

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابسة

Faculté : TECHNOLOGIE
Département : Electronique
Domaine : SCIENCES ET
TECHNOLOGIES
Filière : Automatique
Spécialité : Automatique et
informatique industriel

Mémoire Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

**Commandes avancées appliquées pour un bras à trois
degrés de liberté**

Présenté par : - *Menai Mohamed Amine*

- *Zitoun Mohamed Karim*

Encadrant : *Chaker Karima*
Mokhtar Annaba

M.C.B

Badji

Jury de Soutenance :

Gherbi Sofiane	M.C.B	Badji Mokhtar_Annaba	Président
Chaker Karima	M.C.B	Badji Mokhtar_Annaba	Encadrant
Benmoussa Samir	M.C.B	Badji Mokhtar_Annaba	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ

الرَّحْمَنِ

الرَّحِيمِ

Remerciement

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué à l'aboutissement de ce mémoire de recherche. Tout d'abord, je souhaite remercier Allah, mon Dieu, pour Sa guidance et Sa bénédiction tout au long de ce parcours.

J'adresse également mes plus chaleureux remerciements à mon encadrante, Mme Karima Chaker, pour son précieux soutien, ses conseils éclairés et sa disponibilité tout au long de ce travail. Ses suggestions avisées et son expertise ont grandement enrichi ce mémoire.

Je souhaite également exprimer ma reconnaissance envers les membres du jury, dont la participation et l'évaluation minutieuse ont contribué à l'amélioration de ce mémoire. Leurs commentaires constructifs ont été d'une grande valeur pour approfondir ma réflexion et améliorer la qualité de mon travail.

Un remerciement spécial est également adressé au personnel de l'Université d'Annaba, qui a mis à ma disposition les ressources et l'environnement propices à la réalisation de cette recherche. Leur dévouement et leur soutien logistique ont été essentiels pour mener à bien ce projet.

Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude envers ma famille, mes amis et toutes les personnes qui m'ont apporté leur aide et leur soutien tout au long de ce processus. Leurs encouragements, leur compréhension et leur motivation ont été d'une valeur inestimable, et je leur en suis profondément reconnaissant(e).

Merci à tous pour votre précieuse contribution à la réussite de ce mémoire de recherche.

Dédicace

Je souhaite dédier ces quelques mots à des personnes exceptionnelles qui ont joué un rôle fondamental dans ma vie et ont contribué de manière significative à ma réussite.

À ma mère, source inépuisable d'amour et de soutien, je suis infiniment reconnaissant. Ta présence bienveillante, tes encouragements constants et tes sacrifices inestimables ont été les piliers de ma motivation et de ma détermination. Tu as été mon roc, me guidant à travers les défis et les obstacles, et je t'admire pour ta force et ton dévouement. Ce mémoire est le fruit de ton amour et de ta confiance indéfectible en moi.

À mon père, tu es un modèle d'intégrité, de persévérance et de sagesse. Ta sagesse éclairée et tes précieux conseils m'ont toujours inspiré et m'ont poussé à donner le meilleur de moi-même. Ta confiance en mes capacités et ton soutien constant m'ont encouragé à aller au-delà de mes limites. Je suis fier d'être ton fils et je te remercie du fond du cœur pour tout ce que tu as fait pour moi.

À ma sœur Amira, complice et confidente, tu as été ma source d'inspiration. Ta force, ton intelligence et ta passion pour la vie m'ont toujours motivé à persévérer. Notre complicité indéfectible et nos échanges enrichissants ont été des facteurs clés dans mon parcours académique. Je suis fier/fière de partager cette réussite avec toi, et je suis convaincu que nos liens seront toujours une source de force et de soutien mutuel.

À mon frère Wail, tu es mon modèle de détermination et de résilience. Ta persévérance face aux difficultés et ta volonté inébranlable de réussir sont une source d'inspiration constante. Tu as toujours été là pour me soutenir et me guider, et je t'en suis profondément reconnaissant. Ce mémoire est également le fruit de ton encouragement et de ton soutien inconditionnel.

À mon professeur précédent, Mr Med Saaidia, je tiens à exprimer ma gratitude pour ton enseignement remarquable et ta passion pour transmettre le savoir. Tes connaissances approfondies et ton expertise ont nourri ma curiosité intellectuelle et ont façonné ma compréhension du domaine. Je te remercie pour ton dévouement envers tes étudiants et pour m'avoir guidé avec patience et bienveillance.

À ma petite famille, qui a toujours été un refuge de bonheur, de rires et d'amour. Votre soutien inconditionnel et votre présence réconfortante m'ont donné la force de persévérer dans les moments les plus difficiles. Chaque moment partagé avec vous est une source de joie et de motivation.

Enfin, à mes chers amis, qui ont illuminé ma vie de leur amitié sincère et de leur soutien indéfectible. Vos encouragements, vos discussions stimulantes et votre présence dans les

moments de doute ont été des éléments clés de ma réussite. Je suis reconnaissant d'avoir des amis aussi formidables à mes côtés.

À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ce mémoire, je vous adresse ma profonde gratitude. Votre soutien, votre amour et vos encouragements ont été essentiels pour atteindre ce jalon. Que ces mots témoignent de mon immense reconnaissance envers vous tous.

Meniai Mohamed Amine

Dédicace

Je souhaite dédier cette réalisation à mon binôme, qui a été mon partenaire indéfectible tout au long de ce parcours. Notre collaboration, notre entraide et notre synergie ont été d'une valeur inestimable. Tes idées innovantes, ta persévérance et ton soutien constant ont grandement contribué à l'aboutissement de ce mémoire. Je te suis reconnaissant d'avoir partagé cette expérience avec toi.

Je souhaite également exprimer ma profonde gratitude envers ma mère, qui a été ma source inépuisable de soutien et d'encouragement. Ta présence bienveillante, ta force inspirante et ta sagesse ont été mes repères tout au long de ce parcours académique. Je te remercie pour ton amour inconditionnel, tes conseils avisés et ton soutien indéfectible. Ce mémoire est le fruit de notre amour et de notre complicité.

À mon père, je tiens à exprimer ma reconnaissance pour ta confiance en moi, ta patience et ton soutien constant. Tes encouragements, tes valeurs de travail acharné et ta vision m'ont guidé tout au long de cette aventure. Je suis fier de pouvoir compter sur toi, et je te suis reconnaissant pour ton amour inconditionnel et ton dévouement.

À mes frères et sœurs, vous êtes mes meilleurs compagnons de vie. Votre soutien, vos encouragements et notre complicité ont été des sources de motivation essentielles. Merci d'avoir toujours été là pour moi, de m'encourager et de partager mes réussites et mes défis. Votre présence dans ma vie est un trésor précieux.

Cette réalisation est le fruit de l'amour, du soutien et de l'encouragement de toutes les personnes qui me sont chères. Je suis reconnaissant envers chaque membre de ma famille pour leur rôle essentiel dans mon parcours académique et personnel. Votre soutien indéfectible et votre amour inconditionnel ont été ma force motrice tout au long de ce voyage.

Merci du fond du cœur pour votre confiance, votre amour et votre présence bienveillante. Cette réussite est également la vôtre, et je suis honoré de pouvoir la partager avec vous tous.

Zitoun Mohamed karim

Table des matières

Mémoire	1
Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master	1
Chapitre 1 :	12
Généralité de la robotique	12
1.1 Introduction :	1
1.2 Définitions :	1
1.2.1 Définition d'un robot :	1
1.2.2 Définition de la robotique :	1
1.3 L'histoire de la robotique :	1
1.4 Types de robots :	3
1.4.1 Robots mobiles :	3
1.4.2 Robots manipulateurs :	4
1.4.2.1 Robot industriel :	4
1.2 Robot industriel.....	4
1.4.2.2 Bras manipulateur :	4
1.5 Conclusion.....	10
Chapitre 02 :Modélisation d'un bras manipulateur	11
2.1 Introduction :	12
2.2 Modélisation :	12
2.2.1 Repères et référentiels :	12
2.2.2 Modélisation géométrique	14
2.2.4 Modélisation dynamique :	17
2.3 modélisations sur un bras manipulateur 3ddl :	18
2.4 Modèle géométrique direct de notre bras :	19
2.5 Conclusion :	25
Chapitre 03 : Conception du Bras Manipulateursur Simulink et	26
3. Introduction	25
3.1 La conception du bras	25
3.2 La commande du robot.....	37

3.3 Les résultats du commande.....	42
3.1 Les résultats de la simulation	44

Table des figure

Figure 1.1 (a) Robot Kuka, (b) Robot Delta, (c) Robot hexapode.....	2
Figure 1.2 Robots Mobiles.....	3
Figure 1.3 Robot industriel.....	4
Figure 1.4 bras manipulateur.....	5
Figure 1.5 Schéma représentatif d'un robot SCARA.....	6
Figure 1.6 Dimension de Robot SCARA 2ddl RR.....	7
Figure 1.7 Les 6 différentes Morphologie des robots manipulateurs.....	7
Figure 1.8 Structure générale du robot manipulateur.....	8
Figure 1.9 Description du robot manipulateur.....	8
Figure 2.1. Le système de coordonnées cartésienne.....	12
Figure 2.2 Le système de coordonnées cylindriques	13
Figure 2.3 Le système de coordonnées sphériques.....	14
Figure 2.4 Modèles géométrique direct et inverse.....	14
Figure 2.5 : un robot manipulateur de 3 degré de liberté (3ddl).....	18
Figure 2.6 Placement des repères selon le modèle DH.....	19
Figure 3.1 Les trois initiaux Blocage.....	25
Figure 3.1.2 Le bloc de la base avec ces paramètres et repère.....	26
Figure 3.1.3 Le bloc du première articulatin (Revolute joint).....	27
Figure 3.1.4 La deuxième pièce du bras.....	28
Figure 3.1.5 Déplacement du repère et la deuxième articulation (Revolute joint).....	29
Figure 3.1.6 La troisième pièce du bras.....	30
Figure 3.1.7 L'architecture (schéma) du robot sur Matlab Simulink	31
Figure 3.1.8 Le bras assemblé sur Matlab Simulink.....	31
Figure 3.1.9 l'instruction pour importer le bras avec une extension RigidBodyTree	32
Figure 3.1.10 Simulink to Physical System Converter.....	33
Figure 3.1.11 Physical System to Simulink Converter.....	33
Figure 3.1.12 Les blocs avec ses paramètres du le MGD.....	34
Figure 3.1.13 Les blocs avec ses paramètres du MGI.....	35
Figure 3.1.14 La connexion du bras au MGD et MGI.....	36
Figure 3.1.15 Les signaux Px, Py et Pz	

.....	36
Figure 3.1.16 Les résultats de la simulation.....	37
Figure 3.2.1 Le schéma des contrôleurs PID.....	38
Figure 3.2.2 Le code d'optimisation du PID (LoopTune).....	38
Figure 3.2.3 Les paramètres du PID après l'utilisation de (LoopTune).....	39
Figure 3.2.4 La base de données obtenue.....	40
Figure 3.2.5 La division des données pour l'entraînement et le test.....	41
Figure 3.2.6 Le bloc Neuro-Fuzzy Designer.....	42
Figure 3.2.7 Le nouveau schéma avec FUZZY-LOGIC Controller.....	43
Figure 3.2.8 Les résultats d'apprentissage du premier anfis.....	44
Figure 3.2.9 Les résultats d'apprentissage du deuxième anfis.....	45
Figure 3.2.10 Les résultats d'apprentissage du troisième anfis.....	45
Figure 3.2.11 La trajectoire à suivre et les résultats.....	46

Résumé

Dans le cadre de ce mémoire, on a développé un bras manipulateur à trois degrés de liberté. On a réalisé la conception complète de ce bras en utilisant MATLAB Simulink. Ensuite, j'ai mis en place un contrôle du bras à l'aide d'un régulateur PID et d'un système ANFIS. J'ai effectué une comparaison détaillée des performances de ces deux contrôleurs. L'objectif principal de cette étude était de comparer et d'évaluer les performances des deux contrôleurs.

Abstract

In this thesis, We have designed a three-degree-of-freedom manipulator arm. The entire design process was carried out using MATLAB Simulink. Subsequently, I implemented control for the arm using a PID controller and an ANFIS system. A comprehensive comparison of the performance between these two controllers was conducted. The main objective of this study was to compare and evaluate the performance of the two controllers.

Introduction Générale

La robotique est un domaine en pleine expansion qui révolutionne notre société et notre façon de travailler. Les robots sont devenus des acteurs incontournables dans de nombreux secteurs tels que l'industrie, la santé, l'exploration spatiale et bien d'autres. Parmi les différents types de robots, les bras manipulateurs jouent un rôle crucial dans les tâches de manipulation et de contrôle précises.

Ce mémoire se concentre sur l'étude et la modélisation d'un bras manipulateur, en mettant l'accent sur la conception, la modélisation et la commande de ce système complexe. Un bras manipulateur est un système mécanique articulé, capable de réaliser des mouvements et de manipuler des objets dans un environnement donné. Son utilisation est répandue dans de nombreux domaines tels que l'assemblage industriel, la robotique médicale, la recherche et bien d'autres.

L'objectif de ce mémoire est de fournir une analyse approfondie de la modélisation et de la commande d'un bras manipulateur, en utilisant des outils tels que Matlab Simulink. Nous explorerons les différentes étapes de la modélisation, en commençant par la modélisation géométrique et en nous plongeant ensuite dans la modélisation dynamique du système. De plus, nous aborderons la conception du bras manipulateur sur Simulink, en mettant en œuvre des contrôleurs tels que les PID (Proportional-Integral-Derivative) et les systèmes de anfis.

Cette étude revêt une grande importance car elle permet de mieux comprendre les principes fondamentaux des bras manipulateurs et offre des perspectives intéressantes pour l'amélioration de leur performance. En développant une modélisation précise et une commande efficace, nous pouvons améliorer la précision, la rapidité et la sécurité des opérations réalisées par le bras manipulateur.

Dans les chapitres qui suivent, nous explorerons en détail les concepts théoriques et les techniques de modélisation et de commande des bras manipulateurs. Nous présenterons également les résultats de simulations et discuterons des implications pratiques de ces travaux.

Chapitre 1 :
Généralité de
la robotique

1.1 Introduction :

Dans ce premier chapitre on a introduit les bases de la robotique, on a cite leur type, construction et domaine d'utilisation. Le robot est venu effectuer des nombreux travaux au nom des humains, ou des travaux en faveur des humains, et parmi les avantages les plus importants du robot pour les humains sont les suivants : Supprimer le facteur de risque de l'homme . Exécuter des activités humaines de routine. Économisez beaucoup de temps et d'efforts. Maîtrise du travail, où l'on sait que le travail manuel est l'une de ses caractéristiques les plus importantes , manque de conformité exacte ou inexactitude de similitude . Économisez de l'argent, en remplaçant la main-d'œuvre par des robots, ce qui signifie réduire les coûts de production et augmenter la marge bénéficiaire . Affectez un robot pour accomplir un travail très difficile . Offre une flexibilité dans l'exécution des tâches dans les usines. Réduire les taux de blessures physiques chez les travailleurs parce que le robot fait le travail pour eux.

1.2 Définitions :

1.2.1 Définition d'un robot :

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

1.2.2 Définition de la robotique :

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

Ce que peut un robot faire :

- Travailler dans des environnements imprévisibles ou dangereux pour repérer des dangers comme des fuites de gaz.
- Aider pendant les opérations.
- Automatiser les activités manuelles ou répétitives en entreprise ou dans l'industrie
- Livrer les commandes en ligne, le room service et même les paquets de nourriture en cas d'urgence.

1.3L'histoire de la robotique :

L'origine du mot robot est issue du grecque "Robota" qui signifie travail forcé. Le terme de robotique est apparu en 1942 dans l'œuvre de l'écrivain ISAACASIMOV. Le premier robot manipulateur industriel, appelé Uniate, était un descendant direct des télémanipulateurs développés pour les besoins du nucléaire. Créé par George Devol dans les années 1950, il fut utilisé pour travailler sur les chaînes d'assemblage de General Motors à partir de 1961. Parmi les robots industriels, le KukaFamulus, qui date de 1973, fut le premier robot à 6 axes entraînés de façon électromécanique. Le Robot Delta, imaginé en 1985 par Reymond Clavel, professeur à l'École Polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), possède un bras de manipulation formé de 3 parallélogrammes. Son brevet tombe dans le domaine public en 2007 et différents constructeurs devraient alors sortir leur propre robot delta. Le Jet Propulsion Laboratory (JPL) développe un robot industriel hexapode (à 6 pattes) du nom de Lemur. Lemur aura pour mission de monter, assembler et réparer des installations spatiales. Pesant moins de 5 kg, il offre la possibilité innovante d'adapter différents outils sur chacun de ses membres. [3]



Figure 1.1 (a) Robot Kuka, (b) Robot Delta, (c) Robot hexapode

1.4 Types de robots :

Généralement il existe deux types de robots : les robots mobiles et les robots manipulateurs.

1.4.1 Robots mobiles :

On appelle robots mobiles l'ensemble des robots à base mobile, il est un système mécanique , électrique et informatique agissent physiquement sur son environnement en vue un objectif qui lui a été assigné . Il y a plusieurs type de robots mobile on les trouve selon les domaines d'utilisation par exemples :

- Robots volants .
- Robots militaires.
- Robots sous-marins.



Figure 1.2 Robots Mobiles

1.4.2 Robots manipulateurs :

Les robots manipulateurs sont des robots intégrés dans un espace propre (une base fixé) , il est similaire à un bras qui peut déplacer automatiquement des objets dans un espace défini par une alimentation électrique et d'un contrôleur . Il existe plusieurs type de robot manipulateur par exemple on cite :

1.4.2.1 Robot industriel :

le robot industrie une machine formée par un mécanisme incluant plusieurs degrés de liberté reprogrammable dans trois ou plusieurs axes .



Figure 1.3 Robot industriel

1.4.2.2 Bras manipulateur :

Un robot manipulateur (Figure 1.4) de machine dont le mécanisme est composé d'une série de segments, articulés ou télescopiques, vise à prendre et poser des objets et peut être guidé à la fois par un opérateur et par un système. Il est généralement programmable, avec des fonctions similaires à un bras humain. Les liens de ce manipulateur sont reliés par des axes permettant, soit de mouvement de rotation (comme dans un robot articulé) et/ou de translation (linéaire) de déplacement. Chaque manipulateur comprend un contrôleur et un bras manipulateur, ses performances dépendent de :

- vitesse
- poids de charge utile

- précision



Figure 1.4 bras manipulateur

1.4.2.2.1 Morphologie des robots manipulateurs :

Les robots manipulateurs peuvent se classer selon leurs morphologies en 6 classes [4] :

I. Cartésiens (PPP) :

Les robots cartésiens effectuent uniquement des déplacements sur des axes linéaires, ce qui les rend très rentables et faciles à programmer comme par exemple les robots ACMA (P80), IBM (7565), SORMEL (CADRATIC), OLIVETTI (SIGMA).

