur, quelle est la position et l'orientation de l'outil terminal correspondante par rapport au référentiel fixe (la base).
- Soit une position et orientations désirées de l'outil terminal, le manipulateur peut-il atteindre celle-ci si oui, quelles sont les différentes configurations du manipulateur, c'est à dire l'ensemble des vecteurs q , qui peuvent nous le garantir, la première de ces questions est appelée problème cinématique direct qui intervient directement dans la modélisation dynamique des robots, et la seconde est appelée problème cinématique inverse.

A. Modélisation cinématique directe :

La cinématique directe consiste à donner une pose à un squelette d'animation en modifiant uniquement les paramètres de ses articulations (variables d'articulation).

Pour placer la main d'un personnage dans une position voulue, on doit modifier les articulations de l'épaule, du coude puis du poignet afin de les placer dans des angles permettant d'obtenir la pose voulue.

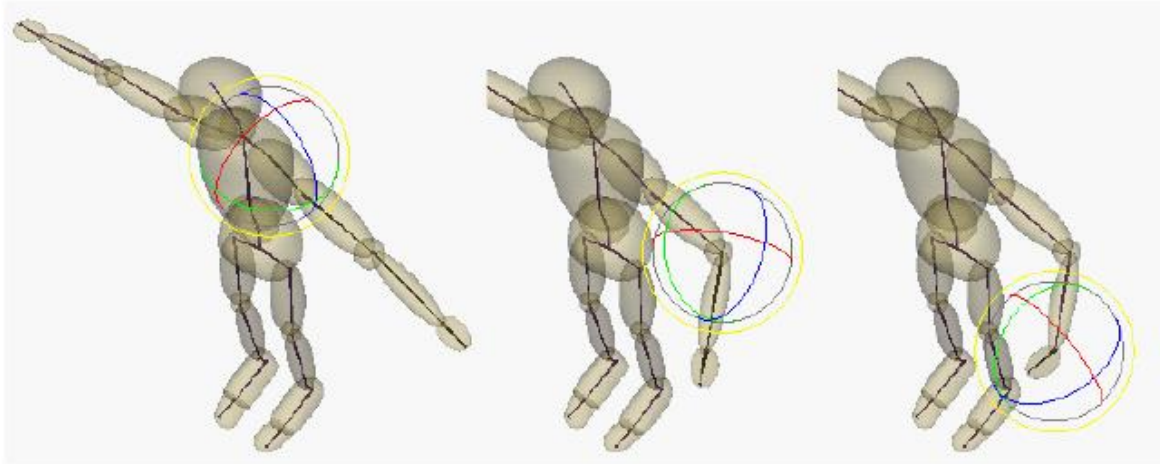
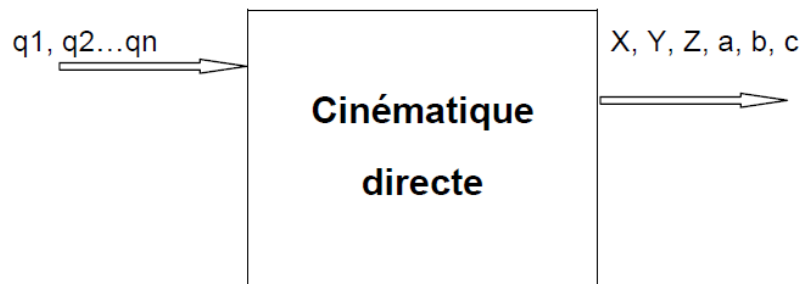


Figure 27: Pose d'un squelette.

La cinématique directe permet de faire des mouvements d'arcs précis et bien définis., puisqu'on contrôle directement les rotations des articulations. On positionne une articulation en modifiant la position de ses propres variables d'articulation et de ses parents.



1. Méthode de Dénavit-Hartenberg :

Cette méthode permet de caractériser la position relative de deux solides avec seulement 4 paramètres.

Tout d'abord il faut bien mettre en place les repères dans les solides du robot.

Selon 4 cas possibles :

Soit $R_0(O, X_0, Y_0, Z_0)$ et $R_1(O_1, X_1, Y_1, Z_1)$ deux repères orthonormés direct

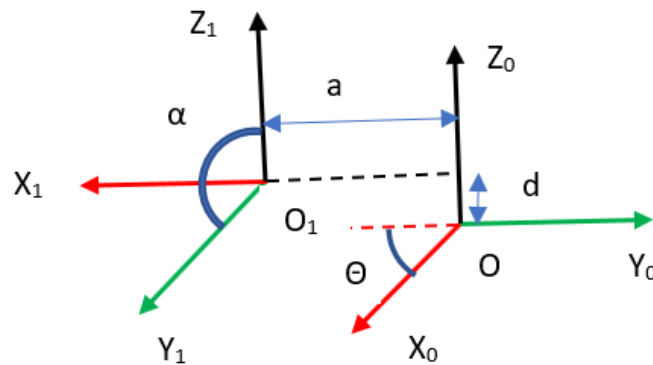
- Si Z_0 et Z_1 sont croisés l'axe X_1 doit être perpendiculaire à (Z_0) et (Z_1) .
- Même choses au cas précédent seule l'origine de R_1 est sur Z_0 .
- Si Z_0 et Z_1 sont parallèles on trace le perpendiculaire sur Z_1 et Z_0 , puis on trace son perpendiculaire c'est X_1 .
- Les deux repères sont confondus, les axes aussi sont confondus.

Les 4 paramètres déterminantes :

- (Joint angle) θ_1 c'est l'angle de X_0 vers X_1 mesurée par rapport à Z_0 .

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

- (Link offset) d_1 distance de O_0 vers O_1 mesurée suivant Z_0 .
- (Link length) a_1 distance de Z_0 vers Z_1 mesurée suivant X_1 .
- (Link twist) α_1 c'est l'angle de Z_0 vers Z_1 mesurée par rapport à X_1 .



Après la détermination des paramètres on les place dans un tableau comme suit

Link	a_i	$\text{Alpha } i$	d_i	Thêta i
1				
...				

Après on fait les matrices de passage A_i d'un repère R_i vers R_{i-1} :

$\text{Cos}(\text{thêta } i)$	$-\text{Cos}(\text{alpha } i) \text{ Sin}(\text{thêta } i)$	$\text{Sin}(\text{alpha } i) \text{ Cos}(\text{thêta } i)$	$a_i \text{ Cos}(\text{thêta } i)$
$\text{Sin}(\text{thêta } i)$	$\text{Cos}(\text{alpha } i) \text{ Cos}(\text{thêta } i)$	$-\text{Sin}(\text{alpha } i) \text{ Cos}(\text{thêta } i)$	$a_i \text{ Sin}(\text{thêta } i)$
0	$\text{Sin}(\text{alpha } i)$	$\text{Cos}(\text{alpha } i)$	d_i
0	0	0	1

a) La matrice de transformation globale :

$$T_n^0 = A_1 * \dots * A_n$$

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

(1) La mise en place du repère :

On utilise les 4 cas déjà cité, en commençant de la base vers la tête et en choisissant l'axe de rotation est le Z pour toutes les articulations on arrive au repérage suivant.

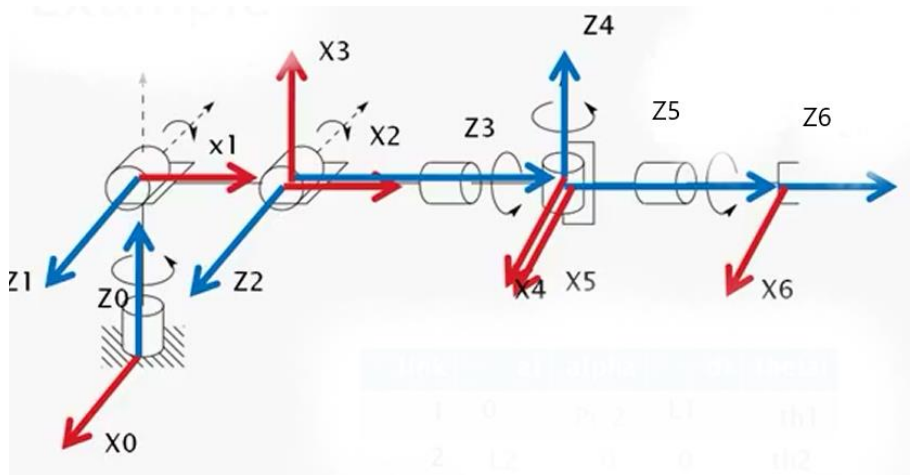


Figure 28: Mise en place des repères.

