

République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Département du Génie Mécanique
Université Saad Dahleb Blida 1



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de master
en fabrication mécanique et productive

Étude cinématique d'un robot de soudage

Réalisé par :

-BOUDALI Ben Souna

-HENNAOUI Mossaab

Encadre par :

M^r M.HATTALI

Année universitaire
2017-2018

Remerciements

Mes remerciements vont tout premièrement à Dieu le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a donné pour terminer mon travail.

*Je souhaite tout d'abord remercier mon encadreur Monsieur **HATALI Mounir** enseignant à l'université de **SAAD DAHLAB Blida**, pour avoir accepté de diriger ce mémoire et de sa patience durant la période de l'encadrement.*

*Je tiens à remercier :
pour nous avoir fait l'honneur d'être membres de jury. Ainsi que pour avoir consacré une partie de leur temps précieux pour lire et corriger ce mémoire.*

DEDICACE

-Je dédie ce travail

-A mes chères Parents.

- A mes sœurs et mes Frères.

- A ma petite Famille.

- A mes collègues de l'université.

- A mes enseignants et professeurs.

- A tous mes amis

Table de Matière

Introduction générale.....	01
----------------------------	----

CHAPITRE I Généralité

I-1- Introduction.....	03
I-2-Historique.....	03
I-3-Définition générales	04
I-4Composition structure des robot.....	05
I-4-1-Degrés de liberté et espace de travail.....	05
I-4-2-La classification des robot.....	06
I-4-3-Source d'énergie.....	06
I-4-4-Méthode de contrôle.....	06
I-5-Présentation du robot.....	07
I-6-Terminologie.....	08
I-6-1-Axe mécanique.....	08
I-6-2-Mobilité du robot.....	08
I-6-3-Degré de la tache Dr.....	09
I-6-4-Coordonnées articulaires.....	09
I-6-5-Coordonnées opérationnelles.....	09
I-6-6-Espace articulaire.....	09
I-6-7-Espace opérationnelles.....	09
I-6-8-Articulations.....	09
I-6-9-Articulation rotoirde.....	09
I-6-10-Articulation prismatique.....	10
I-7-la Structure mécanique articulée	10
*Structure mécanique articulée a chaine cinématique.....	11
*Structure mécanique a chaine cinématique ferme.....	11
I-8-Structure et morphologie de robot.....	12
I-9-Représentation graphique.....	13
I-10-Architecture des porteurs.....	13
I-11-Caractéristiques générales des robots.....	15
*la chaine des espaces de robot.....	16
I-12-Commande des systèmes mécaniques articulés.....	17
I-13-les différents type de robot.....	18
I-14-les différentes modelés.....	20
*le modelé géométrique direct (MGD).....	20
*le modelé géométrique inverse (MGI)	21
I-15-Organes de sécurité de robot	21
I-15- Conclusion.....	22

CHAPITRE II

Modélisation géométrique et cinématique des robots

II-1-Introduction.....	23
II-2-Objectifs.....	23
II-3-Modèle géométrique.....	24
II-4-Les variables articulaires.....	25
II-5-Les variables géométriques.....	25
II-5-1-L'orientation.....	25
II-5-2-La position.....	26
II-6-Modélisation par les paramètres de Denavit et Harten berg.....	26
II-6-1-Les coordonnées homogènes d'un point.....	26
II-6-2-Les coordonnées homogènes d'un vecteur libre.....	26
II-6-3-La transformation homogène.....	27
II-6-4-Description de la position.....	28
II-6-5-Description de la rotation.....	28
II-6-6-Matrice de transformation homogène.....	29
II-6-7-Les paramètres de denavit etharten berg.....	30
II-7-Modele géométrique inverse.....	32
II-8-Resolvabite des bras articule.....	33
II-8-1-Absence de solution.....	33
II-8-1-1-Origine géométrique.....	33
II-8-1-2-Origine mécanique.....	34
II-8-1-3-Origine mathématique.....	35
II-8-2-L'infinie de solutions.....	35
II-8-3-Nombre fini de solution.....	36
II-9-Calcul de modèle.....	36
II-10-La trajectoire.....	36
II-10-1-Profil polynomial.....	38
II-11-Analyse cinématique.....	38

CHAPITRE III

Application

III-1-Introduction.....	40
III-2-Application 1.....	41
III-3-Application 2.....	41
III-4-Application 3.....	41
III-5-Application 4.....	41
III-11-Expression des éléments de la matrice des termes de corioles.....	42
III-12-Expression des éléments de la matrice des forces centrifuges.....	42
III-13-Expression des éléments de la matrice des forces de gravite.....	42
III-15-Matrice de transformation homogène.....	43
III-16-Calcul des matrices de passage intermédiaires.....	43
III-17-Calcul des matrices de passage globale.....	44

III-18-Calcul des vitesses.....	44
III-19-Calcul des vitesses angulaires.....	44
III-20-Calcul des vitesses de translation	44
III-21-Calcul de l'énergie cinétique	44
III-22-Calcul de l'énergie cinétique des différents corps.....	44
III-13-Calcul de l'énergie potentielle.....	44
III-24-Conclusion.....	45
Conclusion générale	46
Bibliographie	47
Annexe	51

Liste des figures

Figure I.1 : le robot a 6axes ABB IRB2400.....	04
Figure I.2: le robot a 6 axes ABB IRB2400	08
Figure I.3 : Représentation d'une articulation rotoïde (R).....	10
Figure I.4 : Représentation d'une articulation prismatique(p).....	10
Figure I.5 : structure sériel.[6].	11
Figure I.6 : structure fermée.	11
Figure I.7 : Structure à chaîne simple ouverte.....	12
Figure I.8 : Structure a chaîne arborescente.....	12
Figure I.9 : -Structure à chaîne complexe.....	12
Figure I.10 : Architecture d'un robot.....	13
Figure I.11 : Robot cartésien PPP.....	14
Figure I.12 : Structure PRR.....	14
Figure I.13 : PRP.....	14
Figure I.14 : PRP.....	14
Figure I.15 : PPP.....	14
Figure I.16 : La chaine des espaces.....	16
Figure I-17 : Robot soudage par pointes.....	18
Figure I-18 : Robot de soudage par l'arc.....	19
Figure I-19 : Chaines des productions.....	19
Figure-20 : Constricteur automobiles.....	20
Figure I-21 : Equipementier automobiles.....	20
Figure I-22 : Organes de sécurité.....	22
Figure II.1: Structure arborescente.....	24
Figure II.2: Représentation des paramètres de Denavit et Hartenberg.....	31
Figure II.3 : Repère avec deux articulations.....	34
Figure II.4 :origenemecanique.....	34
Figure II.5 : La structure RP.....	35
Figure II.6 : Représentation du poignet.....	36
Figure II.7 : nombre de fini de solution.....	36
Figure III.1 : système.....	41
Figure III.2:position de l'organe terminal en fct du temps.....	43
Figure III.3 : Vitesse de l'organe terminal en fct du temps	44
Figure III.4 : Accélération de l'organe terminal en fct du temps	44

Introduction

Introduction Générale

Depuis la révolution industrielle, une discipline à marquer l'évolution du monde technologique : la Robotique. L'avènement des robots dans l'industrie a permis de soulager l'homme des travaux répétitifs et difficiles tels que : le déplacement d'objets lourds, les tâches d'assemblages, les microsoudures... etc. Ceci avec plus d'efficacité et de précision.

La compétition incessante dans l'industrie conduit à une nécessaire augmentation de la productivité en préservant la qualité et en diminuant le coût de revient des produits.

Cependant, les robots manipulateurs existants souffrent encore de faiblesses qui les empêchent de mener à bien certaines tâches et limitent leurs champs d'action [1].

Ces robots sont en effet rigides, lourds et encombrants ce qui se traduit par une grande énergie consommée et une vitesse d'exécution lente. La consommation peut constituer un point crucial quand l'énergie est limitée, comme c'est le cas dans les applications spatiales [2]. A cet effet, des recherches universitaires et laboratoires de recherche tentent de développer de nouvelles méthodes et algorithmes de manière à libérer les résultats pour des usages industriels après validation. Les recherches sont appliquées à différents domaines tels que la planification de mouvement, la manipulation, et le contrôle de la position, etc. mais, les robots réels sont inaccessibles à cause des prix élevés, donc des modèles simulés sont largement demandés par les laboratoires de recherche [2].

Notre travail est de traiter l'aspect mécanique du problème c'est à dire étudier la cinématique et établir le modèle cinématique d'un robot de soudage d'un point source vers un point but

Introduction générale

Pour effectuer la commande d'un robot il faut obligatoirement être en possession d'un modèle de ce dernier. Le modèle à utiliser est fonction de l'application et des performances souhaitées du robot. Les modèles géométrique ou cinématiques sont utilisés pour les commandes en position et en vitesse. Ces derniers font l'hypothèse d'un équilibre statique pour toute configuration prise par le système au cours de son déplacement. [1]

Pour la construction de ces différents modèles nous avons utilisé le formalisme de Lagrange associé à la méthode de Uicker-Kahn qui elle-même est basée sur la méthode de Denavit et Hartenberg. Nous n'avons pris en considération que les systèmes mécaniques articulés à chaîne cinématique simple.

Le premier chapitre traite des généralités sur la robotique, nous donnons la terminologie des termes les plus utilisés en robotique et dans ce mémoire; puis un aperçu général sur les différents systèmes mécaniques articulés ainsi que leur description et leur morphologie.

Dans le deuxième chapitre nous présentons la méthodologie d'obtention du modèle géométrique et cinématique. Nous utilisons pour cela la méthode de Denavit et Hartenberg qui associée à une méthode que nous avons développé choix de la trajectoire permet de déterminer les paramètres cinématiques des br.

Enfin le Troisième chapitre des exemples d'illustration ainsi que des applications de notre programme. Nous présentons aussi dans ce chapitre l'application de notre programme sur le robot de soudage ALG-SOUD1 que nous avons nous même conçus et pour lequel nous avons déposé un brevet d'invention.[1]

Chapitre I

Généralité

I-1- INTRODUCTION

Des systèmes mécaniques articulés et la définition Ce premier chapitre sera consacré aux généralités. Nous donnons une brève présentation du terme « ROBOT » ainsi qu'un aperçu général sur la morphologie et la description des systèmes mécaniques articulés avec la terminologie des termes couramment utilisés.

I-2-HISTORIQUE

L'histoire de la robotique commence avant les robots, avec l'automate. La différence fondamentale entre automate et robot est simple : l'automate obéit à un programme préétabli, que ce soit de manière mécanique ou électrique, alors que le robot dispose de capteurs et ses actions seront décidés par l'intermédiaire de son programme en fonction de l'environnement dans lequel il agit. Le terme robot a d'abord été introduit dans le vocabulaire scientifique par le dramaturge Tchèque « Karel Capek », le mot « Robot » étant le mot tchèque pour le travail.

Depuis le Terme a été appliqué à une grande variété de dispositifs mécaniques, tels que les Téléopérateurs, les véhicules sous-marins...etc. Pratiquement tout ce qui fonctionne avec un Certain degré d'autonomie, généralement sous contrôle d'un ordinateur, à été appelé à terme un « Robot ».

Dans cette présente étude on appelle « Robot », tout manipulateur industriel contrôlé par Ordinateur. Ce type de robots est essentiellement un bras mécanique fonctionnant sous Contrôle informatique. De tels dispositifs sont des systèmes électromécaniques extrêmement complexes dont la description analytique nécessite des méthodes très a avancées.



Figure I-1 : bras manipulateur

1947:Premier manipulateur électrique télomère

1954 : premier robot programmable

1961 : Apparition d'un robot sur une chaine de montage de général Motors

1961 : premier robot avec contrôle en effort

1963 : utilisation de la vision pour commander un robot caractéristique géométrique

I-3-DEFINITIONS GENERALES

Un « ROBOT » selon l'AFNOR est un manipulateur commandé en position, reprogrammable, polyvalent, à plusieurs degrés de liberté, capable de manipuler des matériaux ,des pièces ,des outils ,et des dispositifs spécialisés au cours de mouvements variables et programmés pour l'exécution d'une variété de taches.

