

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



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Mécanique
Filière :électronique

Réf:.....

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

MASTER

Thème

*Modélisation , contrôle et simulation du robot
manipulateur à 2ddl*

Présenté par :

GUELLAI DJAMEL

Soutenu le : Juin 2018

Devant le jury composé de :

Mme Athamna.N

MAA

Président

Mme Ouarhlent .S

MAA

Encadreur

Mlle Djaalal.N

MAA

Examineur

Année universitaire : 2017 / 2018

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



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electronique
Spécialité : Electronique des system embarqué

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

MASTER

Thème

***Modélisation , contrôle et simulation du robot
manipulateur à 2ddl***

Présenté par :

Guellai Djamel

Avis favorable de l'encadreur :

Avis favorable du Président du Jury

Cachet et signature

Remerciements

*Avant, toute personne, je tiens à remercier notre Dieu
Tout Puissant pour m'avoir éclairci le chemin de ce
travail.*

*Je veux adresser mes remerciements à mon encadreur
de mémoire Mme Ouahfent .S pour sa grande disponibilité
et ses encouragements tout au long de la rédaction de ce
mémoire.*

*Je remercie également tous les membres du jury pour
l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail .*

*Enfin, j'adresse mes remerciements à toute ma famille
sans oublier mes amies et mon équipe de travaille SP3.*

Sommaire

<i>Introduction général</i>	1
Chapitre I.....	3
<i>Modélisation des robots manipulateurs</i>	3
<i>I.1. Généralités sur les robots industriels</i>	3
I.1.1. Introduction	3
I.1.2. Apparition des robots manipulateurs	3
I.1.3. Historique	4
I.1.4. Définition des robots manipulateurs	4
I.1.5. Applications des robots manipulateurs	5
I.1.6. Les différents catégorie des robots	5
I.1.7. Vocabulaire utilise dans le domaine de la robotique	7
<i>I.2. Modélisation des robots manipulateurs</i>	9
I.2.1. Introduction	9
I.2.2. Modélisation des robots manipulateurs	10
I.2.3. Modélisation Cinématique	12
I.2.3.1. Modélisation cinématique directe (MCD)	12
I.2.3.2. Modélisation cinématique inverse (MCI)	12
I.2.4. Modèle dynamique.....	13
I.2.4.1 Formalisme de Lagrange	15
<i>I.3. Conclusion</i>	20
Chapitre II.....	21
<i>Commandes des robots manipulateurs</i>	21
<i>II.1. Introduction</i>	21
<i>II.2. Techniques de commande des robots</i>	21
II.2.1. Commande classique	22
II.2.2. Commande dynamique.....	24
II.2.3. Commande adaptative.....	27
<i>II.3. Conclusion</i>	28

Chapitre III.....	29
<i>Linéarisation des systèmes non linéaires</i>	29
<i>III.1. Introduction</i>	
<i>III.2. Linéarisation de systèmes non linéaires</i>	29
<i>III.3. Exemple</i>	34
<i>III.4. Conclusion</i>	39
Chapitre IV.....	40
<i>Tests et validation</i>	40
<i>IV.1 Introduction</i>	40
<i>IV.2 Commande PID classique du robot SCARA.</i>	40
<i>IV.3 Commande PID pour modèle linéaire</i>	47
<i>IV.4 Conclusion.</i>	52
<i>Conclusion général</i>	53

Figure I.1 : Robots volants.	5
Figure I.2 : Robots humanoïdes.....	5
Figure I.3 : Robots mobiles.....	6
Figure I.4 : Robots sous marins.	6
Figure I.5 : Robots manipulateurs.	6
Figure I.6 : constituants d'un bras manipulateurs.	7
Figure (I.7) : Bras à deux degré de liberté (2ddl).	11
Table I.1 D-H paramètre robot a 2DDL.	12
Figure (I.8) : position de robot à 2ddl sur matlab.	13
Figure (II.1) : Schéma classique d'une commande PID.	22
Figure (II.2) : Schéma d'une commande dynamique par découplage non-linéaire.	25
Figure(II.3) : Principe des systèmes de commande adaptative.	27
Figure IV.1 : Commande PID.	40
Figure IV.2 : la commande PID classique sous MTLAB/SIMULINK.....	42
Figure IV.3 : Position 1 articulaires (réelles et désirées)	43
Figure IV.4 : Position 2 articulaires (réelles et désirées)	44
Figure IV.5 : Erreurs de position 1 articulaires.....	45
Figure IV.6 : Erreurs de position 2 articulaires.....	46
Figure IV.7 : Commande PID pour model lineariser sous MATLAB/Simulink.	47
Figure IV.8 : Position 1 d'articulaires (réelles et désirées)	48
Figure IV.9 : Position 2 d'articulaires (réelles et désirées)	49
Figure IV.10 : Erreurs de position 1 d'articulaires.	50
Figure IV.11 : Erreurs de position 2 d'articulaires.....	51

Introduction général

La commande des systèmes est l'un des domaines les plus riches en termes d'algorithmes et d'outils de développement. Au cours des deux dernières décennies, un nombre très important de publications a été consacré au problème de l'analyse et de la synthèse de lois de commande pour les systèmes non linéaires. Ce problème présente beaucoup de challenges parce que les systèmes non linéaires contrairement au cas de systèmes linéaires pour lesquels l'automatique fournit une panoplie de méthodes pour la synthèse de la commande, ne disposent pas d'outils et de méthodes générales pour réaliser cette analyse et/ou synthèse des lois de commande. Ceci est dû au fait que les systèmes non linéaires peuvent posséder des dynamiques complexes et des structures extrêmement variées. [1]

Ce mémoire consiste à faire une étude sur deux types de contrôleurs PID, pour un bras manipulateur.

La première approche est la commande linéarisables par bouclage [2], [3]. Cette classe de systèmes n'a pas uniquement un intérêt mathématique mais également une grande importance pratique, car, beaucoup de systèmes physiques appartiennent à cette classe, tels que les systèmes mécaniques et les machines électriques. L'idée de base de la linéarisation par bouclage est la transformation d'un système non linéaire en un système linéaire, permettant l'utilisation des outils de synthèse du linéaire.

La deuxième approche consistait à linéariser la dynamique non linéaire du modèle dynamique autour d'un point de fonctionnement de telle sorte que les outils de la commande linéaire puissent être exploités pour la synthèse d'une loi de commande assurant les performances recherchées. Cependant, la nécessité de garantir des performances sur une plage importante de fonctionnement des systèmes a imposé la prise en compte de leur dynamique non linéaire globale dans la synthèse des lois de commande.

Pour cela ce travail est structuré autour de quatre chapitres principaux :

- Dans le premier chapitre nous exposons une introduction sur les robots industriels, les éléments constitutifs d'un robot manipulateur tels que la structure mécanique, les actionneurs ou les servomoteurs et les capteurs et aussi ce chapitre sera consacré aux modélisations des robots après avoir rappelé les principes et les méthodes de la modélisation.
- Le deuxième chapitre traite quelques techniques de commande des robots manipulateurs telle que la commande classique, la commande dynamique et la commande adaptative
- Le troisième chapitre présente la linéarisation du modèle dynamique autour d'un point de fonctionnement.
- Dans le dernier chapitre, des simulations seront effectuées sur le modèle du robot industriel SCARA à deux degrés de liberté.
- Une conclusion générale donnera une synthèse du travail effectué et résumera les principaux résultats obtenus ainsi que les perspectives envisagées.

1.1. Généralités sur les robots industriels

1.1.1. Introduction

L'utilisation des systèmes robotiques apparaît aujourd'hui dans plusieurs domaines d'activités : la médecine, la défense, la recherche scientifique etc.... Les robots sont utilisés de manière privilégiée pour des missions où les objectifs sont quantifiables et clairement définis. Ils sont destinés à faciliter les tâches pour l'homme et à amplifier le rendement.

Dans ce chapitre, on va donner un aperçu non exhaustive sur les robots, un bref historique sur l'évolution de la robotique industrielle, présenter les différents types de robots et les éléments constitutifs de ces derniers. on passera ensuite, à la modélisation d'un bras manipulateur dynamique rigide à chaîne ouverte simple à deux degré de liberté, en tenant compte des effets de la vitesse.

1.1.2. Apparition des robots manipulateurs

La genèse des robots manipulateurs est très récente. En effet, grâce au développement des servomécanismes dans la seconde guerre mondiale que les manipulateurs, Maître/Esclave, des substances radioactives ont vu le jour en 1950. En 1954 on a assisté au premier robot manipulateur programmable, deux ans après C.Devol introduit un brevet délivré en 1961 intitulé "Programmed Articulated Transfer Device" et en cette année, les travaux de Devol et d'Engelberger conduisent au premier robot industriel sur une chaîne de montage de General Motors construit par la société Unimation Inc. Le point clé du système est d'utiliser un ordinateur en conjonction avec un manipulateur. Grâce à ces efforts, Unimate number 001 est entré en service dans une usine pour 100.000 heures, et Unimation Inc. délivre 66 machines entre 1966 et 1971. Dès 1971, de grands laboratoires de recherche commencent à se développer tels que la JIRA (Association Japonaise de Robotique Industrielle) au Japon, la RIA aux USA en 1975. En 1998, on comptait 700.000 robots industriels dans le monde [4].

De nos jours, les robots manipulateurs constituent les composants les plus importants des processus de fabrication et de contrôle. Ils ont comme impact ;

l'amélioration de la productivité, l'accroissement de la qualité des produits fabriqués, ainsi que la réduction du coût du travail.

1.1.3. Historique

En 1947 : L'apparition de premier manipulateur électrique télé-opéré.

En 1945 : Invention du premier robot qui peut être programmé.

En 1961 : Montage d'un robot sur une chaîne de fabrication de General Motors.

En 1961 : Premier robot avec contrôle en effort.

En 1963 : Le premier contrôle du robot avec vidéo.

1.1.4. Définition des robots manipulateurs

Selon la RIA (Robot Institute of America) c'est un manipulateur qui doit être reprogrammable multifonctionnel conçu pour déplacer des matériaux, des pièces, des outils ou tout autre dispositif spécialisé au moyen d'une série de mouvements programmés et d'accomplir une variété d'autres tâches[05]. L'ISO (International Standard Organization) l'a défini comme étant une machine mue par un mécanisme incluant plusieurs degrés de libertés, ayant souvent l'apparence d'un ou plusieurs bras se terminant par un poignet capable de tenir des outils, des pièces ou un dispositif d'inspection [6].

L'Organisation Internationale de Normalisation définit le robot comme étant un manipulateur à plusieurs degrés de liberté, à commande automatique, reprogrammable, multi applications, mobile ou non, destiné à être utilisé dans les applications d'automatisation industrielle [7].

Le terme robot a été introduit pour la première fois par l'auteur Tchèque Capek en 1920 dans sa pièce de théâtre R.U.R. (Rossum's Universal Robot) et il est dérivé du mot robota qui signifie travailleur (de force) [8] .

1.1.5. Applications des robots manipulateurs

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

1.1.6. Les différents catégorie des robots



Figure I.1 : Robots volants.



Figure I.2 : Robots humanoïdes.

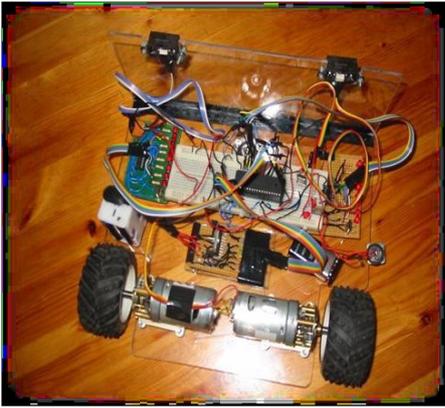


Figure I.3 : Robots mobiles.



Figure : I.4 Robots sous marins.

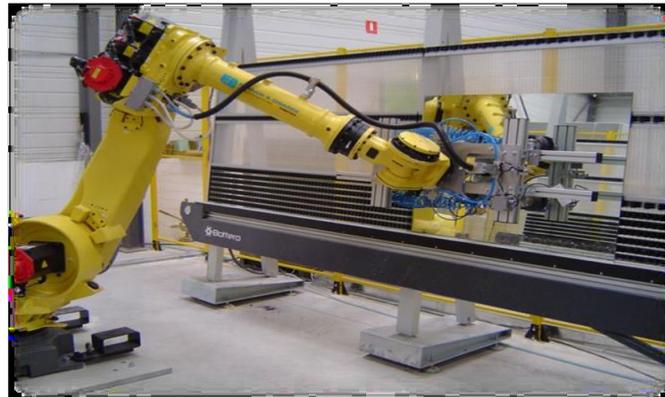


Figure I.5 : Robots manipulateurs.

1.1.7. Vocabulaire utilise dans le domaine de la robotique

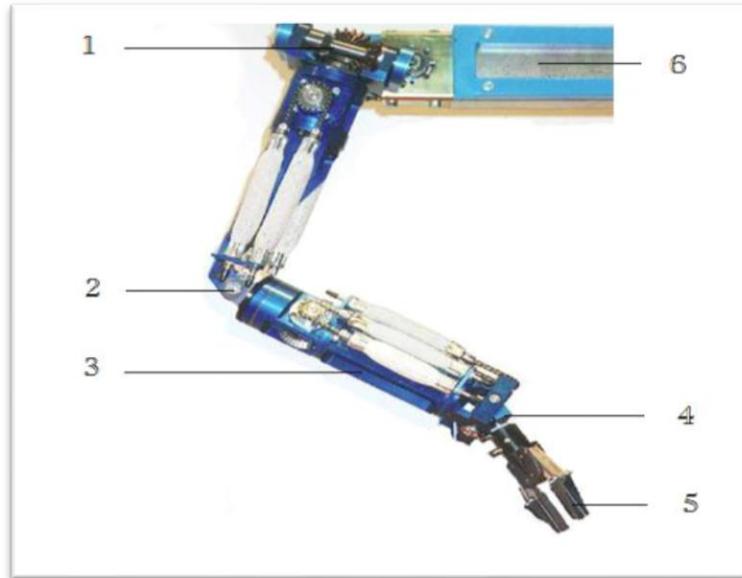


Figure I.6 : constituants d'un bras manipulateurs.