- Lent
- Très bonne précision

II. Cylindriques (RPP)

Les robots cylindriques se différencie par leur joint rotatif à la base et au moins un joint prismatique reliant les membres. Ils peuvent se déplacer verticalement et horizontalement en coulissant. La conception compacte de l'effecteur permet au robot d'atteindre des espaces de travail étroits sans aucune perte de vitesse comme par exemple les robots ACMA (TH8), MANTEC (A, I et M), CINCINNATI (T3-363)

- Espace de travail cylindrique
- Très rapide

III. Sphériques (RRP)

Espace de travail sphérique

- Grande charge utile comme

Par exemple les robots STANFORD, UNIMATION (1000,2000, 4000), PSA (BARNABE)

IV. Les robots articulés

Sont les robots industriels les plus courants. Ils ressemblent à un bras humain, c'est pourquoi on les appelle aussi bras robotisé ou bras manipulateur. Leurs articulations à plusieurs degrés de liberté offrent aux bras articulés une grande variété de mouvements

V. Les robots parallèle

- Espace de travail réduit
- Précis (grande rigidité de la structure)

VI. SCARA (RPR)

Un robot SCARA est défini dans la norme ISO 8373 : 1994, No.3.15.6, en tant que : « Robot comportant deux liaisons pivots parallèles conformément à un plan sélectionné » Il peut être considéré comme un cas particulier d'un robot cylindrique. « SCARA » signifie « Sélective Compliance Arm for Robot Assembly ». Le robot SCARA est un robot manipulateur 2 axes rotatif (RR). L'enveloppe de travail cylindrique permet une utilisation maximale de l'espace de travail [5].

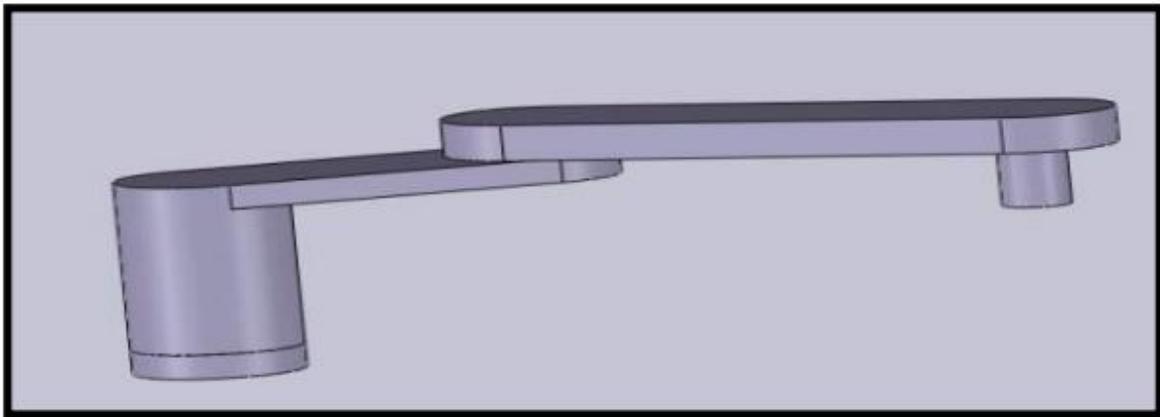


Figure 1.5 Schéma représentatif d'un robot SCARA

SCARA a des avantages et des caractéristiques qui permettent d'être un robot industriel très utilisé comme :

- Grande précision et vitesse supérieure
- Maintenance minimale
- Plus facile à utiliser
- Rigidité supérieure
- Désigné très compact

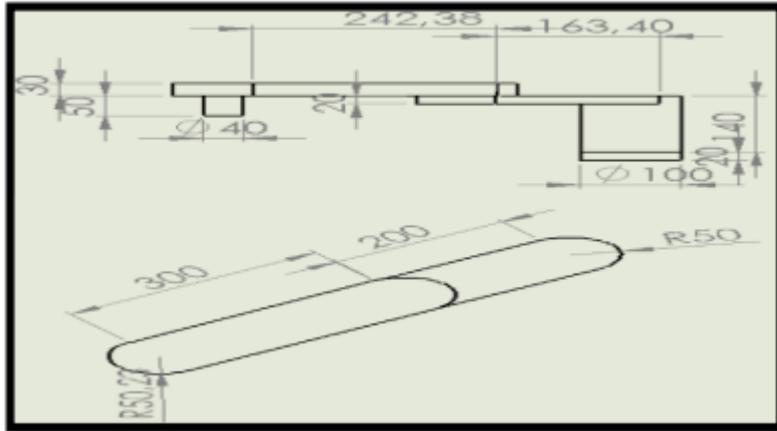


Figure 1.6 Dimension de Robot SCARA 2ddl RR

On reconnaît les robots SCARA à leurs deux articulations parallèles qui fournissent un mouvement dans le plan X-Y. Des arbres rotatifs sont positionnés verticalement et l'effecteur terminal se déplace horizontalement.

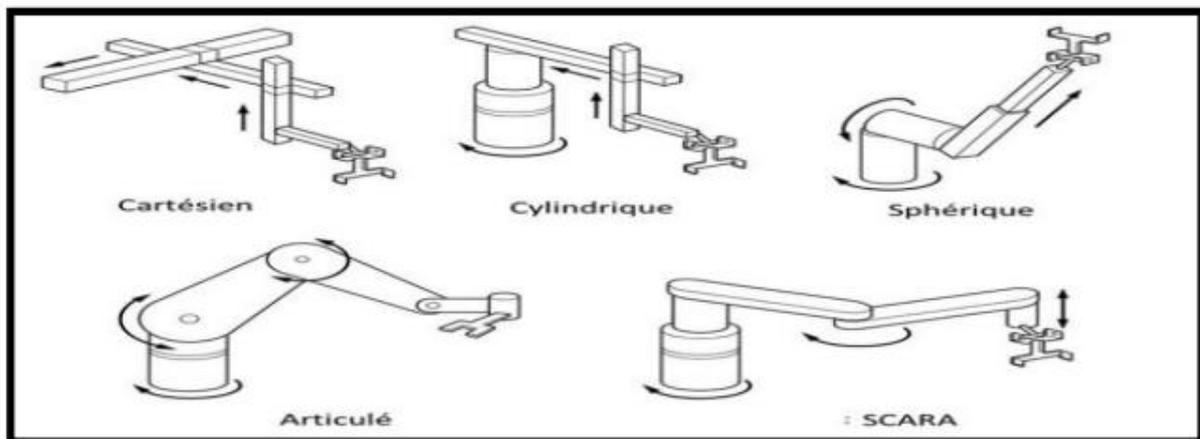


Figure 1.7 Les 6 différentes Morphologie des robots manipulateurs

1.4.2.2.2 Les éléments constitutifs d'un robot manipulateur:

Les bras manipulateurs est constitué de deux parties distinctes [6] :

I. Un organe terminal:

C'est un dispositif d'interaction fixé à l'extrémité mobile de la structure mécanique, il regroupe les procédés destinés à manipuler des objets, ou à les transformer, il s'agit donc d'une interface permettant au robot d'interagir avec son environnement.

II. Une structure mécanique articulée :

Les membres rigides, liaisons articulées par des joints mécaniques à son extrémité l'outil ou effecteur (organe terminal).

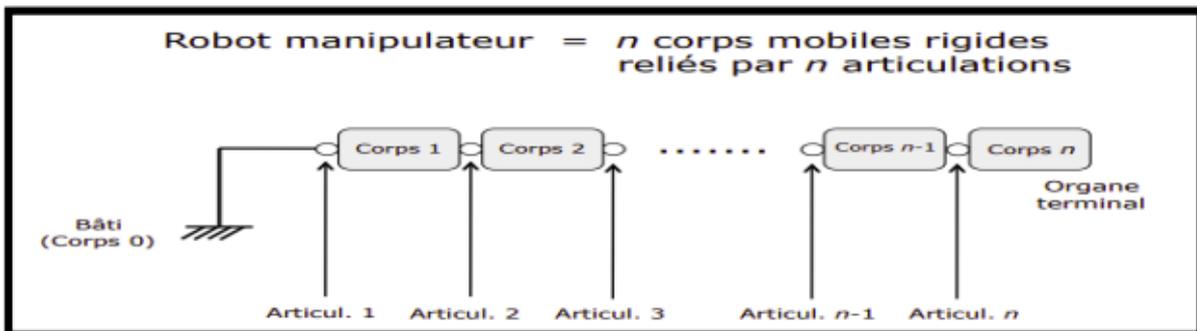


Figure 1.8 Structure générale du robot manipulateur

1.4.2.2.3 Description du robot manipulateur

Description du robot dans son environnement en quatre composantes interagissant figure :

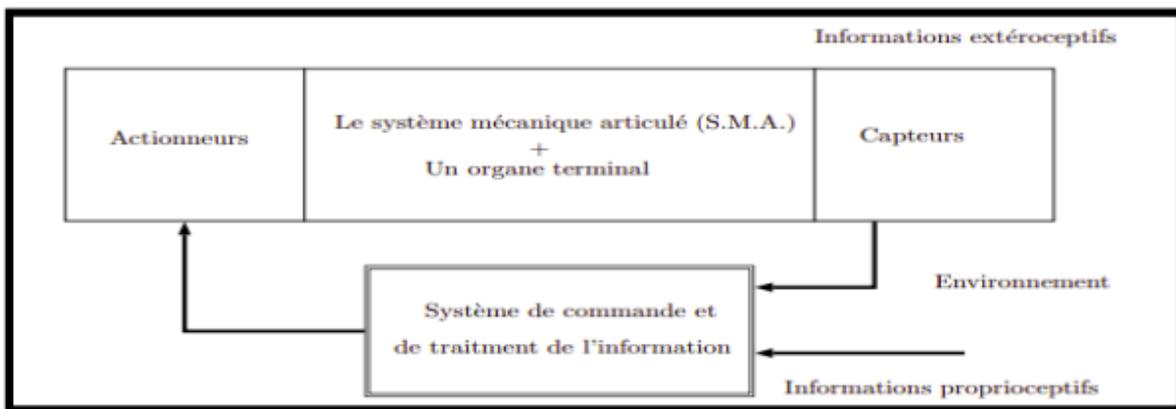


Figure 1.9 Description du robot manipulateur

I. Système mécanique articulé

C'est une chaîne cinématique, à corps généralement rigides (segments), assemblés par des liaisons (articulations). Les articulations sont des dispositifs se trouvant entre deux segments. Ils lient deux corps successifs ; cette disposition permet le mouvement entre ces corps, ce qui a comme conséquence l'obtention d'un mouvement relatif des segments voisins. Cette structure articulée supporte l'organe terminal à situer, son rôle est de l'amener à une position et une orientation donnée [7].

II. Actionneurs

Pour lutter contre la gravité, l'inertie, les forces extérieures ; modifier la configuration, de types électriques / pneumatiques / hydrauliques.

III. Les capteurs

Capteurs proprioceptifs dont le but est de fournir l'information sur la configuration du manipulateur. Capteurs extéroceptifs dont le but est de donner des informations sur l'environnement

IV. Unité de contrôle

Rôle d'information : collecter l'information venant des capteurs. Rôle de décision : partant d'une tâche définie et tenant compte des données du système et de l'environnement, établir des actions rôle de communication [7].

1.4.2.2.3 Degré de liberté ddl

C'est le nombre des mouvements indépendants qu'un objet peut effectuer, chaque articulation dans un système robotisé donne au robot un degré de liberté. Ou comme une autre définition on peut dire le degré de liberté (ddl) d'un robot correspond au nombre de variables de positions indépendantes dont on a besoin afin de localiser toutes les entités du robot. En règle générale, pour un robot de type bras manipulateur, le degré de liberté est égal au nombre d'articulations. [8]

1.5 Conclusion

Dans ce premier chapitre on a introduit les bases de la robotique, commençant par une petite historique et une définition , ensuite on a cité les différents types des robots, et en particulier les robots manipulateurs.

Chapitre 02: Modélisation d'un bras manipulateur

2.1 Introduction :

L'une des premières étapes dans l'étude d'un robot consiste à définir le mode de locomotion de système, ainsi que les différents éléments qui le composent. Dans ce deuxième chapitre, on va parler de tous ce que concernent les coordonnées et les types de la modélisation d'un robot.

2.2 Modélisation :

2.2.1 Repères et référentiels :

À un instant donné, on repère la position du point M par le vecteur $r = OM$ appelé vecteur position. Ce dernier est représenté par les valeurs algébriques des projections sur une base orthonormée [10].

2.2.1.1 Coordonnées cartésiennes :

On considère un repère constitué de trois axes rattachés à un point origine O, caractéristique du solide de référence (R). À ce repère on associe une base orthonormée directe (U_x, U_y, U_z). Les vecteurs U_x, U_y, U_z sont alors les vecteurs unitaires des axes OX, OY et OZ respectivement . Les coordonnées cartésiennes sont les plus utilisées en robotique, car elles sont les plus simples pour la mesure des distances.

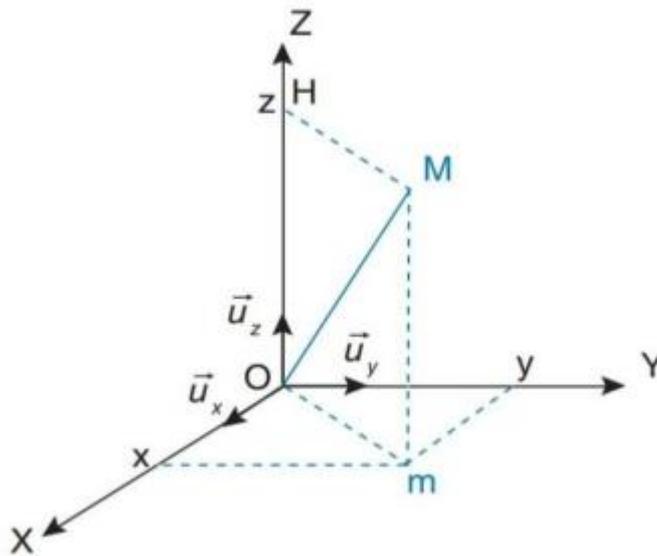


Figure 2.1. Le système de coordonnées cartésiennes

2.2.1.2 Coordonnées cylindriques :

La position du point M est définie dans un repère $(O, u_\rho, u_\theta, u_z)$. On introduit la base (u_ρ, u_θ, u_z) orthonormée directe, associée aux coordonnées cylindriques (ρ, θ, z) . Les relations entre les coordonnées cylindriques et cartésiennes sont les suivantes [10]

$$\begin{cases} x = \rho \cos(\theta) \\ y = \rho \sin(\theta) \\ z = z \end{cases}$$

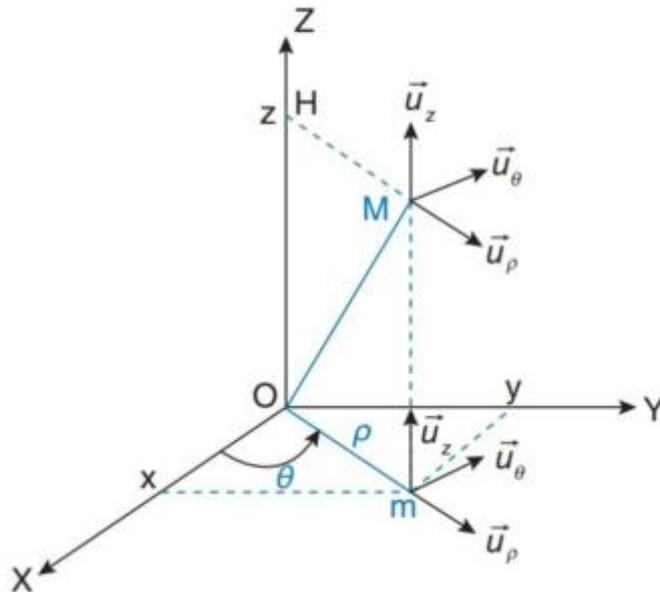


Figure 2.2 Le système de coordonnées cylindriques

2.2.1.3 Coordonnées sphériques :

La position du point M est définie dans un repère $(O, u_\rho, u_\theta, u_\varphi)$. On introduit la base $(u_\rho, u_\theta, u_\varphi)$ orthonormée directe, associée aux coordonnées sphériques (ρ, θ, φ) . Les relations entre les coordonnées sphériques et cartésiennes sont les suivantes [11]

$$\begin{cases} x = \rho \sin(\theta) \cos(\varphi) \\ y = \rho \sin(\theta) \sin(\varphi) \\ z = \rho \cos(\theta) \end{cases}$$

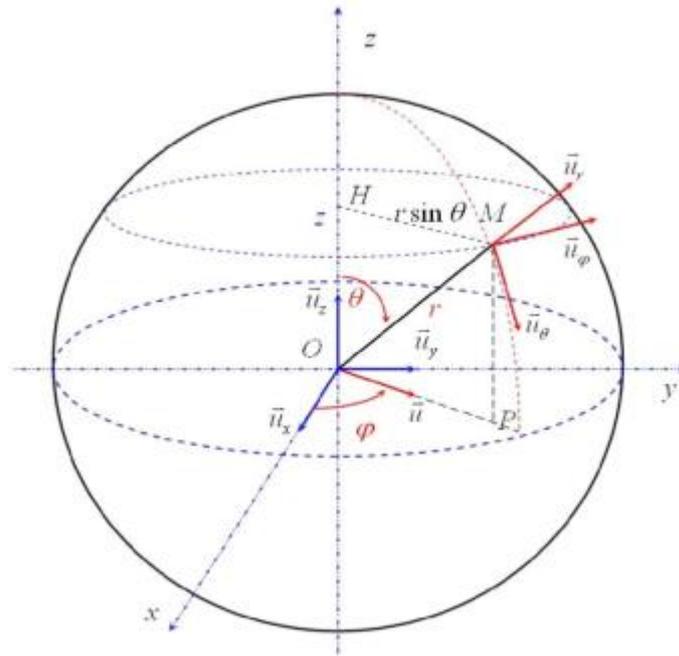


Figure 2.3 Le système de coordonnées sphériques.

2.2.2 Modélisation géométrique

Il permet de déterminer la configuration (position, orientation) de l'effecteur d'un robot En fonction de la configuration de ses liaisons, l'effecteur peut être une pince, une caméra, Une pompe de peinture. La modélisation des robots de façon systématique et automatique Exige une méthode adéquate pour la description de leur morphologie. Plusieurs méthodes et Stations ont été proposées.

En va étudier dans notre travail cette méthode en détail et appliquez-la à un exemple dans logiciel Matlab sur un robot manipulateur, trois degré de liberté (3ddl), et les étapes que nous suivons pour obtenir MGD et MGI mathématiquement et via Matlab,



Figure 2.4 Modèles géométrique direct et inverse

2.2.2.1 Modèle géométrique direct :

Le modèle géométrique direct (MGD) représente l'ensemble des relations qui permettent le calcul des coordonnées opérationnelles en fonction des coordonnées articulaires ou bien décrire la situation (position et/ou orientation) de l'organe terminal

Dans le cas d'une chaîne ouverte simple, il peut être représenté par la matrice de transformation 0T_n :

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

Le MGD du robot peut aussi être représenté par la relation :

$$X = f(q)$$

Avec, q : Vecteur des variables articulaires tel que :

$$q = [q_1 \ q_2 \ \dots \ q_n]^T$$

Les coordonnées opérationnelles sont définies par :

$$X = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_m]^T$$

Plusieurs possibilités existent pour définir le vecteur X . Par exemple, avec les éléments de la matrice 0T_n :

$$X = [P_x \ P_y \ P_z \ s_x \ s_y \ s_z \ n_x \ n_y \ n_z \ a_x \ a_y \ a_z]^T$$

Ou bien, sachant que $s =$

$n \times a$:

$$X = [P_x \ P_y \ P_z \ n_x \ n_y \ n_z \ a_x \ a_y \ a_z]$$

2.2.2.1.1 Paramètre de Denavit-Hartenberg (DH) :

Les paramètres de Denavit-Hartenberg est la convention utiliser pour systématiser, normaliser et rationaliser la modélisation de n'importe quel type de robot . Elle fut introduire par Jaques DENAVIT et Richards HATENBERG . Afin d'établir les paramètres de DH , on représente les règles de positionnement du repère R_i :

- L'axe z_i est confondu avec l'axe $i+1$
- L'axe x_i est perpendiculaire et coupe l'axe z_i
- L'axe Y_i complète le repère i pour former un repère « main droite » .