Et selon l'AFRI, il convient de distinguer les manipulateurs et les robots selon la classification Suivante :

Manipulateur : il s'agit d'un engin de manipulation motorisé, commandé par l'homme, ayant au moins quatre degrés de liberté.

-Manipulateur automatique : c'est un engin de manipulation de deux axes ou plus, non asservis à cycle automatique. Il peut être à séquence fixe ou variable.

-Robot programmable : C'est un manipulateur automatique de trois axes ou plus dont au moins Deux sont programmables par apprentissage et /ou par langage symbolique.[2]

-Robot dit intelligent : Il s'agit alors d'un manipulateur automatique programmable capable d'analyser les modifications de son environnement et de réagir par conséquence.[2]

I-4-COMPOSENTS ET STRUCTUER DES ROBOTS

I-4-1- Degrés de liberté et espace de travail

Le nombre de joints détermine le nombre de degrés de liberté (DDL) du manipulateur.

Généralement un manipulateur doit posséder au moins six (DDL)

Indépendants : trois pour le

Positionnement et trois pour l'orientation. Avec moins de six (DDL), le bras ne pourra pas

Atteindre tous les points dans son environnement de travail avec

Une orientation arbitraire.

Certaines applications tels que l'atteinte de points derrière des obstacles nécessitent plus de six (DDL).

La difficulté de contrôler un manipulateur augmente rapidement avec le nombre de joints. Un manipulateur ayant plus de six joints est appelé

« Cinématiquement redondant ».

L'espace de travail d'un manipulateur est le volume total balayé par l'organe terminal Lorsque le manipulateur exécute tous les mouvements possibles.

L'espace de travail est Contraint par la géométrie du manipulateur, ainsi que les contraintes mécaniques sur les joints, par exemple les joints rotoïdes peuvent être limités à moins de 360° de rotation.

I-4-2- La classification des robots

Les robots peuvent être classés selon plusieurs critères, tel que leur source d'énergie, la manière dont les articulations sont actionnées, leur géométrie, leur structure

cinématique...etc. Une telle classification est utile pour déterminer quel robot est bon pour une tache donnée.

I-4-3- Source d'énergie

En règle générale, les robots sont alimentés électriquement, hydrauliquement ou à la pneumatique. Les actionneurs hydrauliques sont inégalés dans leur vitesse de réponse et leur capacité de produire des couples importants. Par conséquent les robots hydrauliques sont utilisés pour soulever des charges lourdes. Mais ils ont l'inconvénient de fuites d'un les répétitives et ils nécessitent beaucoup d'équipements auxiliaires comme les pompes, par conséquent ils sont plus bruyants. Les robots pilotés par des servomoteurs CC et CA sont de plus en plus populaires, car ils sont moins chers, plus propres et moins bruyants. Les robot pneumatiques sont peu coûteux et simples mais ne peuvent pas être contrôlés par précision. En conséquence les robots pneumatiques sont limités dans leur gamme d'applications.

I-4-4- Méthode de contrôle

Les robots sont classés selon leur méthode de contrôle en deux catégories,

« *Les servorobots* » et les « *non-servo robots* ». Les premiers robots étaient des non-servo robots, qui sont des dispositifs à boucle ouverte dont les mouvements sont limités aux arrêts mécaniques prédéterminés, et ils sont généralement

utilisés pour le transfert de matériaux. Les servorobots sont contrôlés par ordinateur en boucle fermée, pour déterminer leur mouvement et sont donc capables d'être des dispositifs multifonctionnels et reprogrammables. Les servo robots sont encore classés selon la méthode utilisée par le contrôleur pour guider l'organe terminal. Le type le plus simple est le

« *Robot point à point* », dans ce type de robots un ensemble discret de points est introduit, mais il n'y a aucun contrôle sur la trajectoire de l'organe terminal entre les points introduits. Par conséquent ces robots sont très limités dans leur gamme d'application.

L'autre type de robots sont appelés « *Robots à chemin continue* », en contrepartie dans ce type de manipulateurs toute la trajectoire de l'effecteur peut être contrôlée. L'organe terminal peut suivre un contour prédéterminé, par exemple un cordon de soudure, tout en contrôlant sa vitesse et son accélération. Ce type de robots sont les plus avancées et nécessitent des contrôleurs sophistiqués et des logiciels de contrôle très performants

I-5- PRESENTATION DU ROBOT

L'outil étudié est un manipulateur à 6 axes non pourvus de capteurs externes. Ceux-ci sont mus par des actionneurs électriques du type synchrone triphasé. Son rôle dans la cellule flexible de l'ECAM est d'assurer la liaison entre un poste d'usinage et une bande transporteuse. [2]

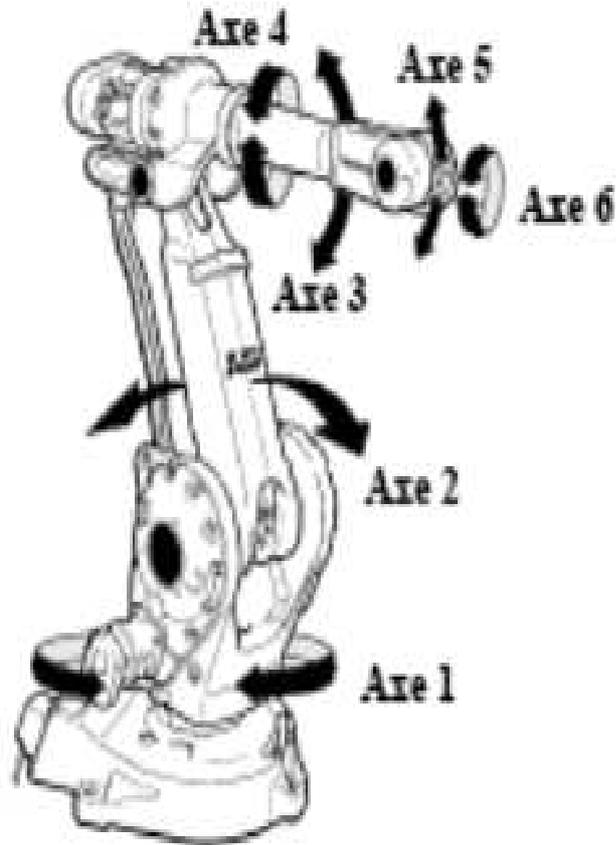


Figure I-2 :le robot a 6 axes ABB IRB2400

I-6 –TERMINOLOGIE

I-6-1-Axe mécanique: élément d'un robot qui peut être animé d'un mouvement linéaire ou rotatif .D'un point de vue mécanique, le nombre d'axes est normalement celui des articulations et coulisses commandées et animées de façon indépendante.[2]

I-6-2-Mobilité du robot : c'est le nombre de variables indépendantes qui définissent la position du robot à un instant donné.

La mobilité est également le nombre d'actionneurs du robot .C'est ce qu'on appelle le nombre d'axes chaque actionneur commandant un axe. (m) est un nombre entier (en général $3 \leq m \leq 7$).

I-6-3-Degré de la tache D_r : c'est le nombre de paramètres indépendants qui permettent de définir la tache c'est à dire la situation possible de l'organe terminal (position et orientation).[2]

I-6-4-Coordonnées articulaires : Les coordonnées articulaires (appelées aussi coordonnées généralisées) sont les variables (angles ou longueurs) qui définissent la configuration du robot à un instant donné. Elles sont fonction du temps, leur nombre est égal à m . (mobilité du robot).[2]

I-6-5-Coordonnées opérationnelles: Ce sont les variables qui définissent la tache qui consiste à déplacer l'organe terminal (outil) .Ils définissent la position et l'orientation de cet outil par rapport à un repère fixe lié au bâti du robot leur nombre est égal à D_r . $D_r \leq 6$.

I-6-6-Espace articulaire: L'espace des variables articulaires est appelé espace articulaire ou espace de configurations.

I-6-7-Espace opérationnel : L'espace des variables opérationnelles est dit espace opérationnel.

I-6-8-Articulations : Une articulation (ou joint) lie deux corps successifs en limitant le nombre de degrés de liberté de l'un par rapport à l'autre.

(m) est appelé mobilité de l'articulation ou nombre de degrés de liberté. $0 \leq m \leq 6$

En robotique les articulations utilisées sont dites simples ($m= 1$), elles sont soit rotoïde, soit prismatique

I-6-9-Articulation rotoïde: C'est une articulation de type pivot, réduisant le mouvement entre deux corps à une rotation autour d'un axe qui leur est commun, elle est notée (R)

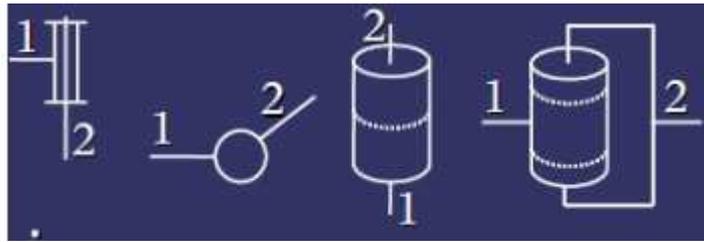


Figure I-3 : Représentation d'une articulation rotoïde (R)

I-6-10-ARTICULATION PRISMATIQUE : C'est une articulation de type glissière réduisant le mouvement entre deux corps à une translation le long d'un axe commun, elle est notée (P).

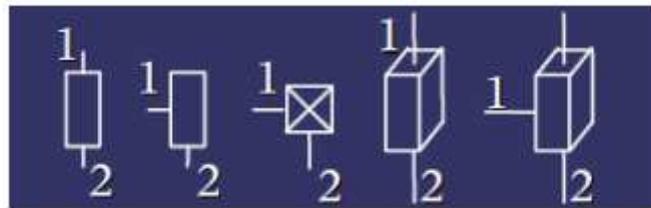


Figure I.4: Représentation d'une articulation prismatique (p).

I-7-STRUCTURE MECANIQUE ARTICULEE: Un robot manipulateur est constitué généralement par deux sous-ensembles distincts : un organe terminal qui est le dispositif destiné à manipuler des objets, et une structure mécanique articulée (bras articulée), constituée d'un ensemble de solides reliés entre eux, généralement les uns à la suite des autres où chaque solide est mobile par rapport au précédent. Cette mobilité s'exprime en termes de degrés de liberté (d.d.l) qui est par définition le nombre de mouvements indépendants possibles d'un solide C1 par rapport au solide qui lui est directement relié C2. [3]

Une structure mécanique articulée peut être représentée par une architecture composée de Plusieurs chaînes de corps rigides assemblés par des liaisons appelées articulations. Les Chaînes peuvent être dites soit ouvertes ou en série dans les

quelles tous les corps ont au plus Deux liaisons, ou bien arborescentes où au moins l'un des corps a plus de deux liaisons.

Les chaînes peuvent aussi être fermées dans lesquelles l'organe terminal est relié à la base du Mécanisme par l'intermédiaire de plusieurs chaînes.[4].[3]

***Structure mécanique articulée à chaîne cinématique simple :** C'est une chaîne cinématique dont chaque membre possède un degré de connexion (nombre de liaisons mécaniques) inférieur ou égal à deux. Un robot sériel est formé d'une chaîne cinématique simple dont la base et l'organe effecteur possèdent un degré de connexion de un (c'est-à-dire qu'il n'est relié qu'à un seul corps) et les autres éléments un degré de connexion de deux.[4][3]



Figure I.5: structure sériel.[6]

***Structure mécanique articulée à chaîne cinématiques fermée :** C'est une chaîne cinématique dont l'un des membres, différent de la base, possède un degré de connexion supérieur ou égal à trois.