(2) Le tableau des paramètres :

Link	a_i	Alpha i	d_i	Thêta i
1	0	Pi/2	L1	Th1
2	L2	0	0	Th2
3	0	Pi/2	0	Th3
4	0	Pi/2	L3	Th4
5	0	-Pi/2	0	Th5
6	0	0	L6	Th6

2. Simulation :

Matlab (Symbolique) :

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

```

1      %%Standar DH parametr matrix
2      syms th d alpha a
3
4      A=[cos(th) -cos(alpha)*sin(th) sin(th)*sin(alpha) a*cos(th)
5          sin(th) cos(alpha)*cos(th) -cos(th)*sin(alpha) a*sin(th)
6          0 sin(alpha) cos(alpha) d
7          0 0 0 1 ]
8
9      % A=trotz(th)*transl(0,0,d)*transl(a,0,0)*trotx(alpha)
10
11     %%Link1
12     syms th1 L1
13     A1=subs(A,{a,alpha,d,th},{0,pi/2,L1,th1})
14
15     %%Link2
16     syms th2 L2
17     A2=subs(A,{a,alpha,d,th},{L2,0,0,th2})
18
19     %%Link3
20     syms th3 L3
21     A3=subs(A,{a,alpha,d,th},{0,pi/2,0,th3})
22
23     %%Link4
24     syms th4 L4
25     A4=subs(A,{a,alpha,d,th},{0,pi/2,L3,th4})
26
27     %%Link5
28     syms th5 L5
29     A5=subs(A,{a,alpha,d,th},{0,-pi/2,0,th5})
30
31     %%Link6
32     syms th6 L6
33     A6=subs(A,{a,alpha,d,th},{0,0,L6,th6});
34
35     %%Total Forward matrix
36
37     At=simplify(A1*A2*A3*A4*A5*A6);
38     At2=subs(At,{L1,L2,L3,L6},{10,9,9,6});
39
40     %get X,Y,Z at zero angles
41     q1=0; q2=0; q3=0; q4=0; q5=0; q6=0;
42     At3=subs(At2,{th1,th2,th3,th4,th5,th6},{q1,q2,q3,q4,q5,q6}) ;

```

Figure 29: Calcul de la matrice de passage sur Matlab.

On a obtenu comme coordonnées de l'outil terminale :

$$\begin{aligned}
 X = & 9*\cos(\text{th1})*\cos(\text{th2}) - 6*\sin(\text{th5})*(\sin(\text{th1})*\sin(\text{th4}) - \cos(\text{th4})*(\cos(\text{th1})*\sin(\text{th2})*\sin(\text{th3}) \\
 & - \cos(\text{th1})*\cos(\text{th2})*\cos(\text{th3}))) + 6*\cos(\text{th5})*(\cos(\text{th1})*\cos(\text{th2})*\sin(\text{th3}) + \\
 & \cos(\text{th1})*\cos(\text{th3})*\sin(\text{th2})) + 9*\cos(\text{th1})*\cos(\text{th2})*\sin(\text{th3}) + 9*\cos(\text{th1})*\cos(\text{th3})*\sin(\text{th2}).
 \end{aligned}$$

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

$$Y = 9 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) \cdot \sin(\theta_1) + 9 \cdot \cos(\theta_2) \cdot \sin(\theta_1) + 6 \cdot \cos(\theta_1) \cdot \sin(\theta_4) \cdot \sin(\theta_5) + 6 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) \cdot \cos(\theta_5) \cdot \sin(\theta_1) - 6 \cdot \cos(\theta_2) \cdot \cos(\theta_3) \cdot \cos(\theta_4) \cdot \sin(\theta_1) \cdot \sin(\theta_5) + 6 \cdot \cos(\theta_4) \cdot \sin(\theta_1) \cdot \sin(\theta_2) \cdot \sin(\theta_3) \cdot \sin(\theta_5).$$

$$Z = 9 \cdot \sin(\theta_2) - 9 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) + 3 \cdot \sin(\theta_4 - \theta_5) \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) - 3 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) \cdot \sin(\theta_4 + \theta_5) - 6 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) \cdot \cos(\theta_5) + 10.$$

Le matrice de passage globale pour des angles $q_1=0$; $q_2=0$; $q_3=0$; $q_4=0$; $q_5=0$; $q_6=0$; est :

```
>> At3

At3 =

    [ 1,  0,  0,  9]
    [ 0, -1,  0,  0]
    [ 0,  0, -1, -5]
    [ 0,  0,  0,  1]
```

3. MATLAB (Peter Corne robotics Toolbox):

Pour utiliser le package de Peter corne dans Matlab il faut le télécharger et l'importer dans ce package il y a une classe s'appeler Link très utiliser dans la robotique pour faire les simulations en se basant sur le tableau du DH paramètres en créant des liens (Links) par la commande :

$$L(i) = \text{Link}([Th \ d \ a \ \alpha]);$$

Pour faire un assemblage des liens (Links) on utilise la commande suivante :

$$\text{Robot} = \text{SerialLink}(L);$$

```
>> startup_rvc
Robotics, Vision & Control: (c) Peter Corke 1992-2011 http://www.petercorke.com
- Robotics Toolbox for Matlab (release 9.10)
- pHRIWARE (release 1.1): pHRIWARE is Copyrighted by Bryan Moutrie (2013-2019) (c)
Run rtbdemo to explore the toolbox
>> L1=10;L2=9;L3=9;L6=6;
>> L(1)=Link([0 L1 0 pi/2]);
L(2)=Link([0 0 L2 0]);
L(3)=Link([0 0 0 pi/2]);
L(4)=Link([0 L3 0 pi/2]);
L(5)=Link([0 0 0 -pi/2]);
L(6)=Link([0 L6 0 0]);
>> Robot=SerialLink(L);
Robot.name='6DoF';
>> Robot
```

Pour afficher le tableau des paramètres on tape Robot dans la fenêtre de commande puis on click entrer.

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

```
Robot =
6DoF (6 axis, RRRRRR, stdDH, fastRNE)

+---+-----+-----+-----+-----+-----+
| j |      theta |      d |      a |      alpha |      offset |
+---+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 |      q1 |      10 |      0 |      1.571 |      0 |
| 2 |      q2 |      0 |      9 |      0 |      0 |
| 3 |      q3 |      0 |      0 |      1.571 |      0 |
| 4 |      q4 |      9 |      0 |      1.571 |      0 |
| 5 |      q5 |      0 |      0 |     -1.571 |      0 |
| 6 |      q6 |      6 |      0 |      0 |      0 |
+---+-----+-----+-----+-----+-----+

grav =    0  base = 1  0  0  0  tool = 1  0  0  0
          0          0  1  0  0          0  1  0  0
        9.81        0  0  1  0          0  0  1  0
                  0  0  0  1          0  0  0  1
```

Le matrcie de transformation globale pour $q_1=0$; $q_2=0$; $q_3=0$; $q_4=0$; $q_5=0$; $q_6=0$; est :

```
>> Robot.fkine([0 0 0 0 0 0])

ans =

    1.0000         0         0    9.0000
         0    -1.0000    -0.0000   -0.0000
         0     0.0000    -1.0000   -5.0000
         0         0         0     1.0000
```

Comme vous voyez qu'avec des commande simple on a obtenue les mêmes résultats de la methode symbolique(Symbolic methode), tous est maintenant en fonctions des angles de rotatis theta autour de l'axe de révolution de chaque liaison, on peut maintenant faire un plot de notre robot en utilisant la commande :

Robot.plot([q1 q2 q3 q4 q5 q6])

Les q_i sont les theta.

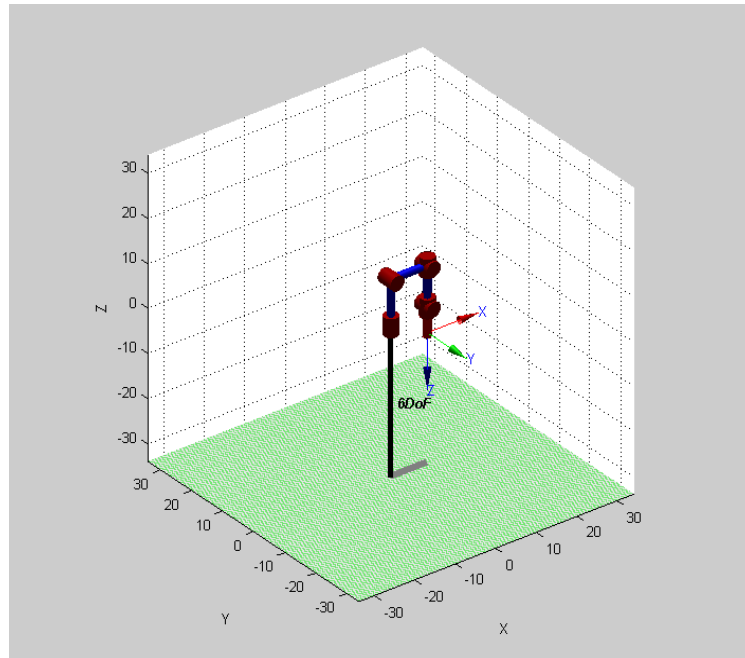


Figure 30:schéma 3d du Robot.