1. Actionneur = moteur.
2. Axe = articulation.
3. Corps = segment.
4. Organe terminal.
5. Effecteur = outil.
6. Base.

La base

La base du manipulateur est fixée sur le lieu du travail. Ceci est le cas de la quasi-totalité des robots industriels.

Segment

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

Articulation

Une articulation lie deux corps successifs en limitant le nombre de degré de liberté, de l'un par rapport à l'autre.

L'actionneur

Pour être animé, la structure mécanique articulée comporte des moteurs le plus souvent associés à des transmissions (courroies crantées), l'ensemble constitue les actionneurs. Les actionneurs utilisent fréquemment des moteurs électriques à aimant permanent, à courant continu, à commande par l'induit. On trouve de plus en plus de moteurs à commutation électronique (sans balais), ou, pour de petits robots, des moteurs pas à pas. Pour les robots devant manipuler de très lourdes charges (par exemple, une pelle mécanique), les actionneurs sont le plus souvent hydrauliques, agissant en translation (vérin hydraulique) ou en rotation (moteur hydraulique). (Les actionneurs pneumatiques sont d'un usage général pour les manipulateurs à cycles (robots tout ou rien). Un manipulateur à cycles est une structure mécanique articulée avec un nombre limité de degrés de liberté permettant une succession de mouvements contrôlés uniquement par des capteurs de fin de course réglables manuellement à la course désirée (asservissement en position difficile dû à la compressibilité de l'air) [9].

L'organe terminal

On regroupe tout dispositif destiné à manipuler des objets (dispositifs de serrage, dispositifs magnétiques, à dépression, ...), ou à les transformer (outils, torche de soudage, pistolet de peinture, ...). En d'autres termes, il s'agit d'une interface permettant au robot d'interagir avec son environnement. Un organe terminal peut être multifonctionnel, au sens où il peut être équipé de plusieurs dispositifs ayant des fonctionnalités différentes. Il peut aussi être monofonctionnel, mais interchangeable. Un robot, enfin, peut-être multi-bras, chacun des bras portant un organe terminal différent. On utilisera indifféremment le terme organe terminal, préhenseur, outil ou effecteur pour nommer le dispositif d'interaction fixé à l'extrémité mobile de la structure mécanique, exemple : pistolet pour la soudure dans les robots industriels [9].

1.2. Modélisation des robots manipulateurs

1.2.1. Introduction

Pour développer une stratégie de commande performante pour un robot (manipulateur), il est impératif de connaître la cinématique et la dynamique du robot considéré. Et comme les robots manipulateurs sont des systèmes mécaniques poly articulés [10], fortement non linéaires, d'une dynamique qui peut être mal définis, ils ont des paramètres variables et sont soumis à des perturbations externes. Pour pouvoir faire exécuter une action où une tâche au robot manipulateur, il est nécessaire de modéliser ce système multi variable pour positionner les différents axes. La modélisation de ces systèmes relève très souvent d'une approximation des phénomènes physiques mis en jeu [11], c'est à partir de cette représentation approximative que l'on souhaite construire une commande pour le système réel, cette commande doit être alors robuste dans le sens où elle devra assurer une faible sensibilité aux incertitudes des paramètres, à leurs variations et aux perturbations externes.

Les erreurs de modélisation, les incertitudes sur l'estimation des paramètres physiques ainsi que les différentes perturbations externes influent beaucoup sur la qualité du contrôle. Tous ces facteurs doivent être pris en compte lors de la modélisation et de l'élaboration de la loi de commande pour préserver la qualité et la précision des tâches auxquelles est destiné le robot.

En effet la majorité des tâches confiées aux robots sont délicates et exigent une très grande précision sous des trajectoires précisées et rapides. Dans ce cas le type de commande nécessaire est la commande par découplage non linéaire, cette méthode qui est considérée comme la solution théorique idéale pour la commande de ce type de robot [12].

1.2.2. Modélisation des robots manipulateurs

Pour commander un robot où pour simuler son comportement on doit disposer de modèles. Plusieurs niveaux de modélisation sont possibles selon les objectifs, les contraintes de la tâche et les performances recherchées : modèles géométriques, cinématiques et dynamiques. L'obtention de ses différents modèles n'est pas aisée, la difficulté variant selon la complexité de la cinématique de la chaîne articulée. Entrent en ligne de compte le nombre de degrés de liberté, le type des articulations mais aussi le fait que la chaîne peut être ouverte simple, arborescente ou fermée.

Ces modèles, qu'ils soient utilisés en simulation ou en commande, doivent représenter le comportement géométrique, cinématique ou dynamique du robot de façon réaliste. Il est donc nécessaire de mettre en œuvre des procédures efficaces d'identification de leurs paramètres constitutifs. Pour qu'une commande puisse effectivement être implantée sur un contrôleur de robot, les modèles doivent être calculés en ligne et donc, le nombre d'opérations à effectuer doit être minimum. Les techniques proposées ont été développées dans ce souci et conduisent aux modèles les plus performants.

La conception et la commande des robots nécessitent le calcul de certains modèles mathématiques, tels que : les modèles de transformation entre l'espace opérationnel (dans lequel est définie la situation de l'organe terminal) et l'espace articulaire (dans lequel est définie la configuration du robot). On distingue :

- ✓ **les modèles géométriques direct et inverse** qui expriment la situation de l'organe terminal en fonction des variables articulaires du mécanisme et inversement.

- ✓ **les modèles cinématiques direct et inverse** qui expriment la vitesse de l'organe terminal en fonction des vitesses articulaires et inversement.

- ✓ **les modèles dynamiques** définissant les équations du mouvement du robot, qui permettent d'établir les relations entre les couples ou forces exercées par les actionneurs et les positions, vitesses et accélérations des articulations.
- ✓ **Spécifications du robot**

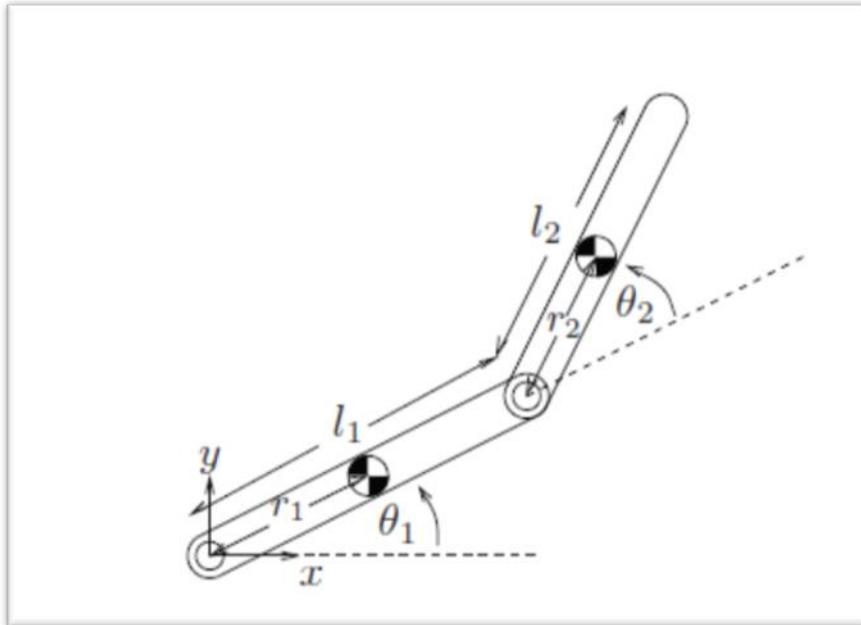


Figure (I.7) : Bras à deux degré de liberté (2ddl)

Considérons le robot à deux articulations représenté sur la figure (I.7) avec les spécifications suivantes en coordonnées Oxy:

l_1 : 1 m est la longueur du lien 1.

l_2 : 1 m est la longueur du lien 2.

m_1 : 1 Kg est la mass du lien 1.

m_2 : 1 Kg est la mass du lien 1.

θ_1 : Est l'angle de rotation de l'articulation 1.

θ_2 : Est l'angle de rotation de l'articulation 2.

$r_1 = r_2$: 0,5 m est la distance à la moitié du lien.

1.2.3. Modélisation Cinématique

La cinématique complète la modélisation géométrique en établissant les relations entre les vitesses des paramètres articulation (\mathbf{q}) et les vitesses des variables articulation .ces relations sont désignées par la notation $\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{J} \cdot \dot{\mathbf{q}}$ ou \mathbf{j} est une matrice qui dopent de la configuration du SMA.

La propriété évidente du modèle cinématique est sa linéarité par rapport aux vitesses.il est donc a priori plus aisée à manipuler que le modèle géométrique.

1.2.3.1. Modélisation cinématique directe (MCD)

Le modèle cinématique directe d'un robot manipulateur décrit les vitesses des coordonnées opérationnelles ($\dot{\mathbf{X}}$), en fonction des vitesses articulaires ($\dot{\mathbf{q}}$) .Il est noté :

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{J} \cdot \dot{\mathbf{q}}$$

ou: \mathbf{j} désigne la matrice jacobienne de dimension (m x n).

1.2.3.2. Modélisation cinématique inverse (MCI)

L'objectif du modèle cinématique inverse d'un robot manipulateur, sont de calculer les vitesses des coordonnées articulaires ($\dot{\mathbf{q}}$), en fonction des vitesses opérationnelles ($\dot{\mathbf{X}}$).

Il est noté :

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

Convention de Denavit-Hartenberg (DH)

La convention de Denavit et Hartenberg (DH 1955) est une méthode systématique. Elle permet le passage entre articulations adjacentes d'un système robotique. Elle concerne les chaînes cinématiques ouvertes où l'articulation possède uniquement un degré de liberté, et les surfaces adjacentes restent en contact. Pour cet aspect l'utilisation des charnières ou des glissières est indispensable. Le choix adéquat des repères dans les liaisons facilite le calcul des matrices homogènes de DH et permet d'arriver à exprimer rapidement des informations de l'élément terminal vers la base ou l'inverse.[15]

Cette méthode est destinée à systématiser la modélisation de n'importe quel type de robot série. Ses principaux avantages sont :

- Simplification maximale du modèle géométrique.
- Établissement d'une norme reconnue par tous.

Si nous avons assigné les axes des articulations basés sur la représentation de Denavit Hartenberg, les paramètres (D-H) pour le robot 2-R seront définis comme dans le tableau ci-dessous :

link	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	l_1	0	0	θ_1
2	l_2	0	0	θ_2

Table I.1 D-H paramètre robot a 2DDL

La position initial (à $t = 0$) et de la matrice de transformation homogène où $\theta_1 = 0^0, \theta_2 = 0^0$, on a la figure suivante (I.8) :

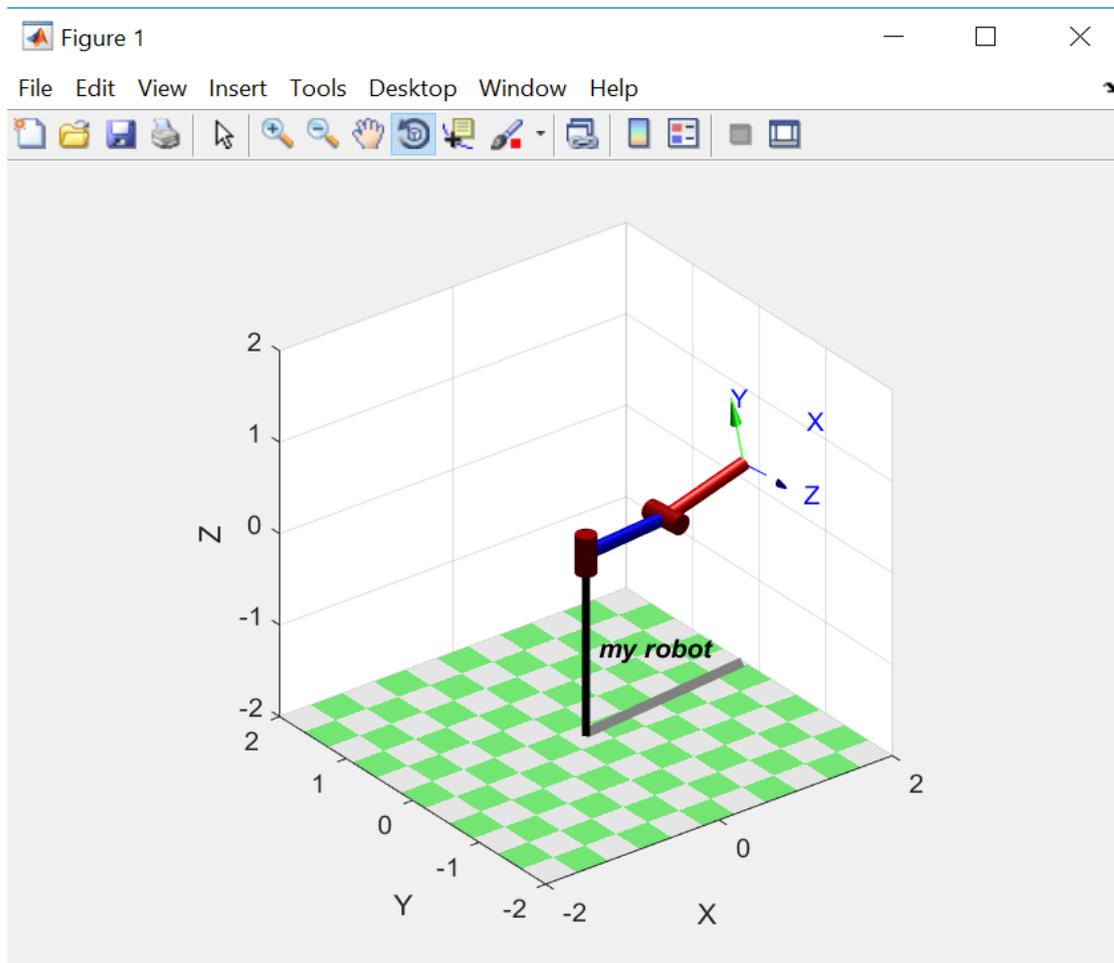


Figure (I.8) : position de robot à 2ddl sur matlab

1.2.4. Modèle dynamique

Le modèle dynamique est la relation entre les couples et/ou forces appliqués aux actionnaires et les positions, vitesses et accélérations. Le modèle dynamique est présenté par une relation de la forme :

$$\Gamma = f(q, \dot{q}, \ddot{q}, f_e) \quad (\text{I.1})$$

Avec :

Γ : Vecteurs des couples/forces des actionnaires, selon que l'articulation est rotoïde ou prismatique (dans la suite en écrira tout simplement couple).

q : Vecteur des positions articulaires.