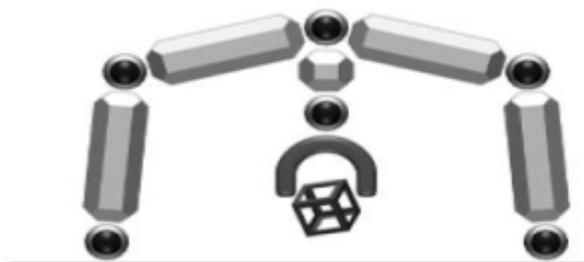


Figure I.6 : structure fermée.

I-8-STRUCTURE ET MORPHOLOGIE DES ROBOTS

La partie mécanique d'un robot est généralement constituée de deux sous-ensembles distincts.

-Un (ou plusieurs) organe terminal considéré comme une interface permettant au robot d'interagir avec son environnement.[3][4]

-Une structure mécanique articulée qui sert à amener l'organe terminal dans une position et orientation désirée .Cette structure est composée de : bras, base, poignet coupleur et axe mécanique les robots peuvent être de [3].[4]

-Structure à chaîne simple ouverte (figure I-7)

-Structure a chaîne arborescente (figure I-8)

-Structure à chaîne complexe (figure I-9)

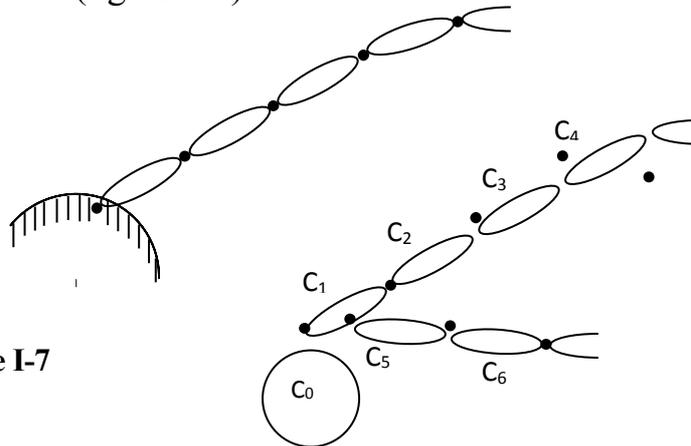


Figure I-7

Figure I- 8

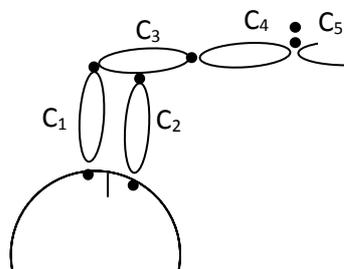


Figure I-9

I-9-REPRESENTATION GRAPHIQUE

Pour la représentation graphique des différents types d'articulations nous utiliserons la norme AFNOR que Nous reproduisons en annexe n) et N) figure [5][6]

I-10-ARCHITECTURE DES PORTEURS

Si l'on considère les trois premiers degrés de liberté d'un robot, on constate que les combinaisons possibles de rotations et de translations conduisent à 42 structures différentes. Dans la pratique il semble dans une étude portant sur 115 robots, que quatre ou cinq arrangements seulement soient utilisés pour des raisons géométrique ou mécaniques. La figure ci dessous reproduit ces cinq architectures avec leur pourcentage d'utilisation.[5][6]



Figure I.10 : Architecture d'un robot.

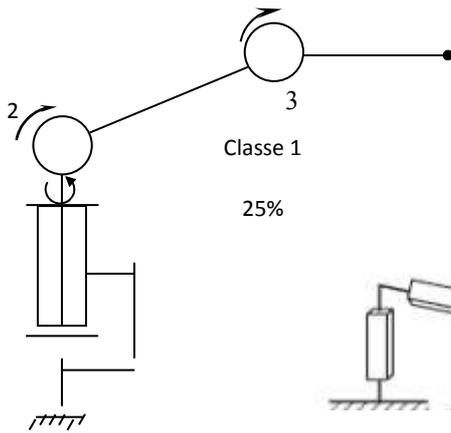


Figure I-12: structure PRR

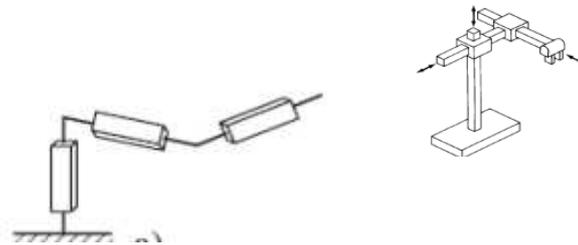


Figure I.11: Robot cartésien PPP

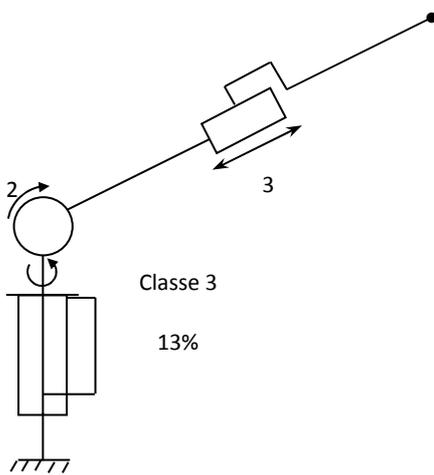


Figure I-13PRP

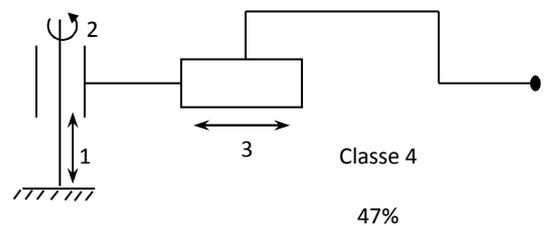


Figure I-14: PRP

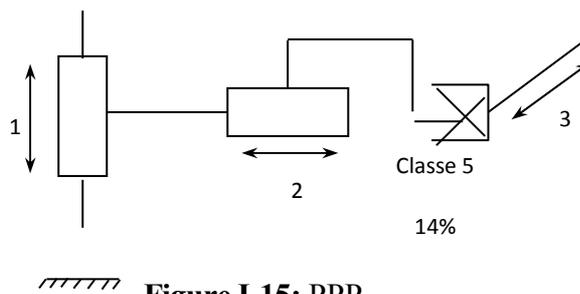


Figure I-15: PPP

I-11-CARACTERISTIQUES GENERALES DES ROBOTS

Un robot est caractérisé par une structure arborescente articulée simple ou multiple dont les segments sont mobiles les uns par rapport aux autres. Cet ensemble a pour objectif de mener l'organe terminal vers un lieu géométrique imposé par la tâche. La description d'un déplacement du système mécanique s'effectue selon le mode de programmation :

-Soit en termes d'actions directes sur les actionneurs.

-Soit par une description globale du mouvement ou de la tâche.

Les actions directes ne posent à priori, pas de problèmes mathématiques spécifiques puisque les informations liées aux divers points de constitution des trajectoires sont mémorisées au fur et à mesure d'un apprentissage.

Dans le second cas, la description du but, au sens géométrique par un système de décision est effectuée selon une méthode de représentation particulière par rapport à des références connues. L'exécution de l'ordre se fait par des transformations successives dans divers espaces reliés au robot vers l'espace de la tâche ou espace opérationnel par rapport à d'autres références.

Les robots ont trois éléments en commun :

*ils ont un corps ou un processeur ;

*ils exécutent un ou des programmes ;

*ils sont munis de capteurs pour réagir à l'environnement sans l'intervention humaine (automatique)

I-11-1-Caractéristique géométriques

-Nombre d'axe (mus par un actionneur)

-Architecture (série ou parallèle)

-Chainage des articulations

-nombre de degrés de liberté

-La chaîne des espaces de robot :

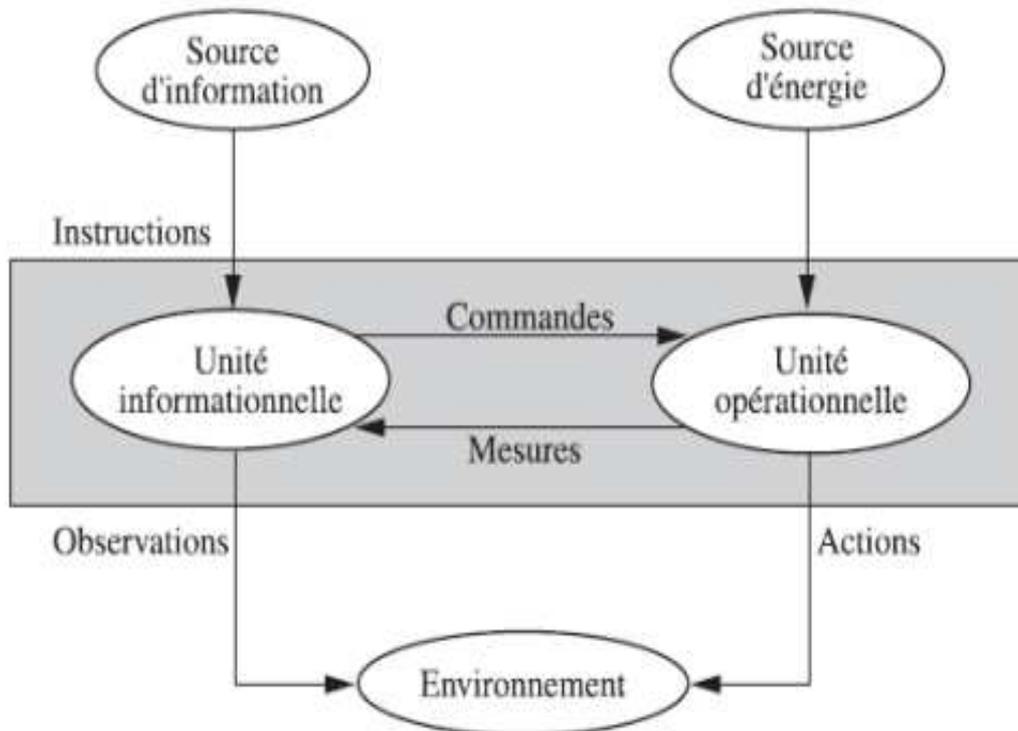


Figure I-16 : Structure fonctionnelle d'un robot

- Unité informationnelle [12]

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

- Unité opérationnelle

Exerce les actions commandées en empruntant la puissance nécessaire à la source d'énergie. Cette partie, qui constitue le robot physique, intègre la structure mécanique (segments, articulations, architecture,...), les modules

d'énergie (amplificateurs, variateurs, servovalves...), les convertisseurs d'énergie (moteurs, vérins...), les chaînes cinématiques de transmission mécanique (réducteurs, vis à billes, courroies crantées ...), les capteurs de proprioceptifs placés sur chaque axe pour mesurer en permanence leur position et leur vitesse, et enfin l'effecteur, ou organe terminal, qui est en interaction avec l'environnement [7].