On peut faire une animation en utilisant des boucles for.

```
>> for th1=0:0.1:pi
Robot.plot([th1 0 0 0 0 0]);
pause(0.25)
end
fx >> |
```

Figure 31:code pour faire une animation.

B. Modélisation cinématique inverse :

La cinématique inverse s'occupe de générer la configuration des joints parents requise pour obtenir le positionnement désiré.

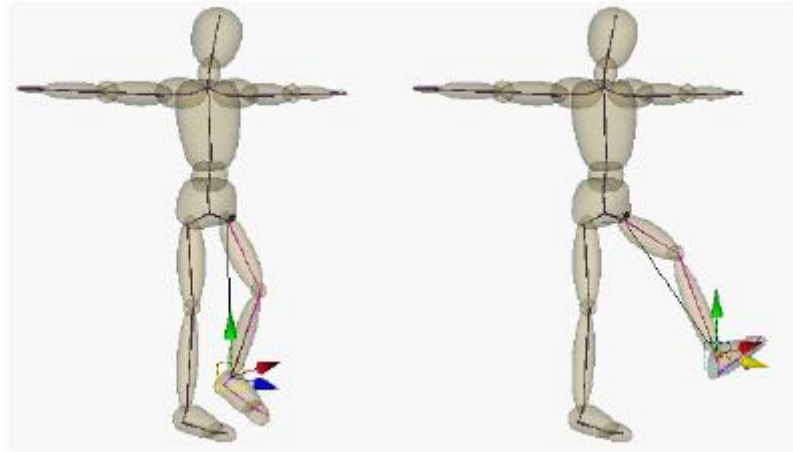
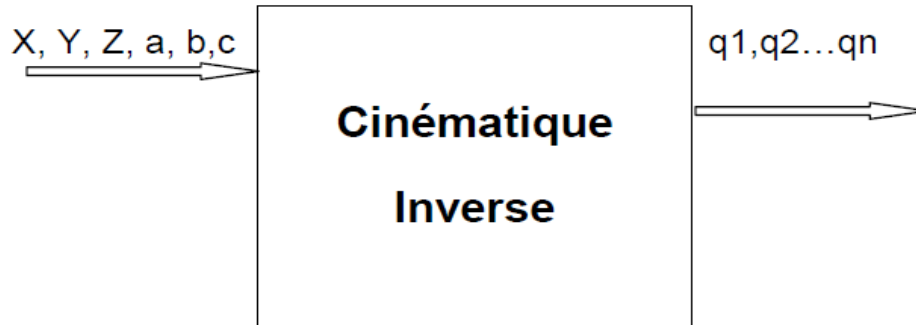


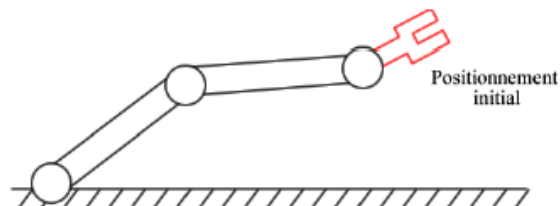
Figure 32: Déplacement du pied d'un squelette.

Un problème de cinématique inverse revient donc à trouver une configuration d'articulations dans le squelette permettant de positionner une articulation selon une orientation et une translation définie.

Trouver une configuration d'articulation pour obtenir le positionnement désiré de l'articulation cible est appelé la résolution du système de cinématique inverse.

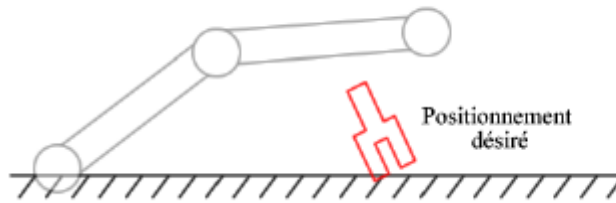


✚ L'articulation qu'on tente de positionner sera appelée "articulation cible".

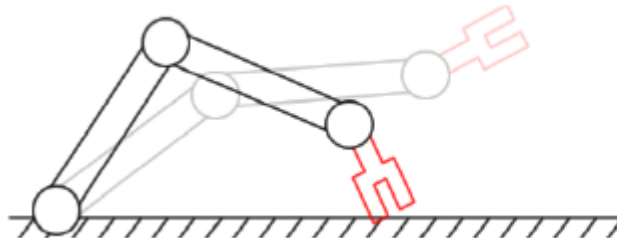


PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

- ✚ Le positionnement de l'articulation cible
Comprend sa position et son orientation.



On cherche comment modifier les articulations du bras pour arriver au positionnement désiré.



Une configuration valide permettant d'obtenir le positionnement désiré est générée.

Ce problème est beaucoup plus complexe que celui de la cinématique directe car pour une position donnée, la solution n'est pas unique (plusieurs configurations possibles).

1. Simulation:

a) MATLAB (Peter Corne robotics Toolbox):

```
>> %% main robotique a six degres de liberte (6DoF)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% on definit les longueurs de la main selon la methode de DH
L1=10;
L2=9;
L3=9;
L6=6;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%*****L(i)=Link([Th d a alpha])*****

L(1)=Link([0 L1 0 pi/2]);
L(2)=Link([0 0 L2 0]);
L(3)=Link([0 0 0 pi/2]);
L(4)=Link([0 L3 0 pi/2]);
L(5)=Link([0 0 0 -pi/2]);
L(6)=Link([0 L6 0 0]);

Robot=SerialLink(L);
Robot.name='6DoF';
%% inverse kinematics
Px=3 ; Py=3 ; Pz= 3;
T=[1 0 0 Px ;
    0 1 0 Py ;
    0 0 1 Pz ;
    0 0 0 1] ;
J=Robot.ikine(T,[0 0 0 0 0 0],[1 1 1 0 0 0]) ;
Robot.plot(J)
fx >> |
```

Figure 33:Code Matlab.

Pour savoir les angles des articulations on fait la commande :

J =

0.5007	1.0234	-0.9385	0.5709	0.3764	0
--------	--------	---------	--------	--------	---

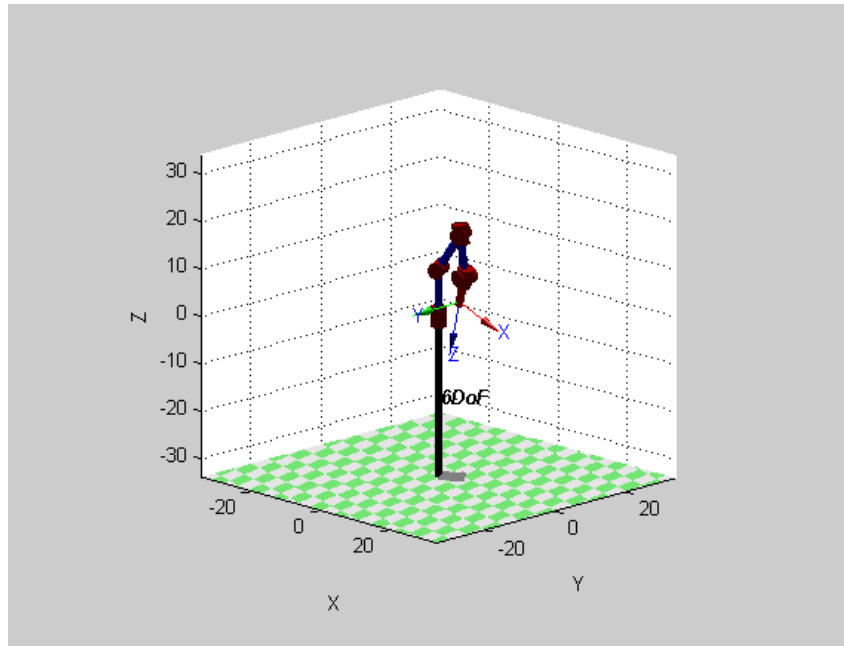


Figure 34: Mouvement du bras au coordonnées demandées.

C. Conclusion :

Le modèle géométrique directe du robot nous permet de trouver les coordonnées opérationnelles en donnant les informations de l'organe terminal en fonction des coordonnées articulaires. Le problème inverse consiste à calculer les coordonnées articulaires correspondant à une location de l'organe terminal. Après savoir les relations nécessaires on va entamer la commande de notre projet dans le chapitre suivant.

VI. Chapitre : Commande du Bras manipulateur.

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

Dans ce chapitre on va citer les éléments électroniques et les distributeurs utiliser ainsi les types de commande choisit pour contrôler notre bras manipulateur.

A. Microcontrôleur :

Pour le microcontrôleur on a choisi l'Arduino grâce à son raisonnable prix et sa simplicité.

L'Arduino est une plate-forme électronique open-source basée sur des matériels et des logiciels faciles à utiliser d'origine italienne la création c'était en 2005 afin d'aider les étudiants de faire une liaison entre la programmation et l'électronique.

