

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
المركز الجامعي لعين تموشنت
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent
Institut de Technologie
Département de Génie Mécanique



Mémoire

Pour l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : génie mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

Conception mécanique d'un bras manipulateur à trois degrés liberté

Présenté Par :

- RAHIM KENZA
- MALAK AMARIA

Devant les jurys composés de :

OUHAD WAHID	Pr	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Président
AMIRAT MOHAMED	Dr	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
BAHRAM KADDOUR	Dr	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examineur



Formulaire de déclaration sur l'honneur Relatif à l'engagement pour respecter les règles d'authenticité scientifique dans l'élaboration d'un travail de recherche

(Annexe de l'arrêté n°933 du 28 juillet 2016 fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat)

Je soussigne, l'étudiant (e),

Rahim Kenza

Détenteur d'une carte d'étudiant N° 2847 délivrée le.....

Inscrit à l'institut de Technologie au niveau du département Génie Mécanique.

Et chargé de préparer un mémoire de fin d'étude en Master 2.

Intitulé : Conception mécanique d'un bras manipulateur à trois degrés liberté.

Déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques, et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requise dans l'élaboration du projet de recherche suscité.

À Ain-Temouchent le 15/09/2020

Signature de l'étudiant :



Formulaire de déclaration sur l'honneur Relatif à l'engagement pour respecter les règles d'authenticité scientifique dans l'élaboration d'un travail de recherche

(Annexe de l'arrêté n°933 du 28 juillet 2016 fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat)

Je soussigne, l'étudiant (e),

MALEK AMARIA

Détenteur d'une carte d'étudiant N° 15-T-10288 délivrée le.....

Inscrit à l'institut de Technologie au niveau du département Génie Mécanique.

Et chargé de préparer un mémoire de fin d'étude en Master 2.

Intitulé : Conception mécanique d'un bras manipulateur à trois degrés liberté.

Déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques, et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requise dans l'élaboration du projet de recherche suscité.

À Ain-Temouchent le 15/09/2020

Signature de l'étudiant :

Remerciements

Nous tenons à remercier en premier lieu « ALLAH » Le Tout

Quissant, Qui nous a donné la force, le courage et la volonté

pour mener à bien ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer notre gratitude à Monsieur Amirat mohamde pour son suivi.

Nos remerciements vont aussi à tous ceux qui ont contribué de

près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Grace à dieu tout puissant, nous dédions ce modeste travail à toutes les personnes qui nous ont aidés de loin à la réalisation de ce mémoire plus particulièrement :

À nos très chères parents, tout notre respect et affection en témoignage de leur soutien, sacrifice, patience, ainsi que pour leurs conseils et orientations dans notre vie.

À tous nos familles et nos très chers frères et nos sœurs.

À tous nos enseignants et à notre promotion de génie mécanique.

À tous ceux qui nous sont chères et à ceux qui ont contribué à notre formation.

Rahim Zenza

Dédicaces

Grace à dieu tout puissant, nous dédions ce modeste travail à toutes les personnes qui nous ont aidés de loin à la réalisation de ce mémoire plus particulièrement :

À nos très chères parents, tout notre respect et affection en témoignage de leur soutien, sacrifice, patience, ainsi que pour leurs conseils et orientations dans notre vie.

À tous nos familles et nos très chers frères et nos sœurs.

À tous nos enseignants et à notre promotion de génie mécanique.

À tous ceux qui nous sont chères et à ceux qui ont contribué à notre formation.

Amaria Malek.

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale 1

CHAPITRE I : Généralités sur les bras manipulateurs

I.1. Définitions générale..... 3

I.2. structure du bras manipulateur 4

I.3. Espace de travail 10

I.4. Classification de bras manipulateur 11

I.1. Domaines d'application du bras manipulateur..... 16

I.1. Domaines d'application du bras manipulateur..... 16

I. Conclusion 19

CHAPITRE II: Modélisation des bras manipulateurs

II. Introduction 21

II.1. Modélisation cinématique d'un bras manipulateurs à trois degrés de liberté..... 21

II.2. Coordonnées homogènes 22

II.2.1. Représentation d'un point..... 22

II.2.2. Représentation d'une direction 23

II.2.3. Représentation d'un plan 23

II.3. Transformations homogènes 23

II.3.1. Matrice de translation pure homogène..... 24

II.3.2. Matrice de rotation homogène 25

II.4. Méthode de Denavit-Hartenberg 27

II.5. Modèle géométrique 29

II.5.1. Modèle géométrique direct	21
II.5.2. Modèle géométrique inverse	30
II.6. Modélisation cinématique direct d'un bras manipulateurs à trois degré de liberté	30
II.7. Modèle cinématique inverse d'un bras manipulateurs à trois degré de liberté	38
II.8. Modèle dynamique.....	40
II.8.1.Modèle dynamique de Newton de la structure mécanique d'un bras	
Manipulateur rigide.....	41
II.9. Contraintes, déformations et états de charge d'un bras manipulateur	43
II. Conclusion.....	46
CHAPITRE III : Conception mécanique d'un bras manipulateur	
III. Introduction	47
III.1. Analyse Fonctionnelle	47
III.1.1. Analyse Fonctionnelle externe.....	48
III.1.1.1. Diagramme Bête à Cornes	48
III.1.1.2. Le diagramme pieuvre	48
III.1. Analyse Fonctionnelle interne	49
III.1.1. ..diagramme FAST	49
III.2. Cahier des charges fonctionnel.....	49
III.3. Présentation du produit	50
III.4. Le produit et son marche	51
III.1.1. Les objectifs	51
III.1.2. Problème de projet	51
III.1.3. Le Présentation générale du produit.....	52
III.5. Analyse Fonctionnelle externe d'un bras manipulateur	53
III.6. Analyse Fonctionnelle interne d'un bras manipulateur	55
III. Conclusion	57

CHAPITRE IV : Etude et conception

IV. Introduction.....	58
IV.1. Cahier de charge.....	58
IV.2. Choix des matériaux pour le bras manipulateur	58
IV.3. Analyse d'une pince robot	59
IV.4. Calculer la force d'un bras manipulateur	67
IV.5. Analyse statique d'un bras manipulateur	69
IV.5.1... Simulations dans l'ensemble colonne-base	69
IV.5.2. Simulations dans articulation du bras 1	72
IV.5.3. Simulations dans articulation du bras 2	75
IV.6. Calcul du Modélisation cinématique	78
IV.6.1. Calcul du Modélisation cinématique direct.....	78
IV.6.2. Calcul du Modélisation cinématique inverse.....	79
IV. Conclusion	80

CHAPITRE V : Fonctionnement électronique d'un bras manipulateur

V.1. Introduction	81
V.2. Le montage.....	81
V.3. Conception matérielle et logicielle.....	83
V.4. Réalisation de l'application Android	85
V.4.1. L'IDE Arduino.....	85
V.4.2. Explication du code Arduino	85
V.4.3. Utilisation des boutons	86
V.4.4. Schéma général	87
III. Conclusion	89
Références bibliographiques	90

Liste des tableaux

CHAPITRE II : Modélisation des bras manipulateurs

Tableau II.1. . Valeurs des paramètres D-H.....	35
Tableau II.2. État de contrainte en un point de tout solide soumis à une charge arbitraire.....	44

CHAPITRE III : Conception mécanique d'un bras manipulateur

Tableau III.1. Description des différents axes.....	53
Tableau III.2. Les fonctions principales et contraintes du diagramme Pieuvre d'un bras	
Tableau III.3. Le cahier des charges fonctionnel d'un bras.....	57

CHAPITRE VI : Etude et conception

Tableau VI.1. Montre certaines propriétés du polychlorure de vinyle.....	59
Tableau VI.2. Paramètres de conception d'un engrenage.....	61
Tableau VI.3. Les résultats de chargement.....	70
Tableau II.4. Résultats de déplacement.....	71
Tableau II.5. Résultats de SC.....	71
Tableau VI.6. Les résultats de chargement.....	72
Tableau II.7. Résultats de déplacement.....	73
Tableau II.8. Résultats de SC.....	74
Tableau VI.9. Les résultats de chargement.....	75
Tableau VI.10. Résultats de déplacement.....	75
Tableau VI.11. Résultats de SC.....	76
Tableau VI.12. Limites d'articulation.....	78
Tableau VI.13. Valeurs des paramètres D-H.....	79
Tableau VI.14. Résultat du calcul analytique du bras du bras manipulateur	80

CHAPITRE V : Conception mécanique d'un bras manipulateur.

Tableau V.1. Caractéristique de chaque servomoteur.....84

Liste des figures

CHAPITRE I: Généralités sur les bras manipulateurs

Figure I.1. Composition du bras manipulateur	5
Figure I.2. types d'Articula..	5
Figure I.3 Structure simple et fermée..	6
Figure I.4. Les différentes techniques pinces robotique.....	7
Figure I.5. La constitution d'une pince parallèle.....	8
Figure I.6. Représentation graphique des forces de contact Pour mâchoires en V avec 3-4 points de contact	9
Figure I.7. pince robotique.....	10
Figure I.8. Forme de structure et espace de travail d'un bras manipulateur.	11
Figure I.9. Propriétés des bras selon DDL.....	11
Figure I.10. Bras cartésien.	12
Figure I.11. Bras manipulateur sphérique	13
Figure I.12. Bras manipulateur SCARA.....	14
Figure I.13. Bras cylindrique.....	15
Figure I.14. Bras manipulateur parallèle.....	16
Figure I.5. Domaines d'application du bras manipulateur dans l'industrie.....	17
Figure I.16. Domaines d'application du bras manipulateur dans le médical..	17
Figure I.17. Domaines d'application du bras manipulateur dans militaire.....	18

CHAPITRE II : Modélisation des bras manipulateurs

Figure II.1. Cinématique directe et inverse..	21
Figure II.2. Représentation d'un point.....	23
Figure II.3. Transformation des repères.....	24

Figure II.4. Translation d'un repère.....	25
Figure II.5. Rotation autour de X_i	26
Figure II.6. Rotation autour de Y_i	26
Figure II.7. Rotation autour de Z_i	27
Figure II.8. Chaîne cinématique d'un bras série.....	27
Figure II.9. Paramètres géométriques dans le cas d'une structure ouverte simple.....	28
Figure II.10. Numérotation des liens, D.H.....	31
Figure II.11. Numérotation des articula, D.H.....	31
Figure II.12. Emplacement rotation des axes dans les articulations, D.H.....	32
Figure II.13. Emplacement de z_i , D.H.....	32
Figure II.14. Localisation de l'origine du système, D.H.....	33
Figure II.15. Positionnement du Z_i	33
Figure II.16. Positionnement du système S_n , D.H.....	34
Figure II.17. Détermination de θ_i , D.H.....	35
Figure II.18. Détermination de d_i , D.H.....	35
Figure II.19. Schéma d'un bras manipulateur à 3DDL.....	38
Figure II.20. Paramètres de bras haut et bas.....	39
Figure II.21. Le Couple pour un bras manipulateur.....	42
Figure II.22. le couple à chaque articulation.....	42
Figure II.23. État de contrainte en un point de tout solide soumis à une charge arbitraire..	44
Figure II.14. État de contrainte en un point de tout solide soumis à une charge arbitraire.....	45

CHAPITRE III : Conception mécanique d'un bras manipulateur

Figure III.1. Analyse fonctionnelle.....	47
Figure III.2. Diagramme exprimant la lecture du FAST.....	49
Figure III.3. Processus de palettisation.....	50

Figure III.4. Un bras manipulateur qui déplace les canettes.	51
Figure III.5. Un bras manipulateur à trois degrés de liberté qui déplace les canettes.	52
Figure III.6. Mouvements possibles des différents axes du bras.....	52
Figure III.7. Diagramme Bête à Corne exprimant le besoin d'un bras manipulateur.....	53
Figure III.8. Le diagramme Pieuvre du système en phase conception.	54
Figure III.9. Diagramme FAST de la fonction principale.....	55

CHAPITRE IV : Etude et conception

Figure IV.1. Une pince robot.....	59
Figure IV.2. Caractéristiques des engrenages droits à denture droite	60
Figure IV.3. Engrenages de pince robot.	62
Figure IV.4. Essais avec pince mécanique.	62
Figure IV.5 Les forces agissant sur la boîte en carton.....	63
Figure IV.6. Les forces exercées dans la pince avec l'ouverture minimale.....	64
Figure IV.7. Les forces exercées dans la pince avec l'ouverture maximale	66
Figure IV.8. La force est appliquée au bras du manipulateur.	67
Figure IV.9. Schéma de force du lien CB.....	68
Figure IV.10. base de colonne en PVC. Distribution des contraintes de Von Mises.....	70
Figure IV.11. Simulation base de colonne -Déplacements-Displacement.....	71
Figure IV.12. Le zone de ou le coefficient de Sécurité (cs) et inférieure de1	72
Figure IV.13. Courbe graphique base de colonne en PVC.....	72
Figure IV.14. Articulation du bras 1en PVC. Distribution des contraintes de Von Mises. ..	73
Figure IV.15. Simulation articulation du bras 1 -Déplacements-Displacement.	73
Figure IV.16. Le zone de ou le coefficient de Sécurité (cs) et inférieure de1.....	74

Figure IV.17. Courbe graphique articulation du bras 1 en PVC. Nombre de boucles vs effort maximal (à gauche) et nombre de boucles vs nombre de nœuds (à droite).....	74
Figure IV.18. Articulation du bras 2 en PVC. Distribution des contraintes de Von Mises.....	75
Figure IV.19. Simulation articulation du bras 2 -Déplacements-Displacement.....	76
Figure IV.20. Le zone de ou le coefficient de Sécuré (cs) et inferieur de1.....	77
Figure IV.21. Courbe graphique articulation du bras 2 en PVC. Nombre de boucles vs effort maximal (à gauche) et nombre de boucles vs nombre de nœuds (à droite).....	77
Figure IV.22. Espace de travail d'un simple bras robotique 3DOF.....	78

CHAPITRE V : Fonctionnement électronique d'un bras manipulateur

Figure V.1. Base du bras	81
Figure V.2. Dessous de l'épaule.	81
Figure V.3. Base et épaule du bras.....	81
Figure V.4. Pince du bras	82
Figure V.4. Assemblage complet du bras manipulateur.	82
Figure V.6. Carte Arduino UNO.....	83
Figure V.7. Composition d'un servo moteur.....	84
Figure V.8. Logo Arduino.	85
Figure V.9. Fenêtre Logo Arduino.....	86
Figure V.10. Schéma branchement boutons	87
Figure V.11. Schéma final du montage.	88
Figure V.12. Bras manipulateur et sa carte de commande.....	88

Liste des abréviations

Abréviation	Signification
DDL	degrés de liberté
D-H	DENAVET- HARTENBERG
ISO	International Standard Organisation
Trans	translation
PPP	Trois liaisons prismatiques
PRP	Une liaison prismatique, une liaison rotoïde, une liaison prismatique
3R	Trois liaisons rotoïdes
Rot	rotation
RPP	une liaison rotoïde et deux liaisons prismatiques
SCARA	Sélective Compliance Assembly Robot Arm
SMA	Structure Mécanique Articulée
USB	Universel Serial Bus

Liste des symboles

Symbole	Signification	Unité
L	Longueur	[<i>mm</i>]
Mc	Couple du moteur	[<i>N. m</i>]
Fg	force de serrage sur un doigt seulement	[<i>N</i>]
Fr	la force d'adhérence aux contacts doigts-pièce	[<i>N</i>]
P	le poids de la pièce	[<i>Kg</i>]
M	la masse	[<i>Kg</i>]
Rr	la rupture par traction	[<i>MPa</i>]
E	limite élastique	[<i>MPa</i>]
μ	le facteur de frottement	[.]
T_j^i	La matrice de transformation	[.]
Z	Nombre de dents	[.]
D	Diamètre primitif	[<i>mm</i>]
P	Pas primitif	[<i>mm</i>]
ε	Déformation	[%]

Introduction générale

Le développement dans le domaine de la robotique a été poussé en premier lieu par une motivation d'imitation des capacités basiques de l'être humain, afin de lui faciliter les tâches difficiles et répétitives dans le domaine de l'industrie, telles que le soulèvement de pièces lourdes, serrage, découpage, assemblage, etc. Les premiers robots furent alors des robots à structure série simple : La structure mobile articulée est une chaîne ouverte formée d'une succession de segments reliés entre eux par des liaisons à un seul degré de liberté.

Les robots manipulateurs sont les plus utilisés dans les systèmes industriels, car ils sont flexibles permettent d'augmenter la productivité, réduire les coûts de production et améliorer la qualité de la production. Nous retrouvons également ce type de robots dans les hôpitaux où ils assistent l'être humain dans des procédures chirurgicales difficiles ainsi que dans des milieux qui lui sont hostiles, tel que dans des pièces à températures très élevée ou radioactive. Ils ont également fait leurs preuves dans des domaines tels que l'agriculture, la construction, l'exploitation des fonds marins ou de l'espace. Commander un robot manipulateur consiste à lui permettre d'atteindre un état désiré ou de réaliser une tâche bien spécifique avec une grande précision dans un environnement réel. Le but de notre travail consiste en la conception et la réalisation d'un robot de type bras manipulateur à trois degrés de liberté en utilisant des servomoteurs permettant ainsi au bras manipulateur de se déplacer avec une grande précision.

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

Le chapitre I : Le premier chapitre est une étude bibliographique dédiée au contexte de l'étude. Il contient deux parties. La première est consacrée à la description des robots en milieux hostiles et l'architecture des bras manipulateurs. La deuxième partie se focalise sur les pinces en industrie manufacturière.

le chapitre II : nous étudions la représentation matricielle de la translation et de la rotation d'un système de coordonnées par rapport à un système de coordonnées à la fois dans le plan et dans l'espace. De plus, la représentation matricielle est étudiée lorsqu'il y a des mouvements composés. une introduction au problème de la

cinématique directe est présentée, ainsi qu'au problème de la cinématique inverse. Les méthodes existantes pour résoudre chacun d'entre eux sont également étudiées.

Chapitre III : il y a l'étude préliminaire du projet qui consiste à bien définir le besoin, identifier les ressources et élaborer le planning du projet ; présente les différentes phases de l'analyse conceptuelle qui Permettent de recenser, caractériser et ordonner les fonctions de la machine afin de construire l'arbre fonctionnel et d'identifier les sous-systèmes du projet.

Chapitre IV : Le but de notre travail est de procéder à l'ingénierie inverse des trois bras manipulateurs DOF. A cet effet, il sera consacré à la conception des différentes pièces de ce bras avant de passer à l'assemblage. La conception mécanique de ces pièces sera réalisée par des outils informatiques CAO dans ce cas nous utiliserons Solidworks2017. Beaucoup d'analyses de stress. Calcul du couple et des forces et modélisation de la cinématique des bras.

Chapitre V: aborde l'étude pratique qui explique la conception et fonctionnement électronique d'un bras manipulateur. En se basant sur les connaissances et les informations des chapitres précédents, on a conçu un bras manipulateur à trois degrés de liberté de rotation. Sa structure et Les dimensions des trois parties constituant notre bras manipulateur: base, bras et l'avant bras sont données . Le système actionneur utilisé pour notre bras est composé : des servomoteurs responsable de faire tourner le corps du bras manipulateur

Le mémoire se termine par une conclusion sur cette étude avec les perspectives qui peuvent suivre. Dans l'annexe on présente le schéma de la carte arduinomega et la carte de puissance et les dimensions de notre servomoteurs.

Chapitre I

Généralités sur les bras manipulateurs

I. Introduction

Le bras manipulateur est l'un des principaux axes du progrès scientifique et technique, et il consiste à automatiser de nombreux secteurs de l'activité humaine afin d'augmenter la productivité et la capacité à travailler dans des zones à haut risque (Démantèlement nucléaire, déminage ... etc.).

Ce chapitre est généralement destiné au domaine de la robotique. Premièrement, on va définir le bras, qui est généralement contribue à l'industrie et son impact sur la production tout en donnant des exemples de certains bras de manipulation industriels.

I.1. Définitions générale

Définitions d'un robot : un robot manipulateur multifonctionnel asservi, reprogrammable et automatique, est capable de positionner et d'orienter des pièces, des outils ou des dispositifs spéciaux, suivant des trajectoires variables reprogrammables, pour l'exécution de diverses tâches. Il a la forme d'un ou de plusieurs bras se terminant par un poignet. Son unité de contrôle comprend un dispositif de mémoire et occasionnellement pour la perception de l'environnement. Son utilisation est d'effectuer une tâche de façon cyclique, en étant capable de s'adapter à une autre sans changements permanents de son dispositif. [1]

Définitions d'un bras manipulateur : Ce sont des systèmes mécaniques multifonctionnels, avec un système de contrôle simple qui leur permet de gouverner leurs mouvements. Il se compose d'une série de liens reliés par différentes articulations. Le mouvement des articulations implique le mouvement des liens qui y sont connectés. Le mouvement de l'articulation est effectué au moyen d'un mécanisme d'actionneur, cet actionneur peut connecter 2 liens directement ou par le biais d'autres mécanismes qui fournissent généralement un gain de couple ou une force appliquée. [1]

Définitions des degrés de liberté : Les degrés de liberté (DDL) d'un bras sont déterminés à partir de la somme de tous les mouvements indépendants que peuvent réaliser les articulations qui le composent. Ils sont généralement équivalents au nombre d'articulations qui permettent un seul mouvement, comme les paires cinématiques qui seront discuté dans ce chapitre. Un plus grand nombre de DDL

conduit à une augmentation de la flexibilité du positionnement de l'élément fini, c'est pourquoi la plupart des applications industrielles nécessitent six degrés de liberté comme le soudage, l'usinage, etc....

Pour déterminer le nombre DDL d'un mécanisme tridimensionnel en cinématique conventionnelle, le critère de Gruebler est utilisé, ce dernier présente l'analyse des liens et des articulations.[2]

$$\mathbf{DDL} = s(\mathbf{r} - \mathbf{p} - 1) + \sum_i^p \mathbf{n}_i \quad (\mathbf{I.1})$$

S : dépend du repère de l'espace de travail. Pour les mécanismes dans le plan

$s = 3$ et pour les mécanismes dans l'espace ce $s = 6$.

r : nombre de liens.

p : le nombre de joints.

\mathbf{n}_i : Le degré de liberté relatif de chaque articulation.

DDL : sont les degrés de liberté de l'ensemble du mécanisme.

I.2. structure du bras manipulateur

Mécaniquement, les bras manipulateurs sont constitués d'une série d'éléments ou connecteurs attachés aux articulations qui permettent le mouvement relatif entre les liaisons successives. La conception physique du bras est très similaire au bras humain, il est donc courant d'utiliser des termes anatomiques pour définir des parties spécifiques.

Les éléments les plus importants dont est composé un bras manipulateur sont les suivants :



Figure I.1 : composition du bras manipulateur.

1. **Structure:** composée des différents liens et paires cinématiques qui donnent le corps du manipulateur.
2. **Articulacion** : les bras de manipulation sont constitués d'articulations reliées aux éléments qui forment une chaîne cinématique. Les articulations sont généralement rotatives ou prismatiques. La figure I.2 illustre la représentation graphique que nous Utiliserons pour ces deux types d'articulation:
 1. Articula Prismatique (P) où le mouvement relatif des liens est linéaire.
 2. Articula Rotation (R) où le mouvement relatif des liens est rotationnel.
 3. Il existe également un troisième type d'articulation appelé Sphérique (S), qui représente une combinaison de trois articulations tournantes avec le même point de rotation.

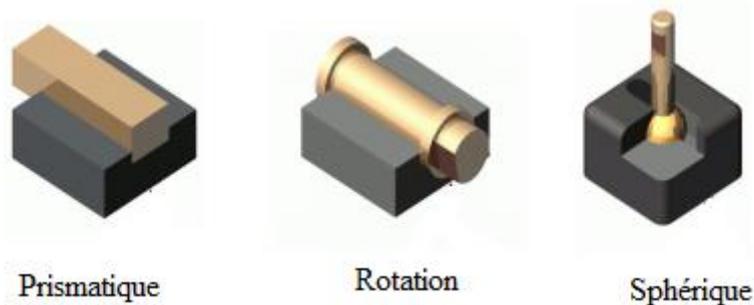


Figure I.2 : types d'Articula.

2.1 Structure mécanique articulée

Partant d'un corps de référence pour former la base d'un manipulateur, les corps à paires bilatérales peuvent formuler la structure mécanique du robot ensemble dans une variété de styles. La structure de formation de chaîne cinématique est l'étude du statut interactif des différents maillons et articulations de la chaîne, et de la façon dont ils se rapportent les uns aux autres. Cette fonctionnalité a un impact majeur sur les performances de son système [3]

La structure mécanique articulée du manipulateur peut être classée en deux groupes :

- La Structure mécanique articulée à chaîne cinématique simple : se caractérise par le fait que tous les liens et articulations qui sont connectés en ligne, c'est-à-dire que chaque corps dans les chaînes cinématiques n'est connecté qu'aux deux éléments voisins. [3]
- Structure mécanique articulée à chaîne cinématique fermée : la connectivité dans ce type de structure est que les corps ne peuvent pas être numérotés dans l'ordre car certains liens sont impliqués dans plus de deux paires cinématiques. Pour le décrire, il faut utiliser le concept de graphe comme le montre la figure I.3 suivantes. [3]

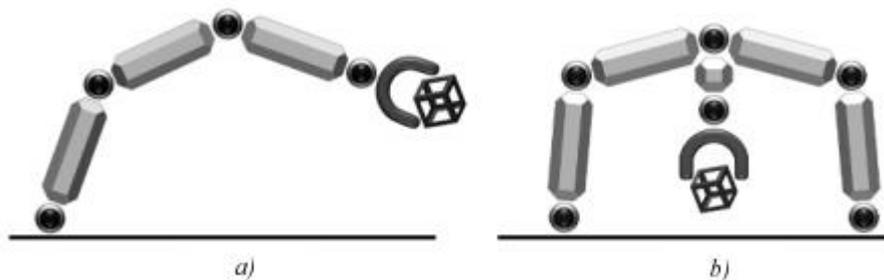


Figure I.3 : Structure simple et fermée.

3. pinces

Les pinces sont des composants connectés à l'extrémité du bras, c'est-à-dire connectés au dernier maillon du manipulateur, et qui a des fonctions supplémentaires (saisir ou tenir un objet, ou même un appareil avec des fonctions supplémentaires plus spécifiques). La pointe ou l'effecteur terminal peut être une pince ou un outil.

3.1. Les différentes techniques des pinces robotique

On peut les classer en fonction du type de déplacement des doigts.

- 1- Fermeture sans serrage.
- 2- Uniquement par serrage.
- 3- les ventouses pneumatiques.
- 4- les ventouses magnétiques.
- 5- Fixation avec couche d'adhérence.

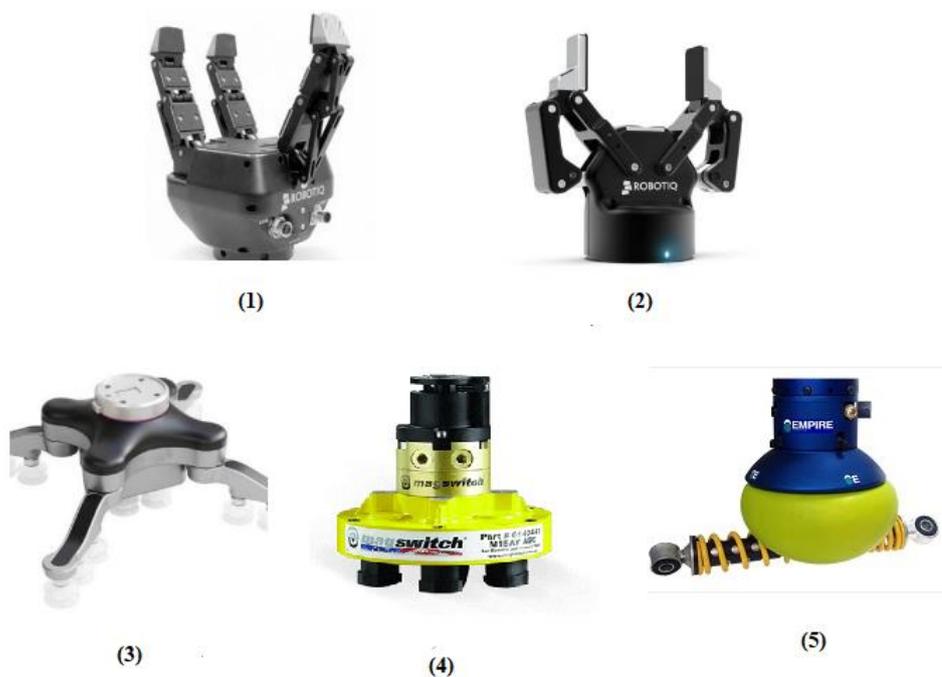


Figure I.4 : Les différentes techniques pinces robotique.

3.2. Structure d'une pince

Une pince est largement utilisée dans l'industrie manufacturière, ça forme dépend de l'élément à saisir et l'environnement dans lequel agit. Elle est généralement composée des éléments présents dans la figure I.5 [4]:

1 : Corps de la pince.

2 : Mâchoires.

3 : Mors.

4 : Rainure de capteur.

5 : F = force de serrage sur un doigt seulement.

6 : l'élément à saisir.

7 : L = distance entre le centre de gravité de la charge et la surface de référence.

8 : C = course d'un doigt.

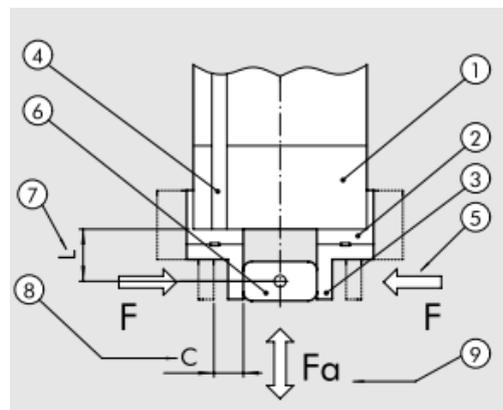


Figure I.5 : La constitution d'une pince parallèle.

3.3. Le dimensionnement des pinces

Dans le cas d'un mouvement ascendant, la force G due au poids et la force due à l'inertie FG à étuvent être compensées par les forces de frottement FR . Pendant le mouvement vers le bas, la force d'inertie agit en s'opposant à la force en raison du poids et rend la pièce vraiment "plus légère". Cependant, pendant la phase de freinage, une force de décélération est produite. Dans le cas de mouvements latéraux, la force d'inertie est absorbée par la forme des mâchoires, qui ne nécessitent pas de force de friction supplémentaire. [5]

Si l'on fait l'hypothèse que la pince est statique ou se déplace la vitesse constante dans une direction quelconque, l'équation d'équilibre de la pièce est donnée comme suit :

$$P = 2.F_R = 2.F_R.\mu \tag{I.2}$$

D'où

$$F_G = M.G / \mu. 2 \tag{I.3}$$

On peut dire que la force de serrage minimum nécessaire est :

$$F_G = M. (g + a).S / \mu.n \tag{I.4}$$

Avec:

F_G : la force de serrage développée par la pince.

n : le nombre de mors en contact avec la pièce.