I-12- COMMANDE DES SYSTEMES MECANIQUES ARTICULENT

La commande des systèmes mécaniques articulés (S M A) consiste à activer les actionneurs de chaque articulation de manière à faire évoluer ce dernier vers un point de l'espace selon certaines caractéristiques :

- Soit le mouvement du bras articulée dans l'espace est quelconque du point source au point but. C'est la commande en position.[4]
- Soit le mouvement est contraint de suivre une trajectoire définie à l'avance. C'est la commande cinématique.
- Soit le temps parcouru et les caractéristiques dynamiques sont imposés. C'est la commande dynamique.[4]

I-13-LES DIFFERENTS TYPE DE ROBOT

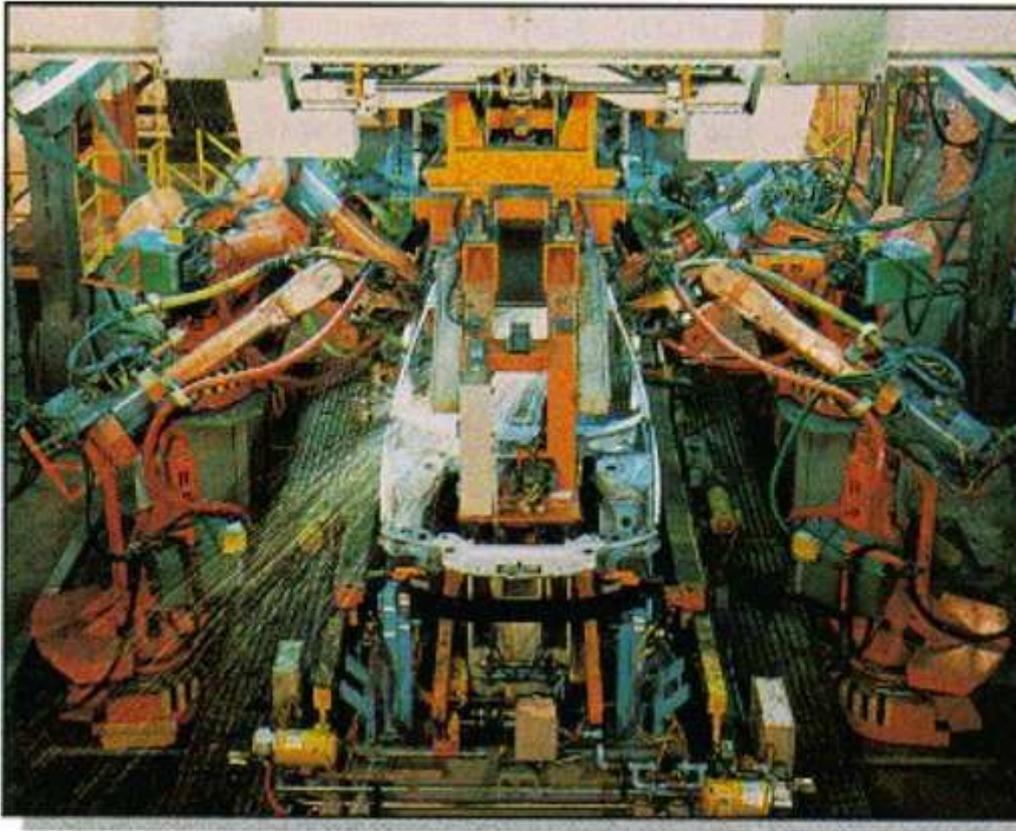


Figure I-17 : Robot soudage Par points



Figure I-18 : Robot de soudage a l'arc

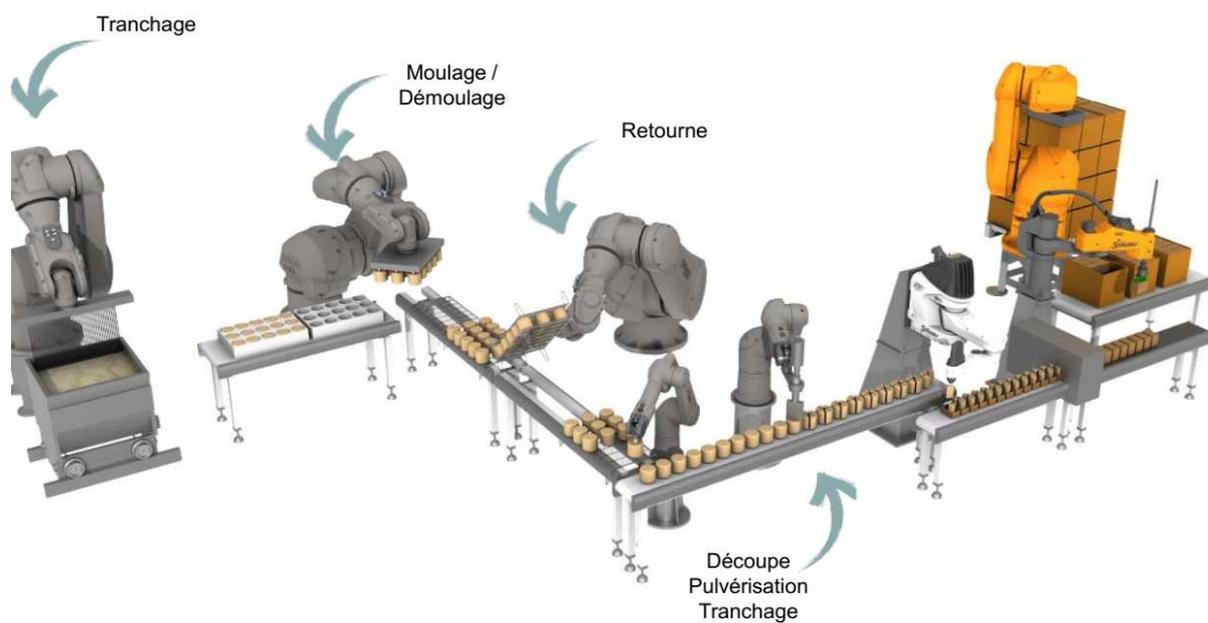


Figure I-19 : Chaine de production



Figure I-20 : chaine de montage automobile



Figure I-21 : Equipementiers automobiles

I-14-LES DIFFERENTS MODELES

On rencontre trois modèles :

- Le modèle géométrique direct et inverse. [7]. [8]
- Le modèle cinématique direct et inverse. [7]. [8]
- Le modèle dynamique direct et inverse. [7]. [8]

*le **modèle géométrique direct (MGD)** est un modèle mécanique utilise en robotique pour Les bras manipulateurs.

Le modèle géométrique direct d'un robot permet de calculer les coordonnées. Opérationnelles donnant la situation de l'organe terminal en fonction des coordonnées articulation.

Il permet de déterminer la configuration (position, orientation) de l'effecteur d'un robot en fonction de la configuration de ses liaisons, il existe 2 types de liaisons, les liaisons pivots et les liaisons glissières. [7].[8]

Le modèle géométrique direct est utilisé pour caractériser le fonctionnement d'un bras manipulateur, le modèle géométrique direct de calcul la du robot en fonction de position de chaque moteur (liaison du robot).[7].[8]

***le modelé géométrique inverse (MGI)** est un modèle mécanique utilise en robotique pour Les bras manipulateurs.

Le modèle géométrique inverse d'un robot permet de déterminer la configuration des liaisons .en fonction de la configuration (position et orientation) Del 'effecteur d'un robot, il existe 2 types de liaison, les liaisons pivots et les liaisons glissières. [8]

- les liaisons pivot : permet des mouvements de rotation et est caractérisée

Par un angle.

-la liaison glissière : permet des mouvements de translation et est caractérisée

Une distance.

Le modèle géométrique inverse est utilisé pour caractériser le fonctionnement d'un bras manipulateur, concrètement, d'un bras manipulateur .concrètement le géométrique inverse permet de calculer la position de chaque moteur (liaison) du robot en fonction de la position et de l'orientation de l'organe terminal (effecteur). [8]

I-15- ORGANES DE SECURITE

Il est dangereux de laisser le robot mobile complètement libre .Donc il est Obligatoire qu'il soit doté d'organes garantissant la sécurité.

Deux types de capteurs sont employés:

- Les capteurs pyrométriques assurent la détection avant collision (ultrasons, hyperfréquences, infrarouge...).

- Les capteurs à contact détectent une collision ou un choc avec l'environnement (Contact électrique sur pare-chocs, résistance variable, fibre optique...).

L'organisation de la sécurité d'un robot mobile est représentée sur le schéma Suivant:

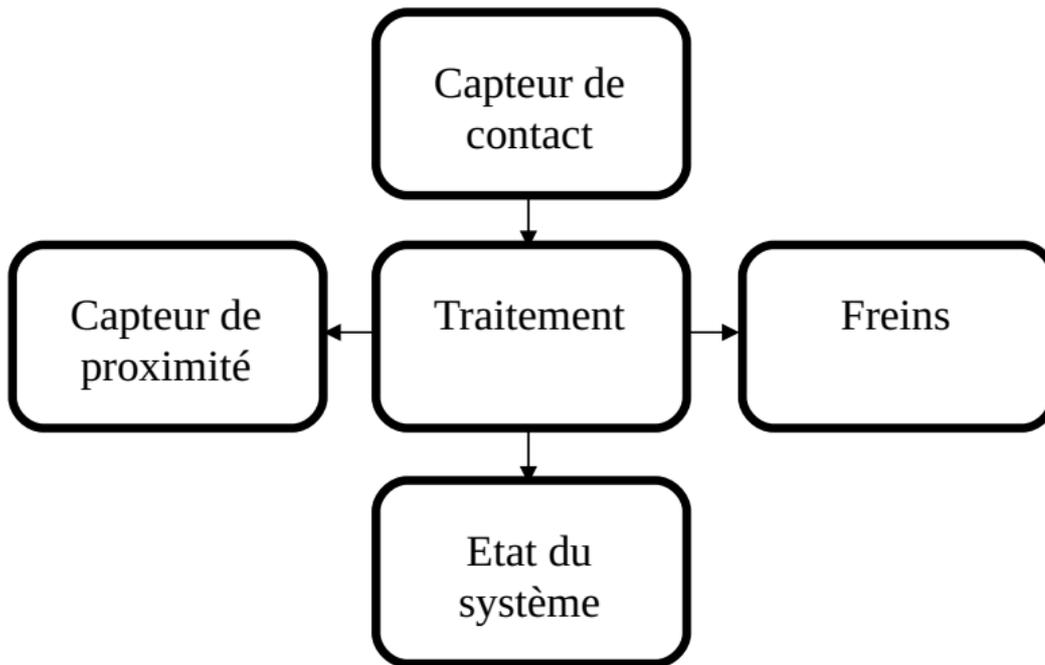


Figure I-22 : les organes de sécurité

I-16-CONCLUSION :

La structure mécanique d'un robot manipulateur est composée de plusieurs corps connectés les uns aux autres par des liaisons appelées articulations, à un seul degré de liberté de translation ou de rotation, cette structure mécanique peut constituer une chaîne cinématique continue ouverte simple, une chaîne arborescente ou une chaîne complexe.

Chapitre II

Modélisation géométrique

et cinématique

II-1-INTRODUCTION

Un robot est destiné à agir dans l'environnement grâce à son organe terminal. Cette action est, d'une manière générale, caractérisée par l'évolution dans le temps et dans l'espace de la position et de l'orientation de cet organe terminal, appelé aussi effecteur. Il convient donc de définir un système général de coordination, permettant de déterminer les différentes variables du bras articulée en fonction de l'évolution désirée de l'effecteur. [1].[4]

Un système mécanique articulé (bras articulée) est caractérisé par deux catégories de paramètres :

Les paramètres structuraux (constantes) et les variables articulaires (angles ou longueurs).

L'élaboration et l'exploitation d'un bras articulée nécessitent :

-la connaissance des coordonnées et des vitesses d'un point quelconque du bras articulée ;

-la connaissance de l'orientation et de la vitesse de déplacement des repères liés aux constituants du bras articulée dans l'espace de la tâche, en fonction des variables articulaires ;

-la détermination des valeurs des variables articulaires associées à une Configuration du bras articulée. [1].[4]

II-2-OBJECTIFS

Le but de notre travail dans ce premier chapitre est de développer un programme permettant d'effectuer une modélisation géométrique qui servira à commander en position un système mécanique articulé constitué de n chaînons. La démarche que nous avons adoptée est basée sur la méthode classique de Denavit et Hartenberg et la construction des matrices de passage homogènes. Cette méthode permet de formuler le problème sous forme matricielle ce qui facilite la programmation. [9].[10]

Nous avons ensuite complété ce travail par un programme dans le quel nous avons introduit sous forme de données les différents formes d'articulations aux joints

ainsi que la décomposition des articulations complexes en joints simples de façon automatique.