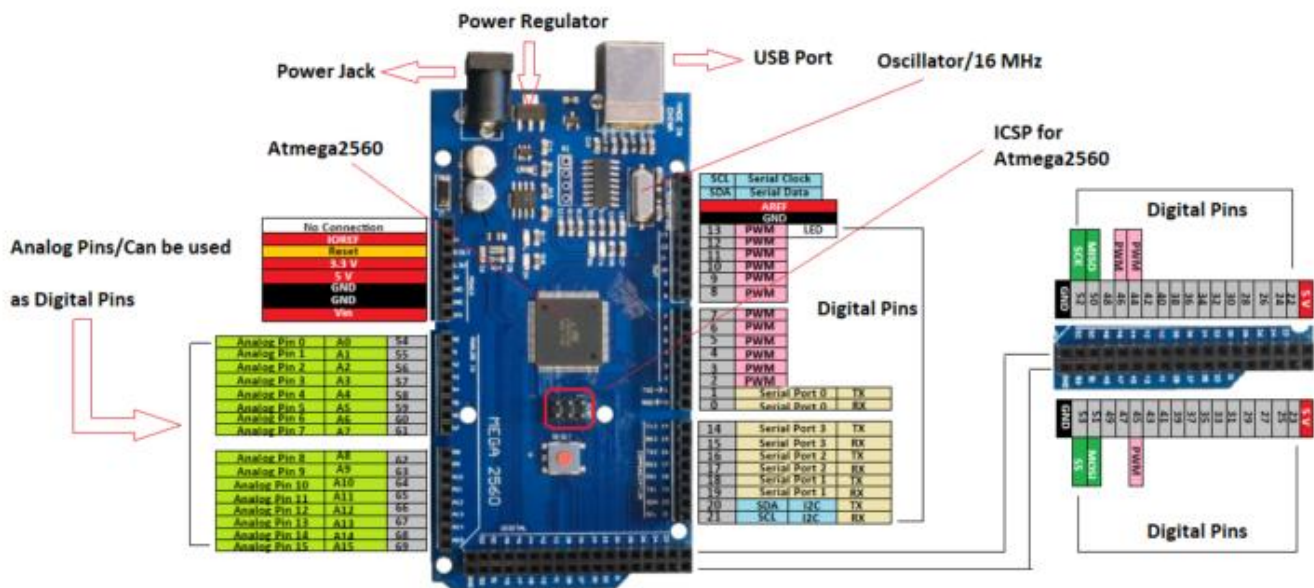


Figure 35: les entrées et les sorties de l'Arduino méga.

La communication avec l'Arduino s'effectue par l'envoi d'un ensemble d'instructions au microcontrôleur en utilisant le langage de programmation Arduino et le logiciel Arduino (IDE), le langage de programmation Arduino est une fusion entre le langage C et le C++.

ARDUINO IDE



- 1 Menu: Selections of software features.
- 2 Verify: Compiles and verifies your sketch.
- 3 Upload: Send your sketch to STEMtera™ Breadboard.
- 4 New: Opens a new sketch window.
- 5 Open: Open an existing sketch.
- 6 Save: Save current active sketch.
- 7 Monitor: Opens a window to send and receive information.
- 8 Editor: Code editor area. Type your sketch in this area.
- 9 Message: IDE reports success or failure messages here.

Figure 36: Arduino IDE.

Void Setup () {}: s'exécute une seule fois dans le début du programme.

Void Loop () {}: les commandes au sein de cette fonction se répètent autant que l'Arduino est allumé.

B. Actionneur :

1. Moteur pas à pas :

Moteur qui sous l'action d'une impulsion électrique de commande effectue une fraction de tour (ou "pas").

La valeur du pas est définie :

- par un angle par pas (ex. : 1.8° par pas).
- en nombre de pas par tour (ex. : 200 pas par tour).

L'excitation du moteur se fait via les bobines du stator, Le nombre de pas dépend :

- du nombre de phases (groupe de bobine).
- du nombre de pôles du rotor et du stator.
- de la séquence des commutations des phases du moteur.

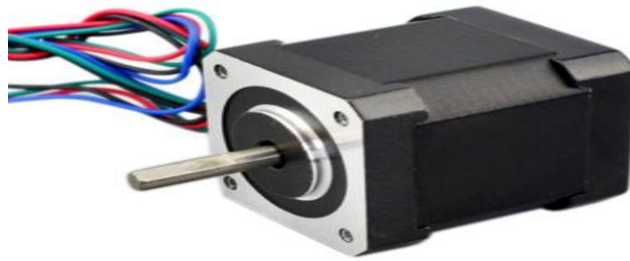


Figure 37: Moteur pas à pas.

a) Moteur Bipolaire :

Les bobinages d'un moteur bipolaire 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.

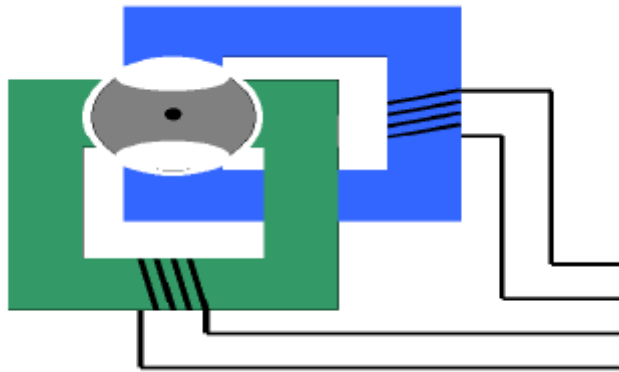


Figure 38: Moteur Bipolaire.

b) Moteur Unipolaire :

Les bobinages d'un moteur unipolaire sont alimentés toujours dans le même sens par une tension unique d'où le nom d'unipolaire.

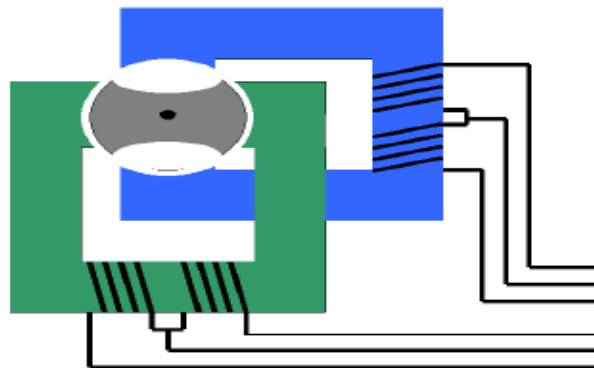


Figure 39: Moteur Unipolaire.

C. Drivers :

1. A4988 :

L'A4988 est un pilote de moteur complet avec traducteur intégré pour une utilisation facile, Il est conçu pour faire fonctionner des moteurs pas à pas bipolaires en mode plein, demi, quart, huitième, et seizième pas, avec une capacité d'entraînement de sortie allant jusqu'à 35 V et 2 A. L'A4988 comprend un régulateur de courant temporel capable de fonctionner en mode lent ou mixte.

Le traducteur est la clé de la mise en œuvre aisée de l'A4988. Il suffit de saisir une impulsion sur l'entrée STEP entraîne le moteur d'un microstep. Il n'y a pas de tableaux de séquence de phase, de lignes de contrôle à haute fréquence ou d'interfaces complexes pour programmer. L'interface A4988 est idéale pour les applications où un microprocesseur complexe n'est pas disponible ou est surchargé

Pendant le fonctionnement par pas, la commande de hachage dans l'A4988 sélectionne automatiquement le mode de désintégration actuel : lent ou mélangé. En mode désintégration mélangée, l'appareil est d'abord réglé sur une désintégration rapide pour la proportion du temps d'arrêt fixe, puis sur une lente décroissance pour le principal de la période d'arrêt. Le contrôle du courant de décroissance mixte réduit le bruit sonore du moteur, augmente la précision des pas et réduit la dissipation de puissance.