M : la masse de la pièce.

g :

μ : le facteur de frottement.

P : le poids de la pièce.

F_R : la force d'adhérence aux contacts doigts-pièce.

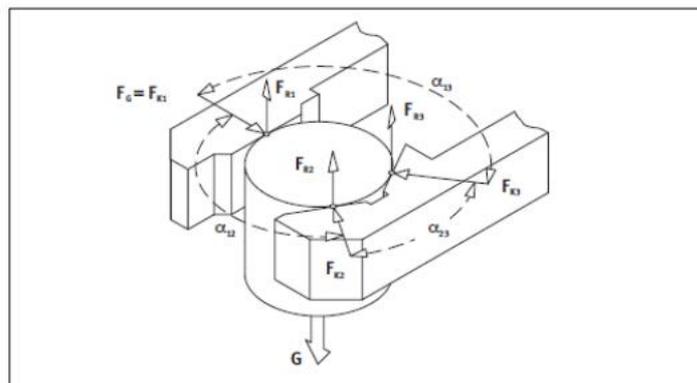


Figure I.6 : Représentation graphique des forces de contact

Pour mâchoires en V avec 3-4 points de contact.

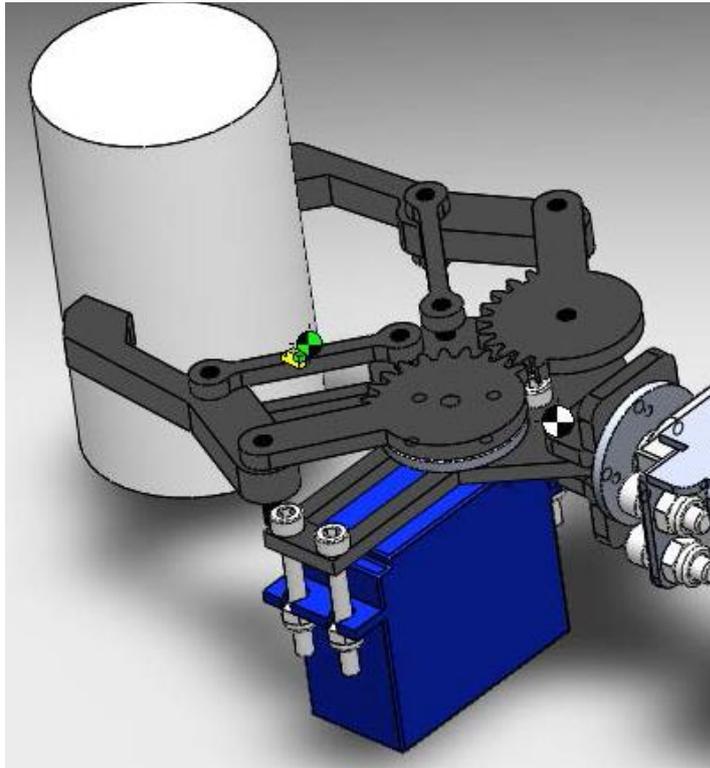


Figure I.7 : pince robotique.

I.3.Espace de travail

L'espace de travail est également appelé la taille accessible et est l'ensemble des points que le périphérique d'un bras manipulateur peut atteindre.

En raison des différentes paires de mouvements entre les barres, un bras manipulateur peut être divisé en un bras manipulateur à coordonnées rectangulaires, un bras manipulateur à coordonnées cylindriques et un bras manipulateur à coordonnées sphériques. La figure I.8 montre le diagramme de base du squelette, le diagramme et l'espace de travail pour tous les bras de puits de lumière.

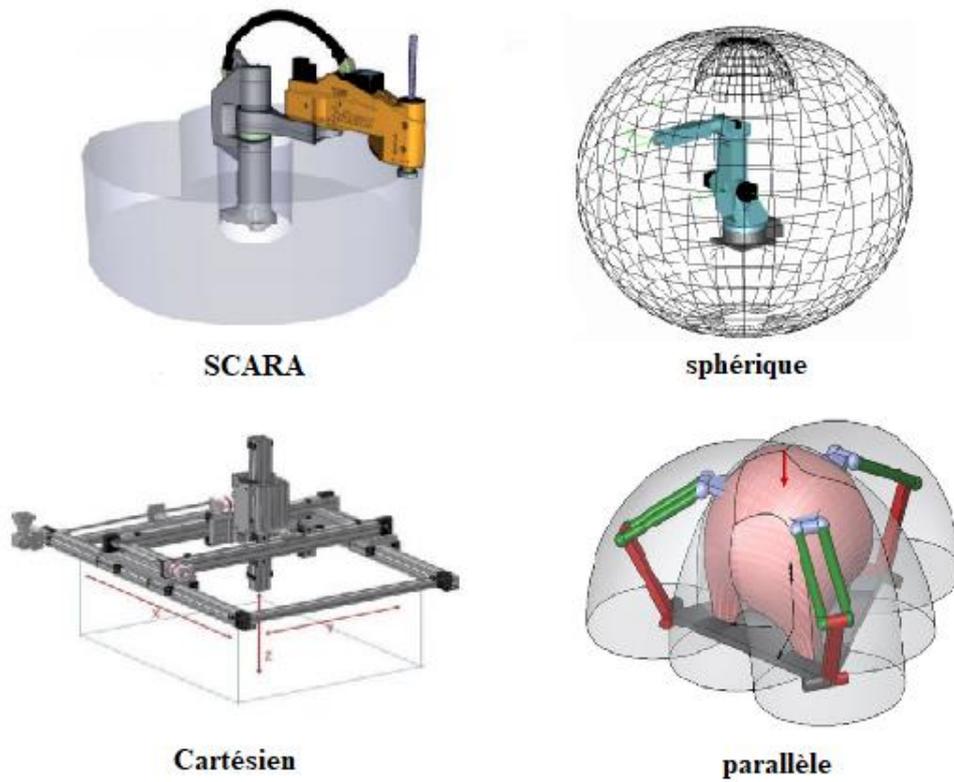


Figure I.8: Forme de structure et espace de travail d'un bras manipulateur.

I.4. Classification de bras manipulateur

La plupart des manipulateurs industriels ont aujourd'hui six degrés de liberté. Ces manipulateurs sont généralement classés selon le nombre d'axes ou degrés de liberté

(DDL) bras à 6 axes 7 axes à 20 axes.

(6 DDL)	(7 DDL)	(20 DDL)	(nombre infini de DDL)
			

Figure I.9: Propriétés des bras selon DDL.

Ou plus et classés cinématiquement en fonction des articulations du bras. La plupart de ces manipulateurs appartiennent à l'un des cinq types géométriques suivants:

- Cartésien
- Cylindrique
- SCARA
- sphérique
- parallèle

1. Bras cartésiens : Les trois premières articulations sont prismatiques (3D ou PPP). Cette configuration est fréquemment utilisée dans les structures industrielles, telles que les portiques, et pour le transport de charges volumineuses. La spécification de la position d'un point se fait à l'aide des coordonnées cartésiennes (x, y, z). Il a une accessibilité réduite, son volume de travail est cubique. Un exemple du bras manipulateur cartésien est illustré à la figure I.10.



Figure I .10: bras cartésien.

➤ **Avantages**

- Structure simple.
- pas de couplage dans les mouvements X, Y et Z, ce qui convient à la conception du système de contrôle.
- Vitesse de déplacement linéaire rapide, précision de positionnement élevée et bonnes performances de barrière.

➤ **Inconvénients et problèmes**

- un petit groupe de mouvement et une faible flexibilité.
- la structure du rail de guidage est plus compliquée, l'entretien est plus difficile, la surface exposée du rail de guidage est grande et il est préférable de fermer le joint tournant.
- Grande taille de structure et grand espace au sol.

2. **Bras manipulateur sphérique** :(trois axes linéaires RRP): ils ont un axe linéaire et deux axes de rotation ce qui revient à dire qu'ils ont 2 paires cinématiques tournantes et un bras prismatique. Il est important de savoir que ce robot a un excellent volume de travail.



Figure I .11: bras manipulateur sphérique.

➤ **Avantages**

- Structure compacte avec un faible encombrement.
- Bonne flexibilité, bonne position de portée de main et meilleures performances de barrière.
- Aucun joint mobile, bonnes performances d'étanchéité des joints, faible friction et petite inertie.
- Faible force motrice commune et faible consommation d'énergie.
- Lorsque l'avant-bras et sont étirés, la structure d'un bras manipulateur présente une meilleure rigidité.

➤ **Inconvénients et problèmes**

- Il y a un problème d'équilibre pendant l'exercice et il y a un couplage dans le contrôle.
- nécessite un contrôle plus sophistiqué.
- la répétabilité et la précision sont également plus faibles dans le sens du mouvement rotatif.

3. **Bras manipulateur SCARA** : Ce manipulateur se caractérise par 2 paires cinématiques tournantes par rapport à 2 axes parallèles, l'autre paire est une paire prismatique perpendiculaire au plan comme le montre la figure suivante :



Figure I .12 : bras manipulateur SCARA.

➤ **Avantages**

- sont parfaits pour les applications qui nécessitent une vitesse élevée et des mouvements point à point répétitifs.
- largement utilisé dans les opérations d'assemblage Le mouvement spécial d'effecteur d'extrémité fait SCARA idéal pour les tâches qui nécessitent un mouvement et des accélérations uniformes dans une forme circulaire.

➤ **Inconvénients et problèmes**

- Les inconvénients des SCARA sont que l'enveloppe de travail a tendance à être difficile à contrôler, ainsi qu'une couverture de volume restreinte. Les SCARA sont grands, ils utilisent donc beaucoup d'espace libre. Parce qu'ils nécessitent beaucoup d'espace, les SCARA ne peuvent pas être utilisés pour

charger des machines de presse ou pour des applications d'insertion et de récupération.

- 4. Bras manipulateur cylindrique :** (trois axes linéaires RPP) le bras manipulateur cylindrique est le bras de type à coordonnées cylindriques à deux articulations mobiles et une articulation tournante. La position de l'axe d'installation de l'effecteur terminal est représentée par des coordonnées (z, r, θ) . Son corps principal a trois degrés de liberté : rotation de la taille, mouvement de levage et mouvement du bras télescopique.



Figure I .13: bras cylindrique.

➤ **Avantages**

- Précision de contrôle élevée.
- contrôle simple et structure compacte
- deux axes linéaires permettent une conception plus simple

➤ **Inconvénients et problèmes**

- En raison de la structure du corps, le bras ne peut pas atteindre le fond, plus il y a de manipulateur à l'autre extrémité de l'axe z, ce qui réduit la portée du travail du robot, plus la résolution de son mouvement transversal est précise et faible.

5. **Bras manipulateur parallèle** : ce bras manipulateur composés de plusieurs segments articulés qui composent ensemble une chaîne cinématique fermée.



Figure I.14: bras manipulateur parallèle.

➤ **Avantages**

- Le premier de ces avantages est un rapport charge l'utile/masse du robot très élevé. En effet, la charge est distribuée sur les segments qui sont de plus sollicités en compression.
- Le deuxième avantage est la précision : contrairement aux architectures sérielles, les erreurs de mesure sur les capteurs internes ont une influence faible sur l'erreur de positionnement de la plate-forme.

➤ **Inconvénients et problèmes**

- Dexterité cinématique limitée.

I.5. Domaines d'application du bras manipulateur

Application d'un bras manipulateur très polyvalent, de l'industrie automobile à l'industrie alimentaire ; le travail réalise différents types tels que les convoyeurs, alimentations d'outils, outils, soudage, assemblage de pièces, traitements thermiques et plus encore. Voici une série d'applications :

➤ **Domaines industriels**

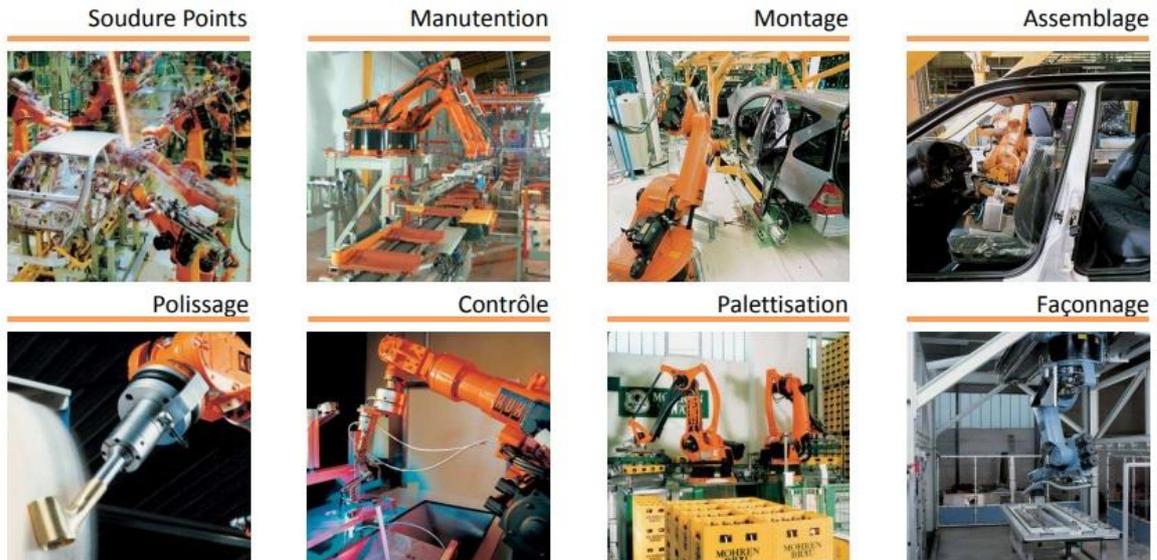


Figure I .15: Domaines d'application du bras manipulateur dans l'industrie.

➤ Domaines médical

Les manipulateurs commencent à être de plus en plus dans le domaine médical. Ces robots ne sont pas complètement autonomes, mais ils assistent les médecins ou chirurgiens, jusqu'à permettre des opérations médicales à distance. Cette pratique de chirurgie assistée est émergente donc bien que peu répandue, elle est en phase de devenir la chirurgie du futur. [6]



Figure I .16: Domaines d'application du bras manipulateur dans le médical.

➤ **Domaine militaire**

C'est des bras mobiles autonomes ou télécommandés conçus pour des applications militaires, du transport à la recherche et au sauvetage, en passant par l'attaque, la détection de bombes et les radiations nucléaires.



Figure I .17: Domaines d'application du bras manipulateur dans militaire.

➤ **Autres domaines**

- Nucléaire.
- Manipulation des produits radioactifs et Spatial.
- Exploration des planètes.
- Forage.
- Musique.
- Dessin.

I. Conclusion

Aujourd'hui, la définition d'un bras manipulateur n'est pas due au besoin humain de répéter les mouvements humains, mais au besoin de l'industrie. De plus, le développement d'un bras manipulateur nécessite plusieurs mises à jour.

Dans ce chapitre, nous avons donné une idée générale d'un bras manipulateur, qui est la définition des robots et des manipulateurs, leurs structures, leurs classifications et domaines d'application, la formation de la pince et leurs classifications, et cela nous aidera à construire notre bras manipulateur qui respectera les classifications et définitions incluses dans cette catégorie.

Le chapitre suivant décrit les différentes étapes de la fabrication d'un bras manipulateur DDL. Nous nous concentrerons sur l'étude cinétique et la modélisation.

Chapitre II

Modélisation des bras manipulateurs

II. Introduction

Dans ce chapitre, nous aborderons la partie théorique du mouvement d'un bras manipulateur où la représentation de la matrice de translation et de la rotation du repère par rapport au repère dans le plan et dans l'espace est étudiée. De plus, la représentation de la matrice sera étudiée dans le cas de mouvements complexes. Une introduction au problème de la cinématique directe est fournie, ainsi qu'au problème de la cinématique inverse. Les méthodes actuelles de résolution de chacun d'entre eux couvrant la modélisation d'un bras manipulateur sont étudiées, et le problème de la cinématique directe est traité par les méthodes Denavit-Hartenberg.

.Ensuite, nous étudierons le modèle dynamique Distribution des contraintes de Von Mises distribution de la zone de ou le coefficient de Sécuré la distribution des contraintes de Von Mises là où la contrainte est maximale.

II.1. Modélisation cinématique d'un bras manipulateurs à trois degrés de liberté

Dans cette section, nous analyserons le mouvement du robot par rapport à un système de référence situé à la base. Nous obtiendrons une description analytique du mouvement spatial, et en particulier, de la position et de l'orientation de l'extrémité extrême du bras. Nous avons deux problèmes à résoudre concernant la cinématique du bras manipulateur :

- Cinématique directe : déterminer la position et l'orientation de l'extrémité du bras, par rapport à un système de coordonnées de référence.
- Cinématique inverse : déterminer la configuration à adopter du bras pour une position finale et une orientation connues.

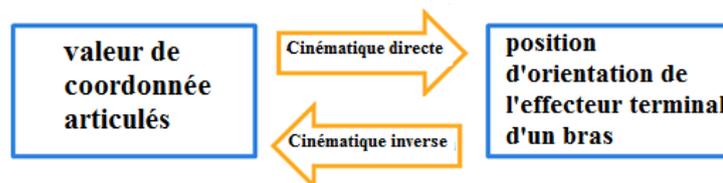


Figure II.1 Cinématique directe et inverse.

Pour résoudre le premier problème, l'algorithme Denavit-Hartenberg sera utilisé. De cette façon, la position de l'extrémité du bras est obtenue à partir des valeurs d'angle. Pour résoudre le problème de la cinématique inverse, la méthode de matrice de transformation homogène sera adaptée. Ainsi, les différentes valeurs de l'angle des axes des manipulateurs pour arriver

à positionner son extrémité à un point dans l'espace défini par l'utilisateur.

Pour obtenir le modèle cinématique, différents moyens sont disponibles, comme ils suit:

- **Matrices de transformation homogènes:** au moyen de matrices, représentent les rotations et les traductions qui existent tout au long de la chaîne cinématique complète.
- **Méthode géométrique:** cette méthode recherche autant de relations que sont nécessaires pour obtenir l'emplacement et position de l'effecteur terminal.

II.2. Coordonnées homogènes

C'est un outil mathématique permettant de calculer un changement de base en une seule opération matricielle. Pour cela on rajoute une 4^{ème} coordonnée.

II.2.1. Représentation d'un point

Soit P un point de coordonnées cartésiennes p_x, p_y, p_z (figure II.2). On appelle coordonnées homogènes du point P les termes $W_{P_x}, W_{P_y}, W_{P_z}$ et w où W est un facteur d'échelle, égal à

$W=1$ en robotique. On représente alors les coordonnées homogènes d'un point par le vecteur [7]:

$$P = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.1})$$

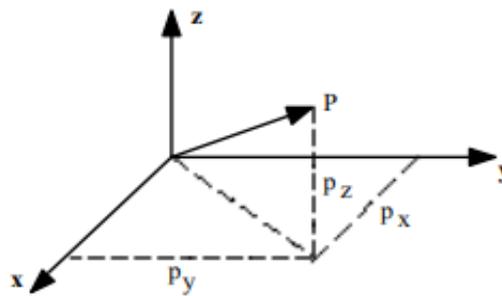


Figure II.2. Représentation d'un point.

II.2.2. Représentation d'une direction

La représentation d'une direction (vecteur libre) se fait aussi par quatre composantes, mais le quatrième est nul, indiquant un point à l'infini. Si l'on note u_x, u_y, u_z les coordonnées cartésiennes d'un vecteur unitaire u , en coordonnées homogènes on écrit [8]

$$U = \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \\ 0 \end{bmatrix} \tag{II.2}$$

II.1.3. Représentation d'un plan

Le plan $\alpha_x + \beta_y + \gamma_z + \delta = 0$ est représenté par une vectrice ligne Q . [8] :

$$Q = [\alpha \quad \beta \quad \gamma \quad \delta] \tag{II.3}$$

Pour tout point P appartenant au plan Q le produit matriciel $Q p$ est nul :

$$Qp = [\alpha \quad \beta \quad \gamma \quad \delta] \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{bmatrix} \tag{II.4}$$

II.3. Transformations homogènes

Pour transformer (translation ou rotation) un repère R_i et l'amener dans un autre repère R_j on fait appel à une matrice dite matrice de transformation homogène ou bien matrice de passage homogène notée T_{ij} . Soit le repère R_j défini par trois vecteur unitaires a_j, b_j, c_j et son origine P_j . [9]

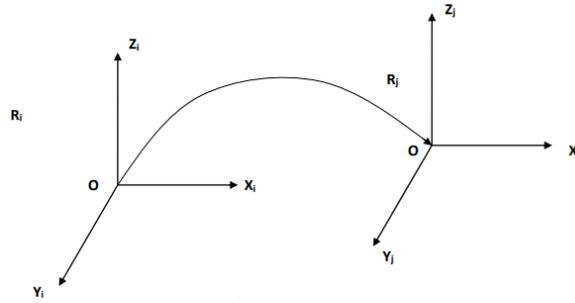


Figure II.3: Transformation des repères.

Les coordonnées des vecteurs unitaires et de l'origine du repère R_j dans le repère de base R_i sont respectivement données comme suit [10] :

$$a_j^i = \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} \quad b_j^i = \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix} \quad c_j^i = \begin{bmatrix} c_x \\ c_y \\ c_z \end{bmatrix} \quad p_j^i = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} \quad (\text{II.5})$$

La matrice de transformation homogène est donnée comme suit :

$$T_j^i = \begin{bmatrix} a_x & b_x & c_x & p_x \\ a_y & b_y & c_y & p_y \\ a_z & b_z & c_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.6})$$

La matrice de transformation géométrique, homogène, possède quatre autres termes en plus des rotations et translation formant la dernière ligne. Pour ce travail, cette ligne aura des cofacteurs représenté par [0 0 0 1].

II.3.1. Matrice de translation pure homogène

Soit Tr (a, b, c) une transformation qui désigne la translation a, b, et c le long des axes x_i , y_i , et z_i respectivement. Considérons une translation composée de

- d'une translation a selon l'axe x_i .
- d'une translation b selon l'axe y_i .
- d'une translation c selon l'axe z_i .

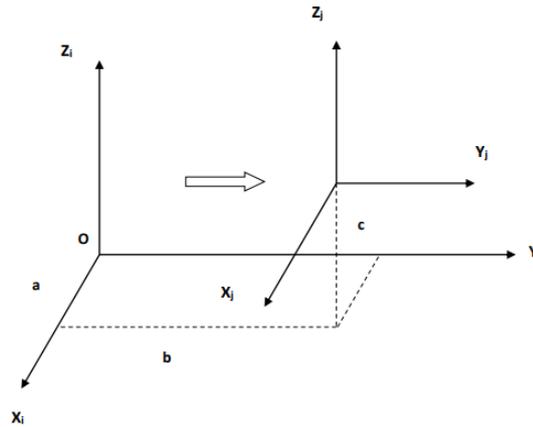


Figure II.4: Translation d'un repère.

Cette translation est exprimée par :

$${}^i_jT = \text{Transe}([x, a]) * \text{Transe}([y, b]) * \text{Transe}([z, c])$$

$${}^i_jT = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & c \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.7})$$

II.3.2. Matrice de rotation homogène

Soit $\text{Rot}(x, \theta)$ cette rotation. On déduit de la figure 2.6 les composantes des vecteurs unitaires ${}^i_ja, {}^i_jb, {}^i_jc$ portés respectivement par les axes x_j, y_j et z_j du repère R_j et exprimés dans R_i . Si l'on note $S\theta$ et $C\theta$ les sinus et cosinus de θ respectivement, elles s'écrivent :

$$\left\{ \begin{array}{l} {}^i_ja = [1 \ 0 \ 0 \ 0]^T \quad (\text{II.8}) \\ {}^i_jb = [0 \ C\theta \ S\theta \ 0]^T \quad (\text{II.9}) \\ {}^i_jc = [0 \ -S\theta \ C\theta \ 0]^T \quad (\text{II.10}) \end{array} \right.$$

L'exposant T désignant la transposition. On obtient alors :

$${}^i_j T = \text{Rot}(x, \theta) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C\theta & -S\theta & 0 \\ 0 & S\theta & C\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.11})$$

Faisons subir au repère R_i une rotation Θ autour de l'axe X

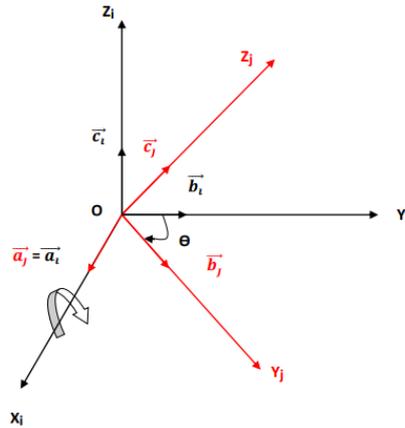


Figure II.5: rotation autour de X_i .

La matrice de transformation de rotation autour de l'axe Y notée $\text{Rot}(y, \Theta)$ est donnée par :

$${}^i_j T = \text{Rot}(y, \theta) = \begin{bmatrix} C\theta & 0 & S\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -S\theta & 0 & C\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.12})$$

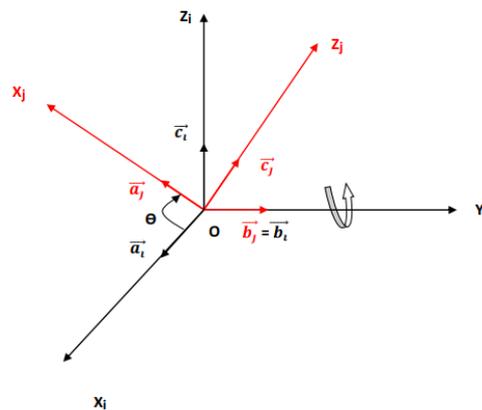


Figure II.6: rotation autour de Y_i .

La matrice de transformation de rotation autour de l'axe Z notée $\text{Rot}(Z, \Theta)$ est donnée par :

$${}^i_j T = \text{Rot}(z, \theta) = \begin{bmatrix} C\theta & -S\theta & 0 & 0 \\ S\theta & C\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.13})$$

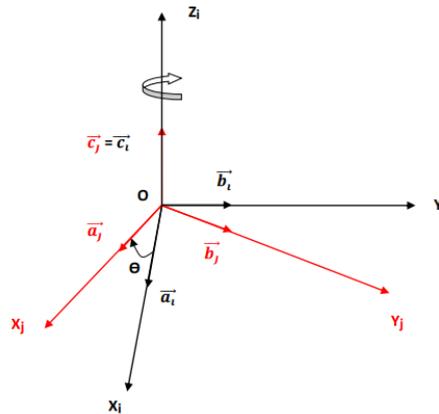


Figure II.7: rotation autour de Zi.

II.4.Méthode de Denavit-Hartenberg

Selon la représentation D-H, choisir de manière appropriée le coordonnées associées pour chaque lien, il sera possible de passer de un à en utilisant ensuite transformations de base qui dépendent exclusivement des caractéristiques géométriques du lien.

Une structure ouverte simple est composée de $n + 1$ corps notés C_0, \dots, C_n et de n articulations. Le corps C_0 désigne la base du robot et le corps C_n le corps qui porte l'organe terminal. L'articulation I connecte le corps C_i au corps C_{i-1} [11] :

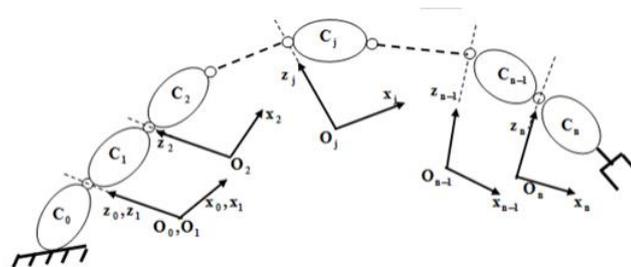


Figure I.8 : La chaîne cinématique d'un bras série.

La méthode de description est fondée sur les règles et conventions suivantes :

- les corps sont supposés parfaitement rigides. Ils sont connectés par des articulations considérées comme idéales (pas de jeu mécanique, pas d'élasticité), soit rotoïdes, soit prismatiques.
 - le repère F_i est lié au corps C_i .
 - l'axe Z_{i-1} est porté par l'axe de l'articulation i .
 - l'axe X_i est porté par la perpendiculaire commune aux axes Z_i et Z_{i-1} . Si les axes Z_i et Z_{i+1} sont parallèles ou colinéaires, le choix de X_i n'est pas unique : des considérations de symétrie ou de simplicité permettent alors un choix rationnel.
- **Les paramètres de Denavit-Hartenberg :**

Le passage du repère F_{i-1} au repère F_i s'exprime en fonction des quatre paramètres géométriques suivants (figure II.9) [12] :

- α_i : angle entre les axes Z_{i-1} et Z_i correspondant à une rotation autour de X_i .
- d_i : Distance entre X_{i-1} et X_i le long de Z_i .
- θ_i : Angle entre les axes X_{i-1} et X_i correspondant à une rotation autour de Z_i .
- a_i : Distance entre Z_{i-1} et Z_i le long de X_i .

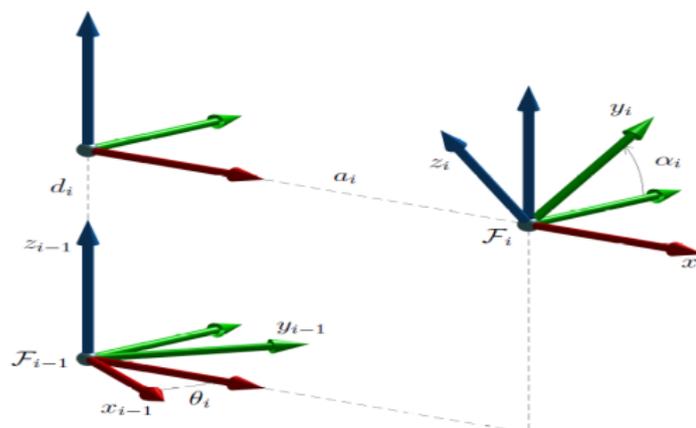


Figure II.9 : Paramètres géométriques dans le cas d'une structure ouverte simple.

La variable articulaire q_j associée à la $i^{\text{ème}}$ articulation est soit θ_i , soit r_i , selon que cette articulation est de type rotoïde ou prismatique, ce qui se traduit par la relation [13]

$$q_i = \bar{\sigma}_i \theta_i + \sigma_i r_i \tag{II.14}$$

Avec :

- $\sigma_i = 0$ si l'articulation j est rotoïde.
- $\sigma_i = 1$ si l'articulation j est prismatique.
- $\bar{\sigma}_i = 1 - \sigma_i$.