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

1. Rotation autour de z d'un angle θ_i

2. Translation autour de z d'une longueur di
3. Rotation autour de x d'un angle αi
4. Translation autour de x d'une longueur ai

Avec :

θ_i : Angle entre x_{i-1} et x_i , autour de z_{i-1}

d_i : Distance de x_{i-1} à l'intersection de z_{i-1} avec x_i .

α_i : Angle entre z_{i-1} et z_i , autour de x_i .

a_i : Distance entre z_{i-1} et z_i , le long de x_i .

Il peut être représenté la matrice homogène de DH par :

On a ; $T_{i-1,j} = \text{ROT}(z_{i-1}, \theta_i) \text{ TRAN}(z_{i-1}, d_i) \text{ ROT}(x_i, \alpha_i) \text{ TRAN}(x_i, a_i)$

D'où :

$T_{i-1,j} =$

$$\begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i & 0 & 0 \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_i & -\sin\alpha_i & 0 \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i \cos\alpha_i & \sin\theta_i \sin\alpha_i & a_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i \cos\alpha_i & -\cos\theta_i \sin\alpha_i & a_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2.2.2.2 .Modèle géométrique inverse :

Le modèle géométrique inverse (MGI) est utilisé pour générer l'ensemble des consignes des actionneurs pour que l'effecteur atteigne une position et des orientations désirées. Il existe plusieurs méthodes et procédures numériques pour le calcul du MGI, dans ce qui suit nous nous présentons la méthode de Paul [11].

2.2.3 Modélisation Cinématique :

La cinématique en général traite le mouvement sans tenir compte des forces qui le cause: elle étudie la position, la vitesse et l'accélération

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

2.2.3.1 .Modélisation cinématique directe (MCD) :

Le modèle cinématique directe décrit les variations élémentaires des coordonnées

opérationnelles en fonction des variations élémentaires des coordonnées articulaire afin de déterminer la position et l'orientation du robot

Il est noté :

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

2.2.3.2 .Modélisation cinématique inverse(MCI) :

Le but du modèle de cinématique inverse du robot manipulateur est de calculer Vitesse de **coordonnée** articulaire (q), en fonction de la vitesse de fonctionnement (X)

Il est noté :

$$\dot{q} = J^{-1} * \dot{X}$$

2.2.4 .Modélisation

dynamique :

Un modèle dynamique est la relation entre les couples (et/ou les forces) **appliqués** à un objet Positions, vitesses et accélérations de l'actionneur et de l'articulation. nous représentons Un modèle dynamique par des relations de la forme :

$$\Gamma = F (q , \dot{q} , \ddot{q}, fe)$$

2.2.4.1 Modèle dynamique directe (MDD) :

Ce modèle est nécessaire à la simulation temporelle du système, il peut décrire La trajectoire du robot provient des forces qui lui sont appliquées. Il permet également Écrivez le modèle comme état de la commande. modèle dynamique direct C'est un type qui exprime la vitesse et le couple de l'actionneur. Accélération à La fonction du poste

Alors représenté par la relation suivante :

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

2.2.4.2 .Modèle dynamique inverse (MDI) :

Ce modèle est utile pour le contrôle et la planification des chemins car il permet Calcule les forces articulaires nécessaires pour suivre une trajectoire donnée. ce MDI peut également être utilisé pour écrire des modèles de descripteurs de certaines lois contrôle

2.3 modélisations sur un bras manipulateur 3ddl :

on a présenter tous les méthode de la modélisation d'un robots et pour mieux les métriser on vas les appliqué dans un bras manipulateur de trois ddl qui se compose d'un organe terminal et d'une structure mécanique articulée. La structure mécanique contient trois servomoteurs qui contrôlent les articulations (de types rotoïdes). L'organe terminal est constitué d'un servomoteur qui contrôle la fermeture et l'ouverture de la pince.



Figure 2.5 : un robot manipulateur de 3 degré de liberté (3ddl)

On donne un tableau qui détermine le type d'articulations et les angles de rotations possibles de notre robot manipulateur...

Tab.3.1. Types d'articulations et d'angles de rotations possibles du bras

Les type d'articulations, d'angles et de rotations de notre réalisation		
Nombre d'articulations		
Nombre d'actionneurs	4 servomoteurs	
Rotations	Angles	types
La base	360°	Rotoïde

Le bras	L'épaule	180°	Rotoïde
	Le coude	180°	Rotoïde

2.4 Modèle géométrique direct de notre bras:

2.4.1 Identification des paramètres de DH:

En utilisant ces paramètres on va placer les repères selon la convention de HD, pour élaborer le MGD du bras. La figure ci-dessous représente le placement des repères de notre robot :

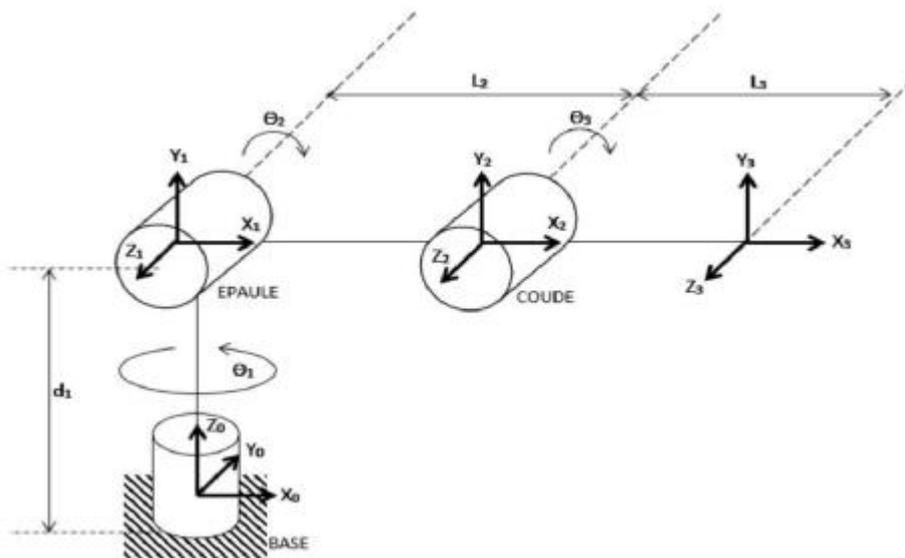


Figure 2.6 Placement des repères selon le modèle DH

Donc on donne les paramètres selon DH...

Segment	θ_i	D_i	a_i	α_i
1	θ_1	d_1	0	90°
2	θ_2	0	L_2	0
3	θ_3	0	L_3	0

$$T_0^1 = \begin{bmatrix} c\theta_1 & -\alpha_1 \cdot s\theta_1 & s\alpha_1 \cdot s\theta_1 & a_1 \cdot c\theta_1 \\ s\theta_1 & \alpha_1 \cdot c\theta_1 & -s\alpha_1 \cdot c\theta_1 & a_1 \cdot s\theta_1 \\ 0 & s\alpha_1 & c\alpha_1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & -C_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_1^2 = \begin{bmatrix} c\theta_2 & -c\alpha_2 \cdot s\theta_2 & s\alpha_2 \cdot s\theta_2 & a_2 \cdot c\theta_2 \\ s\theta_2 & c\alpha_2 \cdot c\theta_2 & -s\alpha_2 \cdot c\theta_2 & a_2 \cdot s\theta_2 \\ 0 & s\alpha_2 & c\alpha_2 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & L_2 C_2 \\ S_2 & C_2 & 0 & L_2 S_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_2^3 = \begin{bmatrix} c\theta_3 & -c\alpha_3 \cdot s\theta_3 & s\alpha_3 \cdot s\theta_3 & a_3 \cdot c\theta_3 \\ s\theta_3 & c\alpha_3 \cdot c\theta_3 & -s\alpha_3 \cdot c\theta_3 & a_3 \cdot s\theta_3 \\ 0 & s\alpha_3 & c\alpha_3 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_3 & -S_3 & 0 & L_3 C_3 \\ S_3 & C_3 & 0 & L_3 S_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Donc on obtient le MGD a partir de l'équation globale :

$$T_0^3 = T_0^1 \cdot T_1^2 \cdot T_2^3 = \begin{bmatrix} C_1 C_{23} & -C_1 S_{23} & S_1 & C_1(L_3 C_{23} + L_2 C_2) \\ S_1 C_{23} & -S_1 S_{23} & -C_1 & S_1(L_3 C_{23} + L_2 C_2) \\ S_{23} & C_{23} & 0 & L_3 S_{23} + L_2 S_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Modèle géométrique inverse :

On utilisant la méthode de Paul on vas calculer θ_1 , θ_2 et θ_3 donc on a :

$$U_0 = {}^0T_1 {}^1T_2 {}^2T_3 = {}^0T_3$$

Si on mettre :

$$U_0 = \begin{bmatrix} s_x & n_x & a_x & p_x \\ s_y & n_y & a_y & p_y \\ s_z & n_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Donc :

$$T_0^3 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 C_{23} & -C_1 S_{23} & S_1 & C_1(L_3 C_{23} + L_2 C_2) \\ S_1 C_{23} & -S_1 S_{23} & -C_1 & S_1(L_3 C_{23} + L_2 C_2) \\ S_{23} & C_{23} & 0 & L_3 S_{23} + L_2 S_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

On peut obtenir θ_1 directement à partir de r_{13} et r_{23} , ce qui donne que :

$$\theta_1 = \text{atan2}(r_{13} - r_{23})$$

Le calcul de θ_2 peut se faire on utilisant les composants r_{14} , r_{34} tel que :

$$r_{14} = (L_3 C_1 C_{23} + L_2 C_1 C_2)$$

$$r_{23} = (L_3 S_{23} + L_2 S_2 + d_1)$$

Ce qui implique que :

$$C_2 = \frac{r_{14} - L_3 C_1 C_{23}}{L_2 C_1}$$

Et

$$S_2 = \frac{r_{34} - L_3 r_{31} - d_1}{L_2}$$

Et ce qui donne :

$$\theta_2 = \text{atan2}(S_2, C_2)$$

On calcule θ_3 à partir de r_{31} et r_{32} comme suivant :

On pose : $\beta = \text{atan2}(r_{31}, r_{32})$

Ce qui nous donne :

$$\theta_3 = \beta - \theta_2$$

Modèle cinématique direct du bras :

On commence par le calcul des vitesses angulaires :

$$\omega_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\omega_0^1 = \omega_0^0 + {}_0^0 Z_0^0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_1 \end{bmatrix}$$

$$\omega_1^1 = \omega_0^0 + R_1^0 \omega_0^1 = \begin{bmatrix} c_1 & s_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ s_1 & -c_1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\theta}_1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\omega_1^2 = \omega_1^1 + \theta_2^0 Z_1^1 = \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\theta}_1 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix}$$

$$\omega_2^2 = R_2^1 \omega_1^2 = \begin{bmatrix} c_2 & s_2 & 0 \\ -s_2 & c_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 s_2 \\ \dot{\theta}_1 c_2 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix}$$

$$\omega_2^3 = \omega_2^2 + \theta_3^0 Z_2^2 = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 s_2 \\ \dot{\theta}_1 c_2 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 s_2 \\ \dot{\theta}_1 c_2 \\ \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 \end{bmatrix}$$

$$\omega_3^3 = R_3^2 \omega_2^3 = \begin{bmatrix} c_3 & s_3 & 0 \\ -s_3 & c_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 s_2 \\ \dot{\theta}_1 c_2 \\ \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 (c_3 s_2 + s_3 c_2) \\ \dot{\theta}_1 (c_2 c_3 + s_2 s_3) \\ \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 s_{23} \\ \dot{\theta}_1 c_{23} \\ \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 \end{bmatrix}$$

$$\omega_0^3 = R_0^3 \omega_3^3 = \begin{bmatrix} c_1 c_{23} & -c_1 c_{23} & s_1 \\ s_1 c_{23} & s_1 c_{23} & -c_1 \\ s_{23} & c_{23} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 s_{23} \\ \dot{\theta}_1 c_{23} \\ \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & s_1 & s_1 \\ 0 & -c_1 & -c_1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix}$$

On poursuit par le calcul des vitesses linéaires :

$$\begin{aligned}
 v_0^0 &= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \\
 V_0^1 &= V_0^0 + \omega_2^0 P_1^1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ d_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \\
 V_1^1 &= R_1^0 V_0^1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \\
 V_1^2 &= V_1^1 + \omega_1^2 P_1^2 = \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} L_2 c_2 \\ L_2 s_2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dot{\theta}_2 L_2 s_2 \\ \dot{\theta}_2 L_2 c_2 \\ -\dot{\theta}_1 L_2 c_2 \end{bmatrix} \\
 V_2^2 &= R_2^1 V_1^2 = \begin{bmatrix} c_2 & s_2 & 0 \\ -s_2 & c_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\dot{\theta}_2 L_2 s_2 \\ \dot{\theta}_2 L_2 c_2 \\ -\dot{\theta}_1 L_2 c_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ L_2 \dot{\theta}_2 \\ -\dot{\theta}_1 L_2 c_2 \end{bmatrix} \\
 V_2^3 &= V_2^2 + \omega_3^2 P_2^3 = \begin{bmatrix} 0 \\ L_2 \dot{\theta}_2 \\ -\dot{\theta}_1 L_2 c_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 s_2 \\ \dot{\theta}_1 c_2 \\ \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} L_3 c_3 \\ L_3 s_3 \\ 0 \end{bmatrix} \\
 V_3^3 &= R_3^2 V_2^3 = \begin{bmatrix} c_3 & s_3 & 0 \\ -s_3 & c_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -(\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) L_3 s_3 \\ L_2 \dot{\theta}_2 + L_3 c_3 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \\ -\dot{\theta}_1 L_3 c_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_2 L_2 c_3 \\ \dot{\theta}_2 L_2 c_3 + L_3 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \\ -\dot{\theta}_1 L_3 c_{23} \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} -L_3 c_{23} s_1 & L_2 c_1 (s_3 c_{23} - c_3 s_{23}) - L_3 c_1 s_{23} & -L_3 c_1 s_{23} \\ L_3 c_{23} c_1 & L_2 s_1 (s_3 c_{23} - c_3 s_{23}) - L_3 s_1 s_{23} & -L_3 s_1 s_{23} \\ 0 & L_2 (s_3 s_{23} + c_3 c_{23}) + L_3 c_{23} & L_3 c_{23} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Le modèle cinématique dans R3 est donné par :

$$\begin{bmatrix} V_0^3 \\ \omega_3^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & L_2 s_3 & 0 \\ 0 & L_3 + L_2 c_3 & L_3 \\ -L_3 c_{23} & 0 & 0 \\ s_{23} & 0 & 0 \\ c_{23} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix}$$

Le modèle cinématique final dans R0 est donné par :

$$\begin{bmatrix} V_0^3 \\ \omega_3^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -L_3 c_{23} s_1 & L_2 c_1 (s_3 c_{23} - c_3 s_{23}) - L_3 c_1 s_{23} & -L_3 c_1 s_{23} \\ L_3 c_{23} c_1 & L_2 s_1 (s_3 c_{23} - c_3 s_{23}) - L_3 s_1 s_{23} & -L_3 s_1 s_{23} \\ 0 & L_2 (s_3 s_{23} + c_3 c_{23}) + L_3 c_{23} & L_3 c_{23} \\ 0 & s_1 & s_1 \\ 0 & -c_1 & -c_1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix}$$

Modèle cinématique inverse du bras :

On peut utiliser la matrice J0(3x3) réduite, que l'on obtient en éliminant les lignes 3, 4 et 6 du MCD.

En considérant la matrice jacobéenne réduite nous avons :

$$J0(3 \times 3) = \begin{bmatrix} -L_3 c_{23} s_1 & L_2 c_1 (s_3 c_{23} - c_3 s_{23}) - L_3 c_1 s_{23} & -L_3 c_1 s_{23} \\ L_3 c_{23} c_1 & L_2 s_1 (s_3 c_{23} - c_3 s_{23}) - L_3 s_1 s_{23} & -L_3 s_1 s_{23} \\ 0 & -c_1 & -c_1 \end{bmatrix}$$

Le MCI est obtenu par le calcul de J0⁻¹ (3x3) réduite avec le nouveau vecteur X_r = [vx vy wy]^T

$$\dot{\theta} = J^{-1}(3 \times 3) \dot{X}_r$$

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -L_3 c_{23} s_1 & L_2 c_1 (s_3 c_{23} - c_3 s_{23}) - L_3 c_1 s_{23} & -L_3 c_1 s_{23} \\ L_3 c_{23} c_1 & L_2 s_1 (s_3 c_{23} - c_3 s_{23}) - L_3 s_1 s_{23} & -L_3 s_1 s_{23} \\ 0 & -c_1 & -c_1 \end{bmatrix} \dot{X}_r$$

Le déterminant de la matrice est :

$$L_2 L_3 c_{23} c_1 (s_3 c_{23} - c_3 s_{23}).$$

Ce qui nous donne :

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{L_2 L_3 c_{23} c_1 (s_3 c_{23} - c_3 s_{23})} \times$$

$$\begin{bmatrix} -L_2 s_1 c_1 & L_2 c_1^2 (s_3 c_{23} - c_3 s_{23}) & 0 \\ L_3 c_{23} c_1^2 & L_2 s_1 c_1 s_{23} & -L_3^2 c_{23} s_{23} \\ -L_3 c_{23} c_1^2 & L_3 c_{23} (-L_3 c_{23} + L_2 (s_3 c_{23} - c_3 s_{23})) & L_3 c_{23} (L_3 s_{23} - L_2 (s_3 c_{23} - c_3 s_{23})) \end{bmatrix} \dot{X}_r$$

Modélisation dynamique du bras :

Comme on a déjà dit dans le deuxième chapitre, ils existent plusieurs approches pour obtenir le modèle dynamique des robots. Les plus souvent utilisés dans la robotique sont : le formalisme de Lagrange et le formalisme de Newton-Euler. Dans cette application on a utilisé le formalisme de Lagrange, Ses équations sont généralement écrites sous la forme :

$$Q = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial L}{\partial q}$$

Avec :

Q : Force généralisée,

q : Vecteur des variables articulaires, (se compose de l'angle d'articulation θ_i et du déplacement

di)

L : Lagrangien du système,

K : Energie cinétique,

P : Energie potentielle

$$L = K - P$$

Notre robot a trois ddl, donc il y a trois coordonnées généralisées (q_i) dans l'équation (2.35), conduisant à 3 équations. Pour calculer l'énergie cinétique du robot, on somme l'énergie cinétique de chaque lien. Ainsi, l'énergie cinétique totale devient :

$$k(\theta, \dot{\theta}) = \sum_{i=1}^3 k_i(\theta, \dot{\theta}) = \frac{1}{2} \dot{\theta}^T M(\theta) \dot{\theta}$$

Avec, $M(q)$: matrice d'inertie de dimension $(n \times n)$. L'énergie cinétique doit toujours être positive, c'est pourquoi la matrice d'inertie du manipulateur doit être une matrice définie positive. On calcule l'énergie potentielle du robot :

$$P(\theta) = \sum_{i=1}^3 P_i = \sum_{i=1}^3 m_i g h_i(\theta)$$

Avec,

Avec, h_i : la hauteur du centre de masse de la $i^{\text{ème}}$ liaison.

Le Lagrangien devient donc :

$$L(\theta, \dot{\theta}) = \frac{1}{2} \dot{\theta}^T M(\theta) \dot{\theta} - P(\theta)$$

2.5 Conclusion :

Dans ce deuxième chapitre, on a commencé par décrire les différents repères et références du bras manipulateur.

on suite, on a représenté les différents types de modélisation d'un robots d'une façon générale, commençant par la description des modèles géométrique , cinématique et dynamique et leur inverse et la simplification mathématique.