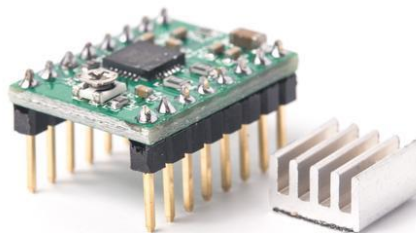


Figure 40:A4988.

a) Les caractéristiques :

- Tension min de fonctionnement : 8 V
- Tension max de fonctionnement : 35 V

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

- Courant par phase (en continu) : 1,2 A
- Courant maximum par phase : 2.3 A
- Logique de contrôle :
 - Tension minimale : 3 V
 - Tension Maximale : 5.5 V

b) Le montage avec l'Arduino :

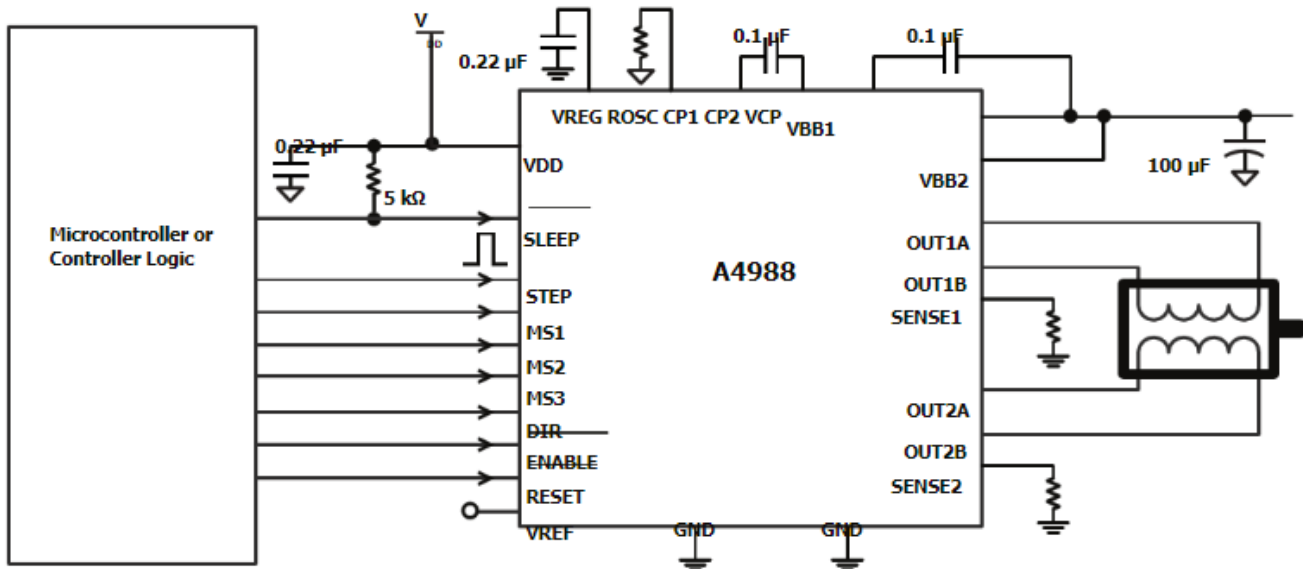


Figure 41:schéma de montage de A4988.

2. TB6600 :

Le tb6600 mono-axe est un entraînement de microstepping peu coûteux, il est adapté pour la conduite des moteurs hybrides pas à pas 2 phases.



Figure 42:TB6600.

a) Les caractéristiques :

- Courant d'entrée : 0 ~ 5A

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

- Courant de sortie : 0.5 ~ 4A
- Signal de commande : 3.3 ~ 24V
- Puissance (max) : 160W
- Poids : 0,2 kg
- Dimension : 96 * 71 * 37 mm

b) Le montage avec l'Arduino :

La figure suivante présente le schéma de montage du distributeur tb6600 avec le moteur et la carte de contrôle.

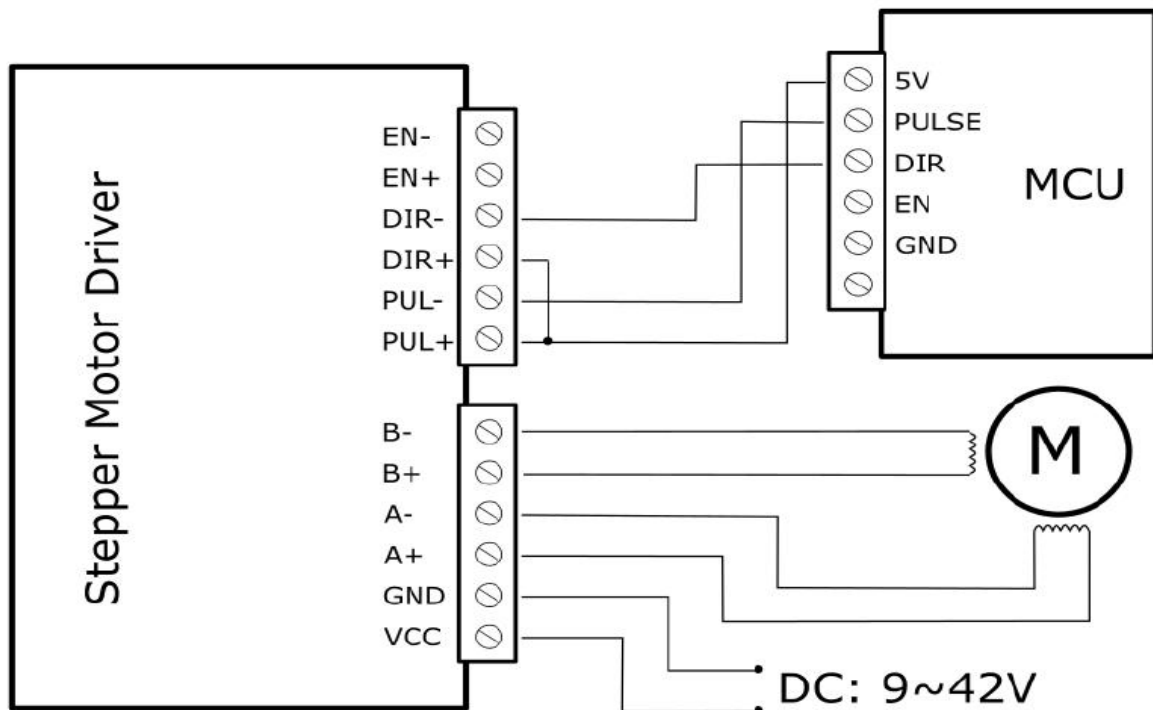


Figure 43:schéma de montage de TB6600.

D. Schéma électronique :

La figure suivante présente le montage global des moteurs avec la carte de contrôle Arduino.

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

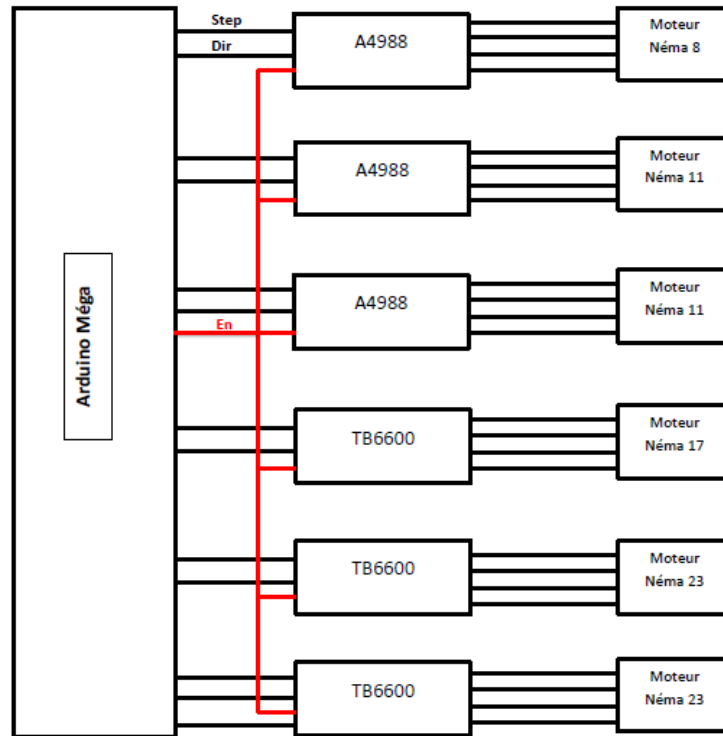


Figure 44:Schéma de montage.

Dans cette partie on va utiliser un programme avec une application Android créée dans la plateforme d'un site appelé AppInventor2, le but c'est de faire apprendre le bras robotique ce qu'il doit faire de loin via le Bluetooth en utilisant le module HC-05.

E. App Inventor :

App Inventor pour Android est une application développée par Google. Elle est actuellement entretenue par le Massachusetts Institute of Technology (MIT). Elle simplifie le développement des applications sous Android et le rend accessible même pour les novices et ceux qui ne sont pas familiers avec les langages de programmation. Elle est basée sur une interface graphique similaire à Scratch et à celle de StarLogo TNG (en). Grâce à son interface entièrement graphique et à l'absence totale de ligne de code, elle est particulièrement adaptée à l'initiation des enfants à la programmation, et ce dès l'école primaire.

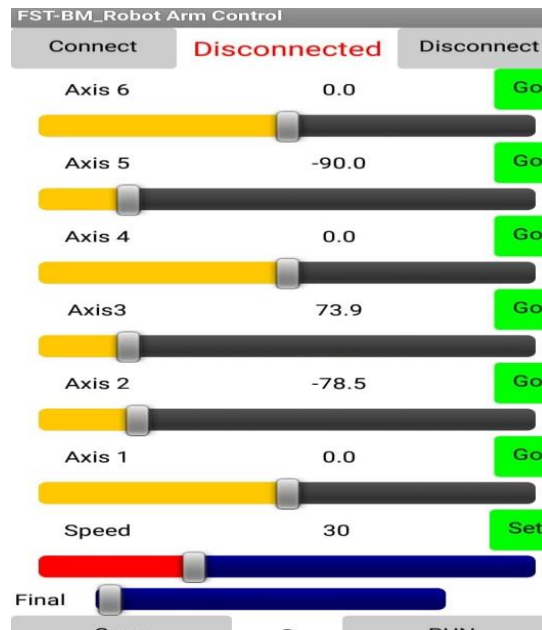


Figure 45: L'application de contrôle.