\dot{q} : Vecteur des vitesses articulaires.

\ddot{q} : Vecteur des accélérations articulaires.

f_e : Vecteur représentant les efforts extérieur (fores et moment) qu'exerce le manipulateur sur l'environnement.

Modèle dynamique inverse

Le modèle dynamique inverse exprime les couples exercés par les actionneurs en fonction des positions, vitesses et accélérations des articulations. Le modèle dynamique inverse est représenté par une relation de la forme :

$$\Gamma = f(\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}) \quad (\text{I.2})$$

Γ : Vecteur des couple/forces des actionneurs, selon que l'articulation est rotoïde ou prismatique.

θ : Vecteur des positions articulaires.

$\dot{\theta}$: Vecteur des vitesses articulaires.

$\ddot{\theta}$: Vecteur des accélérations articulaire.

Plusieurs formalismes ont été utilisés pour obtenir le modèle dynamique des robots. Les formalismes les plus souvent utilisés sont:

- ✓ Le formalisme de Lagrange-Euler : cette méthode est mieux adaptée pour le calcul du modèle dynamique que l'on utilise en simulation.

- ✓ Le formalisme de Newton-Euler: cette méthode est mieux adaptée pour le calcul du modèle dynamique que l'on utilise en commande.

Nous allons voir dans ce qui suit la modélisation d'un bras manipulateur dynamique rigide, à chaîne ouverte simple, à deux degrés de liberté et en tenant compte des effets de la vitesse, on va utiliser le formalisme de Lagrange pour déterminer les équations du mouvement.

1.2.4.1 Formalisme de Lagrange

Le formalisme de Lagrange décrit les équations du mouvement en termes de travail et d'énergie du robot. La forme générale représentant le mouvement d'un robot manipulateur constitué de n degrés de liberté et de n articulations, s'écrit suivant Lagrange :

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{\partial L(\theta, \dot{\theta})}{\partial \dot{\theta}} \right] - \frac{\partial L(\theta, \dot{\theta})}{\partial \theta} = \tau \quad (\text{I.3})$$

L : Fonction lagrangienne de robot égale à : $L = E_c - E_p$

E_c : Energie cinétique totale du robot manipulateur.

E_p : Energie potentielle totale du robot manipulateur.

$\theta \in R$: Vecteur des positions articulaires.

$\dot{\theta} \in R$: Vecteur des vitesses articulaires.

Dans notre travail, nous avons considéré d'abord un robot manipulateur à 2ddl, donné par figure (I-7), dont le mouvement des articulations est rotoïde, nous avons donc $q_i = \theta_i$

Tel que :

$$q = [\theta_1 \quad \theta_2]^T \quad \text{et} \quad \tau = [\tau_1 \quad \tau_2]^T$$

A partir de la figure (I.7), nous déterminons les coordonnées du bras manipulateur par rapport au repère $x y$, ce qui donne :

$$\begin{cases} x_1 = l_1 \cos(\theta_1) \\ y_1 = l_1 \sin(\theta_1) \end{cases} \quad (\text{I.4})$$

$$\begin{cases} x_2 = l_1 \cos(\theta_1) + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ y_2 = l_1 \sin(\theta_1) + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{cases} \quad (\text{I.5})$$

Ce qui donne :

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -l_1 \dot{\theta} \sin(\theta_1) \\ \dot{y}_1 = l_1 \dot{\theta} \cos(\theta_1) \end{cases} \quad \text{et} \quad \begin{cases} \dot{x}_1^2 = l_1^2 \dot{\theta}^2 \sin^2(\theta_1) \\ \dot{y}_1^2 = l_1^2 \dot{\theta}^2 \cos^2(\theta_1) \end{cases} \quad (\text{I.6})$$

$$\begin{cases} \dot{x}_2 = -\dot{\theta}_1 l_1 \sin(\theta_1) - (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ \dot{y}_2 = \dot{\theta}_1 l_1 \cos(\theta_1) + (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{cases} \quad (\text{I.7})$$

$$\begin{cases} \dot{x}_2^2 = \dot{\theta}_1^2 l_1^2 \sin^2(\theta_1) + (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)^2 l_2^2 \sin^2(\theta_1 + \theta_2) + 2\dot{\theta}_1 l_1 \sin(\theta_1) (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ \dot{y}_2^2 = \dot{\theta}_1^2 l_1^2 \cos^2(\theta_1) + (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)^2 l_2^2 \cos^2(\theta_1 + \theta_2) + 2\dot{\theta}_1 l_1 \cos(\theta_1) (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{cases} \quad (\text{I.8})$$

➤ **Détermination de l'énergie cinétique E_c et de l'énergie potentielle E_p link1**

$$\begin{cases} K_1 = \frac{1}{2} m_1 l_1^2 \dot{\theta}_1^2 \\ P_1 = m_1 g l_1 \sin \theta_1 \end{cases} \quad (\text{I.9})$$

➤ **Détermination de l'énergie cinétique E_c et de l'énergie potentielle E_p link2**

$$\begin{cases} x_2 = l_1 \cos(\theta_1) + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ y_2 = l_1 \sin(\theta_1) + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ \dot{x}_2 = -\dot{\theta}_1 l_1 \sin(\theta_1) - (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ \dot{y}_2 = \dot{\theta}_1 l_1 \cos(\theta_1) + (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{cases} \quad (\text{I.10})$$

Avec :

$$v_2^2 = \dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2 \quad (\text{I.11})$$

$$v_2^2 = \dot{\theta}_1^2 l_1^2 + (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)^2 l_2^2 + 2l_1 l_2 (\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2) \cos \theta_2 \quad (\text{I.12})$$

$$\begin{cases} K_2 = \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \\ K_2 = \frac{1}{2} m_2 l_1^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 l_2^2 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)^2 + m_2 l_1 l_2 (\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2) \cos \theta_2 \\ P_2 = m_2 g y_2 = m_2 g [l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2)] \end{cases} \quad (I.13)$$

➤ **Détermination du Lagrangien $L = E_c - E_p$**

$$L = K - P = K_1 + K_2 - (P_1 + P_2) \quad (I.14)$$

$$L = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) l_1^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 l_2^2 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)^2 + m_2 l_1 l_2 (\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2) \cos \theta_2 - (m_1 + m_2) g l_1 \sin \theta_1 - m_2 g l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (I.15)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} = (m_1 + m_2) l_1^2 \dot{\theta}_1 + m_2 l_2^2 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) + m_2 l_1 l_2 (2\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \cos \theta_2 \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} = (m_1 + m_2) l_1^2 \ddot{\theta}_1 + m_2 l_2^2 (\ddot{\theta}_1 + \ddot{\theta}_2) \\ + m_2 l_1 l_2 (2\ddot{\theta}_1 + \ddot{\theta}_2) \cos \theta_2 - m_2 l_1 l_2 (2\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2^2) \sin \theta_2 \\ \frac{\partial L}{\partial \theta_1} = -(m_1 + m_2) g l_1 \cos \theta_1 - m_2 g l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{cases} \quad (I.16)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_2} = m_2 l_2^2 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) + m_2 l_1 l_2 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_2} = m_2 l_2^2 (\ddot{\theta}_1 + \ddot{\theta}_2) + m_2 l_1 l_2 \ddot{\theta}_1 \cos \theta_2 - m_2 l_1 l_2 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \\ \frac{\partial L}{\partial \theta_2} = -m_2 l_1 l_2 (\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2) \sin \theta_2 - m_2 g l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{cases} \quad (I.17)$$

Ce qui donne :

$$\tau_1 = [(m_1 + m_2) l_1^2 + m_2 l_2^2 + 2m_2 l_1 l_2 \cos \theta_2] \ddot{\theta}_1 + [m_2 l_2^2 + m_2 l_1 l_2 \cos \theta_2] \ddot{\theta}_2 - m_2 l_1 l_2 (2\dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_2^2) \sin \theta_2 + (m_1 + m_2) g l_1 \cos \theta_1 + m_2 g l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (I.18)$$

$$\tau_2 = [m_2 l_2^2 + m_2 l_1 l_2 \cos \theta_2] \ddot{\theta}_1 + m_2 l_2^2 \ddot{\theta}_2 + m_2 l_1 l_2 \dot{\theta}_2^2 \sin \theta_2 + m_2 g l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (I.19)$$

Alors on peut écrire :

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} &= \underbrace{\begin{bmatrix} (m_1 + m_2)l_1^2 + m_2l_2^2 + 2m_2l_1l_2\cos\theta_2 & m_2l_2^2 + m_2l_1l_2\cos\theta_2 \\ m_2l_2^2 + m_2l_1l_2\cos\theta_2 & m_2l_2^2 \end{bmatrix}}_{M(\theta)} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \end{bmatrix} \\
 &+ \underbrace{\begin{bmatrix} -m_2l_1l_2(2\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_2^2)\sin\theta_2 \\ m_2l_1l_2\dot{\theta}_2^2\sin\theta_2 \end{bmatrix}}_{C(\theta, \dot{\theta})} \\
 &+ \underbrace{\begin{bmatrix} (m_1 + m_2)gl_1\cos\theta_1 + m_2gl_2\cos(\theta_1 + \theta_2) \\ m_2gl_2\cos(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix}}_{G(\theta)} \quad (I.20)
 \end{aligned}$$

En robotique, si le mouvement des articulations constituant le robot manipulateur est rotoïde, l'expression du couple peut être s'exprimer sous la forme matricielle suivante, ce qui correspond au modèle dynamique du robot :

$$\tau = M(\theta)\ddot{\theta} + C(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta} + G(\theta) \quad (I.21)$$

Avec :

τ : Vecteur des couples ou des forces généralisés.

θ : Vecteur des variables articulaires du bras manipulateur.

$\dot{\theta}$: Vecteur des vitesses articulaires.

$\ddot{\theta}$: Vecteur des accélérations articulaires.

$M(\theta)$: Matrice d'inertie de dimension $(n \times n)$.

$C(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}$: Vecteur des forces centrifuges et de Coriolis.

$G(\theta)$: Vecteur de force de gravité de la charge.

Soit $\tau = [\tau_1 \quad \tau_2]^T$, le développement de l'équation (II.19) donne :

$$\begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \end{bmatrix} \quad (I.22)$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \end{bmatrix} = M(\theta)^{-1}[\tau - C(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta} - G(\theta)] \quad (I.22)$$

$$M(\theta)^{-1} = \frac{1}{\det M} \begin{bmatrix} -m_2 l_2^2 & m_2 l_2^2 + m_2 l_1 l_2 \cos \theta_2 \\ m_2 l_2^2 + m_2 l_1 l_2 \cos \theta_2 & -((m_1 + m_2) l_1^2 + m_2 l_2^2 + 2m_2 l_1 l_2 \cos \theta_2) \end{bmatrix} \quad (I.24)$$

$$\det M = \Delta = (m_2 l_2^2) \left((m_1 + m_2) l_1^2 + m_2 l_2^2 + 2m_2 l_1 l_2 \cos \theta_2 \right) - (m_2 l_2^2 + m_2 l_1 l_2 \cos \theta_2)^2 \quad (I.25)$$

$$M(\theta)^{-1} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} -m_2 l_2^2 & m_2 l_2^2 + m_2 l_1 l_2 \cos \theta_2 \\ m_2 l_2^2 + m_2 l_1 l_2 \cos \theta_2 & -((m_1 + m_2) l_1^2 + m_2 l_2^2 + 2m_2 l_1 l_2 \cos \theta_2) \end{bmatrix} \quad (I.26)$$

D' où :

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \end{bmatrix} \\ &= \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} -m_2 l_2^2 & m_2 l_2^2 + m_2 l_1 l_2 \cos \theta_2 \\ m_2 l_2^2 + m_2 l_1 l_2 \cos \theta_2 & -((m_1 + m_2) l_1^2 + m_2 l_2^2 + 2m_2 l_1 l_2 \cos \theta_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} \\ & - \begin{bmatrix} \underbrace{-m_2 l_1 l_2 (2\dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_2^2) \sin \theta_2}_{c(\theta, \dot{\theta})} \\ \underbrace{m_2 l_1 l_2 \dot{\theta}_2^2 \sin \theta_2}_{c(\theta, \dot{\theta})} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \underbrace{(m_1 + m_2) g l_1 \cos \theta_1 + m_2 g l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2)}_{G(\theta)} \\ \underbrace{m_2 g l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2)}_{G(\theta)} \end{bmatrix} \\ & - \begin{bmatrix} \underbrace{(m_1 + m_2) g l_1 + m_2 g l_2}_{G(\theta)} \\ m_2 g l_2 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (I.27)$$

1.3. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné un aperçu sur les robots, l'histoire sur l'évolution de la robotique industrielle, différents types de robots et les éléments constitutifs de ces derniers. Par la suite, nous avons exposé la modélisation des robots manipulateurs, le modèle cinématique directe et inverse, le modèle dynamique et le modèle dynamique inverse, aussi nous avons assigné les axes des articulations basés sur la représentation de Denavit Hartenberg , pour le robot 2ddl. Les équations du mouvement en termes de travail et d'énergie du robot ont été développées par le formalisme de Lagrange.