Chapitre 03 :
Conception du
Bras
Manipulateur
sur Simulink et
Simulation

3. Introduction

La conception du bras dans MATLAB Simulink a été réalisée progressivement en identifiant les caractéristiques clés et les spécifications du robot. On va créer le modèle du robot en utilisant les outils de modélisation disponibles dans Simulink

3.1 La conception du bras

Pour commencer la conception du robot, j'ai sélectionné les trois blocs initiaux essentiels : le bloc de configuration du solveur (Solver Configuration), le bloc de configuration du repère (World Frame) et le bloc de configuration du mécanisme (Mechanism Configuration). Ces blocs constituent les fondements de la conception du robot dans MATLAB Simulink et permettent de définir les paramètres de simulation, le système de référence et la structure mécanique du robot.

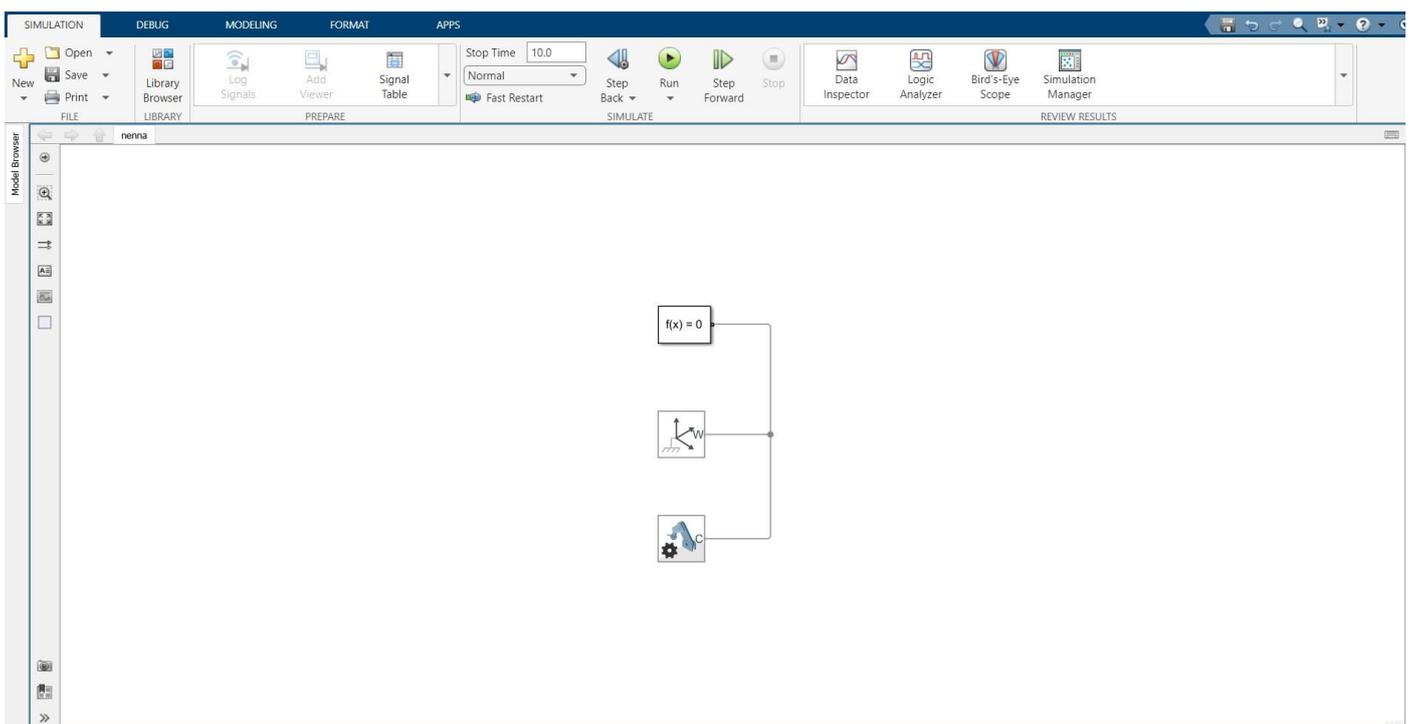


Figure3.1 Les trois initiaux Bloc

Après avoir configuré les blocs initiaux, on a procédé à l'ajout du bloc de base du robot. Ce bloc de base a été représenté sous la forme d'un cylindre dans le modèle Simulink. J'ai attaché le repère correspondant au bloc de base pour assurer une référence spatiale cohérente. Cette étape a permis de créer la première composante physique du robot, qui constitue la fondation sur laquelle les autres parties du robot seront ajoutées.

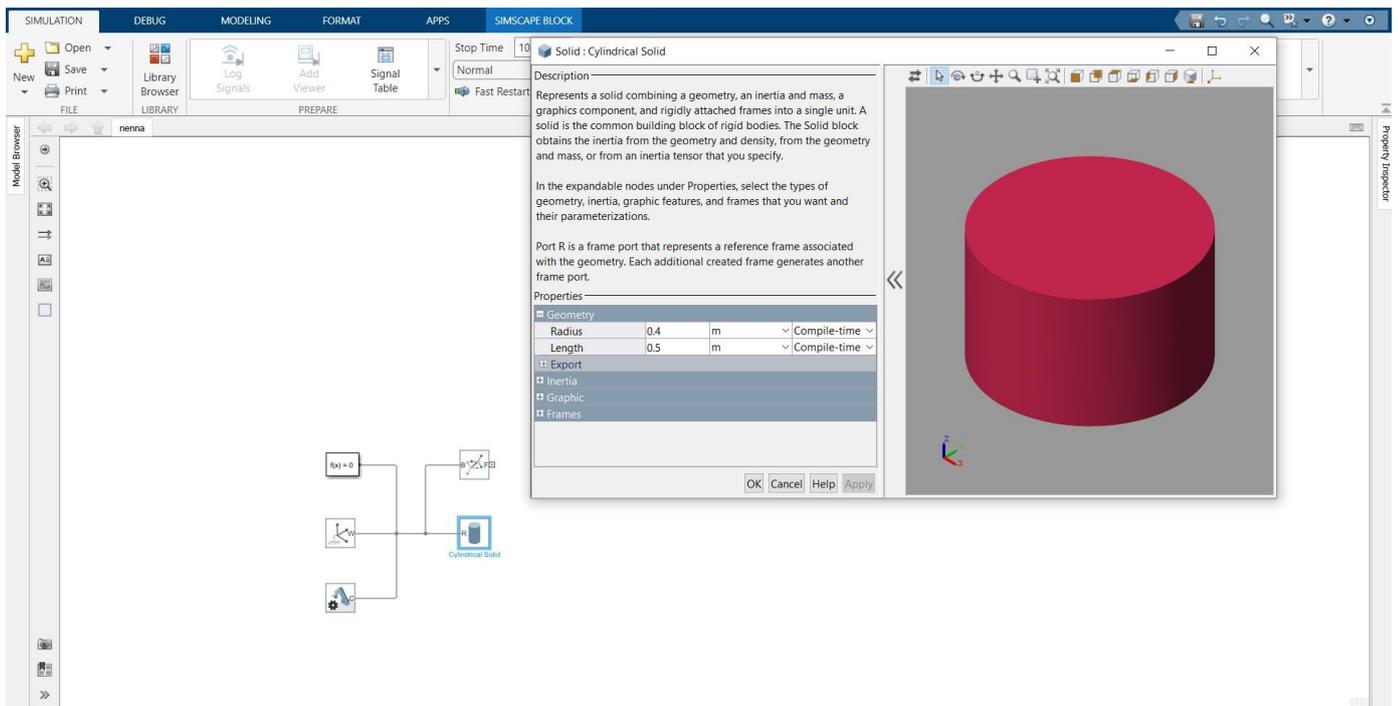


Figure 3.1.2 Le bloc de la base avec ces paramètres et repère

Après avoir ajouté le bloc de base du robot, on a poursuivi en intégrant le premier joint rotatif (revolute joint). Ce joint est essentiel pour permettre la rotation du robot autour d'un axe spécifique. J'ai soigneusement positionné et connecté ce joint au bloc de base et à d'autres composants du robot, en veillant à respecter les contraintes et les degrés de liberté du système. L'ajout de ce premier joint rotatif constitue une étape cruciale dans la construction du bras manipulateur, car il offre la possibilité de mouvement angulaire, ouvrant la voie à des mouvements plus complexes du robot.

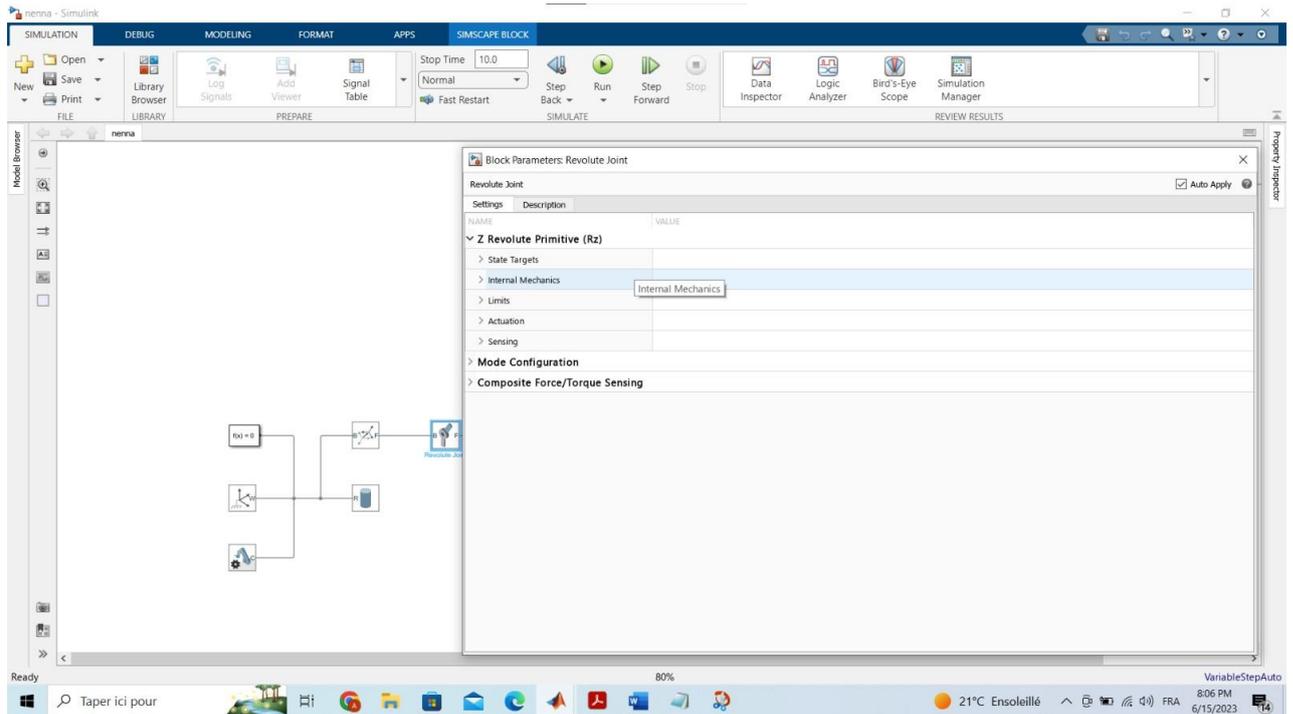


Figure 3.1.3 Le bloc du premiere articulation (Revolute joint)

Après avoir ajouté le premier joint rotatif, on a procédé à une étape importante en déplaçant le repère du centre de la base vers le haut de la base. Ce déplacement du repère permet de définir une nouvelle référence pour les pièces suivantes du robot. Ensuite, j'ai ajouté la deuxième pièce du robot, qui a été représentée sous la forme d'un autre cylindre, avec ses paramètres spécifiques tels que les dimensions et les propriétés physiques. J'ai soigneusement positionné et connecté cette deuxième pièce au premier joint rotatif, en veillant à assurer une continuité cohérente du mouvement du robot. Cette étape de l'ajout de la deuxième pièce constitue une avancée significative dans la construction du bras manipulateur, en lui donnant une structure plus complexe et en élargissant ses possibilités de mouvement.

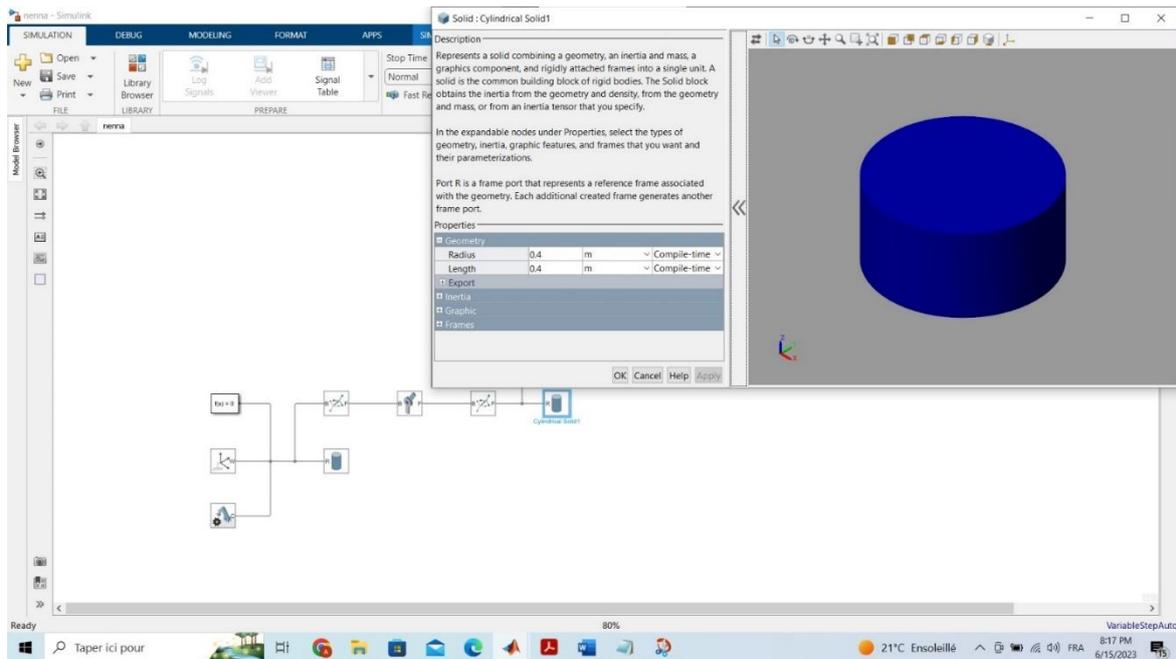


Figure 3.1.4 La deuxième pièce du bras

Après avoir ajouté la deuxième pièce du robot, j'ai créé un repère localisé au centre de cette pièce. Ensuite, j'ai intégré une articulation rotative qui permet le mouvement des deuxième et troisième éléments du bras manipulateur. Cette articulation joue un rôle essentiel en assurant des mouvements rotatifs contrôlés entre les pièces adjacentes, offrant ainsi une meilleure flexibilité et interaction avec l'environnement.

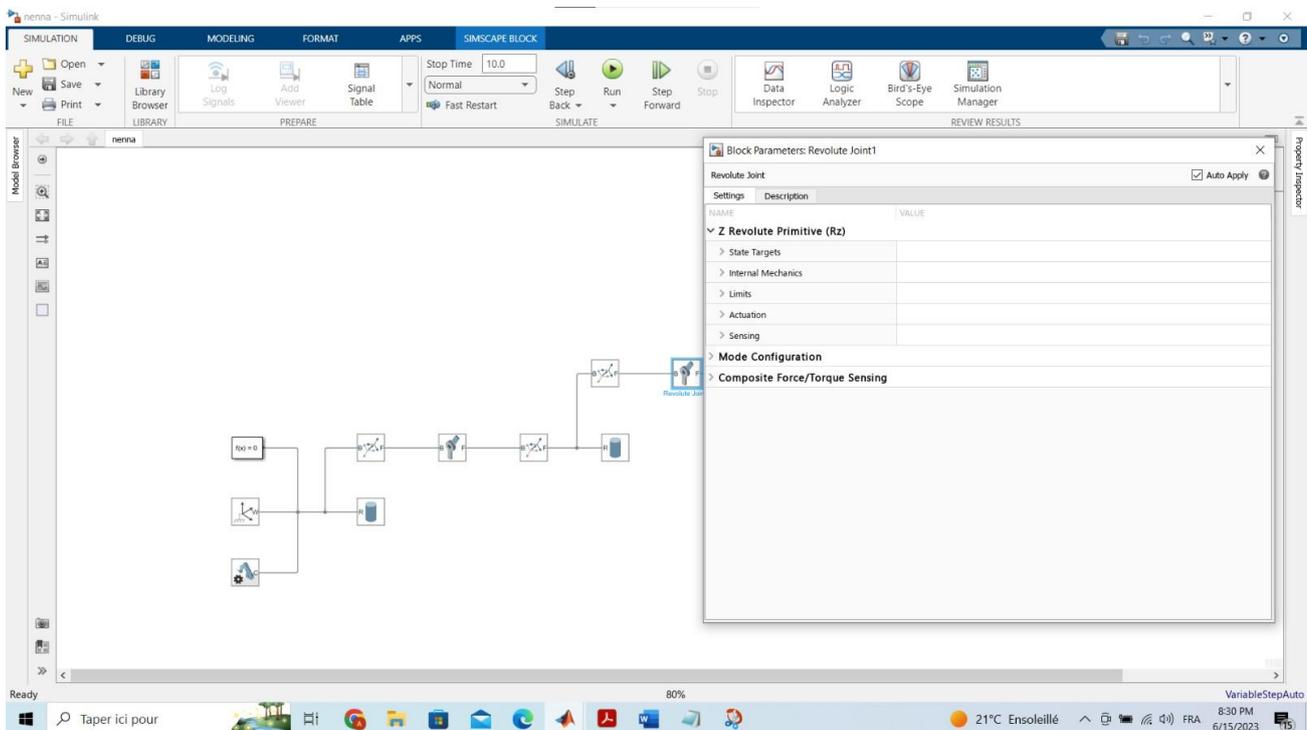


Figure 3.1.5 Déplacement du repère et la deuxième articulation (Revolute joint)

Après avoir ajouté l'articulation rotative entre la deuxième et la troisième pièce, on a déplacé le repère vers le haut de la deuxième pièce pour établir une référence appropriée. Ensuite, on a créé la troisième pièce du robot, représentée sous la forme d'un parallélogramme à l'aide du bloc "Brick Solid" dans Simulink. Nous avons défini les dimensions de la troisième pièce pour assurer son ajustement adéquat dans le modèle. Cette étape a permis d'intégrer une nouvelle pièce dans la structure du bras manipulateur, élargissant ainsi les possibilités de mouvement du robot.