F. Le module HC-05 :

Ce module Bluetooth peut facilement assurer la transmission de données sans fil en série. Sa fréquence de fonctionnement est l'une des plus populaires bande de fréquence ISM de 2,4 GHz (c.-à-d. industrielle, scientifique et médicale). Il adopte la norme Bluetooth 2.0+EDR. Dans Bluetooth 2.0, le temps de transmission de signal de différents appareils se tient à un intervalle de 0,5 secondes afin que la charge de travail de la puce Bluetooth puisse être réduite considérablement et plus de temps de sommeil peut être économisé pour Bluetooth. Ce module est réglé avec l'interface série, qui est facile à utiliser et simplifie le cycle de conception/développement global.

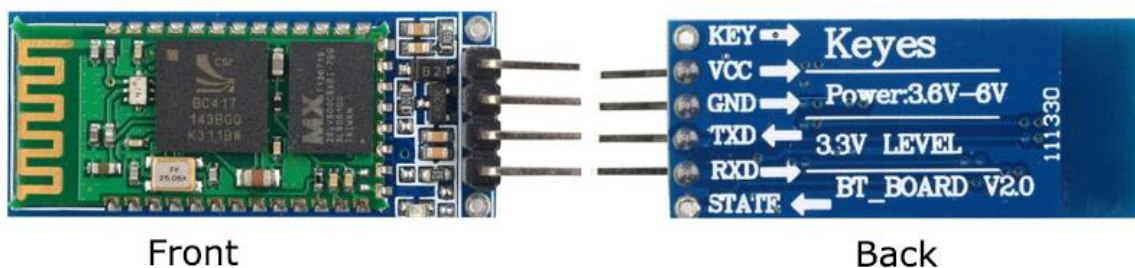


Figure 46: HC-05 module Bluetooth.

G. Programme:

Concernant le programme on a choisi la commande (playback), qui consiste à apprendre notre bras robotique les mouvements à faire via l'application Android (Bluetooth) qu'on a créé.

1. Le code :

Tous d'abord on commence par la déclaration des constantes et les pin (I/O), ainsi la géométrie du robot, dans la Void Setup() on définit chaque pin soit comme entrée ou sortie par la commande [pinMode(pin, OUTPUT), pinMode(pin, INPUT)], on définit aussi la vitesse d'envoi des données entre le module Bluetooth et le port série de l'Arduino [Serial1.begin(9600)], dans la boucle infinie on lit le String arriver via le port série (UART) ensuite on enregistre les mouvements du bras puis avec les commande Run le bras répète les mouvements déjà enregistrer.

H. Conclusion :

Dans cette partie on a cité les différentes composantes électroniques utilisé ainsi que les montages adoptés plus le type de commande choisit et le programme a importé. Après la préparation du code on va passer à la réalisation de notre projet.

VII. Réalisation du projet.

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

Notre objective est la réalisation d'un bras manipulateur basé sur les moteurs pas à pas parce que vu leur précision et la flexibilité de manipulation mais vu le manque de matériel (les moteurs pas à pas et les systèmes de transmission) et plusieurs contraintes de construction comme le poids on a appliqué notre étude sur un bras robotique s'appelé Uarm robot basé sur les servos moteurs et le matériau de base.

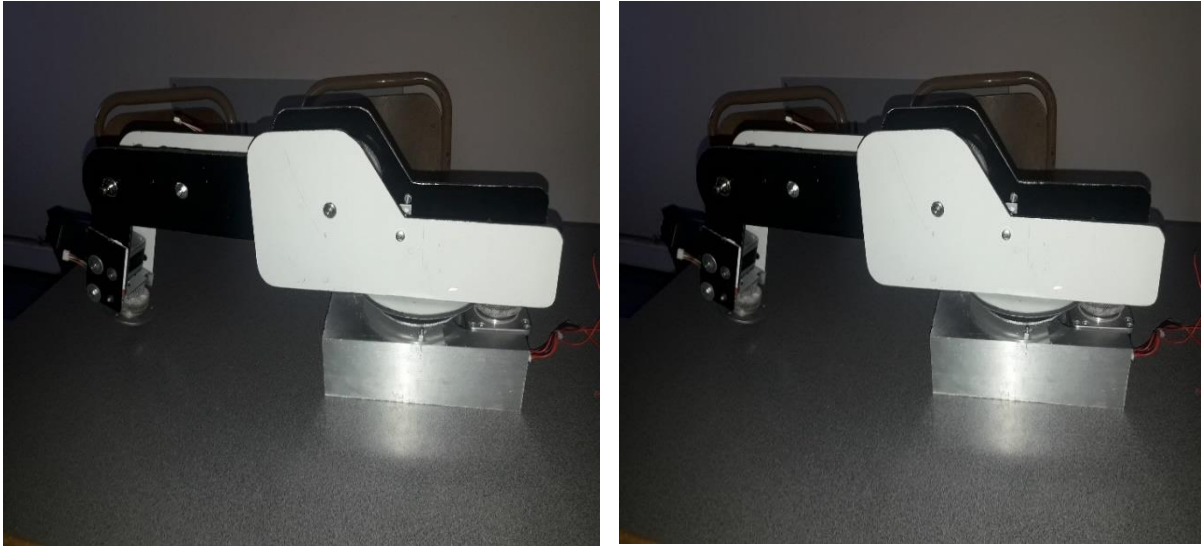


Figure 47: Bras robotique a base des moteurs pas à pas.

A. Robot Uarm :

Uarm est un bras manipulateur à 4 degrés de libertés open source destiné au milieu éducatif permettant une initialisation à la robotique et la programmation, le bras Uarm basé sur un microcontrôleur Arduino Méga et piloté directement via un PC ou Smartphone il accepte des applications comme la réalisation de dessins et le déplacement des objets



Figure 48: Uarm robot.

B. Conception des pièces :

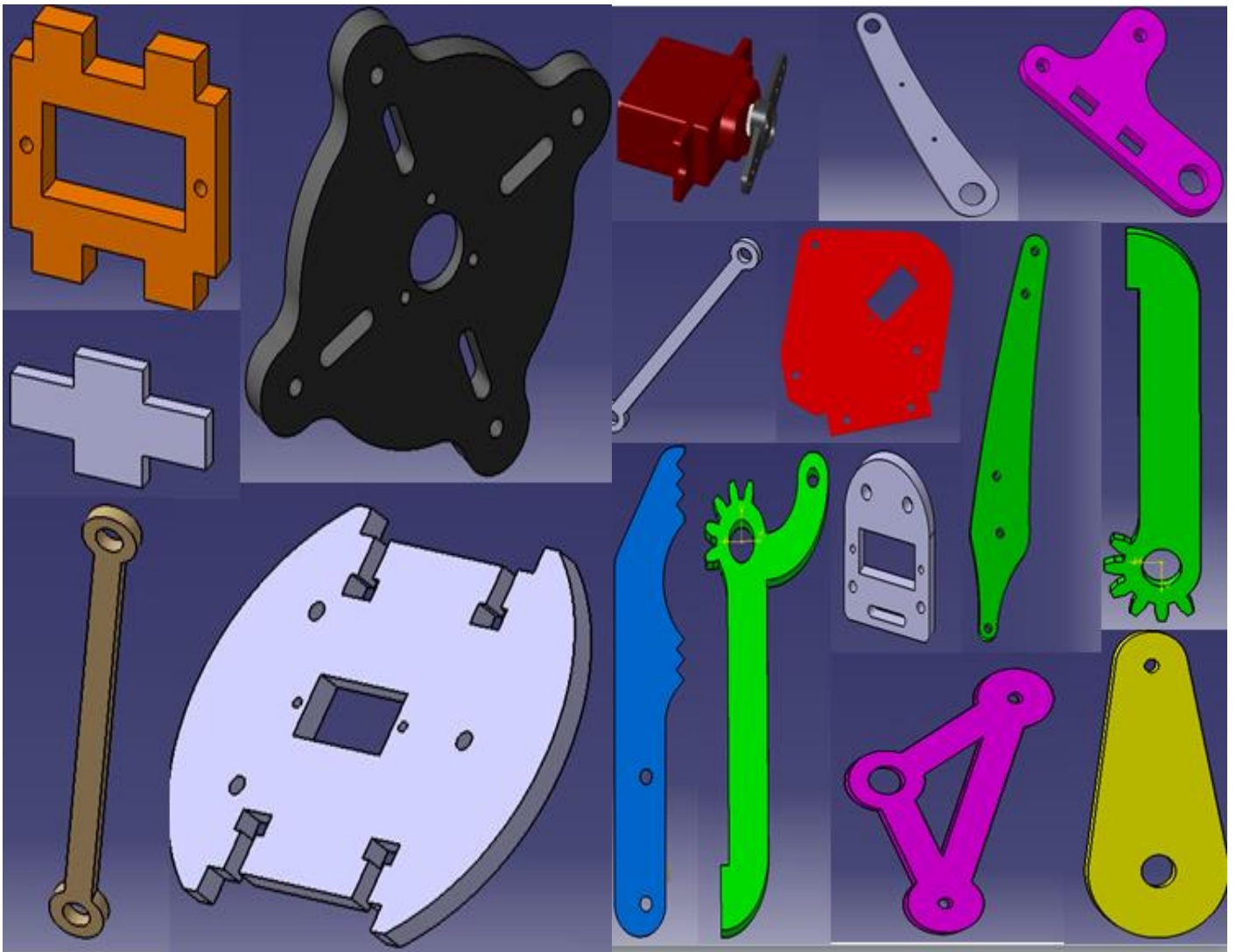


Figure 49: Les différentes pièces.