II.1.Introduction

La commande des robots manipulateurs a pour but de contrôler le déplacement des actionneurs suivant une trajectoire programmée. Donc le problème de la commande des robots manipulateurs peut être formulé comme la détermination de l'évolution des forces généralisées (forces ou couples) que les actionneurs doivent exercer pour garantir l'exécution de la tâche tout en satisfaisant certains critères de performance. Des manipulateurs, des recherches avancées ont permis de faire émerger de nouvelles techniques de commande non linéaire pour les applications aux robots manipulateurs.

II.2.Techniques de commande des robots

Dans le cas où le modèle exact du robot est parfaitement connu, plusieurs stratégies de commande peuvent être appliquées. Cependant, en pratique, cette condition idéale n'est jamais tout à fait remplie en raison des différentes perturbations agissant sur les robots manipulateurs, et des incertitudes du modèle, d'où la nécessité d'adapter la commande.

Différentes techniques sont utilisées pour la commande des bras manipulateurs. La conception mécanique du bras manipulateur a une influence sur le choix du schéma de commande. Un robot manipulateur est une structure mécanique complexe dont les inerties par rapport aux axes des articulations varient non seulement en fonction de la charge, mais aussi en fonction de la charge, mais aussi en fonction de la configuration des vitesses et des accélérations.[16]

Parmi les commandes des robots manipulateurs les plus utilisées dans les applications industrielles sont :

- Commande classique
- Commande dynamique
- Commande adaptative

\dot{q} : Vitesse réelle.

K_p, K_D, K_I : matrices diagonales ($n \times n$) contenant les gains K_{Pi}, K_{Di}, K_{Ii} .

L'implantation de la commande PID nécessite la connaissance des gains K_{Pi}, K_{Di}, K_{Ii} de chaque articulation.

Pour cela, on suppose que les équations dynamique des articulations sont découplées et linéaires et en négligeant les forces centrifuge et Coriolis ainsi que les forces de pesanteur et de frottement.

L'équation correspondant de chaque articulation prend la forme :

$$\tau_i = J_i \ddot{q}_i \quad (\text{II.3})$$

Où J_i : représente la partie fixe (ou maximale dans d'autre cas) de l'élément M_{ij} de la matrice $M(q)$.

Le modèle est d'autant plus réaliste que le rapport de réduction est important, que les vitesses sont faible et que les gains en position et en vitesse sont grands.

On égalisant l'équation (II.3) avec une équation du système (II.2) on obtient :

$$K_{Pi}(q_d - q) + K_{Di}(\dot{q}_d - \dot{q}) + K_{Ii} \int_0^t (q_d - q) dt = J_i \ddot{q}_i \quad (\text{II.4})$$

La fonction de transfert en boucle fermée entre q_i et q_{di} est comme suite :

$$\frac{q_i}{q_{di}} = \frac{K_{Di}S^2 + K_{Pi}S + K_{Ii}}{J_i S^3 + K_{Di}S^2 + k_{pi}S + K_{Ii}} \quad (\text{II.5})$$

On remarque bien que , $\frac{q_i}{q_{di}} \neq 1$ donc, la présence d'une erreur.

En robotique, la pratique la plus courante consiste à choisir les gains de manière à obtenir comme pôles dominants un pôle double réel négatif, dans le but d'obtenir une réponse sans oscillations et rapide, l'autre pôle est choisi réel négatif mais loin des deux autres.

L'équation caractéristique de la fonction de transfert s'écrit sous la forme :

$$E_i(s) = J_i s^3 + k_{Di} s^2 + k_{pi} s + k_{Ii} \cdot \quad (\text{II.6})$$

Si on pose $K'_{Pi} = \frac{K_{Pi}}{J_i}$; $K'_{Di} = \frac{K_{Di}}{J_i}$; $K'_{Ii} = \frac{K_{Ii}}{J_i}$

Alors

$$E_i(s) = S^3 + K'_{Di} S^2 + K'_{Pi} S + K'_{Ii} \quad (\text{II.7})$$

Les pôles choisis sont donc comme suit :

$$k'_{Pi} = (2K + 1)\beta^2 ; \quad k'_{Di} = (2K + 1)\beta ; \quad k'_{Ii} = K\beta^3$$

D'où :

$$E_i(s) = (s + \beta)^2(s + K\beta) \quad (\text{II.8})$$

Avec $k > 0$ et $\beta > 0$.

Nous remarquons que les gains K_P, K_D, K_I sont fonction de J_i supposé constant, mais en réalité J_i varie en fonction de la situation de l'ensemble du robot, donc l'amortissement n'est vraiment critique que pour la valeur de J_i choisie.

Les commandes de type PID sont implantées dans tous les contrôleurs de robots industriels actuels. Le système est considéré comme un système linéaire et chacune de ses articulations est asservie par une commande décentralisée de type PID à gains constants.

II.2.2. Commande dynamique

Ce type de commande est aussi connu sous le nom de commande par découplage non linéaire ou couple calculé. La commande par découplage non linéaire « commande dynamique » est un asservissement non linéaire dont les paramètres utilisent un modèle de la dynamique du robot, la mise en œuvre de cette méthode exige le calcul en ligne du modèle dynamique et la connaissance des valeurs numériques des paramètres inertiels et de frottements ce qui ne constitue plus maintenant une limite rédhibitoire grâce aux évolutions technologiques en micro-informatique et le développement de techniques d'identification.[18]

La commande dynamique n'est pas dans tous les cas le type de commande nécessaire pour obtenir une bonne précision et une bonne stabilité. En effet une commande classique suffit lorsque le robot manipulateur évolue sans contraintes de performance, de rapidité et de précision car dans ce cas, les inerties ont une influence moins importante,

La figure (II-2) présente le schéma d'une commande dynamique par découplage non-linéaire.

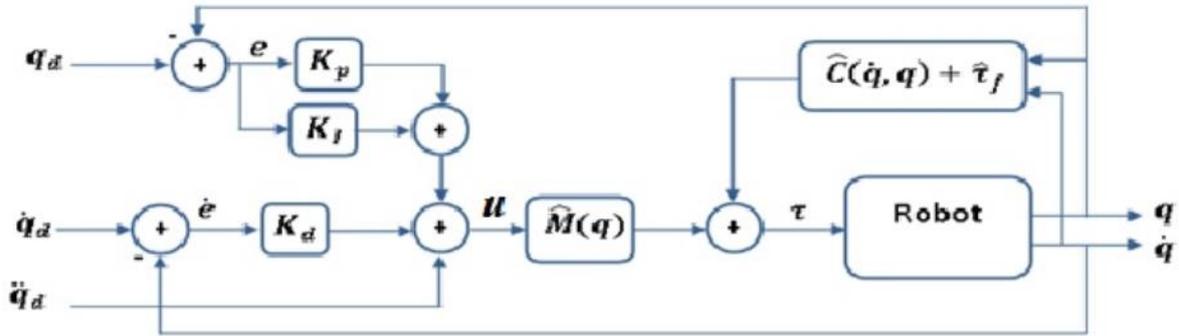


Figure (II.2) : Schéma d'une commande dynamique par découplage non-linéaire

Si l'équation du modèle est comme suit :

$$\tau = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q}) + \tau_f(q) \quad (\text{II.9})$$

L'équation de la loi de commande sera donné par :

$$\tau = \hat{M}(q)u + \hat{C}(q, \dot{q}) + \hat{\tau}_f(q) \quad (\text{II.10})$$

$$\text{Où : } u = \ddot{q}_d + K_P(q_d - q) + K_D(\dot{q}_d - \dot{q}) + K_I \int_0^t (q_d - q) dt \quad (\text{II.11})$$

Avec \hat{M} , \hat{C} , $\hat{\tau}_f$ estimé de M , C , τ_f ,

- M : Matrice d'inertie.
- C : Matrice des termes Coriolis, centrifuges et de gravités.
- τ_f : Couple de frottement.

Dans le cas où le modèle dynamique est exact, l'équation (II.11) nous donne l'équation de l'erreur $e=(q_d - q)$.

$$\ddot{e} + K_D\dot{e} + K_P e + K_I \int_0^t e(t) dt = 0 \quad (\text{II.12})$$

Le bon choix des constantes K_P , K_D et K_I fait tendre asymptotiquement l'erreur vers zéro.

À partir de l'équation (II.12) nous déduisons la fonction de transfert entre la position désirée et la position réelle mesurée :

$$\frac{q_i}{q_{di}} = \frac{S^3 + K_{Di}S^2 + K_{Pi}S + K_{Ii}}{S^3 + K_{Di}S^2 + K_{Pi}S + K_{Ii}} \quad (\text{II.13})$$

La fonction de transfert (II.13) est unitaire, donc la trajectoire du robot doit suivre exactement la trajectoire d'erreur de modélisation.

Si le vecteur de commande u est obtenu par un correcteur proportionnel dérivée et d'une anticipation en accélération. Il s'écrit donc :

$$u = q_d + K_d \ddot{e} + K_p e \quad (\text{II.14})$$

En utilisant le fait que $u = \ddot{q}$ dans le cas parfait, le comportement de l'erreur est alors caractérisé par l'équation suivante :

$$\ddot{e} + K_d \dot{e} + K_p e = 0 \quad (\text{II.15})$$

Dans ce cas, l'erreur se comporte comme un système du second ordre. La pulsation propre ω et l'amortissement ξ sont alors réglés par les gains du correcteur :

$$\begin{cases} K_p = \omega^2 \\ K_d = 2\xi\omega \end{cases} \quad (\text{II.16})$$

La présence d'un gain intégral est théoriquement inutile puisque le système asservi se comporte comme un double intégrateur. Cependant, en pratique, le gain intégral est utilisé pour diminuer l'influence des erreurs de modélisation puisque la commande en couple calculé a aussi tendance à être peu robuste face aux erreurs de modélisation.

Lorsque les erreurs de modélisation sont importantes, que ce soit à cause d'incertitudes sur les paramètres inertiels, soit à cause des charges inconnues soit à cause des frottements.

L'équation de l'erreur sera donnée par la relation suivante :

$$\widehat{M}(q)u + \widehat{C}(q, \dot{q}) + \widehat{\tau}_f = \widehat{M}(q)\ddot{q} + \widehat{C}(q, \dot{q}) + \tau_f \quad (\text{II.17})$$

$$\ddot{e} + k_d \dot{e} + k_p e + k_i \int_0^t e(x) dx = \widehat{M}^{-1}[(M - \widehat{M})\ddot{q} + H(q, \dot{q}) - \widehat{H}(q, \dot{q}) + \tau_f - \widehat{\tau}_f] \quad (\text{II.18})$$

$$\text{Où :} \quad \ddot{e} + k_d \dot{e} + k_p e + k_i \int_0^t e(x) dx = \widehat{M}^{-1} \tau_{prt} \quad (\text{II.19})$$

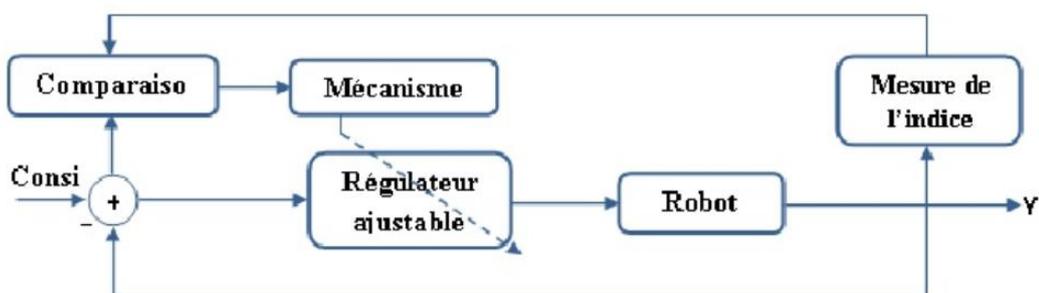
τ_{prt} : Couple de perturbation.

II.2.3. Commande adaptative

La commande adaptative a débutée dans les années 50 comme solution pour contrôler les processus fonctionnant sous des conditions et environnement variables dans le temps. Dans les années 60 plusieurs contributions de théorie de la commande ont été introduites dans le développement de la commande adaptative, comme par exemple l'approche d'état et les théories de stabilité. Au début des années 70 les différentes méthodes d'estimation ont été introduites dans la commande adaptative. L'utilisation de la commande adaptative a commencé au début des années 80 en parallèle avec une rapide évolution en micro-électronique qui permet d'implémenter des régulateurs adaptatifs sur des systèmes à microprocesseurs.