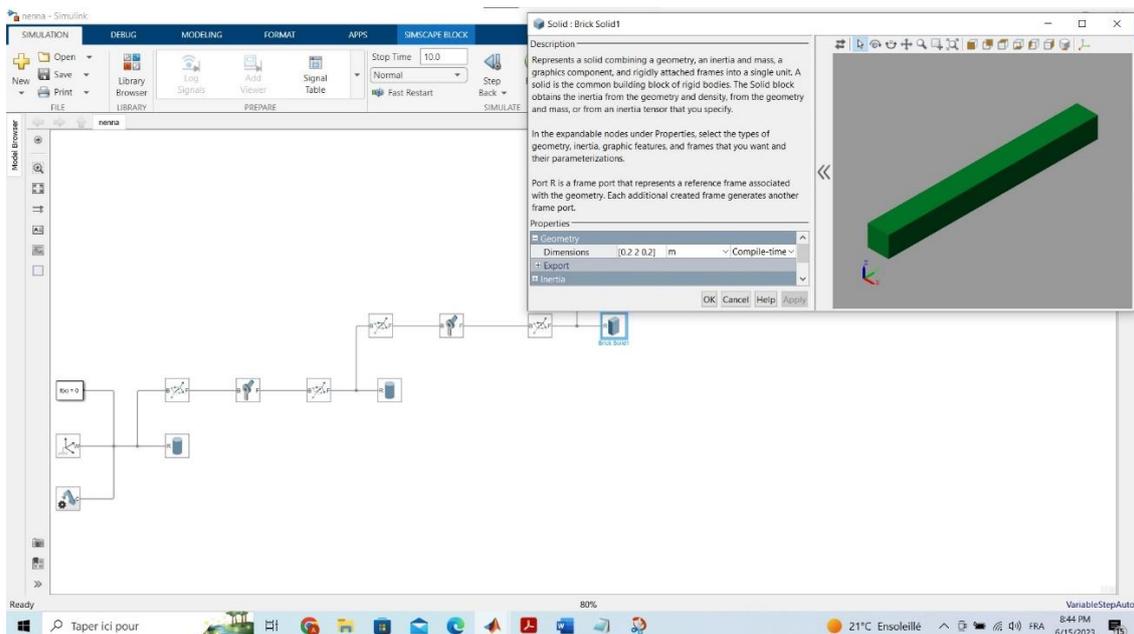


Figure 3.1.6 La troisième pièce du bras

En suivant la même approche, on a répété ces étapes pour chaque pièce successive du bras manipulateur jusqu'à atteindre la dernière pièce, appelée l'End Effector. On a ajouté les articulations appropriées entre chaque paire de pièces pour permettre les mouvements requis. On a ajusté les repères de référence pour chaque nouvelle pièce afin de garantir une cohérence spatiale. Ce processus itératif a permis de construire progressivement la structure complète du bras manipulateur, avec l'End Effector représentant la partie finale du robot qui interagit directement avec l'environnement.

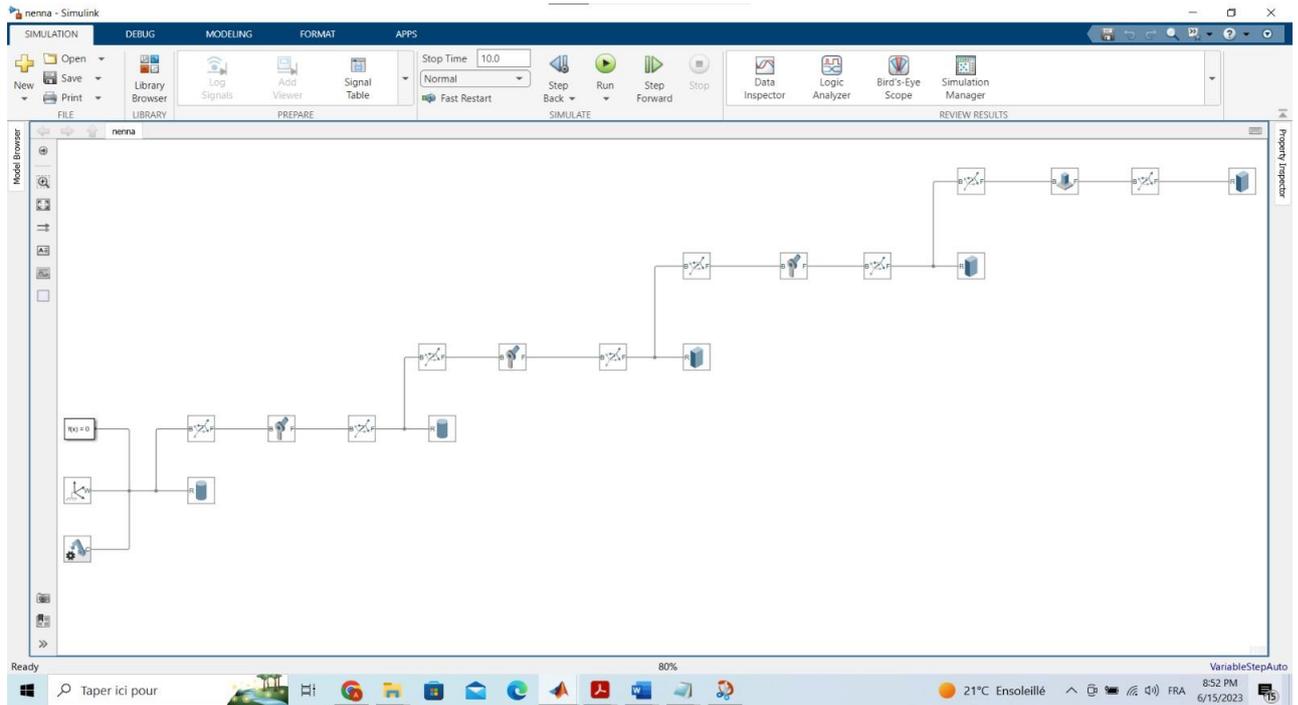


Figure 3.1.7 L'architecture (schéma) du robot sur Matlab Simulink

Enfin, voici le bras assemblé dans MATLAB Simulink

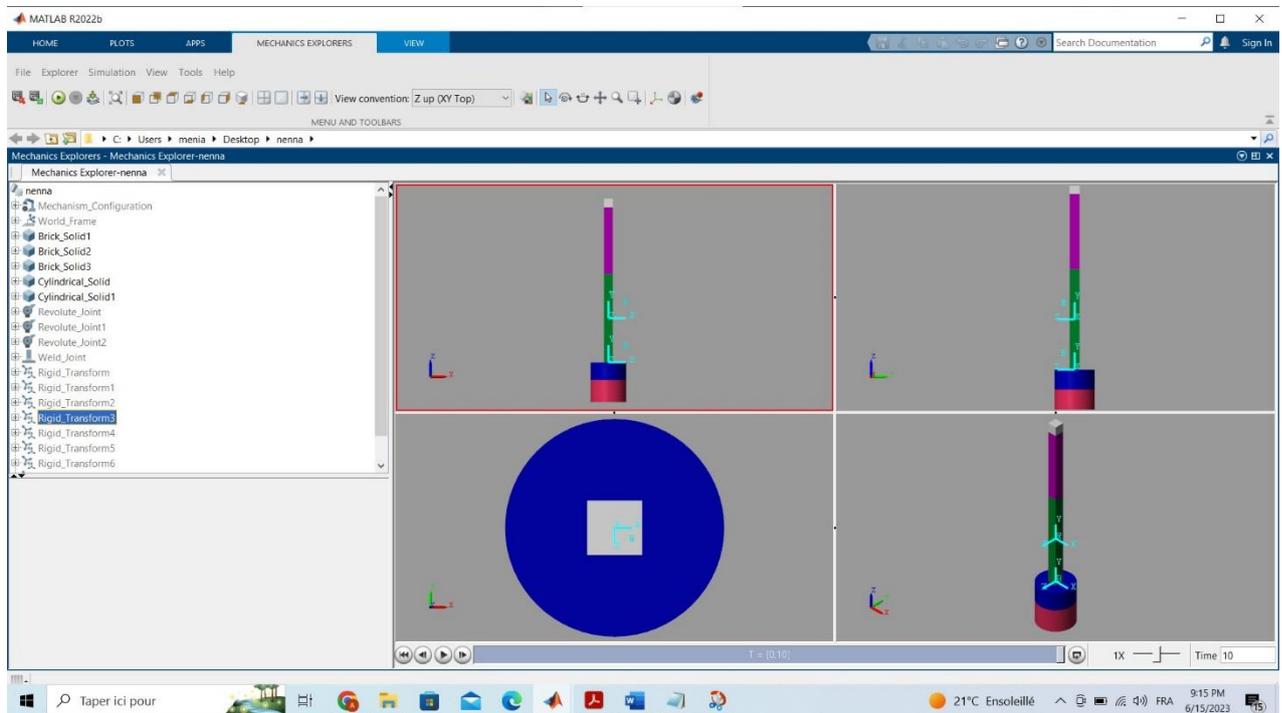
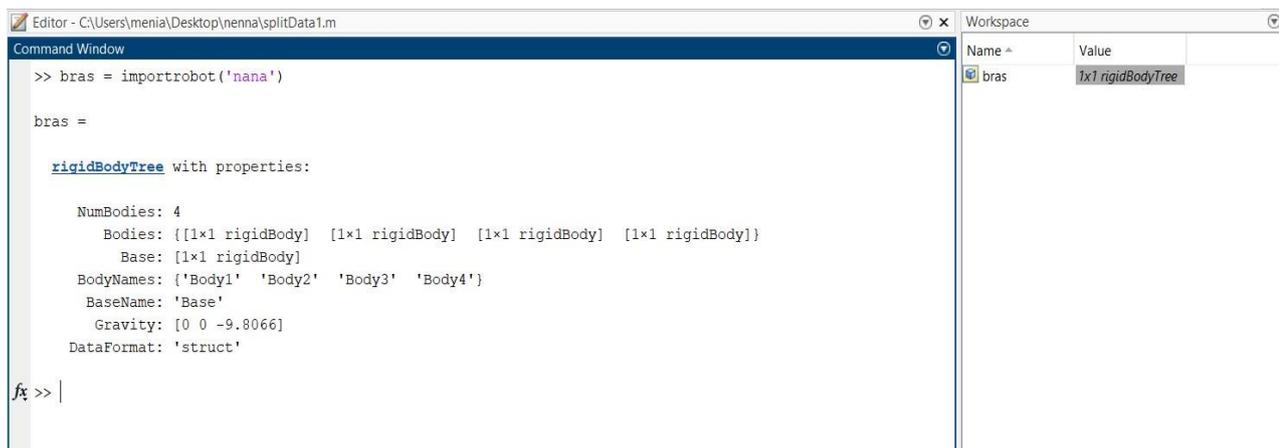


Figure 3.1.8 Le bras assemblé sur Matlab Simulink

- Une étape importante consiste à importer tous les paramètres du robot dans l'espace de travail (workspace) de MATLAB à l'aide de l'instruction "importrobot" avec l'extension RigidBodyTree. L'extension RigidBodyTree offre une fonctionnalité essentielle en permettant la rédaction de blocs pour la modélisation géométrique directe et inverse, ainsi que pour la dynamique du robot. Ces blocs utilisent le RigidBodyTree en tant que modèle, et il suffit de spécifier le nom du RigidBodyTree dans le bloc correspondant pour qu'il fonctionne comme un modèle géométrique direct ou inverse, en fonction du bloc sélectionné. Cette approche simplifie grandement la mise en œuvre de la cinématique directe et inverse, ainsi que de la dynamique du robot, en utilisant les paramètres importés du robot dans le RigidBodyTree.



The screenshot shows the MATLAB Command Window and Workspace. The Command Window displays the following code and output:

```
>> bras = importrobot('nana')  
  
bras =  
  
    rigidBodyTree with properties:  
  
    NumBodies: 4  
    Bodies: {[1x1 rigidBody] [1x1 rigidBody] [1x1 rigidBody] [1x1 rigidBody]}  
    Base: [1x1 rigidBody]  
    BodyNames: {'Body1' 'Body2' 'Body3' 'Body4'}  
    BaseName: 'Base'  
    Gravity: [0 0 -9.8066]  
    DataFormat: 'struct'
```

The Workspace window shows a variable named 'bras' with a value of '1x1 rigidBodyTree'.

Figure 3.1.9 l'instruction pour importer le bras avec une extension RigidBodyTree

Il est nécessaire de régler les articulations de manière à ce que notre robot puisse recevoir des signaux provenant de l'environnement Simulink, les convertir pour une utilisation dans la simulation, puis renvoyer les signaux générés vers Simulink. Pour accomplir cela, nous utilisons deux blocs importants : le bloc PS-Simulink Converter et le bloc Simulink-PS Converter.

Le bloc Simulink-PS Converter permet de convertir les signaux provenant de Simulink en signaux compatibles avec un modèle physique ou un système physique. Cela nous permet d'intégrer facilement les algorithmes et les blocs de traitement de signal Simulink à notre modèle physique.

En revanche, le bloc PS-Simulink Converter effectue la conversion inverse. Il convertit les signaux provenant du modèle physique ou du système physique en signaux compréhensibles par Simulink. Cette conversion facilite l'intégration des informations provenant du modèle physique dans la simulation Simulink et permet d'utiliser les données générées par le modèle physique dans les algorithmes et les blocs de traitement de signal Simulink.

En utilisant ces deux blocs, nous établirons une communication bidirectionnelle entre notre modèle physique et l'environnement de simulation Simulink, ce qui nous permettra d'exploiter au mieux les fonctionnalités des deux domaines et de créer une simulation complète et intégrée du robot, voici la figure qui représente ça

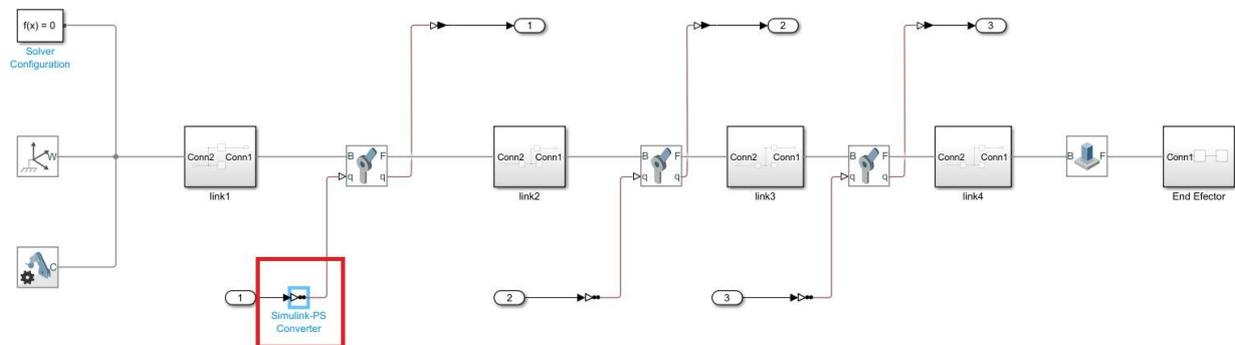


Figure 3.1.10 Le bloc simulink to Physical System Converter

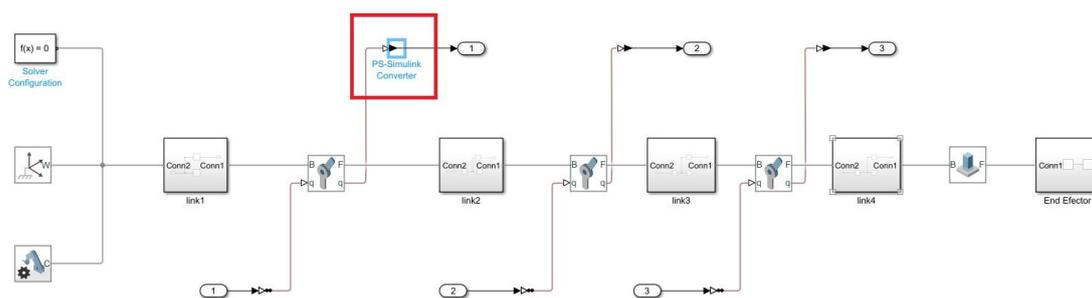


Figure 3.1.11 Le bloc physical System to Simulink Converter

- Maintenant que nous avons terminé les étapes précédentes de conception et d'importation des paramètres du robot, nous pouvons procéder à l'implémentation du modèle géométrique direct (MGD) et du modèle géométrique inverse (MGI).

Le modèle géométrique direct permet de calculer la position et l'orientation de l'End Effector en fonction des angles des articulations. En utilisant les paramètres géométriques du robot que nous avons définis précédemment, nous pouvons développer les équations nécessaires pour effectuer cette conversion.

D'un autre côté, le modèle géométrique inverse permet de calculer les angles des articulations nécessaires pour atteindre une position et une orientation spécifiques de l'End Effector. Cela permet de planifier et de contrôler les mouvements du robot en fonction des objectifs de positionnement.

En implémentant ces modèles, nous pourrions utiliser des blocs Simulink appropriés pour réaliser les calculs de MGD et de MGI en fonction des signaux d'entrée et de sortie. Cela nous permettra de simuler et de contrôler efficacement le mouvement du robot, en traduisant les commandes souhaitées en angles d'articulation appropriés, ou en déterminant la position et l'orientation de l'End Effector en fonction des angles des articulations.

L'implémentation des modèles géométriques direct et inverse joue un rôle essentiel dans la simulation et le contrôle du robot, en permettant des mouvements précis et cohérents, ainsi qu'une planification et une exécution efficaces des tâches assignées.