Nous définissons une trajectoire à partir de données tels que les coordonnées du point initial et final et du temps de parcours T et en utilisant un profil polynomial avec vitesses et accélérations nulles aux origines et aux extrémités.

Nous développons ensuite une procédure d'intégration permettant d'aboutir à un algorithme, dans le but de déterminer pour les différents éléments (rigides) d'un bras articulée à chaîne cinématique simple ; les vitesses et les accélérations.[10]

Nous obtenons à la fin une visualisation de la chaîne cinématique du bras articulée dans une position définie par ces coordonnées ainsi que la matrice associée à chaque passage d'un repère à un autre et les différents paramètres cinématiques.[10].[11]

II-3-MODELE GEOMETRIQUE

Le modèle géométrique d'un robot constitue une représentation mathématique en le considérant comme une structure arborescente comportant n corps rigides, sans masse, articulés entre eux.

Chaque corps est réduit à sa plus simple expression, c'est à dire à son orientation et à sa position par rapport au corps précédent.[8].[11]

$$C_i = (P_i, O_i) = (\text{Position } i, \text{Orientation } i)$$

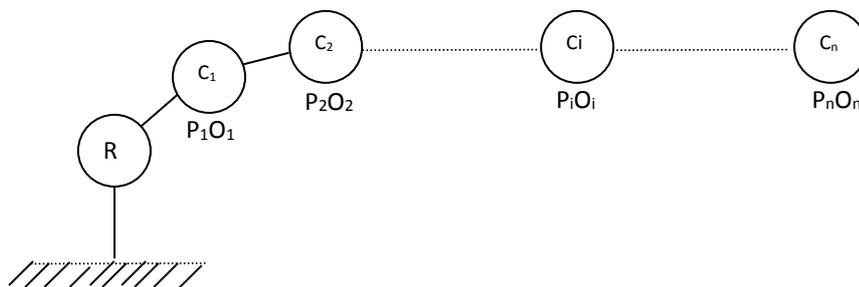


Figure II-1 : structure arborescente

Chaque configuration géométrique possible est définie par un ensemble de variables articulaires qui traduisent les déplacements relatifs d'un corps par rapport au précédent. Les variables articulaires

(ou coordonnées articulaires ou coordonnées généralisées) font le lien entre la position et l'orientation de l'organe terminal et les consignes définies dans un repère de base. Nous l'exprimons par :

$$\underbrace{x_i / R_j}_{\text{Variables Opérationnelles}} = f(\underbrace{q_1, q_2, \dots, q_n}_{\text{variables articulaires}})$$

II-4-LES VARIABLES ARTICULAIRES [9]

Les variables articulaires expriment l'ensemble des possibilités de mouvement entre deux articulations.

Le modèle géométrique est composé tel que, sur les six possibilités de mouvements élémentaires d'un corps par rapport à un autre (3 rotations et 3 translations) une seule est retenue. Ainsi les possibilités de mouvements multiples au niveau technologique sont décomposées en mouvements élémentaires au niveau du modèle

II-5-LES VARIABLES GEOMETRIQUES [6]. [9]

Les variables géométriques ou opérationnelles définissent la situation de l'extrémité de l'arborescence par deux caractéristiques : La position et l'orientation.

Deux repères sont liés à chaque extrémité. :

-Un repère de base ou de référence R_i .

-Un repère lié à la tache R_j .

II-5-1-l'orientation

L'orientation entre deux repères peut être traitée selon plusieurs techniques classiques: les matrices de rotation, les cosinus directeurs, les angles de Bryant, les angles d'Euler. [6]. [10]

II-5-2-la position

La position du repère R_i par rapport à R_j est définie par trois coordonnées élémentaires (rotation ou /et translation). On peut utiliser plusieurs méthodes dont : les coordonnées cartésiennes, les coordonnées cylindriques, les coordonnées sphériques. [11]

II-6-MODELISATION PAR LES PARAMETRES DE DENAVIT ET HARTENBERG [10]

Pour la suite de notre travail nous utiliserons pour la définition de l'orientation et de la position des différents éléments d'un système mécanique articulé les paramètres de Denavit et Hartenberg. Cette méthode est la plus couramment utilisée en robotique. Nous donnons dans les lignes qui suivent un bref aperçu de cette méthode.

II-6-1-Les coordonnées homogènes d'un point [11]

En coordonnées homogènes la représentation d'un point se fait par une matrice unie colonne à quatre composantes, les trois premières sont les coordonnées cartésiennes du point et la quatrième composante est considérée comme un facteur d'échelle et prise égale à 1

$$\overrightarrow{O_i M} = x_{mi} \vec{x}_i + y_{mi} \vec{y}_i + z_{mi} \vec{z}_i$$

$$\overrightarrow{OM} \rightarrow \{U\}_i^t = (x_{mi}, y_{mi}, z_{mi}, 1)$$

Tel que :

$$x_{mi} = \overrightarrow{OM} \vec{x}_i$$

$$y_{mi} = \overrightarrow{OM} \vec{y}_i$$

$$z_{mi} = \overrightarrow{OM} \vec{z}_i$$

II-6-2-Les coordonnées homogènes d'un vecteur libre [9] [10]

Dans un référentiel R_i , le vecteur V est défini par la relation vectorielle

$$\vec{V} = x_{mi} \vec{x}_i + y_{mi} \vec{y}_i + z_{mi} \vec{z}_i$$

Avec x_i, y_i, z_i les vecteurs de base.

La norme du vecteur V est donnée par :

$$\|\vec{v}\| = (x_{mi}^2 + y_{mi}^2 + z_{mi}^2)^{1/2}$$

La direction est définie par ses cosinus directeurs normés soit :

$$\text{Direction} = \frac{\cos \alpha}{\|\vec{v}\|} + \frac{\cos \beta}{\|\vec{v}\|} + \frac{\cos \gamma}{\|\vec{v}\|}$$

Avec α, β, γ les angles mesurés respectivement de chaque axe vers le vecteur V.

Ce vecteur peut être représenté par un groupe de quatre coordonnées.

$$\vec{v} = (x, y, z, w)^t$$

Avec $x_{mi} = x/w$, $y_{mi} = y/w$, $z_{mi} = z/w$

Le même système de coordonnées représente une direction ou une position selon la valeur de w .

Pour $w=1$, les coordonnées représentent une position et pour $w = 0$, les coordonnées représentent une orientation dont la position du point décrit est à l'infini.

II-6-3-La transformation homogène [12]

Utilisons le principe des coordonnées homogènes pour décrire une position et une orientation d'un repère par rapport à un autre.

Considérons la matrice 4x4 formée de quatre sous matrices.

$$T = \begin{pmatrix} R & t \\ P & Q \end{pmatrix}$$

Avec :

$P = (0, 0, 1)$ R : La matrice de rotation 3x3

$Q = (1)$ t : La matrice de translation

II-6-4-Description de la position [13]

La position d'un point dans un repère R_i par rapport au repère R_j

Est décrit par la matrice :

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \cdots & a \\ 0 & 1 & 0 & \cdots & b \\ 0 & 1 & 1 & \cdots & c \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

Avec a, b, c les coordonnées de la position de l'origine de R_i par rapport à R_j

Soit un point M défini par les coordonnées

$$\overrightarrow{O_i M} = x_{mi} \vec{x}_i + y_{mi} \vec{y}_i + z_{mi} \vec{z}_i$$

La vectrice position résultant dans R_i est donné par :

$$\vec{V}_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{mi} \\ y_{mi} \\ z_{mi} \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{d'ou } \vec{V}_0 = (x_{mi} + a, y_{mi} + b, z_{mi} + c, 1)^t$$

II-6-5-Description de la rotation

La rotation d'un vecteur autour d'un axe est décrite par la matrice de transformation donnée par

$$T = \begin{bmatrix} & & & b \\ & R & & 0 \\ & & & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Avec R une des matrices décrites en selon l'axe de rotation.

Soit un point M défini par les coordonnées homogènes

$$\overrightarrow{O_i M} = (x_{mi}, y_{mi}, z_{mi}, 1)$$

Le vecteur résultant d'une rotation autour de x_i est donné par

$$\vec{V}_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

D'où $\vec{V}_0 = (x_{mi}, y_{mi} \cdot \cos\theta, z_{mi} \cos\theta, 1)^t$

II-6-6-Matrice de transformation homogène [12]

Si le repère $R_i (O_i, \vec{x}_i, \vec{y}_i, \vec{z}_i)$ subit une transformation quelconque de translation et/ou de rotation qui l'amène sur le repère $R_j (O_j, \vec{x}_j, \vec{y}_j, \vec{z}_j)$.

Cette transformation est définie par la matrice T_{ij} appelée matrice de transformation homogène de dimension 4×4 .

$R_i (O_i, \vec{x}_i, \vec{y}_i, \vec{z}_i)$

$R_j (O_j, \vec{x}_j, \vec{y}_j, \vec{z}_j)$

$$\vec{O_i O_j} = a\vec{x}_j + b\vec{y}_j + c\vec{z}_j$$

Soit un point M quelconque tel que :

$$\vec{O_i M} = x_{mi}\vec{x}_i + y_{mi}\vec{y}_i + z_{mi}\vec{z}_i$$

$$\vec{O_j M} = x_{mj}\vec{x}_j + y_{mj}\vec{y}_j + z_{mj}\vec{z}_j$$

On sait que :

$$\vec{O_i M} = \vec{O_i O_j} + \vec{O_j M}$$

$$\vec{O_i M} \cdot \vec{x}_i = \vec{O_i O_j} \cdot \vec{x}_i + \vec{O_j M} \cdot \vec{x}_i$$

$$x_{mi} = a + x_{mj}\vec{x}_j \cdot \vec{x}_i + y_{mj}\vec{y}_j \cdot \vec{x}_i + z_{mj}\vec{z}_j \cdot \vec{x}_i$$

Ce qui donne sous forme matricielle :

$$x_{mi} = \begin{bmatrix} \vec{x}_i \cdot \vec{x}_j & \vec{x}_i \cdot \vec{y}_j & \vec{x}_i \cdot \vec{z}_j & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{mj} \\ y_{mj} \\ z_{mj} \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$y_{mi} = [\bar{y}_i \bar{x}_j, \bar{y}_i \bar{y}_j, \bar{y}_i \bar{z}_j, b] \begin{bmatrix} x_{mj} \\ y_{mj} \\ z_{mj} \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$z_{mi} = [\bar{z}_i \bar{x}_j, \bar{z}_i \bar{y}_j, \bar{z}_i \bar{z}_j, c] \begin{bmatrix} x_{mj} \\ y_{mj} \\ z_{mj} \\ 1 \end{bmatrix}$$

On aura finalement

$$\begin{bmatrix} x_{mj} \\ y_{mj} \\ z_{mj} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{x}_i \bar{x}_j, \bar{x}_i \bar{y}_j, \bar{x}_i \bar{z}_j, a \\ \bar{y}_i \bar{x}_j, \bar{y}_i \bar{y}_j, \bar{y}_i \bar{z}_j, b \\ \bar{z}_i \bar{x}_j, \bar{z}_i \bar{y}_j, \bar{z}_i \bar{z}_j, c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{mj} \\ y_{mj} \\ z_{mj} \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{ij} = \begin{bmatrix} \bar{x}_i \bar{x}_j, \bar{x}_i \bar{y}_j, \bar{x}_i \bar{z}_j, a \\ \bar{y}_i \bar{x}_j, \bar{y}_i \bar{y}_j, \bar{y}_i \bar{z}_j, b \\ \bar{z}_i \bar{x}_j, \bar{z}_i \bar{y}_j, \bar{z}_i \bar{z}_j, c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

La matrice T_{ij} est dite matrice de transformation homogène

II-6-7-Les paramètres de DENAVIT et HARTENBERG [10]