La commande adaptative est un ensemble de techniques utilisées pour l'ajustement automatique en temps réel des régulateurs des boucles de commande afin de réaliser ou maintenir un certain niveau de performances quand les paramètres du procédé à commander sont soit inconnus soit variantes dans le temps.[18]

En principe, un système de commande adaptative mesure un certain indice de performance du système à commander à partir de l'écart entre l'indice de performance désiré et l'indice de performance mesuré. Le mécanisme d'adaptation commande certains paramètres du système ajustable ou introduit un signal supplémentaire de commande d'après une certaine stratégie afin de minimiser l'indice de performance. La figure (II-3) représente le principe général d'un système dans une plage donnée de commande adaptative.



Figure(II.3) : Principe des systèmes de commande adaptative

II.3. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présentée quelques techniques de commande des robots industriels telle que la commande classique, la commande dynamique et la commande adaptative, Nous nous sommes plus particulièrement intéressés à la commande classique des robots manipulateurs.

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous montrons comment effectuer la linéarisation de systèmes décrits par des équations différentielles non linéaires. La procédure introduite est basée sur développement en série de Taylor, sur la connaissance des trajectoires et des entrées nominales du système [13].

III.2. Linéarisation de systèmes non linéaires

Nous allons commencer avec un système dynamique non-linéaire de premier ordre.

$$\dot{x}(t) = F(x(t), f(t)), \quad x(t_0) \text{ donné} \quad (\text{III. 1})$$

Nous appelons $x_n(t)$ et $f_n(t)$, respectivement, la trajectoire nominale du système et l'entrée nominale du système.

Sur la trajectoire nominale, l'équation différentielle suivante est satisfaite

$$\dot{x}(t) = (f(x_n(t), u_n(t))) \quad (\text{III. 2})$$

Supposons que le mouvement du système non linéaire se situe au voisinage de la trajectoire nominale du système, c'est-à-dire :

$$x(t) = f_n(t) + \Delta x(t) \quad (\text{III. 3})$$

Où $\Delta x(t)$ représente une petite quantité.

L'entrée du système est obtenue en ajoutant une petite quantité:

$$f(t) = f_n(t) + \Delta f(t) \quad (\text{III. 4})$$

Pour le mouvement du système à proximité de la trajectoire nominale, nous avons :

$$\dot{x}_n(t) + \Delta \dot{x}(t) = F(x_n(t) + \Delta x(t), f_n(t) + \Delta f(t)) \quad (\text{III. 5})$$

Puisque $\Delta x(t)$ et $\Delta f(t)$ sont des petites quantités, le côté droit peut être transformé en série de Taylor:

$$\dot{x}_n(t) + \Delta \dot{x}(t) = F(x_n, f_n) + \frac{\partial F}{\partial x}(x_n, f_n) \Delta x(t) + \frac{\partial F}{\partial u}(x_n, f_n) \Delta u(t) + \text{termes d'ordre supérieur} \quad (\text{III. 6})$$

Annulation des termes d'ordre supérieur (qui contiennent de très petites quantités $\Delta x^2, \Delta f^2, \Delta x \Delta f, \Delta x^3, \dots$), l'équation différentielle linéaire est comme suite :

$$\Delta \dot{x}(t) = \frac{\partial F}{\partial x}(x_n, f_n) \Delta x(t) + \frac{\partial F}{\partial f}(x_n, f_n) \Delta f(t) \quad (\text{III. 7})$$

Dans la procédure de linéarisation, les dérivées partielles sont évaluées au point nominal.

$$x_0(t) = -\frac{\partial F}{\partial x}(x_n, f_n), \quad b_0 = \frac{\partial F}{\partial f}(x_n, f_n) \quad (\text{III. 8})$$

Le système linéarisé peut être représenté comme suite :

$$\Delta \dot{x}(t) + a_0(t) \Delta x(t) = b_0(t) \Delta f(t) \quad (\text{III. 9})$$

Il reste à trouver la condition initiale pour le système linéarisé, qui peut être obtenue à partir de :

$$\Delta x(t_0) = x(t_0) - x_n(t_0) \quad (\text{III. 10})$$

De même, nous pouvons linéariser le système dynamique non linéaire de second ordre :

$$\ddot{x} = F(x, \dot{x}, f, \dot{f}), \quad x(t_0), \dot{x}(t_0) \quad \text{donné} \quad (\text{III. 11})$$

En supposant que :

$$\begin{cases} x(t) = x_n(t) + \Delta x(t), \dot{x}(t) = \dot{x}_n(t) + \Delta \dot{x}(t) \end{cases} \quad (\text{III. 12})$$

$$\begin{cases} f(t) = f_n(t) + \Delta f(t), \dot{f}(t) = \dot{f}_n(t) + \Delta \dot{f}(t) \end{cases} \quad (\text{III. 13})$$

Avec développement :

$$\ddot{x}_n + \Delta\ddot{x} = f(x_n + \Delta x_n, \dot{x}_n + \Delta\dot{x}, \Delta f, \dot{f}_n + \Delta\dot{f}) \quad (\text{III.14})$$

La série de Taylor autour des points nominaux , $x_n, \dot{x}_n, f_n, \dot{f}_n$, conduit à :

$$\Delta\ddot{x}(t) + a_1\Delta\dot{x}(t) + a_0\Delta x(t) = b_1\Delta\dot{f}(t) + b_0\Delta f(t) \quad (\text{III.15})$$

Où les coefficients correspondants sont évalués aux points nominaux :

$$a_1 = -\frac{\partial F}{\partial \dot{x}}(x_n, \dot{x}_n, f_n, \dot{f}_n), \quad a_0 = -\frac{\partial F}{\partial x}(x_n, \dot{x}_n, f_n, \dot{f}_n) \quad (\text{III.16})$$

$$b_1 = \frac{\partial F}{\partial \dot{f}}(x_n, \dot{x}_n, f_n, \dot{f}_n), \quad b_0 = \frac{\partial F}{\partial f}(x_n, \dot{x}_n, f_n, \dot{f}_n) \quad (\text{III.17})$$

Les conditions initiales du système linéarisé de second ordre sont obtenues :

$$\Delta x(t_0) = x(t_0) - x_n(t_0), \quad \Delta\dot{x}(t_0) = \dot{x}(t_0) - \dot{x}_n(t_0) \quad (\text{III.18})$$

Considérons maintenant le système de contrôle dynamique non linéaire général sous forme matricielle :

$$\frac{d}{dt} x(t) = F(x(t), f(t)), x(t_0) \text{ donné} \quad (\text{III.19})$$

Où $\mathbf{x}(t)$, $\mathbf{f}(t)$, et \mathbf{F} sont, respectivement, vecteur d'espace d'état du système à \mathbf{n} -dimension, le vecteur d'entrée à \mathbf{r} -dimension et la fonction de vecteur \mathbf{n} -dimension.

Supposons que la trajectoire nominale du système (d'exploitation) $\mathbf{x}_n(\mathbf{t})$ est connu et que l'entrée nominale du système qui maintient le système sur la trajectoire nominale est donnée par $f_n(t)$. On peut supposer que la dynamique du système à proximité des trajectoires nominales du système peut être approximée par les premiers termes de la série de Taylor. C'est, en commençant par :

$$x(t) = x_n(t) + \Delta x(t), \quad f(t) = f_n(t) + \Delta f(t) \quad (\text{III. 20})$$

Et

$$\frac{d}{dt} x_n(t) = F(x_n(t), f_n(t)) \quad (\text{III. 21})$$

Nous étendons le côté droit dans la série Taylor comme suit :

$$\frac{d}{dt} x_n + \frac{d}{dt} \Delta x = F(x_n + \Delta x, f_n + \Delta f) = F(x_n, f_n) + \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)_{\substack{x_n(t) \\ f_n(t)}} \Delta x + \left(\frac{\partial F}{\partial f} \right)_{\substack{x_n(t) \\ f_n(t)}} \Delta f \quad (\text{III.22})$$

Les termes d'ordre supérieur contiennent au moins des quantités quadratiques de Δx et Δf . Depuis Δx et Δf sont petits leurs carrés sont encore plus petits, et donc les termes d'ordre élevé peuvent être négligés. En négligeant les termes d'ordre supérieur, l'approximation est :

$$\frac{d}{dt} \Delta x(t) = \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)_{\substack{x_n(t) \\ f_n(t)}} \Delta x + \left(\frac{\partial F}{\partial f} \right)_{\substack{x_n(t) \\ f_n(t)}} \Delta f \quad (\text{III. 23})$$

Les dérivées partielles représentant les matrices jacobiennes, sont données par :

$$\left(\frac{dF}{dx} \right)_{\substack{x_n(t) \\ f_n(t)}} = A^{n \times n} = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial x_1} & \frac{\partial F_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial F_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial F_2}{\partial x_1} & \frac{\partial F_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial F_2}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial F_n}{\partial x_1} & \frac{\partial F_n}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial F_n}{\partial x_n} \end{bmatrix}_{\substack{x_n(t) \\ f_n(t)}} \quad (\text{III. 24})$$

$$\left(\frac{dF}{df} \right)_{\substack{x_n(t) \\ f_n(t)}} = B^{n \times r} = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial f_1} & \frac{\partial F_1}{\partial f_2} & \dots & \frac{\partial F_1}{\partial f_n} \\ \frac{\partial F_2}{\partial f_1} & \frac{\partial F_2}{\partial f_2} & \dots & \frac{\partial F_2}{\partial f_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial F_n}{\partial f_1} & \frac{\partial F_n}{\partial f_2} & \dots & \frac{\partial F_n}{\partial f_n} \end{bmatrix}_{\substack{x_n(t) \\ f_n(t)}} \quad (\text{III. 25})$$

Notez que les matrices jacobiennes doivent être évaluées aux points nominaux,

$x_n(t)$ et $f_n(t)$, avec cette notation, le système linéarisé a la forme suivante :

$$\frac{\partial}{\partial t} \Delta x(t) = A \Delta x(t) + B \Delta u(t), \quad \Delta x(t_0) = x(t_0) - x_n(t_0) \quad (\text{III. 26})$$

La sortie d'un système non linéaire satisfait une équation algébrique non linéaire, c'est-à-dire :

$$y(t) = g(x(t), f(t)) \quad (\text{III. 27})$$

Cette équation peut également être linéarisée en élargissant son côté droit dans une série de Taylor sur les points nominaux $x_n(t)$ et $f_n(t)$. cela mène à :

$$y_n + \Delta y = g(x_n, f_n) + \left(\frac{\partial g}{\partial x} \right) \Big|_{\substack{x_n(t) \\ f_n(t)}} \Delta x + \left(\frac{\partial g}{\partial f} \right) \Big|_{\substack{x_n(t) \\ f_n(t)}} \Delta f + \text{termes d'ordre supérieur} \quad (\text{III.28})$$

Notez que y_n annule le terme $g(x_n, f_n)$. En négligeant les termes d'ordre supérieur, la partie linéarisée de l'équation de sortie est donnée par :

$$y(t) = C \Delta x(t) + D \Delta f(t) \quad (\text{III. 29})$$

Où les matrices jacobiennes C et D satisfont :

$$C^{p \times n} = \left(\frac{\partial g}{\partial x} \right) \Big|_{\substack{x_n(t) \\ f_n(t)}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial x_1} & \frac{\partial g_1}{\partial x_2} & \frac{\partial g_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial g_2}{\partial x_1} & \frac{\partial g_2}{\partial x_2} & \frac{\partial g_2}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial g_p}{\partial x_1} & \frac{\partial g_p}{\partial x_2} & \frac{\partial g_p}{\partial x_n} \end{bmatrix} \Big|_{\substack{x_n(t) \\ f_n(t)}} \quad (\text{III. 30})$$

$$D^{p \times r} = \left(\frac{\partial g}{\partial f} \right) \Big|_{\substack{x_n(t) \\ f_n(t)}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial f_1} & \frac{\partial g_1}{\partial f_2} & \frac{\partial g_1}{\partial f_r} \\ \frac{\partial g_2}{\partial f_1} & \frac{\partial g_2}{\partial f_2} & \frac{\partial g_2}{\partial f_r} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial g_p}{\partial f_1} & \frac{\partial g_p}{\partial f_2} & \frac{\partial g_p}{\partial f_r} \end{bmatrix} \Big|_{\substack{x_n(t) \\ f_n(t)}} \quad (\text{III. 31})$$

Alors :

A: matrice d'état .B: matrice d'entrée. C: matrice de sortie. D: matrice de couplage (souvent D=0).

III.4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposés une méthode parmi plusieurs méthodes de linéarisation des système non linéaires, c'est la Linéarisation d'un systèmes non linéaire autour d'un point d'équilibre.

Un exemple d'application est donnée, consiste à linéarisé le modèle dynamique du bras SCARA à 2 ddl .

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous exposerons les résultats des méthodes adoptées pour réaliser la commande du bras manipulateur SCARA à 2ddl. Des simulations ont été effectuées sous l'environnement Matlab/Simulink. Dans cette partie de simulation nous présenterons une analyse détaillée sur les performances des deux blocs de commande, appliqués à un bras manipulateur.

Le choix des paramètres du régulateur, pour les deux types de PID, est fait de telle façon que la sortie suit la référence

IV.2 Commande PID classique du robot SCARA

Dans cette étude, la commande du robot manipulateur SCARA, s'effectue à l'aide d'une loi de commande (figure IV.1), dans laquelle le mécanisme du robot est considéré comme un système linéaire découplé, dont chaque articulation est asservie par une commande de type PID (proportionnel intégral dérivé).