Voici les blocs Simulink qu'on peut utiliser pour le MGD et le MGI

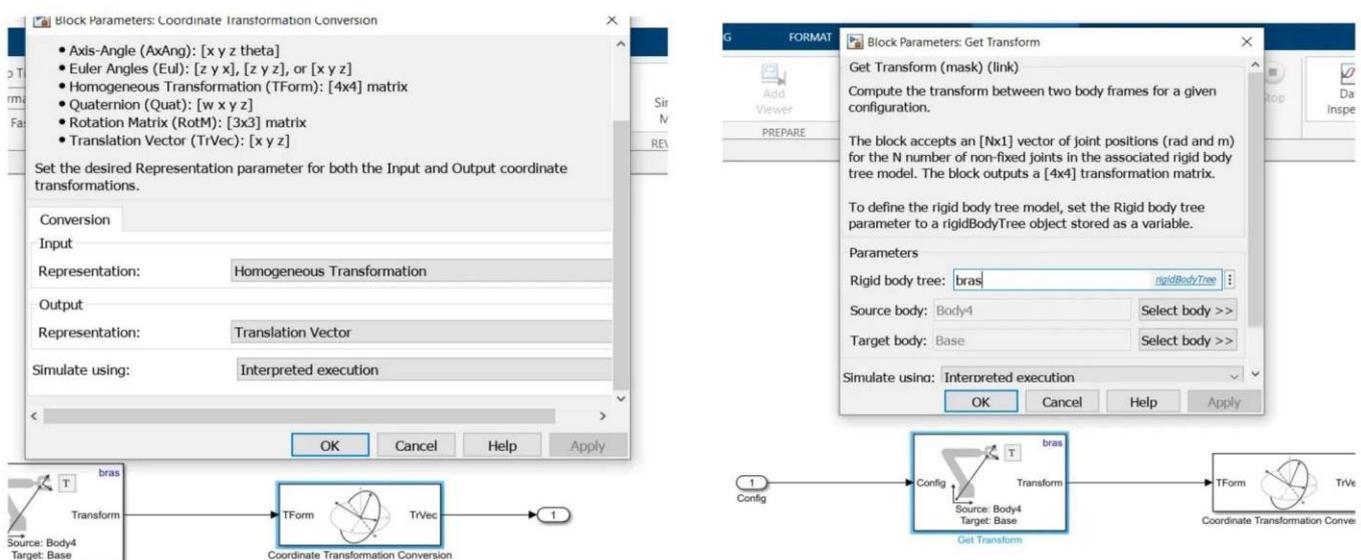


Figure 3.1.12 Les blocs avec ses paramètres du MGD

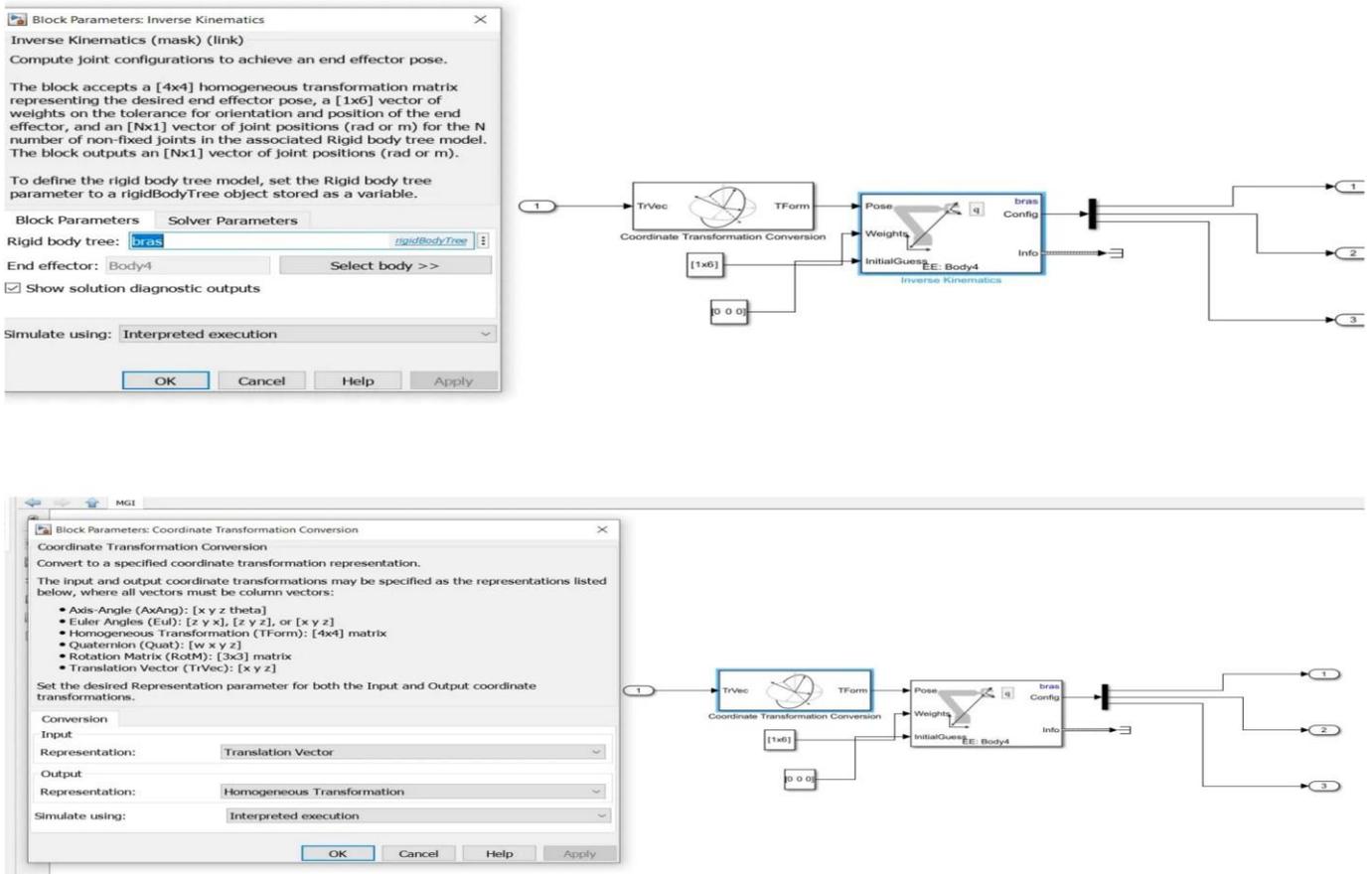


Figure 3.1.13 Les blocs avec ses paramètres du MGI

Maintenant que nous avons implémenté le modèle géométrique inverse (MGI) pour calculer les angles d'articulation à partir de la position et de l'orientation souhaitées de l'End Effector, ainsi que le modèle géométrique direct (MGD) pour calculer la position et l'orientation de l'End Effector à partir des angles d'articulation, nous pouvons les connecter aux entrées et sorties du robot dans notre simulation.

En utilisant des blocs appropriés dans Simulink, nous pouvons connecter les signaux d'entrée correspondants aux positions et orientations désirées de l'End Effector au bloc MGI. Ce bloc effectuera les calculs nécessaires pour déterminer les angles d'articulation requis pour atteindre ces positions et orientations spécifiques. Les angles d'articulation calculés seront ensuite transmis aux articulations du robot pour contrôler son mouvement.

De même, nous pouvons connecter les angles d'articulation en sortie du robot au bloc MGD. Ce bloc utilisera ces angles pour calculer la position et l'orientation réelles de l'End Effector. Les valeurs calculées peuvent être comparées aux valeurs souhaitées en utilisant des blocs de

comparaison pour évaluer la précision du contrôle du robot.

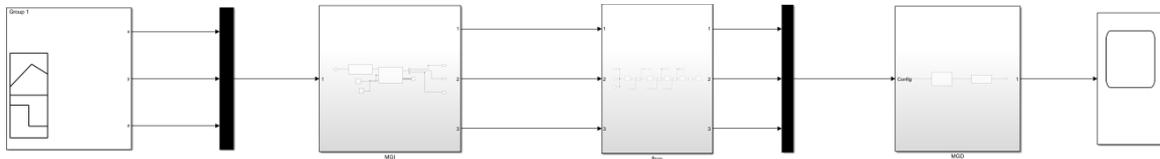


Figure 3.1.14 La connexion du bras au MGD et MGI

Maintenant on donne des signaux dans l'entrée du MGI et on vérifie par le Scope si le bras fonctionne correctement ou pas.

Voici le signal Px, Py et Pz dans la figure dessous

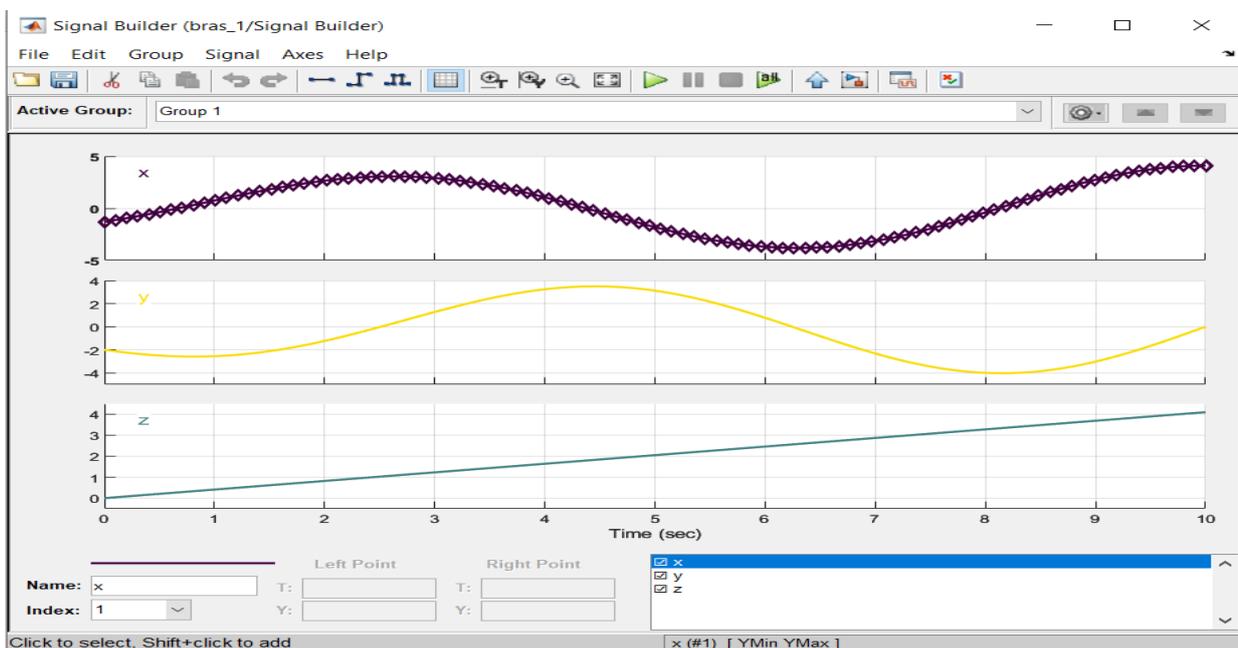


Figure 3.1.15 Les signaux Px, Py et Pz

On simule et on verra le résultat sur le scope dans la figure dessus

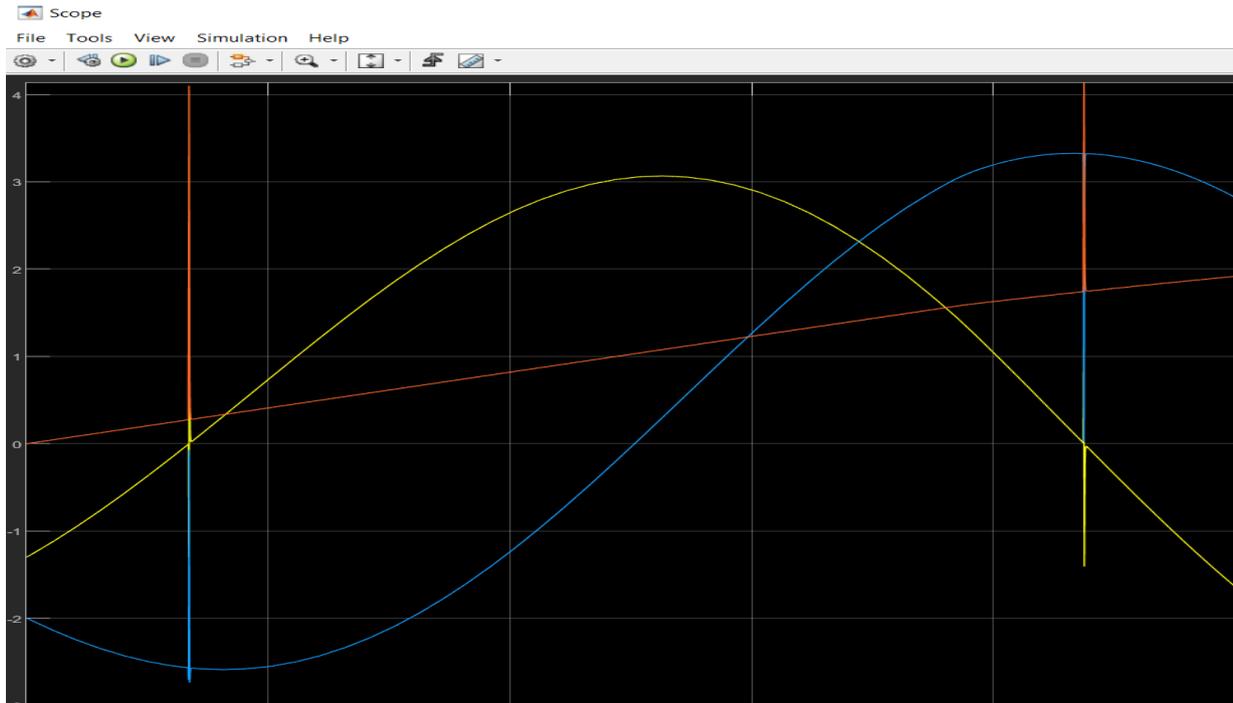


Figure 3.1.16 Les résultats de la simulation

On voit que les résultats sont correspondants au signaux, la vérification de la correspondance entre les positions et orientations de l'End Effector et les valeurs désirées, ainsi que l'évaluation de la performance du contrôle du robot sont des éléments essentiels pour valider la conception et la fonctionnalité du bras. Ces résultats positifs renforcent la confiance dans la précision et l'efficacité du système de contrôle, ce qui constitue une étape importante vers la mise en œuvre de bras dans des applications réelles

3.1 La commande du robot

Dans cette étape, nous vous montrerons comment nous avons commandé le bras de manière professionnelle. Tout d'abord, nous avons créé un contrôleur PID pour chaque articulation comme suite

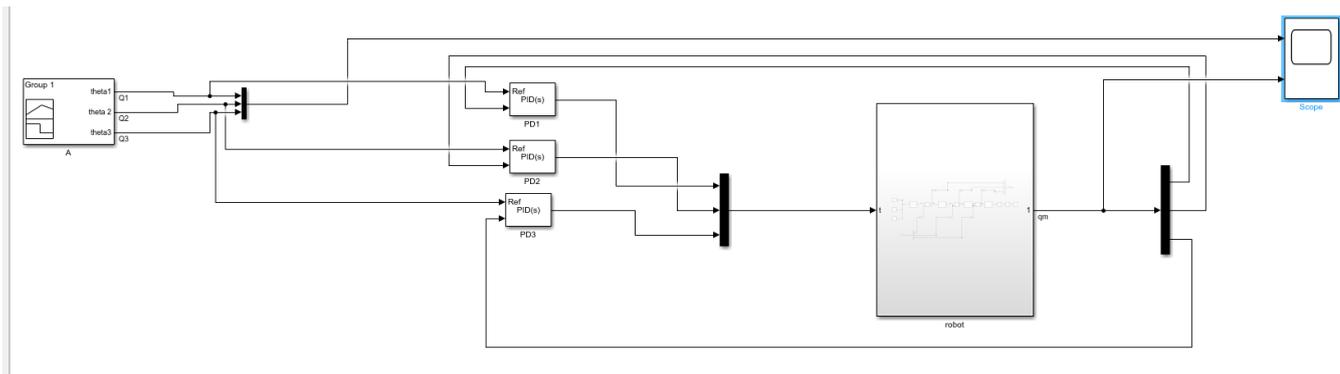


Figure 3.2.1 Le schéma des contrôleurs PID

Ensuite, nous avons réglé les paramètres du PID en utilisant la fonction "looptune"

```

Editor - C:\Users\menia\Documents\MATLAB\PID.m
PID.m x PID1.m x splitData.m x splitData1.m x +
1 TunedBlocks = {'PD1','PD2','PD3'};
2 ST0 = s1Tuner('bras_PID',TunedBlocks);
3
4 addPoint(ST0, TunedBlocks);
5
6 addPoint(ST0, 'robot/qm');
7
8 RefSignals = {'bras_PID/A/Q1','bras_PID/A/Q2','bras_PID/A/Q3',};
9
10 addPoint(ST0, RefSignals);
11
12
13 Controls = TunedBlocks;
14 measurements = ('bras_PID/robot/qm')
15 options = looptuneOptions('RandomStart',80,'UseParallel',true);
16 TR = TuningGoal.StepTracking(RefSignals,measurements,0.05,0);
17 ST1 = looptune(ST0,Controls,measurements,TR,options);
18
19
20 writeBlockValue(ST1);
21
    
```

Figure 3.2.2 Le code d'optimisation du PID (LoopTune)

Après l'application du code, voici les paramètres de chaque PID :

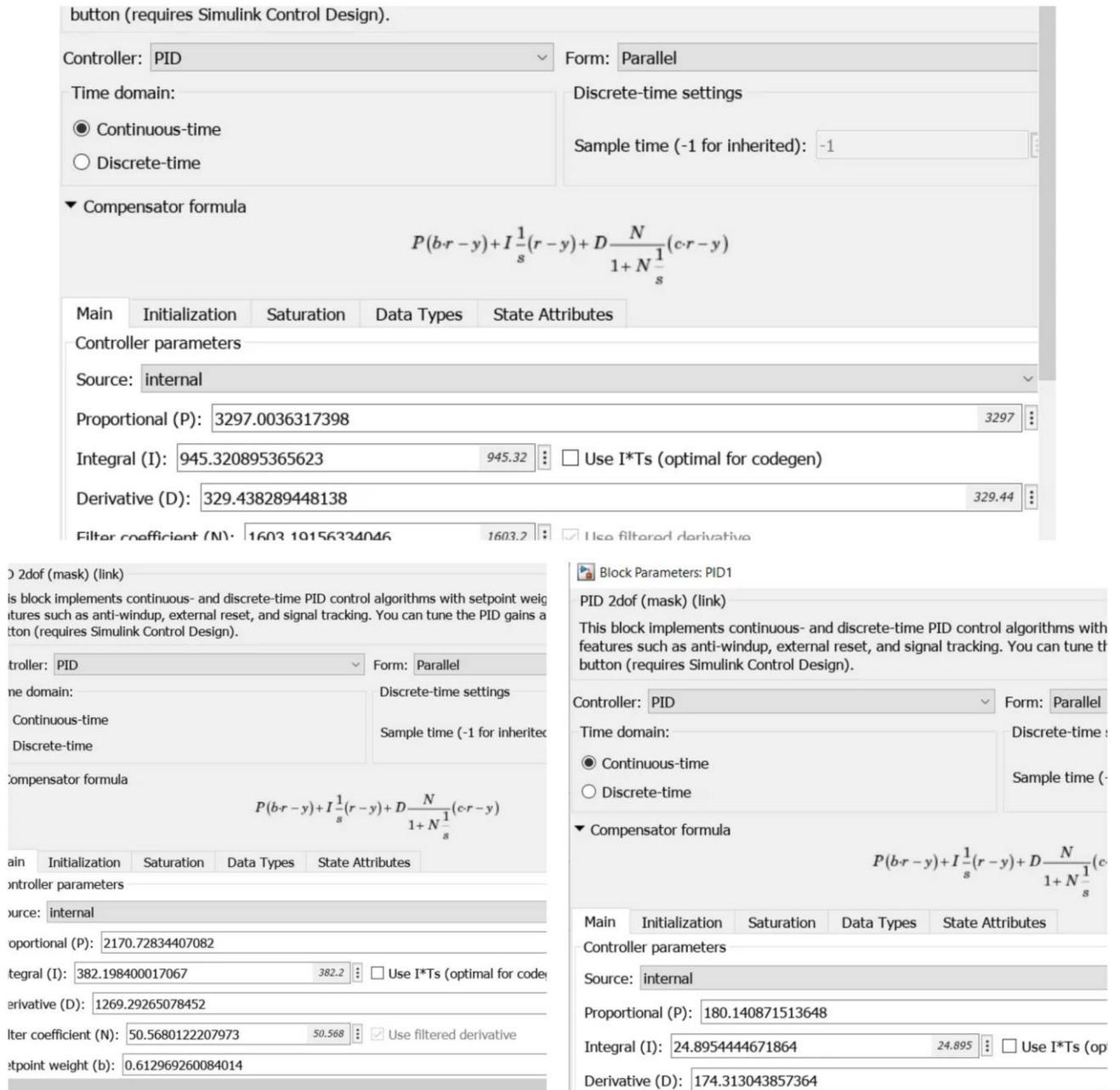


Figure 3.2.3 Les paramètres du PID après l'utilisation de (LoopTune)

Après avoir réglé les paramètres PID, nous avons procédé à la simulation du robot en utilisant des signaux riches en étapes. Cette étape était nécessaire pour obtenir des résultats précis et fiables dans notre base de données, qui sera utilisée pour l'étape suivante : l'entraînement de l'ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System).

L'objectif de cette étape est d'obtenir une base de données représentative qui couvre les scénarios pertinents et les variations possibles dans le fonctionnement du robot. Cette base de données sera ensuite utilisée pour entraîner l'ANFIS, un système d'inférence neuro-floue adaptatif, qui nous aidera à améliorer la précision et la performance de la commande du bras robotique.

Voici la base des données obtenue de la simulation

Property	Value
er11	1441x1 double
er22	1441x1 double
er33	1441x1 double
ta11	1441x1 double
ta22	1441x1 double
ta33	1441x1 double
tout	1441x1 double
SimulationMe...	1x1 SimulationM...
ErrorMessage	"

Figure 3.2.4 La base du données obtenue

Maintenant, faut que diviser la base de données en 80% pour l'entraînement et 20% pour le test.

Il est important de diviser les données de cette manière afin d'évaluer la performance du modèle d'ANFIS sur des données qu'il n'a pas encore vues. Cela nous permet de vérifier si le modèle généralise bien aux nouvelles données et d'obtenir une estimation réaliste de sa précision..

Nous allons utiliser une fonction appelée "splitData". Cette fonction effectue une séparation aléatoire des données tout en maintenant la proportion spécifiée.