Denavit et Hartenberg ont établi une convention pour définir un repère R_{i+1} par rapport à un autre Repère R_i en utilisant quatre paramètres α_i , a_i , θ_i , et r_i selon la figure ci dessous :

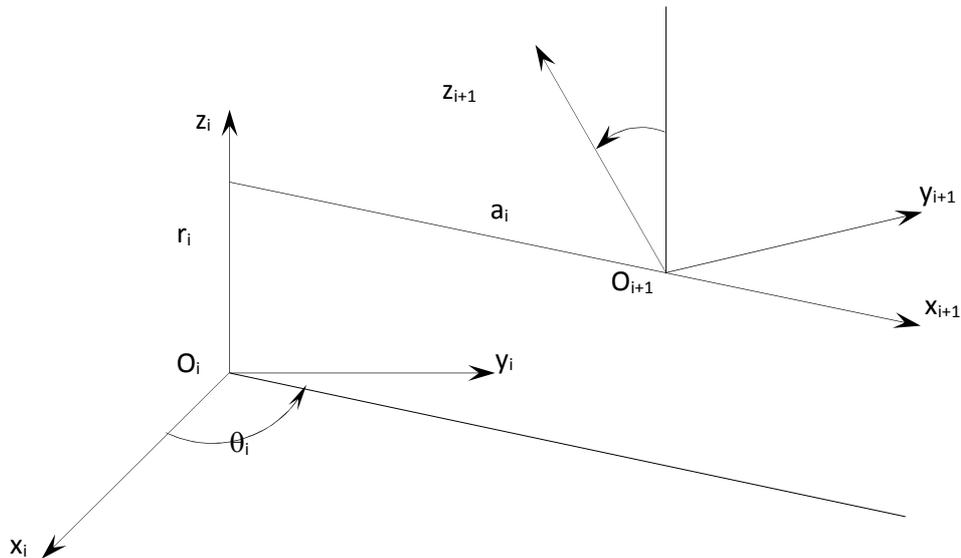


Figure II-2 : Représentation des paramètres de Denavit et Hartenberg

La matrice de transformation homogène ainsi obtenue définit la ième transformation du repère R_i par rapport au repère R_{i+1} par la matrice $T_{i(i+1)}$.

$$T_{i(i+1)} = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i \cos\alpha_i & +\sin\theta_i \sin\alpha_i & a_i \cos\theta_i & 0 \\ \sin\theta_i & -\cos\theta_i \cos\alpha_i & -\cos\theta_i \sin\alpha_i & a_i \sin\theta_i & 0 \\ 0 & -\sin\alpha_i & \cos\alpha_i & r_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Cette matrice est une fonction $T_i^{i+1}(q_i)$ de la ième coordonnée généralisée q_i notée :

$$q_i = \bar{\sigma}_i \theta_i + \sigma_i n$$

Cette matrice a été obtenue par composition des matrices suivantes :

$$Rot(z_i, \theta_i) \cdot Trans(z_i, r_i) \cdot Rot(x_i, \alpha_i) \cdot Trans(x_{i+1}, a_i)$$

$$Rot(z_i, \theta_i) = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i & 0 & 0 \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Trans(z_i, r_i) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1+r_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Rot(x_i, \theta_i) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_i & -\sin\alpha_i & 0 \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Trans(x_i, a_i) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Le modèle géométrique est élaboré à partir du produit des matrices T_i associées à chaque repère.

$$T_o^n = T_o^1 \cdot T_1^2 \cdot \dots \cdot T_{n-1}^n$$

II-7-MODELE GEOMETRIQUE INVERSE [14]

Le modèle géométrique ainsi obtenu assure la représentation de la structure géométrique du robot.

Cette représentation par une fonction f relie les variables articulaires aux variables géométriques.

$$x = f(q)$$

Le modèle géométrique inverse est constitué par

$$q = f^{-1}(x)$$

qui permet d'obtenir les variables articulaires (q) en fonction des coordonnées opérationnelles

II-8-RESOLVABILITE DES SMA [14]

La difficulté de calcul de la fonction inverse réside dans le fait que f est fortement non linéaire.

Lorsque (x) appartient au volume du travail du robot, il existe trois types de solutions :

- lorsque n est inférieur à m , il n'existe pas de solutions.
- lorsque $n = m$ il existe :
 - soit un nombre fini de solutions en dehors des configurations singulières.
 - soit un nombre infini de solutions pour les configurations singulières.
- lorsque n est supérieur aux degrés de liberté de la tâche (m), il existe une infinité de solutions.

II-8-1-Absence de solution

Trois origines en sont la cause.

II-8-1-1-Origine géométrique

L'incompatibilité des contraintes avec la géométrie de la mécanique rend impossible la détermination d'une solution.

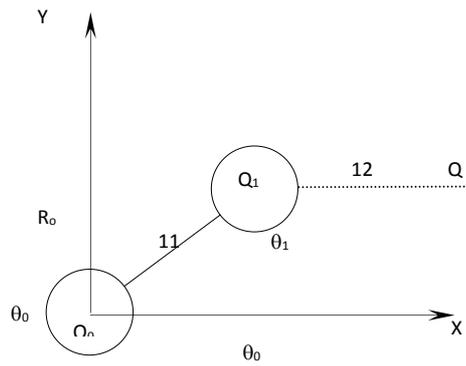


Figure II-3 : Repère avec deux articulations.

Les contraintes imposées ne sont pas atteignables simultanément.

II-8-1-2-Origine mécanique

Les mouvements du mécanisme tiennent compte des limites des rotations et translations. Des butées empêchent le robot d'atteindre les points en dehors du volume de travail malgré l'existence de solutions mathématiques.

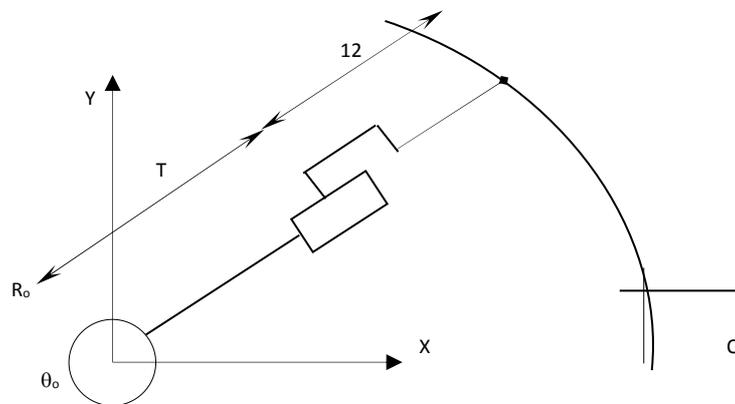


Figure II-4 : origine mécanique

II-8-1-3-Origine mathématique

Un système dont le nombre de variables est inférieur au nombre d'équations ne donne pas de solutions mathématiques. Cela revient, en robotique, à imposer plus de contraintes qu'il n'existe de degrés de liberté.

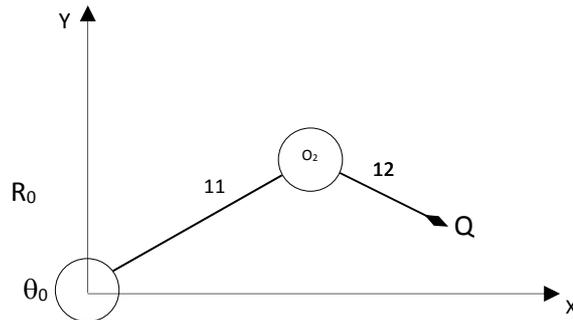


Figure II-5 : la structure RP

II-8-2-Infinité de solutions

La résolution du système d'équation peut aboutir à une infinité de solutions dans deux cas :

- lorsque le nombre de contraintes est inférieur au nombre de ddl du robot. On se trouve en face de surabondance de potentialité en fonction de la tâche demandée. La solution consiste à réduire le nombre de variables articulaires en leur imposant une valeur.
- Dans un second cas, le robot se trouve en position de singularité. Cette configuration particulière est créée par exemple lors de la mise en parallèle de deux axes.

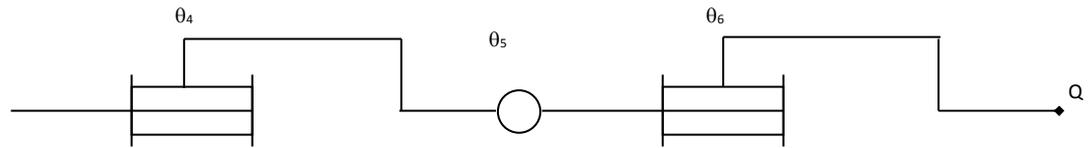


Figure II-6: Représentation du poignet.

II-8-3-Nombre fini de solutions

Si le nombre de contraintes est égal au nombre de ddl du mécanisme et si le robot ne se trouve pas dans un des cas décrits plus haut, alors il existe une ou plusieurs solutions au problème.

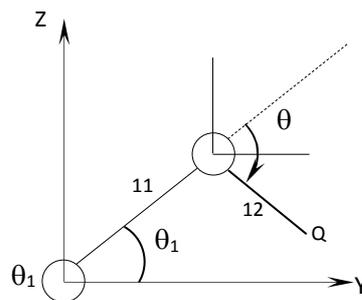


Figure II-7 : nombre de fin de solution

II-9-CALCUL DU MODELE INVERSE

Pour la résolution du problème inverse c-a-d résoudre le système d'équations non linéaires nous utiliserons la méthode de Newton Raphson.

II-10-LA TRAJECTOIRE [14]

Le choix de définir la trajectoire est lié au fait que le mouvement de l'organe terminal (effecteur) doit prendre en considération les contraintes de l'espace dans lequel il agit.

La position de l'organe terminal défini dans l'espace des variables opérationnelles est donnée par :

$$x = (x \ y \ z)^t$$

Si nous définissons le pas d'une position de l'effecteur à une autre, le mouvement peut s'écrire comme étant une fonction du temps $x(t)$ tel que :

$$x(t) = x(t_0), x(t_1), x(t_2) \dots x(t_n)$$

Avec

n = nombre d'incrément du temps.

Sachant que la variable articulaire q s'écrit :

$$q = (q_1, q_2, q_3, \dots, q_m)^T$$

Où m est le nombre de degrés de mobilité du système, l'équation de q correspondant à $x(t)$ est :

$$q(t) = q(t_0), q(t_1), q(t_2) \dots q(t_n)$$

La génération d'une trajectoire implique une interpolation entre le point initial P_s et le point final P_f . Cette interpolation peut être faite soit dans l'espace des variables articulaires soit dans l'espace

Des variables opérationnelles. Pour définir le mouvement de l'effecteur nous ferons une interpolation dans l'espace des variables opérationnelles.

Considérons un mouvement de l'organe terminal de P_s à P_f , le long d'une trajectoire définie

$x(k) = f(x, y, z)$. Pour un pas linéaire, la position instantanée $x(t)$ peut s'écrire.

$$x(t) = x_i + k(t) (x_f - x_i) \quad 0 \leq t \leq T$$

Où

$k(t)$ est une fonction scalaire qui définit la distribution des vitesses et des accélérations le long de la trajectoire

Parmi les différents profils possibles de $k(t)$, il est nécessaire de choisir ceux qui satisfont les conditions d'accélération et de vitesse nulles aux origines et aux extrémités.

$$k(0) = k'(0) = k(T) = k'(T) = 0$$

II-10-1-Profil polynomial

$$\left. \begin{aligned} K(t) &= \frac{10}{T^3} t^3 - \frac{15}{T^4} t^4 + \frac{6}{T^5} t^5 \\ \dot{K}(t) &= \frac{30}{T^3} t^2 - \frac{60}{T^4} t^3 + \frac{30}{T^5} t^4 \\ \ddot{K}(t) &= \frac{60}{T^3} t - \frac{180}{T^4} t^2 + \frac{120}{T^5} t^3 \end{aligned} \right\} 0 \leq t \leq T \quad (2)$$

Le profil polynomial en comparaisant avec d'autres types de profils (par exemple sinusoïdal) permet d'obtenir pour la dérivée d'ordre 3, les mêmes valeurs aux points initial et final. Néanmoins le profil polynomial satisfait mieux ces mêmes conditions initiales et finales.