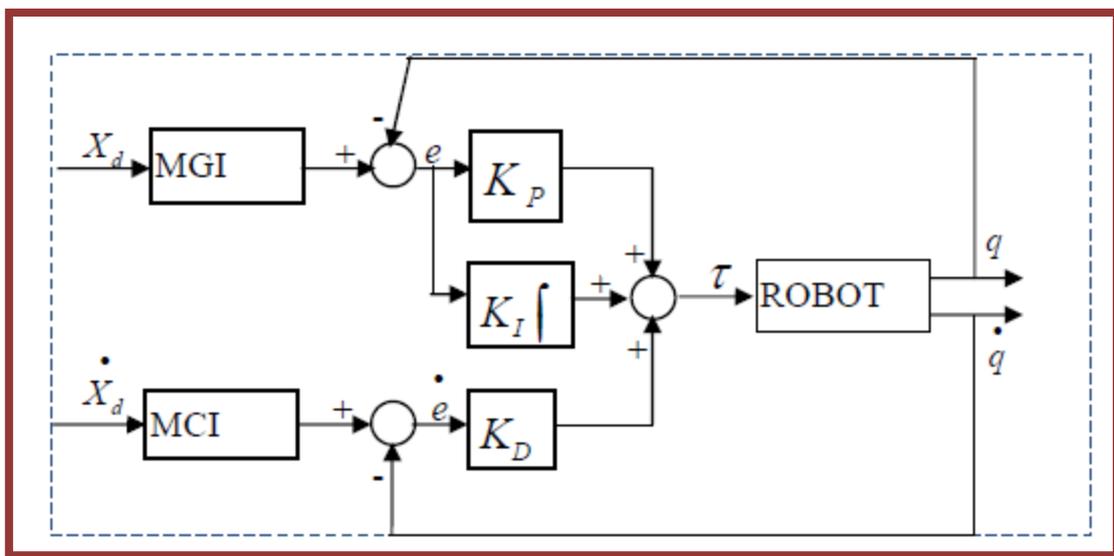


Figure IV.1 : Commande PID.

Donc l'équation du couple s'écrit :

$$\tau = K_P(\theta_d - \theta) + K_D(\dot{\theta}_d - \dot{\theta}) + K_I \int (\theta_d - \theta) dt \quad (\text{IV.1})$$

Où K_P, K_D et K_I sont des matrices constantes, diagonales et positives de dimension $n \times n$, n représente le degré de liberté (nombre d'articulations).

$\theta_d, \dot{\theta}_d$: Représentent respectivement les vecteurs de position et vitesse articulaires désirée.

$\theta, \dot{\theta}$: Représentent respectivement les vecteurs de position et vitesse articulaires actuelles (ou mesurées).

Vecteur de l'erreur de position : $(\theta_d - \theta)$

Vecteur de l'erreur de vitesse : $(\dot{\theta}_d - \dot{\theta})$

✓ Paramètres de simulations

Des simulations ont été effectuées sur MATLAB/ SIMULINK afin de tester les performances de la commande PID.

$$l_1 = 1.0m, l_2 = 1.0m$$

$$m_1 = 1.0Kg, m_2 = 1.0Kg, g = 9.8m/s^2$$

m_i Désigne la masse du corps i , l_i la longueur de l'axe i .

$$K_P = \begin{bmatrix} 500 & 0 \\ 0 & 500 \end{bmatrix}, K_I = \begin{bmatrix} 500 & 0 \\ 0 & 500 \end{bmatrix}, K_D = \begin{bmatrix} 500 & 0 \\ 0 & 500 \end{bmatrix}$$

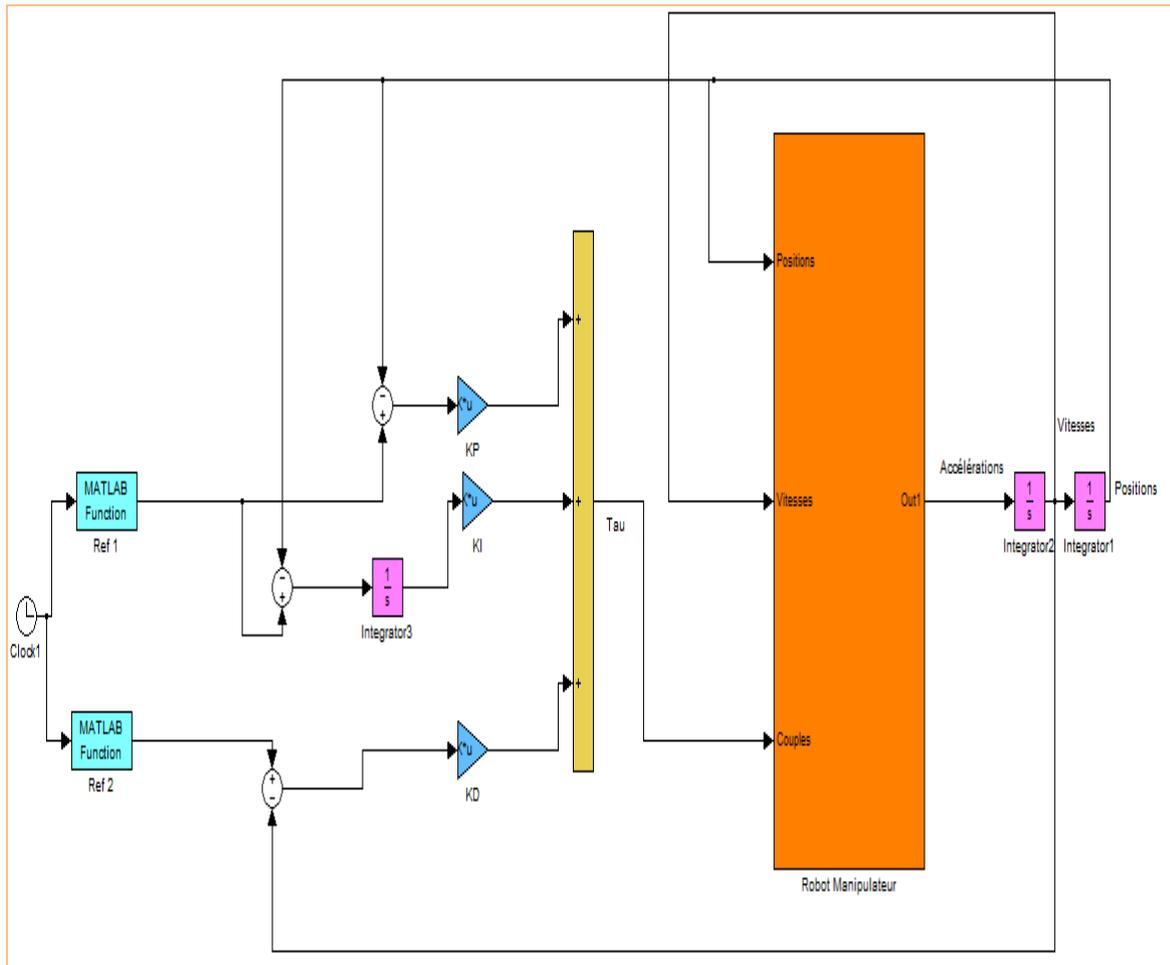


Figure IV.2 : la commande PID classique sous MTLAB/SIMULINK

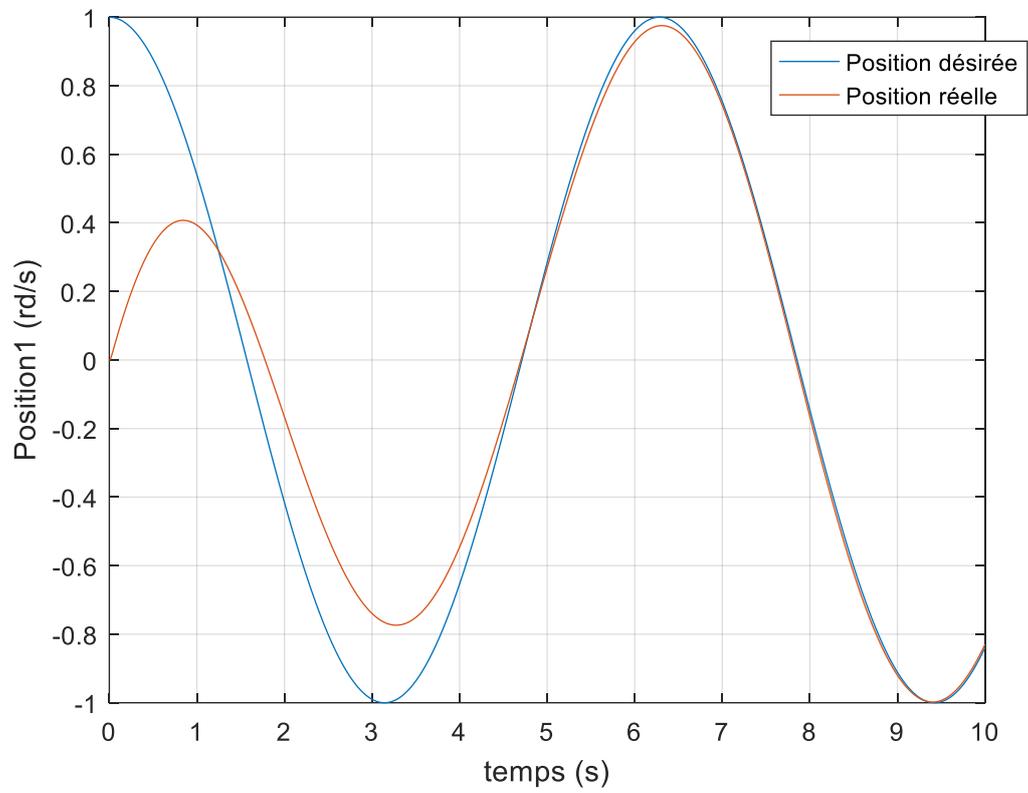


Figure IV.3 : Position 1 d'articulaires (réelles et désirées) .

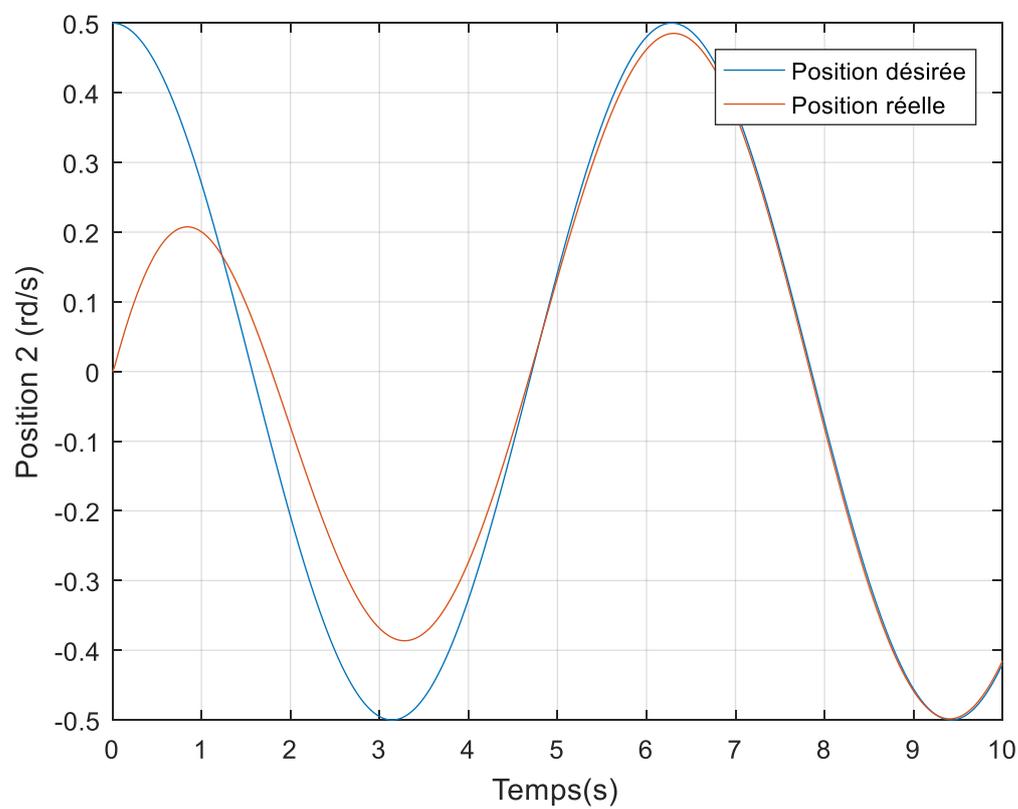


Figure IV.4 : Position 2 d'articulaires (réelles et désirées).