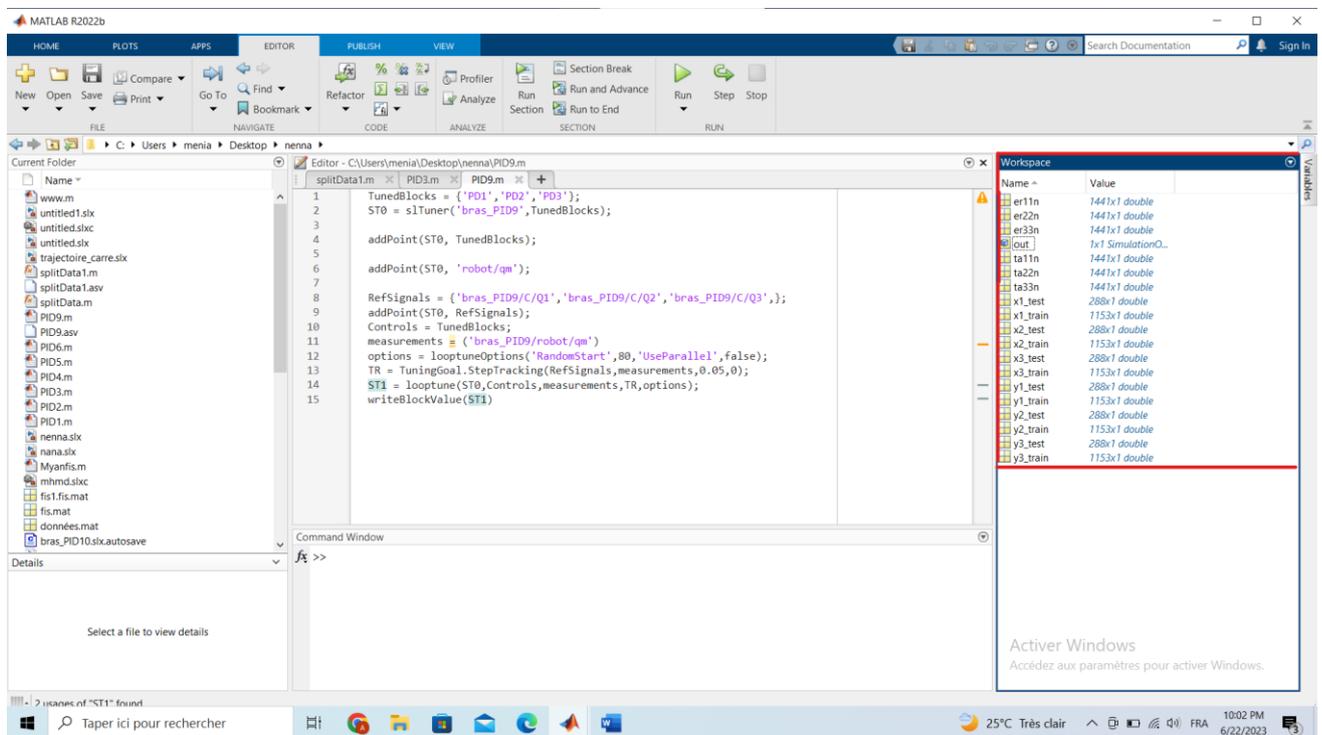


Figure 3.2.5 La division des données pour l'entraînement et le test

Pour intégrer ces données dans le bloc Neuro-Fuzzy Designer, nous pouvons utiliser la commande en ligne suivante : `>> anfisedit`. Cette commande permet d'accéder à l'interface de l'éditeur Neuro-FuzzyDesigner, où vous pourrez spécifier les données pour chaque contrôleur dans un bloc distinct.

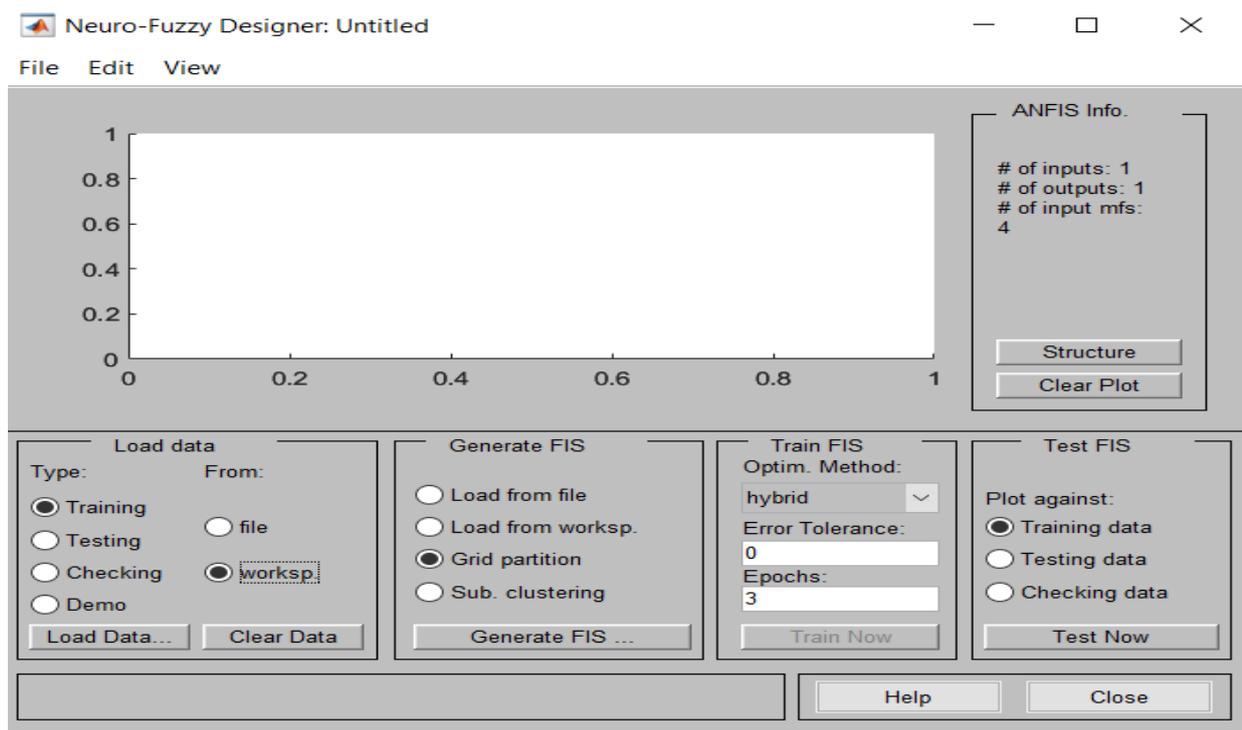


Figure 3.2.6 Le bloc Neuro-Fuzzy Designer

Une fois l'éditeur Neuro-Fuzzy Designer ouvert, vous pouvez importer vos données préparées et les utiliser pour concevoir un système de contrôle neuro-flou précis. Grâce à cet éditeur, vous aurez la possibilité de définir les règles du système, d'ajuster les variables d'entrée et de sortie, ainsi que de régler les paramètres nécessaires à la création de votre système de contrôle.

Une fois que les données ont été intégrées dans le bloc Neuro-Fuzzy Designer en utilisant la commande

>> anfisedit, il est possible d'effectuer l'apprentissage et le test pour chaque contrôleur. L'objectif est d'obtenir des résultats satisfaisants, notamment en termes d'erreur.

Une fois que les résultats sont considérés comme satisfaisants, le modèle peut être sauvegardé sous forme d'un fichier modele.fis. Ce fichier contient toutes les informations nécessaires pour utiliser le modèle de contrôle neuro-flou ultérieurement, notamment dans l'environnement Simulink.

Dans le cadre de notre étude, nous avons procédé à une mise à jour significative du schéma de contrôle présenté dans la Figure 3.2.1 de notre mémoire. Cette mise à jour consiste à remplacer les contrôleurs PID initiaux par des contrôleurs Fuzzy Logic Controller (FLC) plus avancés et performants.

Dans la nouvelle version du schéma (voir Figure 3.2.7), chaque contrôleur PID a été substitué par un contrôleur Fuzzy Logic Controller correspondant. Afin d'assurer une transition en douceur et une utilisation précise des contrôleurs FLC, nous avons intégré les fichiers FIS (Fuzzy Inference System) sauvegardés précédemment pour chaque contrôleur. Ces fichiers FIS contiennent toutes les règles et les paramètres d'inférence floue nécessaires à la conception du contrôleur.

Une fois le schéma mis à jour avec les contrôleurs FLC et les fichiers FIS associés, nous avons procédé à des simulations approfondies pour évaluer les performances du nouveau système de contrôle.

Ces simulations nous ont permis d'analyser et de comparer les résultats obtenus avec les contrôleurs FLC par rapport aux contrôleurs PID précédents. Cette évaluation nous a fourni des informations essentielles sur les améliorations apportées par les contrôleurs Fuzzy Logic Controller en termes de précision, de robustesse et de performance du système de contrôle.

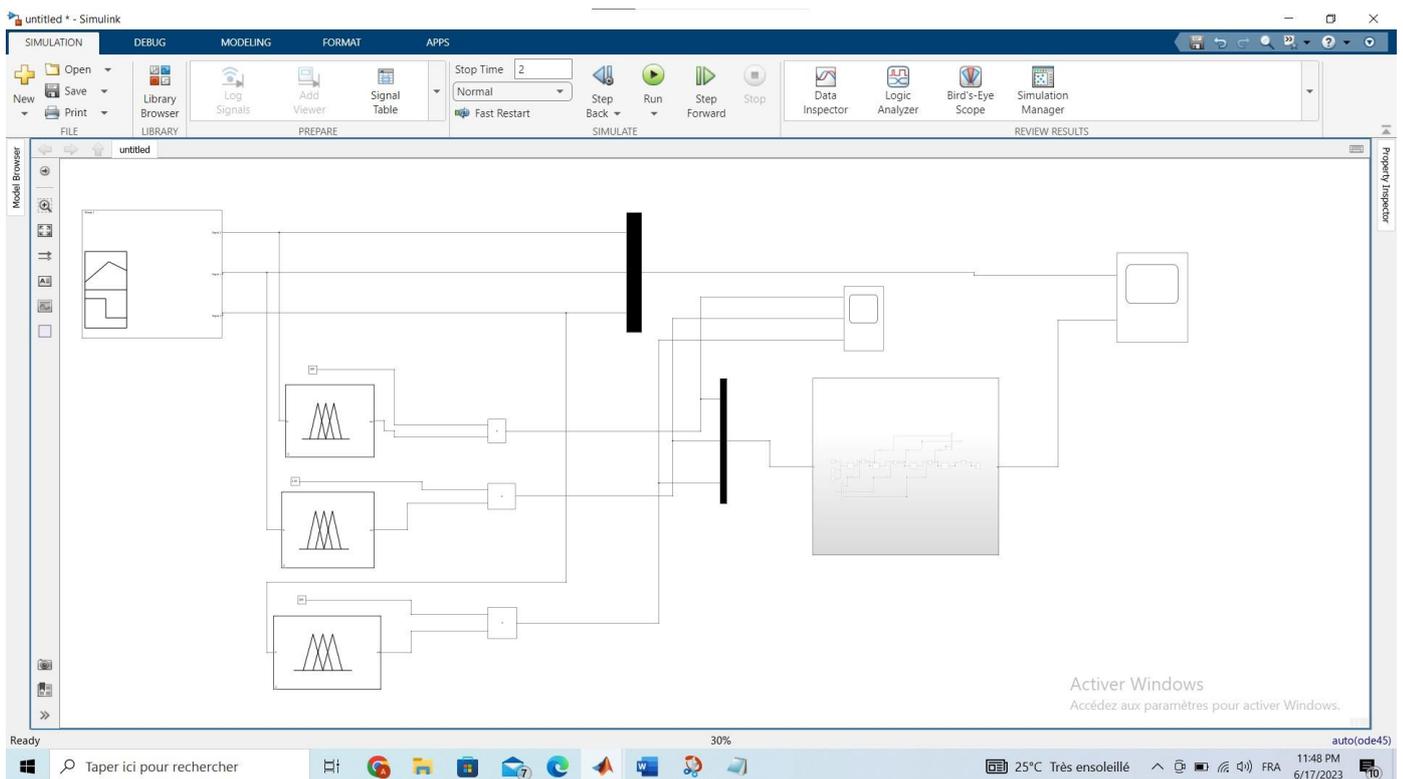


Figure 3.2.7 Le nouveau schéma avec FUZZY-LOGIC Contrôler

En résumé, nous avons effectué la transition des contrôleurs PID vers les contrôleurs Fuzzy Logic Controller dans le schéma présenté dans la Figure 3.2.7. Nous avons spécifié les fichiers

FIS pour chaque contrôleur FLC et mené des simulations approfondies pour évaluer les performances du nouveau système de contrôle. Ces résultats sont essentiels pour démontrer les avantages des contrôleurs Fuzzy Logic Controller dans notre étude.

3.2 Les résultats du commande

Le taux d'erreur dans le premiers FIS = 7% Le taux d'erreur dans le premiers FIS = 7% Le taux d'erreur dans le premiers FIS = 4%

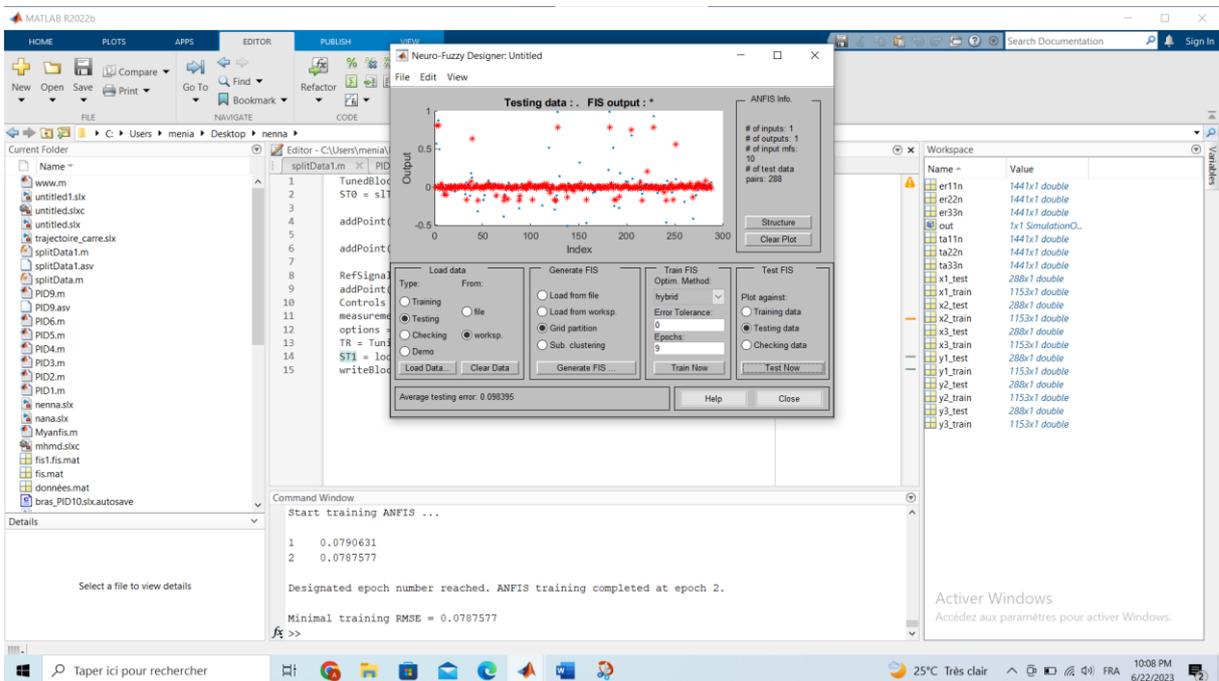


Figure 3.2.8 Les résultats d'apprentissage du premier anfis

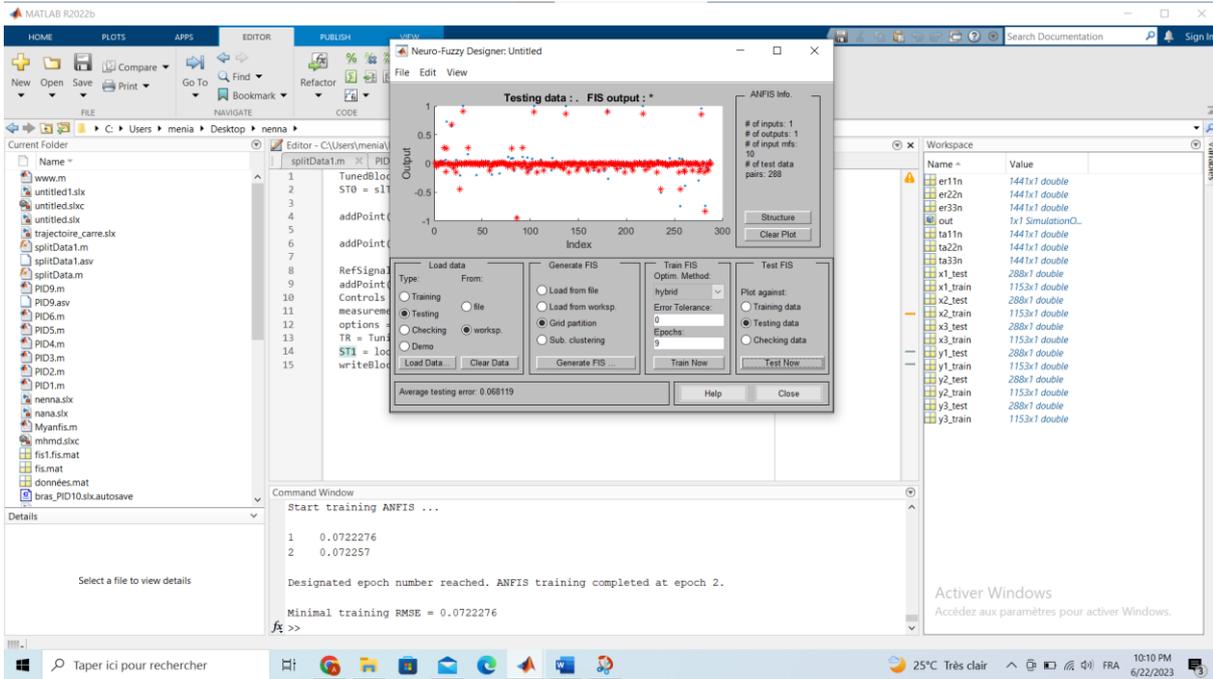


Figure 3.2.9 Les résultats d'apprentissage du deuxième anfis

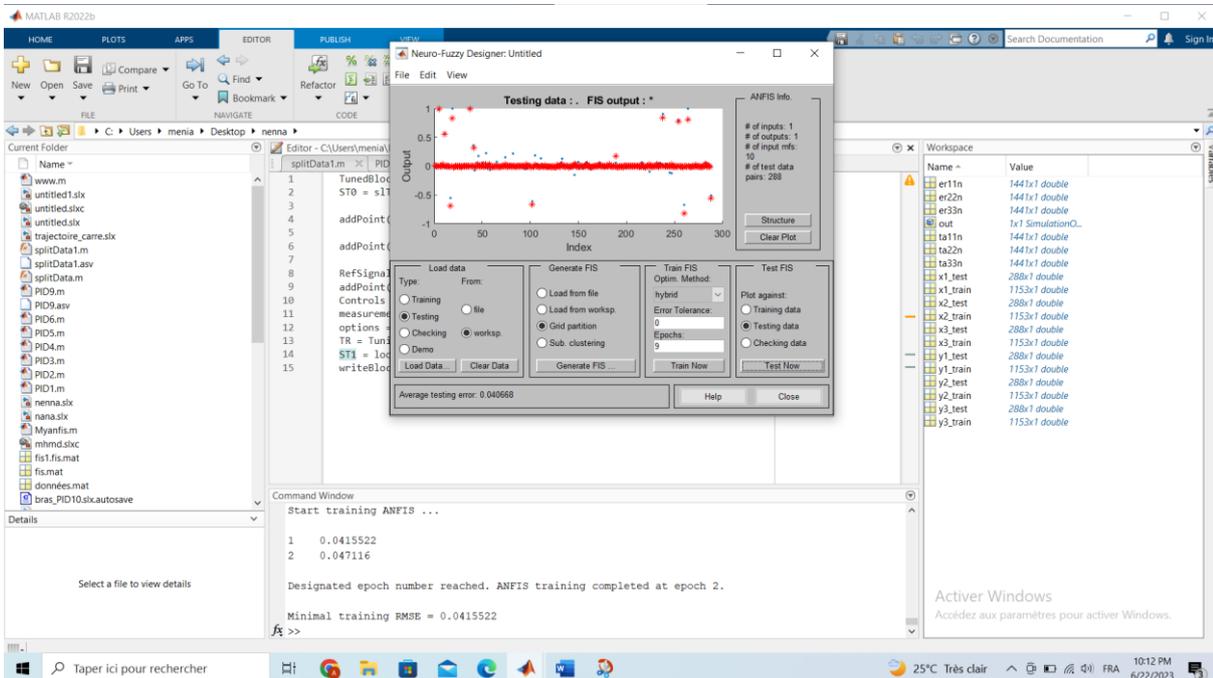


Figure 3.2.9 Les résultats d'apprentissage du troisième anfis

3.1 Les résultats de la simulation

Suite à la simulation du bras, nous avons obtenu les résultats suivants

3.3.1 Les résultats du PID

Après avoir effectué le réglage du PID, nous avons donné une trajectoire à suivre et voici les résultats obtenus