Nous utiliserons pour notre étude le profil polynomial

I-11-ANALYSE CINEMATIQUE [18]

La position de l'organe terminal dans l'espace opérationnel peut être écrite en termes de variables articulaires comme suit :

$$x = f(q)$$

Le modèle cinématique direct permet d'obtenir la vitesse de l'organe terminal dans l'espace opérationnel en fonction des vitesses articulaires.

En différenciant l'équation 3 nous obtenons :

$$\dot{\Xi}_i = \sum_j \frac{\partial f_i}{\partial q_j} \dot{q}_j$$

Qui s'écrit aussi sous forme matricielle :

$$[\dot{x}] = [J][\dot{q}]$$

Le Jacobien du système est défini par :

$$[J] = \frac{\partial f}{\partial q_j}$$

Les accélérations sont données par :

$$\Xi_i = \sum_j \frac{\partial f_i}{\partial q_j} \ddot{q}_j + \sum_{j,k} \frac{\partial^2 f_i}{\partial q_j \partial q_k} \dot{q}_j \dot{q}_k$$

Ou bien sous forme matricielle par

$$\ddot{x} = [J]\ddot{q} + [A] \dot{q}^2$$

ou : $\dot{q}^2 = [\ddot{q}_1 q_1 \quad \ddot{q}_1 q_2 \quad \dots \quad \ddot{q}_n q_n]^t$

et

$$[A] = \left[\frac{\partial^2 f_i}{\partial q_j \partial q_k} \right]$$

$$\dot{x} = J(q) \cdot \dot{\theta}$$

Tel que :

$$\theta = (\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n)^t$$

et

$$J(q) \text{ est la matrice jacobienne donnée par : } J(q) = \frac{\partial f_i}{\partial q}$$

Chapitre III

Application

1-INTRODUCTION

Nous avons choisi de faire notre application sur l'exemple ci-dessous .C'est un bras manipulateur de robot qui peut être utilisé pour effectuer plusieurs taches .peinture soudage déplacement vissage....

En utilisant les éléments théoriques développés dans les chapitres et les données contenues dans le tableau ci-dessous, nous avons pu tracer grâce au logiciel MATLAB, les courbes suivantes de l'évolution en fonction du temps des positions, des vitesses, des accélérations.

C'est un système en 3D qui possède quatre articulations, une rotoïde et trois prismatiques dont voici le schéma cinématique.

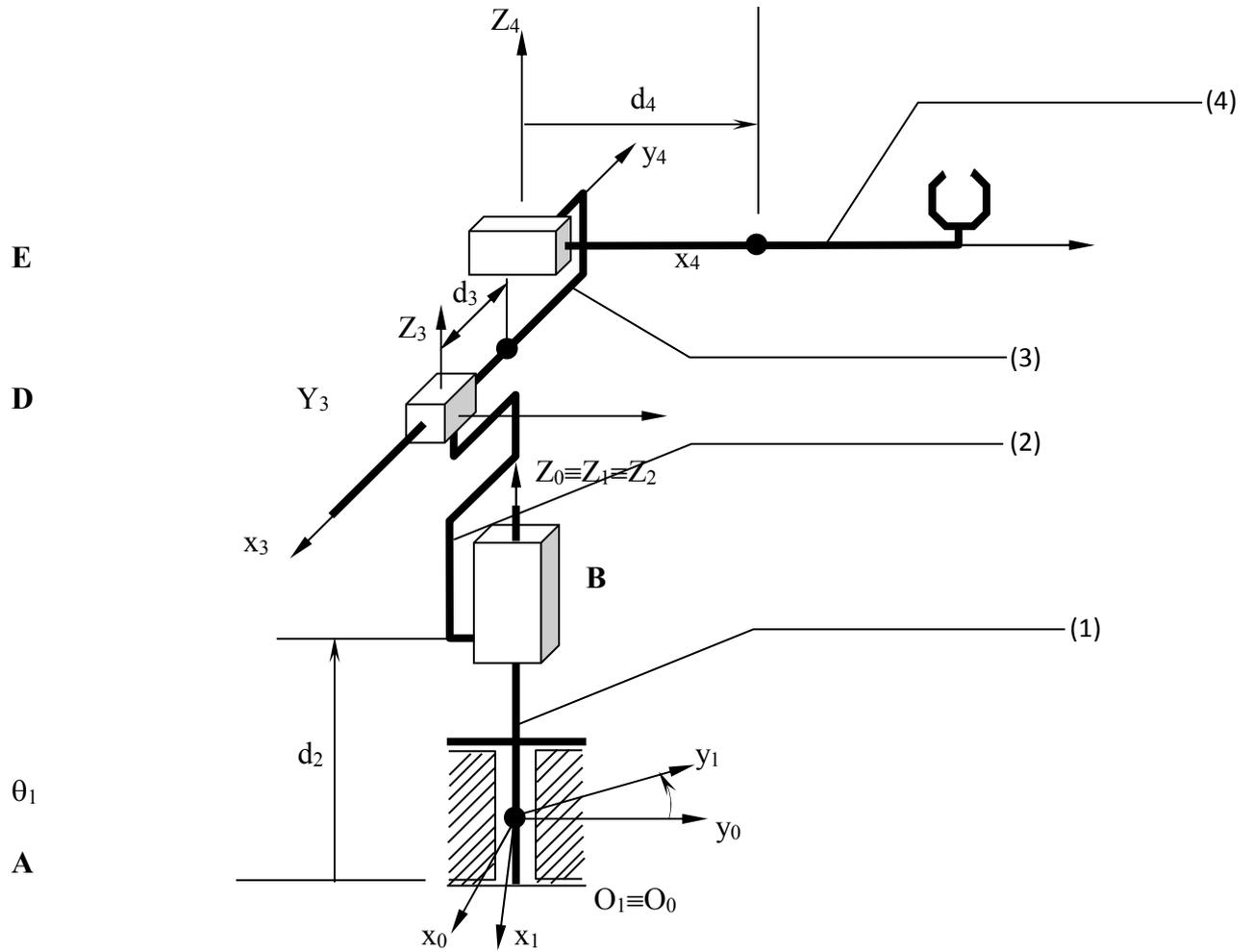


Figure III-1 : système(robot a 6 axes ABB IRB2400)

Les paramètres géométriques et inertiels sont résumés dans le tableau suivant :

N° de chaînon	Paramètres de position	L'intervalle de déplacement	Les valeurs des masses (kg)	Les valeurs de moments d'inerties (kg.m ²)
Chaînon (1)	θ_1	$[-90^\circ, 90^\circ]$	$m_1=25.55$	$Jz1=0.0319$
Chaînon (2)	d_1	$[0, 0.600]$ m	$m_2=40.7$	$Jz2=0.0508$
Chaînon (3)	d_2	$[-0.317, 0.317]$ m	$m_3=241.78$	$Jz3=129.14$
Chaînon (4)	d_3	$[-0.200, 0.200]$ m	$m_4=39.05$	$Jz4=6.2832$

-Matrices de passage

D'après la méthode Denavit et Hartenberg associée a la méthode de uicker Kahn citée dans le chapitre précédent nous avons pu déterminer les matrices suivantes :

Nous donnons ci-dessous les matrices de passage associées à chaque repère.

$$[T_{12}] = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; [T_{34}] = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_2 + a_2 + a_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T_{23}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad ; \quad [T_{45}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_3 \\ 0 & 0 & 1 & a_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[T_{12}] = \begin{bmatrix} 0 & \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & -d_4 \sin \theta_1 - d_3 \cos \theta_1 \\ 0 & \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & d_4 \cos \theta_1 - d_3 \sin \theta_1 \\ 0 & 0 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

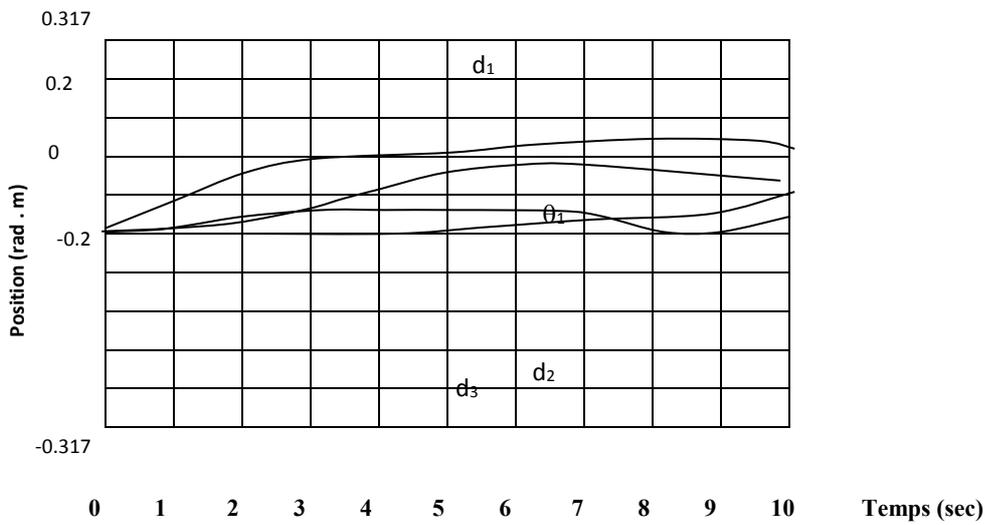


Figure III-2 : position de l'organe terminal en fct du temps

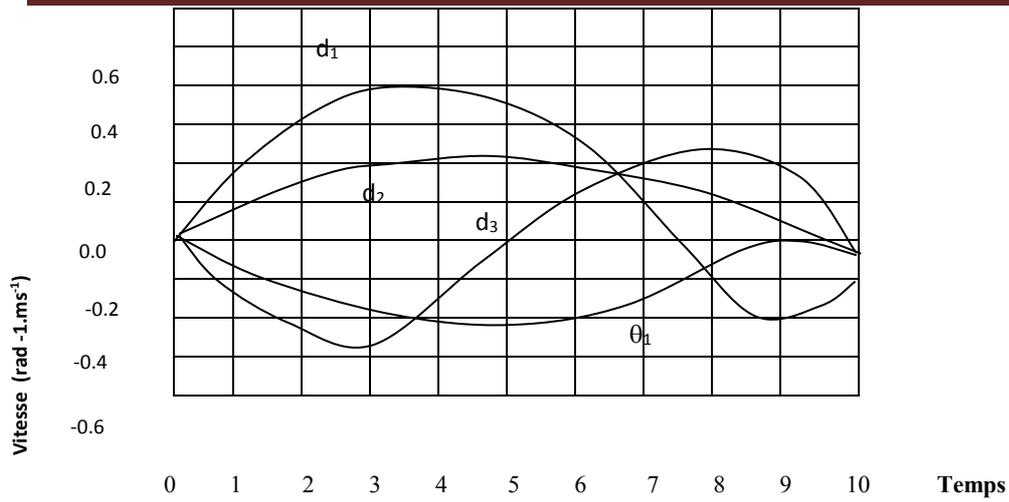


Figure III-3: vitesse de l'organe terminal en fct du temps

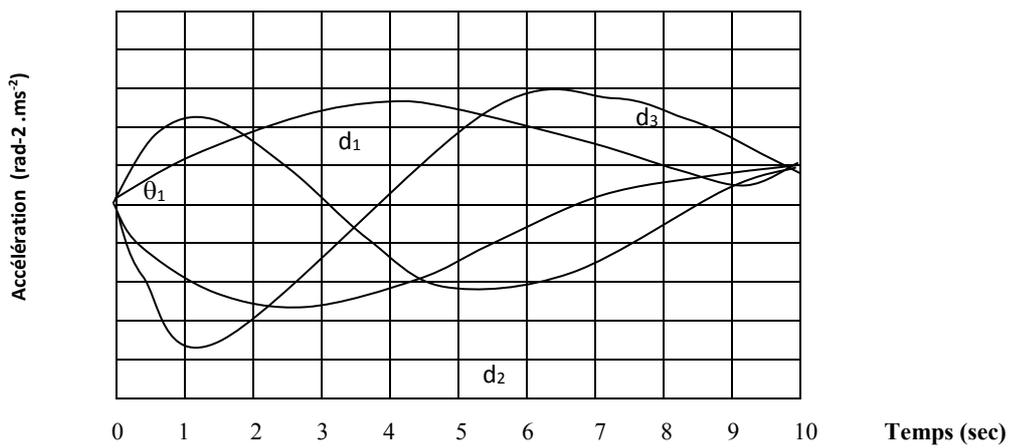


Figure III-4 : accélération de l'organe terminal en fct du temps

Conclusion

Ce chapitre nous a permis de déterminer la position la vitesse et l'accélération pendant l'évolution de ce bras manipulateur.