La matrice de transformation définissant le repère F_i dans le repère F_{i-1} est donnée par (figure II.9).

$${}_{i-1}^i T = \text{Rot}(z, \theta_i) \cdot \text{Trans}(0, 0, d_i) \cdot \text{Rot}(x, \alpha_i) \cdot \text{Trans}(a_i, 0, 0) \tag{II.15}$$

Pour simplifier la notation, $\cos(\theta_i)$ est représenté par $C\theta_i$ et $\sin(\theta_i)$ est représenté par $S\theta_i$. L'expression précédente (équation) peut être convertie en une seule expression matricielle représentée comme suit:

$${}_{i-1}^i T = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i & 0 & 0 \\ S\theta_i & S\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \alpha_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & 0 \\ 0 & C\alpha_i & S\alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{II.16}$$

$${}_{i-1}^i T = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i C\alpha_i & S\theta_i S\alpha_i & C\theta_i \alpha_i \\ S\theta_i & C\theta_i C\alpha_i & -C\theta_i S\alpha_i & S\theta_i \alpha_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{II.17}$$

II.5. Modèle géométrique

Quelle que soit la tâche que doit réaliser d'un bras manipulateur, il est important de maîtriser la position et le déplacement de son outil de travail (organe terminal). La modélisation géométrique qui est une configuration définie par un ensemble de variables articulaires traduisant les déplacements relatifs d'un corps par rapport au précédent, pour faciliter les calculs du modèle géométrique, on doit suivre ces étapes essentielles dans l'ordre suivant:

1-fixer des repères à chaque corps.

2-calculer la matrice homogène entre chaque corps.

3-calculer la matrice homogène entre la base et l'organe terminal.

Il existe différents types de modèles géométriques. [14].

II.5.1.Modèle géométrique direct

Le modèle géométrique direct (MGD) direct exprime la situation de l'organe terminal en fonction de la configuration du mécanisme articulaire. [14]

Le modèle géométrique direct d'un bras manipulateur peut être représenté par la relation $X=f(Q)$ Tel que :

X : représente les coordonnées opérationnelles.

Q : représente les coordonnées généralisées.

II.5.2.Modèle géométrique inverse

Le modèle d'ingénierie inverse (MGI) d'un bras manipulateur est la relation réciproque du modèle d'ingénierie directe, c'est-à-dire qu'il permet la synthèse d'un système d'équations exprimant les coordonnées généralisées en fonction des coordonnées opérationnelles. Le modèle géométrique direct d'un bras manipulateur peut être représenté par la relation [14].

$Q=f^{-1}(X)$.

II.6.Modélisation cinématique direct d'un bras manipulateurs à trois degré de liberté

Comme expliqué précédemment, la cinématique directe consiste à obtenir la position d'un bras en connaissant les valeurs des différents angles de ses axes. Pour atteindre cet objectif, l'algorithme Denavit-Hartenberg (D-H) a été utilisé.

D-H 1: Numérotez les maillons en commençant par 1 (premier maillon mobile de la chaîne) et se terminant par n (dernier maillon mobile). La base fixe du robot sera numérotée comme lien 0

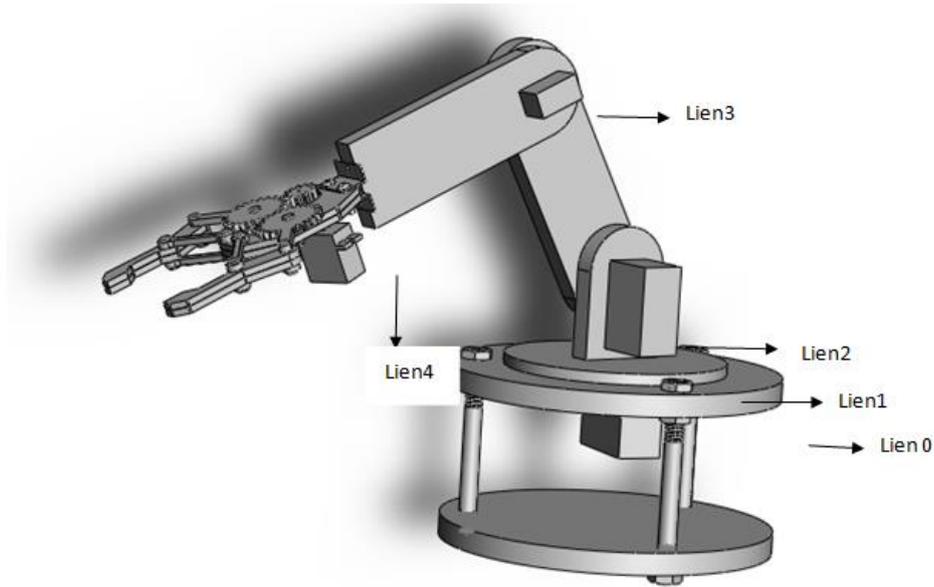


Figure II.10 : Numérotation des liens, D.H.

D-H 2: Numérotez chaque articula en commençant par 1 (celui correspondant au premier degré de liberté) et se terminant par n.

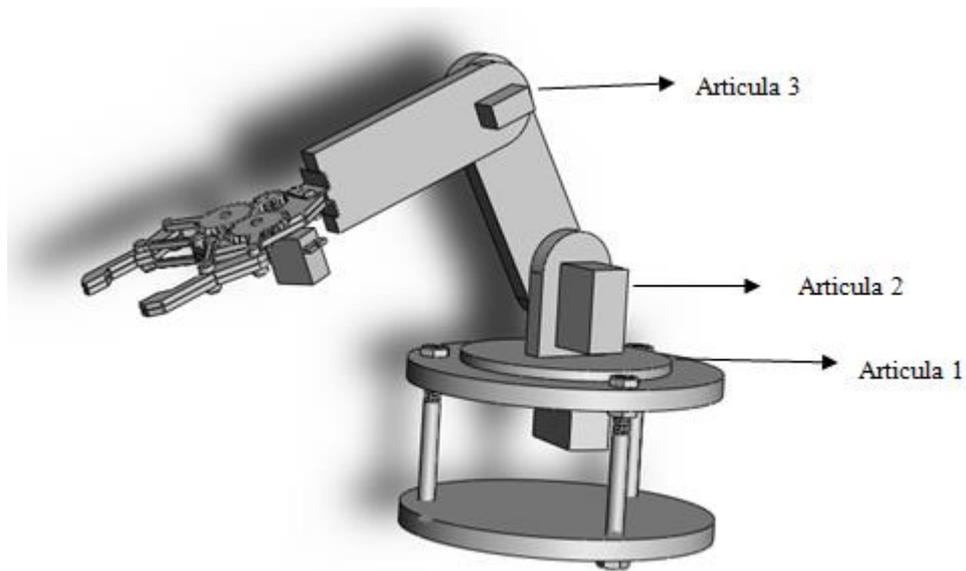


Figure II.10 : Numérotation des articula, D.H.

D-H 3: Localisez l'axe de chaque articulation. S'il est rotatif, l'axe sera son propre axe de rotation.

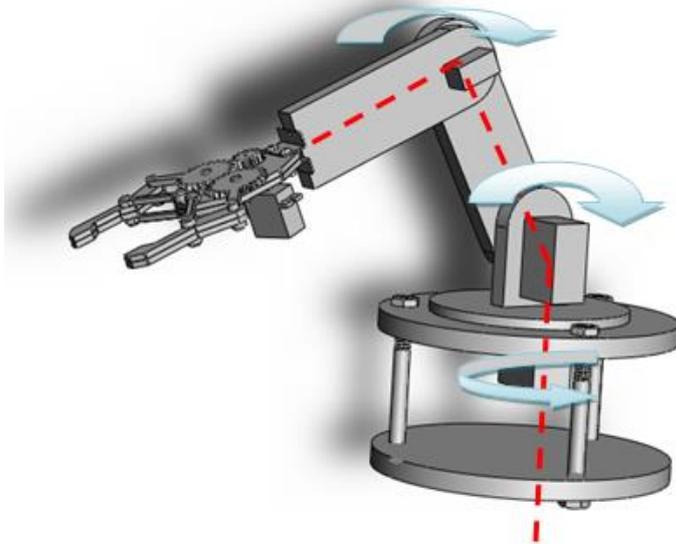


Figure II.12 : Emplacement rotation des axes dans les articulations, D.H.

D-H 4: Pour i de 0 à $n-1$ placer l'axe z_i sur l'axe de l'articulation $i + 1$.

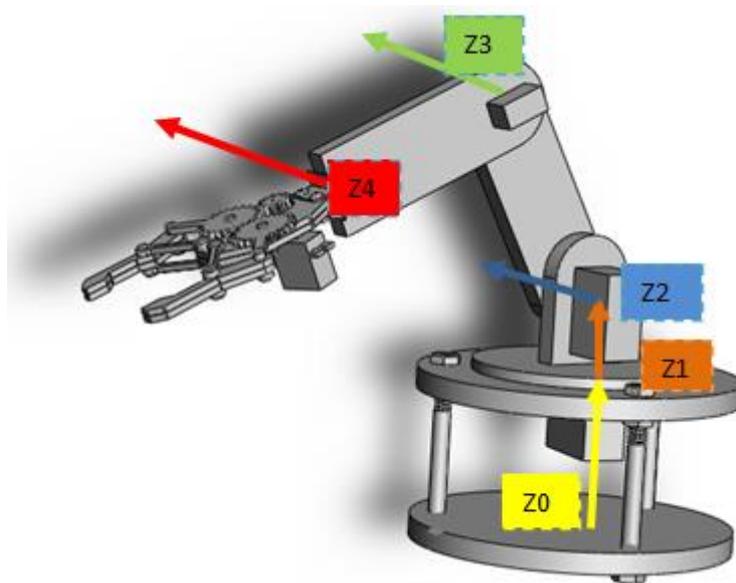


Figure II.13 : Emplacement de z_i , D.H.

D-H 5: Placez l'origine du système de base $\{S_0\}$ n'importe où sur l'axe Z_0 . Les axes x_0 et y_0 seront situés de manière à former un système dans le sens des aiguilles d'une montre avec z_0 .

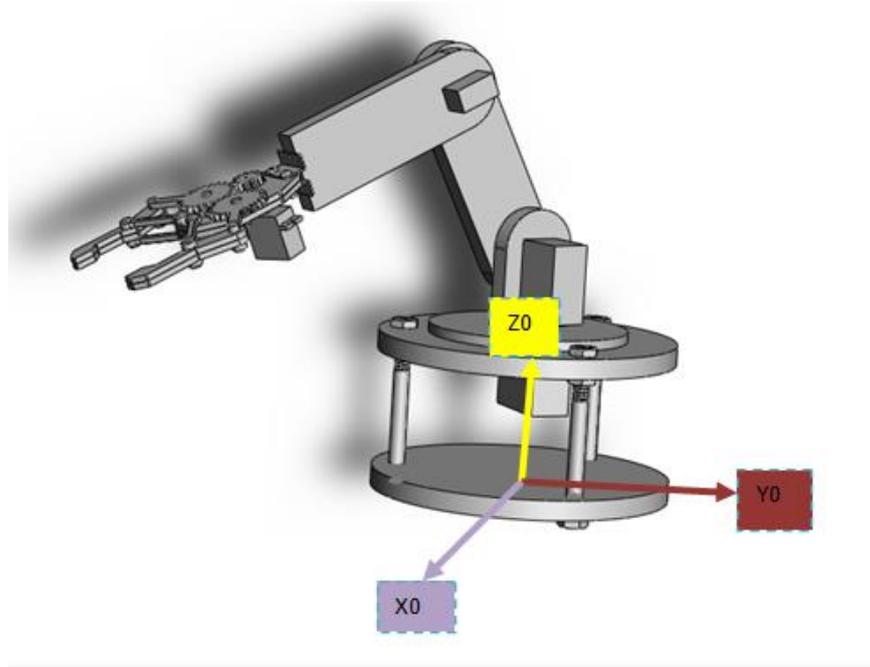


Figure II.14: Localisation de l'origine du système, D.H.

D-H 6: Pour i de 1 à $n-1$, placer le système $\{ S_i \}$ (solidaire du lien i) à l'intersection de l'axe z_i avec la normale commune à Z_{i-1} et Z_i . Si les deux axes se croisaient, $\{ S_i \}$ serait situé au point de coupe. S'ils étaient parallèles, $\{ S_i \}$ serait au joint $i + 1$.

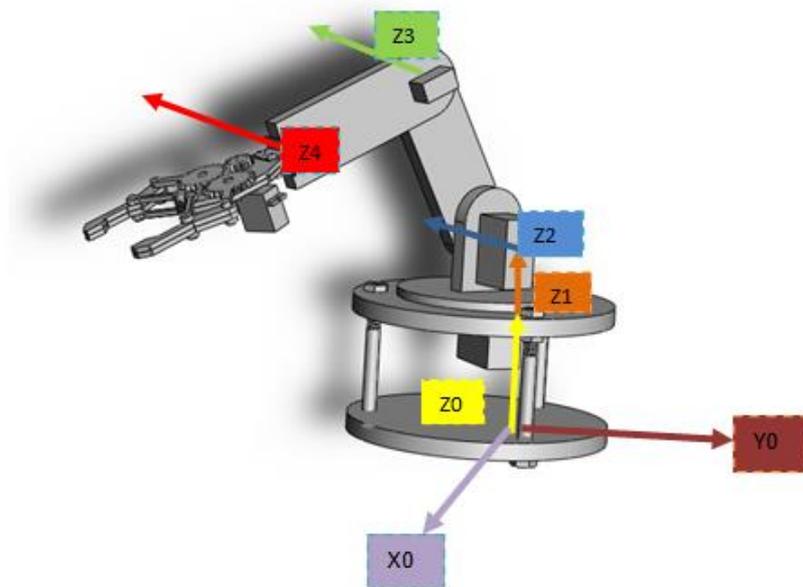


Figure II .15 : Positionnement du Z_i , D.H.

D-H 7: Positionner Y_i pour qu'il forme un système droitier avec X_i et Z_i Pour comprendre un peu plus cette règle, il faut d'abord commencer à définir ce qu'est un système droitier et aussi un système gaucher. Dans le sens des aiguilles d'une montre: tournez dans le sens des aiguilles d'une montre.

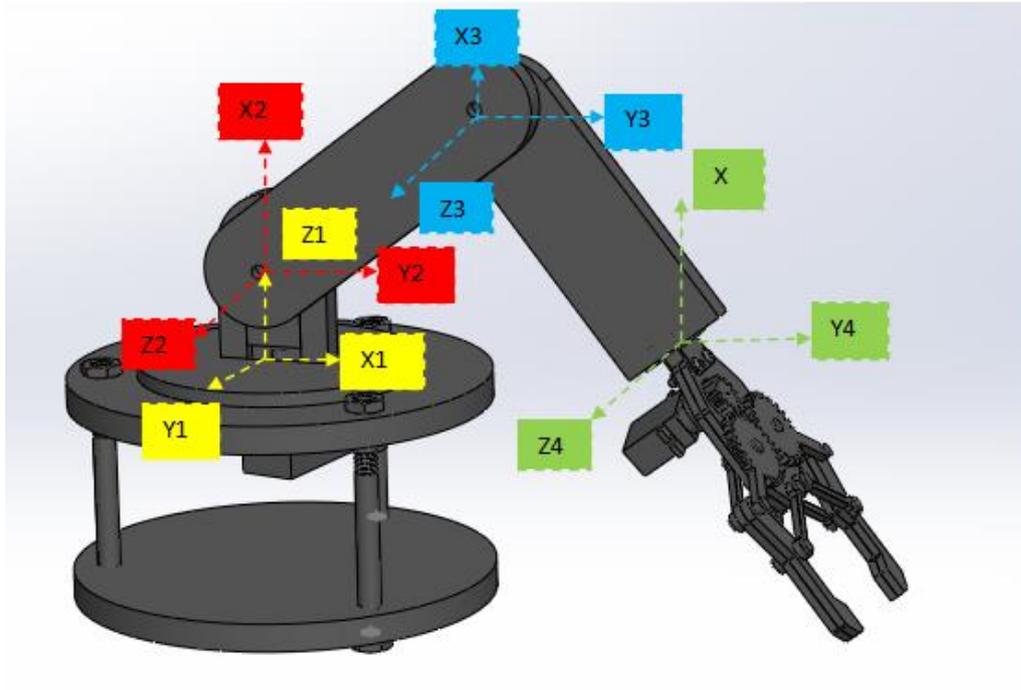


Figure II.16 : Positionnement du système S_n , D.H.

D-H 8: Obtenir θ_i comme angle à tourner autour de z_{i-1} de sorte que x_{i-1} et x_i soient parallèles.

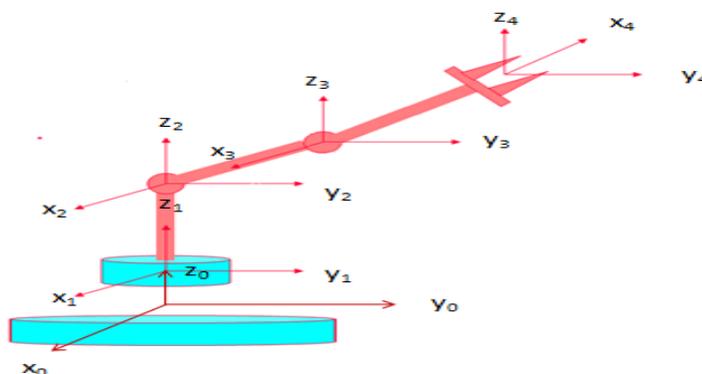


Figure II.17. Détermination de θ_i , D.H.

D-H11: Obtenir d_i comme distance, mesurée le long de $z_i - 1$, qui devrait être déplacée

$\{S_{i-1}\}$ Pour que x_i et x_{i-1} soient alignés.

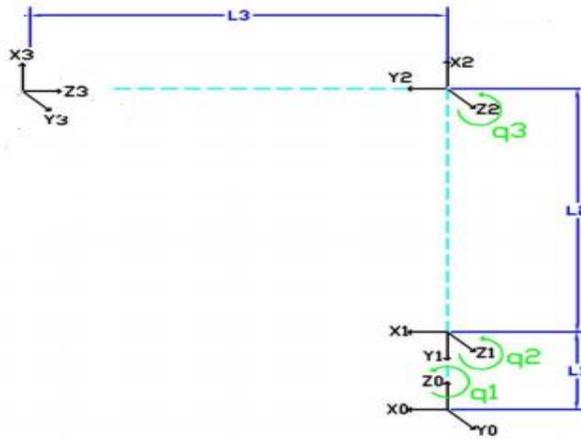


Figure II.18 : Détermination de d_i , D.H.

D-H12: Complétez le tableau DH.

En suivant les étapes définies par l'algorithme Denavit-Hartenberg, il a été calculé les paramètres correspondants et sont disposés dans le tableau suivant.

Corps	Θ_i	d_i	a_i	α_i
1	Q_1	D_1	0	90°
2	Q_2	0	D_2	0°
3	Q_3	0	D_3	0°

Tableau II.1. Valeurs des paramètres D-H de la figure II.18.

Pour obtenir les paramètres, on a pris en compte ce qui suit :

- Le paramètre Θ_i est l'angle qui doit être tourné sur l'axe Z_{i-1} pour que X_{i-1} et X_i restent Parallèles.
- Le paramètre d_i est la distance sur l'axe Z_{i-1} à déplacer par le système i-1 jusqu'à que X_{i-1} et X_i sont alignés.

- Le paramètre a_i est la distance sur l'axe x_i à laquelle le système $i-1$ doit se déplacer

et que son origine coïncide avec le système i .

- Le paramètre α_i est l'angle qui doit être tourné sur X_i pour que le système $i-1$ coïncide Avec le système i .

D-H13: Obtenir les matrices de transformation A_{i-1}

Maintenant, une fois que les paramètres Denavit-Hartenberg sont calculés, nous pouvons calculer la matrice de transformation d'un système à un autre. Voici les résultats obtenus :

A_1^0 : Position et orientation du référentiel (s_1) de la base par rapport au référentiel de base (s_0) :

$$A_1^0 = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & -C_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{II.18})$$

A_2^1 : Position et orientation du référentiel (s_2) de la première tige concernant le système de référence (s_1) :

$$A_2^1 = \begin{bmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & d_2 C_2 \\ S_2 & C_2 & 0 & d_2 S_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.19})$$

A_3^2 : Position et orientation du référentiel (s_3) de la deuxième tige concernant le système de référence (s_1) :

$$A_3^2 = \begin{bmatrix} C_3 & -S_3 & 0 & d_3 C_3 \\ S_3 & C_3 & 0 & d_3 S_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.20})$$

Pour obtenir la matrice de transformation (T) entre la base et l'extrémité d'un bras, on doit la multiplier par les différentes matrices de transformation entre le système 0 et le système 3.

Il se déroulerait comme suit :

$$\mathbf{T} = \mathbf{A}_1^0 \mathbf{A}_2^1 \mathbf{A}_3^2 \quad (\text{II.21})$$

En substituant les matrices des liens dans l'équation précédente, nous avons:

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & -C_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & d_2 C_2 \\ S_2 & C_2 & 0 & d_2 S_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_3 & -S_3 & 0 & d_3 C_3 \\ S_3 & C_3 & 0 & d_3 S_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.22})$$

En développant nous obtenons:

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} C_1 C_2 C_3 - C_1 S_2 S_3 & -C_1 C_2 C_3 - C_1 S_2 S_3 & S_1 & d_3 C_1 C_2 C_3 - d_3 C_1 S_2 S_3 + d_2 C_1 C_2 \\ S_1 C_1 C_3 - S_1 S_2 S_3 & -S_1 C_2 C_3 - S_1 S_2 S_3 & -C_1 & d_3 S_1 C_2 C_3 - d_3 S_1 S_2 S_3 + d_2 S_1 C_2 \\ S_2 C_3 + C_2 S_3 & -S_2 C_3 + C_2 S_3 & 0 & d_3 S_2 C_3 + d_3 C_2 S_3 + d_2 S_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.23})$$

Nous obtenons:

$$p_x = d_3 C_1 C_2 C_3 - d_3 C_1 S_2 S_3 - d_2 C_1 S_2 \quad (\text{II.24})$$

$$p_y = d_3 S_1 C_2 C_3 - d_3 S_1 S_2 S_3 - d_2 S_1 C_2 \quad (\text{II.25})$$

$$p_z = d_3 S_2 C_3 - d_3 C_2 S_3 - d_2 S_2 + d_1 \quad (\text{II.26})$$

L'équation qui forme le modèle cinématique direct d'un bras manipulateur :

$$\mathbf{T} = \mathbf{A}_1^0 \mathbf{A}_2^1 \mathbf{A}_3^2 \quad (\text{II.27})$$

II.7. Modèle cinématique inverse d'un bras manipulateurs à trois degré de liberté

Nous effectuons la résolution du problème cinématique inverse par des méthodes géométriques. La procédure elle-même est basée sur la recherche d'un nombre suffisant de relations géométriques pour que les coordonnées de l'extrémité d'un bras (x, y, z) vont intervenir, les coordonnées articulaires (q₁, q₂, q₃) et les dimensions physiques des liaisons (L₁, L₂, L₃). Nous appliquons cette méthode aux 3DDL de rotation de notre bras. Les données de départ sont les coordonnées (p_x, p_y, p_z) rapportées au référentiel dans lequel veut positionner sa fin.

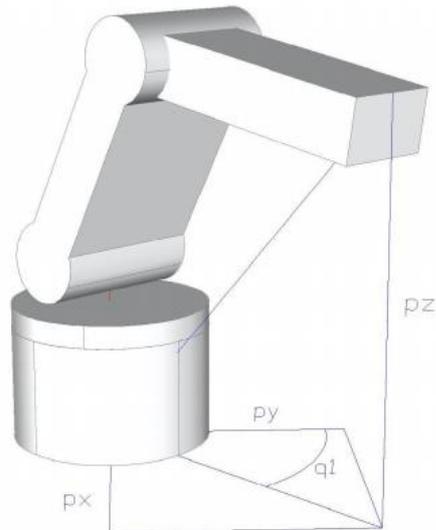


Figure II.19. Schéma d'un bras manipulateur à 3DDL.

La valeur de q_1 est donnée par :

$$q_1 = \arctg\left(\frac{p_y}{p_x}\right) \quad (\text{II.28})$$

En considérant maintenant uniquement les liens 2 et 3 qui sont situés dans un plan et en utilisant le théorème du cosinus, nous aurons donc:

$$r^2 = p_x^2 + p_y^2 \quad (\text{II.29})$$

$$r^2 + p_z^2 = L_2^2 + L_3^2 - 2L_2L_3\cos(q_3) \quad (\text{II.30})$$

$$\cos(q_3) = \frac{p_x^2 p_y^2 + p_z^2 - L_2^2 - L_3^2}{2L_2L_3} \quad (\text{II.31})$$

Par identité trigonométrique $\cos^2 q_3 + \sin^2 q_3 = 1$

$$\sin(q_3) = \pm \sqrt{1 - \cos^2(q_3)} \quad (\text{II.32})$$

Et divisant les deux membres par $\cos(q_3)$ nous obtenons:

$$q_3 = \arctg\left(\frac{\pm \sqrt{1 - \cos^2(q_3)}}{\cos(q_3)}\right) \quad (\text{II.33})$$

Tel qu'est défini précédemment

$$\cos(q_3) = \frac{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2l_3} \quad (\text{II.34})$$

Existe deux solutions possibles pour q_3 en fonction du signe positif ou négatif à la racine. Celles-ci correspondent aux configurations coude haut et coude bas du bras.

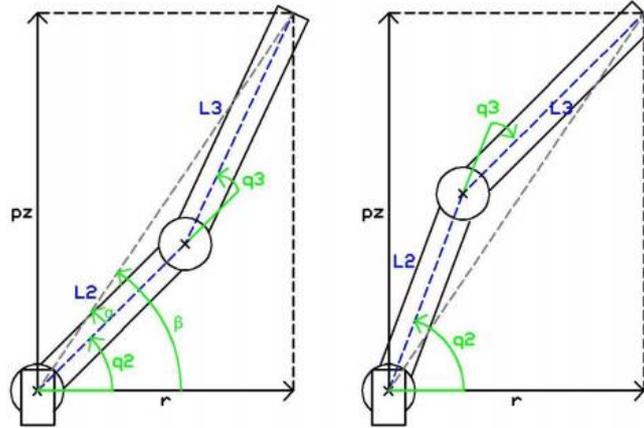


Figure II.20 : Paramètres de bras haut et bas.

Le calcul de q_2 se fait à partir de la différence entre β et α :

$$q_2 = \beta - \alpha \quad (\text{II.35})$$

$$\beta = \arctg\left(\frac{p_x}{r}\right) = \arctg\left(\frac{p_z}{\pm \sqrt{p_x^2 + p_y^2}}\right) \quad (\text{II.36})$$

$$\alpha = \arctg\left(\frac{l_3 \sin(q_3)}{l_2 + l_3 \cos(q_3)}\right) \quad (\text{II.37})$$

En fin

$$q_2 = \arctg\left(\frac{p_x}{r}\right) = \arctg\left(\frac{p_z}{\pm \sqrt{p_x^2 + p_y^2}}\right) - \arctg\left(\frac{l_3 \sin(q_3)}{l_2 + l_3 \cos(q_3)}\right) \quad (\text{II.38})$$

Là encore les deux valeurs possibles selon le choix du signe donnent lieu à deux valeurs différentes de q_2 correspondant aux configurations haut et bas du coude.

Les expressions qui résolvent le problème cinématique inverse pour le bras à trois degrés de liberté sont :

$$q_1 = \arctg\left(\frac{p_y}{p_x}\right)$$

$$q_2 = \arctg\left(\frac{p_x}{r}\right) = \arctg\left(\frac{p_z}{\pm\sqrt{p_x^2+p_y^2}}\right) - \arctg\left(\frac{l_3\sin(q_3)}{l_2+l_3\cos(q_3)}\right)$$

$$q_3 = \arctg\left(\frac{\pm\sqrt{1-\cos^2(q_3)}}{\cos(q_3)}\right)$$

II.8. Modèle dynamique

La dynamique traite de la relation entre les forces agissant sur un corps et le mouvement qui en découle. Par conséquent, le modèle dynamique d'un bras vise à connaître la relation entre le mouvement du manipulateur et les forces qui y sont impliquées.

Dans cette relation, il est obtenu grâce au modèle dit dynamique, qui relie mathématiquement:

1. La localisation du manipulateur définie par ses variables articulaires ou par les coordonnées de localisation de son extrémité, et ses dérivées: vitesse et accélération.
2. Les forces et couples appliqués aux articulations (ou à l'extrémité d'un bras).
3. Les paramètres dimensionnels d'un bras, tels que la longueur, les masses et les inerties de ses éléments.

Le problème de l'obtention du modèle dynamique d'un bras est donc l'un des aspects les plus complexes de la robotique, ce qui a conduit à l'ignorer à de nombreuses reprises. Cependant, le modèle dynamique est essentiel pour atteindre les objectifs suivants:

1. Simulation du mouvement d'un bras manipulateur.
2. Conception et évaluation de la structure mécanique d'un bras.
3. Dimensionnement des actionneurs.
4. Conception et évaluation de la commande dynamique d'un bras.

Ce dernier objectif est évidemment d'une grande importance, car la précision et la rapidité de ses mouvements dépendent de la qualité du contrôle dynamique du robot. La grande complexité déjà mentionnée existant dans l'obtention du modèle dynamique d'un bras manipulateur.

II.8.1 Modèle dynamique de Newton de la structure mécanique d'un bras manipulateur rigide

destiné à le Calculateur de couple de bras robotique. Le Couple (T) est défini comme une "force" de rotation ou de torsion, et est calculé selon l'équation suivante : La force (F) agit sur une longueur (L) depuis un point de pivot. Dans un plan vertical, la force qui agit sur un objet (provoquant sa chute) est l'accélération due à la gravité ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) multipliée par sa masse La force ci-dessus est également considérée comme le poids de l'objet (W). Le couple nécessaire pour maintenir une masse à une distance donnée à partir d'un pivot est donc Celui-ci peut être également trouvé en établissant un équilibre du couple par rapport à un point. Notez que la longueur L est la longueur perpendiculaire du pivot à la force.[15]

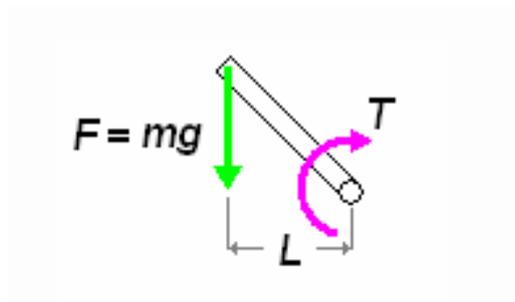


Figure II.21 : le Couple pour un bras manipulateur.