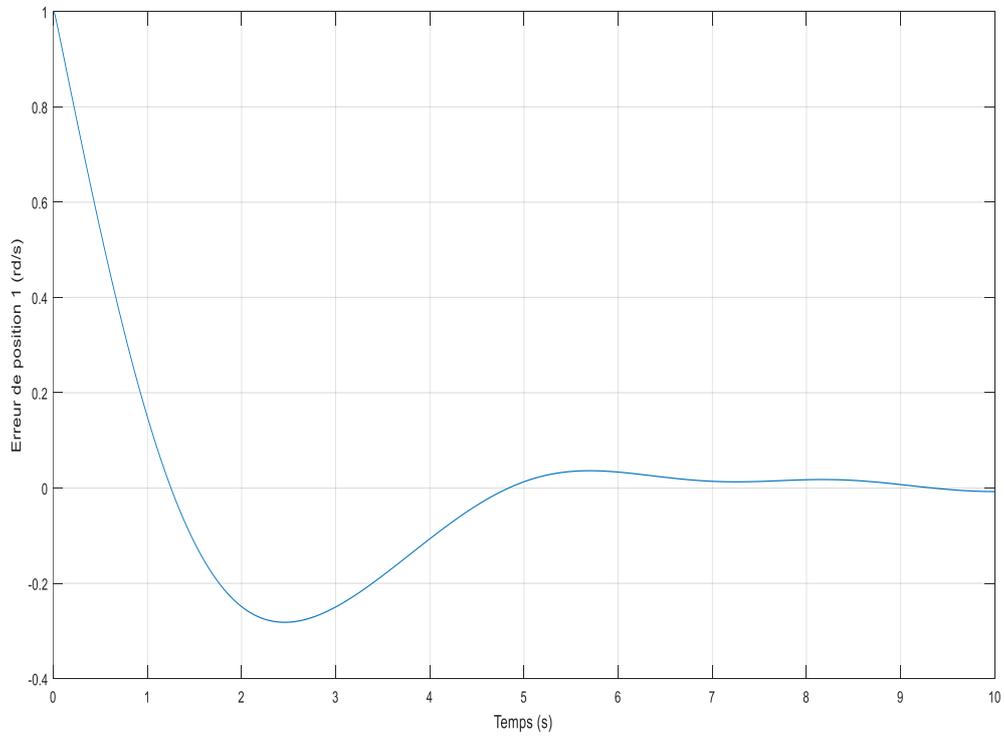


Figure IV.5 : Erreurs de position 1 d'articulaires

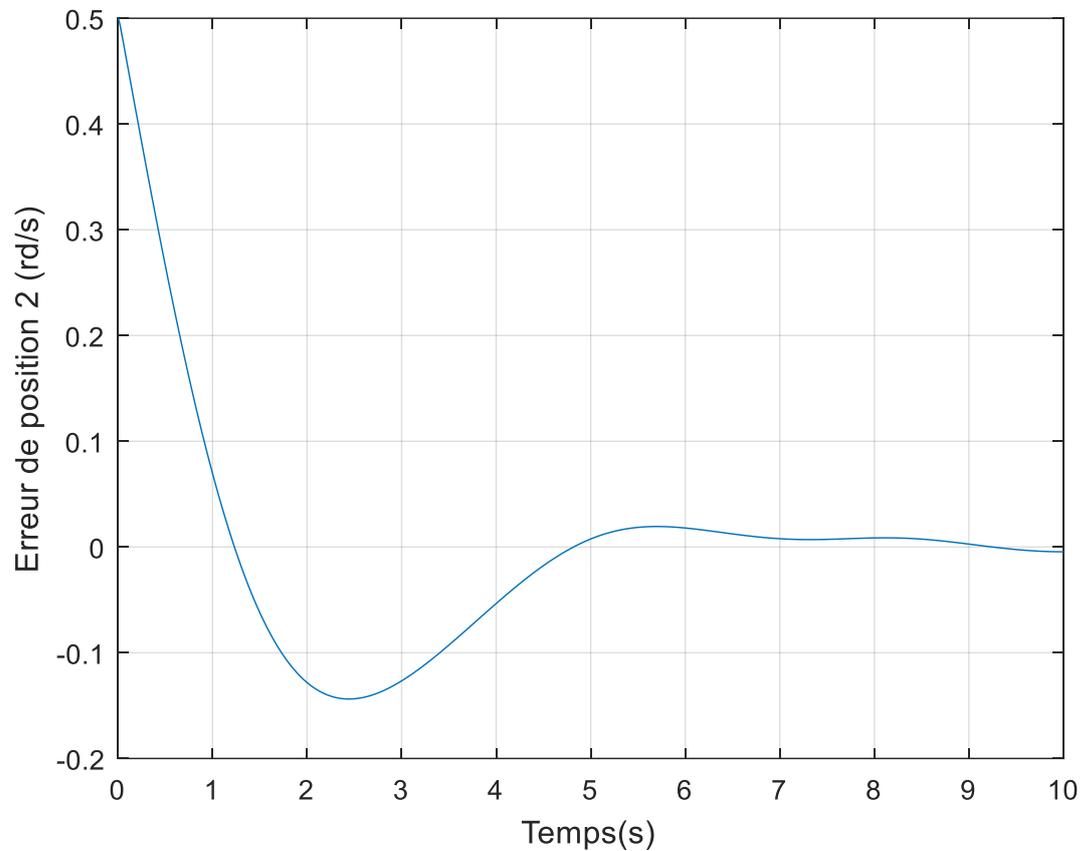


Figure IV.6 : Erreurs de position 2 d'articulaires

✓ *Interprétations et commentaires*

Nous constatons pour les figures (IV.3),(IV.4),(IV.5) et (IV.6) que les erreurs (différence entre la valeur désirée et réelle) , les positions suivent parfaitement les trajectoires sinusoïdales désirées et dans une période de temps, environ 7 secondes . Les objectifs de commande PID classique sont donc réalisés.

IV.3 Commande PID pour modèle linéaire

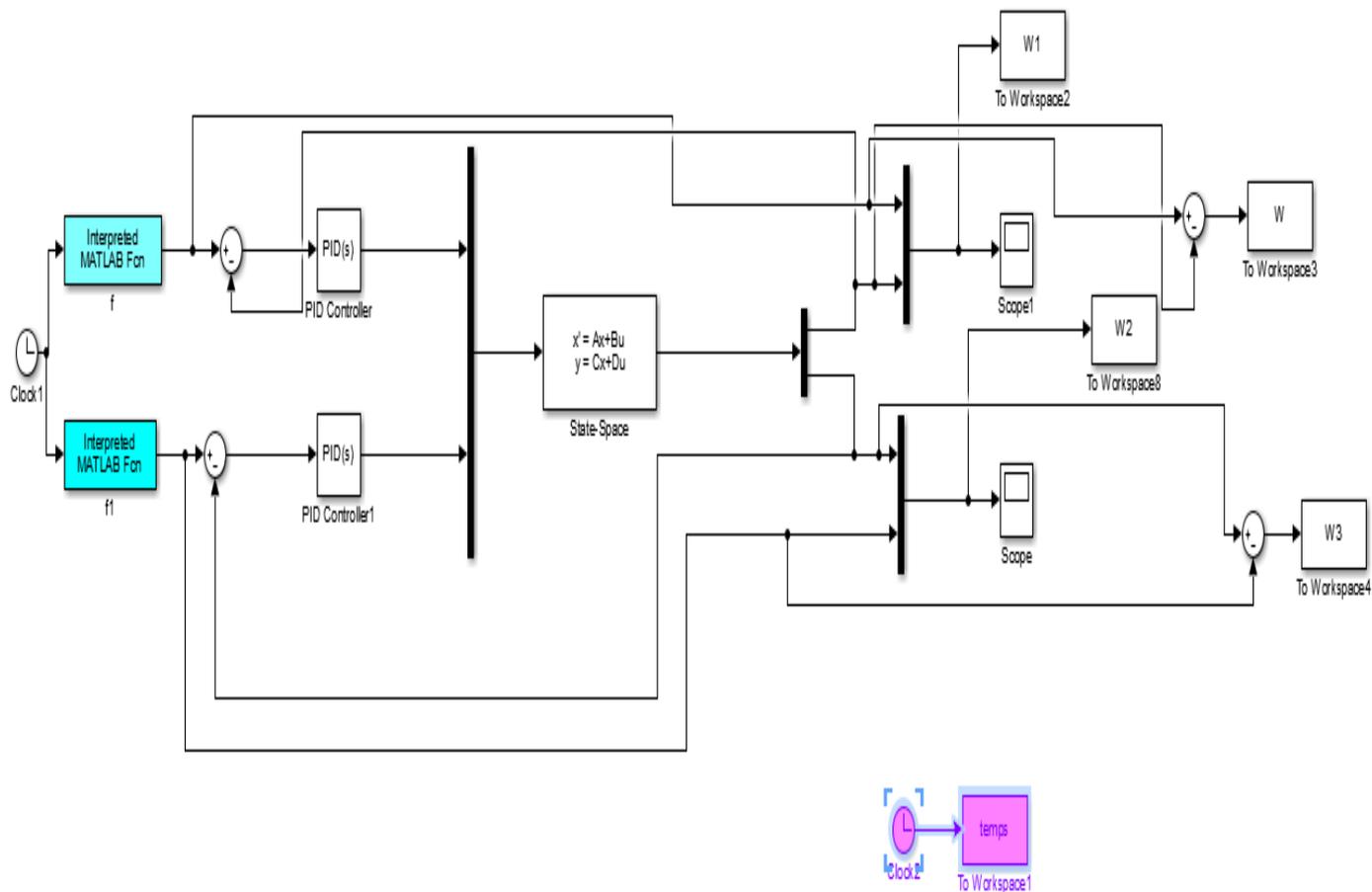


Figure IV.7 : Commande PID pour model lineariser sous MATLAB/Simulink

✓ Paramètres de simulations

Les matrices d'espace d'état :

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -0.45 & -0.62 & 0 & 0 \\ 0.24 & -6.62 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0.79 & -0.043 \\ 0.043 & 0.13 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

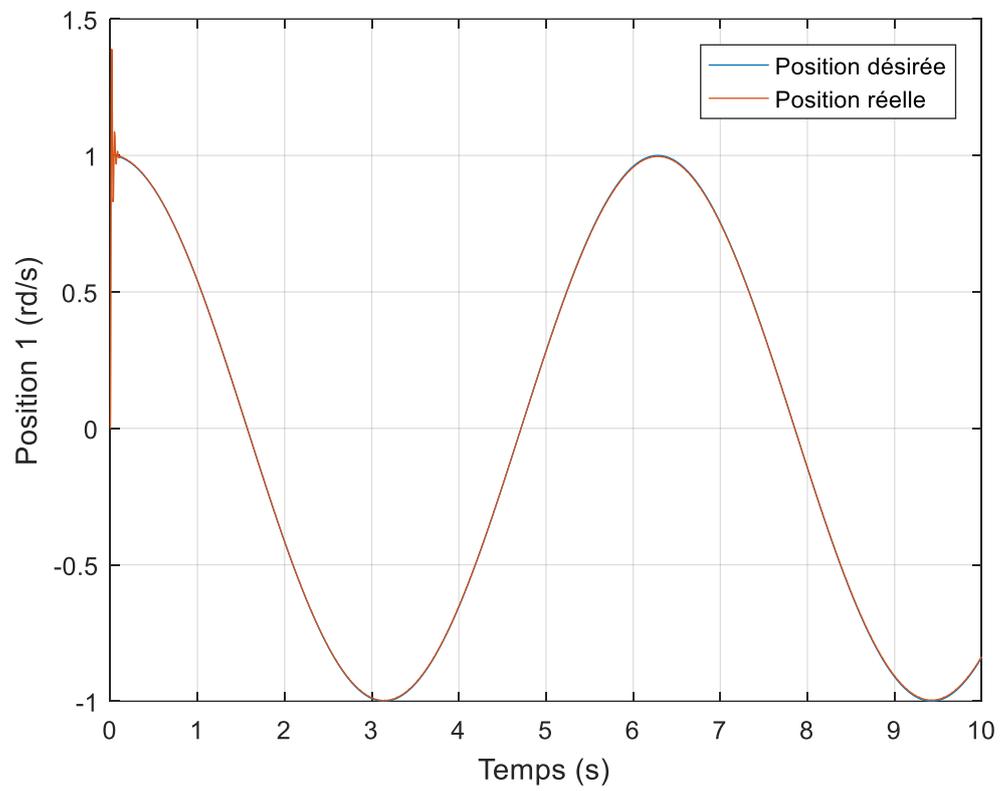


Figure IV.8 : Position 1 d'articulaires (réelles et désirées).

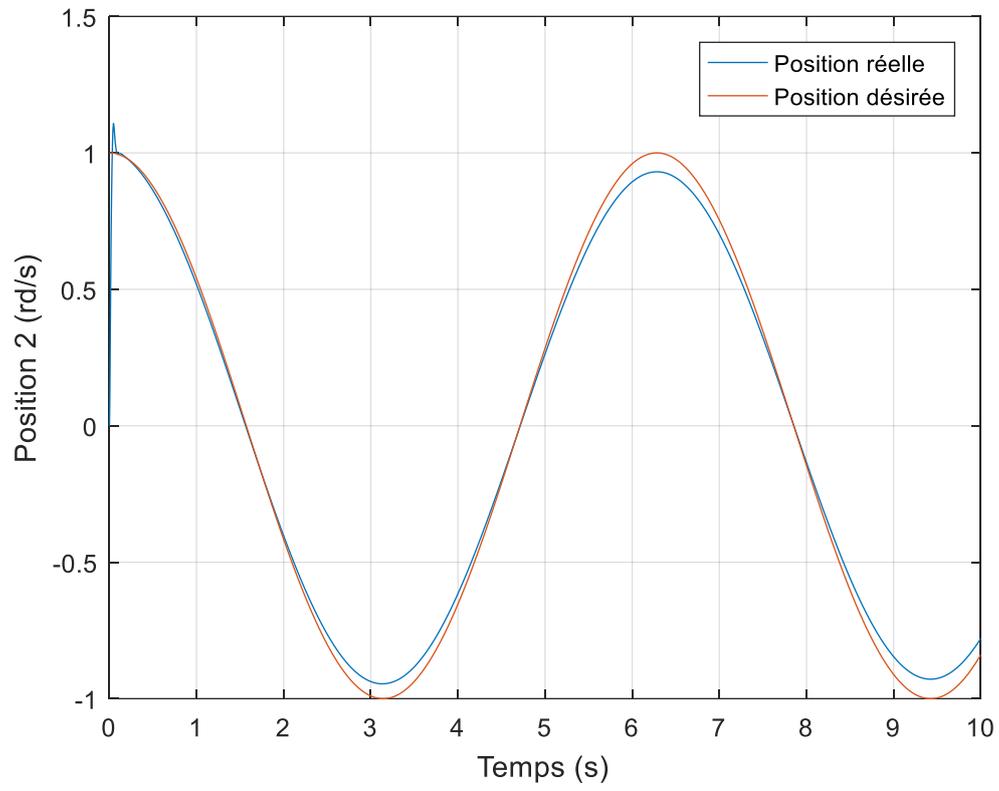


Figure IV.9 : Position 2 d'articulaires (réelles et désirées) .