Une application des éléments théoriques, développé dans les chapitres II et III, a conduit à l'édition de trajectoires curvilignes sur une surface plane et de les exécuter par la suite avec le manipulateur ce qui nous permet de visualiser la variation des paramètres articulaires.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Le travail présenté dans ce mémoire est une approche théorique basée sur les méthodes générales utilisées dans la robotique pour la modélisation géométrique et cinématique des robots ou bras manipulateurs industriels.

Nous avons essayé dans la mesure du possible d'utiliser les méthodes les plus largement répandues dans ce domaine et ce à cause de la bibliographie disponible à savoir les méthodes de Denavit et Hartenberg [13] et celles de Uicker Kahn [09] qui ont été très bien détaillées par Wissama Khalil référence [09]. Nous avons ensuite utilisé les modèles théoriques développés dans les chapitres I, II, III sur une application [14] pour laquelle nous avons pu déterminer les différents paramètres géométriques et cinématiques pour positionner l'organe terminal dans l'espace dans les modèles directs.

Dans les modèles inverses la trajectoire peut être suivie par le manipulateur avec un profil de vitesse et d'accélération prescrit, et avec une orientation de l'outil prescrite.

Bibliographie

- [1] **M. Gouasmi, M. Ouali, B. Fernini, M. Meghatria**, Kinematic Modelling and Simulation of a 2-R Robot Using SolidWorks and Verification by MATLAB/Simulink. Algeria Structural Mechanics Research Laboratory, Mechanical Engineering Department, Blida University, Algeria, 2011
- [2] **F. Cheraghpour, I. Membeli, M. Vaezi, R. Shoori Jazeh, S. Ali, A. Moosavian**. Dynamic Modeling and Kinematic Simulation of Staubli© TX40 Robot Using MATLAB/ADAMS Co-simulation. Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Mechatronics. April 13-15, 2011, Istanbul, Turkey.
- [3] **P. Fisette, H. Buyse, J.C. Samin**, MECA 2732 : Introduction à la Robotique, 10 novembre 2004.
- [4] **A. Benali**, Robotique et Automatisation Industriel.
- [5] **P. Coiffet, Hermes**, La Robotique, principes et applications.
- [6] **H. Hamdi**, Introduction à la Robotique. Les éditions de l'université Mentouré Constantine 2002-2003.
- [7] **E. Dombre**, Analyse et Modélisation des Robots Manipulateurs, 22 janvier 2002.
- [8] **A. Chrifa**, Analyse Cinématique des Robots Parallèles. Thèse Docteur D'état. Université Mentouri Constantine 2007/2008.
- [9] **J.L. Boimond**, Robotique, Université Angers.
- [10] **R. Gourdeau**, ELE4203 — Robotique : Modélisation des Robots Manipulateurs, Département de génie électrique, Ecole Polytechnique de Montréal, 4 novembre 2010.
- [11] **W. Khalil, E. Dombre**, Bases de la Modélisation et de la Commande des Robots-Manipulateurs de type série, 22 janvier 2012.
- [12] **I. Bonev, Y. Noiseux**, Notes de cours GPA546. 27 mars 2013.
- [13] **A. Belloufi**, Cour Théorie de Machines et de Mécanismes, Université d'Ouargla, 2011/2012.

Bibliographie

[14] **J.W. Jeong, I.S. Kim, R.R. Chand, J.H. Lee**, A study on Simulation model and Kinematic Model of Welding Robot, Department of Mechanical Engineering, Mokpo NationalUniversity,01 novembre2012.

Annexe

Annexe1

Lecture de données

Nbre d'articulations :4

Coord pt final :(0.317 ;-0.227;0.125)

Coord pt initial:(0.521 ; 0;0.252)

Temps T :05 secondes

$\Delta T= 1$ seconde

Paramètres de DH

ALPHA1=90 ALPHA2=0 ALPHA3=90 ALPHA4=-90

A1=0 A2=0.317 A3=0 A4=0

TETA1=90 TETA2=0 TETA3=0 TETA 4=-90

R1=0 R2=0.675 R3=0 R4=0

Inerties

IX1=0.285 IX2=1.369 IX3=42.5 IX4=2.5

IY1=0.281 IY2=0.480 IY3=125.2 IY4=5.3

IZ1=0.0319 IZ2=0.0508 IZ3=129.14 IZ4=6.28

Masses

M1=25.55 M2=40.7 M3=241.78 M4=39.05

FICHER DE RESULTATS
MODELE GEOMETRIQUE DIRECT

0 0 -1 0 0 -1 0 0
1 0 0 0 0 1 0 0
0 -1 0 0 0 0 1 0.252
0 0 0 1 0 0 0 1

1 0 0 0 0 1 0 0
1 1 0 0 0 0 1 0.317
0 0 1 0.600 0 0 0 -0.200
0 0 0 1 0 0 0 1

Annexe

Modèle cinématique inverse

Position

t	q1	q2	q3	q4
0	-0.190	-0.310	0.000	0.317
1	-0.120	-0.305	0.220	0.340
2	-0.045	-0.0292	0.295	0.450
3	-0.004	-0.219	0.320	0.490
4	-0.185	-0.209	0.350	0.430
5	-0.110	-0.180	0.018	0.400

Vitesse

t	q1	q2	q3	q4
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.43	-0.49	-0.59	-0.54
2	0.71	-0.62	-0.84	0.52
3	0.49	-0.30	-0.81	-0.81
4	0.27	0.30	-0.10	0.13
5	0.00	0.00	0.00	0.00

Accélération

t	q1	q2	q3	q4
0	0.0	0.0	0.0	-19.0
1	-38.0	-32.0	-3.0	11.0
2	0.0	-29.0	12.0	25.0
3	30.0	-10.0	10.0	15.0
4	24.0	5.0	-9.9	-4.0
5	8.1	10.0	17.5	17.0

Lecture de DONNEES

Nbre d'articulations :4

Coordptfinal :(0.317 ; -0.227;0125)

Coordptinitial:(0.521 ; 0;0.252)

Temps T : 07 secondes

$\Delta T= 1$ seconde

Paramètres de DH

Annexe

ALPHA1=90 ALPHA2=0 ALPHA3=90 ALPHA4=-90

A1=0 A2=0.317 A3=0 A4=0

TETA1=90 TETA2=0 TETA3=0 TETA 4=-90

R1=0 R2=0.675 R3=0 R4=0

Inerties

IX1=0.285 IX2=1.369 IX3=42.5 IX4=2.5

IY1=0.281 IY2=0.480 IY3=125.2 IY4=5.3

IZ1=0.0319 IZ2=0.0508 IZ3=129.14 IZ4=6.28

Masses

M1=25.55 M2=40.7 M3=241.78 M4=39.05

MODELE GEOMETRIQUE DIRECT

0 0 -1 0 0 -1 0 0
1 0 0 0 0 1 0 0
0 -1 0 0 0 0 1 0.252
0 0 0 1 0 0 0 1

1 0 0 0 0 1 0 0
1 1 0 0 0 0 1 0.317
0 0 1 0.600 0 0 0 -0.200
0 0 0 1 0 0 0 1

Modèle cinématique inverse

Position

t	q1	q2	q3	q4
0	-0.190	-0.310	0.000	0.317

Annexe

1	-0.120	-0.305	0.220	0.340
2	-0.045	-0.0292	0.295	0.450
3	-0.004	-0.219	0.320	0.490
4	-0.185	-0.209	0.350	0.430
5	-0.110	-0.180	0.018	0.400
6	-0.095	-0.098	0.012	0.250
7	-0.068	-0.220	0.005	0.125

Vitesse

t	q1	q2	q3	q4
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.43	-0.49	-0.59	-0.54
2	0.71	-0.62	-0.84	0.52
3	0.49	-0.30	-0.81	-0.81
4	0.27	0.30	-0.10	0.13
6	0.21	0.25	-0.25	0.14
7	0.00	0.00	0.00	0.00

Accélération

t	q1	q2	q3	q4
0	0.0	0.0	0.0	-19.0
1	-38.0	-32.0	-3.0	11.0
2	0.0	-29.0	12.0	25.0
3	30.0	-10.0	10.0	15.0
4	24.0	5.0	-9.9	-4.0
5	21.1	12.0	19.5	14.0
6	19.2	10.2	9.1	11.5
7	8.3	9.2	8.3	10.3

Nbre d'articulations :4

Coord pt final :(0.317 ;-0.227;0.125)

Coord pt initial:(0.521 ; 0;0.252)

Temps T :10 secondes

$\Delta T= 1$ seconde

Paramètres de DH

ALPHA1=90 ALPHA2=0 ALPHA3=90 ALPHA4=-90

A1=0 A2=0.317 A3=0 A4=0

Annexe

TETA1=90 TETA2=0 TETA3=0 TETA 4=-90

R1=0 R2=0.675 R3=0 R4=0

Inerties

IX1=0.285 IX2=1.369 IX3=42.5 IX4=2.5

IY1=0.281 IY2=0.480 IY3=125.2 IY4=5.3

IZ1=0.0319 IZ2=0.0508 IZ3=129.14 IZ4=6.28

Masses

M1=25.55 M2=40.7 M3=241.78 M4=39.05

POSITION

t	q1	q2	q3	q4
0	-0.190	-0.310	0.000	0.317
1	-0.120	-0.305	0.220	0.340
2	-0.045	-0.0292	0.295	0.450
3	-0.004	-0.219	0.320	0.490
4	-0.185	-0.209	0.350	0.430
5	-0.110	-0.180	0.018	0.400
6	0.492	-0.060	-0.270	0.320
7	0.495	-0.095	-0.240	0.335
8	0.469	-0.185	-0.221	0.349
9	0.425	-0.182	-0.021	0.345
10	0.382	-0.120	-0.152	0.317

VITESSE

Vitesse

t	q1	q2	q3	q4
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.43	-0.49	-0.59	-0.54
2	0.71	-0.62	-0.84	0.52
3	0.49	-0.30	-0.81	-0.81
4	0.27	0.30	-0.10	0.13

Annexe

5	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.36	0.32	0.21	-0.42
7	0.17	0.18	0.37	-0.37
8	-0.01	-0.010	0.42	-0.17
9	-0.21	-0.21	0.38	-0.03
10	-0.016	-0.016	-0.016	-0.016

Accélération

t	q1	q2	q3	q4
0	0	0	0	0
1	0	0	0	-19
2	-32	-28	-2	10
3	0	-26	11	22
4	22	4	-8.1	-3.2
5	7.6	-8	14.5	14
6	7.6	-7	13.5	12
7	19	5	11	17
8	21	6	12.5	14.5
9	6.6	7	14.5	10
10	8.1	10	17.5	