Par conséquent, en remplaçant F par $m \cdot g$, on retrouve la même équation que ci-dessus. Cette méthode est la façon la plus juste de trouver un couple (en utilisant un équilibre de couple).

$$m \cdot g \cdot L = T_A \quad (\text{II.39})$$

Afin d'estimer le couple nécessaire à chaque articulation, il faut choisir le pire des cas.

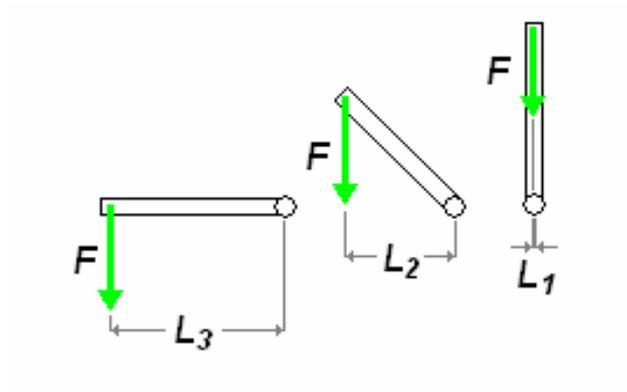


Figure II.22 : le couple à chaque articulation.

Dans l'image ci-dessus, un lien de longueur L est tourné dans le sens horaire. Seule la composante perpendiculaire de la longueur entre le pivot et la force est prise en compte. Nous observons que cette distance diminue de L_3 à L_1 (L_1 étant égal à zéro). Puisque l'équation du couple est constituée de la longueur (ou distance) multipliée par la force, la plus grande valeur est obtenue en utilisant L_3 , dans la mesure où F ne change pas. Vous pouvez de même faire pivoter le lien dans le sens antihoraire et observer le même effet. Il peut être prudent de supposer que les actionneurs du bras seront soumis au couple le plus élevé lorsque le bras sera tendu horizontalement. Bien que votre robot puisse ne pas avoir été conçu pour être confronté à ce scénario, il ne doit pas rompre sous son propre poids s'il doit s'étirer horizontalement sans charge. Le poids de l'objet (la "charge") qui est maintenu (A_1 dans le diagramme), multiplié par la distance entre son barycentre et le pivot donne le couple nécessaire au niveau du pivot. L'outil prend en considération le fait que les liens peuvent avoir un poids important ($W_1, W_2...$) et suppose que le barycentre est situé à peu près au centre de sa longueur. Les couples provoqués par ces différentes masses doivent être ajoutés

$$T_1 = L_1 * A_1 + \frac{1}{2} L_1 * W_1 \quad (\text{II.40})$$

Remarque : ne confondez pas "A" (le poids de l'actionneur ou de la charge) avec "a" (l'accélération). Vous pouvez noter que le poids de l'actionneur A_2 , comme le montre le schéma ci-dessous, n'est pas inclus dans le calcul du couple à ce point-là. Ceci en raison du fait que la longueur entre son barycentre et le point de pivot est nul. De même, lors du calcul du couple requis par l'actionneur A_3 , sa propre masse n'est pas prise en compte. [15] .

II.9. Contraintes, déformations et états de charge d'un bras manipulateur

La déformation d'un solide est définie comme le changement de sa longueur, de sa surface ou de son volume dû à une charge externe, par rapport à sa forme sans être soumis à une charge, de sorte que son amplitude est sans dimension. Sa forme la plus basique, qui ne considère que la déformation longitudinale, est définie comme:

$$e = \frac{\Delta s}{s} = \frac{\acute{s} - s}{s} \quad (\text{II.41})$$

Où "e" est la déformation unidimensionnelle, "s" est la longueur du solide sans déformation et " \acute{s} " est la longueur du solide déformé.

L'état de déformation des solides est une conséquence directe des charges auxquelles ils sont soumis, puisque l'application d'une ou plusieurs charges sur un solide implique un état de contrainte. Un état de contrainte est défini par un tenseur qui représente les contraintes auxquelles est soumis un cube de dimension infinitésimale, appartenant à un solide étudié (figure II.23). Ce tenseur contient deux types de composantes, la normale (σ), qui agissent dans une direction perpendiculaire à une face, et le cisaillement (τ), qui agissent dans une direction parallèle à une face, et les deux ont des unités de force par unité de surface, d'autre part, ledit tenseur de contrainte est lié au moyen d'équations constitutives à l'état de déformation du même solide étudié, représenté avec le tenseur de déformation, de sorte qu'un état de contrainte implique toujours un état de déformation et vice versa, comme exprimé par l'équation. (II.42).

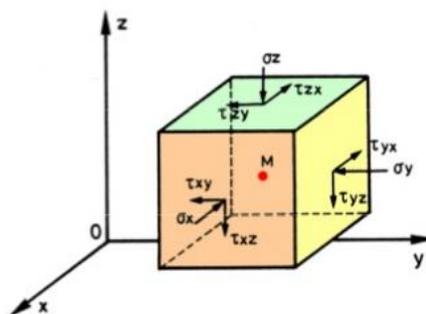


Figure II.23: État de contrainte en un point de tout solide soumis à une charge arbitraire.

$$\begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix} \longleftrightarrow \begin{bmatrix} \epsilon_x & \frac{1}{2}\gamma_{xy} & \frac{1}{2}\gamma_{xz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{yx} & \epsilon_y & \frac{1}{2}\gamma_{yz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{zx} & \frac{1}{2}\gamma_{zy} & \epsilon_z \end{bmatrix} \quad (\text{II.42})$$

Dans le cas du modèle qui considère un matériau élastique linéaire (qui obéit à la loi de Hooke) les équations constitutives qui relient les contraintes aux déformations sont :

- $\epsilon_{xx} = \frac{1}{E}(\sigma_{xx} - \nu(\sigma_{yy} + \sigma_{zz}))$ $\epsilon_{xy} = \frac{(1+\nu)}{E}\sigma_{xy}$ (II.43)

- $\epsilon_{yy} = \frac{1}{E}(\sigma_{yy} - \nu(\sigma_{xx} + \sigma_{zz}))$ $\epsilon_{yz} = \frac{(1+\nu)}{E}\sigma_{yz}$ (II.44)

- $\epsilon_{zz} = \frac{1}{E}(\sigma_{zz} - \nu(\sigma_{xx} + \sigma_{yy}))$ $\epsilon_{xz} = \frac{(1+\nu)}{E}\sigma_{xz}$ (II.45)

Dans les manipulateurs, les charges sont liées aux poids, ainsi qu'aux réactions et réactions qui peuvent se produire pendant le mouvement, qui peuvent stimuler une ou plusieurs des pressions mécaniques existantes: axiale, cisaillement, flexion et torsion (Tableau II.2). Qui conduisent tous à la contrainte.

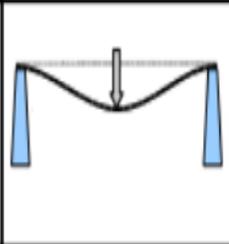
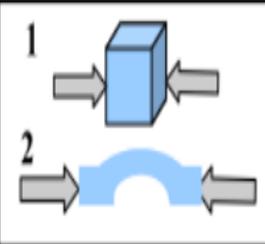
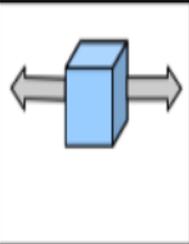
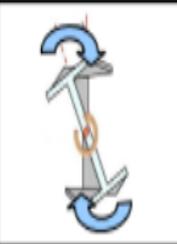
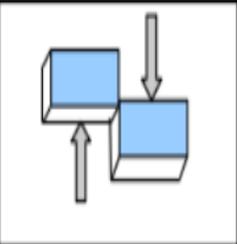
Flexion	Compression	Traction	Torsion	Cisaillement
				

Tableau II.2 : État de contrainte en un point de tout solide soumis à une charge arbitraire.

En analysant les états de contrainte, la défaillance d'une conception peut être prédite à l'aide de critères de défaillance. Pour les matériaux ductiles, il y a par exemple le critère de contrainte de cisaillement maximum (équation II.46) et le critère de Von Mises (équation II.47), tandis que pour les matériaux fragiles, le critère de contrainte normale maximum (équation II.48), et Mohr-Coulomb (équation II.49) entre autres. Dans ces critères, on part d'un état de contrainte dans un solide sous charge, puis compare certains paramètres et conclut si le matériau échouera ou non. En particulier, le critère de Von Mises pour les matériaux ductiles utilise une définition de la contrainte appelée contrainte de Von Mises, et est défini comme dans l'équation II.50).

$$\frac{\tau_{max}}{0.5*s_y} < \frac{1}{n} \quad (\text{II.46})$$

$$\frac{\sigma_{vom\ mises}}{s_y} < \frac{1}{n} \quad (\text{II.47})$$

$$\frac{\sigma_1}{s_u} < \frac{1}{n} \quad (\text{II.48})$$

$$\frac{\sigma_1}{s_{ut}} + \frac{\sigma_3}{s_{uc}} < \frac{1}{n} \quad (\text{II.49})$$

$$\sigma_{vom\ mises} = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)]^{1/2} \quad (\text{II.50})$$

Dance:

- sont les composants de la matrice de contraintes principale.
- "n" est un facteur de sécurité, et s'il est supérieur à "1", il garantit que la conception n'échoue pas.
- "s_y" est la limite d'élasticité et "s_u" est l'effort ultime.

II. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié la modélisation d'un manipulateur à trois degrés de liberté en calculant des modèles géométriques directs et inverses, et ce qui suit le chemin, ainsi que le modèle cinématique direct et inverses. En appliquant la méthode Denavit-Hartenberg décrite dans ce chapitre, en définissant la matrice caractéristique d'un bras manipulateur de liberté à trois degrés ainsi que le modèle dynamique d'un bras vise à connaître la relation entre le mouvement d'un bras et les forces qui y sont impliquées. Contraintes, déformations et états de charge d'un bras manipulateur.

Dans le chapitre suivant, nous suggérons une conception pour un bras manipulateur à trois degrés de liberté Les résultats obtenus dans ce chapitre seront utilisés pour analyser les résultats à l'aide de solidworks

Chapitre III

Conception mécanique d'un bras manipulateur

III. Introduction

L'analyse fonctionnelle est une démarche qui « consiste à rechercher et à caractériser les fonctions offertes par un produit pour satisfaire les besoins de son utilisateur. »

La démarche est généralement conduite en mode projet et peut être utilisée pour créer (conception) ou améliorer (ré-conception) un produit. L'objet visé par la démarche peut être un objet, un matériel, un processus matériel ou vivant, une organisation, un logiciel, etc.

Les besoins sont de toute nature et sont exprimés de façon individuelle ou collective, objective ou subjective, avec des degrés de justification disparates. La ou les fonctions étudiées sont également diverses : fonctions de service, fonctions d'évaluation, fonctions de traitement. Le cadre de l'étude doit être aussi pris en compte : contraintes ou variables déduites de l'environnement, la réglementation, des usages, etc....

Dans ce chapitre la configuration générale du système est déterminée sur la base de l'étude conceptuelle.

III.1. Analyse Fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle permet de décrire un système par les fonctions qu'il doit remplir, mais aussi les contraintes qui vont subir. Elle consiste à rechercher, caractériser, ordonner, hiérarchiser et valoriser les fonctions. [16]

L'analyse fonctionnelle est divisée en deux parties voir Figure III.1 :

- analyse fonctionnelle externe
- analyse fonctionnelle interne

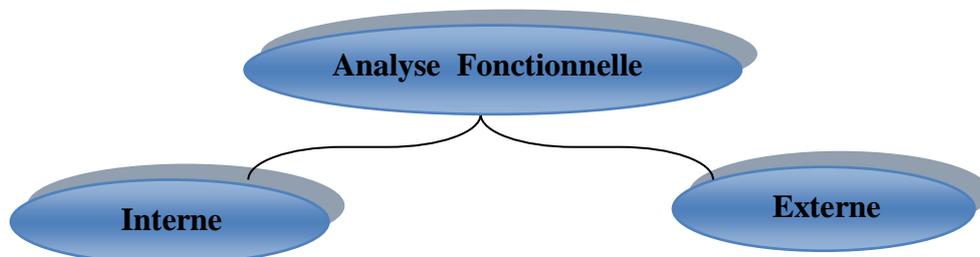


Figure III.1 : Analyse fonctionnelle.

III.1.1. Analyse fonctionnelle externe

L'analyse fonctionnelle externe décrit le point de vue de l'utilisateur, et ne s'intéresse au produit qu'en tant que « boîte noire » capable de fournir des services dans son environnement durant son cycle d'utilisations. [17]

L'analyse fonctionnelle externe est possible grâce à des outils clairement définis. On trouve ainsi :

- **Le Diagramme Bête à Cornes** : qui permet d'exprimer la recherche du besoin.
- **Le diagramme pieuvre** : qui permet de définir les liens (c'est-à-dire les fonctions de service) entre le système et son environnement. Ce diagramme permet de recenser la plupart des fonctions du système

III.1.1.1. Diagramme Bête à Cornes

Avant de concevoir un système, il est nécessaire de s'assurer que ce produit répond effectivement à un besoin, d'où l'énoncé du besoin de façon claire et précise. Pour établir la bête à cornes, il est essentiel de se poser les trois questions suivantes [18]:

- À qui, à quoi le produit rend-il service ?
- Sur qui, sur quoi agit-il ?
- Dans quel but ? (pour quoi ?)

III.1.1.2. Le diagramme pieuvre

Le diagramme pieuvre nous permet de répertorier toutes les fonctions de notre produit. En effet nous rappelons que lors de la conception, les techniciens chercheront pour chaque fonction à satisfaire, la meilleure solution. Et c'est l'ensemble des solutions qui donnera le produit final. [19]

On distingue deux types de fonction :

- FP= Fonction principale : lien entre le produit et 2 objets environnants.
- FC= Fonction de contrainte : lien entre le produit et 1 objet environnant.

III.1.2. Analyse fonctionnelle interne

L'analyse fonctionnelle interne, décrit le point de vue concepteur en charge de fournir le produit devant répondre aux besoins exprimés. Le système 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 système est considéré comme un assemblage de constituants dont chacun remplit certaines fonctions vis-à-vis des autres. L'analyse fonctionnelle interne met en évidence les fonctions techniques. [20]

III.1.2.1. diagramme FAST

Un diagramme FAST (Functional Analysis System Technique) présente une de composition hiérarchisée des fonctions du système allant des fonctions de service (fonctions en lien avec le milieu extérieur) et passant par les fonctions techniques (fonctions internes au système) jusqu'à l'énoncé des solutions technologique employées ou prévues pour remplir les fonctions techniques. Elle présente les fonctions dans un enchaînement logique en répondant aux trois questions suivantes :

- Pourquoi ? pourquoi une fonction doit-elle être assurée ?
- Comment ? comment cette fonction doit-elle être assurée ?
- Quand ? Quand cette fonction doit-elle être assurée

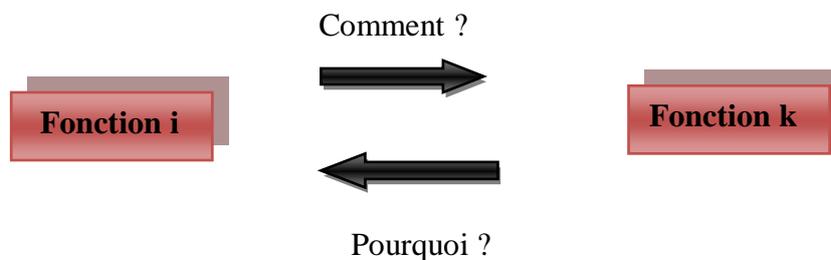


Figure III.2 : Diagramme exprimant la lecture du FAST.

III.2. Cahier des charges fonctionnel

On appelle Cahier des charges fonctionnel, CdCF, le document par lequel le demandeur exprime son besoin (ou celui qu'il est chargé de traduire) en terme de fonctions de service et de contraintes. Pour chacune des fonctions et contraintes, sont définis des critères d'appréciation et leurs niveaux. ; Techniques, règlementaires, budgétaires...) auxquelles il est soumis. N'exprime aucune idée de technique et, il n'impose pas de solutions. Le service attendu, dans les conditions prévues, pour le

coût minimum. A cet effet, le CdCF n'exprime que des exigences de résultats et en principe, aucune exigence de moyens. L'un des principes de base du concept de « Qualité » est de bien séparer dans toutes les activités, d'une part le besoin à satisfaire et d'autre part la solution choisie pour répondre à ce besoin. Cette démarche permet de mieux analyser le besoin, d'étendre l'éventail des solutions possibles, de définir les dispositions pour la qualité et parvenir à une meilleure optimisation du couple besoin-solution en matière de coût, sans mettre en cause les performances attendues.

III.3. Présentation du produit

Les systèmes robotiques sont créés dans un but et qui est d'augmenter le volume de production d'une entreprise de fabrication, un objectif de recherche dans ce document. Beaucoup ont des machines et du personnel humain qui sont chargés d'effectuer des tâches manuelles, à un coût élevé pour l'entreprise en temps et en argent.

Les systèmes robotiques exécutent des tâches complexes telles que l'emballage, la palettisation ou la préparation d'expédition très rapidement et efficacement de manière entièrement automatisée 24 heures sur 24 (voir figure II.3).



Figure III.3 : Processus de palettisation.



Figure III.4 : Un bras manipulateur qui déplace les canettes.

III.4.Le produit et son marche

Le produit envisagé est un bras manipulateur qui se déplace de façon aléatoire sur une table, sur un plan ou sur un sol, en évitant les obstacles et en ne tombant pas lorsqu'il arrive au bord du support. L'aspect esthétique du produit et son ergonomie en feront un objet attractif.

La robotique est un sujet à la mode qui passionne beaucoup de jeunes et de moins jeunes. Le marché du jouet-robot est très porteur. Ce produit s'adresse au grand public, son prix devra être inférieur.

II.4.1.Les objectifs

Les objectifs sont à la fois ludiques et pédagogiques. Il s'agit d'amuser, de distraire le ou les utilisateurs et de leur faire découvrir certaines technologies utilisées en robotique.

III.4.1.Problème de projet

Project est une conception de bras manipulation avec trois degrés de liberté contrôlés. Il est capable de Transférer une boîte en carton de 125 g d'un endroit à un autre.

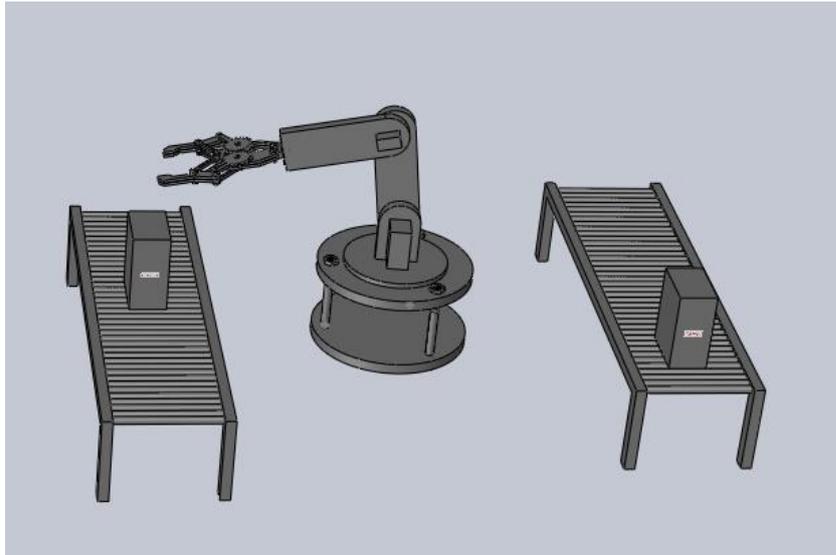


Figure III.5 : Un bras manipulateur à trois degrés de liberté qui déplace les canettes.

III.4.2. Présentation générale du produit

Un bras manipulateur articulé de 3 axes contrôlés.

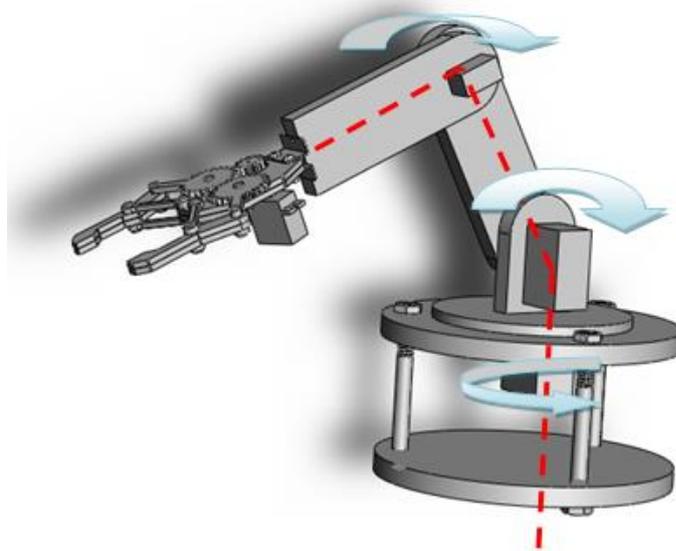


Figure III.6 : Mouvements possibles des différents axes du bras.

Axes de rotation	Notation	Emplacement	Type de mouvement
Axe 1 (J1)	B0/B1	Base/Bras1	Rotation pivot (+/- 180°)
Axe 1 (J2)	B1/B2	Base1/Bras2	Rotation pivot (+/-180°, -100)
Axe 1 (J3)	B2/B3	Base2/Bras3	Rotation pivot (+/- 180°, -100)

Tableau.III. 1 : Description des différents axes.

III.4. Analyse Fonctionnelle externe d'un bras manipulateur

L'examen de l'environnement du système, conduit à Identifier les composantes extérieures tout ce qui est en contact direct ou indirect avec le bras manipulateur.

A. Diagramme " bête à cornes " lié à l'objet technique

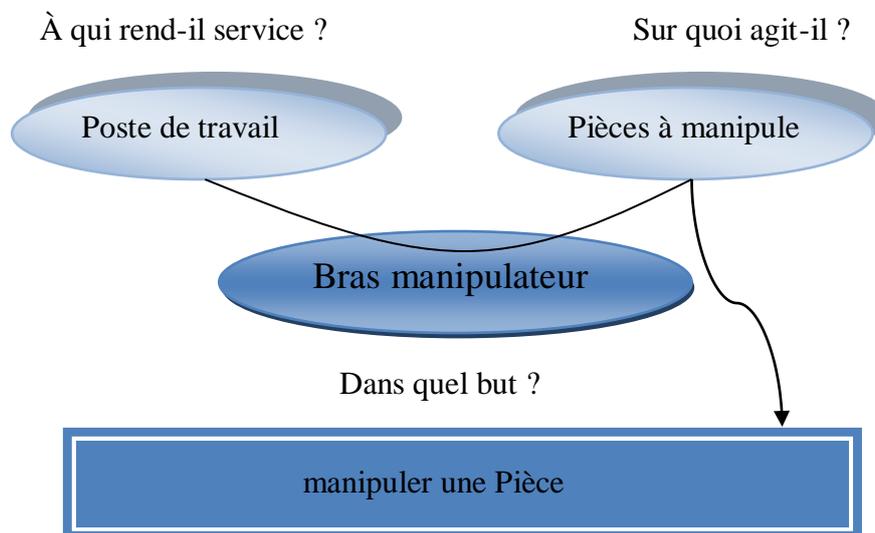


Figure III.7: Diagramme Bête à Corne exprimant le besoin d'un bras manipulateur.

B. Le diagramme pieuvre

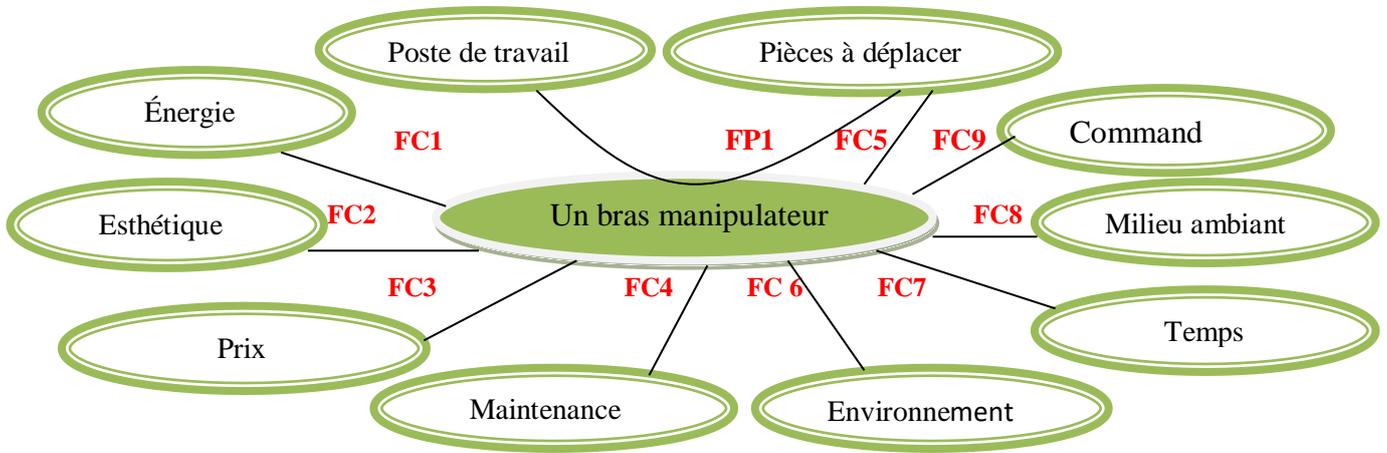


Figure III.8 : Le diagramme Pieuvre du système en phase conception.

FP1	manipuler la pièce
Fc1	utiliser énergie électrique
Fc2	respecter l'environnement
Fc3	être commercialisé à un prix raisonnable
Fc4	Être facile à maintenir
Fc5	Ne pas déformer l'objet
Fc6	respecter l'environnement
Fc7	respecter le temps de conception et de réalisation
Fc8	Respecter les normes de sécurité
Fc9	Commander le système

Tableau.III. 2 : Les fonctions principales et contraintes du diagramme Pieuvre d'un bras manipulateur.

III.5. Analyse Fonctionnelle interne d'un bras manipulateur

L'analyse porte sur bras manipulateur lui-même :

- améliorer son comportement.
- diminuer son coût.
- améliorer sa fiabilité.

A. Diagramme FAST partiel de la fonction principale

-FP1 : manipuler la pièce.

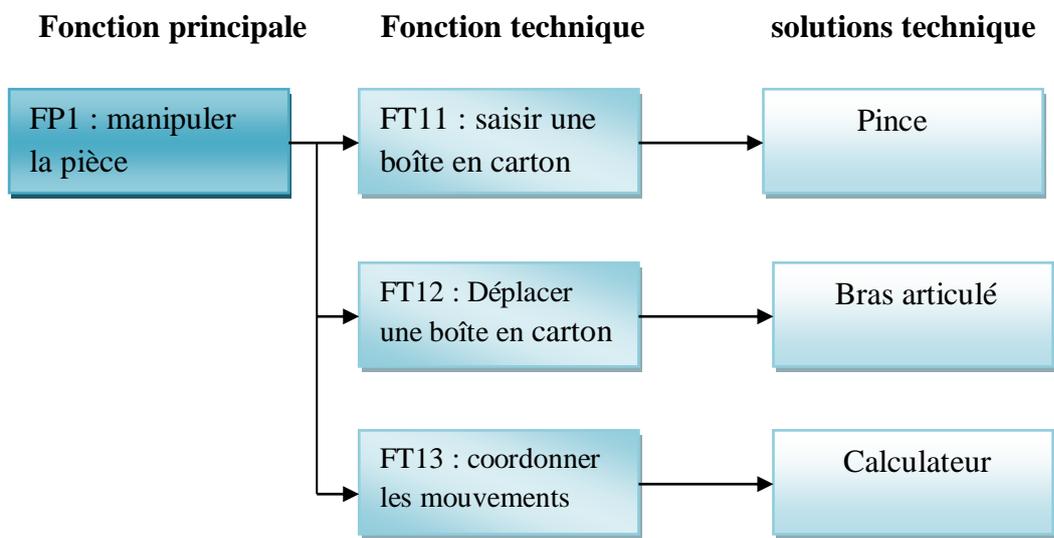


Figure III.9 : Diagramme FAST de la fonction principale.

B. Cahier des charges fonctionnel d'un bras manipulateur

Repères	Fonctions	Critère d'appréciation	Niveau
FP1	Manipuler un objet	masse de une boîte en carton	$\leq 125 \text{ g}$
		vitesse maximale	0.16s/60°
FC1			

	Utiliser l'énergie électrique	type de générateur	Energie électrique 6V
		type de technologie	Toute technologie Permettant d'assurer l'alimentation
FC2	Être esthétique	encombrement (forme)	dimensions compatibles
		masse totale d'un bras	\leq kg 1
FC3	Être commercialisé à un prix raisonnable	prix total d'un bras	\leq 15 000DA
FC4	Être facile à maintenir	Maintenance	montage et démontage facile
FC5	Ne pas déformer une boîte en carton	sécurité de boîte carton	Pas d'empreintes sur une boîte carton
FC6	respecter l'environnement	Recyclage	Utiliser les matériaux recyclables
FC7	respecter le temps	Conception et réalisation	15 jours

FC8	Respecter les normes de sécurité	normes de sécurité	-ISO ; AFNOR
FC9	Commander le système	pilotage d'un bras	Commande simple avec visionnage des déplacements

Tableau III.3 : Le cahier des charges fonctionnel d'un bras.

III. Conclusion

Ce chapitre concerne la phase préliminaire du projet. Cette étude s'attache à vérifier que le projet soit techniquement faisable et économiquement viable, et de mettre en exergue les objectifs et les contraintes liées à sa réalisation et l'étude préliminaire du projet qui consiste à bien définir le besoin, identifier les ressources et élaborer le planning du projet ;chapitre, présente les différentes phases de l'analyse conceptuelle qui Permettent de recenser, caractériser et ordonner les fonctions de la machine afin de construire l'arbre fonctionnel et d'identifier les sous-systèmes du projet .

Chapitre IV

Etude et conception

IV. Introduction

Le but de notre travail est de procéder à l'ingénierie inverse des trois bras manipulateurs DOF. A cet effet, il sera consacré à la conception des différentes pièces de ce bras avant de passer à l'assemblage. La conception mécanique de ces pièces sera réalisée par des outils informatiques CAO, dans ce cas nous utiliserons Solidworks2017. Ainsi, le calcul du couple et des forces et modélisation de la cinématique des bras manipulateurs.