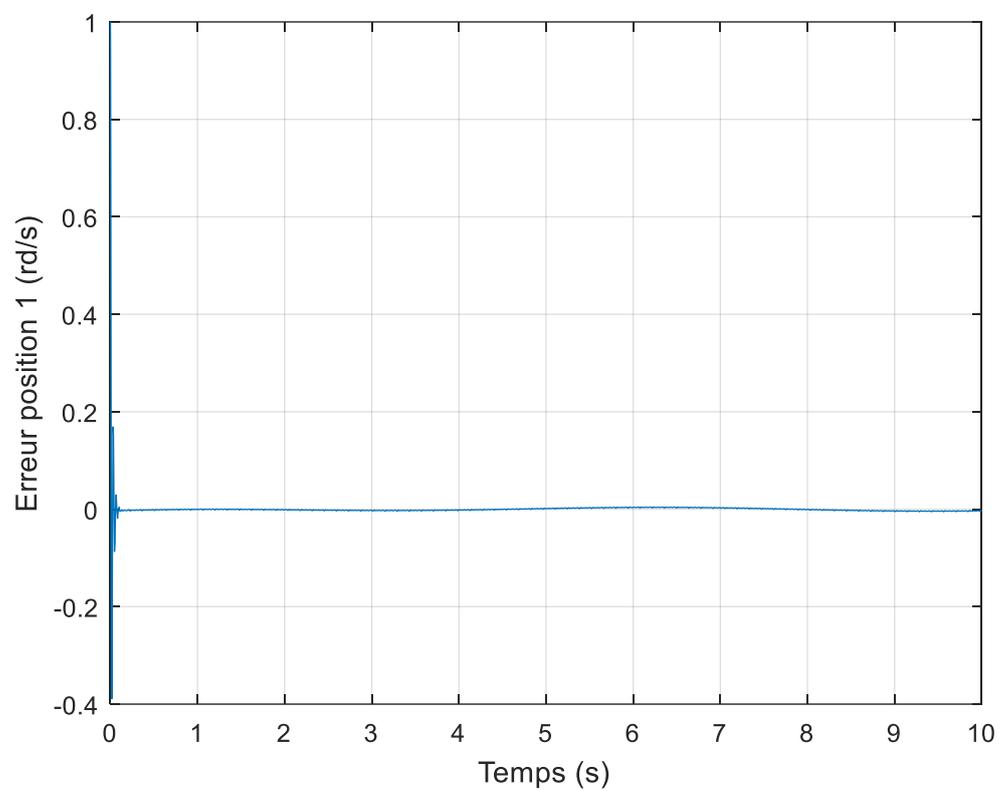


Figure IV.10 : Erreurs de position 1 d'articulaires.

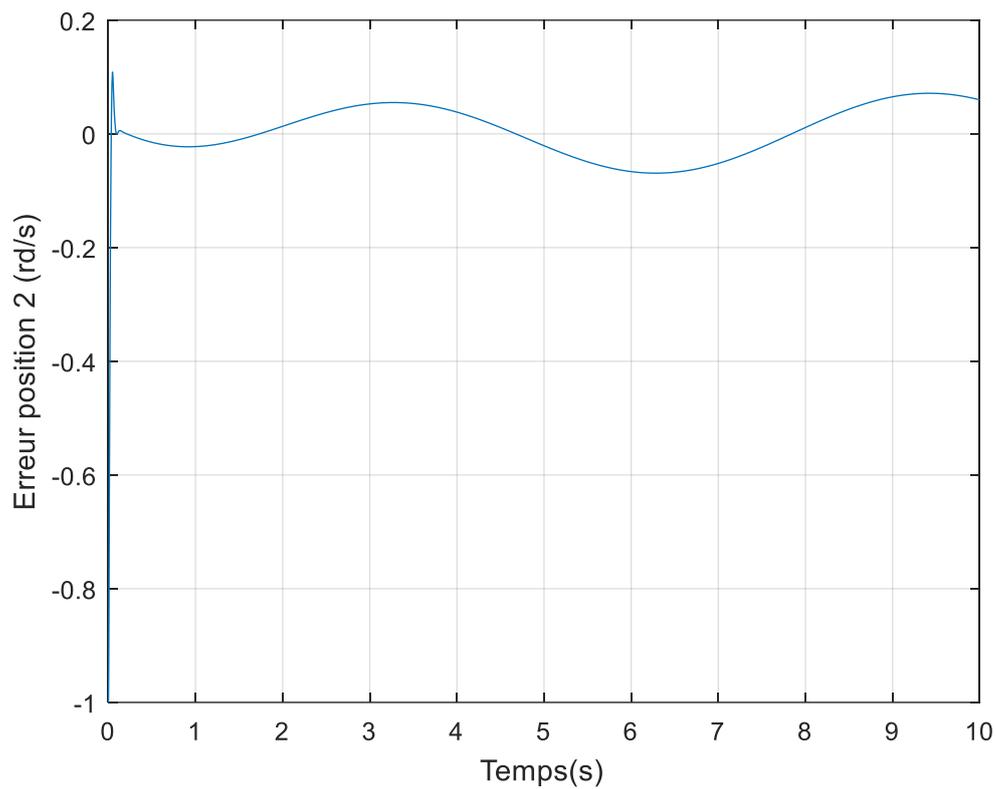


Figure IV.11 : Erreurs de position 2 d'articulaires.

✓ *Interprétations et commentaires*

Mêmes commentaires, pour les figures (IV.8),(IV.9),(IV.10) et (IV.11) les erreurs et les positions suivent parfaitement les trajectoires sinusoïdales désirées .

On voit clairement que la deuxième articulation, qui a beaucoup d'inertie prend plus de temps à suivre la trajectoire désirée.

Les objectifs de cette commande PID sont réalisés.

IV.4 Conclusion

Nous avons utilisé deux types de commandes, la commande PID classique et la commande PID à modèle linéaire, la simulation sous l'environnement Matlab/Simulink, montre que la deuxième méthode est la plus précise, même en temps de simulation (trop court).

La linéarisation, autour d'un point de travail est valide on un seul point, alors qu'il n'est plus valable pour d'autres points.

Conclusion général

La robotique est la science qui s'intéresse aux robots. En fait, il s'agit d'un domaine multidisciplinaire : on y trouve des aspects concernant la mécanique, l'informatique, l'électronique, ...

Ils sont principalement utilisés dans l'industrie pour effectuer des manipulations répétitives, surtout lorsque le processus de fabrication est fréquemment soumis à des modifications. Par exemple la soudure des composants sur les circuits imprimés, dans l'industrie électronique [14].

Le régulateur PID, appelé aussi correcteur PID (proportionnel, intégral, dérivé) est un système de contrôle permettant d'améliorer les performances d'un asservissement, c'est-à-dire un système ou procédé en boucle fermée. C'est le régulateur le plus utilisé dans l'industrie où ses qualités de correction s'appliquent à de multiples grandeurs physiques.

Pour contrôler le bras manipulateur à 2ddl, deux techniques de commande PID sont proposées, le contrôleur PID classique et le contrôleur PID avec linéarisation de modèle. Les simulations démontrent une robustesse dans les deux techniques de control.

Le contrôleur PID avec linéarisation de modèle donne un temps de réponse plus réduit.

Le modèle dynamique d'un robot décrit un système de n équations différentielles du second ordre non linéaires et couplées, n étant le nombre d'articulations. Pourtant, dans une commande classique, qui est celle de la plupart des robots industriels, le système robotique est considéré comme un système linéaire et chacune de ses articulations est asservie par une commande décentralisée de type PID à gains constants. Ses avantages sont la facilité d'implantation et le faible coût de calcul. En contrepartie, la réponse temporelle du robot variant selon sa configuration, on constate des dépassements de consigne et une mauvaise précision de suivi dans les mouvements rapides. Dans beaucoup d'applications, ces inconvénients ne représentent pas un gros handicap.

L'approche principale de contrôleur PID avec linéarisation de modèle consistait à linéariser la dynamique non linéaire du système autour d'un point de fonctionnement de telle sorte que les outils de la commande linéaire puissent être exploités pour la synthèse d'une loi de commande assurant les performances recherchées. Cependant, la nécessité de garantir des performances sur une plage importante de fonctionnement des systèmes a imposé la prise en compte de leur dynamique non linéaire globale dans la synthèse des lois de commande.

Comme perspectives, nous suggérons d'étudier une troisième technique, le contrôleur PID basé sur Autodesk inventor model.

Faire des comparaisons entre les différents types de contrôleurs PID et les commandes par intelligence artificielle : réseaux de neurones, logique floue....

- [1] A. Boubakir†, S. Labiod†, and T.M. Guerra‡, *Commande PID Adaptative des Systèmes non Linéaires Affines en la Commande*. EMP, ALGER, 13-14 Avril, 2009
- [2] J. E. Slotine and W. Li, *Applied nonlinear control*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1991.
- [3] A. Isidori, *Nonlinear control systems*. 2nd Ed. Springer Verlag, Berlin, Germany, 1989.
- [4] K.Ait Dahmane, M.Ait « *Conception et Réalisation d'un Bras Manipulateur Commandé par API* » Université de KHEMIS MILIANA « Automatique des systèmes et production » Option : « Génie électrique ». 2015
- [5] P. Fisette, H. Buyse and J.C. Samin, *MECA 2732 : Introduction à la Robotique, 10 novembre 2004*.
- [6] A. Benali, *Robotique et Automatisation Industriel*.
- [7] PRIEL MARC « *les robots industriels: caractéristiques, performances et choix* »: Edition AFNOR (1990)
- [8] F. BOUZIANE « *Rétro-conception du bras horizontal de robot manipulateur de la cellule flexible (Tlemcen)* », UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEM Option Ingénierie des systèmes mécaniques productives, (2013)
- [9] M. CHAAL « *Modélisation cinématique d'un robot manipulateur à chaîne continue ouverte* », UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA Option : Maintenance Industrielle , (2013)
- [10] A. Benalia. "Génération de trajectoires des systèmes non linéaires en présence de contraintes". Conférence GDA 2003, Valenciennes, France.
- [11] J. Craig. "Introduction to Robotics: Mechanics and Control". Addison-Wesley, 1989.
- [12] Luh, J., Walker, M., et Paul, R. "Resolved acceleration control of mechanical manipulators". IEEE Trans. on Automatic Control (ITAC), 25(3):468–474. (1980).
- [13] Zoran Gajic. "Linear Dynamic Systems and Signals", Prentice Hall 2003.
- [14] Ph. D.B. « *INTRODUCTION A LA ROBOTIQUE* » la revue de l'asbl en juillet 1984 (Escargot, 3^{ième} année, numéro 3)
- [15] M. GIORDANO & J. LOTTIN. Description et fonctionnement des robots industriels. Livre 1^{er} édition. France. 1990
- [16] I.H. AGUILAR. Commande des bras manipulateurs et retour visuel pour des applications à la robotique de service. Thèse du doctorat de l'Université Toulouse III/France/2007 (spécialité robotique).

Bibliographie

- [17] T. GUESBAYA. Modélisation et commande de bras manipulateur rigide à cinématique simple. Département d'électronique/ Unive-Sétif-Algerie. Mémoire du magistère 1994.
- [18] W.KHALIL, E.DOMBRE. Modeling, Identification & Control Of Robots. Livre/NewYork/USA 2002.

Résumé :

Ce mémoire présente une étude de deux techniques de contrôleur PID d'un robot manipulateur à 2R . Nous présentons d'abord les paramètres de Denavit-Hartenberg pour le robot 2-R. Ensuite, nous avons étudié la dynamique du robot 2-R et dérivé les équations non linéaires du mouvement. Un contrôleur PID a été implémenté pour deux types de techniques de modélisation : le modèle basé sur la linéarisation autour du point d'équilibre et enfin du modèle basé sur la linéarisation en retour (PID classique). Une comparaison entre les deux contrôleurs est présentée montrant l'efficacité de chaque technique

Mots-clés: robot, robot 2-R, dynamique, modélisation, simulation, contrôle et PID.

Abstract- This memoir presents a study of two PID controller technique of a 2-Revelutejoint robot. First we present Denavit-Hartenberg parameters for 2-R robot. Then we studied the dynamics of the 2-R robot and derived the nonlinear equations of motion. A PID controller has been implemented for two types of modeling technique: model based on linearization about equilibrium point and lastly model based on feedback linearization of the robot. A comparison between the two controllers is presented showing the effectiveness of each technique.

Keywords:robotics, 2-R robot, dynamic, modeling,simulation, control and PID.

ملخص

تهتم هذه الرسالة بدراسة تقنيتي تحكم نوع PID لذراع روبوت, قدمنا أولاً معادلات Denavit-Hartenberg المتعلقة بحركة الروبوت. ثم درسنا النظام الديناميكي للروبوت بالتالي الحصول على المعادلات اللاخطية للحركة. تم تنفيذ التحكم PID بنوعين من التقنيات : نموذج القائم على خطية النظام حول نقطة التوازن وأخيراً النموذج المبني على الخطية المرتدة يتم تقديم مقارنة بين النموذجين التي تبين فعالية كل تقنية .

الكلمات الرئيسية: الروبوتات ، الروبوت R-2 ، الديناميكية ، النمذجة ، المحاكاة ، التحكم و PID.