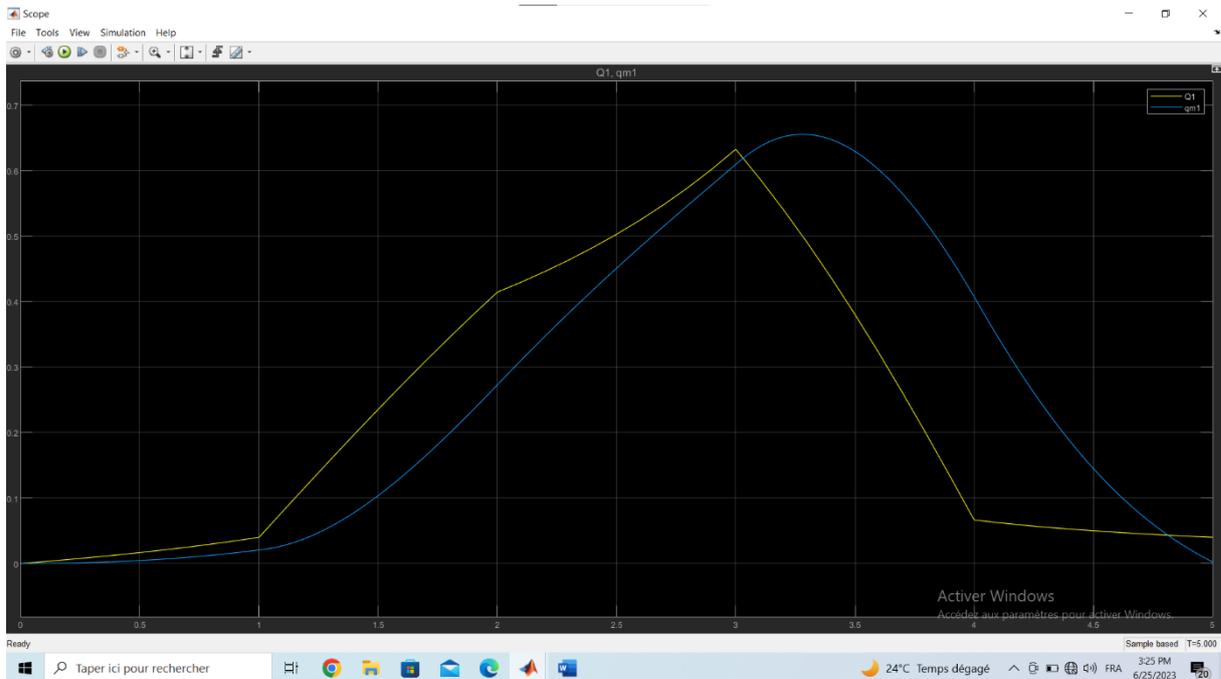


Figure 3.2.10 Le signal à suivre de l'articulation(Q1) et le résultat(qm1)

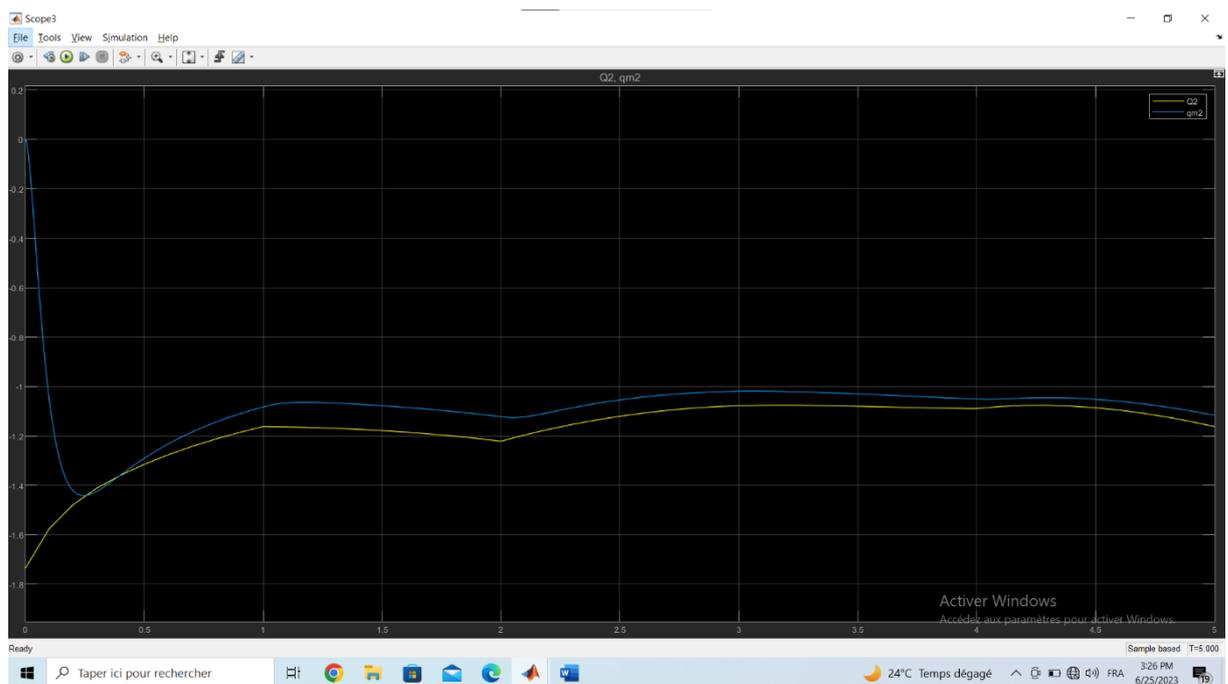


Figure 3.2.11 Le signal à suivre de l'articulation(Q2) et le résultat(qm2)

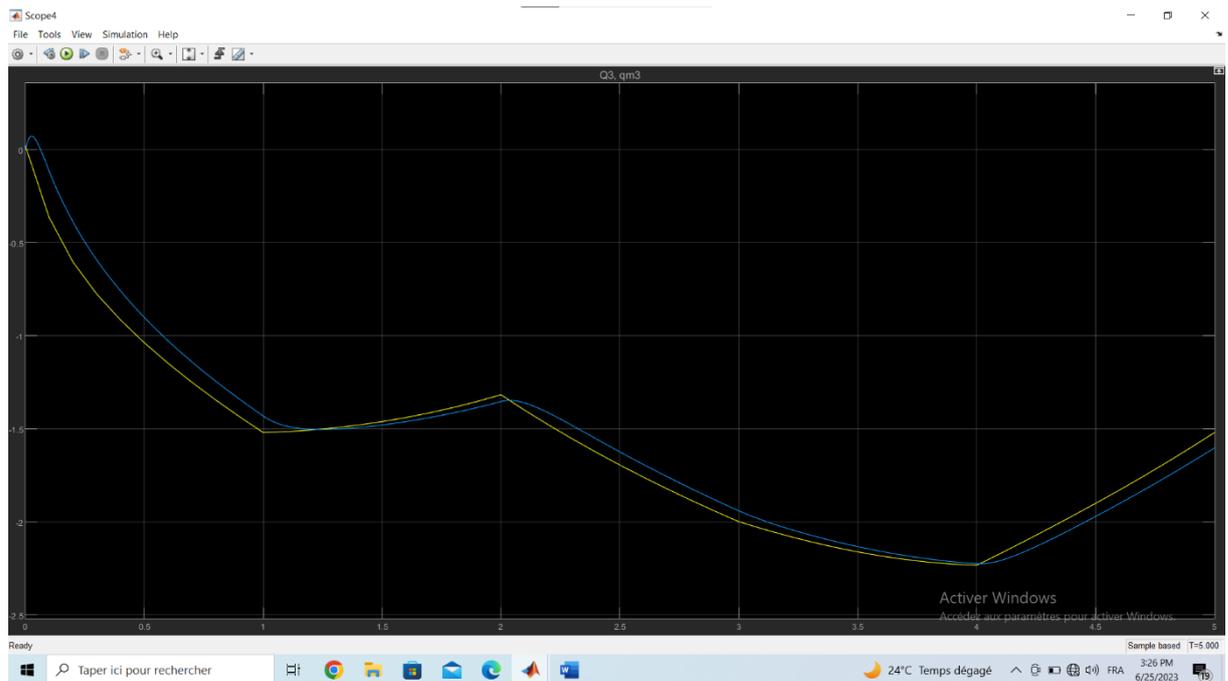


Figure 3.2.12 Le signal à suivre de l'articulation(Q3) et le résultat(qm3)

- Il est observé que le PID débute à zéro avec un léger retard, ce qui est tout à fait normal. En examinant attentivement les courbes de $t=0s$ à $t=0.25s$, on peut constater que le PID se trouve en régime transitoire. À partir de $t=0.25s$ jusqu'à $t=5s$, le PID se stabilise en régime permanent.

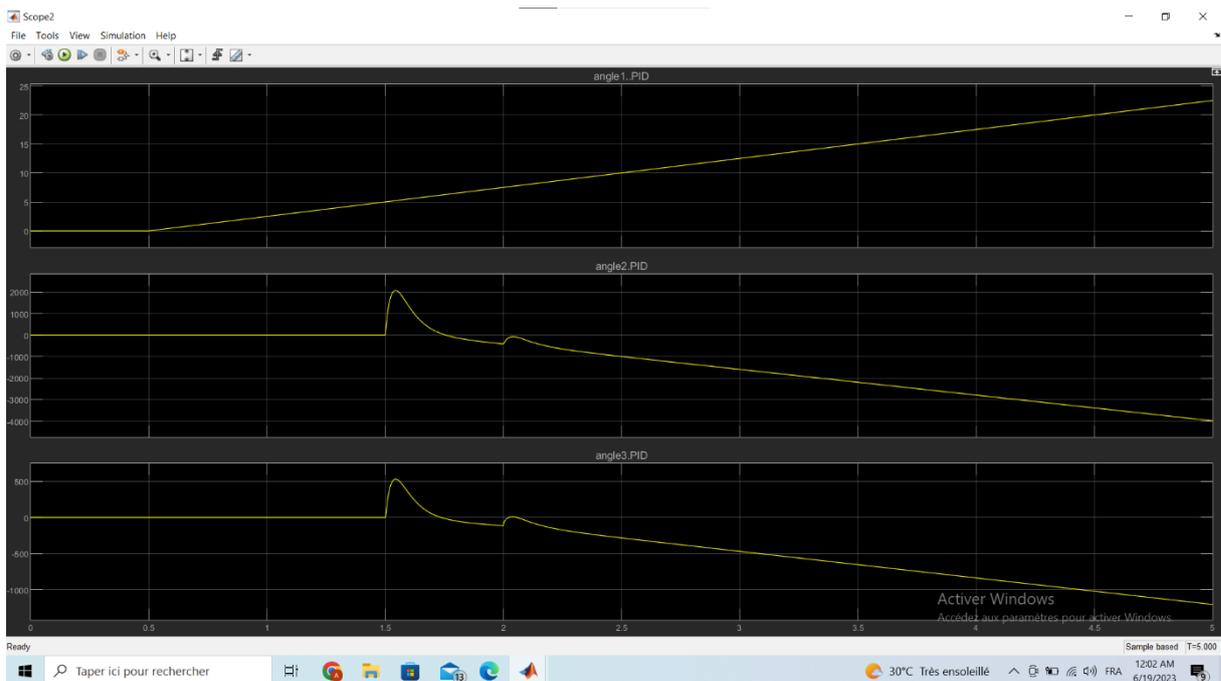


Figure 3.2.13 Les angles générés par les couples du PID

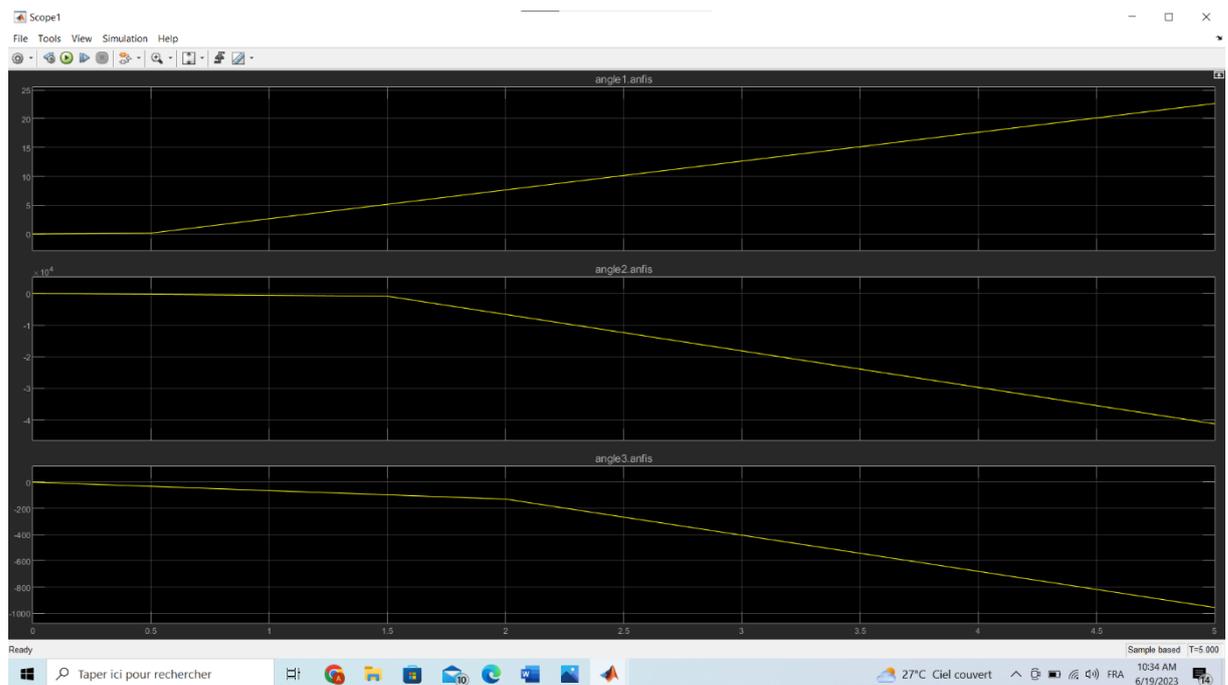


Figure 3.2.13 Les angles générés par les coupes du PID

- La réponse du régulateur PID entre $t=1.5$ et $t=2.1$ présente de petits pics inverses par rapport à la réponse d'ANFIS. Toutefois, la réponse du PID se montre plus stable comparée à celle de l'ANFIS.

3.3 Conclusion

ce chapitre présente la conception détaillée du bras dans Simulink, en mettant l'accent sur l'assemblage des composants et la définition des paramètres. De plus, nous décrivons la mise en place d'un contrôleur PID pour assurer un contrôle précis du bras, ainsi que l'utilisation de la fonction LoopTune pour régler le PID de manière optimale. Ces étapes ont permis d'obtenir un modèle réaliste et fonctionnel du bras, prêt à être utilisé dans notre étude.

Conclusion Générale

En conclusion, ce mémoire a abordé divers aspects de la robotique, en commençant par une définition générale de ce domaine passionnant. Ensuite, nous nous sommes concentrés sur la modélisation théorique du bras robotique, en incluant la modélisation géométrique, cinématique et dynamique.

L'une des contributions majeures de ce travail réside dans la conception complète du bras à l'aide de Simulink. En effet, nous avons utilisé cet environnement pour modéliser le bras, y compris la modélisation géométrique directe et inverse, en utilisant des blocs plutôt que des fonctions manuelles de MGD et MGI. De plus, nous avons utilisé la fonction LoopTune pour régler automatiquement la régulation PID, ce qui a grandement simplifié le processus. La commande PID mise en place a permis un contrôle précis du bras.

La partie pratique de ce mémoire a été largement basée sur l'utilisation approfondie des outils de Matlab, notamment les boîtes à outils disponibles dans Simulink. Cette approche a été extrêmement bénéfique, car elle nous a offert un environnement de développement puissant et convivial pour la conception, la simulation et la mise en œuvre du bras robotique.

En résumé, ce mémoire a exploré les fondements de la robotique, en mettant l'accent sur la modélisation théorique du bras et en proposant une conception complète du bras à l'aide de Simulink. L'utilisation des fonctionnalités avancées de Matlab nous a permis d'exploiter pleinement les possibilités offertes par cet environnement, facilitant ainsi la réalisation des objectifs fixés. Ce travail constitue une contribution significative à l'étude et à la mise en œuvre des systèmes robotiques, ouvrant ainsi la voie à de futures recherches et développements dans ce domaine passionnant.

- **Les références**

- [1] :Généralités sur les robots manipulateurs - chelly Nizar
- [2] :Généralités sur la robotique- introduction aux structures rigides et flexibles universite biskra
- [3]: G. Abba, " Commande hybride position/force robuste d'un robot manipulateur utilisé En usinage et/ou en soudage ", thèse pour obtenir le grade de docteur, l'École Nationale
- [4]: Dr. BENMOUSSA SamirModélisation et commande de robot industriel
- [5]: Dr. BENMOUSSA SamirModélisation et commande de robot industriel (Université Badji Mokhtar Annaba).
- [6] : Hocine TAKHI Université Amar T'elidai -Instrumentation 2014.
- [7] : Dr. BENMOUSSA SamirModélisation et commande de robot industriel (Université Badji Mokhtar Annaba).
- [8] : Dr. BENMOUSSA SamirModélisation et commande de robot industriel (Université Badji Mokhtar Annaba).
- [9] :GAUTRON Laurent « PHYSIQUE TOUT LE COURS EN FICHES », Dunod, Livre, 2015
- [10] :PASQUIER Claude « Mécanique », Cours, Polytech Paris-Sud,2012
- [11] :MENDIL B. « Cours de Robotique », Cours, Université Abderrahmane Mira, Béjaia, 2017.
- [12] :Thèse de doctorat Pour obtenir le grade de Docteur de l Université de VALENCIENNES ET DU HAINAUT-CAMBRÉSIS Spécialité : Automatique.