IV.1.Cahier de charge

Conception technologie de la structure mécanique du bras répond au cahier de charge suivant :

- Un bras manipulateur a trois degrés de liberté, trois liaisons rotondes 'RRR'.
- Longueur des segments $L_1=100\text{mm}$, $L_2=100\text{mm}$
- Masse de la charge de la pince et égale à 0.125Kg .

IV.2.Choix des matériaux pour le bras manipulateur

En raison de l'application que l'effecteur d'extrémité doit résister à de faibles efforts, car les charges sont très faibles, de même il doit être compact et léger afin de ne pas générer de gros efforts aux autres liens auxquels la pince est associée. Différents types de matériaux tels que les métaux et les polymères ont été examinés, bien que les métaux aient un grand avantage sur les polymères grâce à leur haute résistance à la traction, ils ont une densité plus élevée, ce qui génère un poids plus important pour l'ensemble des pièces.

Pour cette raison, les polymères sont choisis car ils ont une grande résistance à l'usure, une grande rigidité et une bonne résistance à la traction. Les polymères tels que l'acrylonitrile butadiène styrène (PVC), le polychlorure de vinyle (PBT), le polyéthylène téréphtalate (PET), le nylon et le polypropylène (PP) sont les polymères les plus largement utilisés dans l'industrie. L'PVC a été sélectionné pour des facteurs tels que la fabrication, l'usinabilité du matériau et son coût moins cher, car ses propriétés mécaniques sont bien adaptées aux exigences de conception. Le tableau IV.1 montre certaines propriétés du polychlorure de vinyle

Propriétés mécaniques	Valeur	Unités
module de Young.	2750	Mpa
Limite élastique du matériau	40	Mpa
Resistance a la rupture	58	Mpa
Déformation.	140	%
Densité	1.52	-
Resistance à la traction	65	Mpa

Tableau IV.1 : propriétés mécanique du polychlorure de vinyle.

IV.3.Analyse d'une pince robot

La pince du robot a deux degrés de liberté se compose de quatre pièces principales:

1. Le poignet
2. La base
3. Les pinces ou les doigts
4. La pièce qui relie la pince du robot au bras est appelée la terre.

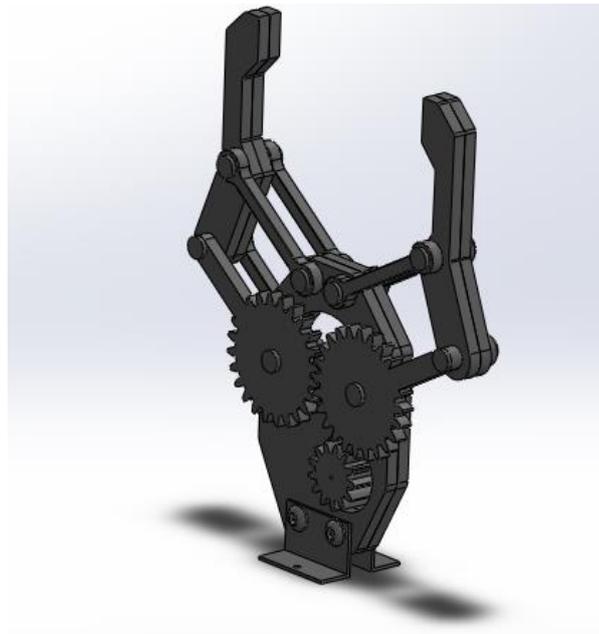


Figure IV.1 : Une pince robot.

Système d'engrenage à étrier. Pour pouvoir tenir la pièce avec la pince, un jeu d'engrenages est nécessaire. Pour cela, les conditions suivantes sont établies comme paramètres de conception.

- Nombre de dents $Z=12$.
- Diamètre primitif $d=24$ mm.

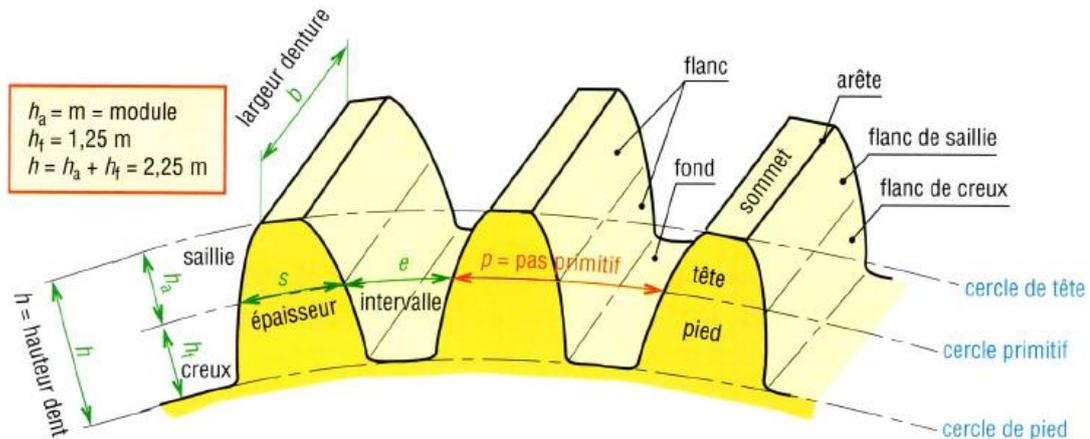


Figure IV.2 : Caractéristiques des engrenages droits à denture droite.

L'angle de pression (α) est de 25° , car cela ne présenterait pas d'interférence, puisque c'est celui utilisé pour un minimum de 12 dents dans l'engrenage. Le pas est la distance entre la face de la dent et la somme de la largeur d'une autre dent, et est obtenu en utilisant l'équation suivante :

$$P = \frac{d\pi}{z} \quad (\text{IV.1})$$

P : Pas primitif.

$$P = \frac{(24\text{mm})\pi}{(12)} \quad (\text{IV.2})$$

$$P = 2.69 \text{ mm} \quad (\text{IV.3})$$

Le module est le rapport du diamètre primitif et du nombre de 12 dents, ceci est important car il permet de connaître les caractéristiques géométriques manquantes de la dent. Pour cela, le module est donné par l'équation ci-dessous.

$$m = \frac{p}{\pi} \quad (\text{IV.4})$$

$$m = \frac{6.28mm}{\pi} \quad (\text{IV.5})$$

$$m = 2mm \quad (\text{IV.6})$$

Pour la valeur du module de 2 mm, d'autres paramètres géométriques de l'engrenage peuvent être trouvés car il est normalisé tel quel.

Désignation	Symbole	Proportion	valeur
Nombre de dents	Z	13 mini	12
Module	m	RDM	2mm
Diamètre primitif	d ou d_p	d = m.Z	24mm
Diamètre de tête	d_a	d_a = d + 2.m	28mm
Diamètre de pied	d_f	d_f = d-2.5m	19mm
Pas primitif	p	p = π.m	6.28mm
Largeur de denture	b	b = k⁽¹⁾.m	10mm
Hauteur de denture	h	h = 2.25m	4.5mm
Hauteur de saillie	h_a	h_a = m	2mm
Hauteur de creux	h_f	h_f = 1.25m	2.5mm

k : coefficient de largeur de denture K=5.

Tableau IV.2 : Paramètres de conception d'un engrenage.

Pour que l'engrenage transmette la puissance fournie par le servomoteur à la pince, il est nécessaire de modifier la géométrie de l'engrenage, et en raison de l'application de la pince, des dents ont été enlevées, entraînant une perte de poids de la pièce et l'ajout d'un lien qui il va directement couler sur le corps d'engrenage avec une mesure de 34,55 mm. De la même manière, un arrondi est effectué entre la pièce et le maillon, car cela ne permet pas de rupture, du fait de l'existence de concentrateurs de contraintes.

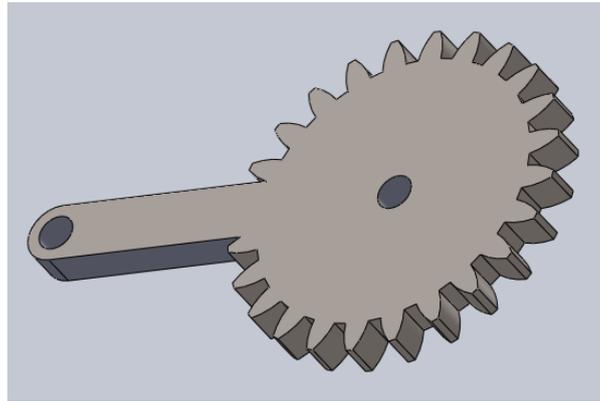


Figure IV.3 : Engrenages de pince robot.

Dans cette section, nous allons calculer les forces exercées dans la pince du robot par le couple. Pour cela, nous allons prendre trois situations de la pince: lorsque la pince est dans l'ouverture minimale, lorsque la pince est dans une ouverture moyenne et lorsque la pince est dans l'ouverture maximale. Pour calculer la force nécessaire que la pince doit exercer, on doit avoir des facteurs de fonctionnement tels que le coefficient de frottement du matériau avec lequel la pince sera construite. Le diagramme du corps libre suivant montre le comportement de la pince lors de la création de la force de préhension par rapport à la boîte en carton, qui mesurera 7,5 cm de haut, 3,5 cm de large et 7,5 cm de long et pèsera 125 g.

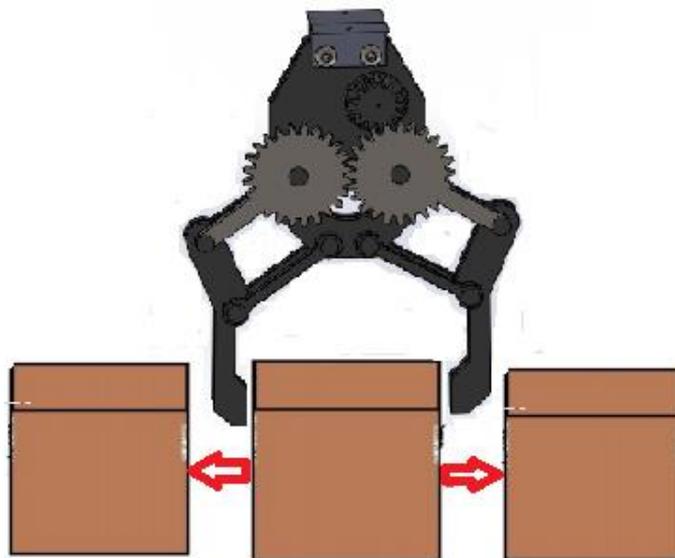


Figure IV.4 : Essais avec pince mécanique.

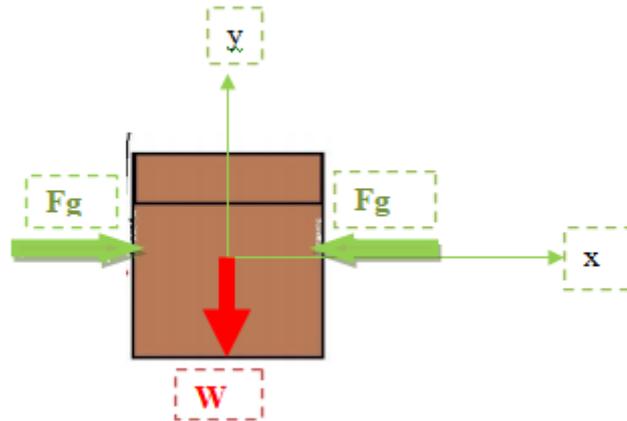


Figure IV.5 : Les forces agissant sur la boîte en carton.

À la suite du diagramme du corps libre, l'équation suivante peut être obtenue :

$$\mu \cdot nf \cdot Fg = w \cdot g \quad (\text{IV.7})$$

μ : Le coefficient de frottement de la surface de serrage par rapport à la surface de la buse de la boîte avec une valeur de 0,4827.

nf : nombre de doigts que la pince utilisera, qui dans ce cas sera de 2.

Fg : force de serrage de la pince en N.

W : Poids de la boîte, avec une valeur de 1.225 N.

g : Facteur combiné par l'effet de la gravité et de l'accélération, celui-ci prendra une valeur de 2, car la charge est appliquée dans le sens de la force de gravité.

$$(0,482)(2) \cdot Fg = (1.225 \text{ N}) (2) \quad (\text{IV.8})$$

$$Fg = (1.225 \text{ N}) \cdot (2) / (0,482) \cdot (2) \quad (\text{IV.9})$$

$$Fg = 2,55 \text{ N} \quad (\text{IV.10})$$

Dans cette section, nous allons calculer les forces exercées dans la pince du robot par le couple.

➤ Ouverture minimale.

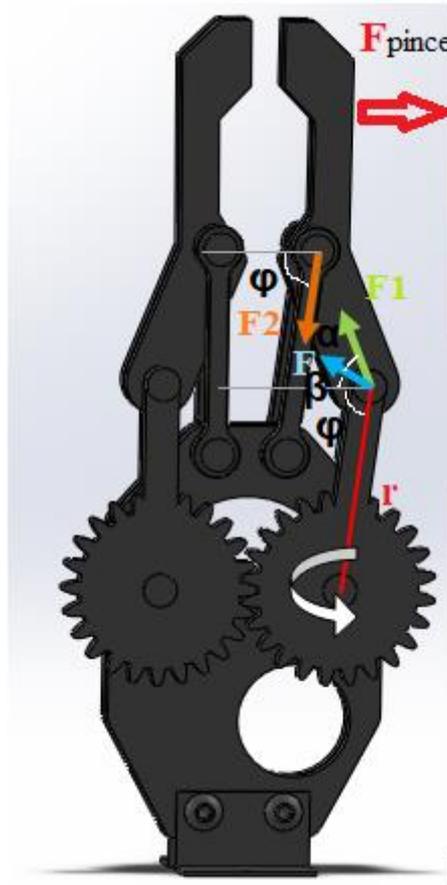


Figure IV.6 : Les forces exercées dans la pince avec l'ouverture minimale.

Tout d'abord, il faut calculer la force exercée par le couple, cette force doit être perpendiculaire au rayon de rotation et cette force s'appelle F. La formule du couple est la suivante:

$$\mathbf{T} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{r} \quad (\text{IV.11})$$

$$\mathbf{F} = \frac{\mathbf{T}}{\mathbf{r}} \quad (\text{IV.12})$$

Nous avons les informations sur le servomoteur afin que nous sachions que le couple est égal à 0,078 N.m soit le même à 78 N.mm. Ensuite, nous devons calculer le rayon de rotation avec «solidworks 2017». Ensuite, on peut mesurer la distance entre tous

les points et la distance du rayon est $r = 31\text{mm}$. Maintenant, nous pouvons utiliser la formule pour calculer la force.

$$\mathbf{F} = \frac{78}{31} = 2.51 \text{ N} \quad (\text{IV.13})$$

Cependant, cette force n'est pas en direction de la pince, il faut donc calculer la composante de cette force qui est en direction de la pince, F_1 . Pour cela, il faut mesurer l'angle α avec «solidworks» et calculer la composante F_1 à l'aide de la formule suivante:

$$\mathbf{F1} = \mathbf{F} \cdot \cos(\alpha) \quad (\text{IV.14})$$

Où α est égal à $69,78^\circ$ donc:

$$\mathbf{F1} = 2.51 \cdot \cos(69.78) = 0.86 \text{ N} \quad (\text{IV.15})$$

Nous devons maintenant résoudre un système avec deux équations et deux inconnues. La première équation est la suivante:

$$\sum \mathbf{Fx} = 0 \longrightarrow -\mathbf{F1} \cdot \cos(\alpha + \beta) - \mathbf{F2} \cdot \cos(\varphi) + \mathbf{Fpince} = 0 \quad (\text{IV.16})$$

Où $\beta = 3,64^\circ$ et $\varphi = 86,36^\circ$, donc:

$$\mathbf{Fpince} = 0.86 \cdot \cos(73.42) + \mathbf{F2} \cdot \cos(86.36) \quad (\text{IV.17})$$

La deuxième équation est:

$$\sum \mathbf{Fy} = 0 \longrightarrow \mathbf{F1} \cdot \sin(\alpha + \beta) - \mathbf{F2} \sin(\varphi) = 0 \quad (\text{IV.18})$$

Ensuite:

$$\mathbf{F2} = \frac{\mathbf{F1} \cdot \sin(\alpha + \beta)}{\sin(\varphi)} = \frac{0.86 \cdot \sin(73.42)}{\sin(86.36)} = 0.826 \text{ N} \quad (\text{IV.19})$$

$$\mathbf{Fpince} = 0.292 \text{ N} \quad (\text{IV.20})$$

➤ ouverture maximale

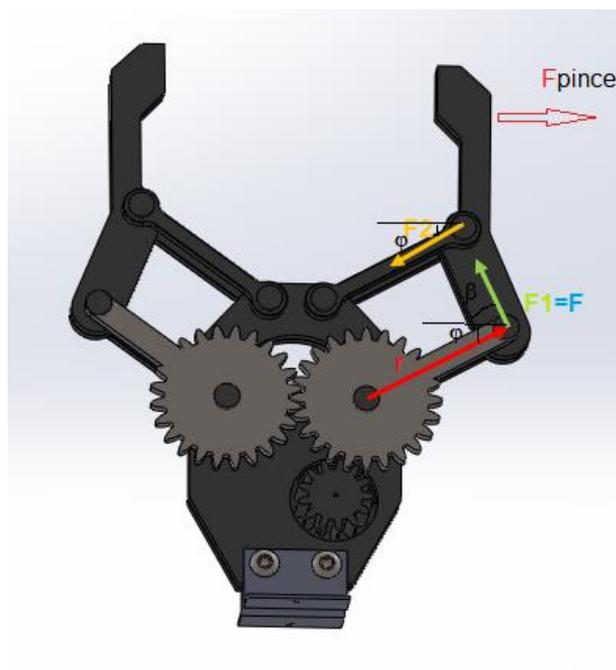


Figure IV.7 : Les forces exercées dans la pince avec l'ouverture maximale.

Enfin, nous allons faire le même processus mais les directions des forces ont encore changé, donc les valeurs des angles ne sont pas les mêmes et la valeur des forces non plus. La valeur de F reste la même et nous avons ici un cas particulier car la force F est dans la direction de la pince donc l'angle α est maintenant nul et $F = F_1$. Nous n'avons pas besoin de calculer de composant dans ce cas et nous pouvons commencer par la résolution des équations:

La première équation est la suivante :

$$\sum F_x = 0 \quad \longrightarrow \quad - F_1 \cdot \cos(\beta) - F_2 \cdot \cos(\varphi) + F_{\text{pince}} = 0 \quad (\text{IV.21})$$

Dans ce cas, $\beta = 73,28^\circ$ et $\varphi = 16,72^\circ$, donc:

$$F_{\text{pince}} = 2.51 \cdot \cos(73.28) + F_2 \cdot \cos(16.72) \quad (\text{IV.22})$$

La deuxième équation est:

$$\sum F_y = 0 \quad \longrightarrow \quad F_1 \cdot \sin(\alpha + \beta) - F_2 \sin(\varphi) = 0 \quad (\text{IV.23})$$

Ensuite:

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot \sin(\alpha + \beta)}{\sin(\varphi)} = \frac{2.51 \cdot \sin(73.28)}{\sin(16.72)} = 8.35 \text{ N} \quad (\text{IV.24})$$

$$F_{\text{pince}} = 8.719 \text{ N} \quad (\text{IV.25})$$

On peut conclure que la force exercée par la pince doit être plus grande lorsque l'ouverture de la pince est grande.

IV.4. Calculer la force d'un bras manipulateur

Afin de sélectionner le moteur approprié, nous devons d'abord effectuer le calcul de la force pour prendre une décision bien conçue. Il faut s'assurer de ne pas oublier, dans les calculs, le poids maximum de l'effecteur terminal et le poids de la boîte en carton portée. Dans un premier temps, un diagramme du corps libre doit être conçu avec le bras manipulateur étiré à sa longueur maximale

Les paramètres à prendre en considération sont:

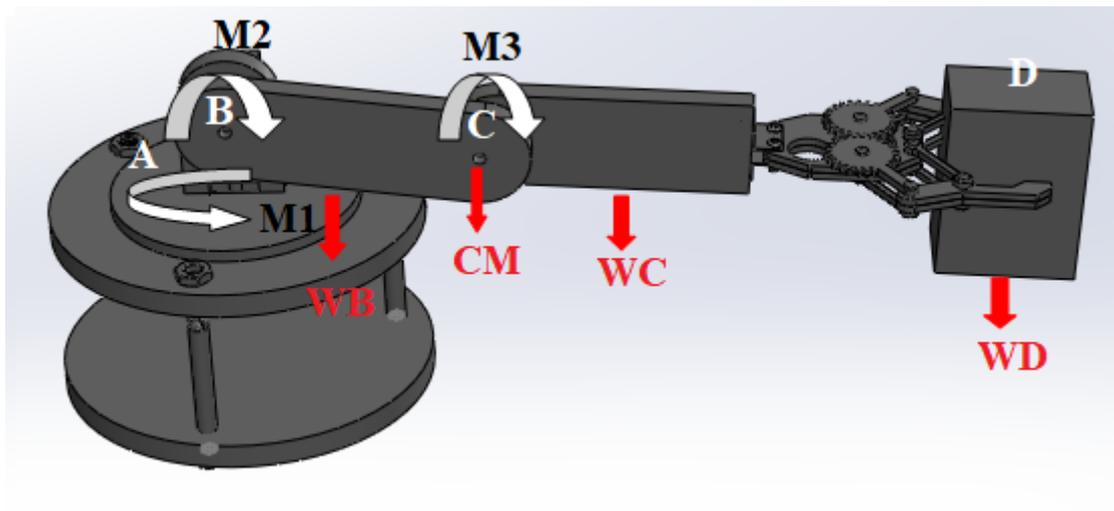


Figure IV.8 : La force est appliquée au bras du manipulateur.

- poids de chaque liaison
- poids de chaque joint
- poids de l'objet à soulever
- longueur de chaque liaison

La figure IV.8 montre le diagramme de force utilisé pour les calculs de charge. Les calculs ont été effectués uniquement pour les articulations qui ont les charges les plus

importantes, car les autres articulations auraient le même moteur,. Les calculs ont pris en compte le poids des moteurs, environ 50 grammes, à l'exception du poids du moteur à l'articulation B, car il est effectué par le lien BA. La figure IV.9 montre le diagramme de force sur la liaison CB, qui contient les articulations (B et C) avec la charge la plus élevée (porter les liaisons DC) et les calculs sont effectués comme suit :

$$WB = 0.07 \text{ kg.}$$

$$WC = 0.06 \text{ kg.}$$

$$WD = 0.155 \text{ kg.}$$

$$CM = 0.050 \text{ kg.}$$

$$BC = 0.1 \text{ m.}$$

$$CD = 2.85 \text{ m.}$$

$$CE = 2.87 \text{ m.}$$

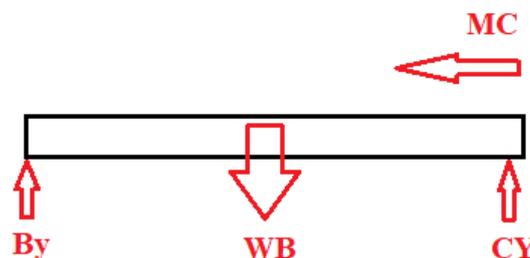


Figure IV.9 : schéma de force du lien CB.

Effectuer la somme des forces sur l'axe Y, en utilisant les charges comme illustré à la figure IV.9 et résoudre pour CY et CB, voir les équations (IV.26). (IV.28). De même, effectuer la somme des moments autour du point C, équation (IV.27) et du point B, équation (IV.29), pour obtenir le couple e dans C et B, équation (IV.30) (IV.31) respectivement.

$$\sum F_y = (WD + WC + CM)g - C_y \quad (\text{IV.26})$$

$$C_y = (0.155 + 0.06 + 0.050) \cdot 9.8 = 2.597 \text{ N} \quad (\text{IV.27})$$

$$\sum F_y = (WD + WC + CM + WB)g - B_y \quad (\text{IV.28})$$

$$By=(0.155+0.06+0.050+0.07).9.8=3.283N \quad (\text{IV.29})$$

$$\sum M_c = \frac{BC}{2} \cdot W_B + BC \cdot C_M + \left(BC + \frac{CD}{2}\right) \cdot W_c + (BC + CE) \cdot W_D \quad (\text{IV.30})$$

$$\sum M_b = \frac{CD}{2} \cdot W_c + CE \cdot W_D \quad (\text{IV.31})$$

$$M_c = 0.560N.m$$

$$M_b = 0.530N.m$$

Le servomoteur qui a été sélectionné, sur la base des calculs, est de 2 petits servo avec un couple: 1,8 kg / cm et un gros servo avec un couple de 10 kg / cm

IV.5.Analyse statique d'un bras manipulateur

Des études ont été menées dans les trois ensembles qui supportent le robot: colonne, base, l'articulation du bras 1 et 2. Comme ce sont les éléments les plus liés à leurs mouvement, à l'exclusion d'une analyse conjointe en raison du manque d'informations concernant les matériaux d'entraînement. Les efforts inclus dans les études sont issus de résultats obtenus à partir d'autres sous-systèmes, tels que les efforts dus à la masse des contrepoids.

IV.5.1.Simulations dans l'ensemble colonne-base

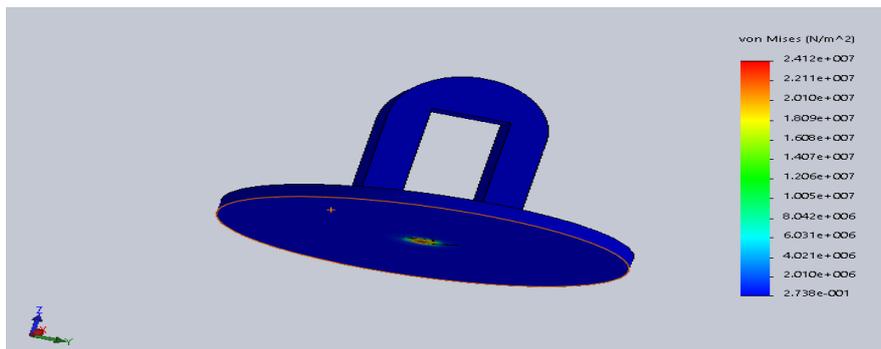
Conditions aux limites particulières:

Charge appliquée verticalement vers le bas dans les trous des servomoteurs de la partie supérieure de l'ensemble, équivalente au poids du maillon 1, du maillon 2, de la fixation et de la laparoscopie, soit un total de 3.773N.

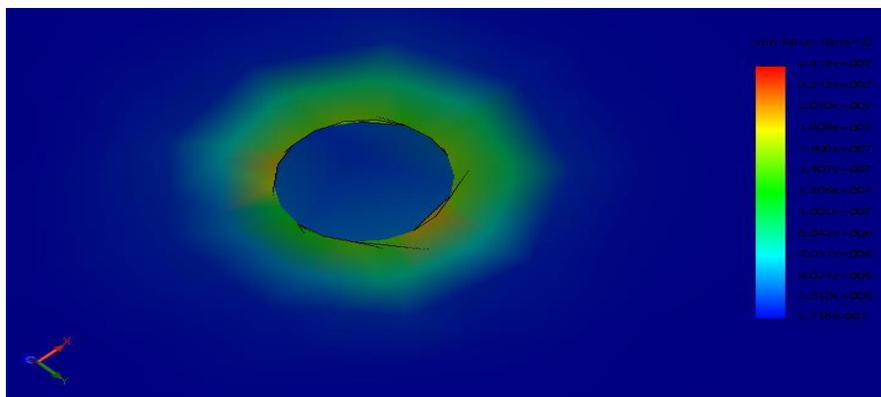
➤ La charge

Nom	Type	Min	Max
Contrainte de Von Mises	VON: contrainte de Von Mises	2.24821e+008 N/m ²	2.738e-001 N/m ²

Tableau IV.3 : Les résultats de chargement.



(a)



(b)

Figure IV.10 : base de colonne en PVC. Distribution des contraintes de Von Mises.

(a) distribution des facteurs de sécurité, (b) détail de la distribution des contraintes de Von Mises

➤ **Déplacement**

Nom	Type	Min	Max
Déplacement	URES:	9.132e-003	1.000e-030
	Déplacement résultant	Mm	Mm

Tableau IV.4 : Résultats de déplacement.

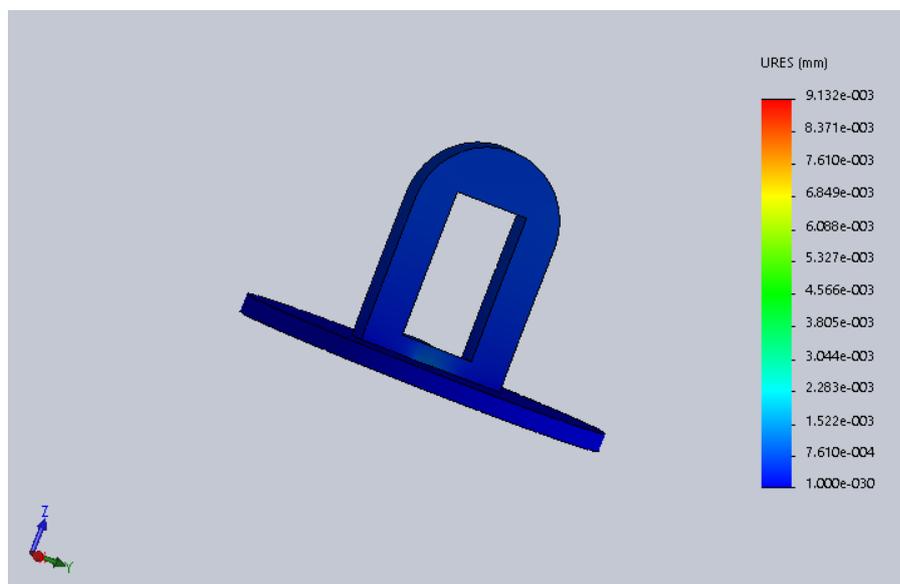


Figure IV.11 : résultats base de colonne -Déplacements

➤ **Afficher le zone de ou le coefficient de Sécurité (cs) et inférieure de1**

Nom	Type	Min	Max
Coefficient de sécurité	Contrainte de von Mises max.	1.201e-010	6.513e-003

Tableau IV.5 :Résultats

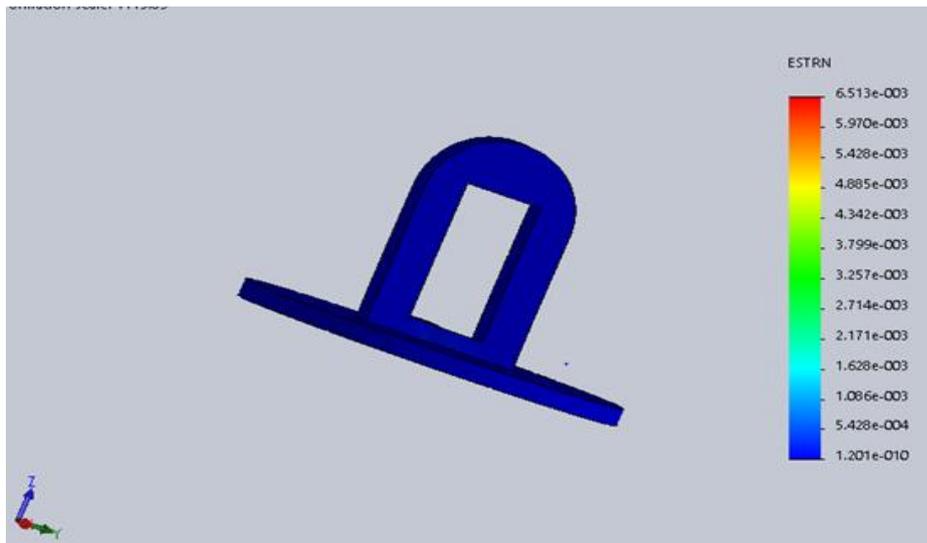


Figure IV.12 : le zone de ou le coefficient de Sécuré (cs) et inferieure de 1.