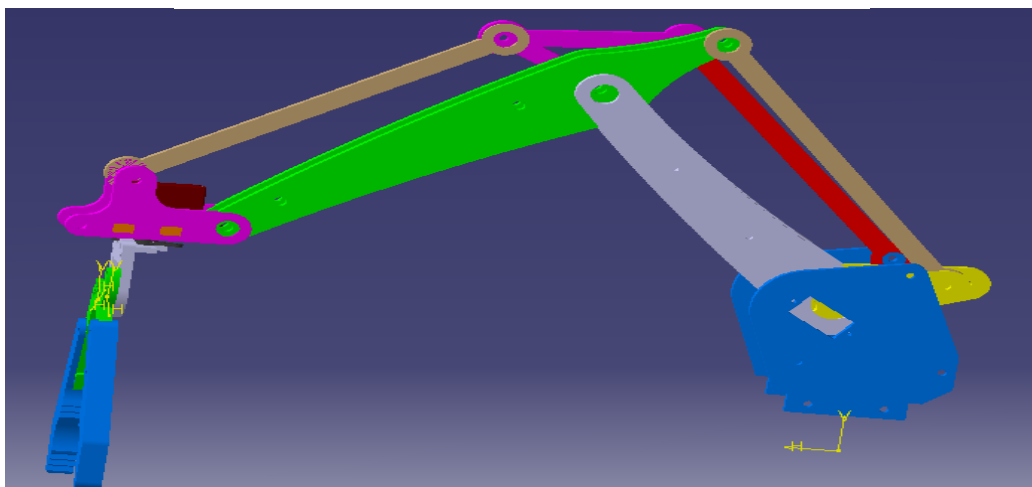


Figure 50: Le dessin d'ensemble de Uarm.

C. Découpage des pièces :

Pour le découpage des pièces on a utilisé la machine à commande numérique **fanuc**. On commence par la conception pour le but de faire les draftings des pièces, afin de générer le G-code qui est le langage connu par la machine.

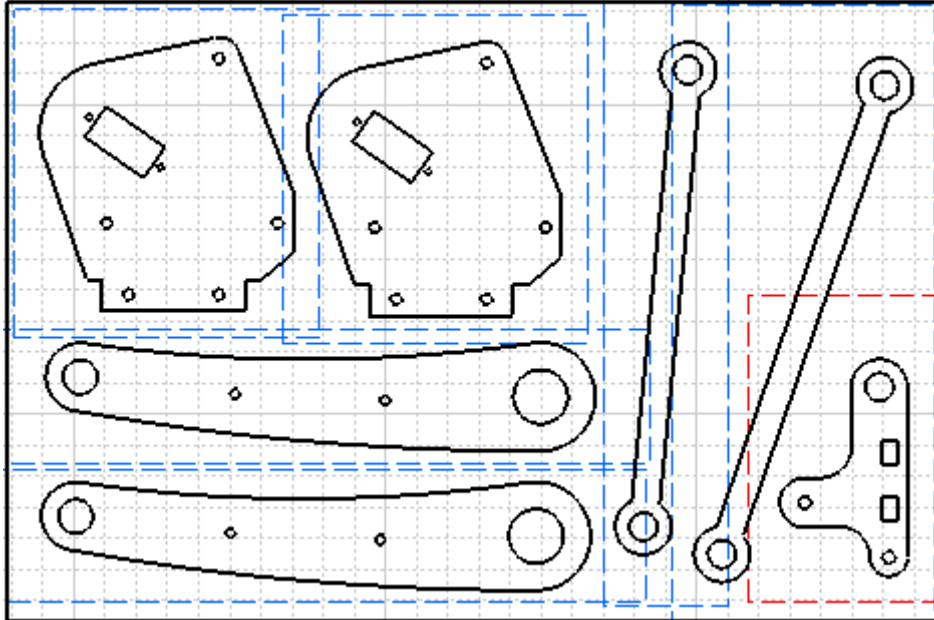


Figure 51: Le drafting des pièces.

Pour générer le G-code on a utilisé le logiciel Aspert, on définit les dimensions des plaques à usiner puis on choisit les opérations à faire (perçage, contournage...) ensuite les outils utilisés.

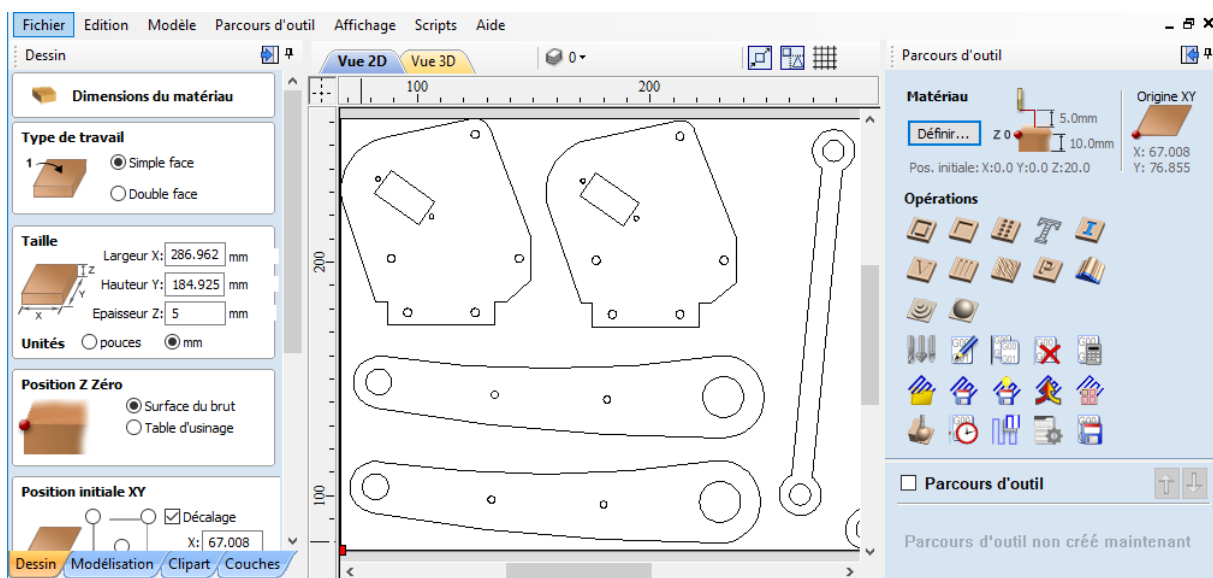


Figure 52: La plateforme Aspert.

Puis on enregistre le code à importer dans la machine.

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

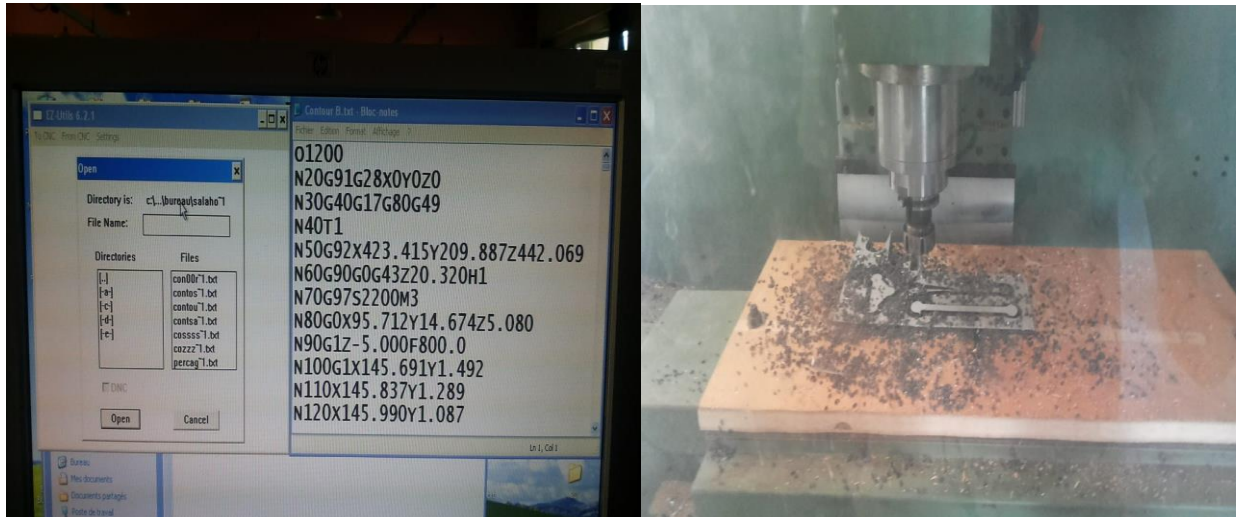


Figure 53: Importation de G-code et Usinage.