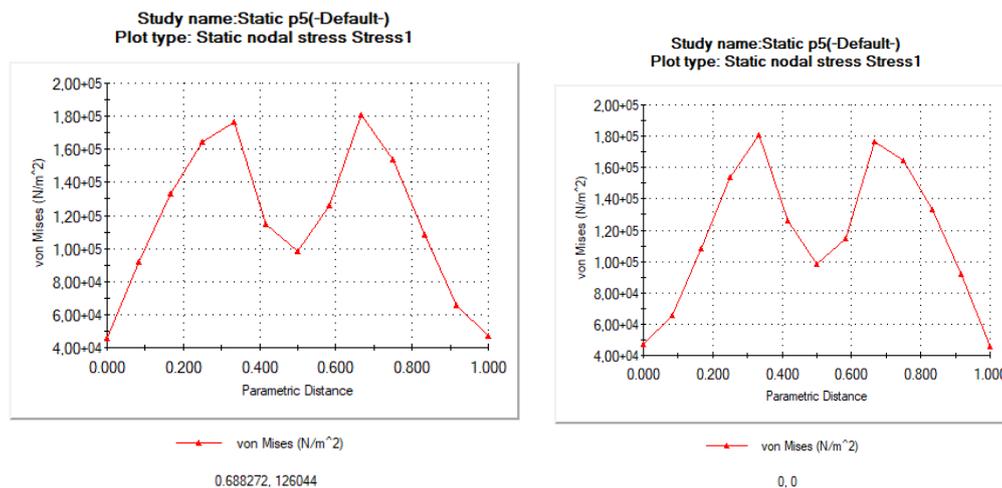


Figure IV.13 : Courbe graphique base de colonne en PVC.

IV.5.2.Simulations dans articulation du bras 1

➤ La charge

Nom	Type	Min	Max
Stress	VON: contrainte de Von Mises	8.24821e+008 N/m^2	8.24821e+008 N/m^2

Tableau IV.6 : Les resulta de chargement.



Figure IV.14 : articulation du bras 1en PVC. Distribution des contraintes de Von Mises.

➤ **Déplacement**

Nom	Type	Min	Max
Déplacement	URES:	3.332e-	1.000e-
	Déplacement	004	030
	résultant	Mm	Mm

Tableau IV.7 : Résultats de déplacement.

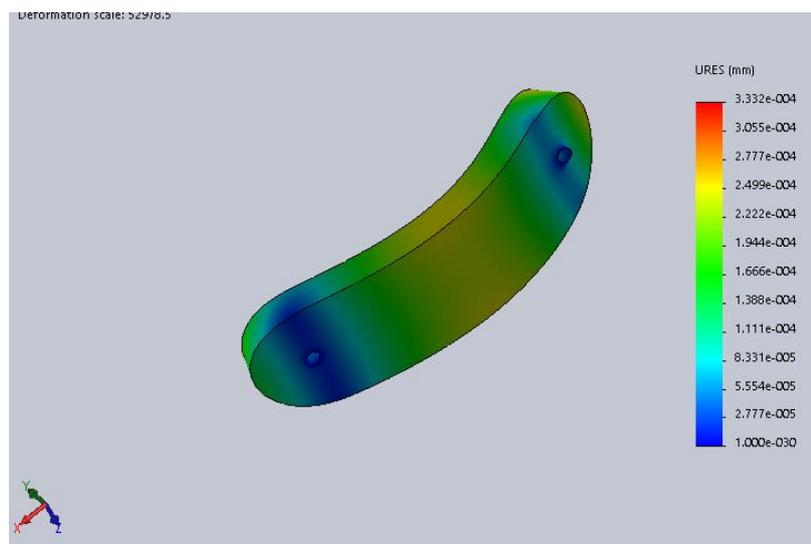


Figure IV.15 : Résultats articulation du bras 1 –Déplacements.

➤ Afficher le zone de ou le coefficient de sécurité et inférieure de l

Nom	Type	Min	Max
Coefficient de sécurité	Contrainte de von Mises max.	1.657e-005	7.254e-008

Tableau IV.8 : Résultats le coefficient de sécurité.

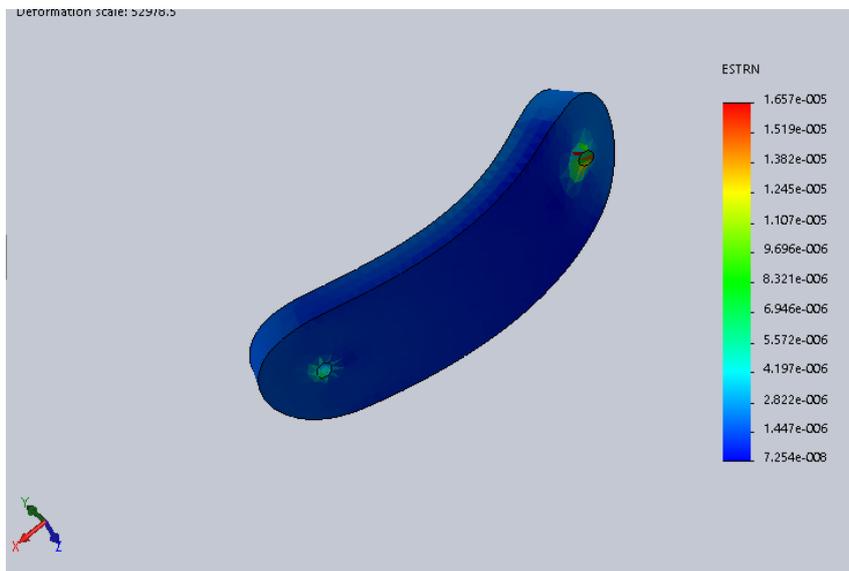


Figure IV.16 : le zone de ou le coefficient de sécurité et inférieure de l.

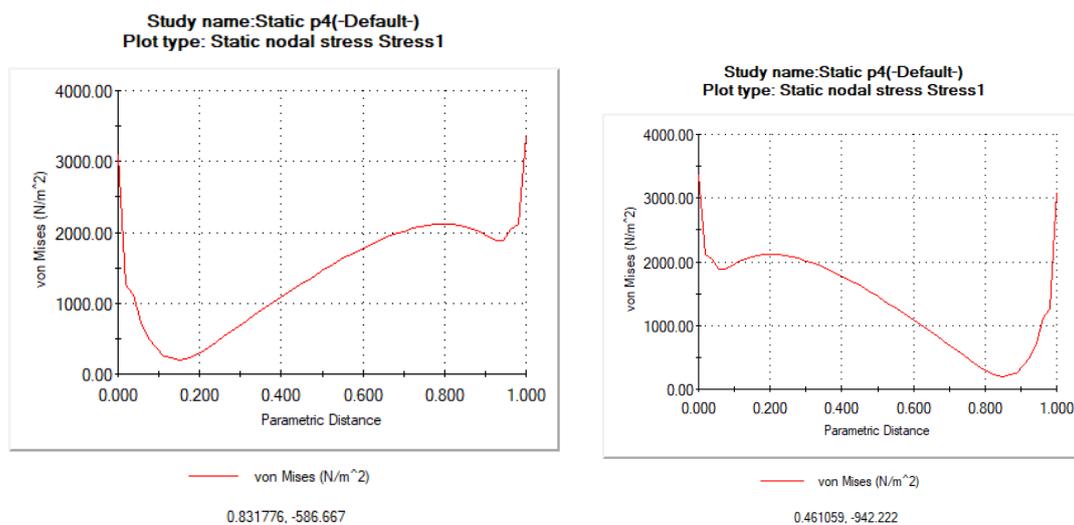


Figure IV.17 : Courbe graphique articulation du bras 1 en PVC. Nombre de boucles vs effort maximal (à gauche) et nombre de boucles vs nombre de nœuds (à droite).

IV.5.3.Simulations dans articulation du bras 2

➤ La charge

Nom	Type	Min	Max
contrainte	VON:	3.213e+005	1.659e+003
	contrainte	N/m ²	N/m ²
	de Von		
	Mises		

Tableau IV.9 : Les résultats de chargement.

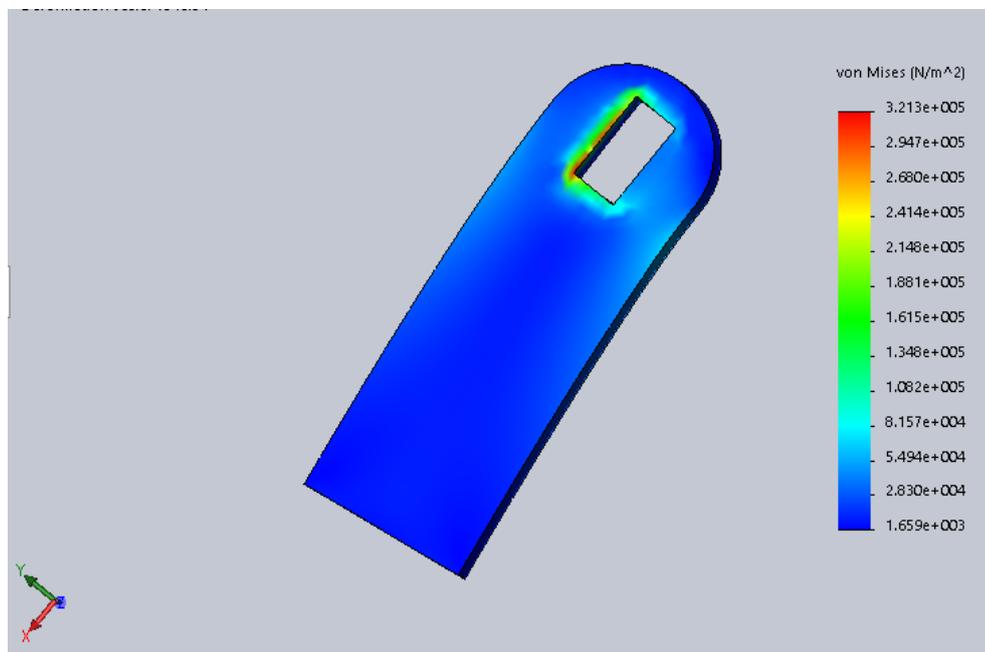


Figure IV.18 : articulation du bras 2 en PVC. Distribution des contraintes de Von Mises.

➤ Déplacement

Nom	Type	Min	Max
Déplacement	URES:	6.837e-003	1.000e-030
	Déplacement	Mm	Mm
	résultant		

Tableau IV.10 : Résultats de déplacement.

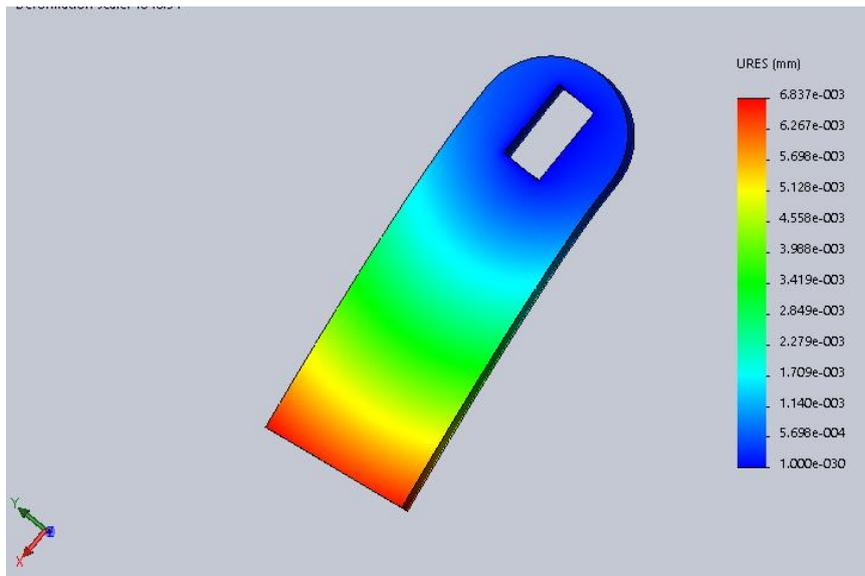


Figure IV.19 : Résultats articulation du bras 2 -Déplacements

- **Afficher le zone de ou le coefficient de sécurité et inferieure de1**

Nom	Type	Min	Max
Coefficient de sécurité	Contrainte de Von Mises max.	6.488e-005	1.051e-006

Tableau IV.11 : Résultats de de sécurité.

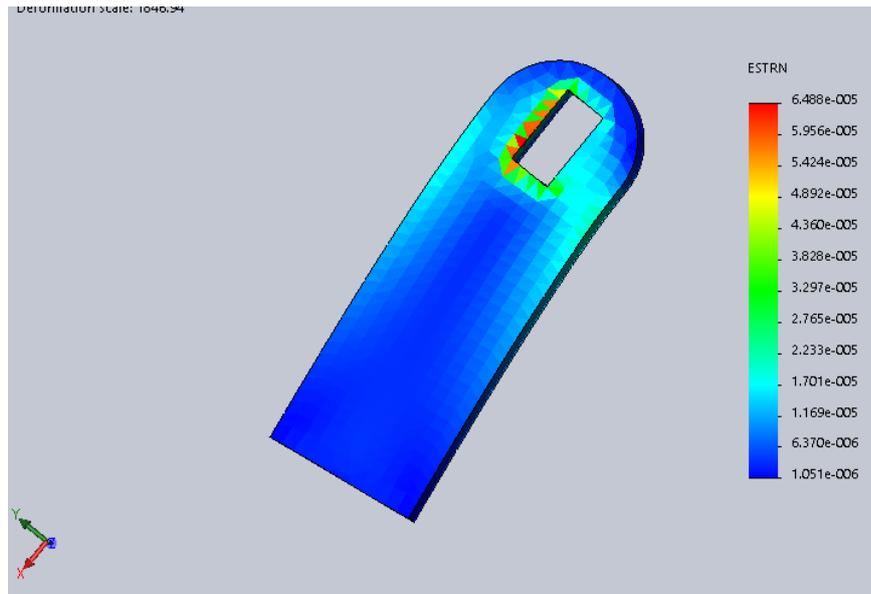


Figure IV.20 : le zone de ou le coefficient de sécurité et inferieure de 1.

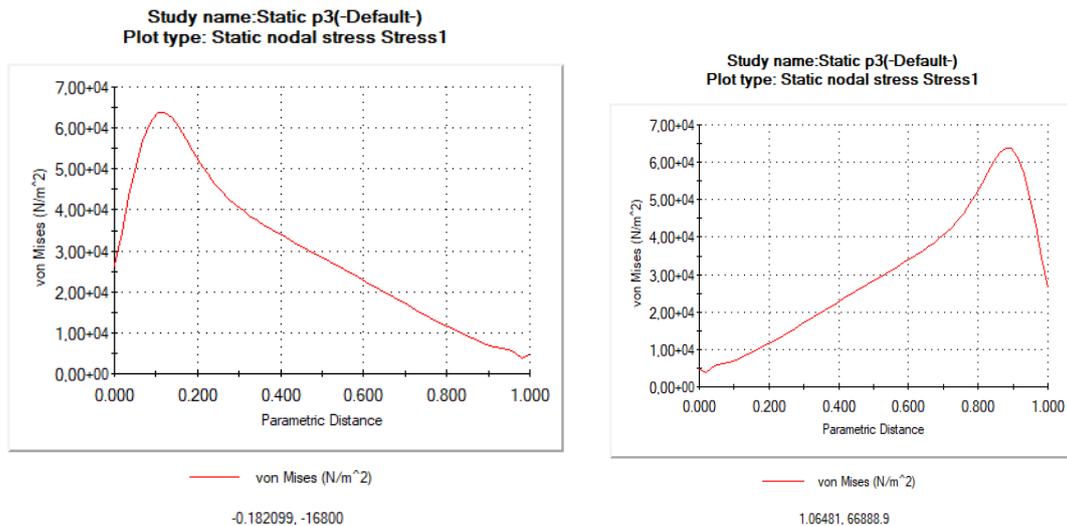


Figure IV.21 : Courbe graphique articulation du bras 2 en PVC. Nombre de boucles vs effort maximal (à gauche) et nombre de boucles vs nombre de nœuds (à droite).

IV.6.Calcul du Modélisation cinématique

IV.6.1.Calcul du Modélisation cinématique direct

Nous supposons que toutes les articulations tournent au maximum à un angle $\theta = \pi$ (pour la raison que tous les servomoteurs ne peuvent pas dépasser cette limite). Afin de trouver l'espace de travail, nous devons tracer tous les emplacements que l'effecteur final peut atteindre comme dans l'image ci-dessous.

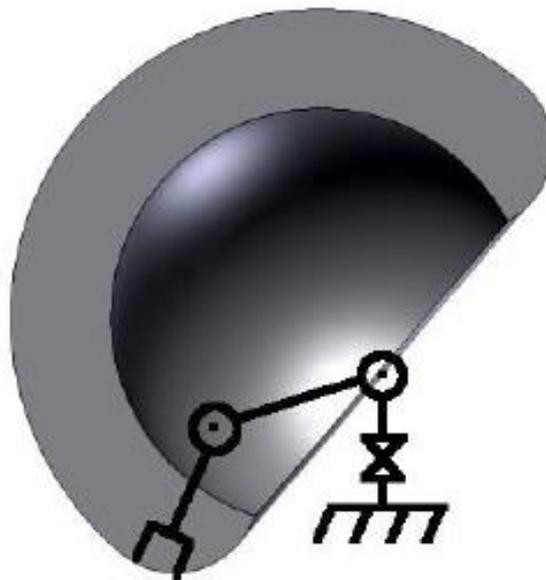


Figure IV.22 : Espace de travail d'un simple bras robotique 3DOF.

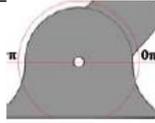
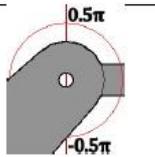
Articulation	Espace de travail	angle
θ_1		$[0, 2\pi]$
θ_2		$[0, \pi]$
θ_3		$\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$

Tableau IV.12 : Limites d'articulation.

En suivant les étapes définies par l'algorithme Denavit-Hartenberg, il a été calculé les paramètres correspondants et sont disposés dans le tableau suivant :

Corps	Θ_i	d_i	a_i	α_i
1	Q_1	4	0	90°
2	Q_2	0	10	0°
3	Q_3	0	9.1	0°

Tableau IV.13 : Valeurs des paramètres D-H.

Et puis, les matrices de transformation individuelles pour $i = 1, 2$ et 3 peut être facilement obtenu. Par la suite, le complet la transformation \mathbf{T} est trouvée à partir de:

$$\mathbf{T} = \mathbf{A}_1^0 \mathbf{A}_2^1 \mathbf{A}_3^2$$

Sur la détermination de, \mathbf{T} nous pouvons trouver les globales coordonnées de l'effecteur terminal. La pointe du bras est à l'origine de la trame 3 (Fig. 3), c'est-à-dire qu'elle est à $[0 \ 0 \ 0 \ 1]^T$. Alors c'est la position dans le cadre global devient:

$$\mathbf{T} = \mathbf{T} [0 \ 0 \ 0 \ 1]^T = [dx \ dy \ dz \ 1]^T$$

Analytiquement à partir de la méthode cinématique, la position de la pince obtenir

$$dx = \cos(\theta_1) ((L_3(\cos(\theta_2 + \theta_3)) + L_2 \cos(\theta_2)) \quad (\text{IV.32})$$

$$dy = \sin(\theta_1) ((L_3(\cos(\theta_2 + \theta_3)) + L_2 \cos(\theta_2)) \quad (\text{IV.33})$$

$$dz = L_1 + L_3 (\sin(\theta_2 + \theta_3)) + L_2 \sin(\theta_2) \quad (\text{IV.34})$$

IV.6.2. Calcul du Modélisation cinématique inverse

On se retrouve avec un ensemble de trois équations non linéaires avec trois inconnues. Résoudre ces équations algébriquement, connu sous le nom de la cinématique inverse, nécessite de connaître l'articulation variables ($\theta_1, \theta_2, \theta_3$) pour une position de préhension donnée (dx, dy, dz). On obtient des équations (IV.35) à (IV.36), en divisant, en quadrillant, en ajoutant et en utilisant certaines formules trigonométriques:

$$\theta_1 = \tan^{-1}(dy/dx) \quad (\text{IV.35})$$

$$\theta_2 = \cos^{-1}[(\cos\theta_1 dx + \sin\theta_1 dy) (a_1 \cos\theta_3 + a_2) - a_3] \quad (\text{IV.36})$$

$$\sin\theta_3 (d_1 + dz) / (a_3 \cos\theta_3 + a_2)^2 + a_2^2 \sin(\theta_3)^2]$$

$$\theta_3 = \cos^{-1}[(\cos\theta_0 dx + \sin\theta_0 dy)^2 + (d_0 + dz)^2 - (a_1^2 + a_2^2)] / 2a_2 a_3 \quad (\text{IV.37})$$

Position d'entrée (cm)			angles de sortie (degré)		
			Θ_1	Θ_2	Θ_3
Dx	Dy	Dz	(0°-180°)	(0°-180°)	(0°-180°)
0	-9.1	10	90°	90°	90°
-3.19	-6.53	1.81	45°	130°	80°
6.66	6.53	1.81	135°	130°	80°
-9.1	-9.1	-9.1	0°	90°	90°

Tableau IV.14: résultat du calcul analytique du bras du robot.

IV. Conclusion

Les calculs de dimensionnement des composants ont été effectués en appliquant des théories de défaillance telles que Von mises. Il a été calculé de manière statique et les résultats ont été analysés à l'aide d'un logiciel solidworks, et il est vérifié qu'ils sont dans une large mesure corrects. Le matériau utilisé pour la construction a été sélectionné selon des tableaux préparés en fonction des caractéristiques de chaque matériau telles que la résistance, l'usinabilité, le poids et le coût d'acquisition. Le matériau qui répond à ces exigences est pvc. Le choix des actionneurs se fait en préparant un tableau comparatif avec des caractéristiques similaires à celles requises par le système, le plus adapté a été sélectionné pour répondre aux objectifs du projet tels que le couple élevé et la précision de positionnement. La simulation du projet dans un support logiciel dans l'analyse de la mécanique des composants et la détection d'éventuels défauts dans la conception générale comme dans la résistance du matériau. L'analyse cinématique inverse du robot 3DDL est étudiée. Le modèle mathématique est préparé et résolu pour les angles des joints.

Dans le chapitre suivant, nous proposons de réaliser un bras manipulateur à trois degrés de liberté. Les résultats obtenus seront utilisés dans ce chapitre.

Chapitre V

Réalisation

V. 1. Introduction

Dans cette partie de notre travail nous allons voir les différents éléments constitutifs du bras manipulateur et comment les assembler. Nous allons également faire des tests afin de voir son fonctionnement et nous allons utiliser la carte Arduino UNO et voir comment les choisir avec les calculs des différents couples pour pouvoir manipuler le bras manipulateur librement. Ainsi réaliser les différentes parties du bras manipulateur.

V.2. Le montage

Le montage est simple, la base est fixée sur une planche en PVC, un servo moteur MG996R est fixé à l'intérieur de la base avec des vis incluses dans l'emballage, où l'épaule est posé à la verticale, à l'aide d'un boulon à corne ronde fixé avec deux vis.



Figure V.1 : base du bras.



Figure V.2 : dessous de l'épaule.



Figure V.3: base et épaule du bras.

Un servo moteur MG996R est fixé sur l'épaule et l'avant-bras, les cornets ronds sont attachés sur le bras principal avec deux vis, qui vient joindre l'épaule et l'avant-bras.

A l'intérieur de l'avant-bras est attaché un micros servo avec deux vis, où vient ce fixé le poignet qui lui-même contient un micros servo qui sera attaché à la pince du robot, pour la pince nous avons utilisé des boulons et des écrous pour la monter et un microservos pour contrôler son ouverture et fermeture.



Figure V.4 : Pince du bras.

Après avoir cité les différentes parties du bras manipulateur, nous allons les assembler pour avoir un bras manipulateur complet, la figure ci-dessous le montre.

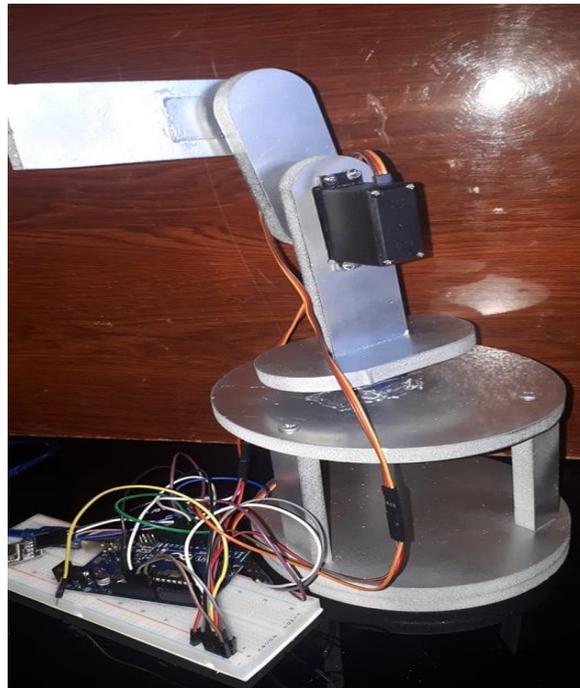


Figure V.5 : Assemblage complet du bras manipulateur.

V.3. Conception matérielle et logicielle

- La carte Arduino méga

La carte Arduino Méga 2560 est une carte à microcontrôleur basée sur un ATmega2560.

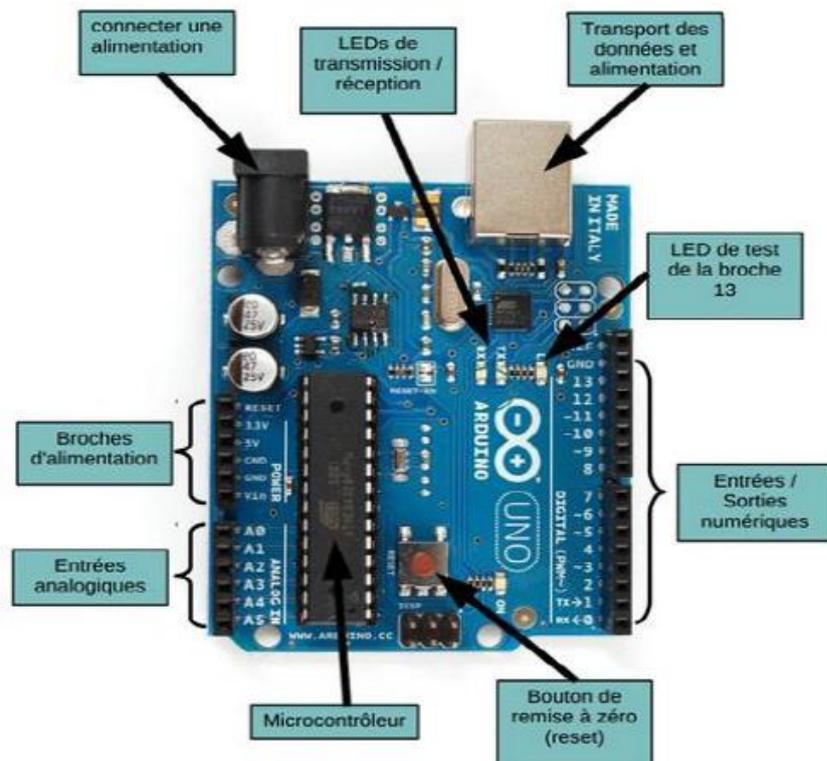


Figure V.6 : Carte Arduino UNO.

- Servomoteurs

Dans un servo amateur, il y a quatre composants principaux, un moteur à courant continu, une boîte de vitesses, un potentiomètre et un circuit de contrôle. Le moteur à courant continu a une vitesse élevée et un couple faible, mais la boîte de vitesses réduit la vitesse à environ 60 tr/min tout en augmentant le couple. [22]

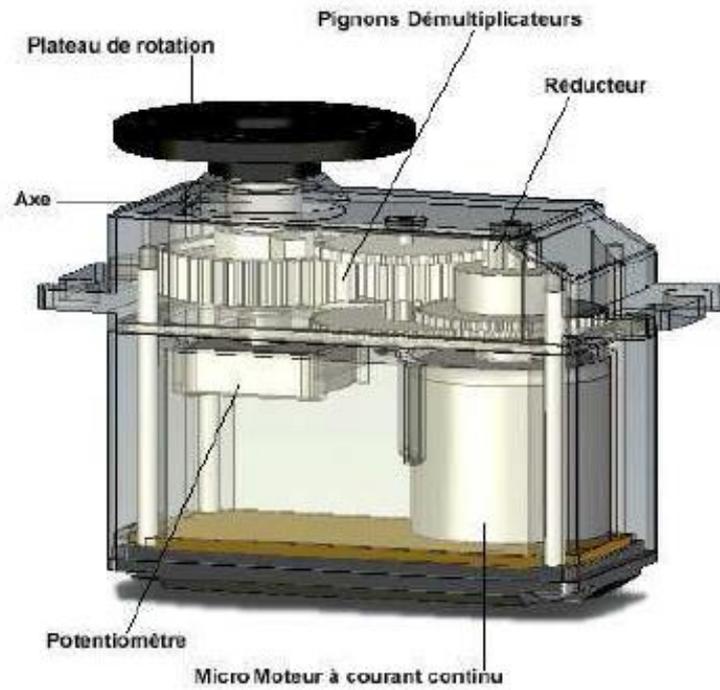


Figure V.7 : composition d'un servo moteur.

Caractéristique Type		
	Servomoteur SG90	Servomoteur SG90
Dimensions	22 x 11.5 x 27 mm	40mm x 20mm x 38.1 mm
Poids	9 gr	50gr
Tension d'alimentation	4.8v à 6v	4,8v à 7,2v

Tableau V.1 : Caractéristique de chaque servomoteur.

V.4. Réalisation de l'application Android :

V.4.1. L'IDE Arduino :

Un environnement de développement intégré fonctionnant sur divers systèmes d'exploitation (Windows, Mac OS, Gnu/Linux) qui permet d'éditer le programme sur un ordinateur et de le transférer via le port USB.



Figure V.8 : Logo Arduino.

Le logiciel Arduino est un IDE open source et gratuit, qui permet d'éditer un programme : des croquis (*sketch* en Anglais), de compiler ce programme dans le langage « machine » de l'Arduino, de téléverser le programme dans la mémoire de l'Arduino, et de communiquer avec la carte Arduino grâce au terminal.

V.4.2. Explication du code Arduino :

➤ Partie déclaration des variables :

Dans cette partie nous devons :

- Inclure la bibliothèque **SoftwareSerial** pour la communication série du module Bluetooth ainsi que la bibliothèque **Servo**, qui sont incluses dans l'IDE Arduino.
- Définir les quatre servos moteur qui sont des objets de type **Servo**.
- Définir le module Bluetooth HC-05 de type **SoftwareSerial** en lui attribuant les broches **RX** et **TX**
- Définir les tableaux de type **int** pour stocker la position actuelle **ps[]**, précédente **_ps[]** des servos, ainsi qu'un tableau pour stocker les positions ou les étapes du mode automatique **pos[p]**
- Et enfin les variables pour la vitesse de déplacement **v**, et de donnée reçue via Bluetooth **Data** de type **String**.

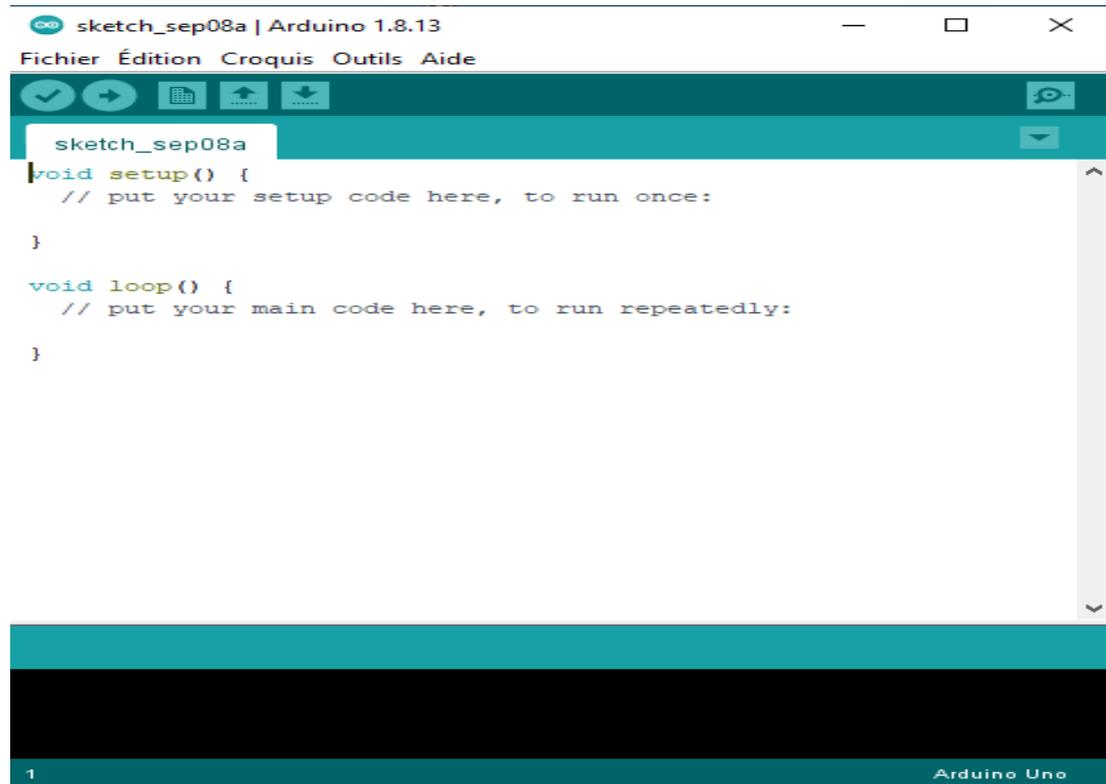


Figure V.9: fenêtre Logo Arduino.

V.4.3. Utilisation des boutons

Pour contrôler notre bras, cette fois nous avons opté pour des boutons poussoir. Nous Utiliserons quatre boutons, pour chaque partie du **Teach mode**, c'est-à-dire

1. Détacher les moteurs
2. Enregistrer la position des moteurs à partir des potentiomètres
3. Lancer le mouvement du robot
4. Réinitialiser le tableau de position.

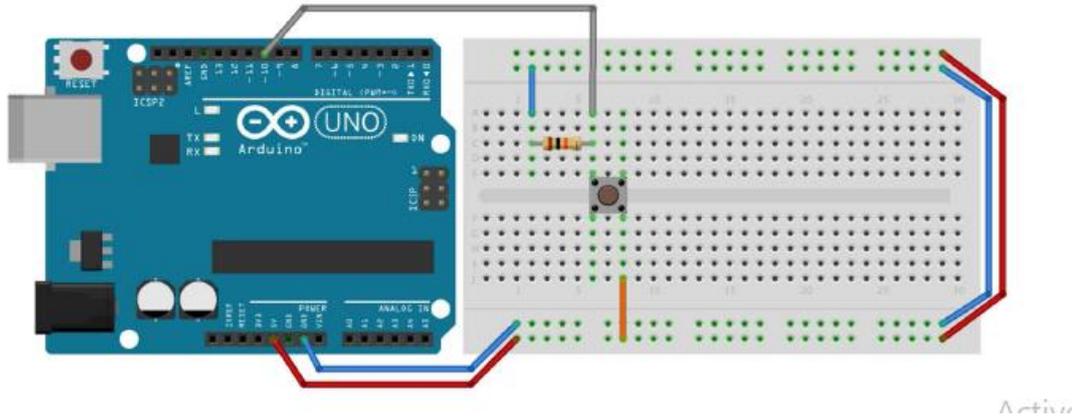


Figure V.10: Schéma branchement boutons.

V.4.4.Schéma général

Pour finir nous allons expliquer rapidement l'algorithme utilisé, le code sera disponible en Annexe.

- D'abord déclarer la référence analogique en « EXTERNAL » (pin A-Ref), pour modifier la tension de référence du CAN d l'Arduino.
- Initialiser les diffère bouton en Booléen, et les affecter à leurs pins respectifs.
- Affecter pour chaque bouton en position HIGH la fonction adéquate, c'est-à-dire :
 - **Détacher**: qui détache tous les moteurs de leurs pins pour permettre de les mouvoir manuellement.
 - **Lecture** : lis la valeur du potentiomètre interne de chaque moteur, le convertie en degré avec la fonction map et l'enregistre dans un tableau de position.
 - **Commencer** : attache tous les moteurs a leur pin, puis parcourt le tableau. Position, et positionne les moteur du bras en fonctions de ce dernier.

Enfin voici le schéma électrique final, regroupant les moteurs, les boutons, et le module Bluetooth de notre montage.

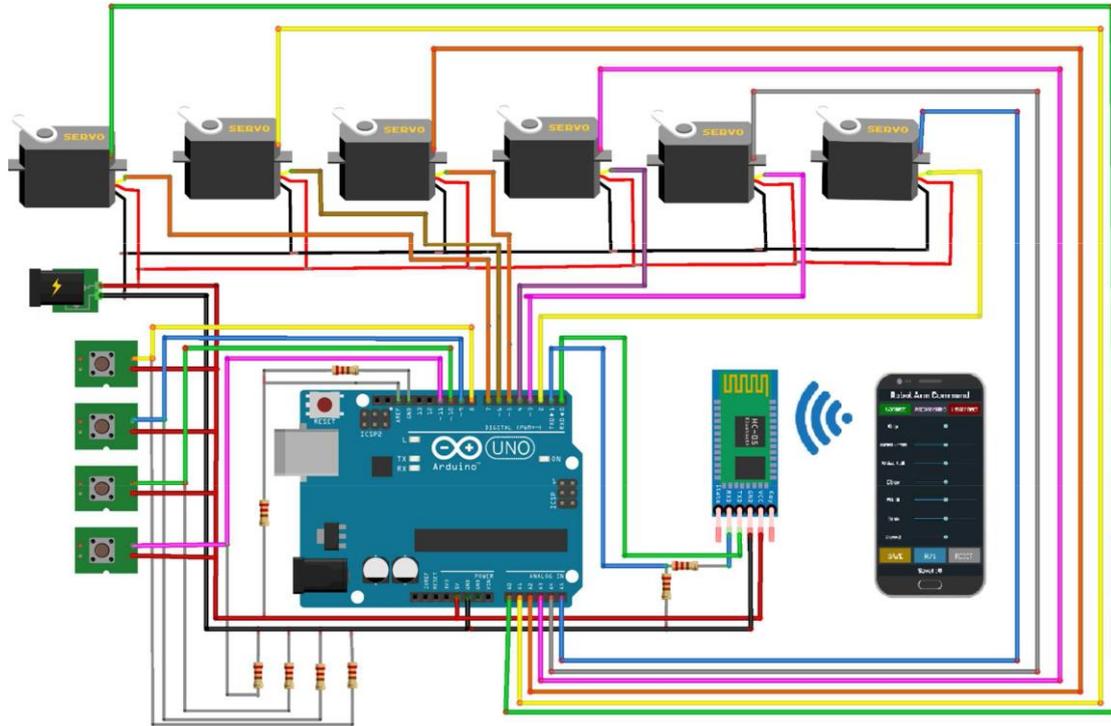


Figure V.11 : Schéma final du montage.

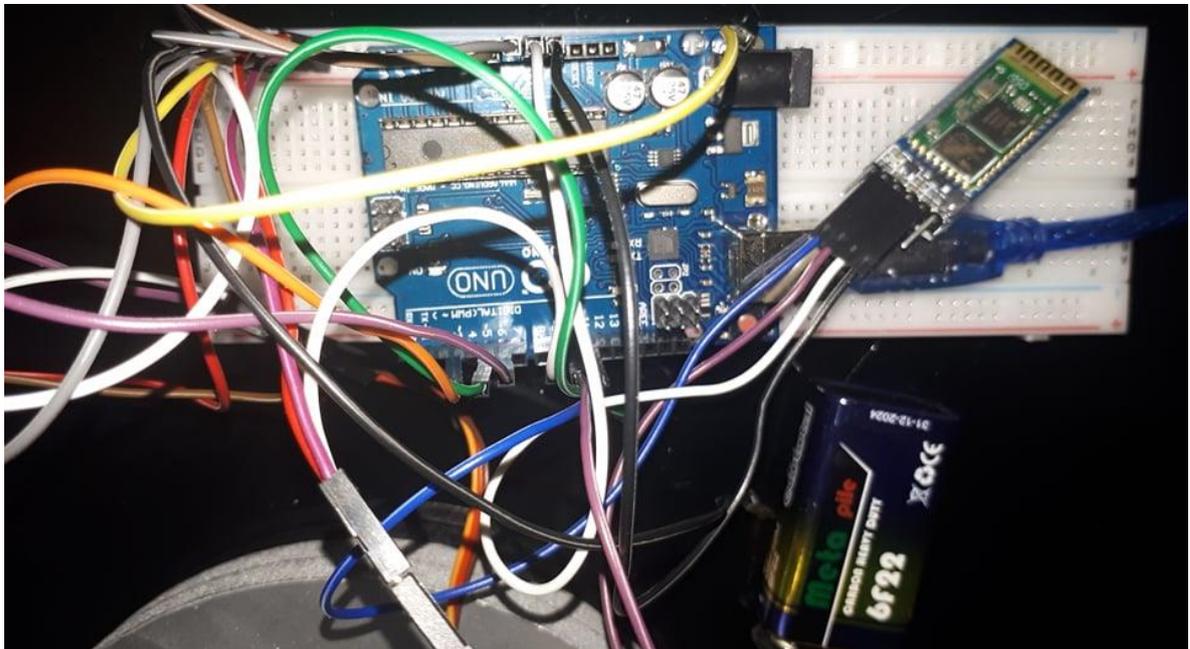


Figure V.12: Bras manipulateur et sa carte de commande.

Conclusion

Ce chapitre comprend deux parties, la méthodologie sur la construction et son dimensionnement de notre structure mécanique articulée qui comporte des actionneurs, nous avons pu décrire les différents éléments constitutifs du bras manipulateur. Dans la seconde partie, on a développé le principe de commande le bras manipulateur et ses mouvements on utilisant la carte Arduino Méga 2560.

Conclusion générale

Ce mémoire de Master présente la conception et la réalisation d'un bras manipulateur à 3 degrés de liberté. Ce bras peut faire des mouvements divers et cela grâce à l'utilisation du module arduino.

Pour parvenir au bout de notre travail, nous avons organisé notre mémoire en quatre chapitres :

Le chapitre I : introduit les généralités sur les robots ainsi que les éléments constitutifs de ces robots en se basant sur leur structure mécanique. Un robot manipulateur peut être considéré d'une manière générale comme un générateur de mouvements et d'efforts dans les diverses directions de l'espace. Il se compose d'une structure mécanique articulée, le bras lui-même (segments, articulations, architecture,...), d'un organe terminal qui est le dispositif destiné à manipuler des objets, d'une unité informationnelle qui élabore les commandes de ses différentes articulations en vue de l'exécution de ses tâches, des convertisseurs d'énergie ainsi que des chaînes de transmission mécanique.

Le chapitre II : permet de comprendre la modélisation théorique de ce système . Ce dernier est un ensemble des modèles représentés par des équations qui représentent et expliquent le fonctionnement de notre système . Il se compose de plusieurs parties dont les principales sont : le modèle cinématique dans lequel les différentes transformations homogènes sont écrites concernant le fonctionnement de notre système , un processus qui organise les différentes relations entre les coordonnées opérationnelles de l'organe terminal et les différentes configurations des articulations. et le modèle dynamique qui représente les différentes forces et couples des actionneurs et les différentes parties de notre bras .

Le chapitre III : Une étude préliminaire du projet avec la formulation du besoin et le contrôle de sa validité, suivi par l'élaboration de cahier des charges fonctionnelles par la méthode FAST et l'étude conceptuelle du projet. Le processus de conception a été présenté avec les choix des solutions technologiques .

le chapitre IV : avec la présentation du processus Les calculs de dimensionnement des composants ont été effectués en appliquant des coefficients de sécurité tels que vous les avez mis. Il a été

calculé de manière statique et les résultats ont été analysés suivi par la validation de ces choix à l'aide de logiciel SOLIDWORKS 2017 et il est vérifié qu'ils sont dans une large mesure corrects.

Le chapitre V : Au terme de ce travail, nous avons pu concevoir et réaliser un bras manipulateur à trois degrés de liberté qu'on a commandé avec une carte Arduino UNO.

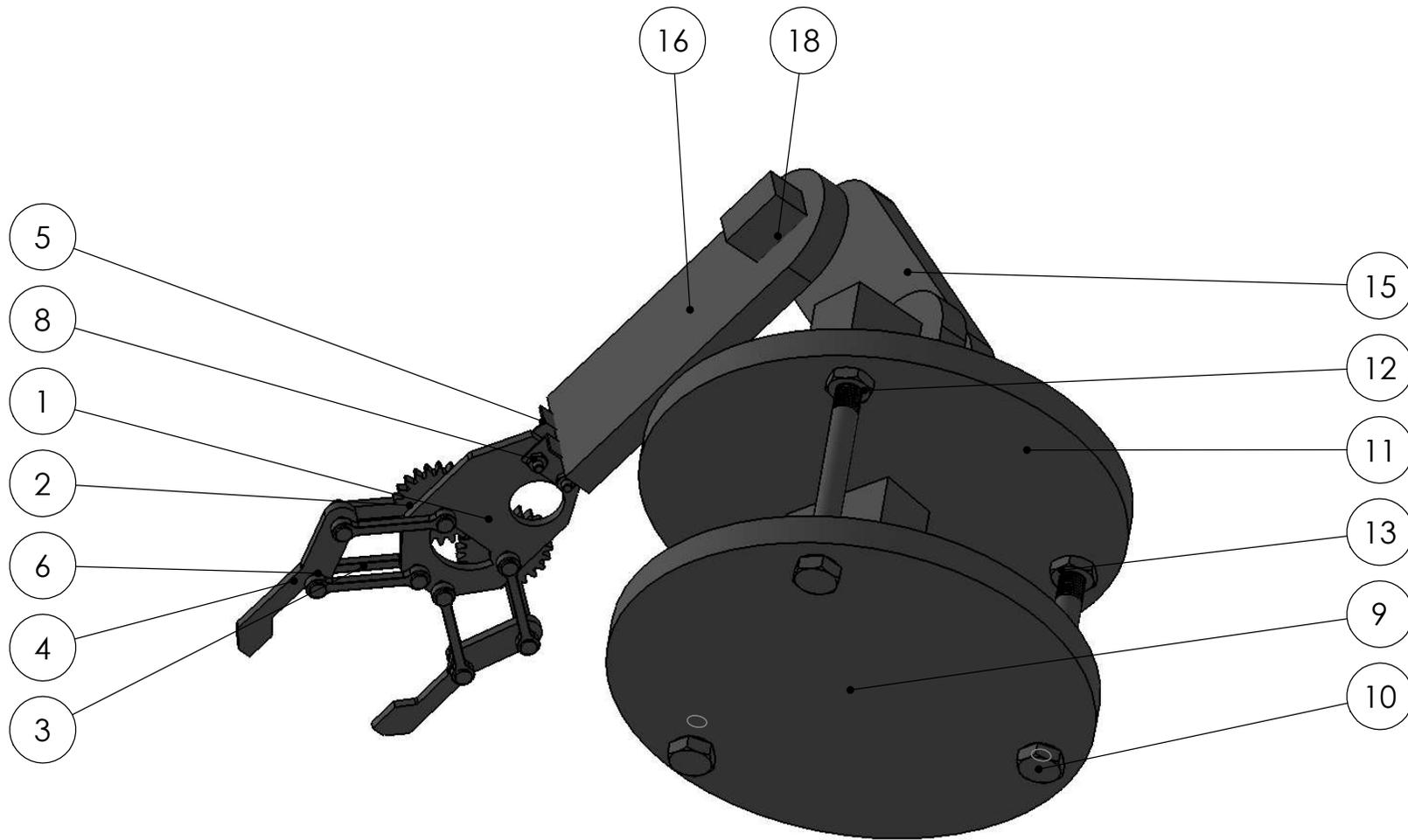
Ce travail nous a permis de mettre en valeur nos connaissances théoriques et pratiques, que nous avons cumulées pendant toute la durée de nos études, il nous a permis aussi d'acquérir une expérience nouvelle dans la programmation des cartes Arduino.

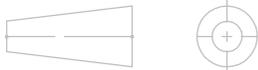
Références bibliographiques

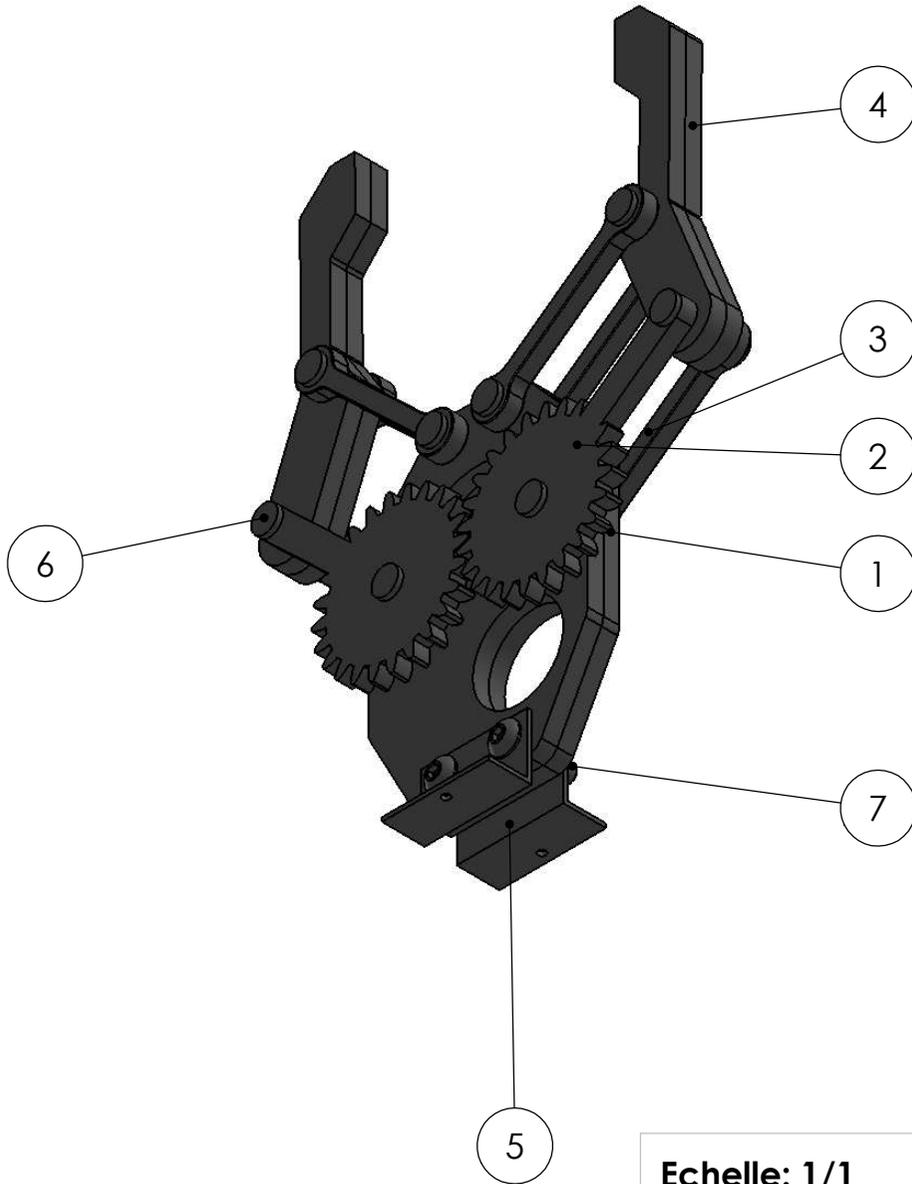
- [1]. Maria Victoria Granja Auramas. Modélisation et analyse du film direct et inversé du manipulateur de Stanford avec six degrés de liberté, École nationale polytechnique, École de génie mécanique, 2014.
- [2]. Jean-Louis Boimand, « Cours ROBOTIQUE ISTIA », Université Angers, page 3.
- [3].https://www.coursexamens.org/images/Veille_technologique/Industrie_automobile/Robotique/CHAP2_1_www.cours-exercices.org.pdf.
- [4]. F. DJOUGANE ‘Etude et conception d'un robot manipulateur pour l'ENMTP’, Université de Batna, option génie industriel, 2012.
- [5].<https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr/sti/files/ressources/techniques/641/641-124-p16.pdf>.
- [6]. <https://sites.google.com/site/technovhugogassinc36fg5/la-robotique-actuelle>.
- [7]. A J.ANGELES and O.MA, An algorithm for the inverse dynamics of n-Axis general manipulators using Kane’s equations, Computers math applic. volume 17 N°12 pp.1545-1561, Great Britain, 1989.
- [8]. Eléments de Robotique, Université Blaise Pascal T. Chateau, 2012/2013.
- [9]. R.Paul. Robot manipulators: Mathematics, programming, and control. MIT press, Cambridge, Londres, Royaume-Uni, 1981.
- [10]. **M. Cazin, J. Metge** « Mécanique de la robotique » 1989 259P.
- [11]. Negrache Bensaouag « Commande dynamique et Adaptative des robots manipulateurs rigides en utilisant l’algorithme des moindres carrés et du gradient application à un robot à 3ddl, Puma »université d’Oran Es-Sénia, 23 octobre 2004.
- [12]. **I. Bonev, Y. Noiseux**, Notes de cours GPA546. 27 mars 2013.
- [13] **W. Khalil, E. Dombre**, Bases de la Modélisation et de la Commande des Robots-Manipulateurs de type série, 22 janvier 2012.
- [14]. **M. Cazin, J. Metge** « Mécanique de la robotique » 1989 259P.

- [15]. <https://www.robotshop.com/community/blog/show/tutoriel-du-couple-pour-un-bras-robotique>.
- [16]. R. Tassinari, Pratique de l'analyse fonctionnelle, Dunod (1988).
- [17]. https://chari.123.ma/doc_1/cours1ste/af%20p.pdf.
- [18]. R. Tassinari, Pratique de l'analyse fonctionnelle, Dunod (1988).
- [19]. <https://www.slideshare.net/baddoumohamed7/conception-et-ralisation-dun-robot-de-supervision-acquisition-et-change-de-donnees-distance-via-une-liaison-sans-fil>.
- [20]. Projet de fin d'étude, Etude et réalisation d'un robot cartésien 3 axes, BARKA Yazid BENTRAR Hakim, université ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEN, 2017/2018.
- [21]. Society of Robots – *How to build a robot arm* –<http://www.societyofrobots.com>, 2010.
- [22]. Oukaci S, Ouazar Y : Mémoire UMMTO « Conception et réalisation d'un bras manipulateur à six degrés de liberté autonome assisté par la vision artificielle » ING.Auto/N°15/2011.
- [23]. Le grand livre d'Arduino, Patrick Chantreau et Erik Bartmann, éd. Eyrolles, 2014.

Annexe



Echelle: 1/1	Master 2 construction Mécanique	RAHIM KENZA
	bras manipulateurs	Date: 28/04/2020
CUAT		Dep: G.M



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL	QTY.
1	Base de pince			2
2	engrangé			2
3	jonction de la pince			6
4	pince			4
5	porte-pince			2
6	pivot d'articulation			8
7	ISO 7380 - M3 x 12 - 12N			2
8	ISO - 4035 - M3 - N			2

Echelle: 1/1

Master 2 construction Mécanique

RAHIM KENZA

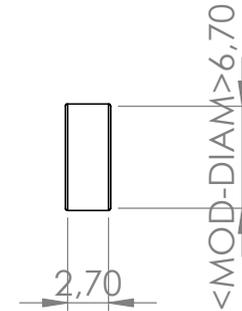
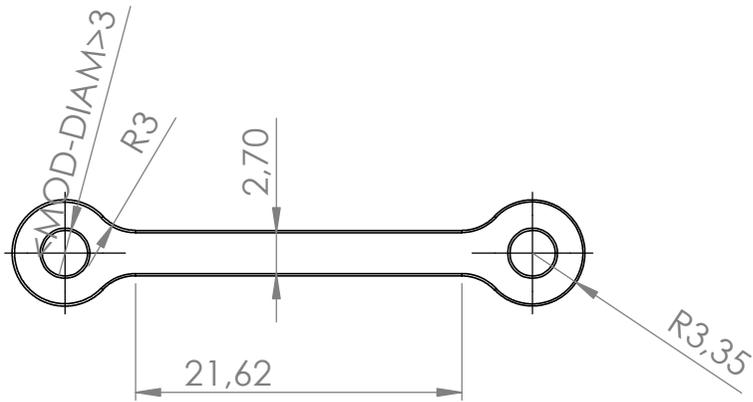


CUAT

la pince robotique

Date: 28/04/2020

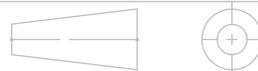
Dep: G.M



Echelle: 1/1

Master 2 construction Mécanique

RAHIM KENZA

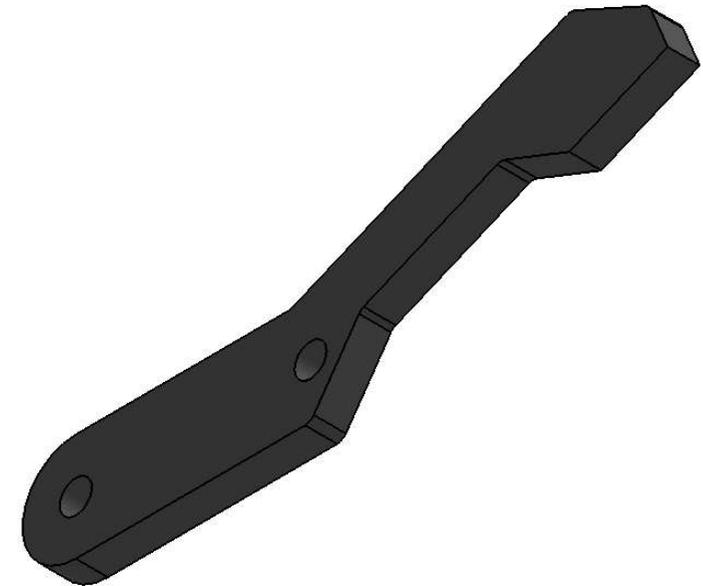
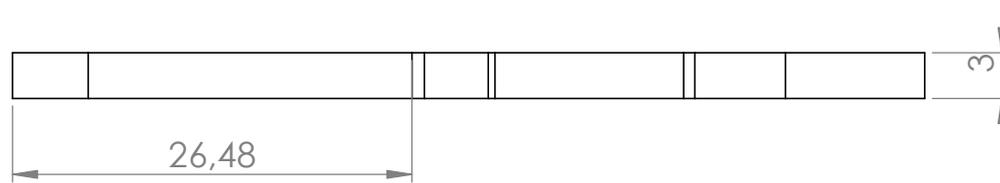
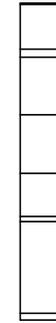
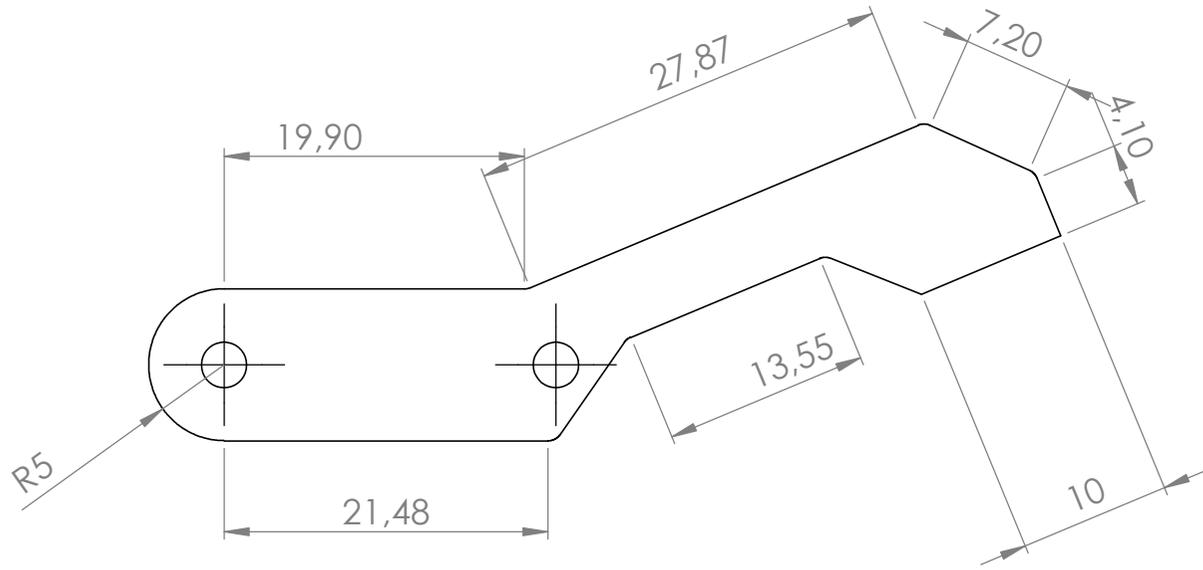