Le prototype final :

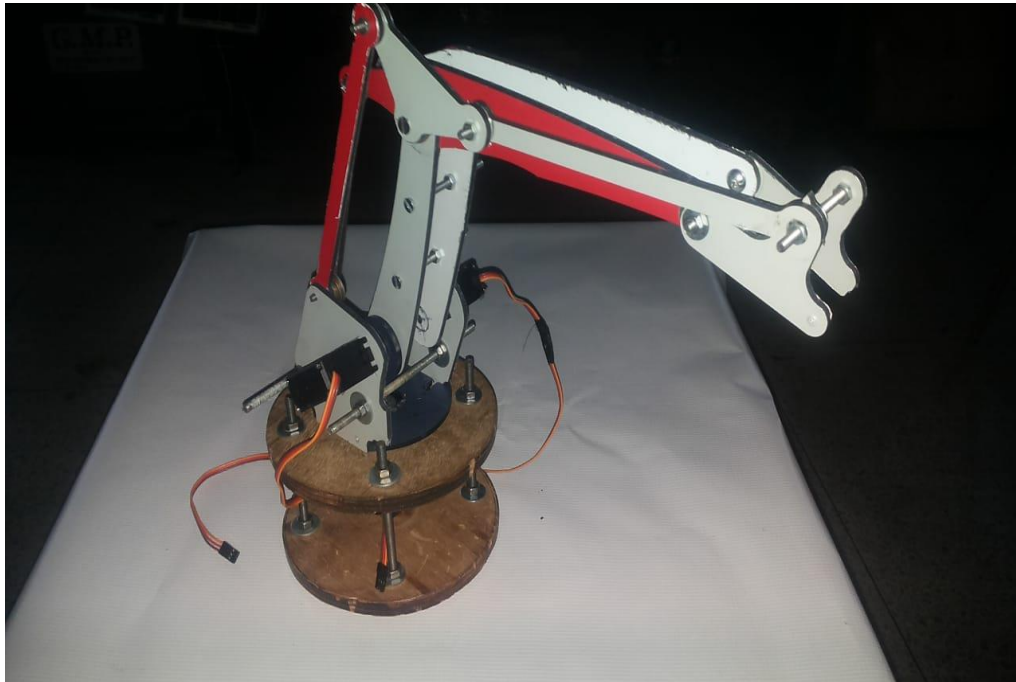


Figure 54:Prototype réalisé.

D. La commande :

Pour commande notre système il faut générer la trajectoire, Il y a plusieurs méthodes soit par

- Un logiciel de simulation.
- La méthode pratique.
- Une application Bluetooth.
- Les potentiomètres.

PFA : Etude et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de libertés.

Dans notre cas on a utilisé le même concept cité dans la partie commande du bras 6 axes c'est le play-back, on a utilisé le réglage des positions par Bluetooth et autre par des potentiomètres.

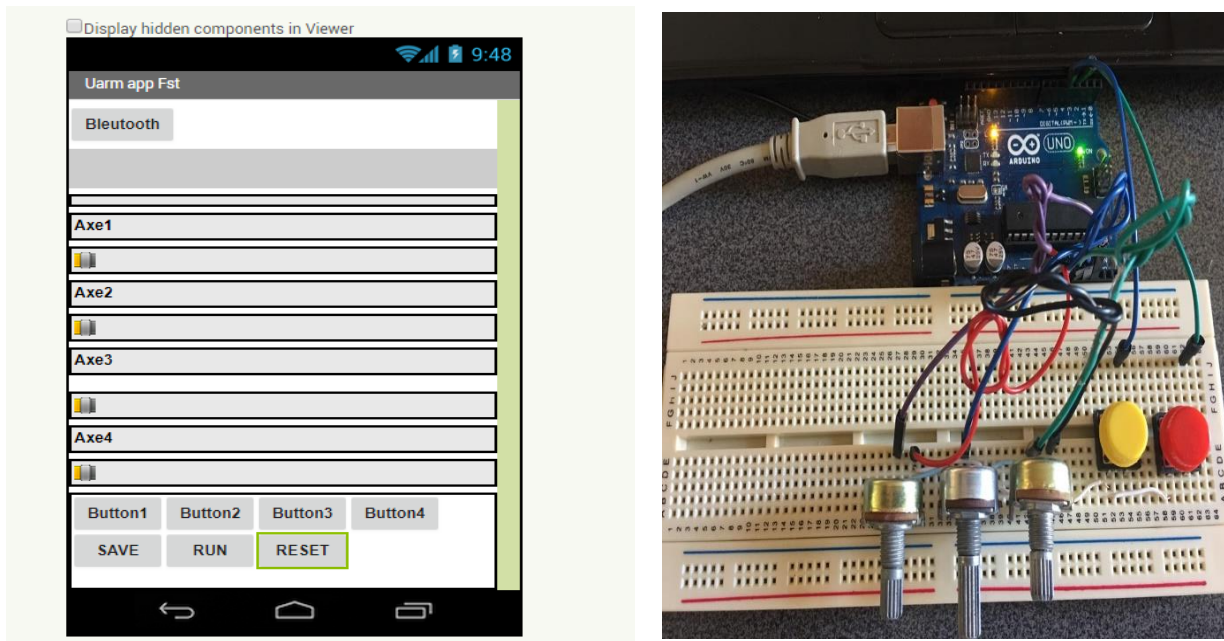


Figure 55: Les deux types de commandes utilisés.

E. Conclusion :

Dans cette partie on a appris comment utiliser le logiciel Aspert ainsi que la machine à commande numérique et par la suite on a pu de réaliser le prototype visé plus la visualisation de la commande play-back.

VIII. Conclusion :

Dans le cadre de notre scolarité au cycle d'ingénieur productique et mécatronique à la Fst et afin de se familiariser de plus avec le monde de la robotique on a opté pour un des plus importants sujets dans ce domaine qui est un Bras manipulateur à six degrés de libertés. Alors dans ce modeste rapport on a consacré la première partie pour des généralités sur ces robots pour connaître leurs différents types, les définir et bien s'enrichir avec les commandes qu'ils utilisent. En second lieu, on a abordé l'analyse fonctionnelle pour bien connaître les besoins des clients pour les satisfaire en créant un cahier de charge pour que notre robot va répondre à ses exigences. La troisième partie s'était sur la conception afin de créer un modèle adéquat sur un logiciel de conception et d'extraire les informations nécessaires en termes de masse et d'inertie ainsi de l'exploitation des dessins 2d des pièces pour l'usinage dans la machine à commande numérique. La quatrième partie était une modélisation de notre projet afin d'arriver à des relations qui relient la position de l'effecteur par rapport au repère de la base aux angles des articulations de notre projet. Dans la cinquième partie on a entamé la commande et la partie électronique ainsi que le montage de chaque composante plus le type de commande choisit et dans la dernière partie et après avoir fini l'étude dans la réalisation on a rencontré des problèmes de manque de matériel concernant les moteurs pas à pas et les systèmes de transmissions on a changé en dernier temps à un autre type de bras robotique qui est Uarm robot on a fait la conception, la commande et la réalisation de nouveau et heureusement on est arrivé au but. Ce projet nous a permis de maîtriser et de comprendre les différents types des bras robotiques. Sans omettre qu'on a pu renforcer et améliorer nos compétences dans le logiciel Catia. En ce qui concerne la partie modélisation on est arrivé à extraire des relations entre la position de l'effecteur du bras par rapport au repère de la base en fonction des angles d'articulation. Par addition on s'est adapté à utiliser le logiciel Aspert aussi que consolider l'exploitation des machines à commande numérique. Quant au côté technique, on a amélioré nos compétences sans dénier qu'on a appris coordonner nos efforts et à partager les connaissances et les savoir-faire de chacun en communiquant avec les autres groupes.

Annexe :

<https://github.com/zakariagaddi/zakariagaddi/projects/1>