CUAT

jonction de la pince

Date: 28/04/2020

Dep: G.M



Echelle: 1/1

Master 2 construction Mécanique

RAHIM KENZA

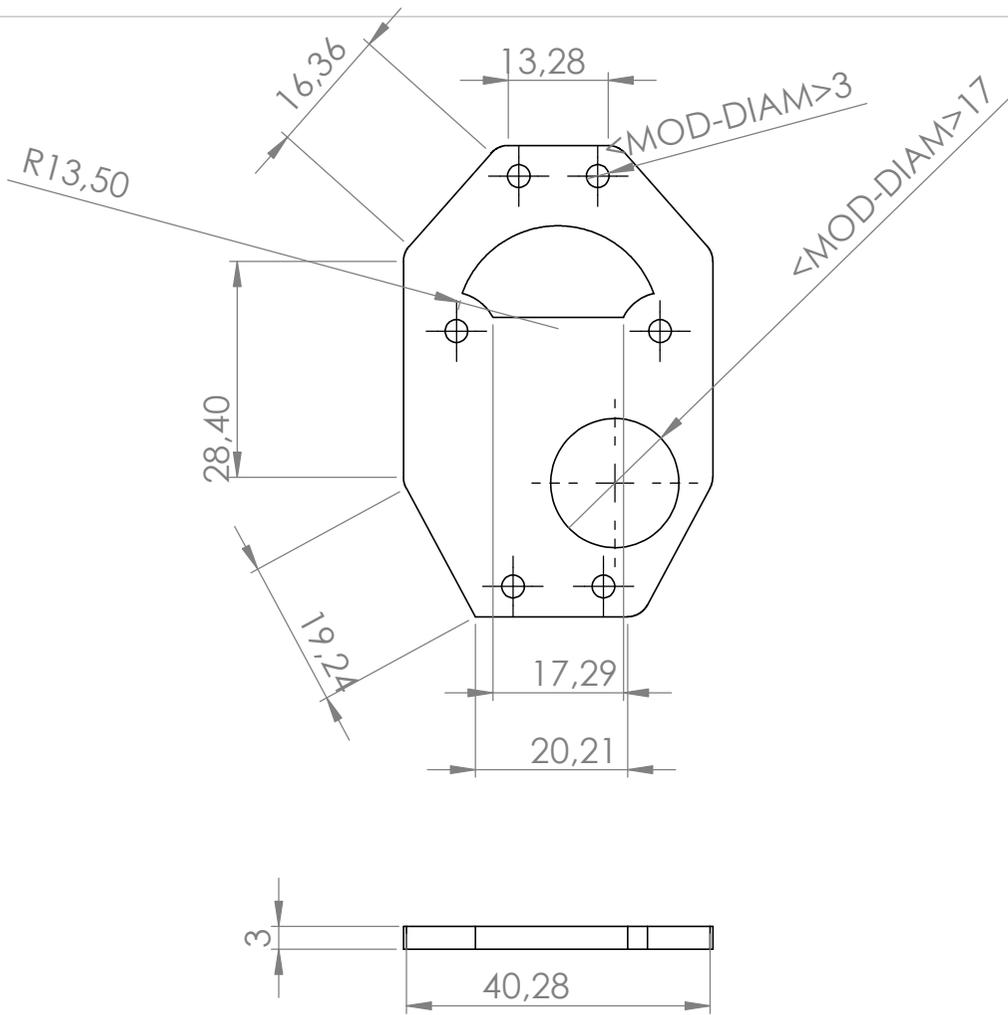


CUAT

pince

Date: 28/04/2020

Dep: G.M



Echelle: 1/1

Master 2 construction Mécanique

RAHIM KENZA

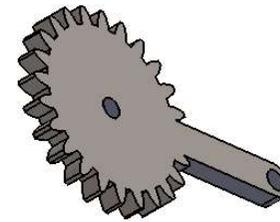
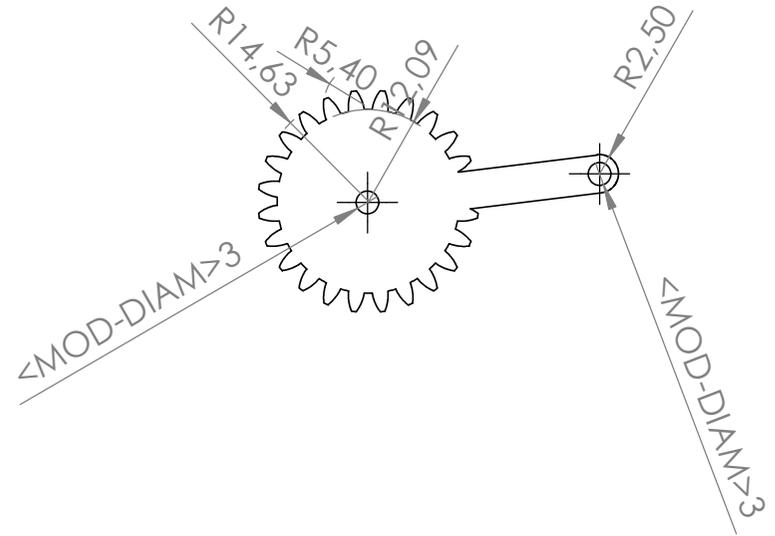
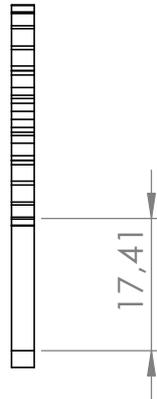


CUAT

base de la pince

Date: 28/04/2020

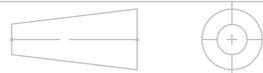
Dep: G.M



Echelle: 1/1

Master 2 construction Mécanique

RAHIM KENZA

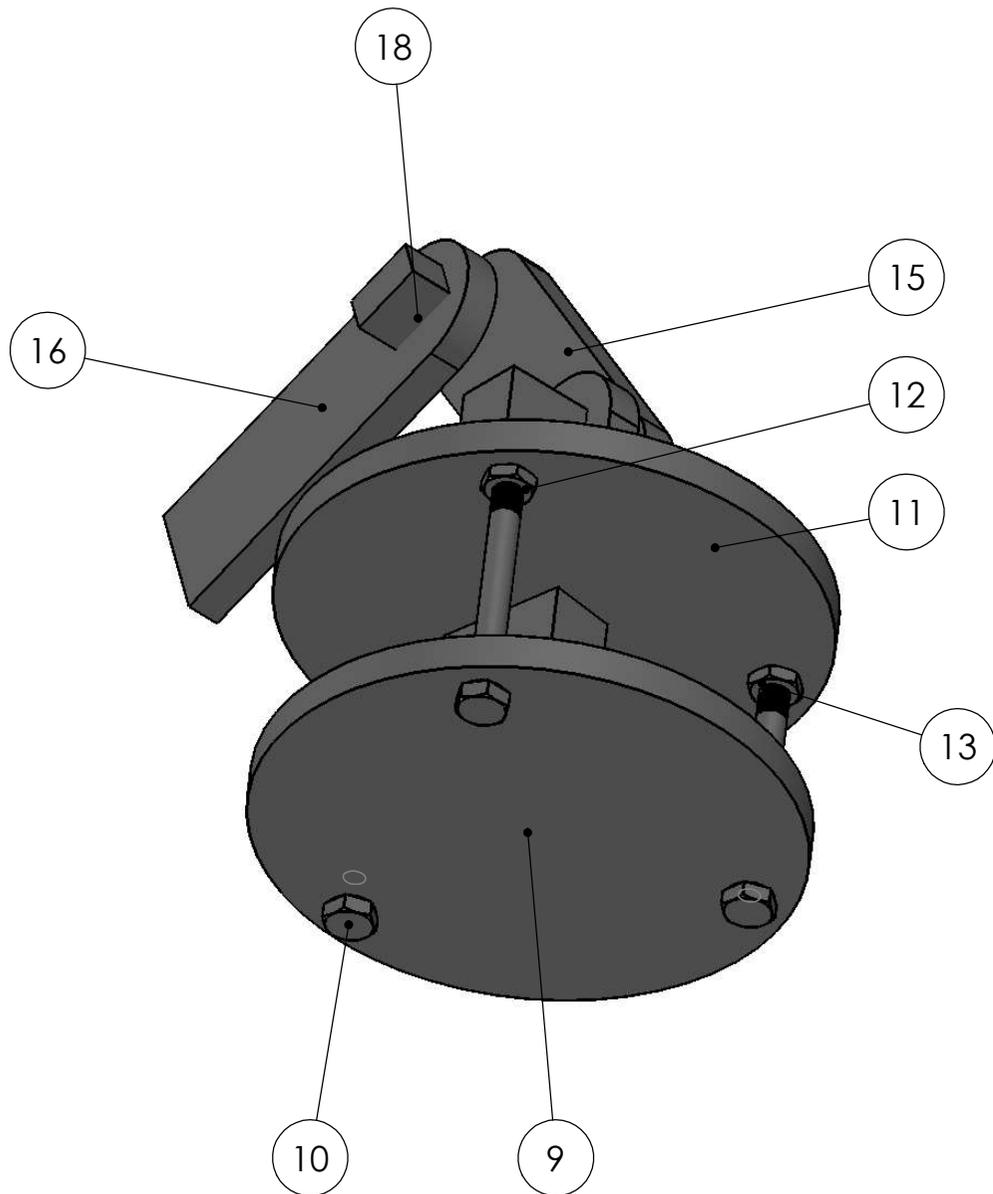


CUAT

engrangé de la pince

Date: 28/04/2020

Dep: G.M



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL	QTY.
9	plaque de montage			1
10	ISO 8765 - M8x1.0 x 80 x 22-S			3
11	plaque de base			1
12	ISO - 4035 - M8 - S			4
13	ISO - 4035 - M8 - N			2
14	plaque de base			1
15	bras articulaire 1			1
16	bras articulaire 2			1
17	servo moteur			2
18	servo moteur			1

Echelle: 1/1

Master 2 construction Mécanique

RAHIM KENZA

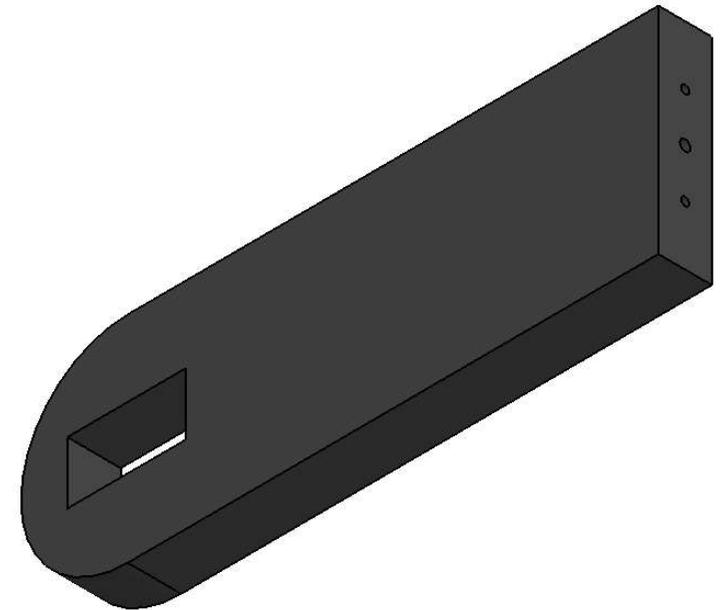
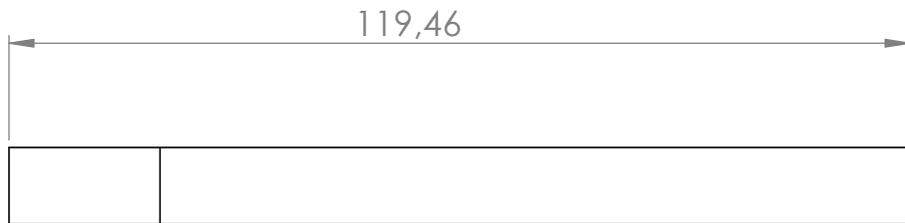
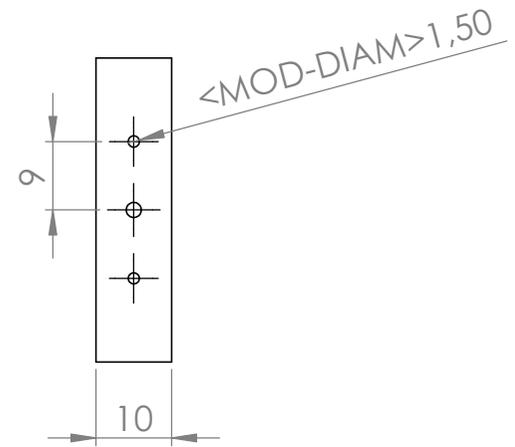
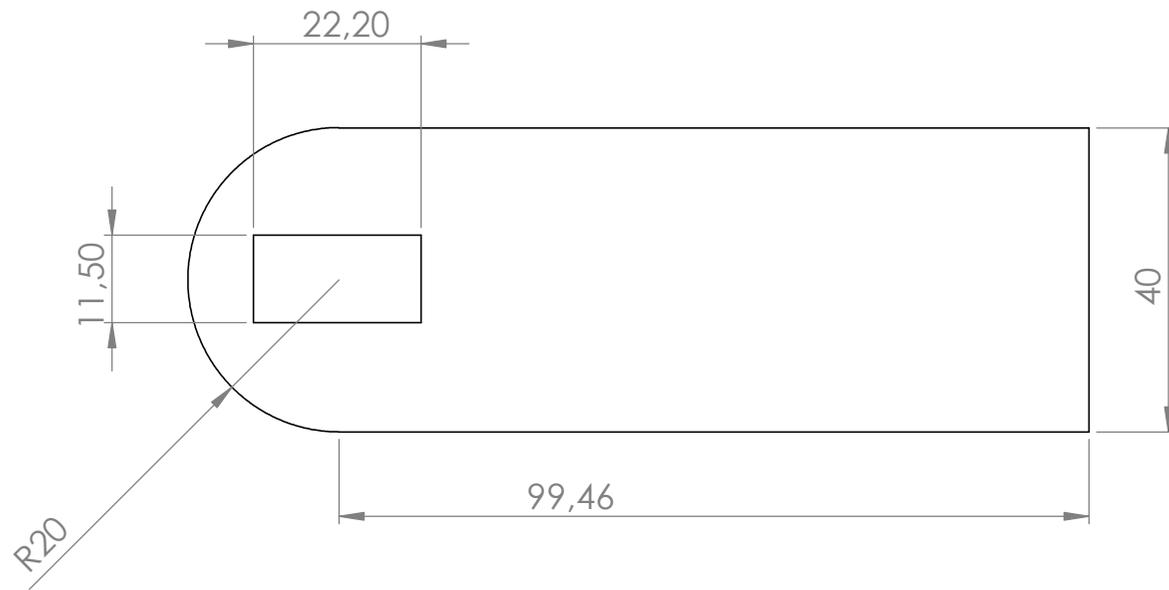


CUAT

bras manipulateurs

Date: 28/04/2020

Dep: G.M



Echelle: 1/1

Master 2 construction Mécanique

RAHIM KENZA

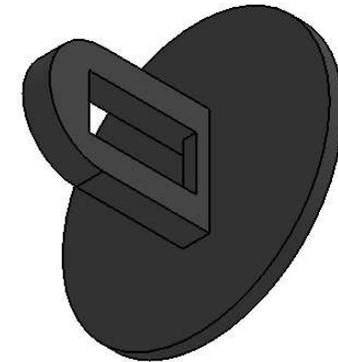
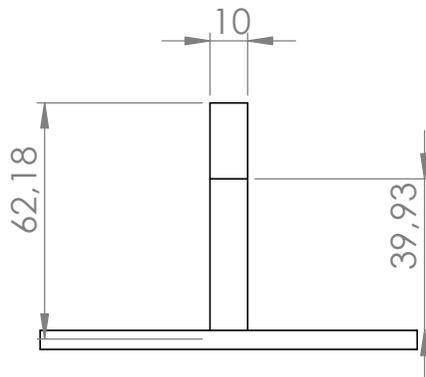
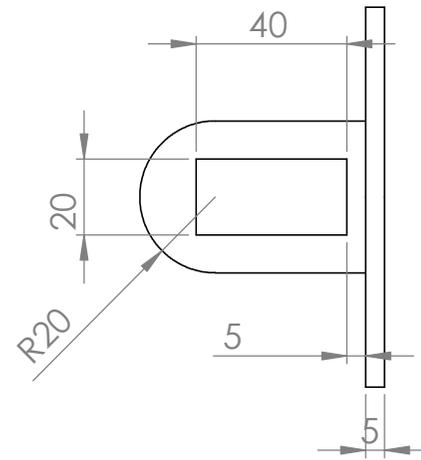
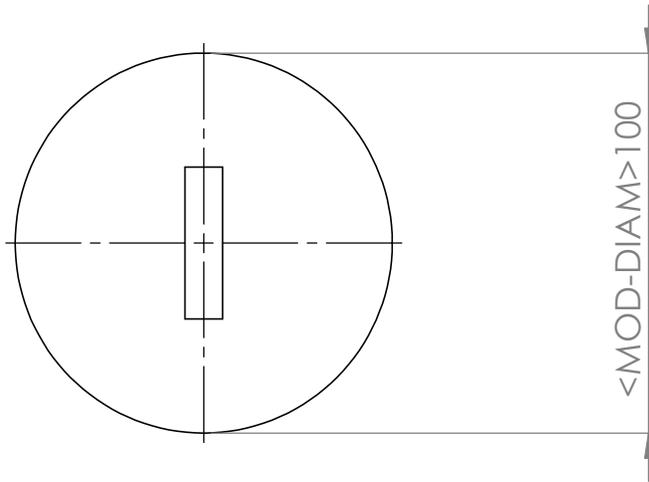


CUAT

bras articulaire 2

Date: 28/04/2020

Dep: G.M



Echelle: 1/1

Master 2 construction Mécanique

RAHIM KENZA

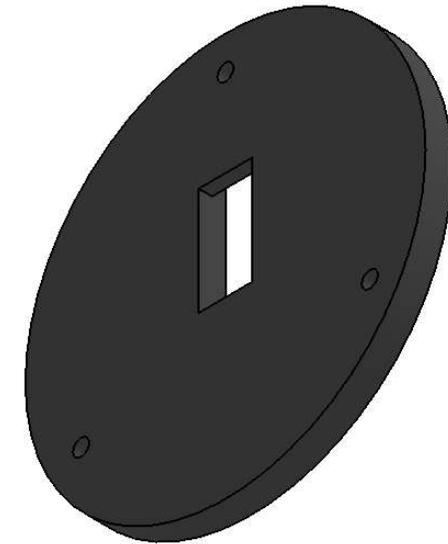
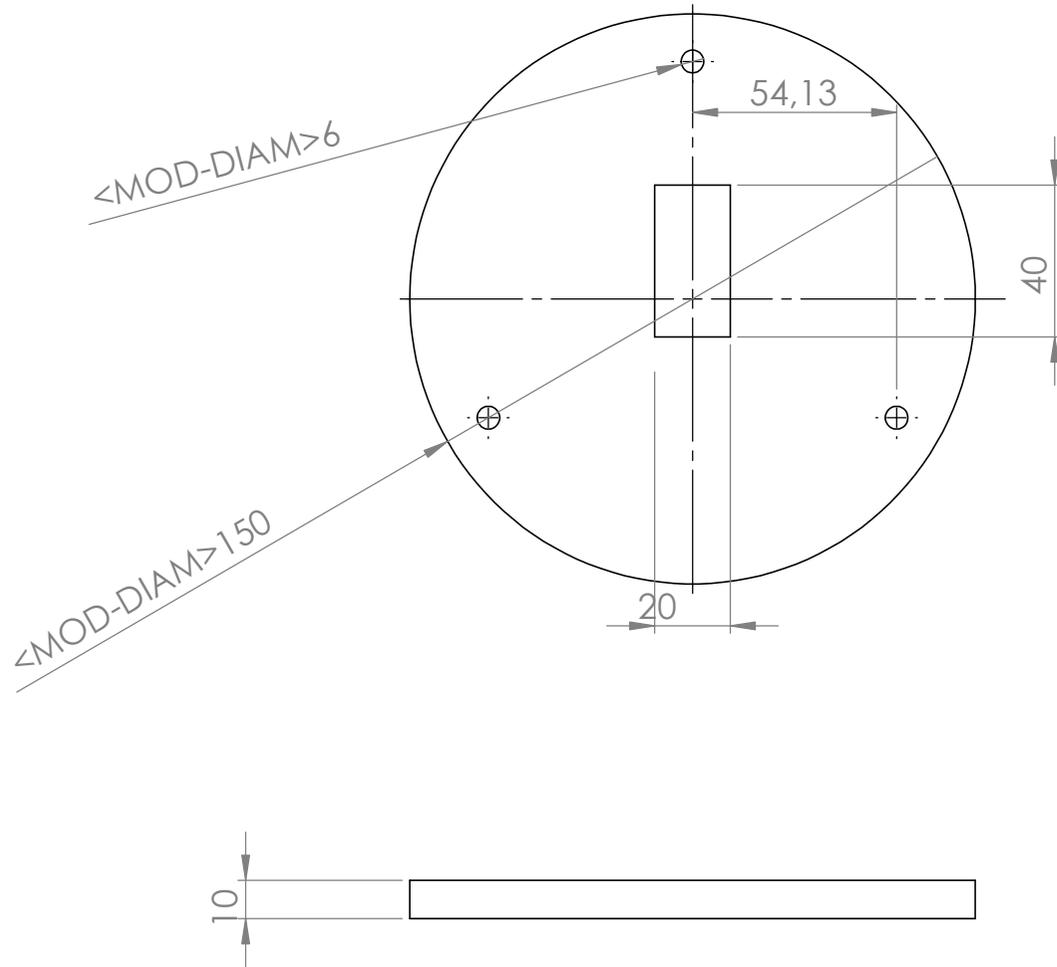


CUAT

plaque de base

Date: 28/04/2020

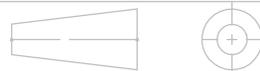
Dep: G.M



Echelle: 1/1

Master 2 construction Mécanique

RAHIM KENZA

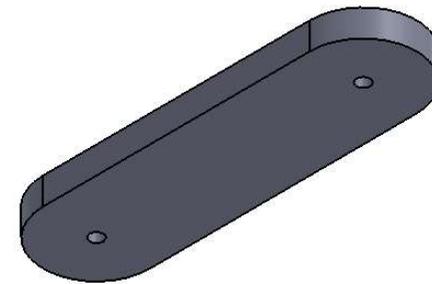
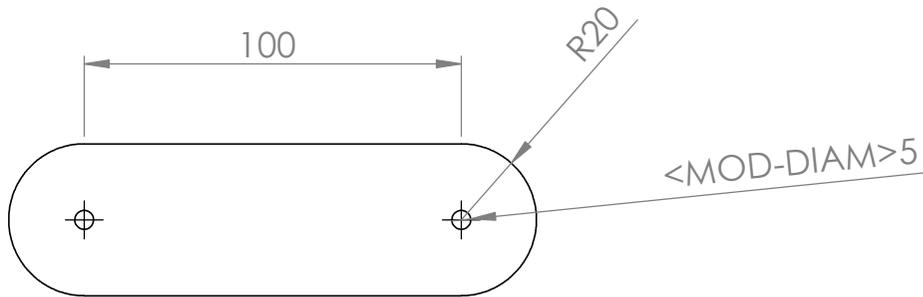
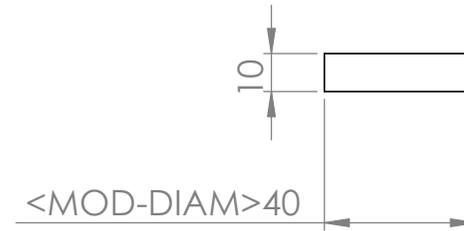
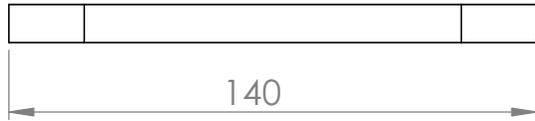


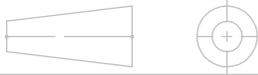
CUAT

plaque de base

Date: 28/04/2020

Dep: G.M



Echelle: 1/1	Master 2 construction Mécanique	RAHIM KENZA
	bras articulaire 1	Date: 28/04/2020
CUAT		Dep: G.M

Code Arduino

```
#include <SoftwareSerial.h> // TX RX software library for bluetooth

#include <Servo.h> // servo library

Servo myservo1, myservo2, myservo3, myservo4; // servo name

int bluetoothTx = 10; // bluetooth tx to 10 pin

int bluetoothRx = 11; // bluetooth rx to 11 pin

SoftwareSerial bluetooth(bluetoothTx, bluetoothRx);

void setup()
{
  myservo1.attach(3); // attach servo signal wire to pin 9

  myservo2.attach(5);

  myservo3.attach(6);

  myservo4.attach(9);

  //Setup usb serial connection to computer

  Serial.begin(9600);

  //Setup Bluetooth serial connection to android

  bluetooth.begin(9600);
}

void loop()
{
  //Read from bluetooth and write to usb serial

  if(bluetooth.available()>= 2 )
  {
    unsigned int servopos = bluetooth.read();

    unsigned int servopos1 = bluetooth.read();

    unsigned int realservo = (servopos1 *256) + servopos;
```

```
Serial.println(realservo);  
if (realservo >= 1000 && realservo <1180) {  
    int servo1 = realservo;  
    servo1 = map(servo1, 1000, 1180, 0, 180);  
    myservo1.write(servo1);  
    Serial.println("Servo 1 ON");  
    delay(10);  
}  
if (realservo >= 2000 && realservo <2180) {  
    int servo2 = realservo;  
    servo2 = map(servo2, 2000, 2180, 0, 180);  
    myservo2.write(servo2);  
    Serial.println("Servo 2 ON");  
    delay(10);  
}  
if (realservo >= 3000 && realservo <3180) {  
    int servo3 = realservo;  
    servo3 = map(servo3, 3000, 3180, 0, 180);  
    myservo3.write(servo3);  
    Serial.println("Servo 3 ON");  
    delay(10);  
}  
if (realservo >= 4000 && realservo <4180) {  
    int servo4 = realservo;  
    servo4 = map(servo4, 4000, 4180, 0, 180);  
    myservo4.write(servo4);  
    Serial.println("Servo 4 ON");
```

```
delay(10);
```

```
}
```

```
}
```

المخلص

في هذا العمل، نحن مهتمون بدراسة وتحقيق النموذج الأولي للذراع مناور ثلاثة درجات الحرية عبارة عن هيكل ميكانيكي مفصلي، يتم تشغيله بواسطة محركات مؤازرة ويتم التحكم فيها بواسطة لوحة Arduino.

تتكون هذه الرسالة من خمسة فصول يمكن تلخيصها فيما يلي:

- ❖ الفصل الأول عمومية حول أذراع المناور.
- ❖ الفصل الثاني نمذجة أذرع مناور
- ❖ الفصل الثالث دراسة أولية للمشروع مع صياغة الحاجة والتحكم في صحتها ، يليها تطوير المواصفات الوظيفية بطريقة FAST والدراسة المفاهيمية للمشروع.
- ❖ الفصل الرابع دراسة وتصميم ذراع مناور بثلاث درجات من الحرية
- ❖ الفصل الخامس تصميم وبناء ذراع مناور يتحكم فيه اردوينو ميغا 2560.

الكلمات المفتاحية: روبوت صناعي ، ذراع مناور ، قطعة ، وصلة روتويد ، الجهاز الطرفي ،
Arduino ، Arduino Méga 2560 ، SolidWorks.

Résumé

Dans ce travail, nous nous intéressons à l'étude et à la réalisation du prototype d'un bras Manipulateur à 3 degrés de liberté c'est une structure mécanique articulée, actionnée par des Servomoteurs et commandée par la carte Arduino.

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

- ❖ la première chapitre est une généralité sur les bras manipulateurs.
- ❖ Les deuxième chapitres Modélisation des bras manipulateurs
- ❖ La troisième chapitre Une étude préliminaire du projet dans avec la formulation du besoin et contrôle de sa validité, suivi par élaboration de cahier des charges fonctionnelles par la méthode FAST et étude conceptuel du projet.
- ❖ La quatrième chapitre Etude et conception d'un bras manipulateur à 3 degrés de liberté
- ❖ La cinquième chapitre conception et réalisation d'un bras manipulateur commandée par l'Arduino Méga 2560.

Mots clés : robot industriel, bras manipulateur, articulation rotoïde, organe terminal, Arduino Méga 2560, MATLAB, . SolidWorks.

Abstract

In this work, we are interested in the study and realization of the prototype of an arm

3 degree of freedom manipulator is an articulated mechanical structure, actuated by Servomotors and controlled by the Arduino board.

This dissertation consists of five chapters which can be summarized as follows:

- ❖ the first chapter is a generality on the manipulator arms.
- ❖ The second chapters Modeling manipulator arms
- ❖ The third chapter A preliminary study of the project with the formulation of the need and control of its validity, followed by the development of functional specifications by the FAST method and conceptual study of the project.
- ❖ The fourth chapter Study and design of a manipulator arm with 3 degrees of freedom
- ❖ The fifth chapter design and construction of a manipulator arm controlled by the Arduino Méga 2560.

Key words: industrial robot, manipulator arm, rotoid articulation, terminal organ, Arduino Méga 2560, MATLAB, SolidWorks.